

Associacions

Enginyeria Sense Fronteres
Societat Balear de Matemàtiques

Càtedres

Càtedra Sampol de Domòtica i
Eficiència Energètica
Càtedra Endesa Red d'Innovació
Energètica
Càtedra Fundació Miquel
Llabres Feliu

Activitats

La carrera del segle

Treballs

Treballs Docents
Treballs de Recerca

enginy@eps recull els millors treballs docents i treballs de recerca que durant el curs s'han realitzat a les titulacions de:

Arquitectura Tècnica, Enginyeria Tècnica en Informàtica de Gestió, Enginyeria Tècnica en Informàtica de Sistemes, Enginyeria Tècnica Industrial (especialitat Electrònica Industrial), Enginyeria Tècnica de Telecomunicació (especialitat en Telemàtica), Enginyeria Informàtica, Matemàtiques.

Editorial

Bartomeu Alorda
Grup de Sistemes Electrònics
Departament de Física
Universitat de les Illes Balears

Una nova edició de la revista enginy@eps veu la llum plena de bons treballs docents i de recerca. L'objectiu de la revista és basa en un esperit divulgador de la tasca que dia a dia es realitza a dins les aules tant per part dels alumnes com dels professors. Donar a conèixer els millors treballs permet ajudar als futurs estudiants a millorar-se contínuament, és un repte pels estudiants actuals, i una eina docent excel·lent pels professors per a mantenir la motivació envers les activitats docents que es planifiquen a dins les assignatures.

Aquest exemplar recull a la secció oberta les activitats realitzades pels col·laboradors de la revista dins l'entorn universitari i altres escrits. En voldria destacar la proposta docent realitzada a la titulació d'Enginyeria Tècnica Industrial anomenada "la Carrera del Segle" on els estudiants han dissenyat i implementat diferents estructures de motocicletes elèctriques amb l'objectiu final de realitzar una cursa muntats sobre els seus dissenys.

A la secció de Treballs Docents es podran llegir les 19 memòries d'activitats docents proposades a diverses assignatures. Es tracta de treballs que han servit per avaluar als seus autors i que han estat seleccionats pel professor de cada assignatura per a la seva publicació a la revista.

I finalment la secció de Projectes de Recerca que recull en aquesta edició 4 excel·lents propostes entre treballs de divulgació de professors i projectes final de carrera. Sense desmerèixer a la resta de treballs en voldria destacar l'article "Documentació Tècnica Thorpe v2.0" per tractar-se d'una iniciativa que neix des d'un grup d'estudiants i que recull el disseny i la proposta d'un vehicle robòtic que aquest grup d'estudiants va dissenyar per a participar en un concurs de sumo representant a l'EPS. Bona feina!

De nou encoratjo a la comunitat universitària a participar en la propera edició de la revista per a continuar gaudint d'aquest saludable exercici de divulgació i exposició pública de les tasques docents i de recerca.

La cursa del segle

Enginyeria Tècnica Industrial. Sistemes Mecànics.

Víctor Martínez Moll.

El 9 de Juliol de 2010 es va celebrar una cursa de minimotos entre els alumnes de segon d'Enginyeria Tècnica Industrial, com a final de curs de les pràctiques de l'assignatura de Sistemes Mecànics.

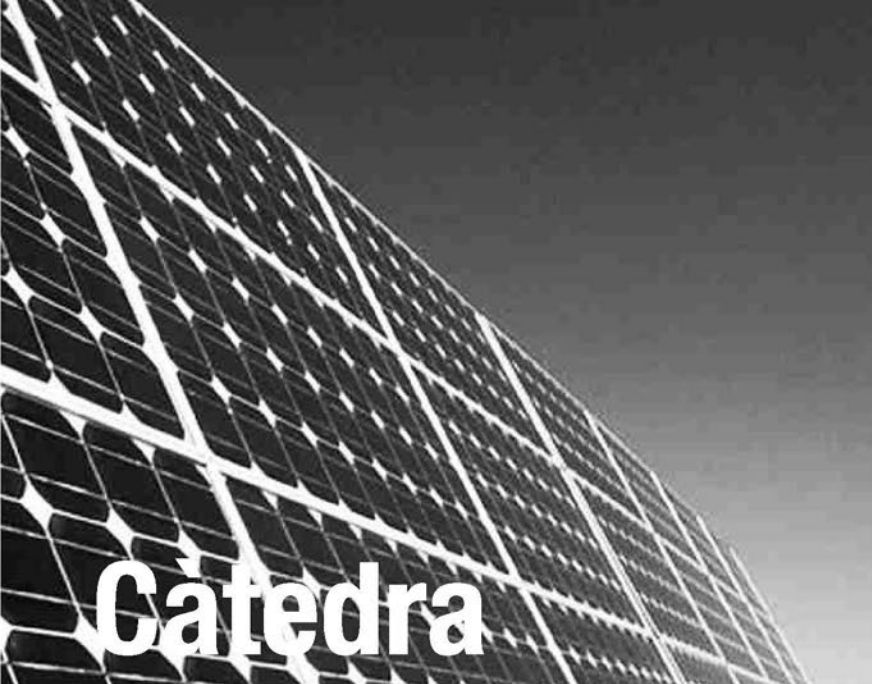
En les pràctiques d'aquesta assignatura, els alumnes, agrupats en tres equips, han dissenyat i construït tres minimotos o vehicles elèctrics que són els que competiren en la cursa de dia 9.

Per fer la cursa més igualada, els tres equips havien d'emprar el mateix tipus de motor, bateria i controlador electrònic, obtinguts del desmantellament de 3 MiniMotos elèctriques. Així mateix també s'admetia l'aprofitament d'altres components com ara frens o transmissions, però en cap cas es podia aprofitar el quadre ni la direcció del vehicle. Els resultat han estat tres dissenys espectaculars que podreu apreciar a les fotografies.

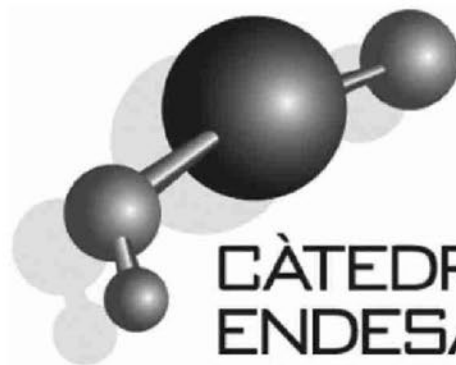
La cursa va consistir en dues proves, la primera consistent en una carrera en línia recta disputada al caminal de Cabrera del campus UIB i la segona en dues curses en un traçat amb curves situat al pàrquing de darrera l'Anselm Turmeda. El guanyador de la cursa en línia recta, va ser l'equip 1 amb la moto pilotada per en Pau Puigros. La primera màniga de la cursa amb curves va ser guanyada per l'equip 2 amb en Daniel Vega com a pilot, en aquesta cursa a l'equip 1 li caigueren per terra (les bateries... o que vos pensaveu?) i no va poder acabar la cursa, encara que sí que varen ser a temps de recuperar el vehicle per guanyar la segona màniga. En aquesta segona màniga l'equip 3 va haver de fer una aturada tècnica quan anava segon per recol·locar la cadena de transmissió.

Aquells que volgueu veure més imatges de la cursa o el vídeo de la prova podeu accedir a l'enllaç al grup de facebook anomenat "Cursa Minimotos UIB".





Càtedra



CÀTEDRA ENDESA RED D'INNOVACIÓ ENERGÈTICA

Càtedra Endesa Red d'Innovació Energètica

Miquel Roca Adrover. Director de la Càtedra.

La Càtedra Endesa-Red d'Innovació Energètica, conveni entre la Universitat de les Illes Balears i l'empresa Endesa-Red, treballa en temes relacionats amb el món de l'energia elèctrica i la seva distribució. Es treballa en dues variants diferenciades, la docència i la recerca. Des del punt de vista de la docència, voldria comentar la organització d'una assignatura optativa "Generació i Distribució d'Energia Elèctrica" que s'ha impartit durant el quadrimestre de febrer a juny als alumnes d'enginyeria tècnica industrial. Així mateix s'han organitzat visites per alumnes a centres de Endesa, com ara la central de generació de Son Reus, o el centre de control situat a San Joan de Déu. S'està planificant la convocatòria d'un premi de treball de fi de carrera relacionat amb la temàtica de la Càtedra. Des del punt de vista de la recerca, la Càtedra treballa en tres projectes d'investigació molt interessants.

El primer projecte consisteix en el monitoratge de dades d'una estació fotovoltaica situada a Son Reus. El monitoratge inclou dades de producció energètica, dades de variables elèctriques, dades de irradiació solar, i dades meteorològiques. Els objectius són avaluar les pèrdues d'energia degudes a l'efecte dels núvols i analitzar l'efecte d'aquests núvols a sobre de les derivades de la potència per tal de veure si són assumibles per la xarxa o poden presentar problemes als centres de control de la distribució energètica.

El segon dels projectes s'emmarca dins de l'àmbit de la prevenció de riscos laborals. En particular s'ha implementat una eina informàtica que ens permet calcular els esforços a sobre de torres de mitja i baixa tensió quan són manipulades per operaris per tal de realitzar tasques de manteniment, canvis d'aparamenta, substitució de conductors, etc.), i d'aquesta manera poder estimar quins esforços suporta la torre i quan lluny es troba de la seva zona de ruptura. L'objectiu del treball consisteix en la conscienciació dels treballadors de la necessitat de prendre totes les mesures necessàries per tal de reduir el nombre d'accidents (objectiu zero accidents al treball). El projecte inclou també una tasca de preparació de material docent i impartició d'un curs de prevenció als treballadors abans esmentats.

Finalment el tercer projecte que estam posant en marxa ara "projecte mobilitat eficient 2010-2012", està relacionat amb

la futura entrada massiva del cotxe elèctric dins del mercat. El projecte vol analitzar experimentalment les demandes d'energia d'aquests vehicles en funció de distints paràmetres i la implicació de la demanda a la xarxa durant els processos de càrrega. La gestió eficient de l'energia és l'objectiu primordial per tal de fomentar l'estalvi i la reducció d'emissions de gasos a l'atmosfera.

Actualment la Càtedra està formada per un equip de treball, integrat per una part de personal de l'empresa Endesa, i per altre per personal de la UIB. En aquest darrer subequip podem destacar tres professors del departament de Física i dos becaris, que amb la seva feina diària fan que els projectes de recerca vagin per bon camí.

Animau-vos a participar amb la Càtedra Endesa-Red d'Innovació Energètica a la nostra Universitat.





Associació



Societat Balear de Matemàtiques. SBM-XEIX.

La Societat Balear de Matemàtiques és una associació creada a l'any 2005, amb els objectius bàsics següents:

Contribuir a la promoció i divulgació del coneixement de les matemàtiques en tots els estaments de la societat de les Illes Balears.

Contribuir a millorar tots els aspectes que incideixen en l'ensenyament de les matemàtiques, tant en l'àmbit educatiu com en qualsevol altre àmbit fora de l'entorn escolar o acadèmic.

Per què una societat de matemàtiques?

- Perquè ens agraden.
- Perquè volem millorar aquest aspecte de l'educació.
- Perquè volem fer-les arribar a més gent.
- Perquè sense ciència no hi ha cultura.
- Perquè volem aconseguir tot això treballant en equip.

Per què Balear?

- Perquè entenem que les Illes tenim uns referents i una història comuna que cal potenciar.
- Perquè amb la comunicació, les experiències de cada illa contribuiran a enriquir les altres.

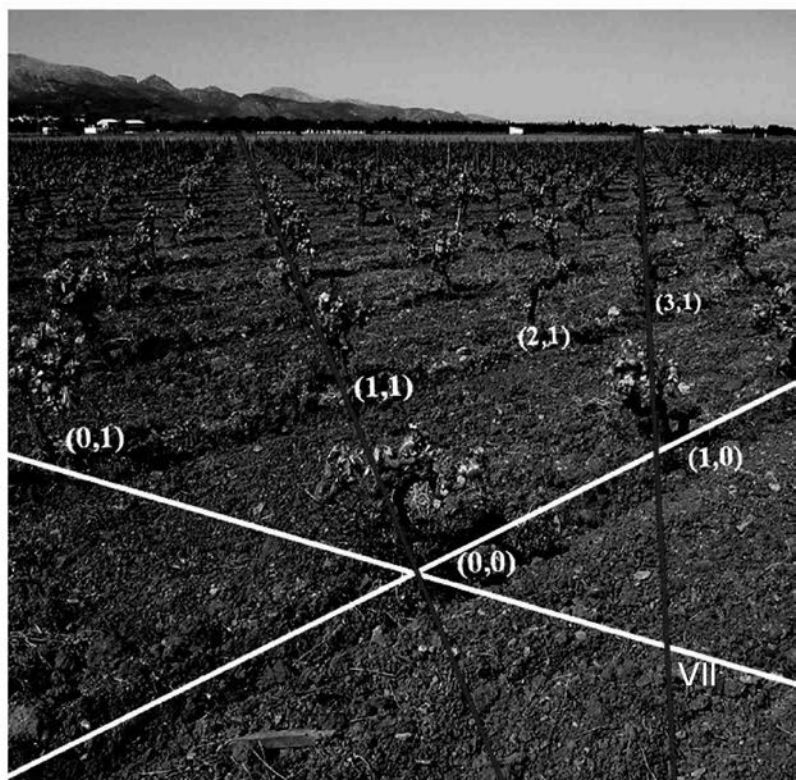
Qui es pot fer soci o sòcia?

- Qualsevol persona que tingui ganes, idees, o interès per fer-se seu aquest projecte.

Què es fa amb les quotes?

- Ens fan socis/es de la federació espanyola amb els descomptes i publicacions que això suposa.
- S'inverteixen en els projectes anuals de la Societat.
- Cobreixen les despeses de funcionament de l'associació.

www.xeix.org



SAMPOL



Càtedra

Càtedra Sampol de Domòtica i Eficiència Energètica

**Andreu Moià Pol i Jaume Segura Fuster,
Co-Directors de la Càtedra.**

SAMPOL Ingenieria y Obras S.A és una empresa familiar amb més de 75 anys de història i de capital íntegrament balear que sota la direcció del seu president Don Gabriel Sampol ha aconseguit comptar actualment amb delegacions i projectes tant en l'àmbit nacional com internacional.

L'activitat de l'empresa es centra al voltant de quatre grans línies de negoci: les infraestructures elèctriques, la generació energètica, l'obra civil i les aplicacions tecnològiques. En totes aquestes àrees l'empresa destaca per la cerca de l'excel·lència en la recerca de l'eficiència energètica.

La Càtedra SAMPOL de Domòtica i Eficiència Energètica va néixer el mes de setembre de l'any 2008 amb la signatura d'un conveni de col·laboració entre Sampol Ingenieria y Obras S.A (representada per la consellera delegada, Sra. Carme Sampol) i la Universitat de les Illes Balears (representada per la Magnífica Rectora Dra. Montserrat Casas). Amb l'objectiu de promoure les activitats docents i de recerca en domòtica, eficiència energètica i energies renovables, així com la seva difusió.

En el marc d'aquestes línies de treball, la càtedra ha realitzat al llarg del curs acadèmic 2009-2010 les següents activitats.

En el marc de la divulgació de l'eficiència energètica aplicada a les infraestructures i dels mitjans de transport sostenibles. La càtedra Sampol conjuntament amb la direcció de Recerca, Desenvolupament de la (Conselleria d'Innovació, Interior i Justícia) en el marc de la Setmana de la Ciència i la Tecnologia 2010, va organitzar el passat dia 3 de novembre de 2009 una conferència al CaixaForum de Palma, a càrrec del Dr Servando Álvarez Domínguez amb títol "Presente y futuro de la eficiencia energética en España".

Adicionalment al llarg del present curs acadèmic 2009-2010 membres de la càtedra han assistit a programes radiofònics de IB3 Radio com a tertulians especialitzats en programes que han versat sobre l'eficiència energètica, la domòtica i els mitjans de transport sostenibles (vehicles elèctrics).

Les activitats de recerca són l'essència de la càtedra Sampol. On aquestes activitats es centren en la recerca i desenvolupament de tecnologies innovadores en l'àmbit de

l'eficiència energètica, les energies renovables i els sistemes de transport sostenibles (vehicles elèctrics).

A més de les tasques purament de recerca la Càtedra Sampol ha col·laborat estretament amb Sampol Ingenieria y Obras S.A, en la sol·licitud d'un projecte europeu amb l'objectiu de implementar sistemes d'acumulació i de gestió intel·ligent de la xarxa de districte en la que es troba integrat el campus de la Universitat de les Illes Balears i el Parc Bit.

Finalment, dintre les activitats que ha realitzat la càtedra Sampol el passat curs acadèmic, cal destacar la posada en marxa de la primera edició del títol propi de postgrau de la UIB "I Especialista Universitari en instal·lacions domòtiques i gestió energètica integral aplicada a l'hoteleria, empresa i habitatge", amb el suport de Sampol Ingenieria y obras S.A, Schneider Electric Espanya, el col·legi oficial d'enginyers Industrials superiors de les Illes Balears, la conselleria de Comerç, Indústria i Energia i la conselleria de Treball i Formació. Essent l'objectiu d'aquest curs la formació professionals amb un fonaments teòrics adequats per abordar el disseny, la programació i instal·lació d'aplicacions pràctiques domòtiques i immòtiques, enfocades a l'eficiència energètica. El curs es va iniciar el passat mes d'octubre de 2009 amb un gran interès per part de les empreses i el professionals del sector que es va cristal·litzar amb la inscripció de 14 professionals del sector i ha finalitzat el passat mes de juny de 2010. Aconseguint un alt grau de satisfacció per part del alumnes i per les empreses col·laboradores.



Col·legi

Col·legi Oficial d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Mallorca

El Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Mallorca va signar un conveni amb la Universitat de les Illes Balears per editar, en col·laboració, una col·lecció de llibres i manuals relacionats amb l'Arquitectura Tècnica que s'ha denominat "Col·lecció Arquitectura Tècnica".

L'edició i distribució d'aquestes publicacions és a càrrec d'Edicions UIB. La voluntat d'ambdues parts d'aquest conveni és col·laborar per la informació i formació dels estudiants i professionals del sector. Pel que la nostra intenció és que els llibres tractin de temes pràctics que s'usaran en el dia a dia en la nostra feina en les obres de construcció.

Fins al moment s'han publicat els dos primers nombres de la col·lecció que ja estan disponibles en les llibreries especialitzades, en la llibreria del campus i en les oficines del Col·legi i Centre d'Estudis.

La primera de les publicacions és el manual "Criteris per a la gestió del Llibre d'Incidències", els autors de les quals són Francisco José Forteza Oliver i Mateo Moyá Borrás.

Es tracta d'un manual especialment dirigit als tècnics que exerceixen com a coordinadors de seguretat en fase d'execució de les obres, si bé és d'interès general per a qualsevol implicat en el procés constructiu ja que els aspectes relatius a la seguretat en la construcció afecten a tots els responsables en la cadena de comandament en una obra d'edificació.

El manual analitza les funcions dels principals agents en el tema de seguretat: promotor, contractistes, subcontractistes, treballadors autònoms, recursos preventius i coordinador de seguretat i els documents que s'han de manejar: llibre d'incidències, llibre de subcontractació, etc.

Quant al llibre d'incidències, proposa una sèrie d'actuacions model en funció de la fase d'obra.

La segona publicació de la col·lecció és "El control de qualitat vinculat a la direcció d'execució d'obres d'edificació" dels autors Joan Muñoz *Gomila i Gabriel Horrach Satre.



En aquesta publicació s'analitza, en una primera part, les obligacions legals de la Direcció d'Execució Material de l'obra quant al control de qualitat dels materials. Aquestes responsabilitats es deriven de la Llei d'Ordenació de l'Edificació, del Codi Tècnic d'Edificació i, en relació a les estructures, de la Instrucció per a les Estructures de Formigó Armat EHE-08.

En la segona part de la publicació s'exposa una metodologia per aplicar el Control de Recepció i control de qualitat en obra, així com una sèrie de documents de seguiment de l'obra i de finalització de la mateixa, tema essencial per al tècnic Director de l'Execució Material de l'obra.



Càtedra

Càtedra Fundació Miquel Llabrés Feliu

Joan Muñoz Gomila. Director de la Càtedra.

La Càtedra Fundació Miquel Llabrés Feliu continua amb les seves activitats vinculades als temes relacionats amb la sostenibilitat, la construcció tradicional, la rehabilitació i la innovació en aquests àmbits.

Les principals activitats realitzades al llarg del curs han estat:

- Finançament de l'assignatura optativa dels estudis d'Arquitectura Tècnica "Sistemes Tradicionals de Construcció".

- Ajudes als estudiants amb concessió de beques per a la realització del seu Projecte Final de Carrera, sempre que aquest desenvolupi temàtiques relacionades amb la sostenibilitat, la construcció tradicional i/o la rehabilitació. Des de l'inici de l'activitat de la Càtedra, s'han concedit un total de 19 beques, el que ha suposat una aportació econòmica per part de la Càtedra de 20.000 euros.

- Finançament per a l'edició per part d'Edicions UIB del llibre sobre construcció tradicional que neix com a resultat de la realització d'un Projecte Final de Carrera dels estudis d'Arquitectura Tècnica. L'autor és en Miquel Ballester, professor de la assignatura finançada per la Càtedra "Sistemes Tradicionals de Construcció".

Actualment, la Càtedra, junt amb el grup de recerca de Construccions Arquitectòniques i Enginyeria d'Edificació i Edicions UIB, promou l'edició de la transcripció comentada del manuscrit de 1653 de Joseph Gelabert "de l'Art del Picapedrer" i de la publicació "Marges" junt amb l'arquitecte Antoni Alomar.

La Càtedra Fundació Miquel Llabrés Feliu continuarà promovent les activitats formatives i d'ajuts a la publicació i realització de Jornades Tècniques en els àmbits de la seva activitat.

Per als curs 2010/11 la Càtedra continuarà amb la línia d'ajuts per a la realització de Projectes Finals de Carrera no tans sols als estudis d'Arquitectura Tècnica, sinó a qualsevol projecte que desenvolupi temes relacionats amb la sostenibilitat, la construcció tradicional o la rehabilitació, com poden ser els Projectes Finals de Carrera d'estudiants d'Enginyeria Tècnica

Industrial (actualment amb un grau d'Enginyeria Industrial i Automàtica) o d'Enginyeria Tècnica Hortofructícola (actualment amb un grau d'Enginyeria Agroalimentària i del Medi Rural). A més, la convocatòria d'ajuts estarà oberta al llarg de tot el curs fins a assolir la despesa màxima prevista.

IV Convocatòria Anual d'Ajuts

per a la realització del
Projecte Fi de Carrera a la UIB



Càtedra Fundació Miquel Llabrés Feliu



**Ajuts fins
a 500€**

Conceptes que poden ser subvencionats:

Realització d'assaigs de laboratori, compra de material fungible, components, mostres, reactius, petit material inventariable, despeses de viatge per visitar centres de referència o interès en relació al PFC.

Requisits dels destinataris:

Ser estudiant de la UIB i estar en disposició de fer el Projecte de Fi de Carrera.

Realitzar el Projecte de Fi de Carrera desenvolupant un tema relacionat amb la construcció tradicional, rehabilitació o sostenibilitat.

Tenir el suport d'un professor de la UIB que actuarà com a Director de Projecte i el vist i plau del Cap d'estudis a la proposta de PFC.

Sol·licitud:

A través del link de sol·licitud d'ajut per al PFC al Bloc dels estudis d'Arquitectura Tècnica i Enginyeria d'Edificació:

<http://eps.uib.es/edificacio>

curs 2010/11



Juan Antonio Rodríguez Jiménez-Bravo. Membre d'Enginyeria Sense Fronteres i ex-alumne de l'EPS

Moltes persones que s'apropen a Enginyeria Sense Fronteres per col·laborar en tasques tècniques s'adonen que solucions apreses a la universitat o en la seva carrera professional són sovint difícils d'aplicar als nombrosos i greus problemes de les realitats dels països empobrits.

En un projecte de desenvolupament és clau la participació de les comunitats beneficiàries i el primer objectiu és que les accions de desenvolupament que es duen a terme responguin als interessos reals de la gent que n'ha de resultar beneficiada. Entrevista a Juan Antonio Rodríguez, diplomant en Arquitectura Tècnica, és membre d'ESF i ha realitzat el seu PFC en un projecte de cooperació internacional a l'Índia.

PERFIL

Diplomat en Arquitectura Tècnica. Vinculat a Enginyeria Sense Fronteres (ESF) des de l'any 2005, va realitzar el projecte final de carrera amb ESF a l'Índia sota el títol Estudi dels materials emprats per la Fundació Vicenç Ferrer a Anantapur (Índia) en les seves construccions i els processos patològics que pateixen (de qualitat i durabilitat). Participant en el Programa de Coneixement de la Realitat (PCR) un pla d'estada formativa i pràctica a països del Sud impulsat per ESF. Va realitzar estades a Nicaragua l'any 2008 i també a El Salvador aquest any 2010.

QUÈ ÉS ENGINYERIA SENSE FRONTERES

Enginyeria Sense Fronteres (ESF) és una Organització No governamental (ONG), però sobretot una associació formada per persones voluntàries de diferent formació (enginyeria, professorat, periodisme, arquitectura, biologia, etc.). Realitza campanyes de sensibilització a tot Espanya en xarxa amb altres ONGD i també projectes de cooperació per al desenvolupament en països empobrits, principalment en l'àrea de l'aigua i el sanejament. La seu de Balears forma part de la Federació espanyola d'Enginyeria Sense Fronteres. Actualment, un representant d'Enginyeria ocupa la presidència de la Coordinadora Estatal d'ONG d'Espanya.

QUÈ ÉS EL VOLUNTARIAT A ENGINYERIA SENSE FRONTERES

Dins el món de la cooperació, ESF te la particularitat de la tasca que realitza el seu voluntariat, ja que els voluntaris són

els encarregats de gestionar directament els projectes de l'associació, amb el suport del personal contractat. Aquests s'encarreguen del seguiment dels projectes, des de les relacions amb la contrapart, el seguiment econòmic, o la formació dels participants en el Programa de coneixement de realitat d'estada formativa i en pràctiques.

Uneix-te a ESF! Escriu a informacio@illesbalears.isf.es
Més informació a <http://illesbalears.isf.es>
Associació d'Enginyeria Sense Fronteres Illes Balears
Avda. Comte Sallent, 4, 1er C
07003 Palma
Tel. 971 576 427

ENTREVISTA

Com creus que un tècnic pot contribuir a treballar per a millorar les opcions de la gent empobrida?
Mitjançant la tècnica, podem col·laborar per optimitzar els recursos de la gent que menys té, tant els seus propis com els de l'ajuda externa, per aconseguir cobrir les necessitats bàsiques de tot ésser humà, ja sigui proporcionant l'accés a l'aigua potable, la millora de la producció de les collites o la construcció d'una vivenda durable i de qualitat.

- Què t'han aportat, a nivell personal i professional, aquestes experiències?

A contextos tan diferents aprens noves maneres de fer les coses dins la teva professió, alternatives adaptades a realitats socials i climatològiques totalment distintes a les del nostre país. Això t'obre mires i t'ensenya a espavilar -te. A títol personal, la sensació que es té en fer feina per un objectiu pel qual un creu per mi és insuperable. A més treballar en un altre país amb la gent d'allà com a companys, et dona una visió molt propera de la manera de viure que es té, la seva cultura, tradicions, religions i visions polítiques. Tots aquests aprenentatges m'han fet madurar molt i créixer com a persona.

En general, m'ha donat un altre punt de vista per valorar la situació d'aquí, però també per ser crític, tant en el que es refereix als mètodes constructius com a la societat de la que som part.

- En el teu projecte final de carrera declares que et vols dedicar

professionalment al món de la cooperació al desenvolupament.

- Has treballat a Mallorca? Diferències entre les dues feines. Si, fa ja uns anys que col·laboro amb ESF i també que treballo a Mallorca. Ara ja som part de la junta directiva i tot!

La feina aquí és més sacrificada perquè, en ser voluntària, l'has de compaginar amb el teu dia a dia: amb la feina remunerada, els estudis, etc. I és clar que no té l'al·licient de conèixer un altre país, les seves gentes i l'experiència que aporta. Però si que implica conèixer i treballar amb gent interessant amb la que comparteixes idees.

De totes maneres, el més important és que l'objectiu pel qual fas feina, sigui aquí o allà, sigui, com és el nostre cas, aconseguir una societat més justa. A l'era de la globalització, les solucions als problemes d'allà poden estar aquí. Cal prestar suport material o tècnic per que la gent dels països empobrits pugui tenir una vida digna, però també ser conscients que si nosaltres, la gent dels països rics, no fem un canvi en els nostres hàbits de consum i de la nostra manera de viure, no avançarem cap al nostre objectiu de transformació i no deixarà d'ampliar-se l'esclatxa entre rics i pobres.

- Com ha estat l'experiència de treballar amb enginyers/es de països empobrits?

És tremendament enriquidor, tant professional com personalment. Molta gent del meu voltant pensa que des d'ESF anam a un país empobrit a ensenyar com es fan les coses perquè allà no en saben i això no pot estar més allunyat de la realitat. És un intercanvi mutu de coneixements que s'intenta fer fructificar en millors solucions tècniques als problemes que dificulten el desenvolupament humà. Puc assegurar, moltes experiències en el món de la cooperació m'avalen, que si el projecte es dissenya unilateralment sense enginyers locals, tindria moltes probabilitats de fracassar.

- Què és per tu el voluntariat?

El voluntariat és el temps que es dedica a fer el que un vol, no? Vull dir, a la feina et fan fer alguna per diners i a l'escola per aprovar. El voluntariat et permet treballar pels teus ideals. Pareix que molta gent se sent atreta per això de les ONGs per que es viatja a països exòtics, quan la realitat no és així i el realment important són les ganes de transformar la societat. En els projectes de cooperació al desenvolupament a països empobrits, a ESF Illes Balears sempre contam amb un soci, una associació local, que és qui executa directament les activitats del projecte. Normalment, només es contemplen visites al terreny per part de personal d'ESF per fer formació o rebre'n (com és el cas de les estades formatives dels PCR). La nostra feina està aquí, fent el seguiment, de contacte amb la institució donant i oferint suport tècnic.

I en les campanyes d'educació i sensibilització, que és l'altra línia de treball de l'associació en igual grau d'importància que el treball al Sud, la feina es realitza íntegrament al nostre país.

- Per què creus que és important fer sensibilització al Nord?

Pens que és imprescindible per aconseguir una societat global més justa. La pobresa en els països empobrits és una conseqüència de l'explotació constant que fem des dels països del Nord. Més concretament, a causa dels nostres hàbits de consum com a ciutadans i de la visió que tenim de les interrelacions Nord-Sud. Això és un fet que molta gent nega o no vol creure.

Mitjançant la sensibilització, volem obrir els ulls a la gent en aquest aspecte, ja que prendre consciència d'un problema és el primer pas per començar a solucionar-lo.



WiMAX

Fernando González Rubio, Jaume del Olmo Alòs

Tercer Curs d'Enginyeria Tècnica en Telecomunicacions, Especialitat Telemàtica

f_gonzalez_r@yahoo.es

jaume.doa@gmail.com

Resum—Aquest document pretén donar una visió general i actual de la tecnologia de comunicacions inalàmbriques WiMAX aportant informació sobre les seves principals característiques (arquitectura de xarxa, arquitectura de protocols, aspectes ràdio...) i les seves aplicacions. Es dedicarà més atenció en entendre el funcionament de WiMAX i no tant als detalls tècnics que pugui utilitzar, com OFDM, MIMO..., ja que aquests no són exclusius de WiMAX i actualment es disposa de molta informació sobre aquests. També es dedicarà un espai comparatiu d'aquesta tecnologia enfront a altres tecnologies inalàmbriques com puguin ser Wi-Fi, 3G o 4G.

I. INTRODUCCIÓ

WiMAX (*Wireless Interoperability for Microwave Access*) és un estàndard ràdio d'última generació, basat amb la família d'estàndards IEEE 802.16 i ETSI HiperMAN, que pretén disposar de les especificacions per a xarxes d'accés metropolitanes inalàmbriques de banda ampla.

La pràctica totalitat d'empreses, operadores, entitats i organismes interessats en aquesta tecnologia, s'agrupen en l'entitat sense ànim de lucre denominada *WiMAX Forum* [1]. Aquesta té com a objectiu principal intentar impulsar una plataforma comuna de consens global i és l'únic organisme habilitat per certificar el compliment de l'estàndard i la interoperabilitat entre equipament de diferents fabricants.

WiMAX és una tecnologia que encara està evolucionant i va ser especialment dissenyat per a proveir accessos via ràdio d'alta capacitat, fixos, a distàncies inferiors a 50 Km i amb taxes de transmissió de fins a 70 Mbps. WiMAX està caracteritzat per dos estàndards: «WiMAX fix» i «WiMAX mòbil» del *WiMAX Forum*.

Les principals característiques de WiMAX són: ofereix QoS, la capa MAC suporta diferents interfícies físiques i dissenyada per a què WiMAX pugui suportar diferent tràfic (ATM, Ethernet, IPv4, IPv6, ...), ofereix seguretat a nivell de capa MAC, basat en una plataforma *all-IP*,...

II. EVOLUCIÓ DE WiMAX

WiMAX és la denominació d'una marca de referència per a productes que passen el test d'interoperabilitat dels estàndards IEEE 802.16.

L'estàndard original, l'IEEE 802.16 [2], de l'any 2001, defineix les següents característiques:

- Utilització de l'espectre radioelèctric entre 11-66 GHz que requereix llicència.
- Taxes de transmissió de fins a 134 Mbps.
- Ample de banda de canal de fins a 28 MHz.
- Modulació adaptativa *single carrier* (QPSK, 16-QAM, 64-QAM).

- Cobertura entre 1,5 i 5 km.
- Necessària visió directa entre emissor i receptor (*LOS - Line of Sight*).

L'IEEE 802.16a, de l'any 2003, afegeix suport per a les comunicacions en el rang de 2 a 11 GHz on hi ha bandes que no requereixen llicència. A més, permet comunicacions on no és necessària la visió directa entre emissor i receptor (*NLOS - Non Line of Sight*).

Posteriorment, a l'any 2004, apareix l'IEEE 802.16d [3]. «WiMAX fixe» neix a partir d'aquest estàndard i significa la primera implementació de WiMAX. Les principals característiques són:

- Ús de bandes en 3,5, 5,4 i 5,8 GHz.
- Ample de banda de canal de fins a 20 MHz.
- Taxes de fins a 75 Mbps.
- Utilització de la modulació OFDM amb 256 portadores, a més de les *single carriers* QPSK, 16-QAM i 64-QAM.
- No necessària visió directa entre emissor i receptor.
- Ús fix, tant en interiors com en exteriors.
- Cobertura fins a 45 km.

Finalment, a l'any 2005, es publica l'IEEE 802.16e, que actualment està recollit dins l'estàndard IEEE 802.16-2009 [4], en el qual es basa «WiMAX mòbil». Aquest revisa l'anterior estàndard per a incorporar solucions de comunicacions mòbils a velocitats reduïdes. Presenta les següents característiques:

- Ús de bandes en 1,5, 2,5, 3,5 i 5,5 GHz.
- Ample de banda de canal de fins a 20 MHz i flexible.
- Taxes de fins a 15 Mbps sobre amplitud de banda típics de 5MHz.
- Utilització de modulació OFDMA amb 2048 portadores.
- Utilització de tècniques MIMO.
- No necessària visió directa entre emissor i receptor.
- Mobilitat a velocitats moderades, de fins a 150 km/h.
- Cobertures típiques fins a 5 km en situacions de completa mobilitat.

Actualment, l'estàndard més recent és l'IEEE 802.16-2009, el qual recull els fonaments en què es basa «WiMAX fixe» i «WiMAX mòbil».

Ja es comencen a fabricar els primers dispositius que suporten l'estàndard IEEE 802.16e. Els equips basats en l'estàndard del «WiMAX fixe» es veuran estancats per l'aparició de «WiMAX mòbil» ja que aquest, a més d'incorporar suport per a mobilitat, també incorpora una opció per a comunicacions fixes. Segons les previsions, «WiMAX mòbil» triomfarà a nivell d'usuari mentre que la versió fixa quedarà relegada a connexions punt a punt, de *backhaul* (per exemple, interconnexió de centres o transport de senyals Wi-Fi de *hotspots*) o

sobretot, per a proporcionar accés d'última milla, en zones poc accessibles i d'alta dispersió geogràfica, on XDSL seria una solució molt costosa. La figura 1 mostra l'evolució de la tecnologia WiMAX.

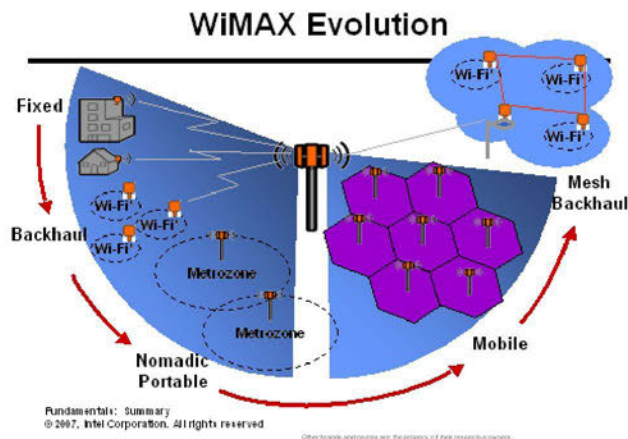


Figura 1. Evolució de la tecnologia WiMAX

III. ARQUITECTURA DE XARXA

L'arquitectura de xarxa, en WiMAX, és realment important a partir de l'estàndard IEEE 802.16e, ja que fins a aquest, WiMAX era pensat com una xarxa d'accés i per tant, per oferir servei extrem a extrem era necessària una xarxa troncal que no formava part de WiMAX.

L'arquitectura de xarxa de WiMAX està definida pel NWG (*Network Working Group*) [5] del *WiMAX Forum* que s'ocupa de la part de la xarxa no relacionada amb la interfície ràdio. Es tracta d'una arquitectura de nova generació, basada en una plataforma *all-IP*, on la idea principal es poder transportar paquets encapsulats d'informació (com *VoIP*, multimèdia, ...) a través d'Internet. Aquesta idea de plataforma *all-IP* permet una alta escalabilitat, i un cost d'implementació baix ja que la xarxa troncal WiMAX no requereix equips específics.

A. Network Reference Model (NRM)

El NWG proposà un model de referència o *NRM* (*Network Reference Model*) [6]. Es tracta d'una representació lògica de l'arquitectura de xarxa. Aquest model identifica entitats funcionals i punts de referència i tracta la seva interoperabilitat. El model està format per una sèrie d'entitats lògiques: *MS* (*Mobile Station*), *ASN* (*Access Service Network*) i *CSN* (*Connectivity Service Network*) i la interconnexió entre aquestes es realitza mitjançant els punts de referència *R1*, *R2*, *R3*, *R4*, *R5*, *R6*, *R7* i *R8*.

El proveïdor de serveis de la xarxa (*NSP*, *Network Service Provider*) és l'empresa (Ono, Iberbanda, ...) que proporciona connectivitat i serveis WiMAX als subscriptors conforme el contracte de nivell de servei acordat.

El proveïdor d'accés a la xarxa (*NAP*, *Network Access Provider*) és l'entitat comercial que posseeix i proporciona la infraestructura d'accés ràdio (estacions base, ...) a un o més

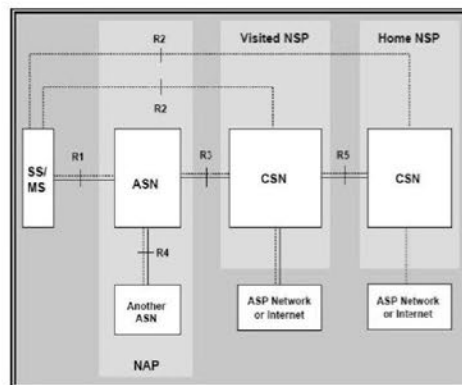


Figura 2. Representació del model de referència (NRM)

proveïdors de serveis de xarxa WiMAX (*NSP*). Els *NSP*, per a poder disposar d'una infraestructura i així proveir els serveis als subscriptors, estableixen acords amb un o més *NAPs*.

El *MS* (*Mobile Station*) proporciona connectivitat inalàmbrica entre l'estació subscriptora i la xarxa WiMAX. És a dir, és el dispositiu que utilitza l'usuari per accedir a la xarxa.

L' *ASN* és la xarxa que proporciona l'accés inalàmbric WiMAX als subscriptors i per tant, com podem observar en la figura 2, pertany a un proveïdor d'accés a la xarxa WiMAX (*NAP*). És una agregació lògica d'entitats funcionals i protocols associats amb l'accés als serveis, que serà idèntic entre tots els operadors que hagin establert un acord amb el mateix *NAP*. Les funcions de l' *ASN* es reparteixen en dues entitats físiques específiques:

- *Base Station (BS)*: Implementa les funcions de capa física i capa MAC de WiMAX (Control de potència, correcció d'errors, accés al medi dels *MS*, ...).
- *ASN Gateway (ASN-GW)*: Realitza funcions de *routing* i suporta la mobilitat *inter-ASN* i *intra-ASN*, és a dir, gestiona els *handovers*. També s'encarrega de gestionar els recursos ràdio, l'assignació dels paràmetres de qualitat de serveis (QoS) requerits, i la seguretat en les comunicacions basades en un servei *AAA* (*Authentication, Authorization, Accounting*) [7], ...

El *CSN* (*Connectivity Service Network*), és el cor de la xarxa WiMAX i com veiem a la figura 2, és propi de cada operador (*NSP*). Proporciona la connectivitat IP per a les estacions subscriptores WiMAX i assigna les direccions IP a les estacions mòbils. A més, gestiona la QoS basant-se en el contracte amb l'usuari, actua com a servidor *AAA*, s'encarrega de la tarificació dels usuaris, ...

Els punts de referència estan definits pel NWG del *WiMAX Forum* com un enllaç que connecta dos tipus de funcions que resideixen en diferents entitats funcionals de l'*ASN*, *CSN* o *MS*. Són els següents:

- *R1*: Implementa les especificacions de la interfície aire (capa PHY i capa MAC del 802.16) entre *MS* i *ASN*
- *R2*: Interfície entre *MS* i *CSN* basada en l'autenticació, serveis d'autorització, gestió de configuració IP dels *MSs* i gestió de mobilitat.
- *R3*: Interfície entre *ASN* i *CSN* que suporta el servei

AAA, l'aplicació de la política de gestió de mobilitat i proporciona mètodes per a la transmissió de dades IP entre ells.

- **R4:** Interfície entre *ASNs*. S'encarrega de coordinar la mobilitat dels usuaris que es connecten a una *BS* d'un *ASN* diferent.
- **R5:** Interfície entre *CSNs*. Consisteix en un conjunt de protocols de control per a la interconnexió entre la xarxa *CSN* on està subscrit l'usuari i la xarxa *CSN* on es troba.
- **R6:** Interfície entre *BSs* i *ASN-GW*. Consisteix en un conjunt de protocols per a gestionar la mobilitat de les estacions mòbils dins un mateix *ASN*. També serveix com un conducte de transferència d'informació d'estats MAC entre *BSs* veïnes.
- **R7:** Conjunt de protocols de control opcionals per a la coordinació de les funcions de *R6*.
- **R8:** Interfície entre *ASNs*. La interfície està formada per un conjunt de missatges de control entre *BSs* per a garantir el *handover*.

B. Tipus d'accés

WiMAX suporta comunicacions per accés Fix, Nòmada, Portable i Mòbil. Per a complir amb els requisits dels diferents tipus d'accés, les aplicacions per a accés fix i nòmada es despleguen baix l'estàndard 802.16d, mentre que les aplicacions portables y mòbils ho fan baix el 802.16e. A la figura 1 es pot observar les aplicacions segons el tipus d'accés WiMAX.

C. Topologia de Xarxa

Existeixen tres topologies de xarxa típiques en WiMAX.

- **Punt a Punt:** Útil per connectar dues infraestructures o com a *backhaul* de xarxes. Caracteritzada per utilitzar antenes directives i d'alta ganància.
- **Punt a Multipunt:** Connecta un node comú (*BS*), que té una antena omnidireccional (o antenes sectoritzades), amb els terminals (els terminals poden ser els usuaris finals o usuaris intermedis WiMAX que proporcionen accés a altres dispositius WiFi, ethernet, ...). Si es tracta d'una comunicació fixa, aquesta topologia és útil per oferir servei d'última milla en entorns laborals, llocs de poca dispersió geogràfica, ... En comunicacions mòbils, aquesta estructura es repeteix formant una topologia cel·lular.
- **Topologia Mesh o Mallada:** Les xarxes tipus *mesh* són xarxes relativament recents, com podem observar en la figura 1. La idea d'aquesta topologia és que els nodes d'usuari estan connectats entre ells mitjançant l'enviament de missatges de baixa potència i no necessiten obligatòriament un node comú per on passa tota la informació transmesa. Aquestes xarxes aprenen automàticament i permeten configuracions en camins dinàmics i adaptar-se a canvis de topologia. Una altra característica important, és que si un node no es troba en una zona de cobertura d'una *BS*, pot transmetre i rebre informació mitjançant l'ajuda d'un node veí que es troba en zona de cobertura. Són un tipus de xarxes pensades per aplicacions fixes i/o nòmades.

IV. ARQUITECTURA DE PROTOCOLS

Els estàndards IEEE 802.16d/e defineixen la capa física i la capa MAC de WiMAX. A la figura 3 s'observa l'estructura de l'arquitectura de protocols.

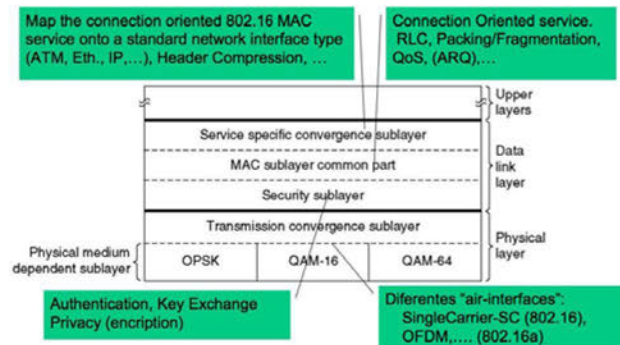


Figura 3. Estructura de l'arquitectura de protocols de WiMAX

A. Capa Física

WiMAX utilitza modulació adaptativa en funció de l'estat del canal. La primera subcapa física defineix les diferents modulacions que suporta WiMAX en funció de la *SNR*, per exemple, per a *SNR* petites utilitzarà *BPSK*, en canvi, quan sigui elevada podrà utilitzar *64-QAM*.

La codificació de canal també és adaptativa. Els codis *FEC* (Codis Bloc, Codis Convulucionals i Entrellaçat) utilitzats dependran de l'hostilitat del canal ràdio.

La *Transmission Convergence Sublayer* defineix diferents interfícies ràdio que s'adapten a diferents situacions d'ús de WiMAX. Aquestes interfícies són:

1) *WirelessMAN-SingleCarrier*: Útil per a la posada en pràctica del primer IEEE 802.16. Definit per aplicacions *LOS* punt-a-punt a bandes entre 10-66 GHz. Només utilitza una portadora, canals de 28 MHz i taxes de fins a 134 Mbps i usa *TDD* o *FDD* com a tècniques de duplexació (en el cas de *FDD* permet tant comunicacions *full duplex* com *half duplex*, ...). El protocol d'accés al medi dels usuaris en aquesta interfície és *TDMA*.

2) *WirelessMAN-SingleCarrier.a*: Útil per a posada en pràctica de l'estàndard 802.16a. Definit per aplicacions *NLOS* punt-a-punt o punt-a-multipunt a bandes entre 2-11 GHz. Pràcticament és com l'anterior interfície adaptada a situacions on no hi ha visió directa (per exemple, utilitza codis *FEC* més robusts). En aquest cas s'arriben a taxes de fins a 36 Mbps.

3) *WirelessMAN-OFDM*: Útil per a l'estàndard 802.16d. Definit per aplicacions *NLOS* a bandes entre 2-11 GHz. Utilitza la tècnica de modulació *OFDM* (*Orthogonal Frequency Division Multiple*) amb 256 portadores, a més de les modulacions simples anteriors. En *OFDM* la informació d'un *MS* es transmet en múltiples portadores i permet solucionar de manera eficient els efectes de la propagació múlticamí. Permet taxes de fins a 74 Mbps en canals de 20 MHz i utilitza *TDD* i *TDMA*.

4) *WirelessMAN-OFDMA*: Interfície dissenyada per a la posada en marxa de l'estàndard IEEE 802.16e. Definit per aplicacions en mobilitat i d'accés portable a bandes entre 2-11 GHz. Utilitza OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Acces*) amb 2048 portadores. OFDMA és similar a OFDM, però les portadores es distribueixen també entre diferents usuaris i d'aquesta manera es pot dividir el canal. Duplexació TDD i suporta taxes de fins a 15 Mbps en canals de 20 MHz en situacions de mobilitat.

B. Capa MAC

La capa MAC de WiMAX consta de tres subcapes.

1) *Subcapa de Seguretat*: Basat en un servei AAA. Implementa tècniques d'autenticació, autorització i xifratge. L'autenticació pot ser unilateral (*BS* autentifica un *MS*) o mútua (existeix l'autenticació d'ambdues parts) i es realitza mitjançant un protocol d'intercanvi de clau pública, *PKM (Privacy Key Management)* [8] que permet generar claus de xifratge. L'autorització es realitza després de l'autenticació i consisteix en l'autorització dels *MS* per part de la *BS*. Finalment, mitjançant les claus obtingudes durant el procés d'autenticació, es poden xifrar les dades de trànsit entre *BS* i *MS*.

2) *Subcapa comuna de la capa MAC*: Defineix una capa MAC orientada a connexió. Cada *MS* té una direcció física de 48 bits que només utilitza en el procés de connexió amb la *BS*. Un cop connectat, cada connexió té un identificador *CID (Connection Identifier)* de 16 bits, i cada identificador està associat a un *SFID (Service Flow ID)* que determina els paràmetres de QoS necessaris per a aquesta connexió. A la taula I es pot observar el tipus de tràfic que suporta WiMAX.

Taula I
QOS QUE OFEREIX LA CAPA MAC DE WiMAX

Servei	Característiques	Ús	Paràmetres de QoS
<i>UGS</i>	Temps real	VoIP	Taxa de tràfic màxima
	Long. paquets fixa Transmissió periòdica		Latència màxima Jitter màxim
<i>rtPS</i>	Temps real	MPEG	Taxa de tràfic mínima
	Long. paquets variable Transmissió periòdica		Taxa de tràfic màxima Latència màxima
<i>nrtPS</i>	No temps real	FTP	Taxa de tràfic mínima
	Long. paquets variable Toleren retràs		Taxa de tràfic màxima Prioritat de tràfic
<i>Best Effort</i>	No temps real	WEB	Taxa de tràfic màxima
	Long. paquets variable No requereix servei mínim		Prioritat de tràfic

3) *Subcapa de Convergència*: Permet que la capa MAC de WiMAX pugui suportar múltiples protocols de capes superiors (ATM, IPv4, IPv6, Ethernet,...). La seva funció és, doncs, mantenir la QoS de les capes superiors i adaptar-les als diferents tràfics que suporta WiMAX.

V. WiMAX VS ALTRES TECNOLOGIES

Existeixen moltes iniciatives municipals i locals per a donar connectivitat mitjançant WiFi a zones urbanes determinades i en zones disperses i d'entorn rural. WiMAX fix i nòmada serien solucions més eficients per aquests tipus d'aplicacions ja que permet taxes de transmissió superiors, i a més, mentre

WiFi és capaç de donar cobertura de 300 m amb transmissors d'alta potència, WiMAX pot arribar fins a 30 km.

WiMAX és molt semblant a HSPA i EV-DO, així i tot, conta amb una avantatge molt important: la facilitat del desplegament d'una xarxa. WiMAX es capaç de desplegar una xarxa en una localització aïllada, en la que un desplegament 3G no seria de rentabilitat econòmica. Finalment, dir que WiMAX pot oferir taxes de transmissió superiors que 3G.

LTE i WiMAX comparteixen moltes de les característiques de les capes inferiors. La major diferència entre ambdues tecnologies és la fase de desenvolupament en que es troben, WiMAX es troba amb dos anys d'avantatge. Els grans precursors de WiMAX (Intel, Motorola, Cisco, Samsung,...) defensen que aquest permet molta més versatilitat en els models de negoci que no pas LTE.

VI. CONCLUSIONS

En aquest article s'ha intentat exposar, d'una manera breu i clara i sense entrar en molts de detalls tècnics, el funcionament i l'evolució de la tecnologia WiMAX.

Aquesta encara és una tecnologia en desenvolupament que es pot utilitzar en molts d'escenaris, aspecte que el col·loca en una molt bona situació comercial de cara al futur.

A més, el fet de tractar-se d'un model *all IP* permet un cost de desplegament molt baix i una gran facilitat per adaptar-se a molts entorns.

Mentre «WiMAX Fix» ja és utilitzat per a proporcionar accés d'última milla d'alta velocitat a zones d'alta dispersió geogràfica, com a *backhaul* de xarxes,..., «WiMAX Mòbil» intenta prestar cobertura en zones on no arriba 3G i manté una lluita amb LTE per a convertir-se en el nou estàndard de l'anomenada 4G.

REFERÈNCIES

- [1] Plana web del *Wimax Forum*. <http://wimaxforum.org>
- [2] IEEE 802.16-2001, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," Apr. 8, 2002. Disponible: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2001.pdf>
- [3] IEEE 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," Oct. 1, 2004. Disponible: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>
- [4] IEEE 802.16-2009, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", Oct. 1, 2004. Disponible: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2009.pdf>
- [5] *Network Working Group del WiMAX Forum*. Disponible: <http://www.wimaxforum.org/about/network-working-group-nwg>
- [6] "WiMAX Forum Network Architecture (Stage 2: Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points) - Part 1", Feb. 3, 2009. Disponible: http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2009/07/WMF-T32-002-R010v04_Network-Stage2-Part1_2_0.pdf
- [7] Informació sobre un Servei AAA. Disponible: http://en.wikipedia.org/wiki/AAA_protocol
- [8] Jeff Mandin, "802.16e Privacy Key Management (PKM) version 2", Jul. 8, 2004. Disponible: http://www.ieee802.org/16/tge/contrib/C80216e-04_131r1.pdf

Assinatura de Xarxes de Comunicacions Mòbils impartida pel professor Jaume Ramis Bibiloni.

Transistores FinFET

Mas Boned, Fco. De Borja; García Moreno, Eugenio

Departament de física, Universitat de les Illes Balears
Ctra. de Valldemossa, km 7.5. Palma de Mallorca (Illes Balears)

fcobm@msn.com - www.uib.es/

Resumen — El presente artículo pretende dar a conocer los dispositivos FinFET, que ventajas presenta su estructura frente a los dispositivos MOS clásicos, cual es el estado del arte actual y finalmente, cual es el impacto de este tipo de transistor en el mercado.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la invención del circuito integrado, en 1958, ingenieros e investigadores de todo el mundo han trabajado en cómo aumentar la velocidad y el rendimiento en los circuitos integrados. La industria de semiconductores ha evolucionado de manera extraordinaria, especialmente en lo que concierne a la tecnología MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor).

La trayectoria ha sido el crecimiento exponencial del número de dispositivos por circuito integrado o chip siguiendo la conocida Ley de Moore. Esta ley fue formulada por el fundador de Intel Gordon Moore predice que el número máximo de transistores que pueden incorporarse en cada chip se duplica cada año y medio (ver Fig.1). Este hecho se traduce en una mayor capacidad de computación que, en última instancia, termina convirtiéndose en mayores prestaciones en los dispositivos fabricados para el usuario final.

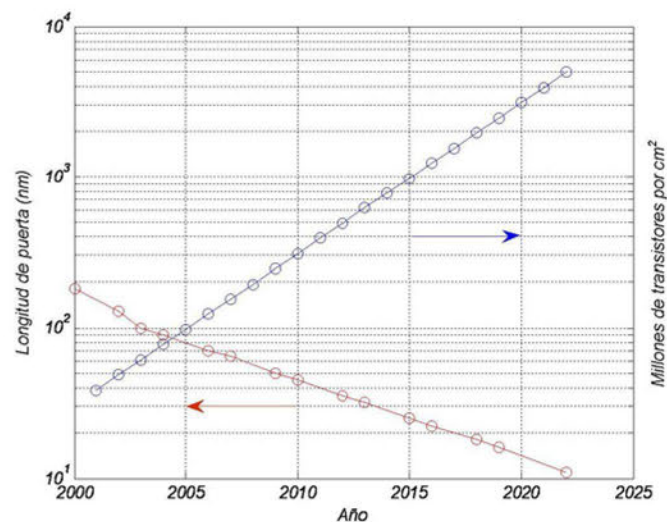


Fig. 1 Longitud de puerta en función del número de transistores.

El crecimiento del número de transistores por chip se ha conseguido tanto aumentando la superficie de cada chip, como disminuyendo el tamaño de cada transistor. Pero ha sido principalmente la disminución de los tamaños de los dispositivos lo que ha permitido conseguir una capacidad mayor de transistores por chip. Así las dimensiones de los transistores se escalan a un ritmo de aproximadamente 0,7 veces cada 18 meses (ver Fig.1). No obstante, a medida que la tecnología se va acercando a escalas próximas a las decenas de nanómetros los investigadores se encuentran con barreras tecnológicas de dificultad creciente, relacionadas tanto con propia fabricación del dispositivo como con sus características eléctricas. En relación a la fabricación cabe mencionar la dificultad de dibujar sobre la oblea de silicio líneas con anchuras de decenas de nanómetros. De todas las dificultades relacionadas con las características eléctricas cabe destacar el progresivo incremento del consumo de corriente cuando el chip está inactivo

Estos inconvenientes pueden frenar el ritmo de reducción del tamaño de los dispositivos en los circuitos integrados en un futuro próximo. O incluso pararlo, ya que los límites del proceso son inminentes.

En este trabajo vamos a comentar primero algunas limitaciones debidas a las características eléctricas de los dispositivos MOSFET y después comentaremos una nueva estructura de dispositivo conocida como FinFET, que permite avanzar un paso más en la carrera hacia la reducción del tamaño

II. ESCALADO DE LOS DIPOSITIVOS MOSFET

Para reducir el tamaño de los dispositivos el factor primordial a tener en cuenta es que el campo eléctrico debe mantenerse constante, por debajo de los límites de ruptura. Puesto que el campo eléctrico es el cociente entre la tensión y la distancia, las tensiones y en particular la tensión de alimentación, deben reducirse proporcionalmente a las dimensiones. Pero la disminución de la tensión de alimentación tiene unos límites, porque, por ejemplo, los márgenes de ruido se reducen.

Otro problema relacionado con la disminución de la tensión de alimentación es que obliga a aumentar la tensión del control de la puerta sobre el estado del canal entre fuente y

drenador. La carga de portadores en el canal depende del producto de la tensión puerta-canal por la capacidad de puerta, si las tensiones se reducen es necesario aumentar la capacidad de puerta. Puesto que esa capacidad es inversamente proporcional al espesor del óxido de puerta es necesario reducirlo. Conforme el espesor del óxido se reduce, la corriente de fugas a través de él por efecto túnel aumenta exponencialmente, debido a ello puede que no sea posible emplear capas de SiO_2 por debajo de 1,2 nm [6]. La corriente de túnel sería tan elevada que causaría una disipación de potencia inaceptable. La única solución es sustituir el óxido de silicio por otros materiales aislantes de alta constante dieléctrica, particularmente de algunos óxidos metálicos como Ta_2O_5 , Al_2O_3 , TiO_2 , HfO_2 , etc...

Pero la limitación definitiva a la reducción del tamaño del transistor según [1] podría venir impuesta por la corriente de fugas entre fuente y drenador cuando el dispositivo está en corte. Esta corriente es responsable del aumento en el consumo de potencia estática, pero también limita su funcionamiento dinámico puesto que obliga a refrescar la información contenida en las memorias con mayor frecuencia. El problema es grave porque la corriente de un transistor MOSFET en estado de corte, es decir, con tensión de puerta inferior al umbral de conducción, depende exponencialmente con la tensión de puerta. Por consiguiente si el margen de tensión entre los estados de corte y conducción se reduce linealmente la relación entre las corrientes de corte y de conducción disminuye exponencialmente.

Por estos motivos, se investigan nuevas estructuras CMOS para reducir la longitud del canal por debajo de 45nm. La filosofía de estas nuevas estructuras es conseguir un mayor control de la puerta sobre el canal. Los transistores de capa fina (TFTs) son uno de los candidatos más populares. Su estructura es similar a la de un MOS convencional pero se crea una capa de SiO_2 entre el sustrato del dispositivo, muy delgado, y el resto de la oblea de Si con lo que el canal se halla entre dos capas de óxido. Otra alternativa más eficiente es el MOSFET de doble puerta (DGFET) donde canal se halla también contenido entre dos capas de óxido, sólo que aquí se colocan dos electrodos de puerta, uno sobre cada capa de óxido. Entre las diversas configuraciones de dispositivos en la familia de DGFET, encontramos la estructura FinFET que se puede fabricar de forma similar a la CMOS convencional, por lo que la convierte en una de las principales candidatas para la próxima generación de MOSFET.

III. ESTRUCTURA Y FABRICACIÓN DEL FINFET

El transistor FinFET consiste básicamente en la estructura que se muestra en la Fig.2, un MOSFET de doble puerta construido sobre un sustrato SOI, donde la puerta se coloca a los dos, tres o cuatro lados del canal, envolviendo a este formando así una estructura de doble puerta. Estos

dispositivos reciben el nombre genérico "finfets" porque la capa de silicio activa entre el drenador y el surtidor tiene forma de "fin" proveniente de finger, del inglés dedo.

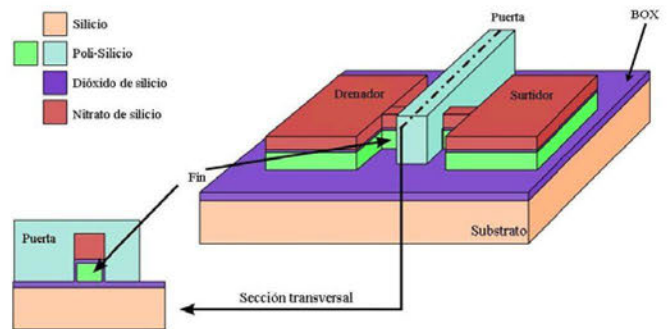


Fig. 2 Estructura básica.

Por medio de la Fig.3 explica el proceso de fabricación de un FinFET paso a paso, mostrando así como se construye la estructura del dispositivo.

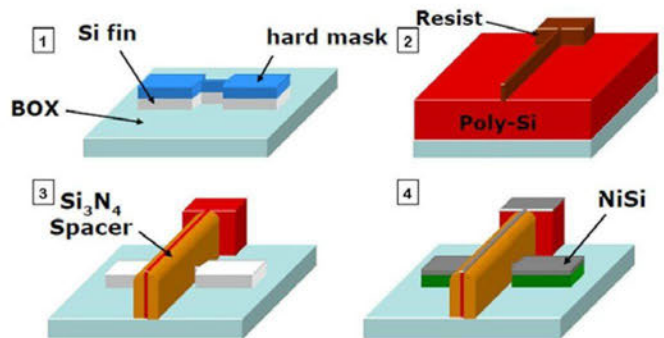


Fig. 3 Proceso de fabricación del FinFET.

Una estructura tipo SOI (Silicon On Insulator) se presenta como una tecnología de fabricación en la que se sustituye el sustrato tradicional de fabricación de obleas de silicio monocristalino, por un sándwich de capas de semiconductor-aislante-semiconductor. Los materiales utilizados son silicio-óxido aislante (BOX)-óxido de silicio. Sobre la capa de silicio se coloca una máscara foto-resistiva con la se marcará el patrón del fin. Una vez marcado el patrón se procede a eliminar el material sobrante. Hasta este punto es lo que se puede observar en el primer paso de la Fig.3. A continuación el material conductor de puerta se deposita sobre el fin, este puede tratarse de polisilicio, un metal refractario o compuestos como el nitrato de titanio (Fig.3.2). El procedimiento para la definición de la puerta es similar que para la definición del fin, se aplica una máscara resistiva que marque el patrón de la forma y con un posterior procedimiento de limpieza del material sobrante. A continuación, una vez terminada la fase de *etching* (o limpieza) de puerta, para aumentar la constante dieléctrica entre drenador y surtidor debido a la poca distancia entre ellos, se deposita a lo largo de

ambas paredes de la puerta un material aislante como pueda ser el nitruro de silicio o dióxido de silicio, lo que se denomina en la Fig.3.3 “spacer”. Finalmente, la ultima de las fases, trate de colocar los contactos metálicos sobre cada uno de los contactos del transistor, puerta, drenador, surtidor substrato, Fig.3.4.

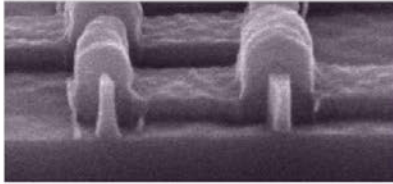


Fig. 4 FinFETs

En la figuras Fig.4 y Fig.5, pueden apreciarse con mayor detalle cada una de las partes que conforman la estructura del transistor FinFET, quedando más claro el concepto de “fin” y el resto de sus componentes (drenador, surtidor y la doble puerta).

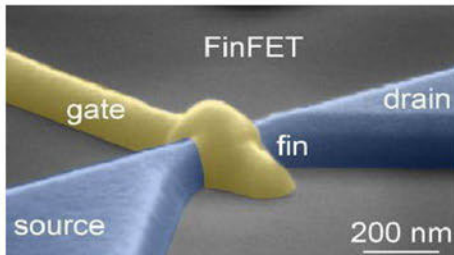


Fig. 5 Partes del FinFET.

Hasta el momento los FinFET’s mostrados se caracterizan por tener un solo Fin, no obstante existen otras estructuras cuyo número de Fin’s es superior, tal y como se puede observar en la Fig.6.

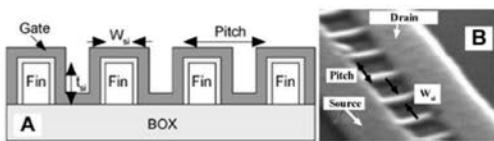


Fig. 6 A: Sección transversal de un FinFET con múltiples Fin’s. B: Imagen de un FinFET con varios Fin’s.

La idea de la utilización de varios Fin’s en paralelo, es que reduce la resistencia parásita, consiguiendo así una mejora sustancial en el transistor, ya que permite un incremento en la corriente que pasa por el dispositivo.

La Fig.7 muestra la característica eléctrica de un transistor FinFET de con una longitud de canal de 15nm. La corriente de

drenador se indica en función de la anchura del canal, o sea del número de Fin’s en paralelo. Como podemos observar son muy similares a las de un MOSFET convencional, se pueden apreciar las mismas regiones en las que puede operar cualquier transistor MOS: la zona de corte, la zona lineal y la zona de saturación. Cabe destacar que la tensión máxima de utilización está limitada a 0.8V por lo que el valor de la tensión umbral se ha fijado a 0.196V.

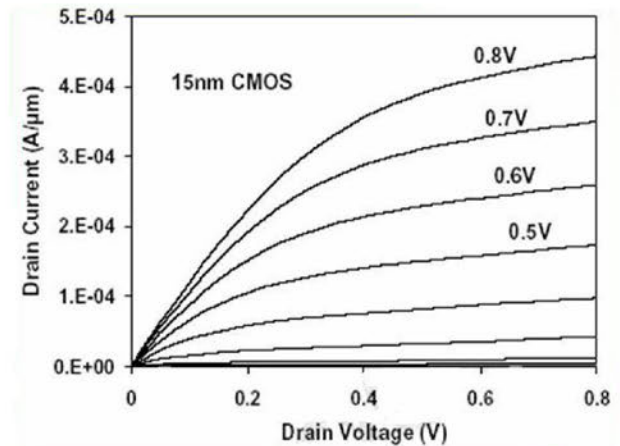


Fig. 7 Curvas características para un transistor FinFET de 15nm de canal y un voltaje umbral (V_{th}) de 0.196 V.

IV. ESTADO DEL ARTE

Debido a la capacidad de superar las limitaciones de la tecnología MOSFET convencional en el proceso de escalabilidad, puede entenderse con facilidad que los dispositivos FinFET se conviertan en la próxima generación de transistores en tecnología CMOS. La compañía Freescale Semiconductor, en cooperación con la Universidad de Florida, Estados Unidos, fue la percusora de este tipo de este nuevo concepto de tecnología en 3D creando, en 2005, el primer prototipo de transistor Finfet.

En el campo analógico, los transistores FinFET desempeñan sus funciones de manera eficaz en circuitos como amplificadores de potencia y en otros tipos de aplicaciones donde se requiere una buena linealidad. De corroborar esto se han encargado empresas como IMEC, centro de investigación en nanoelectrónica y nanotecnología. IMEC ha demostrado las expectativas de los FinFET realizando los primeros circuitos de radiofrecuencia y amplificadores operacionales utilizando FinFETs con longitudes de canal de 45nm. Para aplicaciones en las frecuencias relativamente bajas (por debajo de 5 GHz) la tecnología FinFET ofrece un mejor rendimiento de circuito que la mayor parte transistores convencionales. No obstante todavía debe mejorarse la velocidad de operación de estos dispositivos para aplicaciones donde se necesiten frecuencias de operación superiores.

En lo que concierne al campo de la electrónica digital, varias empresas han conseguido hacer uso de este tipo de transistores, incorporándolos en la nueva generación de diseño de circuitos integrados. Un ejemplo claro se presenta a día de 16 de diciembre de 2008, donde, Toshiba, IBM, y AMD anunciaron que, conjuntamente, habían sido capaces de desarrollar una memoria estática de acceso aleatorio (o SRAM) con una celda que tiene una superficie de tan solo 0.128 micras cuadradas (μm^2), convirtiéndose así en la celda de memoria más pequeña del mundo mediante el uso de transistores FinFET (o fin-shaped Field Effect Transistors).

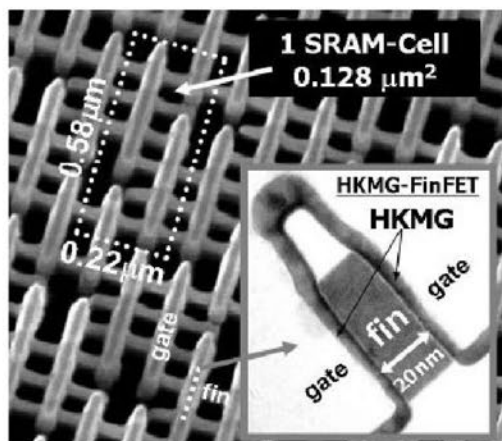


Fig. 8 Parte del diseño de una memoria SRAM con transistores FinFET.

V. CONCLUSIONES

El futuro de la tecnología MOS tal y como la conocemos esta llegando a su limite y se deben buscar nuevas alternativas y estructuras radicalmente distintas que nos permitan seguir con la trayectoria de escalado estipulada por la ley de Moore. Los transistores FinFET parecen ser los candidatos más adecuados para sustituir a los actuales transistores MOS en la próxima década. La estructura FinFET es capaz de evitar las limitaciones al escalado que presenta la tecnología actual sin la necesidad de tener que modificar de forma excesiva el proceso de fabricación.

REFERENCIAS

- [1] Jean-Pierre Colinge, "FinFETs and Other Multi-Gate Transistors", Ed Springer 2008.
- [2] Jong-Ho, "Fabrication and Characterization of bulk FinFETs for Future Nano-Scale CMOS Technolog".
- [3] J. Wang, C. Hutchens, J. Popp, J. Rowland and Y. Zhang J. Wang, C. Hutchens, J. Popp, J. Rowland and Y. Zhang , "High-frequency FinFET model".
- [4] Matthew Muh, Professor Ali M. Niknejad, "Application of FinFET Technology to Analog/RF Circuits".
- [5] Matthew Muh, Professor Ali M. Niknejad, "Application of FinFET Technology to Analog/RF Circuits".
- [6] Mohamed R. Rahman, "Desing and Fabrication of Tri-Gated FinFET", 22nd Annual Microelectronic Engineering Conference, May 2004.
- [7] International Roadmap For Femiconductor Reports and Ordening Information 2000 to 2007 editions (www.itrs.net).
- [8] Unitet States Patent, n^o: US US6413802
- [9] Unitet States Patent, n^o: US7470629
- [10] Otras Direcciones Web:
http://www.ieee.org/portal/site/sscs/menuitem.f07ee9e3b2a01d06bb9305765bac26c8/index.jsp?&pName=sscs_level1_article&TheCat=6010&path=sscs/07Winter&file=Bohr.xml
- [11] <http://www.globalsmt.net/content/view/1134/114/>

Wireless Mesh Networks

Beatriz Gómez Suárez, Javier Maimó Quetglas, Juan Merideño García

*Enginyeria Informàtica
Universitat de les Illes Balears*

Resumen — **Wireless mesh networks (WMNs) han surgido como una nueva tecnología de redes inalámbricas. Debido a sus ventajas sobre otras redes inalámbricas, WMNs han evolucionado rápidamente y actualmente existen numerosos proyectos de aplicación. Sin embargo, existen diversos problemas técnicos que están siendo sometidos a estudios y búsquedas de investigación. Para poder dar a conocer esta tecnología así como sus características, este artículo presenta una descripción detallada de la estructura de las WMNs y una explicación de los diversos protocolos sobre los que se asienta.**

I. INTRODUCCIÓN

Las redes mesh, redes acopladas, o redes de malla inalámbricas de infraestructura, unen las dos topologías de las redes inalámbricas: la topología ad-hoc y la topología infraestructura. Estas redes se auto-organizan y auto-configuran dinámicamente con los nodos de la red, estableciendo automáticamente una red ad-hoc y manteniendo la conexión. Las WMNs (Wireless Mesh Networks) están formadas por dos tipos de nodos: los routers mesh y los clientes mesh. Además de las funciones propias de un router wireless convencional, el router mesh contiene funciones adicionales para soportar la infraestructura mesh. Gracias al sistema de comunicaciones multi-hop, se puede conseguir la misma cobertura con menos energía de transmisión. Los routers mesh permiten unir a la red dispositivos que a pesar de estar fuera del rango de cobertura de los puntos de acceso (PA), están dentro del rango de cobertura de alguna tarjeta de red que directa o indirectamente está dentro del rango de cobertura de un punto de acceso de la red [1]. Para mejorar la flexibilidad de la red mesh, un router mesh contiene múltiples interfaces wireless basados en la propia tecnología inalámbrica. A pesar de estas pequeñas diferencias, los routers mesh están contruidos sobre un hardware similar al de cualquier router.

Los routers mesh tienen una movilidad limitada y forman el esqueleto de la red. Los clientes mesh también pueden trabajar como un router para las redes malladas, sin embargo su hardware y software son mucho más sencillos que los del router. Las tarjetas de red pueden comunicarse entre sí, independientemente del punto de acceso. Así pues, los dispositivos pueden no mandar directamente sus paquetes al punto de acceso, o router mesh, sino que pueden pasárselos a otras tarjetas de red para que lleguen a su destino. Para que esto sea posible es necesario contar con un protocolo de enrutamiento que permita transmitir la información hasta su destino con el mínimo número de saltos o con un número que aún no siendo el mínimo sea suficientemente bueno[5].

Las WMNs fueron creadas en un principio con fines militares para la interconexión de mandos, que a pesar de estar alejados estaban lo suficientemente cerca entre ellos, formando una cadena a través de la cual se transmitieran los mensajes hasta llegar a su destino [2]. Actualmente, el IEEE está desarrollando un conjunto de estándares, bajo el título 802.11s (wireless), 802.16 (WiMax) y 802.15.5 (bluetooth) para definir una arquitectura, y un protocolo de la red mesh ESS (Extended Service Set) necesario para reunir la interoperabilidad de fabricantes, ya que al no existir un estándar cada uno de ellos ha realizado sus propias investigaciones aplicadas a sus productos.

En el presente artículo explicaremos la arquitectura necesaria para llevar a cabo la conexión de las redes mesh. Presentaremos algunos de los protocolos investigados hasta la fecha y sobre qué capa trabajan. El objetivo es dar a conocer las ventajas que ofrece esta tecnología y describir aquello en lo que las investigaciones deberán profundizar. Concluirá con unas observaciones finales sobre lo expuesto.

II. ARQUITECTURA DE RED

La arquitectura de las redes mesh se puede clasificar en tres tipos[5]:

A. Infraestructura

La infraestructura está formada por los routers mesh y es el esqueleto de la red. Dichos routers realizarán las funciones de gateway, routing, etc., y permitirán la conexión a Internet. Del mismo modo interconectan todo tipo de redes inalámbricas existentes, como puede ser Wifi, WiMax, telefonía móvil,... tal como muestra la Ilustración 1. Aquellos dispositivos que tengan tecnología Ethernet se conectarán a los routers mediante la misma. Para aquellos dispositivos que utilicen la misma tecnología radio que dispongan los routers, se conectarán directamente a ellos, y si es distinta podrán hacerlo mediante sus estaciones base que a su vez utilizarán Ethernet.

B. Clientes mesh

Los clientes mesh proporcionan una conexión punto a punto entre los dispositivos además de realizar funciones básicas de red, como encaminamiento o configuración. De este modo no es necesario un router mesh. Estos clientes forman una red y sería similar a la conocida ad-hoc. Sin embargo, los clientes mesh disponen de una tecnología superior a los clientes habituales puesto que su software y hardware han de ser capaces de soportar las funciones necesarias para la conexión.

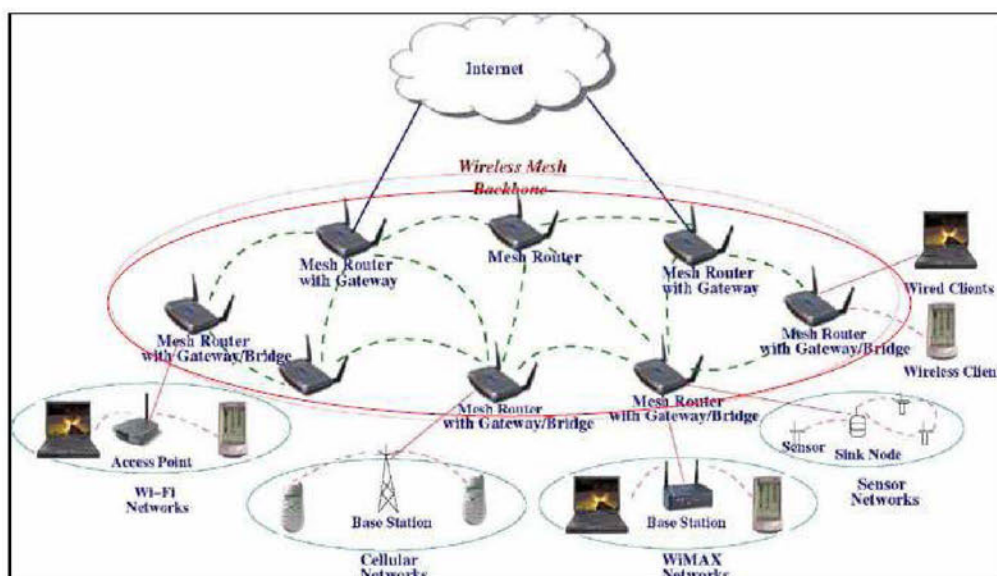


Ilustración 1: Infraestructura mesh

C. Mesh híbrido

Esta arquitectura combina la infraestructura con los clientes mesh. Los clientes mesh podrían acceder a la red a través de la red de routers o a través de otros clientes mesh aumentando así la cobertura. Además de ello, se interconectan los otros tipos de redes ya existentes como puede ser Wifi, WiMax, redes móviles, radio,... Los routers mesh tienen una movilidad reducida y están concentrados en realizar todas las tareas de encaminamiento y configuración facilitando la tarea de los clientes y otros nodos y reduciendo su trabajo. Se mantiene la tecnología multi-hop gracias a la red de routers desde la que no es necesario que todos los nodos tengan completa visión de todos los nodos existentes, sino que tan sólo es necesario visualizar los nodos cercanos.

D. Diferencias entre ad-hoc y mesh

Para que no haya confusión entre ad-hoc y mesh se detallan una serie de diferencias que diferencian estas dos tecnologías:

- 1) *Infraestructura e integración:* mientras que ad-hoc depende de sus dispositivos, mesh contiene toda una red de routers que se encargarán de la conexión además de la integración con otro tipo de redes ya existentes como se observa en la Ilustración 1.
- 2) *Routing y configuración:* si bien en ad-hoc lo realiza cada dispositivo del mismo modo que los clientes mesh gracias a la tecnología incorporada, en un tipo híbrido estas tareas las realiza en mayor parte la red de routers.
- 3) *Cobertura y movilidad:* la cobertura en mesh es mucho mayor puesto que la información viaja de un dispositivo a otro hasta alcanzar su objetivo. La movilidad depende del nodo mesh, según sea router o cliente.
- 4) *Redes:* mesh es capaz de interconectar redes distintas como podría ser wireless, WiMax, bluetooth,...

III. PROTOCOLOS

Dado que se trata de una red de topología dinámica y autoconfigurable, las rutas que se establecen entre dispositivos cambian dinámicamente, con lo cual son necesarios una serie de protocolos para transmitir los datos con un bajo coste de transmisión, como por ejemplo, encontrar la ruta con menos saltos. Con el fin de establecer las rutas más adecuadas, se presentan diversos elementos de enrutamiento que describimos a continuación [6]:

- Descubrimiento de nodos: cada dispositivo debe encontrar los distintos nodos que se encuentran a su alcance. La topología puede variar con frecuencia, por lo que es necesaria una comprobación constante.
- Descubrimiento de la frontera: encontrar los límites de una red, la frontera de la malla, que generalmente es donde se conecta a Internet.
- Calidad de enlace: medir la calidad de los enlaces, como por ejemplo, calculando el número de paquetes perdidos.
- Cálculo de rutas: calcular la ruta óptima que se debe establecer en una comunicación basándose en algún criterio escogido.
- Manejo de direcciones IP: asignar y controlar direcciones IP, lo cual en redes mesh es bastante delicado cuando se tratan de IPs privadas.
- Manejo de la red troncal: manejo de conexiones a redes externas.

Existen más de 70 esquemas competentes para el encaminamiento de paquetes en redes mesh. Estos incluyen una serie de protocolos de enrutamiento divididos en dos clases: proactivos y reactivos. Los proactivos mantienen actualizadas sus tablas de enrutamiento en todo momento y la comunicación se establece prácticamente al instante. Los reactivos en cambio, se ejecutan tras una demanda de datos y por tanto, se requiere un cálculo inicial antes de que se establezca la comunicación. No obstante, los proactivos tienen

un inconveniente: se requiere una carga adicional en la red debido a la transmisión constante de mensajes de control con el fin de actualizar las tablas [6].

A continuación, presentamos un listado de los protocolos más destacados.

A. OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*)

Es un protocolo de enrutamiento por IP para redes móviles o inalámbricas ad-hoc. Actualmente es uno de los protocolos más prometedores siendo la base de la mayoría de las redes mesh instaladas en Europa [7].

Es un protocolo proactivo, que envía de forma distribuida mensajes de "Hello" para conocer los nodos a su alcance y una vez los tiene, envía mensajes de TC (Topology Control) a un subconjunto de estos para establecer las conexiones.

El OLSR-ETX usa como criterio el número de pérdidas de una ruta, seleccionando así las de mayor calidad de enlace.

B. MMRP (*Mobile Mesh*)

Este protocolo, también proactivo, ha sido desarrollado por Mitre [10]. El software es libre y contiene tres protocolos separados, cada uno destinado a una función específica:

- Mobile Mesh Link Discovery Protocol (MMLDP): descubrir los enlaces disponibles, con un mensaje "hello".
- Mobile Mesh Routing Protocol (MMRP): protocolo de verificación de estado de enlaces para enrutamiento.
- Mobile Mesh Border Discovery Protocol (MMBDP): descubre bordes y habilita túneles externos para conectar con otras redes.

C. AODV (*Ad-hoc On Demand Distance Vector*)

Como su propio nombre indica, es un protocolo de enrutamiento de vector distancia. Es un protocolo reactivo, por lo que la tabla de enrutamiento sólo se actualiza tras una demanda y la información recuperada permanece almacenada el tiempo necesario para que se realice la comunicación. Cuando un nodo demanda información, envía mensajes de "route request" (RREQ) y espera a que los nodos adyacentes contesten con un "route reply" (RREP) para formar la ruta. Una vez creada la ruta, si uno de los nodos falla, se envía un error (RERR) al nodo que demanda y vuelve a buscar una ruta óptima [11].

D. HSLS (*Hazy Sighted Link State Routing Protocol*)

Se trata de un protocolo proactivo a la par que reactivo para limitar las actualizaciones de enrutamiento en espacio y tiempo. Ha sido desarrollado por CUWiN y se diseñó para operar en redes de más de mil nodos. Consiste en desechar los enlaces de baja calidad [9].

E. OSPF (*Open Shortest Path First*)

En este protocolo proactivo los nodos envían llamadas, verifican el estado de los enlaces y transmiten la información recopilada a todos los enrutadores de una misma área jerárquica. Los enrutadores calculan el camino más corto usando el algoritmo SPF (Shortest Path First), el cual genera un árbol seleccionando siempre la ruta más corta, y almacenan la información. Este protocolo además funciona como LSA

(Link-State Advertisement) y avisa a las interfaces presentes, informa del tipo de medición usada y otras variables.

Compile con otros protocolos de enrutamiento de vectores de distancia como RIP (Routing Information Protocol) o IGRP (Interior Gateway Routing Protocol).

F. TBRPF (*Topology Broadcast based on Reverse Path Forwarding*)

Este protocolo proactivo escoge la ruta más corta en saltos generando un árbol por cada nodo que se calcula mediante una modificación del algoritmo de Dijkstra. Para minimizar la sobrecarga en la red, cada nodo enviará información a sus vecinos de un subconjunto de nodos de su árbol [8].

IV. VENTAJAS E INCOVENIENTES

A. Ventajas

Una de las principales ventajas que ofrece Mesh es su resistencia a fallos, pues la caída de un solo nodo no implica la caída de toda la red ya que cada nodo se puede autoconfigurar para sortear los caminos caídos. Además, según el protocolo, no sólo encontrará otro camino, sino que además el camino será supuestamente el óptimo.

Otra ventaja es que gracias a que disponemos de varios nodos en una misma zona, las distancias a alcanzar no son tan grandes, por lo que se puede tener una disminución de las interferencias y un ahorro de energía, ya que no hace falta transmitir a tanta potencia.

La facilidad de crecimiento y de mantenimiento es evidente. El coste económico y de trabajo en el crecimiento es mínimo, pues no hay que realizar obras de cableado para conectar los nodos y opera con la mayoría de dispositivos hardware del mercado. Esto hace que físicamente sean fáciles de mantener, porque reemplazar un nodo es inmediato y barato y al ser autoconfigurables no hace falta preocuparse por la red.

Las redes Mesh pueden impulsar la domótica, pues facilitan que desde cualquier punto, ya sea tanto de tu casa como de tu ciudad, puedas llegar a acceder a los elementos de tu vivienda.

B. Inconvenientes

La escalabilidad también se presenta como un inconveniente. Podemos aumentar el número de nodos fácilmente, pero esto implica aumentar el retardo, pues cada nodo añade un retardo y habrá que pasar por más nodos hasta llegar al destino. Los efectos del retardo son dependientes de la aplicación; los correos electrónicos por ejemplo no sufren con grandes latencias, mientras que los servicios de voz son muy sensibles al retardo [4].

El rendimiento también se ve afectado por la escalabilidad, pues afecta a todas las redes multisalto. El rendimiento disminuye con el número de saltos de acuerdo a $1/n$ o $1/n^2$ [4]. Incluso los protocolos MAC (Media Access Control) pueden fallar debido al incremento del número de nodos en la red, o no ser capaces de encontrar un camino fiable, por lo que aumentaría el retardo.

La distribución de las direcciones IP en una red Mesh no es trivial. Mientras que la asignación automática vía DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) en rangos de IP privado no es problemática, las redes Mesh podrían en

principio interactuar con redes vecinas en cualquier momento y el peligro de direcciones duplicadas y conflictos de red es obvio. IPv6 podría traer una solución a esto, pero todavía faltan algunos años para su despliegue a gran escala [4].

V. ESTÁNDARES MESH

Actualmente no existe un estándar definido que aclare como interconectar las subredes de diferentes tecnologías ni los protocolos de enrutamiento a usar. Aun así, el IEEE en los estándares de diferentes tecnologías empieza a contemplar esta topología.

La revisión 802.11s del estándar IEEE 802.11 (Wifi) define la interoperabilidad de fabricantes en cuanto a protocolos Mesh, ya que al no existir un estándar, cada fabricante tiene sus propios mecanismos de generación de mallas. Además se definen los nodos que participan en la arquitectura, la nueva funcionalidad de la capa MAC que permite controlar el acceso al canal de forma óptima y se incluyen mecanismos de encaminamiento a nivel 2. Aun así sólo se encuentran disponibles los primeros borradores [5].

El estándar IEEE 802.16 (WiMax) soporta un modo de funcionamiento mesh, pero es incompatible con la versión fija y móvil del estándar del IEEE para las redes inalámbricas metropolitanas. En el modo de funcionamiento mallado se usa una estructura de tramas determinada, que hace que sea incompatible con el modo PMP (punto a multipunto), es decir, la versión fija, o con la versión móvil [5].

Los estándares IEEE 802.15 definen las capas física y MAC para las redes inalámbricas de área personal (wireless personal area networks, WPAN). El grupo de trabajo IEEE 802.15.5 se estableció para ofrecer una arquitectura mallada para este tipo de redes (redes Bluetooth o ZigBee por ejemplo), ya que al emplear varios saltos en las comunicaciones se consigue un ahorro considerable de energía, aspecto muy útil en este tipo de redes [5].

VI. SEGURIDAD

Las redes ad-hoc por definición necesitan hablar con los clientes antes de autenticarlos, esto constituye un reto en la seguridad de Internet. Las redes Mesh son por tanto por diseño muy vulnerables a ataques de negación de servicio [4].

Además, sigue teniendo los problemas que tienen las tecnologías en sí, como por ejemplo el Wifi, donde se pueden interceptar fácilmente los datos con programas gratuitos. En cambio, han surgido empresas que han desarrollado protocolos que usan un cifrado de datos diferente al del Wifi que son reservados y que no se puede visualizar con una radio común 802.11, por lo que la seguridad es mucho mayor.

VII. ÁMBITOS DE APLICACIÓN

A. Entorno doméstico.

Una red Mesh puede solucionar los problemas típicos que se puede presentar dentro de una casa en cuanto a Wifi: la señal de un router no cubre toda la casa. Cualquier dispositivo puede hacer de puente y extender así la cobertura. Además, una red Mesh permite tener interconectados todos los dispositivos de la casa sin necesidad de tener que montar una instalación cableada.

B. Entorno urbano.

Se puede montar una red que abarque desde una manzana hasta un pueblo o una ciudad entera. Se puede hacer uso del mobiliario urbano como soporte para su instalación (semáforos, farolas...) y aprovechar las infraestructuras existentes. En una ciudad puede destinarse a servicios como:

- Seguridad ciudadana
- Supervisión y control de tráfico
- Servicios de información (información turística, acceso a Internet en centros escolares y bibliotecas...)
- Redes Intranet para uso de ayuntamientos (policía municipal, administración...)

En una zona rural ofrece también una serie de ventajas:

- No requiere infraestructura previa de telecomunicaciones.
- Acceso a Internet donde antes no llegaba, así como otros servicios ya mencionados.
- La implantación resulta rentable
- Cada nodo presta cobertura a grandes extensiones.

VIII. CONCLUSIONES

Tal como se ha presentado anteriormente, las ventajas son varias y numerosas, desde ahorro de energía, facilidad de crecimiento y no menos importante, combinación de distintas tecnologías. Sin embargo debemos tener presente que es necesario realizar mucha investigación y pruebas para alcanzar los objetivos esperados. En concreto la seguridad, que a pesar de que existen varios protocolos que contemplan posibles ataques, deberían estar todos preparados, y la escalabilidad debido a la bajada del rendimiento y una utilización de los recursos aún por mejorar.

Hemos presentado diversas aplicaciones teniendo en cuenta sobretodo que mesh no es una nueva tecnología independiente sobre redes inalámbricas, sino que lo que busca es unificar las ya existentes, facilitando la comunicación. Así pues, a pesar de necesitar realizar esos estudios, mesh es una tecnología prometedora, útil y que dará buenos resultados.

REFERENCIAS

- [1] http://es.wikipedia.org/wiki/Red_inal%C3%A1mbrica_Mesh
- [2] <http://weblogs.madrimasd.org/sociedadinformacion/archive/2009/06/05/119609.aspx>
- [3] Redes mesh basadas en puntos de acceso inteligentes 802.11 open source. Lluís Faixó Rubio
- [4] Redes Mesh. Sebastian Buettrich, wire.less.dk
- [5] Mobility in TCP/IP Networks. Joseph Lluís Ferrer Riera.
- [6] http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/13_es_redes_mesh_guia_v02.pdf
- [7] OLSR en wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/OLSR>
- [8] TBPRF: <http://www.networksorcery.com/enp/protocol/tbrpf.htm>
- [9] HSLS:http://en.wikipedia.org/wiki/Hazy_Sighted_Link_State_Routing_Protocol
- [10] MMRP (mitre): http://www.mitre.org/work/tech_transfer/mobilemesh/
- [11] AODV:<http://moment.cs.ucsb.edu/AODV/aodv.html>

ASIGNATURA: Xarxes de Comunicacions Mòbils

PROFESOR: Jaume Ramis Bibiloni

Diseño y fabricación de un filtro pasabanda pasivo con líneas acopladas

Christian Peter Winter, Francisco Muñoz Contreras, Oscar Camps Pascual

Circuits d'Alta Freqüència

christian@kpwinter.com, feco_m@msn.com, oscarcamps@gmail.com

Resumen— Las señales electromagnéticas que ocupan la banda de frecuencias de radio (RF) se transmiten por líneas de transmisión, que son estructuras materiales capaces de dirigir la energía de un punto a otro del circuito. Debido al campo electromagnético generado por una señal RF, dos líneas de transmisión próximas pueden propagar parte de la energía que circula de una a la otra. Aprovechando estas propiedades de acoplamiento capacitivo e inductivo entre líneas, se ha diseñado, simulado y fabricado un filtro pasabanda pasivo realizado con líneas de transmisión.

I. INTRODUCCIÓN

Un circuito que realiza la función de filtro es utilizado para controlar la respuesta en frecuencia de un sistema. Cuando se trata de un filtro pasabanda, se deja pasar una determinada frecuencia de resonancia y las componentes frecuenciales próximas a ésta (rango de frecuencias denominado banda pasante), y se atenúan el resto de frecuencias. Los parámetros más importantes que describen el comportamiento de un filtro pasivo pasabanda son: el orden del filtro, la frecuencia central, el máximo rizado en la banda pasante, las frecuencias de corte inferior y superior, el ancho de banda y las impedancias de entrada y salida.

Una línea de transmisión es una estructura material utilizada para dirigir energía en forma de ondas electromagnéticas. Su comportamiento eléctrico se describe por el parámetro llamado impedancia característica (Z_0). Dicha impedancia se define por un conjunto de cuatro coeficientes que son resistencias, inductancias, capacitancias y conductancias. Cuando una línea de transmisión se encuentra adaptada resulta que la impedancia de la fuente de la señal y la carga a la salida del circuito son iguales a Z_0 .

Los parámetros S definen las reflexiones y transmisiones de potencia que se producen en un circuito, mostrando la relación entre las ondas de potencia incidente y rebotada en cada puerto del circuito. Estos parámetros se definen mediante una matriz (*Scattering Matrix*) donde los elementos de la diagonal (S_{11} y S_{22}) representan los coeficientes de reflexión y el resto (S_{12} y S_{21}), coeficientes de transmisión. Por definición, en un circuito bipuerto simétrico, recíproco e idealmente sin pérdidas, se tiene que $S_{11}=S_{22}$, $S_{12}=S_{21}$ y que los valores que toman estos coeficientes son menores o iguales a 1. Por este motivo, midiendo dos parámetros se conocen el resto. Si se consigue que S_{11}/S_{22} tengan valores reales mediante un desplazamiento de los planos de referencia, se obtiene un

circuito inversor de impedancias muy útil en altas frecuencias de la banda RF.

Para la fabricación de filtros pasabanda pasivos existen diferentes tecnologías, siendo una de ellas la fabricación de placas de circuito impreso (PCB). En este caso la implementación del filtro consiste en el diseño de las líneas de transmisión de acuerdo con las especificaciones deseadas del filtro final. La fabricación de PCB sigue la estructura llamada *stripline*, que consiste en tiras planas de metal paralelas unas a las otras insertadas entre dos líneas de tierra y sobre un plano de masa. El material aislante que las separa forma un dieléctrico entre la línea de transmisión y el plano de masa.

La correcta realización y comprobación del funcionamiento del filtro pasabanda pasivo con líneas de transmisión requiere el desarrollo de diferentes procesos tales como el diseño, la simulación, la fabricación y la posterior medición. Éstos procesos se describen a continuación.

II. DISEÑO DEL FILTRO

El primer paso para la implementación del filtro consiste en el diseño de éste a partir de diferentes requisitos predefinidos. En este caso concreto se desea fabricar un filtro pasabanda pasivo por líneas de transmisión acopladas con frecuencia central de 1GHz, un ancho de banda del 10% y oscilaciones en la banda pasante máximas de 0.5dB. La impedancia característica (Z_0) de los puertos de entrada y salida deberá ser de 50Ω.

Para el diseño del filtro se hará uso del programa *Ansoft Designer SV*. Dicho asistente permite diseñar filtros de diferentes tipos de manera fácil e intuitiva. Seguidamente se muestran los pasos seguidos:

- Como primer paso se definen las propiedades básicas del filtro tales como el tipo, la topología, la aproximación y la tecnología utilizados. En este caso el tipo elegido es *bandpass* (pasabanda), la tecnología *Edge-Coupled* (líneas acopladas), la aproximación *Chebyshev* y la tecnología *Stripline* (ver figura 1).

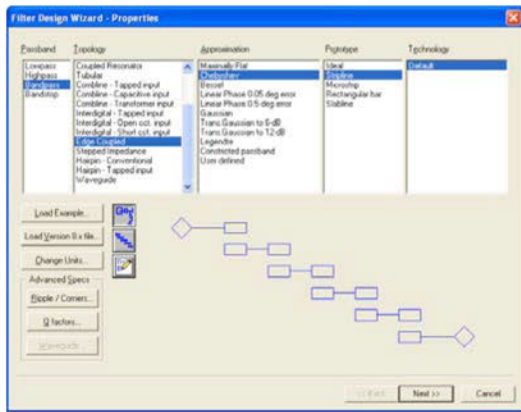


Fig. 1 Propiedades básicas del filtro.

- En segundo lugar se especifican los parámetros característicos del filtro pasabanda, como son el orden del filtro, la frecuencia central, el máximo rizado en la banda pasante, las frecuencias de corte inferior y superior, el ancho de banda y las impedancias de entrada y salida (ver figura 2). Así pues, para implementar el filtro deseado se quiere:
 - Orden del filtro: 3
 - Rizado: 0.5dB
 - Frecuencia central: 1GHz
 - Frecuencia de corte inferior: 0.9GHz
 - Frecuencia de corte superior: 1.1GHz
 - Ancho de banda (BW): 0.2GHz
 - Impedancia de entrada: 50Ω
 - Impedancia de salida: 50Ω

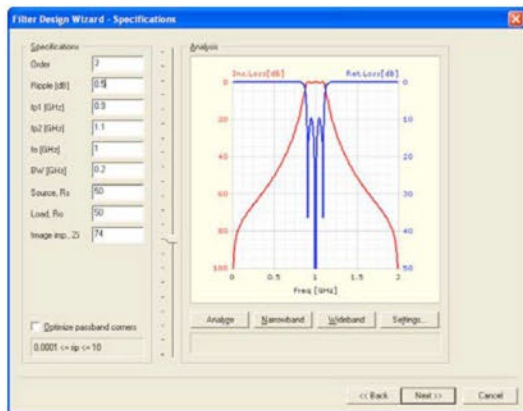


Fig. 2 Parámetros característicos del filtro.

- A continuación, se determinan las propiedades del material de fabricación para la placa de circuito impreso (figura 3). Dichas propiedades son la constante dieléctrica del sustrato (ϵ_r), la altura (h) y el espesor del conductor (t). Donde:
 - ϵ_r : 4.4
 - h: 1.524mm
 - t: 0.003mm

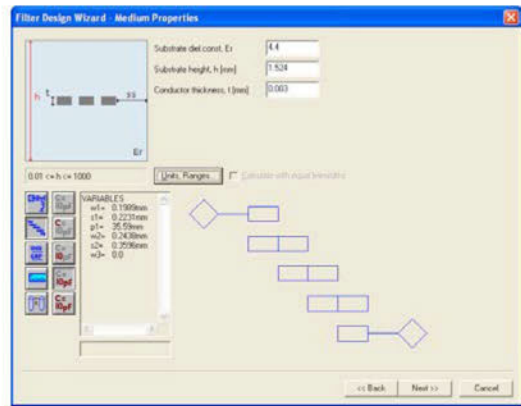


Fig. 3 Propiedades del material de fabricación.

- Finalmente se obtienen los parámetros que definen el filtro pasabanda con las características deseadas. Dichos parámetros son visibles en la figura 3 en el recuadro de variables.

III. SIMULACIÓN DEL FILTRO

En el apartado anterior se han recopilado los diversos parámetros necesarios para la realización del filtro acoplado. Este circuito está formado por cuatro líneas de transmisión acopladas (ver figura 4). Cada una de las líneas se caracterizan por los valores espaciales de las diferentes pistas: ancho de la pista (W), separación entre pistas (S) y longitud de la pista (L). En el diseño se ha impuesto que las líneas de transmisión de los extremos compartan el valor de los parámetros W, S i P, mientras que las líneas de transmisión interiores también los comparten, siendo diferentes de las primeras. En la tabla 1 se muestran las dimensiones de cada una de las agrupaciones. Así, W1, S1 y P1 son los parámetros de las líneas de acoplamiento de los entremos del filtro, mientras que los parámetros W2, S2 y P2 corresponden a los parámetros de las otras dos líneas de transmisión.

Una vez descrito el circuito se procede a simular su respuesta frecuencial, obteniendo de esta forma la variación de la ganancia respecto un rango de frecuencias definidos.



Fig. 4 Circuito formado por cuatro líneas de transmisión.

	Parámetros 1		Parámetros 2
W1	1.0039mm	W2	1.1972mm
S1	0.5237mm	S2	0.9061mm
P1	43.035mm	P2	42.677mm

Tabla 1. Parámetros de las pistas.

En este caso las frecuencias de interés se encuentran alrededor de 1GHz (que es la banda pasante), por ello se ha realizado la simulación en el rango de frecuencias 0-2GHz. La respuesta obtenida se muestra en la figura 5 donde se observan los parámetros S_{11} y S_{12} del diseño.

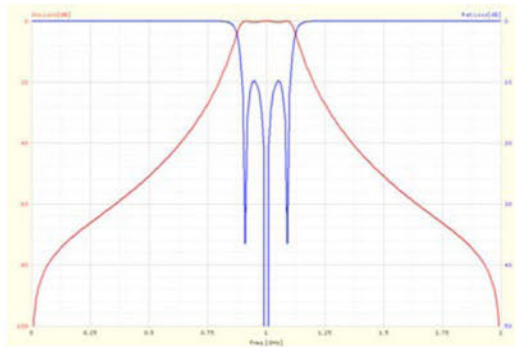


Fig. 5 Respuesta frecuencial de los parámetros S_{11} y S_{12} del filtro.

El parámetro S_{12} representa la transferencia de la señal de la entrada hasta la salida del circuito, como se puede observar en la figura 5, se obtiene la respuesta típica de un filtro pasabanda deseada. Para frecuencias bajas, la salida del circuito es prácticamente nula siendo su ganancia cercana a -100dBs. Alrededor de la frecuencia de corte inferior (0.9GHz) la ganancia va aumentando hasta llegar a la frecuencia central donde en el puerto de salida tenemos prácticamente la señal de entrada siendo la ganancia de aproximadamente 0dBs (recordemos que se trata de un filtro pasivo). Se puede observar que en la banda pasante la respuesta sufre un cierto rizado (0.5 dBs). Dicho rizado esta permitido ya que fue definido en el diseño del filtro (ver el apartado II). Finalmente para frecuencias mayores, la ganancia vuelve a caer hasta valores mínimos.

Por otra parte, el parámetro S_{11} representa el rebote de señal de entrada en este mismo puerto, como se puede observar se comporta de forma opuesta al parámetro S_{12} . El rebote es prácticamente total (ganancia 0dBs) comenzando con frecuencia cero. Cerca de la frecuencia pasante el rebote se va atenuando hasta llegar a la frecuencia central donde el rebote es menor a 50dBs. En el caso de frecuencias mayores, el rebote de la señal de entrada vuelve a ser el mayor posible.

IV. FABRICACIÓN DEL FILTRO

Para la realización del *layout* del circuito se ha empleado el software *EAGLE 5.9* de la compañía *CADsoft*, siendo éste un editor gráfico de *layouts* gratuito y de fácil utilización.

Mediante su interfaz gráfica se han definido los parámetros de las diferentes pistas ($W1$, $S1$, $P1$, $W2$, $S2$, $P2$). Hecho esto y una vez creado el fichero de *layout* se pasó a la generación de la máscara con el fotolito necesario para la fabricación de la placa de circuito impreso (PCB). El resultado de la fabricación se puede observar en la figura 6.

En la parte superior de la placa de circuito impreso se encuentran las cinco pistas debidamente acopladas y separadas entre ellas por aislante. En los laterales de éstas y en la parte inferior de la placa se encuentran las capas de tierra, siguiendo las especificaciones de la tecnología de fabricación *stripline*.



Fig. 6 Placa fabricada del filtro pasabanda.

En los puertos de entrada y salida de señal se han soldado conectores de tipo SMA para poder conectar la placa al instrumental de medida.

V. MEDIDAS EXPERIMENTALES

Con el filtro ya fabricado, se ha procedido a verificar su correcto funcionamiento con el analizador de red *Agilent E5062A*, disponible en el laboratorio.

Una vez conectada la placa al analizador, se realizan las medidas necesarias. Por simetría, se analizarán las mediciones correspondientes a los parámetros S_{11} y S_{12} , considerando que son iguales a los parámetros S_{22} y S_{21} como se ha detallado en la sección de introducción.

Se comienza analizando el parámetro S_{12} , el cual corresponde a la parte de la señal de salida que repercute en la entrada. Gráficamente, se observa:

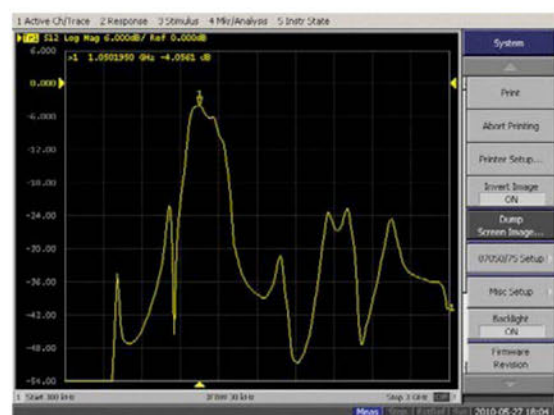


Fig. 8 Representación de la respuesta obtenida al parámetro S_{12} .

Si se extrae este resultado a un archivo tipo *.csv*, se pueden cuantificar los resultados de las medidas. En este caso, se obtiene:

	Frecuencia (GHz)	Atenuación (dB)
Frec. central	1,05	-4,06
Frec. inferior	0,96	-1,06
Frec. superior	1,23	-1,06

Tabla 2. Atenuación de las frecuencias de interés.

Lo que nos da un ancho de banda de 270 MHz frente a los 200 MHz teóricos.

A continuación se analiza el parámetro S_{11} , el cual corresponde al rebote de la señal de entrada en la misma entrada. Gráficamente, se observa:



Fig. 9 Representación de la respuesta obtenida al parámetro S_{11} .

Del mismo modo que en caso anterior, se analizan los resultados numéricos y se obtiene que en la frecuencia central del filtro (1,05 GHz) se produce una caída en la atenuación de 16,1 dB

Si se sobreponen los datos correspondientes a ambos parámetros, se observa claramente el comportamiento del filtro en su frecuencia central (ver figura 10).

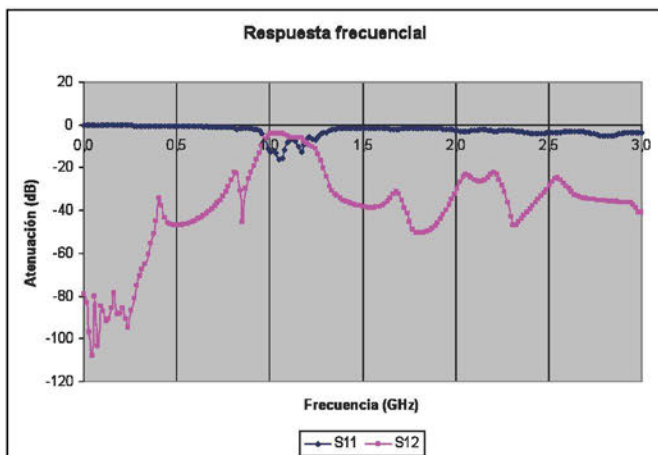


Fig. 10 Superposición de los parámetros S_{11} y S_{12} .

Se debe destacar la sensibilidad de estas medidas, puesto que una mínima alteración ambiental (por ejemplo, poner la mano cerca del filtro pero sin llegar a tocarlo) producía variaciones en los resultados de las mismas.

VI. CONCLUSIONES

Se ha diseñado un filtro pasivo de líneas de transmisión acopladas siguiendo las especificaciones solicitadas mediante el software *Ansoft Designer*. A continuación se ha preparado el diseño para su fabricación utilizando el programa *EAGLE Layout Editor*. Finalmente, se ha analizado el filtro creado utilizando el analizador de redes *Agilent E5260A*. El resultado de la verificación ha sido que el circuito responde a las especificaciones iniciales de forma satisfactoria. Se puede considerar que las divergencias existentes entre los resultados finales y las especificaciones iniciales se corresponden a la precisión numérica de los diferentes programas utilizados y a la falta de apantallamiento del circuito.

VII. REFERENCIAS

Bibliografía:

- [1] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Tutorial. Overview of Ansoft designer GUI.

Internet:

- [3] <http://es.wikipedia.org/wiki/Stripline>
- [4] <http://www.agilent.com/>
- [5] <http://www.cadsoft.de/>

Christian Peter Winter, Francisco Muñoz Contreras y Oscar Camps Pascual (de izquierda a derecha) son estudiantes del Máster en Ingeniería Electrónica de la UIB. El artículo aquí presentado se corresponde con la práctica final de la asignatura de Circuitos de Alta Frecuencia impartida por Dr. Bartomeu Alorda y Dr. Eugeni García Moreno.



Programació amb autòmats S7-200

Margalida Amengual Jaume, Vicenç Blanco Rosselló, Antoni Rosselló Canals

Segon curs d'Enginyeria Tècnica Industrial, Especialitat en Electrònica Industrial

lidamja@hotmail.com

vicensblanco@hotmail.com

inot_bunyola@msn.com

Resum — En el món industrialitzat que ens envolta, l'automatització de sistemes és present en la immensa majoria dels sectors. És interessant apropar-nos a la tasca de programació d'un element de control de processos. En aquest article s'explica el procés de programació d'una de les subestacions de la cadena de producció que podem trobar al laboratori de robòtica i automatització, dut a terme com a pràctica final de l'assignatura d'Automatització Industrial. El treball descrit es centra en tractament de dades numèriques i cadenes de text amb un dispositiu estàndard de control industrial anomenat PLC.

I. INTRODUCCIÓ

Com a pràctica final de l'assignatura d'Automatització industrial s'ha dut a terme la programació d'una de les subestacions del laboratori de robòtica i automatització.

La pràctica està dividida en una part comú per a tots els grups, i en una altra part específica per a cada una de les subestacions.

Els processos industrials es caracteritzen sovint per seguir una cadena de muntatge. A vegades, per dur a terme aquest procés, s'utilitza un PLC (*Programmable Logic Controller*).

Un PLC o Autòmat Programable Industrial és un hardware industrial, un equip electrònic molt robust, que tal com el seu nom indica ha estat dissenyat per controlar processos seqüencials en temps real. Sorgiren per el reemplaçament de sistemes de control basats en circuits elèctrics amb relés, interruptors i altres components de lògica combinacional. En general, és possible trobar-los a ambients industrials i n'hi ha de molts de tipus, tot i que no és indispensable el seu ús. De fet, les cadenes de muntatge començaren a sorgir després de la Primera Guerra Mundial mentre que els PLC no ho feren fins a finals dels anys seixanta [1].

Per a que un PLC pugui complir amb la seva funció, la de controlar processos, és necessari programar-lo. Aquest rep informació dels captadors connectats a les seves entrades. Gràcies al programa lògic intern, que executa de manera cíclica, pot processar aquesta informació i interactuar amb el procés de producció mitjançant els accionadors de la instal·lació [2].

Enfront a altres sistemes, els PLC presenten una sèrie d'avantatges, com ara la seva flexibilitat i capacitat a l'hora de variar la seva funcionalitat, la seva fàcil programació o la resistència a ambients industrials adversos [3]. Avui dia, no només controlen la maquinària i els processos industrials.

També poden realitzar operacions aritmètiques i de control de flux, pròpies de qualsevol sistema basat en microprocessador.



Figura 1. PLC que controla la subestació de Bases.

A la Figura 1 podem veure una imatge del PLC S7-200 de Siemens. Aquest model concret, consta de setze entrades lògiques a la part inferior i setze sortides a la part superior, totes elles amb els corresponents LED que indiquen el seu estat d'activitat. En entorns industrials en podem trobar de games superiors, que controlen més de 1024 entrades/sortides.

II. L'ESTACIÓ

L'estació pneumàtica del laboratori de robòtica i automatització, consta de tres subestacions anomenades Bases, Rodaments i Tapes. Totes elles estan connectades mitjançant una cinta transportadora. La primera subestació, la de Bases, s'encarrega de col·locar sobre un palet la base que serà el suport del nostre muntatge final. Si dita peça es troba en posició incorrecta la rebutja, l'expulsa del procés i n'agafa una altra tornant a realitzar la comprovació. En el cas contrari, la situa sobre el palet disposat per poder seguir el muntatge. La següent subestació del procés és la de Rodaments. La funció d'aquesta és col·locar un rodament dins una perforació existent a la base. Abans de deixar el rodament sobre la base, comprova que sigui de la mida desitjada i si no ho és, de manera similar a l'estació anterior, aquest és expulsat. Finalment tenim l'estació de Tapes, que s'encarrega de col·locar una tapa sobre l'obertura que conté el rodament. La tapa pot ser blanca, negra o metàl·lica. L'elecció dependrà, com en la subestació de rodaments, de la preselecció

configurada. A la Figura 2 podem veure els components del muntatge.

El procés descrit anteriorment es podria dur a terme sense un PLC. Ara bé, com que aquesta pràctica consisteix en fer modificacions sobre un programa de control anterior, ampliant la seva funcionalitat amb tractament de cadenes de text, càlculs, etc. es fa indispensable utilitzar una eina de càlcul i emmagatzematge de dades.

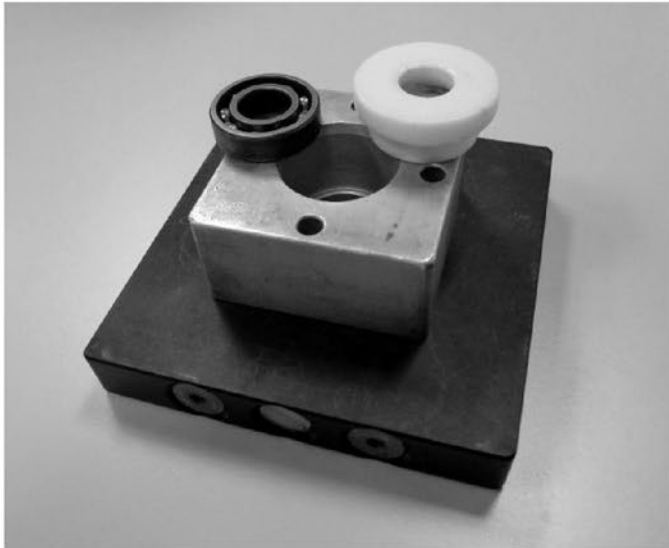


Figura 2: Components del muntatge que s'utilitzen a l'estació.

III. IMPLEMENTACIÓ

La resolució de la pràctica consta de dues parts: una de comú i una altre d'específica per a cada subestació.

La part comú consisteix en la mesura del temps de cycle d'operació del PLC, que és el temps que passa des de que s'executa un punt concret del programa fins que es torna executar. La part específica per a la subestació de bases (Figura 4), que és la que ens ha estat assignada, consisteix en un seguit de modificacions sobre un programa anterior, realitzat també per nosaltres, i que afecten al seu mode d'operació.

Per implementar el programa s'ha usat diagrama de contactes. En aquest llenguatge de programació podem distingir dos nivells de complexitat; un primer format per bobines, contactes i memòries d'un bit, i una part més complexa que treballa amb blocs funcionals que poden tractar cadenes, taules, fer operacions matemàtiques, conversió de tipus de dades, etc.

A nivell d'estructuració, el programa es divideix en vuit subrutines. La primera, anomenada "PRINCIPAL", és la que s'encarrega d'executar les subrutines de funcionament de l'estació. La segona, "INICIALITZACIÓ" s'executa només durant el primer cycle d'operació de l'Autòmat. Aquesta dona els paràmetres i valors inicials a tots els registres de memòria. La tercera i quarta subrutines, anomenades "ETAPES" i "SORTIDES" respectivament, són les encarregades de fer

evolucionar el procés en funció de senyals d'entrada que provenen o bé de sensors o bé d'interaccions amb l'operador. Les quatre subrutines restants han estat introduïdes en aquesta pràctica final, seguint les especificacions de l'enunciat, pel tractament de dades i cadenes de text. La cinquena, "TEMPS_CCL" és l'encarregada de crear una taula amb els temps de cycle de l'autòmat. També controla una funcionalitat de parpelleig dels pilots i a més a més, controla l'execució de la sisena subrutina anomenada "CÀLCUL". Aquesta darrera, quan es cridada opera amb els valors dels diferents temps de cycle (els vint darrers concretament) que anam emmagatzemant a una taula, extraient-ne la mitja, la desviació típica, el valor màxim i el mínim. La setena i pròxima subrutina, "CADENES", s'encarrega de construir cadenes de text per a visualitzar la informació recaptada i els resultats obtinguts. La darrera anomenada, "MODE_FUNC" interpreta el mode de funcionament introduït per l'usuari en mode de text, i el manipula de manera que sigui comprensible pel programa. Si no es pot interpretar per no coincidència amb cap dels possibles, el PLC operarà amb el mode per defecte "NORMAL".

A. Part Comú.

Inicialment, com hem comentat, partim d'un programa realitzat anteriorment, que ja és capaç de gestionar el funcionament de la subestació de bases. La primera tasca és calcular el temps de cycle del PLC. Per fer-ho és necessari activar un dels *timer*, una mena de cronòmetre de què disposa el PLC, amb resolució de l'ordre de milisegons. Aquest s'encarrega de comptar el temps de cycle que transcorre des del moment de l'activació, en un punt del programa, fins a la desactivació en el punt immediatament anterior (recordem que el programa s'executa de manera cíclica).

És obvi que la fiabilitat d'aquesta mesura depèn directament de que no es tinguin en compte el temps que es tarda en fer els càlculs pertinents. Per aquesta raó tots ells es realitzen entre la desactivació i l'activació del *timer*. D'aquesta manera es contempla tot el temps de cycle manco l'usat per realitzar els càlculs. Una vegada tenim aquest valor l'anam guardant a una taula de vint posicions. Quan aquesta es plena es sobreescriu el temps més antic, seguint el mètode d'estructuració de dades FIFO (*First In First Out*), de manera que passats els vint cycles inicials la taula sempre estarà plena.

Quan l'operador pitja el botó de "rearmar" de que disposa la subestació, es crida a la subrutina de "CÀLCUL" que realitza els càlculs dels valors que se'ns demanen: mitja, valor màxim, mínim i desviació típica.

El primer pas és calcular la mitja. Per fer-ho cal recórrer amb un bucle cada un dels elements de la taula, acumulant els valors, i després dividir-los entre vint que és el nombre de cycles sobre els que feim la mitja. Els valors de la taula són d'un *word* (16 bits) per tant poden contenir valors de 0 a 65535, suficients si tenim en compte que el temps màxim que hem observat és de 3ms. Però per obtenir precisió amb decimals de la mitja necessitam canviar el format de la variable on guardam la mitja a *Real* (32 bits). També el

dividend i el divisor, ja que l'operació de divisió entre Reals així ho requereix. Aquest fet fa que siguin necessàries variables temporals on realitzam les conversions. S'ha intentat millorar el temps de càlcul fent que la conversió es realitzi sols una vegada (sobre l'acumulat i no per cada un dels elements) fora del bucle.

El següent és el càlcul de desviació típica, per fer-ho també serà necessari la conversió dels operands a format *Real*. Com hem comentat, a part de contactes i bobines simples, en diagrama de contactes comptam amb tota una sèrie de blocs combinacionals que ens permeten dur a terme operacions d'aritmètica en coma flotant relativament complexes com per exemple arrels quadrades o fins i tot funcions trigonomètriques.

L'expressió utilitzada per a la desviació típica (ja que n'hi ha diverses) és:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Els passos seguits han estat: agafar cada un dels elements de la taula, restar-li la mitja, multiplicar-lo per ell mateix i sumar-lo a un acumulador que s'ha inicialitzat a zero. Ho feim de manera reiterada, fins haver recorregut tots els elements de la taula. Aquest cop la conversió a *Real* s'ha de fer dins el bucle ja que per poder restar la mitja a cada temps de cicle és necessari que ambdós operands siguin del mateix format.

Aquest acumulador conté el resultat del sumatori, que dividim pel número d'elements i finalment en calculam la seva arrel quadrada.

A partir d'aquí, necessitarem començar a tractar cadenes de text per mostrar els resultats. Una cadena es tracta com una seqüència de caràcters d'un byte cada un i que s'interpreta com un conjunt. Per aquesta tasca es crida a la subrutina "CADENES" que concretament construeix dues cadenes de text (Figura 3). La que ara ens interessa, és la que conté els resultats de la part comú de la pràctica i té la següent forma: "MINIM: xxxxxx, MAXIM: xxxxxx, MITJA: xxxxxx DESVIACIÓ: xxxxxx". Les "xxxxxx" representen un nombre enter en el cas del mínim i màxim temps de cicle, i un nombre arrodonit a tres decimals en el cas de mitja i desviació típica. L'altre cadena correspon a la part específica que procedim a explicar tot seguit.

Direcció	Formato	Valor actual
v_INFO_FLUX	Cadena	"MINIM: 1 MÀXIM: 2 MITJA: 1.550 DESVIACIÓ: 0.497"
v_INFO_PROD	Cadena	"ACCEPTEDES: 0 REBUTJADES: 0"
m_NORMAL	Bit	2#1
m_TOT	Bit	2#0
m_RES	Bit	2#0
m_PARPALLEIG	Bit	2#0
v_MFUNC	Cadena	"NORMAL"
v_PFIOMIG	Coma flotante	1.55
v_DT	Coma flotante	0.4974937

Figura 3. Visualització de les cadenes que mostren els càlculs del PLC.

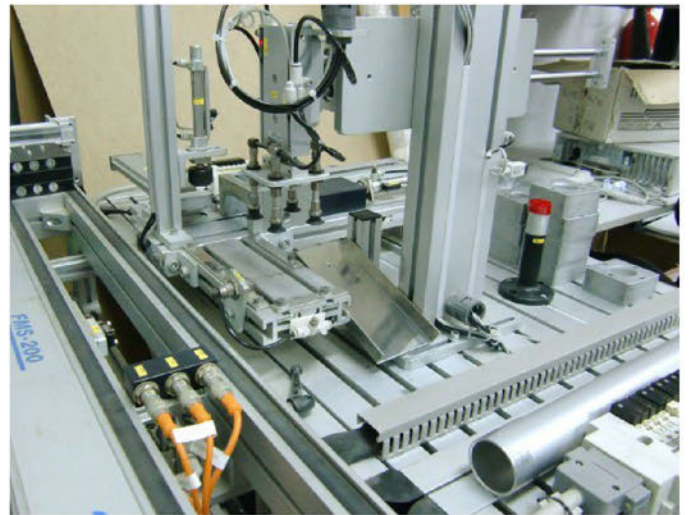


Figura 4. Imatge de la subestació Bases

B. Part Específica

Una vegada realitzada la part comú, és hora d'implementar la part específica de la pràctica per a la subestació de Bases (Figura 4).

Com s'ha comentat, la funció de la subestació consisteix en iniciar el procés de muntatge introduint el primer element, la Base, havent comprovat prèviament la seva posició. A tot això se'ns planteja afegir dos nous modes de funcionament, a part del ja existent que anomenam "NORMAL". Un mode en què s'acceptin totes les peces en qualsevol posició anomenat "TOT", i un altre en què es rebutgin totes anomenat "RES". A diferència dels altres dos modes, aquest darrer implica alguns canvis a nivell de funcionament de la subestació. I és que requereix la intervenció d'un actuator la funció original del qual, no és exactament la que li donam en el procés de comprovar la falta de material. L'elecció d'un d'aquests modes es fa mitjançant el bloc de dades del programa. Quan aquest es carrega al PLC, l'operador pot escriure en text el mode de funcionament desitjat.

Durant la inicialització del programa, quan es crida a la subrutina "INICIALITZACIÓ", el programa, a part d'inicialitzar les variables que s'usaran, compara el mode introduït amb els tres que és capaç de reconèixer. Es tracta simplement de comparar l'escriu per l'operador amb tres cadenes que hem inicialitzat conjuntament: "TOT", "RES" o "NORMAL". Ara bé, l'usuari pot haver escrit el mode en qualsevol combinació de majúscules i minúscules. Per aquesta raó s'ha creat una subrutina, "MODE_FUNC" que es crida durant la inicialització i s'executa abans de comparar la cadena amb els modes de funcionament coneguts. La seva funció és convertir la cadena del bloc de dades a majúscules. La manera de fer-ho és crear un bucle per recórrer un a un els caràcters de la cadena introduïda i mirar si es tracta d'una minúscula.

Hem de tenir en compte que cada caràcter es correspon amb un número de 8 bits segons la codificació ASCII. Si aquest número es troba entre 96 i 123, implica que es tracta d'una minúscula i, de ser així, el podem convertir en

majúscula. Per exemple, si teníem el caràcter “n” introduït per l’usuari, que en codi ASCII es correspon amb 110, i li restam 32 unitats obtenim el número 78, que es correspon amb la “N” majúscula. Extrapolant aquest exemple, podem arribar a la conclusió de que si tenim un caràcter en minúscula i li restam 32, el convertim en majúscula. Arribat aquest punt, la cadena introduïda per l’operador ja es troba en condicions de ser comparada amb les de mode de funcionament conegudes.

Per implementar el segon apartat de la part específica, consistent en dur el recompte de les peces acceptades i rebutjades per la subestació des de l’inici del procés, s’han fet servir dos comptadors. S’han disposat de tal manera que cada vegada que el procés arriba al punt d’expulsió d’una peça incrementam en una unitat la variable encarregada del recompte de peces rebutjades. De la mateixa manera, cada vegada que arribam a l’estat en què deixam la peça en la seva posició final, incrementam el comptador de peces acceptades.

Això ens porta al següent punt. Totes les accions descrites tant per la part comú (càlculs) com per l’específica, es duen a terme quan l’operador prem el botó “rearmar” del que disposa l’estació. A més a més però, en accionar el contacte s’ha d’activar la funcionalitat de fer parpellejar dos dels pilots de que disposa l’estació tantes vegades com peces s’han acceptat des de l’inici del procés.

Per no haver de crear una senyal periòdica que controli l’encesa dels pilots, s’ha aprofitat una de les marques especials de què disposa aquest PLC. Concretament es tracta d’una senyal periòdica que roman activa durant mig segon i apagada durant l’altre mig. Aquesta marca però, funciona de manera autònoma. Per això s’empra una combinació de variables que ens permeten sincronitzar l’inici de la seqüència lumínica amb el funcionament de dita senyal. D’aquesta manera visualitzam correctament els parpelleigs corresponents a les peces acceptades fins al moment.

La darrera premissa d’aquesta part, és la construcció d’una segona cadena de text. El format corresponent a la qual és “ACCEPTADES: xxxx REBUTJADES: xxxx”, on “xxxx” representa les peces acceptades i les rebutjades que hem anat acumulant al llarg del procés. La construcció d’aquesta cadena s’ha fet de manera similar a la de la part específica.

De fet, amb la cridada a la subrutina “CADENES” es construeixen les dues de manera simultània.

Aquests han estat, succintament, les passes seguides per la implementació del programa.

IV. CONCLUSIONS

La mesura de temps de cicle del PLC, així com l’obtenció d’altre informació rellevant que s’obté a partir d’aquesta implementació, és una eina que ens permet verificar el rendiment. Per altra banda, també ens permet comprovar la influència d’un canvi al programa principal. En un àmbit més general, la realització d’aquesta pràctica ens ha ajudat a tenir una imatge més propera i realista de la lògica i desenvolupament dels processos industrials, observant la gran flexibilitat que pot aportar un element de control programable.

REFERÈNCIES

- [1] Wikipèdia espanyola: <http://es.wikipedia.org/>
- [2] Wikipèdia catalana: <http://ca.wikipedia.org/>
- [3] Apunts d’Automatització Industrialstial (Antoni Burguera)

NOM ASSIGNATURA: Automatització Industrial.

PROFESSOR: Antoni Burguera Burguera.



Margalida Amengual Jaume (Biniamar)
Estudiant d’Enginyeria Tècnica Industrial
Especialitat Electrònica Industrial a la UIB.
lidamja@hotmail.com



Vicenç Blanco Rosselló (Felanitx)
Estudiant d’Enginyeria Tècnica Industrial
Especialitat Electrònica Industrial a la UIB.
vicensblanco@hotmail.com



Antoni Rosselló Canals (Bunyola)
Estudiant d’Enginyeria Tècnica Industrial
Especialitat Electrònica Industrial a la UIB.
inot_bunyola@msn.com

Robot Multisensor controlado a distancia

Miquel Barceló Román, Bartolomé Martínez Pérez

Tercer curso de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas

mbarcelo87@gmail.com

martinez.tolo@gmail.com

Sumario — Este artículo describe el diseño y montaje de un sistema basado en un microcontrolador de la familia 8051. El sistema, al cual hemos llamado “GUALI”, es un robot seguidor de líneas, seguidor de luz y permite controlar sus movimientos mediante un mando de televisión universal utilizando la codificación Philips RC5.

I. INTRODUCCIÓN

Para la construcción del sistema GUALI se tuvo en cuenta la utilización de una serie de componentes que fueran capaces de: detectar líneas de color negro, realizar un seguimiento de luz, controlar el sistema mediante un mando a distancia y dotar al robot de capacidad motriz.

Se desarrollaron dos robots dotados con las mismas características cuya única diferencia existente entre ambos es la de que uno de ellos, elegido previamente, pueda ejercer de líder del grupo. Éste posee una fuente de luz de 5V situada en la parte posterior de la carrocería y el otro, mediante los sensores de luz, es capaz de seguirlo.

En este artículo se describirá: los componentes utilizados para la construcción del robot, sus diversas funciones y los diferentes diagramas de flujo del código desarrollado.

II. COMPONENTES UTILIZADOS

Para la interconexión entre los diferentes componentes se utilizó la técnica conocida como Wire-Wrap o cables tipo jumper-wire.

El corazón del sistema se montó mediante una placa PCB (Placa de Circuito Impreso). La placa PCB permite conectar eléctricamente componentes electrónicos a través de rutas mediante un material conductor. Las rutas son grabadas en hojas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor.

Para los demás componentes del sistema se utilizaron varias placas de baquelita. Éstas, al fabricarse uniendo láminas de material conductor, se emplean para la construcción de circuitos electrónicos con soldadura.

En este apartado se detallan los componentes utilizados para el desarrollo del robot.

A. Núcleo

El núcleo del sistema está compuesto por:

- Un latch SN74HC373N. Es un circuito electrónico que permite almacenar información en sistemas lógicos asíncronos y cambia el estado de su salida en función de los datos de entrada.

- Una Memoria EEPROM AT28C64B. Se trata de un medio de almacenamiento usado para contener un programa o información con el objetivo de que el sistema funcione correctamente.

- Un Microcontrolador 80C31. Es un circuito integrado o chip que incluye en su interior los siguientes elementos: CPU, RAM, puertos de entrada/salida, contadores, temporizadores, conversores D/A y A/D, control de interrupciones y generador de clock.

Por otro lado, el 80C31 no dispone de ROM interna y se produce una implicación directa: la memoria de programa es externa y para implementar esta memoria, se ha optado por el uso de AT28C64B.

Para la conexión de la memoria, el latch y el microcontrolador, se tomó como documento de referencia el proporcionado por el profesor José Guerrero [1].

B. Regulador de Tensión

El regulador de tensión es capaz de elevar o disminuir la corriente para que la tensión de salida sea constante. El regulador elegido para esta tarea es el LM2940. Éste obtiene a la salida una tensión constante de 5 voltios y 1 amperio de intensidad. La circuitería implementada es la siguiente:

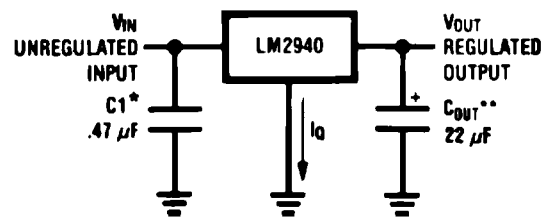


Fig. 1 Esquema Regulador de Tensión LM2940

El condensador de entrada se utiliza cuando el regulador de tensión está lejos de los filtros del sistema de alimentación. En este caso, el regulador de tensión está físicamente separado ya que está aislado en una baquelita diferente. Mediante este condensador se intenta estabilizar la señal de entrada y realizar un filtrado de la misma.

Por otro lado, el condensador de salida del circuito estabiliza la señal de salida asegurando 5 V constantes. Si la salida no fuera constante, se desestabilizaría o dañaría alguna de las partes del sistema.

Todo el circuito se alimenta con ocho pilas AA de 1.5V distribuidas en: cuatro pilas que alimentan el núcleo y los sensores mediante el regulador de tensión, y cuatro que se conectan directamente a los Servomotores.

C. Servomotores

Para dar una capacidad motriz al robot, se optó por el uso de dos servomotores modelo HITEC HSR1422.

El Servomotor está compuesto por una circuitería de control y un potenciómetro conectado al eje central del servomotor. El potenciómetro permite a la circuitería de control supervisar el ángulo actual del servomotor. Si el eje se encuentra en el ángulo correcto, éste se apagará o, en caso contrario, cuando se detecta que el eje no está en el ángulo correcto, girará en la dirección adecuada hasta posicionarse en el ángulo correcto.

El servomotor tiene tres cables de conexión externa: alimentación, tierra y control. Mediante éste último indicamos el ángulo al cuál queremos llegar. Un servomotor normal tiene un movimiento angular de 0 a 180°. El ángulo está determinado por la duración de un pulso. El servomotor espera ver un pulso cada 20 milisegundos tal como se muestra en la figura 2. La longitud del pulso determinará el giro que ha de realizar el motor. Un pulso de 1.5 ms hará que el motor se posicione en la posición neutra, a 90° respecto al eje. En caso contrario, si el pulso es menor de 1.5 ms, el motor se acercará a 0°, y si el pulso es mayor de 1.5ms, el eje se acercará a los 180 grados.

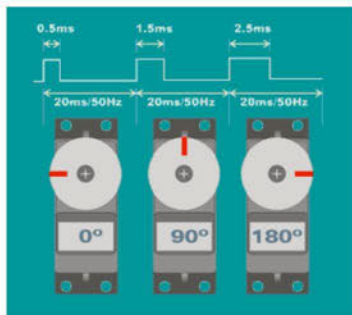


Fig. 2 Disposición del servomotor según el pulso generado

Los servomotores elegidos son de rotación continua. Esto permite realizar vueltas de 360° y comportarse como un motor con regulación de dirección y velocidad controlada mediante el ángulo de posicionamiento.

Además, se conectó los servomotores directamente al microcontrolador sin usar ningún tipo de amplificador ya que la señal de salida que proporciona éste, tiene la intensidad suficiente para que los servomotores puedan decodificarla.

D. Seguidores de Línea (CNY70)

Los sensores empleados para realizar el modo seguidor de líneas son los “CNY70”. El CNY70 es un pequeño dispositivo que tiene forma de cubo y cuatro pines para su conexión. En su interior aloja un diodo emisor de infrarrojos que trabaja a una longitud de onda de 950 nm y un receptor compuesto por un fototransistor. Ambos están dispuestos en paralelo apuntando hacia la misma dirección y la distancia entre emisor y receptor es de 2.8 mm.

Por otro lado, se usan propiedades reflectantes de los colores para determinar si se está encima de la línea o bien si no se está. Particularmente, en el caso del color negro el fototransistor absorberá los rayos infrarrojos y en el caso del color blanco reflejará toda la luz.

El número de sensores CNY70 utilizados son dos. Ambos están colocados en la parte inferior frontal de la estructura, en

la misma posición y con una separación de 5mm. La distancia entre el suelo y los sensores es de 1-5mm.

La salida del dispositivo es analógica y está determinada por la cantidad de luz reflejada. Por lo tanto, con el fin de obtener una salida digital, se empleó el siguiente esquemático:

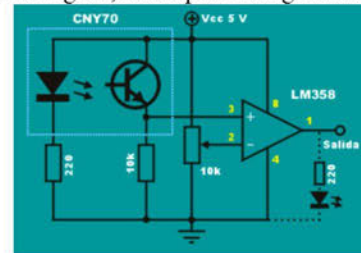


Fig. 3 Esquemático del CNY70.

Para el montaje del circuito se emplea un amplificador operacional LM358 configurado en modo comparador. Su salida varía de 0V para nivel lógico 0 y a unos 3,3V para nivel lógico 1. La sensibilidad del circuito es ajustable mediante una resistencia variable de 10K. Así pues, mediante estos componentes, se obtiene una salida con una señal cuadrada lista para su interconexión con la entrada del microcontrolador.

E. Sensor de Infrarrojos

Para el control general del sistema se ha optado por la solución de usar un mando universal de televisión. Para ello, es necesario realizar un circuito que sea capaz de recibir la señal infrarroja del mando para, posteriormente, decodificarla y realizar las operaciones pertinentes.

El receptor infrarrojo utilizado es un TSOP4838 ya que la señal que queremos decodificar, es una señal que sigue el estándar RC5 de Philips que tiene una portadora de 38KHz. A continuación se muestra el esquemático de la circuitería implementada:

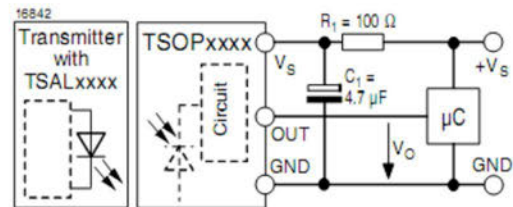


Fig. 4 Esquemático del receptor TSOP4838.

El fabricante del sensor de infrarrojos, Vishay, recomienda colocar el condensador y la resistencia que aparecen en la figura. Mediante estos elementos se consigue eliminar los ruidos que genera la señal de alimentación.

El sensor contiene entre sus componentes un amplificador. En caso de no usar los elementos que recomienda el fabricante, se podría recibir una señal distorsionada dificultando su recepción, que emite el mando a distancia.

F. Sensor de Luz

Los sensores de luz LDR (Light Dependent Resistor), de los que dispone el robot, fueron instalados para poder realizar un “follow the leader”. Esto es debido a que cada componente

del grupo realiza el montaje de un robot y, por lo tanto, uno de ellos dispone de potentes bombillas que indican el camino que está llevando para que el otro robot que tiene instalado dos sensores de luz, pueda seguirle.

La LDR es una resistencia que varía su valor en función de la luz que incide sobre su superficie. Cuanto mayor sea la intensidad de luz, menor será el valor de la resistencia y, en caso contrario, cuanto menor sea la intensidad de la luz, mayor será el valor de la resistencia.

El esquemático del circuito utilizado para el montaje del sensor de luz es el siguiente:

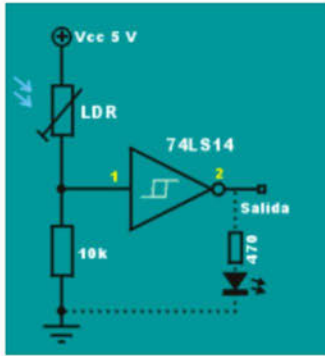


Fig. 5 Esquemático del sensor de luz que se ha empleado.

El circuito consta de un divisor de tensión formado por la LDR, un potenciómetro y un trigger modelo 74LS14. Como la LDR varía en función de la luz, la señal de salida del divisor también lo hará y, cuando pase el umbral de disparo del trigger, este cambiará el estado de su salida según corresponda. Mediante el potenciómetro, se controla la sensibilidad del circuito y su respuesta a la luz.

Cuando el haz de luz no incide sobre el dispositivo, manda una señal de 1 a la salida. Por el contrario, cuando el sensor capta el haz de luz, manda un 0 a la salida. Con este mecanismo conseguimos conectar la salida a la entrada del microcontrolador.

III. PROGRAMACIÓN

Para la programación de la memoria se utiliza el lenguaje de programación C y se compila con SDCC (Small Device C Compiler). El resultado de compilar el código, es la obtención del archivo .ihx. Éste se graba en la memoria del sistema mediante el programador de memorias volátiles universal.

La programación se divide en los siguientes módulos:

- Programación de servomotores.
- Programación del modo control de robot mediante un mando de televisión universal con codificación Philips RC5.
- Programación del modo seguidor de líneas.
- Programación del modo seguidor de luz (Follow the leader).

La programación de los servomotores y la programación del sensor infrarrojo se realizan mediante interrupciones del Timer o bien mediante una interrupción externa.

Los dos módulos restantes – modo seguidor de líneas y modo seguidor de luz – se realizan a través de bucles de

espera indefinida ya que se leen constantemente los valores de los sensores.

A continuación se muestra con mayor detalle la programación de cada módulo.

A. Programación de servomotores

En la programación de los servomotores es importante conocer las especificaciones del fabricante, ya que hay que obtener la frecuencia de giro máximo hacia un lado y hacia otro, así como la frecuencia de parada. Si no se conocen estas especificaciones, se puede usar el generador de funciones para ir generando diferentes frecuencias y así obtener aquellas que nos interesen.

Para el desarrollo de los servomotores se utiliza el Timer 0 del microcontrolador. Con el objetivo de que los servomotores funcionen correctamente, es necesario enviar un pulso cada 20 ms y, mediante su duración, se consigue controlar la dirección del servomotor.

El tiempo en ON (bit a 1) del pulso, indica el ángulo al que debe posicionarse. Las especificaciones del servomotor HSR1422 indican que, al generar un pulso de 1ms, gira hacia un sentido y, al generarlo de 2ms, gira en sentido contrario.

Por lo tanto, se configura el Timer 0 para que se dispare cada 0.5 ms y cada vez que se dispara se llama a una función que lleva el control de los servomotores. A través de estos pasos se consigue que, mediante un sólo timer y la función de control de los servomotores en la cual hay definidas dos variables a modo de contador, una por cada servomotor, podamos controlar la dirección de los servos así como su velocidad.

B. Programación del modo control de robot mediante un mando de televisión universal con codificación Philips RC5

Para el desarrollo del sensor de infrarrojos se configura la interrupción externa 0 con la finalidad de que se active por flanco descendente. Una vez configurada la interrupción externa, se debe implementar la función que se encargará de descifrar la señal infrarroja emitida por el mando con codificación Philips RC5.

El microcontrolador tiene diversas interrupciones con diferente prioridad. Es conveniente que la función que se encargue de decodificar la señal infrarroja, deshabilite las demás interrupciones para que no haya interferencias.

Así pues, la función encargada de descifrar la señal infrarroja, realizará una serie de esperas calculadas en función del tiempo de las instrucciones y del tiempo de bit de la codificación RC5 de Philips con el objetivo de conseguir la lectura de la tecla pulsada.

Una vez realizada la lectura de la señal, se aplica una máscara para obtener únicamente los últimos 5 bits y así lograr la codificación de la tecla pulsada. Mediante esto, se puede conseguir que, apretando una serie de botones, el robot se mueva hacia cualquier dirección que se le indique o bien cambiar su modo de funcionamiento.

Los botones que se han configurado para su movimiento son: el número dos, cuatro, seis y ocho del mando, éstos hacen que el robot se mueva respectivamente hacia adelante,

izquierda, derecha, atrás y, para cambiar de modo, se utiliza la tecla MUTE del mando a distancia.

C. Programación modo seguidor de líneas

Para la programación del modo seguidor de líneas, se recurre a los sensores CNY70. Dependiendo de los valores captados por los sensores se realizan los diversos movimientos con la ayuda de los servomotores. Se pueden dar cuatro casos:

- 1- CNY Izquierdo y CNY Derecho ven negro: El robot debe ir hacia adelante.
- 2- CNY Izquierdo ve blanco y CNY Derecho ve negro: El robot debe girar hacia la derecha.
- 3- CNY Izquierdo ve negro y CNY Derecho ve blanco: El robot debe girar hacia a la izquierda.
- 4- CNY Izquierdo y CNY derecho ven blanco: El robot debe dar vueltas sobre sí mismo hasta encontrar una línea de color negro.

El objetivo es captar mediante un bucle de espera infinita los valores que envían los sensores. En el caso de que el sensor divise negro, se recibirá un 1 en la entrada del puerto del microcontrolador mientras que, cuando el sensor vea blanco, recibirá un 0. Una vez obtenidos los dos posibles valores de los sensores, se realiza un movimiento u otro dependiendo de los cuatro casos descritos anteriormente.

D. Programación del modo seguidor de luz (Follow the leader)

La programación del modo seguidor de luz es muy parecida al modo seguidor de líneas. Se realiza la lectura de los valores de los dos sensores de luz para realizar los diferentes movimientos, dándose los siguientes casos:

- 1- Los dos sensores perciben luz: El robot avanza hacia ella.
- 2- Ninguno de los sensores percibe luz: El robot se queda quieto.
- 3- Sensor izquierdo percibe luz pero el derecho no: El robot gira hacia la izquierda para que ambos sensores perciban luz.
- 4- Sensor derecho percibe luz pero el izquierdo no: El robot gira hacia la derecha para que ambos sensores perciban luz.

Se captan los valores que envían los sensores a los puertos del microcontrolador donde se encuentran conectados. En este caso, si se recibe un 1, significará que el sensor no ha percibido ninguna luz mientras que en caso contrario, el sensor percibe luz.

IV. CONCLUSIONES

La construcción del robot ha sido en ocasiones compleja, mientras que en otras ha sido más fácil de lo que preveíamos: pasábamos días intentando conocer el motivo por el cuál una parte del sistema no funcionaba correctamente y otros, en el que en pocas horas conseguíamos completar un módulo de GUALI.

Uno de los problemas más relevantes que surgieron está relacionado con el regulador de tensión. Cuando se empezaron a realizar las pruebas del modo seguidor de líneas, el robot inexplicablemente a los 30 segundos se paraba y no respondía

a ningún evento. Al cabo de unos días, intentando detectar cual era el problema, descubrimos que era debido a que los servomotores al realizar giros de forma muy rápida, provocaban picos de tensión y hacían que el microcontrolador se reseteara.

Además, una de las dificultades más significativas que hemos tenido, está relacionado con el sensor de infrarrojos. Se han tenido que obtener los tiempos exactos de la señal transmitida y trabajar con tiempos de instrucción para realizar una correcta decodificación de la señal.

Por otro lado, las partes más sencillas que desarrolladas, han sido el control de los servomotores, la programación del modo CNY70 y del modo seguidor luz. Uno de los puntos fuertes del sistema desarrollado es el control remoto de movimientos mediante un mando convencional de televisión con una codificación Philips RC5 ya que nos permite controlar el robot a nuestro antojo, y cambiar a modo seguidor de líneas y a modo seguidor de luz mediante la tecla MUTE del mando a distancia.

Finalmente nos gustaría decir que ha sido una práctica complicada a la vez que satisfactoria, ya que hemos conseguido los objetivos previamente planteados y hemos superado nuestras expectativas iniciales.

REFERENCIAS

- [1] Gabriel Oliver Codina. (2001-2002) Documentació per les pràctiques amb microcontroladors. [Online]. Available: <http://dmi.uib.es/jguerrero/labSistemas/LabSist.pdf>
- [2] José Guerrero. (2009-2010) Projectes amb microcontroladors. Available: <http://dmi.uib.es/jguerrero/labSistemas/labsist.html>
- [3] (2008) X-Robotics. Available: <http://www.x-robotics.com/>
- [4] Eduardo J. Carletti.(2009) Protocolo Philips RC-5 para control remoto. Available: http://axxon.com.ar/rob/Comunicacion_protocolore5.htm
- [5] National Semiconductor. (1994) Datasheet LM2940. Available: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS008822.PDF>
- [6] Vishay. (2000). Datasheet CNY70. Available: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/vishay/83751.pdf>
- [7] Vishay. (2001). Datasheet TSOP4838. Available: http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/2300/301522_DS.pdf

Práctica realizada en la asignatura *Laboratorio de Sistemas*.
Profesores: José Guerrero y Ramon Puigjaner.
Revisado por: Francesc Bonin Font.



Miquel Barceló Román. (Palma de Mallorca, 1987)
Estudiante de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas.
Universitat de les Illes Balears (UIB).



Bartolomé Martínez Pérez. (Palma de Mallorca, 1987)
Estudiante de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas.
Universitat de les Illes Balears (UIB).

El Futuro de la Tecnología CMOS

Christian Peter Winter, Francisco Muñoz Contreras

Máster en Ingeniería Electrónica

christian@kpwinter.com

feco_m@msn.com

Resumen— Desde su aparición en los años sesenta, la tecnología CMOS (del inglés *Complementary Metal Oxide Semidanductor*) ha ido evolucionando rápida- y constantemente llegando a ser la tecnología de fabricación de circuitos más utilizada en la actualidad. Sin embargo, la drástica reducción en tamaño de los transistores MOS convencionales supondrá, en los próximos años, cambios radicales en su estructura y por lo tanto en su proceso de fabricación. Así pues, el objetivo de este artículo será exponer en mayor o menor medida estos cambios así como dar una visión general de la tecnología CMOS dentro del marco de los circuitos integrados.

I. LA TECNOLOGÍA CMOS

Un circuito CMOS esta constituido por dos tipos de transistores, NMOS y PMOS. Dichos transistores son del tipo MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) y consisten en un sustrato de material semiconductor dopado en el que, mediante técnicas de difusión de dopantes, se crean dos terminales (denominados fuente y drenador) de tipo opuesto al sustrato y separados por un canal sobre el cual se hace crecer una capa de material dieléctrico formada por óxido de silicio (SiO_2). Finalmente, sobre dicho aislante se crea la puerta, una fina capa conductora de polisilicio (ver la figura 1). La diferencia entre transistores NMOS y PMOS reside en el dopaje:

- NMOS: Sustrato tipo P y difusiones tipo N.
- PMOS: Sustrato tipo N y difusiones tipo P.

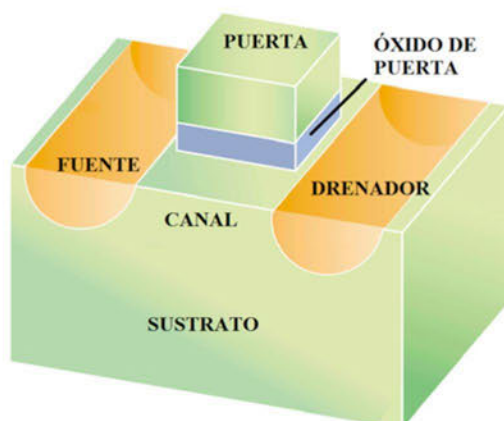


Fig. 1. Esquema básico de un transistor MOSFET.

El elemento utilizado para la fabricación de este tipo de dispositivos es el Silicio. Para su dopado se utilizarán otros elementos tales como Arsenio o Boro, consiguiendo así modificar sus características eléctricas. Por ejemplo, el Arsenio actúa como una impureza donadora (tipo N) y, por lo tanto, dona un electrón o portador de carga negativa a la banda de conducción del silicio. En cambio, el Boro actúa como una impureza aceptora (tipo P) y acepta un electrón de la banda de conducción, introduciéndose de esta manera un 'hueco' o portador de carga positiva.

Mediante un control adecuado de las tensiones en los terminales de fuente, drenador y puerta, es posible controlar el flujo de electrones o huecos que circulan por el transistor. Así, en el caso de un transistor NMOS, al drenador se le deberá aplicar una tensión positiva. Al existir una barrera de potencial en el canal (al estar éste vacío de portadores), el transistor no entrará en funcionamiento hasta aplicar una tensión de puerta positiva superior a la tensión umbral, atrayéndose de esta manera electrones a la zona de carga espacial y creándose un canal de conducción entre fuente y drenador. En el caso del transistor PMOS, las tensiones aplicadas deberán ser negativas y los portadores serán huecos en lugar de electrones.

II. UNA CONSTANTE EVOLUCIÓN

La evolución de la tecnología CMOS es continua y rápida. Consiguiéndose en el 2002 longitudes de canal cercanas a los 50nm, actualmente se están alcanzando longitudes de menos de 20nm (ver la figura 2). Según predice la SIA (*Semiconductor Industry Association*), en el 2016 se conseguirán circuitos integrados de hasta 9000 millones de transistores y longitudes de canal por debajo de los 10nm.

El porqué de intentar disminuir al máximo el tamaño de los transistores es evidente, cuanto menor sea la longitud de canal (distancia entre fuente y drenador), el retraso del transistor disminuirá ya que los portadores deben recorrer una distancia menor. Esto se traduce en una mayor velocidad de operación del dispositivo. Sin embargo, al reducirse la longitud de canal, la puerta se verá reducida también, haciendo del control de puerta un factor crítico. A su vez, se reduce la barrera energética del canal y, en consecuencia, la tensión umbral del transistor. De esta manera sería posible que, aunque no haya tensión aplicada en la puerta, ciertos portadores circulen por el canal. Dicho fenómeno es conocido

como el efecto de canal corto y se traduce a un aumento descontrolado del consumo de potencia.

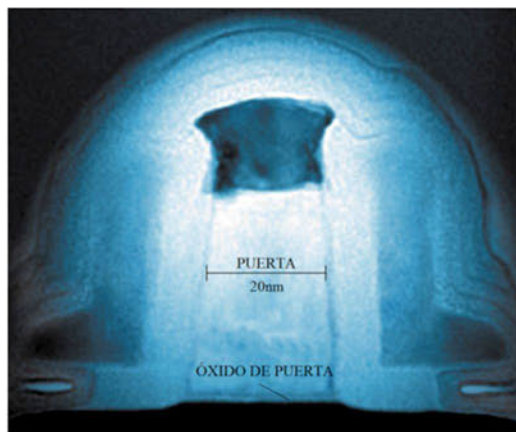


Fig. 2. Imagen de un transistor NMOS de 20nm obtenida mediante un microscopio electrónico de barrido.

Hoy en día existen diferentes métodos para reducir el efecto de canal corto tales como reducir el grosor de la zona de carga espacial (aumentando el dopado) o reducir el grosor de la capa de óxido de silicio y así conseguir un mejor control de puerta. Sin embargo, los métodos anteriores introducen efectos negativos como la reducción de la movilidad de los portadores o el aumento de las corrientes de fuga entre puerta y sustrato. A medida que el tamaño de los transistores se reduzca, dichos efectos cobrarán más importancia haciéndose imposible su compensación. Para garantizar el correcto funcionamiento de los transistores a dicha escala, será necesario introducir cambios significativos tales como:

- Descartar la utilización de polisilicio en la fabricación de puertas. Utilizar en su lugar puertas de metal con mayor conductividad, haciendo posible un control más exacto del transistor.
- Reemplazar el óxido de silicio (SiO_2) por óxidos de puerta con mayor constante dieléctrica, reduciendo drásticamente las corrientes de fuga y, consecuentemente, el consumo del dispositivo.
- Aumentar la movilidad del silicio añadiendo al silicio materiales semiconductores tales como el germanio, consiguiendo una estructura cristalina tensada (del inglés *Strained Silicon*).
- Aumentar el número de puertas por transistor pasando de utilizar una única puerta a utilizar dos o tres. De esta manera se reduce el consumo y se aumenta la fiabilidad del MOSFET.

III. DESAPARICIÓN DEL POLISILICIO

Como se ha comentado en el apartado II, el control de puerta es un factor esencial para el correcto funcionamiento del transistor. Actualmente, las puertas se fabrican mediante polisilicio altamente dopado y con una conductividad comparable a la de un metal. Sin embargo, al aplicar una diferencia de potencial, los electrones se verán atraídos a la

parte superior de la puerta, creándose una zona de carga espacial de entre 0.4 y 0.5nm de grosor en su parte inferior. Este efecto reduce el acoplamiento capacitivo de la puerta y empeora el control de ésta. Si en lugar de polisilicio se opta por un material metálico, dicho efecto es despreciable.

La sustitución de puertas de polisilicio por puertas de metal será cuestión de tiempo, sin embargo, qué metal utilizar para la futura fabricación de puertas en transistores MOS, resulta ser una pregunta clave. Deben tenerse en cuenta diferentes factores tales como: los materiales y sus combinaciones, su estabilidad térmica, las posibles reacciones con el óxido aislante, etc. A su vez, para ajustar la tensión umbral del transistor, el metal de puerta deberá presentar una función de trabajo concreta. La función de trabajo del metal indica con qué fuerza serán atraídos electrones libres por éste. Así pues, la tensión de puerta necesaria para atraer los electrones y así crear un canal de conducción dependerá de dicha función de trabajo del metal de puerta.

Actualmente existen diferentes tendencias pero, de entre las diversas opciones, cabe mencionar especialmente metales como el wolframio (W) o el molibdeno (Mo). Una opción interesante también podría ser el tantalato de rutenio (RuTa) ya que presenta una función de trabajo ajustable según la combinación de tantalato y rutenio.

IV. NUEVOS AISLANTES

A medida que la tecnología CMOS ha ido avanzando, la capa de óxido de silicio entre puerta y canal se ha visto reducida drásticamente para mantener un buen control de puerta. Idealmente el control de puerta se realiza estrictamente por acoplamiento capacitivo por lo que un dispositivo CMOS únicamente consumiría potencia en las transiciones. Sin embargo, en transistores con longitud de canal por debajo de los 90nm, el grosor de la capa de óxido es de menos de 2nm (grosor correspondiente a no más de 5 moléculas de SiO_2) y una capa de óxido de tales dimensiones permite la circulación de corrientes de fuga indeseables entre puerta y sustrato viéndose aumentado considerablemente el consumo tanto en régimen dinámico como estático.

Como hemos visto, la capacidad de un dispositivo tipo MOS debe ser elevada para garantizar un buen control de puerta. Dicho parámetro es inversamente proporcional a la distancia entre terminales (correspondiente al grosor del aislante) y directamente proporcional a la constante dieléctrica de dicho aislante. Al no ser posible, físicamente, seguir disminuyendo el grosor del aislante, la única opción consiste en aumentar la constante dieléctrica. Así pues, el óxido de silicio utilizado hasta el momento se verá sustituido por otro material aislante de mejores prestaciones.

Una apuesta interesante podría ser el dióxido de hafnio (HfO_2) cuya constante dieléctrica es 22 veces mayor a la del óxido de silicio convencional.

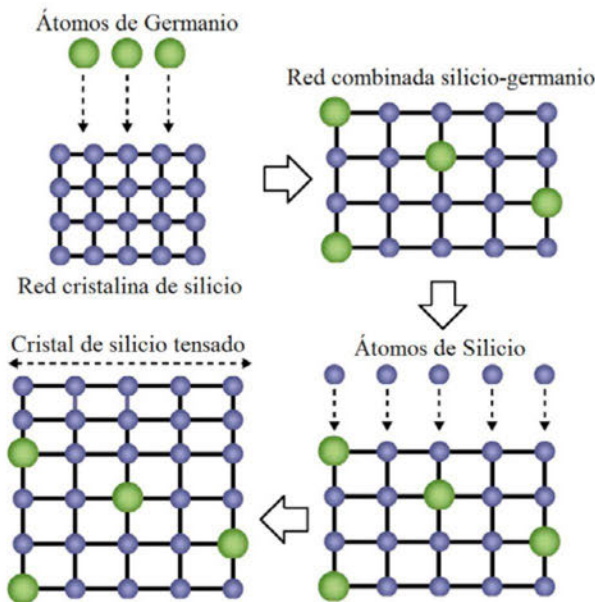


Fig. 3. Proceso a seguir para obtener estructuras de silicio tensado (Strained Silicon).

V. SUSTRATO MEJORADO

Una técnica interesante y que ya se ha llegado a implementar en circuitos comerciales consiste en forzar/tensar la estructura cristalina del sustrato del transistor consiguiendo mejorar las prestaciones de éste último.

En un cristal de silicio puro, la distancia entre los átomos de silicio es la misma en todas las dimensiones, siendo la red cristalina totalmente simétrica. En cambio, en un cristal de silicio tensado, la distancia entre átomos en el plano xy es mayor a la del eje z, modificándose las propiedades eléctricas del semiconductor. Al haber más espacio entre átomos, la colisión de portadores (tanto electrones como huecos) con la red cristalina se ve reducida y la movilidad aumenta. A su vez, la masa efectiva de los portadores también se ve reducida aumentando aún más la movilidad de éstos.

El proceso de fabricación de sustratos de silicio tensado es el siguiente: algunos de los átomos de silicio cercanos a la superficie de la oblea se sustituyen por átomos de germanio. Seguidamente, se deposita una fina capa de silicio puro sobre la oblea. Al tener los átomos de germanio radios atómicos mayores a los de silicio, la distancia entre átomos en la capa de silicio-germanio es mayor a la de silicio puro. Así al depositar la capa de silicio puro, ésta se alinearà con la anterior viéndose tensada en las direcciones paralelas al plano (ver la figura 3).

Los transistores fabricados sobre sustrato de silicio tensado presentan mayor movilidad de portadores respecto a aquellos que se fabrican sobre sustrato convencional (un incremento entre un 10 y un 20%). Adicionalmente, la corriente de salida del dispositivo aumenta y, consecuentemente, la velocidad de

conmutación se incrementa haciendo posible trabajar a mayores frecuencias de reloj.

VI. EN BÚSQUEDA DE NUEVAS ESTRUCTURAS

La utilización de aislantes con alto coeficiente dieléctrico, puertas de metal y sustratos de silicio tensado alargarán la vida del transistor MOSFET plano tradicional unos años más. Sin embargo, en un futuro no muy lejano, esto llegará a su límite. Los nuevos dispositivos multipuerta prometen ser una evolución tecnológica capaz de dar la solución necesaria a los circuitos integrados de baja potencia.

Están siendo diseñadas y estudiadas diferentes versiones de estas nuevas estructuras de transistor. Algunas de ellas se clasifican según su arquitectura y el número de puertas.

- Transistores planos de doble puerta: siguen la estructura plana convencional (capa por capa) por lo cual se podría fabricar sin necesidad de procesos litográficos especiales. El canal se encuentra insertado entre dos puertas independientes, permitiendo un control más efectivo del dispositivo.
- FlexFET: conserva la estructura plana, introduciendo una puerta doble, la superior "top gate" y "bottom gate" (ver figura 4). La superior es controlada por efecto campo (MOS) y la inferior por corriente (tratándose de una unión tipo JFET).
- FinFET: nueva estructura en tres dimensiones, donde la puerta está compuesta por varios electrodos. Es la apuesta más interesante para el futuro. Desarrollado conjuntamente por fabricantes importantes tales como IBM, AMD, Intel e Hitachi. En el siguiente apartado se detallará su funcionamiento.

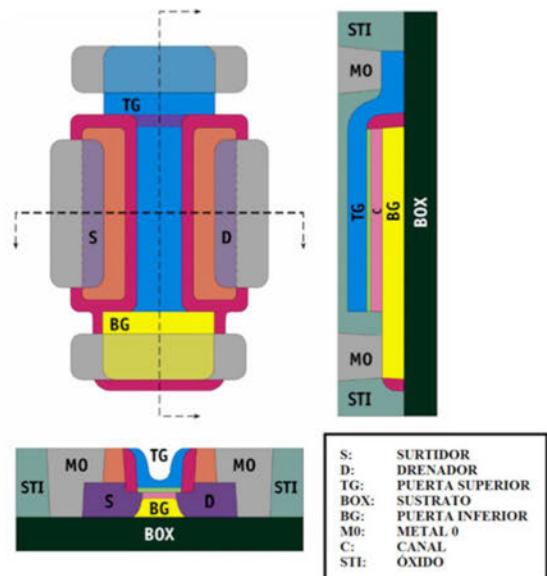


Fig.4 Estructura de un transistor FlexFET. Vistas correspondientes a la parte superior y secciones transversales.

VII. EL TRANSISTOR FIN-FET

El término FinFET fue definido por investigadores de la Universidad de Berkeley (California) para describir un nuevo modelo de transistor multipuerta, que no seguía la arquitectura MOS plana. La característica principal es que el canal conductor se encuentra envuelto por la puerta por tres de sus lados.

En estos dispositivos, la unión entre fuente y drenador esta construida verticalmente a la superficie del sustrato y presenta una anchura reducida. Esto hace posible una disminución de la resistencia en serie entre los terminales de fuente y drenador. La longitud de puerta del dispositivo viene determinada por dicha anchura.

La puerta es una película de polisilicio altamente dopado que rodea la unión entre fuente y drenador. Al aplicar una tensión en dicha puerta se crea un canal en la superficie de la unión, poniendo el transistor en conducción.

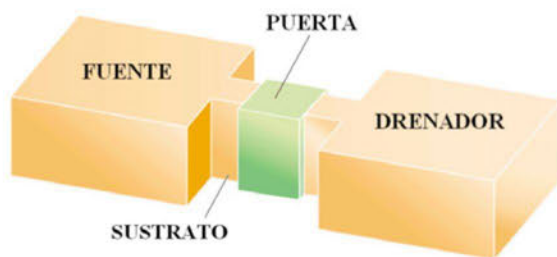


Fig. 5 Estructura de un FinFET.

Una segunda configuración se consigue utilizando dos puertas laterales independientes, creando el denominado "FinFET 4T" que presenta cuatro terminales: fuente, drenador, puerta 1 y puerta 2.

El control independiente de las puertas permite modificar la tensión umbral (V_{th}) del dispositivo y, adicionalmente, aumenta la inmunidad al indeseado efecto de canal corto. Generalmente el grosor del óxido de puerta suele ser simétrico, pero modificando estas medidas se puede mejorar aún más el control de la tensión umbral del transistor.

El gran interés mostrado hacia el FinFET es fruto de las ventajas que muestra respecto a otros transistores multipuerta, tales como menor coste de fabricación de obleas, baja densidad de defectos en los dispositivos por oblea, menor voltaje de polarización y sobretodo su gran compatibilidad con los procesos de fabricación actuales. Todo ello hace que el FinFET sea el primer transistor multipuerta implementado a nivel comercial.

VIII. CONCLUSIONES

Con las modificaciones expuestas en este artículo, el transistor MOSFET convencional seguirá siendo utilizado durante varios años. La introducción de transistores multipuerta de hasta cuatro puertas seguirá alargando aún más la vida de la tecnología CMOS. Y, cuando dichos dispositivos hayan llegado también a su límite, surgirán nuevas estructuras aún más exóticas tales como nanotubos, transistores de superconducción o transistores moleculares.

IX. REFERENCIAS

- [1] Y.P. Tsividis, *Operation and Modeling of the MOS Transistor*, McGraw-Hill Inc. 1988.
- [2] J.P. Colinge, C.A. Colinge, *Physics of Semiconductor Devices*, Kluwer Academic Publishers 2002.
- [3] *The Amazing Vanishing Transistor Act*, IEEE Spectrum October 2002.
- [4] M. Masahara, K. Endo *Four-Terminal FinFET device technology*, IEEE 2007.
- [5] S. Inaba, K. Okano, T. Izumida, *FinFET: the prospective multi-gate device for future SoC applications*, IEEE 2006.
- [6] http://es.wikipedia.org/wiki/Estructura_MOS
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/MOSFET>
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/Strained_silicon

X. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecimientos a Dr. Eugeni García Moreno y a Dr. Josep Lluís Roselló Sanz por suministrarnos la información necesaria para la realización de este documento. A su vez, dar las gracias al consejo editorial de la revista así como a la Universitat de les Illes Balears por darnos la posibilidad de publicar este artículo.



Christian Peter Winter es estudiante del Máster en Ingeniería Electrónica de la UIB. El artículo aquí presentado se realizó en base a los conocimientos adquiridos en la asignatura de Dispositivos Electrónicos y Fotónicos impartida por Dr. Eugeni García Moreno y Dr. Josep Lluís Roselló Sanz.



Francisco Muñoz Contreras es estudiante del Máster en Ingeniería Electrónica de la UIB. El artículo aquí presentado se realizó en base a los conocimientos adquiridos en la asignatura de Dispositivos Electrónicos y Fotónicos impartida por Dr. Eugeni García Moreno y Dr. Josep Lluís Roselló Sanz.

Estudi sobre el pont de Wien no lineal

Catalina Vich Llompарт,
 Quart curs de la llicenciatura de matemàtiques
 Pràctica de l'assignatura de Simulació.

GAIREBÉ sempre que ens trobem davant d'una situació real podem donar-ne un model matemàtic de tal manera que ens aproximi aquesta i ens permeti observar, a priori, fets que poden donar-se. Ara bé, moltes vegades s'ha d'anar en compte amb el fet que el model no resulti massa ideal ja que ens podria provocar errors inesperats.

En aquest treball ens disposam a estudiar un circuit elèctric oscil·lador anomenat Pont de Wien. Començarem construint un model diferencial el qual ens portarà a dos possibles sistemes d'equacions, un lineal i un altre no lineal, depenent de les característiques d'una de les components. Fent servir eines analítiques i numèriques, explorarem les propietats qualitatives i quantitatives dels models. Finalment, construirem un circuit elèctric basat amb aquest disseny i, amb l'ajuda d'un oscil·loscopi, conclourem quins dels dos models modelitza millor el comportament del sistema.

PONT DE WIEN

Aquest circuit consisteix en quatre resistències, dos condensadors i un amplificador operacional amb realimentació negativa, connectat tal com s'observa en la Figura 1.

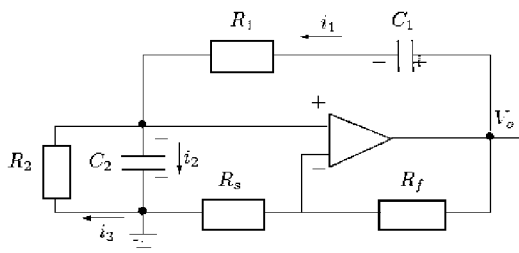


Figura 1. Circuit Pont de Wien clàssic.

Notem que el circuit consta de dues malles, la primera formada per la resistència R_1 i els condensadors C_1 i C_2 i, la segona, formada per la resistència R_2 i el condensador C_2 . Per a facilitar el nostre estudi, podem considerar sense pèrdua de generalitat que el circuit està orientat en sentit antihorari en la primera malla i sentit horari en la segona.

Aplicant les lleis de Kirchoff i donat que la corrent en l'entrada de l'amplificador és nul·la obtenim

$$i_3 + i_1 = i_2. \quad (1)$$

Per altra part, aplicant la segona llei de Kirchoff en cadascuna de les malles obtenim que: si V_{C_2} és la caiguda de potencial en travessar el condensador C_2 i V_{R_2} és la caiguda de potencial en travessar la resistència R_2 , llavors

$$V_{C_2} = -V_{R_2}; \quad (2)$$

i si V_{C_1} i V_{R_1} són les caigudes de potencial en el condensador C_1 i la resistència R_1 , respectivament, i V_0 és la tensió en la sortida de l'amplificador, llavors se satisfà que

$$-V_0 = V_{C_1} + V_{R_1} + V_{C_2}. \quad (3)$$

Ara bé, com que

$$i_1 = C_1 \frac{dV_{C_1}}{dt}, \quad i_2 = C_2 \frac{dV_{C_2}}{dt} \quad \text{i} \quad i_3 = \frac{V_{R_2}}{R_2},$$

de les equacions (1) i (2) obtenim

$$C_1 \frac{dV_{C_1}}{dt} - C_2 \frac{dV_{C_2}}{dt} = \frac{V_{R_2}}{R_2}, \quad (4)$$

i de l'equació (3) obtenim que

$$C_1 R_1 \frac{dV_{C_1}}{dt} = -V_0 - V_{C_1} - V_{C_2}. \quad (5)$$

Substituint l'equació (5) en l'equació (4), obtenim el següent sistema d'equacions diferencials ordinàries

$$\begin{cases} R_1 C_1 \dot{V}_{C_1} = -V_{C_1} - V_{C_2} - V_0, \\ R_1 C_2 \dot{V}_{C_2} = -V_{C_1} - \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{C_2} - V_0, \end{cases} \quad (6)$$

on \dot{V}_{C_k} denota la derivada de V_{C_k} respecte del temps per a $k = 1, 2$.

La solució de l'equació diferencial (6) és una funció de dues variables, $V_{C_1}(t)$, $V_{C_2}(t)$ les quals representen la caiguda de potencial en el condensador C_1 i C_2 , respectivament, al llarg del temps.

Es fa notar que la tensió en la sortida de l'amplificador operacional no inversor, V_0 , és funció de la tensió en l'entrada no inversora, V_{C_2} . Aquesta funció es anomena funció característica de l'amplificador operacional.

Usualment la funció característica es considera lineal, és a dir

$$V_0 = -\alpha V_{C_2}, \quad (7)$$

on $\alpha = 1 + R_F/R_S$ és el guany. El que implica un comportament ideal de l'amplificador operacional (el rang de treball de l'amplificador és infinit).

No obstant, un amplificador real operacional té un rang de resposta finit a partir del qual se satura. Si es té en compte aquest valor, es pot considerar la funció característica

$$V_0 = \begin{cases} E \operatorname{sign}(-\alpha V_{C_2} + E) & \text{si } |\alpha V_{C_2}| > E, \\ -\alpha V_{C_2} & \text{si } |\alpha V_{C_2}| \leq E, \end{cases} \quad (8)$$

on $\alpha = 1 + R_F/R_S$ és el guany i E el voltatge de saturació.

S'arriba així a dos models diferents: un lineal, el qual és usual utilitzar, i un altre lineal a trossos.

En la resta del treball estudiarem algunes qüestions quantitatives i qualitatives dels models que ens permetin concloure quin dels dos models representa millor el comportament real del circuit.

Cas lineal

En el cas d'un amplificador operacional ideal, sense saturació, emprant l'equació (7), el sistema (6) es pot reescriure com el sistema d'equacions lineals ordinàries

$$\begin{pmatrix} \dot{V}_{C_1} \\ \dot{V}_{C_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{R_1 C_1} & -\frac{1}{R_1 C_1}(1-\alpha) \\ -\frac{1}{R_1 C_2} & -\frac{1}{R_1 C_2}\left(1 + \frac{R_1}{R_2} - \alpha\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{C_1} \\ V_{C_2} \end{pmatrix}.$$

La matriu associada a aquest sistema d'equacions té traça i determinant

$$T = \frac{-C_2 R_2 - R_1 C_1 - C_1 R_2 (1 - \alpha)}{C_1 R_1 C_2 R_2},$$

$$D = \frac{1}{C_1 R_1 C_2 R_2} > 0,$$

respectivament.

A partir de la teoria d'equacions diferencials se sap que el retrat de fase (el comportament del conjunt de solucions) és caracteritzat pel valor de la traça i del determinant del sistema diferencial. Com que el determinant és estrictament positiu tenim la següent caracterització segons el signe de la traça:

Teorema 1: *El sistema d'equacions diferencials satisfà*

- Si $T < 0$, llavors l'origen és un atractor global.
- Si $T = 0$, llavors l'origen és un centre global.
- Si $T > 0$, llavors l'origen és un repulsor global.

Per a una demostració d'aquest resultat, podeu consultar el teorema de la pàgina 25 del llibre de L. Perko [1].

Per tant, per al sistema lineal, el model té tres possibles comportaments dels quals únicament n'hi ha un que és periòdic, quan la traça de la matriu és idènticament nul·la.

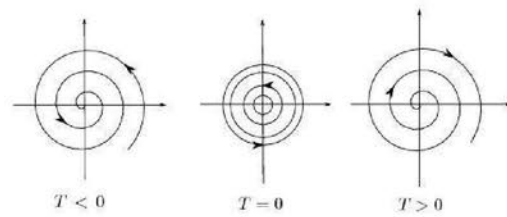


Figura 2. Comportament topològic de les òrbites d'un sistema lineal amb determinant positiu segons el signe de la traça.

A continuació es presenta una experimentació del sistema real per a observar si el comportament estudiat es fa present o no.

Connectant a un oscil·loscopi una placa elèctrica en la qual construïm el pont de Wien amb valors de les resistències $R_1 = 2.188K\Omega$, $R_2 = 2.167K\Omega$, $R_S = 2.192K\Omega$ i $R_F = 10.63K\Omega$ i dels condensadors $C_1 = 646nF$ i $C_2 = 328nF$. Per a aquests valors es té que el valor de la traça T és estrictament positiu, per la qual cosa, el comportament de qualsevol solució hauria de ser asimptòticament cap a l'origen.

Pel contrari, en la Figura 3 tenim la sortida de l'oscil·loscopi per a aquests valors de les resistències on s'observa un comportament periòdic de les dues variables V_{C_1} i V_{C_2} amb un període estimat de $P = 11.24ms$.

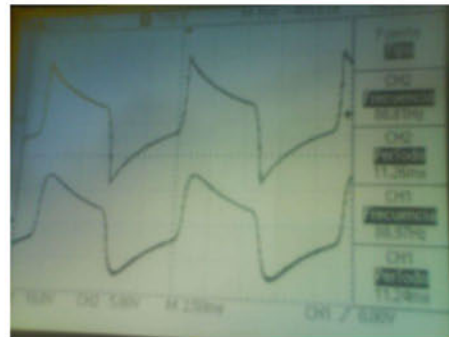


Figura 3. Representació de l'oscil·loscopi de les variables V_{C_1} i V_{C_2} del sistema respectivament.

Notis que aquest fet està en contradicció amb el model teòric plantejat pel qual les úniques òrbites periòdiques apareixen quan la traça és nul·la.

Cas lineal a trossos

En matemàtiques es poden construir models ideals com en el cas anterior al qual es considerava que es podia passar infinit voltatge als amplificadors però en la realitat aquest fet no és pas així sinó que, com que els amplificadors en un moment donat es saturen, llavors també s'ha de tenir en compte aquesta nova condició al model matemàtic. Per aquest motiu considerem la

característica lineal a trossos (8) la qual contempla el cas en què l'amplificador se satura. És a dir, es considera que a partir d'un cert valor del voltatge l'amplificador operacional manté constant la seva resposta. Aquest fet es pot observar en la Figura 4.

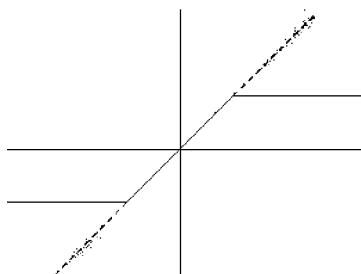


Figura 4. Funció característica lineal a trossos d'un amplificador operacional amb saturació.

Realitzant el canvi de variables

$$x_1 = \frac{\alpha V_{C_2}}{E}, \quad x_2 = \frac{\alpha V_{C_1}}{E}$$

i considerant l'expressió (8), es pot reescriure el sistema diferencial (6) com un nou sistema d'equacions diferencial ordinàries

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{cases} A\mathbf{x} + \mathbf{b} & \text{si } x_1 > 1, \\ B\mathbf{x} & \text{si } -1 \leq x_1 \leq 1, \\ A\mathbf{x} - \mathbf{b} & \text{si } x_1 < -1. \end{cases} \quad (9)$$

on $\mathbf{x} = (x_1, x_2)^T$, $\mathbf{b} = \left(\frac{\alpha}{R_1 C_2}, \frac{\alpha}{R_1 C_1} \right)^T$, A és la matriu

$$A = \begin{pmatrix} -\left(\frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2}\right) & -\frac{1}{R_1 C_2} \\ -\frac{1}{R_1 C_1} & -\frac{1}{R_1 C_1} \end{pmatrix},$$

i $B = A + \mathbf{b}\mathbf{e}_1^T$.

El camp vectorial (9) és continu i Lipschitz, per la qual cosa està garantitzada l'existència i unicitat de les solucions en tot el pla, encara que el sistema no sigui diferenciable. Per tant, es pot parlar d'un flux associat al sistema (9). Aquest flux es compon de tres sistemes lineals definits cadascun en les següents regions de l'espai de fase

$$\begin{aligned} S_+ &= \{(x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2 : x_1 > 1\}, \\ S_0 &= \{(x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2 : -1 < x_1 < 1\}, \\ S_- &= \{(x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2 : x_1 < -1\}. \end{aligned}$$

Siguin Γ_+ i Γ_- les rectes que separen les regions S_+ i S_0 i les regions S_0 i S_- , respectivament.

Conseqüentment, encara que la implicació no sigui evident, el flux del sistema (9) està caracteritzat pels valors de les traces t i T i dels determinants d i D de les matrius A i B respectivament

$$\begin{aligned} t &= \left(\frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_1 C_1}\right) < 0, & d &= \frac{1}{R_1 C_1 R_2 C_1} > 0 \\ T &= t + \frac{1}{R_1 C_2}, & D &= d > 0. \end{aligned}$$

Variant els valor de les resistències convenientment, es pot alterar el signe de T i obtenir d'aquesta manera diferents solucions per al sistema (9) segons el següent Teorema, el qual es pot trobar en l'article [2] en l'apartat Teorema 1 o en l'article [3] apartats Teoremes B i C.

Teorema 2: El sistema d'equacions diferencials satisfà

- Si $T < 0$, llavors l'origen és atractor global del sistema.
- Si $T = 0$, llavors existeix un centre local entorn a l'origen contingut en S_0 del qual la frontera Γ és una òrbita periòdica tangent a les rectes Γ_+ i Γ_- . El període de totes aquestes òrbites és $2\pi/\sqrt{D}$. A més, Γ és atractor global de la regió exterior al centre.
- Si $T > 0$, llavors l'origen és atractor. Existeix una òrbita periòdica Γ la qual envolta l'origen i interseca a les tres regions. A més, Γ és un atractor global (llevat de l'origen).

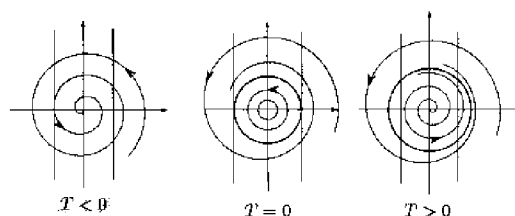


Figura 5. Comportament topològic de les òrbites del sistema lineal a trossos (9) amb determinant positiu segons el signe de la traça.

En aquest cas, el comportament periòdic també està previst en el cas en què la traça és positiva, tal com s'ha vist en l'oscil·loscopi. Donat que el model lineal a trossos representa millor qualitativament el sistema real, en la següent secció, s'estudiarà si quantitativament també es té aquesta aproximació.

COMPARACIÓ DEL MODEL AMB EL COMPORTAMENT REAL

Vist que els aspectes qualitatius del model lineal a trossos coincideix amb l'observat en l'oscil·loscopi, és a dir, que existeix un comportament periòdic, en aquesta secció s'estudiarà si el període previst pel model matemàtic coincideix amb el mesurat per l'oscil·loscopi.

Per a portar a terme l'experiment es mantenen constants els valors de les resistències R_1, R_2 i R_S i dels condensadors C_1 i C_2 que s'havien establert com a contraexemple en el cas lineal. Aleshores, canviant els valors de la resistència R_F segons els propòsits del moment, es pot calcular el període P de l'òrbita periòdica.

Mitjançant l'oscil·loscopi, es té que el període per a diferents valors de la resistència R_F són

Representant la variable x_1 respecte de x_2 en el cas en què $T > 0$, s'observa com les òrbites del sistema s'allunyen de l'origen cap a la solució periòdica.

R_F	T	P
$3.32K\Omega$	$-3.945E10^{-6} < 0$	$P = 7.360ms$
$3.47K\Omega$	$9.1406E10^{-5} > 0$	$P = 6.31ms$
$3.99K\Omega$	$4.2196E10^{-4} > 0$	$P = 6.66ms$
$10.63K\Omega$	$4.6429E-3 > 0$	$P = 11.24ms$

Figura 6. Taula dels valors dels períodes del moviment oscil·latori obtinguts amb l'oscil·loscopi per a diferents valors de R_F

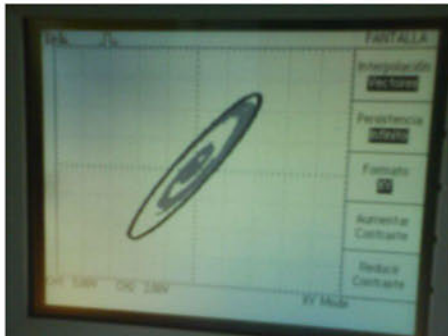


Figura 7. Comportament periòdic vist en l'oscil·loscopi al representar la variable x_1 respecte de x_2 per al valor $R_F = 10.63K\Omega$.

Per altra part, implementant el mètode numèric Runge-Kutta Felberg 4-5 i integrant amb aquest el sistema (9) es poden calcular els diferents períodes de les respectives òrbites periòdiques obtenint els següents resultats:

R_F	$P_{superior}$	error	$P_{inferior}$	error
$3.32K\Omega$	Decau	-	Decau	-
$3.47K\Omega$	$6.36ms$	0.0158	$6.31ms$	0.0217
$3.99K\Omega$	$6.66ms$	0.0038	$6.60ms$	0.0341
$10.63K\Omega$	$11.05ms$	0.0366	11.00	0.0332

Figura 8. Taula dels valors dels períodes del moviment oscil·latori obtinguts numèricament per a diferents valors de R_F

Fent una comparativa del cas real i del numèric, prenent en cada cas el valor que ens proporciona un error menor s'obté que

R_F	$P_{num.}$	$e_{num.}$	$P_{osc.}$	$e_{osc.}$
$3.47K\Omega$	$6.36ms$	0.0158	$6.31ms$	0.01
$3.99K\Omega$	$6.66ms$	0.0038	$6.66ms$	0.01
$10.63K\Omega$	$11.00ms$	0.0332	$11.24ms$	0.01

Figura 9. Comparació entre els resultats mesurats en l'oscil·loscopi i obtinguts numèricament

Concloem que el model lineal a trossos no tan sols s'aproxima qualitativament al sistema real sinó que també ho fa de manera quantitativa.

A més, numèricament es pot obtenir quin és el valor exacte de R_F pel qual el valor de la traça T s'anul·la. Aquest valor és $3.335K\Omega$ amb període corresponent, $P = 6.298ms$ que és aproximadament $2\pi/\sqrt{D}$ tal com ens predeia el Teorema 2(b).

Notis que per a valors més petits d'aquest valor crític, el Teorema 2(a) prediu que l'origen és un atractor global la qual cosa sembla estar en contradicció amb la primera fila de la Taula on s'obté un període per a $R_F = 3.32K\Omega$. Aquesta contradicció desapareix si pensam que, per a aquest valor, la traça és tan propera a 0 que el comportament del sistema està pròxim a un comportament de tipus centre previst en el Teorema 2(b).

REFERÈNCIES

- [1] Lawrence Perko, *Differential Equations and Dynamical Systems*, 3a edició.
- [2] Emilio Freire, Enrique Ponce i Javier Ros, *Limit cycle bifurcation from center in symmetric piecewise-linear systems*, *International Journal of Bifurcation and chaos*, Vol. 9, N. 5 (1999) 895-907, World Scientific Publishing Company.
- [3] Jaume Llibre i Jorge Sotomayor, *phase portraits of planar control systems*, *Nonlinear control systems, phase portait, bifurcation diagram*.



Catalina Vich Llompart Llicenciada en Matemàtiques l'any 2010 en la Universitat de les Illes Balears. Matriculada al màster *Master in Advanced Mathematics and Mathematical Engineering* en la Universitat Politècnica de Catalunya.

Amb la col·laboració del Dr. Antonio E. Teruel Aguilar, doctor en Matemàtiques en la Universitat de les Illes Balears i el Dr. Rodrigo Picos, doctor en Tecnologia electrònica en la Universitat de les Illes Balears.

Detección de Líneas y Sistema de Estabilidad de Carril basado en cámara frontal

Álvaro Medina Ballester
Ingeniería Informática Superior
Universidad de las Islas Baleares
Visión por computador
Email: alvaro@comiendolimones.com

Xavier Leal Meseguer
Ingeniería Informática Superior
Universidad de las Islas Baleares
Visión por computador
Email: lealxavi@gmail.com

Resumen—Un gran porcentaje de los accidentes de tráfico son debidos a factores humanos. De estos, la salida de carril es uno de los más comunes. En el presente artículo se propone un sistema de detección de salidas de carril basado en visión por computador. Se obtienen imágenes mediante una cámara de vídeo situada en el coche y posteriormente se testea el algoritmo de detección fuera de la ejecución en tiempo real. El algoritmo consiste en el uso del filtro de *Canny* seguido de una transformada de *Hough* de forma repetida. Con dos pasadas de estas dos funciones conseguimos resaltar más las características de la carretera y posteriormente obtenemos las dos líneas del carril. En ausencia de las dos líneas en las zonas laterales del campo de visión de la cámara, se da un aviso de salida de carril. Este trabajo académico se ha elaborado para la asignatura de Visión por Computador, impartida por el doctor Francisco J. PERALES.

I. INTRODUCCIÓN

En este apartado vamos a explicar en qué consiste esta aplicación así como las tecnologías que han sido utilizadas.

I-A. Problema a resolver

En el presente proyecto se va a estudiar la detección de las líneas (continuas y discontinuas) de una calzada o carretera. Se supone la recepción de una secuencia de imágenes, captadas por una cámara que está montada, configurada y calibrada en un coche común. La figura 4 es una muestra de una de las imágenes que se tratan.

Una vez captada la imagen, se pasa a buscar tanto la línea que queda en el lado izquierdo como la línea que queda al lado derecho del coche (ya sean continuas o discontinuas). Esta detección es la base para discriminar aquellos casos en que los que el coche esté realizando un cambio de carril o bien esté saliendo de la calzada.

I-B. Tecnología Utilizada

Se ha utilizado el lenguaje de programación C++ en una plataforma “Ubuntu GNU/Linux 10.04”. Por otro lado se han utilizado las librerías gráficas Open CV 2.1, con las cuales se ha llevado a cabo la implementación de todos los filtros y técnicas que se explicarán a continuación. Por último se ha utilizado un video de entrada para las diferentes pruebas, con compresión DV-PAL progresivo y con una resolución de 720 por 576 píxeles.

II. IMPLEMENTACIÓN

A continuación se explican cuales han sido los pasos que se han seguido para la detección de la líneas así como para la detección de los cambios o salidas de carril. Presentamos el *pseudo-código* mostrado en el algoritmo 1 para explicar la secuencia de acciones que se realizan. Como se puede comprobar, primero se realiza el cálculo de perspectiva para obtener líneas de carriles prácticamente verticales; tras ello se aplican dos veces los filtros de *Canny* y la transformada de *Hough* —buscando únicamente las líneas que nos son útiles—, y al final se comprueba si estamos fuera del carril.

Listing 1. Algoritmo de detección de carriles

```

1 mientras podamos capturar {
2
3     realizarPerspectiva();
4     pasamosAESacalaDeGrises();
5     aplicamosFiltroCanny();
6     buscamosHoughLines() {
7         discriminamosLineas();
8     }
9     calculamosMedia();
10    aplicamosFiltroCanny() // segunda vez
11    buscamosHoughLines() {
12        discriminamosLineas();
13    }
14
15    calculamosMedia();
16    deshacemosPerspectiva();
17    solapamosImagen();
18    comprobamosSalidaCarril();
19 }

```

II-A. Perspectiva / Calibración

Una vez el dispositivo de captura de imágenes ha sido montado en el coche, se lleva a cabo su calibración. Existen muchas maneras diferentes de calibrar la cámara; se puede saber la posición de la cámara con parámetros como su altura, inclinación, etc. o se puede llevar a cabo una calibración manual (como se ha realizado en este caso), aunque una de las mejores formas de calibrar la cámara es la que se expone a continuación, comentada en las sesiones teóricas de la asignatura de Visión por Computador.

Figura 1. Calibración cámara

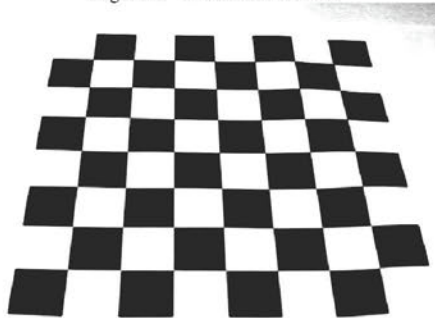


Figura 2. Perspectivas Probadas



El método se muestra en forma de ejemplo en la figura 1 y consiste en la colocación de un tablero de ajedrez en el suelo, dentro del campo de visión de la cámara. Una vez capturada la imagen del tablero, y suponiendo que la cámara no cambia de posición, gracias a la función `cv::calibrateCamera()`; [5] se logra obtener un tablero donde todas las casillas formen un cuadrado perfecto y la imagen no aparezca deformada. Los parámetros que se obtienen se corresponden a la deformación que se produce en la perspectiva de la cámara para que el tablero pueda verse correctamente.

El sistema que se ha utilizado es mucho más artesano pero ha funcionado en términos aceptables. En la figura 2 se muestran puntos de diferentes colores. Estos son los puntos que definen una área en forma de trapecoide, donde cada punto de él se traslada a la esquina más próxima de la imagen, transformándolo en un cuadrado que ocupa toda el área de la matriz sobre la cual trabaja el algoritmo. Con esta transformación manual se consigue un resultado similar a la calibración automática comentada anteriormente, aunque para conseguir un resultado óptimo se han probado diferentes trapecoides, representados cada uno de ellos con puntos de un mismo color.

De esta forma se consiguen dos de los objetivos que se necesitan:

- El horizonte queda acotado, y la imagen a tratar es inferior (se descartan todas aquellas partes de la imagen que no forman parte de la calzada).
- Se consigue que todas aquellas líneas que aparecen distorsionadas por la imagen perspectiva que coge la cámara aparezcan como líneas "casi rectas" y por lo tanto funcionen mejor los diferentes algoritmos.

Podemos ver a continuación un fragmento del código donde se especifica una de las matrices de perspectiva que han sido utilizadas en este proyecto:

```

1 org[0] = Point2f(126, 158);
2 dst[0] = Point2f(0, 0);
3
4 org[1] = Point2f(521, 158);
5 dst[1] = Point2f(720, 0);
6
7 org[2] = Point2f(2, 317);

```

```

8 dst[2] = Point2f(0, 576);
9
10 org[3] = Point2f(718, 313);
11 dst[3] = Point2f(720, 576);

```

Cabe destacar que el algoritmo presentado puede funcionar de forma correcta en otros ejemplos, aunque para que funcione de forma óptima deberíamos volver a ajustar las variables de transformación de perspectiva. Para ello, lo más recomendable es realizar la calibración de la imagen y de la lente, disponiendo de una cámara fijada en el coche.

II-B. Canny Filter

El filtro de *Canny* es la segunda de las técnicas que utilizamos para conseguir la detección de los carriles. Como puede verse en la figura 4 se utiliza el cambio de contraste que existe entre el fondo (carril) y las líneas del carril para conseguir detectar las fronteras entre ambos. Podemos observar también en la imagen, y en el pseudocódigo 2, que antes de aplicar este filtro la imagen ha sido transformada a escala de grises, por lo que la información que disponemos en la matriz de la imagen y sobre la que vamos a estudiar a fondo las líneas, tenemos un menor espectro de colores con los que trabajar. El filtro de Canny requiere esta conversión.

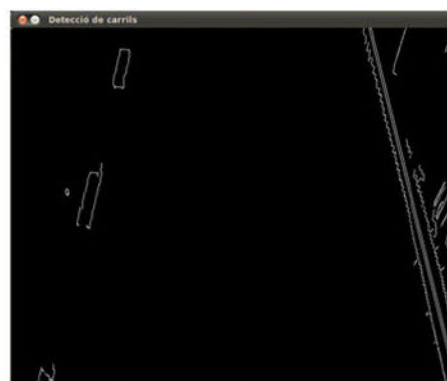


Figura 3. Filtro de Canny

Las instrucciones que se muestran a continuación son las que se han utilizado para llevar a cabo la aplicación de los

dos filtros (transformada a escala de grises y *Canny*). Los parámetros 3 y 4 de la función de *Canny* indican el umbral (*threshold*) inferior y superior, respectivamente, de este filtro y nivel de *hysteresis* con el que se trabaja [6].

Listing 2. Filtro de Canny

```
1 cvtColor(bordes, filtros, CV_BGR2GRAY);
2 Canny(filtros, filtros, 30, 120);
3 // Sobel(aux, aux, IPL_DEPTH_16S, 1, 0, 3);
```

Por último podemos ver como en el código 2 se encuentra “comentada” la instrucción *Sobel*. Esta instrucción pertenece a otro filtro de “detección de fronteras”, que produce un efecto parecido al filtro que realmente aplicamos. En cambio esta función ha dado dos problemas:

1. Disminución de la velocidad de tratamiento de cada imagen
2. Aumento de la sensibilidad en la obtención de fronteras

II-C. Houghline Doble

La siguiente técnica o algoritmo es uno de los más importantes en este proyecto. La detección de líneas mediante la transformada de “Hough” es muy conocida por su eficacia y por la facilidad de representación parametrizada de las líneas que encuentra. Cada línea que encuentra es representada por dos valores, θ y ρ , que representan la distancia de la perpendicular a la recta al punto de origen y el ángulo de rotación de la perpendicular, respectivamente.

Figura 4. Doble aplicación de la transformada de Hough



De esta forma se consigue una gran velocidad y rendimiento en la detección de líneas. En el caso que se trata no ha aparecido ningún problema en la detección de las líneas continuas tanto izquierda como derecha, pero no obstante, sí han habido algunos problemas para mantener una línea de referencia con la línea discontinua. Por esa razón se ha decidido aplicar dos veces el algoritmo de “Hough” [3].

Gracias a ello, se ha conseguido que la segunda vez que se aplica el algoritmo, ya aparezcan las primeras líneas y se tenga una mayor referencia para detectarlas, aunque debido a que la transformación de la perspectiva comentada en la sección II-A no es la óptima, hay veces que se pierde la referencia de la línea discontinua.

Listing 3. Criterio de discriminación de líneas encontradas

```
1 FLOAT theta = linies[i][1];
2 FLOAT rho = linies[i][0];
3 DOUBLE a = cos(theta), b = sin(theta);
4 DOUBLE x0 = a*rho, y0 = b*rho;
5
6 /* Discriminacion de lineas */
7
8 FLOAT graus = (theta*180)/CV_PI;
9 IF ((graus >= 0.00) && (graus <= 20.00)) {
10     IF (x0 >= 50 && x0 <= 150) {
11         rho_esq += linies[i][0];
12         theta_esq += linies[i][1];
13         idx_esq += 1;
14     }
15 } ELSE IF ((graus <= 180.00) &&
16           (graus >= 160.00)) {
17     IF (x0 >= 500 && x0 <= 650) {
18         rho_drt += linies[i][0];
19         theta_drt += linies[i][1];
20         idx_drt += 1;
21     }
22 }
```

II-C1. Discriminación: En el fragmento de código 3 se puede observar como, una vez la línea ha sido encontrada, se lleva a cabo una discriminación. El ángulo de la línea ayudará a determinar si la línea es la del lado izquierdo o la del lado derecho, así como también ayudará a que no se tengan en cuenta aquellas líneas horizontales que puedan alterar el resultado del algoritmo.

Por otro lado, también se ha tenido en cuenta la posición que ocupan las líneas. Aquellas líneas que por su ángulo son del lado izquierdo, deben además estar posicionadas en este lado en la imagen. Lo mismo pasa con las líneas del lado derecho. Esto hace que muchas líneas encontradas que no nos sirven sean descartadas y no afecten al siguiente paso, la media de líneas. Las líneas que se descartan son, por ejemplo, las líneas horizontales que aparecen en la imagen y que no representan ninguna característica que ayude a conocer si se ha producido el cambio de carril.

II-C2. Media Líneas: También se puede observar en el código como se lleva a cabo una media de todas las líneas resultantes. En este caso, y además aplicando dos veces el algoritmo de “Hough”, el número de líneas encontrado es muy grande. Por esa razón se lleva a cabo una media de todos los valores de θ y ρ encontrados para formar una nueva línea (más gruesa) con dichos valores.

III. MEJORAS POSIBLES

Una de las mejoras que se han añadido al algoritmo, además de aplicar dos veces el algoritmo de “Hough” es la utilización de lo que se ha nombrado como *puntos de restauración*. Cada línea media, y final, de cada fotograma, es guardada, y si en el siguiente fotograma no se encuentra, se utiliza la anterior. Con esta mejora, se consigue que las líneas discontinuas no desaparezcan y aparezcan a gran velocidad y puedan seguir siendo visibles.

IV. DETECCIÓN DE CAMBIO DE CARRIL

Una vez se han realizado dos pasadas de la transformada de "Hough", se dispone dos contadores de número de líneas encontradas, uno para las líneas situadas a la izquierda y otro para las líneas situadas a la derecha. La condición que se ha establecido para decidir si se produce el cambio de carril es que las dos pasadas del algoritmo no hayan encontrado ninguna línea. Esto funciona en la mayoría de los casos, aún siendo una solución muy simple, lo que permite mantener un coste computacional bajo. En caso de tratar con problemas más complejos como trazados irregulares o con peores condiciones de visibilidad, es muy fácil incluir más condiciones a la detección del cambio de carril. En la figura 5 podemos ver el funcionamiento de la solución propuesta.

- [5] *Camera calibration and 3d reconstruction* OpenCV Reference manual. http://opencv.willowgarage.com/documentation/cpp/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html?highlight=calibratecamera#calibrateCamera
- [6] *Feature detection: canny filter* OpenCV Reference manual. http://opencv.willowgarage.com/documentation/cpp/feature_detection.html?highlight=canny#Canny

Figura 5. Detección de cambio de carril



V. CONCLUSIÓN

Se ha conseguido desarrollar un algoritmo para la detección de cambio de carril sencillo y efectivo en un entorno controlado, con una calzada bien marcada y con buena visibilidad. El hecho de que sea una solución que incorpore una condición de detección de cambio de carril sencilla hace que funcione con un coste computacional bajo, lo que da pie a que pueda ser considerado para su uso en un entorno de ejecución en tiempo real. El aspecto negativo de ser una solución sencilla hace que fuera de un entorno controlado el sistema no funcione correctamente. Una mejor calibración de la cámara, un algoritmo de detección de cambio de carril más complejo y el uso de técnicas más avanzadas de detección de características —variación de los parámetros de la transformada de "Hough" según el número de líneas detectadas, por ejemplo— son aspectos que pueden mejorar el sistema.

REFERENCIAS

- [1] Fengyuan Wang, Zonghe Guo, Daolin Zhang, *Detection of Road Guiding Lines with Computer Image Processing* Automobile School Shandong Institute of Technology Zibo City, Shandong 255012, CHINA
- [2] Barna Saha *Bidirectional Fuzzy-Regression Model for Road-lines Detection* Indian Institute of Technology Kanpur
- [3] ZhanweiWu, BinKong, FeiZheng'andJunGao *Detection and Extraction of Discontinuous Lines*
- [4] *Knowledge-based Power Line Detection for UAV* Li Yuee Liu ,Ross Hayward, Jinglan Zhang, Jinhai Cai Surveillance and Inspection Systems Zhengrong

Geolocalització i serveis basats en localització en dispositius mòbils

Jaume del Olmo Alòs

Tercer Curs d'Enginyeria Tècnica en Telecomunicacions, Especialitat Telemàtica
jaume.doa@gmail.com

Resum—En aquest article es pretén donar una visió general sobre els Serveis Basats en Localització (LBS) en dispositius mòbils. Primer es parlarà del concepte de Serveis Basats en Localització i d'altres conceptes que són necessaris per a aquests serveis, i es definiran els elements bàsics que formen un LBS. A continuació, es passarà a parlar dels diferents tipus de LBS. Finalment, a la secció posterior es parlarà d'alguns aspectes importants com puguin ser la privacitat d'aquests sistemes i un exemple de possible desenvolupament d'aplicacions.

I. INTRODUCCIÓ

En la darrera dècada, l'ús estès de GPS i els avanços tecnològics en dispositius mòbils han imposat nous reptes com són els Serveis Basats en Localització (LBS, *Location Based Services*) que permeten ubicar punts d'interès o necessitats dels usuaris en temps real. Aquests s'han orientat principalment a la navegació, xarxes socials, serveis d'emergència, jocs, localització de llocs ...

II. CONCEPTE DELS SERVEIS BASATS EN LOCALITZACIÓ

Els Serveis Basats en Localització (LBS), són aplicacions que utilitzen la posició física de l'usuari com a filtre per a oferir informació rellevant relacionada amb la ubicació presentada en dispositius mòbils portables i en moviment, és a dir, són aplicacions que utilitzen la informació geogràfica d'un usuari per a proveir-li un servei.

Els LBS es basen en la intersecció entre tres tecnologies: els GIS (*Geographic Information Systems*), alguna tecnologia de posicionament (com GPS) i una tecnologia de comunicació de xarxes per a transmetre informació entre un servei LBS i l'usuari (Internet, GSM, UMTS, ...).

A. El concepte del GIS (Geographic Information Systems)

Un GIS és una integració organitzada de hardware, software i dades geogràfiques dissenyada per a capturar, emmagatzemar, manipular, analitzar i desplegar en totes les seves formes la informació geogràfica referenciada en un sistema de coordenades [1].

Funciona com una base de dades que emmagatzema informació geogràfica i a causa de la digitalització de la informació, permet classificar-la en diferents capes (altituds, vies de comunicació, nuclis de població ...), localitzar elements en un mapa, estudiar tendències (com estudis mediambientals o geològics), calcular rutes ...

La font principal de les dades que contenen les GIS és la teledetecció.

B. Tecnologies de posicionament

Per a realitzar un servei LBS, un aspecte molt important és la precisió de la localització del dispositiu mòbil de l'usuari.

Existeixen diverses tecnologies de posicionament, on la precisió depèn del mètode utilitzat. A més és necessari que siguin tècniques de posicionament en temps real.

[2] defineix els següents sistemes de posicionament:

- *Sistemes GNSS (Global Navigation Satellites System)*: Els LBS fan servir els senyals enviats per una constel·lació de satèl·lits que indiquen el seu rellotge i la seva localització. A partir d'aquests, el dispositiu mòbil pot sincronitzar-se i determinar la seva posició. *GPS* i *Galileo* són dos exemples de sistemes GNSS.
- *Tecnologies basades en localització per xarxa*. En aquest cas el posicionament dins una determinada àrea el realitza un operador de xarxa mòbil. Dins aquest grup de tecnologies destaquen els següents mètodes:
 - *Cell Identity (CI)*. S'utilitza l'identificador de cèl·lula per a determinar la posició. És un mètode molt senzill però amb poca precisió.
 - *Observed Time Difference (OTD) o la variant Enhanced-OTD*. En aquests mètodes es compara la diferència del temps d'arribada de tres senyals que provenen de tres cèl·lules diferents i a partir d'aquesta es determina la posició. La precisió és de 100 metres en aquests sistemes però impliquen un cert grau de processament en el terminal.
 - *Uplink-TDOA (Uplink-Time Difference Of Arrival)*. En aquest mètode el terminal transmet senyals a diferents unitats de localització que es troben a les diferents estacions base. La precisió en aquest sistema és alta i, a més, no suposa molta càrrega al terminal.
- Existeixen altres tecnologies de posicionament per a entorns interiors i tancats: posicionament per infrarojos, posicionament per nivell de potència mitjana rebuda ...
- Finalment, existeixen tècniques híbrides que permeten millorar les prestacions i donar una localització més fiable. Un exemple és GPS Assistit (*A-GPS*) que permet corregir els possibles problemes de recepció de senyal satèl·lit en els dispositius en entorns interiors.

III. ELEMENTS D'UN LBS

Segons [3], els elements d'un LBS són els següents:

- *Dispositius mòbils*: PDAs, telèfons mòbils, etc.

- **Aplicació:** És la interfície que permet als usuaris accedir al servei. Generalment, és un software desenvolupat per un proveïdor d'aplicacions, instal·lat en el dispositiu mòbil. Aquest software ha de tenir en compte les diverses restriccions d'aquests dispositius.
- **Xarxa de comunicacions:** És la xarxa mòbil que transmet les peticions dels usuaris al proveïdor de serveis, i la resposta cap a l'usuari.
- **Tecnologia de posicionament:** Mètodes que permeten obtenir la localització dels dispositius.

És difícil que un LBS sigui proporcionat per una sola organització. Les organitzacions que desenvolupen LBS solen arribar a acords amb altres organitzacions.

Els proveïdors de serveis mantenen servidors que contenen les aplicacions dels LBS i són els responsables de processar les peticions dels usuaris i enviar els resultats en forma de resposta. Els servidors calculen posicions, cerquen rutes, o altres informacions basades en la posició de l'usuari, però no solen mantenir ni emmagatzemar tota la informació geogràfica sol·licitada pels usuaris.

Existeixen proveïdors de contingut (que solen contenir un GIS) que són els responsables de recollir i guardar les dades geogràfiques. Aquestes dades són sol·licitades i processades pels servidors d'aplicacions i són retornades als usuaris finals.

La figura 1 mostra les interaccions entre els diferents components d'un LSB i també mostra una simplificació del procés d'un Servei Basat en Localització:

- 1) L'usuari envia una petició de servei mitjançant una aplicació que corre al dispositiu mòbil.
El servei respon amb la informació de localització de l'usuari obtinguda del component de posicionament (en aquest exemple, GPS).
- 2) La informació de localització de l'usuari és enviada al servidor del servei mitjançant la xarxa de comunicacions mòbil.
- 3) El proveïdor del servei envia una sol·licitud a una base de dades amb informació geogràfica.
- 4) La base de dades proporciona la informació requerida al proveïdor del servei.
- 5) La informació obtinguda és enviada a l'usuari mitjançant la xarxa de comunicacions mòbils.

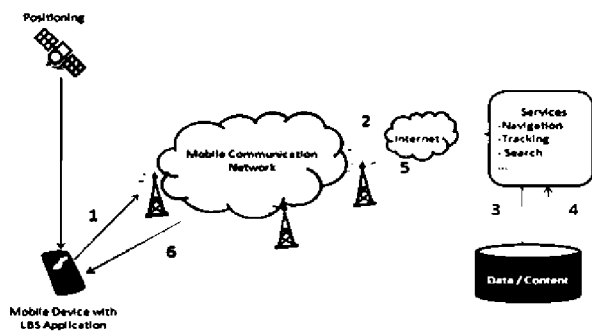


Figura 1. Elements i procés d'un servei LBS

IV. CLASSIFICACIÓ DE LES APLICACIONS LBS

Existeixen moltes aplicacions de LBS. [4] les divideix principalment en dos grups, *aplicacions push* i *aplicacions pull*, segons si l'usuari intervé o no en el moment d'executar l'aplicació.

- **Aplicacions pull.** En aquest tipus d'aplicacions, els serveis responen amb informació requerida directament per l'usuari. Exemples d'aquests tipus d'aplicacions són:
 - Assistent d'emergències.
 - Pàgines grogues mòbils.
 - Navegació.
 - ...
- **Aplicacions Push.** En aquestes, els serveis envien informació requerida indirectament pels usuaris basant-se en preferències i interessos predeterminats per aquests. Alguns exemples dels serveis *push* són:
 - Publicitat mòbil.
 - Alertes en determinades zones.
 - ...

Per altra banda, també es poden classificar els serveis segons la seva funcionalitat. [3] defineix els següents: serveis d'emergència, *find and track*, de navegació, *Location-based Content Delivery*, *Geotagged Content Making*, *Location-based Social Networking* i *Locationbased Charging*.

A. Serveis d'emergència

Aquests serveis utilitzen la posició geogràfica de l'usuari per a poder oferir un ajuda a la persona d'una manera més ràpida, eficient i fàcil.

Un exemple d'aquest servei és E911 (*Enhanced 911*). Aquest és un servei d'emergències d'Estats Units que permet que quan un usuari truca a un telèfon d'emergència, l'operador de telefonia mòbil ha de proporcionar la localització d'aquest.

B. Serveis «Find and Track»

Els serveis de *cerca* i *seguiment* són uns dels més populars en quant a serveis LBS a Estats Units. La finalitat d'un servei de cerca és localitzar una persona, una mascota, un vehicle,...mentre que la d'un servei de seguiment és anar guardant i seguint la posició d'aquests.

Un exemple de servei de seguiment podria ser el seguiment dels paquets postals d'una empresa.

C. Serveis de Navegació

Els serveis de navegació fan referència a aplicacions que descobreixen rutes i guien als usuaris per arribar a una determinada posició. Els sistemes de navegació actuals fins i tot poden tenir en compte la congestió de tràfic i altres variacions a l'hora de determinar una ruta.

En la figura 2 podem observar l'aplicació de *Ndrive* per a iPhone.

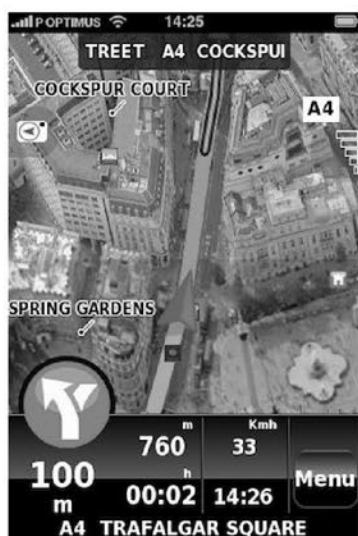


Figura 2. Exemple d'una navegació amb Ndrive i iPhone

D. Serveis «Location-based Content Delivery»

Aquests serveis envien informació, notícies i publicitat als terminals mòbils d'acord amb la posició geogràfica d'aquest i de les preferències de l'usuari.

Inclou tant serveis *pull* (per exemple l'usuari vol trobar un restaurant proper a la seva localització i ho demana al servei) com serveis *push* (l'usuari rep publicitat d'una tenda que es troba a poca distància).

E. Serveis «Geotagged Content Making»

Mitjançant aquests serveis, els usuaris poden afegir continguts relacionats amb una determinada posició geogràfica. L'introducció de continguts (fotografies d'un lloc, comentaris per una guia turística, etc) en una determinada posició geogràfica es pot fer de manera directa per l'usuari o simplement mitjançant una aplicació que amb una tecnologia de posicionament és capaç de situar els continguts a la posició on es troba el terminal. Alguns exemples d'aquest servei són *GoogleMaps*, *Flicker* i *Picasa*, que permeten compartir fotografies amb etiquetes geogràfiques i situar-les en un mapa. A la figura 3 podem veure un exemple d'un servei amb *GoogleMaps*.

F. Serveis «Locationbased Social Networking»

Una tendència actual és l'ampliació de les xarxes socials cap al món de les comunicacions mòbils.

Les xarxes socials basades en localització poden ajudar als usuaris a cercar un amic o trobar amics propers ja que els usuaris comparteixen la posició geogràfica entre ells. A més, els permet conèixer altres qüestions com saber quins són els llocs que visiten els seus amics de la xarxa social i quina és la seva opinió.

Un exemple és la xarxa social *Foursquare* que ja compta amb molts d'usuaris registrats a Amèrica.



Figura 3. Exemple d'un servei «Geotagged Content Making» de Google Maps

G. Serveis «Locationbased Charging»

Aquests serveis permeten a un determinat operador carregar serveis amb distintes tarifes en funció de la seva localització geogràfica.

És un servei que comença a ser utilitzat en alguns llocs arreu del món, sobretot pels operadors de telefonia mòbil. Per exemple, ofereixen una tarificació diferent en funció de si una trucada es realitza des de casa o de l'exterior.

H. Altres serveis

Existeixen altres LBS, com poden ser els jocs basats en localització. A més, el mercat d'aquests serveis està desenvolupant noves utilitats constantment.

Finalment, dir que molts de serveis són difícils d'incloure en un dels grups anteriors, ja que poden ser combinacions de diferents tipus. Com a exemple podem posar *Foursquare* que, a més de ser una xarxa social mòbil, també pot ser configurat per a proporcionar notícies i publicitat basades en localització, i actuar com a cercador limitat per la zona geogràfica del terminal.

V. ASPECTES DIVERSOS SOBRE ELS LBS

En aquesta secció es parlarà de diferents qüestions interessants que fan referència als Serveis Basats en Localització, com són la privacitat d'aquests serveis, qui s'encarrega de la regulació i de la estandardització d'aquests i finalment, s'exposarà d'una manera breu una tecnologia de Java que permet el disseny de LBS.

A. Privacitat

És una de les qüestions més importants dels LBS. Segons [3], aquests serveis porten a fer-se algunes de les següents preguntes: quan s'ha de recopilar informació de localització de l'usuari? on i com de segura ha de ser guardada aquesta informació? per quan de temps? com s'ha d'usar aquesta informació emmagatzemada? i finalment, a qui es divulga aquesta informació?

La privacitat és un punt clau per a que les noves aplicacions LBS puguin tenir èxit.

La localització exacta d'una persona és un punt molt crític en quan a privacitat. Si no es protegeix bé la informació de localització, altres parts malintencionades podrien aprofitar aquesta informació, com per exemple, aprofitar que l'usuari no és al domicili per robar.

Si en *facebook* ja s'han detectat casos de depredadors sexuals, imaginem l'impacte que pot arribar a tenir si passa en una xarxa social basada en localització, on el depredador podria localitzar la víctima.

Molts investigadors s'han dedicat al camp de la privacitat i de l'ètica d'aquests serveis. S'ha proposat, per exemple, que el grau d'exactitud de la posició d'un dispositiu vengui determinat en funció del tipus de servei i si el servei requereix la posició precisa de l'usuari, doncs protegir de manera robusta i eficient aquesta informació. A més, no és tan important la privacitat en un àmbit tancat, com una navegació, que en àmbits oberts com puguin ser les xarxes socials.

B. Regulació i organitzacions d'estandardització

L'estandardització de les tecnologies és molt beneficiosa a l'hora de garantir la interoperabilitat i l'escalabilitat dels serveis mòbils.

Les organitzacions que regulen i estandarditzen la tecnologia dels Serveis Basats en Localització són: 3GPP i 3GPP2, OMA (*Open Mobile Alliance*), ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) GSM (GSM Association) i IETF (*Internet Engineering Task Force*).

C. Location API per a J2ME

La plataforma J2ME és una especificació d'un subconjunt de la plataforma Java orientada a proveir APIs per al desenvolupament de software per a dispositius amb recursos restringits.

L'API JSR-179 posa a la disposició del programador una sèrie de classes que permeten accedir des de Java a informació relacionada amb la posició i amb el moviment del nostre dispositiu.

Aquesta API està preparada per a que el dispositiu tingui accés a qualsevol tipus de proveïdors de localització. La classe `javax.microedition.location.Criteria` permet filtrar els diferents proveïdors de localització en funció de paràmetres com:

- Precisió horitzontal i vertical: classes `setHorizontalAccuracy` y `setVerticalAccuracy`.
- Pagament o no per obtenir dades de localització: classe `setCostAllowed`. Si no volem pagar, per exemple, s'exclourien A-GPS i la localització per xarxa.
- Nivell de consum de la bateria: classe `setPreferredPowerConsumption`.
- Altres criteris: temps de resposta, velocitat del terminal, ...

Un cop definit els criteris, obtindrem una referència al proveïdor de contingut. La classe `LocationProvider` implementa un mètode estàtic, `getInstance(Criteria criteria)`, que retorna un proveïdor que s'adapti als criteris que s'han indicat.

Un cop obtinguda la instància de la classe `LocationProvider`, que contindrà el proveïdor de serveis o un `NULL` en el cas de que no s'hagin trobat proveïdors dels criteris exigits, s'utilitzarà el mètode `getLocation` per obtenir aspectes com la localització mitjançant coordenades (mètode `Location.getQualifiedCoordinates()`) o la velocitat del mòbil (`Location.getSpeed()`).

A [5] es pot trobar un codi exemple comentat que proporciona informació sobre l'estat actual del proveïdor d'aplicació, la distància recorreguda des de que s'inicia l'aplicació, velocitat en que ens desplaçem, nom del carrer actual on ens trobem i la longitud/latitud en que ens trobem.

VI. CONCLUSIONS

En aquest article s'ha intentat donar una visió general de que són els Serveis Basats en Localització. S'ha parlat de les diferents aplicacions que ens podem trobar en el mercat actual, dels elements necessaris per a un LBS, d'un aspecte tan important com és la privacitat, de la possibilitat de desenvolupar aquests tipus d'aplicacions mitjançant l'API de localització de Java, ...

Actualment, els Serveis Basats en Localització són una important tendència del desenvolupament del que es denomina «Mobile 2.0» [6]. Encara que l'oferta inicial d'aquests serveis consistia principalment en poder utilitzar el telèfon mòbil com a *mapa de carrers*, hem vist que ràpidament s'han anat trobant moltíssims d'usos.

Finalment, dir que aquests serveis estan encara en desenvolupament. De cada cop van sorgint més aplicacions basades en LBS però és un camp encara que no ha explotat definitivament. En aquests moments es parla de que s'està en cerca de la «Killer Application» [7], que consistirà en la primera funcionalitat d'aquests serveis que suposarà que els usuaris es decantin per adquirir dispositius mòbils en possibilitat de geolocalització.

REFERÈNCIES

- [1] Informació sobre un Sistema de Informació Geogràfica (GIS). Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Informaci3n_Geogr3fica
- [2] Martínez, L.E., Urios, M. (Des-Gener 2006). "Tecnologías de Localización y Posicionamiento para Servicios Basados en Localización (LBS)" Revista digital BIT, 154, 68-70. Disponible: <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit154/68-70.pdf>
- [3] Tong Chang (2009). *Analysis of Critical Success Factors of Mobile Location based Services*. June, 20, 2009. Disponible: http://nordsecmob.tk.fi/Thesisworks/thesis_chang.pdf
- [4] Steiniger, S., Neun, M., Edwardes, A. (2006). *Foundations of Location Based Services -Lecture notes on LBS*. Disponible: <http://citeseeer.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.94.1844&rep=rep1&type=pdf>
- [5] García, C. (2009). *JSR-179 Location API para J2ME: Posicionamiento geográfico en nuestras aplicaciones (GPS)*. Disponible: http://www.adictosaltrabajo.com/tutoriales/tutoriales.php?pagina=location_api_j2me_jsr179
- [6] Informació sobre «Mobile 2.0». Disponible: http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_2.0
- [7] Muñoz, M. (2009). *Servicios Basados en Localización: nuevas oportunidades de negocio para las telecomunicaciones*. Disponible: http://www.mkm-pi.com/mkmpi.php?page=article_pdf&id_article=5277

Assignatura de Serveis Telemàtics impartida per la professora Magdalena Payeras.

Sistema distribuido de tiempo real.

Emilio Arenas Bosch, Bartolomé Martínez Pérez

Tercer curso de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas

arenas.emilio@gmail.com

martinez.tolo@gmail.com

Resumen— En este artículo se presenta la implementación de un sistema de básculas distribuido de tiempo real. El sistema se compone de 2 básculas, una base de datos de cotizaciones que se encarga de devolver el precio de los productos seleccionados y un supervisor de ventas. Cada uno de estos componentes es instalado sobre un microcontrolador dsPIC4011 con el soporte de un sistema operativo de tiempo real (SOTR) llamado SALVO OS. A su vez, se utiliza el protocolo de comunicaciones CAN para el envío y recepción de los mensajes entre los diferentes nodos del sistema.

I. INTRODUCCIÓN

Un Sistema Distribuido (SD) es un conjunto de computadores que se presenta al usuario como un único sistema coherente. Cada máquina posee sus componentes hardware y software que el usuario percibe como un solo sistema; Las características principales de un SD son:

- Para los usuarios, la percepción del trabajo debe ser similar al de un Sistema Centralizado (SC)
- Se ejecuta en múltiples computadoras
- Dependiente de redes

Los sistemas de tiempo real (STR) interactúan con un entorno de sucesos externos (estímulos de entrada) cuya dinámica es conocida. La corrección de su salida depende, no sólo de su valor, sino también del instante en que se produce. Tienen la facultad de ejecutar actividades o tareas en intervalos de tiempo bien definidos para garantizar la corrección de la salida. Los intervalos en que se ejecutan las tareas se definen por un esquema de activación y por un plazo de ejecución.

Este proyecto se basa un sistema de computadores distribuidos conectados por una red de comunicaciones CAN que cumple con unas restricciones temporales estrictas.

Los SO que garantizan las restricciones temporales son los conocidos como Sistemas Operativos de Tiempo Real (SOTR). En nuestro caso se ha usado el SOTR Salvos de Pumkin S.L., explicado más adelante con detalle.

Por otro lado hay que garantizar unos tiempos de latencia acotados y alta tolerancia a fallos en la red de comunicaciones. Por ello se usa el protocolo CAN. Este protocolo garantiza tiempos de latencia máximos y alto control de errores. Los mensajes enviados se identifican con un identificador de 11 bits, el cual indica el tipo de información que contiene la trama.

El resto del artículo se estructura como sigue. En la siguiente sección se detallan los componentes. En la sección III se encuentra el software utilizado, dividido en herramientas software y librerías. En la sección IV se dan las nociones

básicas del sistema operativo Salvo para entender el desarrollo de la práctica expuesto en la sección V.

II. HARDWARE

La red está formada por un solo bus de comunicaciones serie con cuatro conectores DB9. Las placas utilizadas en el proyecto se dividen en tres componentes, cada uno integrado en el siguiente. Su composición se explica en los subapartados siguientes, desde el de más alto nivel al más bajo.

A. Microcontrolador dsPIC30F4011

Este microcontrolador forma parte de la familia dsPIC30F de Microchip Technology Inc. Entre los dispositivos de E/S usados están: el módulo CAN, para la comunicación con los demás MCU, el módulo UART, usado para comunicaciones serie (bit a bit) con un ordenador, dos entradas analógicas, además de puertos de uso genérico.

B. Módulo iCM4011 (*ingenia Communications Module 4011*)

Básicamente este módulo está formado por el procesador anterior junto con trancivers para las comunicaciones que ofrece el dsPIC30F4011. También incorpora una interfaz USB con la que reprogramar la memoria principal del sistema.

C. UIB-PC104 (*User Interface Board*)

Es una placa que permite al módulo iCM4011 actuar sobre entradas y salidas, además de otros componentes electrónicos como alimentación y un conector DB9 para comunicaciones serie. Las entradas y salidas utilizadas son un LCD alfanumérico (pantalla delgada de pixeles monocromo), doce pulsadores (teclado pequeño) y dos potenciómetros (resistencia de valor variable manualmente).

III. SOFTWARE

El software se puede dividir en: herramientas software y programa. El segundo, a su vez, está formado por librerías y el programa propiamente desarrollado, explicado en la sección IV.

A. Herramientas software

El programa esta escrito en lenguaje C con el programa de desarrollo MPLAB de Microchip. Este software proporciona herramientas para el desarrollo de proyectos en ensamblador o lenguaje C para gran cantidad de PIC's. El código generado por el MPLAB se introduce en los dsPIC con el programa dsPIC bootloader de ingenia-cat, S.L.

B. Librerías

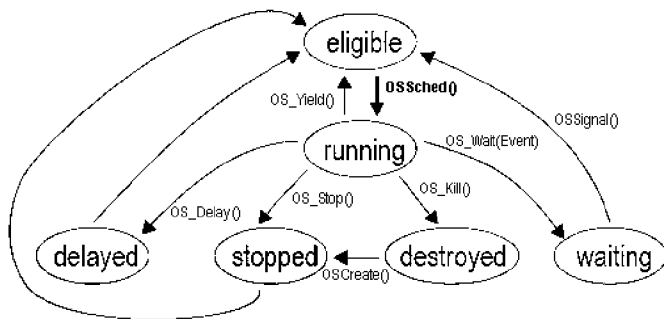
La librería de la placa se denomina UIBlib. Esta librería esta desarrollada por los creadores de la placa, ingenia-cat S.L., e incorpora gran cantidad de funciones para el uso completo de las mismas con el modulo iCM4011 instalado.

Las librerías Salvo implementan el sistema operativo de tiempo real. A continuación se explica con más detalle este software, el más tratado en el desarrollo del proyecto.

IV. SALVO OS

Es un Sistema Operativo de Tiempo Real de un tamaño diminuto y está diseñado para funcionar en microprocesadores y microcontroladores, independientemente de la plataforma. Está modulado en librerías de tal manera que sólo se cargan las funcionalidades usadas y se compila conjuntamente con la aplicación en un solo programa, ahorrando espacio.

Es un sistema multitarea. Las tareas, funciones en C, son como los programas de otros SO que compiten por ejecutarse en el procesador. Tienen siempre una prioridad asignada y están en alguno de los estados de la Figura 1.



La función OSSched() es la encargada de elegir la tarea que va a ser ejecutada. Se selecciona la tarea lista para ejecutarse con mayor prioridad.

Cabe decir que Salvo no es un sistema apropiativo, es decir, el SO no puede retirar una tarea que se esté ejecutando actualmente, sino que es esta quien abandona la ejecución mediante una de las llamadas al sistema que se observa en la figura 1.

El SO proporciona herramientas de concurrencia y comunicación entre tareas como son semáforos, mensajes y colas de mensajes, entre otros.

Cuando se usan estos mecanismos siempre existe una tarea que espera a que se señalice el semáforo o a que haya algún mensaje; y otra que escribe los mensajes o señala el semáforo. La tarea que espera por uno de estos mecanismos está en el estado bloqueado waiting. Para salir de este estado se debe señalar el semáforo o llegarle un mensaje por los que esté esperando.

Otra utilidad del SO son los delays o retrasos. Con estos se puede enviar una tarea al estado delayed durante el numero de clocks (impulsos de reloj) del SO especificado en la llamada al sistema OS_Delay().

El SO necesita una interrupción hardware que sirva de reloj. Se debe crear una interrupción hardware donde se hace

una llamada a la función OSTimer(), la cual avanza en una unidad el reloj del SO.

V. OBJETIVOS

La práctica se compone de un Sistema Distribuido de Tiempo Real (SDTR) formado por cuatro placas UIB-PC104, con módulo iCM4011, conectados mediante una red CAN sobre un bus serie.

A grandes rasgos consiste en realizar un sistema de ventas por básculas, con una base de datos (BD) de la cotización de cada producto y un supervisor para mantener un registro de las ventas. El número de productos diferentes que pueden ser seleccionados por el usuario es cuatro. Los objetivos para cada dispositivo se explican con más detalle a continuación.

A. Básculas

El usuario interactúa con las básculas a través del teclado para seleccionar el producto y aceptar la venta, a través del potenciómetro para simular la medición del peso y a través de la pantalla LCD para visualizar la información.

El peso tiene un rango de valores entre 0,000Kg y 9,999Kg. Una vez que el usuario ha seleccionado el producto y ha simulado la medición del peso, se hace una petición de la cotización del producto a la BD. Posteriormente la venta realizada se envía al supervisor a través de la red CAN para llevar un registro de las ventas.

B. Base de Datos (BD)

La base de datos permite al usuario modificar las cotizaciones de los productos desde 0,00\$ hasta 9,99\$. La interacción se realiza a través del teclado para modificar el valor que se visualiza por la pantalla LCD. Además, la base de datos responde automáticamente a las solicitudes CAN enviadas por las diferentes básculas del sistema.

C. Supervisor

Este dispositivo no interactúa con ningún usuario, únicamente con un ordenador a través del módulo UART. Se encarga de recibir las ventas por la red CAN desde las básculas y transmitir la información a un registro o log en el ordenador, donde cada línea corresponde con una venta.

VI. DESARROLLO

Los diferentes campos a tener en cuenta son: la comunicación CAN, la programación con Salvo de cada dispositivo y aspectos generales o comunes.

A. Red CAN

Los mensajes en una red CAN se identifican por el tipo de información que llevan. Hay dos tipos de mensajes: información de cotizaciones e información de ventas. Estos a su vez se subdividen en los ocho pares bascula-producto.

Así pues, para enviar información de cotizaciones tenemos ocho identificadores, por cada par báscula-producto. El contenido del mensaje es el valor de la cotización de ese producto. En caso de pedir la información desde las básculas a la BD se envía lo que se conoce como una trama remota.

Para el caso de la información de ventas ocurre lo mismo, teniendo ocho identificadores de mensajes más. Los datos del mensaje son el peso y el precio del producto.

El módulo CAN de las básculas se configura de tal manera que sólo reciba los mensajes con la información de interés para éste. La recepción se realiza por una interrupción Hardware.

Los valores decimales son transformados a enteros con potencias de 10. De esta forma, en vez de enviar 4 bytes de datos por decimal, enviamos 2 bytes de datos por entero. Al recibirlos se dividen por la potencia de 10 usada para el envío.

B. Aspectos generales

Aunque los datos son enviados como enteros por la red, internamente todos los nodos trabajan con decimales para tratar las variables de peso, precio y cotización.

Los demás aspectos generales están directamente relacionados con el SO Salvo.

La versión gratuita usada de Salvo, Salvo Lite, sólo permite la creación de un máximo de 3 tareas, 3 semáforos y 1 variable de mensajes para cada dispositivo. Esto impone restricciones determinantes en la implementación de los programas.

En los programas de las básculas y de la BD existen dos aspectos comunes: el uso de Timers y el polling de teclado (detección de teclas pulsadas).

Ambas aplicaciones usan retrasos en alguna de sus tareas. Para el uso de funciones de retraso de Salvos se ha implementado una interrupción Hardware periódica de 0,1s. En ella se hace la llamada al SO OSTimer() (explicada en la sección IV), lo que permite realizar retrasos en las tareas múltiplos de este periodo.

El polling de teclado utiliza la única variable de mensaje permitida por Salvo Lite. Esta función comprueba que se haya pulsado alguna tecla, y si es el caso pone su valor en el mensaje. Se haya pulsado o no una tecla, al final de la comprobación se retrasa durante 0,1s, es decir, es una tarea que periódicamente (cada 0,1s) comprueba las teclas pulsadas.

C. Básculas

Ésta es la aplicación más compleja. Tiene dos interrupciones hardware: interrupción periódica para la llamada al SO OSTimer(), explicado anteriormente, y otra para la recepción de los mensajes CAN.

Se han implementado 3 tareas, 1 semáforo y 1 variable de mensajes:

1) *P_SEM_CAN*. Éste es un semáforo de Salvo. Se inicializa a cero (o bajado) y se señala por la interrupción de CAN para indicar que se ha recibido un mensaje CAN. La tarea TaskGui() espera por este semáforo cuando tiene que recibir un mensaje CAN con la cotización de un producto.

2) *P_MSG*. Ésta es una variable tipo mensaje de Salvo. Es usada para almacenar el valor de la tecla pulsada. Es escrita por la tarea TaskPolling() cuando una tecla es pulsada y espera por ella la tarea TaskGui(), en los momentos en que espera a que el usuario pulse alguna tecla.

3) *TaskPolling()*. Esta tarea, ya mencionada, se ejecuta periódicamente cada 0,1s por llamadas a la función OSDelay(). Comprueba si se ha pulsado alguna tecla y si es así escribe su valor en P_MSG para 'despertar' a TaskGui() si está esperando por algún valor de teclado. Esta tarea tiene la más alta prioridad para que se pueda leer correctamente una pulsación de teclado y no es bloqueada por ninguna otra, sólo por ella misma cada 0,1s para dejar paso a las demás.

4) *TaskGui()*. Es la tarea más extensa y que incorpora la mayor parte de la aplicación. Se descompone en 4 fases: obtención de producto, petición de cotización, cálculo y visualización de precio según peso y cotización, y envío de datos de venta.

En la primera fase, únicamente espera a que se pulsen teclas del 1 al 4 que permiten la selección de un producto hasta que se pulse la tecla S, que indica la selección de ese producto.

En la segunda fase, se envía una petición con el identificador CAN correspondiente al número de báscula y producto seleccionado. Espera contestación por parte de la BD durante 1s; sino recibe contestación, repite el proceso una segunda vez. Sino recibe contestación, escribe un mensaje de error por pantalla y vuelve a la primera fase. En caso de éxito pasa a la siguiente fase.

En la tercera fase, se procede a la simulación del pesado del producto. En ella se visualiza el precio del producto en base al valor de su cotización y al valor del potenciómetro 1 de la placa, guardado en una variable global escrita por la tarea TaskPesada(). La tarea se bloquea durante un periodo de tiempo de 0,2s a la espera de la pulsación de la tecla S.

En la cuarta fase se envía el valor del peso y precio al supervisor con el identificador correspondiente a la báscula y producto seleccionado. Los valores de estos se convierten de decimal a entero antes de su envío.

Posteriormente, se vuelve al comienzo de la primera fase.

5) *TaskPesada()*. Esta tarea se activa periódicamente cada 2s ya que se supone que el valor del peso del producto no varía en periodos de tiempo cortos. Su función es obtener el valor digital del potenciómetro a través de una función de la librería UIBlib y transformarlo en un valor entre 0,000Kg y 9,999Kg.

6) *Interrupción CAN*. Esta interrupción está configurada para recibir únicamente tramas del tipo cotización pertenecientes al número de báscula. Cuando se recibe el mensaje, transforma el valor de la cotización de entero a decimal dividiéndolo entre 100. Para finalizar, activa el semáforo P_SEM_CAN para indicar a la tarea TaskGui() que se ha recibido la cotización.

D. Base de datos.

Este programa tiene dos interrupciones hardware, una para el Timer y otra para la recepción CAN, 3 tareas, 1 semáforo y 1 variable de mensajes:

1) *P_SEM_CAN*. Un semáforo de SALVO que se inicializa bajado y se señala por la interrupción CAN para

indicar que se ha recibido un mensaje. La tarea `TaskCotizacion()` espera por este semáforo como se describe mas adelante.

2) `TaskPolling()`. Esta tarea es también idéntica a la descrita en las básculas, con la diferencia que posee la prioridad intermedia entre las tres tareas.

3) `TaskGui()`. Tarea que comprende la interacción con el usuario del sistema. Se mantiene bloqueada en estado `waiting` a que se reciba la pulsación de una tecla. Cuando `TaskPolling()` escribe en `P_MSG`, la tarea es desbloqueada. La prioridad de esta tarea es la menor debido a que es la que necesita menor tiempo real.

El sistema de teclas implementado se basa en el sistema de cruceta. Es decir, las teclas 4 y 6 sirven para desplazarse por los diferentes productos que dispone la base de datos, y las teclas 2 y 8 se encargan de incrementar y decrementar el precio, respectivamente. Todas las modificaciones realizadas sobre el precio de los productos se ven reflejadas en la pantalla LCD.

4) `TaskCotizacion()`. Esta tarea se encarga de responder a las básculas cuando estas hacen una petición de cotización. Espera la activación del semáforo `P_SEM_CAN` que indica que se ha recibido una petición de cotización por parte de alguna báscula.

Se envía una trama CAN con el mismo identificador adjuntado los datos solicitados. Los datos se convierten de decimal a entero multiplicándolos por 100, ya que las cotizaciones tienen 2 decimales.

Esta tarea tiene la prioridad más alta debido a la necesidad de responder lo más pronto posible a las solicitudes de las básculas.

5) `Interrupción CAN`. Esta interrupción se configura solo para recibir tramas del tipo cotización por parte de las básculas. Las tramas a las que el dispositivo debe responder son tramas remotas (sin datos) que sirven a modo de petición. Posteriormente guarda el identificador de la trama en una variable global y activa `P_SEM_CAN` para dar paso a `TaskCotizacion()`.

E. Supervisor

Este programa es el más sencillo de todos. Se compone únicamente de 1 interrupción de recepción CAN, 1 tarea y 1 variable de mensajes.

1) `P_MSG`. Ésta es una variable tipo mensaje de Salvo. Esta variable es escrita por la interrupción CAN con los datos de la trama CAN recibida. Posteriormente es leída por la tarea `TaskEscribirLog()` que se describe a continuación. El mensaje que se envía es una variable compuesta (estructura) que contiene el numero de bascula, el identificador del producto, su precio y peso; enviados anteriormente desde las básculas

2) `TaskEscribirLog()`. La tarea se mantiene bloqueada a la espera de que se escriba un mensaje en `P_MSG`. Una vez recibido el mensaje se escribe el contenido en una variable de

tipo String para ser enviada por el modulo UART hacia un ordenador.

La conexión se realiza a través de la conexión USB. Para el envío y la configuración del módulo UART se usan las funciones de la librería `UIBlib` destinadas para ello.

En el ordenador se pueden recibir los datos a través de HyperTerminal en Windows o en Linux leyendo el fichero del dispositivo en la carpeta `/dev`.

3) `Interrupción CAN`. Esta interrupción se configura sólo para recibir tramas del tipo venta enviadas por las básculas. Realiza la conversión de los enteros de peso y precio a decimales. Escribe el número de báscula y el tipo de producto, parte del identificador CAN, en una variable compuesta; además de los valores decimales de peso y precio. Esta variable se envía por mensaje a través de `P_MSG` a `TaskEscribirLog()`.

VII. CONCLUSIONES

Los sistemas de tiempo real son de gran importancia. Hoy en día están presentes en una gran cantidad de componentes electrónicos que usamos habitualmente, como son sistemas ABS, control de motores de coches, también muchos electrodomésticos de hoy en día, como son dispositivos multimedia.

Está clara la importancia de estos sistemas hoy en día. El número de estos dispositivos supera el del número de los de 'propósito general'.

Con esta práctica se puede ver el potencial y las características de estos sistemas; pero sobretodo su filosofía de programación de eventos y tareas.

REFERENCIAS

- [1] Pumpkin, Inc. Home of Salvo™. The RTOS that runs in tiny places. [Online]. Available: <http://www.pumpkininc.com/>
- [2] *DsPIC30F4011/4012 Data Sheet, High Performance, Digital Signal Controllers*, Microship Technology In 2005.
- [3] *Ingenia Motion Control Solutions, digital servo drives and software for high precision brushless and DC*. [Online]. Available: <http://www.ingenia-cat.com/>

Práctica realizada en la asignatura *Sistemas Empotrados*.
Profesores: Julián Proenza y Guillermo Rodríguez-Navas.



Bartolomé Martínez Pérez.

Estudiante de la titulación de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas en la Universitat de les Illes Balears (UIB).



Emilio Arenas Bosch.

Estudiante de la titulación de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas en la Universitat de les Illes Balears (UIB).

Anàlisi i millora de l'Accessibilitat Web al Sector Turístic: El Projecte WATouSI

Màster de Tecnologies de la Informació i Comunicació

Resum— Es defineix el Turisme Accessible com aquella modalitat de Turisme que està especialment pensada per a persones que presenten algun tipus de discapacitat. Fa referència a l'eliminació de barreres que impedeixen o dificulten la pràctica del Turisme per part de persones que presenten algun tipus de discapacitat. Les iniciatives de Turisme Accessible se solen referir principalment a la pràctica turística al destí físic, deixant a un segon pla d'actuació una pràctica cada vegada més usual que és començar la preparació de l'activitat turística a Internet.

Es defineix el concepte d'Accessibilitat Web com la capacitat d'una plana web de permetre que persones amb algun tipus de discapacitat puguin accedir als continguts que estan a la plana.

En el projecte que es presenta s'han plantejat varis objectius. El primer consisteix en una anàlisi de l'Accessibilitat Web a llocs web de contingut turístic, a fi de poder determinar si el Turisme Accessible també té en compte el component tecnològic. Un segon objectiu fa referència a, partint de l'estudi anterior, determinar quins són els principals defectes que presenten les planes web i que provoquen la disminució dels nivells d'accessibilitat, per poder presentar una solució que ajudi a millorar l'accessibilitat. Un tercer objectiu es refereix a una proposta de creació d'un servei per web que consisteix en un cercador de planes web relacionades amb el món turístic, on els resultats vindran donats en funció dels seus nivells d'accessibilitat, d'acord a les diverses normes establertes per organismes internacionals.

A continuació es presenta un resum del Projecte de Final de Màster on s'ha desenvolupat l'estudi complet.

Paraules clau: Turisme, Hoteleria, Turisme Accessible, Accessibilitat Web, Triple A, WCAG, Punts de Control, Cercador Web, Projecte WATouSI

I. INTRODUCCIÓ

Les estadístiques del comerç electrònic, [Hosteltur, 2009] i [AECM, 2008], demostren que els béns i serveis més comprats per Internet estan relacionats amb l'oci i el turisme. A 2008, el 48,8% de persones que varen adquirir béns i serveis per Internet ho feren comprant bitllets de transport, el 36,5% comprat entrades a espectacles i el 35,3% fent reserves d'allotjaments turístic. Les reserves per Internet han augmentat considerablement durant els darrers anys. Per gener de 2009, el 65,5% dels turistes espanyols varen reservar viatges per Internet, mentre que només el 34,5% ho feren a les agències de viatges tradicionals.

A Espanya aproximadament un 10% de la població té algun tipus de discapacitat reconeguda oficialment. A Europa hi ha més de 200 milions de persones amb algun tipus de discapacitat. Totes aquestes persones són turistes potencials que haurien de poder aprofitar-se de l'oportunitat de comprar productes turístics a través d'Internet.

Al món de la Web, l'eliminació de barreres a la discapacitat s'anomena Accessibilitat Web. Hi ha un organisme internacional (World Wide Web Consortium) que ha creat un

conjunt de recomanacions i normes que haurien de seguir les planes web per ser accessibles per persones amb algun tipus de discapacitat. En aquest sentit s'han definit diversos nivells d'accessibilitat, essent el nivell AAA el nivell màxim d'accessibilitat. Ara bé, actualment, la majoria dels llocs Web presenten barreres d'accessibilitat, que dificulten o impossibiliten la utilització de la Web per a moltes persones amb discapacitat.

El projecte que es presenta pretén analitzar la situació actual de l'accessibilitat web a les planes web relacionades amb turisme i la creació d'eines que permetin millorar l'aplicació de les normes d'accessibilitat Web en el procés de disseny de les planes web turístiques.

II. FONAMENTS

A. La Discapacitat a la Web

L'accessibilitat Web engloba molts tipus de discapacitats, incloent problemes visuals, auditiu, físics, cognitius, neurològics i de la parla. Aleshores el primer que s'ha de considerar és el col·lectiu que es veu afectat pel problema.

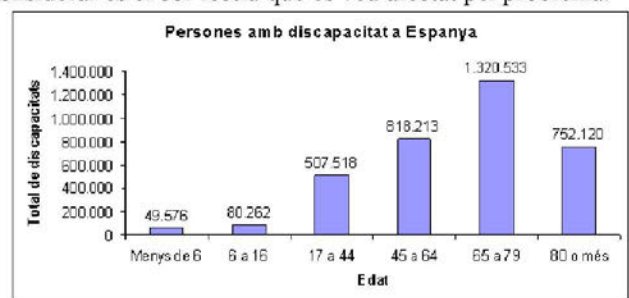


Fig 1. Persones discapacitades a Espanya, per edat [Lindon, 2007]

Segons diversos estudis, [ONCE, 2008] i [Lindon, 2007], a Espanya hi havia, a 1999, més de 3.500.000 persones amb algun tipus de discapacitat reconeguda oficialment (que suposen aproximadament el 10% de la població total espanyola). A més, la majoria de discapacitats tenien entre 45 i 79 anys, aproximadament el 60% del total de la població amb discapacitat.

Respecte dels tipus de discapacitat d'accés a les noves tecnologies, aquestes poden es poden classificar en [W3C]:

- Físiques: Són discapacitat que afecten a la mobilitat o a la captació d'informacions a través dels sentits.
- Psíquiques o intel·lectuals: Són discapacitats que afecten a la capacitat de comprensió de la informació.
- Tecnològiques: Es refereixen a problemes a accedir a la informació a causa del sistema emprat per accedir a la informació. Poden ser connexions lentes a Internet, manca d'instal·lació de plugins del navegador, etc.

Algunes persones poden tenir limitacions de funcionament sensorial, física o cognitiva, que, sense ser declarades oficialment com a discapacitades, poden afectar l'accés a la web.

B. Turisme Accessible

LA OMT defineix el Turisme Accessible com "aquell que pretén facilitar l'accés de les persones amb discapacitat als serveis turístics". És a dir, possibilita que les persones amb discapacitat permanent o temporal tinguin les condicions adequades de seguretat i autonomia per al desenvolupament de les seves activitats a llocs físics, a la prestació de serveis i als sistemes de comunicació [OMT, 2009].

Hi ha iniciatives per impulsar el Turisme Accessible, com les de la ENAT (a nivell internacional), el projecte DISUIPA (a nivell nacional) o el "Pla de Turisme Accessible de Calvià" (a nivell local).

C. Accessibilitat Web

La World Wide Web Consortium (W3C) és un organisme internacional que desenvolupa estàndards que assegurin el creixement de la Web a llarg termini. Una de les iniciatives que va iniciar la W3C per millorar l'accés a la Web de persones que presenten algun tipus de discapacitat va ser la WAI. Va desenvolupar un conjunt de guies de disseny per aconseguir pàgines web accessibles: les principals guies de disseny publicades per la W3C són WCAG 1.0 i la WCAG 2.0. A continuació passam a fer un petit resum de la normativa de la WCAG 2.0. Per a un estudi més detallat es recomana la lectura de la bibliografia recomanada: [WCAG1.0, 1999] i [WCAG2.0, 2008].

La normativa de la WCAG 2.0 està organitzada en un conjunt de nivells d'anàlisi:

- Principis: Són les bases a les quals fan referència cada una de les recomanacions de la WCAG. Podem dir que una web és Perceptiva (l'usuari ha de poder accedir a la informació), Operable (s'ha de poder navegar a la web), Comprensible (s'ha d'entendre la informació que hi ha continguda) i Robusta (l'accessibilitat no ha de dependre de la tecnologia que s'empri per accedir a la web).
- Criteris d'Èxit o Punts de Control: Es refereix als criteris que s'han de seguir per assolir els Principis d'accessibilitat comentat anteriorment. L'objectiu de la consecució dels Punts de Control és assolir els diversos nivells d'accessibilitat que es defineixen: A, AA i AAA
- Tècniques de consecució dels Punts de Control: Són les tècniques que es recomanen per aconseguir l'èxit en la programació d'HTML que superi els Punts de Control.

Cada un dels Punts de Control està relacionat amb un nivell d'accessibilitat. Així, n'hi ha que són necessaris per aconseguir un mínim d'accessibilitat, que són els que estarien vinculats al nivell A (nivell mínim).

- Nivell A: S'assoleix quan es compleixen tots els Punts de Control que estan relacionats amb el nivell A. És el nivell mínim d'accessibilitat i no assolir-ho farà que un grup d'usuaris no podrà accedir al contingut de la web.

- Nivell AA: S'assoleix quan es compleixen tots els Punts de Control que estan relacionats amb els nivells A i AA. És el nivell intermig d'accessibilitat i no assolir-ho farà que un grup d'usuaris tindrà moltes dificultats per accedir al contingut web.
- Nivell AAA: S'assoleix quan es compleixen tots els Punts de Control que estan relacionats amb els nivells A, AA i AAA. És el nivell màxim d'accessibilitat i no assolir-ho farà que un grup d'usuaris tindrà algunes dificultats per accedir al contingut web. Una web que assolix el nivell AAA pot ser accedida per tots els usuaris

Les errades a punts de control d'accessibilitat web es poden classificar en dos tipus:

- Punts de control que es poden detectar de manera automàtica, mitjançant un programa.
- Punts de control que només es poden detectar de manera manual, amb la intervenció de personal especialista.

A continuació es presenten els principals Punts de Control de nivell A que es poden analitzar de manera automàtica, juntament al nivell d'accessibilitat (A, AA; AAA) al qual pertanyen i sempre referits a la normativa de la WCAG 2.0 [WCAG2.0, 2008]. Els de nivell A són:

- 1.1.1 Contingut No textual: Tot contingut no textual ha de tenir un text alternatiu que el descriu.
- 1.3.1 Informació i relacions: Hi ha d'haver informació alternativa textual sobre els elements que s'han d'introduir per teclat.
- 2.1.1 Teclat: Totes les funcionalitats s'han de poder fer a través del teclat i sense tenir uns condicionants de temps.
- 2.4.4 Propòsit de l'hipervincle: Cada enllaç ha de tenir informació sobre la plana web on es botarà en fer-li clic.
- 3.1.1 Idioma: Al principi del document ha d'estar especificar l'idioma amb el qual està escrita la web.
- 4.1.1 Duplicitats: S'ha de comprovar que no es tinguin duplicitats a les etiquetes, descripcions, noms d'elements d'entrada de dades i altres elements de la plana web.

Respecte del nivell AA tenim:

- 1.4.4 Grandària del text: El text de la plana web s'ha de poder redimensionar sense tecnologies addicionals.
- 2.4.7 Accés del teclat: S'ha de comprovar que totes les funcionalitats es poden accedir a través de teclat.

I respecte del nivell AAA:

- 2.2.4 Interrupcions: S'ha de comprovar que no hi ha interrupcions a l'execució del codi.
- 2.4.9 Propòsit de l'hipervincle: S'ha de comprovar que cap enllaç surti amb text poc descriptiu com "feu clic aquí" o "més informació" i sense informació addicional.
- 2.4.10 Capçaleres de secció: Comprovar que el document està dividit en seccions.
- 3.2.5 Canvis a petició: Es tracta de comprovar que els canvis de continguts es produeixen només a petició de l'usuari o hi ha algun sistema per desactivar els canvis automàtics.

Segons [Serrano, 2009] existeixen eines que permeten fer revisions de compliment dels Punts de Control automàtics.

Permeten l'automatització del procés d'avaluació de l'accessibilitat d'una plana o d'un lloc web, valorant el seu nivell de conformitat d'acord a unes determinades pautes (dictades pel W3C). Les proves d'avaluació es basen en un mètode automàtic, per tant, els resultats de l'anàlisi feta per les eines són complementaris, mai substitutius de l'anàlisi manual.

Les eines d'avaluació automàtica es basen en les regles dels estàndards que es poden analitzar de manera automàtica. Exemples d'aquestes eines els podem trobar als llocs web de:

- TAW: <http://www.tawdis.net/>.
- HiSoftware Cynthia Says4: www.contentquality.com/
- aDesigner5: [/www.alphaworks.ibm.com/tech/aDesigner](http://www.alphaworks.ibm.com/tech/aDesigner).

D. Legislació sobre accessibilitat

Hi ha normes legals que estableixen les condicions que s'han de donar perquè les persones amb algun tipus de discapacitat puguin accedir als diversos llocs físics, públics i privats. La majoria d'aquesta normativa en fa referència a l'accessibilitat física. En el cas de l'accessibilitat Web una de les més importants la Llei 56/2007, de 28 de desembre, de Mesures d'Impuls de la Societat de la Informació. En podem destacar l'obligatorietat de les Administracions Públiques d'assolir el nivell mínim AA d'accessibilitat web als seus llocs web. Igualment, les pàgines d'Internet de les empreses que prestin serveis al públic en general d'una transcendència econòmica especial han de satisfer, a partir del 31 de desembre de 2008, com a mínim, el nivell mitjà dels criteris d'accessibilitat al contingut generalment reconeguts.

Segons aquesta norma, atès que les empreses turístiques presten serveis al públic que tenen una transcendència econòmica especialment important, haurien de complir el nivell mitjà d'accessibilitat web, que és el nivell AA de la norma de la WAI.

E. Beneficis de la millora de l'accessibilitat Web

Millorar l'accessibilitat de les planes web ofereix tot un conjunt de beneficis [Serrano, 2009]: en podem destacar l'increment de la quota de mercat i abast de l'audiència, la millora de la usabilitat per als visitants amb discapacitats i per a aquells sense limitació destacable, el suport per a nivells de baixa alfabetització, l'assistència a l'accés dels usuaris amb poca amplada de banda, la reducció del manteniment, millores del posicionament a cercadors web i demostrar responsabilitat social, entre d'altres.

III. DESCRIPCIÓ DEL PROJECTE

A. Objectius

Els objectius principals del projecte són:

- Comprovar el grau de compliment de les normes d'accessibilitat donades pel W3C als llocs web de contingut turístic i hotelier.
- Detectar els Punts de Control que més s'incompleixen i veure les possibilitats de millora per poder fer que les planes web no accessibles passin a ser-ho.
- Desenvolupar un conjunt d'aplicacions que facilitin la consecució de planes web accessibles.

B. Hipòtesi

La hipòtesi de la qual s'ha partit és la següent:

Els llocs web de contingut turístic i hotelier segueixen les pautes de disseny web de la WAI que permeten assolir el nivell d'accessibilitat AA recomanat per la llei 56/2007.

C. Metodologia

La metodologia que s'ha seguit ha estat:

- Realitzar una anàlisi de l'accessibilitat Web a un grup de Llocs Webs relacionats amb el Turisme i l'Hoteleria.
- Processar les dades i extreure uns resultats, la discussió dels quals ha permès formular algunes conclusions.

La Mostra ha estat la següent:

Concepte	Descripció
Mostra	Llocs Web de cadenes hoteleres, hotels de les illes Balears, companyies aèries i altres planes web no relacionades directament amb el món turístic.
Mida de la mostra	348 llocs web. 82 d'aquests llocs web són d'empreses relacionades amb el món turístic
Presa de dades	Abril i maig de 2010
Eina d'anàlisi	S'ha usat l'aplicació informàtica TAW per detectar els errors automàtics.
Normativa WAI	WCAG 1.0 i WCAG 2.0

Fig 2. Espai mostral, data i eines d'anàlisi

Respecte de l'eina d'anàlisi d'accessibilitat Web, el procediment ha estat: S'ha desenvolupat una aplicació que parteix d'una base de dades amb les URL dels llocs web seleccionats. Aquesta aplicació fa una connexió a l'eina TAW que ofereix serveis online i recull els resultats. Amb la resposta del TAW es pot assolir fàcilment el nivell d'Accessibilitat (des del punt de vista automàtic) de la web. Notem que s'han tingut en compte les normes de la WCAG 1.0 i de la 2.0.

IV. CAS D'ESTUDI I RESULTATS

A. Anàlisi de la WCAG 1.0

El primer que es va fer fou comptabilitzar el total d'errades de cada un dels Punts de Verificació i el percentatge de planes web amb l'errada. Les dades estan ordenades segons el percentatge de planes web que tenen aquest tipus d'errada i els Punts de Verificació amb més errades són:

Punt de Verificació	Nivell del PV	Total d'errades	% de llocs web amb l'errada
11.2	AA	87	84,47%
3.5	AA	82	79,61%
3.4	AA	72	69,90%
1.1	A	70	67,96%
4.3	AAA	70	67,96%
5.5	AAA	55	53,40%
12.4	AA	53	51,46%
10.4	AAA	47	45,63%
6.3	A	36	34,95%
3.2	AA	29	28,16%

12.3	AA	26	25,24%
------	----	----	--------

Fig 3. Cumpliment dels Punts de Verificació de la WCAG 1.0

Hi ha un conjunt de Punts de Verificació que tenen un percentatge molt alt d'aparició. Hi ha 87 errades en el 11.2, i aquesta errada apareix al 84,47% de planes web. Alguns Punts de Verificació apareixen amb errades a més de la meitat de llocs web analitzats (11.2 / 3.5 / 3.4 / 1.1 / 4.3 / 5.5. / 12.4). Aquest fet va ser constatat per [Jaume, 2006] i [Jaume, 2007] i amb les dades presents podem comprovar que a l'any 2010 encara es produeixen les mateixes errades.

A la taula que segueix tenim el total i percentatge de planes web que han assolit cada un dels nivells d'Accessibilitat:

Nivell WCAG 1.0	Llocs Web	%
Cap	264	75,86%
A	79	22,70%
AA	2	0,57%
AAA	3	0,86%

Fig 4. Anàlisi segons la WCAG 1.0

La majoria de llocs (75,86%) web analitzats no assoleixen cap nivell d'Accessibilitat dels recomanats per la WCAG 1.0.

A estudis anteriors es mostra que els nivells d'accessibilitat web, segons la norma WCAG 1.0, a llocs web de continguts turístic era del 20% per al nivell A i del 0% per als nivells AA i AAA. Si es comparen les dades anteriors a l'estudi que s'ha fet a 2010, podem veure com el percentatge de planes web accessibles no ha millorat des de 2006 fins a 2010. Així, a 2006 el 80% de llocs web no eren accessibles, essent del 80,4% a l'any 2010. Això no obstant, es pot constatar una millora d'accessibilitat al percentatge de llocs web que tenen el nivell AA o AAA (passa del 0% a 2006 al 2%), minvant el percentatge de llocs web que tenen el nivell A. La millora sembla haver-se produït a llocs web que ja tenien algun tipus de nivell d'accessibilitat.

B. Anàlisi de la WCAG 2.0

Es va emprar l'aplicació TAW per a determinar el nivell d'accessibilitat segons la norma de la WCAG 2.0. L'anàlisi s'ha fet des de dos punts de vista:

- Percentatge d'aparició de cada una de les errades.
- Nivells d'accessibilitat que assoleixen els llocs web.

La llista de PC amb errades a algun dels lloc web és:

Punts de Control	Nivell WCAG 2.0	% planes amb l'error
1.3.1	A	95,1%
3.1.1	A	88,5%
2.4.10	AAA	76,1%
1.1.1	A	71,3%
1.4.4	AA	69,8%
4.1.1	A	68,7%
2.4.4	A	60,6%
2.4.9	AAA	32,8%
2.1.1	A	31,0%
2.2.4	AAA	3,2%
3.2.5	AAA	3,2%

2.4.7	AA	1,1%
-------	----	------

Fig 5. Anàlisi WCAG 2.0 de l'accessibilitat al 348 llocs web

La majoria de Punts de Control que estan lligats al nivell d'accessibilitat A no es compleixen a més del 50% de llocs web. Fins i tot, podem veure que el PC 1.3.1 no es compleix al 95,1% de llocs web.

Els nivells d'Accessibilitat Web que s'assoleixen es poden veure a la taula següent. Hi podem apreciar que cap lloc web assoleix el nivell A als Principis de Perceptibilitat ni Robustesa. El nivell A en Comprensibilitat s'assoleix al 12% i el nivell AA en Operabilitat al 20% de llocs web.

Nivell	Perceptible	Operable	Comprensible	Robusta
Cap	96,8%	67,2%	88,5%	68,7%
A	1,4%	0,0%	11,5%	31,3%
AA	1,7%	27,9%	0,0%	0,0%
AAA	0,0%	4,9%	0,0%	0,0%

Fig 6. Nivell d'Accessibilitat que s'assoleixen, per Principi

C. Possibilitat de millora

Hem vist que la majoria de les errades de nivell A (amb més del 50% d'aparició a les planes web) correspon a un conjunt de Punts de Control reduït: 1.3.1, 3.1.1, 1.1.1 i 2.4.4.

Arribats a aquest punt ens podem plantejar què passaria si s'eliminassin les errades dels PC que tenen un percentatge més elevat d'errades. A continuació es mostra una taula¹ amb els nivells d'Accessibilitat que s'obtidrien:

Nivells d'Accessibilitat que es poden assolir eliminant errades dels Punts de Control amb més percentatge d'errades

Nivell	Perceptible	Operable	Comprensible
Cap	0 (0,0%)	108 (31,0%)	0 (0,0%)
A	243 (69,8%)	0 (0,0%)	348 (100,0%)
AA	105 (30,2%)	206 (59,2%)	0 (0,0%)
AAA	0 (0,0%)	34 (9,8%)	0 (0,0%)

Fig 7. Nivells d'Accessibilitat WCAG 2.0 que es poden assolir eliminant errades dels Punts de Control amb més percentatge d'errades

L'eliminació de les errades dels Punts de Control més habituals (abans esmentats) faria que el 100% de planes web assolirien, al manco, el nivell A d'Accessibilitat als Principis de Perceptibilitat i Comprensibilitat. En el cas del d'Operabilitat aquesta millora s'assoliria al 69% de planes .

V. PLA DE MILLORA. EL PROJECTE WATOUSI

A. Presentació del projecte

A partir dels resultats anteriors i en referència a la millora de l'accessibilitat que s'assoliria eliminant les errades a alguns punts de control, s'ha plantejat la possibilitat de dissenyar una aplicació informàtica que permeti eliminar les errades automàtiques que se produeixen en aquests Punts de Control.

Adicionalment, a partir de les dades de la base de dades que s'ha emprat per a l'estudi, s'ha pensat en fer un petit cercador de planes web on el criteri principal d'ordenació de

¹ No es considera el Principi de Robustesa perquè no s'eliminen errades de Punts de Control d'aquest Principi

resultats sigui el nivell d'accessibilitat web. Segons aquest, els llocs web de la llista de resultats apareixeran ordenats segons el nivell d'accessibilitat.

El projecte s'anomena WATouSI Project i el cercador de planes web està disponible a <http://www.ehib.es/watousi>



Fig 8. Logotipus del WATouSI Project

B. Prototipus de millora de l'accessibilitat

Es tracta de fer una aplicació informàtica que tingui com a entrada el codi HTML d'una plana web de la WWW, i com a sortida el codi HTML de la mateixa plana web, però eliminant les errades d'accessibilitat que corresponen als Punts de Control que es podrien corregir de manera automàtica [Ladd, 1998].

Al prototipus dissenyat s'ha agafat un subconjunt de Punts de Control per comprovar la millora d'accessibilitat que s'assoliria. El resultat de l'estudi serà una aproximació de l'eficàcia que es podria assolir ampliant l'aplicació per poder corregir automàticament la resta de Punts de Control.

Els Punts de Control que s'han elegit són el 1.1.1, 2.4.4 i 3.1.1. S'ha triat un Punt de Control de cada un dels Principis de Perceptibilitat, Operabilitat i Comprensibilitat, i l'elecció s'ha fet tenint en compte la freqüència d'aparició de errades i la facilitat per corregir errades de manera automàtica.

La interfície que permet fer aquestes entrades de dades és:

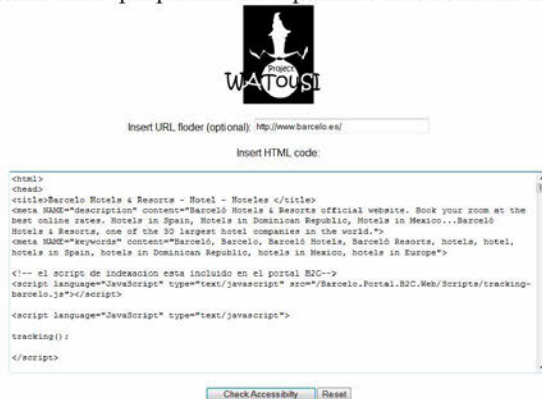


Fig 9. WATouSI Project: entrada de codi per iniciar la correcció dels Punts de Control

Per comprovar l'eficàcia del prototipus s'ha triat una mostra de 35 llocs web de la mostra inicial i s'ha simulat el procés de millora. Els resultats per a la norma de la WCAG 2.0 els podem veure a continuació.

Millora de les errades amb el programa prototipus de millora de l'Accessibilitat						
Nivell	Perceptible		Operable		Comprensible	
	Abans	Després	Abans	Després	Abans	Després
A	2071	1437	293	171	22	9
AA	1234	237	0	0	-	-
AAA	-	-	252	302	0	0

Fig 10. Millora de l'Accessibilitat Web amb el prototipus de millora

Notem que el total d'errades s'ha reduït en uns percentatges importants, per exemple, en el cas del nivell A del principi Perceptible s'ha reduït al 19% el total d'errades.

Després del procediment de millora, els nivells d'Accessibilitat han augmentat:

Nivell	Perceptible	Operable	Comprensible
Cap	35 (100%)	26 (74%)	9 (26%)
A	0 (0%)	0 (0%)	26 (74%)
AA	0 (0%)	9 (26%)	0 (0%)
AAA	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Fig 11. Nivells d'Accessibilitat que s'assoleixen amb el prototipus

El nivell A del Principi de Comprensibilitat s'assoleix al 74% de planes web (abans es tenia un 26%), i el nivell AA al 26% en el d'Operabilitat (abans es tenia un 17%). En canvi, no hi ha millora al Principi de Perceptibilitat. El motiu és que el nivell A del Principi de Perceptibilitat està vinculat a dos Punts de Control amb un percentatge molt alt d'errades, el 1.1.1 (93,8% de planes amb aquest error) i el 1.3.1 (96,9% de planes amb aquest error). Una millora del nivell al principi de Perceptibilitat passaria per millorar també aquest Punt de Control.

Respecte de la millora que s'ha aconseguit segons la recomanació de la WCAG 1.0, podem veure que hi ha una millora important dels nivells d'Accessibilitat:

Total i percentatge de planes que assoleixen nivells d'Accessibilitat Web		
Nivell	Plana original	Plana millorada
Cap	28 (90,3%)	24 (68,6%)
A	3 (9,7%)	10 (28,6%)
AA	0 (0,0%)	0 (0,0%)
AAA	0 (0,0%)	1 (2,9%)

Fig 12. Millora de l'Accessibilitat Web, WCAG 1.0, al 35 llocs webs analitzats

C. Cercador de planes web accessibles

Amb la base de dades s'ha decidit fer un cercador de planes web confeccionant la llista de resultats ordenada segons els nivells d'accessibilitat, donant prioritat als nivells d'accessibilitat que corresponen a la norma de la WCAG 2.0.



Fig 13. Plana principal del cercador de planes web del WATouSI Project

Una vegada que s'han introduït les paraules clau es pot fer clic a Search per poder veure els resultats



Fig 14. Plana web de resultats que dona el WATouSI Project

VI. CONCLUSIONS

El resultat final de l'estudi ens demostra que, encara que la normativa legal dona recomanacions i ordena la millora de l'accessibilitat a partir de dia 31 de desembre de 2008, la hipòtesi de partida no es compleix, per tant, podem afirmar que:

Els llocs web de contingut turístic i hotelier NO segueixen les pautes de disseny web de la WAI que permeten assolir el nivell d'accessibilitat AA recomanat per la llei 56/2007

L'informe final del document de Final de Màster permet arribar a un conjunt de conclusions, les principals són:

- Les TIC són fonamentals en el sector turístic.
- La majoria de llocs web relacionats amb el turisme no estan preparats per ser accedits pels turistes amb discapacitat. En aquest cas hem de destacar casos especialment importants, com és el cas de les línies aèries. Algunes companyies aèries que tenen la seva base de negoci per Internet (com són les Low-Cost) no assoleixen els mínims d'accessibilitat web.
- Els nivells d'accessibilitat Web no han millorat durant els darrers quatre anys, a pesar de les normes legals que s'han publicat durant aquests darrers anys. Hem de destacar que les empreses turístiques presten uns serveis especialment importants des del punt de vista econòmic, especialment a llocs com les illes Balears. Arribats a aquest punt ens hauríem de plantejar si seria necessari o convenient que organismes oficials ajudassin a assolir millors nivells d'accessibilitat Web.
- Es pot crear un programari que permet millorar l'Accessibilitat Web. En el projecte es demostra la millora que suposa l'eliminació de les errades amb el prototipus dissenyat.

VII. REFERÈNCIES PRINCIPALS

- [1] (AECCEM, 2008): "Libro Blanco del Comercio Electrónico: Guía Práctica de Comercio Electrónico para PYMES. Año 2008", Asociación Española de Comercio Electrónico y Marketing Relacional, 2008.
- [2] (HOSTELTUR, 2009) HOSTELTUR.com, "E-comunicación para el turismo del futuro: Noticias", publicat a www.hosteltur.com el dia 25/02/09, disponible a: http://www.hosteltur.com/noticias/59082_65-espanoles-reserva-sus-viajes-internet-british-airways.html

- [3] (Jaume, 2006) Jaume, J; Batle, M.M: "Análisis de la Accesibilidad Web en Sitios Web de Hotelería", VI Congreso Nacional de Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – TURITEC 2006, Málaga, 18, 19 i 20 d'octubre de 2006. Editat per Universidad de Turismo (Universidad de Málaga). ISBN: 84-608-0512-3
- [4] (Jaume, 2007) Jaume, J; Batle, M.M: "Turismo virtual para todos o Accesibilidad a Web turísticos". Congreso Internacional Turismo para Todos ENAT Tourism for All. Organitzat per la Fundación ONCE, ENAT (European Network for Accessible Tourism) i la Comisió Europea. Comunitat Valenciana, 21-23 de novembre de 2007
- [5] (Ladd, 1998): Ladd, E; O'Donell, J. "Using HTML 4, Java 1.1, and JavaScript 1.2. Platinum Edition", Ed: QUE, 1998. ISBN: 0-7897-1477-9.
- [6] (Lindon, 2007): Lindon, L. "Derechos Humanos y Discapacidad en España. Informe de situación". Fundación ONCE, 2007, ISBN: 978-84-96889-18-7
- [7] (OMT, 2009) Organización Mundial del Turismo (OMT-UNWTO); "Panorama del turismo internacional. Edición 2009"; Sección "Datos y cifras" de la OMT; disponible a www.unwto.org; Edición de 2009
- [8] (ONCE, 2008) Fundación ONCE. "Derechos Humanos y Discapacidad en España. Informe de situación", Ed: Grupo editorial Cinca, SA, 2008. ISBN: 978-84-96889-18-7
- [9] (Serrano, 2009): Serrano, E. "Herramientas para la evaluación de la accesibilidad Web. Documentación de las Ciencias de la Información 2009", vol. 32, 245-266, Universidad de Alcalá, 2009. ISSN: 0210-4210
- [10] (WCAG1.0, 1999): Chisholm, W; Vanderheiden, G; Jacobs, I. "Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 1.0. W3C Recommendation", World Wide Web Consortium (W3C), 5 de maig de 1999. December 2008. Disponible a <http://www.w3.org/TR/WCAG10/>
- [11] (WCAG2.0, 2008): Caldwell, B; Cooper, M; Guarino, L; Vanderheiden, G. "Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0. W3C Recommendation", World Wide Web Consortium (W3C), 11 de desembre de 2008. Disponible a <http://www.w3.org/TR/WCAG20/>
- [12] (W3C) World Wide Web Consortium. Documentació de la WAI. Disponible a www.w3c.org

Recerca d'òrbites periòdiques en Sistemes d'Equacions Diferencials

Aina Nadal Cárdenas i Juan Gabriel Gomila Salas
 Assignatura de Càlcul Numèric de 4t de la Llicenciatura de Matemàtiques
 UIB 2009

I. INTRODUCCIÓ

En aquest article, cerquem resoldre numèricament, emprant programació amb *Mathematica 7*, un dels problemes que provenen del món de les equacions diferencials ordinàries: trobar i continuar un objecte dinàmic que depèn d'un paràmetre, i estudiar-ne la seva evolució geomètrica en funció d'aquest. En concret, ens centrarem en el sistema de Michelson, un sistema amplament estudiat en la teoria qualitativa de les equacions diferencials, degut a la gran quantitat de dinàmiques riques i variades que s'hi poden trobar: cicles heteròclins, i homòclins, bifurcacions cocoon. En particular, ens centrarem en seguir una família d'òrbites periòdiques en anar variant un paràmetre λ .

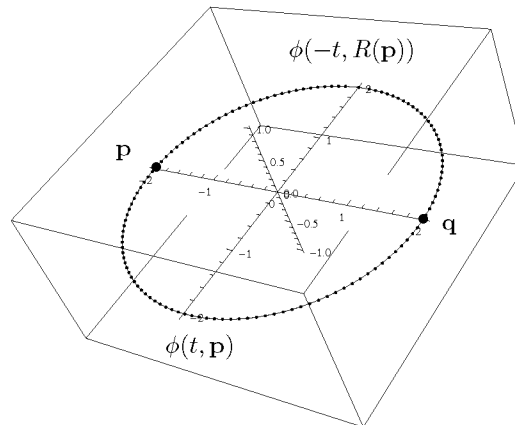


Figura 1. Exemple d'òrbita periòdica reversible en l'espai.

II. DEFINICIONS I FONAMENTS MATEMÀTICS

Sigui $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ una funció contínua i localment Lipschitz, i considerem l'equació diferencial ordinària autònoma

$$\dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x}), \quad (1)$$

on $\dot{\mathbf{x}}$ vol dir la derivada de la funció respecte de la variable independent t . Per qualsevol condició inicial $\mathbf{x}_0 \in \mathbb{R}^n$ existeix exactament una solució de l'equació diferencial, és a dir, una funció de t que satisfà (1) i que per a $t = 0$ passa pel punt \mathbf{x}_0 . Denotem per $\phi(t; \mathbf{x}_0)$ aquesta solució per tal de ressaltar la dependència de la solució de la condició inicial \mathbf{x}_0 . Usualment el terme *òrbita* denota la projecció de la gràfica de la solució en l'espai de fases, es a dir $\gamma = \{\phi(t; \mathbf{x}_0) : t \in \mathbb{R}^n\}$. El conjunt de totes les òrbites del sistema s'anomena el *fluxe* de l'equació.

Direm que una òrbita γ és *periòdica* si existeix un valor positiu T tal que $\phi(t; \mathbf{x}_0) = \phi(t + T; \mathbf{x}_0)$, $\forall t \in \mathbb{R}^n$ (veure Figura 1). El menor valor de T que satisfà la igualtat anterior es denomina el *període* de l'òrbita. Llavors una condició necessària i suficient per l'existència d'òrbites periòdiques és l'existència de valors $T > 0$ i $\mathbf{p} \in \mathbb{R}^n$ tal que

$$\phi(T; \mathbf{p}) = \mathbf{p}. \quad (2)$$

El sistema de Michelson és el sistema uniparamètric, tridimensional donat per l'expressió:

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = z, \\ \dot{z} = 1 - y - \lambda(1 + \lambda^2)x^2, \end{cases} \quad (3)$$

on $\lambda > 0$ és el paràmetre del sistema. Aquest sistema, entre moltes altres particularitats, satisfà que és reversible, on l'eix de reversibilitat és l'eix OY . Que un sistema sigui *reversible* vol dir que el fluxe és invariant per una involució espacial i un canvi en la orientació temporal. En el nostre cas, la involució ve donada per:

$$R(x, y, z) = (-x, y, -z).$$

Per tant, el fluxe del sistema (3), satisfà que

$$R(\phi(t; \mathbf{x}_0)) = \phi(-t, R(\mathbf{x}_0)).$$

En aquest treball, ens centrarem en la recerca d'òrbites periòdiques reversibles. Vegem que aquestes òrbites han de tallar l'eix OY . Suposem que partim d'un punt sobre aquest eix, $\mathbf{p} = (0, y_0, 0)$ i que existeix un instant t^* en el qual anem a parar a un altre punt, $\mathbf{q} = (0, y_0^*, 0)$, que anomenarem punt de retorn; és a dir, $\mathbf{q} = \phi(t^*, \mathbf{p})$. Com que

$$\mathbf{q} = R(\mathbf{q}) \quad \text{i} \quad \mathbf{p} = R(\mathbf{p}),$$

tenim que

$$\begin{aligned} \mathbf{q} &= R(\mathbf{q}) = R(\phi(t^*, \mathbf{p})) \\ &= \phi(-t^*, R(\mathbf{p})) = \phi(-t^*, \mathbf{p}). \end{aligned}$$

Per tant, partint del punt \mathbf{p} i seguint l'òrbita per $t > 0$, tenim que $\phi(t^*, \mathbf{p}) = \mathbf{q}$ i que per $t < 0$, que $\phi(-t^*, \mathbf{p}) = \mathbf{q}$, en conseqüència, $\phi(t, \mathbf{p})$ és una òrbita periòdica reversible de període $2t^*$ (veure Figura 1). Per la recerca dels valors de t^* i de \mathbf{p} , emprarem l'anomenat *mètode del tir*.

Un cop trobades aquestes òrbites, el que voldrem serà estudiar com evolucionen quan feim variar el paràmetre λ . Per això, emprarem un *mètode de continuació* consistent en anar incrementant el valor de λ en intervals de 10^{-3} , i prendre com a nova condició inicial la que s'hagi trobada emprant el valor de λ immediatament anterior.

El **mètode del tir**, transforma el problema d'equacions diferencials en la recerca d'un punt fix de l'aplicació de Poincaré

$$\phi(t; (0, y, z)) = (0, y, z),$$

o, equivalentment, en trobar els zeros d'una funció, que anomenarem funció desplaçament

$$H(t, y, z) = \phi(t; (0, y, z)) - (0, y, z) \quad (4)$$

on $(t, y, z) \in \mathbb{R}^3$. Així, ens queden a determinar tres incògnites. Ja que volem òrbites periòdiques tallant l'eix OY , forçarem que la variable z sigui zero. Per trobar els zeros de la funció H , s'han d'anar ajustant les condicions inicials de l'òrbita (i.e. $\phi(0, \mathbf{p}) = \mathbf{p}$) perquè aquesta compleixi les condicions de frontera (2). En el nostre cas, el càlcul de zeros d'una funció el resolldrem emprant el mètode de Newton:

1. Partim d'una aproximació inicial, $\mathbf{z}_0 = (T_0, y_0, z_0)$, d'un nombre màxim d'iteracions, $NMAX$ i d'una tolerància màxima $\varepsilon > 0$.
2. Feim $k = 0$.
3. Calculam la matriu Jacobiana $DH(\mathbf{z}_k)$ de la funció H avaluada en el punt $\mathbf{z}_k = (T_k, y_k, z_k)$.
4. Resolem el sistema $DH(\mathbf{z}_k) \cdot \mathbf{d} = -H(\mathbf{z}_k)$.
5. Trobam $\mathbf{z}_{k+1} = \mathbf{z}_k + \mathbf{d}$.
 - a) Si $\|\mathbf{d}\| \leq \varepsilon$, aleshores donam com aproximació de la solució \mathbf{z}_{k+1} .
 - b) Si $k > NMAX$, llavors sortim sense trobar la solució.
 - c) En tot altre cas, feim $k = k + 1$ i tornam a la passa 3.

Remarquem en primer lloc que en la primera passa, hem de partir d'un punt que estigui relativament a prop d'on es trobi l'òrbita periòdica, per garantir la convergència del mètode. Destaquem que per $\lambda = 0$, el sistema és un sistema diferencial lineal i que té una òrbita periòdica en l'infinit de període 2π . Per evitar problemes de computació, no començarem amb $\lambda = 0$,

sinó que prendrem $\lambda = 10^{-5}$. Per aquest valor del paràmetre prendrem $\mathbf{z}_0 = (2\pi, 450, 0)$.

En segon lloc, observem que en la quarta passa del mètode de Newton, hem de resolldre un sistema de la forma $DH(\mathbf{z}_k) \cdot \mathbf{d} = -H(\mathbf{z}_k)$. Per tant, hem d'avaluar la funció desplaçament, H en el valor de $\mathbf{z}_k = (T_k, y_k, z_k)$. En conseqüència, hem d'avaluar la solució de l'equació diferencial (3) en l'instant T_k i amb condició inicial $(0, y_k, z_k)$, així com el valor de la matriu jacobiana DH en \mathbf{z}_k . Com que no coneixem la solució de (3) explícitament, haurem de fer ús de les eines de càlcul numèric per tal de trobar-ne una aproximació numèrica tant per H com per DH . Per això, emprarem el mètode de pas variable de Runge-Kutta-Felberg, d'ordre 4-5, que es troba citat en la bibliografia del final.

L'expressió en columnes de la matriu jacobiana DH avaluada en els punts $\mathbf{z}_k = (T_k, y_k, z_k)$, ve donada per

$$DH(\mathbf{z}_k) = \begin{pmatrix} \frac{\partial H}{\partial t}(\mathbf{z}_k) & \frac{\partial H}{\partial y}(\mathbf{z}_k) & \frac{\partial H}{\partial z}(\mathbf{z}_k) \end{pmatrix}.$$

Partint de (4)

$$\frac{\partial H}{\partial t}(\mathbf{z}_k) = \frac{\partial \phi}{\partial t}(T_k; (0, y_k, z_k)) = f(\phi(T_k; (0, y_k, z_k))),$$

on f és el camp vectorial del sistema de Michelson

$$f(x, y, z) = (y, z, 1 - y - \lambda(1 + \lambda^2)x^2).$$

A més

$$\frac{\partial H}{\partial y}(\mathbf{z}_k) = \frac{\partial \phi}{\partial y}(T_k; (0, y_k, z_k)) - y_k,$$

$$\frac{\partial H}{\partial z}(\mathbf{z}_k) = \frac{\partial \phi}{\partial z}(T_k; (0, y_k, z_k)) - z_k.$$

La parcial $\frac{\partial \phi}{\partial y}(T_k; (0, y_k, z_k))$ (respectivament la parcial $\frac{\partial \phi}{\partial z}(T_k; (0, y_k, z_k))$) és la solució del problema variacional $\dot{\mathbf{w}} = Df(\phi(T_k; (0, y_k, z_k)))\mathbf{w}$ amb condició inicial $\mathbf{w}(0) = \mathbf{e}_2$ (respectivament $\mathbf{w}(0) = \mathbf{e}_3$) avaluada a l'instant T_k . Denotem per \mathbf{e}_i l'i-èsim vector de la base canònica de l'espai.

Ara ja podem resolldre el sistema tridimensional

$$DH(\mathbf{z}_k) \cdot \mathbf{d}_k = -H(\mathbf{z}_k)$$

i trobar el següent iterat \mathbf{z}_{k+1} de la successió del mètode de Newton. Aquest procés proporciona una successió $\{\mathbf{z}_k\}_{k=0}^N$ que, quan convergeix, ho fa a un valor (T^*, y^*, z^*) , de forma que l'òrbita que passa pel punt $(0, y^*, z^*)$ és una òrbita periòdica de període T^* .

Finalment, remarquem que una vegada trobats els valors de T^*, y^*, z^* per un λ fixat, calcularem els valors de T, y, z corresponents a l'òrbita periòdica pel valor del paràmetre $\lambda + 10^{-3}$ emprant com a condició inicial del mètode de Newton $\mathbf{z}_0 = (T^*, y^*, z^*)$.

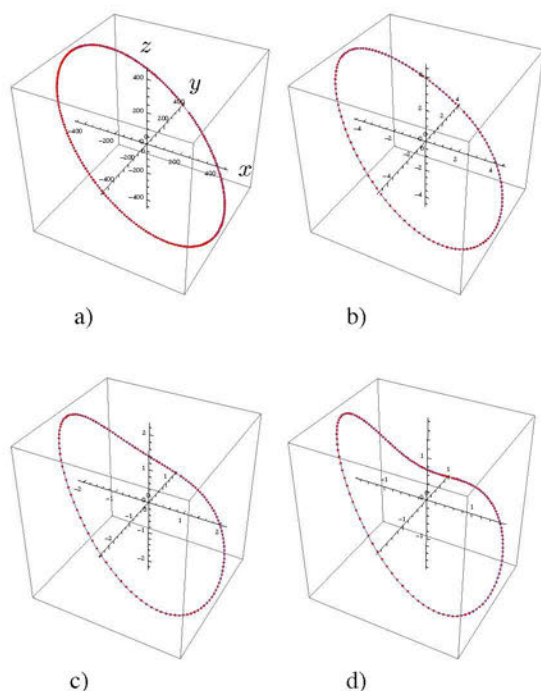


Figura 2. Evolució de les òrbites periòdiques reversibles per diversos valors de λ . Cal observar l'orientació dels eixos i el canvi d'escala.

III. RESULTATS QUALITATIUS

En la Figura 2 podem observar l'evolució de l'òrbita periòdica en funció de λ . Destacam que l'orientació dels eixos és la mateixa en totes elles. En la figura 2a), s'observa el cas particular que citàvem abans, amb $\lambda = 10^{-5}$. Com ja deiem, és una òrbita que bifurca de l'infinít, amb període 2π per $\lambda = 0$. En les successives imatges, s'aprecia com l'òrbita va decreixent de tamany a mesura que anam augmentant el paràmetre λ , mentre que el període va augmentant. En particular, podem observar exemples de recerca d'òrbites periòdiques per diversos valors de λ resumits en la següent taula:

λ	T	p
10^{-5}	6.28213	(0, 446, 0)
0.1	6.31353	(0, 4.07874, 0)
0.4	6.57756	(0, 1.61328, 0)
0.592	7.36103	(0, 0.980626, 0)

També, es pot veure com l'òrbita es va torçant al llarg de la seva trajectòria, de forma que allò que al principi era una circumferència, al final es va corbant cap a dins, formant, una espècie de cor.

En un vídeo que vam elaborar, es pot observar el comportament dinàmic d'aquest sistema, ja que sols amb imatges no es pot apreciar una evolució contínua. En resum, s'observa com es parteix d'una circumferència de radi molt gran, a mesura que el paràmetre creix, aquesta es va fent de radi cada cop més petit, ràpidament al principi, més lentament al final, fins

a arribar un punt, on l'òrbita esretorça adoptant una forma semblant a un cor tridimensional.

IV. RESULTATS QUANTITATIUS

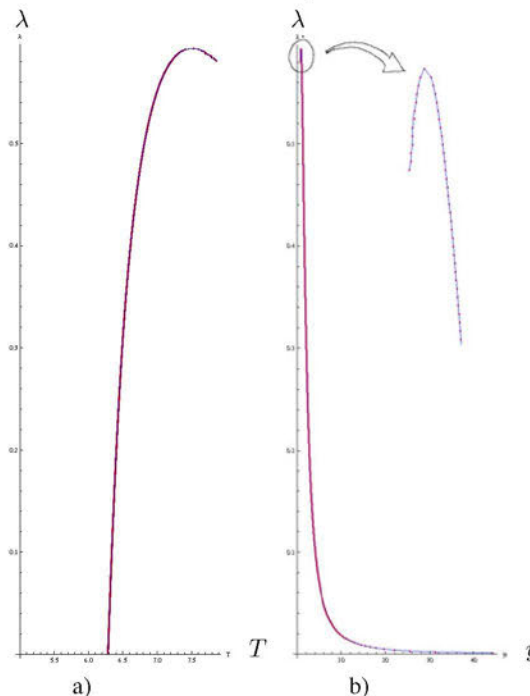


Figura 3. Evolució del període (a) i de l'amplitud (b) de les òrbites periòdiques reversibles en funció del paràmetre λ .

La Figura 3 representa d'una banda la relació entre el valor del paràmetre λ i del període T (Figura 3a) i de λ i el valor del radi y de l'òrbita periòdica (Figura 3b).

En primer lloc, com ja havíem dit al principi, el període comença a créixer desde 2π . Això, juntament amb el fet de que les òrbites siguin cada cop més petites, ens diu que el sistema evoluciona més lentament: al principi, amb un període de 2π el sistema recorria tota una circumferència de radi 446, i al final, amb un període de 7.36 en recorre una de radi menor que 1. Per tant, la velocitat a la que es recorre es menor.

Destaquem el fet de que ambdues figures tenen un màxim, pel valor de $\lambda = 0.593$. La primera es correspon amb un període $T = 7.53099$ i la segona amb un radi $y = 0.839764$. Aquest fet es denomina una *bifurcació sella-node d'òrbites periòdiques*. Aquesta bifurcació descriu el mecanisme per el qual dues òrbites periòdiques col·lapsen en un única, la qual desapareix. Vegem aquest fenomen en les figures anteriors.

Per un valor de λ menor que 0.58 es pot observar que hi ha una única òrbita periòdica, que prové de l'infinít (el valor de y decreix respecte de λ). Per

$\lambda = 0.581$, en la regió ampliada de la Figura 3b, s'aprecia que existeixen dues òrbites periòdiques de radis propers. Aquestes òrbites estan representades en la Figura 4a. L'aparició de la nova òrbita, és un tema que sobrepassa els objectius d'aquest treball. Segons feim creixer el valor del paràmetre, fins arribar al valor on es troba la bifurcació sella-node els radis d'aquestes òrbites es van apropant (Figura 4b). En arribar al valor màxim, tenim un únic valor del radi, la qual cosa, vol dir que ambdues han col·lapsat. Com calia esperar en el comportament d'una bifurcació sella-node, si feim creixer una mica més el valor de λ , observam que l'òrbita que ha col·lapsat, desapareix.

El mateix anàlisi, es pot fer mirant la gràfica del període (Figura 3a).

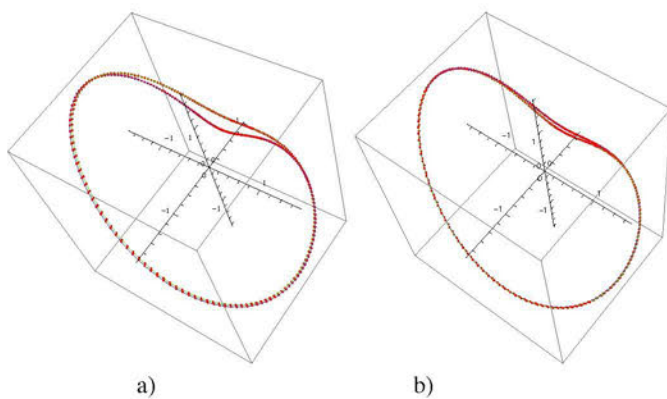


Figura 4. Parella d'òrbites periòdiques reversibles per $\lambda = 0.581$ (a) i per $\lambda = 0.593$ (b)

V. CONCLUSIONS

Tots els aspectes tractats en aquest treball, han estat amplament estudiats, majoritàriament emprant eines numèriques, la qual cosa posa de manifest la utilitat dels mètodes numèrics per endinsar-se en problemes complexos i proporcionar orientacions en un posterior tractament analític.

D'altra banda, explicar el fet de que, existint dues òrbites periòdiques properes, hi hagi un valor del paràmetre a partir del qual es desvaneixin, és un tema que s'escapa a l'objectiu d'aquest treball. Realment, poder seguir l'evolució d'aquests fenòmens, és per un matemàtic, com per un arqueòleg és poder seguir les passes d'un tiranosau o ser capaç d'esbrinar com funcionaven les seves mandíbules. En el nostre cas, poder observar fenòmens tan característics com són les òrbites periòdiques, que es retorcen, o col·lapsen entre elles, és tan gratificant, com per ells trobar un fòssil perdut, doncs en ambdós casos, cercam senyals d'activitat d'organismes dinàmics en entitats que són estàtiques.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Apunts de classe de càlcul numèric.
- Carmona, V; Fernández-Sánchez, F; Freire, E; García-Medina, E; Teruel, A.E: *Órbitas periódicas en una versión lineal a trozos del sistema de Michelson*, Proceedings del XXI CEDYA. Ciudad Real 2009.
- Wikipedia: Ciclo límites, sistemas d'equacions diferencials, mètode de Runge-Kutta.

Si estau interessats en disposar dels algorismes emprats per fer aquest experiment, o voleu visualitzar un vídeo on es pot observar tot aquest procés de forma dinàmica, posau-vos en contacte amb els professors Catalina Sbert o Antonio E. Teruel.

Simulación de un sistema AS/RS

Ramón Rodríguez¹, Juan Martín²

Tercer curso de ingeniería Técnica Industrial, Especializada en Electrónica Industrial

¹mones_218@hotmail.com

²juanmarti03@hotmail.com

Resumen— Un sistema AS/RS ^[2] (Automated Storage/Retrieval System), es un sistema de almacenamiento automatizado, que consiste en un sistema de estanterías y pasillos, donde un mecanismo de almacenamiento y recuperación se mueve entre ellas. En un sistema AS/RS existe un único punto donde se deposita o se recoge el material llamado Pick and Deposit (P&D).

En este artículo explicaremos como se puede realizar una simulación AS/RS y analizaremos los resultados extraídos utilizando diferentes estrategias de almacenamiento.

I. INTRODUCCIÓN

Un sistema AS/RS es un sistema de estanterías organizado en pasillos donde el mecanismo de almacenamiento y recuperación se mueve entre las estanterías. Dicho mecanismo también es conocido como maquina S/R. La finalidad de este sistema es reducir al máximo la intervención humana en el proceso de almacenamiento y recuperación. Para ello existen las estanterías donde se guardan las cargas que se desean y los pasillos por donde se mueve el mecanismo de almacenamiento y recuperación, para llegar a la estantería deseada para guardar o recoger la carga.

En un AS/RS pueden llevarse a cabo tres tipos de transacciones: transacciones S o de almacenamiento (Storage), transacciones R o de recuperación (Retrieval) y transacciones S/R, las cuales combinan las dos anteriores. Cada transacción es el movimiento que realiza la maquina S/R por el pasillo para cumplir su función. Cuando hablamos de transacciones S nos referimos al movimiento que realiza la máquina S/R de recoger la carga en el punto de P&D (Pick and Deposit o punto de interacción con el operario), llevarla hasta la estantería correspondiente, situar y dejar la carga y volver al punto de P&D. Las transacciones R son las en que la máquina S/R se mueve hasta el lugar de almacenamiento, estantería donde esta almacenada la carga, la recoge y la lleva al punto de P&D. Finalmente, la transacción S/R es una mezcla de las dos anteriores, la máquina recoge la carga en P&D, la almacena en la estantería correspondiente y sin volver al punto de P&D, recoge otra carga de un lugar de almacenamiento diferente y la lleva al punto de pick and deposit (P&D).

Podemos diferenciar dos estrategias de almacenamiento, almacenamiento aleatorio y almacenamiento especializado. En el almacenamiento aleatorio los SKU (Stock keeping unit), que es cada unidad de un determinado tipo que se almacena, no tienen ningún lugar asignado. El almacenamiento se hace aleatoriamente, es decir, siguiendo un criterio que no implique lugares pre-asignados. En el almacenamiento especializado

los SKU si que tienen un lugar pre-asignado y se ordenan siguiendo criterios específicos como el de almacenar los productos más utilizados cerca del punto de recogida.

Para realizar la simulación ^[1] tenemos que proponer diferentes escenarios para ver el funcionamiento de la máquina S/R, en este caso hemos simulado tres escenarios diferentes:

Escenario 1 - En el 95% de los casos hay una petición de almacenamiento.
- En el 95% de los casos hay una petición de recuperación.

Escenario 2 - En el 50% de los casos hay una petición de almacenamiento.
- En el 95% de los casos hay una petición de recuperación.

Escenario 3 - En el 95% de los casos hay una petición de almacenamiento.
- En el 50% de los casos hay una petición de recuperación.

También tenemos que tener en cuenta la situación inicial de las estanterías a la hora de empezar la simulación, en nuestra simulación hemos considerado 11 situaciones iniciales:

0% - 10% -...- 90% - 100%. de ocupación.

II. TIPOS DE ESTRATEGIAS DE ALMACENAMIENTO.

A. Aleatoria Pura.

Consiste en almacenar de forma aleatoria siguiendo una distribución uniforme. En la simulación primero comprobamos que tenemos espacios en las estanterías. Si tenemos espacio, buscamos los que están vacíos y elegimos uno de estos de forma aleatoria:

Si hay espacio en las estanterías

*buscamos la posición de los espacios vacíos
elegimos una posición de forma aleatoria*

Fin

B. Aleatoria por Proximidad.

Se almacena de forma aleatoria, pero siguiendo el criterio de almacenar el producto en el lugar más cercano al punto de recogida. En este caso también comprobamos que tengamos espacio. Si lo tenemos, buscamos el cajón más cercano entre los que están vacíos. Para saber cual de ellos

esta más cercano utilizamos una matriz que tiene calculadas las posiciones más cercanas que la llamaremos proximidad.

Si hay espacio en las estanterías

buscamos la posición de los espacios vacíos
elegimos la posición más cercana al P&D

Fin

C. Especializada.

Se almacena cada SKU en una zona reservada para él, dentro de cada zona se escogerá el cajón más cercano. Definimos la posición inicial de cada SKU y el número máximo de SKUs de cada zona, para delimitar las zonas. Para su simulación comprobamos que el número de SKUs de una zona sea menor que el número de SKU máximo de esa zona, si es así, buscamos la posición más cercana al P&D dentro de su zona.

Si El N° de SKUs es menor al máximo permitido

buscamos la posición de los espacios vacíos
delimitamos la zona de almacenamiento del SKU
elegimos la posición más cercana al P&D

Fin

III. ESTRATEGIA DE RECUPERACIÓN.

En el caso de recibir una petición de recuperación, sólo tenemos una estrategia, que consiste en recuperar el SKU que mas tiempo lleve almacenado, es decir, utilizaremos una política FIFO (first in, first out). Tenemos una matriz Antigüedad, en la cual se almacena la antigüedad de cada SKU. Cuanto más pequeño sea su número más antiguo es el SKU. De esta manera cada vez que recuperamos un SKU, en su posición pondremos un cero, y cada vez que almacenamos un SKU se le pone un numero superior al máximo existente. Para su simulación lo primero que hacemos es comprobar que haya algún SKU en las estanterías. Si lo hay, comprobamos la antigüedad de estos y escogemos el más antiguo.

Si Hay SKUs en las estanterías

buscamos la posición del SKU más antiguo

Fin

IV. CONFIGURACIÓN.

Antes de poder simular un sistema AS/RS tenemos que configurar las situaciones iniciales, en nuestro caso 11, desde el 0% de ocupación hasta el 100% de ocupación, aumentando un 10% en cada paso, teniendo en cuenta las tres estrategias de almacenamiento descritas anteriormente. Para esto, crearemos matrices que representarán las estanterías y las rellenaremos siguiendo el porcentaje de peticiones de almacenamiento de cada SKU. Podemos ver un ejemplo de situación inicial del 60% de ocupación en la figura 1.

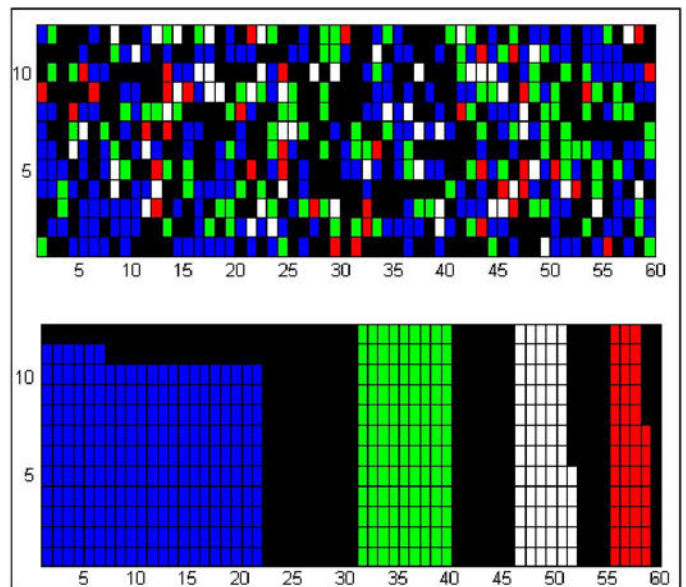


Figura 1: Un ejemplo de ocupación inicial del 60% con estrategia de almacenamiento aleatoria pura y especializada.

V. SIMULACIÓN

Una vez que tenemos los paneles iniciales configurados podemos empezar a simular. En cada paso de la simulación se tomaran distintas decisiones de manera aleatoria, siguiendo los porcentajes de almacenamiento y recuperación de cada escenario.

$A = N^{\circ} \text{aleatorio} < \% \text{ almacenamiento}$

$B = N^{\circ} \text{aleatorio} < \% \text{ recuperación}$

Si A

Almacenamos

Fin

Si B

Recuperamos

Fin

De esta manera se podrán llevar a cabo todas las situaciones, transacción S, transacción R, transacción R/S y no hacer nada.

Después de saber que transacción tenemos que realizar también tenemos que decidir que tipo de SKU tiene que realizar la/s transacción/es, también lo decidiremos de forma aleatoria siguiendo los porcentajes de petición de almacenamiento y recuperación de cada SKU..

$S = N^{\circ} \text{aleatorio};$

Si S es menor que % SKU2
 $SKU=1;$

Fin

Si S esta entre el % SKU1 y el % SKU2
 $SKU=2;$

Fin

Si S esta entre el % SKU2 y el % SKU3
 $SKU=3$

Fin

*Si S es mayor que % SKU 3
SKU=4;*

Fin

Una vez decidido el tipo de transacción y el SKU podemos realizar un paso de simulación, repetiremos estos pasos hasta sobrepasar el tiempo de simulación, y en cada interacción iremos tomando datos sobre el sistema que explicaremos a continuación.

VI. ANÁLISIS DEL SISTEMA.

En cada paso de simulación vamos guardando en diferentes variables las interacciones realizadas y el tiempo total transcurrido.

Dependiendo del resultado de la simulación podemos guardar los ciclos de operación simples y dobles y los tiempos totales de estos. Un ciclo simple es una transacción S o una transacción R. Un ciclo doble es una transacción R/S.

Si no hay tiempos de operación

No hizo nada

El tiempo de operación sera aleatorio

Sino Y tenemos dos tiempos de operación

Realizo ciclo doble

El tiempo de operación sera el tiempo de ciclo doble

Sino

Realizo ciclo simple

El tiempo de operación sera el tiempo de ciclo simple

Fin

Fin

También podemos obtener el porcentaje de falta de material/espacio mirando que le tocara realizar una transacción y el tiempo de operación sea cero, en este caso falta material/espacio.

*Si A y Tiempo de operación es cero
falta espacio*

Fin

*Si B y Tiempo de operación es cero
falta material*

Fin

Una vez que realizamos todos los pasos de la simulación, podemos obtener todos los datos que nos interesas a partir de todos los datos que hemos guardado anteriormente.

$$\begin{aligned} \text{ocupación} &= 100 * \text{suma}(\text{ocupación}) / \text{pasos} \\ \text{tasa de ciclo simple} &= 100 * \text{ciclos simples} / \text{pasos} \\ \text{tasa de ciclo doble} &= 100 * \text{ciclos dobles} / \text{pasos} \\ \text{tasa de tiempo simple} &= 100 * \text{suma}(\text{tiempos simples}) / \text{pasos} \\ \text{tasa de tiempo doble} &= 100 * \text{suma}(\text{tiempos dobles}) / \text{pasos} \\ \text{tasa horaria transacciones} &= 3600 * (\text{tiempos simples} + \text{tiempos dobles} * 2) / Tt \\ \text{tasa horaria operaciones} &= 3600 * (\text{tiempos simples} + \text{tiempos dobles}) / Tt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{utilización} &= \text{suma}(\text{tiempos simple}) + \text{suma}(\text{tiempodoble}) / Tt \\ \text{tiempo mediosimple} &= \text{suma}(\text{tiempos simples}) / \text{ciclos simples} \\ \text{desviación} &= \sqrt{(\text{suma}(\text{tiempos simples})^2 / \text{ciclos simples} - \text{tiempo mediosimple})} \\ \text{tiempo mediodoble} &= \text{suma}(\text{tiempos dobles}) / \text{ciclos dobles} \\ \text{desviación} &= \sqrt{(\text{suma}(\text{tiempos dobles})^2 / \text{ciclos dobles} - \text{tiempo mediodoble})} \end{aligned}$$

VII. RESULTADOS.

Como resultado de la simulación hemos obtenido diversos datos organizados en structs. Para obtener una mejor comprensión de estos datos los representaremos en distintas gráficas, que intentaremos analizar. Extraeremos conclusiones de las diferentes estrategias de almacenamiento utilizadas, como reaccionan en los diferentes escenarios y para situaciones iniciales diferentes. En concreto mostraremos gráficas de la utilización, porcentaje de falta de material y de espacio y de los tiempos medios de ciclo y desviación típica de estos.

D. Utilización.

En la gráfica, figura 2, podemos ver la utilización del sistema, para cada una de las situaciones iniciales y para los tres escenarios. Se muestra una gráfica para cada tipo de estrategia utilizada:

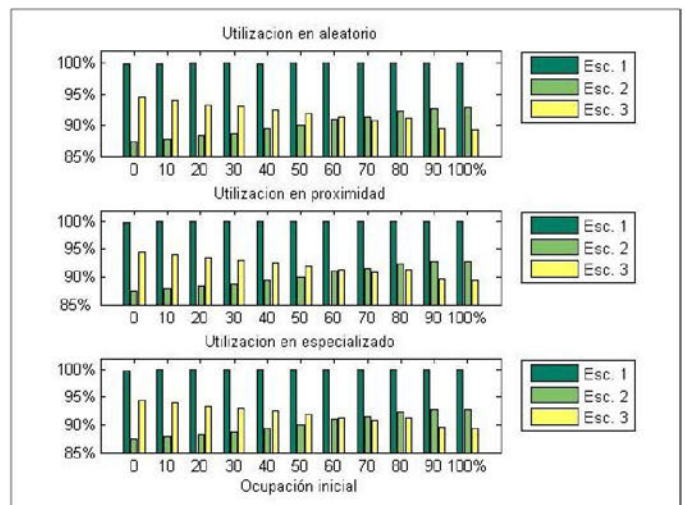


Figura 2 Utilización del sistema

Podemos observar como varia la utilización en función del escenario en el que trabajamos. En el escenario 1, que almacenamos tantos productos como los que recuperamos, la utilización es del 100%, independientemente de la situación inicial y de la estrategia que utilicemos. Para los escenarios 1 y 2, la utilización varia en función de la situación inicial, para el 2, que recuperamos más de los que almacenamos, podemos ver que la utilización aumenta a medida que aumenta la situación inicial y el escenario 3, que almacenamos más de los que recuperamos, la utilización disminuye mientras aumenta la situación inicial.

En conclusión vemos que si nos interesa tener la mayor utilización posible tenemos que intentar trabajar en un escenario que los productos que se almacenan sean semejantes en número a los productos que recuperamos, de todas las maneras en los tres escenarios la utilización es mayor al 85%.

E. Porcentajes de Falta de Material y de Espacio.

La gráfica, figura 3, mostraremos la falta de material cuando trabajamos en el escenario 2, y la falta de espacio cuando trabajamos en el escenario3, para las diferentes situaciones iniciales y para las tres estrategias de almacenamiento utilizadas:

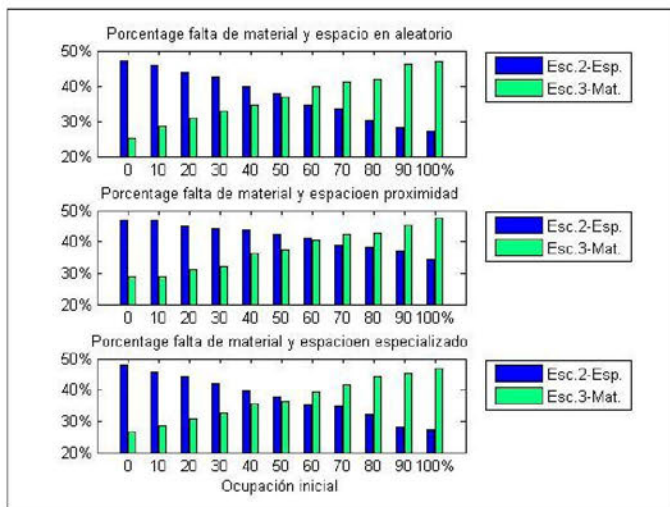


Figura 3: Porcentajes de falta de material y falta de espacio.

Podemos observar que para las tres estrategias utilizadas los resultados son muy similares.

Se puede ver como cuando las situaciones iniciales son pequeñas, el porcentaje de falta de material es muy grande cuando trabajamos en el escenario 2 y como van disminuyendo a medida que aumenta la situación inicial.

Sucede al contrario con la falta de espacio cuando trabajamos en el escenario3, e cuanto más aumenta la situación inicial más aumenta la falta de espacio.

F. Tiempos medio de ciclo doble y su desviación típica

En la siguiente gráfica, figura 4, podemos observar la diferencia entre los tiempos medios de ciclos dobles y su desviación típica, para las diferentes estrategias utilizadas:

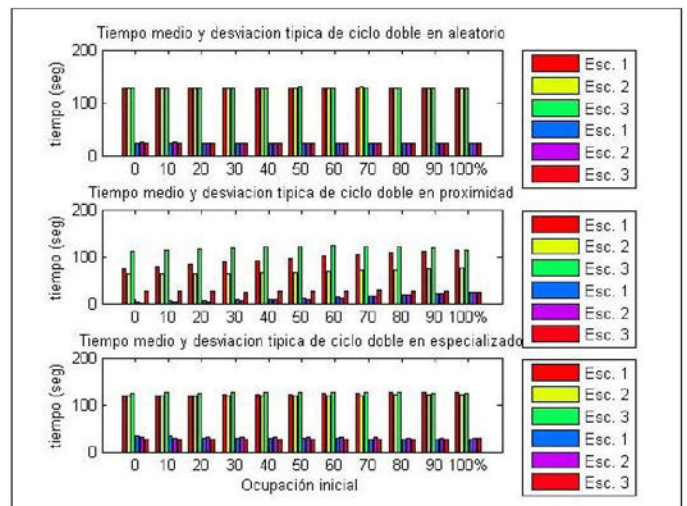


Figura 4: Tiempos medios y desviación típica de ciclo doble. En cada grupo de seis barras, las tres de la izquierda muestran la media y las tres de la derecha muestran la desviación típica.

Podemos decir que para la estrategia de almacenamiento aleatoria pura, los tiempos de ciclo simple son bastantes constantes en los tres escenarios en los que se trabaja. Para la estrategia de almacenamiento especializada, podemos destacar que las desviaciones típicas de los tiempos medios de ciclo simple, son bastantes grandes. Pero la mejor estrategia de almacenamiento es la aleatoria por proximidad, y sobre todo cuando tenemos una ocupación inicial baja o trabajamos en el escenario 2

VIII. CONCLUSIONES.

Para concluir hemos visto que que la simulación es bastante coherente con los resultados aportados, que serian más o menos los esperados.

Si tuviéramos que elegir una estrategia de almacenamiento seria la de aleatoria por proximidad, ya que es la que ofrece unos tiempos medios de ciclo simple y de ciclo doble más pequeños y con una desviación típica más pequeña, eso quiere decir que los tiempos de ciclo son más constantes.

Referente a los escenarios, diremos que se debería trabajar en un escenario 1, que se almacena igual que recuperamos, para no dejar vacías las estanterías o no quedarnos sin espacio, lo que reduce la utilización del sistema.

REFERENCIAS

- [1] Antoni Burguera - Systems, Robotics and Vision Group - Universitat de les Illes Balears
- [2] S. M. P. Groover.-Automation, Production Systems and Computer-Integrate. Manufacturing. Prentice Hall, 2nd edition, 2001.

Asignatura: Sistemas Integrados de Fabricación.
Impartida por: Antoni Burguera Burguera.

Sistema d'adquisició de dades d'un acceleròmetre utilitzant instrumentació virtual

Alejandro Ramis Marín¹, Antonio Nadal Mir²

Tercer curs d'Enginyeria Tècnica Industrial, Especialitat en Electrònica Industrial

¹j_ramiskar@hotmail.com

²tonigiry@hotmail.com

Resum— Aquest article descriu com realitzar un sistema d'adquisició de dades utilitzant instrumentació virtual. A través de l'aplicació LabVIEW es mostra el codi necessari per obtenir les dades d'un acceleròmetre i quin hardware necessitam per transmetre els senyals captats pel sensor fins a l'ordinador. A més, es descriuen algunes de les múltiples aplicacions que es poden realitzar amb els components que conformen aquest sistema com, per exemple, la realització d'un airbag o d'un videojoc.

I. INTRODUCCIÓ

Moltes vegades la realització d'una mesura requereix la intervenció de varis instruments, uns generen estímuls sobre el dispositiu que es pretén mesurar i altres s'encarreguen d'obtenir la resposta a aquests estímuls. Aquest conjunt d'instruments que fan possible la realització de la mesura rep el nom de sistema d'instrumentació. Tot sistema d'instrumentació consta d'uns instruments, un sistema d'interconnexió d'aquests instruments i un controlador intel·ligent que gestiona el funcionament de tot el sistema i dona les ordres per tal que la mesura es realitzi correctament.

La idea és substituir i ampliar elements hardware per altres software. Per aquest motiu, s'empra un processador que executi un programa específic i aquest programa es comunica amb altres dispositius per configurar-los i llegir les seves mesures. En moltes ocasions, l'usuari final del sistema d'instrumentació tan sols veu la representació gràfica dels indicadors i botons de control virtuals a la pantalla de l'ordinador.

El concepte d'instrumentació virtual implica l'adquisició de senyals, el processament, l'anàlisi, emmagatzament, distribució i desplegament de la informació relacionada amb la mesura d'un o varis senyals, interfície home-màquina, visualització, comunicació amb altres equips, etc.

II. DISPOSITIUS DEL SISTEMA

El sistema d'adquisició de dades està compost per varis elements. Per una banda, disposa d'elements software com, per exemple, l'aplicació LabVIEW de National Instruments i, d'altra banda, disposa també d'elements hardware, entre els que destaquen una font d'alimentació, una tarjeta d'adquisició de dades i l'acceleròmetre. La font d'alimentació es configura i es posa en marxa manualment i s'utilitza, únicament, per alimentar l'acceleròmetre amb una tensió de 3 Volts.

A. Acceleròmetre ADXL330

Un acceleròmetre és un instrument que serveix per mesurar acceleracions. Per a la realització del sistema d'adquisició de dades, s'ha emprat l'acceleròmetre ADXL330 (Fig. 1), fabricat per Analog Devices, i que ens permet mesurar l'acceleració en 3 eixos (eix X, eix Y i eix Z).

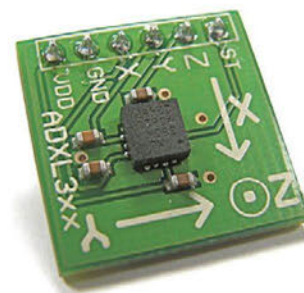


Fig. 1 Acceleròmetre ADXL330

Es tracta d'un acceleròmetre de condensador. Aquests tipus de sensors disposen d'un condensador intern consistent en 2 plaques fixes independents, enmig de les quals es situa una altre placa no fixa. Quan es produeix una acceleració del sensor, el moviment d'aquesta placa central provoca la variació de capacitat elèctrica del condensador, que dona com a resultat a la sortida del sensor una amplitud proporcional a l'acceleració.

L'acceleròmetre és capaç d'obtenir mesures tant en posició estàtica com dinàmica. Quan l'acceleròmetre es troba estàtic, està sotmès a una acceleració de $9,8 \text{ m/s}^2$ corresponent a la força de la gravetat (acceleració estàtica). En funció de com es representi aquesta acceleració a les sortides dels eixos X, Y i Z, podrem saber la inclinació en que es troba el sensor.

Quan l'acceleròmetre es troba en moviment, l'acceleració dinàmica ens permet conèixer el moviment del sensor, la posició relativa, vibracions i, fins i tot, si pateix algun cop.

B. Tarjeta d'adquisició de dades DAQ-6024E

La tarjeta d'adquisició de dades és un element que serveix per transformar a senyal digital les mesures realitzades sobre un sistema, per tal de poder-les processar amb un ordinador que disposi del software adequat.

El sistema d'adquisició de dades que descriu aquest article disposa d'una targeta DAQ-6024E (Fig. 2), del fabricant National Instruments. Aquesta targeta ens permet convertir les dades obtingudes de l'acceleròmetre per poder-les processar a través de l'aplicació LabVIEW.



Fig. 2 Targeta d'adquisició de dades DAQ-6024E

C. Aplicació LabVIEW

El software LabVIEW constitueix un sistema de programació gràfica per aplicacions que impliquin adquisició, control, anàlisi i presentació de dades. Els programes desenvolupats amb LabVIEW s'anomenen Instruments Virtuals (VIs), perquè la seva apariència i funcionament imiten les d'un instrument real. Els VIs tenen una part interactiva amb l'usuari i una altra part de codi font, i accepten paràmetres procedents d'altres VIs. Dins els VIs, trobam instruments virtuals que s'encarreguen de realitzar alguna acció concreta, i que reben el nom de subVIs.

Aquesta aplicació ens permet processar les dades obtingudes de l'acceleròmetre i establir una interfície amb l'usuari per on mostrar la informació generada a partir de les mesures.

III. PANELL FRONTAL I FUNCIONALITATS

El panell frontal de LabVIEW és la interfície amb l'usuari, on l'actualització de les dades es realitza en temps real. A través d'ell, l'usuari pot interactuar amb el programa mentre aquest s'està executant a través de:

- Controls: representen les entrades de l'instrument virtual. Es poden emprar per indicar-li al programa accions a realitzar, activar funcions, introduir valors inicials, etc.
- Indicadors: representen les sortides de l'instrument que permeten a l'usuari conèixer els resultats per la pantalla de l'ordinador. Per tant, totes les dades obtingudes de l'acceleròmetre es mostren pel panell frontal a través d'indicadors.

El panell frontal implementat (Fig. 3) es pot dividir en 3 zones. La part superior representa la inclinació (en graus) dels 3 eixos de l'acceleròmetre, a més de realitzar una representació gràfica en 3D d'aquesta inclinació a partir de les dades obtingudes. S'han col·locat dos leds informatius; un d'ells s'il·lumina si la inclinació de l'eix X ha sobrepassat els 60°, mentre que l'altre ho fa si l'eix Y ha sobrepassat els 45°. A la zona superior del panell, també hi ha el botó Stop, que serveix per aturar l'execució del programa.

La zona central del panell i el cantó inferior esquerre, ho utilitzam per simular el funcionament d'un airbag. Disposam d'un botó que ens permet activar/desactivar l'airbag i un led rectangular vermell que indica quan s'ha activat. A través d'un gràfic es representa l'acceleració de cada eix i ens permet observar les vibracions del sensor. A més, hi ha una sèrie

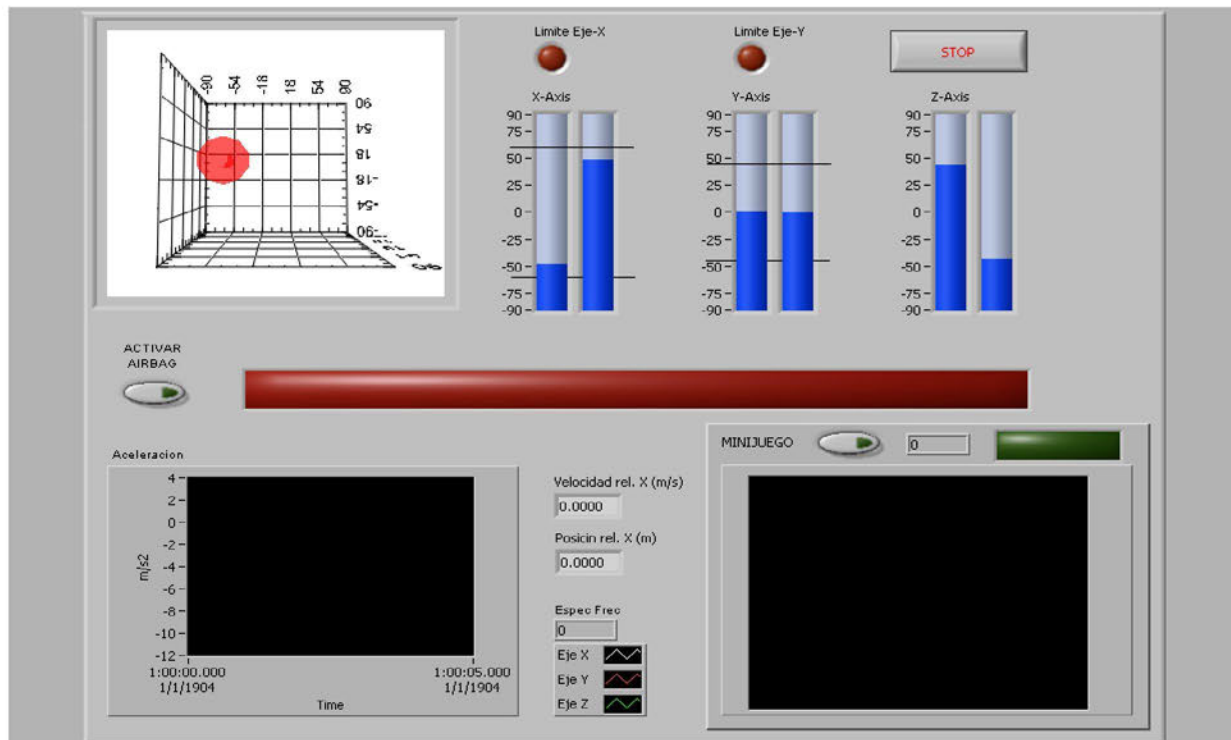


Fig. 3: Panell frontal

d'indicadors que representen l'espectre freqüencial de les vibracions, la posició relativa i la velocitat relativa del sensor.

A la part inferior dreta s'ha col·locat un minijoc, compost per la pantalla on es desenvolupa el joc, un marcador, un indicador de Game Over, i un botó que ens permet activar-lo o desactivar-lo. El joc crea aleatòriament un camí a partir de la generació d'un senyal de tipus sinusoidal i consisteix en mantenir la mesura realitzada per l'eix Y entre les anteriors, inclinant-lo degudament.

IV. DESCRIPCIÓ DEL CODI VI

El codi de l'instrument virtual (VI) s'implementa mitjançant un llenguatge gràfic constituït per un diagrama de blocs. El diagrama de blocs inclou funcions i estructures integrades en les llibreries que incorpora LabVIEW, a més de disposar de llibreries específiques de cada instrument de mesura connectat.

El programa principal (Fig. 4) està format per blocs extrets directament de les llibreries i per subVIs, amb la finalitat de simplificar al màxim el codi. Tot el programa constitueix un bucle que es repeteix fins que es pitja el botó Stop. El punt inicial es troba en l'obtenció dels senyals de sortida de l'acceleròmetre, a través d'un subVI específic de la targeta d'adquisició de dades. Aquest subVI retorna 3 resultats, un per cada eix. Aquests resultats passen per un bloc encarregat de suavitzar els pics de tensió, amb l'objectiu d'evitar els efectes del renou.

El següent bloc ens normalitza el senyal de sortida obtingut en el bloc anterior, a través de la fórmula següent:

$$VN = \frac{Vout - Voffset}{\Delta v / \Delta g} \quad (1)$$

Vout representa el senyal de sortida del sensor. Voffset representa l'offset d'aquest senyal, que es correspon amb el desplaçament que té respecte de 0 quan es troba en repòs. I $\Delta v / \Delta g$ és la sensibilitat del sensor.

Un cop tenim els senyals de sortida normalitzats, passam a una execució en paral·lel, on calculam la inclinació, posició i velocitat relativa, simulam el comportament de l'airbag, cream una taula amb els resultats i executam el joc.

A. Càlcul de la inclinació

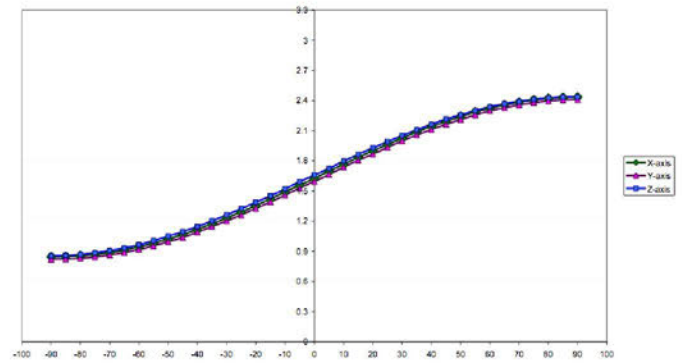


Fig. 5 Sortida en funció de la inclinació.

Per obtenir la inclinació a partir dels resultats normalitzats, convertim aquests resultats a graus mitjançant el bloc DEG. Per realitzar la conversió, en primer lloc hem d'obtenir l'arcsinus de la dada normalitzada, ja que les mesures que realitza el sensor no són lineals (com mostra la Fig. 5) i l'ajust d'aquestes es pot realitzar a través de la funció arcsinus. A continuació, convertim el resultat (en radians) a graus aplicant el factor de conversió $\Pi = 180^\circ$.

Una vegada passat a graus, podem controlar la inclinació màxima de cada eix a través de comparacions i de la representació gràfica en 3D.

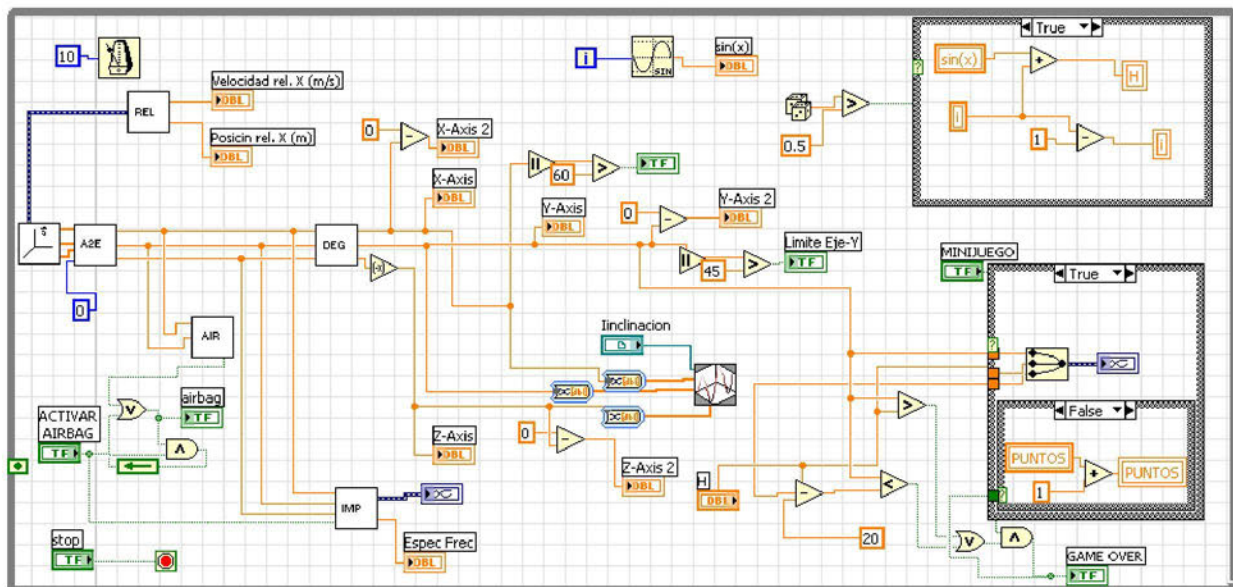


Fig. 4 Diagrama de blocs principal (VI) amb les diferents funcions i subVIs

B. Airbag

El funcionament de l'airbag ha de provocar que aquest s'activi quan l'acceleració del pla XY superi els 2g. L'activació es produirà tant si aquesta acceleració es produeix positivament com negativament, per simular xocs frontals i posteriors.

A partir de les dades normalitzades, podem obtenir l'acceleració dels eixos multiplicant-los pel valor de la gravetat ($9,8 \text{ m/s}^2$). Un cop tenim l'acceleració de l'eix X i de l'eix Y, podem calcular l'acceleració del pla XY cercant el mòdul compost per aquests dos eixos. Si el valor absolut de l'acceleració del pla XY supera els 2g, s'activarà l'airbag.

A més, el codi disposa d'un subVI anomenat IMP que, a partir de les acceleracions obtingudes, ens crea un fitxer on hi registra aquests valors, ens calcula l'espectre freqüencial i ens representa les acceleracions en una gràfica.

C. Velocitat i posició relativa

El càlcul de la velocitat relativa es realitzarà a partir de l'acceleració de l'eix X (Fig. 6). Per obtenir aquest paràmetre, necessitam integrar l'acceleració i, per tant, necessitem el seu valor actual i anterior.

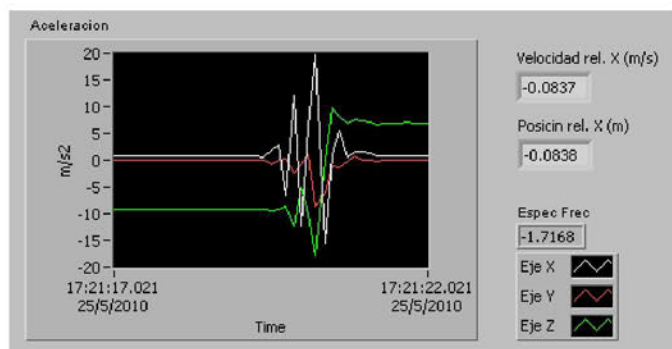


Fig. 6 Acceleracions dels eixos en sofrir un impacte.

L'acceleració ve representada per un array amb un sol element (acceleració actual de l'eix). A aquest array, afegim el valor de l'acceleració de l'estat anterior i integrem amb els dos valors, obtenint d'aquesta manera la velocitat relativa.

A partir de la velocitat relativa, podem obtenir la posició relativa utilitzant el mateix plantejament, és a dir, integrant la velocitat.

D. Videojoc

Com s'ha detallat anteriorment, el videojoc (Fig. 7) consisteix en mantenir, entre dos senyals paral·lels que van canviant de forma, el senyal generat per l'eix Y inclinant el sensor degudament. Per crear els senyals idèntics, farem servir una funció sinusoidal, on l'offset variarà lineal i aleatòriament de forma que ens representa un camí a seguir.

El joc disposa d'un comptador de punts que s'incrementa a mesura que el jugador es manté dins el camí establert. Quan es detecta que el jugador surt d'aquest camí, s'atura el comptador i s'il·lumina l'indicador de Game Over, simbolitzant la fi del joc.



Fig. 7 Captura on es veu la pantalla on s'executa el joc, la puntuació, i l'activació de l'indicador Game Over.

V. CONCLUSIONS

La programació amb el software LabVIEW és còmode i fàcil d'entendre. El fet de disposar d'un entorn gràfic i d'un gran nombre de llibreries fan que, si s'utilitza de manera correcta, es puguin realitzar un gran nombre d'aplicacions de forma pràctica i senzilla. A més, cal destacar la gran importància del panell frontal, que compleix perfectament la seva funció d'establir una interfície amb l'usuari. Un panell frontal dissenyat i implementat per fer-lo el més intuïtiu possible facilita molt la interacció amb l'usuari.

D'altra banda, la realització del sistema d'adquisició de dades ens ha permès comprovar l'eficiència i la rapidesa de transmissió dels components emprats per realitzar aquesta tasca. A més, també s'ha pogut veure com actua un acceleròmetre, i la fiabilitat dels senyals que transmet. Finalment, cal esmentar la importància de realitzar un connexió adequat i amb un hardware en bon estat, ja que el sensor és molt susceptible a petites imperfeccions en aquest aspecte.

REFERÈNCIES

- [1] Jaume Verd i Bartomeu Alorda, apunts de l'assignatura "Instrumentació Electrònica II".
- [2] Datasheet "ADXL330", Analog Devices, U.S.A, 2006.
- [3] Tutorial sobre l'aplicació LabVIEW. [Online]. Available: http://www.gte.us.es/ASIGN/IE_4T/Tutorial%20de%20Labview.pdf

Diseño de un sistema de control CAN

Lidia Granados Lopez, Fèlix Coll Carrera

Tercer curso de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electrónica Industrial

lgranados86@gmail.com

felix.coll185@gmail.com

Resumen— Este artículo describe la implementación de un sistema de control sencillo, que controla la temperatura y el nivel de un depósito.

I. INTRODUCCIÓN

El sistema que se implementará se puede observar en la figura 1. Este consta de 3 nodos (A, B y C) cada uno de los cuales tiene una función diferente, 2 válvulas, que se abren y se cierran cuando es necesario y finalmente 2 sensores que marcan el nivel de la sustancia que contiene el depósito y su temperatura.

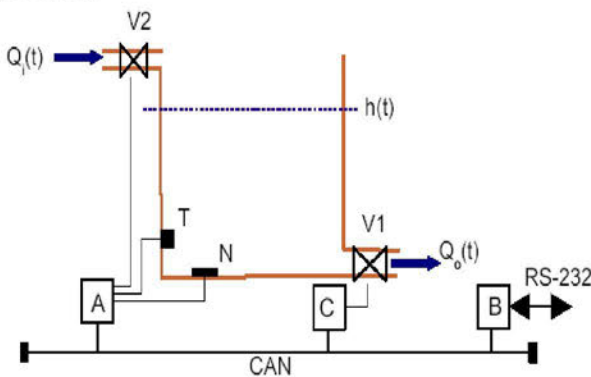


Fig. 1 Esquema del sistema de control de nivel y Temperatura de un depósito.

II. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA

A. Función de los nodos

1) Nodo A

El nodo A está conectado al sensor de temperatura (T), al sensor de nivel (N) y a la válvula (V2). Este nodo tiene la función de tomar los datos de los dos sensores y enviarlos mediante el bus CAN. Además, también tiene la capacidad de abrir y cerrar V2.

Finalmente hay que destacar que el nodo tiene dos modos de actuar, en Sondeo y en Productor. En Sondeo, el nodo envía los datos de los sensores solo si ha recibido una solicitud de transmisión de estos datos. En modo Productor, en cambio, envía los datos de manera periódica, sin ningún tipo de solicitud.

2) Nodo B

El nodo B es el controlador de todo el sistema, principalmente porque conoce el valor del nivel deseado (consigna), y el rango de valores de la temperatura. Así pues, cuando recibe el valor del nivel, lo compara con la

consigna y envía las órdenes a V2 para que se abra o se cierre.

Cuando recibe el valor de la temperatura, si está fuera del rango entre 20°C y 90°C, activa la alarma (cerrando V1 y V2). También cabe destacar que enseña por pantalla el estado actual de la consigna, el nivel, la temperatura y las válvulas V1 y V2.

3) *Nodo C*: Este nodo únicamente abre o cierra (alarma) V1, dependiendo de las órdenes que reciba del nodo B por el bus can.

B. Función de los sensores

1) *Sensor de temperatura*: Este sensor registra la temperatura del líquido. Tiene un rango de -55 °C a 200 °C y su precisión es de 1 °C.

2) *Sensor de nivel*: El sensor registra el nivel del líquido del tanque, con una precisión de 0.1 mm. Una vez que el nodo B lee estos valores.

C. Función de los actuadores

1) *Válvula V1*: La válvula tiene dos estados: abierta/cerrada. El caudal de ésta cuando está abierta es de $Q_0 = 50 \text{ litros/s} = 0.005 \text{ m}^3/\text{s}$.

2) *Válvula V2*: El caudal de esta válvula cuando está abierta es de $Q_i = 100 \text{ litros/s} = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

D. Modos y estados

Los nodos tienen dos modos de operación, que pueden ser cambiados por el usuario en el nodo B mediante un pulsador:

1) *Sondeo*: El nodo B es el que se encarga de hacer la solicitud de datos al nodo A, mientras este último espera.

2) *Productor*: El nodo A envía periódicamente los datos de los sensores al nodo B. El periodo de muestreo es configurado por el nodo B.

E. Estados

El nodo B puede encontrarse en dos estados diferentes dependiendo de la temperatura del depósito:

1) *Alarma*: Permanece en este estado mientras la temperatura del depósito no está dentro de los rangos adecuados.

2) *Control*: Es el estado normal de operación, donde se ajusta el nivel al de consigna con la apertura y cierre de V2.

III. CORRESPONDENCIA CON LA PLACA

Como hemos dicho anteriormente, este sistema de control será implementado sobre la placa CCS CAN Bus compuesta por 4 nodos CAN(A, B, C y D).

Principalmente nos centraremos más en la comunicación entre nodos, por eso dejaremos de lado la utilización de sensores y los sustituiremos por componentes y funciones de la placa. Así pues, los sensores y actuadores se emularán mediante:

- Sensor de temperatura: Potenciómetro del nodo A.
- Sensor de nivel: Cálculo periódico mediante programación en función de la apertura o cierre de las válvulas.
- V1: Abierto → Led verde en el nodo C.
Cerrado → Led rojo en el nodo C.
- V2: Abierto → Led verde en el nodo A.
Cerrado → Led rojo en el nodo A.
- Estado de Alarma: Led rojo nodo B.
- Estado de control: Led verde nodo B.
- Selección de consigna: Potenciómetro del nodo B.
- Selección de modo: Botón del nodo B.

Los únicos nodos de la placa que podemos programar directamente son el A y el B. Por lo que cuando tenemos que acceder a los LEDs del nodo C lo haremos enviándole las tramas específicas para ello desde el nodo B.

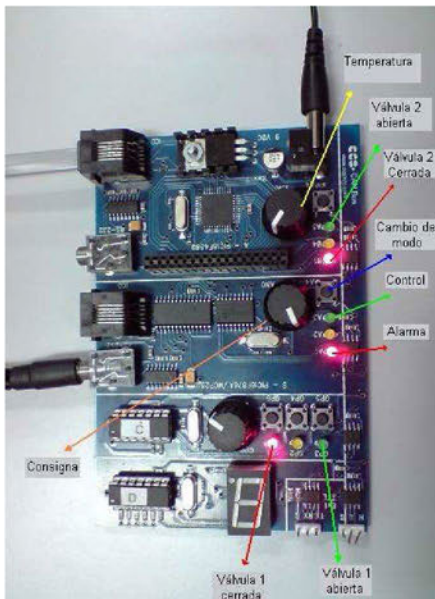


Fig. 2 Esquema de la placa CCS CAN

En la figura 2 se puede observar detalladamente la placa con la que se ha implementado el sistema de control, así como sus características principales.

IV. DEFINICIÓN DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIONES

Para poder realizar su función, los nodos del sistema ejecutan el protocolo de comunicaciones que se describe a continuación.

En el diseño de protocolos se ha hecho una serie de suposiciones al iniciar la comunicación. Entre ellas tenemos que las válvulas comienzan estando abiertas, que el modo de operación es el de sondeo y que se está en estado de control.

En la tabla 1 se puede ver el vocabulario, la codificación y el intercambio de mensajes entre los nodos.

Nombre del mensaje	Descripción	ID (hex)	Datos enviados	Intercambio
Productor	Cambio a productor	20	(1byte) T/100*	Nodo B → Nodo A
Sondeo	Cambio a sondeo	30		Nodo B → Nodo A
Confir.	Confirmación de cambio	40		Nodo A → Nodo B
Peti	Petición de datos	50		Nodo B → Nodo A
Valores	Datos de los sensores	60	Temperatura y nivel	Nodo A → Nodo B
Abrir V2	Orden de abrir V2	100		Nodo B → Nodo A
Cerrar V2	Orden de cerrar V2	110		Nodo B → Nodo A
Alarma	CerrarV2 y v1_abierta=0	120		Nodo B → Nodo A
Control	V1_abierta=1	130		Nodo B → Nodo A
Abrir V1	Abrir V1	300	Ledverde=ON Ledrojo=OFF	Nodo B → Nodo C
Cerrar V1	Cerrar V1	300	Ledverde=OFF Ledrojo=ON	Nodo B → Nodo C

Tab.1 Mensajes e Identificadores

*En el modo Productor, el nodo B envía el nuevo periodo de muestreo (T) al nodo A como dato de 1byte en unidades de 0.1s.

A. Nodo B

El nodo B está formado solo por una espera, que siempre está pendiente de los siguientes eventos:

- 1) *Time out*: Tiempo que espera para recibir la confirmación “confir” del cambio de modo. Al pasar este tiempo vuelve a enviar la petición de cambio de modo al nodo A.
- 2) *Botón*: Espera que se pulse el botón para cambiar del modo “Sondeo” al modo “Productor” y viceversa.
- 3) *Confir*: recibe el mensaje de confirmación, señal de que el nodo A a cambiado de modo. Este es el único mensaje que consideramos que se puede “perder”, y no llegar al nodo A, por eso se ha añadido el time out.
- 4) *Tsondeo*: Es el tiempo del modo “Sondeo”, que cuando finaliza, el nodo B vuelve a enviar una petición de datos.
- 5) *Valores*: Espera los valores (temperatura y nivel) tomados por el nodo A, los compara en las condiciones pertinentes, y enciende estado de alarma si es necesario.

6) *Otros*: Recibe otros mensajes del sistema que no tenemos en cuenta.

B. Nodo A

El nodo A está formado también solo por una espera que esta pendiente de los siguientes eventos:

- 1) *Productor*: Espera el mensaje “Productor” para el cambio a este modo. Envía confirmación, y comprueba si estaba anteriormente en modo “Sondeo”.

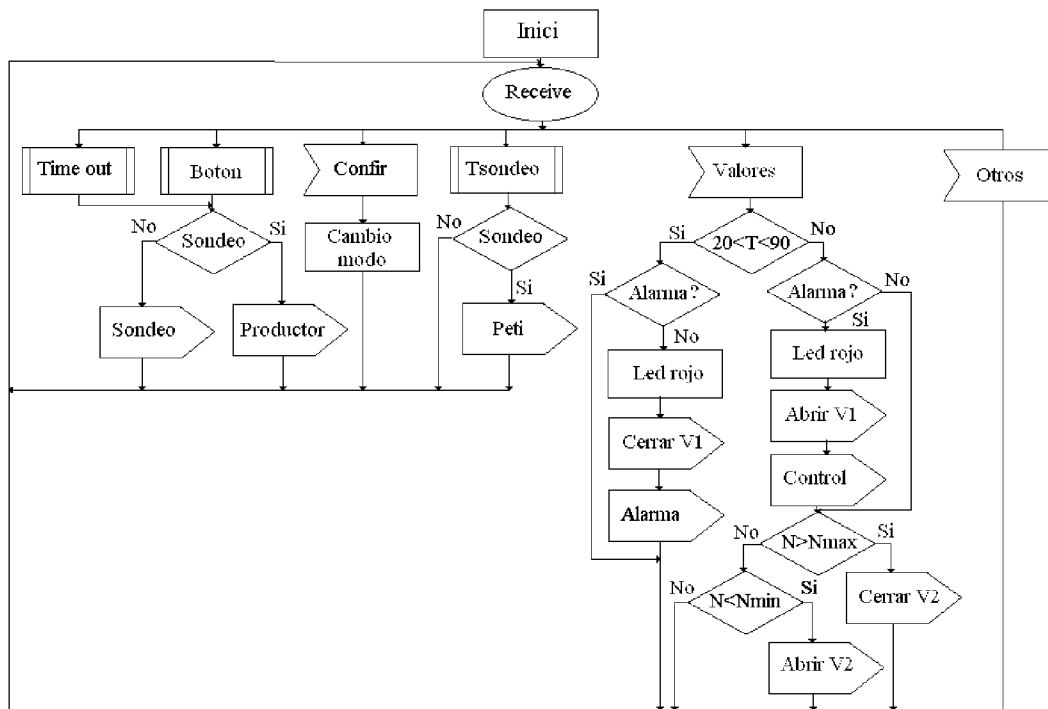


Fig.3 Diagrama SDL del nodo B

2) *Sondeo*: Espera el mensaje “Sondeo” para el cambio a este modo. Envía confirmación, y comprueba si estaba anteriormente en modo “Productor”.

3) *Peti*: Espera mensaje de petición de datos, y posteriormente los envía.

4) *Tproduct*: Periodo de muestreo para enviar los valores si esta en modo “Productor”.

5) *Alarma*: Espera el mensaje de activación de estado de alarma.

6) *Control*: Espera el mensaje para cambio al estado de control.

7) *Abrir V2*: Espera el mensaje de “Abrir V2”.

8) *Cerrar V2*: Espera el mensaje de “Cerrar V2”.

9) *Otros*: Espera otros mensajes que no le interesan.

C. *Nodo C*

Este nodo recibe los mensajes Abrir V1 y Cerrar V1 que le envía el nodo B y enciende su LED verde y su LED rojo respectivamente.

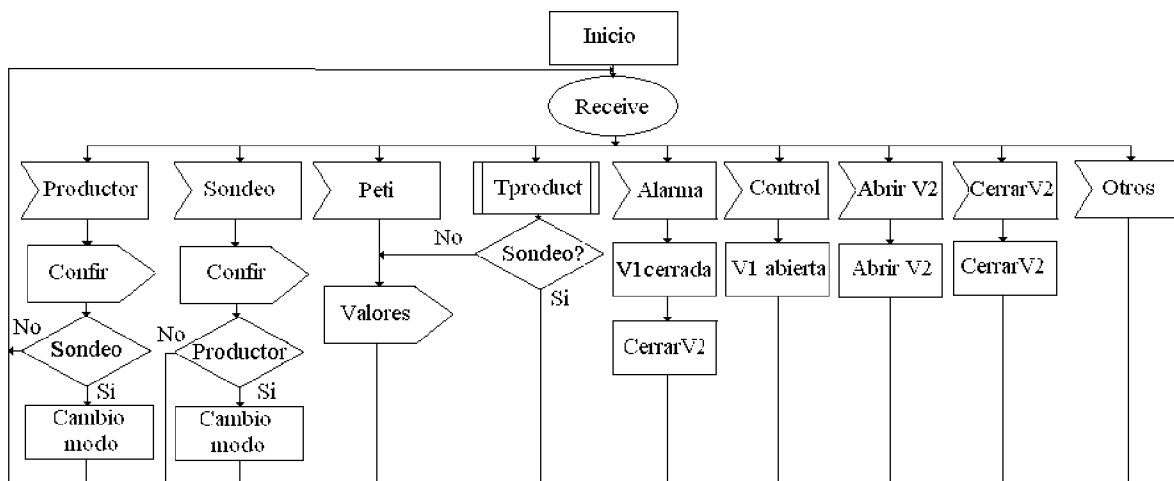


Fig.4 Diagrama SDL del nodo A

V. IMPLEMENTACIÓN

A. Estructura del programa

La programación de los dos nodos se ha intentado estructurar de forma clara y ordenada, utilizando funciones para aquellas partes que se repiten dentro del programa o que tienen una misión más específica y relativamente independiente del programa principal.

Se han utilizado las siguientes funciones:

1) *Nodo A*

- **configuración()**: Configuración de la interrupción del timer y de la conversión del potenciómetro.
- **enviar_trama(id,buffer,tam)**: Espera a que esté libre el bus y envía la trama con los parámetros indicados.

2) *Nodo B*

- **configuración()**: Tiene la misma función que en el A.
- **enviar_trama(id,buffer,tam)**: Tiene la misma función que en el A.
- **write_leds_c(on)**: Envía al nodo C la trama adecuada para encender y apagar los LEDs dependiendo de si el que queremos encender(on) es verde o rojo.
- **comprobar_temp(temperatura)**: Según la temperatura actualiza el estado(variable global) a Control o Alarma.
- **comp_nivel(niv_sensor)**: Según el valor recibido del sensor de nivel, envía mensajes de abrir o cerrar V2.
- **cal_consigna()**: Lee el potenciómetro de consigna y devuelve el valor del nivel elegido en milímetros.

El programa principal de ambos nodos está estructurado siguiendo el SDL, es decir, esta compuesto por un bucle infinito (while(TRUE)), dentro del cual se puede entrar en las diferentes ramas si se cumple la condición (if()) para cada una de ellas.

B. Pruebas de funcionamiento

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema utilizamos el puerto RS-232 del nodo B para mostrar por pantalla los datos que nos interesan y, el envío y recepción de tramas en éste nodo. En la Figura 3 se puede ver una muestra de la visualización por pantalla, con ejemplos del cambio de modo y el envío y recepción de tramas.

Por otra parte, en las Figuras 4 y 5 se pueden ver los resultados de las pruebas en la placa sobre el cambio de estado y cierre/apertura de válvulas.

```

CAN_PUTD(): BUFF=0 ID=00000110 LEN=0 PRI=3 EXT=1 RTR=0
VALVULA V2 CERRADA
CAN_PUTD(): BUFF=0 ID=00000020 LEN=1 PRI=3 EXT=1 RTR=0
DATA = 05
CAN_GETD(): BUFF=0 ID=00000040 LEN=0 OVF=0 FILT=0 RTR=0 EXT=1 INV=0
CAMBIO A PRODUCTOR
CAN_GETD(): BUFF=0 ID=00000060 LEN=3 OVF=0 FILT=0 RTR=0 EXT=1 INV=0
DATA = 73 86 0F
Temperatura=60 Grados
Nivel=402 mm
Consigna=400
CAN_GETD(): BUFF=0 ID=00000060 LEN=3 OVF=0 FILT=0 RTR=0 EXT=1 INV=0
DATA = 73 73 00
Temperatura=60 Grados
Nivel=344 mm
Consigna=400
    
```

Fig.3 Cambio a productor

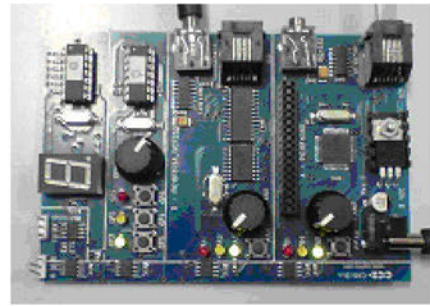


Fig.4 Placa en Control y V2 abierta

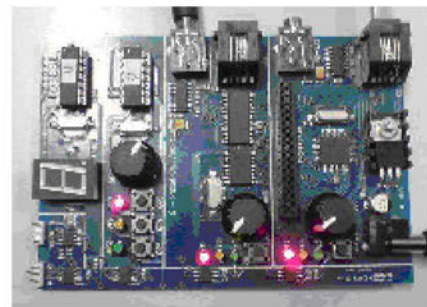


Fig.5 Placa en Alarma

VI. CONCLUSIÓN

Como se puede observar, el sistema se ha podido implementar con éxito. Con él hemos aprendido a comunicar nodos, con una cierta distancia entre sí a través del bus de campo CAN.

Los buses de campo son muy utilizados en la automatización de los procesos de producción. Simplifican bastante la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales porque convierte los dispositivos en inteligentes a un bajo coste.

El desarrollo de este sistema sencillo se podría aplicar al diseño de un proceso industrial más amplio.

Asignatura: Redes de Comunicación Industriales.
 Impartida por Guillermo Rodríguez-Navas González.



Félix Coll Carrera. Estudiante de tercer curso de Ingeniería Técnica Industrial (especialidad en electrónica industrial) de la UIB.



Lidia Granados López. Estudiante de tercer curso de Ingeniería Técnica Industrial (especialidad en electrónica industrial) de la UIB.

Proposta d'un Codi per a Recorre un Laberint Conegut

Caterina Amengual Caldentey, Juan Marcos Calafat Alhama.

2n curs d'Enginyeria Tècnica de telecomunicacions, Especialitat en Telemàtica

caterinona@gmail.com, marccalafat@gmail.com

Resum— Aquest article és el resum de la programació proposada per a moure un vehicle dins un laberint conegut prèviament. El desplaçament ha de ser des d'un punt inicial a un punt final d'arribada. El vehicle usat es basa en el kit Formula i la trajectòria l'assegura la lectura de tres sensors de llum infraroja a la part davantera del mòbil (amb l'objectiu de poder detectar obstacles) i uns altres dos a la part inferior del vehicle (amb l'objectiu de poder detectar l'arribada al punt final). El moviment es realitza amb dos motors de continua amb velocitat controlada per un senyal PWM que permeten realitzar tant trajectòries rectes com de gir.

I. INTRODUCCIÓ

Aquesta pràctica consisteix en fer un vehicle independent que sigui capaç de seguir el camí del laberint amb l'ajuda dels sensors de llum infraroja. El vehicle disposarà d'un botó START que el posarà en marxa i un vegada arribi al final del recorregut l'aturarà.

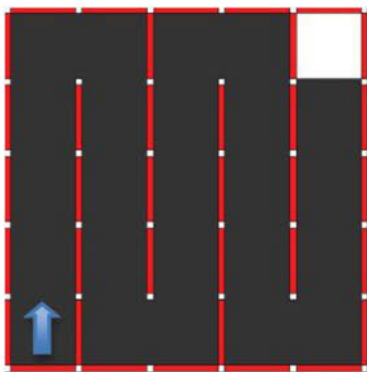


Figura 1. esquema del laberint plantejat

El laberint és el mostrat en la figura 1, que, tot i ser conegut a priori, és desconegut pel cotxe. El laberint té unes mesures establertes per tal que el cotxe es pugui moure amb un cert marge de llibertat. El color de les parets és blanc per a permetre la (reflexió) de la llum infraroja dels emissors i poder així detectar variacions quan no és present aquesta. L'arribada, una franja blanca al terra del laberint, serà detectada pels sensors de la part inferior del vehicle com a punt final o d'arribada.

L'estratègia seguida per aconseguir que el cotxe travessi el laberint sense produir col·lisions es basa en el fet que el cotxe conté elements mecànics que poden produir petites variacions, com per exemple, el fet que els motors girin a diferent velocitat, provocant que el vehicle no avanci en un moviment rectilini desitjable. Aquestes variacions són atribuïbles a variacions mecàniques o petites imperfeccions a l'hora de reproduir el moviment de gir.

Per això s'optat per fer que el vehicle modifiqui la seva trajectòria contínuament segons si està a una distància més petita d'una paret o de l'altra i corregint la trajectòria de forma contínua per tal d'evitar col·lisions. Amb aquesta metodologia, el cotxe corregirà la trajectòria en tot moment detectant els instants de gir de final de paret o quan ja s'ha arribat al final del laberint.

Per a poder programar el moviment del vehicle i poder creuar el laberint s'utilitzaran: sensors infrarojos, motors de corrent continua i un microcontrolador PIC dotat amb un convertidor analògic/digital.

- Sensors infrarojos: hi ha dues agrupacions de sensors: un grup format per tres sensors situats a la part davantera que s'encarreguen de detectar possibles obstacles (les parets), i un segon grup format per dos sensors situats a la part inferior del cotxe que detectaran el punt d'arribada.
- Motors continus: aquests motors disposen d'una interfície que regula la velocitat de gir a partir de la modulació d'un senyal quadrat PWM. Aquest senyal es generarà des del PIC16F886.
- Conversor A/D: aquesta conversió és necessària ja que els sensors infrarojos tenen una resposta de sortida analògica que requereix ser convertida a un senyal digital per la seva gestió.

El model del vehicle que emprarem és un prototipus "Formula Flowcode" controlat per un

microcontrolador PIC16F886 com es mostra a la Figura 2.

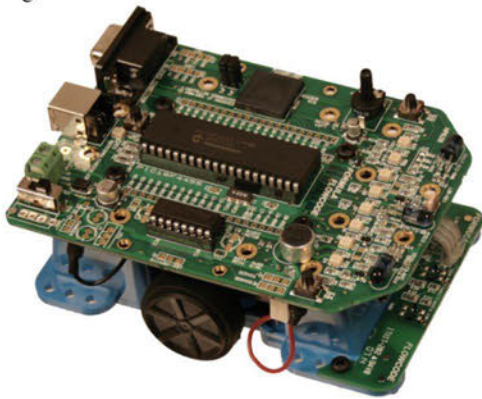


Figura 2. Vehicle "Formula Flowcode"

A. Metodologia de Treball.

La metodologia de treball d'aquesta pràctica es pot dividir en tres processos:

- a) **Recepció de senyals:** Els senyals rebuts pels sensors infrarojos es passaran al perifèric convertidor A/D del microcontrolador. Ara ja es té una mesura de la quantitat de llum infraroja rebuda i digitalitzada usant 10 bits, dels quals sols s'empraran els tres més significatius (per qüestió de sensibilitat). D'aquesta manera es mesuraran la distància compresa entre el vehicle i l'obstacle, en aquest cas la paret.
- b) **Gestió del medi:** Una vegada es tenen la distància compresa entre el vehicle i l'obstacle, cal establir un llindar de decisió sobre la proximitat d'aquest. Aquest llindar permetrà decidir de forma fàcil si és necessària alguna correcció en la trajectòria actual o no. Tot seguit es farà una anàlisi de la resposta de tots els sensors per a decidir quin serà el moviment a realitzar.
- c) **Moviment dels motors:** Per a la gestió del moviment dels motors es disposen de 4 senyals. Dos senyals per indicar el sentit de gir (un per a cada motor) i dos senyals més per al control de la velocitat a través de la modulació PWM generada mitjançant els perifèrics CCP1 i CCP2 disponibles en el microcontrolador.

II. CONNEXIÓ AMB EL HARDWARE

Per a poder emprar el vehicle amb el microcontrolador PIC16F886 s'ha creat un adaptador especial, ja que el vehicle estava preparat per a un microcontrolador diferent i el nombre de pins d'ambdós components no era compatible.

El senyals analògics del grup de sensors superiors arriben al microcontrolador PIC a través dels pins RA1, RA3 i RA5 del PORTA. Mentre que el grup de sensors inferiors es connecten a les entrades RB5 i RB4 del PORTB. Aquesta diferenciació es realitza a partir de la naturalesa dels senyals. Així, els sensors superiors requereixen una conversió A/D i permeten tenir informació de la distància, mentre que el grup de sensors inferiors tenen un comportament digital. És a dir, es detecta el color blanc o no es detecta per tant un senyal de naturalesa binària.

La gestió del grup de sensors superiors es realitza posant a "1" els pins RA0, RA2 i RA4 del PORTB, per tant permeten un estat de repòs i d'estalvi d'energia. El grup de sensors inferiors no tenen aquesta possibilitat i sempre es troben encesos.

En un segon conjunt de senyals es troben els senyals de control dels motors que es connectaran als pins RC1 i RC2 per donar la potència als motors i als pins RCO i RC3 per tal de donar una direcció de gir. Tots quatre pins es troben al PORTC.

També es configura com a entrada digital el pin RB7 del PORTB que correspon a un botó polsador situat a la l'esquerra del vehicle, el qual ens permetrà indicar quan el vehicle està en la posició de sortida i per tant l'algorisme de seguiment es pot posar en marxa.

A la Taula 1 es poden veure una representació dels diferents estats del cotxe segons les diferents respostes del grup de sensors superiors. Els valors "0" o "1" que hi apareixen representen els valors dels sensors analògics digitalitzats segons els valors de distància indicats com a llindar. Així si el valor és 1 indica que hi ha un obstacle proper, mentre que si el valor es 0 indica que l'obstacle està encara lluny o no hi és.

TAULA 1. MOVIMENTS SEGONS ELS SENYALS D'ENTRADA.

Sensor esquerra	Sensor davant	Sensor dreta	MOVIMENT
0	0	0	Endavant
0	0	1	Endavant
0	1	0	Endavant
0	1	1	Gir esquerra
1	0	0	Endavant
1	0	1	Endavant
1	1	0	Gir dreta
1	1	1	Endavant

La Taula 1 és molt important ja que indica el tipus de decisió que ha de ser el vehicle a l'hora de determinar les accions que s'han de realitzar. Un altre element important a l'hora de determinar el funcionament d'aquesta

metodologia és el valor llindar elegit per fer binari la resposta dels sensors.

III. IMPLEMENTACIÓ SOFTWARE

A la Figura 3 es mostra un diagrama de flux del codi implementat per a la gestió del vehicle.

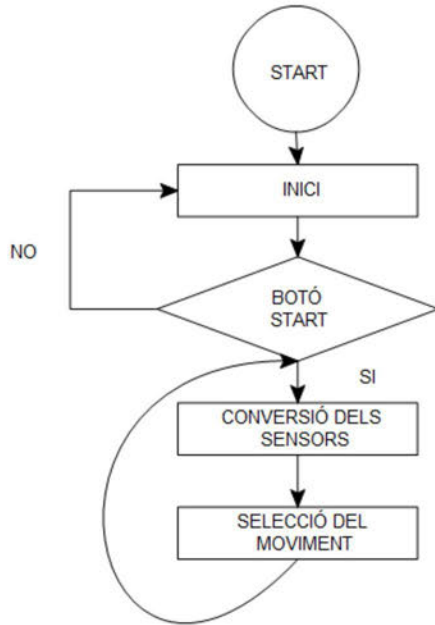


Figura 3. Diagrama de flux.

Tota la gestió dels moviments segons els sensors està basada en unes taules de sensibilitat que empen el valor digital de la conversió feta pel convertidor A/D. Aquestes taules indiquen si l'obstacle s'ha de tenir en compte o no, és a dir, donen informació sobre la ubicació del vehicle dins el laberint i la distància respecte als obstacles propers per tal de triar el moviment correcte.

Una vegada fetes les inicialitzacions necessàries per a configurar els ports i perifèrics que s'utilitzaran del microcontrolador PIC, es necessari establir el pins del PORTA que seran entrades analògiques. Els registres TRISA, TRISB i TRISC configuraren els pins com a entrades o com a sortides. Aquest estat es correspon a l'estat START del diagrama de flux de la Figura 3.

La primera acció que haurà de realitzar el programa una vegada s'ha polsat el botó d'inici serà la lectura del medi per tal de conèixer la ubicació del vehicle al laberint i la situació dels obstacles. Aquest estat es correspon amb la primera vegada que s'executa l'acció "conversió dels sensors" del diagrama de la Figura 3.

El primer sensor que es mesura forma part del grup de sensors inferiors per a comprovar si el vehicle es troba al damunt de la zona negra

(zona de moviment) o si ja s'ha arribat a la zona blanca (final).

El següent pas consisteix en fer la conversió analògic-digital dels senyals rebuts del grup de sensors superiors. Aquest convertidor retorna un valor de 10 bits segons el valor de tensió rebut. Del valor obtingut sols s'empraran els tres bits més significatius ja que s'ha determinat que són suficients per aconseguir un nivell de sensibilitat adequat. Amb el valor de tres bits s'accedeix a una posició d'una de les taules de sensibilitat i retorna un valor 0 ó un 1 segons si el valor és més gran o inferior al llindar de sensibilitat fixat. Aquesta operació es realitzarà per cada un dels sensors del grup superior.

Les taules de sensibilitat dels sensors laterals contenen 1 a les posicions baixes i 0 a les altes degut a que el valor de la conversió serà alt quan l'obstacle es trobi més allunyat. Mentre que el sensor de davant disposa d'una taula diferent permeten aconseguir respostes diferenciades.

Amb aquests resultats binaris es crea un nombre de tres bits que permet seleccionar una acció de resposta segons la Taula1.

A continuació es mostraran fragments del codi implementat en aquest projecte.

```

movf    ADRESH,W
movwf   s1
swapf   s1,f
rrf     s1
movlw   .7
andwf   s1,F
movf    s1,W
call    TAULA
movwf   AN1
rlf     AN1
rlf     AN1
    
```

Figura 4. Exemple de lectura del sensor esquerre.

```

TAULA1:  addwf   PCL,F
          goto   Envant
          goto   Envant
          goto   Envant
          goto   Gir_esq
          goto   Envant

          goto   Envant
          goto   Gir_dret
          goto   Envant
    
```

Figura 5. Implementació de la taula de decisions.

Segons la taula anterior, amb el gestor implementat sempre es realitza la mateixa acció menys en el cas que sigui necessari girar el vehicle a l'esquerra i a la dreta, que sols es produirà quan el sensor de davant i un dels laterals indiquin que l'obstacle està suficientment proper.

Els diferents moviments que es capaç de fer el cotxe són els de la taula 1 anterior.

A. Moviment ENDAVANT

Aquesta rutina no pretén generar un moviment rectilini endavant sinó que incorpora un sistema de correcció de la direcció a mesura que s'avança en una direcció. Es basa en realitzar una resta dels valors dels 3 bits obtinguts amb la conversió dels dos sensors laterals i segons sigui el resultat obtingut es seleccionarà una funció de correcció a la dreta o l'esquerra. En Ambdós casos, el resultat és la generació d'un moviment d'avanç, però depenent del costat cap al que es realitzi la correcció es mourà un dels dos motors amb major o menor velocitat de gir que l'altre.

Endavant:		
	movf	s4,w
	subwf	s1,w
	btfs	STATUS,C
	goto	Rect_esq
	goto	Rect_dret

Figura 6. Implementació de l'acció endavant.

B. GIR A ESQUERRE I DRETA

En ambdues situacions un dels motors girarà en un sentit i l'altre en el contrari en funció del costat cap al que es vulgui realitzar el gir. Cal tenir en compte que quan el motor va endavant els valors alts del senyal PWM són els que indiquen la velocitat de gir, mentre que quan el gir es fa cap enrere són els valors baixos del senyal PWM els que subministren la informació de velocitat.

Gir_dret:		
	bsf	PORTC,0
	bcf	PORTC,3
	movlw	.45
	movwf	CCPR1L
	movlw	.12
	movwf	CCPR2L
	goto	Fin

Figura 7. Implementació de l'acció gir a la dreta.

Gir_esq:		
	bcf	PORTC,0
	bsf	PORTC,3
	movlw	.12
	movwf	CCPR1L
	movlw	.45
	movwf	CCPR2L
	goto	Fin

Figura 8. Implementació de l'acció gir a l'esquerra.

IV. CONCLUSIONS

Amb aquest article es pretén apropar el funcionament d'aquest mòbil capaç de creuar un laberint mitjançant la lectura de sensors infrarojos.

La resolució d'aquest problema però no s'ha centrat sols en la lectura de sensors, és interessant veure com s'han aplicat els coneixements dels diferents conceptes apresos en els diferents blocs de l'assignatura.

AGRAÏMENTS

Voldríem agrair als companys l'ajuda prestada ja que durant la realització de la pràctica ens hem trobat en situacions complicades que s'han pogut resoldre gràcies al treball en equip.

REFERÈNCIES

- [1] Microchip PIC16F886 Data Sheet.
- [2] Apunts de l'assignatura de Microordinadors, de 2n de telemàtica. Tomeu Alorda, UIB.

Assignatura Microordinadors de segon curs impartida per: Bartomeu Alorda, Pere Pons i Kay Suenaga.



Juan Marcos Calafat Alhama
Batxillerat cursat a IES Alcúdia
Actualment, estudiant de 2n
d'Enginyeria de
telecomunicacions especialitat en
telemàtica.



Caterina Amengual Caldentey
Batxillerat cursat a IES Alcúdia
Actualment, estudiant de 2n
d'Enginyeria de telecomunicacions
especialitat en telemàtica.

Fotografia i Visió Submarina: Revisant els Avanços més Recents

Francisco Bonin-Font, Antoni Burguera, Gabriel Oliver
 Universitat de les Illes Balears.
 Cra de Valldemossa, km 7.5, 07122, Palma de Mallorca, Spain
 {francisco.bonin,antoni.burguera,goliver}@uib.es

Resum—Una de les tasques recomanades prèviament al inici del disseny d'una infraestructura per visió i filmografia destinada a un vehicle submarí es, sens dubte, explorar les tècniques emprades en els darrers anys en sistemes de visió submarina. La informació recollida en aquest article es un resum d'un dels treballs d'investigació duts a terme dins del projecte *Visual-DPI 2008-06548-C03-02*, per part del grup de Sistemes, Robòtica i Visió. Aquest treball revisa els darrers desenvolupaments i estudis realitzats en visió submarina, tant per Vehícles Remotament Operats (ROV), com per estacions estàtiques o Vehícles Autònoms Submarins (AUV). També es fa una petita introducció a les tècniques que utilitzen llum polaritzada per millorar la qualitat de les imatges preses sota l'aigua.

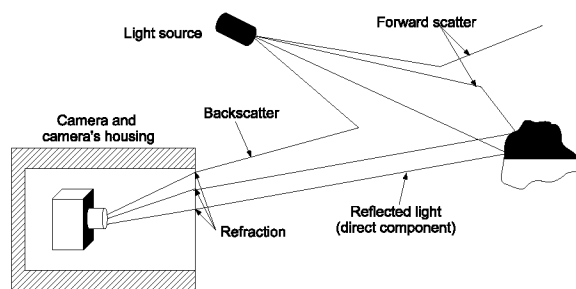


Figura 1. Exemple de *backscatter*, *forward scatter* i refracció.

I. EL PROBLEMA DE LA VISIÓ EN ENTORNS SUBMARINS

Quan les ones electromagnètiques es propaguen dins l'aigua interactuen amb ella i amb els materials dissolts o que estan en suspensió. Les ones electromagnètiques s'atenuen proporcionalment amb la distància que recorren. Hi ha estudis que descriuen aquest procés, per exemple, [8] o [28]. La atenuació global que pateix la llum dins l'aigua depèn, bàsicament, de quatre processos: refracció, reflexió (*scatter*), absorció i fluorescència.

En la *refracció*, el raig de llum canvia de direcció de propagació quan passen d'un mitjà a un altre de diferent densitat (en el nostre cas, entre l'aire i l'aigua). En una càmera submarina, hi ha refracció entre l'aire de dins la càmera i l'aigua de fora. La refracció provoca que les dimensions dels objectes propers es percebin majors del que realment es veurien en aire, mentre que els objectes llunyans aparenten ser més petits del que es veurien en aire. Aquest efecte es pot solucionar calibrant la càmera.

La *reflexió*, coneguda amb el terme anglès *scatter* es produeix quan els fotons de la llum es reflecteixen en diverses direccions. L'*scatter* pot ser *forward scatter* o *backward scatter*. El *forward scatter* es produeix quan l'angle en el canvi de direcció de la llum és petit, i per lo tant la llum continua la seva trajectòria cap a davant. Aquest fenomen produeix soroll en la imatge. El *backscatter* es produeix quan els fotons es reflecteixen de tornada cap el focus emissor abans d'arribar als objectes il·luminats. Aquest reflex o *scatter* es produeix degut a la gran quantitat de partícules que poden haver dins l'aigua entre l'emissor de llum i els objectes de l'escena. L'efecte que produeix sobre la imatge es de punts blancs o

zones més brillants. No obstant, el problema més greu que genera l'*scatter* es la pèrdua de contrast, i aquest es un dels problemes més importants en la visió submarina.

Tant l'efecte del *backscatter* com el del *forward scatter* depenen del volum d'aigua il·luminada dins del camp de visió de la càmera. En general, l'efecte negatiu de l'*scatter* en mitjans marins augmenta amb la distància que hi ha entre la càmera i els objectes il·luminats.

Els efectes globals del *backscatter*, *forward scatter* i de la refracció s'il·lustren en la figura 1.

La *absorció* es la causa de que part de la llum emesa pel sistema de il·luminació es perdi i no arribi al conjunt de l'escena a fotografiar. Això genera dos problemes importants: i) s'imposa l'ús de més llum artificial i/o més potent, limitant considerablement la distància a la que podem percebre els objectes, ii) els components espectrals de la llum s'absorbeixen de forma diferent ja que, per exemple, en aigües clares, la llum amb majors longituds d'ona s'absorbeix abans que altres llums amb longituds d'ona menors. En aigües més enfangades o en aigües amb altes concentracions de plankton, la llum vermella (major longitud d'ona) es transmet millor (s'absorbeix menys) que la llum blava.

Finalment, la *fluorescència* fa referència a la emissió de llum per part d'un objecte que prèviament ha absorbit llum a una longitud d'ona diferent a la que posteriorment emet. En la majoria dels casos, la llum emesa té majors longituds d'ona que la absorbida.

El paràmetre que engloba i caracteritza la atenuació global que pateix la llum dins l'aigua es conegut com *distància de atenuació*, i es determina calculant la distància a la que la intensitat de la llum cau en un factor de $1/e$. La distància de atenuació es la distància en la que s'ha perdut aproximadament

Aquest article està parcialment finançat pel projecte DPI 2008-06548-C03-02 i fons FEDER.

un 64% de la llum emesa. La visibilitat en l'aigua es manté entre una i dos distàncies de atenuació, lo que significa que la visibilitat es bona entre 30 i 60 metres en aigües clares, entre 6 i 15 metres en aigües profundes i entre 1.5 a 6 metres en aigües pròximes a la costa.

II. TÈCNiques DE IL·LUMINACIÓ

A. Formes de Il·luminar L'Escena

La llum natural (per exemple, la llum solar), s'atenua quasi completament abans d'arribar a profunditats significatives. Per altre banda, les fonts de llum artificial normalment il·luminen molt el centre de la escena però deixen els contorns lleugerament obscurs. Aquests problemes poden ser solucionats utilitzant diferents fonts de llum situades estratègicament.

Des de el punt de vista de la manera com s'il·lumina un entorn, els sistemes de visió submarina poden ser classificats en funció de varis conceptes:

Il·luminació Passiva: les escenes son il·luminades per alguna font de llum natural (la llum solar) o per alguna font de llum no específicament situada per assistir al sistema de visió.

Il·luminació Activa: la llum generada específicament a partir de fonts afegides, com per exemple, llum emesa per focus, llum estroboscòpica, raig laser, etc... Els sistemes d'il·luminació artificials milloren la qualitat de les imatges preses a majors distàncies.

Light Stripe Range Scanning (LSRS) : L'entorn que es vol filmar s'escaneja amb la llum que emet un díode laser formant un pla que il·lumina tota l'escena. El pla de llum que es genera es perpendicular a la superfície del/ls objectes a il·luminar [15], [27].

Photometric Stereo : Els vectors normals a les superfícies dels diferents objectes d'una escena es poden calcular prenent varies imatges des de un mateix punt de vista però il·luminant l'escena des de diferents direccions o posicions [18], [15].

Synchronous scanning systems : En aquests sistemes, la font de llum emet una col·lecció de rajos pràcticament paral·lels on cada raig te una amplada mínima (per exemple un feix de rajos laser). Aquest tipus de rajos causen mínim *scatter* i milloren considerablement el contrast de les imatges.

Range Gated Systems : La font de il·luminació emet polsos de llum i la càmera capta la llum únicament durant aquells instants de temps en els que els polsos reflectits pels objectes retornen a ella. Aquesta tècnica redueix considerablement l'efecte nociu del *backscatter* i augmenta el contrast de forma significativa [9], [26].

B. On Situem la Font de Llum ?

Quan s'utilitzen sistemes d'il·luminació convencionals, la quantitat de *backscatter* depèn del volum d'aigua on el feix de llum i el camp de visió de la càmera intersecten. Per aquesta raó, se sol separar la font de llum de la càmera el màxim possible per tal de reduir al màxim l'esmentat volum d'aigua resultant de la intersecció d'ambdós camps.

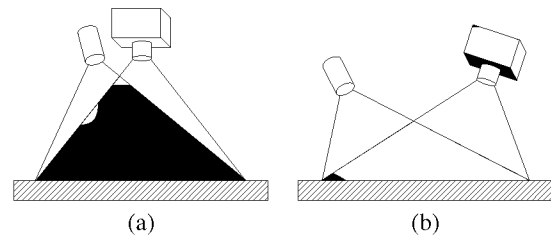


Figura 2. (a) Sistema Convencional (b) Augment en la separació entre la càmera i la font de llum. L'àrea gris representa el volum d'aigua on el *backscatter* apareix

La figura 2-a mostra un exemple d'un cert volum d'aigua generant *scatter* quan la càmera i la font de llum estan properes, i la figura 2-b mostra la diferència quan s'incrementa la distància entre la font de llum i la càmera [10]. Aquesta configuració fa possible l'obtenció d'imatges amb una claredat òptima de fins a 2 distàncies d'atenuació. Si la font de llum es separa de la càmera al màxim possible, (en vehicles submarins petits, de 3 a 5 meters), es poden obtenir imatges amb claredat òptima fins a 3 distàncies d'atenuació, d'una forma simple i barata. Els estudis presentats en [10] avaluen el contrast a les imatges per diferents separacions entre la càmera i la font de llum, movent la font tant vertical com horitzontalment. Jaffe demostra que al separar la font de llum horitzontalment, el contrast augmenta, de forma significativa a partir de separacions entre 10 i 20 metres, i tendeix a decaure per separacions més grans. El contrast també augmenta quan es separa la font de llum verticalment, però de forma molt menys significativa que quan es separa horitzontalment. Si els vehicles no permeten separacions de l'ordre de les esmentades, hi ha la possibilitat d'utilitzar dos vehicles navegant de forma coordinada, un per carregar la càmera i un altre per dur les fonts de llum [11].

C. Sistemes de Il·luminació Comercials

Tot seguit es relacionen diferents tipus d'emissors de llum amb diferents nivells d'eficàcia (lumens/Watts). Els sistemes de visió submarins han evolucionat utilitzant fonts de llum artificial cada cop més eficients:

Halògens : Utilitzen un filament incandescent per a encendre gas halògen. Aquestes llums son un 30% de mitjana més blanca i brillant que les bombetes incandescents, però consumeixen menys watts de potència (augmenta la eficiència en lumens/watt). El seu temps de vida es molt superior al de les bombetes incandescents.

HID (High Intensity Discharge) : Utilitzen una descàrrega elèctrica entre dos electrodes per encendre gas xenon confinat dins un tub de vidre segellat. Emeten llum blava/blanca amb una longitud d'ona propera a la llum natural. La llum blanca que produeixen aquests emissors es propaga dins l'aigua a distàncies més llargues que llums amb altres longituds d'ona. Aquestes fons de llum duren uns 10 cops més i son molt més efectives que els halògens. S'utilitzen en ROVs.

HMI (Hydrargyrum medium-arc Iodide lamp) : En aquests llums, el recipient de vidre s'ompli de vapor de mer-

curi, que s'excita també aplicant una descàrrega elèctrica entre dos electrodos. La seva eficàcia es similar a la dels HIDs. Son molt útils i molt utilitzats en la indústria fotogràfica, i a més des de 1996 s'han utilitzat en fotografia submarina ja que produeixen llum fins a 4 vegades més brillant que els incandescents. Son cares i en general consumeixen molt, però la llum que donen es immillorable per ROVs.

HIF (High Intensity Fluorescent) : En molts casos, aquests sistemes son més eficients que els HIDs, son més fàcilment regulables i generen menys zones obscures, amb lo que il·luminen areas més extenses que un HID. S'utilitzen en aplicacions marines per atreure bancs de peixos, però molt rarament en vehicles submarins.

LEDS : Aquests sistemes s'alimenten amb tensió (12V-24V) i corrent contínua. Consumeixen 4 vegades menys potència que la resta de sistemes descrits fins ara i generen molt menys calor. Poden emetre llum d'un ampli espectre de longituds d'ona, duren molt més que els halògens i son més efectius que els HID. Son més cars que la resta, però val la pena aprofitar el seu baix consum, sobretot en vehicles autònoms equipats amb bateries.

Infrarojos : La llum infraroja te una longitud d'ona entre 700nm i 1mm. aquest tipus de llum s'utilitza molt per filmar o captar imatges de nit i en algunes aplicacions submarines [13], [22]. Les càmeres utilitzades han d'estar preparades per captar llum infraroja. La llum amb aquestes longituds d'ona no es visible, per això la fa ideal per gravar imatges de fauna submarina, sense que aquesta es vegi molestada per la llum.

Laser : La llum laser presenta unes longituds d'ona entre 350nm i 630nm. Aquest tipus de llum s'utilitza per filmar a llargues distàncies, ja que permeten il·luminar a 5, 6 o 7 distàncies d'atenuació en front de les 2, 3 o 4 distàncies que permeten les llums convencionals. El laser permet el càlcul de les distàncies dels objectes il·luminats a la càmera. El laser te bàsicament dos problemes: i) els emissors laser son considerablement més cars que els HID, LEDs or infrarojos, i 2) generen un feix de llum molt estret, per lo que es fa necessari escanejar tot l'entorn per treure una imatge, disminuint el *frame rate* (quantitat d'imatges preses per segon). Les font laser poden emetre llum contínua o be en polsos. Il·luminar l'escena amb polsos permet distingir l'*scatter* de la llum reflectida pels objectes de l'escena. Algunes de les tècniques que s'utilitzen amb llum laser son: a) Laser Range-Gating (LRG), on s'emeten polsos de 6ns aproximadament, per lo tant, utilitzant un receptor de polsos amb una resolució temporal suficientment ajustable es pot filtrar tota aquella llum que no siguin polsos a la mateixa freqüència de la emesa [24], [32], b) Laser Line Scan (LLS), tècnica que consisteix en escanejar l'entorn amb un raig laser en la direcció perpendicular a la plataforma que aguanta el sensor, i llençant feixos a mesura que el vehicle es mou [2], [5], [4], c) tècniques de modulació/demodulació, on es filtren totes aquelles components que no tenen la mateixa modulació que la llum emesa [3], [14].

III. ALGUNES INFRAESTRUCTURES I VEHICLES SUBMARINS QUE UTILITZEN VISIÓ

A continuació esmentem algunes de les infraestructures i vehicles submarins desenvolupats o comercialitzats en els darrers anys:

- 1) Eye-in-the-sea: Infraestructura estàtica per la filmació en entorns submarins. Es un observatori submarí que utilitza LEDs que emeten llum amb longituds d'ona de 680nm, no visible pels animals, en combinació amb una càmera "low-light-level"(LLL) [33]
- 2) [19]: Sistema visual per la detecció de bancs de peixos i com a observatori submarí. Utilitza una càmera Gigabit Ethernet connectada per fibra òptica a un ordenador de control. Genera imatges amb resolucions de 1360 x 1024, i les fonts de llum utilitzades emeten llum estroboscòpica per reduir al màxim el moviment en les fotos.
- 3) [13]: Sistema visual submarí per monitoritzar la fauna marina en esculls de coral. El sistema utilitza una lent de gran angular amb una càmera d'infrarojos connectada per fibra òptica a un ordenador central.
- 4) El projecte d'observatori submarí NEPTUNE a l'oceà Pacífic necessita integrar estacions i sistemes de visió i filmació per donar suport a les tasques de vigilància i observació que han de desenvolupar els ROVs. Les plataformes de visió es componen de càmeres Panasonic AK-HC1500G d'alta definició i tres tipus diferents de sistemes de il·luminació: i) un sistema laser de tres feixos pel càlcul de informació de distàncies, ii) dos LEDs regulables que donen 406 lumens per un equivalent de 250 Watts, i iii) un emissor HID de 150 Watts per augmentar la distància de filmació [20].
- 5) Sedlazeck *et al* [22] varen presentar un sistema per reconstruccions 3D del fons marí basat en la identificació i seguiments d'elements característics de la imatge en successives fotos. Les imatges eres preses des de el ROV Kiel 6000 equipat amb 3 càmeres: i) una d'alta definició, ii) una càmera standard de color PAL i, iii) una càmera en modus esclau controlada remotament i amb flash automàtic. El ROV està equipat amb una llum halògena de 250 Watts, una HID de 70 Watts i un focus HMI regulable de 400 Watts.
- 6) En [16] Negahdaripour i Firoozfam varen proposar un sistema de visió estèreo per la inspecció automàtica de cascos de vaixells enfonsats, ideat per UAVs, però provat primerament en un ROV.
- 7) Negahdaripour *et al* [17] varen explorar les possibilitats del DIDSON, un sistema òptic-acústic que proveeix imatges acústiques en 3D. Les imatges acústiques es generen a partir de ones sonores i son tant exactes que es poden processar quasi de la mateixa manera que les imatges estàndard.
- 8) En el CSIRO Marine and Atmospheric Research a Australia [23] es va desenvolupar un ROV per la inspecció i estudis d'habitats submarins, per a la construcció de mapes i per a la detecció de bancs de peixos. El vehicle està equipat amb: i) dues càmeres PAL configurades en

estèreo per gravar vídeo, geo-localitzar-les amb un GPS, ii) una càmera d'alta resolució per la presa d'imatges estàtiques en diferent punts per realitzar el *mossaicking* del fons marí, iii) una càmera enfocada cap al front per fer detecció i evitació d'obstacles. Aquest ROV incorpora dues llums incandescents de 250 Watts per la filmació de vídeo i dues llums estroboscòpiques per la presa d'imatges estàtiques destinades a fer el mapejat del fons marí.

- 9) Gavia es un vehicle submarí comercial produït per l'empresa Hafmynd. Gavia es un sistema versàtil, modular i eficaç per tasques de monitorització o vigilància submarina. Pot incorporar sonar o càmeres per detecció d'obstacles o seguiment de cables.
- 10) Recentment, s'ha desenvolupat una estació estàtica submarina de support i proveïment al UAV REMUS [1]. REMUS incorpora varies càmeres per diferent propòsits: i) una càmera Ethernet per support en la entrada i sortida del submarí en la estació i ii) una càmera-periscopi per l'observació de la superfície del mar.
- 11) Hercules [7] es un ROV especialment dissenyat per treballar a grans profunditats, manipulant, recuperant o escarbant en vaixells enfonsats. Hercules està equipat amb una càmera d'alta definició i dues càmeres *still* per la presa d'imatges estàtiques per mapejar el fons marí i calcular les extensions de les àrees a monitoritzar.
- 12) ARGUS es un ROV produït per Woods Hole Marine Systems, Inc. (Woods Hole Oceanographic Institution), una empresa especialitzada en el desenvolupament i muntatge de ROVs o UAVs. ARGUS pot operar independentment o actuar sincronitzadament amb altres submarins. Està equipat amb càmeres i llums HMI pel registre d'imatges submarines [25].
- 13) Phantom DHD2+2 y Phantom HD2+2, de la empresa Deep Ocean Engineering [6], son dos ROVS dissenyats especialment per la recerca de bancs de peixos, missions militars, recerca científica, inspecció de canonades de gas o petroli o per la filmació d'entorns submarins. Son uns vehicles especialment adient per treballar a grans profunditats i amb corrents d'aigua fortes. Ambdós vehicles incorporen una càmera color PAL/NTSC amb una lent de gran angular, i dues llums halògenes Tungsten de 250 watts per il·luminar l'àrea d'inspecció.

IV. POLARITZACIÓ

Tal i com s'ha explicat anteriorment, un dels problemes més greus a l'hora de obtenir imatges del fons marí es el *backscatter*. Aquest fenomen provoca pèrdues de contrast en les imatges, reduint la seva qualitat i generant problemes en el seu posterior tractament i anàlisi. Alguns estudis [30] suggereixen que la visió humana associa la qualitat de les imatges molt més amb el contrast que amb altres paràmetres, com per exemple, la resolució.

Donat que el *backscatter* depèn de la quantitat d'aigua en front de la càmera, la pèrdua de contrast depèn de la distància entre la càmera i els objectes observats. La llum artificial augmenta la quantitat de *backscatter* [30].

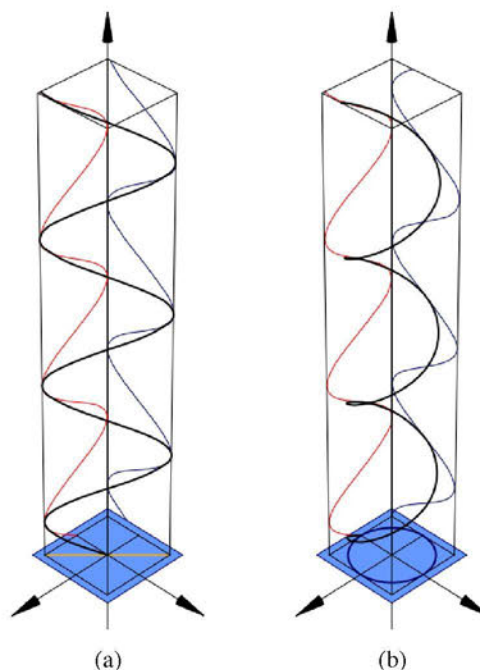


Figura 3. (a) Polarització Lineal (b) Polarització Circular.

Afortunadament, l'aigua i les partícules en suspensió es comporten de forma diferent si utilitzem llum polaritzada. Treibitz i Schechner [29] assumeixen que els objectes reflecteixen la llum despolaritzant-la, mentre que el *backscatter* preserva la polarització original. Contràriament, segons [30], els objectes reflecteixen la llum polaritzada mantenint la seva polarització en canvi el *backscatter* despolaritza la llum original. De totes formes, el que es realment rellevant es el fet de que els objectes es comporten de manera diferent a les partícules que generen *backscatter* quan s'il·lumina l'escena amb llum polaritzada.

A. Conceptes Bàsics

La llum es considera una ona oscil·lant en una direcció arbitrària perpendicular a la seva direcció de moviment. La polarització ens indica la direcció d'aquestes oscil·lacions. La polarització es lineal si oscil·la en una sola direcció (Figure 3-a) o circular si va rotant a mesura que l'ona es mou (Figure 3-b). El grau de polarització mesura la correlació entre els plans d'oscil·lació i es defineix com un valor continu entre un mínim i un màxim. La llum natural es força despolaritzada, el que significa una molt baixa correlació entre els plans d'oscil·lació. Hi ha algunes excepcions [21]: la llum del sol està parcialment polaritzada dins l'aigua gracies a la refracció en la superfície marina. Teòricament, un polaritzador es un instrument que converteix la llum no polaritzada o parcialment polaritzada en llum polaritzada. A nivell pràctic, un filtre polaritzador filtra la llum que no compleix certs requeriments en els seus plans d'oscil·lació. Una de les conseqüències del filtre es la pèrdua, en la majoria del casos, de fins un 50% de la intensitat de la llum.

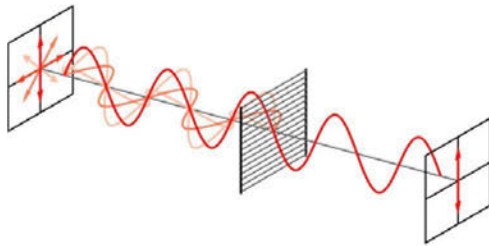


Figura 4. Polarizador Lineal.

Un filtre polaritzador lineal només deixa passar llum amb una certa polarització lineal. La figura 4 mostra com es comporta un filtre lineal. Un filtre polaritzador circular converteix llum no polaritzada en llum polaritzada circularment (figura 3). Sembla que les càmeres amb auto-focus, auto-exposició a la llum o mesuradors de llum TTL no funcionen correctament amb llum polaritzada linealment.

El diferent comportament dels objectes i del *backscatter* front a diferents polaritzacions de la llum pot ser utilitzat per millorar el contrast de les imatges preses sota l'aigua [12], [21], [30]. Algunes de les tècniques estudiades per reduir el backscatter i millorar el contrast són conegudes amb els seus termes anglesos: *passive polarization analysis* i *active polarization analysis*. La figura 5-a mostra un esquema de *passive polarization analysis*. Si el *backscatter* produït per la llum natural està parcialment polaritzat, la intensitat captada en la càmera depèn de la orientació del filtre. Aquesta intensitat del *backscatter* va des de un valor màxim obtingut quan la orientació del filtre és paral·lela al angle de polarització del *backscatter* fins a un mínim que es presenta quan ambdues orientacions són perpendiculars. En el cas de l'*active polarization analysis* (figura 5-b), tenim una font de llum artificial amés de la càmera, i ambdós components duen incorporat un filtre polaritzador. Si el filtre polaritzador de la càmera és paral·lel al de la font de llum, les imatges contenen el màxim d'intensitat de *backscatter*. Si el filtre de la càmera i el de la font de llum es desfasen 90° , les imatges obtingudes presenten un mínim en la intensitat del *backscatter*.

V. CONCLUSIONS

Es innegable que la utilització de filtres de polarització comporta algunes avantatges, però la utilització de filtres polaritzants també genera alguns problemes i la forma de enfocar aquests problemes és el que acaba per decidir si val la pena o no utilitzar llum polaritzada. La tècnica de la polarització és barata, de fàcil implementació i no requereix grans necessitats de CPU. La qüestió no és demostrar si la polarització és millor tècnica que d'altres, per exemple el laser, sinó si proveeix suficients beneficis respecte la no utilització de cap filtre com per ser utilitzada. L'estudi de Treibitz and Schechner [31] relata que el principal problema dels filtres polaritzadors és que atenuen part de la llum que els travessa. Per això les càmeres han d'augmentar el seu temps d'exposició a la llum. Mantenint el temps d'exposició constant, una pràctica comú en la presa de vídeo, no es millora la relació

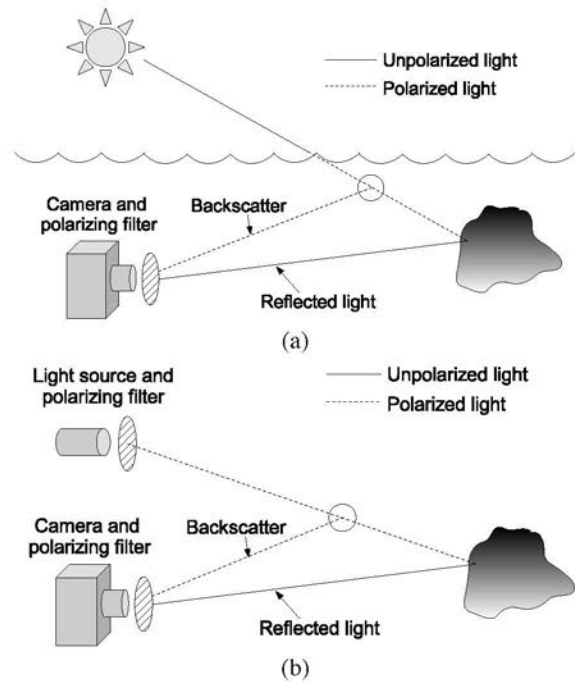


Figura 5. (a) Passive polarization analysis (b) Active polarization analysis

senyal/soroll (SNR) de les imatges. En molts casos, utilitzar polarització no comporta beneficis significatius a l'hora de distingir els objectes del soroll en les imatges preses. Utilitzar polarització seria preferible a l'ús d'algoritmes de millores del contrast, especialment si hi ha diferents objectes situats a diferents distàncies en l'escena. Si la càmera va muntada en un ROV o un AUV que navega paral·lelament al fons marí, i si està enfocada perpendicularment cap al fons, la polarització rarament dona millors resultats que els algorismes de tractament de les imatges.

A l'hora de decidir quina càmera o càmeres i quin sistema d'il·luminació cal utilitzar en un sistema de visió submarí, és necessari considerar les necessitats del projecte a desenvolupar, quina serà la utilitat del sistema i a quins entorns s'utilitzarà. El sistema de visió serà d'una o d'una altra manera si ha d'anar adreçat a un ROV, a un UAV o a una estació estàtica. Les estacions estàtiques o els ROVs poden anar equipats amb infraestructures de major consum energètic ja que aquesta es proveeix a partir dels cables umbilicals. La majoria de ROVs o estacions estàtiques utilitzen halògens o HIDs. Aquests sistemes emeten llum d'alta intensitat, però no són els més eficients. Els AUVs depenen de la càrrega de les seves bateries, per lo tant és importantíssim incorporar sistemes de il·luminació que combinin màxima eficàcia amb mínim consum, per exemple, LEDs. La llum infraroja presenta molta atenuació dins l'aigua, i encara que hi ha alguns sistemes submarins que l'utilitzen per que no es visible pels animals, no hi ha una opinió comú respecte si és o no convenient utilitzar-la.

La llum laser és la que ofereix millor resultats per captar imatges a llargues distàncies, però el sistema és car i necessita un escanejat de l'entorn i un post-processament important de

les imatges, cosa que fa més lent el sistema. Els submarins dedicats a explorar instal·lacions submarines, cables o canons submarines, o a fer mapejat del fons marí, necessiten anar equipats amb diverses càmeres: una enfocada cap el fons i una altra enfocada cap a davant per detectar i evitar els obstacles. Les càmeres d'alta resolució amb lents de gran angular són preferibles a les càmeres normals per que a) l'alta resolució ofereix millor qualitat d'imatge, i b) la lent de gran angular ofereix un camp de visió superior, preferible per la detecció dels obstacles i per la visualització de l'àrea marina a inspeccionar o mapejar.

Les comunicacions amb fibra òptica o gigabit ethernet són la millor opció per la transmissió d'imatges d'alta resolució. Les comunicacions entre la càmera, l'ordenador del vehicle i la central de control han de ser el més ràpides possible, especialment si els algorismes de post-processament de les imatges poden ser complexos i a vegades lents.

REFERÈNCIES

- [1] B. Allen, T. Austin, N. Forrester, R. Goldsborough, A. Kukulya, G. Packard, M. Purcell, and R. Stokely. Autonomous docking demonstrations with enhanced remus technology. In *IEEE OCEANS*, pages 1–6, 2006.
- [2] F.M. Caimi, F.R. Dalgleish, T.E. Giddings, J.J. Shirron, C. Mazel, and K. Chiang. Pulse versus cw laser line scan imaging detection methods: Simulation results. In *IEEE OCEANS*, pages 1–6, 2007.
- [3] B. Cochenour, L. Mullen, and A. Laux. Phase coherent digital communications for wireless optical links in turbid underwater environments. In *IEEE OCEANS*, pages 1–5, 2007.
- [4] F.R. Dalgleish, F.M. Caimi W.B. Britton, and C.F. Andren. Improved lls imaging performance in scattering-dominant waters. In *International Society for Optical Engineering (SPIE)*, volume 7317, 2009.
- [5] F.R. Dalgleish, F.M. Caimi, W.B. Britton, C.F. Andren, and Y. Wan. Experimental comparison of pulsed-gated and continuous wave lls underwater imagers. In *IEEE Ocean Optics IX*, 2008.
- [6] Deep Ocean Engineering. Dhd2+2 rov. <http://www.deepocean.com/data.html>.
- [7] Institute for Exploration (IFE). Hercules ROV. <http://www.mysticaquarium.org/ife/technology/340-hercules>.
- [8] H.R. Gordon. *Ocean Optics, Oxford monographs on geology and geophysics*, chapter Modeling and simulating radiative transfer in the ocean, pages 3–39. Oxford University Press, 1994.
- [9] H. Han, X. Zhang, and W. Ge. Performance evaluation of underwater range gated viewing based on image quality metric. In *Int'l Conference on Electronic Measurements and Instruments (ICEMI)*, volume 4, pages 441–444, 2009.
- [10] J.S. Jaffe. Computer modeling and the design of optimal underwater imaging systems. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 15(2):101–111, 1990.
- [11] J.S. Jaffe. Multi autonomous underwater vehicle optical imaging for extended performance. In *Proceedings of the Oceans conference*, 2007.
- [12] N. Karpel and Y.Y. Schechner. Portable polarimetric underwater imaging system with a linear response. In *Proceedings of the SPIE*, pages 206–115, 2004.
- [13] K. Lam, R.S. Bradbeer, P.K.S. Shin, K.K.K. Kun, and P. Hodqson. Application of a real-time underwater surveillance camera in monitoring of fish assemblages on a shallow coral communities in a marine park. In *IEEE OCEANS*, pages 1–7, 2007.
- [14] A. Laux, L. Mullen, and B. Cochenour. I/q data processing techniques for the analysis of an amplitude modulated laser imaging system. In *Conference on Laser and Electro-Optics (CLEO)*, pages 1–2, 2007.
- [15] S.G. Narasimhan and S.K. Nayar. Structured light methods for underwater imaging: Light stripe scanning and photometric stereo. In *IEEE OCEANS*, volume 3, pages 2610–2617, 2005.
- [16] S. Negahdaripour and P. Firoozfam. A rov stereovision system for ship-hull inspection. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 31(3):551–564, 2006.
- [17] S. Negahdaripour, H. Sekkati, and H. Pirsiavash. Opti-acoustic stereo imaging : on system calibration and 3-d target reconstruction. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 1–8, 2007.
- [18] S. Negahdaripour, H. Zhang, and X. Han. Investigation of photometric stereo method for 3-d shape recovery from underwater imaging. In *IEEE OCEANS*, volume 2, pages 1010–1017, 2002.
- [19] G.E. Rosenkranz, S.M. Gallager, R.W. Shepard, and M. Blakeslee. Development of a high-speed, megapixel benthic imaging system for coastal fisheries research in alaska. *Fisheries Reseach*, 92(1):340–344, 2008.
- [20] J. Roston, C. Bradley, and J.R. Cooperstock. Underwater window: High definition video on venus and neptune. In *IEEE OCEANS*, pages 1–8, 2007.
- [21] Y.Y. Schechner and N. Karpel. Recovery of underwater visibility and structure by polarization analysis. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 30(3):570–587, 2005.
- [22] A. Sedlazeck, K. Köser, and R. Koch. 3d reconstruction based on underwater video from rov kiel 6000 considering underwater imaging conditions. In *IEEE OCEANS*, pages 1–10, 2009.
- [23] M.R. Shortis, J.W. Seager, A. Williams, B.A. Barker, and M. Sherlock. A towed body stereo-video system for deep water benthic habitat surveys. In *Eighth Conference on Optical 3-D Measurement Techniques*, volume 2, pages 150–157, 2007.
- [24] B.A. Swartz. Laser range gate underwater imaging advances. In *IEEE OCEANS*, volume 2, pages 722–727, 1994.
- [25] Woods HOle Marine Systems. Argus rov. <http://www.whmsi.com/>.
- [26] C.S. Tan, A. Sluzek, G.L. Seet, and T.Y. Jiang. Range gated imaging system for underwater robotic vehicle. In *IEEE OCEANS*, pages 1–6, 2006.
- [27] G. Taylor and L. Kleeman. *Visual Perception and Robotic Manipulation*, volume 26, chapter Shape Recovery Using Robust Light Stripe Scanning, pages 31–56. 2006.
- [28] ThinkQuest. The physics of diving: Light and vision. <http://library.thinkquest.org/28170/35.html>, Resource accessed Feb-2010.
- [29] T. Treibitz and Y.Y. Schechner. Instant 3descatter. In *Proceedings of the IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, volume 2, pages 1861–1868, 2006.
- [30] T. Treibitz and Y.Y. Schechner. Active polarization descattering. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(3):385–399, 2009.
- [31] T. Treibitz and Schechner Y.Y. Polarization: Beneficial for visibility enhancement? In *Proceedings of the IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, 2009.
- [32] A. Weidemann, G.R. Fournier, L. Forand, and P. Mathieu. In harbor underwater threat detection/identificacion using active imaging. In *International Society for Optical Engineering (SPIE)*, volume 5780, 2005.
- [33] E. Widder. Sly eye for the shy guy. *Oceanography*, 20(4):46–51, 2007.

El Robot de Sumo Thorpe v2.0@EPS

Vicenç Salas Gomila, Francisco García Moranta, Joan Enric Bonnin Sans, Emilio González Lara.

salasgomila@gmail.com
xisco14@hotmail.com
jnric@hotmail.com
emgola@hotmail.com

Resumen- El robot Torpe v2.0 ha sido concebido e implementado para participar en representación de la Escuela Politécnica Superior de las Islas Baleares en la categoría de sumo del Alcabot 2010. Se trata de un vehículo dotado de sensores de ultrasonidos e infrarrojos para la localización del adversario y los límites de la zona de sumo. El control se realiza a través de la PCB Arduino y la estructura ha sido realizada en los laboratorios de la Escuela Politécnica Superior.

I. INTRODUCCIÓN

La idea de participar en competiciones robóticas de sumo surgió durante la asistencia a un taller organizado por la Fundación IBIT, y que consistía en montar un robot de sumo para posteriormente realizar una pequeña competición entre los asistentes del taller. Surgió la posibilidad de participar en competiciones a nivel nacional y con el financiamiento de la dirección de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de las Islas Baleares se diseño e implemento el robot Thorpe V2.0.

II. ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El robot Thorpe está construido con metacrilato, el cual nos proporciona ligereza y resistencia. Aunque no todo son ventajas ya que cortar el metacrilato sin dañarlo no es fácil, por dicho motivo la estructura de Thorpe ha sido cortada mediante una fresadora industrial. De esta manera tenemos la certeza de que Thorpe no supere el tamaño máximo reglamentario, con total seguridad.

Rampa:

La rampa de Thorpe está fabricada en acero inoxidable con un grueso de 0.6 milímetros. Sujeta mediante dos bisagras situadas en la cara delantera.

Sistema sensorial:

El sistema sensorial ha de ser capaz de localizar a los adversarios en todo momento y determinar si se encuentra a punto de salir de la zona de juego. Con estas dos premisas se han implementado dos tipos diferentes de sensores: sensores de ultrasonidos para la localización de los adversarios y sensores de infrarrojos para la detección del final de la zona.

Límites de la zona de juego:

Los sensores de línea se basan en el encapsulado CNY70, el cual está constituido por un led emisor de IR y un fototransistor.



Figura 1, CNY70

Concretamente Thorpe cuenta con 6 sensores de línea, 2 frontales, 2 traseros y un en cada lateral. Además, consta de 6 leds emisores de IR adicionales. Con dicha iluminación desplazamos el umbral (negro/blanco) eliminando el efecto de brillos y posibles defectos del tatami.

Localización de adversarios:

Thorpe consta de 4 sensores de ultrasonidos SFR05, los cuales tienen un rango de 3 a 300 centímetros de detección. Los sensores están situados en la parte frontal del robot constituyendo un radio de localización de 210° aproximadamente. De esta manera Thorpe puede localizar a su adversario con cierta facilidad.



Figura 2, SFR05, sensor de ultrasonidos.

Los sensores de ultrasonidos están situados en paralelo, de este modo pueden realizar la localización de forma

simultánea, limitando el tiempo de respuesta a 30ms como máximo.

III. SISTEMA DE CONTROL

Thorpe está controlado por Arduino Mega, una placa basada en un microcontrolador Atmega. Arduino tiene su propio lenguaje de programación, basado en C. Además, Arduino cuenta con cantidad de librerías a tú disposición, como por ejemplo para el control de una LCD o el protocolo de I2C.

Características de Arduino Mega:

Microcontrolador	ATmega1280
Voltaje de Operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7-12V
Pines E/S Digitales	54 (16 PWM)
Entradas Analógicas	16
Corriente de salida por pin E/S.	40 mA
Memoria Flash	128 KB
Memoria SRAM	8 KB
Memoria EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Tabla 1.

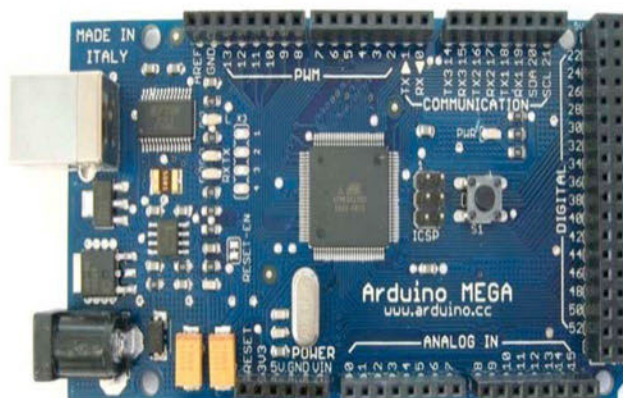


Figura 3, Arduino Mega

IV. SISTEMA DE POTENCIA

A. Control Motores.

Thorpe controla sus potentes motores mediante una controladora de motores basada en el popular esquema MD22.

El MD22 es un controlador para dos motores de corriente continua de mediana potencia, diseñado para proporcionar más potencia que los controladores basados en un único circuito integrado. Los 15V de la tensión de control del MOSFET se genera en el mismo circuito mediante una bomba de carga, por lo que solo se requieren 5V a 50mA para la alimentación del circuito, además de la alimentación del

motor que está comprendida entre los 5 y los 24V dependiendo de los requerimientos del motor.

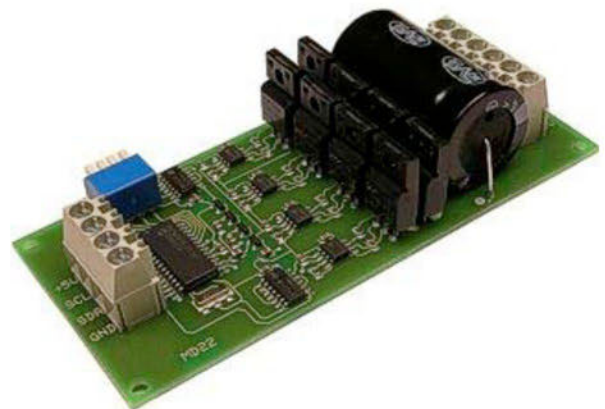


Figura 4, Controladora de motores MD22

Además, la controladora incorpora un PIC encargado de controlar el sentido y aceleración de los motores. De esta forma, Thorpe se puede desplazar sin perder de vista a su adversario.

B. Características de los Motores.

Thorpe es un robot con una gran potencia, gracias a sus cuatro motores de corriente continua, alimentados a 7,2V. Los cuales proporcionan una velocidad máxima de 175 rpm y un torque de 7,1Kg·cm.

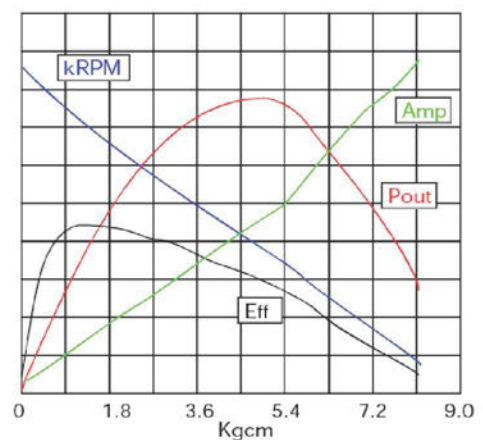


Figura 5, Curvas de Torque del motor

C. Fuente de alimentación del robot.

Los motores de Thorpe son alimentados por una batería recargable de NiMh (Níquel Metal-hidruro), la cual proporcionan una corriente de 4000mAh a 7.2 voltios. Este hecho proporciona a Thorpe una autonomía de unos 30 minutos (suponiendo un consumo máximo por parte de los motores).



Figura 6, Bateria NiMh de 7.2V y 4000mA/h

V. PARTICIPACIÓN EN EL ALCABOT 2010

Aunque, podemos asegurar que, el diseño y montaje del robot ha sido divertido, la parte más gratificante es esta. Donde hemos podido poner a prueba a nuestro robot.

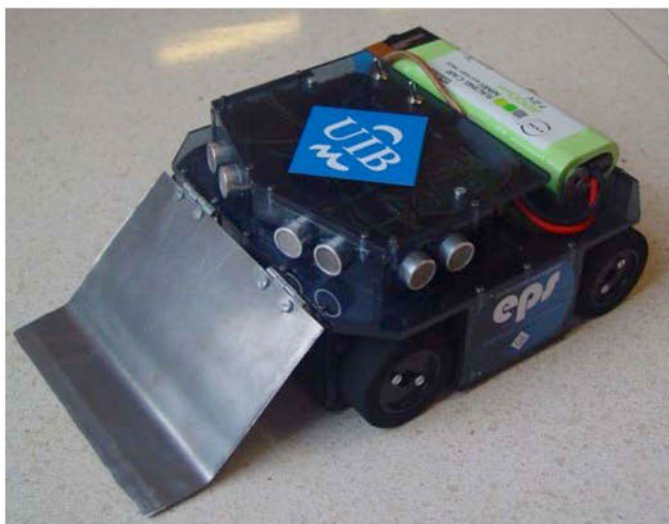


Figura 7, Thorpe V2.0

Primero, habría que explicar cómo funciona una competición de robots de sumo, ya que, como cualquier tipo de competición tiene una normativa. Lo que en el caso del sumo de robots puede variar de un concurso a otro. Nos centraremos en las normas que suelen ser generales a casi todos los concursos.

En cuanto al robot:

- Las dimensión del robot no puede ser mayor de 20x20cm, donde la altura no está limitada. Puede tener partes desplegadas, como rampas, siempre y cuando plegadas no supere las dimensiones máximas.
- Su peso no puede ser superior a los 3Kg.
- Tiene que ser totalmente autónomo, sin mecanismos de control externos.

En cuanto al combate:

- El combate se realizará sobre un tatami circular de 175cm de diámetro, de color negro, con un marco exterior en color blanco de 5cm.

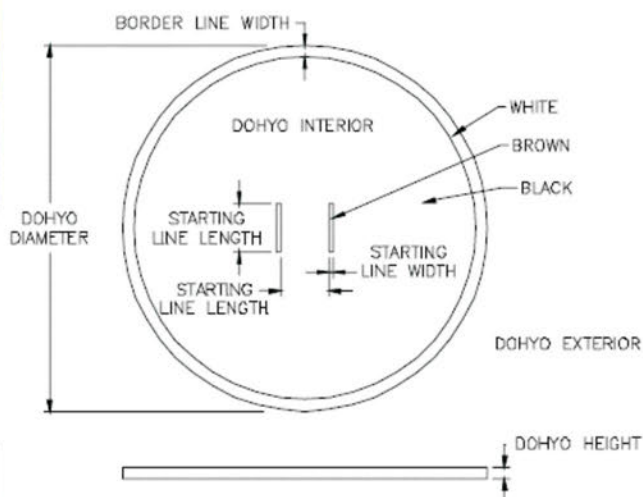


Figura 8, Forma del tatami para robots de sumo

- El concurso se realizará en forma de liguilla o mediante eliminatorias, dependiendo del número de participantes.
- Cada partido constará de 3 rounds, y lo ganará el robot que sea capaz de ganar 2 rounds.
- Un round se considera ganado cuando uno de los robots consigue sacar del tatami a su oponente. (También si el oponente se sale solo).
- Al inicio de cada round el robot tendrá que tener un tiempo de espera de 5 segundos, antes de iniciar su movimiento.

El concurso, empieza con una homologación de los robots, los cuales tienen que pasar 3 test. Primero se comprueba su peso, después se introducen dentro de una caja, para comprobar que sus dimensiones son las correctas. Y por último, tiene que ser capaz de sacar una caja del tatami, teniendo tres oportunidades para ello.

Una vez pasada la homologación, empieza el concurso. En el Alcabot 2010, hubo una fase inicial, en forma de liguilla. La cual pasamos sin dificultad, sorprendentemente, ya que era nuestra primera competición, y había equipos que llevan compitiendo varios años.

Tras esa fase inicial, empezó la fase final, donde de los 3 partidos que tuvimos que realizar solo fuimos capaces de ganar 1, por tanto, no nos clasificamos para la final. Pero aun así, había sido una experiencia estupenda, solo por el hecho de haber estado allí, y habiendo superado todas las expectativas.

Ahora ya estamos trabajando en las mejoras del robot para participar en próximos concursos.



Figura 9, Inicio de uno de los rounds durante la competición

VI. COCLUSIONES

Siendo esta nuestra primera participación en un concurso de estas características, creemos que hemos conseguido cumplir todas las metas que nos habíamos marcado al inicio de esta aventura.

Creemos que, tras los resultados en la competición y lo observado respecto a las tecnologías utilizadas por el resto de participantes, hemos conseguido implementar un robot lo suficientemente competitivo.

Ya nos encontramos trabajando en las mejoras de Thorpe, que principalmente van a consistir en aumentar la potencia y velocidad de los motores, y en la sustitución de la fuente de alimentación por una de 12V. Ya que nos dimos cuenta que era uno de los puntos débiles de Thorpe V2.0.

También estamos estudiando la posibilidad de participar en otra categoría, la de velocistas, que nos pareció muy atractiva. Incluso pudiendo presentar 2 vehículos para esta categoría.

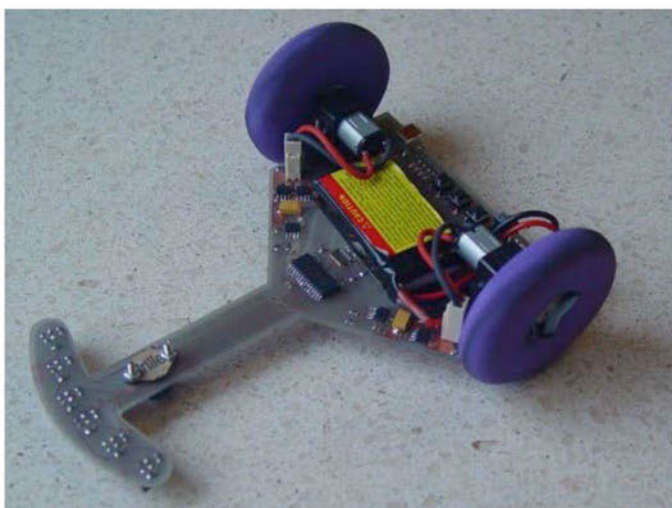


Figura 10, Robot Pepito, ganador del concurso de velocistas del Alcabot 2010

La próxima competición en la que tenemos pensado participar es el CRJET 2010 (Concurso Internacional de Robótica JET 2010), que tendrá lugar en el campus de Terrassa de la UPC, en el mes de Octubre.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la ayuda y confianza que nos ha dado la EPS-UIB y muy en especial a su director, el Dr. Gabriel Oliver. Además, queremos agradecer el tiempo que nos ha dedicado el técnico de laboratorio Ginés Valverde y que nos disculpe por todos los dolores de cabeza que le hemos ocasionado.

Por último agradecer los consejos que nos han proporcionado el Dr. Bartomeu Alorda y el Dr. Antoni Burguera.

REFERENCIAS

- 1) Página oficial de Arduino:
<http://www.arduino.cc/>
- 2) Página de la Semana de la Robótica Alcabot-Hispabot 2100.
<http://asimov.depeca.uah.es/robotica/course/view.php?id=12#section-5>
- 3) IBIT Robotic Team y Fundación IBIT.
<http://irt.ibit.org/>;
<http://www.ibit.org/home/index.php?idioma=es>
- 4) Datasheet CNY70,
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/vishay/83751.pdf>
- 5) Datasheet SFR05,
<http://www.superrobotica.com/S320111.htm>
- 6) Datasheet MD22,
<http://www.robotstorehk.com/md22tech.pdf>

Control d'un sistema de rails mitjançant una xarxa de nodes sense fils basada en ZigBee

Javier Oliver Bennassar i Bartomeu Alorda

P.F.C. Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electrónica Industrial

Resum— Aquest article detalla el desenvolupament d'un node controlador d'elements d'un sistema de rails usant el protocol ZigBee. Partint d'un sistema de rails on els vehicles estan dotats de capacitats de comunicacions ZigBee es pretén implementar un nou tipus de node, que integrant-se dins la xarxa establerta permeti la interacció amb la resta d'elements del sistema (canvis de via, il·luminació, sistemes d'avís en es passos a nivell, ...). També s'han explorat les limitacions d'integració de les revisions 2004 i 2006 del protocol, la caracterització física del mòdul emissor del fabricant Microchip i la facilitat d'integració en una xarxa basada en mòduls del fabricant Jennic.

I. INTRODUCCIÓ

La navegació de vehicles en espais oberts és una de les disciplines de la robòtica que permet a un sistema mòbil arribar allà on se'l necessita. El sistema de rails es caracteritzen per limitar els possibles moviments del vehicle, ja que existeix un sistema de guiatge que en limita les possibles trajectòries i a la vegada en simplifica el sistema de control. Un dels sistemes de guiatge més conegut són els rails usats pels ferrocarrils, tramvies i metros. En els sistemes tradicionals de vehicles sobre rails els elements de guiatge són els canvis de via, els semàfors, sistemes de localització i sistemes de pas a nivell. Tots aquests sistemes es gestionen des de la unitat central de control mitjançant una xarxa de comunicacions que generalment és en topologia d'arbre i basada en cablejat.

La utilització de sistemes de comunicacions sense fils està fent possible que elements que estan en moviment un respecte a l'altre es puguin comunicar i autogestionar-se sense necessitat de la intervenció de tercers. La proposta que es pretén desenvolupar es basa en la utilització d'una xarxa de nodes sense fils que permeti una gestió local de la ruta. Així, els vehicles tenen capacitats de gestionar el seu entorn proper, decidir accions en funció de la posició dels sistemes de guiatge o comunicar-se entre ells per a determinar la correcta posició en cas de creuar-se.

Una solució d'aquest tipus permetria optimitzar recursos, ja que els espais entre vehicles es podrien reduir. Flexibilitat enfront a situacions no previstes, ja que aquests es poden detectar abans i la presa de decisions es més ràpida per ser local. A més, el sistema és totalment compatible amb els actuals sistemes pel fet d'utilitzar diferents mitjans de comunicació alternatius. Per una banda es dota al vehicle de capacitat d'autogestió, però a més, el conductor aconsegueix el màxim d'informació sobre l'estat dels elements de ruta, els vehicles propers o l'adequada senyalització del seu pas.

Aquesta solució és aplicable no només en sistemes de transport de passatgers, sinó també a sistemes de logística automatitzats, gestió de magatzem, mecanismes de prevenció de col·lisions, transport de mercaderies autònoms o fins i tot la gestió d'autovies d'alta velocitat com a possibles aplicacions futures.

La resta de l'article es troba organitzat de la següent forma: la secció següent detalla l'evolució i l'estat actual del sistema que està en procés de desenvolupament. Seguidament la tercera secció introdueix les característiques bàsiques de la tecnologia ZigBee. La quarta secció descriu el desenvolupament del node controlador de canvis de ruta i accessoris, mentre que la cinquena secció es centra en la caracterització física del mòdul emissor de Microchip usat en el projecte. La sisena secció descriu el codi creat pel node i la integració amb el software de gestió del sistema ZigBee. Finalment es detallen les conclusions principals del treball.

II. EVOLUCIÓ DEL SISTEMA

En el marc d'un conveni industrial el departament de física de la UIB va adquirir una maqueta ferroviària amb l'objectiu d'estudiar les possibles alternatives de control que es poden implantar en els vehicles que es mouen sobre sistemes de rails. El sistema de control original triat es basava en el desenvolupat pel fabricant alemany ZIMO [1]. La tria d'aquest sistema es va condicionar per les possibilitats d'emular els sistemes actuals de control existents en diferents xarxes ferroviàries. El sistema original es mostra a la Fig. 1.

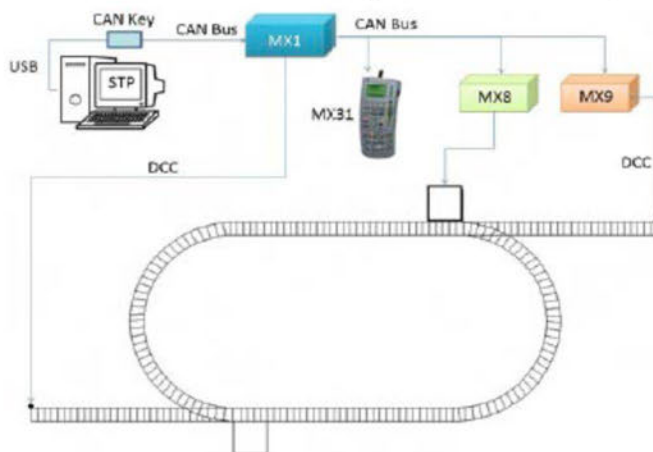


Figura 1. Sistema de control original de ZIMO

L'element principal del sistema és el mòdul MX1 que actua com a centralita o sistema de comandament centralitzat,

però també com a sistema d'alimentació dels vehicles. Existeixen altres tres elements addicionals al sistema: el mòdul MX31 que permet indicar manualment qualsevol ordre a la resta de mòduls. El mòdul MX8 que és el controlador dels elements no mòbils del sistema (semàfors, canvis de via, senyals lluminosos, ...). I el mòdul MX9 que permet conèixer la secció que ocupen cada un dels vehicles. Els vehicles estan dotats d'un element indispensable: el descodificador MX69. Aquest dispositiu, que s'instal·la en tots els vehicles permet el control del moviment d'aquests remotament a través del processament dels missatges que la centralita MX1 envia a través de les vies mitjançant el protocol de comunicació DCC.

La proposta de control del sistema que s'està explorant en diverses etapes es basa en un control distribuït a partir d'una xarxa de sensors. En aquesta proposta els elements poden comunicar-se entre si sense la intervenció de tercers o centrals. La tecnologia elegida pel desenvolupament del sistema es basa en la pila de protocols ZigBee, sistema que s'introduirà amb major detall a la secció III. Per aconseguir aquest desenvolupament el primer objectiu va consistir en l'aprofundiment del funcionament del sistema adquirit a través de la creació d'un conjunt de llibreries que varen permetre adaptar el control del sistema ZIMO a les necessitats requerides en el conveni [2,3]. Seguidament es van desenvolupar la primera de les accions per substituir tots els elements de control dels vehicles i constituir una xarxa de sensors que permetés localitzar i gestionar les funcions dels vehicles. Així es va dotar als vehicles d'un node ZigBee amb capacitats de comunicació i de control sobre el vehicle [5]. A més, es va estudiar la possibilitats de crear un sistema de localització sobre la mateixa locomotora oferint uns bons resultats [4]. D'aquesta forma la primera etapa va veure la llum quedant el sistema com el mostrat a la Fig. 2. El mòdul MX9 es van eliminar, l'alimentació del sistema provenia d'una font externa i es mantenien en el sistema el mòduls MX1 i MX8 per al control dels elements de ruta i senyalitzacions.

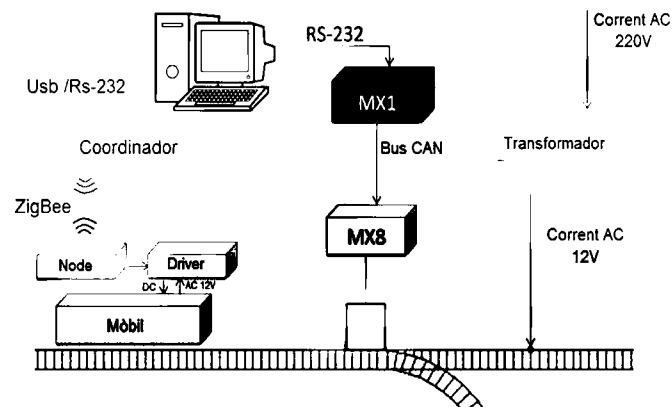


Figura 2. Sistema de control dels vehicles basat en ZigBee

Aquest article es centra en el desenvolupament d'un nou node ZigBee que permeti la substitució dels mòduls MX1 i MX8. A més, es va voler explorar la compatibilitat entre alternatives de diferents fabricants i l'estudi de les capacitats físiques del nou emissor.

III. LA TECNOLOGIA ZIGBEE

La pila de protocols ZigBee es tracta d'una tecnologia sense fils relativament nova, que va ser definida en un principi com a xarxa d'àrea personal (WPAN), però que està essent utilitzada en la comunicació entre dispositius que tinguin un requeriments d'una baixa taxa de transmissió de dades i una simplificació del protocol.

El protocol ZigBee va ser definit per un grup d'empreses agrupades amb el nom de *ZigBee Alliance* [6]. A [7] es presenta una detallada informació sobre aquest protocol i les característiques físiques dels dispositius fabricats per Jennic [8] i usats en els projectes [4] i [5].

Els tipus de nodes que poden existir en una xarxa ZigBee són de tres tipus:

- **Coordinador:** és el node més important, ja que és l'encarregat d'iniciar la xarxa i realitzar la gestió de peticions de connexió, pèrdues de nodes i assignació d'adreces. Només pot hi haver un coordinador actiu dins cada xarxa al mateix temps.
- **Dispositiu Final o EndDevice:** és el node que desenvolupa les funcions distribuïdes.
- **Router:** La seva funció és la de estendre l'àrea de cobertura del node coordinador.

Com es pot apreciar a la Fig. 2, la xarxa sense fils està format per un Coordinador connectat a un ordinador i pels dispositius finals situats en cada una dels mòbils. La topologia usada en aquests moments és en estrella, per tant tota la informació que circula per la xarxa passa necessàriament pel node Coordinador. Aquesta topologia es variarà en futures implementacions per a permetre una comunicació entre nodes amb independència del node principal.

IV. DESENVOLUPAMENT D'UN MÒDUL ZIGBEE: HARDWARE

El sistema desenvolupat fins ara es basa en la utilització d'una plataforma d'avaluació propietat de l'empresa Jennic [8]. Aquesta plataforma implementa l'especificació del protocol ZigBee 2004, una de les primeres que es va publicar.

Per la implementació del nou mòdul ZigBee es va optar per l'emissor del fabricant Microchip [9] que en aquest cas implementava l'especificació del protocol ZigBee 2006. El fet de triar diferents fabricants ha aportat una certa incertesa a l'hora d'establir comunicacions entre dispositius que en principi seguien un mateix estàndard.

El tractament de la implementació feta del nou node ZigBee basat en un emissor de Microchip s'ha dividit en dues parts: primerament es descriurà el disseny i fabricació del node sense fils i, seguidament, la implementació del sistema de control d'accessoris (canvis de ruta i altres elements).

A. Node de comunicacions ZigBee/Microchip

Aquest sistema tindrà les funcions d'establir la comunicació amb el Coordinador de la xarxa i de processar les comandes rebudes executant-les mitjançant la placa de control d'accessoris. El node estarà format per tres seccions:

- **Secció de captació/transmissió de senyals:** la seva funció serà fer l'adaptació al medi físic seguint les especificacions IEEE 802.15.4.

- **Secció de comunicació:** la seva funció es situa en la capa MAC de la pila de protocols ZigBee i s'encarrega d'establir un enllaç punt a punt entre nodes dins la mateixa xarxa.
- **Secció de control:** permet la implementació de la resta de capes definides a ZigBee i a més, pren les decisions adequades sobre el sistema d'accessoris.

Les seccions de comunicació i de captació del senyal s'han implementat a partir del mòdul MRF24J40MA de Microchip. A la Fig. 3 es mostra un detall d'aquest mòdul que incorpora l'antena integrada sobre la mateixa PCB.

La secció de control s'ha realitzat amb un microcontrolador, el PIC18LF2620, ja que disposa de totes les característiques necessàries per a executar el software amb la resta de capes de la pila de ZigBee.



Figura 3. Mòdul MRF24J40MA de Microchip

La connexió definitiva d'aquestes seccions s'ha realitzat seguint l'esquema mostrat a la Fig. 4.

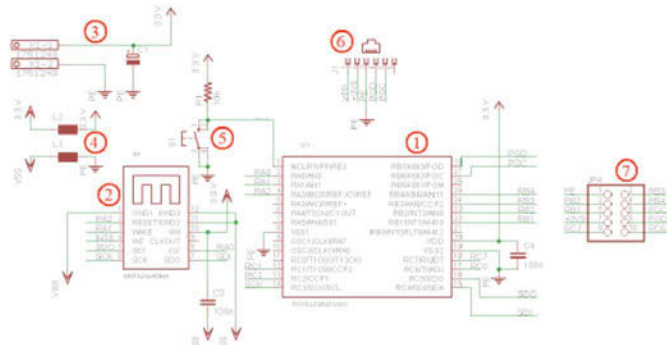


Figura 4. Esquema de connexions del node de comunicacions ZigBee/Microchip

Es pot observar com, a més del microcontrolador (número 1 a la Fig. 4) i el mòdul MRF24J40MA (component 2 a la Fig. 4), existeixen altres components. El component 3 es tracta del connector d'alimentació que ha de ser d'uns 3.3 V_{DC}. L'element 5 és el botó de *reset* del microcontrolador. El component 6 es el connector de programació, necessari per a programar el microcontrolador amb el software. El component 7 és el connector que permetrà comunicar el microcontrolador a la placa controladora d'accessoris. Per acabar el component 4 són dues "ferritas" que han estat introduïdes per a separar el pla d'alimentació i el pla de massa de la secció de transmissió

del de la secció de control. A la Fi. 5 es mostra el layout definitiu amb la col·locació definitiva dels elements sobre la PCB. La numeració usada a la Fig. 5 és la mateixa que la usada a la Fig. 4.

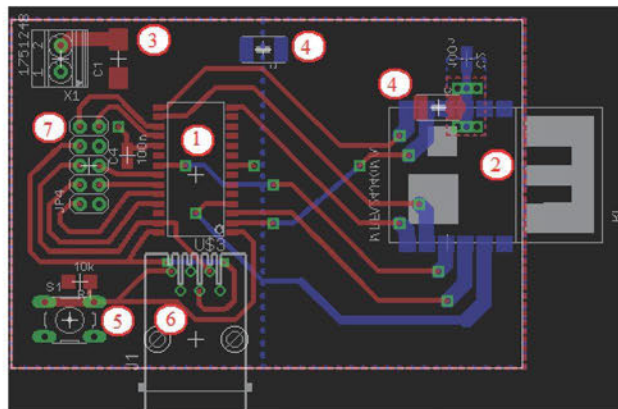


Figura 5. Layout del node ZigBee/Microchip

En el disseny de la placa definitiva s'ha tingut especial cura a la col·locació del mòdul MRF24J40MA. Es pot observar a la Fig. 5 com l'antena del mòdul està situada fora dels límits de la PCB. Aquesta col·locació s'ha fet així per a permetre una correcta emissió del senyal RF. A més, a la Fig. 6 es mostra la col·locació definitiva de les "ferritas" separant els plans d'alimentació i massa de la secció de control de la resta de seccions. La situació de la "ferrita" mostrada a la Fig. 6(b) permet veure en claretat el dos plans de massa.

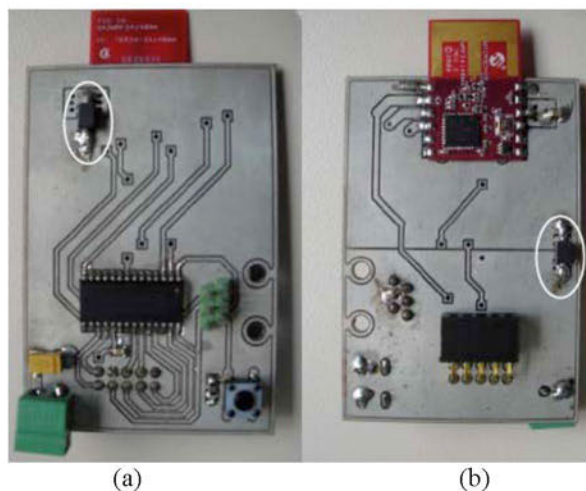


Figura 6. (a) Visió superior i (b) inferior del node ZigBee/Microchip

A la cinquena secció d'aquest document es mostren els resultats obtinguts de la caracterització energètica del node ZigBee/Microchip implementat.

B. La controladora d'accessoris

El control dels accessoris de ruta de la maqueta es realitza amb aquesta segona PCB. Els accessoris principals que es pretenen controlar són els canvis de ruta, que actuen directament sobre la ruta seguida pels vehicles. Els canvis de ruta estan formats per petits motor en continua que accionen el moviment dels rails.

Per aquest motiu sobre la controladora d'accessoris s'hi han dissenyat dos interfícies de control de motors en contínua a través d'un senyal PWM generat des del microcontrolador. A més a més, aquesta controladora també disposa d'una font d'alimentació capaç de generar els nivell de voltatge adequat a partir del voltatge AC present sobre els rails.

- **Sistema d'alimentació:** es tracta d'una font convertora AC/DC formada per un rectificador (component 2 de la Fig. 7), un filtre i els reguladors per facilitar uns nivells de contínua adequats per cada part del sistema. Així es fan necessaris 3 reguladors: un de 3.3 V_{DC} per alimentar al node ZigBee/Microchip (component 5 de la Fig. 7), un segon de 5V_{DC} per alimentar els components digitals i altres accessoris (component 4 de la Fig. 7), i finalment un de 9V_{DC} per alimentar els motors dels canvis de ruta (component 3 de la Fig. 7).

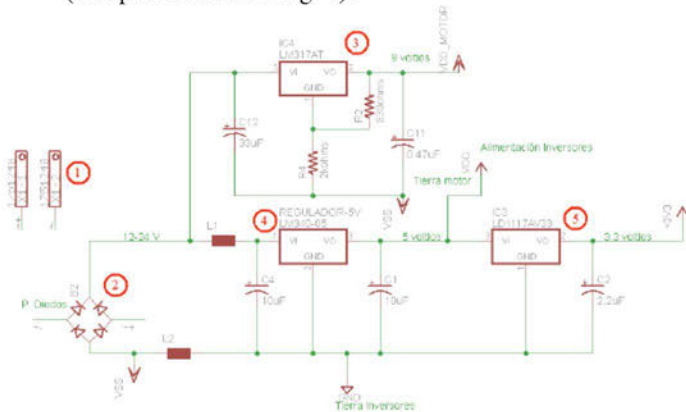


Figura 7. Esquemàtic de la font d'alimentació implementada

- **Control de motors:** En aquest cas s'ha fet servir el controlador L293NE (component 5 de la Fig. 8). Permet activar un màxim de dos motors a la vegada mitjançant una modulació PWM. També s'hi ha afegit un *buffer* elevador (component 2 de la Fig. 8) que transforma els senyals de 3.3V_{DC} del node ZigBee/Microchip en senyals de 5V_{DC} pel controlador de motors.

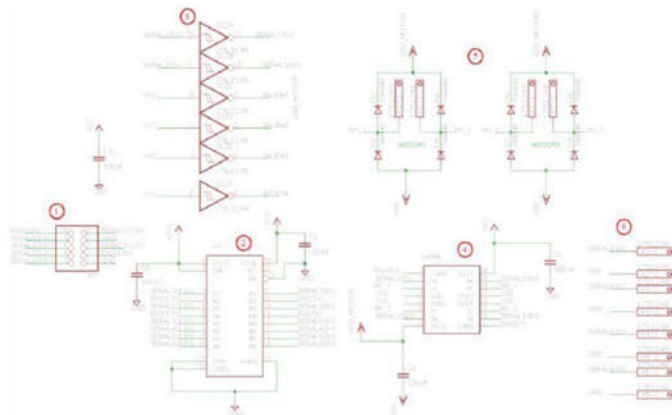


Figura 8. Esquemàtic del circuit de control de motors

S'han fet servir capacitats de desacoblament per a reduir les interferències entre els circuits de la placa. El layout definitiu es mostra a la Fig. 9 on es poden diferenciar els circuits de control i alimentació.

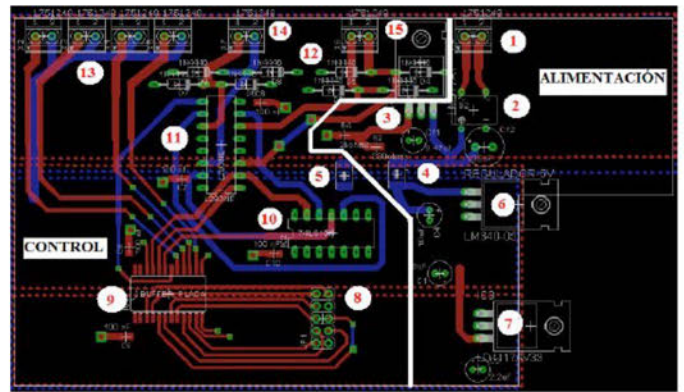


Figura 9. Layout de la placa controladora d'accessoris

La Fig. 10 mostra les dues PCB connectades i preparades per a ser utilitzades en una xarxa ZigBee, mentre la Fig. 11 mostra l'acabat definitiu del node controlador dins una caixa adaptada.

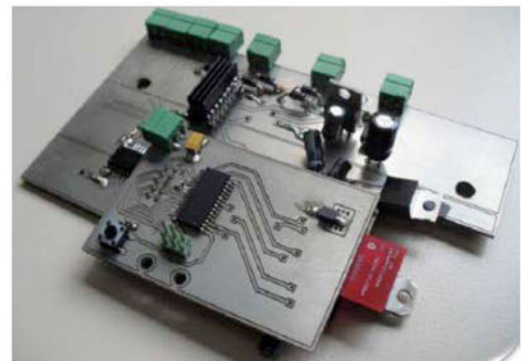


Figura 10. Controlador d'accessoris ZigBee/Microchip complet



Figura 11. Aspecte definitiu del controlador

V. ESTUDI DE L'ENERGIA CONSUMIDA

De la mateixa forma com es va fer a [7] amb el controlador de Jennic, també en aquest cas, s'ha realitzat un estudi de l'energia consumida pel dispositiu emissor de Microchip. En aquest cas, la mesura s'ha realitzat forçant una emissió constant d'informació amb un nivell de potència i en un canal definit prèviament. La Fig. 12 mostra una captura de pantalla de l'anàlitzador d'espectre on es pot veure el perfil de potència quan l'emissor es configura a màxima potència. Es poden veure els armònics i la freqüència central a 2.405625 GHz que correspon al canal 11. El valor màxim en aquest cas és de 6.4 dBm, enlloc del teòric 0dBm degut a que l'antena està integrada sobre la mateixa PCB i la captació del senyal per part de l'anàlitzador d'espectre s'ha realitzat mitjançant una antena monopòl.

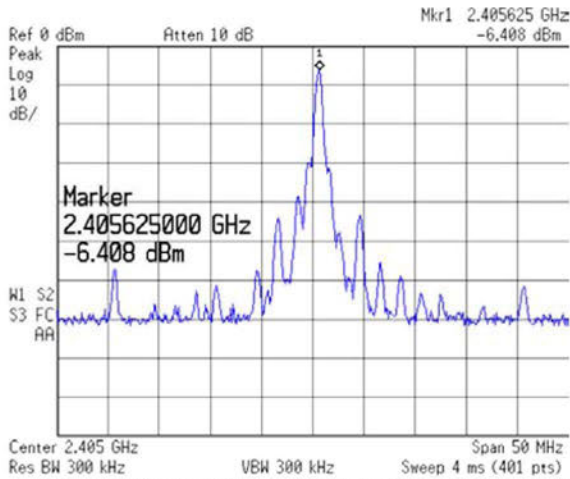


Figura 12. Espectre de potència del canal 11 quan el transmissor es configura a la potència teòrica de 0dBm

S'han realitzat mesures del corrent de consum del dispositiu emissor a cada una de les potències d'emissió. La mesura del corrent de consum s'ha realitzat intercalant una resistència de mesura entre la font d'alimentació i el dispositiu emissor. I mitjançant una sonda diferencial, s'ha obtingut la caiguda de tensió deguda al pas del corrent. La Fig. 13 mostra la gràfica obtinguda pel Canal 11 on es pot veure un màxim de consum d'uns 30 mA i un mínim de 17.5mA. S'ha de fer notar que la potència s'ha expressat en dBm, mostrant que per baixes potències el cost d'emetre a -20dBm respecte a emetre a -30dBm és només d'1mA, mentre que per potències elevades el consum s'incrementa més ràpidament.

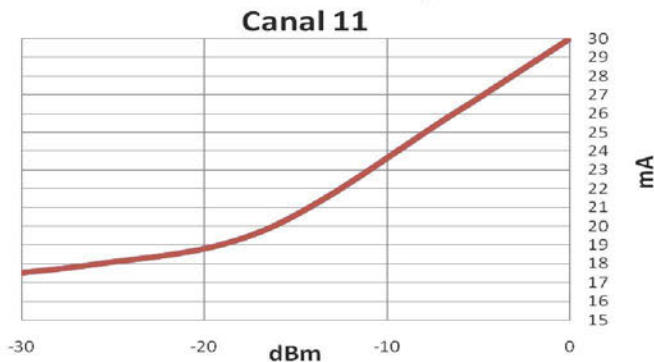


Figura 13. Evolució del consum energètic del node ZigBee/Microchip expressat en mA respecte a la potència de sortida mesurada en dBm usant el Canal 11 com a freqüència central.

El mòdul MRF24J40MA disposa de fins a 32 nivells possibles de potència agrupats en 4 nivells principals i 8 nivells secundaris per cada nivell principal. És a dir, és possible fer salts de potència entre nivells principals i ajustar el nivell secundari final. La Figura 13 mostra només l'evolució del consum quan s'activen els nivells principals de potència. La mateixa representació s'ha realitzat per a tots els nivells secundaris de potència, però en aquest cas usant el canal 18. Els resultats obtinguts es mostren a la gràfica de la Fig. 14. Es pot veure com el consum pràcticament no varia quan es modifica el nivell de potència secundària. Es tracta d'un comportament on la variació important de consum es produeix quan es realitza un canvi de potència principal,

mentre que el consum es manté en els canvis de potència secundària.

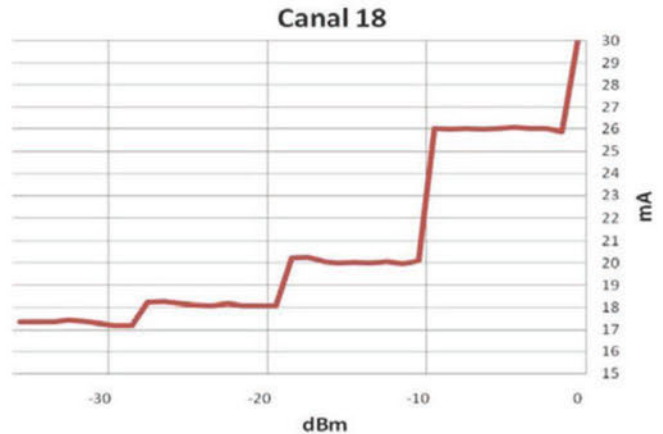


Figura 14. Evolució del consum energètic del node ZigBee/Microchip expressat en mA respecte a la potència de sortida mesurada en dBm, usant tota la graduació de potències que permet el node i el Canal 18 com a freqüència central.

Una segona característica que es pot observar en els resultats mostrats a la Fig. 14 és l'increment en el consum energètic en els canvis de les potències principals elevades. Així passar de -20 dBm a -10dBm incrementa el consum en 2mA, mentre que passar de -10 dBm a 0 dBm l'increment és d'uns 20mA.

VI. PROGRAMACIÓ DEL MÓDUL ZIGBEE/MICROCHIP

La pila de protocols ZigBee no especifica el nivell d'aplicació, per aquest motiu s'ha dissenyat la metodologia de comunicació entre el node Coordinador/Jennic i el mòdul d'accessoris ZigBee/Microchip. L'aplicació del node Coordinador es basa en els treballs previs [4,5]. Per tant, s'hi han afegit les parts de codi per a comunicar-se amb els nous tipus de nodes de la xarxa. La Fig. 15 mostra el diagrama de flux del programa d'aplicació usat en el Coordinador i amb les noves funcions afegides.

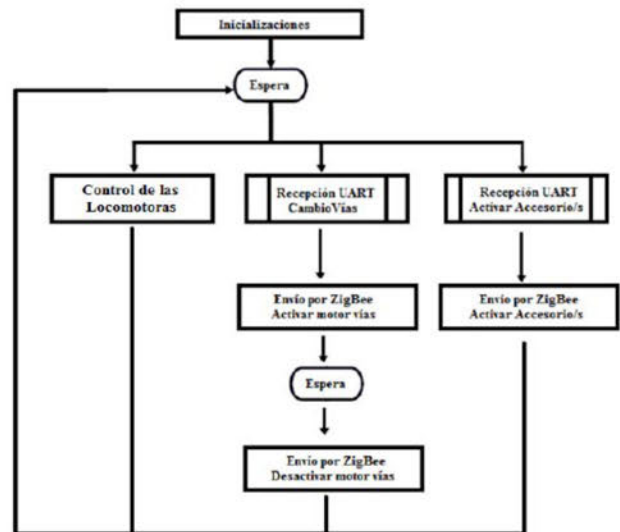


Figura 15. Diagrama de flux del programa d'aplicació del node Coordinador/Jennic

En el cas del programa d'aplicació del node *EndDevice/Microchip*, la diferenciació dels missatges es realitza gràcies a l'*EndPoint* al qual van dirigits. Aquesta particularitat es deguda a certes incompatibilitats existents entre la versió 2004 del protocol ZigBee del Coordinador/Jennic i la que es disposa per al node *EndDevice/Microchip* (versió 2006). L'aplicació del node *EndDevice/Microchip* el primer que fa és verificar a quin *EndPoint* va dirigit el missatge per a saber quina de les accions possibles ha de realitzar. El trobar una forma per a fer possible la comunicació entre les versions ha estat una de les dificultats més importants d'aquest treball.

VII. APLICACIÓ DE CONTROL PER ORDINADOR

Per a la gestió del sistema s'ha desenvolupat una aplicació de control que a través d'una connexió a l'ordinador personal permeti conèixer l'estat del sistema i interactuar amb els nodes de la xarxa. La Fig. 16 mostra el panell de l'aplicació creat per [2-5] pel control de les locomotores. La pantalla de l'aplicació permet actuar sobre els vehicles indicant el sentit, la velocitat i la posició que han d'ocupar. A més, es disposa d'una pantalla per a marcar rutes automàtiques i una altra per gestionar el mòdul d'accessoris, veure Fig. 17.

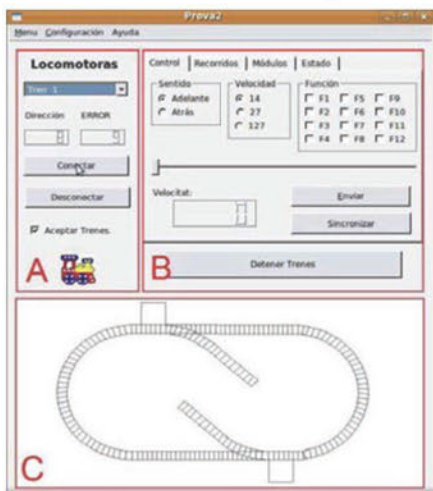


Figura 16. Aspecte panell frontal de l'aplicació

En aquest treball s'ha adaptat la secció d'accessoris per a permetre el control del mòdul implementat. Com es pot veure a la Fig. 17 és possible accionar fins a dos canvis de ruta independentment i fins a quatre accessoris extra amb un control ON/OFF.

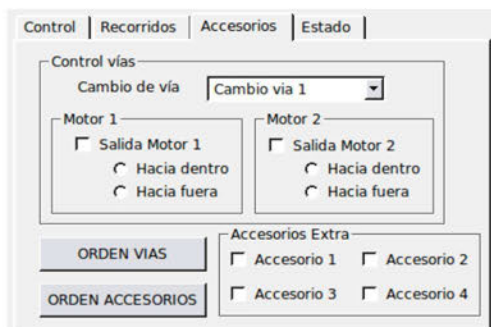


Figura 17. Aspecte final del panell de control del mòdul d'accessoris

VIII. CONCLUSIONS

En aquest treball es mostra el desenvolupament d'un mòdul de gestió d'accessoris per a sistemes de vehicles guiats per rails. Es descriu amb detall l'evolució del sistema i l'estat actual del mateix, així com el disseny i implementació del mòdul *EndDevice/Microchip*. Aquest mòdul és capaç de substituir l'element MX8 de ZIMO i integrar-se en una xarxa de nodes basada en ZigBee. La implementació es basa en un element emissor de Microchip, que usant les especificacions 2006, ha permès l'estudi tant de les seves característiques elèctriques, com de les característiques del protocol. Aquest anàlisi ha permès determinar una possible via de comunicació entre un node Coordinador/Jennic i un node *EndDevice/Microchip*. El treball ha permès la verificació i ampliació de l'estudi realitzat per [7], així com de l'adaptació de l'aplicació de control per admetre els nous tipus de nodes.

El sistema complet ha estat exposat a l'edició 2010 de la Fira de la Ciència organitzada pel Govern de les Illes Balears i ha estat en funcionament continu el tres dies de la Fira mostrant el seu bon comportament enfront d'un ús intensiu.

Com a tasques futures es pretén avançar en l'autonomia dels vehicles i la interacció entre els nodes existents, a més, es preveu l'actualització de la versió del protocol ZigBee a l'edició PRO que es perfila com a definitiva o de llarga durada.

REFERÈNCIES

- [1] <http://www.zimo.at>, consultada el juny 2010.
- [2] Andreu Fiol Salom, "Programa d'aplicació i desenvolupament de les llibreries de control del sistema ZIMO". PFC defensat el Març 2009.
- [3] Andreu Fiol Salom, "Programa d'aplicació i desenvolupament de les llibreries de control del sistema ZIMO", *enginy@eps*, nº 1, 2009. <http://enginy.uib.es>.
- [4] Cristian Carmona Gómez. "Programa d'Aplicació i de control wireless d'un mòbil sobre rails usant ZIMO". PFC defensat el Setembre 2009.
- [5] Rafel Payeras Roig. "Desenvolupament Hardware de control wireless d'un mòbil sobre rails usant ZigBee". PFC defensat el Setembre 2009.
- [6] ZigBee Alliance website: <http://www.zigbee.org/>, consultada el juny 2010.
- [7] M.A. Ribot, B. Alorda. "Estudi de l'energia consumida en xarxes IEEE802.15.4/ZigBee", *enginy@eps*, nº1, 2009. <http://enginy.uib.es>
- [8] Jennic website: <http://www.jennic.com>, consultada el juny 2010.
- [9] Microchip website: <http://www.microchip.com>, consultada el juny 2010.



Javier Oliver Bennassar
Enginyer Tècnic Industrial, especialitat
Electrònica Industrial.
javier_oliver_@hotmail.com

Bartomeu Alorda. Enginyer de Telecomunicacions (UPC, 2000) i Doctor en Física (UIB, 2005). És professor del Departament de Física a la Universitat de les Illes Balears en el grup de recerca de Sistemes Electrònics.

Una Eina Informàtica d'Autoavaluació del Treball Equip en Projectes de Desenvolupament de Software

José Andrés Sánchez Salas

P.F.C. d'Enginyeria en Informàtica
jasanchez85@aol.es

Resum— Aquest article presenta un projecte de final de carrera que ha consistit en la construcció d'una eina software mitjançant un model de desenvolupament incremental i implantant uns determinats processos del cicle de vida del software. Aquesta eina, anomenada SETE (Software de Evaluación del Trabajo en Equipo) permet l'avaluació del treball en equip en empreses de desenvolupament de software i ha estat dissenyada per facilitar el manteniment d'un model d'avaluació del treball en equip, donar suport a un procés d'avaluació i automatitzar la generació de resultats gràfics.

I. ANTECEDENTS

Els desafiaments als que s'enfronten els projectes de desenvolupament de software depenen de l'equilibri entre tres elements ben distints: la tecnologia, els processos i les persones. Aquest projecte de final de carrera focalitza el seu interès en el tercer element, en les persones. L'estudi dels aspectes humans del desenvolupament de software resulta crucial per poder entendre com s'implanten els processos i com s'utilitzen les eines en un projecte de software.

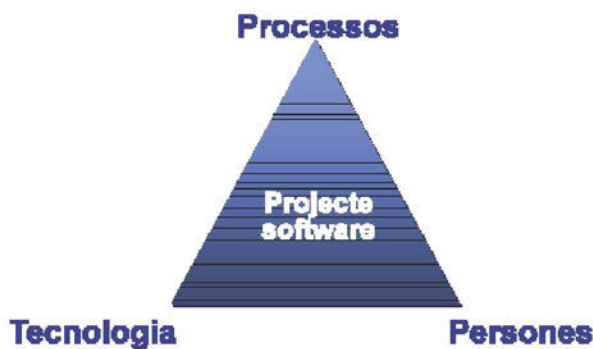


Fig. 1: "The people, process and technology triangle"

Concretament, tenint en compte que l'èxit d'un projecte de software depèn, en gran mesura, de la productivitat dels equips que el duen a terme, aquest projecte de final de carrera se centra en el treball en equip en els projectes de software.

Com a antecedents cal esmentar que, prèviament a aquest projecte, es va desenvolupar un Model d'Avaluació del Treball en Equip [Amen07, Amen09a, Mas08] per a projectes de software. Durant aquest projecte s'ha desenvolupat una eina software que dona suport a aquest model.

Aquest article resumeix la feina feta durant aquest projecte de final de carrera. En primer lloc s'exposen els objectius del projecte. A continuació es resumeixen els diferents models de desenvolupament considerats amb l'objectiu de seleccionar el

model més adequat pel desenvolupament de l'eina, així com els processos del cicle de vida del software implantats. Finalment es presenta la funcionalitat de SETE i es resumeix com s'ha dut a terme el seu desenvolupament.

II. OBJECTIUS

Els objectius plantejats al inici d'aquest projecte final de carrera són els que s'exposen a continuació:

1. Analitzar els models de desenvolupament de software més importants amb l'objectiu de seleccionar el model que resulti més adequat per al desenvolupament de l'eina.
2. Revisar l'estàndard internacional ISO 12207:2008 com a marc comú per als processos del cicle de vida del software [ISO03, ISO04a, ISO04b, ISO04c, ISO06, ISO08]. De tots els processos que aquest estàndard inclou se'n seleccionarà i implantarà un subconjunt adequat per al desenvolupament de l'eina.
3. Desenvolupar l'eina de suport al Model d'Avaluació del Treball en Equip, seguint el model de desenvolupament elegit i implantant el processos del cicle de vida seleccionats.

III. MODEL DE DESENVOLUPAMENT

Per desenvolupar software de qualitat, els enginyers de software han d'utilitzar un model de desenvolupament formal. Segons la natura del projecte a desenvolupar, les característiques de l'aplicació, el mètodes i les eines de les que es disposi, els controls i lliuraments que facin falta, s'utilitzarà un model de desenvolupament o un altre.

Entre els models més complets i més utilitzats [Pres09, Somm10], durant el projecte de final de carrera es varen considerar els que se presenten a continuació.

A. Model seqüencial

És el model tradicional que consisteix en dividir el procés de desenvolupament en un conjunt de etapes o fases seqüencials de tal forma que una etapa no pot començar fins que no hagi finalitzat l'etapa anterior.

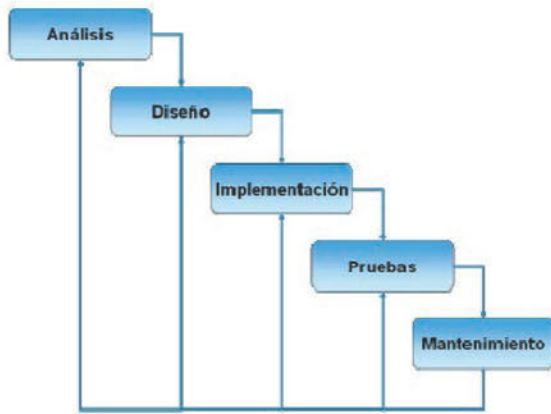


Fig. 2: Model seqüencial

Per poder posar en pràctica aquest model és necessari disposar de tots els requisits explícitament detallats a l'inici del desenvolupament. Per altra banda, té l'inconvenient de ser poc flexible, la qual cosa resulta negativa per als projectes reals on la interactivitat entre les fases del projecte és sempre necessària. En canvi, és un model fàcilment administrable que condueix a sistemes robusts i susceptibles a canvis.

B. Desenvolupament evolutiu

El desenvolupament evolutiu consisteix en desenvolupar una versió inicial, expandir-la i refinar-la fins arribar a disposar d'un sistema adequat i complet. És, per tant, un model iteratiu que permet desenvolupar versions de software cada vegada més completes.



Fig. 3: Desenvolupament evolutiu

Aquest model pot resultar més efectiu que un model seqüencial ja que permet que l'especificació del sistema es vagi refinant de forma creixent. Com a punt feble cal dir que si es fan molt canvis es pot arribar a corrompre l'estructura del software fent que la incorporació d'aquests canvis es converteixi en una tasca difícil i costosa.

C. Desenvolupament incremental

El desenvolupament incremental conté els avantatges dels dos models anteriors: el model seqüencial i el desenvolupament evolutiu. El model incremental consisteix en aplicar seqüències lineals de manera escalonada. Cada seqüència lineal produeix un increment del software i cada un

d'aquests increments augmenta la funcionalitat de l'aplicació que s'està desenvolupant.

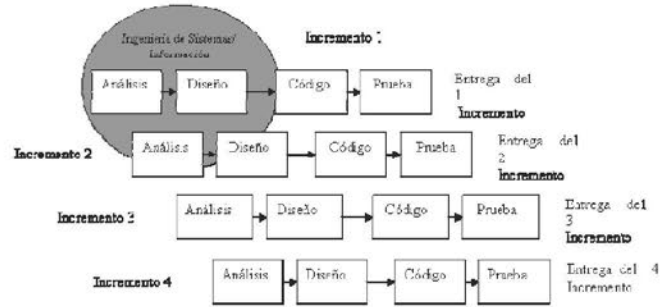


Fig. 4: Desenvolupament incremental

El primer increment esdevé el producte central, és a dir, suporta la funcionalitat dels requisits bàsics de l'aplicació. Aquest primer increment és utilitzat pel client que l'avalua per obtenir els requisits del següent increment, el qual, amplia la funcionalitat de l'increment anterior. Aquest procés es repeteix per a cada increment fins obtenir el producte complet.

L'inconvenient d'aquest model és que els increments han de ser petits i cada un ha d'afegir al menys una funcionalitat. Per això pot ser difícil adaptar els requisits del client a increments de mida adequada.

D. Model en espiral

El model en espiral presenta el procés del software com una espiral (veure Figura 5). Així el cicle més intern pot referir-se a la viabilitat del sistema, el següent cicle a la definició de requeriments del sistema, i així successivament.

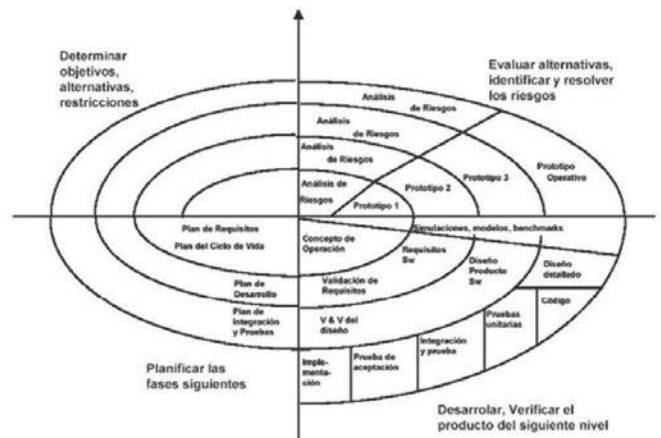


Fig. 5: Model en espiral

La diferència important entre aquest model i els anteriors és la consideració explícita del factor risc. A cada cicle de l'espiral s'avaluen les diferents alternatives per identificar les fonts de risc del projecte.

E. Model Seleccionat

Després de tenir en compte els principals avantatges i inconvenients de cada model considerat, donades les característiques del projecte, es va seleccionar el model incremental ja que es disposava dels requisits bàsics per

realitzar un primer increment. Una vegada realitzat aquest primer increment va ser possible identificar nous requisits que varen permetre la planificació dels següents increments fins completar tota la funcionalitat requerida.

IV. ELS PROCESOS DEL CICLE DE VIDA DEL SOFTWARE SEGONS ISO/IEC 12207:2008

ISO/IEC 12207 es un estàndard internacional que estableix un marc comú per als processos del cicle de vida del software.

Un cicle de vida comença a partir d'una idea o necessitat que pot ser satisfeta completament o parcialment amb el software i finalitza quan aquest software deixa de ser utilitzat.

La darrera versió d'aquesta norma consta de 43 processos. Com que aquest estàndard s'estableix com un model de referència de processos, només és necessari realitzar el subconjunt de processos que s'ajustin a les necessitats particulars de cada projecte. Per a cada procés s'estableix una estructura amb un objectiu, unes sortides, unes activitats i unes tasques a realitzar per obtenir les sortides.

En particular, per a la realització d'aquest projecte es varen seleccionar els 5 processos que s'expliquen a continuació.

1. Procés d'Anàlisi de Requisits d'Usuari

El propòsit d'aquest procés és definir els requisits d'un sistema de forma que pugui proporcionar els serveis que els usuaris necessiten en un entorn definit.

S'identifiquen els usuaris, o classes d'usuaris involucrats amb el sistema durant el seu cicle de vida, les seves necessitats i desitjos. Aquesta informació s'analitza i es deriva un conjunt de requisits d'usuari que expressen les necessitats d'interacció del sistema amb l'entorn. Aquests requisits serveixen de referència per confirmar que el sistema satisfà les necessitats de l'usuari.

2. Procés d'Anàlisi de Requisits de Software

El propòsit d'aquest procés és definir els requisits dels elements software del sistema. Aquest procés especifica a nivell del sistema els requisits d'usuari. Per tant, un mateix requisit d'usuari es pot correspondre amb més d'un requisit de software. Aquesta correspondència es mostra a una matriu de traçabilitat.

3. Procés de Disseny de l'Arquitectura Software

El propòsit d'aquest procés és proveir d'un disseny del software a desenvolupar, que pot ser contrarestat amb els requisits. D'aquest procés sorgeixen els mòduls principals de l'increment que s'estigui desenvolupant i els dissenys inicials d'alt nivell de les pantalles que formaran l'aplicació.

4. Procés de Disseny Detallat del Software

El propòsit d'aquest procés és proveir d'un disseny per al software. Aquest disseny s'ha de basar en l'arquitectura software definida al procés anterior, ha d'implementar els requisits i ha de poder ser verificat front els mateixos. A més, ha de ser suficientment detallat per permetre la codificació i les proves.

5. Procés de Construcció del Software

El propòsit d'aquest procés és produir les unitats de software executable que reflecteixin adequadament el disseny prèviament realitzat. A més, durant aquest procés es realitzen proves unitàries de cada mòdul construït, proves d'implantació i proves d'acceptació per part del client per comprovar que es compleixen les seves necessitats.

V. FUNCIONALITAT DE SETE

L'objectiu principal de SETE és donar suport al Model d'Avaluació del Treball en Equip mencionat als antecedents d'aquest article. Aquest model està format per un model de referència, un conjunt de qüestionaris i un marc de mesura. El model de referència especifica quatre factors clau del treball en equip que són els aspectes que es consideren a l'hora d'avaluar el treball en equip. En base a aquest model, els qüestionaris d'avaluació contenen les preguntes necessàries per avaluar cada factor. Finalment, el marc de mesura defineix una escala que permet valorar quantitativament els factors avaluats.

La funcionalitat que SETE ofereix es pot dividir en dos grans mòduls: un mòdul d'administració i un mòdul d'empresa.

El mòdul d'administració dona suport al Model d'Avaluació del Treball en Equip. Aquest primer mòdul només serà utilitzat per l'usuari administrador que és el responsable del manteniment del model d'avaluació.

Per altra banda, el mòdul d'empresa agrupa totes les funcionalitats relacionades amb la realització d'una autoavaluació del treball en equip en una empresa de desenvolupament de software. Aquest mòdul serà emprat durant una avaluació pel responsable de l'empresa, encarregat de gestionar els equips i les persones que formen la seva empresa, i pels membres dels equips sotmesos a avaluació, que només podran accedir a l'eina per contestar els qüestionaris d'avaluació.

VI. DESENVOLUPAMENT DE SETE

Amb l'objectiu de desenvolupar de manera incremental els dos mòduls que formen part de l'eina es va planificar la realització de tres increments distints que es detallen a continuació.

A. Primer increment

Degut a que a l'inici del desenvolupament de SETE es disposava d'un conjunt detallat de requisits que especificaven una part important de les funcions que l'eina havia de suportar, es va decidir considerar aquest subconjunt de requisits com a punt de partida pel desenvolupament del primer increment amb les funcions associades a la gestió del Model d'Avaluació del Treball en Equip. Aquestes funcions formen part del mòdul d'administració denominat *SETE_Adm*.

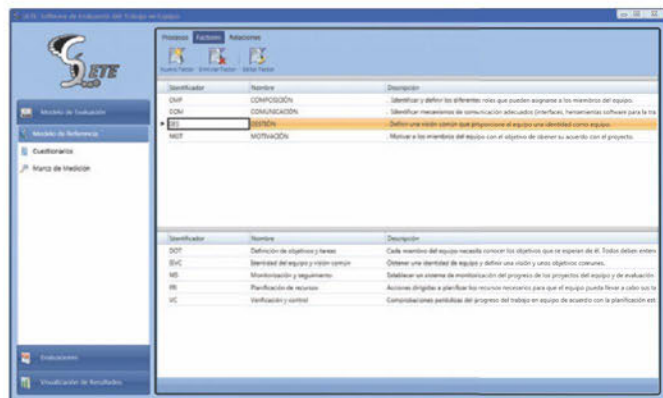


Fig. 6: Finestra de SETE_Adm

B. Segon increment

Una vegada avaluada la funcionalitat del primer increment i corregits els possibles defectes, es va iniciar el desenvolupament del segon increment.

Aquest segon increment va suposar l'ampliació del mòdul SETE_Adm per incloure la funcionalitat associada a la gestió d'empreses i avaluacions. A més, es va iniciar el desenvolupament del mòdul d'empresa de SETE, denominat SETE_Emp, que va incloure les funcions de gestió d'equips, gestió de persones, així com la consulta i tancament d'avaluacions.

C. Tercer increment

Finalment, el darrer increment planificat va incloure les funcions associades a la generació i visualització dels gràfics que SETE proporciona per facilitar la comprensió dels resultats obtinguts en una avaluació. Aquests resultats es corresponen amb resultats individuals d'avaluacions i comparatius de varies avaluacions.

Aquest increment va suposar l'ampliació dels dos mòduls principals: SETE_Adm i SETE_Emp.

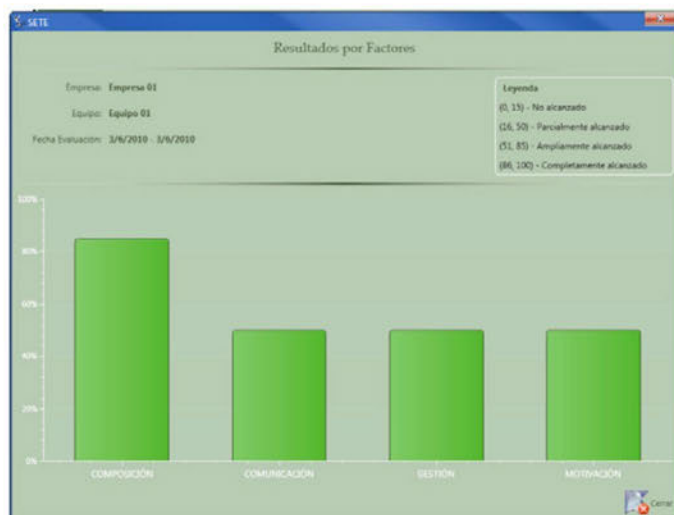


Fig. 7: Finestra de resultats de SETE_Emp

VII. CONCLUSIONS

L'objectiu principal del projecte de final de carrera presentat en aquest article ha estat construir una eina software d'autoavaluació del treball en equip per a projectes de software, seguint un model de desenvolupament adequat i implantant un subconjunt rellevant de processos del cicle de vida del software. Per tal de complir amb aquest objectiu s'han realitzat les tasques que es resumeixen a continuació:

1. S'han analitzat els models de desenvolupament de software més importants per seleccionar el model més adequat en el cas particular del desenvolupament d'aquesta eina. Aquesta anàlisi m'ha permès dur a la pràctica els coneixements teòrics adquirits durant la carrera.
2. S'ha estudiat l'estàndard internacional ISO/IEC 12207 com a marc comú dels processos del cicle de vida del software. Com a resultat d'aquest estudi he pogut interpretar els 43 processos que formen aquest estàndard i posar en pràctica els 5 processos elegits durant cada un dels increments duts a terme. En aquest punt és important remarcar que l'elecció del model incremental ha estat encertada ja que, una vegada realitzat el primer increment partint dels requisits coneguts, les funcionalitats dels increments següents han estat més fàcil de definir. A més, aquest model de desenvolupament també ha permès disposar d'una primera versió funcional en un espai curt de temps.

Respecte a l'entorn de desenvolupament es va escollir el llenguatge C# de .NET i la tecnologia WPF per realitzar la capa visual de l'aplicació [Katr08, Mac08]. Aquesta elecció es va fer amb la intenció de disposar d'una eina adaptada a les noves tecnologies. Ha estat una bona elecció perquè m'ha permès aprofundir en el llenguatge de programació que, penso, serà de molta utilitat pel meu futur professional.

Encara que l'eina desenvolupada encara no ha estat utilitzada en empreses, s'espera la seva utilització en breu en futures avaluacions d'equips de desenvolupament de software. La disponibilitat d'aquesta eina facilitarà la realització dels qüestionaris, el càlcul de resultats i la comparació entre avaluacions.

Per altra banda, donat que l'eina ha estat dissenyada tenint en compte la variabilitat del model d'avaluació al que dona suport, pot ser fàcilment adaptada per gestionar models d'avaluació distints. En aquest sentit, bona part de les funcions dissenyades i implementades en el cas particular de SETE es poden reutilitzar per desenvolupar altres eines d'avaluació.

REFERÈNCIES

- [Amen07] Amengual, E.; Mas, A. "Software Process Improvement Through Teamwork Management". *Proceedings of the Product-Focused Software Process Improvement (PROFES)*, Julio 2007, pp. 108-117.
- [Amen09a] Amengual, E.; Mas, A. "Teamwork Best Practices in ISO/IEC 15504". *Proceedings of the 9th Software Process Improvement and Capability Determination Conference (SPICE)*, Mayo 2009, pp. 106-112.
- [Amen09b] Amengual, E.; Mas, A. "Can teamwork management help in software quality and process improvement?" *UPGRADE The European Journal for the Informatics Professional* 5: 26-33, 2009.
- [ISO03] ISO/IEC 15504-2: 2003. *Software Engineering – Process assessment – Part 2: Performing an assessment*. International Organization for Standardization, 2003.
- [ISO04a] ISO/IEC 15504-1:2004. *Information Technology – Process Assessment – Part 1: Concepts and Vocabulary*. International Organization for Standardization, 2004.
- [ISO04b] ISO/IEC 15504-3:2004. *Information Technology – Process Assessment – Part 3: Guidance on performing an assessment*. International Organization for Standardization, 2004.
- [ISO04c] ISO/IEC 15504-4:2004. *Information Technology – Process Assessment – Part 4: Guidance on use for process improvement and process capability determination*. International Organization for Standardization, 2004.
- [ISO06] ISO/IEC 15504-5: 2006. *Information Technology – Process Assessment – Part 5: An exemplar Process Assessment Model*. International Organization for Standardization, 2006.
- [ISO08] ISO/IEC 12207: 2008. *Systems and software engineering – Software life cycle processes*. International Organization for Standardization, 2008.
- [Katr08] Katrib, M. et al. *Visual Estudio 2008. Desafía todos los retos*. Netalia, 2008.
- [Mac08] MacDonald, M. *Pro WPF in C# 2008: Windows Presentation Foundation with .Net 3.5, Second Edition*, Springer-Verlag, 2008.
- [Mas08] Mas, A.; Amengual, E. "Using ISO/IEC 15504 to Validate a Set of Teamwork Factors". *Industrial Proceedings of the European Software Process Improvement Conference (EuroSPI)*, Septiembre 2008.
- [Somm10] Sommerville, I.; *Software Engineering (9th Edition)*. Addison Wesley, 2010.
- [Pres09] Pressman, R.; *Software Engineering: A Practitioners's Approach (7th Edition)* McGraw-Hill, 2009.

José Andrés Sánchez Salas. Enginyer en Informàtica per la Universitat de les Illes Balears (juny del 2010). Actualment treballa de programador junior a l'empresa Indra Sistemas.

Esperança Amengual Alcover. Doctora en Informàtica per la Universitat de les Illes Balears. Directora d'aquest projecte de final de carrera. Pertany al grup de recerca en Millora de Processos de Software (MiProSoft). Les seves principals línies de recerca se centren en el camp de la millora dels processos de software, el treball en equip en projectes de desenvolupament de software i la gestió de serveis.