

## Treball final de grau

**Estudi: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**Títol: Integració de timons en el robot SPARUS II pel control en cinc graus de llibertat**

**Document:** Resum

**Alumne:** Èric Pairet Artau

**Tutor:** Marc Carreras Pérez

**Departament:** Arquitectura i Tecnologia de Computadors

**Àrea:** Arquitectura i Tecnologia de Computadors

**Convocatòria (mes/any):** setembre/2015

## ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ .....	2
2. HARDWARE, PROTOCOL DE COMUNICACIÓ I FIRMWARE .....	4
3. MODELITZACIÓ I CONTROL .....	6
4. CONCLUSIONS .....	8

## 1. INTRODUCCIÓ

El CIRS és un grup de recerca que pertany a l'institut VICROB de la UdG que es dedica a la investigació en el camp de la robòtica submarina. Un dels robots autònoms dels que disposa és l'SPARUS II, el qual abans de la realització d'aquest projecte encara es trobava en fase de desenvolupament.

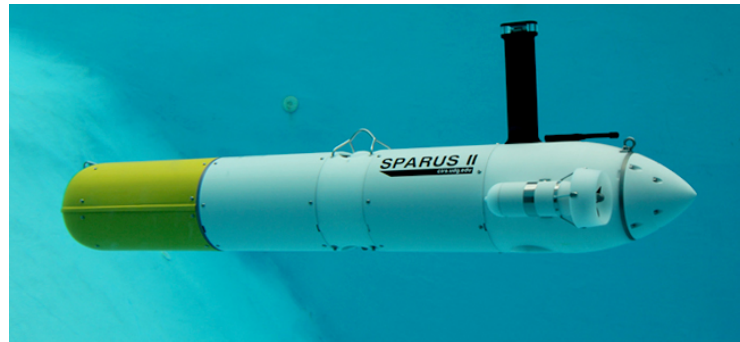


Figura 1. L'SPARUS II abans del present projecte

Aquest vehicle submarí es va dissenyar per ser hidrodinàmicament eficient, reconfigurable segons les necessitats de cada tasca i amb una gran autonomia a partir de les seves bateries de lithium-ion. També es va pensar que podria assolir satisfactòriament la velocitat de 2 m/s, especificació que no s'havia complert amb els tres graus de llibertat o DOFs dels que disposava, el surge, el heave i el yaw; quan superava la velocitat de 0,5 m/s el robot s'orientava incontroladament amb pitch i impossibilitava mantenir una profunditat constant.

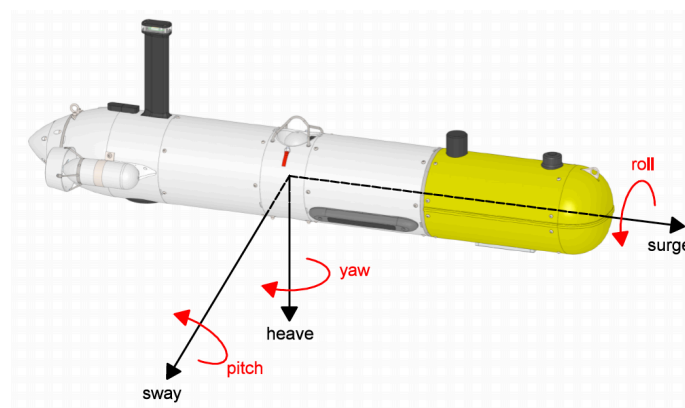


Figura 2. Eixos del robot SPARUS II

L'objecte del present projecte és integrar electrònicament i a nivell de software els dos timons de profunditat a la part posterior del vehicle, els quals es poden veure a la Figura 3,

tot proporcionant al robot el control de dos DOFs addicionals, el pitch i el roll. Amb aquests actuadors es preveu solucionar el problema exposat anteriorment i assolir satisfactòriament les característiques de disseny del robot, a més de millorar el rendiment global del mateix.

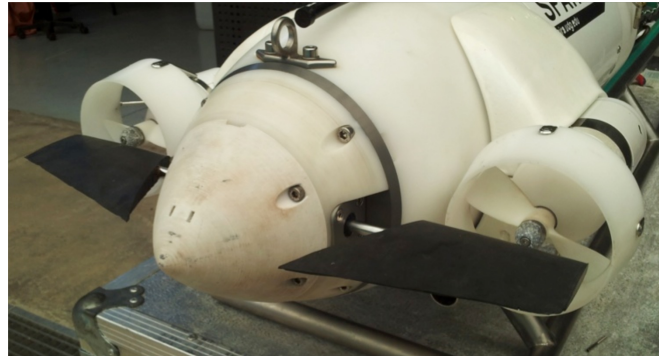


Figura 3. De color negre, els timons de profunditat de l'SPARUS II

L'abast d'aquest projecte cobreix el disseny, muntatge, programació i instal·lació d'una placa electrònica que interpreti les consignes provinents de l'ordinador central del robot i que posicioni els dos timons de profunditat segons les consignes rebudes. Aquesta placa també interpretarà valors de calibratge per cada una de les pales i informarà de la presència d'aigua dins el compartiment on s'ubiquen els seus actuadors mecànics.

Les dues interfícies es comunicaran a partir d'un bus RS-485 ja existent, en el qual hi ha els tres motors del robot connectats. Per a tot això es definirà un protocol de comunicació comú que no interfereixi amb el funcionament normal dels altres actuadors. Per a gestionar tota la comunicació sèrie es programarà un codi en C++ dins del sistema operatiu ROS i integrat a l'arquitectura COLA<sup>2</sup>, el qual tècnicament s'anomena driver.

Per a conferir a l'SPARUS II d'un control de cinc DOFs capaç d'assolir les especificacions de disseny serà molt important modelitzar meticulosament els actuadors. Tanmateix, es remodelarà el sistema de control del surge, heave i yaw. Pels dos nous DOFs, es dissenyarà i implementarà una estructura que s'integri totalment amb el robot i el control d'alt nivell existent a l'arquitectura COLA<sup>2</sup>.

Al llarg del projecte es duran a terme assaigs tant a les instal·lacions del CIRS com en el mar amb la finalitat de comprovar l'electrònica i la seva integració amb el robot, ajustar el sistema de control i, finalment, demostrar la funcionalitat del conjunt amb l'assoliment de l'objectiu principal del present projecte.

## 2. HARDWARE, PROTOCOL DE COMUNICACIÓ I FIRMWARE

Per a moure les dues aletes del timó de profunditat de l'SPARUS II s'ha escollit fer-ho amb servomotors, ja que són uns actuadors lleugers i de reduïdes dimensions que cobreixen les necessitats establertes segons l'estudi teòric realitzat prèviament al seu dimensionament. El control d'aquests actuadors es realitza a través d'un senyal PWM.

Respecte la detecció d'aigua, s'ha optat per situar dues parts conductores aïllades entre elles dins de la cavitat on s'allotgen els servomotors. En cas que entri un fluid dins d'aquest mòdul, les dues parts entraran elèctricament en conducció, el qual amb l'electrònica adient és possible identificar-ho com a una intrusió d'aigua.

Les necessitats derivades dels dos servomotors i del sensor d'aigua s'han hagut d'integrar amb els recursos dels que disposa el robot, pel que s'ha dissenyat i fabricat la placa micrcontrolada que es mostra a continuació. Aquesta permetrà a l'ordinador central del robot posicionar individualment cada un dels timons i informar-se sobre l'existència d'aigua.

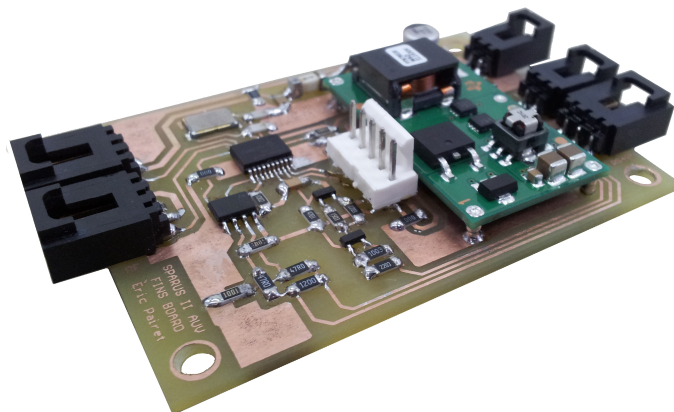


Figura 4. Placa electrònica dels timons de profunditat de l'SPARUS II

Per a la comunicació entre la placa electrònica creada i l'ordinador central del robot s'ha definit un protocol de comunicació. Abans de constituir-lo, però, considerant que en el mateix bus RS-485 hi ha connectats els tres motors del vehicle, s'ha estudiat el seu protocol de comunicació per tal d'evitar interferències entre els diferents dispositius.

Amb les conclusions extretes de l'anàlisi anterior, s'ha creat un protocol de comunicació que conté unes comandes en ASCII per a ser executades per un usuari amb el fi de calibrar el posicionament dels servomotors, i unes altres de binàries pensades per a l'ordinador central

del vehicle, les quals han de servir per habilitar, inhabilitar i posicionar els servomotors i preguntar per l'existència d'aigua.

Havent definit el protocol de comunicació, s'ha pogut escriure el firmware a ser executat pel microcontrolador; el conjunt d'instruccions que se li han proporcionat han sigut les que han fet de la placa electrònica un dispositiu funcional. Exactament, les funcions que desenvolupa el microcontrolador són interpretar les comandes rebudes pel port sèrie per tal d'actuar consegüentment, generar els senyals de control per a cada un dels dos servomotors i aplicar un filtratge a la lectura del sensor d'aigua per tal d'evitar falses alarmes.

L'enviament de totes aquestes comandes conjuntament amb les dels motors a través del bus RS-485 es fa a partir de l'ordinador central del robot. Per això s'ha programat un driver en C++ totalment integrat dins de l'arquitectura COLA<sup>2</sup> i amb ROS; per una banda s'han incorporat les comandes dels timons, i per l'altra s'ha gestionat la freqüència d'enviament de les comandes dels motors, aconseguint una notòria descàrrega de la seva ocupació.

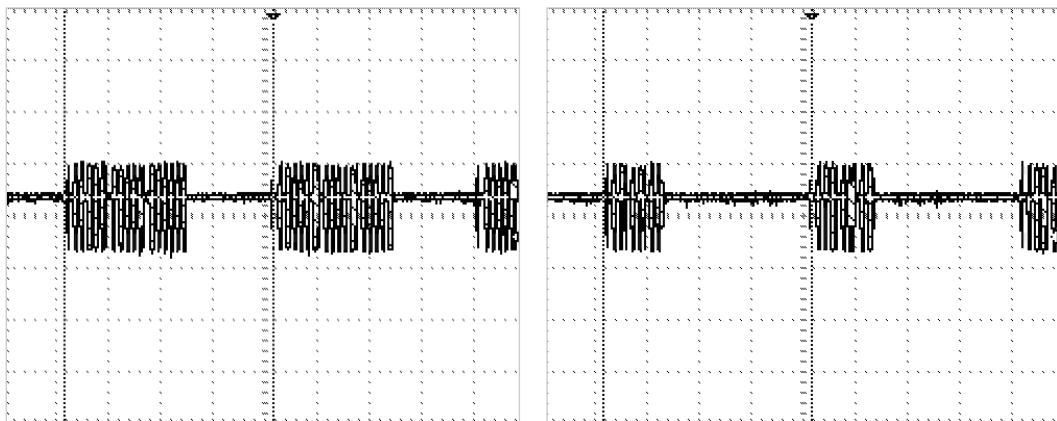


Figura 5. Ocupació del bus RS-485. A l'esquerra, abans de la gestió de les comandes dels motors. A la dreta, un cop gestionades les comandes dels motors i integrades les dels timons de profunditat

A part d'enviar comandes a través del bus RS-485 evitant la col·lisió dels missatges, el driver també s'encarrega de formar les comandes pels diferents actuadors a partir de les consignes provinents del sistema de control del robot. Tanmateix, quan algun dels actuadors envia una comanda a l'ordinador del vehicle, aquest programa desxifra la informació i la publica a un tòpic de ROS per tal que estigui disponible a tota l'arquitectura.

### 3. MODELITZACIÓ I CONTROL

El sistema de control de l'SPARUS II instaurat dins del COLA<sup>2</sup> es pot dividir en dues parts: un control d'alt nivell, el qual resol tasques de gran complexitat tot generant consignes individuals per a cada DOF, i el de baix nivell, el qual calcula les consignes dels actuadors per d'assolir les posicions, velocitats o forces desitjades pels programes de l'arquitectura. Per assolir els objectius d'aquest projecte ha calgut modificar el control de baix nivell.

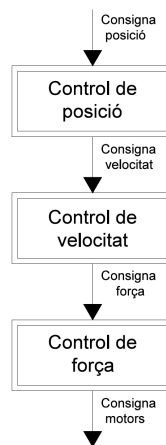


Figura 6. Estructura del control de baix nivell de l'SPARUS II

Primerament, el control de posició transforma les consignes de posició referenciades en un sistema de coordenades prefixat en el món al sistema de coordenades del robot, ja que tant el control com la navegació del vehicle treballen respecte aquests últims eixos. Tot seguit aplica un PID per tal d'obtenir una consigna de velocitat pels DOFs de surge, heave i yaw i una de força pel roll i el pitch. A més, paral·lelament a aquest mode de control, s'ha estudiat a nivell d'investigació com assolir i mantenir una profunditat a través del pitch. Per això, s'ha dissenyat un sistema de lògica difusa o FLS, el qual tot analitzant la velocitat i la posició Z del vehicle determina com s'ha d'arribar a la profunditat desitjada: actuant totalment o parcialment amb el heave, amb el pitch o qualsevol combinació d'aquests DOFs.

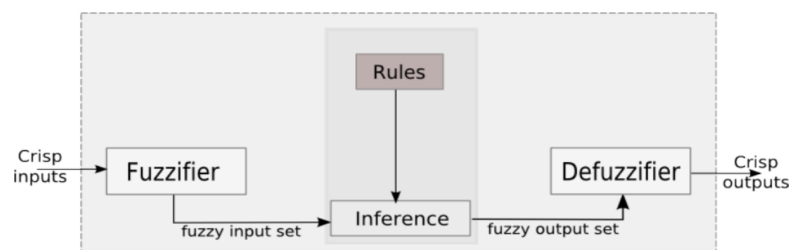


Figura 7. Constitució d'un FLS

El següent controlador dins de l'estructura de baix nivell és el de velocitat i únicament afecta als DOFs de surge, heave i yaw. L'estructura general del control de velocitat rep el nom de feedforward analyzation, ja que està format per una part de llaç obert o models que estimen quina és la força necessària a aplicar al robot perquè aquest assoleixi una velocitat, i un llaç tancat o un PID que ajusta les petites inexactituds del model.

Finalment, el control de força es basa en un control en llaç obert per a cada un dels actuadors del robot. La funció d'aquests és calcular la consigna a enviar als actuadors per tal de complir amb les consignes de força rebudes per a cada DOF. Per aquest projecte ha calgut modelitzar els motors horitzontals i els timons. Pels motors s'ha utilitzat la teoria que modelitza el seu comportament dinàmicament, és a dir, considerant la rotació de l'hèlix i la velocitat d'entrada del fluid al motor, factor molt important a altes velocitats.

La modelització dels timons s'ha fet experimentalment, ja que les equacions teòriques són altament complexes i per ajustar els seus coeficients es requereixen d'eines que no es disposen al laboratori. Per això, es va concloure que s'havia de determinar la força realitzada pels timons a partir del seu angle d'atac i de la consigna dels motors. D'aquesta manera es reduïa la complexitat dels experiments sense sacrificar l'exactitud del model.

Per ajustar els controladors i comprovar tots els sistemes desenvolupats, primerament s'han realitzat experiments en simulació amb el software UWSim. Seguidament s'han fet assaigs amb el vehicle real, tant a la piscina del CIRS com en el mar amb l'embarcació SEXTANT, els quals han servit per validar la utilitat del present projecte, valoritzar l'estalvi energètic aconseguit i corroborar la integració tant a nivell de hardware com de software dels timons de profunditat a l'SPARUS II i el seu control en cinc graus de llibertat.

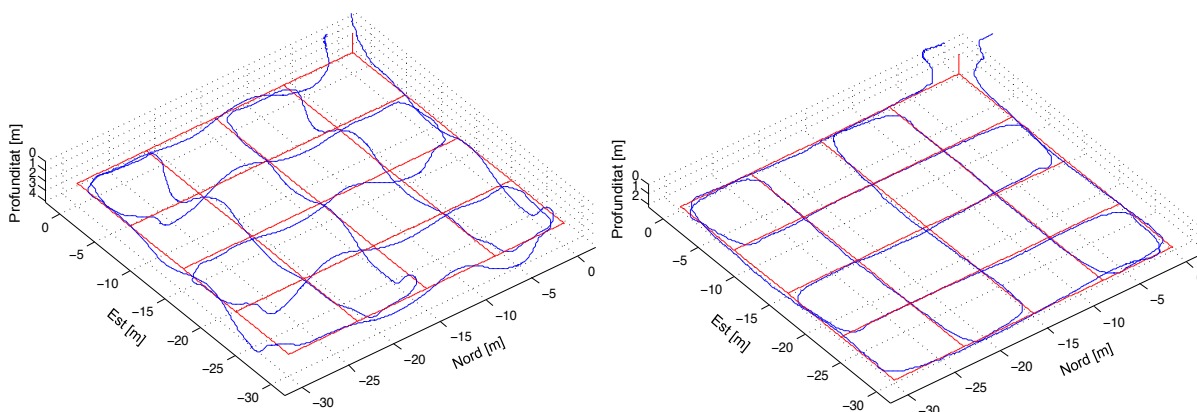


Figura 8. Trajectòria XYZ real del robot. A l'esquerra, timons inhabilitats. A la dreta, timons habilitats



#### 4. CONCLUSIONS

Amb la realització d'aquest projecte s'ha dotat a l'SPARUS II de dos DOFs nous, el pitch i el roll, el qual era l'objectiu principal d'aquest projecte. El seu assoliment ha sigut possible a partir d'aconseguir fites parcials basades en els capítols principals de la memòria, els quals formen les cinc gran temàtiques d'aquest projecte.

Cal dir que amb la integració dels timons el robot ha assolit satisfactòriament les prestacions pel qual va ser dissenyat, al mateix temps que s'ha validat tota l'electrònica dissenyada i implementada. Per altra banda, tot l'estudi realitzat ha marcat l'inici d'una nova etapa d'investigació per l'SPARUS II, exactament de com realitzar un control de profunditat acurat amb el DOF pitch. Considerant els resultats obtinguts, aquest mode de funcionament és de gran interès per reduir el consum energètic del robot.

Durant la realització d'aquest projecte s'ha vist que pot ser interessant tenir un senyal de feedback sobre el posicionament angular de cada una de les aletes dels timons de profunditat, el qual permetria programar un calibratge automàtic dels servomotors i detectar defectes provinents del controlador intern d'aquests actuadors o de la part mecànica.

Tanmateix, respecte el control s'ha vist la necessitat de modelitzar els timons respecte qualsevol direcció del flux incident, permetent utilitzar aquests actuadors en tot moment i, consegüentment, proporcionar al robot un control de roll i pitch continuo i una major estabilitat en els seus cinc graus de llibertat.