

# Diseño y Prueba de un Prototipo para la evaluación de la Tecnología de comunicación SIGFOX- Internet of Things para un dispositivo wearable.

Trenado Abad, Borja; Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática;  
Ponente: Samà Monsonís, Albert  
Director: Pérez López, Carlos

*Resumen-* El sistema FALL detector for the Elderly (FATE), creado desde la Universidad Politécnica de Catalunya a través del centro específico de investigación CETpD, permite detectar caídas y comunicar situaciones de alarma de forma automática en personas mayores y dependientes. El núcleo del sistema FATE es un dispositivo portable basado en un acelerómetro triaxial que el usuario lleva en la cintura mediante un cinturón de neopreno. Este dispositivo se comunica mediante Bluetooth con un teléfono móvil que se encarga de lanzar alarmas ante detecciones de caídas, por lo cual es necesario que el usuario lo lleve constantemente. Este inconveniente se agrava cuando el usuario está en el interior de su casa y el móvil está alejado del equipo FATE, para lo cual es necesario complementarlo con una red ZigBee instalada en el domicilio.

Para mejorar el alcance y las prestaciones del sensor de caídas FATE, en este trabajo se propone el uso de tecnologías alternativas que permitan al dispositivo sensor comunicar detecciones de caída de forma autónoma. Tras un estudio de las tecnologías disponibles, se ha seleccionado la red Sigfox, de altas prestaciones, que permitiría al dispositivo realizar las alarmas, en cualquier ámbito y ubicación, descartando el uso del dispositivo móvil y reduciendo el sistema de alertas a un solo equipo portable, con menores dimensiones y un claro incremento de su fiabilidad en el uso.

Esta mejora se ha validado a través del diseño y desarrollo de una serie de librerías para un módulo Sigfox seleccionado expresamente para el sistema FATE. Para ello, se ha implementado una máquina de estados en un microcontrolador ST que controla diferentes módulos (GPS y Sigfox). Se ha comprobado el correcto envío constante de mensajes, con la ubicación del usuario y el estado del sistema. También se ha programado un pulsador que simula la caída del usuario para validar, así, el envío de los mensajes de alerta, utilizando exclusivamente la red Sigfox. Finalmente, se ha comparado el consumo del módulo Sigfox con el consumo del módulo Bluetooth y un módulo de comunicación GSM/GPRS, siendo el módulo Sigfox seleccionado en este proyecto el que menor consumo presenta.

*Palabras Clave—Dispositivo de caídas, Internet of Things, Tecnología Sigfox, GPS, Firmware microcontrolador*

## I. INTRODUCCIÓN

Recientemente, desde el CETpD se ha creado un nuevo dispositivo de detección de caídas para personas mayores y dependientes, a través del sistema FATE. El sistema se basa en un dispositivo sensor que la persona mayor lleva en la cintura y que detecta la



*Ilustración1: Prototipo FATE con el cinturón y base para cargar el dispositivo*

caída de la persona mediante un acelerómetro triaxial. Con la ayuda de un dispositivo móvil, el sensor puede enviar los mensajes de alarma tras detectar una caída del paciente mediante Bluetooth, ante lo cual el móvil realiza una llamada al servicio de emergencia y envía un SMS a un número preconfigurado, o bien el sensor comparte la detección a través de un módulo de radio-frecuencia ZigBee, dependiendo de si el paciente se encuentra fuera o dentro de su domicilio, respectivamente. Los inconvenientes del sistema descrito son dos: la necesidad de portar un móvil para obtener la geolocalización del usuario y, por otro lado, la necesidad de trabajar con una red ZigBee en el domicilio. Sin la coexistencia de ambas redes, el sensor podría perder la comunicación y dejaría de realizar las llamadas de alerta a los servidores, creando así una situación de emergencia no resuelta.

La existencia de estos inconvenientes ha motivado la realización de este trabajo, el cual ha tenido como objetivo principal, la implementación de una red de comunicación con mayores prestaciones y menor coste económico.

Como primer paso, se ha hecho un estudio de mercado de las diferentes tecnologías M2M, un concepto genérico que hace referencia a las tecnologías que permiten el intercambio de información entre máquinas remotas, a través de la transmisión de mensajes cortos (SMS) y sin necesidad de intervención humana, utilizando para ello las comunicaciones inalámbricas o cableadas y aplicando dispositivos inteligentes con capacidad de recoger, transmitir y recibir información en frecuencias de corto alcance. Para determinar qué comunicación es la más idónea y mejorar así el dispositivo FATE. Tomando como resultado la tecnología Sigfox, se ha realizado un análisis de los diferentes módulos existentes para integrar la nueva red de comunicación con el dispositivo sensor. Como resultado de estos estudios, se ha decidido la adquisición de una placa de evaluación y se han realizado las pruebas de funcionamiento necesarias para conocer las capacidades del módulo seleccionado. Para simular el comportamiento del detector de caídas, se ha realizado la conexión del módulo TD1204 junto con un microcontrolador. El control de ambos elementos se ha llevado a cabo mediante la programación de una librería, empleando USART para transmisión y recepción de datos y un pulsador como simulador de alarma. Por último, se ha realizado un estudio de consumo energético, evaluando tres tipos de comunicación, la utilizada actualmente Bluetooth, la red GPRS y la

**tecnología Sigfox**, seleccionada para este trabajo, la cual es capaz de englobar todos los requisitos técnicos del dispositivo FATE en una única red.

## II. INTERNET DE LAS COSAS

El primer paso para establecer la tecnología a utilizar por el dispositivo sensor ha sido la realización de un estudio de mercado, considerando las conexiones M2M más implantadas actualmente.

En el estudio realizado sobre las conexiones M2M se han establecido las características, diferencias y prestaciones existentes entre las comunicaciones GSM, GPRS, 3G, 4G, Bluetooth, WI-FI, NFC y Sigfox.

En la tabla 1 podemos ver de forma ordenada, los datos más relevantes de las propuestas de los cuatro principales fabricantes y desarrolladores de este tipo de tecnologías.

Los datos obtenidos indican que las prestaciones más favorables para nuestro equipo, corresponden a la red Sigfox. Esta nos permite la conexión directa con los servidores de la red sin utilizar Routers y en consecuencia, solo sería necesario obtener el módulo certificado por el operador. Su característica más importante consiste en que nos permite trabajar en una única frecuencia para comunicarnos directamente con

	Ericsson	IBM	Qualcomm	Sigfox
<b>Plataforma</b>	Device connection Platform	MessageSight	AllJoyn	Sigfox
<b>Características</b>				
<b>Protocolo comunicación</b>	SIM card	MQTT, HTML5 Websockets y JMS	Routers and Routers communicate with Apps	Ultra Narrow Band (UNB)
<b>Paquete de mensajes</b>	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	140 emisión y 4 recepción por día
<b>Banda de emisión</b>	3g – 900/1200 MHz	3g – 900/1200 MHz	3g – 900/1200 MHz	868 MHz
	4g – 800/1800/2600MHz	4g – 800/1800/2600MHz	4g – 800/1800/2600MHz	
<b>Coste del servicio</b>	-	81.72 €	-	Menos de 2 € al año
<b>Conexión</b>	Conexión 3G y 4G	Conexión 3G y 4G	Wi-Fi, Ethernet, Serial PLC, Bluetooth, 3G y 4G	Red Sigfox
<b>Seguridad de red</b>	-	Demilitarized Zone (DMZ)	-	Frequency Hopping Spread Spectrum
				Anti-replay
<b>Otros Aspectos</b>	Necesita un cloud para conectarse con sus servidores	Necesita la instalación del equipo MessageSight	Necesita la instalación del equipo AllJoyn Router	Red de larga distancia sin Routers

Tabla 1: Tabla comparativa de opciones de red

sus servidores, proporcionando una mayor seguridad y simplicidad en los datos transmitidos.

### III. SIGFOX

SIGFOX es una firma francesa, fundada en 2009. Es el principal proveedor de conectividad móvil dedicada al IoT y M2M.

Esta marca ha desarrollado una red exclusiva para dispositivos, permitiendo la existencia de un internet dedicado únicamente a los objetos, donde los dispositivos se conecten para cubrir las necesidades del usuario.



Ilustración 2: Símbolo IoT

La red global Sigfox ofrece una transmisión de pequeñas tramas de datos bidireccional, económica y energéticamente eficiente, permitiendo ampliar notablemente la duración de la batería y la vida útil de los dispositivos conectados. La conectividad de esta red está diseñada bajo una infraestructura de antenas o estaciones base, independientes entre sí, construida para enlazar un gran número de dispositivos de baja velocidad, utilizando la tecnología de radio Ultra Narrow Band (UNB), consiguiendo así, una red de alta capacidad, fácil de implantar y que opera en las bandas de radio Industrial, Scientific and Medical (ISM).

La red global Sigfox se distribuye a través del programa de alianza **SIGFOX Network Operator™**, con más de dos millones de kilómetros cuadrados cubiertos en la actualidad.

### IV. ESTUDIO DE MERCADO

En este estudio se han evaluado varios módulos de radio frecuencia con posibilidad de conexión Sigfox, situados dentro del concepto IoT y disponibles en el mercado nacional. Las principales características que se han tenido en cuenta han sido: La posibilidad de que el módulo tenga antena externa o interna. Se ha buscado, además, obtener

unas mayores prestaciones del módulo con una serie de funciones extras: GPS y acelerómetro. A continuación se ha seleccionado el módulo que cuenta con una placa de evaluación, para poder realizar las pruebas de red. Seguidamente se ha comparado el consumo energético de la transmisión de datos, por la red Sigfox, de los módulos seleccionados y por último se ha tenido en cuenta el coste económico de los diversos dispositivos.

Este análisis se ha llevado a cabo con la documentación técnica disponible en las páginas web de cada fabricante, incluyendo la información obtenida, vía e-mail y a través de las entrevistas personales realizadas con los suministradores del producto en España.

El estudio realizado ha dado como resultado que la mejor opción de compra para la realización del trabajo es el módulo TD1205 del fabricante Telecom Design. Potencialmente, este equipo contaba con todas las características necesarias, pero el comercial de la empresa AVNET-MEMEC, distribuidor de esta marca, finalmente ha facilitado el **módulo TD1204**, a coste cero, ya que estaba interesado en mostrar esta tecnología en el ámbito universitario y reunía las mismas prestaciones que el dispositivo seleccionado inicialmente.

### V. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO

En el siguiente capítulo se describen, los elementos hardware que se han utilizado para evaluar Sigfox y desarrollar un firmware que simule el comportamiento del sistema FATE: el módulo Sigfox td1204 y su EVB (placa de evaluación) y la EVB stm32f0discovery.

#### A. Microcontrolador STM32F051R8

El STM32F051R8 es un microcontrolador de 32 bits fabricado por la empresa ST Micro-electronics con arquitectura ARM Cortex M0. Trabaja a una frecuencia de reloj máxima de 48Mhz e incorpora una memoria SRAM de 8KBytes y una memoria Flash de 32 kBytes. También incluye diversas interfaces estándar de comunicación como dos unidades de I<sup>2</sup>C, dos SPI's, un I<sup>2</sup>S y dos USART's, además integra un conversor ADC, un conversor DAC y 6 temporizadores de propósito general de 16 bits. Este microcontrolador está integrado en la

placa de desarrollo STM32F0DISCOVERY utilizada en este trabajo.

### B. Módulo Sigfox TD1204

El módulo TD1204 está formado por gateways inalámbricos SIGFOX™, transceptor RF, y su EVB incluye un receptor GPS y un acelerómetro. En conjunto, es un módulo de alto rendimiento y bajo consumo. Permite una conexión fácil con la red SIGFOX™, con una amplia gama de interfaces digitales y analógicas que junto con las numerosas GPIOs pueden controlar cualquier tipo de sensores o activadores externos y cuenta con un gran número de temporizadores. Este módulo, también ofrece la función Narrow Band ISM para una red local entre distintos módulos y para una red de larga distancia Ultra Narrow Band SIGFOX™. El dispositivo es capaz de trabajar alternativamente en modo transmisión y en modo recepción para recibir paquetes de datos, además nos permite trabajar en las bandas de frecuencias de 868,0 a 869,7 MHz, con todas estas características ha sido posible obtener fácilmente los resultados esperados.

### C. Esquema del conjunto

En la ilustración 3 podemos observar el esquema de conexiones de las dos placas utilizadas en este proyecto.

En primer lugar se puede observar como el módulo TD1204, que nos da la conexión a Sigfox, dispone de dos antenas externas, una nos permite tener la recepción del GPS y la otra la conexión a la red. Se observa también que hay cuatro tipos de conexiones. La línea verde de la ilustración 3 hace referencia a la alimentación, con 3V al dispositivo Sigfox, proveniente de la placa stm32f0dscovery, que a su vez va conectada al ordenador por USB, el cual se utiliza para transferir el programa escrito y para alimentar el conjunto. La línea negra de la figura indica la tierra del equipo, evita cualquier tipo de perturbación que pueda afectar a su correcto funcionamiento y, por último, las conexiones azul y lila son utilizadas para la transmisión y recepción respectivamente, utilizando la USART2 de la placa stm32f0dscovery.

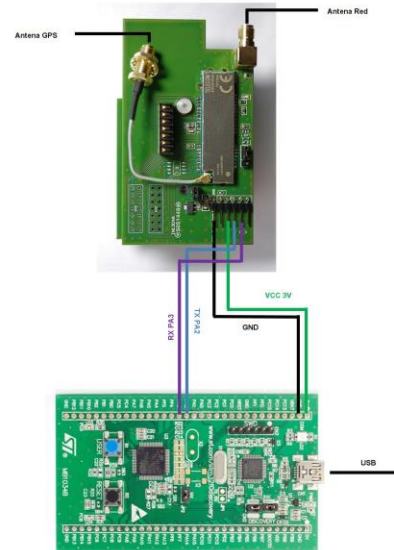


Ilustración 3: Esquema del conjunto

## VI. PROGRAMACIÓN DE LAS LIBRERÍAS DE CONTROL

En este capítulo, se presentan las librerías del microcontrolador ST e implementadas en C que permiten controlar el hardware presentado en la anterior sección con el fin de simular el comportamiento del sistema FATE. Además, se presenta también en esta sección una prueba de aplicación del firmware desarrollado junto a los resultados obtenidos.

Las librerías desarrolladas están diseñadas como una Máquinas de Estados Finitos (MEF) para el control del comportamiento del sistema.

### A. Estados de la librería de control

Los estados que forman la MEF implementada, son los siguientes:

- **Configuración:** Es el primero en ejecutarse, se inicializan las GPIO, las USART's, los Timers del microcontrolador y se habilita el GPS del módulo TD1204, obteniendo así el correcto funcionamiento del sistema. Este estado es posible identificarlo mediante la activación de un led de color azul.
- **Envío Normal:** Cuando el sistema está en este estado, recoge la localización actual del GPS almacenándose en un buffer de



memoria y mediante la red IoT Sigfox, envía al servidor instalado en el CETpD la hora UTC con el mensaje: **OK!!**, incluyendo las coordenadas de latitud y longitud. Esta acción se realiza de forma periódica cada cuarto de hora.

- **Espera:** Es el estado de espera para el microcontrolador, dispone de varios temporizadores (TIMER 2, TIMER 3, TIMER 14, TIMER 15 y Systick) para controlar las comunicaciones.
- **Alarma:** Este estado se inicia al activar el pulsador de alarma y permanece así hasta que se pulse el botón reset del microcontrolador. Es el estado en que se simula una detección de caída. En el mismo, se transmite la localización actual del GPS ,a través de la red IoT, al servidor del CETpD ,con el mensaje: **ALM!**. Para ello se utiliza el comando AT\$RAW.

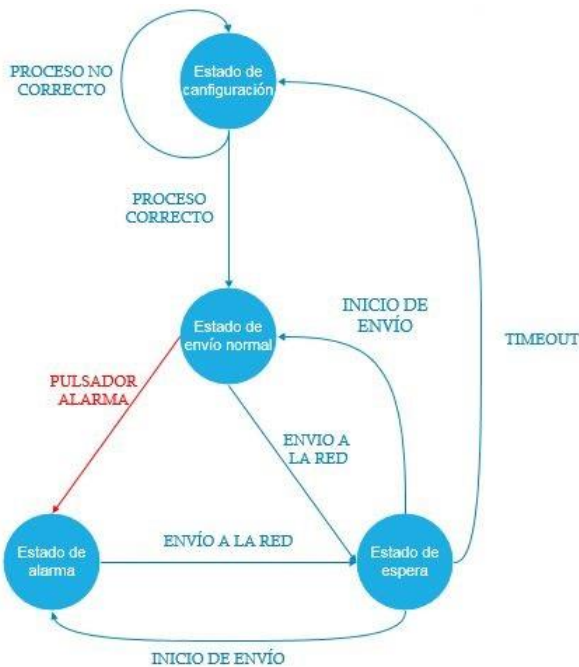


Ilustración 4: Máquina de estados

### B. Evaluación de las librerías de control

Los mensajes generados por el módulo son enviados a través de la red IoT a sus propios servidores Sigfox. Para un mejor tratamiento de los datos recogidos, se ha creado una aplicación de acuerdo a la API Sigfox e insertada en el servidor

IoT, que permite redireccionar los mensajes a un servidor propio fuera de la red Sigfox, ubicado en los laboratorios del CETpD, donde pueden ser visualizados y tratados.

Tras finalizar el desarrollo de las librerías, se han realizado unas pruebas del funcionamiento del firmware que implementa la MEF, evaluándolas durante una hora, con el sistema alternando entre los estado de Envío Normal, Espera y Alarma. De esta forma se han analizado varios aspectos: la perdida de tramas durante el envío, el funcionamiento de la localización GPS, en el interior o en el exterior de un domicilio y por último, la comprobación de la aplicación API, creada para evaluar su capacidad de redireccionamiento, en todas las tramas enviadas durante cualquier estado del sistema.

La primera prueba, realizada durante una hora en el interior del domicilio nos ha permitido confirmar la calidad de recepción de la señal GPS y la capacidad de envío del mensaje de cambio de posición del usuario, recibiendo en el servidor un total de doce tramas, enviadas en cuatro mensajes, formados por tres tramas cada uno. La misma prueba se realiza en el exterior de la vivienda, consiguiendo una mayor rapidez en la recepción de la señal GPS y confirmando que el envío de las doce tramas se realiza con la misma calidad que en el caso anterior. Con los resultados obtenidos, se confirma que el funcionamiento de la localización GPS, ya sea en el interior o en el exterior del domicilio, es plenamente satisfactorio.

A continuación se lleva a cabo una evaluación del sistema, en estado de alarma, enviando mensajes cada minuto durante una hora, desde el interior de la vivienda. El sistema ha necesitado tres minutos para obtener una señal GPS valida e iniciar el envío de los mensajes de alerta, una vez validada la señal, el sistema emite cincuenta y siete mensajes, compuestos por ciento setenta y una tramas, sin detectarse ningún error de envío hacia el servidor.

La última prueba que se realiza, ha sido el envío de tres mensajes separados por un minuto de tiempo, desde el módulo al servidor CETpD, redireccionados desde el servidor Sigfox, con una diferencia de tiempo ínfima. Esto ha confirmado que la programación de la aplicación API ha sido óptima.

Comunicación	Acción	Duración (s)	Promedio del consumo(A)	Consumo (W/s)
Bluetooth	Configuración	2,67	0,0432	0,0025
	Envío de tramas	2,33	0,0511	
	Reposo	-	0,0051	
GPRS	Inicialización	27,65	0,0376	0,0314
	Configuración conexión internet	14,28	0,0527	
	Envío de tramas	06,87	0,0552	
	Reposo	-	0,0100	
Sigfox	Configuración	0,000	0,0000	0,0023
	Envío de tramas	5,215	0,0482	
	Reposo	0,000	0,0000	

Tabla 2: Resumen de los promedios de consumo calculados para cada tipo de comunicación

## VII. ESTUDIO DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Este estudio se ha realizado con el objetivo de comparar el consumo real del módulo Sigfox seleccionado con las tecnologías Bluetooth y GPRS. Tomando un escenario común para todas ellas, el GPS deshabilitado de los tres módulos y dividir los consumos de acuerdo a las siguientes fases: la configuración de la placa, el estado de envío de tramas (envío normal y envío de alarma, lo cual se hará 5 veces cada una durante una hora) y la placa en reposo.

La tabla 2 presenta los consumos obtenidos para cada una de las tecnologías analizadas.

Con estos datos, podemos concluir que la conexión GPRS es una de las comunicaciones con más consumo energético, ya que para su puesta en marcha, es necesario realizar dos métodos de configuración.

Podemos ver que la conexión Bluetooth quedaría muy cerca del consumo del módulo Sigfox, pero su gran inconveniente sería que la conectividad Bluetooth es de corto alcance, a diferencia de Sigfox que es de largo alcance.

Por último, resulta del análisis que la tecnología Sigfox es la comunicación con menor consumo energético y con un valor por debajo de las otras dos comunicaciones indicadas. La gran ventaja de Sigfox frente a las demás, es que cuando está en estado de reposo, su consumo es de 0A, permitiendo así tener una mayor capacidad de carga a largo plazo. De esta manera, se concluye que es la red más económica en el consumo energético, lo que permitiría obtener una mejora en

la autonomía del dispositivo FATE y una menor recarga del sistema.

## VIII. CONCLUSIONES

En este Trabajo Final de Grado, se ha realizado un análisis y seleccionado el módulo más adecuado de la tecnología Sigfox, para las necesidades de mejora propias del detector de caídas del proyecto europeo FATE. A continuación, se ha desarrollado un firmware para el módulo seleccionado y tras contrastar su consumo con dos comunicaciones alternativas (Bluetooth y GPRS), se ha comprobado que la tecnología Sigfox es la red más adecuada para satisfacer los objetivos planteados, tanto en cuestión de prestaciones, como en consumo, garantizando la localización GPS de forma continua y permitiendo su conexión a un servidor HTTP ante una detección de caída del usuario, obteniendo de esta forma, una respuesta fiable en el envío de los mensajes de alarma. Un punto crítico encontrado durante el trabajo ha sido la necesidad de una antena de gran tamaño para una mejor cobertura.

La simulación del sistema FATE, emulando caídas con el pulsador de la placa de evaluación, da como resultado que el envío de la trama de alerta a los servidores es correcto. El servidor HTTP, cuando recibe los mensajes, es capaz de discernir correctamente los dos estados (**OK!!**, **ALM!**) y componer la trama correcta en cada caso, cumpliendo así los objetivos previstos. Hay que destacar que, con la utilización de la red Sigfox, no se necesitaría ningún dispositivo móvil cercano

para enviar la alarma de caída. Esto demuestra que podríamos evitar el uso conjunto de Bluetooth y ZigBee y con una sola red podríamos realizar los dos tipos de comunicaciones, reduciendo costes en la infraestructura que envuelve al dispositivo, ya que la red Sigfox es la que aporta más prestaciones al conjunto.

## VII. TRABAJO FUTURO

Para ampliar el escenario técnico en el que se ha desarrollado el trabajo expuesto, a continuación se detallan diversas opciones que permitirían mejorar las prestaciones de uso de este equipo, para hacerlo más competitivo, entre los existentes en su segmento. Estas mejoras nos permitirían implantar este proyecto en el mercado actual.

En primer lugar, se tendría que crear una aplicación a través de la API de Sigfox para conseguir un mensaje automático de confirmación ACK hacia la placa, cada vez que el servidor reciba una trama con el estado del sistema y la posición. A continuación habría que desarrollar un prototipo, con la tecnología utilizada en este trabajo, que tenga las mismas prestaciones ya definidas pero reduciendo el tamaño del dispositivo, para ello también es recomendable un estudio de la ubicación de la antena, que permitiría optimizar los elementos del sistema y crear un diseño más ergonómico.

Tras la finalización del prototipo, debería hacerse un estudio de compatibilidad electromagnética, por razones de funcionamiento y seguridad, ya que puede quedar expuesto a interferencias con otros equipos. También sería útil realizar un test para establecer la batería más adecuada, un estudio de carga y descarga de la misma y su comportamiento en diversos escenarios.

Finalmente se tendría que realizar una simulación o prueba real de caídas para obtener los datos necesarios, que nos permita confirmar la recepción en el área donde se distribuya el equipo y las necesidades concretas del usuario, permitiendo así establecer la completa fiabilidad de la red.

## REFERENCIAS

- [1] STMicroelectronics, Datasheet (2015). *Datasheet STM32F051xx.*
- [2] STMicroelectronics, ref: (RM0091) (2015). *Reference Manual STM32F051xx.*
- [3] STMicroelectronics, ref: (PM0215) (2014). *STM32F0xxx Cortex-M0 programming manual.*
- [4] STMicroelectronics, Datasheet (2015). *Datasheet STM32F0DISCOVERY.*
- [5] STMicroelectronics, firmware examples (2012). *STM32F0DISCOVERY peripheral firmware examples.*
- [6] STMicroelectronics, User Manual ref: (UM1525) (2013). *STM32F0 Discovery.*
- [7] Telecom Design, Datasheet (2014). *TD1204 High-performance, low-current sigfox™ gateway and gps receiver.*
- [8] Telecom Design, ref: TD1204RM (2014). *TD1204 Reference Manual.*
- [9] Telecom Design, ref: TD1204EVB (2014). *TD1204 Evaluation Board user's Guide.*
- [10] Telecom Design, Datasheet (2014). *TD1205 High-performance, low-current sigfox™ gateway and gps receiver.*