

# Localización en WLAN utilizando distribuciones de probabilidad con reducción de cómputo por trilateralización

Miguel A. Quintana, David Sánchez, Domingo Marrero, Juan Luis Navarro<sup>(1)</sup>

Grupo de Arquitectura y Concurrencia

Departamento de Ingeniería Telemática, Departamento de Señales y Comunicaciones<sup>(1)</sup>

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Campus Universitario de Tafira, 35017, Las Palmas de Gran Canaria

{mquintana, dsanchez, dmarrero}@dit.ulpgc.es, jnavarro@dsc.ulpgc.es

**Resumen-** La localización en redes inalámbricas es un área de investigación importante debido a que proporciona información de interés que puede ser utilizada por otras aplicaciones para tomar mejores decisiones y mejorar su rendimiento. Los métodos de localización deberían ser diseñados para obtener resultados con la mayor precisión posible y con un coste computacional bajo. Sin embargo, esta tarea no es fácil porque normalmente se requiere de muchos cálculos para alcanzar una precisión elevada. En este artículo, se presenta un método de localización sobre redes de infraestructura 802.11 basado en distribuciones de probabilidad que utiliza la técnica de trilateralización para determinar un punto de partida donde comenzar la búsqueda de la solución. Una vez se obtiene el punto de partida, el área de búsqueda estará limitada a las localizaciones más cercanas a este punto.

**Palabras Clave-** Localización, distribuciones de probabilidad, trilateralización, nivel de señal recibido

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el desarrollo de dispositivos de computación móvil y los avances en las tecnologías inalámbricas permiten utilizar ordenadores portátiles en muchas situaciones de la vida cotidiana. Uno de los desafíos abiertos de la computación móvil es determinar la localización de usuarios [1]. En este sentido, la computación basada en localización ha hecho posibles aplicaciones con capacidad para tomar decisiones en función de su ubicación y modificar sus prestaciones y funcionalidad en concordancia a su entorno [2]. Las herramientas de localización se pueden utilizar en el desarrollo de aplicaciones relacionadas con la navegación, la seguridad, la salud o el entretenimiento.

Durante los últimos años muchos autores han dedicado sus esfuerzos en resolver el problema de la localización en las redes IEEE 802.11. En este contexto, la localización en interiores todavía se considera un problema fundamental en la computación móvil donde no está resuelto con claridad el requisito de obtener una precisión elevada [3].

Tradicionalmente, se han utilizado diferentes modelos para determinar la localización, tales como el ángulo de llegada (AOA), diferencia de tiempo de llegada (TDOA) y la potencia de la señal recibida (RSS) de la señal de RF. Esta última técnica es una de las modalidades más utilizadas debido a que la información utilizada para determinar la

localización se obtiene a través de la propia interfaz de red y, por tanto, no son necesarios sensores adicionales. Esta información se utiliza en algunas técnicas como la trilateralización, centroides ponderados, etc. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran aquellas que se basan en un análisis del RSS en cada posición. La utilización de esta técnica se debe principalmente a que los efectos de la multitrayectoria y los efectos de propagación como la reflexión, la difracción y la dispersión causan una estimación inexacta del ángulo de llegada y de la diferencia de tiempo de llegada [4]. Por esa razón, la mayoría de los trabajos de investigación utilizan un modelo basado en la potencia de la señal. Este modelo se construye en dos fases. En la primera fase, normalmente denominada fase de entrenamiento, se construye una base de datos con la potencia de señal recibida en cada posición. En la segunda fase, denominada fase de clasificación, partiendo de una muestra de RSS y un sistema de clasificación que utiliza la información almacenada en la base de datos se determina la posición. La mayoría de los trabajos difieren en la última fase.

En [5] se utiliza un método de clasificación de datos basado en la máquina de vectores soporte (SVM) con resultados aceptables. Su principal inconveniente es que requiere un tiempo adicional para el entrenamiento de la SVM. En [6] se utilizan dos métodos para determinar la ubicación en entornos interiores y exteriores: un método basado en el algoritmo del vecino más cercano y un método basado en que la propagación de RSS disminuye logarítmicamente con la distancia. Los autores indican que el primer método produce resultados más coherentes en los ambientes exteriores. Sin embargo, su exactitud puede verse afectado si hay muchos puntos con datos similares. Esta situación puede darse en ambientes interiores, debido a la propagación multitrayecto. El modelo de propagación es más preciso en ambientes con visión directa pero menos preciso en el resto de casos.

Por otro lado, también son utilizados métodos probabilísticos para determinar la posición. En [7] los autores utilizan distribuciones de probabilidad combinadas con propagación de señales para tener en cuenta las características de absorción y reflexión de los diversos obstáculos. La

principal ventaja de este método es la utilización de un único punto de acceso. Sin embargo, los autores reconocen que la máxima precisión que se consigue es determinar la posición dentro de una habitación en un edificio. En [8] se utilizan también distribuciones de probabilidad, teniendo en cuenta la alta correlación entre las muestras de un mismo punto de acceso, combinadas con una técnica de agrupamiento para reducir el número de cálculos. En función del número de puntos de acceso y la posición de estos, el tamaño de los grupos pueden ser grandes, y por tanto, la reducción de cálculo no es tan efectiva. Esto último ha de tenerse en cuenta si la localización se realiza en dispositivos de mano donde la potencia del procesador no es elevada y la energía almacenada en la batería es limitada. Con el fin de reducir el área de búsqueda, en este trabajo de investigación se propone utilizar la técnica de trilateración para determinar un punto de partida de la búsqueda. De esta manera, la zona de búsqueda se limita a los lugares más cercanos a este punto. Por tanto, en este artículo se presenta un método de localización basado en distribuciones de probabilidad que utiliza la técnica trilateración para reducir el área de búsqueda.

El resto del documento está organizado de la siguiente forma. En la sección 2, se describe la técnica trilateración utilizada para determinar el punto de partida de la búsqueda. A continuación, en la sección 3, se explica el método de distribuciones de probabilidad utilizadas para deducir la localización del dispositivo. En la sección 4, se muestran algunos resultados experimentales. Por último, se resumen las conclusiones y se indican las líneas futuras a seguir.

## II. TÉCNICA DE TRILATERACIÓN

La trilateración es una técnica por la puede ser determinada la localización de un dispositivo estimando la distancia entre el dispositivo y los puntos de acceso de los cuales se recibe señal. La trilateración suele utilizarse en las comunicaciones celulares para determinar la posición geográfica de un usuario. En las redes IEEE 802.11 basadas en infraestructura los puntos de acceso suelen estar en una posición fija permitiendo la comunicación de los dispositivos en un área de cobertura. Si son conocidas la posición de tres puntos de acceso (vértices A, B, C del triángulo en la Fig. 1) y las distancias  $\overline{DA}$ ,  $\overline{DB}$  y  $\overline{DC}$ , entonces puede utilizarse el

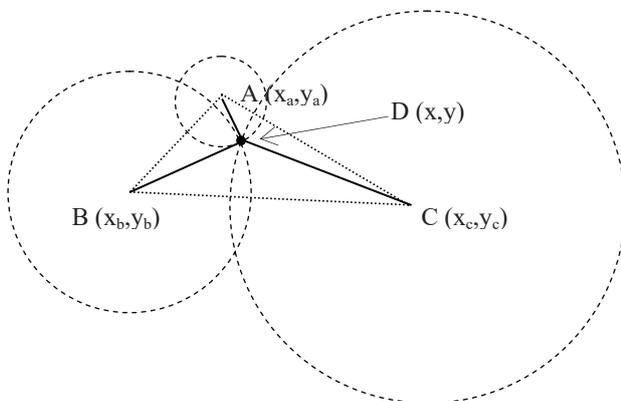


Figura 1. Técnica de trilateración

método de trilateración para deducir la posición D. Esto se realiza mediante la búsqueda de la intersección de las tres de circunferencias cuyos centros son los vértices A, B y C. Por tanto, dadas las coordenadas de cada punto de acceso ( $x_i, y_i$ ) y las distancias desde el dispositivo portátil a cada uno de ellos ( $d_i$ ), se obtiene la posición de un dispositivo mediante el sistema no lineal que se indica a continuación.

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d_i^2 \quad (1)$$

$$i = a, b, \dots, n$$

Con el fin de obtener la posición de un dispositivo es preciso conocer la ubicación de al menos tres puntos de acceso. Si son conocidos sólo dos puntos de acceso, entonces el sistema devuelve dos posibles soluciones, y si sólo está accesible un punto de acceso, las posibles posiciones del dispositivo se encuentran en la circunferencia con un radio igual a la distancia al punto de acceso.

Para resolver (1) es necesario determinar la distancia desde el dispositivo a cada punto de acceso. Para hacerlo, nos basamos en que la propagación de la señal disminuye logarítmicamente con la distancia, la cual se puede expresar como [9]:

$$P = S + 10 \times n \times \log(d) + \sum L_w \quad (2)$$

donde  $P$  es la pérdida del canal en dB desde el punto de acceso al dispositivo (potencia transmitida menos potencia recibida),  $S$  es la de pérdida del canal en dB a 1 metro del punto de acceso,  $n$  es el factor de atenuación que depende de las características de propagación del entorno,  $d$  es la distancia en metros entre el transmisor y el receptor, y  $L_w$  representa las pérdidas de penetración cuando hay paredes entre el transmisor y el receptor. Por tanto, dado un valor de RSS, es necesario conocer el factor de atenuación y las pérdidas en el canal para determinar la distancia  $d$  (3). Estos valores deben ser estimados de forma empírica para cada punto de acceso debido a que dependen del entorno de propagación y, por regla general, se utilizan transmisores con diferentes características y ubicados en diferentes lugares.

$$d = \log^{-1} \left( \frac{P - S - \sum L_w}{10 \times n} \right) \quad (3)$$

Para el cálculo del factor de atenuación,  $n$ , se deben tomar numerosas muestras de RSS en cada posible ubicación por cada transmisor y sólo cuando existe visión directa entre transmisor y receptor. A continuación, se estima un factor de atenuación para cada punto de acceso, y para cada posible posición, por aplicación de la ecuación (4). Por último, se calcula un factor de atenuación promedio equivalente por cada punto de acceso.

$$n_{di} = \left( \frac{P - S}{10 \times \log(d_i)} \right) \quad (4)$$

Por otra parte, si en algunas posiciones no hay visión directa entre transmisor y receptor, ha de estimarse la pérdida por penetración. Estos valores son obtenidos por la diferencia entre la RSS cuando el transmisor está en visión directa y cuando hay una o varias paredes entre ellos. Una vez estimados todos los parámetros y partiendo de un conjunto dado de valores RSS, obtenidos de  $k$  puntos de acceso, recogidos en una determinada posición, se calcula la distancia del dispositivo a cada uno de los punto de acceso mediante (3). A continuación, una vez conocida la posición de los puntos de acceso y las distancias a estos dispositivos, se resuelve (1).

### III. DETERMINACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN UTILIZANDO DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

En esta sección se describe el método basado en las distribuciones de probabilidad para estimar la localización. En concreto, se describe el proceso realizado en las fases de entrenamiento y clasificación, y las ventajas de usar trilateralización para reducir el área de búsqueda.

#### A. Fase de entrenamiento

Durante esta fase se construye una base de datos donde para cada punto de posible localización se almacenan las muestras recibidas de cada punto de acceso. Para realizar esta tarea, primero, tenemos que definir los puntos posibles de la localización en el entorno, y a continuación, se debe realizar un proceso de muestreo de RSS en cada uno de estos puntos. Para cada posición se almacena un conjunto de  $n$  muestras ( $r_1, \dots, r_k$ ) recibido desde  $k$  puntos de acceso ( $AP_1, \dots, AP_k$ ), donde  $r_i$  es el valor de la potencia de señal recibida desde el  $AP_i$ .

Partiendo de estos valores, la probabilidad  $P(r_i/l)$  de que un determinado nivel de señal  $r_i$  esté en una localización determinada  $l$  puede ser estimada usando el histograma normalizado del punto de acceso  $AP_i$  para esa localización. Los valores de la probabilidad para cada punto de acceso y localización se almacenan en la base de datos. En la Fig. 2 y en la Fig. 3 se muestra un ejemplo de la potencia de señal normalizada obtenida a diez y veinte metros de un punto de

acceso, respectivamente. Como se puede apreciar en las figuras, la propagación de la señal varía con la distancia. En [8] y [10] se indica que la distribución de RSS se puede aproximar a una distribución normal. Sin embargo, en nuestros experimentos hemos detectado que la distribución depende del entorno y de cómo se realice el muestreo de datos. Por ejemplo, en nuestros experimentos hemos recogido muestras en cuatro orientaciones diferentes en cada posición, es decir, se recopilaban datos con el dispositivo orientado hacia el norte, este, sur y oeste. En la Fig. 4 y en la Fig 5. se muestra un ejemplo de 200 datos recogidos en cada localización, donde cada cincuenta muestras el dispositivo se cambia de orientación (giro de noventa grados). Como se puede apreciar, el valor medio de RSS cambia en cada dirección y en cada localización. Por tanto, podemos decir que la distribución de RSS se puede aproximar a una mezcla de varias distribuciones normales (Fig. 2 y Fig. 3), con pequeñas variaciones espaciales que afectan a la distribución de la señal.

El tamaño del conjunto de muestras obtenida en cada localización y cómo éstas se recogen puede repercutir en la exactitud del sistema. Por tanto, para obtener una buena estimación de la distribución de probabilidad es necesario construir una base de datos con un conjunto amplio de muestras recogidas en diferentes orientaciones y en cada posición.

#### B. Fase de clasificación

En esta fase se determina la localización del dispositivo partiendo de un conjunto de muestras de valores de RSS obtenidos desde varios puntos de acceso. En el sistema desarrollado en este artículo, la localización del dispositivo viene determinada por aquella posición que, dado un conjunto de valores de RSS, presenta la probabilidad más alta. Para determinar la probabilidad en cada punto utilizamos el teorema de Bayes.

Dado una muestra de los valores de RSS  $R=(r_1, \dots, r_k)$  obtenidos de  $k$  puntos de acceso, el objetivo es encontrar una localización  $l$  tal que  $P(l/R)$  sea la mayor. Aplicando el teorema de Bayes,  $P(l/R)$  puede ser expresado como:

$$P\left(\frac{l}{R}\right) = \frac{P\left(\frac{R}{l}\right) \times P(l)}{P(R)} \quad (5)$$

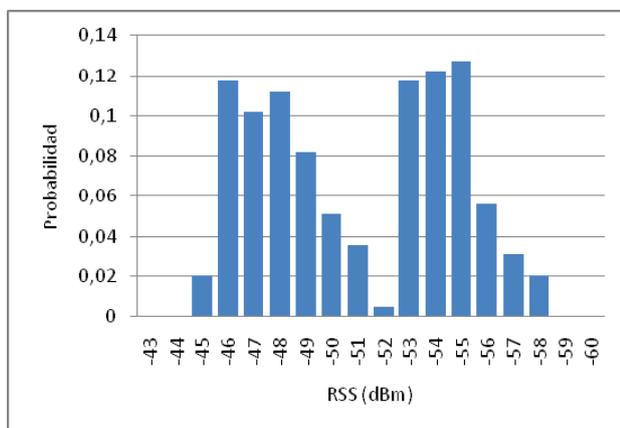


Figura 2. Histograma a 10 metros de distancia desde el punto de acceso.

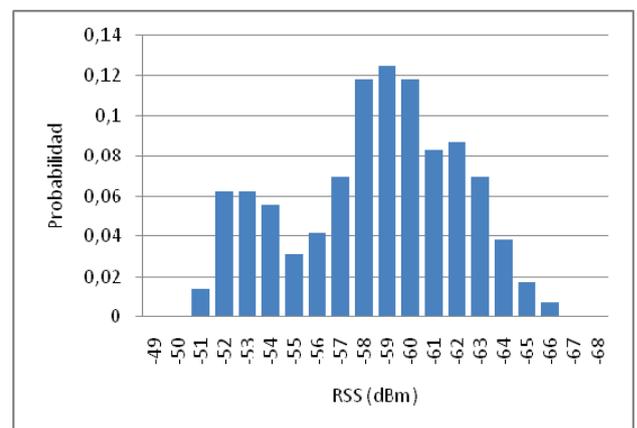


Figura 3. Histograma a 20 metros de distancia desde el punto de acceso.

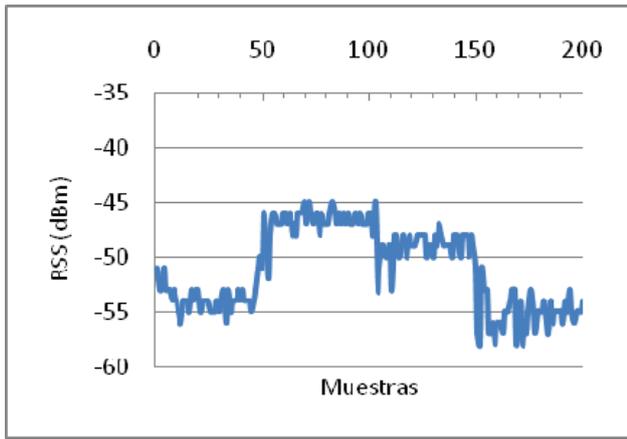


Figura 4. RSS recogidas en cuatro orientaciones diferentes y a 10 metros de distancia del punto de acceso.

Dado que se busca la localización donde se maximiza la expresión (5) y no su valor exacto, y además, teniendo en cuenta que el valor de  $P(R)$  no varía en las diferentes evaluaciones de la expresión, la ecuación anterior se puede reformular como:

$$P\left(\frac{l}{R}\right) = P\left(\frac{R}{l}\right) \times P(l) \quad (6)$$

Por otra parte, al diseñarse el sistema para determinar la localización, sin memoria sobre su posición anterior, la probabilidad de que un usuario esté en una determinada localización  $P(l)$  es igual para todas las posibles localizaciones. Por tanto, este factor influye de la misma forma en todos  $P(l/R)$  y, así se puede extraer de (6). Luego, la ecuación (6) puede ser definida como:

$$P\left(\frac{l}{R}\right) = P\left(\frac{R}{l}\right) \quad (7)$$

Si asumimos que los puntos de acceso no operan en canales solapados, los valores de RSS recibidos de estos se pueden considerar como independientes. Por tanto,  $P(R/l)$  puede ser calculado como sigue:

$$P\left(\frac{R}{l}\right) = P\left(\frac{r_1}{l}\right) \times \dots \times P\left(\frac{r_k}{l}\right) = \prod_{i=1}^k P\left(\frac{r_i}{l}\right) \quad (8)$$

donde  $P(r_i/l)$  se calcula a partir de las muestras recogidas en cada localización en la fase de entrenamiento

### C. Reducción del área de búsqueda

Tal como hemos mencionado en la sección anterior, la determinación de la localización basada en distribuciones de probabilidad se estima para aquella localización donde  $P(R/l)$  es máxima. Por tanto, este valor debe ser calculado para todas las posibles localizaciones que estén dentro del área de cobertura de los puntos de acceso, aplicando (8). El número de posibles localizaciones puede ser excesivamente grande. Este valor depende del entorno, de la posición de los puntos de acceso y del tamaño de cada posible localización. Por ejemplo, si en una determinada localización los valores recogidos de RSS pertenecen a un único punto de acceso, el espacio de búsqueda se extiende al área de la cobertura de ese punto de acceso. Sin embargo, si los paquetes de señalización se

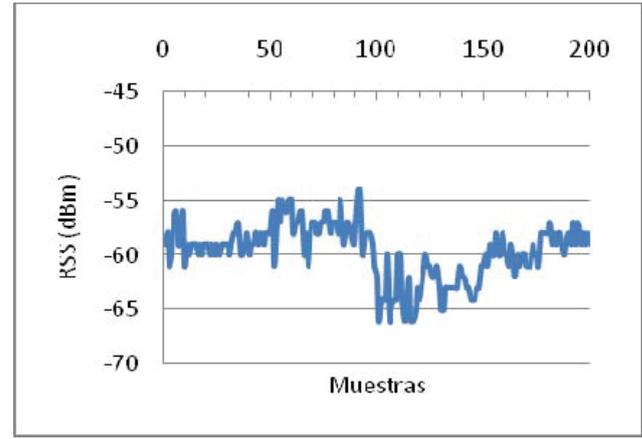


Figura 5. RSS recogidas en cuatro orientaciones diferentes y a 20 metros de distancia del punto de acceso.

reciben de dos o más puntos de acceso el espacio de la búsqueda se reduce a la intersección de todas las áreas de la cobertura. La Fig.6 muestra un ejemplo de la intersección del área de la cobertura de dos puntos de acceso. Para realizar la búsqueda en el área de la intersección es necesaria una clasificación previa en la fase de entrenamiento para determinar las posibles áreas de localización en base a un determinado conjunto de valores de RSS. En cualquier caso, implica un coste computacional, y por tanto, consumo de energía. Este aspecto se debe tomar en consideración si la determinación de la localización se realiza en dispositivos de mano.

Para reducir el número de operaciones, en este artículo se propone utilizar el método de trilateralización, de manera que la intersección de tres circunferencias nos dará el punto de partida para comenzar la búsqueda. Debido a que el factor equivalente de atenuación usado para solucionar (3) se calcula por la aproximación de datos empíricos, y que las condiciones del entorno puede cambiar de manera aleatoria, los resultados obtenidos mediante (1) pueden ser distintos a la solución correcta. Por tanto, la búsqueda se debe realizar sobre un nuevo círculo de radio  $s$  centrado en la solución (1). El valor de este radio  $s$  del área de búsqueda es un compromiso entre la precisión del sistema y el coste computacional. Si los valores de RSS se recogen a partir de dos puntos de acceso, la intersección de las dos circunferencias nos dará dos puntos de partida de búsqueda. En la Fig. 7 se indican las áreas de búsqueda, zonas rojas, cuyos centros son las intersecciones de las circunferencias con radio igual a las distancias de los puntos de acceso al dispositivo. Finalmente y en el caso peor, si sólo está disponible un punto de acceso, la búsqueda se realiza a lo largo del anillo formado al desplazar el círculo de radio  $s$  a lo largo de la circunferencia de radio igual a la distancia  $d$ .

En la tabla 1 y 2 se muestra la reducción del área de búsqueda en función del número de puntos de acceso cuando se utiliza la intersección de áreas de cobertura y la cobertura del punto de acceso del que se recibe mayor potencia, respectivamente. En estas tablas, el valor de  $r$  se corresponde con el radio del área de cobertura de un punto de acceso (suponemos un mismo radio de cobertura para todos los puntos de acceso),  $a$  es el área de una posible localización o unidad de partición del espacio de localización,  $d$  es la distancia del punto de acceso al dispositivo desde donde se

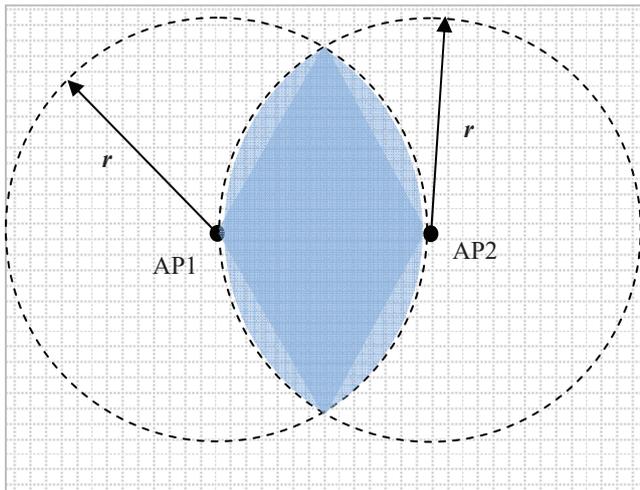


Figura 6. Intersección del área de cobertura.

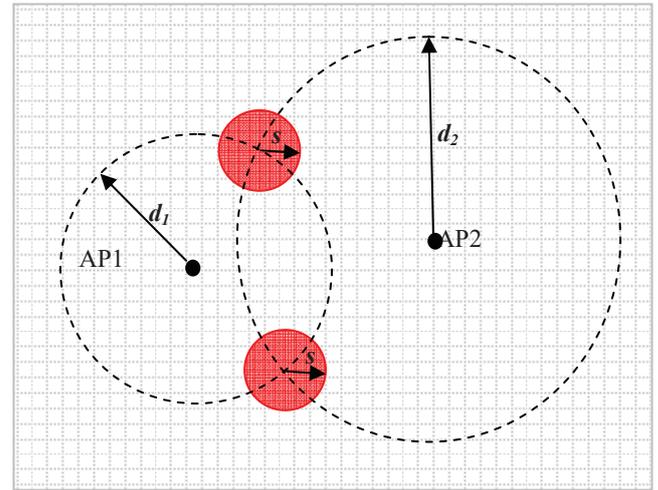


Figura 7. Reducción del espacio de búsqueda.

recogen los valores de RSS, y  $s$  es el radio del círculo donde se hace la búsqueda (círculo rojo en la Fig. 7). Este valor siempre será menor que el radio  $r$  del área de la cobertura con una relación aproximada de 10 a 1. El valor de la distancia  $d$  depende de la posición del usuario, pero siempre será menor o igual a  $r$ .

TABLA I. REDUCCIÓN DEL ÁREA DE LA BÚSQUEDA CUANDO SE UTILIZA INTERSECCIÓN DE COBERTURAS

Available Access Points	Normal	Trilateration
1	$\pi r^2 / a$	$4 \pi d s / a$
2	$(2\pi/3 - \sqrt{3}/2) r^2 / a$	$2 \pi s^2 / a$
3	$(AP1 \cap AP2 \cap AP3) / a$	$\pi s^2 / a$

TABLA II. REDUCCIÓN DEL ÁREA DE LA BÚSQUEDA CUANDO SE UTILIZA COBERTURA DEL PUNTO DE ACCESO DE MAYOR POTENCIA RECIBIDA

Available Access Points	Normal	Trilateration
1	$\pi r_1^2 / a$	$2 \pi r s / a$
2	$\pi r_1^2 / a$	$2 \pi s^2 / a$
3	$\pi r_1^2 / a$	$\pi s^2 / a$

#### IV. RESULTADOS

Las pruebas experimentales se han realizado en la segunda planta del Departamento de Ingeniería Telemática de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Esta planta tiene una dimensión aproximada de 63 metros de largo por 10 metros de ancho. En la Fig. 8 se muestran la disposición de la planta y la posición de tres puntos de acceso (indicados con un triángulo). Nuestros experimentos fueron realizados solamente en el pasillo, el cual tiene aproximadamente 2 metros de ancho.

En la fase de entrenamiento de nuestro sistema se ha construido una base de datos con muestras tomadas a lo largo del pasillo. En concreto, se han definido 126 celdas de aproximadamente  $1 \text{ m}^2$ . En cada celda se tomaron 200 muestras de cada punto de acceso, y cada 50 muestras el dispositivo fue cambiado de orientación (giro de noventa grados). Las medidas se realizaron durante varios días, en diferentes horarios y siempre existiendo visión directa entre el

transmisor y el receptor. A partir de estos datos se obtiene el histograma por cada celda y punto de acceso. Una vez obtenidas todas las muestras, el siguiente paso fue calcular el factor medio de atenuación referente a cada punto de acceso. Para ello, y sabiendo la pérdida en el canal a 1 metro de distancia de cada punto de acceso y la potencia de transmisión de cada uno de éstos, se aplicó la ecuación (4) para calcular el factor de atenuación correspondiente a cada muestra. De estos valores, se obtiene el valor medio en cada posición. La desviación típica entre todas las posiciones es baja. Por último, se estima el valor medio de todas las posiciones para cada punto de acceso. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 3.

Debido a que los puntos de acceso están situados en el pasillo, el área de cobertura de cada uno de ellos abarca todo el pasillo, es decir, en cada celda se reciben paquetes de señalización de todos los puntos de acceso. Dada esta situación, no fueron estimadas las pérdidas de penetración debido a las paredes, por lo que no se utilizó en (3).

Los experimentos realizados se enfocaron para evaluar la precisión y la carga computacional del sistema.

TABLA III. FACTOR DE ATENUACIÓN PARA CADA PUNTO DE ACCESO

WireLess_GAC_A	1.65
Telematica	1.53
WaveLAN	1.88

#### A. Precisión del sistema

Para evaluar la precisión del sistema de localización, por distribuciones de probabilidad, se situó el dispositivo en diferentes posiciones a lo largo del pasillo. En cada posición y en diferentes instantes de tiempo se invocó el método varias veces mientras que el dispositivo portátil permanecía estático, evaluando el total de celdas posibles. La tabla 4 muestra el porcentaje medio de probabilidad de éxito en diferentes posiciones, es decir, indica el porcentaje de veces que el método de localización por probabilidad da como posición correcta la posición que se encuentra a  $x$  metros de la situación real, siendo  $x$  igual a 0, 1, 2, 3 y mayor o igual a 4. Como se puede apreciar, el método de localización tiene, en

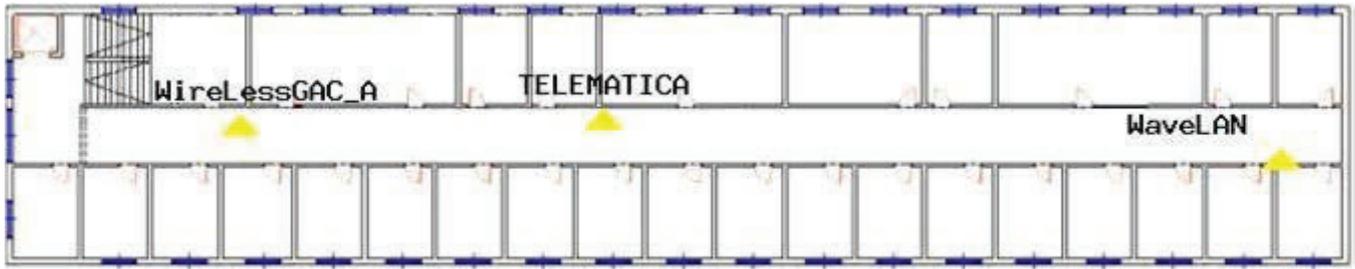


Figura 8. Plano de la planta donde se realizaron las pruebas.

el peor de los casos, un 49% de probabilidad de estimar la posición correcta, una precisión media cercana al 90% dentro del radio de tres metros.

TABLA IV. PORCENTAJES DE ÉXITO

Posición (m)	0 m	1 m	2 m	3 m	$\geq 4m$
5	71%	12%	8%	1%	8%
15	54%	23%	7%	4%	12%
25	55%	19%	13%	3%	10%
35	51%	15%	11%	7%	16%
45	59%	15%	13%	4%	9%
55	49%	19%	17%	5%	10%

### B. Coste computacional

El coste computacional del sistema propuesto depende del punto de partida estimado con el método de trilateralización y la longitud del radio  $s$  del círculo con centro en dicho punto. De la tabla 4, podemos deducir que el valor óptimo de  $s$  está en tres metros debido a que representa un éxito cercano al 90%. En este trabajo se ha evaluado el coste computacional como el número de celdas a explorar para encontrar una posición donde la probabilidad es máxima. En nuestro entorno de pruebas, un valor de  $s$  igual a 3 representa catorce celdas a explorar. En el peor de los casos y si no se utiliza el método de trilateralización se deberán explorar las 126 celdas para encontrar la celda donde la probabilidad es máxima, por tanto el sistema de localización tiene una carga computacional del 10% respecto al total, es decir, una reducción del 90%.

Algunos autores [8] utilizan agrupamiento para clasificar las diversas áreas de búsqueda. En nuestro caso, puesto que los paquetes de señalización se reciben desde tres puntos de acceso en todas las celdas, solamente se pueden distinguir tres áreas de búsqueda. Cada una de estas áreas se identifica por el punto de acceso más cercano, señal recibida con mayor potencia. Por ello, en el mejor de los casos suponiendo una agrupación en tres zonas idénticas, éstas tendrían aproximadamente el mismo número de las celdas, 42. Por tanto, el método que presentamos en este artículo tendría una carga computacional del 31% respecto al agrupamiento, es decir, una reducción del 69%.

## V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se ha presentado un sistema de localización en redes IEEE 802.11 utilizando distribuciones de probabilidad con una precisión aceptable, 90% de éxito con un error máximo de tres metros. La mejor característica de este trabajo es su coste computacional bajo debido a la reducción del área de búsqueda. La carga computacional se reduce al 69% en el peor de los casos. Esta reducción se obtiene al realizar la búsqueda a partir de un punto estimado al aplicar la técnica de trilateralización. Por tanto, el sistema de localización consume pocos recursos, y puede ser tomado en consideración para su implementación en dispositivos de mano.

Por otro lado, en los experimentos realizados se ha utilizado la misma interfaz de red para construir la base de datos como para realizar las pruebas. Esto se debe a que las medidas y el rango de los valores de RSS dependen de la interfaz de red. Debido a que los fabricantes utilizan diferentes interfaces, una nueva línea de trabajo se enfoca en diseñar una nueva técnica de localización basada en la diferencia entre los niveles de RSS para eliminar la dependencia con el tipo de tarjeta de red. Además, también estamos estudiando la posibilidad implementar filtros de Kalman para reducir las variaciones espaciales y temporales de RSS.

Además de las líneas de trabajo abiertas que hemos comentado en el párrafo anterior estamos interesados en obtener mejores resultados mediante el método de trilateralización y reducir así el radio de búsqueda. Debemos observar que el cálculo del punto de partida puede verse afectado en gran medida por la aproximación a un constante del factor de atenuación (4). Proponemos ajustar este valor para cada uno de los puntos de acceso en la fase de entrenamiento a curvas que dependan del valor  $d_i$  y sean factible de ser utilizadas mediante una formulación similar a (3).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria a través del proyecto precompetitivo de investigación ULPGC 07/030, y el Departamento de Ingeniería Telemática.

## REFERENCIAS

- [1] A. Zomaya, "Mobile Computing: Opportunities for Parallel Algorithms Research", 15<sup>th</sup> IEEE IPDPS, pp. 144-147, 2002.
- [2] R. Want and B. Schilit, "Expanding the Horizons of Location-Aware Computing", IEEE Computer, pp. 31-34, August 2001.
- [3] L. Zong, D. Kotz, R. Jain and X. He, "Evaluating next-cell predictors with extensive Wi-Fi mobility data", IEEE Transactions on Mobile Computing, vol 5, 12, pp. 1633-1649, December 2006.
- [4] P. Bahl and V.N. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system", IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM'00), pp. 775-784, March 2000.
- [5] C. Wu, L. Fu, F. Lian, "WLAN Location Determination in e-Home via Support Vector Classification", IEEE Conference on Networking, Sensing & Control, Taiwan, pp. 1026-1031, 2004.
- [6] M. Emery and M. Denko, "IEEE 802.11 WLAN based real-time location tracking in indoor and outdoor environments". Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, pp: 1062-1065, 2007.
- [7] G. V. Zaruba, M. Huber, F. A. Kamangar and I. Chlamtac "Indoor location tracking using RSSI readings from a single Wi-Fi access point". Wireless Network, Springer, vol. 13, pp: 221-235, 2007.
- [8] M. Youssef and A. Agrawala, "The Horus WLAN location determination system", IEEE International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, 2005.
- [9] A. Santamaría, F. López-Hernández, *Wireless LAN Systems*, Artech House, 1994.
- [10] K. Kaemarungsi, "Distribution of WLAN received signal strength indication for indoor location determination", International Symposium on Wireless Pervasive Computing, 2006.