

Sistema de localización de personas basado en medida de la señal WiFi

Manuel Ocaña, Luis Miguel Bergasa, Miguel Ángel Sotelo, Pedro Revenga, Ramón Flores
Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá,
Escuela Politécnica, Alcalá de Henares, Madrid (España)
Email: {mocana,bergasa,sotelo,revenga,rflores}@depeca.uah.es

Abstract—En este trabajo se presenta un sistema de localización de personas basado en medida de la señal WiFi (Wireless-Fidelity, "Fidelidad Inalámbrica"). Los actuales sistemas de localización basados en medida de la señal WiFi se aplican principalmente en la localización de robots en interiores en base a la medida de señal de su interfaz de comunicaciones y las medidas de otros sensores adicionales. La ventaja del sistema presentado en este trabajo es que no es necesario añadir un hardware (HW) adicional a las personas que se pretende localizar, ni tampoco en el entorno, ya que se utiliza la infraestructura de comunicaciones WiFi existente. Se emplea un método sistema probabilístico basado en un Modelo Oculto de Markov o HMM (Hidden Markov Model) para determinar la ubicación de las personas en el entorno. Además se realiza un estudio de la medida de la señal WiFi en interiores con el objetivo de extraer las conclusiones necesarias para el diseño del sistema. El método propuesto ha sido probado en un entorno y con unas condiciones reales del mismo. Se presentan los resultados y conclusiones obtenidos en el trabajo.

I. INTRODUCCIÓN

El boom de las redes inalámbricas durante los últimos años está propiciando el crecimiento de numerosas herramientas para manejar los dispositivos y aplicaciones emergentes. Estas redes se están convirtiendo en elementos críticos dentro de la infraestructura de red disponibles en la mayoría de los edificios públicos (universidades, aeropuertos, estaciones de tren, tribunales, hospitales, etc.), edificios comerciales (café, restaurantes, cines, centros comerciales, etc.) e incluso en las casas particulares. Además en los hogares, el empleo de estas redes inalámbricas favorece la movilidad para ejecutar múltiples tareas en lo que se conoce como Casas Inteligentes. Existen diferentes proyectos WiFi en desarrollo en ciudades tales como París, Barcelona, etc.

El reciente interés en las aplicaciones de estimación de la posición dentro de una red inalámbrica y la demanda creciente de tales sistemas propician que los investigadores lo apliquen a uno de los problemas fundamentales que aparecen en el campo de la robótica como es el de la localización. La determinación de la pose (posición y orientación) de un robot mediante un sensor físico no es un problema trivial y a menudo se refiere a él como "el principal problema a resolver dentro de los robots con capacidades autónomas" [1]. Existen diferentes propuestas de sistemas de localización en interiores, tales como basados en infrarrojos [2], visión [3], sensores de ultrasonidos [4], láser [5] y sistemas de Radio-Frecuencia (RF) [6].

Muchas plataformas robóticas emplean redes inalámbricas para comunicarse con recursos de computación, interfaces hombre-máquina e incluso con otros robots. Debido a la disminución de los costes de dichas redes, gran cantidad de robots son equipados con interfaces WiFi 802.11b/g. En muchas aplicaciones de localización se emplean sensores láser de elevado coste frente al coste computacional que supone el procesamiento de imagen del sensor de visión. En otros casos, se emplea el sensor WiFi tanto para realizar la localización como para establecer las comunicaciones, con lo que se evita el empleo de dichos sensores además de la modificación del entorno.

Los sistemas de localización WiFi emplean la infraestructura de red 802.11b/g para determinar la posición de los dispositivos sin necesidad de emplear hardware adicional. Esta característica los convierte en sistemas idóneos para trabajar en entornos interiores donde técnicas tradicionales, como el Sistema de Posicionamiento Global GPS (Global Positioning System) [7], no son útiles. Para estimar la posición del robot se mide el nivel de señal recibido en el interfaz WiFi desde cada uno de los puntos de acceso (APs) 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 robot.

En el trabajo [8] proponen un sistema que en base a las medidas de la señal WiFi recibida de la red inalámbrica se calcula la distancia a cada uno de los APs y aplicando un algoritmo de triangulación infieren la posición estimada. Desafortunadamente, en entornos interiores, el canal inalámbrico es muy ruidoso y la señal de RF se ve afectada por los fenómenos de la reflexión, refracción y difracción, en lo que se conoce como efecto del multicamino, lo que hace que el nivel de señal recibido sea una función compleja respecto de la distancia.

Para resolver este problema, se proponen sistemas de localización WiFi basados en un mapa radiológico a priori [6], el cual almacena los niveles de señal recibidos de cada uno de los APs en ciertos puntos del área de interés. Estos sistemas trabajan en dos fases: entrenamiento y estimación. Durante la primera, se construye el mapa de radio con el robot de forma manual o teleoperada. En la fase de estimación se obtiene un vector con los niveles de señal recibida de cada uno de los APs y se comparan con el mapa de radio para obtener la posición estimada como aquella en la que los niveles de señal son más cercanos.

Las técnicas de estimación de la posición se dividen en determinísticas y probabilísticas. En las primeras, el entorno se divide en celdas y durante la fase de estimación se obtiene la posición como aquella celda en la que las medidas almacenadas en el patrón son más parecidas [6] [9] [10]. Por otro lado las técnicas probabilísticas mantienen una distribución de probabilidad sobre todas las posibles ubicaciones del entorno. Estas técnicas consiguen una precisión superior a cambio de un mayor coste computacional. En [11] los autores emplean una red de conocimiento Bayesiana para obtener una distribución de probabilidad posterior sobre la posición estimada. En [12] se emplea una aproximación probabilística mediante un filtro Bayesiano recursivo basado en un muestreo de Monte Carlo secuencial.

La aproximación Bayesiana se suele aplicar en los casos en los que la representación del entorno es en forma de rejillas. Otra alternativa para modelar el entorno es mediante un mapa topológico. En este caso la localización se basa en el hecho de que el robot identifica automáticamente que ha alcanzado un nodo del mapa en base a alguna información geométrica del entorno.

Los sistemas basados en plataformas robóticas se benefician de los sensores que contienen las mismas para mejorar la localización, mientras que en este trabajo se propone realizar la localización de personas que no disponen de ningún hardware adicional. Para conseguir este objetivo se ha dividido el sistema en tres etapas: una de entrenamiento, otra de detección de personas basada en una red bayesiana y otra de localización y seguimiento basada en un HMM. Se emplea una etapa previa de entrenamiento del sistema en el entorno, la cual tiene que ser ejecutada una única vez para cada entorno y condiciones de trabajo. Demostramos en este trabajo que la detección y localización es posible en un entorno y con condiciones reales.

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera: el apartado 2 describe el procedimiento de medida de la señal WiFi, el apartado 3 muestra el desarrollo del sistema de localización basado en HMM, el apartado 4 proporciona una descripción del entorno de trabajo, la implementación del sistema y los resultados obtenidos en este trabajo. Finalmente en el apartado 5 se muestran las conclusiones y las posibles líneas a seguir después de este trabajo.

II. MEDIDA DE LA SEÑAL WIFI

En esta sección se realiza una introducción a la medida de la señal WiFi, la cual resulta interesante para comprender el funcionamiento del sistema de localización desarrollado. Se debe tener en cuenta que para las redes 802.11b trabajando a 2.4GHz la longitud de onda es 12.5cm, y esta es precisamente la frecuencia de resonancia del agua con lo que la presencia de personas en el entorno afectan a la medida de la señal WiFi.

En [13] se identifican tres principales causas de variación de la medida del nivel de señal en un interfaz WiFi:

- 1) Variaciones temporales: cuando el dispositivo medidor de la señal WiFi permanece en una posición fija, la medida de nivel de señal varía con el tiempo.

- 2) Variaciones de pequeña escala: el nivel de señal varía cuando el dispositivo medidor se mueve en pequeñas distancias, por debajo de la longitud de onda.
- 3) Variaciones de gran escala: el nivel de señal varía con la distancia debido a la atenuación que sufre la señal de RF con la misma.

Además de estas variaciones, en este trabajo se propone el estudio del efecto de las siguientes:

- 4) Variaciones de gran orientación: son aquellas que se producen debido a una modificación sustancial en la orientación. Se pretende discriminar entre las cuatro orientaciones básicas: Norte, Sur, Este y Oeste.
- 5) Variaciones de pequeña orientación: son aquellas que se observan al modificar la orientación del medidor en unos pocos grados.

El estudio de las medidas de variación temporal aportan una información básica para el desarrollo del sistema de localización propuesto en este trabajo ya que una de las principales causas de dicha variación es la presencia de personas en el entorno de medida. Debido a que las personas contienen un elevado porcentaje de agua, representan un factor de atenuación considerable a la medida del nivel de señal WiFi, sobre todo cuando éstas se encuentran en el camino directo entre el punto de acceso y el dispositivo medidor. Este efecto es menos apreciable en los casos en que las personas se encuentran en un camino secundario de la señal.

Además de las personas en el entorno, esta medida se puede ver afectada por las interferencias producidas por dispositivos que trabajen en el mismo rango de frecuencias, tales como los dispositivos Bluetooth, ratones y teclados inalámbricos, etc. Se hace necesario, por tanto, realizar un estudio previo de las variaciones temporales para realizar el diseño del sistema de localización.

Las variaciones de gran escala son debidas a la atenuación que sufre la señal de RF con respecto a la distancia. Estas variaciones dan una idea de la posición que debe ocupar el dispositivo medidor dentro del entorno además de restringir los posibles desplazamientos del equipo medidor dentro del mismo.

Al igual que las variaciones de gran escala, las variaciones de gran orientación también proporcionan una idea de las restricciones sobre las posibles posiciones que puede adoptar el equipo medidor dentro del entorno. Estas variaciones se definen como aquellas que sufre la medida de la señal WiFi cuando el equipo medidor se ubica en cada una de las cuatro orientaciones básicas (norte, sur, este y oeste).

Por variaciones de pequeña escala se entienden aquellas que sufre la señal en pequeños desplazamientos del dispositivo medidor y siempre por debajo de la longitud de onda de la misma, es decir, por debajo de los 12.5cm. Estas variaciones junto con las de pequeña orientación introducen restricciones sobre los pequeños desplazamientos, tanto lineales como angulares que puede sufrir el equipo medidor sin que la señal recibida sufra una variación.

Para realizar las medidas del nivel de señal en el interfaz WiFi se ha dotado al dispositivo medidor de la capacidad de

scanning como se comenta en la sección de implementación. Esta capacidad permite tomar muestras de todos los puntos de acceso o estaciones bases que están en el rango del medidor de forma simultánea. La máxima frecuencia a la que se puede realizar la adquisición es a 4Hz.

Para realizar el estudio de cada uno de las variaciones enunciadas en este apartado se toman una serie de muestras en el entorno para ser analizadas. Una vez adquiridas las N_s muestras, los dos principales parámetros que se estudian son el nivel medio de las muestras tomadas (Ecuación 1) y la varianza de las mismas (Ecuación 2).

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

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

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

III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LOCALIZACIÓN

El diseño del sistema de localización se divide en tres etapas diferenciadas: una etapa previa de entrenamiento en el entorno, etapa de estimación de personas y finalmente la localización de las mismas en el entorno. La etapa de estimación se basa en un red neuronal mientras que la fase de localización se basa en un HMM.

Durante la primera etapa de entrenamiento se busca adaptar el sistema de localización a cada uno de los entornos donde se emplea el sistema de localización. El entrenamiento de la red neuronal consiste en aplicar a la misma una serie de casos en los que se conoce a ciencia cierta cual debe ser la salida del sistema, esto es, presencia o ausencia de personas en el entorno. El vector de entrada de la red neuronal esta formado por los niveles medio y de varianza del nivel de señal WiFi obtenidos por el equipo medidor que se encuentra en una posición fija del entorno, mientras que el vector de salida será introducido por una persona que realiza la supervisión del sistema para cada uno de los dos posibles casos (presencia/ausencia).

Una vez entrenada la red neuronal, su salida durante la etapa de detección indicará si encuentran personas en el entorno o no. Esta fase resulta muy interesante como fase previa a la localización, ya que en el caso de obtener una salida de ausencia de personas en el entorno no será necesario ejecutar el algoritmo de localización.

Para el diseño del sistema de localización y seguimiento se opta por emplear un HMM. Un Modelo Oculto de Markov es un proceso estocástico que consta de un Proceso de Markov no observado (oculto) $q = \{q_t\}_{t \in N}$ y un proceso observado $\{O = \{o_t\}_{t \in N}\}$ cuyos estados son dependientes estocásticamente de los estados ocultos, es decir, es un proceso bivariado (q, O) . Los HMMs se pueden considerar también como sistemas

generativos estocásticos, los cuales se emplean en el modelado de series temporales.

Un proceso estocástico se llama de Markov si conocido el presente, el futuro no depende del pasado, esto quiere decir, que dada una variable estocástica q_{t-1} que denota el estado del proceso en el tiempo $t-1$, entonces la probabilidad de transición en el momento t se define como se muestra en la ecuación 3.

$$p[q_t = \sigma_t | q_{t-1} = \sigma_{t-1}] \quad (3)$$

Formalmente, una cadena de Markov se define como (Q, A) , donde $Q = \{1, 2, \dots, N\}$ son los posibles estados de la cadena y $A = (a_{ij})_{n \times n}$ es una matriz de transición de estados en el modelo. Si $A(t) = a_{ij}(t)_{n \times n}$ es independiente del tiempo entonces el proceso se llama homogéneo y las probabilidades de transición de estados se obtienen como muestra la ecuación 4.

$$a_{ij}(t) = p[q_t = j | q_{t-1} = i] \quad (4)$$

En la matriz de transición, además, se cumplen las propiedades mostradas en la ecuación 5.

$$\begin{aligned} 0 \leq a_{ij} \leq 1, \forall 1 \leq i, j \leq N \\ \sum_{j=1}^N a_{ij} = 1, \forall 1 \leq i \leq N \end{aligned} \quad (5)$$

Un Modelo Oculto de Markov es una cadena de q junto con un proceso estocástico que toma valores en un alfabeto S y el cual depende de q . Estos procesos evolucionan en el tiempo pasando aleatoriamente de estado a estado y emitiendo en cada momento al azar algún símbolo del alfabeto S . Cuando se encuentra en el estado $q_{t-1} = i$, tiene la probabilidad a_{ij} de moverse al estado $q_t = j$ en el siguiente instante y la probabilidad $b_j(k)$ de emitir el símbolo $o_t = v_k$ en el tiempo t . Sólomente los símbolos emitidos por el proceso q son observables, pero no la ruta o secuencia de estados q , de ahí el calificativo de "oculto" de Markov, ya que el proceso de Markov q es no observado.

En nuestro sistema el proceso oculto de Markov q representa las diferentes posiciones que pueden ocupar las personas en el entorno, mientras que la matriz de transición A representa la probabilidad de evolucionar entre las diferentes posiciones del mismo. Para realizar el ajuste de la matriz de transición se debe establecer el modelo de movimiento de las personas que se encuentran en el entorno y puede realizarse tanto de forma manual, introduciéndola por un usuario experto, o bien por medio del entrenamiento del sistema de forma automática.

IV. 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 de personas.

A. Entorno de pruebas

El entorno de pruebas ha sido ubicado en la Escuela Politécnica de la Universidad de Alcalá, concretamente en la tercera planta del Departamento de Electrónica. La configuración del entorno se muestra en la Figura 1, consta de cuatro pasillos (pasillo 1 a 4) además de un pasillo principal. El entorno ocupa una superficie cuadrada de 60 metros de lado y está compuesta por 50 habitaciones entre despachos, laboratorios, baños y salas de reuniones.

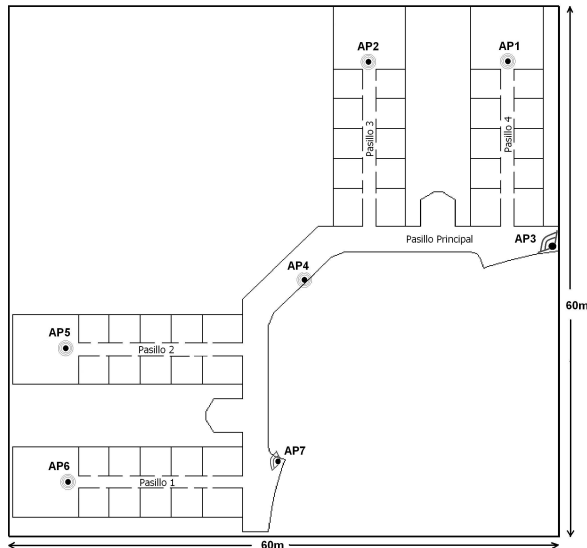


Fig. 1. Entorno de pruebas. Departamento de Electrónica

Se han instalado siete puntos de acceso Buffalo WBRE-54G en todo el entorno. De los cuales cinco se han conectado a antenas omnidireccionales y dos de ellos a antenas direccionales con un patrón de radiación en 120° (AP3 y AP7). Los puntos de acceso sirven tanto como estaciones base de la red inalámbrica WiFi como referencias en el sistema de localización.

B. Implementación

Con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento del sistema de localización propuesto en este trabajo se ha empleado un ordenador portátil como equipo medidor con la siguiente configuración: sistema operativo Linux Red Hat 9.0, tarjeta wireless Orinoco PCMCIA Gold, herramientas "wireless tools" desarrolladas por Jean Tourrilhes [14], driver orinoco con el patch de Moustafa Youssef [10] para obtener medidas simultáneas de la señal WiFi respecto de todos los puntos de acceso, en lo que se conoce como *scanning*. Este equipo se encuentra en una posición fija del entorno y cumple con las restricciones impuestas por las variaciones estudiadas en el apartado II.

En la Figura 2 se muestra un esquema simplificado de la implementación del sistema. En esta figura se pueden destacar los puntos de acceso y el ordenador portátil 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 ordenador portátil se muestran las diferentes capas de aplicación empleadas para obtener el sistema de localización planteado:

- En primer lugar nos encontramos la capa del interfaz HW que se emplea como interfaz de comunicaciones y como medidor del nivel de señal WiFi recibido.
- A continuación del interfaz HW WiFi se encuentra la capa de cálculo, la cual se utiliza para obtener las medidas del nivel de señal, nivel de ruido y los valores de la media y varianza de la señal.
- La capa de detección se encarga de indicar a la aplicación principal cuando se ha detectado la presencia de personas en el entorno.
- La capa de localización se encarga de localizar las diferentes personas que se encuentran en el entorno y de realizar el seguimiento de las mismas indicándoselo a la aplicación principal.
- La aplicación principal muestra los resultados de las etapas de detección y localización.

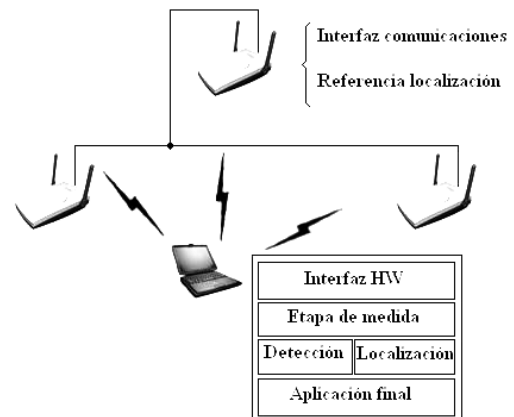


Fig. 2. Implementación del sistema

C. Resultados

Para estimar la variación que puede llegar a sufrir la señal recibida en función del tiempo se ha diseñado un experimento en el que se ha tenido al medidor tomando muestras constantemente durante un día completo, a razón de una muestra por segundo. Se han tomado 60 muestras del nivel de señal recibido con el objetivo de filtrar el ruido obtenido en el interfaz WiFi. Se ha realizado esta prueba desde las 16:00 horas de un viernes hasta las 16:00 de un sábado, en el fondo del Pasillo 4 donde está ubicado el AP1. La frecuencia de adquisición y representación es de 1Hz. En la Figura 3 se muestra el nivel de señal recibido en el punto de acceso AP2 para este fondo de pasillo.

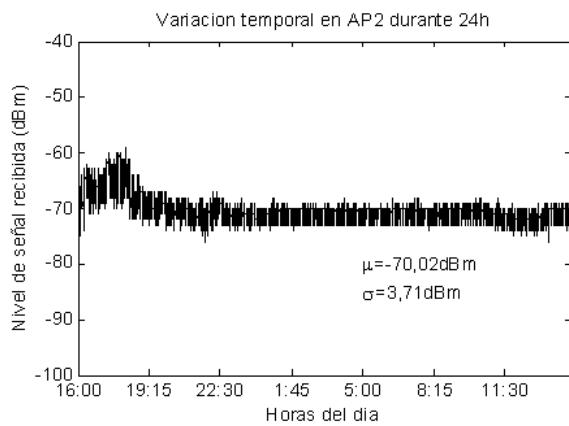


Fig. 3. Resultados de la variación temporal (AP2)

En ausencia de personas y dispositivos inalámbricos, tales como dispositivos Bluetooth, las medidas se mantienen bastante estables. Esto ocurre en la franja horaria comprendida entre las 21:30 horas del viernes y las 16:00 del sábado. Además se cumple que la varianza durante este tiempo es mucho menor que durante la franja horaria en la que existen personas en el entorno. Esto demuestra que se puede detectar la presencia/ausencia de personas en el entorno.

Para comprobar el efecto de la gran escala se ha realizado un experimento consistente en discretizar el entorno de trabajo en 67 celdas separadas 80cm. Se ubicó el medidor a lo largo de las diferentes posiciones del entorno. El posicionamiento se realizó de forma manual para evitar cometer errores de orientación o pequeña escala. Las medidas se realizaron en ausencia de personas e interferencias radiológicas para evitar contaminar con ruido la medida. En cada posición se tomaron 300 muestras con el fin de construir su histograma y obtener el valor medio de dichas muestras. La Figura 4 muestra los resultados de este experimento.



Fig. 4. Efecto de la gran escala (AP4)

Se comprueba que efectivamente se produce una variación del nivel de señal recibido de cada uno de los puntos de acceso en función del valor de la distancia al mismo, llegando

a ser de hasta 20dBm en 20m de distancia. Siendo su nivel mayor cuanto más cerca se encuentre del punto de acceso. Del análisis de las medidas de gran escala se concluye que el nivel de señal WiFi medido en función de la distancia no es trivial en el caso de propagación en interiores y que la realización de un modelo de propagación depende grandemente de las características del entorno por lo que no es posible obtener un modelo general que sea independiente del mismo. Además se comprueba que el nivel de señal recibido en cada una de las 67 posiciones es diferente y por tanto obliga a seleccionar una de las posiciones para fijar la ubicación del medidor durante las pruebas.

Para probar el efecto de la gran orientación se ha diseñado un experimento consiste en colocar el medidor en diferentes posiciones dentro de las 67 en las que se ha discretizado el entorno y tomar 300 muestras para cada uno de los APs y cada una de las cuatro orientaciones básicas, las cuales han sido denominadas como: 0°, 90°, 180° y 270°. Una vez obtenidas las 300 muestras se han construido los histogramas para cada una de las orientaciones, según se muestra en la Figura 5. Se ha realizado este experimento en diferentes posiciones del entorno con el fin de extraer unas conclusiones generales que se puedan aplicar en todos los casos.

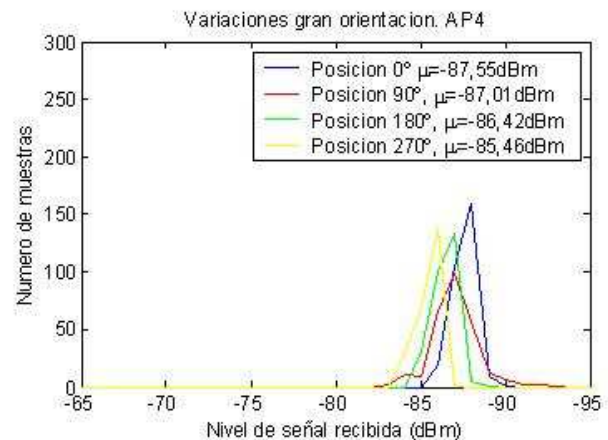


Fig. 5. Efecto de la gran orientación (AP4)

Como se puede observar en la Figura 5 los histogramas obtenidos para cada una de las cuatro orientaciones son diferentes, llegando a producirse un cambio máximo de hasta 5dBm en los valores medios de cada uno de los histogramas.

Las variaciones de pequeña escala se han estudiado realizando pequeños desplazamientos del equipo medidor respecto de una posición de referencia. Los desplazamientos se han realizado en incrementos de $1/4\lambda$ con el objetivo de reconocer el máximo desplazamiento que se puede realizar sobre el medidor de la señal WiFi sin que se produzca una modificación de la señal. La mayor variación suele estar en torno a $1/2\lambda$ y $3/4\lambda$ para los puntos de acceso de mayor influencia, siendo éstos los APs que más cerca se encuentran del dispositivo que realiza la medida, en la cual el histograma se desplaza hasta 6dBm. Las variaciones en desplazamientos iguales o inferiores

a $1/2\lambda$ están en torno a los 2dBm para los pasillos en los que se tiene menor influencia de un punto de acceso y de hasta 5dBm para los demás desplazamientos.

Al igual que con las variaciones de pequeña escala, para estudiar el efecto de la pequeña orientación se han realizado pequeños desplazamientos de orientación en incrementos de 3° (desde 0° a 9°) para determinar la máxima orientación que puede modificarse respecto de una orientación de referencia sin que se vea modificada la medida de la señal WiFi. La señal recibida en los puntos de acceso de mayor influencia se ve afectada hasta en 2dBm para variaciones de 9° . Mientras que variaciones inferiores a 9° provocan variaciones de señal inferiores a 1dBm. Cuando la señal procede de un AP de menor influencia, las variaciones no son superiores a 1dBm para ninguno de los casos.

Para realizar el entrenamiento del sistema se han utilizado datos procedentes de 100 situaciones diferentes. Los resultados obtenidos en esta etapa han sido de un 90% de aciertos. Una vez entrenado el sistema se ha comprobado el funcionamiento del sistema de detección de personas en el entorno, consiguiendo unos resultados de aciertos del 80% aproximadamente.

Actualmente se está trabajando en los resultados del sistema de localización y seguimiento implementado mediante el HMM y los autores esperan tenerlo terminado en la versión definitiva del artículo.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se ha presentado un sistema de detección y localización de personas basado en medida de la señal WiFi. Se ha realizado un estudio de la medida de la señal WiFi con el objetivo de extraer las conclusiones necesarias para realizar el diseño del sistema de localización.

El sistema no precisa de un hardware adicional ni en el entorno ni en las personas a detectar, con lo que la adaptación del sistema a un nuevo entorno resulta muy beneficiada. A cambio, el sistema requiere de un entrenamiento previo que tan sólo se llevara a cabo una vez por cada entorno y condiciones de trabajo.

Actualmente se está trabajando en la detección y seguimiento de personas para intentar inferir la ruta que sigue cada persona de las que se encuentra en el entorno por medio

de un HMM. En un futuro cercano se pretende tener el sistema completo funcionando.

VI. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al proyecto S-0505/DPI/000176 (Proyecto Robocity2030) del Departamento de Ciencia de la Comunidad de Madrid y el proyecto TRA2005-08529-C02-01 (Proyecto MOVICOM) del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCyT).

REFERENCES

- [1] I. Cox, "Blanche-an experiment in guidance and navigation of an autonomous robot vehicle," *IEEE Trans. Robot. Automat.*, vol. 7, no. 2, pp. 193–204, 1991.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] N. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The cricket location support system," in *Proc. of the 6th ACM MobiCom*, 2002, pp. 155–164.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] O. Serrano, J. Cañas, V. Matellán, and L. Rodero, "Robot localization using wifi signal without intensity map," in *Proc. of the V Workshop Agentes Físicos (WAF'04)*, 2004, pp. 79–88.
- [9] A. Ladd, K. Bekris, A. Rudys, G. Marceu, L. Kavraki, and D. Wallach, "Robotics-based location sensing using wireless ethernet," in *Proc. of the MOBICOM'02*, 2002.
- [10] M. Youssef, A. Agrawala, and A. Shankar, "Wlan location determination via clustering and probability distributions," in *Proc. of the IEEE PerCom 2003*, 2003.
- [11] P. Castro, P. Chiu, T. Kremenek, and T. Muntz, "A probabilistic room service for wireless networked environments," in *Proc. of Ubiquitous Computing 2001*, 2001.
- [12] A. Howard, S. Siddiqi, and G. Sukhatme, "An experimental study of localization using wireless ethernet," in *Proc. of the International Conference on Field and Service Robotics*, July 2003.
- [13] 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.
- [14] Jean tourrilhes website. [Online]. Available: http://www.hpl.hp.com/personal/Jean_Tourrilhes/