

# Sistema de Localización GPS y WiFi sobre PDA aplicado a un Sistema de Evacuación de Emergencia

F. Herranz, M. Ocaña, L.M. Bergasa, M.A. Sotelo, R. Barea, E. López, N. Hernández  
Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá,  
Escuela Politécnica, Alcalá de Henares, Madrid (España)

Email: {fernando.herranz, mocana, bergasa, sotelo, barea, elena, noelia.hernandez,}@depeca.uah.es

**Abstract**—En este trabajo se presenta un sistema de localización sobre PDA tanto para interiores como para exteriores basado en la tecnología WiFi (Wireless Fidelity, Fidelidad Inalámbrica) y GPS (Global Positioning System, Sistema de Posicionamiento Global) con la finalidad de facilitar la evacuación de edificios en caso de emergencia. La ventaja del sistema presentado, frente a otros sistemas de localización tradicionales, es que no es necesario añadir un hardware adicional al entorno, ya que se utiliza la infraestructura de comunicaciones WiFi existente para la localización en interiores y la infraestructura de satélites GPS para la localización en exteriores. Los métodos propuestos han sido probados en un entorno extenso y en condiciones reales del mismo. Se presentan los resultados y conclusiones obtenidos a lo largo del trabajo.

## I. INTRODUCCIÓN

Para muchas aplicaciones es un requisito imprescindible conocer la posición del usuario, bien por un dispositivo que lleva el usuario o bien por el entorno en el que se encuentra. Tras conocer la posición es posible interactuar con el mismo, guiándole a través del entorno o realizando diversas tareas dependiendo de la zona en la que se encuentre. La localización basada en cualquier tecnología está sufriendo un importante crecimiento en los últimos años, basta con ver como los navegadores GPS para automóviles han pasado a formar parte de nuestra vida cotidiana, pero este ejemplo sólo es una pequeña muestra de la importancia de la localización y de como se esta extendiendo esta técnica.

La importancia de la localización reside en que hay muchas tareas que sólo se pueden realizar si se ha estimado la localización de un dispositivo con anterioridad, no importa que el resto de pasos posteriores a la localización se ejecuten a la perfección si ésta no ha sido llevada a cabo, ya que no serían de utilidad.

Por todo lo anterior la localización se esta aplicando en numerosos campos y entornos, así existen proyectos para asistencia personal [1], robótica [2], etc.

Actualmente el medio más extendido para realizar la localización de un dispositivo es el GPS [3] que puede llevar a cabo la localización con un error de 2 a 100 metros, pero este sistema tiene sus limitaciones cuando la localización se intenta realizar dentro de edificios, o en ciudades.

Debido a las limitaciones en interiores del sistema GPS en interiores se hace necesario el empleo de un sistema complementario. Existen diferentes propuestas de sistemas de localización en interiores, tales como basados en infrarrojos

[4], visión [5], sensores de ultrasonidos [6], láser [7] y sistemas de Radio-Frecuencia (RF) [8]. Actualmente, se está optando por utilizar la tecnología Wi-Fi para realizar la localización en interiores empleando diferentes algoritmos.

La ventaja de la utilización de tecnologías como el GPS o las redes WiFi, en localización, frente a otras, es la extensión que tienen ambas redes. Por ejemplo, la ciudad de San Francisco ofrece a sus ciudadanos acceso WiFi gratuito en toda la ciudad. Esto unido a que el acceso a esta red es gratuito justifica el uso de la localización con WiFi en interiores como sistema complementario al GPS.

Tanto para interiores como para exteriores existen diferentes formas de plantear la localización de un objeto dependiendo de si es conocida la localización inicial de dicho objeto, o de si ésta es desconocida. La primera alternativa es conocida como localización local [9], consiste en estimar la siguiente posición a través de la posición actual del objeto y los movimientos que realiza éste. La segunda opción se denomina localización global [1], y consiste en estimar la localización absoluta del objeto sin tener conocimientos previos de la misma.

Los sistemas de localización WiFi emplean la infraestructura de red 802.11b/g para determinar la posición global de los dispositivos sin necesidad de emplear hardware adicional. Esta característica los convierte en sistemas idóneos para trabajar en entornos interiores donde otras técnicas más tradicionales no ofrecen una localización aceptable. Para estimar la posición de un dispositivo se mide el nivel de señal recibido en la interfaz WiFi desde cada uno de los APs (Access Point, Puntos de Acceso) que forman la estructura de la red WLAN. Esta medida es función de la distancia y de los obstáculos que se encuentran entre los APs y el dispositivo.

En este trabajo se desarrolla una aplicación sobre una PDA que permite al usuario localizar su posición tanto entornos exteriores como interiores, consiguiendo un posicionamiento global constante, lo que permite posteriormente facilitar la evacuación de edificios en casos de emergencia. La aplicación utiliza la tecnología WiFi para localizar al usuario en interiores mostrando su posición en un mapa detallado del edificio en el que se encuentra, mientras que para localizar al usuario en exteriores se utiliza la tecnología GPS, mostrando su posición en un mapa global del entorno.

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera: el apartado 2 muestra una descripción del sistema GPS, el apartado 3 describe el procedimiento de medida de la señal

WiFi, el apartado 4 muestra el desarrollo del sistema de localización, el apartado 5 describe el sistema de evacuación, el apartado 6 proporciona una descripción del entorno de trabajo, la implementación del sistema y los resultados obtenidos en este trabajo. Finalmente en el apartado 7 se muestran las conclusiones y las futuras líneas.

## II. EL SISTEMA GPS

Cuando se habla de GPS [10] no se habla únicamente de un receptor capaz de dar una posición, velocidad y hora, sino de un todo un sistema que comienza en una red de satélites y termina en el receptor. Este sistema se puede dividir en tres elementos, denominados segmentos y que comprenden los satélites, las estaciones de control y finalmente el receptor.

Con estos elementos es posible realizar la localización de un dispositivo, para ello el sistema GPS se basa en el método de triangulación de esferas mediante los siguientes pasos:

1. La situación de los satélites es conocida por el receptor con base en las efemérides (5 parámetros orbitales Keplerianos), parámetros que son transmitidos por los propios satélites. La colección de efemérides de toda la constelación se completa cada 12 min y se guarda en el receptor GPS.
2. El receptor GPS mide su distancia de los satélites, y usa esa información para calcular su posición. Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar al receptor. Conocido ese tiempo y basándose en el hecho de que la señal viaja a la velocidad de la luz (salvo algunas correcciones que se aplican), se puede calcular la distancia entre el receptor y el satélite.
3. Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.
4. Obteniendo información de dos satélites se nos indica que el receptor se encuentra sobre la circunferencia que resulta cuando se intersectan las dos esferas.
5. Si se adquiere la misma información de un tercer satélite, la nueva esfera sólo corta la circunferencia anterior en dos puntos. Uno de ellos se puede descartar porque ofrece una posición que se encuentra fuera de la esfera terrestre. De esta manera ya se tiene la posición en 3-D. Sin embargo, dado que el reloj que incorporan los receptores GPS no está sincronizado con los relojes atómicos de los satélites GPS, los dos puntos determinados no son precisos.
6. Teniendo información de un cuarto satélite, se elimina el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites. Y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición 3-D exacta (latitud, longitud y altitud). Al no estar sincronizados los relojes entre el receptor y los satélites, la intersección de las cuatro esferas con centro en estos satélites es un pequeño volumen en vez de ser un punto. La corrección consiste en ajustar la hora del receptor de tal forma que este volumen se transforme en un punto.

## III. MEDIDA DE LA SEÑAL WiFi

En esta sección se describe el proceso de la medida de la señal WiFi, para poder comprender el sistema de localización desarrollado. Teniendo en cuenta que la tecnología WiFi trabaja a una frecuencia de 2.4 GHz, la frecuencia de resonancia del agua, y que la medida se ve afectada por una gran cantidad de variaciones de distinto tipo. Es importante tener en cuenta a la hora de planificar un sistema de localización dichas variaciones, ya que éstas pueden hacer que el sistema de localización sea un éxito o un fracaso. En [11] se estudian los principales fenómenos que afectan a la señal WiFi:

- Variaciones temporales: Se producen cuando el dispositivo se encuentra fijo en un sitio durante un largo periodo de tiempo, ya que la potencia de la señal varía a lo largo del tiempo.
- Variaciones de gran escala: Son aquellas que sufren el nivel de señal recibido a medida que el receptor se aleja del emisor, debido a la atenuación de la señal RF en función de la distancia.
- Variaciones de pequeña escala: Estas variaciones ocurren cuando el dispositivo se mueve en distancias muy pequeñas, del orden de la longitud de onda (12.5 cm a 2.4 GHz) y son producidas por los diferentes caminos por los que el dispositivo recibe la señal, el denominado efecto multicamino.

El estudio de estos fenómenos es de gran importancia de cara a desarrollar el sistema de localización ya que de forma general el sistema utiliza la potencia de la señal de los APs de su alrededor, la cual se ve afectada por los fenómenos descritos anteriormente.

Las variaciones de gran escala son las variaciones de las que se aprovecha el sistema de localización desarrollado para estimar la posición. Si el entorno se encuentra discretizado de forma gruesa en las mínimas celdas necesarias para permitir la localización, y éstas son asignadas a puntos importantes de un edificio (entradas, salidas, escaleras, pasillos, etc.) para que las personas sean capaces de orientarse dentro del edificio. Las variaciones de gran escala permitirán estimar en que celda se encuentra el dispositivo mediante diversos algoritmos.

Las variaciones de pequeña escala afectan al sistema de forma que introducen un error en la estimación de la posición del usuario. Este error se debe a que el dispositivo es transportado por una persona, que contiene un alto porcentaje de agua. Esto hace variar la potencia de señal medida por el dispositivo, lo que dificulta estimar en que celda se encuentra el usuario.

Para realizar el estudio de cada una de las variaciones enunciadas en este apartado se toman una serie de muestras de cada uno de los APs que se encuentran en el entorno del dispositivo, de forma simultánea y a la máxima frecuencia (4Hz). Una vez adquiridas las  $N_s$  muestras, los dos principales parámetros que se estudian son el nivel medio (Ecuación 1) y la varianza de las mismas (Ecuación 2).

$$\overline{RSL_{APu}} = \frac{1}{N_s} \sum_{N_s} RSL_{APu}, \forall u \in U \quad (1)$$

$$\sigma_{APu} = \sqrt{\frac{1}{N_s - 1} \cdot \sum_{N_s} (RSL_{APu} - \overline{RSL_{APu}})^2}, \forall u \in U \quad (2)$$

Donde  $RSL_{APu}$  es el nivel de señal recibido (Received Signal Level, "Nivel de Señal Recibido") en la interfaz WiFi para el punto de acceso  $APu$  del conjunto de  $U$  puntos de acceso.

#### IV. DESARROLLO DEL SISTEMA

En esta sección se explica el desarrollo del sistema, sus características generales, y la funcionalidad del mismo. En la Figura 1, se puede observar el aspecto físico del dispositivo con el que se trabaja, una PDA con interfaces de señal WiFi y GPS. En ella se recopilan datos de ambas redes, se estima la posición en la que se encuentra el dispositivo, se planifica una ruta eficiente para llegar a un destino concreto, y se muestra por pantalla para que el usuario la interprete.



Fig. 1. Visión global del sistema

El diseño del sistema se basa principalmente en leer información tanto de la interfaz GPS como de la WiFi y tratarla de tal forma que el sistema sea capaz de estimar la posición del usuario en todo momento.

El sistema de localización GPS se encarga de leer sentencias de la interfaz GPS a través del puerto serie en el que está configurado. Dichas sentencias cumplen el protocolo NMEA-0183. Dentro de dicho protocolo son de gran importancia las sentencias GPGGA ya que aportan información acerca de la longitud, latitud, y la altura de la posición del dispositivo, y del número de satélites. Una vez que se ha adquirido esta información el sistema de localización GPS la debe adaptar al sistema de coordenadas de los mapas utilizados para mostrar la posición del dispositivo.

El diseño del sistema de localización WiFi se divide en tres etapas diferenciadas: una etapa previa de generación del mapa del entorno, en la que se tomarán muestras de los APs en ciertas posiciones de interés, una segunda etapa que consiste en la adquisición de muestras de los APs de una determinada posición para proceder a localizarla, y una tercera etapa en la que se compara la información de dicha posición con la del mapa del entorno para estimar cuál es la posición del dispositivo con un algoritmo de localización concreto.

Para adquirir información de una posición concreta se toman 60 muestras, como se justifica en [2], de los APs visibles en esa zona y se procesan esos datos según el método de localización elegido. Una vez que se han obtenido y procesado las muestras se comparan con el mapa radiológico del método de localización utilizado para obtener la posición en la que se encuentra el usuario y la fiabilidad de ésta. Dependiendo del método que se utilice para procesar la información, el mapa radiológico del entorno varía conteniendo más o menos información.

Para el sistema de localización WiFi se han utilizado tres métodos de localización diferentes: vecino cercano, correlación cruzada de histogramas, y una modificación del método del vecino cercano que se propone en este trabajo.

##### ■ Vecino cercano:

El mapa del entorno almacena, para cada posición, un vector con la media de las medidas tomadas durante un cierto periodo de tiempo de cada AP visible en esa posición. A la hora de posicionar al dispositivo se procede calculando la media de la señal de cada AP visible en ese punto, durante el mismo periodo de tiempo usado en la fase de entrenamiento. Finalmente se calcula la distancia Euclídea de ese punto con todas las posiciones existentes en el mapa, aquella posición que tenga la menor distancia Euclídea es la posición estimada para el dispositivo.

$$d_i = \sqrt{(Ap_1 - Ap_{1Patron})^2 + \dots + (Ap_U - Ap_{UPatron})^2} \quad (3)$$

- $d_i$ : Representa la distancia Euclídea de un punto 'i' concreto en el que se encuentre el dispositivo a localizar a las posiciones del mapa radiológico. Estas distancias serán las que posteriormente se compararán para determinar la posición.
- $Ap_i$ : Representa la potencia de la señal medida de un AP 'i' en el instante en el que se va a tener lugar la localización.
- $Ap_{iPatron}$ : Representa la potencia de la señal medida de un AP 'i' durante la fase de entrenamiento, cuando se genera el mapa radiológico.
- $U$ : Número de APs.

##### ■ Correlación cruzada de histogramas:

Este método se basa en almacenar en el mapa del entorno un vector de cada posición con histogramas de cada AP visible. Posteriormente durante la localización se genera un vector con los histogramas de los APs de esa posición y se calcula la correlación cruzada de dicho vector con cada vector del mapa de patrones. La posición que tenga la correlación cruzada más alta es en la que se encuentra el dispositivo.

$$r_i = \frac{\sqrt{\sum_U [(x(i) - mx) * (y(i) - my)]}}{\sqrt{\sum_U (x(i) - mx)^2} \sqrt{\sum_i (y(i) - my)^2}} \quad (4)$$

- $r_i$ : Representa el coeficiente de correlación. Cuanto más cercano esté a 1, más se parecerán los dos histogramas.

- $x(i)$ : Representa un valor del histograma de la muestra.
- $y(i)$ : Representa un valor del histograma de un punto concreto del mapa radiológico.
- $m_x, m_y$ : Representan las medias de ambos histogramas.

- Vecino cercano modificado:

Sigue la filosofía del método cercano modificado, por lo que procesa muy poca información para estimar la posición del usuario.

Este método que proponemos introduce una mejora que permite aumentar la efectividad del sistema al estimar la posición del dispositivo.

Dicha mejora se debe a que únicamente se calcula la distancia Euclídea entre la posición en la que se encuentra el dispositivo y todas aquellas posiciones del mapa radiológico que tengan un mínimo de APs comunes a dicha posición.

Esto hace que se restrinja la estimación de la posición a un grupo de posiciones que se encuentran cerca de la posición del dispositivo, descartando todas aquellas posiciones que tienen un número de APs comunes a dicha posición muy pequeño, que en ocasiones confunden al sistema por su bajo número de APs.

Una vez que el sistema a seleccionado el conjunto de posiciones idóneo, se procede a calcular la distancia Euclídea de ese conjunto de posiciones con la posición de dispositivo, y se selecciona la posición con la distancia Euclídea más pequeña.

## V. SISTEMA DE EVACUACIÓN

La aplicación final del sistema de localización es conocer la posición del usuario para facilitar la evacuación el edificio en caso de que exista una emergencia.

El sistema de evacuación de emergencia guía al usuario por el entorno hacia la salida más próxima cuando tenga lugar una alarma. El sistema diseñado consta de los siguientes elementos, tal y como se muestra en la Figura 2:

- Un servidor de alarmas que en caso de que suceda alguna emergencia envía una señal de alarma a todos los dispositivos que se encuentre dentro de su radio de acción.
- Los clientes. Son todos los dispositivos que llevan incorporados el sistema de localización y se encuentra conectados a la misma red en la que se encuentra el servidor. Una vez que se ha recibido la señal de alarma, los clientes se encargan de, a partir de la posición suministrada por el sistema de localización WiFi, buscar la salida más cercana desde dicha posición. La búsqueda de la salida más cercana se realiza mediante el cálculo de la distancia Euclídea de la posición del usuario con todas las posibles salidas, seleccionado la distancia menor de todas estas.

El sistema de evacuación de emergencia tiene la limitación de que el cliente necesita estar conectado a una red WiFi

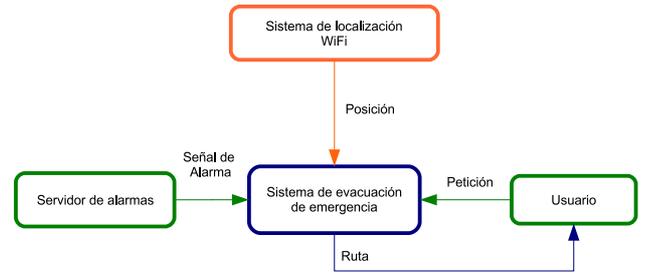


Fig. 2. Sistema de evacuación.

para poder recibir la señal de alarma del servidor, lo que supone un problema cuando no se conocen las claves de acceso a las redes inalámbricas, por lo que se ha optado a la vez por permitir al usuario de la aplicación lanzar el proceso de evacuación de emergencia de forma offline, en el propio dispositivo y sin necesidad de recibir ninguna señal de alarma, en caso de que perciba que existe una emergencia en el entorno.

## VI. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

En este apartado se describe el entorno de pruebas utilizado para el sistema de localización presentado en este trabajo, algunas de las características de implementación del sistema y los resultados de los experimentos propuestos para validar el sistema de localización.

### VI-A. Entorno de pruebas

El entorno de pruebas ha sido ubicado en la Escuela Politécnica de la Universidad de Alcalá, concretamente en la segunda y tercera planta del edificio. Se debe tener en cuenta que las pruebas del sistema de localización WiFi se han realizado mientras en el entorno había personas, por lo que se trata de un entorno muy cambiante. La configuración de una de las plantas del entorno se muestra en la Figura 3, también se muestra cuales son las posiciones del mapa radiológico con el que se ha creado el patrón. El entorno consta de 4 zonas diferenciadas por colores, cada zona tiene varias redes WiFi comunes y varias propias.

### VI-B. Implementación

Con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento del sistema de localización propuesto en este trabajo se ha empleado un teléfono inteligente, que es la suma de una PDA y un teléfono, que posee tanto una interfaz Wifi como una interfaz GPS, el dispositivo utilizado ha sido un Hp Ipaq hw6915 con la siguiente configuración: sistema operativo Microsoft Windows Mobile 5, herramientas "Herecast" desarrolladas por Mark Paciga [12], para obtener medidas simultáneas de la señal WiFi respecto de todos los puntos de acceso.

En la Figura 1 se muestra un esquema simplificado de la implementación del sistema. En esta figura se pueden destacar los APs, los satélites y el teléfono inteligente donde se implementa el sistema de localización. Dentro de los APs se destaca sus dos funcionalidades:

- Establecer las comunicaciones dentro de la red inalámbrica.
- Representar un punto de referencia para el sistema de localización.

En el teléfono se muestran las diferentes capas de aplicación empleadas para obtener el sistema de localización planteado:

- En primer lugar nos encontramos la capa de la interfaz HW que se emplea como interfaz de comunicaciones y como medidor del nivel de señal WiFi recibido y de la adquisición de la información de la señal GPS.
- A continuación de la interfaz HW se encuentra la capa de cálculo, la cual se utiliza para obtener las medidas del nivel de señal, y los valores de la media y varianza de la señal, y la capa de tratamiento de la información del GPS.
- La capa de localización se encarga de estimar la posición del usuario tanto con la información de la WiFi como con la del GPS.
- La aplicación principal muestra los resultados de las etapas de detección y localización.

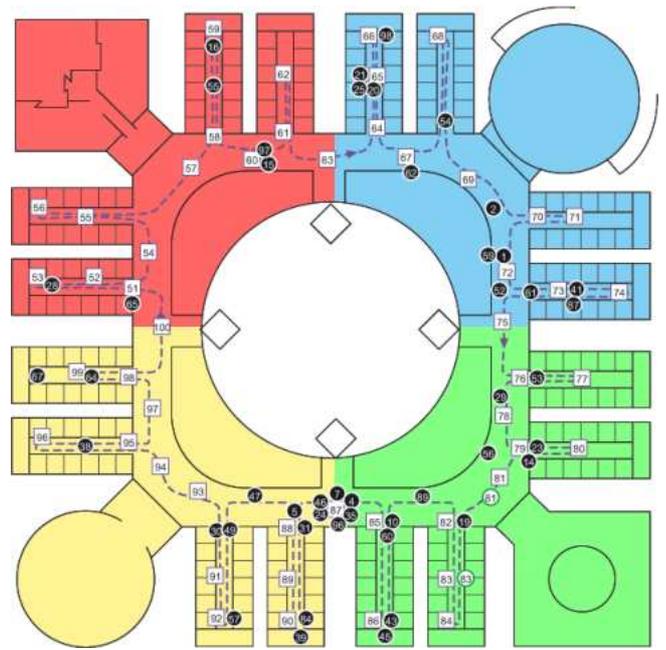


Fig. 3. Resultados del vecino cercano.

### VI-C. Resultados

En esta sección se muestran los resultados del trabajo, para ello se van a mostrar los resultados del sistema de localización WiFi. Se han realizado pruebas con los tres métodos de localización WiFi descritos en IV, las Figuras 4 y 3 muestran una parte de los resultados de las pruebas. En ambas Figuras se muestra la ruta que se ha seguido para realizar las pruebas en línea discontinua, siempre la misma para todas las pruebas, unos cuadrados blancos que representan la posición real del usuario, y unos círculos con fondo blanco o negro que indican si la estimación de la posición ha sido acertada o no, respectivamente, y que posición se ha estimado.

Los resultados de los tres métodos son los siguientes:

- Vecino cercano: Para este método se ha obtenido un porcentaje de error del 90%. Además el sistema, en la mayoría de los casos, estima una posición que se encuentra en el otro extremo del edificio, de la posición real, como posición del usuario.
- Vecino cercano modificado: Para este método se han realizado varias pruebas, descartando posiciones con un número de APs comunes a la posición del usuario inferior a un cierto porcentaje respecto al número máximo de APs comunes entre la posición del dispositivo y las del mapa radiológico. Utilizando un porcentaje del 90% el error baja al 33%, con un porcentaje del 70% se consigue un reducir el error al 19%, y con un porcentaje del 80% el error se ve reducido al 9% siendo un error muy aceptable para el sistema. Además cuando la estimación de la posición es errónea el sistema suele equivocarse con una posición muy cercana a la posición del usuario, por lo que éste puede orientarse de todas formas.
- Correlación cruzada de histogramas: Para la correlación cruzada de histogramas el porcentaje de error es del 70%, es un porcentaje bastante alto ya que con este método se

pueden conseguir mejores resultados en un entorno más estático que en el que se han realizado las pruebas [2].

Los resultados del sistema de evacuación consiguen un porcentaje de acierto del 100% en la elección del camino más corto y rápido, desde cualquier posición, para evacuar el edificio. Esto es así porque siempre se envía al usuario hacia las salidas que se encuentran entre dos zonas siendo éstas las rutas más rápida de evacuación.

Para el sistema de localización GPS se obtiene un error que oscila entre 3 y 12 metros respecto a la posición del usuario para un número de satélites aceptables (8 satélites), tal y como se muestra en la Figura 5, en la que se muestra una descripción del error para una ruta dada, y de la que se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Al principio de la ruta el error es más grande que posteriormente, y varía arbitrariamente, esto se debe a que la interfaz GPS no observa los suficientes satélites. Según se avanza en la ruta el error comienza a disminuir a medida que crece el número de satélites.
- Cuando se llega al fin de la ruta el error ha disminuido considerablemente pasando de los 11,89 metros de error máximo a los 4,4 metros en ese punto, y con un error mínimo de 3,92, siendo un error muy aceptable, tal y como se indica en [10].

### VII. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La aplicación desarrollada permite localizar en interiores y exteriores, con un error aceptable del 9% para la tecnología WiFi y con un error de 4 metros para la tecnología GPS.

Además el sistema es capaz de dirigir, con gran rapidez, al usuario hacia distintos puntos de interés, entre los que

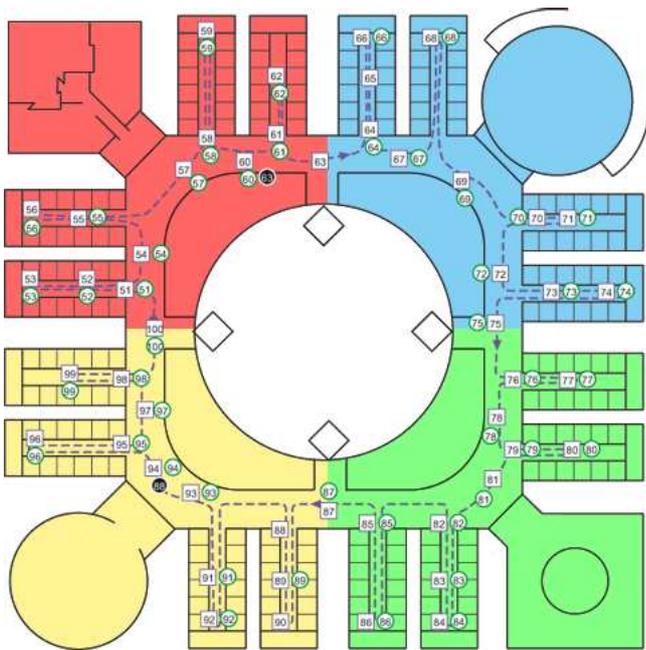


Fig. 4. Resultados del vecino cercano modificado.

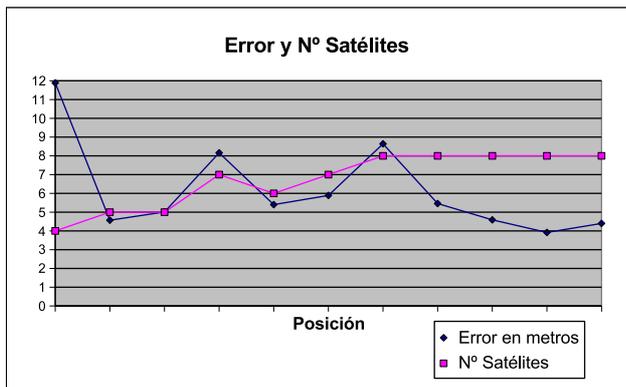


Fig. 5. Error del GPS y Nº de satélites

desatacan las salidas más cercanas en caso de que exista una emergencia.

Para el sistema de localización WiFi se ha desarrollado una modificación del método del vecino cercano que supone una disminución importante del error, y se consigue de una manera sencilla y sin un aumento considerable del tiempo de computo.

En primer lugar el error observado en la localización mediante WiFi podría reducirse, mediante el uso de métodos probabilísticos, como la teoría de Bayes.

Se debe evitar que el proceso de localización sea bajo demanda, lo que supone que la interfaz WiFi tiene que ser capaz de suministrar información a una velocidad más elevada. Para que se den estas condiciones es necesario que el hardware avance tecnológicamente.

Una característica a mejorar es la forma en la que se modela el entorno en la localización en interiores, ya que el entorno se ha discretizado en posiciones pero esto es sólo una

aproximación a la realidad. El entorno se debe representar de forma continua, de esta forma el error se podría medir en metros, haciendo que el sistema sea más preciso.

A la vez se podría utilizar un GPS diferencial para disminuir el error de la localización mediante esta tecnología.

Otra mejora que se podría realizar es la de añadirle voz al sistema de evacuación de emergencia, ya que de esa forma se podría utilizar para evacuar a personas invidentes.

## VIII. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al proyecto S-0505/DPI/000176 (Proyecto Robocity2030) del Departamento de Ciencia de la Comunidad de Madrid, el proyecto TRA2005-08529-C02-01 (Proyecto MOVICON) del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCyT) y el proyecto CCG07-UAH/DPI-1736 (Proyecto SLAM-MULEX) de la CAM-UAH.

## REFERENCES

- [1] E. Lopez, R. Barea, L. Bergasa, and M. Escudero, "A human-robot cooperative learning system for easy installation of assistant robots in new working environments," *Journal of Intelligent and Robotic System*, vol. 40, no. 3, pp. 233–265, July 2004.
- [2] M. Ocaña, "Sistema de localización global wifi aplicado a la navegación de un robot semiautónomo," Master's thesis, Universidad de Alcalá, 2005.
- [3] P. Enge and P. Misra, "Special issue on gps: The global positioning system," in *Proc. of the IEEE*, vol. 87, no. 1, 1999, pp. 3–172.
- [4] R. Want, A. Hopper, V. Falco, and J. Gibbons, "The active badge location system," *ACM Transactions on Information Systems*, vol. 10, pp. 91–102, Jan. 1992.
- [5] J. Krumm, S. Harris, B. Meyers, B. Brumitt, M. Hale, and S. Shafer, "Multi-camera multi-person tracking for easy living," in *Proc. of 3rd IEEE International Workshop on Visual Surveillance*, 2002, pp. 3–10.
- [6] N. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The cricket location support system," in *Proc. of the 6th ACM MobiCom*, 2002, pp. 155–164.
- [7] R. Barber, M. Mata, M. Boada, J. Armingol, and M. Salichs, "A perception system based on laser information for mobile robot topologic navigation," in *Proc. of 28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2002, pp. 2779–2784.
- [8] P. Bahl and V. Padmanabhan, "Radar: A, in-building rf-based user location and tracking system," in *Proc. of the IEEE Infocom*, 2000, pp. 775–784.
- [9] B. Yamauchi, A. C. Schultz, and W. Adams, "Mobile robot exploration and map-building with continuous localization," in *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Aug. 1998, pp. 3715–3720.
- [10] D. Pellón, "Localización gps y wifi sobre pda," Master's thesis, Universidad de Alcalá, 2004.
- [11] M. Youssef and A. Agrawala, "Small-scale compensation for wlan location determination systems," in *Proc. of the 2003 ACM workshop on wireless security*, 2003, pp. 11–20.
- [12] M. Paciga, "Herecast: An open infrastructure for localitation-based services using wi-fi," Master's thesis, University of Western Ontario, 2004. [Online]. Available: <http://www.herecast.com>