

Diseño y desarrollo de una red BAN Bluetooth para la monitorización en enfermos de Parkinson

Adrià Rica Escriche

Ponente: Dr. Albert Samà Monsonís

Director: Carlos Pérez López

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Resumen—

Este trabajo final de grado se ha desarrollado en el Centre Tecnològic de Recerca per a la Dependència i la Vida Autònoma (CETpD). El CETpD es un centro de investigación, cuyo objetivo es ayudar a personas con dependencia a través de tecnologías que incrementen su calidad de vida. Una de sus líneas de investigación se centra en el análisis del movimiento humano, concretamente en las alteraciones de la marcha como en el caso de pacientes con la enfermedad de Parkinson (EP). Por ello, el CETpD ha desarrollado el 9x2, un sensor que, dentro del proyecto REMPARK, se integra en una red de dispositivos para monitorizar el paciente y permite mejorar el tratamiento que los neurólogos prescriben al paciente. En la actualidad, se está desarrollando un nuevo sensor 9x2 para mejorar las prestaciones del anterior modelo.

El trabajo final de grado tiene como marco de referencia las comunicaciones de la red de sensores, con el fin de implementar una tecnología de bajo consumo y dotar a la nueva versión del sensor 9x2 de capacidades de comunicación con dicha tecnología. Para llevar a cabo esta tarea, se estudiaron las distintas tecnologías de comunicación inalámbrica disponibles en el mercado y se escogió una que cumpliera con los requisitos de consumo, interoperabilidad y flexibilidad. Una vez escogida la tecnología, se realizó un estudio de los fabricantes que implementan dicho protocolo y se compararon las características de cada uno, con el fin de determinar que dispositivo ofrecía mejores prestaciones.

Tras seleccionar el módulo, se procedió a diseñar una red inalámbrica de sensores. La red cuenta con la nueva versión del sensor 9x2 y otros dos dispositivos que emularan los utilizados en el proyecto REMPARK. Para la implementación de la red, se ha creado una librería en C que permite a un microcontrolador STM32-F417 el control del módulo de comunicación y la creación de redes inalámbricas.

Palabras clave— Bluetooth, low energy, smart, Parkinson, red, inalámbrica, comunicación, librería, 9x2, BGScript, Labview.

Artículo recibido el 3 de Diciembre de 2013. Este proyecto se ha desarrollado en el CETpD y en colaboración con la Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú, para la realización del trabajo de final de grado del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

I. INTRODUCCIÓN

EL CETpD es un centro de investigación que tiene varias líneas de investigación centradas en el uso de las tecnologías, para facilitar la vida independiente de las personas. El análisis del movimiento humano y el estudio de las alteraciones motoras en la enfermedad de Parkinson (EP) es una de las principales. La EP es una enfermedad neurodegenerativa que afecta al movimiento de las personas y desde el CETpD se pretende mejorar la calidad de vida de los pacientes gracias a la detección de las alteraciones motoras a través de sensores de movimiento. Los pacientes con EP fluctúan entre dos estados motores a lo largo del día. En primer lugar, están los periodos en los cuales el paciente puede moverse sin dificultad (ON) y, en segundo lugar, los periodos en los que los que el paciente sufre alteraciones motoras (OFF). La monitorización de estas fluctuaciones, y su reporte a los doctores, permitiría personalizar la medicación que toman los pacientes para evitar los periodos OFF.

La determinación de los síntomas motores se investiga bajo proyectos que emplean aplicaciones de monitorización de pacientes para conocer su estado en tiempo real. Estos proyectos utilizan sensores inerciales que pueden determinar si una persona mayor ha caído o el estado motor de un paciente con la EP. Estos sensores trabajan conjuntamente con otros dispositivos como teléfonos móviles u ordenadores, con el fin de enviar la información recopilada por el sensor a unos servidores para su posterior monitorización. Por ello, es necesario dotar a los sensores inerciales de un módulo de comunicación inalámbrica para establecer conexión entre los diversos dispositivos.

En el CETpD se ha desarrollado el 9x2, un dispositivo capaz de monitorizar el movimiento de forma ambulatoria. Este sensor contiene un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro triaxiales, el dispositivo es capaz de adquirir los datos con una frecuencia de muestreo de 200Hz, y dispone de las conexiones Bluetooth 2.1 y Zigbee, para comunicarse con otros dispositivos. El sensor también incorpora una tarjeta microSD, para almacenar las señales de movimiento recogidas por los sensores para su posterior análisis. El sistema se

alimenta a través de una batería de ion-Li con una capacidad de 1130mAh. El sistema presenta una autonomía de 36 horas con una frecuencia de muestreo de 200Hz.

Actualmente se pretende actualizar este dispositivo con un microcontrolador de 32bit con más capacidad de procesamiento y mejor eficiencia energética como es el STM32-F417. El dispositivo debe mantener la capacidad de comunicación como en la versión anterior pero se desea la mejora en el consumo y mantener la interoperabilidad entre fabricantes y la creación de redes. De esta manera, en el presente trabajo, se realiza un estudio de las tecnologías inalámbricas de corto alcance disponibles en la actualidad y se selecciona la más adecuada a las necesidades de monitorización del movimiento humano. Finalmente, se presentará la creación de una red de sensores y una librería que permitirá al nuevo microcontrolador STM32-F417 crear redes de forma flexible.

El resto del artículo se divide de acuerdo a las siguientes partes. En la próxima sección se presenta el estudio y elección de las tecnologías inalámbricas de corto alcance y en la siguiente, la elección del módulo a utilizar en la red de dispositivos. En la cuarta sección, se introduce al Bluetooth Smart y en la posterior, se explica el diseño y funcionamiento de la red. A partir del diseño de la red, en la siguiente sección se explica la librería creada para el microcontrolador STM32-F417. Finalmente, se presentan las conclusiones.

II. TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS DE CORTO ALCANCE Y ELECCIÓN

Las comunicaciones inalámbricas de corto alcance del nuevo sensor 9x2 se utilizan en aplicaciones donde se requieren transmisiones rápidas y eficientes de un volumen de datos no muy elevado. Los requerimientos que la tecnología inalámbrica debe satisfacer están relacionados con los siguientes parámetros:

- El consumo: El módulo seleccionado deberá de tener un consumo reducido para que el dispositivo permita la monitorización del paciente el máximo de horas posible.
- Las capacidades de interconexión: El dispositivo deberá de permitir el intercambio de información con varios dispositivos en una red, por ello se escogerá un módulo con una topología que permita flexibilidad al crear una red
- La interoperabilidad entre los diversos fabricantes: Debido a que el dispositivo intercambiará información con otros módulos de diferentes fabricantes, es importante que la tecnología cuente con un soporte estandarizado.

A. Bluetooth clásico(v2.1)

Bluetooth 2.1 es una tecnología de comunicación inalámbrica presente en la mayoría de dispositivos electrónicos domésticos que se usan en la actualidad, como teléfonos móviles o ordenadores y tienen la finalidad de establecer comunicaciones inalámbricas con diferentes periféricos y conseguir así mejorar la movilidad.

La jerarquía de Bluetooth, se basa en una comunicación

punto a punto, o punto a multipunto, gobernada por un maestro, que se comunica con uno o varios esclavos formando una red, denominada piconet. El maestro a su vez puede unirse como esclavo en otra piconet y formar así, un conjunto de piconets denominado scatternet.

El módulo WT12 del fabricante Bluegiga tiene un consumo máximo de 70mA transmitiendo o recibiendo datos y su mínimo consumo es de 56µA en el modo idle.

B. Bluetooth Smart(v4.0)

La nueva versión del estándar Bluetooth 4.0 comercializada como Bluetooth Smart, permite establecer conexiones con otros dispositivos y transmitir tramas cortas de datos, con una cadencia más baja que su anterior versión. Eso se traduce en un menor consumo del módulo para comunicarse con dispositivos como sensores deportivos, domóticos o de cualquier otro tipo. El nuevo estándar no es compatible con versiones anteriores, por ello si se desea utilizar ambas tecnologías en un mismo dispositivo, como sería el caso de equipos personales como teléfonos móviles o ordenadores, se deberá de optar por módulos Bluetooth Smart Ready, ya que estos incorporan ambas tecnologías en un mismo *system on chip* (SoC).

Bluetooth Smart se conecta con otros dispositivos en forma de redes en estrella o bien punto a punto, donde un nodo central, denominado maestro, establece conexiones con los esclavos o periféricos. Estas redes se denominan piconets, como en el anterior estándar, pero con la diferencia que Bluetooth Smart no puede crear scatternets, debido a que el estándar define que un esclavo solo puede establecer conexión con un maestro a la vez.

El fabricante Bluegiga dispone del modulo BLE112 y según sus especificaciones el modulo tiene un consumo máximo de 36mA en la transmisión de datos, 25mA en la recepción y en modo idle que menos consume, su consumo es de 0.4µA.

C. ANT/ANT+

La tecnología ANT/+ es un protocolo de comunicación inalámbrica de bajo consumo, utilizada en aplicaciones sanitarias, deportivas o de cualquier tipo de monitorización que precise sensores, estando presentes en algunos teléfonos móviles como los Sony Xperia con Android.

La topología de red en ANT/+, permite conexiones en estrella, malla o punto a punto y los dispositivos se caracterizan por los roles de maestro y esclavo.

ANT/+ es una tecnología propietaria, y su desarrollo es privado y no estandarizado para la creación de una aplicación libre. Para poder implementar esta tecnología en un dispositivo, es necesario cumplir con los requisitos exigidos de la empresa propietaria y así conseguir una certificación que apruebe el uso de la aplicación.

El consumo de un dispositivo ANT/+ ANTAP281M4IB es de como máximo 17mA en la recepción de datos y 15mA en el envío y 0.5µA en modo idle.

D. Zigbee

La tecnología Zigbee es utilizada en multitud de aplicaciones que requieran la comunicación de varios dispositivos en red como sensores en aplicaciones domóticas, gracias a la facilidad y flexibilidad a la hora de crear redes.

La topología de comunicación en Zigbee puede realizarse mediante estrella, árbol, punto a punto o malla. En estas configuraciones, un dispositivo asume el rol de coordinador de la red y es el responsable de inicializar a los demás dispositivos los cuales pueden transmitir directamente o a otros dispositivos a través de enrutadores dependiendo de la topología configurada en la red. En Zigbee se pueden llegar a configurar redes de hasta 65000 nodos divididos en 255 subredes.

El módulo XBee RF del fabricante Digi XBee tiene un consumo máximo de 50mA en la recepción de datos, 45mA para el envío y en el modo idle el módulo consume 10μ.

E. Comparativa y elección

De entre las tecnologías estudiadas, se consideran de interés aquellas que ofrezcan mayor interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes y la estandarización de una tecnología, ofrece una reducción en el coste del producto, debido a los royalties que se deben de pagar a las empresas de tecnologías propietarias. Por lo que la mayoría de fabricantes se decantan por dotar a sus productos de una tecnología estandarizada. Por ello se decide descartar a ANT+, a pesar de que el módulo del estudio tiene el consumo más bajo, la tecnología de estándar propietario no resulta factible para la implementación de la red.

Así mismo las demás tecnologías disponen de implementaciones de fabricantes en módulos y se venden previamente certificadas, listas para la creación de una aplicación.

Bluetooth ofrece una mayor gama de dispositivos que implementan la tecnología en comparación con Zigbee se opta por el estándar Bluetooth para la creación de la red de dispositivos dando como resultado la siguiente configuración.

- El dispositivo 9x2, se comunicaría mediante Bluetooth Smart con otro sensor, como el de muñeca, para detectar el estado del paciente desde la cintura y el temblor desde la muñeca. Además, se comunicaría, también con Bluetooth Smart, con el teléfono móvil para enviar los datos a un servidor. Al tratarse de una tecnología de bajo consumo, optimizaría la batería de los sensores, además de poder comunicarse con el teléfono móvil de manera nativa.

- El teléfono móvil dispondría de un módulo Bluetooth Smart Ready para establecer conexión con los sensores, a través de Bluetooth Smart, y con otros periféricos, como los auriculares, con Bluetooth clásico.

III. MÓDULO BLUETOOTH SMART PARA CREACIÓN DE REDES

En este capítulo se describe, en primer lugar, el estado del arte en dispositivos comerciales que implementan Bluetooth

Smart. Para ello, se ha realizado una búsqueda exhaustiva de los módulos comerciales que se pueden encontrar actualmente en internet y que cumplan con la especificación marcadas en el anterior capítulo.

A. Comparativa y elección

Durante el estudio de los módulos que ofertan los fabricantes, se observó que Bluegiga ofrecía varias herramientas para la creación de aplicaciones y foros de ayuda, lo que supone que los desarrolladores utilicen los módulos Bluetooth Smart de este fabricante debido a las ventajas que supone al acortar el tiempo de desarrollo y abaratar los costos en la creación de aplicaciones.

Otros fabricantes limitan su distribución a sectores industriales y presentan dificultad a la hora de acceder a la compra de series cortas de productos, como es el caso de BlueRadios. La anterior versión del 9x2 utiliza un módulo WT12 de Bluegiga y el servicio al cliente siempre ha estado satisfactorio y dado que Bluegiga es europeo, es más fácil acceder a la compra de sus productos que otros de la competencia. Se decidió, entonces, comprar el módulo BLE113, y su kit de desarrollo a través de su distribuidor oficial Matrix en España.

IV. BLUETOOTH SMART

Este capítulo está dedicado a describir en profundidad el funcionamiento y las capacidades que Bluetooth Smart presenta. La descripción presentada es el resultado del estudio realizado durante el trabajo de final de grado para permitir la creación de redes en el nuevo dispositivo 9x2.

A. Perfiles

Los perfiles en Bluetooth Smart son necesarios para que se pueda efectuar el intercambio de información, estos perfiles en el nuevo estándar, son creados a partir del Generic Attribute Profile (GATT) que define los servicios que contienen las características que soporta cada dispositivo. Estas características contienen varios campos como: el valor del atributo, una descripción y las propiedades que tiene. Por ejemplo, si un teléfono móvil se conecta a un medidor cardiaco, este dispositivo debe de implementar el servicio que lo identifica como tal para que el dispositivo remoto sepa qué tipo de información se trata.

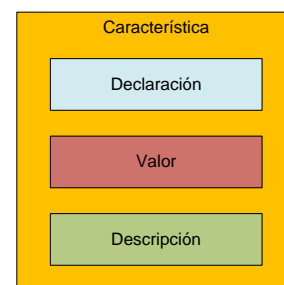


Figura 1 – Valores de una característica

Algunos de estos servicios se encuentran estandarizados por Bluetooth y se identifican con un único UUID de 16bit, por

ejemplo un pulsometro endría el identificador UUID 0x180D y requiere su configuración tal como se define en el estándar Bluetooth 4.0. Bluetooth también ofrece la posibilidad a los desarrolladores de crear nuevos servicios, estos se representan con un UUID de 128bit y se pueden crear y configurar las características como mejor convengan.

A parte de los servicios creados por los desarrolladores, todo dispositivo Bluetooth Smart debe de contener el perfil Generic Acces Profile (GAP) ya que este perfil implementa los roles de comunicación y sus procedimientos además del nombre que identifica a los dispositivos. Los roles que define GAP en una red de dispositivos Bluetooth Smart son los de:

- Maestro: El dispositivo se puede comunicar con uno o varios esclavos.
- Esclavo: Solo se puede comunicar con un maestro.
- Avisador: Anuncia paquetes con información pero no puede recibir de otros.
- Escáner: Recibe los paquetes de los avisadores y puede establecer comunicación con ellos.

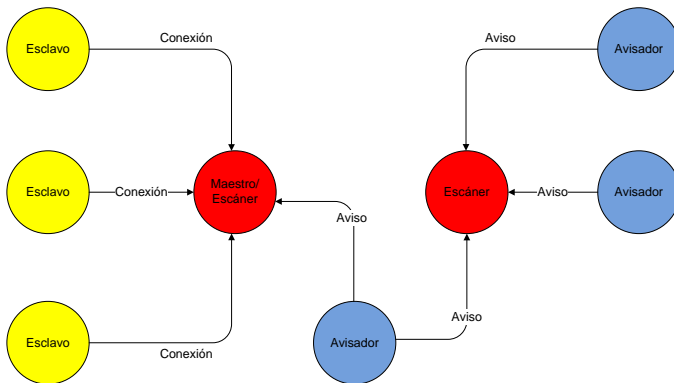


Figura 2 - Topología de red en Bluetooth Smart

B. Bluetooth Smart SDK

El fabricante Bluegiga ofrece una suite completa para el desarrollo de aplicaciones con Bluetooth Smart. Bluetooth Smart SDK soporta dos tipos de arquitecturas:

- Arquitectura standalone: Toda la suite de Bluetooth 4.0, incluidos los perfiles y la implementación del usuario se incluye dentro del mismo hardware del módulo Bluetooth.
- Arquitectura hosted: Las funcionalidades de Bluetooth 4.0 y los perfiles se incluyen en el hardware del modulo, pero la implementación del usuario se realiza a través de otro controlador, como por ejemplo un ordenador o un microcontrolador.

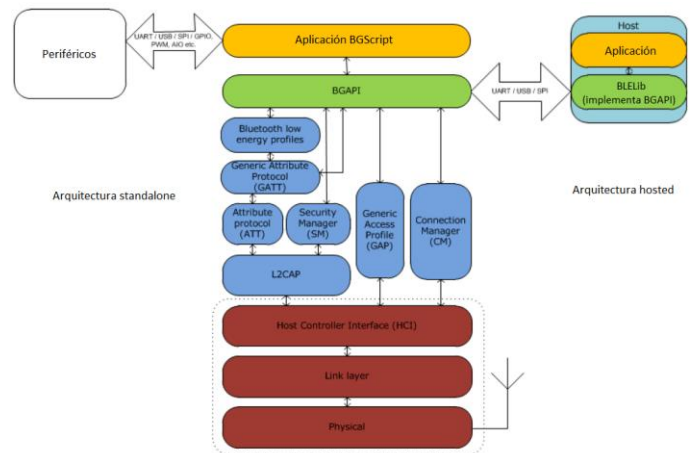


Figura 3 - Arquitecturas de control de un módulo Bluetooth Smart de Bluegiga

La programación con la suite Bluegiga, divide los parámetros de configuración de los módulos en distintos archivos, que una vez configurados, se guardan en la memoria flash del dispositivo. Los parámetros de configuración se dividen en:

- <gatt.xml> Fichero con los servicios y características que implementa el módulo Bluetooth.
- <hardware.xml> Fichero con la configuración del hardware del dispositivo como son puertos de comunicación, periféricos u opciones de energía.
- <config.xml> Fichero en el que se configuran parámetros de la aplicación, como cuantas conexiones permite a la vez o bien la carencia de envío de paquetes entre otras.
- <bgscript.bgs> Archivo que contiene el código BGScript para aplicaciones en standalone.
- <usb_main.xml> Fichero con la configuración para conectarse a través de un puerto USB.
- <out.hex> Los anteriores archivos se indexan en otro archivo denominado project.bgproj, el cual se compila y como resultado se crea el out.hex, que servirá para flashear la memoria del dispositivo a través de la herramienta BLE SW Update Tool.

1) Definición del API

En el protocolo de comunicación binario propio, BGAPI, se dividen los paquetes en tres tipos; comandos, respuestas y eventos. Los comandos enviados al modulo tienen una longitud máxima de 64 Bytes, lo que descontando los 4 Bytes de cabecera, dejan 60 Bytes para transmitir otro tipo de información.

2) BGScript

Los módulos Bluetooth Smart de Bluegiga ofrecen a los desarrolladores la posibilidad de crear aplicaciones para dispositivos autónomos sin la necesidad de utilizar un controlador externo. Esto es posible ya que Bluegiga ofrece un modo de programación para sus dispositivos denominado BGScript. Este lenguaje de programación implementa todas las funcionalidades del estándar Bluetooth 4.0 en una serie de comandos definidos por Bluegiga en su API.

V. CREACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA EN BLUETOOTH

Uno de los objetivos del proyecto es la creación de una red de dispositivos que simula las conexiones y el intercambio de datos que se realizaría en la red BAN del proyecto REMPARK mostrada en la introducción. Esta red consta de tres elementos: un sensor de movimiento situado en la cintura, un sensor de movimiento situado en la muñeca y un móvil.

- Sensor de muñeca: Se utilizará la placa de desarrollo del BLE113 y se configurará para que trabaje de forma independiente ejecutando un código BGScript y mostrando los datos recogidos por la pantalla.
- Sensor de cadera 9x2: El dispositivo 9x2 equipa un microcontrolador STM32-F417 que controla un módulo BLE113 a través de la librería creada que se detalla en el próximo capítulo, para establecer comunicaciones Bluetooth Smart.
- Ordenador: Un ordenador emulará el teléfono móvil de la red definida por REMPARK. El ordenador se equipará con un dispositivo USB BLED112 y será controlado a través de una aplicación Windows desarrollada con Labview.



Figura 4 - Ubicación de los sensores y ordenador en el proyecto REMPARK

A. Funcionamiento de la red

El inicio de la aplicación sucede cuando el dispositivo conectado al ordenador Dongle, inicia el procedimiento de conexión con el sensor de muñeca Devkit. Cuando se ha establecido la conexión, el ordenador, enviará el valor de su potenciómetro al dispositivo remoto, este le responderá con un ACK, si la recepción ha sido satisfactoria, el ordenador pedirá al dispositivo remoto su valor del potenciómetro y este le devolverá el valor.

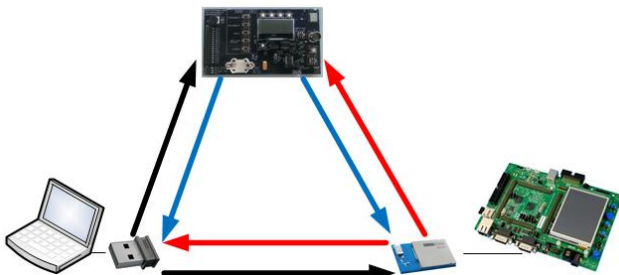


Figura 5 - Topología de comunicación de la red inalámbrica

Cuando el intercambio de valores se ha completado, el equipo que ha iniciado la conexión y actúa como maestro, desactiva la conexión y el dispositivo remoto inicia la comunicación con el sensor de cadera 9x2, el cual actúa de la misma forma que el ordenador, así, la comunicación entre dispositivos es cíclica, hasta que uno de los dispositivos se pare.

B. Configuración de los servicios Bluetooth Smart

Para la realización de la red, se ha creado un servicio específico para el intercambio de valores del potenciómetro. El servicio se ha dotado de dos características, una para albergar el valor del potenciómetro local y otra para el valor del potenciómetro remoto. Así mismo, para cumplir con el estándar Bluetooth se han creado unos identificadores UUID únicos. Los identificadores en cuestión son:

- Servicio potenciómetro:

UUID: 2eac6b5e-c782-11e2-8497-f23c91aec05e.

- Característica para el valor del potenciómetro local:

UUID: 49969782-c782-11e2-8497-f23c91aec05e

- Característica para el valor del potenciómetro remoto:

UUID: 14c18e57-7305-4b30-b28d-796ada2b5979

A las características se les han personalizado las propiedades para que el valor del potenciómetro local pueda ser leído remotamente y el remoto ser escrito por un dispositivo remoto. Estas variables se han limitado al tamaño de 1byte.

Además del servicio que utiliza la aplicación para albergar los datos, se ha utilizado el servicio GAP para establecer el nombre del dispositivo y su tipo. Otro servicio utilizado es el que identifica al fabricante del dispositivo, en este caso, el CETpD.

VI. LIBRERÍA BLUETOOTH SMART BLELIB

El módulo Bluetooth BLE113 que equipa el dispositivo 9x2 trabaja en arquitectura hosted e interpreta secuencias de números hexadecimales para la gestión de las funcionalidades Bluetooth Smart a través del protocolo BGAPI. El usuario debe de poder gestionar esas funcionalidades sin la necesidad de recurrir a la secuencia de números hexadecimales equivalente. Por ello, se ha creado una librería en C que incorpora las funciones para controlar el módulo BLE113 desde el microcontrolador. Esta librería se ha creado usando la nomenclatura existente en la definición del API de Bluegiga, con el fin de contar con el soporte del fabricante, donde, en el manual de referencia, se explican todos los parámetros configurables para cada una de las funciones.

Las funciones que se han portado a la librería BLELib permite toda una serie de variadas funcionalidades para la creación de redes y transferencia de datos, así mismo los grupos de funciones son los siguientes:

1) Funciones de acceso al sistema

Las funciones de acceso al sistema permiten al usuario, comprobar el canal de comunicación con el módulo, acceder a la dirección MAC del dispositivo y establecer la lista blanca

de dispositivos que permite que establezcan conexión.

2) Funciones de gestión de la conexión

La gestión de la conexión, permite al usuario conocer el estado de la una conexión y terminar la conexión con otro dispositivo.

3) Funciones de la gestión del GAP

Las funciones de esta clase, gestionan el perfil GAP y permiten realizar los procedimientos, escaneo, aviso, filtrado de paquetes y permitir establecer una conexión directa a una dirección MAC de un dispositivo conocido.

4) Funciones de acceso a los atributos GATT remotos

Las funciones permiten al usuario acceder a los atributos locales de los perfiles GATT para modificarlos o leerlos.

5) Funciones de acceso a los atributos GATT locales

Las funciones permiten al usuario acceder a los atributos remotos de los perfiles GATT de otro dispositivo conectado para modificarlos o leerlos.

La comunicación con el modulo se realiza mediante el UART3 de la placa de desarrollo STM32F4, pero la gestión del UART3 la controla la DMA1 en el stream asociado al puerto de transmisión (stream 3) y de recepción (stream 1).

El sistema utiliza las interrupciones asociadas a los streams de la DMA1, para enviar o recibir datos del modulo Bluetooth Smart. De este modo, el microcontrolador entra en modo idle cuando los buffers del UART están vacíos y sale de este, cuando se activa una interrupción, así el microcontrolador deriva toda la carga de procesamiento a la DMA y este ahorra recursos energéticos y de proceso.

VII. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo de final de grado se ha presentado un estado del arte de las tecnologías inalámbricas de corto alcance actuales, y se ha seleccionado la más adecuada para la monitorización de movimiento de acuerdo a las necesidades del CETpD (Bluetooth Smart). Se ha creado una red BAN de 3 nodos y se ha configurado tanto los servicios Bluetooth como el hardware necesario para ello. Finalmente, se ha creado una librería para permitir crear redes de forma flexible desde el microcontrolador ST que incorporará el nuevo dispositivo de monitorización inalámbrica.

En la elección de la tecnología y del módulo con el que trabajar, tal como se ha comprobado durante la realización del trabajo, se ha considerado necesario que el fabricante de módulos a utilizar debe tener un servicio al cliente fiable, que ofrezca a los desarrolladores herramientas y soporte para el uso de sus productos. Desde este punto de vista, Bluegiga ofrece un excelente soporte a los desarrolladores, poniendo a disposición de ellos ejemplos explicativos de configuración y desarrollo a modo de tutoriales, además de ofrecer foros de ayuda y personal dedicado a la resolución de incidencias y productos. De esta manera, se han empleado los módulos BLE113, BLED112 y la placa DKBLE113 para la creación de

Diseño y desarrollo de una red BAN Bluetooth para la monitorización en enfermos de Parkinson

redes.

La implementación de la tecnología en tres tipos de dispositivos distintos me ha aportado conocimientos en las distintas áreas que se han trabajado. El trabajo final de grado me ha aportado los conocimientos necesarios para:

- El desarrollo de aplicaciones en sensores inalámbricos que no necesiten de un controlador externo en Bluetooth Smart.

- La creación e implementación de librerías para un microcontrolador y el funcionamiento de este.

- La creación de una aplicación para gestionar un modulo Bluetooth Smart en Labview.

Como trabajo futuro se deberán de adaptar los demás dispositivos de la red BAN de REMPARK a la tecnología Bluetooth Smart, así, se deberá de diseñar una aplicación para un sistema operativo móvil que soporte el estándar, como podría ser Android, IOS o Windows Phone.

En la librería creada se deberá de añadir el resto de funciones que se definen en el API, para completar todas las opciones que ofrece el estándar. El dispositivo de muñeca podría equipar la misma combinación de microcontrolador y módulo Bluetooth Smart que el 9x2, para utilizar así la librería creada. También se deberá de adaptar la red de Bluetooth Smart a la longitud y cadencia del envío de datos para finalmente comunicar los estados que detecten los sensores inerciales que los dispositivos incorporan.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ZigBee Alliance. (2013) Zigbee. [Online]. www.zigbee.org/About/AboutAlliance
- [2] Wikimedia Foundation. (2013, Junio) Wikipedia. [Online]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [3] Texas Instruments Inc. (2007) CC2520 Datasheet. Documento PDF.
- [4] Bluegiga Technologies. (2013) Product Comparison Charts 2013. Documento PDF.
- [5] Bluetooth SIG. (2010, Junio) Specification of the Bluetooth System. Documento PDF.
- [6] A. Sama et al., "Dyskinesia and motor state detection in Parkinson's Disease patients with a single movement sensor," in *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*, San Diego, 2012.
- [7] Chiari L, Horak FB, Rocchi L, "Effects of deep brain stimulation and levodopa on postural sway in Parkinson's disease," *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, vol. 3, no. 74, pp. 267–274, 2002.
- [8] Real Academia Española y Asociación de Academias de la Lengua Española. parkinsonismo. [Online]. rae.es
- [9] Newhaven Display International, Inc. (2012) COG (Chip-on-Glass) Liquid Crystal Display Module. PDF.
- [10] Byblow WD, Walt S, Lewis G, "Stride length regulation] in Parkinson's disease: the use of extrinsic, visual cues," *Brain*, no. 123, pp. 2077–2090, 2000.

- [11 Norman KE. Jiang Y, "Effects of visual and auditory cues] on gait initiation in people with Parkinson's disease," *Clin Rehabil*, vol. 20, no. 1, pp. 36–45, 2006.
- [12 Ed Grabianowski. (2006, Diciembre) How Stuff Works.] [Online]. <http://www.howstuffworks.com/wibree.htm>
- [13 Dynastream Innovations Inc. (2012) AP281MxIB] Datasheet. Documento PDF.
- [14 Digi International Inc. (2009) X-Bee/X-Bee-PRO RF] Modules. Documento PDF.
- [15 Carlos Pérez-López, Albert Samà, Joan Cabestany and] Andreu Català Daniel Rodríguez-Martín, "A Wearable Inertial Measurement Unit for Long-Term Monitoring in the Dependency Care Area," *Sensors*, vol. 13, no. 10, pp. 14079-14104, 2013.
- [16 CETpD. Technical Research Centre for Dependency Care] and Autonomous Living. [Online]. <http://www.epsevg.upc.edu/cetpd/>
- [17 J. Cabestany et al., "FATE: One step towards an] automatic aging people fall detection service," in *Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES), 2013 Proceedings of the 20th International Conference*, Gdynia, 2013.
- [18 J. Cabestany et al., "REMPARK: When AI and] technology meet Parkinson Disease assessment," in *Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES), 2013 Proceedings of the 20th International Conference*, Gdynia, 2013.
- [19 Bluegiga Technologies. (2013) Bluetooth Smart] configuration guide.
- [20 Bluegiga Technologies. (2013, Octubre) Bluetooth Smart] software API reference. Documento PDF.
- [21 Bluegiga Technologies. (2013, Mayo) BLE112] Datasheet. Documento PDF.
- [22 Bluegiga Technologies. (2013) BLE113 Datasheet.] Documento PDF.
- [23 Bluegiga Technologies. (2013, Mayo) WT12 Datasheet.] Documento PDF.
- [24 Bluegiga Technologies. (2012, Nov.) BGScript scripting] language developer guide. Documento PDF.
- [25 Bluetooth SIG. (2013) Bluetooth. [Online].] <http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx>
- [26 Jeffrey M. Hausdorff, Jasper E. Visser, Nir Giladi] Bastiaan R. Bloem, "Falls and freezing of gait in Parkinson's disease: a review of two interconnected, episodic phenomena.," *Movement Disorders*, vol. 19, no. 8, pp. 871–884, 2004.
- [27 C., Samà, A., Rovira-Simon, J., Herrlich, S., Rodríguez-] Molinero A. Ahlrichs, "HELP: Optimizing Treatment of Parkinson's Disease Patients," in *3rd International Conference on the Elderly and New Technologies*, Bremen, 2012.