



Bizkaiko Foru Aldundia
Diputación Foral de Bizkaia
Berrikuntza eta Ekonomi
Sustapen Saila
Departamento de Innovación
y Promoción Económica

Programa Ekinberri 2008

Sentinel

Sistema flexible de localización
en interiores basado en redes de
sensores ZigBee

E10 Localización en interiores



Tecnológico
Fundación Deusto

Teknologikoa
Deustu Fundazioa

sumenor 
security & control systems



RESUMEN

En este documento se realiza una investigación del estado del arte referente a las técnicas de localización en interiores existentes a día de hoy. Se estudian diferentes aproximaciones que se pueden clasificar como sistemas de localización de interiores dependientes de la estructura e independientes de la estructura empleando diversas tecnologías.

HISTORIAL DE CAMBIOS

Versión	Descripción	Autor	Fecha	Comentarios
1.0	Primer borrador	Leire Muguirra Juan M. López	2009-02- 10	
1.1	Añadir modificaciones	Leire Muguirra Juan M. López	2009-03- 30	

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen.....	2
Historial de cambios.....	3
Tabla de contenidos.....	4
1 Introducción.....	5
2 Localización dependiente de la estructura.....	7
2.1 Localización con infrarrojos (IR).....	7
2.2 Localización con ultrasonidos.....	9
2.3 Localización con UWB.....	10
2.4 Localización mediante imágenes.....	13
2.5 Localización con RFID.....	15
2.6 Localización con Zigbee.....	18
3 Localización independiente de la estructura.....	19
3.1 Localización con Wi-Fi.....	19
3.2 Localización con GSM Y CDMA.....	22
3.3 Localización PLP.....	25
3.4 Localización con Bluetooth.....	27
4 Conclusión.....	30

1 INTRODUCCIÓN

El creciente interés por sistemas y servicios sensibles a la localización ha hecho que proliferen la investigación en tecnologías de localización de precisión. La localización en interiores es un área de investigación activo dentro de la computación ubicua y una gran variedad de sistemas comerciales están empezando a emerger. Diversas características permiten diferenciar las soluciones existentes, como la tecnología empleada (RF, IR, visión...), requerimientos de LOS (line-of-sight), la precisión o la escalabilidad.

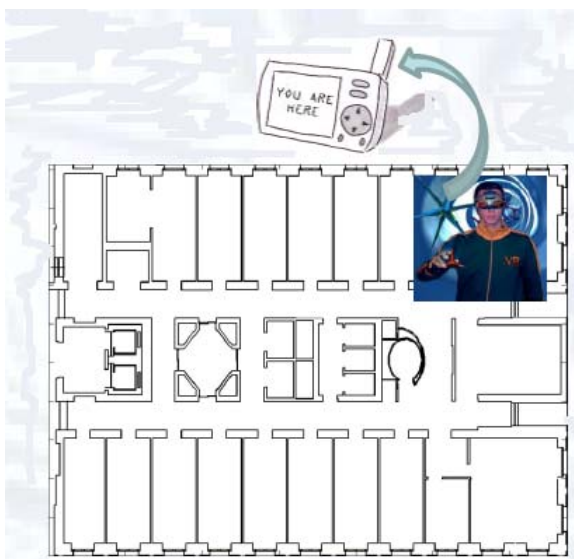


Algunos ejemplos de aplicaciones en los que se requiere una localización precisa de interiores son:

- La publicidad sensible a la localización de los usuarios.
- Entretenimiento sensible a la localización.
- Detección de pacientes en hospitales.
- Localización de interiores para socorrer a emergencias.
- Conocimiento de la localización del stock dentro de grandes almacenes.
- ...

Se trata de una información muy significativa y valiosa para muchas aplicaciones dentro del campo de la computación ubicua. Realmente es la contribución más importante cuando sirve para determinar el contexto o la actividad que realiza el usuario.

Mientras que determinar la posición de un dispositivo móvil en exteriores es posible en la mayoría de las situaciones con GPS (Global Positioning System), no hay un sistema libre y



fácil de usar para entornos de interiores. GPS funciona bien en exteriores pero no es aplicable en interiores o en áreas con visión limitada del cielo.

Para poder abordar la problemática anterior se han desarrollado diversos sistemas empleando una gran variedad de tecnologías. En este trabajo se han clasificado las técnicas de localización en interiores en dos grandes grupos: los que utilizan infraestructura dedicada para la localización y que debe ser

instalada en el edificio y los que se basan en infraestructura de comunicaciones ya existente.

2 LOCALIZACIÓN DEPENDIENTE DE LA ESTRUCTURA

La mayor desventaja de estas técnicas de localización es que tal y como su propio nombre indica, requieren una infraestructura específica que cubra aquellas áreas en las que se vayan a necesitar los servicios de localización.

Existen numerosas soluciones para localización de interiores que requieren de nueva infraestructura entre las que se encuentran [1], [2], [3]. En la mayoría de los casos el coste y esfuerzos de instalación son la mayor desventaja para despliegues a gran escala, particularmente en entornos domésticos.

2.1 Localización con infrarrojos (IR)

El sistema Active Badge y sistemas como Versus hacen uso de emisores y detectores de IR para obtener una precisión de 5-10 metros. Se trabaja con el TOF (Time of Flight) de los pulsos cortos de las señales al ser reflejadas en la superficie del objeto a localizar. Este tipo de estimaciones requiere sensores analógicos de alta calidad y unidades de procesamiento rápidas capaces de medir de forma precisa periodos cortos de tiempo. La arquitectura y coste computacional es significativo. En robótica y realidad virtual este proceso es asistido por métodos como procesamiento de imagen, acelerómetros, etc.

Active Badge [3] fue uno de los primeros sistemas y una contribución importante para los sistemas sensibles a la localización. Está basado en proximidad construido sobre enlaces de datos de infrarrojos a 1kBaudio. Se coloca un punto de acceso de infrarrojos en cada despacho y el dispositivo móvil a localizar lleva un transceptor de infrarrojos que emite GIDs (Globally unique identifiers) de forma broadcast cada 15 segundos. Teniendo en cuenta que las señales se reflejan en casi todas las superficies, los broadcast de GID se contienen dentro de cada despacho obteniendo una localización precisa con granularidad de habitación. Se actualiza la información cada 15 segundos de modo que si el individuo se mueve a gran velocidad se cometen errores. La información de localización se recopila en una base de datos centralizada en el servidor. Una estimación de localización de gran precisión resulta complicada y requeriría múltiples antenas direccionales. Además, la escalabilidad en el sistema Active Badge es bastante pobre debido al rango limitado de los IR y no funciona correctamente en presencia de rayos de sol directos, siendo un problema en habitaciones con ventanas.

En [4] estiman la localización estudiando la calidad del patrón de señal de IR recibido y a partir de ahí calculan la distancia existente entre los dispositivos. El sistema requiere dos

transmisores situados alrededor del área a cubrir (IRTX1 y IRTX2). Los transmisores envían diferentes patrones de señales que son captados con calidades variables por la pareja de receptores (IRRX_A y IRRX_B) situados en el objeto a localizar. La calidad de recepción se define como el número de patrones recibidos de un tipo determinado comparando con los esperados en un intervalo de tiempo específico. El coste del sistema se reduce notablemente ya que se cuentan patrones digitales en lugar del nivel de señal analógico, o intervalos de tiempo muy cortos.

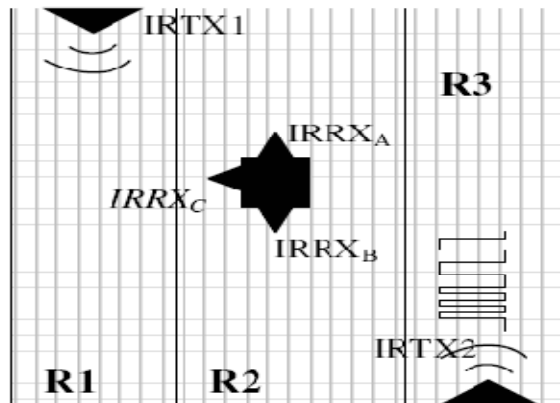


Ilustración 1. Arquitectura y topología del sistema de localización con IR

Además es posible conocer la orientación extendiendo el sistema de localización anterior añadiendo otro sensor en el lado del receptor (IRRX_C). De forma que se obtiene un conocimiento de la localización y de la orientación del objeto a nivel de habitación.

El sistema de información Versus [5] combina las tecnologías RFID e infrarrojos para localizar las personas y el activo en tiempo real. Las señales RF permiten obtener información de localización general ya que las señales penetran puertas y paredes. Emplean las señales IR para obtener mayor granularidad y alcanzar la precisión necesaria para poder diferenciar entre los pacientes de las diferentes camas.

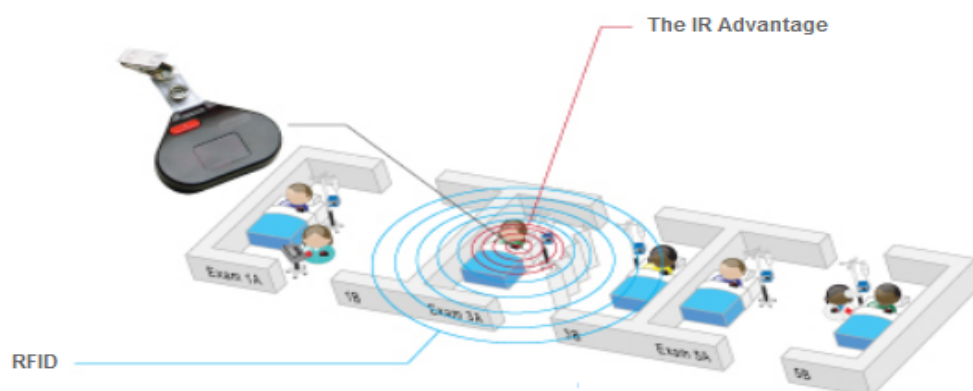
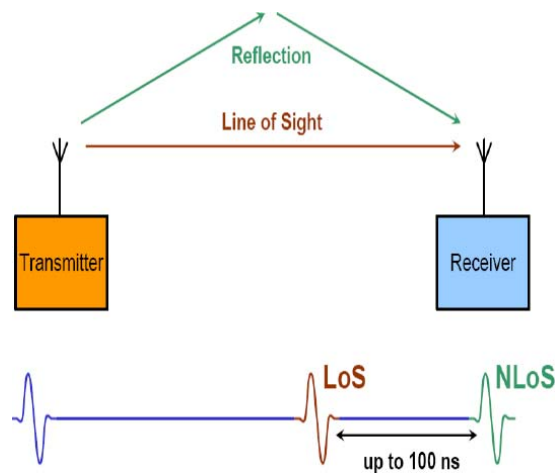


Ilustración 2. Sistema Versus

2.2 Localización con ultrasonidos

Los sistemas Cricket y Bat emplean los ultrasonidos para estimar la localización. Dependiendo de la densidad de la infraestructura y del grado de calibración, los sistemas basados en ultrasonidos pueden alcanzar precisiones entre unos pocos metros y centímetros, pero al requerir línea de visión entre los nodos necesitan un despliegue denso para dar grandes coberturas.



El sistema Cricket [2] es un sistema de localización descentralizado, privado, con granularidad a nivel de habitación y de bajo coste. Cada componente del sistema, ya sea fijo o móvil, se configura independientemente, no se emplea ningún elemento central para registrar o sincronizar los diferentes elementos. La privacidad del usuario se mantiene permitiendo a los elementos móviles que estimen su propia localización de forma local sin comunicación con el exterior. Cricket requiere únicamente saber en qué habitación se encuentra, y lo consigue con una precisión del 95%. Como cada baliza se configura de forma independiente del resto existe el peligro de que las balizas interfieran unas con otras. Para intentar evitarlo se introduce un tiempo aleatorio entre la emisión de las señales que van a emitir. Por otro lado, teniendo en cuenta que solo requiere un nodo estacionario de referencia por habitación el coste asociado a poder escalar la red es razonable.

Cricket estima las distancias con el TDOA de las señales RF y de ultrasonidos sincronizadas. Cada baliza emite un pulso RF que identifica inequívocamente el espacio en el que se encuentra. Los dispositivos móviles calculan la distancia recorrida por las señales captadas de las balizas.

Cricket Compass [6] es una extensión de Cricket que estima la localización y la orientación. Continúa usando TDOA entre las señales sincronizadas de RF y ultrasonidos pero requiere que las balizas estén configuradas con coordenadas precisas en lugar de identificadores de habitaciones. El aumento de precisión necesario para determinar la orientación hace que el sistema basado en proximidad de Cricket cambie a un sistema basado en coordenadas. Se ha validado el modelo con experimentos obteniendo errores menores de 3° para ángulos de hasta 10° , y errores de hasta 15° cuando los ángulos son menores de 40° . Además el sistema demostró ser sensible a las reflexiones de ultrasonidos producidas en las paredes,

ya que mientras que los errores de localización en el centro de una habitación son de 6 cm, si el móvil se acerca a la pared el error se incrementa hasta 25 cm.

Active Bat [1] [7] es la continuación del sistema Active Badge [3]. Está construido sobre el mismo modelo de sistema centralizado de rastreo de localización que obtiene los datos de las balizas móviles. En Active Bat los pequeños dispositivos activos, Bats, emiten periódicamente pulsos estrechos de ultrasonidos. Los ultrasonidos son detectados por los sensores que emplean la información de TOF para multilaterar y conocer la localización del Bat. Este proceso tiene una precisión de 3cm el 95% del tiempo.

Al igual que Cricket, Bat emplea el TDOA de las señales RF y de ultrasonidos sincronizadas que existen dentro del rango y de la misma forma que hace Cricket Compass, usa multilateración para calcular las coordenadas de los elementos móviles en relación a los nodos de referencia.

Sin embargo en este sistema se tomaron elecciones de diseño diferentes a los tomados en el sistema Cricket ya que las unidades situadas en las paredes son receptores de ultrasonidos para captar las señales de los Bats y están conectados a través de una red cableada y organizados jerárquicamente. Además para disminuir la contención del canal de ultrasonidos cada Bat se registra en el sistema cada vez que entra en un área. Periódicamente la estación base envía los identificadores GID y simultáneamente envía pulsos de sincronización por la red cableada a todos los receptores cableados. De este modo, cuando un Bat escucha el broadcast GID responde con una señal de ultrasonidos y el receptor es capaz de calcular el TDOA entre el pulso de sincronismo y la recepción de la señal de ultrasonidos.

El sistema Active Bat está diseñado para colocar los tags dentro de una habitación y poder obtener un alto grado de precisión, pero es susceptible a los efectos de multicamino y reflexiones en el receptor.

2.3 Localización con UWB

Los emisores y receptores de UWB han sido empleados recientemente para estimar la localización en interiores, con precisiones por debajo de los 15 cm [8]. Aunque el equipamiento para medir el RSS (Received Signal Strength) está muy extendido y sale más económico, la precisión que se obtiene es menor que si se emplean sistemas basados en TOA o DOA.

Ubisense [8] es una solución de localización que está disponible en el mercado. El sistema de localización UWB de Ubisense consiste principalmente de tres componentes: tags

alimentados con baterías que transmiten pulsos UWB que sirven para determinar la localización (Ubitags), sensores alimentados a través de la red eléctrica (Ubisensors) fijados sobre la infraestructura y encargados de recibir y evaluar señales de los Ubitags, y la plataforma software que agrega los datos de localización, los analiza, los presenta y comunica la información a los usuarios y sistemas de información relevantes. Los Ubisensors, son puntos de referencia fijos que generalmente se colocan en lugares con línea de visión como por ejemplo en los techos, y se conectan con el maestro por Ethernet para configurar las celdas de Ubisense llamadas Ubicells.

La localización se basa en las medidas de TOA y DOA de los pulsos UWB de los Ubitags a los Ubisensores. Los Ubisensores se agrupan por celdas, que por lo general suelen ser de forma rectangular, y en cada una de ellas existe un sensor maestro que se encarga de coordinar y comunicarse con todos los tags y resto de sensores. La información de localización se puede enviar tanto por cable Ethernet como por wireless LAN al software del motor de localización que se encarga de agregar los datos y enviarlos a través de un API a un programa externo o a la plataforma de localización de Ubisense para su visualización y procesado espacial.

Existen varias opciones para diseñar sistemas que se adecuen a las necesidades de cada aplicación y al entorno físico en el que se requiera la implantación de la plataforma. Los parámetros típicos son la geometría del área y los materiales que hay presentes, la precisión requerida, qué objetos tendrán tags incorporados y la velocidad con la que se moverán, duración de la batería deseada, presencia de otros sistemas RF... Los tags son parte de una red de sensores que se despliega a lo largo del área que se quiere monitorizar utiliza infraestructura de red y protocolos estándar para comunicar los dispositivos.

Ubisense provee productos software modulares que permiten la integración del sistema de sensores, o de la plataforma software con otras plataformas.

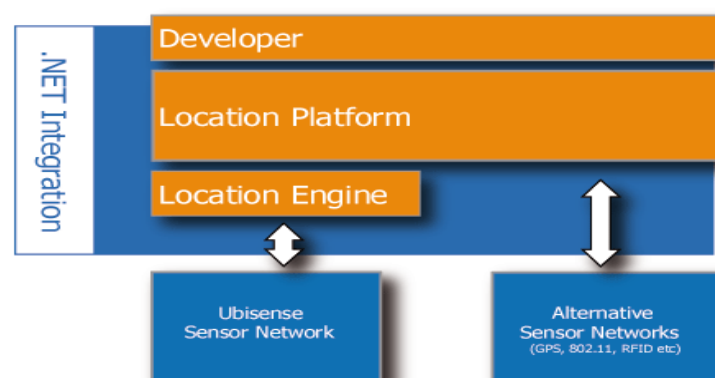


Ilustración 3. Sistema Ubisense

EMERGE [9] es una plataforma de AAL y detección de eventos capaz de estimar la localización. El modelo de razonamiento está construido sobre el sistema de localización Ubisense descrito anteriormente y el objetivo que siguen es mejorar la asistencia de emergencias por medio de una detección temprana y prevención proactiva, así como una sensorización que obstruya poco. El sistema consta de un RTLS (Real Time Locating System) que monitoriza e identifica la localización de las personas mayores.

Las medidas que proporciona el API Ubisense estándar incluyen las coordenadas, el tag ID, el timestamp o la métrica de error cometido. En EMERGE se añaden vectores de velocidad y aceleración para obtener información útil para los módulos de razonamiento y detección de eventos. Completan el proceso de localización con la técnica LOSSLES (LOS- based Selective Localization EStimation) y para ello hay que dividir el área de forma que se cumpla el criterio de que cada partición tiene que tener LOS con al menos dos Ubisensors. La técnica propuesta es más fiable, la variabilidad de la posición estimada es menor, así como las imprecisiones que se generaban en el *eje* y al realizar localizaciones en 2D. En la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos en metros en uno de los experimentos realizados tanto con Ubisense como con la técnica propuesta LOSSLES.

All Results in meters	Typical Ubisense			LOSSLES Technique		
	2D	x-axis	y-axis	2D	x-axis	y-axis
Average	1.23	0.34	1.16	0.48	0.14	0.45
Variance	2.40	0.29	2.15	0.08	0.01	0.08
Median	0.44	0.10	0.44	0.44	0.11	0.40
67-th Percentile	0.56	0.13	0.52	0.48	0.13	0.47
90-th percentile	3.80	1.26	3.76	0.91	0.28	0.87
95-th Percentile	3.95	1.38	3.94	0.95	0.33	0.91
99-th percentile	4.86	1.78	4.52	1.08	0.37	1.03

Ilustración 4. Resultados obtenidos con Ubisense y LOSSLES

2.4 Localización mediante imágenes

La realidad aumentada (AR) vestible está adquiriendo relevancia como nuevo método para mostrar información basada en localización en el mundo real. Para usar la AR vestible es necesario medir la posición y orientación del usuario mediante una infraestructura de posicionamiento.

Un posible método de localización es emplear imágenes capturadas a través de una cámara junto con una base de datos que contiene las características del entorno real. Lo que se hace es estimar la localización y orientación del usuario comparando las características de la imagen capturada con la cámara desde el punto de vista del usuario y las características conocidas almacenadas o un modelo 3D del entorno. El problema que acarrea esta técnica es su dificultad de estimar la posición del usuario en entornos que tienen patrones muy similares [10].

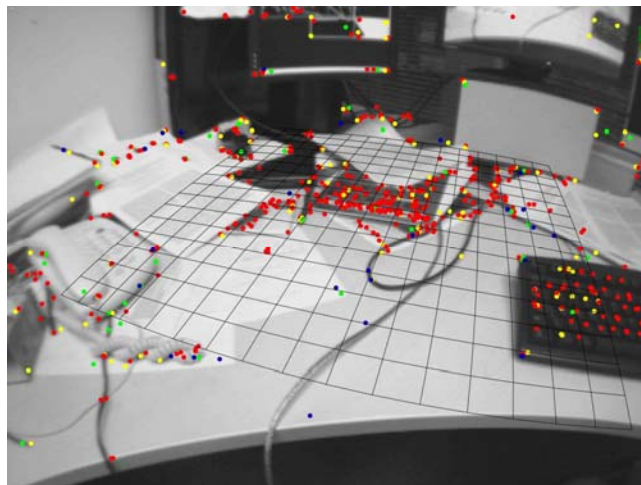


Ilustración 5. Operación del sistema propuesto en [10]

La imagen anterior muestra el funcionamiento del sistema donde se rastrea un escritorio. La imagen generada tiene alrededor de 3000 puntos de los cuales el sistema intenta encontrar 1000 en la trama actual. Los 660 puntos satisfactorios se muestran como puntos y el tiempo requerido para el procesado fue de 18 ms.

Otra forma de estimar la posición del usuario y su orientación es el empleo de indicadores visuales pegados en los techos o en las paredes. El despliegue de la infraestructura de localización resulta relativamente barato y es posible conocer la posición y orientación del usuario de forma robusta ya que el reconocimiento de indicadores en imágenes capturadas con cámaras vestibles no es difícil. La desventaja que presenta este método es que a veces, los indicadores pueden llegar a ser demasiado vistosos, exagerados, y pueden llamar la atención más de la cuenta en un entorno, causando un efecto visual indeseado [11].



Ilustración 6. Persona que viste un VIS-Tracker (vision-inertial self-tracker) en un entorno plagado de indicadores

Por otro lado está la posibilidad de emplear indicadores invisibles o los diseñados para mezclarse con el entorno de modo que se obtenga la localización sin perturbar el entorno como sucedía en el caso anterior [12], [13].



Ilustración 7. Vista de la escena (izquierda) y vista de IR (derecha)

[14] Proponen un sistema de localización junto con una herramienta de inicialización de indicadores empleando indicadores invisibles. Se trata de un método que tiene dos fases, la primera es para la inicialización de los indicadores invisibles que hay en el entorno y la segunda se centra en instalar el sistema de localización de usuarios.

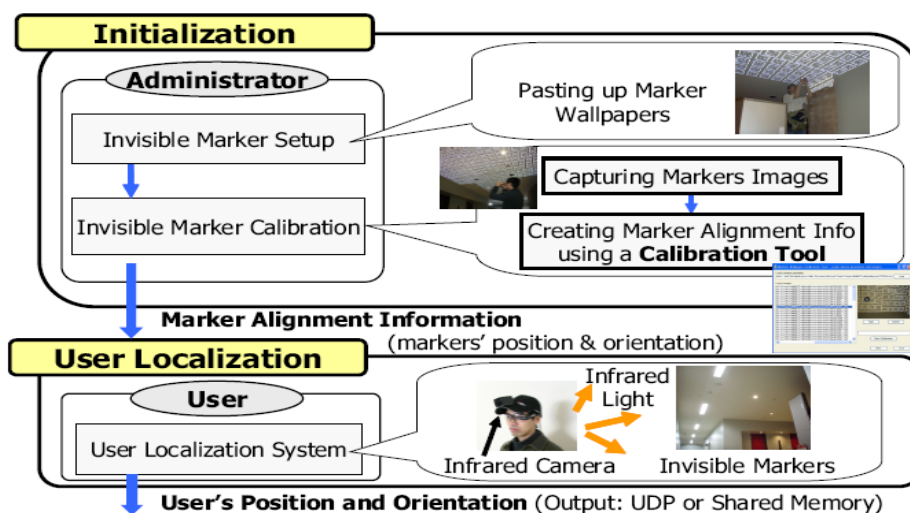
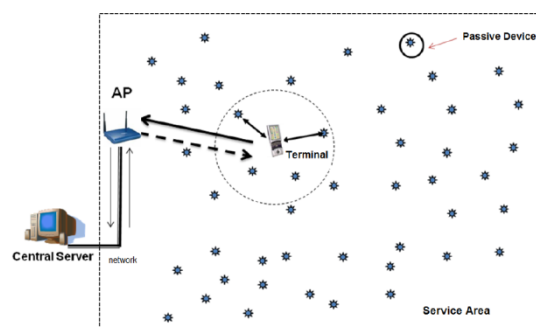


Ilustración 8. Resumen del sistema de localización de usuarios empleando indicadores invisibles

El usuario va equipado de un ordenador vestible y una cámara de IR que captura indicadores invisibles por medio del reflejo de los infrarrojos. La precisión de la posición y orientación estimadas empleando los indicadores invisibles y ayudándose de la herramienta de calibración fue alta. En el experimento que detallan, donde los indicadores tienen un área de 16cm^2 y hay una densidad de indicadores de 24indicadores/m^2 , el error cometido es de 13mm con una desviación estándar de 12mm .

2.5 Localización con RFID

RFID (Radio Frequency Identification) es una tecnología inalámbrica capaz de identificar de forma única los objetos y transmitir la información de las etiquetas al sistema a través de las señales radio. Para dar servicios de localización de buena precisión con esta tecnología se requiere un alto número de sensores y los parámetros que hay que controlar son la densidad de dispositivos RFID, la cobertura, y el diagrama de radiación. Además no hay que olvidar que hace falta que los terminales integren los lectores RFID pero esto tampoco supone un gran inconveniente.



Escenario de oficina

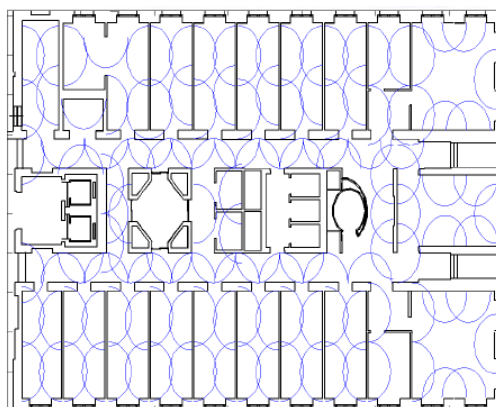
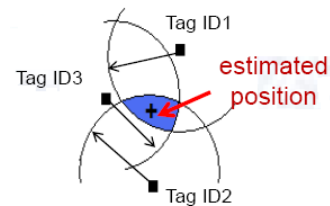


Ilustración 9. Arquitectura de un posible sistema RFID

Entre los diferentes algoritmos se puede realizar la siguiente clasificación: los que se basan únicamente en el identificador del tag y los que además de lo anterior estudian las medidas de potencia de la señal RFID recibida. En el primer caso la posición se asemeja al baricentro de la intersección de las áreas de cobertura, en cambio en el segundo, se aplican estimaciones de distancia empleando el modelo de propagación de pérdidas en espacio libre.



Esta tecnología ha sido considerada favorable como una solución de bajo coste para el seguimiento o rastreo de la localización en interiores. Algunas de las implementaciones utilizan tags activos (alimentados con baterías) y middleware convencional que es más costoso, complicado de usar y que puede que no sea interoperable con otros dispositivos como sistemas multimedia IP o teléfonos móviles.

Existen muchas implementaciones diferentes basadas en el uso de señales RF desde las frecuencias bajas hasta las altas. En [15] presentan un resumen de los sistemas RFID existentes y un análisis profundo del sistema RFID RADAR. Entre algunas de las experiencias en este campo que cabe destacar se encuentra SpotON [16], un sistema de rastreo de localización que se centro en el despliegue de sensores flexibles de localización en entornos de pequeña escala. En este sistema los objetos eran localizados a través de sensores distribuidos de forma homogénea. Para calcular la posición en tres dimensiones se aplicaba un algoritmo de agregación basada en el análisis del RSSI (Received Signal Strength Indicator).

También existen aproximaciones de localización con RFID que utilizan mecanismos basados en TDOA [17]. El esquema de localización propuesto introduce un nuevo método LFM (Linear frequency modulation)-TDOA, utilizan señales LFM para medir la diferencia de tiempos y los resultados obtenidos indican que el esquema propuesto permite obtener precisiones de 0.5 m con una probabilidad del 75%, y precisiones de 1m con probabilidad del 99%.

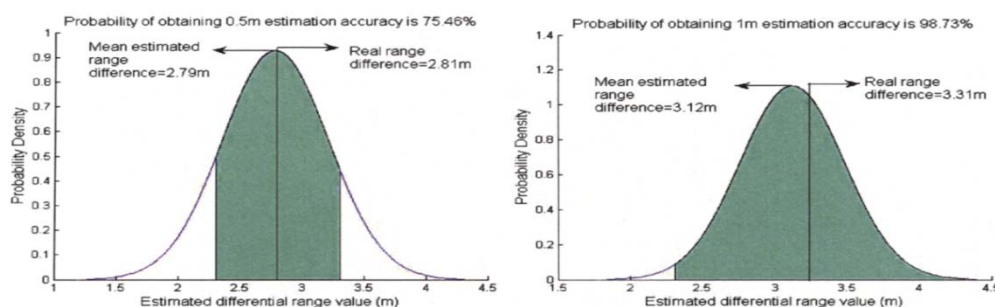


Ilustración 10. Distribuciones estadísticas de probabilidad realizadas de un caso.

SIP-RLTS [18] es un sistema de rastreo de localización basado en SIP (Session Initiation Protocol). Es una solución válida para tags activos y pasivos y para hacer frente a las carencias que presentan la mayoría de lectores y etiquetas en cuanto a capacidad de cómputo de datos y comunicaciones SIP han introducido un middleware RFID orientado a localización que solventa la restricción de falta de recursos.

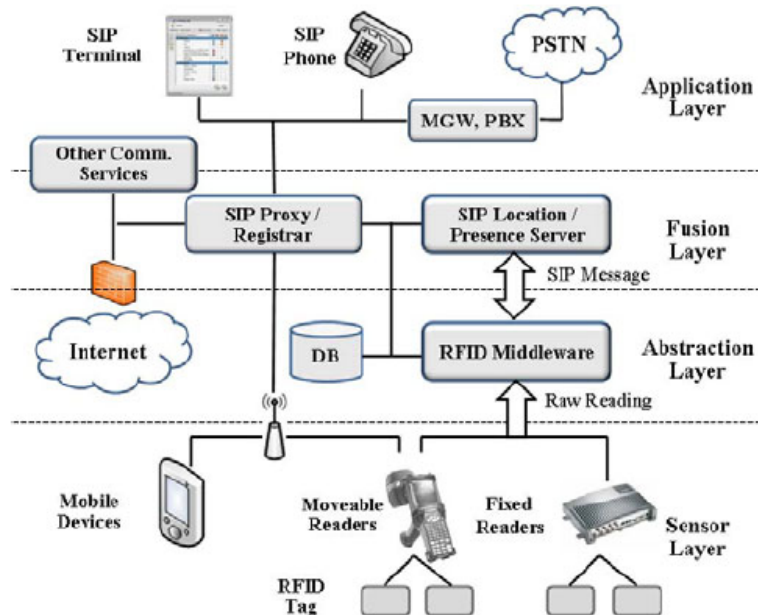


Ilustración 11. Arquitectura de SIP-RLTS

Los dos componentes principales del sistema son el middleware orientado a localización y el servidor de localización. El middleware se encarga de filtrar y agregar los datos y de procesar la información de localización. Se integran ontologías y semántica para el motor de localización y determina la posición del usuario a partir de la presencia del tag en la zona cubierta por el lector. Cuando un lector detecta la tarjeta en su zona se lo indica al sistema junto con la localización del lector y a continuación aplican SWRL (Semantic Web Rule Language) para describir y razonar la localización del usuario.

$$\begin{aligned} & equippedWith(User, Tag) \wedge sensedBy(Tag, Reader) \\ & \wedge covers(Reader, Zone) \Rightarrow Location(User, Zone) \end{aligned}$$

Ilustración 12. Ejemplo de regla para localizar a un usuario.

En [19] encontramos un estudio del comportamiento de los sistemas de localización que emplean tags RFID activos junto con un amplio y reproducible conjunto de experimentos. Este estudio sirve para clarificar los resultados alcanzables y el impacto de ciertos parámetros en la localización con RFID. Los sistemas que se analizan son los basados en RSSI, entre los que se encuentra LANDMARC [20] y los resultados hacen hincapié en las

limitaciones a la hora de usar estas técnicas de localización:

- Se requieren muchos tags activos para poder obtener un alto nivel de precisión.
- Un gran número de antenas ayuda a mejorar la precisión de localización

Los entornos analizados sufren variaciones de propagación de señales que afectan a la estimación de la localización, dificultado la predicción de los parámetros óptimos para los algoritmos de localización.

2.6 Localización con Zigbee

ZigBee es un estándar que define un conjunto de protocolos de comunicaciones para redes inalámbricas de baja transferencia de datos (250kbps como máximo), como es el caso de las WSN. Los algoritmos de localización de las redes de sensores estiman la localización a partir de nodos cuya posición es conocida y a partir de medidas realizadas entre los diferentes sensores de la distancia o el ángulo de incidencia. La mayoría de los algoritmos de localización basados en RF usan solo los niveles RSS (Received Signal Strength) para estimar la localización debido a un requerimiento mínimo o nulo de hardware.

El estándar ZigBee lo ha desarrollado la ZigBee Alliance, que fue formado en el año 2002 cómo organismo sin ánimo de lucro abierto a todo aquel que quisiera unirse. Adoptó IEEE 802.15.4 como sus protocolos de capa física y MAC, de modo que un dispositivo compatible con ZigBee también lo es con IEEE 802.15.4.

En general, la precisión que se puede obtener con ZigBee dependerá de la densidad de balizas incorporadas en el sistema, luego será escalable y en cuanto a la computación se podrá realizar tanto de forma distribuida como centralizada. Una de las potencialidades que presenta ZigBee para desarrollar localización es la facilidad de obtener los niveles RSS ya que vienen con cada uno de los paquetes enviados, no hace falta hardware adicional para realizar la estimación de la localización. Si en lugar de trabajar con niveles de señal se pretende determinar el TOA se requiere un reloj de alta precisión y para el AOA hacen falta modificaciones hardware. Ambas soluciones aumentarían el coste del equipo.

La localización en interiores empleando esta tecnología se desarrolla en profundidad en los entregables E2 (Estado del arte) y E3 (Núcleo del sistema de localización).

3 LOCALIZACIÓN INDEPENDIENTE DE LA ESTRUCTURA

Para poder evitar los costes asociados a la infraestructura, este tipo de sistemas reusan la infraestructura existente para agilizar la carga asociada al despliegue y reducir costes. Estas técnicas de localización tienen la ventaja de ser soluciones eficientes en costes donde se pueden usar dispositivos abiertos (dispositivos no propietarios que cumplan el estándar seleccionado para dar servicios de localización).

Las primeras soluciones fueron los basados en puntos de acceso Wi-Fi, [21], y poco después se comenzó a explorar la localización con Bluetooth [14] y los sistemas de telefonía como GSM [6,12,15] o torres de transmisión FM [11].

Existen sistemas que combinan diferentes tecnologías como por ejemplo Redpin [22], que analiza el nivel de señal de GSM, Bluetooth y Wi-Fi en un dispositivo móvil.

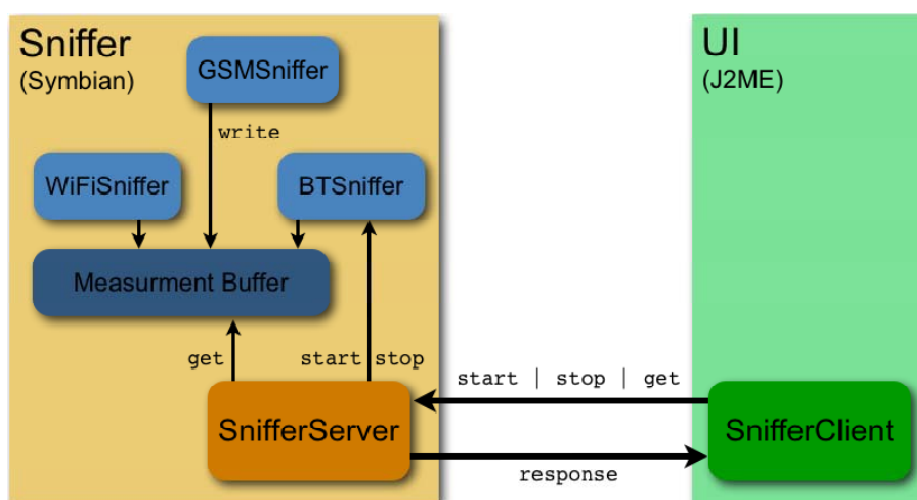


Ilustración 13. Redpin: arquitectura del sniffer del teléfono móvil

3.1 Localización con Wi-Fi

La mayoría de las soluciones de localización con Wi-Fi están basadas en el fingerprinting. Entre las ventajas que presentan las técnicas basadas en Wi-Fi se encuentran la sencillez y rapidez de despliegue, la falta de equipamiento adicional y su coste asociado. Los errores que se cometen son debidos al limitado número de puntos de acceso y su emplazamiento, la granularidad del mapa radio (distancia de muestreo), errores de medidas (diferentes interpretaciones con diferentes dispositivos) y los cambios impredecibles de las características de propagación del entorno.

Desde los primeros sistemas desarrollados como es el caso de RADAR, han ido surgiendo diversos ejemplos de fingerprinting de señales RF que averiguan la información de localización a partir de la infraestructura para comunicaciones móviles existente, Wi-Fi y GSM fundamentalmente.

La triangulación Wi-Fi evita los requerimientos de línea de visión pero sufre los efectos del multicamino debido a las reflexiones en el entorno. El fingerprinting mejora las estimaciones teniendo en cuenta los efectos que causan los edificios, los objetos y la gente, así como las reflexiones y atenuación. Aun así no hay que olvidar que los cambios en el medioambiente causan importantes fluctuaciones en las señales Wi-Fi en un mismo punto a medida que pasa el tiempo, de modo que las medidas tomadas en la fase de entrenamiento se quedan obsoletas con rapidez.

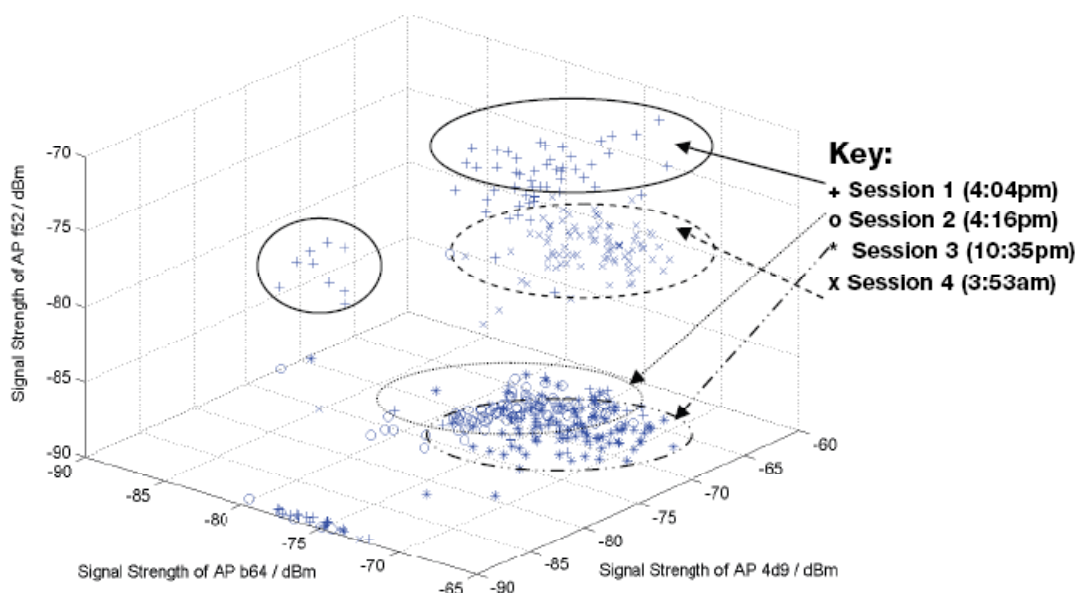


Ilustración 14. Fluctuaciones de señal para una localización concreta a lo largo del tiempo

En [23] han realizado un estudio estadístico sobre el impacto del comportamiento de las señales en la estimación de la localización en sistemas Wi-Fi basados en el fingerprinting. Demuestran qué factores hacen que los sistemas funcionen de forma más imprecisa en ciertas partes de un edificio que en otras.

Empleando cuatro puntos de acceso Wi-Fi, RADAR [21] localiza un portátil con una resolución media de 2-3 metros. Es un sistema que localiza y es capaz de seguir a los individuos dentro de un edificio. Funciona recogiendo y procesando niveles de señal de diferentes estaciones base colocadas de forma que se superpongan las áreas de cobertura dentro de la zona de interés. Combina medidas empíricas con un simple modelo de

propagación de señales para determinar la localización. El método empírico es superior en precisión y el modelo de propagación hace que el despliegue sea sencillo. Desde la primera versión ha habido muchas mejoras del algoritmo de fingerprinting empleado para mejorar su precisión. Por ejemplo en [24] proponen una técnica de clustering para poder reducir el coste computacional y mejorar la precisión.

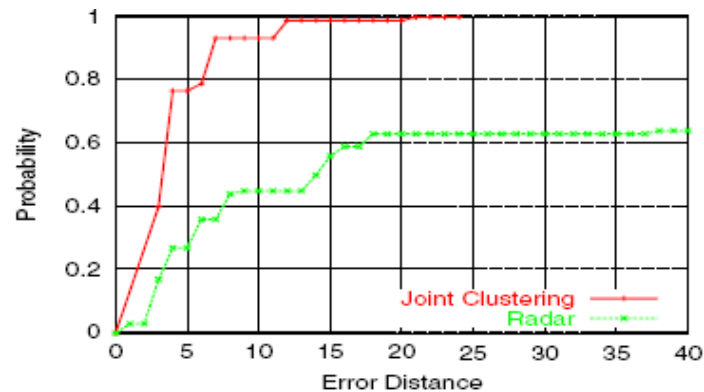


Ilustración 15. CDF (Cumulative Distribution Function) de distancia-error entre Radar, y Radar mejorado

Para intentar minimizar los efectos causados por los cambios medioambientales [25] propusieron determinar la localización del usuario en dos fases. En la primera se utiliza la forma tradicional de analizar los valores obtenidos con el patrón de valores almacenado en la fase de entrenamiento para poder identificar una localización general. La segunda fase aplica regresión logística para obtener mayor precisión. El sistema de calibración adaptativa permite reentrenar y actualizar los mapas de nivel de señal de forma dinámica para poder hacer frente a las fluctuaciones de señal.

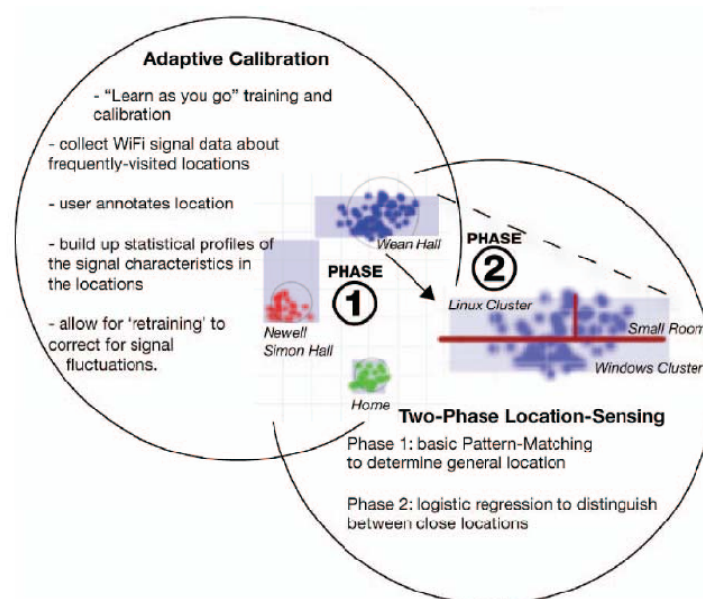


Ilustración 16. Calibración adaptativa, Aproximación en dos fases.

Una de las soluciones comerciales de localización más famosas que emplea Wi-Fi es Ekahau [26]. EPE (Ekahau Positioning Engine) se encarga de estimar la localización. Incluye diversos algoritmos y métodos patentados para calcular una localización precisa en tiempo real. Para poder funcionar correctamente EPE necesita conocer el área de cobertura de cada punto de acceso Wi-Fi y las características y patrones del entorno radioeléctrico en el que se va llevar a cabo la localización. Esta información se obtiene mediante la herramienta Ekahau Site Survey Tool.

Por otro lado los métodos basados en TOA son una alternativa para hacer frente a las restricciones que presentan las soluciones de fingerprinting en Wi-Fi, sobre todo en aspectos de precisión, estabilidad, y rapidez de despliegue. La escalabilidad de los métodos basados en TOA a veces se ve afectada al aumentar el número de usuarios por el tráfico generado en el proceso de posicionamiento.

No se ha propuesto formalmente casi ningún sistema basado en TOA, ni en la literatura científica, ni como productos privados, ya que dicha técnica presenta ciertos retos que hay que solventar. No hay que olvidar que uno de los puntos clave para poder obtener una gran precisión con TOA es que los relojes no deben tener imprecisiones, ya que un error de un microsegundo podría introducir un error del rango de trescientos metros. Existe la aproximación basada en TOA publicada por Intel [27] para obtener gran precisión para el estándar 802.11v, que requiere modificaciones en la capa física. En [28] describen el proceso completo de estimación de la localización y la arquitectura de un método Wi-Fi basado en TOA. Mediante los resultados obtenidos demuestran que el método empleado presenta una escalabilidad aceptable cuando el posicionamiento se realiza con periodos de tiempo suficientes entre las sucesivas peticiones. Un seguimiento o rastreo solo se puede realizar sin que se degrade la calidad del servicio a valores inaceptables con pocos usuarios.

3.2 Localización con GSM Y CDMA

La mayor parte del trabajo sobre el fingerprinting para móviles se ha concentrado en GSM (Global System for Mobile Communication), basándose en el RSSI (Received Signal Strength). Se trata de una tecnología para dispositivos móviles ampliamente extendida.

Otsason [29] empleó GSM para la localización en interiores. Además de usar las seis celdas con mayor señal para el fingerprinting, también incluyeron aquellas celdas con suficiente nivel como para ser detectadas. Consiguieron una precisión comparable a los sistemas basados en Wi-Fi a partir de una granularidad de 1.5 metros. La continuación del trabajo

anterior lo encontramos en [30] donde presentan las experiencias y resultados obtenidos a partir de dos casos. En el primero analizan cómo afectan el ancho de fingerprinting y la selección del canal a la hora de estimar la localización dentro de una planta. Con su sistema de localización obtuvieron precisiones dentro del rango de 1.94 a 4.07 metros. En el segundo estudio analizaron la capacidad de distinguir con la tecnología GSM en qué planta se encuentra un individuo dentro de un edificio grande con varias plantas. El sistema identificó la planta correctamente en el 60% de los casos y se quedó entre dos plantas en el 98%.

De forma similar, SkyLoc [31] emplea GSM para poder detectar donde se encuentra un móvil dentro de un edificio grande de varias plantas. El sistema está implementado en C# y fue testeado en un móvil AudioVox SMT 5600 con Windows Mobile 2003. SkyLoc está compuesto por dos componentes: una aplicación para recoger datos, PlaceLogger, y una aplicación para realizar y visualizar el fingerprinting, SkyLoc.



Ilustración 17. Componentes del sistema SkyLoc

Además de GSM, otras tecnologías para móviles también se han empleado para estimar la localización de los dispositivos. Los sistemas celulares CDMA (Code Division Multiple Access) han sido usados para conocer la posición de los móviles basándose en medidas del TOA y del TDOA, pero dichas técnicas han demostrado ser sensibles al LoS y al efecto multicamino, obteniendo precisiones bastante bajas [32].

CDMA es un sistema móvil que fue introducido por primera vez en 1995, y a día de hoy operadores CDMA comerciales proveen servicios 3G a sus clientes. Se trata de una técnica de espectro expandido en la cual todas las estaciones base de un mismo operador comparten el mismo ancho de banda espectral, y para evitar posibles interferencias las transmisiones se codifican con códigos ortogonales pseudo-aleatorios. Para que los móviles puedan comparar las estaciones base que tienen a su alrededor, estas envían señales piloto por turnos, lo que hace que la sincronización sea imprescindible. La ventaja que ofrece es

que la localización se hace sobre el hardware existente en los móviles, de esta forma se evitan los costes asociados con el despliegue de la infraestructura y se podrá obtener la localización en aquellos sitios donde haya disponibles servicios CDMA.

CILoS [33] se basa en la infraestructura para móviles CDMA existente para dar servicios de localización. El terminal móvil monitoriza la señal piloto y a través de ella puede determinar tres propiedades útiles para el fingerprinting que son el nivel de señal en dBm de la señal piloto de cada estación base, el nivel de señal de la señal piloto de la estación base dividida entre el nivel de potencia total que hay en el canal expresado en dB, y el retardo temporal que hay entre la señal piloto esperada y la recibida (esto se hace seleccionando una estación base como referencia). Esta última característica conocida como el retardo PN es el que se emplea para obtener la localización a partir del TDOA.

En los sistemas CDMA son muy frecuentes las reconfiguraciones de tamaños de celdas para adecuarse a fluctuaciones dinámicas de la carga de la red, es decir, las redes CDMA varían su potencia de transmisión para acomodarse a los cambios que haya en la red. Este fenómeno afecta a la intensidad de la señal, hace que varíe la potencia a la que transmiten las balizas, de modo que limita el funcionamiento del fingerprinting tradicional basado en RSSI. El fingerprinting requiere que las características de las señales radio no varíen en el tiempo y que cambien de una localización a otra. Los sistemas GSM emplean el nivel de señal para el fingerprinting porque la señal GSM tiene variaciones espaciales altas y variaciones temporales bajas, pero los sistemas CDMA, al cambiar el tamaño de las celdas, tal y como hemos comentado, varían la potencia de las señales dinámicamente.

Un ejemplo de localización basada en CDMA, a partir del fingerprinting del RSSI lo encontramos en [34]. El resultado obtenido no es robusto debido a los cambios de tamaños de celda mencionados.

En lugar de eso, CILoS se basa en el fingerprinting de retardos de señal, el cual no se ve afectado por los cambios de las celdas. Las torres de transmisión CDMA están sincronizadas entre ellas por medio de relojes de gran precisión, lo que posibilita construir un fingerprinting que capture la diferencia de tiempos relativa que existe entre diferentes señales que se oyen desde una ubicación y provenientes de diferentes estaciones base. El retardo de las señales CDMA no varía con el tiempo.

Los resultados obtenidos con CILoS son los que se muestran en la siguiente tabla. Para completarla realizaron diferentes experimentos en dos espacios interiores diferentes. Han comparado los resultados, con los obtenidos en los mismos escenarios con Wi-Fi y GSM. Muestran que el sistema es capaz de obtener errores medios entre 4.5 y 6.7 metros en

edificios grandes con varias plantas, y que es capaz de discernir la localización entre diferentes plantas en un 90%.

	Downtown				Suburb			
	7 th Floor		5 th Floor		5 th Floor		4 th Floor	
	50%-ile	90%-ile	50%-ile	90%-ile	50%-ile	90%-ile	50%-ile	90%-ile
fs_{pn}	4.5	18.4	4.7	21.3	6.7	23.3	6.0	19.9
fs_{ch}	6.4	20.5	8.5	25.8	8.6	21.2	9.8	19.4
$allChannels_{op1+op2}$	7.6	22.2	9.8	23.9	8.8	21.8	13.2	22.7
$allChannels_{op1}$	7.4	25.1	10.2	24.6	14.4	33.2	12.1	38.1
$oneChannel_{op1}$	10.1	40.2	13.1	32.7	15.2	36.0	12.7	38.1

Ilustración 18. Error cometido en metros en la localización entre plantas

	7 th Floor			5 th Floor		
	802.11	GSM	CDMA	802.11	GSM	CDMA
AllRadioSources	4.6	5.2	7.6	4.5	7.0	9.8
FeatureSelection	3.6	3.8	4.5	3.2	6.4	4.7

Ilustración 19. Error medio cometido en metros en la localización dentro de una planta

El sistema CILoS logra precisiones medias de 5 metros, resultados mejores que los obtenidos con el fingerprinting del RSSI. La precisión alcanzada es dependiente del fingerprinting realizado.

3.3 Localización PLP

Uno de los problemas vistos a las soluciones independientes de la infraestructura mencionados con anterioridad en este trabajo fue que para cualquier individuo no es posible controlar las características de la infraestructura subyacente y los parámetros operacionales pueden variar sin previo aviso acarreando una nueva calibración, como por ejemplo con GSM o Wi-Fi. Esto puede llegar a impulsar a los individuos a instalar su propia infraestructura en el edificio, pero el número necesario de estaciones bases para una localización efectiva puede ser indeseable.

El deseo de controlar la infraestructura empujó a [35] a investigar el sistema eléctrico para fines de localización en interiores. Además se discuten algunas de las desventajas de llevar a cabo la localización en interiores basándose en puntos de acceso inalámbricos y torres de celdas.

Proponen la alternativa de emplear las líneas residenciales eléctricas para dar servicios de localización, lo que se conoce como PLP (Power Line Positioning). Se basa en los tonos transmitidos a través del cableado eléctrico para hacer el fingerprinting de los diferentes lugares de la casa. Con PLP, la infraestructura eléctrica actúa como antena y permite

transmitir señales generadas de forma artificial.

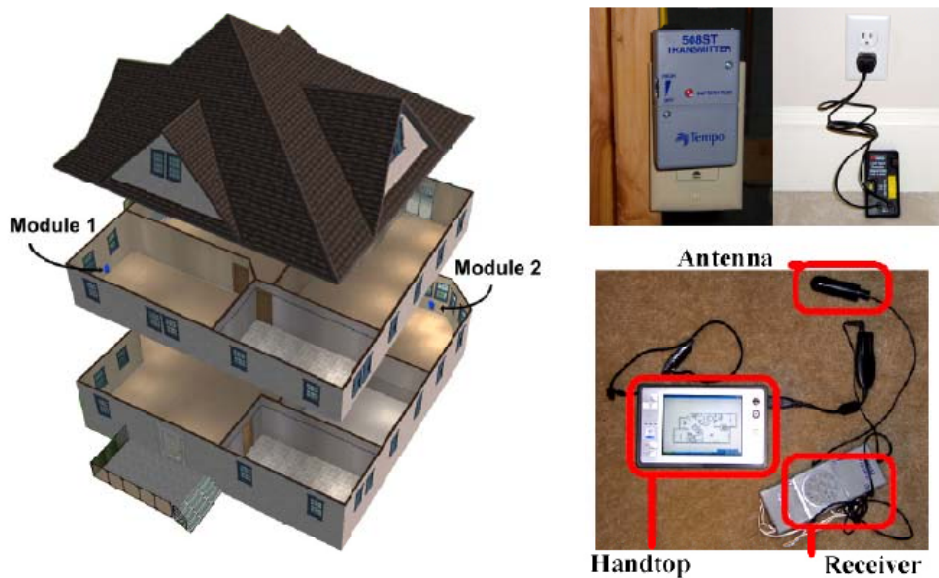


Ilustración 20. Sistema PLP

La solución requiere que se instalen dos módulos pequeños en los extremos de la casa que se encargan de inyectar una señal atenuada de baja frecuencia a través del sistema eléctrico. Los receptores o tags de posicionamiento escuchan estas señales y transmiten inalámbricamente su posición leída.

	PLP	GSM	WiFi
Output Type	symbolic	symbolic	symbolic (geometric using triangulation)
Resolution and Accuracy	3 m – 90% 1 m – 67%	20 m – 90% 2-5 m – 50%	6 m – 90% 2-3 m – 50 %
Infrastructure Requirements.	2 plug-in signal modules	Located within GSM cellular service range	3 – 4 WiFi access points
Infrastructure Control	Full	None	Partial (dependent on ownership of access points)
Cost	US\$20 for tag and US\$50 per module	US\$25 for tag	US\$25 for tag and US\$50 per access point
Spectral Requirements	10 kHz – 500 kHz	900 MHz and 1800 MHz	2.4 GHz
Update Rate	> 20 Hz	> 20 Hz	> 20 Hz
Tag power Req.	~50 mA (Pic + op-amp + antenna)	~200 mA (GSM receiver module)	~100 mA (microcontroller operated WiFi detector)
Simultaneous Tracking	Theoretically no limit	Theoretically no limit	Theoretically no limit

Ilustración 21. Comparación de PLP con otros sistemas que también emplean fingerprinting

Estas señales presentan las características de cambiar a medida que cambia su localización y además ser estables en el tiempo lo que hace que el fingerprinting pueda funcionar. El sistema requiere dos módulos transmisores instalados en el hogar y los resultados son comparables a los que se obtienen con sistemas Wi-Fi o GSM. Esto atrajo a [36] a continuar por esta misma línea e intentar solventar los problemas de este primer acercamiento a los sistemas eléctricos para dar servicios de localización.

En [36] examinan en profundidad el trabajo realizado en [35]. Presentan pruebas que muestran la inestabilidad temporal que puede sufrir PLP en ciertos entornos. Esto se debe a que en la solución inicial propusieron usar una pareja de frecuencias inyectadas de forma independiente en las líneas eléctricas situadas en puntos diferentes de la casa. Demostraron que no es posible seleccionar parejas de frecuencias capaces de garantizar la estabilidad en cualquier entorno durante largos periodos de tiempo. Esta carencia forzaría al sistema a tener que recalibrarse para poder afrontar el problema descrito anteriormente.

Hacen hincapié en un error cometido en la mayoría de las localizaciones basadas en fingerprinting. Se trata del periodo en el que se obtienen las muestras para poder localizar más adelante. Estas colecciones de datos se suelen tomar en pocas horas o como mucho en días. Ellos consideran oportuno realizar medidas temporalmente separadas, lo que les lleva a incidir en que la estabilidad temporal suele ser peor de la esperada. Para poder afrontar la problemática de las variaciones temporales en la propagación de las señales han propuesto WPLP (Wideband PowerLine Positioning) que difiere del anterior en el empleo de señales de gran ancho de banda con múltiples frecuencias.

3.4 Localización con Bluetooth

Existen soluciones de localización que realizan las estimaciones analizando las señales Bluetooth, una característica común de los dispositivos móviles. Esta tecnología se caracteriza por el bajo consumo y bajo coste de los transceptores.

La mayoría de las soluciones de localización de este tipo estiman la localización a partir de las características de la red como el RSS. El RSS Bluetooth, especificado como RSSI y LQ (Link Quality), no es una medida fiable debido a las heterogeneidades existentes en el hardware Bluetooth de los dispositivos. Esto se debe en parte a la imprecisión en la definición del RSS en el estándar Bluetooth.

El obtener el RSS Bluetooth requiere que se establezca la conectividad entre los dispositivos correspondientes, lo que implica que los usuarios deben mantenerse en modo conectado.

Un sistema de localización basado en RSS Bluetooth lo encontramos en [37].

El sistema Active Bat es un sistema de localización sofisticado que estima la localización por ultrasonidos y conectándolo a un móvil con Bluetooth puede servir para evaluar la propagación del nivel de señal Bluetooth permitiendo realizar un amplio estudio de medidas en un edificio, sacar algoritmos que permitan corregir el error de localización cometido, y visualizar y analizar los datos para deducir las propiedades de estimación de localización de los protocolos inalámbricos [7].

El intentar estimar una localización de precisión con Bluetooth resulta una tarea difícil porque a diferencia de Wi-Fi, medir el nivel de señal Bluetooth requiere el establecimiento de una conexión Bluetooth activa. Muchos chipsets Bluetooth, especialmente los que se insertan en los teléfonos móviles, soportan una única conexión Bluetooth cada vez lo que dificulta la triangulación. Por otro lado, los dispositivos Bluetooth emplean algoritmos de salto de frecuencia lo que dificulta la labor de inferir la localización.



Ilustración 22. Dispositivo Active Bat conectado a un móvil con Bluetooth para correlar medidas de RSS con su localización.

Tras realizar muchísimas medidas afirman que Bluetooth no es apropiado para dar servicios de localización precisos de baja latencia debido a que los chipset obtienen medias de niveles de señal y lo actualizan con poca frecuencia, la alta variabilidad del nivel de señal en distancias largas y la incapacidad de los móviles de mantener más de una conexión Bluetooth simultanea. Los data-sets que se obtuvieron están disponibles para otros investigadores que las requieran.

Otra forma de realizar la localización con Bluetooth es a partir del RR (Response Rate) de los mensajes Bluetooth [38]. El RR es una de las características de la red que no se ha explorado debidamente para ser usado en el fingerprinting. Se define como la frecuencia de

medidas recibidas en el tiempo desde una estación base dada.

Se trata de un método de fingerprinting basado en RR donde todas las localizaciones se asocian a IRRs (Inquiry RRs) de sensores Bluetooth. Una vez que se obtiene el IRR de un dispositivo a localizar el sistema emplea medidas de entropía relativa para estimar la localización. La solución planteada obtiene localizaciones a nivel de habitación lo que puede ser suficiente para gran variedad de aplicaciones. Demostraron que la solución funciona bien cuando existe una densidad alta de sensores Bluetooth, lo que hace que sea adecuado para edificios de varias plantas donde las celdas Bluetooth se solapan. Se trata de una solución que no requiere que los dispositivos se mantengan conectados todo el rato, sino que es suficiente con que estén en modo visible.

4 CONCLUSIÓN

Aunque la visión de computación ubicua de Marc Weiser [39] esta finalmente empezando a ser una realidad, una pieza tecnológica clave que dificulta la aparición de ciertas aplicaciones es la existencia de un sistema de localización ubicuo.

El conocimiento de la posición actual del usuario o de un dispositivo es una información muy útil para diversas aplicaciones. Por este motivo se ha realizado una gran labor de investigación para poder determinar la localización de los dispositivos en interiores. Incluso se han incorporado al mercado algunos sistemas comerciales para abordar esta necesidad como Ekahau o UbiSense, que aunque son muy precisos su coste de instalación y mantenimiento sigue siendo alto.

Una clase de sistemas de localización en interiores que han demostrado ser capaces de obtener buenas precisiones son los sistemas que emplean hardware especial como por ejemplo infrarrojos, RFID o ultrasonidos. Pero aunque las estimaciones de localización son muy precisas estos sistemas requieren la instalación del hardware específico.

Otra aproximación es el empleo de medidas empíricas de las señales radio emitidas por el hardware existente en la infraestructura. Empleando esta aproximación de fingerprinting se han propuesto sistemas basados en señales GSM, Wi-Fi, Bluetooth. La mayoría de estos sistemas requieren una fase de entrenamiento que puede consumir mucho tiempo y además hay que repetirlo cuando hay variaciones en el entorno.

Se espera que los servicios basados en localización (LBS), que son capaces de proveer servicios personalizados a los usuarios a partir de la posición en tiempo real recogida por las tecnologías de localización, experimenten un gran impulso en las redes de comunicaciones de próxima generación. Muchas tecnologías como Wi-Fi, Bluetooth, sensores y RFID están sobresaliendo como tecnologías a elegir para las LBS. Cada tecnología tiene sus propias ventajas y desventajas y se adecua de forma diferente a los diversos usos que se le quiera dar.

En este trabajo se puede ver la visión general de las tecnologías de localización existentes, junto con las experiencias más relevantes llevadas a cabo en los últimos años. Debido a la poca madurez y reciente aparición de la localización con tecnología ZigBee se ha dedicado un trabajo a parte para desarrollar este punto.