

REVISIÓN DE LITERATURA DE LOS SISTEMAS  
DE LOCALIZACIÓN DE OBJETOS POR

# TECNOLOGÍA RFID Y NUEVAS TECNOLOGÍAS DE RADIOFRECUENCIA

M.C. Henry Xochipiltecatl Carreto<sup>1,3</sup> y Dr. Rogelio Álvarez Vargas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alumno del Posgrado  
CIATEQ Hidalgo.

<sup>2</sup>CIATEQ Querétaro.

<sup>3</sup>Nemilis S.R.L de M.I.

Enviado: 31 de octubre de 2015

Aceptado: 7 de diciembre de 2015



xochipiltecatl@yahoo.com

**Resumen:** Este trabajo es una revisión de literatura de la localización de objetos por tecnología Radio Frequency Identification (RFID) híbrida, se presenta un análisis de diferentes artículos donde se observa la viabilidad, los retos de esta tecnología, casos de aplicación y las nuevas oportunidades, mediante la búsqueda en bases de datos, patentes, sitios comerciales y journals web, desde el año 1997 al 2015. Se revisa el uso de sistemas de radio frecuencias híbridos que proponen mejorar los sistemas de localización, al final se plantean líneas de investigación y oportunidades en las nuevas tecnologías de radiofrecuencia emergentes como la Ultra Wide Band (UWB) y RuBee.

+ **Palabras clave:** RFID, localización y RFID híbrida.

**Abstract:** This paper is a literature review of the location of objects by Radio Frequency Identification (RFID) hybrid, an analysis of different items where viability is observed, the challenges of this technology, application cases and new opportunities are presented by search databases, patents, trade sites and web journals, from 1997 to 2015 the use of hybrid radio frequency systems that aim to improve tracking systems is reviewed at the end lines of research involved and new opportunities in emerging RF technologies such as Ultra Wide Band (UWB) and RuBee.

+ **Keywords:** RFID, location and RFID hybrid.

## Introducción

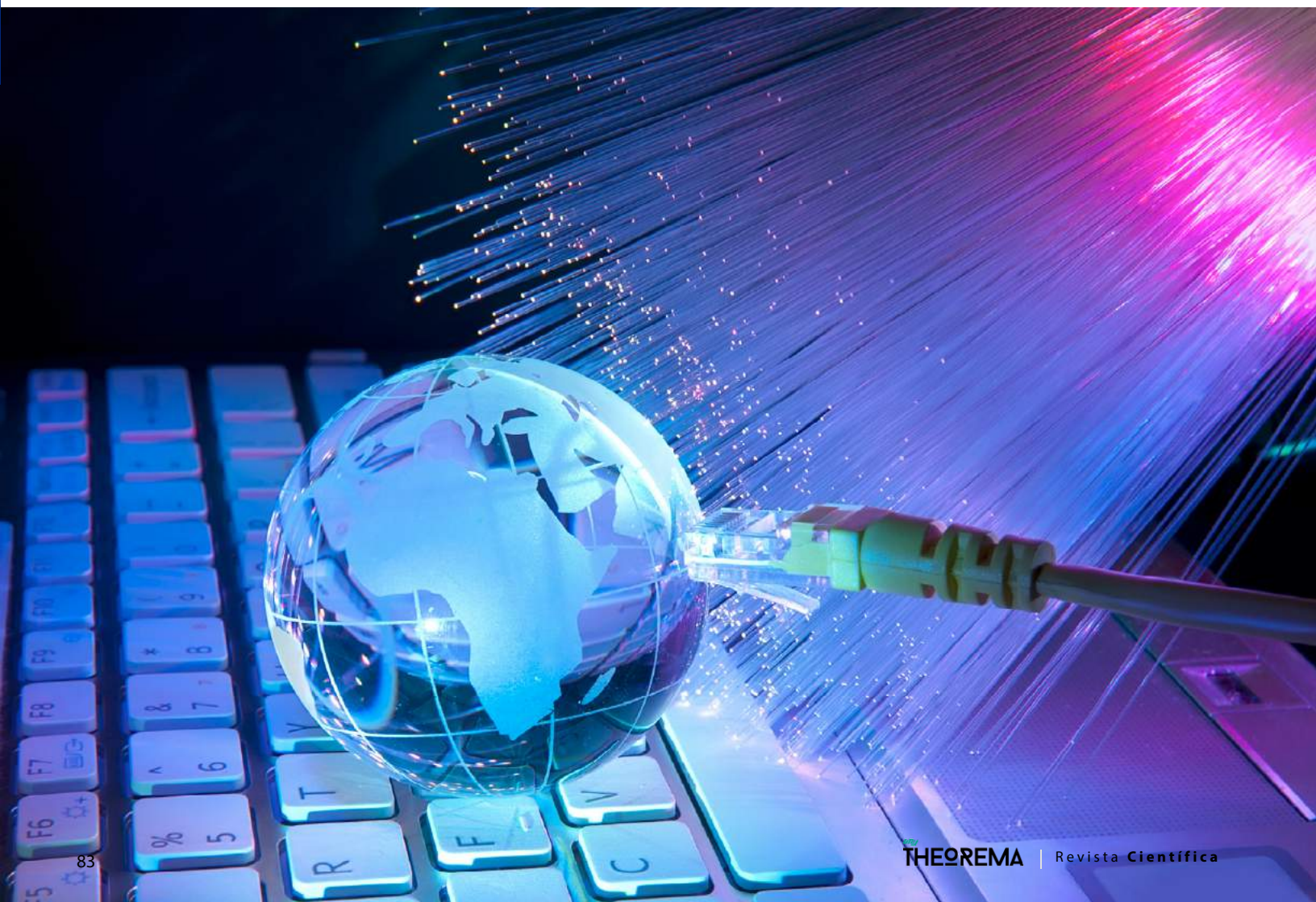
La localización de objetos es una tarea importante en el campo de la computación [1] que ha utilizado diferentes tecnologías para ubicar y situar entidades desde infrarrojos, ultrasonido, video cámara, campo electromagnético hasta la Radio Frecuencia (RF) con el uso de etiquetas pasivas y activas.

El objetivo de este trabajo es una revisión de la literatura de la tecnología de Radio Frecuencia (RF) activa, en especial el uso de tecnologías RF híbridas en algoritmos, redes, métodos, hardware (RFID pasiva, activa, GPS, ZigBee y BlueTooth), así como nuevas tecnologías de radio (RuBee, Ultra Wide Band - UWB, Unidad de Medición Inercial - Sistemas Microelectromecánicos IMU-MEMS,...) para observar la viabilidad, los retos de esta tecnología, casos de aplicación y nuevas oportunidades. La hipótesis a comprobar es que los sistemas híbridos de localización presentan mayor eficiencia al combinar dos tipos de RF u otra tecnología para mejorar las capacidades de localización de objetos. Esto debido a que actualmente los sistemas de localización presentan oportunidades de mejora en precisión, alcance, gestión de energía y velocidad de tratamiento de datos.

## Materiales y métodos

Se realizó una investigación bibliográfica en artículos del año 1997 al 2015 de la base de datos de ScienceDirect, Journal Cambridge, EBSCO HOST, IEEE Explore, ASTM, Emerald Insight, 10 patentes obtenidas del buscador de patentes PATENTSCOPE – WIPO, Google Patent Search e IMPI y sitios de empresas comercializadoras de sistemas Radio Frequency Identification – RFID, basándose en uno de los cuatro modelos según [2] y tomando el modelo de seguimiento de objetos (RFID activo) [2 y 3] y lectores cercanos [4, 5 y 6] se desprenden seis tópicos:

- + Monitoreo por Radio Frecuencia.
- + Seguimiento y localización de objetos.
- + Nuevas tecnologías de localización.
- + Tecnologías híbridas.
- + Algoritmos de localización.
- + Hardware.



### Monitoreo por radio frecuencia

El ciclo de vida de la tecnología [7, 8 y 9] también aplica para la tecnología RF. Para el caso de la RFID, en especial la RFID pasiva se encuentra en la etapa de madurez, como lo presenta el estudio de [10]. Para el caso de los RFID activos se observa crecimiento-madurez, la tecnología de localización RFID activo tiene 273 publicaciones. En la Figura 1 se observa una disminución de publicaciones del 6.23% en el 2015-2014 comparado con el 2013-2012.

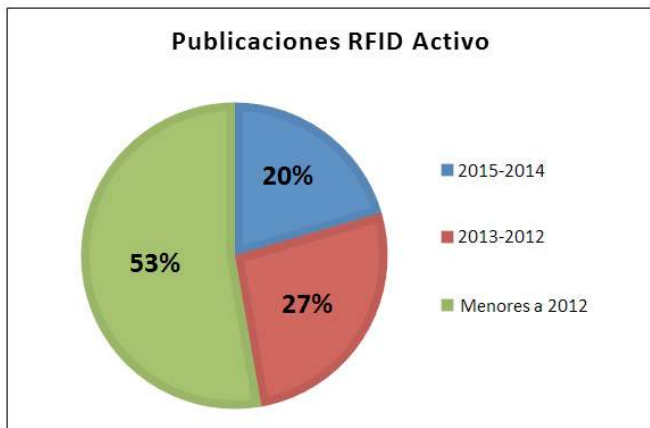


Figura 1. Comportamiento de publicaciones sobre localización con RFID activo.

La disminución ocurre con el aumento de investigaciones en UWB, WiFi y BlueTooth en los últimos dos años y a que requiere de implementar infraestructura para llevar a cabo la localización.

En el resultado de la búsqueda en bases de datos se observa el uso en un 38.5 % de la tecnología RFID, 15.4% integrando video y 46.1 % integrada con otras tecnologías (Mobilarea, RadarSat-2, Moving Object Databases – MOD, Scalable Tracking Using Networked Sensors – STUN, TCP/IP, Moving Object Alarm System- MOAS).

La Figura 2 muestra que el uso de RFID para localización es el más usado por encima del video.

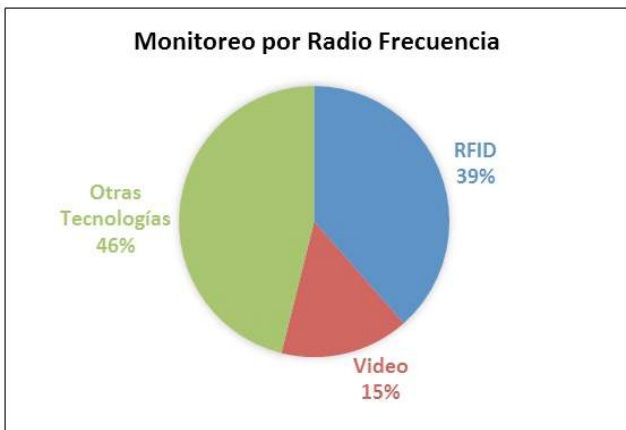


Figura 2. Comportamiento de publicaciones sobre Monitoreo por Radio Frecuencia.

Las otras tecnologías integradas buscan ser eficientes tanto en exactitud como en recursos, utilizando la infraestructura disponible de las Wireless Local Area Network (WLAN) como el WiFi que tiene un crecimiento importante, con infraestructura ya instalada y esto permite reducir el costo en la implementación de la localización.

### Seguimiento y localización de objetos

Se observa el uso en un 81% del RFID (41% Near Field Communication - NFC, 40% Ultra High Frequency – UHF y 1% en Semi activos), siendo el 19% restante de otras tecnologías (Global Telematic Transport System - GTTS, Global Positioning System - GPS, WiFi, Video,...).

En la Figura 3 se observa el porcentaje de uso entre RFID NFC y UHF, debido a las aplicaciones híbridas y las ventajas en precio que presenta el NFC y alcance de UHF.

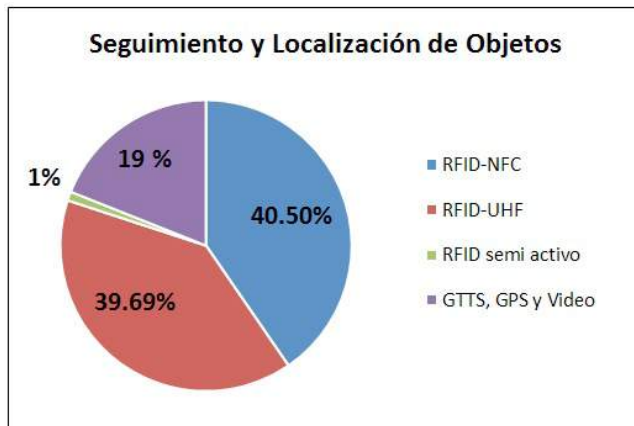


Figura 3. Comportamiento de publicaciones sobre seguimiento y localización de objetos.

### Nuevas tecnologías de localización

Las tecnologías RF que se encuentran en introducción son BlueTooth, Zigbee, UWB, y RuBee, entre otras.

Bluetooth tiene 173 publicaciones, se observa un crecimiento del 14% con respecto al periodo 2013-2012.

En la Figura 4 se puede observar el crecimiento del 14% de los años 2015-2014 con respecto al 2013-2012, debido al uso de las mejoras en la tecnología a partir del BlueTooth 4.0, al reducir el consumo de energía BlueTooth Low Energy (BLE), con alcance de 100 metros y a su uso común en Smart Phones.

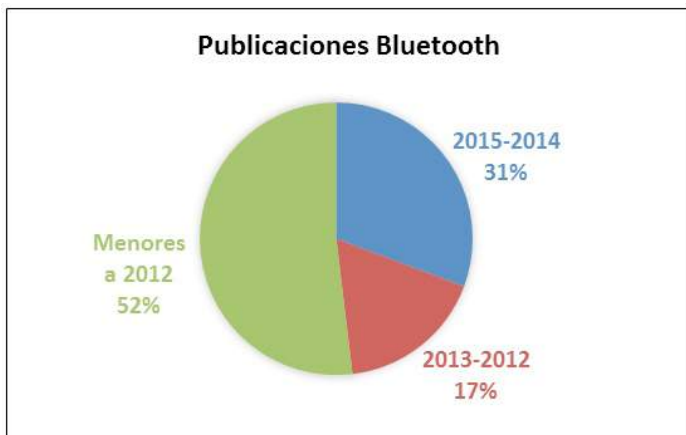


Figura 4. Comportamiento de publicaciones sobre BlueTooth.

El crecimiento también se debe al incremento en aplicaciones basadas en Smart Phone y con integración en Tags RFID pasivos. Su atención va de aparatos móviles, industria, seguridad y sistemas expertos.

Las tecnologías de localización RF WiFi, por su parte tiene una gran actividad en los últimos años, con 121 publicaciones. En la Figura 5 se muestra el número de publicaciones sobre WiFi, se observa el crecimiento en publicaciones en gran medida por el hecho de que no requiere agregar infraestructura para la localización al interior.

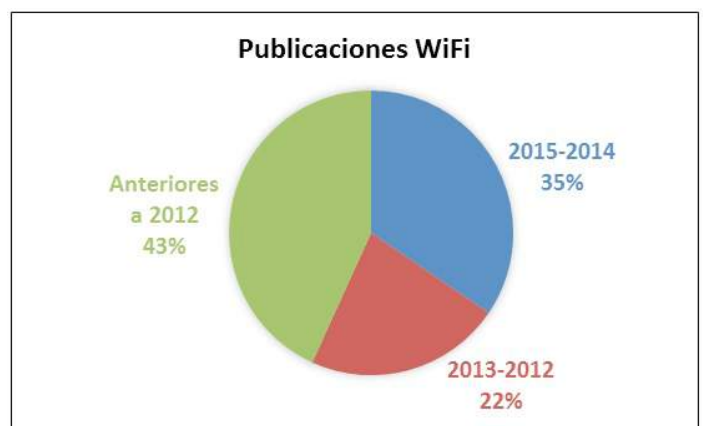


Figura 5. Comportamiento de publicaciones sobre WiFi.

Se observa un crecimiento actual del WiFi del 13% del 2015-2014 con respecto al periodo del 2013-2012. Sus aplicaciones son parecidas al BlueTooth pero tiene una gran integración a la Tag de tecnología RFID. En las empresas líder de tecnologías de la Información (TI) mundiales, se observa una tendencia a utilizarlo como estándar de localización.

La tecnología de localización en RF ZigBee, apenas cuenta con 50 publicaciones, de las cuales el mayor porcentaje se centra en los últimos dos años. En la Figura 6 se puede ver el porcentaje por periodo.



Figura 6. Comportamiento de publicaciones sobre ZigBee.

Asimismo se observa en esta tecnología un crecimiento vigoroso en los cuatro últimos años, esto se debe a que hay más desarrollos en esta tecnología aplicada a redes y sistemas expertos, utilizándose como red de sensores y en menor medida con la integración a la tecnología RFID como lector.

La tecnología de localización RF UWB, tienen la mitad de publicaciones que el ZigBee, apenas 25, el 52% de las publicaciones son en los últimos cuatro años. La Figura 7 muestra el porcentaje de crecimiento de casi el 20% de los últimos dos años comparado con el 2013 y 2012.

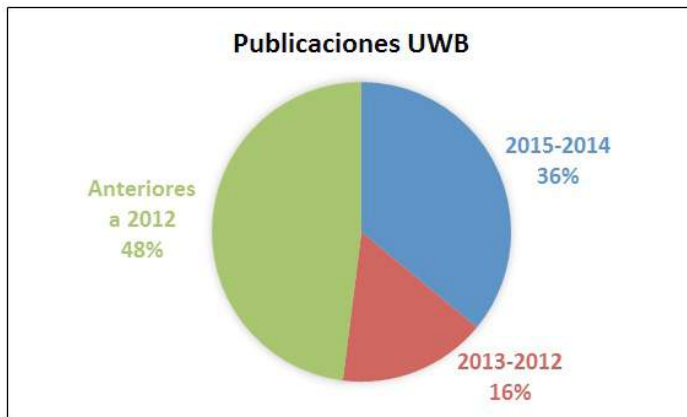


Figura 7. Comportamiento de publicaciones sobre UWB.

La UWB tiene similares aplicaciones que el Bluetooth, la cual es usada en gran medida para interactuar con la tecnología RFID en aplicaciones de cadena de suministro y red de sensores. Las virtudes que presenta son una mediana duración de batería, no tiene el problema tan acentuado de rebote o absorción de señal en metal, agua u otros objetos absorbentes de RF, buena precisión, alta estabilidad y quizá el punto en contra sea un corto alcance [11].

Las tecnologías de localización RF RuBee, tiene tan solo cuatro publicaciones y todas se encuentran en los últimos cuatro años. La tecnología RuBee se observa en aplicaciones de localización y sistemas expertos, interactúa en gran medida con la tecnología RFID para redes, cadena de suministros y salud, tiene un mejor desempeño que la ZigBee y soporta mayor densidad de Tags.

En la Figura 8, se muestra el concentrado de las publicaciones, donde se observa que aun cuando las investigaciones de RFID activa son numerosas, las que presentan un mayor crecimiento y representan una buena oportunidad de investigación son las basadas en otras tecnologías RF como son ZigBee, WiFi y en menor medida RuBee, UWB y Bluetooth.

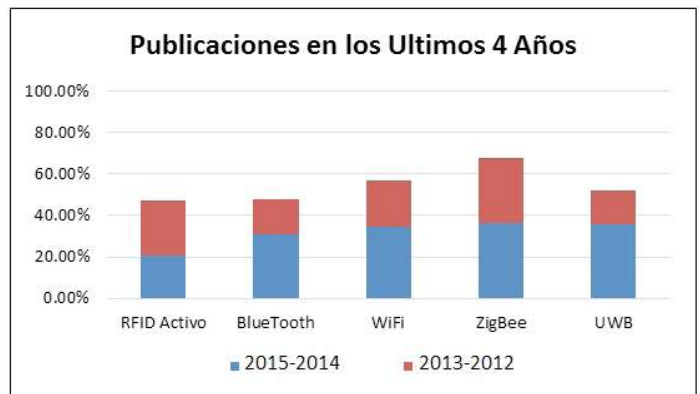


Figura 8. Comportamiento de publicaciones sobre localización con RF.

En la Figura 9 se observa el concentrado de aplicaciones de localización; resalta que varias de las tecnologías apuntan a la localización de dispositivos móviles en mayor medida sin perder de vista la integración de sistemas expertos (Inteligencia artificial, Big Data, ERP) debido a los problemas de localización por las características de la tecnología RF (Línea de visión, objetos absorbentes de señal, alimentación de los dispositivos, gestión de gran cantidad de datos,...).



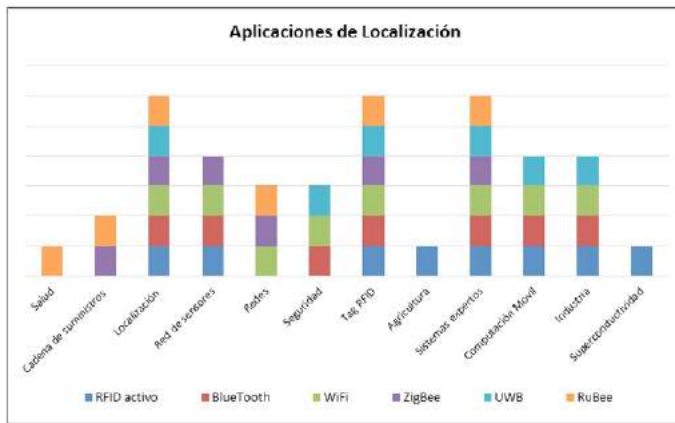


Figura 9 Aplicaciones de localización en las tecnologías RF.

## Tecnologías RFID híbridas (TRH)

Las TRH se encuentran con la combinación y/o modificación de algoritmos, redes, modelos y/o hardware; se observan en mayor medida en las patentes, también se observan en aplicaciones reales, donde buscan solucionar al menos seis temas:

### 1. Gestión de energía

Las patentes [12, 13, 14 y 15] muestran el uso de un sistema RFID híbrido mediante Tags pasivos y activos, para recargar y conservar energía, además de aumentar la gamma de transmisión de señal, esto para prolongar la vida útil del dispositivo, evitando la energización continua del Tag. El artículo presentado por [16] muestra una red híbrida basada en RFID que mejora la gestión de energía cuando hay interferencia de otra red WiFi; [11] menciona que una mejor forma de gestionar energía es usando Tags pasivos con ZigBee, [17] propone un sistema que combina el Tag pasivo y activo del sistema RFID similar a las patentes [12, 13, 14 y 15] para un mejor manejo de la energía basado en un híbrido de Wireless Identification and Sensing Platform (WISP), con un Hybrid Power Management Unit (HPMU) para realizar tres modos de energía (pasivo y carga, semi-pasivo localización y modo apagado).

### 2. Evitar colisiones de señal

La patente [18] presenta un Tag activo RFID - UWB y la implementación del Media Access Control (MAC) para reducir la posibilidad de colisión de señales, esto para reducir el costo. En el artículo [19] se menciona un sistema híbrido para evitar la colisión de señales denominado T-GDFSFA, el cual reduce la potencia en los dispositivos cuando se produce una colisión, esto cuando se tiene presencia de una red WiFi con el estándar IEEE 802.15.4, que le da una mayor eficiencia, [20] propone un sistema parecido a [19] donde presenta un sistema híbrido anticolidión que mejora

el rendimiento del sistema en comparación con las técnicas anti-colisión de ALOHA y el método árbol-binario.

### 3. Reducir el error de localización

La patente [21] muestra un sistema RFID activo, el cual se apoya de múltiples dispositivos para la localización entre ellos: antenas, lectores, switches de computadora y disparadores de señal, utilizando baja y alta frecuencia con el fin de proveer un menor error en la localización. Un artículo de [22] presenta un sistema híbrido compuesto de una antena que lee tanto Super High Frequency (SHF) RFID como luz, mediante un sensor óptico para recibir comunicación y como fuente de poder para el transpondedor. [23] presenta un sistema basado en Inertial Navigation System (INS) con sensores y nodos ZigBee usando algoritmos Particle Filter (PF) y Pedestrian para navegar, hay una mejora en la localización y tiene un costo menor que utilizar UWB.

### 4. Mejorar la ubicación

Las patentes [24, 25, 26 y 27] muestran una clara intensión de localización mediante RF, para ello utilizan un sistema híbrido donde se espera ubicar el Tag utilizando dos tipos de protocolos de señales RFID Activo y Bluetooth para la primera, RFID activo y GPS para la segunda (RFID, GPS, Global System for Mobile Communication - GSM, Geographical Information System - GIS y laser).

En el evento IPSN-2015 [28] el uso de WiFi se observa en una gran cantidad de opciones de localización, integrando sensores, Bluetooth y otras tecnologías RF con el fin de aumentar la exactitud en la localización. Se han observado tendencias de que la tecnología de localización tendrá soporte en el WiFi.

Existen otras tecnologías para la localización mediante magnetismo y la integración de red de sensores, se observa el uso de Inertial Measurement Unit (IMU) en Microelectromechanical Systems (MEMS), con la fusión de sensores para especificar a nivel de sistema la exactitud en la orientación usando velocidad, fuerzas gravitacionales, acelerómetros y giroscopios integrados (emulando la navegación de aeronaves) en lo denominado navegación por estima, realizando cálculos en seis dimensiones como ejes de navegación. También es importante recalcar que el uso de la UWB, y Bluetooth se vislumbran como tecnologías de soporte de segundo nivel para integrar sensores o la comunicación con WiFi, además de la integración de sensores geomagnéticos, electromagnéticos para obtener niveles de voltaje de acuerdo a la deformación de este (Geophones).

La Figura 10 muestra las principales tecnologías utilizadas para la estimación de distancia con sistemas híbridos utilizando la infraestructura existente como WiFi y Bluetooth.

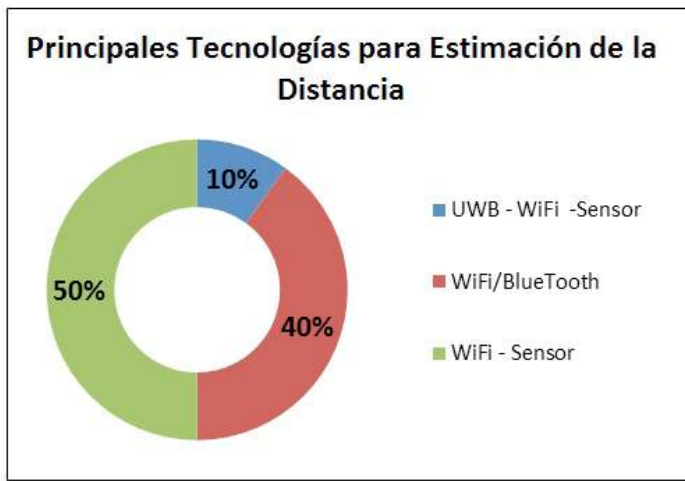


Figura 10. Tecnología de estimación de la distancia híbrida sin diseño de infraestructura.

Se observa el uso en general de WiFi cuando en la mejora de la ubicación no se agrega infraestructura, aparece entonces sistemas híbridos de localización basados en WiFi con la integración de sensores, BlueTooth, UWB y otras tecnologías RF con el fin de aumentar la exactitud en la localización.

En la Figura 11 se muestran las principales tecnologías de localización híbridas cuando se agrega la infraestructura para la localización.

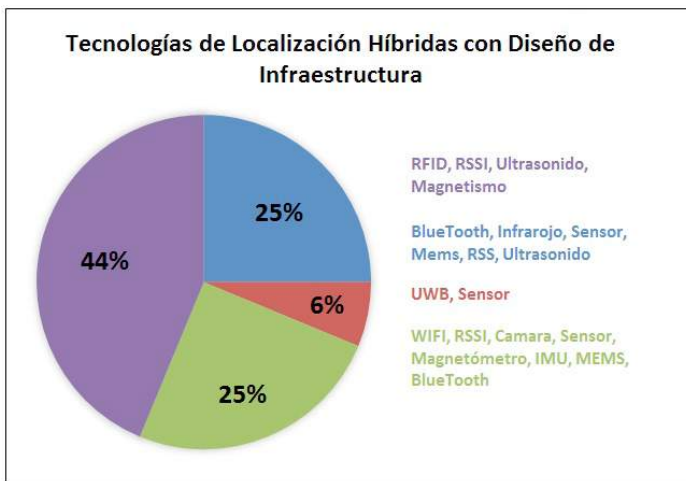


Figura 11. Tecnología de estimación de la distancia híbrida con diseño de infraestructura.

La Figura 11 muestra otras tecnologías para mejorar la localización, integrando magnetismo, red de sensores, Inertial Measurement Unit (IMU) en Microelectromechanical Systems (MEMS), con la fusión de sensores para especificar a nivel de sistema la exactitud en la orientación. También se pretende mejorar la localización usando velocidad, fuerzas gravitacionales, acelerómetros y giroscopios integrados que permiten emular la navegación de aeronaves, en lo denominado navegación por estima realizando cálculos en 6 dimensiones como ejes de navegación.

En el artículo de [29] se presenta un sistema de análisis neural para optimizar la posición en 3D; [20] utiliza un sistema ba-

sado en ZigBee y RFID pasivo donde la combinación de estas tecnologías permite crear una red que estima la posición a bajo costo; [30] analiza el ROI (Return on Investment) de implementar un sistema RFID/MEMS, donde concluye que es viable y su implementación muestra ahorros; [31 y 32] por su parte proponen por separado un sistema basado en RFID pasivo y Wireless Local Area Network (WLAN) buscando reducir el costo del sistema, mejorar la ubicación y reducir el consumo de la energía, [32] además usa Fingerprinting y basa su sistema en el estándar IEEE 802.11 aprovechando la medición del RSS; [33] por su parte propone un sistema híbrido escalable basado en RFID y el algoritmo Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) utilizando también RSS con un nivel de precisión de 0.3 metros; [34] presenta una antena para un sistema híbrido pasivo RFID UHF/UWB para leer un dispositivo RFID UHF-UWB; [35] utiliza sistema de seguimiento híbrido con alta exactitud y bajo costo computacional basado en Tags pasivos usando algoritmo PF y Weighted Centroid Localization (WCL).

## 5. Gestión de recursos y análisis de decisión

En [36] se utiliza un Multiple Criteria Decision Making (MCDM) con una combinación de sistema complejo de optimización multicriterio denominado VIKOR, un Decision Making Trial And Evaluation Laboratory (DEMATEL) para desarrollar un modelo que mejora la decisión del uso de los activos médicos; [37] desarrolla un modelo híbrido denominado Cellular Based Approach Algorithm for Duplication Detection and Elimination (CBADE) para limpiar datos y evitar su duplicación arrojados por los RFID leídos esto en el sector salud; [38] utiliza RFID pasivos y activos como sensores soportados por una red ZigBee para crear una red de sensores híbrida basada en el estándar IEEE 802.15 para la logística de un centro de ayuda humanitario. En lo que se refiere a empresas [29] menciona que el Departamento de Defensa de los Estados Unidos desarrolla un Tag híbrido que incluye un RFID activo, GPS, satélite y sensores cuyo objetivo es dar seguimiento a bienes en cualquier lugar dentro de una cadena de suministro global.

## 6. Privacidad y seguridad

[40] Mejora la privacidad de los Tags RFID con un esquema de autenticación híbrido basado en la encriptación Rabin Public-key.

### Algoritmos de localización

La precisión de la localización es lograda gracias a la integración de algoritmos que permiten mejorar la estimación de la posición y/o la distancia, por el tipo de medición y su naturaleza son aplicables algunos tipos de algoritmos, así para necesidades

de tiempo real se utilizan algoritmos como Trilateration, para aplicaciones donde se requiere observar la trayectoria del objeto se requieren de algoritmos más complejos y el uso de herramientas de software más robustas como bases de datos y análisis de información.

En la Figura 12 se muestran los diferentes algoritmos de localización usados para la estimación de distancia y localización sin agregar infraestructura.

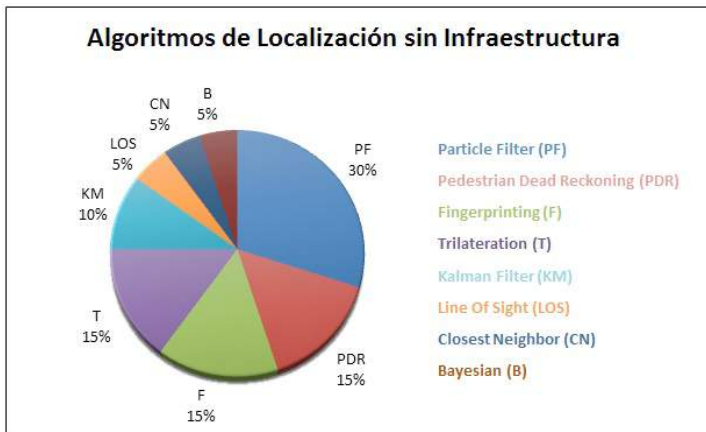


Figura 12. Hardware para la estimación de la distancia.

Aunque difieren poco entre aplicaciones integrando infraestructura y la pre instalada, es posible hacer notar que el algoritmo más usado para aplicaciones sin integración de infraestructura es el Particle Filter (PF) o también denominado Sequential Monte Carlo (SMC) que basa su funcionamiento estimando el estado interno de los sistemas con las perturbaciones aleatorias propias de un sistema aleatorio, se observa también el Pedestrian Dead Reckoning (PDR) el cual reduce la estimación del error mediante la estimación del siguiente punto dado observando mediciones, valores como aceleración, giro y datos magnéticos [40], el Fingerprinting es otro algoritmo muy usado el cual crea una distribución de la potencia de la señal, usa el mapa de las distribuciones para predecir la localización con la potencia de la señal leída [41] y el algoritmo Trilateration se observa mucho más práctico, ya que puede utilizar el Received Signal Strength Indication (RSSI) para estimar la distancia entre el emisor y receptor o bien el tiempo de llegada, Time of Arrival (ToA), o el tiempo de vuelo, Time of Flight (ToF), buscando la intersección de las señales, este puede funcionar con un solo emisor y receptor o bien agregar más dispositivos para estimar de mejor manera la distancia.

En sistemas donde se agrega infraestructura se observa el uso de Time of Arrival Estimation (TDOA) la cual estima la posición del objeto a través de observar la diferencia en el tiempo de llegada de la señal entre antenas o sensores distribuidos. También se observa el ToA ó ToF. Véase la Figura 13.

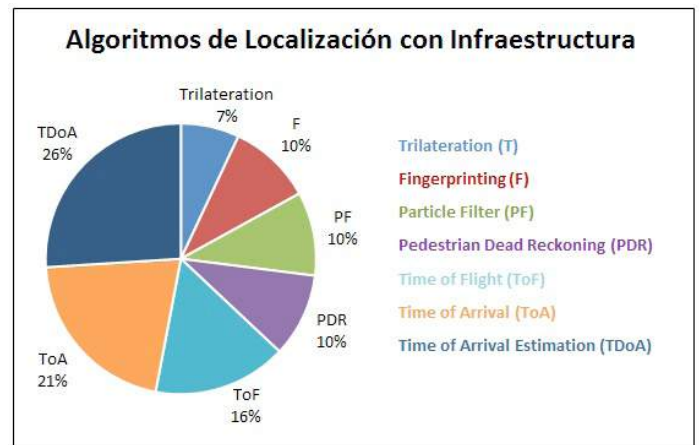


Figura 13. Algoritmos para la estimación de la distancia.

Se utilizan otros algoritmos en menor número como Non-Uniform Sequence Based Localization (NU-SBL), Phase-Locked Loop (PLL), Fast Fourier Transform (FFT), Sebastian Madgwick's, SLAM, SpotON, Time Division Multiple Access (TDMA), Gaussian Process (GP), Extended Kalman Filter (EKF), Medium Access Control (MAC), Wireless Network Localization (WNL), Two Way Ranging (TWR) usado por UWB, ToF y Radio Interferometric Localization (RIL).

Así como lo menciona [42] se observa el uso mayor de la técnica de localización utilizando ToA, TDoA y ToF, [43] algunos se centran en algoritmos de seguridad para sistemas RFID, [44] aplica Body Area Network (BAN) utilizando Sensor Nodes (SNs) y Wireless, [45] presenta un sistema de seguimiento en tiempo real para el monitoreo de vibración utilizando Real Time Location Systems (RTLS) y UWB, utilizando la técnica de Angle of Arrival (AoA), TDoA y Tag; [46] usa para la localización RFID activo.

En [47] se hace uso de células para leer el RSSI de cada RFID con métodos de posicionamiento por triangulación y lectura del RSSI con el modelo logarítmico, polinomial, Cercanía del Origen (CoO) y Fingerprinting con RSSI.

Por lo observado anteriormente el PDR, Fingerprinting, PF y Trilateration son los algoritmos más utilizados después de ToA, TDoA y ToF para establecer la posición.

En [3] se señala que a pesar de las tecnologías RF ya tienen numerosos artículos de investigación se puede observar que aún hay mucha investigación por realizar, en el campo del uso de tecnologías como el láser, el geomagnetismo y la fusión de sensores tienden a dar mejor estimación y precisión.

En la web se observa que la tecnología RuBee y BueTooth ha sido desarrollada comercialmente de tal forma que ya tienen diversos productos que se utilizan con RFID activos, WiFi y Smart Phones, agregando la tecnología Anti Thef.





En este review se puede observar que, de las cinco tecnologías pujantes en la localización, la Wifi, RFID, ZigBee están adquiriendo una mayor importancia y apoyo por su accesibilidad y desarrollo de aplicaciones entre usuarios, la UWB gracias a su banda de transmisión permite hacer medición de distancia sin tener el problema de objetos que se interpongan y la RuBee hasta el momento esta siendo propuesta por los nuevos fabricantes.

En los magazines encontrados en la web se muestran diferentes tecnologías para la localización de objetos siendo una con mayores ventajas la Rubee contra la RFID activa y la propia UWD.

## Hardware

El hardware en la localización de objetos se utiliza para realizar la medición de la distancia, identificar al objeto y establecer comunicación. El hardware representa también una tendencia al usar el Smart Phone, microcontroladores y otro elemento hardware (TMote Sky, Arduino, Intel 5300 WiFi NIC, DiZiC y DecaWave, etc.) con casi el mismo nivel de importancia. Ver Figura 14.

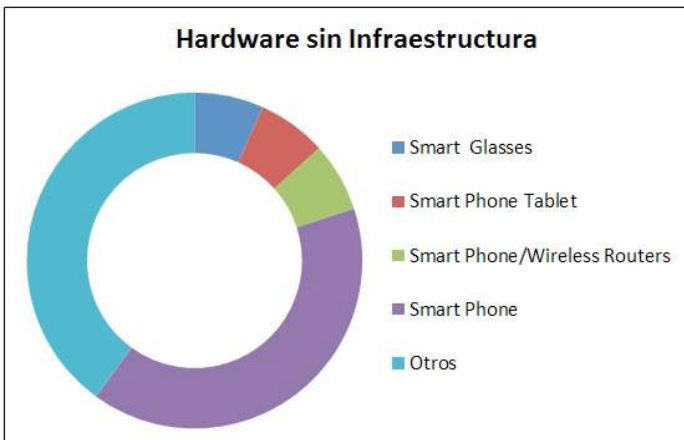


Figura 14. Hardware para la estimación de la distancia sin agregar infraestructura.

Se utiliza el Smart Phone para la localización tanto si se tiene infraestructura o si se carece de ella, su uso también se ve en combinación con otras tecnologías de soporte WiFi, BlueTooth o RF. Como se observa en la Figura 15.

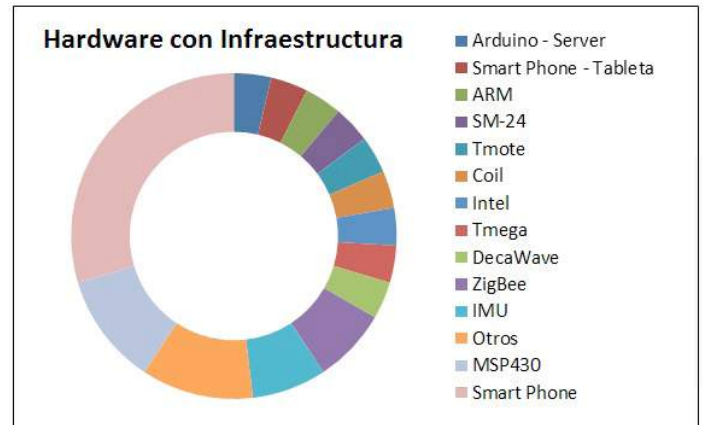


Figura 15. Hardware para la estimación de la distancia agregando infraestructura.

Cuando se va a integrar la infraestructura, el uso común de hardware son los microcontroladores, tabletas de experimentación y sistemas hardware libre, integrando módulos RF y sensores. Mención especial es el uso del transceptor UWB Decawave, ya habilitado para aplicaciones de localización de bajo costo para aplicaciones de localización en interiores y exteriores en tiempo real RTLS.

## Tendencias

Las tendencias según [3, 45, 46, 47 48, 49, 51 y 52] para los sistemas RFID son:

- + Sistemas de soporte de decisiones para los sistemas RFID.
- + Estandarizar las frecuencias y códigos para un natural uso global.
- + Integrar toda la cadena de producción para observar los beneficios (ERP y sistemas expertos).
- + Robustecer la tecnología y la infraestructura RFID.
- + Integrar los datos de los RFID activos y pasivos.
- + Paquetes inteligentes, compras automáticas, reciclado inteligente y mayores oportunidades en marketing.
- + Aumentar la seguridad en los cuidados médicos, reduciendo errores [50, 51, 52, 53 y 54].
- + Sistemas de tráfico dinámico mediante sistemas expertos, Dynamic and Automatic Traffic Light Control Expert System (DATLCES) [52, 53, 54 y 55].
- + Mejora en la capacidad de seguimiento y rastreo.

Una línea de investigación factible es desarrollar tecnología RF, para poder “acortar” y “suministrar” hardware para los sistemas de localización, sin tener que esperar a que comercialmente existan los kits de desarrollo para probar las hipótesis de investigación, estas tecnologías independientemente de que generen artículos novedosos, estarían creando nuevas formas de localización no solo a la utilización y modificación del hardware/software, se estaría desarrollando tecnología RF con mejores prestaciones que con las que actualmente trabaja el grueso de los investigadores.

Otra línea de investigación factible y necesaria sería el desarrollo de nuevos algoritmos que permitan hacer el seguimiento y monitoreo del RFID activo de manera más eficiente que los mostrados en este estudio, además de integrar el RFID a los Data Warehouse, Business-Intelligence y el manejo del Big Data de varios terabytes generados al día según lo menciona [45, 46, 47 y 48].

### Casos de aplicación

Como lo menciona el artículo [55] la revolución en la tecnología de localización en interiores es inversa a la exterior, el 2015 será el año detonante de esta tecnología. Existe una apremiante necesidad entre las empresas líderes mundiales en tecnologías de la información por hacerse de la tecnología de localización interior y lo hacen de varias formas.

### Comprando Startups

- + APPLE independientemente de comercializar el sistema Ibeacon con RSS. Wifislam, Wirefarer se suman a las próximas adquisiciones, bajo la tecnología WiFi y Smart Phone, APPLE también lanzó una APP para localización de interiores a finales de octubre del 2015.
- + Cisco ha adquirido ThinkSmart Technologies StartUp irlandesa de análisis de datos de localización por WiFi.
- + Hewlett-Packard Co (HP) adquiere Aruba Networks Inc., fabricante de infraestructura WiFi, que a su vez había adquirido a Meridian, una de las más fuertes compañías Startup de localización de interiores por WiFi. (<http://meridianapps.com/>).

### Cooperación entre empresas:

- + INFOSOFT en colaboración con MEPA desarrollan tecnología basada en IOS y Android para la localización de objetos en interiores.
- + La Universidad de Washington y ESRI, empresa desarrolladora de software GIS, utilizan aplicaciones en conjunto con un GIS para la localización en interiores, con la tecnología ZigBee.

- + AT&T, Sprint, T – Mobile y Verizon Wireless, Association of Public Safety Communications Officials (APCO) y la National Emergency Number Association (NENA), desarrollan desde el 2011 mediante tecnología móvil, la localización en interiores en 3D mapeado por GIS, con el uso del Smart Phone.

### Desarrollos

- + La universidad de Oxford desarrolla ISIS, un sistema de localización basado en Wi-Fi, Access Point (AP), RSSI, Fingerprinting, Software Development Kit (SDK) y API, esto para la administración de la cadena de suministro.
- + Nanyang Technological University (NTU) ya ha desarrollado un sistema funcional de localización en interiores en el 2012.
- + ABI desarrolló un sistema basado en UWB y etiquetas.
- + Sasken muestra un servicio de localización basado en Smart Phone.

### Gestionando talento

- + Microsoft realiza año con año un evento donde reúne a las universidades y centros de investigación para mostrar sus avances denominado International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN) [28] donde se observan las investigaciones en un concurso que determina que sistema tiene un mejor desempeño y exactitud.

## Conclusiones

Basándose en el número de publicaciones se observa que las investigaciones de RFID para monitoreo de objetos se están incrementando, así como el número de StartUps creadas/compradas y la realización de diferentes eventos a nivel mundial donde se exponen las tecnologías relacionadas con la temática.

Se observa que la tecnología NFC tiene la misma importancia que la UHF, debido esto a que en la NFC se requiere menor consumo de energía que la UHF y se observa en varias aplicaciones donde sistemas híbridos combinan las fortalezas de las tecnologías pasivas y activas.

Las nuevas tecnologías de RF como BlueTooth, ZigBee, UWB y RuBee muestran un importante avance en el número de investigaciones al mejorar las capacidades técnicas en la medición de distancias, se observa que el incremento del uso de la tecnología es directamente proporcional a la venta de kits de desarrollo como UWB, ZigBee y BlueTooth.

Los sistemas híbridos que combinan diferentes tecnologías, algoritmos y modelos tienden a tener una mejor precisión y desempeño que otras tecnologías. De ahí que las patentes incluyan sistemas híbridos con ambas tecnologías RFID (activa y pasiva), para compensar las deficiencias de cada una de ellas y aprovechar sus bondades.

El estudio de los algoritmos de localización se centra en el tiempo de arribo de la señal (RSSI) y en algoritmos que no consuman tantos recursos de cómputo. También se observa el uso de diferentes algoritmos de acuerdo al tipo y nivel de infraestructura. Resalta la importancia de los algoritmos Fingerprinting, PF y Trilateration como los más usados.

Finalmente se observa una tendencia muy importante para usar la tecnología WiFi y el SmartPhone para localización impulsado por las grandes compañías de tecnologías de la información, recientes investigaciones y desarrollos debido en gran medida a que tienden a utilizar la infraestructura WiFi que existe en casas, empresas y el uso casi generalizado del Smart Phone.

La hipótesis propuesta al principio es aceptada con la demostración de las patentes y artículos mostrados en el apartado de tecnologías RFID híbridas.

## Bibliografia

- + [ 1 ] KIM Y, SUK-YOUNG L., 2014, *Energy-efficient wireless hospital sensor networking for remote patient monitoring*, *Information Sciences*, Volume 282, 20 October 2014, Pages 332-349.
- + [ 2 ] GARRIDO S. *Contribution of RFID technology to better management of fashion supply chains* Department of Business and Economics, University of Beira Interior, Covilha, Portugal.
- + [ 3 ] RINGSBERG H., 2013, *Effects on logistic operations from RFID- and EP-CIS-enabled traceability*, *British Food Journal*, Vol. 116 Iss 1 pp. 104 - 124 Permanent link to this document: <http://dx.doi.org/10.1108/BFJ-03-2012-0055> Downloaded on: 20 July 2015, At: 19:01 (PT).
- + [ 4 ] ZHAO Y., LIU Y., LIONEL M., 2007. *VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual IEEE Explore Elimination* Department of Computer Science and Engineering The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong.
- + [ 5 ] BAHL P., PADMANABHAN V. N., 2000, *RA-DAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System*, in *Proceedings of IEEE INFOCOM*.
- + [ 6 ] YIN J., YANG Q., NIL M., 2005, *Adaptive Temporal Radio Maps for Indoor Location Estimation*, *Proc. of the 2005 IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2005)*, Hawaii, pp. 85-94, March 2005.
- + [ 7 ] TAGHABONI F., TRAPPEY C., HSIN T., 2009, *An exploratory RFID patent analysis*, *Management Research News*, Vol. 32 Iss 12 pp. 1163 - 1176 Permanent link to this document: <http://dx.doi.org/10.1108/02756620910881808>, IBM.
- + [ 8 ] ERNST, H. 1997, *The use of patent data for technological forecasting: the diffusion of CNC technology in the machine tool industry*, *Small Business Economics*, Vol. 9, pp. 361-81.
- + [ 9 ] HSU, F.C. 2006, *Intelligent patent document analysis based on clustering and categorization methods*, PhD thesis, Department of Industrial Engineering and Engineering Management, National Tsing Hua University, Hsinchu.
- + [ 10 ] TRAN N, MICHAEL R. 2009. *Active composite RFID tag for object localization and instruction* Patente US 8094012 B1.
- + [ 11 ] CASTANO, B.; RODRIGUEZ-MORENO, M., 2010. *A ZigBee and RFID hybrid system for people monitoring and helping inside large buildings*. *Industrial Electronics & Applications (ISIEA)*, Pages: 16 - 21, DOI: 10.1109/ISIEA.2010.5679504. *IEEE Conference Publications*.
- + [ 12 ] BEIGEL M., TUTTLE J., 2005. *Semi-active RFID tag and related processes*, Patente US 8237561 B2.
- + [ 13 ] UNG K., 2013, *Active rfid tag with passive interrogator* Patente WO 2014107267 A1, US20140183261 Boeing.
- + [ 14 ] BAUCHOT F., CLEMENT J., MARMIGERE G., PICON J., 2013. *Location localization*, Patente US 8362877 B2, US8207820, US20090315679, US20120218088, IBM.
- + [ 15 ] PEEN O., 2007, *System and method of tracking objects*, Patente WO 2011084104 A1, Agency For Science, Technology And Research.
- + [ 16 ] NEDELCO A., DUGULEANA M., SANDU F., 2014. *Evaluating the Energy Overhead Generated by Interferences within the 2.4 GHz Band for a Hybrid RFID Network*, *ScienceDirect. 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, 2013.
- + [ 17 ] DONG Y., WICKRAMASINGHE A., XUE H., AL-SARAWI S., RANASINGHE D., *A Novel Hybrid Powered RFID Sensor Tag*. *Auto-ID Lab, School of Computer Science, School of Electrical and Electronic Engineering, University of Adelaide, 5005 Adelaide, Australia*.
- + [ 18 ] RAPHAELI D., KAPLAN G., MENKES A., SELA G., MARINOV I., RAM U., 2007. *Array of very light readers for active rfid and location applications*, Patente US 20100164690 A1, EP2115714A2.
- + [ 19 ] YANG J., WANG Y., CAI Q., ZHAN Y. 2015. *A Novel Hybrid Anticollision Algorithm for RFID System Based on Grouped Dynamic Framed Recognition and Binary Tree Recursive Process*. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 8/26/2015, Vol. 2015, p1-12. 12p.
- + [ 20 ] MEYER J., FRANKE S., GECK B., OVERMEYER L., 2013. *Hybrid antenna design for an optically powered SHF RFID transponder applicable in metals*. *Research Paper: International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 2013, 5(3), 241-247. Cambridge University Press and the European Microwave Association, doi:10.1017/S1759078713000585.
- + [ 21 ] 郑亮, 陈诚. 2014, *Indoor positioning system based on active multifunctional RFID tags*, Patente CN 103777174 A.
- + [ 22 ] CHOI, S., LEE, J., KIM S., TCHAH, K., 2010. *Hybrid anti-collision method based on maximum throughput for RFID system*. *Academic Journal. Electronics Letters*. 9/16/2010, Vol. 46 Issue 19, p1346-1348. 3p. 1 Chart, 3 Graphs. DOI: 10.1049/el.2010.1304.
- + [ 23 ] Wang, H., Bauer, G., Kirsch, F., Vossiek, M., 2013. *Hybrid RFID system-based pedestrian localization: A case study*. *Positioning Navigation and Communication (WPNC)*, Pages: 1 - 6, DOI: 10.1109/WPNC.2013.6533296. *IEEE Conference Publications*.
- + [ 24 ] BRIDGELALL R., 2004, *Hybrid bluetooth/RFID based real time location tracking* Patente US 6717516 B2, DE60141385D1. *Symbol Technologies*.
- + [ 25 ] MCBRIDE W., 2012, *RFID-based person location device*, Patente US 8253570 B1, McBride.
- + [ 26 ] CHAN K., 2009, *Method and system for tracking objects using Global Positioning System (GPS) receiver built in the Active Radio Frequency ID (RFID) receiver*, Patente US 20090309731 A1, Kwok Wai Chan.

## Bibliografía

- + [ 27 ] SOLIMAN S., System and method for 3-D position determination using RFID, Patente US 7489240 B2, CN101208728A. Qualcomm.
- + [ 28 ] MICROSOFT INDOOR LOCALIZATION COMPETITION - IPSN 2015 <http://research.microsoft.com/en-us/events/indoorloccompetition2015/>
- + [ 29 ] JACHIMCZYK, B., DZIAK, D., KULESZA, W., 2014. RFID - Hybrid Scene Analysis-Neural Network system for 3D Indoor Positioning optimal system arrangement approach. *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, 2014 IEEE International.*
- + [ 30 ] DOERR K., GATES W., MUTTY J., 2006. A hybrid approach to the valuation of RFID/MEMS technology applied to ordnance inventory. *International Journal of Production Economics, Volume 103, Issue 2, October 2006, Pages 726-741.*
- + [ 31 ] HASANI M., TALVITIE J., SYDÄNHEIMO L., LOHAN E., UKKONEN L. 2015. Hybrid WLAN-RFID Indoor Localization Solution Utilizing Textile Tag. *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 14, 2015.*
- + [ 32 ] SPINELLA S., IERA A., MOLINARO A., 2010. On Potentials and Limitations of a Hybrid WLAN-RFID Indoor-Positioning Technique. *Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Navigation and Observation. Volume 2010, Article ID*
- + [ 33 ] FORSTER C., SABATTA D., SIEGWART R., SCARAMUZZA D., 2013. RFID-Based Hybrid Metric-Topological SLAM for GPS-denied Environments. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Karlsruhe, Germany, May 6-10.*
- + [ 34 ] CRUZ C., COSTA J., FERNÁNDEZ C., 2013. Hybrid UHF/UWB Antenna for Passive Indoor Identification and Localization Systems. *IEEE Transactions on Antennas & Propagation. Jan2013, Vol. 61 Issue 1, p354-361. 8p.*
- + [ 35 ] YANG L., CAO J., ZHU W., 2012. A Hybrid Method for achieving High Accuracy and Efficiency in Object Tracking using Passive RFID. *2012 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, Lugano.*
- + [ 36 ] LU M., LIN S., TZENG G., 2013. Improving RFID adoption in Taiwan's healthcare industry based on a DEMATEL technique with a hybrid MCDM model. *Decision Support Systems 56 (2013) Elsevier: Institute of Management Science, National Chiao-Tung University, 1001, Ta-Hsueh Road, Hsin-Chu 300, Taiwan.*
- + [ 37 ] ANNY LEEMA A., HEMALATHA M., 2012. Proposed prediction algorithms based on hybrid approach to deal with anomalies of RFID data in healthcare. *Karpagam University, Coimbatore, India.*
- + [ 38 ] YANG H., YANG L., YANG S., 2011. Hybrid Zigbee RFID sensor network for humanitarian logistics centre management. *Journal of Network and Computer Applications, Volume 34, Issue 3, May 2011, Pages 938-948.*
- + [ 39 ] RYU E., TAKAGI T., 2009. A hybrid approach for privacy-preserving RFID tags. *Journal Computer Standards & Interfaces archive Volume 31 Issue 4, June, 2009 Pages 812-815. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands.*
- + [ 40 ] QUA X, MATSUSHITAB D., YOSHIDAC T., HAND M., 2012, Case study on father-child communication in Chinese urban apartment houses through active RFID technology. Received 15 August 2011, Accepted 28 Septiembre 2011, Available online 24 April 2012. Open Access funded by Higher Education Press Limited Company.
- + [ 41 ] FUHR P, RIDGE O., 2008. National Laboratory Sensors. "Asset Tracking in Industrial Settings—A Review of Wireless Technologies Part 3: RSSI-, RuBee-, and UWB-Based Systems" *Página WEB. 2008. http://www.sensorsmag.com/networking-communications/asset-tracking/asset-tracking-industrial-settings%E2%80%94a-review-wireless-technol-1500. (27/05/2015).*
- + [ 42 ] KIM Y, LEE S., 2014, Energy-efficient wireless hospital sensor networking for remote patient monitoring. *Information Sciences, Volume 282, 20 October 2014, Pages 332-349.*
- + [ 43 ] SHIAU J, HSU J., CHIA Y., System and method for positioning active RFID tag, Patente US 8339243 B2, WO2008104981A2, WO2008104981A3. Sandlinks.
- + [ 44 ] FU Q., RETSCHER G., Active RFID Trilateration and Location Fingerprinting Based on RSSI for Pedestrian Navigation, (Institute of Geodesy and Geophysics, Vienna University of Technology, Austria).
- + [ 45 ] RANKY P., 2006, An introduction to radio frequency identification (RFID) methods and solutions, *Assembly Automation, Vol. 26 Iss 1 pp. 28 - 33* Permanent link to this document: <http://dx.doi.org/10.1108/01445150610645639> Downloaded on: 20 July 2015, At: 19:03 (PT).
- + [ 46 ] MEHRJERDI Y., 2011, RFID and its benefits: a multiple case analysis, *Assembly Automation, Vol. 31 Iss 3 pp. 251 - 262* Permanent link to this document: <http://dx.doi.org/10.1108/01445151111150596> Downloaded on: 20 July 2015, At: 19:01 (PT).
- + [ 47 ] CONNOLLY, C., 2007, Sensor trends in processing and packaging of foods and pharmaceuticals, *Sensor Review, Vol. 27 No.*
- + [ 48 ] JANSEN, R., KRABS, A., 1999, Automatic identification in packaging: radio frequency identification in multiway systems, *Packaging Technology and Science, Vol. 12 No. 5, pp. 229-34.*
- + [ 49 ] KOHN, C., HENDERSON, C.W., 2004, RFID-enabled medical equipment management programs to reduce costs, *Managed Care Weekly Digest, Vol. 5, pp. 94-5.*
- + [ 50 ] WEN, W., 2008, A dynamic and automatic traffic light control expert system for solving the road congestion problem, *Journal of Expert Systems and Applications, Vol. 34, pp. 2370-81.*

## Bibliografia

+ [ 51 ] Yilmaz, A., Javed, O., and Shah, M. 2006. *Object tracking: A survey*. *ACM Comput. Surv.* 38, 4, Article 13. (Dec. 2006), 45 pages. DOI = 10.1145/1177352.1177355 <http://doi.acm.org/10.1145/1177352.1177355>.

+ [ 52 ] YUYA M, Kei H., Katsuhiko K., Nobuo K., 2014. *Pedestrian Dead Reckoning Based on Human Activity Sensing Knowledge*, *UBICOMP '14 ADJUNCT, SEPTEMBER 13 - 17, 2014, SEATTLE, WA, USA*.

+ [ 53 ] NAVARRO E., Peuker B., Quan M., Clark C., Jipson J., *Wi- Fi Localization Using RSSI Fingerprinting*, *Computer Engineering*, *California Polytechnic State University; USA*.

+ [ 54 ] LO N.W., YEH K., YEOB C. 2008, *New mutual agreement protocol to secure mobile RFID-enabled devices*. *Information Security Technical Report*, Volume 13, Issue 3, August 2008, Pages 151-157.

+ [ 55 ] Wallenstein C., 2015. *Move Over GPS: Get Ready for Indoor Location*. *Business NH magazine*. Mar 30, 2015.