

Métodos de localización basados en red en sistemas de comunicaciones móviles

Por Fernando Gutiérrez, Nizar Zorba y Noemí Freire

Instituto de Investigación e Ingeniería de Aragón (I3A)
Univ. de Zaragoza
ferguso@unizar.es
nzorba@unizar.es

La localización de usuarios en redes de comunicaciones móviles ha recibido una creciente atención en los últimos tiempos. Es evidente que una localización de usuario lo más precisa posible puede facilitar y mejorar determinados servicios y funcionalidades de la red móvil. En el presente artículo se pretende enumerar las diferentes posibilidades existentes para realizar dicha localización, así como presentar sus características generales y comentar las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

Las técnicas de localización tienen por objetivo el obtener la posición de un usuario móvil de un modo lo más preciso posible. Dicha localización es importante de cara a desarrollar y mejorar servicios y funcionalidades de la red móvil. La primera utilidad que nos puede venir a la cabeza es su utilización en sistemas de emergencia, es decir, conocer con bastante exactitud la posición de un móvil cuando realiza una llamada de emergencia. A este respecto, podemos citar la norma de la FCC (*Federal Communications Commission*) de 2001, donde se fija que los operadores deberían ser capaces de localizar los terminales móviles que hacen una llamada de emergencia E-911 con un error inferior a 100 m. en el 67% de los casos [1].

Pero esta utilidad no es la única. Podemos pensar en que el control de potencia que realiza la red, para disminuir interferencias y ahorrar en el consumo de los equipos, podría mejorarse cuanto mejor conociésemos la posición de los móviles.

Además, conocida la posición del terminal a lo largo del tiempo y empleando técnicas adicionales podemos ser capaces de realizar un seguimiento de la trayectoria del usuario, lo cual puede ser útil de cara a la gestión de recursos de la red en procesos como, por ejemplo, el "handover" o traspaso de una célula a otra de la red.

Los sistemas de localización se pueden dividir en diferentes categorías en función de los aspectos técnicos en que se basan [2]. Estas categorías son:

- Dead-Reckoning
- Sistemas de proximidad
- Identificador de celda
- Localización asistida por satélite (A-GPS: Assisted GPS)
- Localización basada en la red.

Antes de presentar estos sistemas, veremos, en el próximo apartado, las posibles fuentes de error que hacen que la localización no sea perfecta. Más adelante describiremos las bases de funcionamiento de cada uno de ellos y sus características generales, para posteriormente centrarnos en los métodos basados en red. Estos últimos son los que más nos interesan por no requerir elementos adicionales a la red móvil y proporcionar suficiente precisión [3].

Fuentes de error de la localización

Antes de presentar los diferentes sistemas de localización, es adecuado presentar las fuentes de error que van a provocar que la localización no sea perfecta y que se realice con un determinado nivel de error. Como primera fuente de error podemos citar las asociadas a los equipos que

realicen la localización que limitarán la precisión del sistema. Pero además, el medio de transmisión utilizado es clave en la exactitud de la localización. Dicho medio es el canal móvil, que se caracteriza por su alta variabilidad debido al propio entorno y a la movilidad del usuario [4]. El canal móvil hace que la señal recibida en los terminales móviles o en las estaciones base (BS: Base Station) esté la mayoría de las veces muy atenuada y que se reciba a través de múltiples componentes debidas a reflexiones, difracciones, etc.. También es habitual que no exista componente de visión directa entre terminales, lo que es una fuente directa de error en algunos de los métodos que se van a presentar. No vamos a estudiar en detalle la propagación en el canal móvil, pero si podemos representar gráficamente el comportamiento mediante la figura 1.

Sistemas de localización: Dead-Reckoning

Es una técnica de localización basada en el cálculo de la dirección y la distancia de movimiento desde una posición inicial conocida. El sistema depende de la precisión en las medidas de aceleración, velocidad y dirección de movimiento que

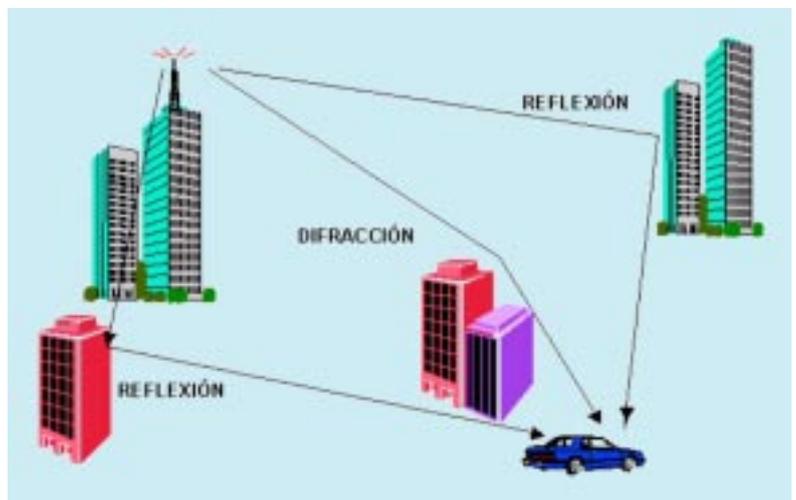


Figura 1. Comportamiento del canal móvil.

experimenta el móvil. Para realizar este sistema de localización se necesitan sensores de transmisión, los cuales miden el ángulo entre la dirección que lleva el móvil y la horizontal para poder estimar la distancia recorrida y la velocidad del móvil, y sensores inerciales, como giroscopios, acelerómetros, los cuales ofrecen métodos de medida de la posición y velocidad del móvil. Todos estos sensores pueden utilizarse para conocer la dirección en la que se mueve el móvil, θ , y la distancia recorrida por éste, d . Así, a partir de una posición inicial expresada como $x_0 = [x_0, y_0]^T$, la actualización de la posición cada instante de tiempo n viene dada por la siguiente relación:

$$x_n = x_0 + \sum_{i=0}^{n-1} d_i \quad (1)$$

donde d_i es el vector desplazamiento, $d_i = [d_i \cos \theta_i, d_i \sin \theta_i]$. Las cantidades d_i y θ_i son la magnitud y la dirección del vector desplazamiento entre los instantes $n-1$ y n .

Esta tecnología ha sido usada para crear mapas en CD-ROM y poder dar la dirección a los viajeros, incluyendo factores como condiciones de la carretera, condiciones climatológicas, imprecisiones de los equipos de medida y otros. En estos sistemas la actualización de la posición depende de la estimación anterior, así que los errores tienden a acumularse con la distancia. Este problema puede resolverse utilizando otros métodos para la actualización de la posición, mientras que entre actualización y actualización puede servir el sistema Dead-Reckoning.

Sistemas de localización: Por Proximidad

Conceptualmente son los sistemas de localización más simples. Las estimaciones son obtenidas a través del principio de referencia fija. La localización del vehículo es determinada por su proximidad a disposi-

tivos de detección fija los cuales pueden ir desde sensores magnéticos hasta los convencionales transmisores y receptores radio. Este método es muy atractivo para fijar rutas de servicio por ejemplo para los vehículos que realizan entregas, así como para pequeñas ciudades, sin embargo para grandes áreas requiere una gran infraestructura de dispositivos. Este tipo de sistemas ofrecen la capacidad del posicionamiento remoto. La identificación de vehículos por la red para este tipo de posicionamiento requiere que la información con respecto a la posición del radiofaro sea incluida en las señales que surgen de los puestos de señalización.

Este tipo de sistemas podrían utilizarse en sistemas celulares, obteniéndose una tosca localización, basándose en la cercanía a una estación base o conociendo el sector de la célula en el que se encuentra el móvil. La estaciones base serían las que jugarían el papel de detectores especializados, ofreciendo una amplia área de cobertura para este tipo de sistemas. La utilidad de esta aproximación como servicio de localización y su precisión depende del tamaño de la célula.

Un ejemplo de sistema de proximidad es el de identificación por radiofrecuencia, *RFID (Radio Frequency Identification)*. Estos sistemas están constituidos por dos elementos principales: el *tag RFID* o transpondedor, el cual posee un número de serie y potencialmente puede tener otro tipo de datos, y el *RFID lector* o interrogador, el cual detecta los *tags*. Los *RFID tags* son colocados junto a los objetos que quieren identificarse, están formados por una antena para comunicarse con el lector y un microchip que almacena entre otras cosas la secuencia de bits identificadora. Los *tags* responden a una llamada *broadcast* por parte del lector, enviando su número de serie y otros datos suyos almacenados en la memoria del lector. Existe la ventaja de que los *RFID tags* pueden ser

leídos aunque no exista línea de visión directa, a través de materiales no conductores y además varios *tags* pueden ser detectados de manera simultánea. Por todo ello los sistemas *RFID* son herramientas muy útiles en la localización de objetos físicos. Sin embargo debido a las restricciones de bajo coste y baja potencia de los *RFID tags*, la fiabilidad de este sistema puede verse decrementada bajo ciertas circunstancias como: *lecturas falsas negativas* cuando los *RFID tags* no son leídos, cayendo en el error de que el objeto no está presente cuando sí que lo está; o *lecturas falsas positivas*, cuando los *RFID tags* son leídos cuando están fuera de la región asociada al *RFID lector*, cometiendo el error de detectar un objeto cuando no está presente. Con todo ello, los sistemas *RFID*, han encontrado un gran uso en las aplicaciones de localización de objetos.

Sistemas de localización: Identificador de celda

La localización se obtiene usando sólo información estándar de la red, la cual se obtiene sin tener que realizar ningún tipo de medidas adicionales. El método sólo requiere información de la célula que está dando cobertura en un determinado momento al terminal móvil, por ejemplo, en el caso de redes *GSM (2ª Generación)* bastaría con ver el valor del *BSIC (Base Station Identity Code)* para conocer la estación base que nos da cobertura. La precisión es directamente proporcional al radio de la célula, el cual puede oscilar entre varios kilómetros en zonas rurales y centenas de metros en entornos urbanos con alta densidad de usuarios. De esto se deduce la principal desventaja de este método que es la insuficiente precisión para una gran cantidad de servicios. Como ventajas podemos citar su bajo coste, fácil implementación, rápida localización, la buena cobertura y

fiabilidad. Así pues podemos considerar que este sistema puede ser usado como apoyo a métodos más precisos, pero no como medio de localización por sí sólo.

Sistemas de localización: Asistida por satélite (A-GPS)

El sistema GPS ofrece un método viable para determinar la posición, velocidad y tiempo de un terminal GPS alrededor de todo el globo terráqueo. La determinación de la posición del receptor se basa en el tiempo de llegada.

Las funciones principales de un receptor GPS convencional son medir la distancia desde los satélites al receptor, extraer el tiempo de llegada de la señal, calcular la posición del satélite, calcular la posición de la antena receptora y la desviación del reloj del receptor.

Al error cometido en la posición del receptor contribuyen el reloj del satélite, la órbita, la predicción de la efemérides, el retardo ionosférico, el retardo troposférico y la disponibilidad selectiva. La disponibilidad selectiva es un esquema de degrada-

ción de la precisión para los usuarios civiles que provoca el aumento del error de posicionamiento, aunque desde mayo de 2000 está desactivada. Para reducir estos errores surgió la técnica de corrección diferencial (DGPS), la cual utiliza un receptor de referencia del que se conoce su posición para enviar información correcta a un receptor móvil.

Otro de los problemas que presenta un receptor convencional GPS es el retardo inicial debido al largo tiempo de adquisición del mensaje de navegación.

La utilización de GPS en la localización de terminales de una red móvil se conoce como A-GPS (*Assisted GPS*) y se basa en establecer una red GPS de referencia, cuyos receptores tengan visión clara del cielo y puedan operar continuamente. Esta red de referencia también está conectada con la infraestructura celular, de modo que monitoriza continuamente el estado de la constelación en tiempo real, pudiendo ofrecer datos tales como la posición aproximada del terminal y la corrección del reloj.

A la petición del terminal móvil o de aplicaciones de localización, los datos provenientes de la red de referencia son transmitidos al receptor GPS de terminal móvil.

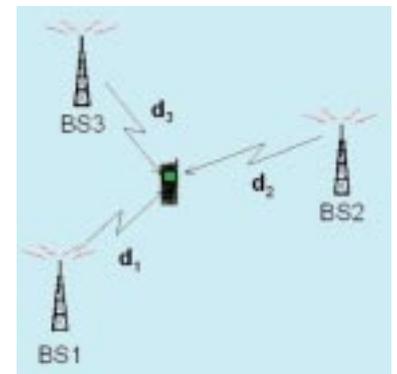
Una vez que el receptor GPS adquiere las señales del satélite disponibles, las medidas pueden ser enviadas a la red móvil o usadas internamente por el terminal móvil para calcular la posición. La estructura de este sistema se muestra en la figura 2.

La principal ventaja de este tipo de sistemas es la gran exactitud con que se realiza la localización, pues el sistema GPS permite errores del orden de unos pocos metros.

El gran inconveniente reside en que la red es más compleja y, sobretudo, en que el terminal móvil debe ser también un terminal GPS, lo cual encarece significativamente los equipos.

Sistemas de localización: Basados en la red

Estos sistemas intentan localizar un móvil midiendo las señales radio, propias del sistema, entre el móvil y las estaciones base. La radiolocalización puede ser realizada en el enlace descendente (*downlink*), donde el móvil emplea las señales recibidas de varias estaciones base para calcular su propia posición, o bien en el enlace ascendente (*uplink*), donde varias estaciones base miden las señales transmitidas por el móvil y las envían a un centro de procesado que se encarga de calcular la posición. Esta última forma de localización presenta la ventaja de no requerir ninguna modificación ni equipo especializado en el terminal móvil.

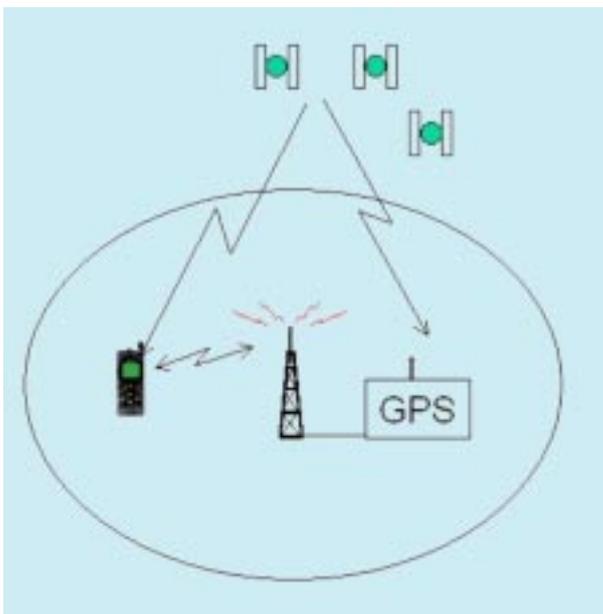


Las medidas de señal que se realizan se usan para determinar la longitud o dirección existente entre un terminal móvil y varias estaciones base ó viceversa, para con ello determinar la posición del móvil. Para conseguir una precisión elevada en las estimaciones de localización es necesario que se dé la existencia de visión directa entre el terminal móvil y las estaciones base utilizadas en el proceso de localización, lo que no es habitual en comunicaciones móviles.

La estructura de estos sistemas es la mostrada en la figura 3, donde puede verse la presencia del terminal móvil y de tres estaciones base, cada

Figura 3. Estructura de radiolocalización basada en la red

Figura 2. Método de localización basado en GPS



una de ellas a una distancia y en una dirección del móvil. En la siguiente sección veremos los diferentes métodos de localizar en estos casos, sabiendo de antemano que para localizar a un terminal móvil en dos dimensiones se requiere un mínimo de tres estaciones base con el fin de resolver ambigüedades que puedan surgir por los múltiples cruces de las líneas de posicionamiento. Dichas líneas de posicionamiento, como veremos, son curvas que describen la posible localización del móvil con respecto a cada estación base para cada uno de los métodos.

Los métodos fundamentales de este tipo de localización se basan en el nivel de señal recibida, en el ángulo de llegada de la señal, *AoA* (*Angle of Arrival*), en el tiempo de llegada de la señal, *ToA* (*Time of Arrival*) y en la diferencia de llegada de esos tiempos, *TDoA* (*Time Difference of Arrival*). Estos métodos son los que vamos a presentar a continuación.

Localización por nivel de señal

Este método de localización se basa en estimar la distancia a la que está un móvil en función del nivel de señal recibido de cada una de las bases. Esta estimación puede realizarse fácilmente al conocer los parámetros del balance de potencias, como son potencia transmitida, ganancia de antenas, pérdidas en los equipos, etc. Pero de los parámetros de dicho balance hay uno que es clave en el error que se va a cometer: las pérdidas de propagación. Dichas pérdidas se calculan empleando modelos matemáticos que dependen fundamentalmente de la distancia, frecuencia y tipo de entorno. Evidentemente los modelos matemáticos empleados sirven exclusivamente para aproximar el valor de las pérdidas, difiriendo de las pérdidas reales, en muchos casos significativamente. Esto hace que este tipo de métodos no sean adecuados para la localización.

Localización por ángulo de llegada (AoA: Angle of Arrival)

Esta clase de métodos de localización estiman la posición del terminal móvil midiendo los ángulos de llegada de una señal desde el móvil a varias estaciones base a través del uso de *antenas inteligentes*, las cuales son capaces de apuntar en la dirección donde se recibe un mayor nivel de señal. El método AoA puede ofrecer una estimación de la localización con sólo dos estaciones base mediante el cruce de dos líneas de posición, que son líneas rectas, como puede verse en la figura 4.



La exactitud del método AoA está condicionada a la precisión con la cual el ángulo de llegada es estimado, lo que depende de las características del hardware y del algoritmo de estimación usado. El sistema de localización se ve altamente influenciado por el entorno de propagación. La dispersión (*scattering*) causa la aparición de múltiples señales en la estación base que provienen del móvil y viceversa. En ausencia de visión directa el *array* de antenas tomará una señal que puede que no provenga de la dirección en la cual se encuentra el terminal móvil, lo cual introduce error en la estimación del AoA. Incluso si existiese esa componente de visión directa pudiera ocurrir que el multicamino interfiriera en la medida del ángulo.

La precisión de este método disminuye con el aumento de la distancia entre terminal móvil y estación base debido a la dispersión y a las limitaciones de los dispositivos usados para la medida de los ángulos de llegada. Por ejemplo, conside-

remos un escenario en el cual la medida AoA tiene un error de 3° con respecto a una cierta estación base. Un móvil localizado a 200m de la estación base estará a 10m de la línea de posición mientras que si está a 1000m de la estación se encontrará a 52m de la línea de posición. Esto lleva a un mayor error al móvil situado más lejos de la estación ya que la localización es determinada por la intersección de las líneas de posición.

En entornos móviles de grandes celdas (macrocélulas), los objetos causantes de dispersión están primordialmente a una pequeña distancia de el móvil, estos objetos suelen ser edificios, árboles, etc. En contraste a esta situación, las estaciones base se encuentran en lugares elevados sobre el terreno y no se encuentran rodeadas de elementos dispersores, como consecuencia las señales llegan relativamente con un pequeño ensanchamiento angular a las estaciones base. En entornos con células pequeñas (microcélulas), las estaciones base son colocadas bajo los tejados en la parte superior para confinar la señal a una pequeña área, como resultado las estaciones base estarán a menudo rodeadas por dispersores así que las señales llegarán a ellas con un gran ensanchamiento angular.

Para macrocélulas la medida AoA estará en la dirección principal de el móvil ya que sólo recibe señales por un estrecho ángulo, mientras que para microcélulas, las medidas AoA pueden alejarse bastante de la dirección correcta en la que se encuentra el móvil. Es por ello que el método AoA se adecua más a entornos con macrocélulas que con microcélulas, a no ser que se pueda garantizar de algún modo la existencia de visión directa.

Las técnicas de localización basadas en potencia y ángulo de llegada de la señal recibida presentan dificultades en un entorno con tantas reflexiones como el descrito. Eso no quiere decir que no puedan

Figura 4. Método de estimación de la posición AoA.

Figura 5. Estimación teórica de la posición basada en ToA

emplearse, pero si implica que, a priori, nos decantemos por otras técnicas como las basadas en el tiempo de llegada y las que se derivan de ellas. De estas técnicas basadas en tiempo, dos son las principales: tiempo de llegada ToA (*Time of Arrival*) y diferencia de tiempos de llegada TDoA (*Time Difference of Arrival*).

Localización por Tiempo de llegada (ToA: Time of Arrival)

En este método, la distancia entre el terminal móvil y cada una de las estaciones base (d_i) puede estimarse calculando a partir del tiempo que tarda la señal en llegar del móvil a la estación base (τ_i), haciendo:

$$d_i = c \cdot \tau_i$$

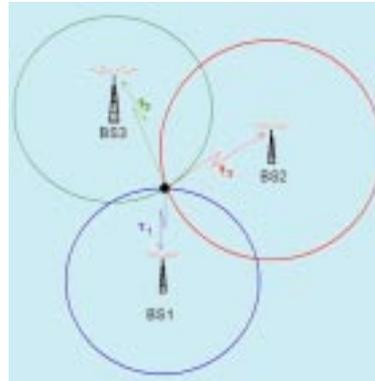
donde $c = 3 \times 10^8$ m/s. Geométricamente, esta distancia genera una circunferencia en torno a cada estación base, sobre la cual el terminal móvil debe encontrarse. La medida TOA τ_i correspondiente a la i -ésima estación base, es usada para generar un círculo de radio r_i :

$$r_i = c \times \tau_i = \|D_i - d\| = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \quad (2)$$

donde:

- τ_i : tiempo de propagación desde el terminal móvil a la i -ésima estación base
- (X_i, Y_i) : posición de la i -ésima estación base
- (x, y) : posición del terminal móvil.

En el caso ideal con el uso de tres estaciones base se resolvería el sistema de tres ecuaciones y se obtendría una única solución, correspondiente geoméricamente a la intersección de las tres circunferencias que es el punto de la superficie donde se encuentra el móvil, tal y como muestra la figura 5.



Esta localización, a priori perfecta, no va a poder realizarse en la práctica, debido fundamentalmente a los tiempos de llegada de la señal no corresponden a la línea recta que une móvil y estación base, a causa de los efectos del multicamino y de la más que probable ausencia de línea de visión directa (LOS: *Line Of Sight*), ya comentados.

Esto provoca que las distancias que calculamos para cada estación base sean estimaciones de las distancias reales, lo cual provoca que tengan un margen de error y en consecuencia la figura geométrica que se tiene en torno a cada estación base es un anillo dentro del cual estará el móvil (véase la figura 6).

Esta situación implica que la localización del móvil ya no sea un punto sino una zona más o menos amplia, es decir, la localización tiene asociado un error, más o menos grande en función de lo correcta que sea la estimación del tiempo de llegada y de la dispersión del entorno de propagación.

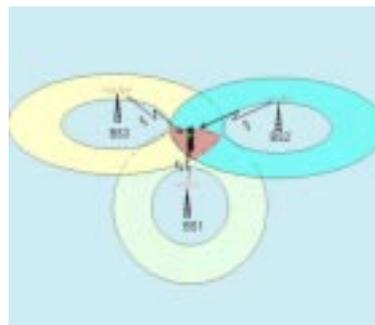
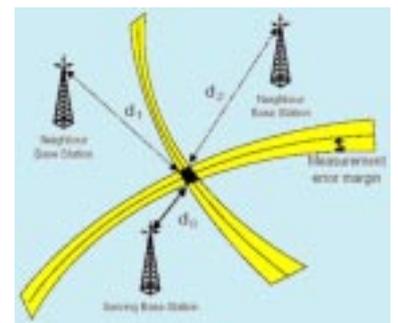


Figura 7. Estimación de la posición basado en el método TDoA.

Figura 6. Estimación práctica de la posición basada en ToA

Localización por Diferencia de Tiempos de llegada (TDoA: Time Difference of Arrival)

En este caso lo que se utiliza para determinar la posición es la diferencia de tiempos de llegada. Las líneas de posición para este método resultan ser hipérbolas debido a que son las curvas que poseen una diferencia de tiempos de llegada constantes para dos estaciones base, los focos de la hipérbolas son las estaciones base y el terminal móvil debe encontrarse en el punto de intersección de ellas. Las ramas de las hipérbolas que son elegidas para ser las líneas de posición, son elegidas dependiendo del signo de las medidas TDoA, si éste es negativo elegimos la rama de la hipérbola más alejada de la estación base con respecto a la cual se han realizado las medidas TDoA, por el contrario si el signo es positivo nos quedamos con la rama más cercana a la estación base de referencia. Este proceso puede observarse en la figura 7.



TDoA es una técnica de determinación de la posición hiperbólica, donde la llegada de la misma señal desde un terminal móvil a dos estaciones base es modelado por una hipérbola en la cual debe encontrarse el terminal móvil. Con dos de estas ecuaciones hiperbólicas podemos determinar la posición del terminal móvil. Esta técnica presenta con respecto a la ToA la ventaja de cancelar

Figura 8. Estimación de la posición mediante el método TOA-AOA.

los errores comunes a todas las estaciones base, además disminuye los efectos del multicamino [5].

Si consideramos una estación base de referencia, BS1, podemos plantear:

$$R_{i,1} = | |D_i - d| | - | |D_1 - d| | = c x \tau_{i,1} \quad (3)$$

para $i = 2, 3$

- $\tau_{i,1}$: diferencia de tiempo de llegada entre la estación i y la de referencia
- $R_{i,1}$: distancia entre la estación i y la de referencia.

La ecuación (3) puede expresarse como:

$$R_{i,1} = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \quad (4)$$

para $i = 2, 3$.

En los últimos tiempos han aparecido nuevas técnicas para no tener que tratar este método desde el punto de vista geométrico. Se presentan a continuación.

Nuevos sistemas de localización

Método CHAN

Este método fue propuesto por Chan y ofrece una solución al problema de la estimación de la posición hiperbólica no iterativo [6]. Es capaz de ofrecer un resultado óptimo cuando los sensores están colocados en lugares arbitrarios. Se basa en el estimador de máxima verosimilitud, por lo que no hay problema en la convergencia de las medidas.

Desarrollando la ecuación (3) se tiene:

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 + R_1^2 = X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2 \quad (5)$$

para $i = 2, 3$

Reorganizando la ecuación (5) se tiene:

$$1/2(R_{i,1}^2 - K_i + K_i) + R_{i,1}R_1 = -xX_{i,1} - yY_{i,1} \quad (6)$$

para $i = 2, 3$

donde: $K_i = X_i^2 + Y_i^2$
 $K_1 = X_1^2 + Y_1^2 \quad (7)$

Con esta ecuación se consigue estimar la posición del móvil.

Intersección esférica SX

Esta técnica es también no iterativa y similar al Chan [7]. Dicha similitud hace que los resultados sean similares. La ecuación (5) se reordena de la siguiente manera:

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 = X_i^2 + Y_i^2 - X_1^2 - Y_1^2 - 2x(X_i - X_1) - 2y(Y_i - Y_1) \quad (8)$$

para $i = 2, 3$

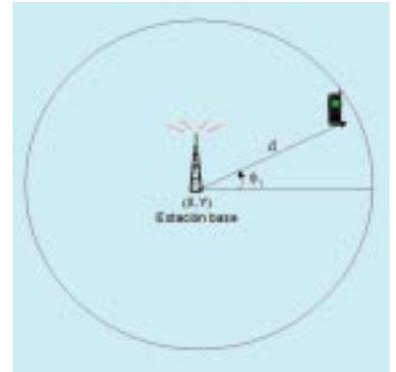
Series de Taylor

Este método linealiza la ecuación (5) mediante una expansión de series de Taylor y usa un método iterativo para resolver el sistema de ecuaciones lineales [8]. Precisa de un punto de partida y cada iteración mejora la estimación determinando la solución lineal de mínimos cuadrados. Este método presenta estimaciones de la posición del terminal móvil muy buenas pero tiene una gran desventaja, que es necesario conocer un punto de partida con bastante precisión para que el algoritmo converja y la solución calculada sea óptima.

Al contrario de lo que pasaba con el AoA, la precisión de los métodos basados en tiempo, no se degrada al aumentar la distancia entre móvil y estación base. Tampoco es necesario emplear antenas inteligentes. Lo más importante para las aproximaciones basadas en tiempo es la alta resolución en las medidas de dicho tiempo. De todos modos sigue siendo necesaria la existencia de visión directa para que exista alta precisión en la estimación de la posición.

Técnica de AoA/ToA híbrida

La técnica híbrida AoA/ToA, es el único procedimiento mediante el cual se puede determinar la posición del terminal con una sola estación base. La combinación de la determinación del ángulo de llegada (AoA) con la distancia absoluta estimada (ToA) mediante bucle cerrado (sólo se usa una estación base) permite localizar al terminal sin la participación de estaciones adicionales, por lo que se simplifica la coordinación entre los nodos de la red (ver fig. 8)



Conocida la distancia entre estación base y terminal móvil d , y el ángulo θ , la localización de dicho terminal móvil (x, y) puede ser expresada de la siguiente manera:

$$(x, y) = (d \cos \theta + X, d \sin \theta + Y)$$

donde (X, Y) : coordenadas de la estación base

Como ya se ha dicho este híbrido permite estimar la posición del terminal móvil tan sólo con el uso de una única estación base. Pero para ello es necesario el uso de antenas inteligentes que sean capaces de detectar desde que dirección está llegando la señal.

Conclusiones

En el presente artículo se han presentado las diferentes técnicas de localización de terminales móviles que existen.

En primer lugar se ha comentado la utilidad de posicionar correctamente los terminales y también se ha visto brevemente las fuentes que van a ocasionar error en la localización. Posteriormente se han presentado las diferentes técnicas de localización, comentando sus características principales, ventajas, inconvenientes y ámbito de aplicación. Finalmente hemos visto con algo más de detalle los diferentes métodos de posicionamiento basados en red, por ser los que, a priori, tienen más precisión sin requerir equipamiento adicional en los móviles ni en la red.

De los métodos basados en la red, cabe destacar los que utilizan el tiempo o la diferencia de tiempos de llegada de la señal. En base a estos se puede estimar la distancia del móvil a cada una de las estaciones base y, a partir de ahí y geoméricamente, se puede estimar la posición del móvil con un cierto error. □

Referencias

[1] FCC, "Report and order and further notice of proposed rulemaking in the matter of revision of the commission's rules to ensure compatibility with enhanced 911 emergency calling systems," , FCC Docket 94-102, June 1996.

[2] J.Caffery Jr, "Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems". Kluwer Academic Publishers Group, 2000.

[3] N. Freire, "Localización y posicionamiento de usuarios en sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación", Proyecto Fin de Carrera, Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, Universidad de Zaragoza, Septiembre 2004.

[4] J. M. Hernando Rábanos-2, "Comunicaciones móviles", Ed. Centro de Estudios Ramón Areces, S.A., 1997.

[5] F. Gustafsson and F. Gumnarsson, "Positioning Using Time-Difference of Arrival Measurements",

ICASSP'03, Hong Kong, April 2003.

[6] Y.T. Chan and K.C. Ho, "A simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.42, No. 8, pp.1905-1915, August 1994.

[7] H. C. Schau and A. Z. Robinson, "Passive Source Localization Employing Intersecting Spherical Surfaces from Time-of-Arrival-Differences", IEEE Transactions on Acoustic, Speech, and Signal Processing, Vol.29, No. 4, pp.984-995, July 1989.

[8] W.H.Foy, "Position-Location solutions by Taylor-series estimation", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-12, pp. 187-194, March 1976.