

ICTINEU^{AUV}, un Robot per a Competir

E. Hernández, P. Ridao, M. Carreras, D. Ribas, N. Palomeras, A. El-fakdi, F. Chung,
T. Almohaya, X. Ribas, G. García de Marina, J. Massich, N. Hurtós
emilihb@eia.udg.es
Institut d'Informàtica i Aplicacions, Universitat de Girona

Abstract. SAUC-E (*Student Autonomous Underwater Challenge - Europe*) és la primera competició en robòtica submarina per a estudiants que es dur a terme a Europa. Inspirada en les competicions americanes, per a competir en el SAUC-E, un grup d'estudiants han de dissenyar i construir un robot capaç de dur a terme una missió predefinida per l'organització, de forma totalment autònoma. Un grup d'estudiants i professors de la UdG hem decidit afrontar aquest repte construint el robot ICTINEU^{AUV}. Aquest robot, aprofitarà eines de maquinari i programari desenvolupades els darrers anys en el nostre laboratori. Aquest article, presenta el robot que estem desenvolupant i presenta resultats preliminars (simulació en temps real) de la seva arquitectura de control, mostrant la viabilitat de la proposta.

Keywords: Robòtica

1. Introducció

Des del 1990 l'AUVSI¹ [1] incentiva a estudiants que dissenyin, construeixin i desenvolupin sistemes autònoms per tal d'introduir a les futures generacions d'enginyers i científics en aquests tipus de sistemes. Per aquest motiu, l'AUVSI ha creat quatre tipus diferents de competicions. Les missions i requeriments de cada competició varien, no obstant, en tots els casos els vehicles han de ser completament autònoms.

Inspirada en les competicions de robots submarins autònoms (AUV's) del AUVSI, el DSTL (*Defence Science and Technology Lab*), la universitat *Heriot Watt* i el *National Oceanographic Centre of Southampton* han creat la competició SAUC-E [5]. Es tracta d'una competició entre estudiants a nivell europeu per fomentar la investigació i desenvolupament en tecnologia submarina. En aquesta primera edició hi participen deu equips. El passat mes de gener, el nostre equip va decidir prendre part en aquest repte convertint-se en l'únic equip de l'estat que hi participa. Per a fer-ho, hem dissenyat un nou AUV que aprofitarà un seguit d'eines sobre les quals el nostre laboratori ha estat fent recerca els últims anys. Aquest nou robot ha estat batejat com a ICTINEU^{AUV} en honor al primer submarí Espanyol dissenyat i desenvolupat per Narcís Monturiol. ICTINEU^{AUV} compartirà amb la resta de robots desenvolupats en el nostre laboratori (URIS, GARBI^{AUV})

¹ Association for Unmanned Vehicle Systems International.

l'arquitectura de control O²CA² i el simulador *hardware in the loop* NEPTUNE.. Donat el curt espai de temps disponible pel projecte, s'ha decidit solapar en el temps el desenvolupament del maquinari del robot i el desenvolupament del programari. Aquest article presenta l'estat actual del robot, així com el programari intel·ligent que el guiarà. Donat que el robot no està encara disponible, aquest programari s'ha testejat sobre el simulador NEPTUNE [3] utilitzant el model del robot GARBI^{AUV} [4].

L'article està estructurat de la següent manera: Després de la introducció, al segon apartat, es presenta la competició del SAUC-E. En el punt 3, es mostra el vehicle desenvolupat. El punt 4 mostra l'arquitectura de control O²CA². L'apartat 5 descriu la simulació de la missió. L'apartat 6 mostra els resultats obtinguts. Finalment, al punt 7 s'exposen les conclusions.

2. Competició SAUC-E

SAUC-E és una competició d'estudiants. Així doncs, els equips poden estar formats per estudiants de tots els cicles (inclosos estudiants de doctorat) i alguns professors o membres de la industrial que actuen com a tutors. La composició és d'un 75% d'estudiants i un 25% de professors. Seguidament es presenten les especificacions del prototips i la descripció de la missió a dur a terme.

2.1. Especificacions dels AUV participants

Hi ha tot una sèrie d'especificacions que els vehicles ha de complir per a poder participar a la competició. Els més significatius són:

- Cada equip només pot utilitzar un AUV a la competició.
- Les tasques de la missió s'han de realitzar de forma autònoma i no es permet cap mena de comunicació externa al vehicle durant el transcurs de la missió.
- Les dimensions màximes del vehicle són 2 metres de longitud per 1 metre d'altura per un metre de profunditat.
- Si el vehicle pesa més de 70 Kg serà desqualificat, i a partir de 50 Kg serà penalitzat.
- No es permet la utilització de materials químics dins la piscina.
- Els vehicles han de disposar d'un interruptor que ha de desconnectar les bateries de la resta de components electrònics de l'AUV.

2.2. Descripció de la missió del SAUC-E

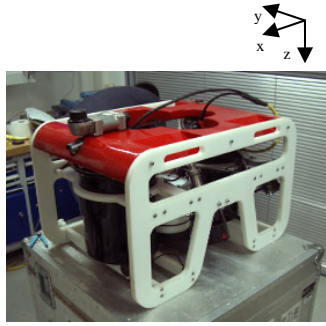
La missió consta de quatre proves a realitzar en 15 minuts. Les proves es poden realitzar en qualsevol ordre, exceptuant la prova n° 1 que obligatòriament s'ha de fer en primer lloc. Les proves són les següents (Figura 5):

1. Des del punt de llançament, avançar i passar a través d'un portal enfonsat.
2. Localitzar visualment un objectiu al fons de la piscina i deixar anar un marcador el més a prop possible.

3. Localitzar un objectiu a mitja profunditat i investir-lo amb el vehicle. L'objectiu es pot detectar tant visualment com acústica.
4. Localitzar el punt de sortida (marcat acústicament) i emergir dins la zona establerta.

3. ICTINEU^{AUV}

ICTINEU^{AUV} ha estat dissenyat amb una arquitectura clàssica de tipus *open frame* que facilita la seva construcció i manteniment. El robot disposa de quatre propulsors, dos horitzontals per a la direcció (moviment en l'eix x i rotació al voltant de l'eix z), i dos verticals orientats en forma de V invertida que el permeten moure verticalment (eix z) i transversal (eix y). Per construcció, el centre de gravetat està més baix que el centre de flotabilitat, assegurant una estabilitat passiva de les rotacions respecte els eixos x i y. Dos cilindres estancs acomoden l'electrònica i les bateries. El sistema informàtic està basat en dos ordinadors connectats a través d'una xarxa *Ethernet*. El primer ordinador està dedicat bàsicament a albergar el sistema de control, mentre el segon s'encarrega principalment dels sistemes de visió visuals i acústics. El sistema operatiu utilitzat és la distribució Gentoo de Linux i està previst incorporar el *patch* de RTAI [6]. Donat que l'arquitectura de control és en essència una aplicació distribuïda, s'ha escollit el *middleware* ACE/TAO [7] per a la seva implementació. ACE/TAO és una implementació lliure de l'estàndard CORBA-RT, que permet construir l'arquitectura de control com un conjunt d'objectes distribuïts que donen accés a tots els components del robot. Entre aquests components, es troben els sistemes sensorials a bord: un *Miniking Imaging Sonar*, un *Argonaut DVL*, una INS *MTi* de *XSens Technologies* i una càmera submarina. La (Figura 1) resumeix les principals característiques del prototip.



ICTINEU ^{AUV}	
Dimensions	74 x 47 x 53 cm
Pes en sec	≅ 50 Kg
Umbilical	<i>Ethernet</i> , alimentació
Graus de Llibertat	4 (<i>Surge, Sway, Heave, Yaw</i>)
Maquinari	PC-104 / Via C3 @ 1Gz
Programari	GNU/Linux + RTAI; CORBA-RT ACE-TAO
Sensors	<i>Miniking Imaging Sonar</i> ; <i>Argonaut DVL</i> ; INS <i>MTi</i> de <i>XSens Technologies</i> ; càmera submarina

Figura 1. Model 3D del robot ICTINEU^{AUV}. Característiques principals.

4. L'arquitectura de Control O²CA²

L'arquitectura de control és la responsable de guiar el robot de forma autònoma durant la missió per assolir els objectius. O²CA² (Figura 2), és una arquitectura de control híbrida

organitzada en tres mòduls: (1) Mòdul de interfície amb el robot, (2) Mòdul de percepció i (3) Mòdul de Control; que es descriuen en els següents apartats.

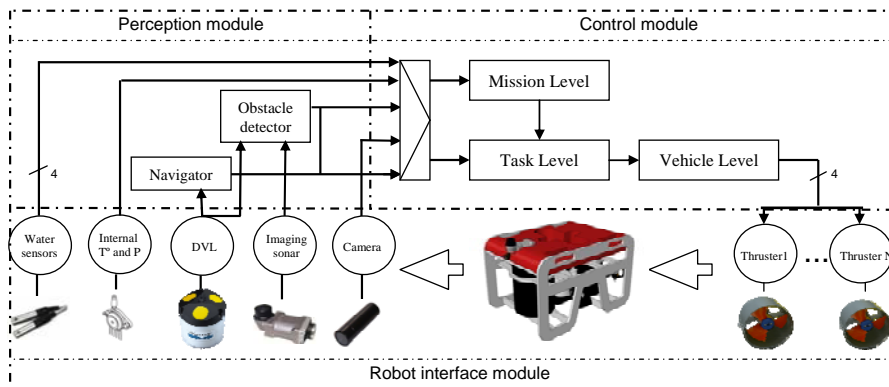


Figura 2. Arquitectura software.

4.1. Mòdul d'interfície amb el robot

Aquest mòdul conté objectes *software* associats als sensors i als actuadors que formen part del robot. El seu objectiu és proporcionar una interfície clara, simple i distribuïda, que permeti que qualsevol altre component de l'arquitectura hi pugui accedir. Es tracta d'un mòdul dependent de robot en el sentit que hi ha un objecte *soft* per cada component físic del robot. No obstant, en el cas que un sensor físic és migri d'un robot a un altre, és molt fàcil migrar l'objecte associat donat que aquests són fàcils de parametritzar.

4.2. Mòdul de percepció

El mòdul de percepció implementa components (o submòduls) que, utilitzant les mesures proporcionades pels sensors del mòdul d'interfície amb el robot, les interpreten proporcionant dades més fiables que són del interès d'altres components de l'arquitectura. El principals components són:

- **El navegador** és el mòdul responsable de la localització del robot dintre de la piscina. L'ICTINEU^{AUV} utilitzarà un algoritme de localització en un entorn conegut basat en un EKF on l'estat del robot ve definit per la posició i la velocitat. Aquest filtre s'actualitza amb mesures de velocitat i orientació provinents del DVL i de la unitat INS, així com pels ecos de les parets detectades pel *imaging sonar*.
- **El detector d'obstacles**, és el responsable de detectar objectes i parets al voltant del robot, utilitzant el sonar, per tal d'evitar col·lisions.
- **El seguidor d'objectes** utilitza la videocàmera del robot per tal de detectar objectius que cal localitzar i/o seguir.

4.3. Mòdul de control

És un mòdul híbrid (deliberatiu-reactiu) organitzat jeràrquicament en tres nivells (Figures 2 i 3), un encarregat del control de velocitat del vehicle (Nivell vehicle), un altre encarregat del guiatge (nivell tasca) i un encarregat del control de missió (nivell missió).

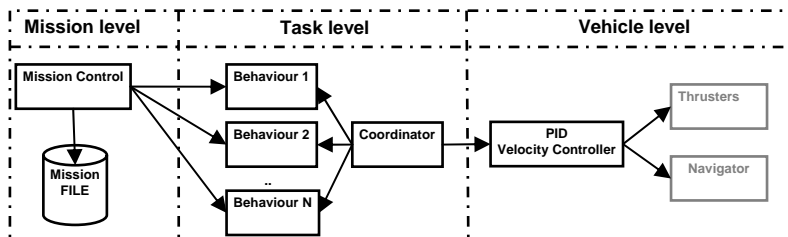


Figura 3. Arquitectura de control.

4.3.1. Nivell vehicle

S'encarrega del control dinàmic del robot en forma de control de velocitat. Aquest controlador rep una consigna del coordinador del nivell superior (velocitat desitjada), així com mesures de velocitat del mòdul navegador (velocitat actual). Llavors, utilitza una llei de control (un PID de quatre graus de llibertat) per a calcular les consignes de velocitat de rotació que els propulsors hauran de seguir per aconseguir la velocitat desitjada pel robot.

4.3.2. Nivell de tasca

S'encarrega del control de les variables cinemàtiques del robot en funció dels objectius actuals. Aquest nivell s'estructura segons la forma clàssica d'una arquitectura de comportaments: varis comportaments executant-se en paral·lel, coordinats per un coordinador que combina les respostes individuals per generar-ne una resposta "global" (emergent) que s'envia al controlador del nivell vehicle. Un comportament qualsevol β_k té associat:

- **Un conjunt de paràmetres** $P_k=[p_i, t]_k$, on p_i és la prioritat del comportament que fixa la seva importància respecte a la resta de comportaments i t és un *timeout* que fixa el temps màxim que es dedicarà a que aquest comportament aconsegueixi el seu objectiu.
- **Una entrada** que prové del mòdul de percepció
- **Un vector resposta** $R_k=[(u,v,w,q), a, p, b]_k$ on $u \in [-1,1]$, $v \in [-1,1]$, $w \in [-1,1]$, $q \in [-1,1]$ són les consignes normalitzades de velocitat pels quatre GdL, $a \in [0,1]$ és un nivell d'activació que indica la importància que té per al comportament agafar el control total del robot, $p \in [0, 9999]$ és la prioritat relativa d'aquest comportament respecte la resta i b és un booleà que indica al control de missió la finalització del comportament (per assoliment d'objectiu, o per exhaurir el temps assignat).

El coordinador combina les respostes dels diferents comportaments actius i retorna un vector de velocitats normalitzades per a cada GdLl del robot seguint el procediment mostrat a la Figura 4.

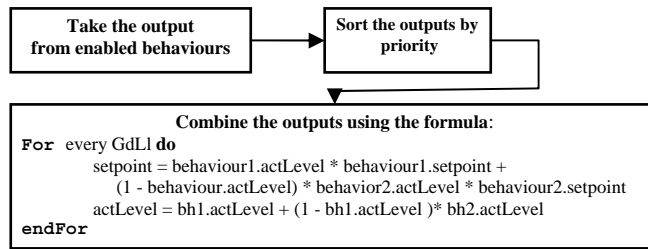


Figura 4. Esquema del coordinador.

4.3.3. Nivell de missió

El sistema basat en comportaments del nivell tasca, determina els moviments del robot en cada situació. Aquests han d'estar governats per un sistema autònom capaç d'activar-los/desactivar-los i reconfigurar-los. El controlador de missió utilitza una xarxa de Petri [2] que permet controlar l'evolució de la missió activant/desactivant i/o re-parametritzant els comportaments adequats.

5. Simulació de la missió

Encara que el robot ICTINEU^{AUV} es troba actualment en desenvolupament, la missió ja ha estat programada sobre l'arquitectura de control. A Partir d'una sèrie de simplificacions ha estat possible programar versions simples dels comportaments

5.1. Simulador NEPTUNE

NEPTUNE [3] és un simulador gràfic (Figura 5) en temps real desenvolupat al nostre laboratori. Externament, el món virtual està basat en dos components: (1) un fitxer VRML que conté la topografia de l'escena i (2) un conjunt d'objectes virtuals també definits amb VRML. Internament, la topografia de l'escena és convertida en un plànol batimètric, i els objectes són considerats esferes amb un radi d'acció particular. Aquest model, conjuntament amb un model de sonar de flux cònic, permet a través d'un mètode geomètric simple i ràpid la detecció de col·lisions. NEPTUNE està pensat per ser un simulador multi vehicle. Cada robot es defineix mitjançant 3 fitxers: (1) un arxiu VRML que conté la geometria del robot, (2) un fitxer que conté els coeficients hidrodinàmics del robot i els motors, i (3) un fitxer que enllaça els dos anteriors i incorpora a més de la posició del robot dins el món i la definició dels sensors utilitzats (sonar, càmeres, GPS, DVL...). NEPTUNE s'enllaça amb l'arquitectura de control a través de objectes distribuïts amb una interfície que

permet llegir la posició, la velocitat i l'acceleració dels robots, així com les corresponents lectures dels sensors simulats.

5.2. Implementació

Tan la missió real com la simulada (Figura 5) tenen lloc en una piscina amb un tamany de 20x10x6 metres de profunditat. Degut a que l'objectiu d'aquesta simulació és verificar l'arquitectura de control, la missió del SAUC-E i els comportaments que es requereixen per dur-la a terme s'han simplificat assumint que es coneixen les posicions de la porta de validació, de la zona de recuperació del vehicle i les profunditats dels dos objectius (no la posició).

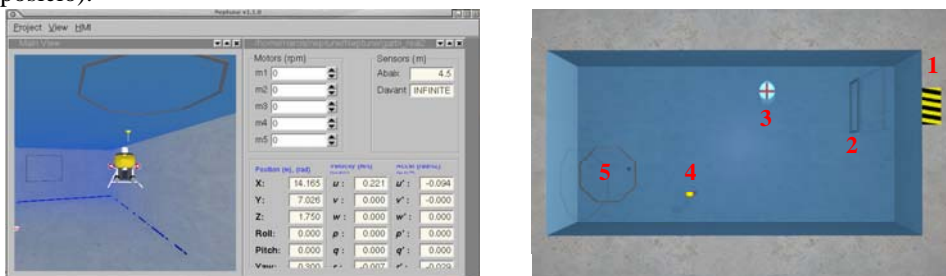


Figura 5. (Esquerra) Captura del simulador NEPTUNE. (Dreta) Missió del SAUC-E: (1) Launch point, (2) Validation gate, (3) Target 1, (4) Target 2, (5) Surface zone

5.2.1. Llibreria de comportaments

Per dur a terme la missió s'han implementat quatre comportaments:

1. *KeepDepth*(profunditat, prioritat, timeOut): Manté una profunditat constant.
2. *MoveTo2D*(X, Y , prioritat, timeOut): Mou el vehicle a un punt 2D determinat.
3. *LanmowerMove*(X_b, Y_b, X_f, Y_f , angle, prioritat, timeOut): Mou el vehicle en zigzaga.
4. *FindTarget*(X_b, Y_b , distanciaContacte, prioritat, timeOut): Mou el vehicle a la posició d'un target. Només s'activa quan el vehicle es troba molt a prop del target.

5.2.2. Control de Misió

Per implementar el controlador de la missió s'ha de definir una xarxa de Petri amb la seqüència dels comportaments, els paràmetres de cada comportament i els estats inicial i final de la xarxa. A la Figura 6 es mostra la xarxa de Petri corresponent a la missió del SAUC-E.

Cada cercle representa un comportament. Es poden donar tres casos en quan a nombre de comportaments activats:

Un sol comportament: el *KeepDepth*. Aquest intenta arribar a la profunditat especificada per trobar l'objectiu, passar a través del portal o emergir.

- **Dos comportaments:** *KeepDepth* i *MoveTo2D*, cooperen per arribar a un punt 2D determinat mantenint la profunditat. El comportament *KeepDepth* genera una resposta en el GdLl Z i *MoveTo2D* genera la resposta en X i Yaw. Així doncs, el coordinador pren les dues sortides i les combinarà sense modificar les consignes de velocitat.
- **Tres comportaments:** *KeepDepth*, *LawnmowerMove*, i *FindTarget* fan que el robot es mogui a una profunditat determinada per la piscina buscant els objectius. Tant *LawnmowerMove* com *FindTarget* donen respostes en els GdLl X i Yaw. *FindTarget* té una prioritat més alta que el *LawnmowerMove*, però només està actiu quan el robot és a prop del target. Per aquest motiu, el coordinador pren les respostes del *FindTarget* i del *KeepDepth* quan el vehicle és troba a prop del objectius i les respostes de *LawnmowerMove* i *KeepDepth* quan es troba lluny.

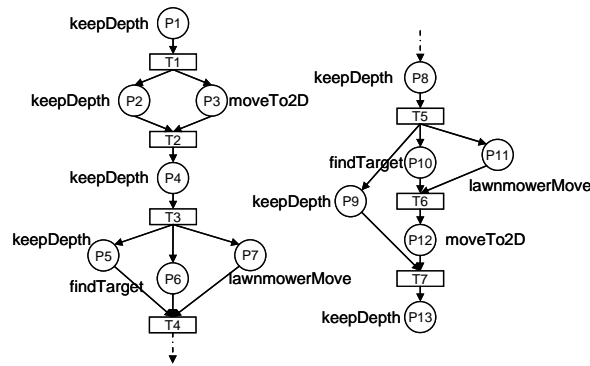


Figura 6. Xarxa de Petri utilitzada a la missió del SAUC-E.

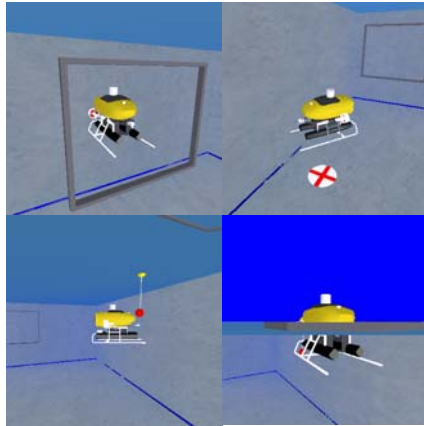
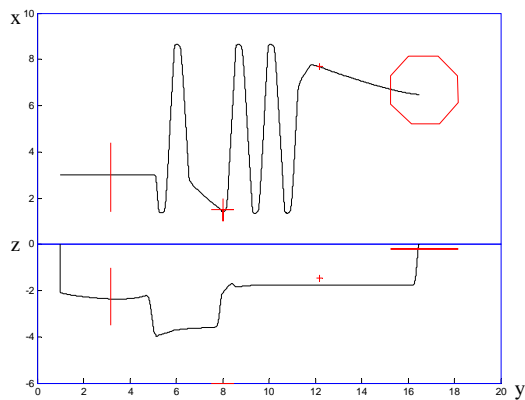


Figura 7. (Esquerra) Trajectòria simulada. (Dreta) Captures del NEPTUNE: a) Passant el portal, b) Arribant al target1, c) Arribant al target 2, d) Emergint a superfície.

6. Resultats

Per tal de simular la missió del SAUC-E, s'ha implementat i integrat els quatre comportaments així com el controlador de missió dins l'arquitectura O²CA². Per la preparació del SAUC-E s'ha simulat la missió utilitzant el simulador NEPTUNE. El model dinàmic utilitzat per a la simulació ha estat el d'en GARBI [4]. La simulació dura 5' i 45'' (menys dels 15 disponibles a la competició) s'ha realitzat en temps real i ha finalitzat amb èxit. Les Figura 7 mostren la trajectòria obtinguda i algunes captures de pantalla del NEPTUNE. La simulació mostra la robustesa, el bon rendiment i la senzillesa del sistema proposat.

7. Conclusions

Aquest article presenta el treball desenvolupat per a participar al SAUC-E. Per una banda es presenta l'estat de construcció de l'AUV. Per una altra es presenta una arquitectura de control capaç de dur a terme missions predefinides amb un robot submarí. L'arquitectura s'ha centrat en el disseny d'un controlador de missió que interacciona amb un controlador de tasques basat en comportaments. S'ha utilitzat una xarxa de Petri per al control de missió, ja que permet determinar els comportaments que s'han de mantenir habilitats segons la fase de la missió. L'article en detalla els aspectes de la implementació i mostra resultats simulats sobre la missió de la competició SAUC-E. Els resultats obtinguts fan preveure efectivitat en els experiments reals. El treball futur consisteix en enllestir l'ICTINEU^{AUV} i preparar algorismes de percepció per testejar el controlador de missió en una missió del SAUC-E més complerta.

Agraïments

Aquesta recerca ha estat finançada pel Govern Espanyol (DPI2005-09001-C03-01). També volem agrair molt especialment la col·laboració dels nostres patrocinadors: l'Associació Catalana d'Intel·ligència Artificial, l'Escola Politècnica Superior, XSens, E. Ribas, GRN, Automar, el Col·legi d'Enginyers Tècnics Industrials de Girona, Oxiter, EuroTech, Girosacme Olot, la Diputació de Girona, el Patronat EPS i el Consell Social de la UdG pel seu suport.

Referències

- [1]. Pàgina web AUVSI: <http://www.auvsi.org/>
- [2]. Narcís Palomeras, Pere Ridao, Marc Carreras, Emili Hernàndez. "Design of a Mission Controller for an Autonomous Underwater Robot". WAF 2006.
- [3]. Pere Ridao, Marc Carreras, David Ribas, Andres El-Fakdi, "Graphic simulator for AUV development". First International Symposium on Control, Communications and Signal Processing. 2004.

- [4]. Pere Ridao, Joan Battle, Marc Carreras, "Model identification of a low-speed UUV with on-board sensors". IFAC conference CAMS'2001, Control Applications in Marine Systems.
- [5]. Pàgina web SAUC-E: http://www.dstl.gov.uk/technology_transfer/sauce/
- [6]. Pàgina web RTAI: <http://www.rtai.org>
- [7]. Object Computing Inc.: "TAO Developer's Guide"., 2003.