

# Tecnologías sensoriales de localización para entornos inteligentes

Antonio R. Jiménez, Fernando Seco, Carlos Prieto y Javier Roa  
Instituto de Automática Industrial (CSIC)  
Ctr. Campo Real, Km. 0.2 La Poveda  
28500 Arganda del Rey, Madrid, Spain  
Phone: 34 918 711 900 Fax: 34 918 717 050  
e-mail: arjimenez@iai.csic.es  
<http://www.iai.csic.es/lopsi>

## Resumen

En inteligencia ambiental uno de los parámetros más importantes a conocer para modelar el entorno es la localización física de los diferentes actores, sean estas personas u objetos. Este trabajo presenta una revisión de diferentes técnicas de localización basadas en redes sensoriales. Son muchas las soluciones desarrolladas hasta la fecha (ultrasónicas, radio: GSM, UWB, Bluetooth, WLAN, RFID; ópticas,...) pero todavía no existe una tecnología ideal de localización para espacios inteligentes en interiores y la investigación continua. Presentamos una categorización de los diferentes enfoques atendiendo a diferentes criterios de clasificación, y se da una descripción de varias de las soluciones implementadas más significativas dentro de cada enfoque. Finalmente se presentan las tendencias actuales y líneas futuras de trabajo a nivel sensorial y algorítmico.

## 1. Introducción

La computación ubicua es un concepto acuñado hace varios años por Weiser [1] mediante el cual y gracias a que existen diversos dispositivos sensoriales y de cálculo distribuidos invisiblemente por el entorno, una persona puede llegar a sentir que el entorno es inteligente y se adapta a sus necesidades de una forma natural. Este concepto surge de la tendencia hacia que una sola persona disponga cada vez de más dispositivos de cálculo: 1) inicialmente un solo ordenador era utilizado por varias personas que accedían a través de terminales, 2) luego llegó la era de los ordenadores personales donde cada persona disponía de uno, 3) ahora estamos en la nueva era donde varios ordenadores (PC, Portátil, PDA, Teléfonos inteligentes,...) son controlados por una misma persona, y 4) la próxima era de la computación ubicua nos traerá complejas redes de dispositivos sensoriales y de procesamiento de la información que en parte estarán dedicados a una sola persona, para facilitar su vida y todo ello de una forma amigable en la que la interacción hombre máquina sea totalmente humana.

Para alcanzar este objetivo es necesario que el entorno inteligente tenga una información sensorial muy rica que permita aplicar técnicas de inteligencia artificial y servicios ubicuos. El entorno debe ser consciente del contexto (context-aware), y una de las variables que forma parte de ese contexto es la localización (localization-awareness) de personas y objetos de interés.

A lo largo de la última década se han desarrollado diversos dispositivos de localización para espacios interiores. Algunos han utilizado estrategias ultrasónicas y acústicas [2, 3, 4, 5], otras técnicas de radio [6, 7, 8] como GSM, UWB, WLAN, Bluetooth, RFID, en otros se utilizaron técnicas ópticas [9, 10] con infrarrojos, láser, y otras soluciones utilizan estrategias basadas en visión artificial o sistemas inerciales. Sin embargo, y al contrario de lo ocurrido en exteriores con el sistema GPS, no hay todavía una solución definitiva que no tenga algún inconveniente en alguno de los siguientes aspectos: precisión, robustez, escalabilidad, fácil instalación, capacidad de auto calibración, bajo consumo, tamaño de dispositivos, coste, privacidad, etc.

En la siguiente sección presentamos una categorización o clasificación de los diferentes enfoques existentes en localización atendiendo a varios criterios. Posteriormente en la sección 3 realizamos la revisión de algunas de las soluciones más representativas en sistemas sensoriales de localización, destacando el principio de funcionamiento y las ventajas y desventajas de cada estrategia. Se presentan tanto las soluciones especialmente diseñadas pensando en la computación ubicua, como aquellas originalmente planteadas para otros ámbitos de aplicación, pero que son conceptualmente válidas para ser utilizadas

en inteligencia ambiental. La última sección habla de las tendencias actuales y las líneas futuras de investigación en el campo de la localización en interiores, que serán determinantes para una futura materialización del concepto de inteligencia ambiental con consciencia de localización.

## 2. Categorización de técnicas de localización

De forma generalizada podemos asumir que un sistema de localización consta de una serie de dispositivos que emiten una señal al medio (radio, ultrasonidos, luz,...) y de otros elementos electrónicos que reciben esa misma señal después de propagarse por el medio. Una vez captadas las señales se miden una serie de parámetros (rangos, ángulos, energías,...) y a partir de ellos se estima la posición de cada uno de los elementos en posición desconocida a partir de las posiciones conocidas de una serie de nodos y de los parámetros medidos relativos a esos nodos. A lo largo de los años se han ido desarrollando sistemas de localización que difieren en varios aspectos unos de otros. Según el criterio que utilicemos para clasificarlos encontramos los siguientes tipos de sistemas de localización:

- *Tipo de entorno*: Existen sistemas solo válidos para exteriores (GPS, Loran,...) y otros que por su corto alcance están concebidos para el interior de edificios (los que se verán en este artículo).
- *Tipo de variable medida*: Medida de rangos por tiempos de vuelo (TOA - Time of Arrival), medida de ángulos (AOA - Angle of Arrival), medida aproximada de rangos por intensidad de la señal recibida (RSSI - Received Signal Strength Intensity), medida de saltos de conectividad entre nodos [11] (denominado por el autor como enfoque “range free”), medida de proximidad, donde se mide si está o no está dentro de un rango fijo de cobertura, pero no se sabe a que distancia. En el caso de los enfoques “range free” o sin medida de distancias se pueden destacar cinco algoritmos [11]: Centroide, DV-Hop, Amorfo, Punto bajo test (PIT) y punto bajo test aproximado (APIT).
- *Tipo de algoritmo de cálculo de posición*: A partir de un conjunto de variables medidas de uno de los tipos antes citados, se lanza el proceso de estimación de las coordenadas físicas (XYZ) o de la ubicación simbólica. Cuando partimos de tiempos de vuelo o diferencias de tiempo de vuelo, se utilizan algoritmos de multilateración. Estos algoritmos pueden resolver el problema encontrando la solución de un sistema de ecuaciones por varios métodos [12]: algebraicamente, pseudoinversa, Taylor, técnicas de optimización iterativas, o mediante multilateración atómica y colaborativa [13]. En el caso de medida de ángulos entre nodos se utilizan técnicas de triangulación. Cuando se detecta proximidad, la estrategia más sencilla es asignar al nodo desconocido la posición del nodo que le ha detectado. En redes de sensores inalámbricos, donde solo hay un número muy pequeño de nodos en posiciones conocidas, existen múltiples estrategias: 1) las que requieren un procesamiento central (MDS, MDS-MAP [14], Convex optimization [15], min-max [16], least square [17]) y 2) el cálculo de la posición de un nodo se hace localmente percibiendo las variables (rango, ángulos,...) a otros nodos en el entorno más próximo (HEAP, STROBE [18]).
- *Existencia de sincronismo*: Si existe sincronismo entre las balizas fijas y las unidades móviles a localizar se dice que el sistema puede operar por trilateración esférica. Si no hay sincronismo se utiliza trilateración hiperbólica. El nombre viene del tipo de hipersuperficies utilizadas al resolver los sistemas de ecuaciones en busca de las coordenadas incógnita.
- *Coordenadas de localización*: Puede ser una localización absoluta respecto a un sistema de referencia general (UTM, WGS84,...), o relativa a varios de los nodos que forman parte del sistema sensorial.
- *Granularidad*: Pueden ser sistemas de localización física, es decir dan una coordenada cartesiana en 2D o 3D, o pueden dar localizaciones simbólicas, por ejemplo indicando si el objeto a localizar está o no está en una determinada sala, pero sin dar una coordenada concreta.
- *Precisión*: Existen sistemas de precisión centimétrica como es común en las técnicas ultrasónicas y UWB, o por el contrario pueden ser de precisiones métricas (entre 1 y 50 metros) como en el caso de la localización por telefonía móvil GSM, Bluetooth, WLAN. Algunos servicios pueden ser proporcionados por sistemas métricos pero entendemos que las soluciones centimétricas tienen un potencial de aplicación mucho mayor y por tanto deberían ser muy apreciados en el campo de la inteligencia ambiental.
- *Necesidad de desarrollo de Hardware a medida*: Tenemos parte de las soluciones que requieren implementar unos dispositivos electrónicos con capacidad de transducción y procesamiento, y otras

soluciones que no requieren desarrollo de hardware alguno, y se basan en la infraestructura ya existente (GSM, WLAN) y la labor fundamental consiste en desarrollar software.

- *Movilidad de nodos:* Parte de los nodos pueden ser estáticos y estar fijos a las paredes o techos de un edificio (este tipo de nodos los llamamos balizas), o pueden ser totalmente reubicables ya que forman parte de elementos móviles (PDA, portátil, tarjeta, pulsera,...), pero a su vez contribuir como un nodo sensorial más dentro de la red para localizarse él y para ayudar a que otro se localice.
- *Dónde se calcula la posición:* Normalmente cuando las señales se transmiten del terminal móvil a localizar a una serie de nodos en su entorno, es normal que cada nodo pase su información a un sistema central de proceso donde se realiza el cómputo de la posición del nodo de posición desconocida. Se llama a este método centralizado. Por otro lado el método distribuido es aquel en el que el nodo a localizar recibe la señal de diferentes nodos de su vecindario y por tanto tiene la información necesaria para calcular él solo su posición. Este método, que es el que utiliza el GPS, tiene la propiedad adicional de que se respeta la privacidad, ya que es este nodo el único que sabe donde está.
- *Tipo de energía utilizada:* Las soluciones ultrasónicas son aquellas con las que se obtiene más precisión (del orden de 1-2 cm). Existen también soluciones acústicas con propiedades similares pero con ventajas en cuanto al mayor alcance del sonido audible (500-18000 Hz) frente a las soluciones ultrasónicas a 40 KHz que suelen llegar hasta los 8 metros. Las soluciones basadas en radio son las más variadas hoy en día ya que hacen uso de muchos de los dispositivos creados para comunicaciones inalámbricas. Hablamos de telefonía móvil (GSM, GPRS, UMTS), de redes inalámbricas locales o WLAN (WiFi), redes personales (Bluetooth, UWB), redes de radiodifusión(TV). Otras alternativas son las señales ópticas (diodos infrarrojos, láser) y la visión artificial usando cámaras para detectar el movimiento de los objetos en el entorno.

### 3. Soluciones de localización implementadas

Como se ha visto en la sección anterior existen muchas posibilidades u opciones de diseño en función de la elección tomada para cada uno de los criterios. Diferentes centros de investigación han apostado por soluciones originales que difieren en alguno o varios de los parámetros de diseño. Hightower y Borriello [19] presentan una buena revisión de diferentes soluciones implementadas hasta el año 2001. A continuación hacemos una descripción de las características más destacables de diversos sistemas de localización desarrollados hasta la fecha para interiores. Los hemos agrupado por el tipo de energía utilizada para realizar las medidas.

#### 3.1. Ultrasónicas

A continuación presentaremos tres de las soluciones de localización utilizando ultrasonidos más representativas (ActiveBat, Cricket v1 y v2, Hexamite), junto con un desarrollo realizado por los autores (3D-LOCUS). A modo resumen en la tabla 1 mostramos las principales características de cada uno de estos sistemas sensoriales.

##### 3.1.1. Active Bat

Realizado por el equipo de investigación de AT&T [20]. Se utiliza una red densa de receptores ultrasónicos montados sobre el techo de las diferentes habitaciones. Un sistema de radio indica el comienzo (sincronización) de la emisión ultrasónica desde un dispositivo portátil que se cuelga del cuello de una persona (fig. 1). Se miden los tiempos de vuelo TOA, y un controlador local deduce la posición de forma centralizada con una precisión de 9 cm en el 95 % de los casos.

##### 3.1.2. Cricket

Existen dos versiones del sistema Cricket (v1 [4] y v2 [21]). En ambos casos, el papel de los emisores y receptores han sido invertidos respecto al Active Bat, es decir, las balizas en el techo son los emisores (tanto de radio como de ultrasonidos), y los dispositivos móviles son los que reciben las señales a partir de las cuales se estiman los tiempos de vuelo TOA a varias balizas. Los nodos que pueden ser configurados como balizas o receptores, están basados en una plataforma común que utiliza un procesador de 8 MHz de Atmel. Cada una de los nodos receptores móviles calcula su posición de forma local, por tanto solo ellos conocen su posición, y por tanto se garantiza la privacidad de la información.

<i>Característica</i>	<b>Active Bat</b>	<b>Cricket v1</b>	<b>Cricket v2</b>	<b>Hexamite</b>	<b>3D-LOCUS</b>
Frecuencia Acústica (Ancho de banda)	40 kHz (2 kHz)	40 kHz (2 kHz)	40 kHz (2 kHz)	40 kHz (2 kHz)	20Hz (20 kHz)
Sincronismo	Sinc. Radio	Sinc. Radio	Sinc. Radio	No	Sinc. Radio (opción No Sinc. con emisión bidireccional)
Multimodo	No, emite solo un tag a la vez	No, emite solo una baliza a la vez	No, emite solo una baliza a la vez	No, emite solo un tag a la vez	Si, varias balizas o tags a la vez con CDMA
Granularidad	Física (3D)	Simbólica (porciones de habitación de $1 m^2$ )	Física (3D)	Física (3D)	Física (3D)
Precisión	9 cm	30 cm	2 cm	1 cm	1 cm
Lugar de Cálculo (Privacidad)	En nodo central (NO privacidad)	En nodo móvil (SI privacidad)	En nodo móvil (SI privacidad)	En nodo central (NO privacidad)	Configurable: En nodo central o móvil (depende)
Variable medida	TOA	TOA y mínimo de modas	TOA	TDOA	TOA
Algoritmo posicionamiento	Multi-lateración esférica	Proximidad a nodo emisor más cercano	Multi-lateración esférica	Multi-lateración hiperbólica	Multi-lateración esférica
Despliegue / Infraestructura	Nodos receptores en techo, con nodo central, y emisores móviles	Nodos emisores en techo, SIN nodo central, y receptores móviles	Nodos emisores en techo, SIN nodo central, y receptores móviles (a veces inverso)	Nodos receptores en techo, con nodo central, y emisores móviles	Nodos emisores / receptores en techo, con nodo central, y recept. / emis. móviles
Frecuencia medidas posición	25 Hz ÷ número tags	1 Hz	1 Hz	20 Hz ÷ número tags	5 Hz
Homogeneidad de nodos	NO (tags emisores son distintos de los nodos receptores)	NO (idem)	SI (nodos emisores y receptores son iguales, salvo su configuración)	NO (idem)	SI (idem)
Dirección de Emisión	de tag móvil a nodos receptores en techo	de nodo en techo a nodo móvil	de nodo en techo a nodo móvil (a veces inverso)	de tag móvil a nodos receptores en techo	configurable: un sentido, el inverso y bidireccional

Cuadro 1: Características de varias soluciones representativas de localización usando ultrasonidos.



Figura 1: Dispositivo generador de señales ultrasónicas que se cuelga del cuello de una persona correspondiente al sistema de localización de AT&T 'Active Bat'

Cada emisor en el techo envía simultáneamente una señal ultrasónica (tren de pulsos) y una señal RF para sincronismo (indica al receptor cuando comienza la emisión ultrasónica) y a la vez por el canal RF se envían los datos de ubicación del emisor. Solo puede emitir una sola baliza a la vez para evitar interferencias entre emisiones de radio y ultrasónicas, lo que implica que hay que planificar las emisiones repartiendo los intervalos de tiempo de uso del canal entre todas las balizas presentes. Para implementarlo se ha creado un método de planificación distribuido, que tiene sus ventajas e inconvenientes:

- (+) No utiliza ningún sistema central para armonizar el disparo de las emisiones de cada baliza, lo que implica mayor facilidad de despliegue de los equipos
- (+) La probabilidad de interferencia, existe pero es relativamente baja
- (-) Baja frecuencia de medida, ya que hay que esperar una secuencia de emisiones antes de poder calcular una posición
- (-) Mal comportamiento en medidas dinámicas (movimiento) forzando el uso de estimadores tipo Kalman para eliminar errores impulsivos

La segunda versión del sistema Cricket (v2 [21]), trata de mejorar algunos aspectos de la primera:

- Una interfaz de programación, API, mejorada para permitir a los usuarios manejar los recursos a bajo nivel y poder configurar el sistema a medida.
- Mejora de la precisión en la medida de los tiempos de vuelo TOA (2 cm de error en v2, por 40 cm en v1). Ahora se utiliza un detector de umbral de la señal ultrasónica recibida en vez de un detector de tonos. La señal emitida es un tren de pulsos de  $150 \mu s$  de duración.
- Menor consumo y utilización de paneles solares para que las balizas sean autónomas.
- Para mejorar el comportamiento dinámico se utiliza un filtro de Kalman para suavizar las estimaciones. Cuando el estimador no es fiable, se reconfiguran los nodos, y se produce una emisión de los nodos móviles a los nodos en el techo (ahora actuando como receptores). De esta forma se producen medidas de rangos simultáneas, hasta que se estabiliza el estimador de kalman.

Existen otros enfoques donde el cálculo de la posición se hace también en el receptor móvil, como es el caso de los sistemas de posicionamiento global (GPS, Galileo,...), aunque en estos casos la emisión es multimodo, es decir que todos los satélites (balizas) emiten simultáneamente sin apenas interferir entre si, gracias a que las señales están codificadas con códigos pseudoaleatorios tipo Gold. Otros sistemas en esta misma línea son los propuestos por Hazas [5], en los cuales, y como elementos diferenciadores, se utilizan transmisores de mayor ancho de banda con película PVDF y se codifican las señales con códigos pseudoaleatorios Gold.

### 3.1.3. Hexamite

Es un sistema comercial de una empresa australiana que tiene una solución bastante escalable para conseguir cubrir el volumen de trabajo que se desee. Consta de tres tipos de dispositivos: transmisores, receptores y controladores. Dependiendo de si los transmisores los utilizamos como dispositivos móviles o anclados al entorno, se obtienen soluciones que se asemejan al caso del Active Bat o Cricket,

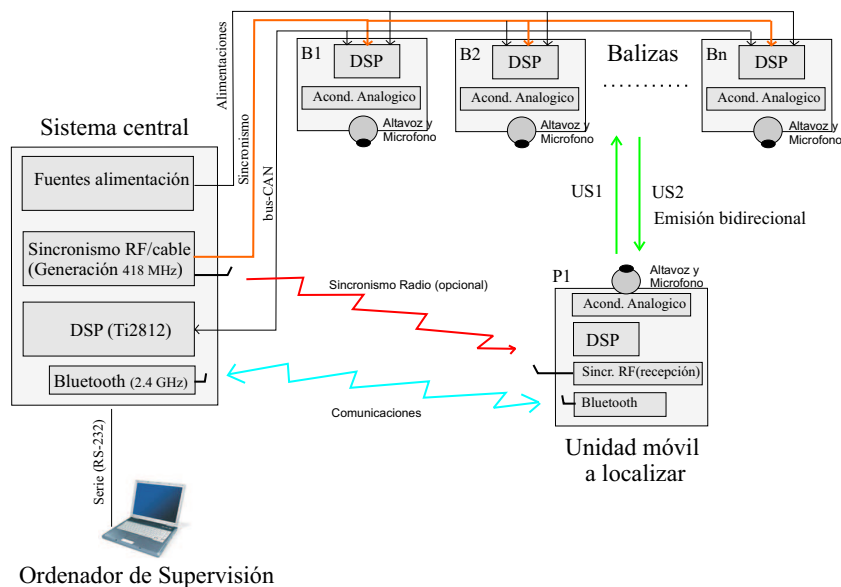


Figura 2: Detalles del sistema de localización por señales acústicas 3D-LOCUS en el cual se realiza emisión bidireccional de señales codificadas acústicas, y gracias al DSP integrado en cada nodo y la comunicación entre ellos (Bluetooth y cableada por bus CAN) es totalmente configurable y versátil.

respectivamente. En la solución Hesamite el posicionamiento es hiperbólico, ya que al no haber sincronismo por radio se miden diferencias de tiempo de vuelo TDOA. Tiene el problema sin embargo que las señales ultrasónicas no están codificadas y no es posible emitir simultáneamente varios tag. Las precisiones son de  $\pm 1$  cm, pero como es común en todos estos sistema ultrasónicos se necesita una alta densidad de balizas fijas en el entorno para conseguir la cobertura deseada.

### 3.1.4. 3D-LOCUS

Es un sistema que actualmente está bajo desarrollo por parte de los autores de este artículo. Tiene la peculiaridad de que cada nodo es tanto emisor como receptor, y además utiliza señales acústicas en vez de ultrasónicas (fig. 2). Es una versión mejorada de un sistema de localización previo que se utilizaba para localizar de forma precisa la posición de objetos en yacimientos paleo-arqueológicos [3] (yacimientos de Atapuerca, Burgos), mediante una sistema de trilateración ultrasónica que se asemejaba en parte al Active Bat. Este sistema a su vez fue el resultado de la experiencia adquirida en otros proyectos previos en localización por ultrasonidos de carretillas en almacenes inteligentes [2].

En la versión actual 3D-LOCUS se utiliza señal acústica para mejorar fundamentalmente la atenuación de la señal con la distancia recorrida, para que los lóbulos acústicos de emisión sean más omnidireccionales, y especialmente para aprovechar el ancho de banda amplio de algunos altavoces y micrófonos en el rango de 5 a 25 kHz. Gracias a estas propiedades se mejora el alcance, la cobertura, y por tanto se disminuye algo la densidad de balizas acústicas montadas en el techo; y se permite codificar las señales ultrasónicas con secuencias pseudoaleatorias, permitiendo un acceso múltiple por división de códigos (CDMA). Esto significa que varios transmisores pueden emitir a la vez sin que apenas se produzca interferencia entre ellos. El hecho de que cada nodo sea a su vez emisor y receptor implica que es posible medir los tiempos de vuelo de ida y vuelta, con lo cual sin necesidad de sincronismo radio se pueden medir tiempos de vuelo absolutos (TOA) y por tanto efectuar trilateración esférica que es más precisa que la hiperbólica y requiere menos balizas visibles. Además, la emisión bidireccional hace que los TOA medidos sean bastante insensibles a las perturbaciones del medio o corrientes de aire, con lo cual el sistema se puede utilizar incluso en exteriores, u obtener grandes precisiones ( $< 1$  cm) de localización en entornos con aparatos de aire acondicionado en marcha.

Por todo lo visto y tal y como se aprecia en la tabla 1 el sistema 3D-LOCUS tiene las siguientes virtudes frente a otros desarrollos:

- Es una plataforma muy versátil, donde los nodos son homogéneos (tanto emisores como receptores comparten la misma arquitectura), y que puede configurarse a medida. Permitiendo el acceso y control de todo tipo de parámetros. Ideal como plataforma de pruebas e investigación sobre técnicas de procesamiento de señal, atenuación de multicamino e interferencia mutua entre señales,

algoritmos robustos de estimación, fusión sensorial, etc

- Gracias a la utilización de transductores de buen ancho de banda, y a la utilización de técnicas de codificación con secuencias pseudoaleatorias (tipo Gold o Golay, es configurable), es posible emitir simultáneamente (multimodo) sin apenas interferencias entre las señales.
- La frecuencia de actualización de medidas, gracias a emisión multimodo, es bastante buena (al menos 5 Hz) aunque depende de la configuración de trabajo definida.
- Posibilidad de no utilizar sincronismo por radio, cuando se configura en modo de emisión bidireccional (nodo portátil emite, nodos fijos reciben y emiten su propio código después de un retardo fijo, y finalmente el nodo móvil recibe la señal).

Como contrapartida, y debido a la versatilidad que hemos perseguido, a la potencia de cálculo utilizada (DSP Texas Instruments 2812 a 150 MHz), y a que no nos hemos propuesto minimizar consumos y tamaños, tanto la autonomía de los nodos móviles como sus tamaños son mejorables. Nuestros próximos objetivos se orientarán a la optimización del sistema en cuanto: codificación y correlación eficiente de señales (Gold y Golay), cancelación de interferencia por múltiple acceso (MAI), reducción de efectos multicamino, algoritmos robustos de trilateración, entre otros aspectos.

## **3.2. Radiofrecuencia**

### **3.2.1. MSR RADAR**

Es un sistema desarrollado por el grupo de investigación de Microsoft (MSR) que utiliza lateración usando la intensidad de las señales recibidas a dos puntos de acceso en redes WLAN (IEEE 802.11) para estimar la posición en 2D de un dispositivo inalámbrico en red local, con precisiones de 4 metros [6]. Se hace muy difícil utilizar el mismo enfoque para localizar en tres dimensiones ya que la atenuación y las reflexiones que se producen al atravesar el suelo entre plantas diferentes de un edificio es muy importante y falsea enormemente las medidas de distancia. Se utilizan estrategias basadas en recorrer previamente el edificio por todos sus rincones almacenando las localizaciones físicas (XYZ) y la amplitud de las señales recibidas, para crear una base de datos que luego pueda ser utilizada para deducir la posición con mayor precisión a partir de las huellas de intensidad de señal registradas.

### **3.2.2. PinPoint 3D-iD**

Utiliza una tecnología propietaria de radio en una serie de balizas transmisoras y receptoras colocadas en el techo de un edificio [7]. Se envían señales secuencialmente desde cada una de las balizas. El dispositivo móvil cuya posición hay que medir, actúa como un transponder cambiando la frecuencia, introduciendo su propio código y reemitiéndolo al medio. Se consigue medir los rangos en base a la medida de los tiempos de propagación de ida y vuelta de la señal, sin necesidad de sincronizar las balizas con los objetos móviles. En las primeras versiones la precisión era de 1 a 3 metros.

### **3.2.3. UWB Ubisense**

Es un producto comercializado que utiliza la tecnología UWB para conseguir localizar con precisiones por debajo de 20 cm. Gracias a las propiedades de las señales UWB (pulsos menores de 1 nanosegundo con silencios entre ellos), tiene un espectro muy ensanchado, una alta inmunidad a los efectos multicamino, una buena capacidad de penetrar puertas y paredes. Los alcances son de hasta unos 50 metros en interiores, y por tanto permiten crear infraestructuras de muy baja densidad de balizas receptoras, por ejemplo 4 balizas en las esquinas de un edificio de 20 x 20 m de lado para localizar en todo su interior un dispositivo que, bajo demanda por radio convencional, emite ráfagas UWB sin codificar. Otros productos UWB en fase casi comercial son los desarrollados por TimeDomain y Multispectral en E.E.U.U, que proporcionan chipsets, plataformas de evaluación, y kits de demostración.

### **3.2.4. RFID Landmarc**

La tecnología RFID o Identificadores por Radio Frecuencia constan de un lector y de varios "tags" o etiquetas. El lector interroga a las etiquetas de su entorno y estas responden con su propio y único código de identificación. Las etiquetas pueden ser pasivas (sin pilas) o activas (con pilas) y son equivalentes en funcionalidad al código de barras de un producto de consumo, pero con la ventaja que se pueden leer varias etiquetas al mismo tiempo y a larga distancia (0 a 10 m, dependiendo de las frecuencias utilizadas).

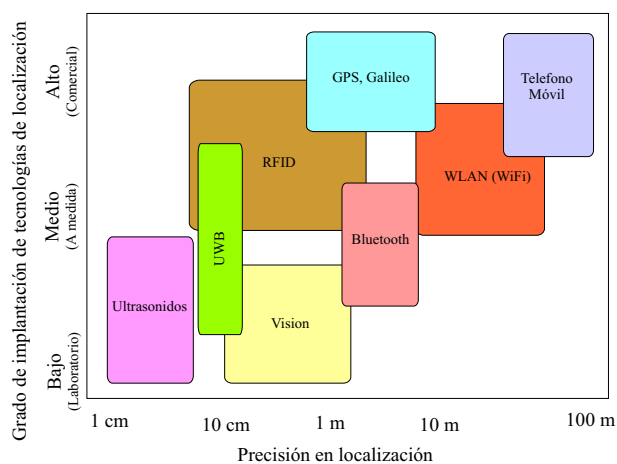


Figura 3: Clasificación de las técnicas de localización atendiendo a la precisión alcanzable y su grado de implantación. La altura de las cajas de cada tecnología intenta representar la evolución que se estima tendrá en los próximos años (adaptado del trabajo de Hazas [22]).

Con una etiqueta sobre cada persona y colocando varios lectores por el entorno, es posible conocer de forma simbólica por donde circula una persona o cualquier otro objeto de interés. Un ejemplo de sistema de localización es el denominado Landmarc [8].

### 3.3. Ópticas

#### 3.3.1. Active Badge

Es uno de los primeros dispositivos realizados a principios de los años 90 por el equipo de investigación de AT&T [9]. Utiliza una serie de detectores de infrarrojos colocados con poca densidad en el interior de las diferentes salas de un edificio (por ejemplo uno o dos detectores por habitación). Una placa portátil (badge) colocada en el cinturón de una persona, emite un haz infrarrojo difuso cada 10 segundos. Cada placa tiene su propio código de identificación para permitir la localización múltiple de personas. El procesamiento de localización se realiza en un servidor central en el edificio. La localización no es física sino simbólica.

#### 3.3.2. Easy Living

El equipo de Microsoft desarrolló un sistema de localización de personas basado en el producto Digiclops que consiste en tres cámaras en color integradas en un mismo equipo [10]. Se demuestra que el procesamiento multimodal utilizando información de siluetas, color de la piel y patrones de la cara, aumenta la precisión del sistema. En el lado negativo está el alto procesamiento requerido, la difícil escalabilidad del sistema, y que la complejidad de la escena puede ser tal que la localización se llegue a perder.

La tabla 2, presenta una comparativa a nivel general sobre las principales ventajas y desventajas, según la tecnología que se utilice (Ultrasonidos, UWB, Visión y RFID), aunque dependiendo de cada implementación concreta se pueden aportar otros aspectos diferenciadores.

Para finalizar, la figura 3 da un panorama global de las tecnologías de localización en cuanto a precisión y grado de implantación en el mercado. Es interesante ver que hay dos grandes grupos de tecnologías: 1) aquellas que tienen precisión submétrica pero están en una fase de investigación y desarrollo (Ultrasonidos, UWB, Visión), y otras técnicas que están bastante avanzadas a nivel comercial y de consumo, que normalmente tienen precisiones de decenas o centenares de metros (GPS, Bluetooth, WiFi, Telefonía móvil GSM, GPRS o UMTS).

## 4. Tendencias y líneas futuras

Una de las tendencias en localización se orienta a conseguir redes homogéneas de nodos sensoriales inalámbricos distribuidos aleatoriamente por el entorno, eliminando la necesidad de crear infraestructuras



<i>Soluciones</i>	<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
Ultrasónicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gran precisión (del orden del centímetro)</li> <li>▪ No interfieren o se dejan interferir a/por equipos receptores/emisores de RF</li> <li>▪ Señales U.S. No salen del recinto de la habitación</li> <li>▪ Soluciones económicas (Nodos de menos de 100 Euros)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lóbulo de emisión bastante direccional (&lt;math&gt;&lt;50^\circ&lt;/math&gt;)</li> <li>▪ Requieren una densidad alta de nodos en techos o paredes (aprox. 1 nodo por <math>m^2</math>)</li> <li>▪ Alcance limitado a unos 8 metros</li> <li>▪ Ancho banda transductores US limitado (complica codificación señales).</li> </ul>
Visión artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No necesita que los objetos o personas a localizar lleven ningún nodo encima (localización natural)</li> <li>▪ Puede estar basado en web-Cams económicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alto procesamiento requerido</li> <li>▪ La complejidad de la escena puede ser tal que los algoritmos se equivoquen</li> <li>▪ Requiere línea de visión libre entre cámara y objeto a seguir</li> </ul>
UWB - Radio de Banda Ultraancha	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bastante buena precisión (20 cm en condiciones de propagación sin obstáculos)</li> <li>▪ Alcance largo atravesando paredes entre habitaciones hasta 100 m</li> <li>▪ Densidad de nodos lectores fijos baja (celda de 4 nodos para cubrir <math>400 m^2</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Precisión se deteriora (como en otras técnicas RF) por efectos multicamino, retardos y atenuaciones al atravesar obstáculos</li> <li>▪ Coste todavía elevado (15.000 Euros el conjunto de unos tags y cuatro nodos lectores)</li> <li>▪ Superando restricciones legales por uso del espectro de otros estándares ya en uso (WiFi, Bluetooth, GPS,...)</li> </ul>
RFID	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tags pasivos muy pequeños, sin consumo, ligeros</li> <li>▪ Tag activos con frecuencias &gt;800 MHz de largo alcance (&gt;5 m y hasta 30-100 m), y larga autonomía (5 años)</li> <li>▪ Permite fácilmente conocer la ubicación simbólica (quién está o no cerca de un lector)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tecnología no pensada para localizar (el nivel de intensidad recibida de cada tag podría usarse para trilaterar pero no suele estar accesible)</li> <li>▪ Lectores de alta frecuencia caros (&gt;100 Euros)</li> <li>▪ Precisiones métricas</li> </ul>

Cuadro 2: Comparativa general entre algunas de las tecnologías más precisas de localización en interiores.

dedicadas. Algunas líneas interesantes de investigación a fomentar son:

- Algoritmos de autolocalización de nodos en redes de sensores, incluyendo la autoconfiguración, que no necesiten un sistema centralizado.
- Mejora de las precisiones mediante algoritmos que eliminen interferencias entre señales o efectos multicamino.
- Fusión sensorial entre diferentes estrategias de localización.

Otro enfoque distinto actual consiste en el desarrollo de chips GPS de alta sensibilidad que puedan trabajar en interiores (HSGPS).

## 5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado una revisión de diferentes técnicas de localización basadas en redes sensoriales, incluyendo soluciones basadas en ultrasonidos (Active Bat, Cricket, Hexamite, 3D-LOCUS), radio (MSR Radar, PinPoint 3D-iD, UWB Ubisense, RFID Landmarc), y ópticas (Active Badge y Easy Living). Se ha presentado una categorización de los diferentes enfoques atendiendo a diferentes criterios de clasificación, y se ha dado una descripción de varias de las soluciones implementadas más significativas dentro de cada enfoque. Se ha tratado de mostrar los aspectos más relevantes de cada solución, mostrando sus ventajas e inconvenientes. Finalmente se presentaron las tendencias actuales y líneas futuras de trabajo a nivel sensorial y algorítmico. Bajo nuestro punto de vista, todavía no existe una tecnología ideal de localización para espacios inteligentes en interiores y la investigación continua en diferentes grupos a nivel mundial para tratar de obtener una solución precisa, fácilmente instalable, con mínima infraestructura, y vestible (nodos móviles ligeros y larga autonomía)

## Referencias

- [1] M. Weiser. The computer for the twenty-first century. *Scientific American*, pages 94–104, 1991.
- [2] J.M. Martín-Abreu, A.R. Jiménez, F. Seco, L. Calderón, J.L. Pons, and R. Ceres. Estimating the 3d-position from time delay data of us-waves: Experimental analysis and new processing algorithm. *Sensors and Actuators A*, 101:311–321, 2002.
- [3] A.R. Jiménez, F. Morgado, and F. Seco. Ultrasound position estimation sensor for precise localisation of archaeological findings. *EuroSensors XVIII, 13-15 September, Rome*, pages 1–4, 2004.
- [4] N.B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan. The cricket location support system. *ACM/IEEE Int. conf. On mobile Computing and Networking, Boston*, August:32–43, 2000.
- [5] Mike Hazas and Andy Ward. A novel broadband ultrasonic location system. *Proceedings of UbiComp 2002: Fourth International Conference on Ubiquitous Computing, Goteborg, Sweden*, September 2498:264–280, 2002.
- [6] P. Bahl and V.N. Padmanabhan. Radar: An in-building user location and tracking system. *Proceedings of the IEEE Infocom, Tel Aviv, Israel*, 2:775–784, 2000.
- [7] J. Werb and C. Lanzl. Designing a positioning system for finding things and people indoors. *IEEE Spectrum*, September:71–78, 1998.
- [8] L. M. Ni, Y. Liu, Y. C. Lau, and A. P. Patil. Landmarc: Indoor location sensing using active rfid. *Wireless Networks. Special Issue on Pervasive Computing and Communications*, 10(6):701–710, 2004.
- [9] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons. The active badge location system. *ACM Transactions Information Systems*, 10 (1):91–102, 1992.
- [10] J. Krumm, S. Harris, B. Meyers, B. Brumitt, M. Hale, and S. Shafer. Multi-camera multiperson tracking for easyliving. *Third IEEE International Workshop on Visual Surveillance (VS2000)*, page 3, 2000.

- [11] T. He, C. Huang, B. M. Blum, and J. A. Stankovic. Range-free localization schemes for large scale sensor networks. *9th annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom03)*, pages 81–95, 2003.
- [12] J. Roa and A.R. Jiménez. Localización 3d mediante balizas activas: Teoría y código en matlab. *Internal Report. SAM group, IAI-CSIC, Spain*, pages 1–50, 2004.
- [13] A. Savvides, C. C. Han, and M. B. Strivastava. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors. *7th annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom01)*, pages 166–179, 2001.
- [14] Y. Shang and W. Ruml. Improved mds-based localization. *23rd Conference of the IEEE Communicatons Society (Infocom 2004), Hong Kong*, 2004.
- [15] L. Doherty, K. S. J. Pister, and L. El Chaoui. Convex position estimation in wireless sensor networks. *Infocom*, pages 1–10, 2001.
- [16] K. Langendoen and N. Reijers. Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison. *Computer Networks*, 43(4):499–518, 2003.
- [17] C. Savarese, J. M. Rabaey, and K. Langendoen. Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks. *USENIX Annual Technical Conference, USENIX Association*, pages 317–327, 2002.
- [18] N. Bulusu. Self-configuring location systems. *PhD thesis, University of California, Los Angeles*, 2002.
- [19] J. Hightower and G. Borriello. Location systems for ubiquitous computing. *IEEE Computer*, 34(8):57–66, 2001.
- [20] A. Harter, A. Hopper, P. Steggle, A. Ward, and P. Webster. The anatomy of a context-aware application. *In Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 1999)*, pages 1–59, 1999.
- [21] H. Balakrishanan and N. Priyantha. The cricket indoor location system: Experience and status. *WorkShop on Location-Aware computing (part ubicomp 2003)*, 1:7–9, 2003.
- [22] M. Hazas, J. Scott, and J. Krumm. Location-aware computing comes of age. *IEEE Computer*, 37(2) February:95–97, 2004.