

OPTIMIZACIÓN MAC EN UNA RED BAN MULTISERVICIOS

Proyecto Final de Carrera

Junio 2010



Javier Cuadrado López

Tutor: Claire Goursaud
Presidente Tribunal: Antoine Fraboulet
Cotutor UC3M: Ana García Armada
Coordinador Académico: Mario Muñoz Organero

1. Introducción.....	3
2. Contexto del proyecto	4
2.1. Body Area Networks (BAN)	4
2.2. Capa MAC	5
2.2.1. Definición y estructura	5
2.2.2. Relay	6
2.2.3. Retransmisión	8
3. Propiedades de las simulaciones en WSNet	9
4. Simulaciones	10
4.1. Escenario 1. Tres nodos (Emisor-Relay-Receptor)	10
4.1.1. Análisis de la PER.....	10
4.1.2. Análisis de la energía consumida	11
4.2. Escenario 2. Tres nodos (Dos Emisores/Relays-Receptor).....	13
4.2.1. Análisis de la PER.....	13
4.2.2. Análisis de la energía consumida	13
4.3. Escenario 3. Nueve nodos (Ocho Emisores/Relays-Receptor)	14
4.3.1. Análisis de la PER.....	14
4.3.2. Análisis de la energía consumida	16
5. Shadowing y Fading	17
6. Conclusión.....	18
Bibliografía.....	19

1. Introducción

He realizado mi Proyecto Fin de Carrera en el laboratorio CITI perteneciente al departamento Telecomunicaciones, Servicios y Usos del INSA de Lyon y bajo la tutela de la profesora Claire Goursaud. En la Universidad Carlos III de Madrid ésta ha corrido a cargo de la Dr. Dña. Ana García Armada.

Antes de su implementación, el despliegue de una red de sensores necesita de una fase de simulación con el fin de asegurarse del buen funcionamiento de todos los dispositivos. Esto es necesario debido al gran coste de este despliegue. En esta fase hay una gran cantidad de investigadores que intervienen con el fin de simular los diferentes protocolos que van a ser utilizados por los sensores, los diferentes modelos de propagación, los diferentes escenarios etc. Todo ello, como ya he dicho, para asegurarse del buen funcionamiento de todos los dispositivos antes de pasar a la fase de pruebas donde todos estos protocolos van a ser implementados en los sensores.

En mi caso particular, mi PFC tiene como objetivo la optimización de la capa MAC en una red BAN (Body Area Network-Red de Área Corporal). Lo que he hecho ha sido desarrollar en WSNNet (software de simulación de redes de sensores desarrollado por el laboratorio CITI del INSA de Lyon) los diferentes algoritmos de relay con el fin de poder simularlos y obtener resultados en términos de PER (Probabilidad de Error) y energía consumida. Como veremos a través de este informe, se han simulado tres escenarios diferentes. WSNNet incluye diversos módulos de capas MAC, sin embargo he tenido que desarrollar diferentes con el fin de incluir las nuevas características de los protocolos que queremos utilizar.

A partir de ahora presentaré el contexto en el que he trabajado y describiré los diferentes escenarios que he simulado.

2. Contexto del proyecto

2.1. Body Area Networks (BAN)

Body Area Networks (BAN) o Redes de Área Corporal en castellano es un acrónimo muy conocido a día de hoy que hace referencia a las redes inalámbricas de sensores integradas en el cuerpo humano (bien implantadas en el cuerpo o llevadas por la persona).

Las BANs están compuestas por un cierto número de sensores móviles y compactos intercomunicados que vigilan los parámetros vitales del cuerpo así como sus movimientos. Estos sensores capturan la información como datos digitales y los transmiten hasta una estación base o nodo coordinador que será el sensor que tratará, tomará decisiones, alertará, grabará o enviará esta información en tiempo real hasta un hospital, una clínica, un doctor etc.

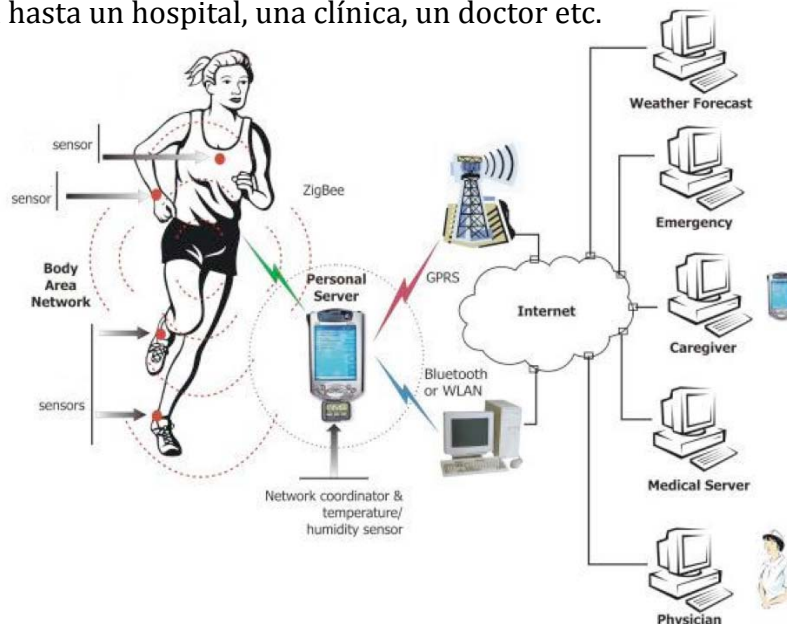


Figura 1. BAN

Favorecer las comunicaciones eficaces en el cuerpo humano así como entre ellos es una vieja idea. Esperamos que este tipo de redes sean desplegadas y utilizadas por muchas aplicaciones con el fin de ayudarnos en muchos aspectos de nuestra vida.

Hay muchas aplicaciones que utilizan las BANs como puede ser por ejemplo en el deporte, los hospitales, sistemas de ocio... lo cual hace del desarrollo de un protocolo que lo gestione un desafío muy estimulante. Sin embargo, es en la parcela médica donde tenemos las esperanzas más grandes para este tipo de redes. Esto es debido a que son muy útiles para vigilar y monitorizar desde cualquier parte del mundo los parámetros vitales de los pacientes que sufren enfermedades crónicas como el asma, la diabetes, crisis cardíacas etc.

2.2. Capa MAC

2.2.1. Definición y estructura

Nuestro modelo BAN está compuesto por tres capas de una forma similar a la del modelo OSI. El estándar utilizado para la capa física y el control de acceso al medio (*Media Access Control* MAC) es el **IEEE.802.15.3**.

La capa que estará más abajo y, por tanto, en la base de la “torre” será la capa física que describe las tecnologías de transmisión básicas en la parte material de la red. En este caso, esta capa definirá las tasas de bits máxima y mínima (11-55Mbps) así como los tamaños de datos máximo y mínimo (entre 64 y 2044 bytes). También se define la frecuencia de transmisión que será de 2.4GHz.

El siguiente nivel será el de la capa MAC (fundamentalmente controla el acceso al medio para cada nodo) y, finalmente, tendremos la capa aplicación que dirá cuándo tenemos flujos de información para ser enviados y qué tipo de información contienen.

El Control de Acceso al Medio (MAC) es una subcapa según los estándares de las redes informáticas IEEE 802.x de la parte inferior de la capa de enlace de datos del modelo OSI. Sirve de interfaz entre esta última capa y la capa física. Esta subcapa es diferente según el tipo de medio físico utilizado (Ethernet, Token Ring, WLAN...). Los principales roles de esta subcapa *son insertar las direcciones MAC de cada nodo* que transmite en la supertrama (en nuestro caso se insertará el número de cada nodo que envía o recibe la trama) y *controlar el acceso al medio físico cuando éste es compartido*. De esta forma se evitan las colisiones entre paquetes enviados por nodos que intentan acceder a la red al mismo tiempo.

Para el estándar IEEE 802.15.3 las supertramas de la capa MAC tendrán el siguiente esquema:

- **Encabezado:** El encabezado de la capa MAC corresponde a 20 bytes a los cuales se añade un “Frame check sequence” de 4 bytes.

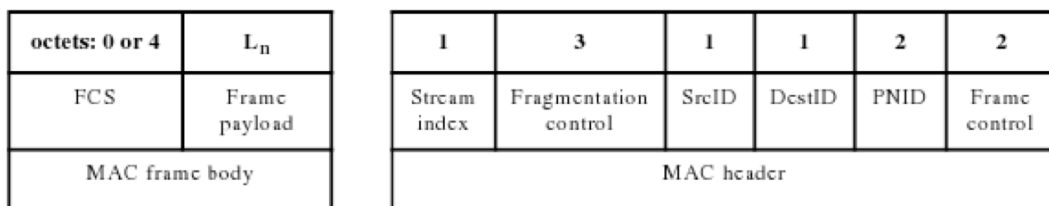


Figura 2. Estructura del encabezado. Fuente IEEE 802.15.3 pág. 103

- **Supertrama:** La supertrama corresponde a un espaciado temporal de ranuras que permite organizar la comunicación entre los diferentes nodos de la red. Esta supertrama es definida por el nodo coordinador y se compone de tres fases:

- **Beacon:** paquete enviado por el nodo coordinador o PNC (*Piconet Node Coordinator*) para informar a los otros nodos de la red de la composición de la supertrama y de la posición en el tiempo de las diferentes fases. Tiene un rol de sincronización.
- **Contention Access Period (CAP):** acceso disponible para todos los nodos de la red gracias a un mecanismo de acceso por contención CSMA/CA (*Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance*). El CAP es utilizado por los nodos para una asociación *request/response* utilizando tramas *channel time request/response* pero también es posible enviar datos generales. Por ello veremos más adelante en este informe un modo de relay en el que los datos serán reenviados en esta parte de la supertrama.
- **Contention Free Period (CFP):** mecanismo de acceso sin contención por ranuras reservadas a flujos de datos particulares que van de un nodo a otro de la red. Cada reserva de un flujo (llamada CTA o *Channel Time Allocation*) permite definir una ranura con tamaño variable. Dentro del CFP podemos definir dos tipos de CTAs, *Guaranteed Time Slots* (GTS) o *Management Time Slots* (MTS) con una estructura de trama TDMA. Las ranuras MTS se utilizan para llevar la información de gestión desde los esclavos hasta el coordinador PNC. Las ranuras GTS se utilizan para las comunicaciones de datos síncronas y asíncronas. Utilizaremos estas últimas. Cuando un nodo reserva una ranura con un protocolo *Channel Time Request/Response*, recibe una ranura dentro del CFP que le permite enviar información en el periodo de tiempo que dura esta ranura.

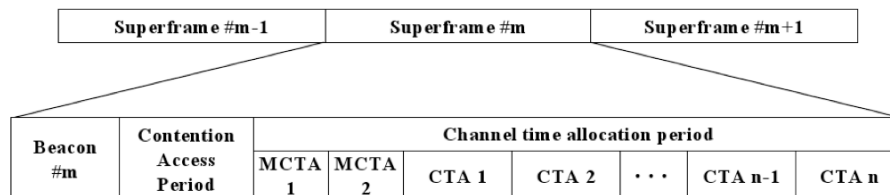


Figura 3. Esquema de la supertrama. Fuente IEEE 802.15.3 pág. 170

2.2.2. Relay

El relay es una técnica utilizada cuando un paquete enviado por un nodo emisor no llega al nodo destinatario. Lo que se hace es enviar el paquete a otro nodo que será el relay (que tendrá una mayor probabilidad de que un paquete enviado por él llegue al receptor) y éste reenviará el paquete al nodo destinatario. Para saber si el paquete enviado por el emisor ha sido recibido o no miramos si el nodo receptor ha enviado el ACK, en caso de que no sea enviado entonces sabremos que no ha recibido el paquete y, por tanto, tenemos que hacer uso del relay.

A continuación veremos los dos esquemas de relay que utilizamos dentro de la supertrama. Uno de ellos será dentro de la parte del CFP y el otro en la parte del CAP.

Esquema A

Utilizamos el CFP para emitir los datos reenviados por el nodo relay. El nodo emisor reserva, como ya dijimos, una ranura GTS para enviar sus datos de forma que si estos no llegan al nodo receptor, el relay emitirá dentro de la misma GTS (evidentemente, si hay tiempo suficiente hasta el fin de la ranura). En esta figura vemos cómo el nodo receptor no ha enviado el ACK (NACK) del paquete P1 de manera que el relay reenvía los datos en la misma GTS:

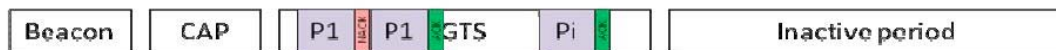


Figura 4. Estructura de la supertrama propuesta para el esquema A: ejemplo de la retransmisión del paquete P1

La principal ventaja de este esquema es que al hacerse la retransmisión justo después del fallo en la transmisión no perdemos mucho tiempo de manera que el **retardo para el envío de un paquete es pequeño**. Sin embargo, estamos ocupando espacio en la CFP, de forma que hay paquetes que se iban a enviar en esta supertrama que por razones de espacio se tendrán que enviar en la siguiente y eso hace que la **tasa de bits disminuya**.

Este esquema es, pues, muy adecuado para aplicaciones médicas o alarmas donde la tasa de bits no es muy grande pero, sin embargo, el retardo es un requisito importante.

Esquema B

En este esquema utilizamos el CAP para emitir los datos reenviados por el relay. De esta manera, si la transmisión no se ha podido realizar, el relay accederá al medio de una forma aleatoria durante el periodo del CAP de la supertrama siguiente utilizando un protocolo CSMA/CA para evitar colisiones.

En este ejemplo observamos cómo el receptor no ha enviado el ACK del paquete P1 (NACK), de manera que el relay accede al medio durante el periodo del CAP de la supertrama siguiente y reenvía el paquete:

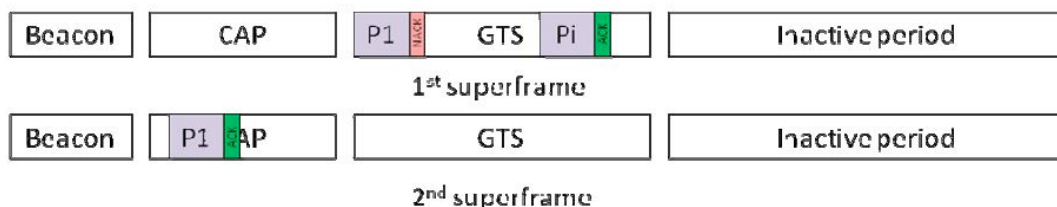


Figura 5. Estructura de la supertrama propuesta para el esquema B: ejemplo de la retransmisión del paquete P1

En este caso la ventaja reside en que tenemos más espacio en el CFP de manera que la tasa de bits es grande, sin embargo el retardo al enviar un paquete

que no ha podido llegar al nodo receptor es grande porque tenemos que esperar hasta la supertrama siguiente. Esto hace que este esquema sea bueno para aplicaciones de *video streaming* que necesitan una alta tasa de bits (de manera que el CFP no debe ser malgastado con retransmisiones) y tienen tolerancia para pequeños retardos.

2.2.3. Retransmisión

De la misma forma que tenemos la técnica del relay, tenemos también la técnica de la retransmisión. En las simulaciones veremos cómo utilizamos o bien el relay o bien la retransmisión.

La retransmisión se hace cuando el ACK enviado por el nodo receptor no se recibe por el nodo emisor (en el caso del relay, éste se hacía si el ACK no se enviaba desde el receptor).

La retransmisión se hace siempre en la misma GTS reservada por el nodo emisor en el CFP al igual que el relay. Esto quiere decir que si el nodo emisor envía un paquete y éste no es confirmado con un ACK por el receptor, entonces será el nodo emisor quien reenvíe su paquete en la misma GTS (a diferencia del relay donde era otro nodo quien hacía el reenvío).

Una vez más, la retransmisión se hace solamente si hay suficiente tiempo en la ranura GTS.

Otra característica de este algoritmo es que la retransmisión se realiza una única vez, de forma que si el paquete reenviado no es recibido por el receptor, entonces este paquete de datos se descartará y se enviará el siguiente.

A continuación, veremos los resultados obtenidos utilizando la retransmisión así como el relay (esquemas A y B) en los diferentes escenarios que he simulado con WSNNet.

3. Propiedades de las simulaciones en WSN

En cada simulación hemos trabajado sobre dos parámetros: PER (probabilidad de error) y energía.

Para la PER lo que he hecho ha sido obtener el número de paquetes recibidos por el nodo coordinador (porque es el nodo hacia el que todos los paquetes están dirigidos) y hacer la división entre el número de paquetes enviados por todos los nodos. La PER se obtiene, por tanto, de la siguiente forma:

$$1 - (\text{paquetes_recibidos} / \text{paquetes_enviados})$$

Para el caso de la energía consumida en transmisión tuve que introducir en el simulador la ecuación que nos da esta energía en función de la potencia de transmisión. Para ello, teniendo en cuenta que utilizamos el sensor **CC2520** de *Texas Instruments*, consulté en las hojas de características la corriente eléctrica que gastaba en función de la potencia y fácilmente pude obtener una ecuación lineal que nos daba la energía.

En el caso de la energía consumida en recepción (ésta es la misma independientemente de la potencia de transmisión) sabemos de las hojas de características la corriente eléctrica gastada en recepción (18.5mA) así como la tensión de utilización (3V) de manera que fácilmente obtenemos la potencia (0.0555W) y ésta la multiplicamos por el tiempo que dura la recepción para obtener la energía.

Para la transmisión se realizó el mismo desarrollo pero teniendo en cuenta que la corriente eléctrica consumida (y, por tanto, la energía) dependían de la potencia de transmisión de forma que se obtuvo una ecuación lineal en función de ésta.

En cuanto a los diversos parámetros utilizados en las simulaciones podemos destacar los siguientes.

El **tiempo de simulación** ha sido de 100000s para obtener la PER mientras que para la energía hemos utilizado un tiempo más corto de 1000s debido a que en este caso estamos solamente interesados en la energía consumida por paquete recibido de forma que el hecho de simular más tiempo aumenta la energía pero también el número de paquetes recibidos y el resultado es el mismo.

La **duración de la supertrama** es de 0.06s mientras que la **duración del CAP** será de 0.00211s (en el escenario 3 veremos que este último valor lo variaremos para ver su efecto sobre la probabilidad de error).

La capa aplicación **entrega un paquete** a la capa MAC cada 0.06s (por tanto cada supertrama) y el **tamaño** de éstos es de 900 bytes.

La **modulación digital** que se utiliza es la OQPSK y la **tasa de bits** es de 22.22Mbps.

4. Simulaciones

4.1. Escenario 1. Tres nodos (Emisor-Relay-Receptor)

4.1.1. Análisis de la PER

Este primer escenario simulado está compuesto de tres nodos (emisor, relay y receptor). Es el escenario más simple con el fin de poder probar el algoritmo que hemos programado sobre WSNNet.

Los nodos están colocados formando un triángulo de 0.5m de lado:

Nodo 0 (Coordinador): $x=0, y=0, z=0$ (las unidades vienen dadas en metros)

Nodo 1 (Emisor): $x=0.5, y=0, z=0$

Nodo 2 (Receptor): $x=0.25, y=0.433, z=0$

Lo primero que analizaremos es la probabilidad de error calculada como vimos en el apartado anterior:

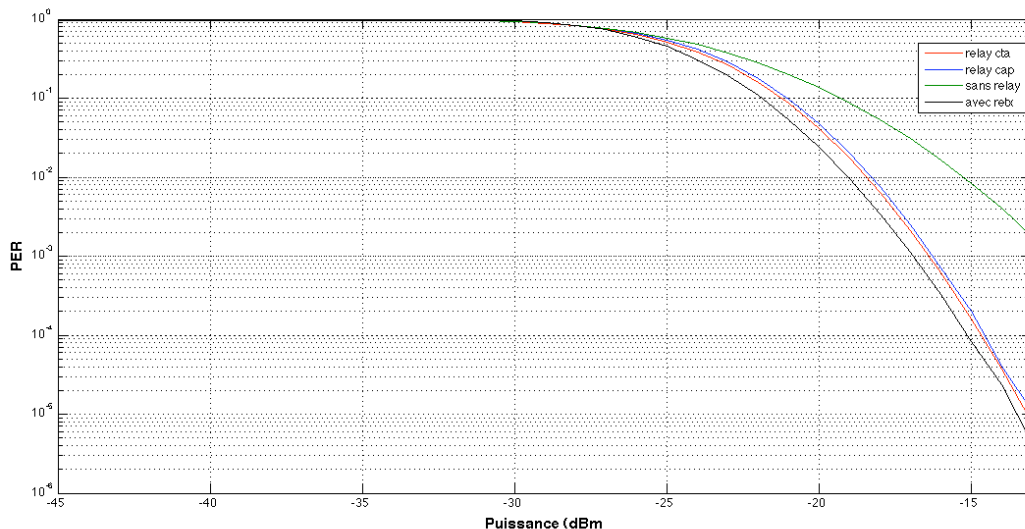


Figura 6. PER en el escenario 1

Como vemos, hemos utilizado cuatro algoritmos (sin relay y sin retransmisión, con relay en el CAP, con relay en el CTA y finalmente con retransmisión). En el eje de abscisas tenemos la potencia de transmisión y en el de ordenadas la PER.

Lo más importante que podemos destacar de los resultados obtenidos es lo siguiente:

- ✓ El relay en el CTA es un poco mejor que en el CAP debido a que en el CAP el tiempo que tenemos es más limitado que el de la ranura del CTA y, además, en esa parte se transmiten más mensajes como por ejemplo comandos como CHANNEL TIME REQUEST, CHANNEL TIME RESPONSE... todo esto hace que muchas veces no se puedan transmitir datos reenviados por falta de tiempo.

- ✓ El algoritmo con retransmisión es el mejor de todos debido a que al estar todos los nodos a una distancia equivalente de 0.5m entre sí es mejor reenviarlo directamente que enviarlo al nodo relay y de ahí al nodo receptor.
- ✓ El peor comportamiento con respecto a la PER es, obviamente, aquel que no utiliza ni relay ni retransmisión.

También he simulado el caso en el que el relay se encuentra más cerca del receptor que el emisor para demostrar que en este caso el algoritmo con relay es mejor. En este caso los nodos se encuentran en línea recta con emisor y receptor a 0.5m y el nodo relay entre medias (0.25m):

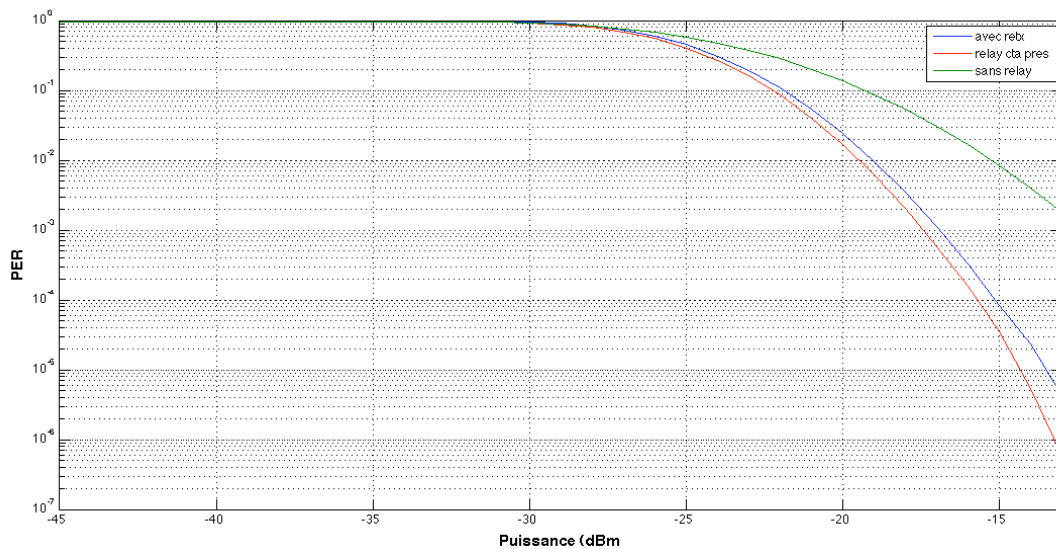


Figura 7. PER en el escenario 1 con el nodo relay más cerca del nodo receptor

Como vemos, en este caso la curva roja (relay en el CTA) es mejor que la azul (retransmisión), de forma que se cumple lo previsto.

Podemos ver también que cuando la potencia de transmisión es tan débil que casi ningún paquete llega a su destino es indiferente el algoritmo que utilicemos puesto que la PER es prácticamente la misma (aproximadamente a partir de $2\mu W = -27dBm$).

4.1.2. Análisis de la energía consumida

En este caso vamos a hacer el análisis de la energía consumida por cada nodo. Como dijimos, calculamos la energía consumida por paquete recibido por el nodo coordinador. De esta manera, podemos saber para qué energía tenemos el mejor comportamiento teniendo en cuenta la energía consumida y el número de paquetes recibidos. Queremos llegar a un compromiso entre la potencia utilizada y el número de paquetes recibidos.

A continuación mostramos los resultados, he utilizado de nuevo la estructura en triángulo (cada nodo a 0.5m). Como podremos ver, el

comportamiento energético no depende mucho del algoritmo de relay que utilizamos (bien utilizando el relay en el CAP o en el CTA).

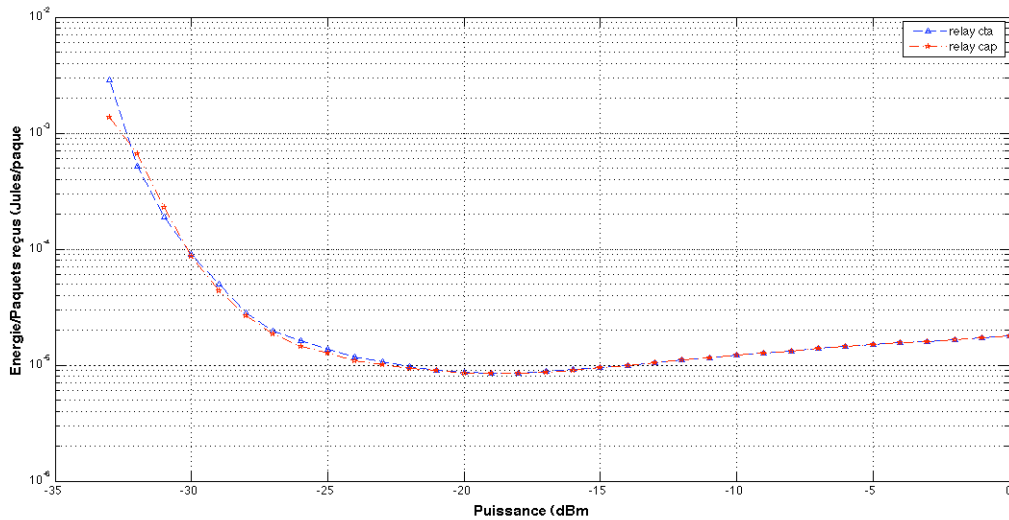


Figura 8. Energía consumida por el nodo emisor

En este caso podemos ver que la potencia óptima de transmisión es aproximadamente alrededor de **-19dBm** (donde tenemos el mínimo de la curva). Con esta potencia tenemos un número de paquetes recibidos aceptable en relación con la energía consumida. Si utilizamos una potencia menor el número de paquetes recibidos es muy pequeño mientras que si utilizamos una potencia mayor el consumo energético es muy alto en relación con el número de paquetes recibidos.

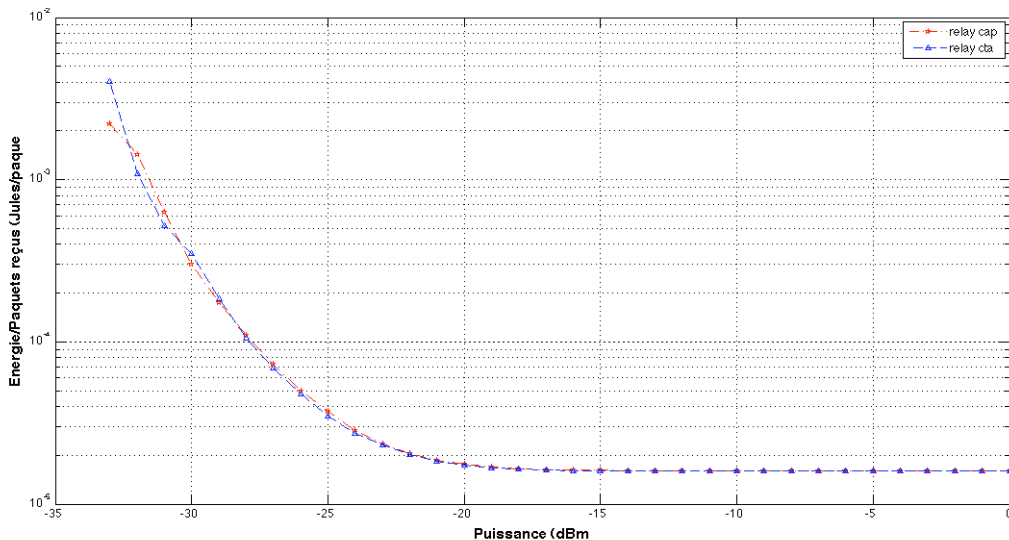


Figura 9. Energía consumida por el nodo relay

En este caso, observamos que el consumo de energía es constante hasta -17dBm debido a que prácticamente no hay relays hasta esta potencia. A partir de ahí comienza a haber más relays y la energía aumenta. La potencia de transmisión ideal es alrededor de -16dBm pero podríamos emitir a -19dBm sin que la curva aumente significativamente.

NOTA: No se ha simulado el caso para el nodo receptor debido a que él no envía paquetes sino solamente ACKs y comandos así como el beacon. Esto hace que la curva sea muy parecida a la del relay.

4.2. Escenario 2. Tres nodos (Dos Emisores/Relays-Receptor)

4.2.1. Análisis de la PER

En este segundo escenario, se ha simulado una situación en la que tenemos también tres nodos pero ahora los emisores son a la vez relays. Los nodos 1 y 2 emitirán paquetes y será cada uno el relay del otro. La estructura será una vez más en triángulo y con 0.5m de lado.

Hemos simulado los mismos algoritmos que antes y el resultado es el siguiente:

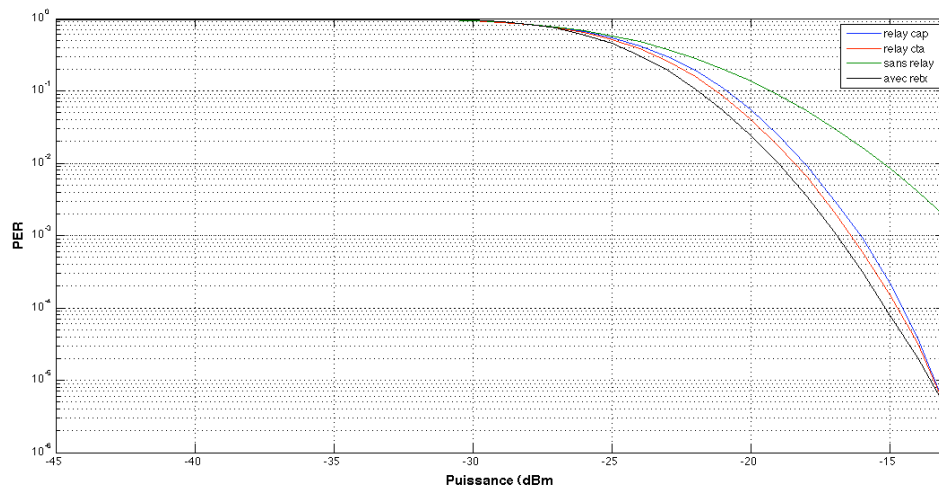


Figura 10. PER en el escenario 2

Podemos ver que las probabilidades de error son muy parecidas a las del escenario anterior. Sin embargo, tenemos una mayor diferencia entre el relay en el CTA y en el CAP.

En este caso el relay en el CAP es peor debido a lo que dijimos antes. El tiempo que tenemos en el CAP es muy limitado y los datos a reenviar rivalizan además con los comandos enviados para reservar las ranuras en el CTA. En este escenario la PER con relay en CAP es peor porque ahora son dos nodos los que hacen de relay de manera que habrá obviamente más paquetes reenviados y, por tanto, un nodo más que antes que intentará entrar en el CAP para realizar reenvíos. Esto hace que haya muchas veces que no habrá suficiente tiempo para enviar todo y se descarten paquetes.

4.2.2. Análisis de la energía consumida

Una vez más, analizamos la energía consumida por los nodos. Para este caso solamente hemos analizado el nodo 1 debido a que el nodo 2 hace exactamente el mismo trabajo (es también relay y emisor) de manera que los valores de energía son parecidos.

A continuación vemos los resultados obtenidos:

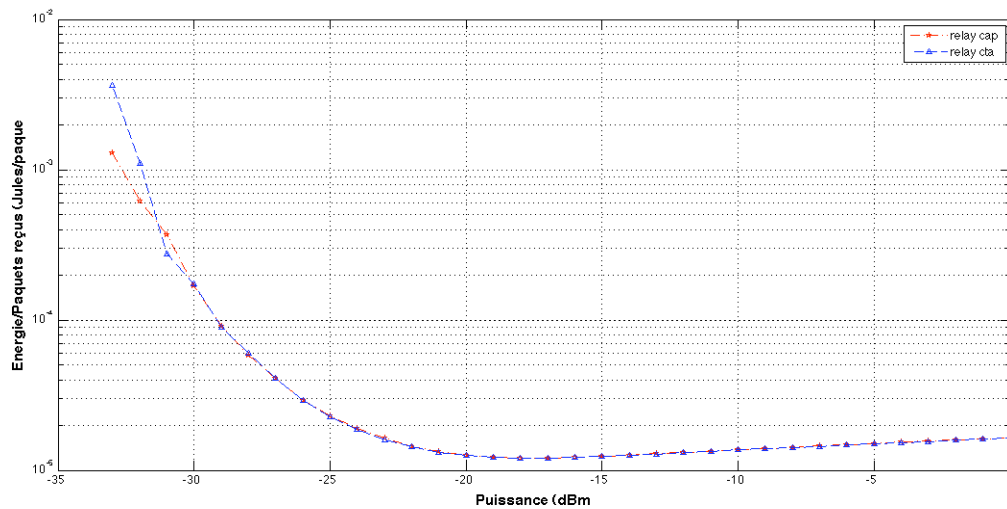


Figura 11. Energía consumida por el nodo 1 (emisor+relay)

Como se puede observar, el resultado es muy parecido al del escenario precedente. La potencia de transmisión óptima es alrededor de **-18dBm**. Solamente hay un cambio y es que la energía consumida por paquete es más grande debido a que en este caso el nodo envía más paquetes ya que además de ser emisor también es relay. Como antes, el comportamiento energético vemos que no depende del algoritmo utilizado.

4.3. Escenario 3. Nueve nodos (Ocho Emisores/Relays-Receptor)

4.3.1. Análisis de la PER

Este tercer escenario está compuesto por nueve nodos de los cuales uno será el coordinador (receptor) y los otros ocho nodos son a la vez emisores y relays. Los nodos se encuentran colocados de la siguiente forma:

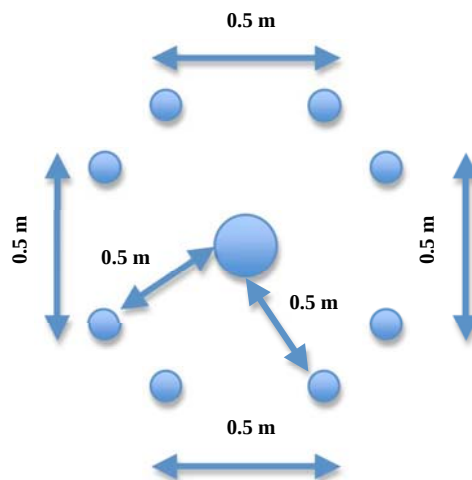


Figura 12. Colocación de los nodos en el escenario 3

En el centro tendremos el nodo coordinador y los otros ocho nodos se colocan alrededor de él a una distancia de 0.5m y además a una distancia de 0.5m dos a dos como se pudo observar en la figura.

Se colocan de esta manera debido a que los relays se hacen también dos a dos, el nodo 1 es relay del 2 y viceversa y lo mismo para el 3-4, 5-6 y 7-8.

Una vez más simulamos los cuatro algoritmos que hemos visto hasta ahora, a continuación mostramos los resultados:

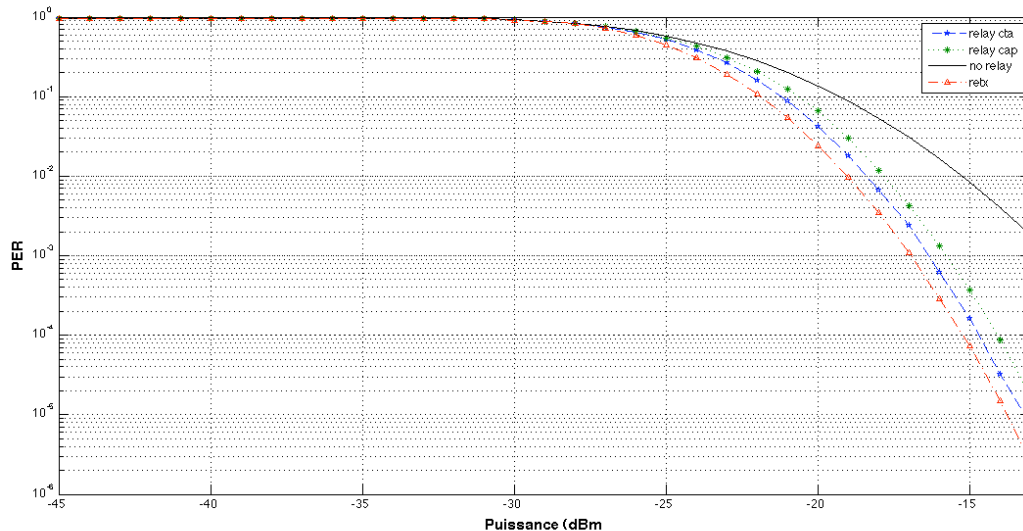


Figura 13. PER en el escenario 3

Una vez más, la retransmisión resulta el mejor algoritmo debido a que todos los nodos se encuentran a 0.5m del nodo receptor, de forma que es mejor que cada uno reenvíe sus propios paquetes que enviarlos al relay y que éste los reenvíe.

Podemos observar que en esta ocasión la diferencia entre el relay en el CAP y en el CTA es aun más grande. La explicación es muy clara, en este caso tenemos todavía más nodos que son relays, de manera que el tiempo que hay en el CAP para enviar datos es cada vez más insuficiente.

Para demostrar esto hemos ido variando la duración del CAP (hasta ahora era de 0.00211s) y veremos como ésta tiene una influencia muy importante en la PER:

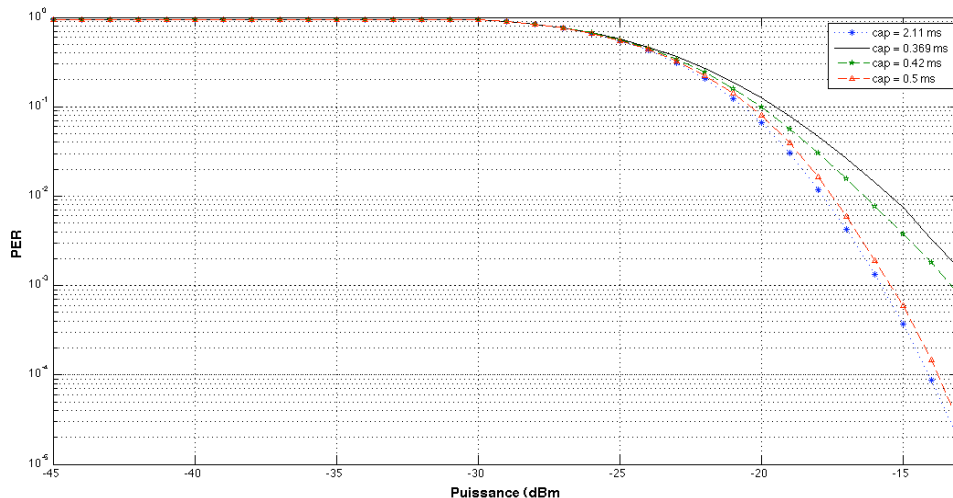


Figura 14. Comparación entre diferentes duraciones del CAP

Se puede ver claramente cómo cuanto menor sea el CAP mayor es la probabilidad de error debido, obviamente, a que hay menos tiempo en el CAP y, por tanto, menos relays.

La menor duración que hemos escogido para el CAP (0.369ms) es aquella en la que solamente se puede realizar un relay (el número de backoffs del algoritmo CSMA/CA es 0). Aumentando esa longitud cada vez se pueden realizar más relays (aquellos con backoffs mayor que 0) de manera que la PER disminuye hasta aproximadamente una longitud un poco mayor de 0.5ms. Una vez llegados a esta longitud casi todos los relays se realizan y es por eso por lo que la curva se parece tanto a la de 2.11ms.

Utilizando, por ejemplo, una longitud de 0.8ms vemos que el comportamiento es casi el mismo que con 2.11ms:

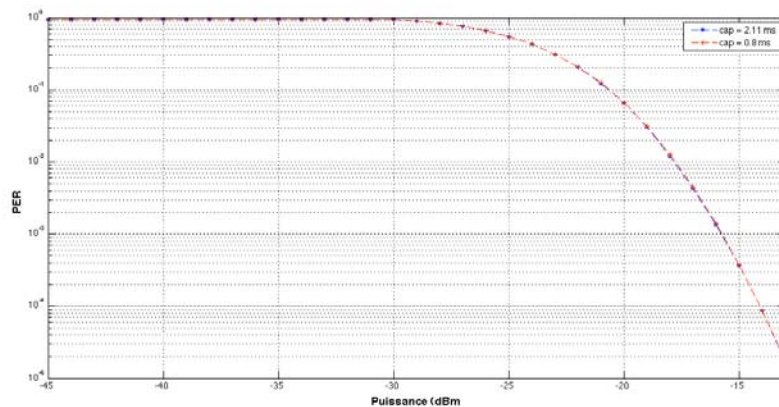


Figura 15. Comparación entre CAP=0.8ms y CAP=2.11ms

Es importante este resultado porque esto quiere decir que con una longitud de 0.8ms (1.31ms menos que la precedente) tenemos el mismo comportamiento, de manera que podemos economizar el espacio para el CTA y, por tanto, tener más espacio para enviar paquetes y **aumentar la tasa de bits**.

4.3.2. Análisis de la energía consumida

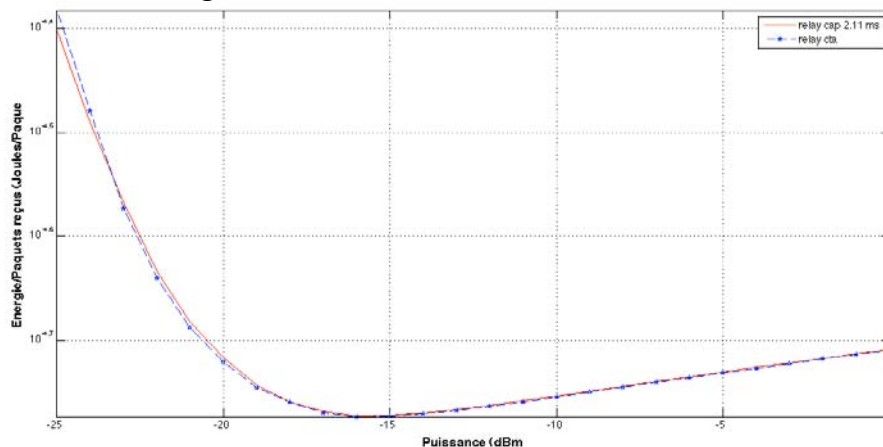


Figura 16. Energía consumida por el nodo 1 en el escenario 3

La potencia óptima de emisión es **-16dBm** donde tendríamos una PER del orden de 10^{-5} . Podríamos asimismo emitir a una potencia un poco más grande sin consumir mucha más energía pero ganando mucho en términos de PER.

5. Shadowing y Fading

Para recordar, el *shadowing* es la desviación en la atenuación de una señal sufrida en un medio de propagación determinado. Varía con el tiempo y su causa son los obstáculos que afectan a la propagación de la onda.

El *fading* es también una desviación en la atenuación de una señal pero en este caso la causa es el *multipath* (propagación de una señal radio por diversos caminos). Las causas de la atenuación multipath son la reflexión en la ionosfera, la refracción, reflexión y difracción por los obstáculos naturales o los edificios.

Evidentemente, en una red BAN que debe ser colocada en el cuerpo de una persona ocurren estos dos fenómenos. Por ejemplo, el coordinador se colocará en el modelo real en la cadera, de forma que habrá ciertos obstáculos que afectarán a la propagación de la onda desde otros nodos colocados por ejemplo en cabeza, pie o manos así como *multipath*.

A continuación podemos ver los datos teóricos que obtuvimos para el enlace cadera-pie derecho en cuanto a shadowing y fading:

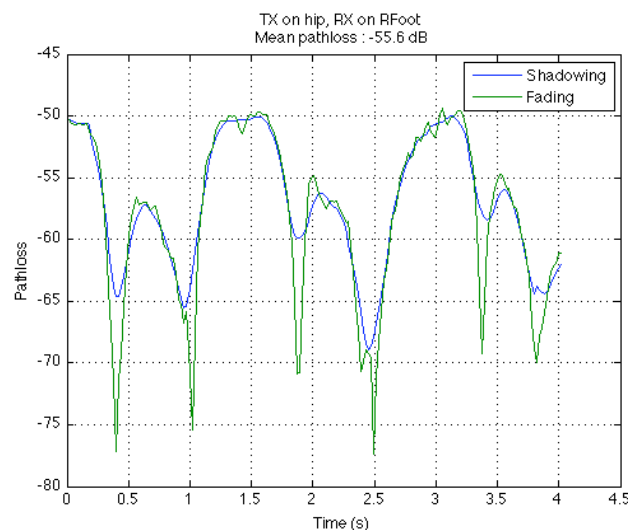


Figura 17. Shadowing y fading para el enlace cadera-pie derecho

Se ha creado un nuevo fichero para añadir a WSNet en el que tenemos en cuenta los valores de shadowing y fading para todos los enlaces (todos estos datos no fueron recibidos cuando yo hice el proyecto así que es algo que se hará en el futuro).

Estos valores son importantes porque nos permiten elegir mejor al nodo que será el relay. Por ejemplo, si el nodo colocado en el pie derecho en un instante determinado tiene unas condiciones de shadowing y fading que podrían comprometer la recepción de los datos por el nodo receptor, deberemos buscar un nodo relay con condiciones favorables. De esta manera, utilizaremos siempre como relays aquellos nodos que tengan menos pérdidas en su enlace con el nodo receptor y de esta manera podremos disminuir la probabilidad de error.

6. Conclusión

El objetivo de mi Proyecto Fin de Carrera era estudiar la implementación de una red BAN en el simulador WSNNet. Tuve que estudiar diferentes escenarios y utilizar diferentes algoritmos de transmisión de datos.

Para todo esto, tuve que estudiar en un primer momento la tecnología BAN y el comportamiento del simulador WSNNet. Asimismo, tuve que documentarme sobre el protocolo que se utiliza para la capa MAC (IEEE 802.15.3).

En el desarrollo de este PFC, formé parte de un laboratorio de investigación (laboratoire CITI) en el cual he podido descubrir la profesión de investigador compartiendo datos e intercambiando ideas. He podido, además, profundizar en mis conocimientos acerca de las redes de sensores y comprender el interés creciente de los investigadores en este tema. También he podido mejorar mis competencias en cuanto a programación en C y XML así como entender el funcionamiento de un simulador de redes de sensores como WSNNet. En conclusión, he desarrollado mi capacidad para conducir un proyecto de principio a fin así como trabajar de forma autónoma a pesar de las complicaciones y los imprevistos que haya podido tener en cada etapa del proyecto.

Me gustaría animar a todo el mundo a realizar un intercambio en el extranjero bien para realizar el PFC o un curso académico con asignaturas. Es una experiencia inolvidable.

Bibliografía

- [1] IEEE 802.15.4 Standard, "Wireless MAC and Physical Layer Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks", Ago. 2007
- [2] C. Roblin and al. "Propagation channel models for BANs: an overview" TD 09 760 7th COST2100 MCM Braunschweig, Germany Feb. 2009
- [3] Web Oficial Bluetooth: <http://www.bluetooth.com/bluetooth/>
- [4] I. Pantazis, "Tracking Human Walking using Marg sensors", Thesis 2005
- [5] Yazdandoost and Sayrafian, "Channel Model for Body Area Network", IEEE 802.15 Working Group for WPANs Document IEEE P802.15-05-0780-05-0006, Feb. 2009
- [6] P.S. Hall et al., "Antennas and Propagation for On-Body communication Systems", in IEEE Antennas and Propagation Magazine, June 2007
- [7] G.S. Ahn, M.J. Lee, S.S. Joo: "Versatile MAC for Body Area Network", TG6 Call for Proposals (15-08-0811-03-0006-tg6-call-proposals), Mayo 2009
- [8] Web Oficial WSNet: <http://wsnet.gforge.inria.fr/>
- [9] Web Oficial del Proyecto BaNet: <https://www-banet.cea.fr/>
- [10] Chin, K.W. and Lowe, D., MiniMesh: an opportunistic transmission protocol for the IEEE 802.15.3 MAC, 2007
- [11] IEEE 802.15.3 Standard, "Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for high rate wireless personal area networks (WPANs)", 2003
- [12] Información en Wikipedia sobre Zigbee: <http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [13] Marandin, D. "ZigBee: Standard for Control and Sensor Networks", ITG FG 5.2.4 Workshop "Ad hoc, Sensor and Mesh Networking: New Opportunities for Wireless Communication" München, 10.02.2005
- [14] Savigny, C. "Rapport BANET", Mayo 2006
- [15] Karowski, N., "Passive Discovery schemes for opportunistic message relaying schemes based on IEEE 802.15.4"