

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DISPOSITIVOS BLUETOOTH BAJO EL AGUA

ASTRID KATHERINE REYES DE LA ROSA

Universidad Austral de Chile, Licenciada en Ciencias de la Ingeniería, astrid.reyes.d@gmail.com

CHRISTIAN A. LAZO RAMÍREZ

Universidad Austral de Chile, Doctor en Ingeniería Telemática, clazo@inf.uach.cl

Resumen – Este artículo explora los resultados obtenidos luego de estudiar el comportamiento de dispositivos bluetooth bajo el agua. La experiencia generó una serie de resultados y fue posible determinar una caracterización. Básicamente, la investigación consistió en determinar la distancia máxima de separación entre dos dispositivos, de tal modo que sea posible establecer una conexión y enviar/recibir datos. En general, se hicieron pruebas bajo las mismas condiciones, variando distancias y tamaños de los paquetes enviados. Se utilizó equipos con sistema operativo Linux Ubuntu 10.04, trabajándose bajo consola, y con paquetes propios de este sistema para bluetooth. El procedimiento efectuado consistió en enviar una data de 50 bytes, separada en 15 paquetes, y por cada punto de observación, se realizaban 10 mediciones. Para analizar los datos, se utilizó ANOVA, ya que permitía realizar un estudio de acuerdo a como los datos se habían almacenado.

Abstract - This article explores the results obtained after studying the behavior of Bluetooth devices underwater. The experience led to a series of results could be determined and characterization. Basically, the research was to determine the maximum distance between two devices, so it is possible to establish a connection and send / receive data. In general, tests were made under the same conditions, varying distances and sizes of packets sent. We used computers are Ubuntu 10.04 Linux operating system, and the work will on console, and the system's own packages for bluetooth. The procedure performed was to send a 50 byte data, separated into 15 packages, and for each observation point, 10 measurements were made. To analyze the data, ANOVA was used because it allowed a study according to how the data had been stored.

Palabras Claves – agua, bluetooth, data comportamiento, tiempo de respuesta, número de paquetes enviados ping, script, temperatura.

1. INTRODUCCIÓN

Cada día, el envío y recepción de datos de todo tipo, inalámbricamente, se está haciendo más común. Dentro de los estándares existentes para realizar estas tareas, se encuentra Bluetooth (IEEE 802.15.1-2002), el cual, lo podemos encontrar en cualquier celular moderno, Smartphone,

computador portátil, así como también, en dispositivos USB.

Todos sabemos cómo funciona, además de que es posible el envío y recepción de información de en el aire, pero ¿qué ocurre con el comportamiento de éstos en otro medio?, ¿por ejemplo, bajo el agua? Similares pruebas se realizaron con dispositivos wi-fi (artículo publicado en Marzo del 2012 [1]) , mediante arduinos que contenían una tarjeta de red inalámbrica, con dos de éstos sumergidos, conectados a dos computadores cada uno, y variando tanto la frecuencia de la señal como la distancia de separación de los dispositivos.

En base a lo anterior, se decidió estudiar el comportamiento que presentaban módulos bluetooth bajo el agua, realizando pruebas durante los meses de Abril a Noviembre de 2012 , utilizando para ello (en la mayoría de las pruebas) el Canal de Pruebas, perteneciente al Instituto de Naval de nuestra Universidad.

Para realizar las pruebas, se optó por trabajar bajo un sistema Linux, ya que permite que la labor sea más amigable y fácil. Para ello, se utilizaron paquetes que permitían el envío y recepción de pings y, además, la creación de un script o bash, para automatizar el trabajo a través de consola.

2. METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Durante las pruebas realizadas, se utilizaron, en mayor parte, los siguientes materiales:

- Dispositivos bluetooth USB, clase 2.
- Dos computadores con S.O Linux Ubuntu 10.04 LTS, versión Lucid Lynx.
- Recipiente plástico transparente con agua fresca (en su mayoría se utilizó el canal de pruebas).
- Huincha de medir.
- Manga plástica.
- Extensión USB (2 de 3 mts. c/u).

2.2. Procedimiento

Este estudio consistió en conectar dos dispositivos bluetooth USB a dos computadores con Sistema Operativo Linux Ubuntu 10.04 LTS, creando una red o piconet con éstos y enviando pings desde uno a otro, con una data de tamaño preestablecido, dividida en paquetes previamente definidos, y almacenando el tiempo que tardaba cada uno de éstos en llegar desde un punto a otro. Esto se logró mediante la creación de un script o bash en las últimas pruebas, ya que en las primeras esto se realizó de forma manual, ingresando cada instrucción por línea de comando.

Para el caso de las primeras pruebas, se procedió a descargar todos los paquetes de Linux para bluetooth, dando un resultado óptimo en las últimas, el paquete *Blueman*, el que permitía establecer una conexión desde un dispositivo a otro, siendo uno de ellos el maestro de la piconet o red, y el otro esclavo (por metodología del protocolo, el primer dispositivo que inicia la conexión se establece como maestro de la red). Al utilizarlo, se llegó a la conclusión de que este paquete sólo debe estar instalado en el dispositivo maestro, ya que al estar en el resto de los dispositivos de la red, crea conflictos y no se puede establecer correctamente la conexión. Asimismo, mediante la herramienta de “*hcitool*” se pudo escanear los dispositivos bluetooth cercanos, además de mostrar la dirección mac que estos tienen, y con la cual se puede establecer la conexión. Básicamente, es lo mismo que realiza la aplicación *Blueman*.

La data enviada era de 50 bytes y se dividió en 15 paquetes, registrándose el tiempo en que uno de éstos tardaba en ir y volver desde el dispositivo maestro al esclavo.

2.2.1. Pruebas

En primera instancia, y una vez ya instalados los dispositivos, se procedió a realizar una serie de pruebas para estimar la distancia máxima de alcance de éstos en el aire, para luego realizar lo mismo bajo el agua. Antes de comenzar esto, se cubrieron ambos dispositivos con una manga plástica para evitar que éstos se mojasen, y una vez dentro del agua se estimó la distancia máxima de separación entre ellos, así como también la profundidad máxima en donde se establecía la conexión. Para ello, se elaboró un script en bash, el cual permitía enviar varias veces los pings, poder almacenarlos, y así automatizar y agilizar las mediciones. En el script se incorporó, además, herramientas del paquete *hcitool*, *lq* que indica la

intensidad de la señal en *dbm*, y *rsssi*, que indica lo que toma en ir y volver a la señal.

El código del bash [4][5] utilizado se describe a continuación:

```
#!/bin/bash
for
    cont in 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
do
    echo
    Enviando ping $cont
    echo ...
    f=/home/astrid/logs/l2ping$cont-$(date +%Y%m%d-%H:%M:%S).log;
    echo "-----" >> $f;
    date >> $f;
    echo "-----" >> $f;
    sudo l2ping -s 10 -c 15 -d
0.05 $1 >> $f;
    hcitool lq $1 >> $f;
    hcitool rsssi $1 >> $f;
done
```

Donde \$1 se refiere a la dirección mac que se ingresa por consola. Además, este script permite almacenar en una carpeta todas las veces que se envía, y la fecha y hora del envío (línea: `f=/home/ubuntu/logs/l2ping$cont-$(date +%Y%m%d-%H:%M:%S).log`). El contador, `cont`, envía el ping tantas veces como se indique (en este caso se repite la acción 10 veces). La extensión del archivo es `.sh`, y el modo de ejecutar este script es escribiendo lo siguiente a través de consola:

```
ubuntu@ubuntu:~$ sh
nombreArchivo.sh <bdaddrDest>
```

Donde `<bdaddrDest>` indica la dirección mac del dispositivo bluetooth con el cual se quiere establecer la conexión y enviar la data. Todo esto, previamente establecida la conexión, ya sea mediante consola con `hcitool cc <bdaddrDest>`, o bien, mediante la aplicación *Blueman*. Un ejemplo de lo que genera este bash se muestra a continuación, almacenado en formato `.log`:

```
-----
mar jul 10 12:22:01 CLT 2012
-----
Ping:      00:15:83:3D:0A:57      from
11:11:11:11:11:11 (data size 50)...
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 0
time 7.70ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 1
time 9.00ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 2
time 8.97ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 3
time 9.99ms
```

```

50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 4
time 7.01ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 5
time 8.89ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 6
time 8.99ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 7
time 9.84ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 8
time 6.98ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 9
time 8.94ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 10
time 9.01ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 11
time 9.93ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 12
time 7.96ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 13
time 8.95ms
50 bytes from 00:15:83:3D:0A:57 id 14
time 8.97ms
15 sent, 15 received, 0% loss
Link quality: 0
RSSI return value: -3

```

Todo este estudio condujo a resultados en los cuales la distancia de separación entre los dispositivos era considerable e influyente (desde los 7 hasta los 11cm), por lo que, pasados los 11cm la comunicación se perdía y no era posible el envío/recepción de data. Asimismo, como se determinó la máxima distancia de separación entre los dispositivos, se procedió a trabajar en un espacio más reducido.

Ante esto, se cuestionó si existían otras variables que intervinieran en el proceso, y entre ellas se observó el comportamiento de la comunicación aumentando la temperatura del agua. Luego de las experiencias realizadas, la conducta que ésta presentaba era muy estable, y a medida que la aumentábamos, era mucho mejor. Sin embargo, la única limitante que aquí existía eran las dimensiones del recipiente, ya que no se pudo medir con precisión el número máximo, ya que la mayor temperatura registrada fue de 60°C, y disminuyendo hasta los 44°C.

Las imágenes 1 y 2 muestran los montajes realizados para realizar la investigación:

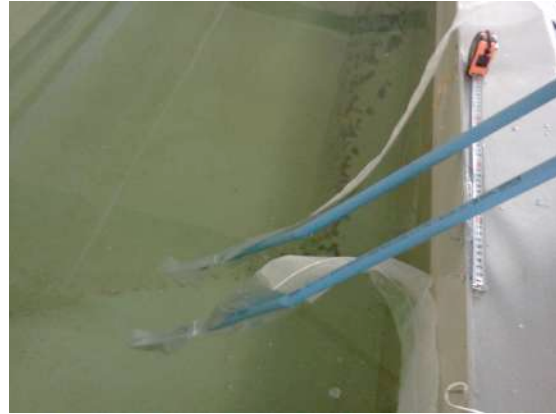


Imagen 1: Montaje en el canal de pruebas.



Imagen 3: Montaje en cubeta plástica.

2.3. Consideraciones

De acuerdo al trabajo realizado, cabe mencionar algunas consideraciones sobre los paquetes *hcitool* [2] y *l2ping* [3]. El primero, el cual se puede consultar por consola, mediante la instrucción *man hcitool* o bien en la página web de ubuntu, es el paquete propio que posee Linux para bluetooth, posee una estructura más bien básica. Hcitool se utiliza para configurar las conexiones Bluetooth y enviar alguna orden especial para dispositivos Bluetooth. Si no se da la orden, o si la opción -h se utiliza, hcitool imprime cierta información de uso y salidas, siendo los más utilizados: *dev*, que indica los dispositivos bluetooth que tiene el equipo; *scan*, que escanea los dispositivos (externos) que están cercanos a nuestro equipo; *cc*, que se menciona antes, permite la conexión de nuestro equipo con otro bluetooth cercano; *lq*, que despliega la calidad de la señal que existe entre un módulo y otro; entre otros.

Por otro lado, el paquete *l2ping*, al igual que el anterior, se puede consultar su estructura mediante consola o a través de la página oficial de ubuntu. L2ping envía una petición de eco L2CAP al dirección MAC del otro dispositivo Bluetooth en

notación hexadecimal con puntos. Este paquete opera en la capa de protocolo *L2CAP* (tal y como se menciona) de la pila de protocolos de bluetooth, el cual permite el envío de pings desde un punto a otro, pudiéndole indicar, entre otros, el tamaño de la data (en bytes) a enviar, la cantidad de paquetes en que éste se enviará, el tiempo total en el que se enviará, así como también, un *delay* entre el envío de un paquete y otro.

3. RESULTADOS

Luego de la experiencia realizada y el análisis de los datos obtenidos, se puede concluir que un estudio bajo este medio, el factor temperatura juega un rol fundamental, y esto tiene una justificación desde el punto de vista de la química-física. Esto es, al poseer la señal una frecuencia tan alta (2.4GHz) el hecho de desplazarse por un medio en donde la temperatura es relativamente baja (9°C para el caso de las primeras mediciones), le es muy difícil a la onda electromagnética el desplazarse libremente, ya que la tensión superficial del agua es alta y sus moléculas se encuentran juntas y rígidas, por tal motivo se requiere que ambos dispositivos estén lo más cerca posible de modo de no perder la comunicación. Ahora bien, al momento de probar en agua caliente, el comportamiento es totalmente distinto ya que al aumentar la temperatura, la tensión superficial disminuye, sus moléculas se encuentran más separadas entre ellas y más movimiento, por lo que le es más fácil viajar a la onda. Todo esto, se reafirma en un estudio estadístico de la varianza de los datos (ANOVA [6]), el que se describe más adelante.

Otro punto que es importante destacar, es que en los datos obtenidos se observó que los primeros tiempos de respuesta, o sea al enviar el primer paquete, eran considerablemente mayores que los siguientes, y esto se debe básicamente a que se requiere del establecimiento de la comunicación entre los dispositivos. Además, en este estudio no se consideró el direccionamiento de la señal, ya que en casi todo momento se trabajó con los dispositivos dispuestos linealmente.

3.1. Análisis de la varianza (ANOVA)

Se determinó el utilizar este análisis, ya que los datos muestreados presentaban un comportamiento grupal, y se necesitaba demostrar el por qué el comportamiento en agua fría es distinto que en agua caliente. Básicamente éste determina si existe una diferencia significativa de los datos o no,

dependiendo si el valor resultado F (o calculado) es mayor que el F de tabla (ocurre lo primero), o si es lo contrario (ocurre lo segundo). La tabla 1 muestra estos resultados, los cuales fueron aplicados en una planilla Excel en donde los datos se encontraban tabulados, y las imágenes 3 a la 5 muestran un caso en particular de las gráficas de los datos obtenidos en las diferentes experiencias.

Caso	F calculado	F de tabla
7cm (9.5°C)	1,8109938	1,947347907
8cm (9.5°C)	1,89330833	1,947347907
9cm (9.5°C)	0,87974566	1,947347907
10cm (9.5°C)	0,81470131	1,947347907
11cm (9.5°C)	0,70939256	2,012654388
44°C (25cm)	3,21422259	1,947347907
47°C (25cm)	1,87499072	1,947347907
54°C (20cm)	0,75714691	1,947347907
56°C (20cm)	0,40683247	1,947347907
58°C (20cm)	0,18798831	1,947347907
60°C (20cm)	0,18798831	1,947347907

Tabla 1: datos obtenidos luego de realizar el análisis de la varianza de un factor.

A pesar que los resultados arrojados demuestran que no existen diferencias significativas entre los datos (sólo en un caso particular), se puede apreciar que a medida que la temperatura aumenta, esta diferencia se hace aún mayor e indica que los datos son más similares entre sí y el tiempo de respuesta al enviar cada paquete es parecido entre uno y otro, por lo que pareciera que es posible inferir que si aumentamos la temperatura, esta diferencia o más bien dicho, el F calculado, será menor o se mantendrá en algún valor cercano.

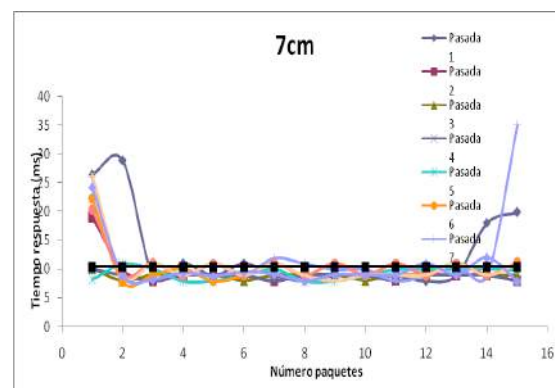


Imagen 3: comportamiento a 7cm de separación, agua fría.

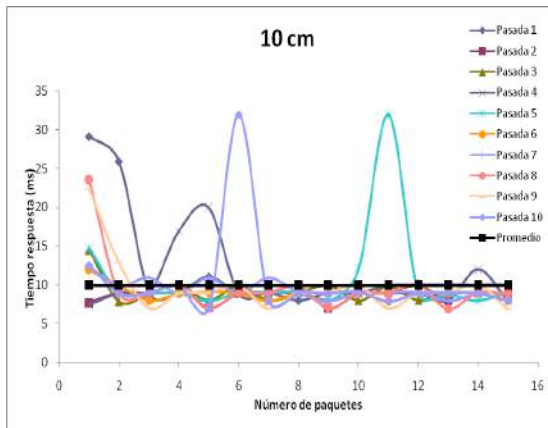


Imagen 4: comportamiento a 10 cm de separación, agua fría.

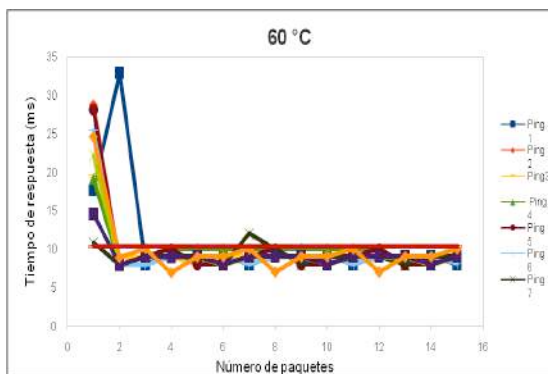


Imagen 5: comportamiento a 20cm de separación, agua caliente a 60°C.

4. DISCUSIÓN

Luego de la experiencia realizada, se pudo concluir que el experimentar bajo el agua es un gran reto. La primera precaución que hay que tener es encapsular o proteger del objeto a estudio muy bien, ya que si se trata de objetos electrónicos, si se mojan pueden dañarse y no funcionar más, o tal vez las gotas de agua que lo penetren provoquen alguna interferencia en los resultados.

Por otro lado, como se demostró en el artículo, a medida que aumentamos la temperatura del agua, la comunicación es más estable e invariable en el tiempo, pero esto no ocurre a menudo en situaciones cotidianas (a menos que sea en algún centro termal), y se realizan acciones, a menudo, en ambiente con la temperatura de ésta más bien baja, y dispositivos con tal frecuencia de comunicación (2.4 GHz), raramente funcionarán a grandes distancias. Realizado esto, se pudo demostrar que si se quiere efectuar algún tipo de comunicación submarina o bajo el agua, es preciso utilizar dispositivos que posean frecuencias muy

bajas, de tal modo que ésta no será tan “ancha” y podrá viajar fácilmente.

Ahora bien, si analizamos la situación desde todas sus aristas, la salinidad, cantidad de microorganismo, oleaje, y presencia animal, sin lugar a dudas influyen directamente en la medición, ya que si el agua es salada, su densidad cambia, y por ende su tensión superficial también lo hace, junto con el modo de interacción de sus moléculas. Pero, a pesar todos los inconvenientes, se deja en claro que sí es posible una comunicación inalámbrica bajo este medio, pero en las condiciones que hemos podido observar.

Todo este estudio, doy un puntapié para realizar pruebas con dispositivos de menor frecuencia, y estimar, si es posible, establecer una red de contacto que permita, por ejemplo, un sistema de comunicación de los buzos bajo el agua, o bien, generar uno de rastreo en caso de avalanchas, yéndose más al extremo de estudiar bajo hielo.

Dicho esto, es posible realizar una caracterización del comportamiento de estos dispositivos bajo el agua, los cuales, a baja temperatura (ambiente en época invernal), es necesario que los dispositivos se encuentren lo más cerca posible para comunicarse, y a alta temperatura, es posible situarlos a mayor distancia, sin perder la comunicación. Además, si se registran las medias de los datos obtenidos, se observa que para ambos casos de prueba, su comportamiento es del tipo de una función polinómica, en particular, de una cuadrática. Estos resultados se muestran en las imágenes 6 y 7.

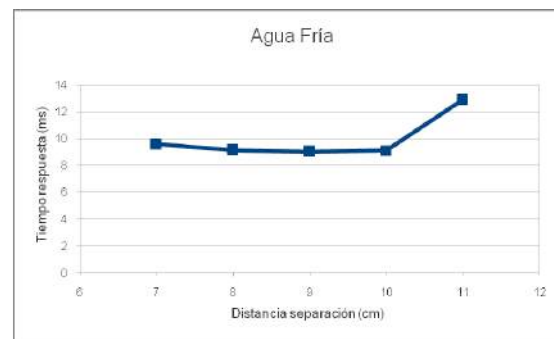


Imagen 6: medias v/s tpo. de respuesta, para agua fría.

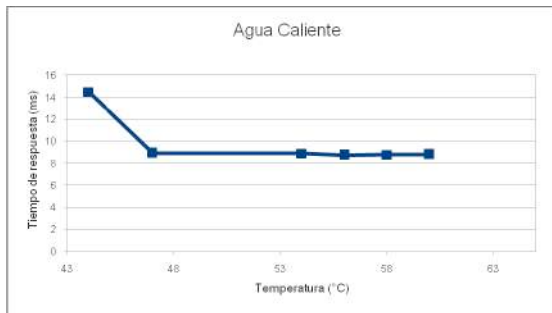


Imagen 7: medias v/s tpo. de respuesta, para agua caliente.

REFERENCIAS

- [1] Jaime Lloret, Sandra Sendra, Miguel Ardid, Joel Rodrigues, *Underwater Wireless Sensor Communications in the 2.4 GHz ISM Frequency Band*. Published: 28 March 2012. Disponible: <http://www.mdpi.com/1424-8220/12/4/4237>
- [2] Man <http://linux.die.net/man/1/hcitol>
- [3] Man l2ping: <http://linux.die.net/man/1/l2ping>
- [4] Script <http://tecnicoslinux.com.ar/archives/date/2011/03/24>
- [5] Script http://www.arachnoid.com/linux/shell_programming.html
- [6] ANOVA: http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_la_varianza

AGRADECIMIENTOS

De manera especial quisiera expresar mi gratitud a la Profesora del área de Química del Centro de Docencia de Ciencias Básicas para la Ingeniería, Sra. Luz Alegría Aguirre, por su apoyo en el análisis del comportamiento de las ondas electromagnéticas bajo el agua; a la Profesora del Instituto de Informática, Sra. Gladys Mansilla Gómez, por su apoyo en el análisis estadístico de los datos. Además, a mi profesor guía, Sr. Christian Lazo Ramírez, por su constante e incondicional apoyo durante todo el trabajo realizado y haberme instruido en el bello arte de investigar.