

# Comunicació i posicionament subaquàtic mitjançant mòdems de baix cost

Oleguer Font Fullera

## Resum

Les comunicacions acústiques subaquàtiques permeten el desenvolupament de múltiples accions en l'àmbit marí, des d'ajudes en la navegació fins a la realització d'investigacions.

Aquest projecte té com a objectiu validar els mòdems uWave, que són uns mòdems acústics de baix cost, per a la transmissió de dades de sensors com per la geolocalització de mòbils sota l'aigua.

Es crea una interfície per a la comunicació entre l'usuari i els mòdems amb LabVIEW i es programa un Arduino per controlar i automatitzar els diferents escenaris.

Finalment, es realitzen diferents proves, tant fora com dins l'aigua, per obtenir resultats i extreure'n conclusions.

## 1. Introducció

Les comunicacions acústiques subaquàtiques són molt importants per aquells grups de recerca dedicats al fons marí. Tot i això, molts d'aquests grups han de fer grans esforços econòmics per fer la compra d'uns mòdems acústics.

És per això que el centre SARTI va pensar a comprar i realitzar un projecte de validació dels mòdems uWave, ja que la informació respecte a aquests és pràcticament nul·la, on s'experimenti en diferents escenaris tant per la transmissió de dades de sensors, com per la comunicació de vehicles submarins o per la geolocalització de mòbils sota l'aigua i documentar tot el procés d'investigació.

En l'àmbit personal, la realització des de zero d'un projecte d'investigació és un dels objectius principals pel qual s'ha escollit aquest projecte.

A part, s'ha realitzat una interfície amb LabVIEW que permet als usuaris comunicar-se de forma clara i senzilla amb els mòdems uWave.

Es programa una placa Arduino, per realitzar el control i l'automatització dels diferents processos necessaris en els escenaris experimentats.

Finalment, s'exposen les deduccions obtingudes i en quina situació ha quedat el projecte.

## 2. Coneixements previs

Per poder realitzar el projecte, és necessari tenir prèviament, certs coneixements.

Aquests coneixements es poden dividir en tres apartats. Un primer apartat, que fa referència a les comunicacions subaquàtiques, un segon que explica com localitzar un mòbil i el darrer que se centra en els mòdems acústics.

Les comunicacions subaquàtiques han anat desenvolupant-se d'ençà que es va descobrir l'acústica a l'aigua a finals del segle XV. Tot i això, no va ser fins al segle XX, que a partir de l'enfonsament del Titànic i les dues Guerres Mundials, es van fer avenços molt importants[1].

Actualment existeixen tres mètodes per a les transmissions subaquàtiques sense cables. Utilitzant ones de radiofreqüència, senyals òptics o ones acústiques. Aquestes últimes són les més utilitzades.

Les ones sonores es produeixen per la vibració d'un medi elàstic on hi ha canvis de pressió[2]. La propagació d'aquestes ones per l'aigua permet la comunicació acústica subaquàtica.

La comunicació acústica submarina permet enviar i rebre informació sota l'aigua a partir d'hidròfons, que són els encarregats de convertir les ones sonores a electricitat[3].

El model d'aquestes comunicacions està format per un sistema de control el qual envia dades al mòdem acústic al qual està connectat. El mòdem es comunica amb un o diversos mòdems, que estan connectats a sistemes d'instrumentació els quals analitzaran les dades i les enviaran. Aquesta informació serà rebuda pel mòdem que està connectat al sistema des del qual s'analitzaran les dades rebudes.

Les comunicacions acústiques subaquàtiques alteren i distorsionen els sons naturals que emeten els éssers vius que habiten al mar. Aquest fet posa en perill la biodiversitat del fons marí, ja que gran part dels animals que hi habiten, es comuniquen i s'orienten a través dels sons[4].

Per realitzar la geolocalització d'un mòbil sota l'aigua, s'utilitza un sistema algorítmic basat en la diferència de temps d'arribades. Amb les posicions i els diferents temps de vols, es calcula la posició del mòbil[5].

Els mòdems acústics converteixen les dades digitals a ones sonores i a la inversa per poder transmetre i rebre dades sota l'aigua[6]. Estan formats per 3 components, la interfície analògica, responsable de convertir els senyals elèctrics a ones acústiques i a la inversa, la plataforma de hardware, encarregada de processar i controlar els senyals i la interfície convertidora que es comunica amb els aparells connectats[7].

Els mòdems uWave, són uns mòdems acústics de baix cost fabricats a Rússia. Els mòdems tenen un rang de 1000 metres i capacitat per comunicar-se amb 20 dispositius. La

comunicació és del tipus UART i és compatible amb l'estàndard RS-232[8].

Els mòdems consten de dos modes, un el qual les dades són transmeses pel canal hidroacústic sense patir canvis ni ser analitzades i un altre on els mòdems analitzen les dades d'entrada les quals estan codificades amb l'estàndard NMEA0183.

### 3. Programes i instrumentació

Per realitzar la interfície que servirà d'enllaç entre l'usuari i els mòdems, s'utilitza LabVIEW, una eina de programació per blocs[9].

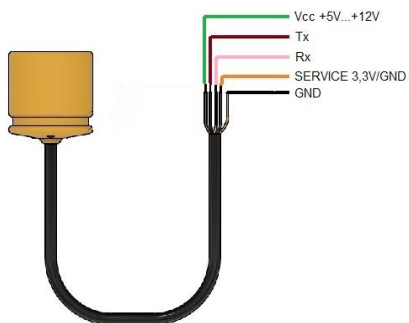
S'utilitza una placa d'Arduino, que és un circuit imprès amb un microcontrolador programable per controlar els perifèrics de la placa, per controlar i automatitzar els diferents escenaris[10].

A més a més, es fa servir el dispositiu GPS NEO-6, un GPS de baix cost fàcilment connectable a plaques d'Arduino[11].

### 4. Part pràctica

La part pràctica d'aquest projecte, es pot dividir en 3 apartats. En el primer es realitzen les comprovacions dels mòdems i les primeres connexions, en el segon apartat es realitza la configuració per la transmissió de dades i en l'últim és dur a terme el programa de rastreig.

Primerament es realitza la connexió del mòdem per poder comprovar el seu funcionament. S'utilitza un convertidor TTL a RS-232, per connectar-se des d'un ordinador.



Il·lustració 1. Cablejat del mòdem

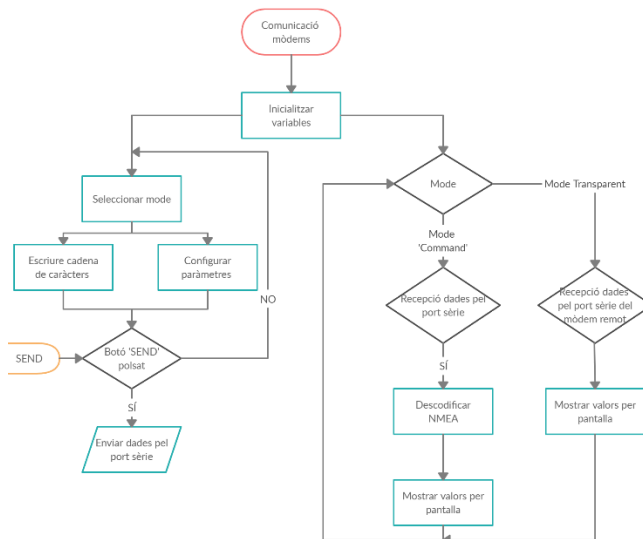
És important engegar el mòdem amb el cable 'service' a GND, pel seu correcte funcionament.

Una vegada realitzada la connexió, es procedeix a provar les diferents funcionalitats. Aquesta prova es farà a partir del programa dels fabricants i posant el mòdem en mode comanda, que es realitza alimentant el cable 'service' a 3,3 V. Amb el programa obert, es poden provar 4 tipus de comandes preestablertes i confirmar que els mòdems funcionen.

Seguidament, es crea una interfície amb LabVIEW per tal de millorar la comunicació entre l'usuari i el mòdem. Amb aquesta aplicació a part de provar les comunicacions amb el mòdem pel port sèrie, també es realitzen comunicacions amb un mòdem remot prèviament alimentat, utilitzant les comandes de l'estàndard NMEA0183.

Un cop provat el funcionament d'aquest mode, es procedeix a provar el mode transparent per afegir-lo a la interfície. Per canviar de mode, s'ha de connectar el cable 'service' a GND.

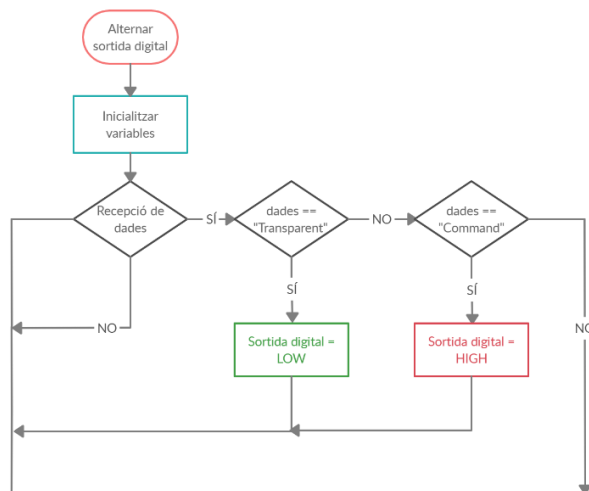
Un cop comprovat l'enviament de caràcters aleatoris pel canal hidroacústic amb l'ajuda d'un programa que permeti comunicar-se pel port sèrie, s'actualitza el programa de LabVIEW per enviar cadenes de caràcters en mode transparent. A part també es modifica la interfície gràfica per agrupar per utilitat els diferents camps. En aquesta actualització, l'enviament de dades pel port sèrie es realitza cada cop que l'usuari cliqui la tecla 'send'.



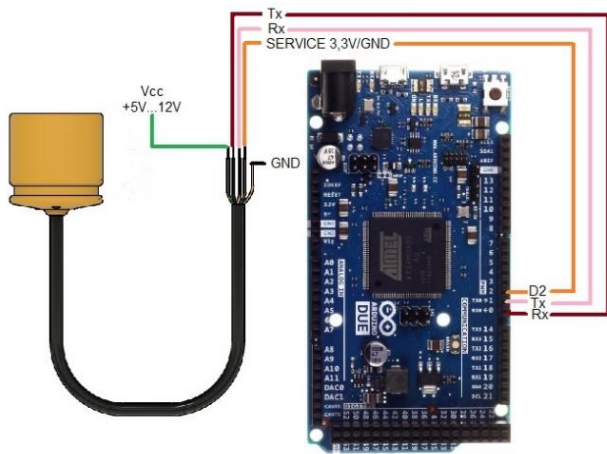
Il·lustració 2. Fluxograma del programa de LabVIEW

Un cop tancat el primer apartat, es crea una aplicació que permet canviar de mode de manera remota per poder arribar a connectar algun sensor a un mòdem remot i poder enviar la informació d'aquest al mòdem connectat a l'ordinador.

Com que la manera de realitzar el canvi de mode és alternant el cable 'service' de 3,3 V a GND, s'utilitza una placa Arduino per configurar una sortida digital en funció de la cadena de caràcters que rebí pel port sèrie. Així l'usuari podrà enviar des del mòdem connectat a l'ordinador l'ordre de canviar el mode del mòdem remot. El programa que s'ha creat segueix la seqüència de la Il·lustració 3 per realitzar el canvi de mode. A part, a la Il·lustració 4 podem veure la connexió del mòdem remot amb l'Arduino.



Il·lustració 3. Fluxograma del canvi de mode



**Il·lustració 4.** Esquema de connexió entre el mòdem i l'Arduino

Per realitzar el programa de rastreig s'ha creat un programa amb LabVIEW per geolocalitzar un mòdem sota l'aigua. El programa envia cada 5 segons, al mòdem connectat a l'ordinador, la comanda per obtenir la profunditat d'un mòdem remot. A part d'obtenir la profunditat, també es rep el temps de propagació de la comunicació.

Per calcular la posició es necessiten realitzar diferents mostres del temps de vol entre un mòdem ubicat en una posició coneguda i el mòdem que es vol localitzar.

El programa desa les dades en un arxiu com podem veure a la Taula 1.

Data Modem	Hora Modem	Profunditat	Temps de propagació
05/10/2020	12:21:18	0.000	0.00010

**Taula 1.** Format de les dades del primer programa de rastreig

La primera prova que es duu a terme, és intentar localitzar un mòdem situat a l'OBSEA, realitzant diferents mostres des de posicions conegudes, obtenint la profunditat i el temps de propagació, a partir d'un mòdem situat en una barca.



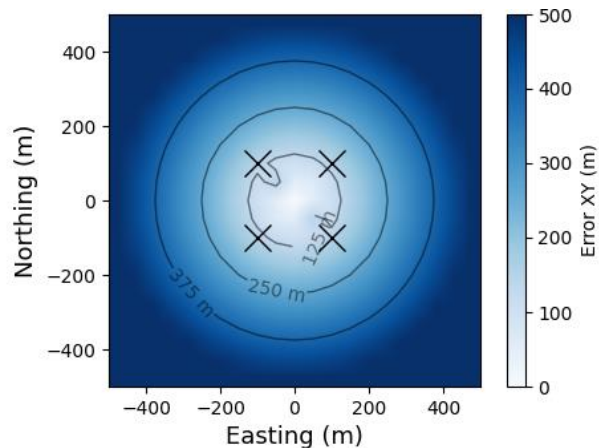
**Il·lustració 6.** Mòdem connectat a l'OBSEA

L'objectiu de la prova és utilitzar el temps de propagació de les diferents mostres i les posicions obtingudes amb un rellotge GPS, per geolocalitzar el mòdem de l'OBSEA,

utilitzant el mètode TDoA, acrònim en anglès de diferència de temps d'arribades.

Amb les dades obtingudes, es creen dues matrius les quals són els paràmetres d'entrada d'un algoritme que utilitzant el mètode TDoA, calcula la posició del mòdem[12].

La Il·lustració 7, ens mostra l'error en metres en funció de la posició del mòdem respecte a la posició de les mostres obtingudes. Per tant, és important realitzar les mostres al voltant del mòdem. En cas que el mòdem estigui en una posició on l'error és significatiu, s'ha de repetir l'obtenció de dades millorant la posició d'on s'obtenen les mostres.



**Il·lustració 7.** Error en la localització

El resultat obtingut en aquesta prova no és el desitjat, ja que no s'obté resposta del mòdem. És per això que es retira el mòdem de l'OBSEA i es comprova la seva funcionalitat. A l'alimentar el mòdem es detecta que el consum no és el necessari per al seu funcionament i s'arriba a la conclusió que algun component de l'electrònica no funciona correctament.



**Il·lustració 5.** Mòdem dins del mar

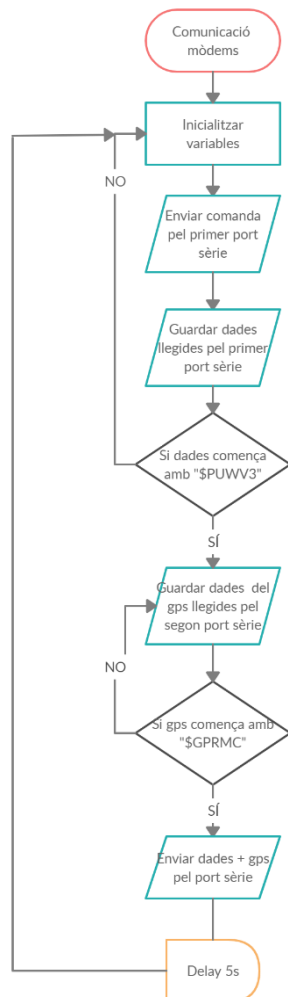
Per millorar la prova anterior, es crea un segon programa millorat on s'enregistren les dades del GPS NEO-6 en un arxiu com el que podem veure a la Taula 2.

Data Modem	Hora Modem	Data GPS	Hora GPS	Profunditat	Temps de propagació	Longitud	Latitud
08/10/2020	19:16:38	08/10/2020	19:16:39	0.000	0.00010	00148.38633E	41114.61147N

**Taula 2.** Format de les dades del segon programa de rastreig

Per fer-ho s'utilitza l'Arduino que ja utilitzem en el programa de canvi de mode i s'hi connecta un mòdem uWave al primer port sèrie, el GPS NEO-6 en el segon i es connecta a l'ordinador pel port sèrie principal.

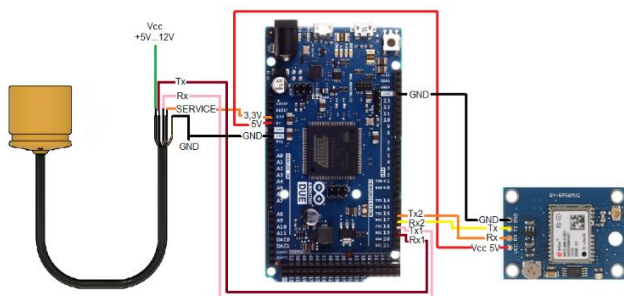
Es crea un programa d'Arduino perquè enviï cada 5 segons pel primer port sèrie, la comanda demanant la profunditat d'un mòdem remot, en la resposta també s'obté el temps de propagació del qual podem calcular el temps de vol. Quan l'Arduino rep les dades pel port sèrie del mòdem, mira la seva capçalera, i si és la correcta, guarda aquestes dades. A continuació llegeix pel segon port sèrie, les dades del GPS i guarda les de la capçalera correcta. Finalment envia a l'ordinador les dades dels dos dispositius conjuntament.



**Il·lustració 8.** Fluxograma del codi del programa de geolocalització

Les dades rebudes es llegeixen amb una versió del programa de LabVIEW, el qual descodifica tant les dades enviades pel mòdem com les del GPS. Un cop descodificades les enregistra en un arxiu perquè puguin ser tractades.

En la Il·lustració 9 es pot observar la connexió de l'Arduino amb el mòdem i el GPS.



**Il·lustració 9.** Esquema de la connexió de l'Arduino amb el mòdem i el GPS

## 7. Conclusions

L'objectiu principal d'aquest projecte, era validar els mòdems uWave per diferents escenaris d'experimentació.

En el nostre cas, ens hem centrat en l'objectiu de crear un programa per la geolocalització i aquest ha estat assolit. S'ha realitzat la programació i s'ha dut a terme el muntatge necessari per a aquest escenari.

Hagués sigut interessant realitzar més proves però ha estat impossible per la necessitat de canviar el mòdem de sota l'aigua, ja que ha deixat de funcionar.

A més a més, s'ha realitzat la programació i el muntatge necessari per realitzar el canvi de mode de forma remota, fet que podrà ser utilitzat en altres projectes.

Aquest projecte també ha servit per comprovar l'alta fragilitat dels mòdems uWave, ja que l'electrònica no dota de cap protecció i algun mòdem ha deixat de funcionar sense cap motiu aparent.

Finalment tot i que es poden realitzar més proves i en més escenaris, aquest projecte ha servit per realitzar una primera validació dels mòdems uWave.

## 8. Agraïments

No voldria acabar aquest treball sense agrair al tutor d'aquest projecte, en Joaquín del Rio, per donar-me l'oportunitat de realitzar aquest projecte d'investigació, i per la seva dedicació i ajuda en la realització d'aquest.

També m'agradaria agrair el suport i l'ajuda rebuda per part de l'Ivan Masmitjà, d'en Marc Nogueras i d'en Matis Carandell, personal del centre SARTI.

A més a més, m'agradaria donar les gràcies a tots els companys, docents i treballadors de la universitat que han participat en la meua formació durant aquests anys.

Per últim, m'agradaria agrair el suport de la meua família, dels meus amics i de la meua parella sobretot en aquestes últimes setmanes d'aquesta etapa.

## Referencias

[1] Aaron Isaac López. Propagación de ondas acústicas en espacios subacuáticos. Treball final de grau, ULL. [Consulta: 24 de març de 2020]. Disponible a:

<<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5941/Propagacion%20de%20ondas%20acusticas%20en%20espacios%20subacuaticos.pdf;jsessionid=4837D7C772DA616AE6E0891615BFB561?sequence=1>>.

[2] David Casadevall i Planas. Acústica. Acustica web. [Consulta: 5 d'agost del 2020]. Disponible a:

<[https://www.arauacustica.com/files/noticias/pdf\\_esp\\_126.pdf](https://www.arauacustica.com/files/noticias/pdf_esp_126.pdf)>.

[3] Susana. Hidrófonos, micrófonos submarinos vigilantes. Article a TecnoInnovador. [Consulta: 11 de setembre del 2020].

Disponible a:<<https://tecnoinnovador.com/2016/09/02/hidrofones-microfonos-submarinos-vigilantes/>>.

[4] Francisco Javier Rodrigo Saura. La contaminación acústica submarina: Fuentes e Impacto biológico. Article de la Sociedad Anónima de Electrónica Submarina (SAES). [Consulta: 11 d'abril del 2020]. Disponible a:

<[https://www.electronica-submarina.com/wp-content/uploads/La-Contaminacion-Ac%C3%B1stica-Submarina-Fuentes-e-Impacto-Biologico-SAES\\_web.pdf](https://www.electronica-submarina.com/wp-content/uploads/La-Contaminacion-Ac%C3%B1stica-Submarina-Fuentes-e-Impacto-Biologico-SAES_web.pdf)>.

[5] Andrés Felipe, Cristina Gómez, Tibisay Sánchez, Alfredo David, Leonardo Betancur i Roberto Hincapié. Algoritmos de radiolocalización basados en ToA, TDoA y AoA. Revista Ingeniería y Región 2015; 14(2): 9-22. [Consulta: 1 d'octubre del 2020]. Disponible a:

- <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/689/1317>>.
- [6] University of Rhode Island. Acoustic Modem. Discovery of Sound in the Sea. [Consulta 2 d'Octubre de 2020]. Disponible a: <https://dosits.org/galleries/technology-gallery/communications-technology/acoustic-modem/>>.
- [7] Jaisica. Underwater acoustic communication. [Consulta: 14 de maig del 2020]. Disponible a: <https://www.slideshare.net/jaisica/under-water-acoustic-communication>>.
- [8] UC&NL. uWave underwater acoustic modem. [Consulta: 28 de gener del 2020]. Disponible a: <https://unavlab.com/en/produktsiya/peredacha-dannyh-pod-vodoj/uwave-family/hydroacoustic-mikromodem-uwave/>>.
- [9] NI. Que és LabVIEW?. [Consulta: 24 de juny del 2020]. Disponible a: <https://www.ni.com/es-es/shop/labview.html>>.
- [10] Yúbal FM. Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno. Xataka Basics. [Consulta: 10 de setembre del 2020]. Disponible a: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>>.
- [11] Luis Llamas. Localización GPS con Arduino y los módulos GPS NEO-6. [Consulta: 21 de setembre del 2020]. Disponible a: <https://www.luisllamas.es/localizacion-gps-con-arduino-y-los-modulos-gps-neo-6/>>.
- [12] Ivan Masmitja. Optimal path shape for range-only underwater target localization using a Wave Glider. The International Journal of Robotics Research 1–16. [Consulta: 2 d'octubre del 2020]. Disponible a: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0278364918802351>>