



## Conference Paper

# Utilización de la comunicación por radiofrecuencia para la detección de vehículos en movimiento: revisión del estado del arte

Antony García<sup>1</sup>, Yessica Sáez<sup>1</sup>, José Muñoz<sup>1</sup>, Ignacio Chang<sup>1</sup>,  
and Héctor Montes Franceschi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Rep. de Panamá

<sup>2</sup>Centro de Automática y Robótica CSIC-UPM, España

## Abstract

This article presents the state of the art on the use of radiofrequency communication for the detection of objects and vehicles in motion, through the interaction between transmitter and receiver devices using ISM (Industrial, Scientific and Medical) bands. By quantifying parameters such as the absence or presence of signals and their intensity, it is possible to approximate the distance between an emitting device and a receiver, localized in the vehicle and a fixed point, respectively. The study of the methodologies used in this article aims to develop a system oriented to guide people with visual disabilities in the public transportation system, taking advantage of the main characteristics of radiofrequency communication: low cost, easy implementation and full compatibility with electronic boards built on embedded systems.

**Keywords:** radiofrequency, ISM bands, detection of vehicles in motion, support for visual disability people, ETA

## Resumen

En este artículo se presenta el estado del arte sobre el uso de la comunicación por radiofrecuencia para la detección de objetos y vehículos en movimiento a través de la interacción entre dispositivos transmisores y receptores, utilizando las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Por medio de la cuantificación de parámetros, como la ausencia o presencia de señales y su intensidad, es posible estimar la distancia entre un dispositivo emisor y un receptor, ubicados en el móvil y en un punto fijo, respectivamente. El estudio de las metodologías utilizadas en este artículo tiene como objetivo el desarrollo de un sistema orientado a la guía de personas con discapacidad visual en el sistema de transporte público, aprovechando las principales características de la comunicación por radiofrecuencia: bajo costo, fácil implementación y plena

Corresponding Author:

Antony García

antony.garcía@utp.ac.pa

Received: 15 November 2017

Accepted: 5 January 2018

Published: 4 February 2018

Publishing services provided  
by Knowledge E

© Antony García et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#),

which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Selection and Peer-review under the responsibility of the ESTEC Conference Committee.



compatibilidad con tarjetas electrónicas construidas en base a sistemas embebidos.

**Palabras claves:** radiofrecuencia, bandas ISM, detección de vehículos en movimiento, apoyo a personas con discapacidad visual, ETA

---

## 1. Introducción

La utilización de sistemas embebidos para el desarrollo de soluciones tecnológicas es un enfoque que ha ganado auge durante los últimos años. Plataformas como Arduino, Raspberry Pi y similares han permitido que sea posible desarrollar prototipos tecnológicos de bajo costo y con poca dificultad desde el punto de vista técnico. Junto a estas plataformas ha surgido un mercado orientado a proveer placas electrónicas basadas en sistemas embebidos, así como toda clase de sensores, módulos de control y comunicación.

Con Arduino es posible utilizar dispositivos de comunicación por radiofrecuencia, aprovechando las bandas ISM, las cuales son libres y no requieren de licenciamiento. Esta característica ha favorecido la utilización del binomio Arduino + módulos RF en la educación (Dobrilović et al., 2003), automatización y control (Makwana et al., 2013), medicina (Radcliffe, 2011) y soluciones tecnológicas en general.

Existen distintos tipos de módulos de radiofrecuencia que han sido utilizados para proyectos a nivel científico e industrial. Uno de ellos, el transceptor CC1101 (Texas Instruments, 2009), se destaca por haber sido utilizado en múltiples estudios científicos para la construcción de redes inalámbricas de sensores (Kim et al., 2013), comunicación *machine-to-machine* (M2M) (Tuset-Peiró et al., 2013) y sistemas de monitoreo en tiempo real (Casciati y Chen, 2010). En estos estudios se ha comparado diferentes dispositivos de comunicación por radiofrecuencia, siendo el CC1101 el modelo escogido debido a sus características de bajo consumo energético, capacidad de utilizar el indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI por las siglas del inglés *Received Signal Strength Indicator*) y por ser menos propenso a interferencia electromagnética (Heurtefeux y Valois, 2012).

En este artículo se presenta el estado del arte actual sobre el uso la comunicación por radiofrecuencia para la detección de vehículos en movimiento. Se hace énfasis en los estudios en que se haya utilizado el CC1101 o módulos de comunicación similares. Con esta revisión se espera desarrollar un prototipo para la detección de vehículos en

movimiento en el sistema de transporte público en Panamá, como parte de un proyecto orientado a la guía de personas con discapacidad visual (Montes et al., 2016).

## 2. Posicionamiento con base en radiofrecuencia

La tecnología de comunicación por radiofrecuencia ha sido ampliamente utilizada para sistemas de posicionamiento en interiores y exteriores. En (Nawaz et al., 2017) utilizaron módulos de comunicación CC1101 para diseñar un algoritmo basado en *asynchronous time difference of arrival* (A-TDOA por sus siglas en inglés). Este algoritmo cuantifica la diferencia entre los tiempos de recepción de una señal transmitida por un dispositivo transmisor a múltiples receptores. Con este método es posible triangular la posición del transmisor en dos dimensiones, con una exactitud de 1.8 metros, aproximadamente.

Otro método utilizado para la detección de posición en interiores por medio de radiofrecuencia es el RSSI. Los autores en (Huang et al., 2015) evalúan el uso de esta tecnología para la estimación de distancias en interiores y concluyen que, bajo ciertas circunstancias, RSSI es una buena opción para lograr este propósito. Sin embargo, los autores en (Heurtefeux y Valois, 2012) evalúan la utilización de RSSI para el posicionamiento de los nodos de una red de sensores inalámbricos. Los resultados demuestran que esta tecnología no es tan precisa para la detección de distancias en redes de múltiples sensores. Los autores (Konings et al., 2017) estudiaron la posibilidad de construir un sistema de localización a partir del uso de módulos CC1101 con lecturas RSSI. Las conclusiones indican que el RSSI por sí solo no es capaz de determinar de forma precisa la distancia entre un emisor y un receptor, aunque existe la posibilidad de aumentar la precisión de los cálculos de distancia a través de algoritmos de calibración especiales. Los autores en (Barros y Mota, 2015) estudiaron el efecto causado por la presencia de personas en el interior de los edificios sobre la varianza en el RSSI, y demostraron que existe una relación directamente proporcional entre la cantidad de personas en un ambiente cerrado y el RSSI registrado por los receptores.

También existen estudios orientados a estimar distancias a través de radiofrecuencia en exteriores. En (Chung, 2007) se utilizó el módulo CC2431 para estimaciones de distancia utilizando RSSI en ambientes interiores y exteriores. Se distribuyeron receptores de radiofrecuencia a través de un pasillo y en el exterior de un edificio y se demostró que, con los algoritmos adecuados, el uso de RSSI en ocasiones permite estimar la posición aproximada de un transmisor.

Para aplicaciones en exteriores se prefiere la utilización del sistema GPS para determinar la posición de objetos. Sin embargo, esta tecnología posee algunas desventajas como su costo y consumo energético. Para aplicaciones en las que se emplean dispositivos de bajo costo y sin fuentes fijas de poder es preferible buscar alternativas que permitan determinar la posición de los nodos en el espacio sin requerir del uso de GPS. Los autores en (Bulusu et al., 2000) proponen un sistema que muestra un buen desempeño, con resultados lo suficientemente precisos para considerar la tecnología de radiofrecuencia como una opción viable al uso de GPS.

Arduino ha sido utilizado como microcontrolador en proyectos que emplean RSSI para localización de la posición de nodos de medición en redes de sensores inalámbricos utilizando Xbee (Harikrishnan, 2015). Otros estudios han utilizado placas de Arduino para localización de objetos en interiores y exteriores utilizando WIFI (Gani et al., 2013), Zigbee (Pothirajan y Annapoorani, 2017) y RFID (Murofushi et al., 2016).

### 3. Detección de vehículos y objetos móviles

En las aplicaciones mencionadas hasta ahora se ha utilizado comunicación por radiofrecuencia para registrar la posición de un transmisor en interiores y exteriores, utilizando múltiples receptores para medir la intensidad de señal recibida y traducir este parámetro a una distancia aproximada. Sin embargo, este tipo de metodología no tiene mucha validez cuando se desea registrar la posición de un vehículo en movimiento.

Generalmente, para registrar la posición y el desplazamiento de vehículos se utiliza la tecnología GPS. Este método fue patentado en (Brown y Sturza, 1993) y desde entonces ha sido utilizado extensivamente en la ciencia y la industria. El surgimiento de nuevos paradigmas como el Internet de las Cosas (Xu et al., 2014) y la propagación de la tecnología Smartphone (Lee et al., 2014), ha impulsado el uso del GPS hasta el punto en que las empresas de hoy en día emplean estos dispositivos para el monitoreo de flotas vehiculares, aprovechando características avanzadas de este tipo de sistemas, como optimización de rutas y cálculo de tiempo estimado de llegada.

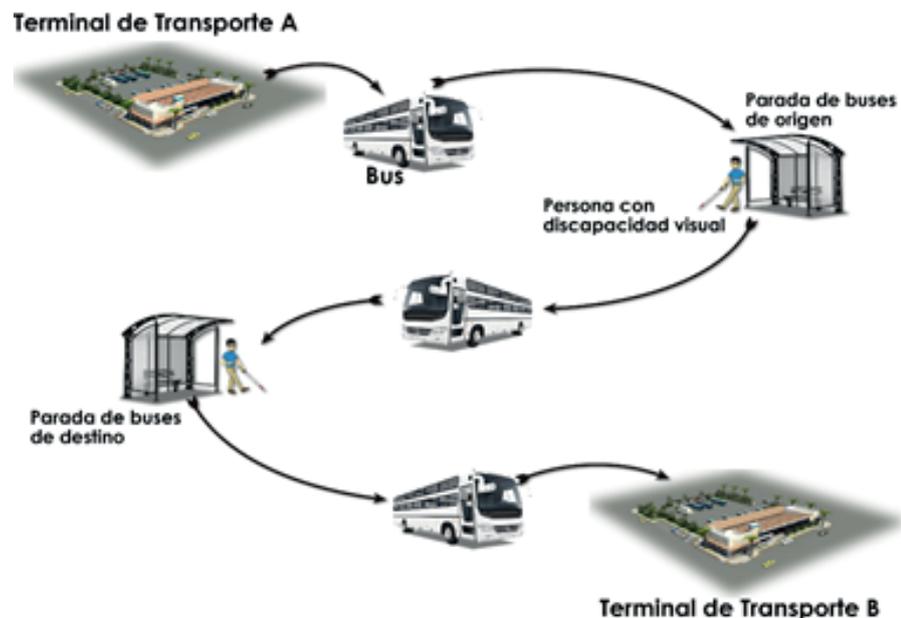
La tecnología comunicación por radiofrecuencia ha sido utilizada escasamente para detección de vehículos. Los autores (Li y Wu, 2016) proponen utilizar RSSI para el diseño de un método de detección de vehículos en estacionamientos. En (Chovanec et al., 2014) se utiliza el CC1101 junto con un magnetómetro para detectar cuando los vehículos pasan por un punto específico, obteniendo resultados satisfactorios.

La utilización de radiofrecuencia para detección de vehículos en movimiento no es muy común, especialmente cuando se puede contar con GPS. Sin embargo, limitaciones asociadas al costo, consumo de energía, precisión y velocidad de actualización, dificultan la utilización de GPS en aplicaciones en las que estos parámetros son una prioridad por encima del registro constante de la posición del vehículo.

## 4. Proyecto MOVIDIS: ayuda en la movilidad de personas con discapacidad visual

### 4.1. Descripción general del proyecto

El proyecto MOVIDIS es una iniciativa orientada a brindarle autonomía a las personas con discapacidad visual en el uso del sistema de transporte público en Panamá (Montes et al., 2016). Este proyecto está conformado por dos sistemas, uno que consiste en tecnología RF y otro basado en aplicaciones para Smartphone. El primero consiste en un sistema compuesto por varios módulos que facilitan la utilización del sistema de transporte a personas con discapacidad visual. Estos módulos se comunican entre sí por medio de radiofrecuencia y permiten la interacción de los usuarios con los vehículos móviles y las paradas de buses distribuidas a través de la ruta que recorren los buses.



**Figura 1:** Esquema de funcionamiento del Sistema MOVIDIS utilizando la tecnología RF.

La 4.4.2 muestra el esquema de funcionamiento del sistema MOVIDIS utilizando la tecnología de RF. Los cuatro módulos que forman el sistema han sido nombrados de la siguiente manera:

- MOVI-BUS: dispositivo instalado en los buses del sistema de transporte.
- MOVI-STOP: dispositivo instalado en las casetas de espera para los usuarios del sistema de transporte.
- MOVI-MASTER: dispositivo instalado en las terminales ubicadas en el inicio y el final de la ruta de transporte.
- MOVI-ETA: dispositivo personal que permite la interacción de las personas con discapacidad visual con las casetas de espera y con los buses del sistema de transporte.

La conceptualización de funcionamiento es la siguiente: un bus del sistema de transporte público con un módulo MOVI-BUS instalado, sale de la Terminal de Transporte A hacia la Terminal de Transporte B. A medida que avanza a través de la ruta, el bus establece comunicación con el MOVI-STOP de cada una de las paradas que encuentra en la ruta. Cuando una persona con un MOVI-ETA se acerca a una parada, su módulo personal se enlaza con el MOVI-STOP de la caseta de espera y se prepara para recibir la señal del próximo MOVI-BUS que se acerque, siempre y cuando éste se dirija a la ruta que la persona discapacitada requiere.

Cuando se produce el enlace entre MOVI-BUS y MOVI-STOP, la persona recibe una señal a través de su MOVI-ETA indicándole que debe estar preparado para abordar el próximo bus que llegue a la parada. El conductor del autobús recibirá una señal pidiéndole precaución, ya que una persona con discapacidad visual abordará el vehículo.

Una vez que la persona haya abordado el bus, su dispositivo MOVI-ETA establecerá un enlace de comunicación con el MOVI-BUS, a la espera de recibir la señal que le indique que se está acercando a la caseta de espera de su destino. Cuando el MOVI-STOP de la caseta de destino se enlace con el MOVI-BUS del vehículo, tanto el conductor como la persona reciben la señal indicándole a ambos que la persona discapacitada ha llegado a su destino.

## 4.2. Desventajas de la tecnología GPS

El algoritmo que le da funcionalidad a este sistema de MOVIDIS requiere de la detección temprana del acercamiento de un vehículo del sistema de transporte a una caseta de espera. A pesar de que la tecnología GPS es la más utilizada para monitorear el desplazamiento de vehículos, esta presenta ciertos inconvenientes que podrían causar un mal funcionamiento del sistema MOVIDIS. Por ejemplo, si el GPS no le indica a la persona que el vehículo está lo suficientemente cerca para pedirle que se detenga, el

vehículo no recogerá a la persona y ésta no podrá hacer uso del vehículo. Si la persona está dentro del vehículo y el GPS no es capaz de indicarle que se encuentra muy cerca de su punto de destino, la persona no podrá solicitar la parada.

Por otro lado, el costo y los requerimientos energéticos de la tecnología GPS complican su utilización en el desarrollo del MOVI-ETA. Este dispositivo debe ser de bajo costo, bajo consumo energético, tamaño reducido y fácil de utilizar. De lo contrario será difícil que el sistema sea adoptado por las personas con discapacidad visual y que cumpla con su objetivo principal, que sea un módulo funcional y ergonómico para el usuario.

Una opción para el desarrollo del MOVI-ETA es aprovechar la tecnología Smartphone y desarrollar una aplicación que cumpla con las características requeridas por los usuarios del sistema. Sin embargo, esto requiere que todos los usuarios del sistema cuenten con un Smartphone que cumpla con ciertos requisitos. Además, es estrictamente necesario que los usuarios cuenten con un plan de datos que les permita rescatar la información de la posición de los vehículos. La necesidad de actualizar la aplicación en tiempo real y de utilizar el GPS puede comprometer la autonomía energética del Smartphone (Carroll y Gernot, 2010) y provocar fallas en el funcionamiento del algoritmo.

### 4.3. Comunicación por radiofrecuencia

La comunicación por radiofrecuencia es una opción de bajo costo y bajo consumo energético para el enlace entre MOVI-BUS, MOVI-STOP y MOVI-ETA. Para el proyecto MOVIDIS no es prioritario conocer el desplazamiento de los buses en tiempo real. Lo importante para el funcionamiento de este sistema es que las personas puedan detectar el acercamiento del bus a una distancia que les permita pedir la parada. Esto se puede lograr a través de la transmisión de una señal de enlace entre el MOVI-BUS y el MOVI-STOP. El enlace se producirá cuando el bus se acerque lo suficiente a la caseta de espera y sea posible el intercambio de información entre los dos módulos.

Debido a que en algunas casetas de espera de buses es posible contar con un suministro fijo de energía, o al menos instalar bancos de baterías recargados por paneles solares, es posible que el MOVI-STOP pueda contar con una alta potencia de salida en el transmisor de radiofrecuencia. El MOVI-BUS también puede ser alimentado con la batería del vehículo, por lo que también es posible una alta potencia de salida en el transmisor. Esto permite que la distancia mínima para el establecimiento del enlace de comunicación sea lo suficientemente amplia para permitir que el MOVI-ETA (el cual tendrá una limitación en potencia) reciba la notificación del acercamiento del bus a tiempo y, por lo tanto, el usuario pueda reaccionar en consecuencia.

La alta potencia de los módulos MOVI-BUS y MOVI-STOP es capaz de compensar a la del MOVI-ETA. Esto permitirá reducir su tamaño y consumo de energía, ya que se aprovecha de la cercanía a los módulos MOVI-BUS y MOVI-STOP. Estas son las principales características que se persiguen con el diseño de este módulo.

## 5. Conclusiones

En este documento se ha revisado parte de la literatura existente acerca de la tecnología de comunicación por radiofrecuencia y su uso en sistemas de posicionamiento basados en intensidad de señal y propagación de ondas. Una gran parte de los trabajos revisados describe la posibilidad de estimar posiciones de objetos en dos dimensiones, utilizando algoritmos basados en RSSI y TDOA. Estos algoritmos poseen diferentes niveles de eficiencia, dependiendo del espacio en el que se emplean los dispositivos utilizados para la transmisión/recepción de señales y los métodos empleados para el procesamiento de señales.

Para el posicionamiento de vehículos y objetos en movimiento en exteriores, la principal tecnología utilizada es el sistema de posicionamiento global, GPS. La transmisión de datos por radiofrecuencia ha sido escasamente utilizada en aplicaciones con vehículos y objetos en movimiento. A pesar de las ventajas que ofrece la tecnología GPS para el seguimiento de objetos en movimiento en exteriores, esta no siempre es la mejor opción. Para casos muy específicos, las desventajas que presenta el uso de GPS impiden su implementación y se hace necesario buscar alternativas que permitan lograr resultados similares.

Para el caso específico del proyecto MOVIDIS, concretamente con el sistema basado en RF, la utilización de comunicación por radiofrecuencia podría representar una opción viable para la construcción de un sistema funcional para la orientación de personas con discapacidad visual en el sistema de transporte público. Aún hace falta realizar pruebas de funcionamiento para establecer la viabilidad del uso de esta tecnología en el desarrollo de los prototipos del sistema propuesto.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado dentro del marco del proyecto MOVIDIS, financiado por la SENACYT con el Contrato por Mérito N°109-2015-4-FID14-073.

## Referencias

- [1] Barros, D., Mota, A., and Mota, L. (2015). "Average Room Occupancy Rate and its relation with Received Signal Strength Indicator in Wireless Sensors Networks". *SET EXPO PROCEEDINGS*, pp. 24-26.
- [2] Brown, A., and Sturza, M. (1993). *Vehicle tracking system employing global positioning system (gps) satellites*. Patente de invención N°US5225842 A.
- [3] Bulusu, N., Heidemann, J., and Estrin, D. (2000). "GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices". *IEEE Personal Communications*, 7(5), pp.28-34.
- [4] Carroll, A., and Heiser, G. (2010). "An Analysis of Power Consumption in a Smartphone." *USENIX annual technical conference*. Vol. 14.
- [5] Casciati, S., and Chen, Z. (2010). "A multi-channel wireless connection system for structural health monitoring applications". *Structural Control and Health Monitoring*, 18(5), pp. 588-600.
- [6] Chovanec, M., Hodon, M., and Cechovic, L. (2014). "Tiny low-power WSN node for the vehicle detection." *Informatica* 38.3.
- [7] Chung, W-Y. (2007). "Enhanced RSSI-based real-time user location tracking system for indoor and outdoor environments." *Convergence Information Technology*, 2007. International Conference on IEEE.
- [8] Dobrilović D., Čović Z., Stojanov Ž., and Brtka V. (2013). "Approach In Teaching Wireless Sensor Networks and IoT Enabling Technologies In Undergraduate University Courses". *Proceedings of the 2nd regional conference Mechatronics in Practice and Education*, pp 18-22.
- [9] Gani, M., OBrien, C., Ahamed, S., and Smith, R. (2013). "RSSI Based Indoor Localization for Smartphone Using Fixed and Mobile Wireless Node". 2013 *IEEE 37th Annual Computer Software and Applications Conference*.
- [10] Harikrishnan, R. (2015). "An Integrated Xbee Arduino and Differential Evolution Approach for Localization in Wireless Sensor Networks". *Procedia Computer Science*, 48, pp.447-453.
- [11] Heurtefeux, K. and Valois, F. (2012). "Is RSSI a Good Choice for Localization in Wireless Sensor Network?". *2012 IEEE 26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*.
- [12] Huang, Y., Zheng, J., Xiao, Y., and Peng, M. (2015). "Robust Localization Algorithm Based on the RSSI Ranging Scope". *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(2), p.587318.

- [13] Kim, S., Brendle, C., Lee, H., Walter, M., Gloeggler, S., Krueger, S., and Leonhardt, S. (2013). "Evaluation of a 433 MHz Band Body Sensor Network for Biomedical Applications". *Sensors*, 13(1), pp.898-917.
- [14] Konings, D., Faulkner, N., Alam, F., Noble, F., and Lai, E. (2017). "Do RSSI values reliably map to RSS in a localization system?". *2017 2nd Workshop on Recent Trends in Telecommunications Research (RTTR)*.
- [15] Lee, S., Tewolde, G., and Kwon, J. (2014). "Design and implementation of vehicle tracking system using GPS/GSM/GPRS technology and smartphone application". *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*.
- [16] Li, X., and Wu, J. (2016). "A new method and verification of vehicles detection based on RSSI variation". *2016 10th International Conference on Sensing Technology (ICST)*.
- [17] Makwana, R., Baviskar, J., Panchal, N., and Karia, D. (2013). "Wireless based load control and power monitoring system". *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*.
- [18] Montes, H., Chang, I., Carballeda, G., Muñoz, J., Garcia, A., Vejarano, R., and Armada, M. (2016). "MOVIDIS: First Steps Toward Help The Mobility Of People With Visual Disability In Panama". *Open Conference on Future Trends in Robotics*, Chapter 26, pp. 209-218.
- [19] Murofushi, R., Goncalves, R., Sousa, A., and Tavares, J. (2016). "Indoor Positioning System Based on the RSSI Using Passive Tags". *2016 XIII Latin American Robotics Symposium and IV Brazilian Robotics Symposium (LARS/SBR)*.
- [20] Nawaz, H., Bozkurt, A., and Tekin, I. (2017). "A novel power efficient asynchronous time difference of arrival indoor localization system using CC1101 radio transceivers". *Microwave and Optical Technology Letters*, 59(3), pp. 550-555.
- [21] Pothirajan, G., and Annapoorani, G. (2017). "Home Automation with Indoor Location Using Bluetooth Low Energy and Arduino-ZigBee Nodes." *Intl. Research Journal of Eng. and Tech.* Vol. 4, Iss. 5
- [22] Radcliffe, J. (2011). "Hacking medical devices for fun and insulin: Breaking the human SCADA system." *Black Hat Conference presentation slides*. Vol. 2011.
- [23] Texas Instruments. 2009. "CC1101, Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver". Data Sheet, Texas Instruments (2009).
- [24] Tuset-Peiró, P., Anglès-Vazquez, A., López-Vicario, J., and Vilajosana-Guillén, X. (2013). "On the suitability of the 433 MHz band for M2M low-power wireless communications: propagation aspects". *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 25(12), pp.1154-1168.

- [25] Xu, L., He, W. and Li, S. (2014). "Internet of Things in Industries: A Survey". *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), pp.2233-2243.

## Authorization and Disclaimer

*Authors authorize ESTEC to publish the paper in the conference proceedings. Neither ESTEC nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*