

CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN RF Y ÓPTICOS EN APLICACIONES SUBMARINAS

Arnau Arias Rodríguez

1. Resumen

La urgente necesidad de comprender en mayor medida el funcionamiento de los ecosistemas marinos pone en importancia la recopilación de datos para posteriores análisis. Debido al entorno, supone un gran reto la recuperación de estos datos sin la necesidad de acceder físicamente a los dispositivos de adquisición de datos o la retirada de estos, esto hace que estemos en una constante búsqueda de tecnologías que permitan transmitir dicha información sin el uso de largos y costosos cables submarinos.

El presente proyecto tiene como objetivo caracterizar y conocer las limitaciones de diferentes interfaces de comunicación como Bluetooth o Wi-Fi en el medio acuático y de esta manera identificar en que aplicaciones o escenarios dichas tecnologías seguirían siendo válidas.

2. Introducción

La Tierra, también conocido como el Planeta Azul está cubierto aproximadamente en un 70% de su superficie por mares y océanos. Los océanos tienen una gran importancia para el planeta ya que son los causantes de regular la temperatura y el clima. Además, han formado una parte fundamental para el desarrollo de nuestra especie e intercambio de culturas.

Siendo tanta la importancia de nuestros océanos, sorprendentemente solo se ha explorado el 5% de estos según la Administración Nacional Oceánica y

Atmosférica. En los océanos residen posibles soluciones a la crisis energética del mundo, medio ambiente, alimentos.

El proyecto PLOME [2] pretende dar soluciones a estos retos de monitorización otorgando un despliegue de los dispositivos sencillo y de fácil desplazamiento sin necesidad de largos y costosos cables.

Habitualmente las comunicaciones inalámbricas submarinas se implementan mediante interfaces acústicas, siendo estas bastante costosas y con grandes limitaciones. Por ello desde SARTI se ha ideado una solución a esta problemática mediante el uso de unas boyas a las que se les ha dado el nombre de Pop-Up Buoys.

Estas boyas pretenden ser un enlace comunicativo entre la plataforma y el exterior, siendo lanzadas desde la plataforma, situada en el lecho marino, hacia superficie una vez se hayan transferido todos los datos deseados para su posterior adquisición y análisis.

Para lograr este fin, el presente proyecto tiene como objetivo caracterizar y conocer las limitaciones de diferentes interfaces de comunicación como Bluetooth, Wi-Fi o óptica en el medio acuático y de esta manera identificar en

¹ SARTI es un grupo de investigación, formado por personal de diferentes departamentos de la UPC, el ámbito temático de actuaciones del cual se sitúa en el desarrollo científico y tecnológico de equipos y sistemas de adquisición remota de datos y el tratamiento de estas, enfatizando la instrumentación virtual y oceanográfica, incluyendo métodos de simulación y análisis estadístico y, haciendo uso de las técnicas de vanguardia en diseño electrónico transfiere todo este conocimiento a la industria.

que aplicaciones o escenarios dichas tecnologías seguirían siendo válidas, así como sentar las bases para el desarrollo de una aplicación que permita la transferencia de datos.

3. Características del medio y técnicas de comunicación subacuáticas

En el siguiente capítulo se pretende dar a conocer las posibilidades existentes para establecer comunicaciones en el medio submarino, explicar que alternativas existen y el interés en estas. También se darán a conocer las problemáticas de su uso en este medio y la elección final para establecer la comunicación.

Comunicaciones subacuáticas mediante ondas acústicas

Dependiendo del medio por el cual el sonido es propagado, la velocidad de este difiere. Cuando el sonido se propaga a través de las moléculas del medio, cuanto más dispersas se encuentran estas moléculas mayores es la facilidad de propagación y menor el tiempo para propagarse.

En el agua, el sonido tiene una propagación mayor y una absorción menor que en el aire. Esto se debe a que el agua de mar no se encuentra comprimida, por lo que la absorción de las ondas es mínima, al contrario que en la atmósfera donde los sonidos son absorbidos a cortas distancias.

Comunicaciones subacuáticas mediante señales ópticas

Las comunicaciones ópticas inalámbricas son una tecnología que se basan en el uso de la luz como transmisor de información entre emisor y receptor, estas señales ópticas generalmente se encuentran limitadas a cortas distancias debido a su absorción por parte del medio acuático el cual tiene una absorción.

No todas las longitudes de onda del espectro de la luz se ven afectadas de la misma manera. Las longitudes de onda pertenecientes a los colores rojos y anaranjados son de los primeros en ser absorbidos mientras que las pertenecientes a los colores verde y azul son las que menos tasas de absorción tienen.

Comunicaciones subacuáticas mediante radiofrecuencia

Debido a que las comunicaciones basadas en ondas acústicas y señales ópticas no son de interés para el presente proyecto a ello, nos encontramos en la necesidad de buscar alternativas a estas técnicas más utilizadas de comunicación subacuáticas con el objetivo de establecer un enlace comunicativo en el medio subacuático, decantándose por la utilización de comunicaciones de radiofrecuencia.

La radiofrecuencia o espectro de radiofrecuencia hace referencia a una porción del espectro de las ondas electromagnéticas que se sitúan entre los 3 Hz y los 300 GHz del espectro electromagnético. La radiofrecuencia es divisible entre las siguientes bandas:

Las bandas de radiofrecuencia ELF, SLF, ULF y VLF comparten el espectro de la audiofrecuencia, la cual se encuentra entre los 20 Hz y los 20 kHz. Se podría pensar que entre ellas no hay diferencia, pero no es así, mientras que la audiofrecuencia son ondas de presión como lo es el sonido y necesitan de un medio material de transmisión, estas bandas de radiofrecuencia son ondas electromagnéticas que no necesitan un medio material de transmisión y se propagan a la velocidad de la luz.

Que es el Wi-Fi.

La palabra Wi-Fi viene de Wireless Fidelity, es decir, 'fidelidad inalámbrica'. Es una tecnología de transmisión de datos inalámbrica utilizada para Internet principalmente y que se basa en el estándar 802.11 que nos permite de forma inalámbrica, el acceso a Internet de distintos dispositivos al conectarse a una red determinada.

La conexión Wi-Fi es posible mediante el uso de radiofrecuencias y infrarrojos, utilizados para la transmisión de la información. La principal limitación de esta conexión es que tiene un rango máximo de 150 metros de distancia respecto al emisor de la señal.

Bluetooth

El Bluetooth es un tipo de tecnología inalámbrica de corto alcance, su funcionamiento se basa en conectar dos o más dispositivos electrónicos mediante ondas de radio de alta frecuencia (UHF), de 2.402 GHz a 2.480 GHz. Se pueden dividir los dispositivos que incorporan Bluetooth basándonos en su potencia o en su capacidad de banda.

4. Caracterización de las comunicaciones

Para el proyecto se ha decidido optar por un NodeMCU ESP32, una placa de desarrollo que incorpora el chip ESP32-WROOM-32 de las series de microcontroladores ESP32, desarrollados por Espressif Systems.

Los principales motivos de elección de este hardware han sido en base al microcontrolador "*built-in*" y la gran popularidad que presenta este chip, lo que permite una sencilla implementación y una extensa cantidad de ejemplos y documentación realizados

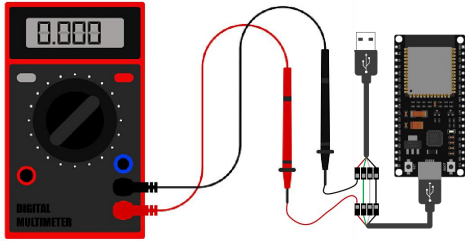
por la comunidad, otro motivo de gran importancia es la integración de las tres comunicaciones inalámbricas estudiadas como alternativas a comunicaciones inalámbricas submarinas (Wi-Fi, Bluetooth y BLE) permitiendo así realizar las distintas pruebas sin necesidad de modificar el hardware.

Metodología y procedimiento

Los distintos datos de interés a obtener en los dos comunicaciones son el consumo para las diferentes potencias de transmisión, el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI por sus siglas en ingles) en función de la distancia entre emisor y receptor, y la distancia máxima que puede alcanzar la comunicación.

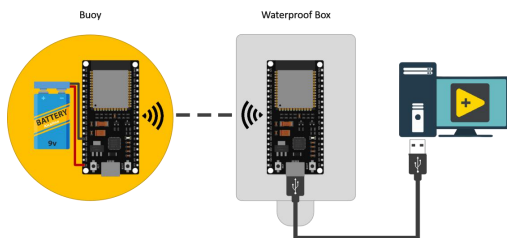
Por una parte se realizará la medición del consumo de las comunicaciones y por la otra parte la medición del RSSI en conjunto con la distancia máxima de comunicación. El numero de repeticiones de las pruebas variará en función de cuantas potencias de transmisión se quieran probar, una para cada potencia.

El interés de los datos a obtener en esta prueba se debe a que uno de los microcontroladores se encontrará en una boya con alimentación mediante baterías, lo que obliga no a tener la comunicación activa durante periodos de larga duración. Este consumo permitirá conocer una estimación aproximada del ciclo de trabajo en función de la capacidad de las baterías o viceversa.



Las distintas pruebas se llevarán a cabo en un entorno controlado con el medio de estudio usado como medio de propagación para la comunicación inalámbrica donde se sumergirán dos recipientes con estanqueidad, el cual uno de ellos será una boya, con un NodeMCU ESP32 en cada uno. Cada prueba iniciará con los dos recipientes juntos, siendo así la distancia entre ellos la cual es de 0 mm el *offset* de referencia, se obtendrán los datos de RSSI una determinada cantidad de veces para luego obtener una media y posteriormente se incrementará la distancia entre los recipientes.

Para desplazar la caja estanca a lo largo del acuario y así incrementar la distancia entre receptor y emisor de manera controlada se ha preparado la siguiente estructura



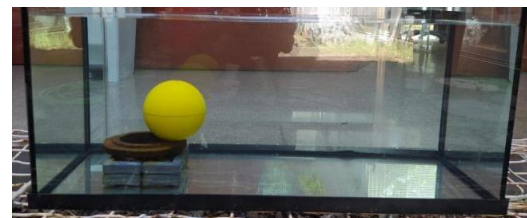
Entorno de pruebas

Como lugar de realización de las pruebas se ha optado por un acuario de cristal.

Para el primer set de pruebas se ha llenado con agua dulce. Para el segundo, con el objetivo de simular las condiciones y propiedades físicas del agua marina se ha incorporado y disuelto sal hasta los 36,5 PSU² para obtener una salinidad parecida a la del mar, que luego ha sido comprobada con un sensor.

Preparación del escenario

Desde SARTI se proporciona una boya de deriva estanca formada por dos piezas roscantes entre si y una junta tórica que asegura la estanqueidad del recipiente. Esta boya esta pensada para adherirse a un dispositivo de lanzamiento y una vez lanzada, emerger a superficie gracias a la flotabilidad positiva de la boya.



² Practical Salinity Units, corresponde a la relación entre la conductividad de la muestra de agua de mar y la de una solución estándar de KCl formado por 32,4356 gramos de sal disuelta en 1 kg de solución a 15 °C. Los valores son adimensionales, pero se asigna 35 PSU a la salinidad equivalente a 35 gramos de sal por litro de solución.

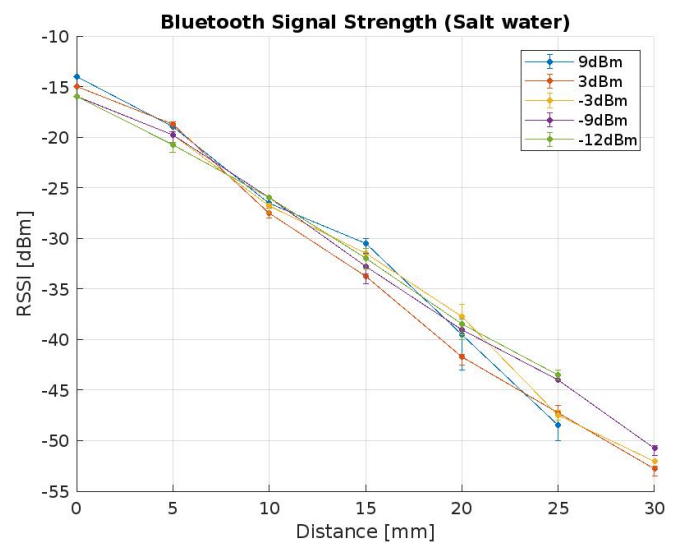
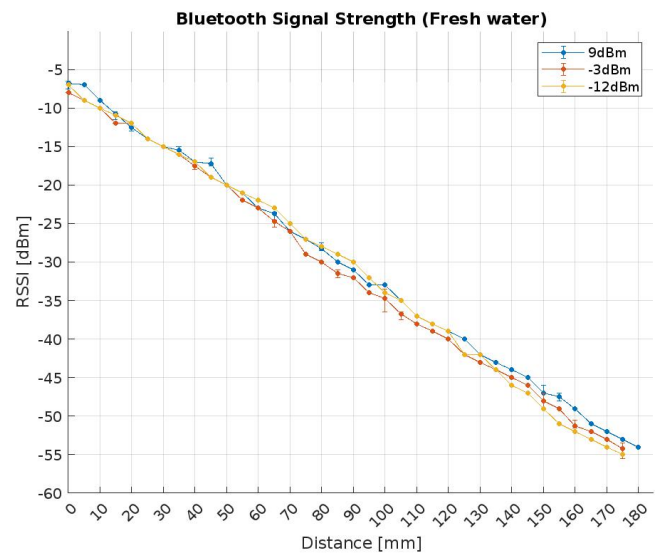
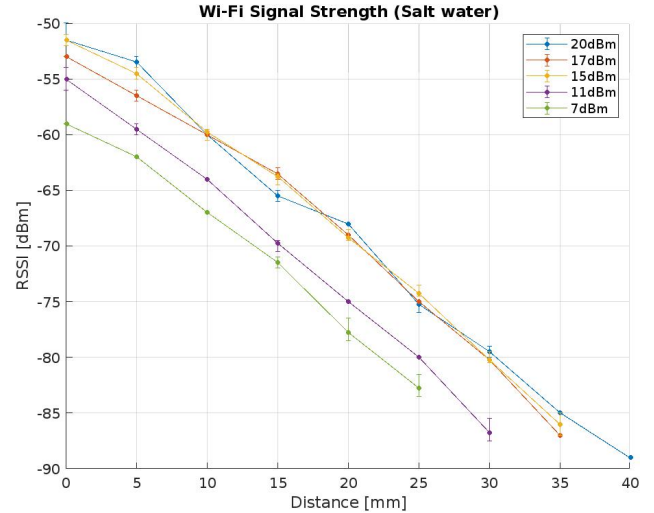
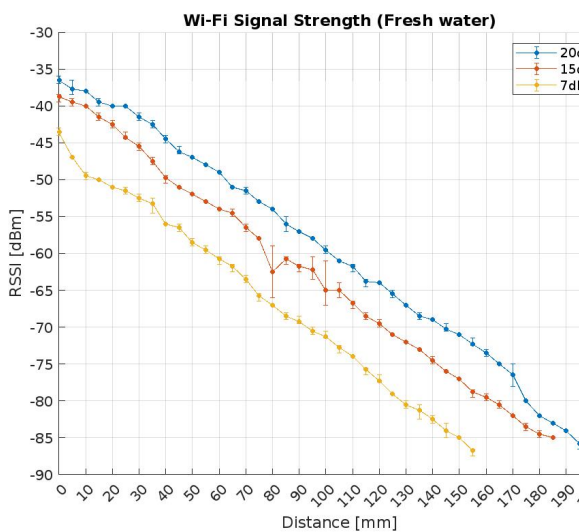


Por parte del servidor, se tiene un dispositivo con un servidor para el intercambio de texto y otro que será el servidor FTP. Por parte del cliente se tiene un cliente para el intercambio de texto y otro como cliente FTP.

Resultados

Con la tecnología Wi-Fi se es capaz de obtener comunicación a mayor distancia que con la tecnología Bluetooth. Por otra parte si bien la intensidad de la señal mediante tecnología Bluetooth tiene niveles mínimos y máximos mejores que la tecnología Wi-Fi, el decremento de la intensidad entre estas dos tecnologías tiene valores muy similares.

Por parte del consumo, la diferencia entre potencias de transmisión no es lo suficientemente significativa como para sacrificar potencia para ganar autonomía.



5. Propuesta de aplicación

Por parte del servidor, se tiene un dispositivo con un servidor para el intercambio de texto y otro que será el servidor FTP. Por parte del cliente se tiene un cliente para el intercambio de texto y otro como cliente FTP.



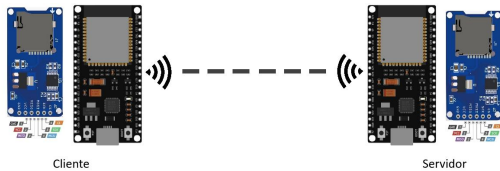
6. Conclusiones

Como se ha podido observar durante el transcurso del proyecto, el cual se ha realizado durante un periodo de cuatro meses, la caracterización obtenida a través de los datos que han otorgado las pruebas realizadas confirma la hipótesis de que, como era de esperar, el medio acuático no es nada amigable con las comunicaciones de radiofrecuencia y menos aun cuando se trata de agua salada como la del mar.

En medios acuáticos como el agua dulce el funcionamiento tiene una mayor similitud al funcionamiento en el aire, aunque también se ve comprometida por el medio dando un rango efectivo máximo de 200 y 180 milímetros para tecnologías Wi-Fi y Bluetooth respectivamente. En cambio, en agua salada la comunicación se ve afectada notablemente conforme se incrementa la distancia, dejando un rango efectivo de aproximadamente 40 milímetros para tecnologías Wi-Fi y 30 milímetros para tecnologías Bluetooth.

En relación con el desarrollo de una aplicación que permita la transferencia de datos que se propuso, no se han logrado en su totalidad los objetivos sugeridos. A pesar de ello, si se han encontrado los motivos que impedían el correcto desarrollo y funcionamiento de la aplicación y se les ha dado solución a algunos, mientras que los restantes se han documentado para establecerse como futuras líneas de investigación.

Por ende, se concluye que se han completado los objetivos iniciales propuestos de manera satisfactoria, a pesar de la no finalización de la aplicación para transferencia de datos,



La aplicación debe tener el siguiente funcionamiento:

1. Cliente duerme (inactivo).
2. El cliente despierta, se conecta al AP y al servidor y pregunta: “¿Me toca?”.
3. Servidor responde. Si la respuesta es “No” el cliente se pondrá en modo inactivo y se vuelve al primer punto, si la respuesta es “Si” se procede a los siguientes puntos.
4. El cliente pide a través de FTP los ficheros de un día determinado.
5. El servidor busca y manda esos ficheros.
6. El cliente guarda los ficheros.

El servidor estará en todo momento despierto (activo).

Tanto el servidor como el cliente FTP no se ha logrado que funcione correctamente estando cada uno alojado en un ESP32 distinto, conectándose así uno de los ESP32 como cliente FTP al ESP32 que aloja el servidor FTP. En cambio si se ha logrado su funcionamiento de manera independiente, utilizando como servidor o cliente en función del caso el software FileZilla.

dando así un análisis y resolución al problema planteado.

7. Futuras líneas de investigación

Como se ha observado en el transcurso del proyecto, no se ha logrado de forma satisfactoria el desarrollo de la aplicación al completo. Por ende, quedan abiertas futuras líneas para la continuación y mejora de la aplicación.

- Búsqueda y resolución de problemas de conectividad que afectan a la transferencia de archivos.
- Implementación de una solución a la problemática de no poder generar un punto de acceso Wi-Fi y alojar un servidor FTP funcional.
- Implementación de un protocolo que permita la identificación de datos dañados o corruptos con el fin de lograr una transferencia satisfactoria.
- Integración de todas las partes y mejoras en un único sistema.
- Perfeccionar la aplicación con el fin de dotarla de robustez.

8. Referencias

[1] Institut de Ciències del Mar, “PLOME”. [En línea]:

<https://www.icm.csic.es/ca/projects/plome>

[2] Wikipedia, “Radiofrecuencia”. [En línea]:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Radiofrecuencia>

[3] NASA Salinity, “SMAP Maps: Sea Surface Salinity”. [En línea]:

<https://salinity.oceansciences.org/smap-salinity.htm>

[4] ESPRESSIF, “ESP32 Series Datasheet”. [En línea]:

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

[5] ESPRESSIF, “System time”. [En línea]:

https://docs.espressif.com/projects/espressif/en/latest/esp32/api-reference/system/system_time.html

[6] GeeksforGeeks, “Algorithm for Dynamic Time out timer Calculation”. [En línea]:

<https://www.geeksforgeeks.org/algorithm-for-dynamic-time-out-timer-calculation/>

[7] w3, “File Transfer Functions”. [En línea]:

https://www.w3.org/Protocols/rfc959/4_FileTransfer.html

[8] ESPRESSIF, “Sleep modes”. [En línea]:

https://docs.espressif.com/projects/espressif/en/latest/esp32/api-reference/system/sleep_modes.html#