

SERVICIOS DE TERCERA GENERACIÓN SOPORTADOS EN IMT-2000

ANEXO: MÉTODOS DE LOCALIZACIÓN



JUAN PABLO GUERRÓN MELO

JAIRO MUÑOZ ERAZO

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Director Ing. Giovanni López Perafán

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
GRUPO NUEVAS TECNOLOGIAS EN TELECOMUNICACIONES
POPAYAN
2002

SERVICIOS DE TERCERA GENERACIÓN SOPORTADOS EN IMT-2000

ANEXO: MÉTODOS DE LOCALIZACIÓN

JUAN PABLO GUERRÓN MELO

JAIRO MUÑOZ ERAZO

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Director Ing. Giovanni López Perafán

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
GRUPO NUEVAS TECNOLOGIAS EN TELECOMUNICACIONES
POPAYAN
2002

MÉTODOS DE LOCALIZACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la posición de un usuario manteniendo una llamada es de particular interés para los operadores de telefonía móvil, los cuales, pueden proveer innovadores servicios basados en la localización con la ayuda de terceros (generalmente proveedores de contenidos o servicios).

Tanto se ha hablado y escrito sobre los servicios móviles que se basan en la posición, que muchas personas no saben si creer o no todo aquello que se dice. No obstante, en este momento, la incertidumbre ha desaparecido. Varios años de estudios técnicos y de mercado han definido algunos servicios, potencialmente muy provechosos. Más aún, se ha llegado a delimitar la diferencia entre lo técnicamente factible y la realidad del mercado. Lo que es cierto es que estos servicios, que se basan en la posición, ofrecen a los operadores posibilidades de diferenciarse entre ellos mismos, y que estos mismos servicios son de una importancia crucial dentro de un mercado altamente competitivo y que ha llegado a la madurez. Desde el punto de vista de los operadores, el problema reside en la necesidad de invertir en las mejores soluciones tecnológicas para resolver las demandas de sus mercados específicos. Un análisis de las tendencias y necesidades del mercado, en relación con los servicios que se ofrecen, muestra que los operadores quieren soluciones sencillas y flexibles.

Según estudios de mercado, la gente necesita, esté donde esté, encontrar un sitio para comer, una farmacia, un cajero, una parada de taxi, etc. Incluso, las necesidades aumentan cuando se viaja al extranjero para visitar las curiosidades turísticas, para orientarse, para encontrar fácilmente un hotel, para localizar una oficina de cambio de moneda. En el vehículo, estas personas pueden tener necesidad de otros servicios

adicionales, tales como una guía de navegación para orientarse en una ciudad desconocida, asistencia automovilística si se estropea el automóvil, etc.

Estos servicios utilizan principalmente dos métodos para determinar la posición llamados Cell-ID (Identificador de Celda) y GPS (Sistema Global de Posicionamiento) que se explican más adelante. En este punto es suficiente hacer notar que el método del Cell- ID se utiliza principalmente en los servicios de tarificación y de información. Por el contrario, los servicios de seguimiento de flotas y de personas utilizan mayoritariamente el método GPS.

Hoy en día, un viajero no previsor (aquel que no ha consultado los lugares en Internet, que no compró una guía, que no reservó habitación en un hotel, o no confirmó su pasaje en el avión...) pierde mucho tiempo y su teléfono móvil no le será de mucha ayuda. Esta persona es un abonado de teléfono móvil insatisfecho y, por lo tanto, un cliente a complacer con unos servicios de uso sencillo y más eficaces.

2. POSTURAS ANTE LOS SERVICIOS DE POSICIÓN

Con la llegada de las redes de Tercera Generación, los servicios de posición van a encontrar un terreno de expansión a la altura de las innovaciones que han permitido las actuales características de las redes de datos y los terminales de acceso (grandes pantallas, color, etc).

2.1 MINIMIZAR LAS INVERSIONES DE LOS OPERADORES

Los servicios de posición utilizan alguno de los diferentes métodos disponibles para determinar la posición y todos tienen alguna limitación. Mientras que unos necesitan cambiar la tarjeta SIM o incluso el propio terminal, otros implican cambios en la red.

Estas modificaciones, que el método elegido trae consigo a la cadena global de telecomunicaciones, tienen su reflejo en el impacto que acarrea en las inversiones de los operadores. De ahí que el interés se centre en minimizar estos impactos. Hay tres métodos para determinar la posición que se explican a continuación con más detalle, y en orden creciente según su precisión:

2.1.1 Cell-ID (Identificador de celda)

La precisión depende de la densidad de la red. Si con el fin de mejorar la precisión, se tiene no sólo en cuenta el Cell-ID, sino también dos medidas radio eléctricas de la red, se habla entonces de Cell-ID++. Este sistema aprovecha las medidas de potencia recibidas de las celdas vecinas (Network Measurement Results o NMR) y el mecanismo de sincronización del canal de radio en el sentido terminal móvil-estación base (Timing Advance o TA) en GSM. En los sistemas de Tercera Generación, se utiliza la medida del tiempo empleado por las ondas de radio en completar el recorrido entre E/R (Round Trip Time o RTT).

2.1.2 OTD (Diferencia de Tiempo Observada)

Es necesario diferenciar estos métodos teniendo en cuenta la generación a la que pertenece la red celular. En el caso del GSM, se habla de E-OTD (OTD mejorado). Este método sólo aporta un poco más de precisión que el proporcionado por el Cell-ID ++. Sin embargo, en el caso de 3G, se estará hablando del OTDOA (OTD de llegada ver más adelante) este método, sí ofrece una ganancia muy significativa en cuanto a precisión se refiere.

2.1.3 GPS Asistido (A-GPS)

Basado en la constelación de satélites GPS y en la ayuda del servidor de referencia en la red celular, este método ofrece la precisión más exacta.

Los métodos Cell-ID y Cell-ID++ para determinar la posición se pueden basar, bien en el terminal o bien en la red. Por el contrario, los dos métodos del tipo OTD requieren añadir una función lógica software en el terminal (y, por lo tanto, un cambio en el terminal) y añadir también un equipo de radio en la red. El A-GPS requiere una modificación en el terminal y añadir un servidor de referencia en la red.

2.2 EL VALOR DE LA DIFERENCIACIÓN

En un mercado tan competitivo, la precisión que se ofrezca a los abonados va a ser un gran factor de diferenciación, pero no a cualquier precio, los abonados juzgarán el atractivo de la diferenciación en función de la ganancia real y neta de precisión.

El abonado no será receptivo a un servicio que no ofrezca más que un ligero incremento de precisión como hace el E-OTD. Más aún, con el riesgo de que el servicio no funcione en el interior de los edificios o en las zonas rurales. Serán necesarios cambios en los terminales y los operadores tendrán que invertir grandes sumas para poder ofrecer el servicio.

No sucede lo mismo con el A-GPS porque la ganancia en precisión es muy importante y las inversiones a realizar por los operadores no son comparables con las inversiones necesarias para la alternativa del E-OTD, sin embargo, sigue habiendo problemas con la disponibilidad del servicio dentro de los edificios. Después de describir las diferentes tecnologías de posición y el grado de precisión que se puede obtener con cada una de ellas, podemos ver qué técnicas ofrecen la precisión adecuada para varios servicios.

3. PRINCIPIOS BÁSICOS: MÉTODOS DE RADIO

3.1 CELL-ID

Es el método más simple para localizar un terminal móvil. Se basa en la hipótesis de que la cobertura geográfica de una célula se ajusta a la prevista por los estudios de radio cobertura.

Dado que un terminal móvil está conectado (cuando está en conversación) a una estación base, se supone que el terminal móvil se encuentra geográficamente en la zona donde se ha previsto que esa estación base sea la más idónea para atenderle.

Por lo tanto, para asegurar una localización fiable, se requiere establecer unos mapas precisos de la cobertura de las estaciones base, utilizando las precisas herramientas de planificación celular. Por ello se hace necesario amoldar los planos para transformarlos a un formato descriptible y fácil de usar.

Es posible afinar la localización utilizando las medidas de RTT (Round Trip Time) efectuadas por la estación base, que puede medir el tiempo entre la emisión de una trama (en el sentido descendente, desde la estación base hacia el terminal móvil) y la recepción de la trama correspondiente (en el sentido ascendente, desde el terminal

móvil hacia la estación base). Utilizando esta medida, la estación base puede calcular la distancia entre ella y el terminal móvil, con una precisión de alrededor de 80 metros.

Esto permite reducir la zona de incertidumbre. Esta información, que es de poca utilidad en el caso de una celda atendida por una antena omnidireccional, puede ofrecer una mejora en la precisión en el caso de una celda sectorizada atendida por varias antenas (Ver Figura 1).

Contrariamente a lo que ocurre con los sistemas de Segunda Generación, en los que un terminal móvil sólo tiene comunicación con una única estación base, en los sistemas de Tercera Generación un terminal móvil puede estar en comunicación con varias estaciones base en las situaciones de "soft handover" (transferencia intercelular). Una dificultad suplementaria subyace en el hecho de que las estaciones base a las que el terminal móvil está conectado pueden cambiar varias veces por segundo. Esto obliga a introducir un método que permita identificar a la célula más representativa de la posición geográfica del terminal móvil. Se puede, por ejemplo, preguntar al terminal móvil qué estación recibe la señal mejor o realizar un tratamiento estadístico sobre qué celdas utiliza el terminal. Esta última solución permite afinar aún más la precisión de la localización, determinando la zona de la célula en la que se encuentra el terminal móvil.

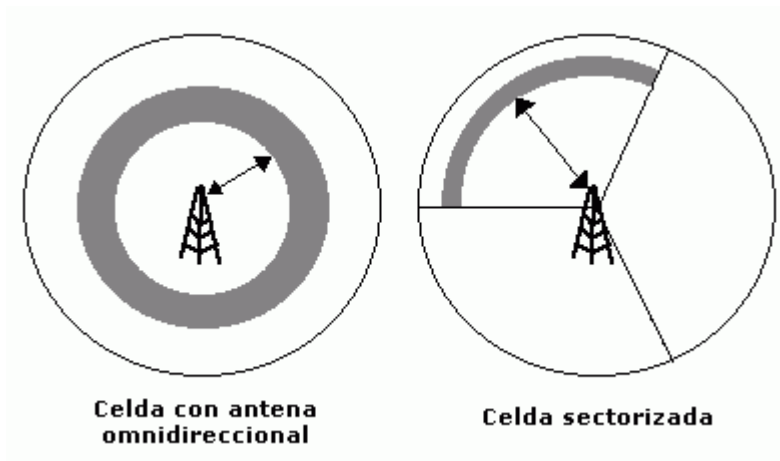


Figura 1. Celdas omnidireccional y sectorizada

En conclusión, los métodos basados en las coberturas de las celdas pueden ser suficientemente válidos para los servicios que no necesiten de una precisión inferior a unos cientos de metros. La ventaja de estos métodos radica en su bajo costo de despliegue y de funcionamiento, al mismo tiempo que se pueden implantar en todos los terminales móviles (ya que no requieren ningún desarrollo en los propios terminales).

La principal dificultad con estos métodos está en predecir correctamente la cobertura geográfica de las celdas; la mejor estación base no es siempre la más próxima físicamente. La fiabilidad y la precisión de la posición residen en la exactitud de las predicciones de radio.

Ventajas y desventajas de CELL-ID

Ventajas

- ✓ Bajo costo de implementación en la red.
- ✓ No necesita modificaciones en el terminal.
- ✓ Trabaja con terminales 2G – 3G.

Desventajas

- ✓ Exactitud dependiente del tamaño de la celda.
- ✓ No adecuado para áreas rurales y suburbanas.
- ✓ Uso práctico en pico y micro celdas.
- ✓ No es suficiente para servicios de emergencia.

3.2 TRIANGULACIÓN

Se puede evitar el problema de la predicción de cobertura utilizando un método de triangulación, midiendo los tiempos empleados por las distintas señales que vienen de diferentes estaciones base.

Si se conoce con precisión la posición de dos estaciones base, y es posible medir la diferencia de tiempo empleado por dos señales emitidas por estas dos emisoras en llegar al terminal móvil (diferencia de tiempo observado con el reloj del sistema), se

puede deducir una línea (una hipérbola) para la que esta diferencia de tiempo es constante e igual a la medida por el terminal móvil. Repitiendo esta operación, la intersección de estas hipérbolas así definidas representan la posición estimada del terminal móvil. Y, por supuesto, se puede combinar este método con la medida de RTT para afinar aún más la localización.

Este método de triangulación (Figura 2) es más preciso que el método basado en la identificación de la celda y, sobretodo, no depende de las predicciones de cobertura. Sin embargo, la precisión está directamente ligada al tiempo del trayecto de las señales desde las estaciones base, y este trayecto se ve afectado por las múltiples reflexiones que sufren en el medio urbano. Además, este método exige la visibilidad de tres estaciones base, situación que puede no ocurrir en el medio rural o en el interior de los edificios.

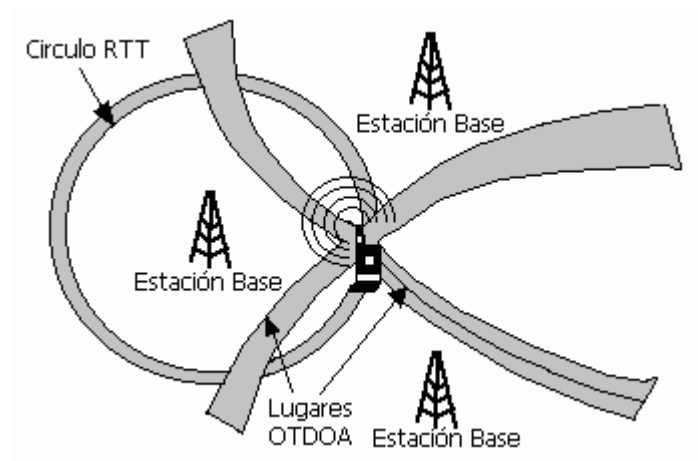


Figura 2. Método de triangulación

RTT: Round trip time - Tiempo de ida y vuelta

OTDOA: Diferencia de tiempo observada de llegada

El terminal móvil no puede medir más que las diferencias de tiempo observadas. Las diferencias de tiempo del trayecto sólo se pueden deducir si se conoce el desfase en la emisión de las señales desde las dos estaciones base RTD (Diferencia de Tiempo Relativa). Para ello existen varias soluciones:

- Sincronizar la emisión de las estaciones base, de acuerdo a un tiempo de referencia común (del tipo GPS).
- Observar y medir periódicamente esta RTD y sus derivadas con las unidades dedicadas LMU (Unidad de Medida de Localización).

Las dos soluciones son relativamente costosas, bien sea por razón del precio de los receptores GPS (equipo, acondicionamiento del lugar para tener una visión directa del cielo), o por razón del precio de los LMU, ya que sus costes de instalación son elevados.

Existen dos variantes del OTDOA, en función del papel que se le haga jugar al terminal móvil:

- Cuando el terminal móvil no reporta a la red más que las observaciones de OTD (Diferencia de Tiempo Observada), y los cálculos de la posición se realizan en la red, se habla de Mobile Station (MS)- OTDOA asistida.
- Igualmente se puede emitir al terminal móvil las informaciones de RTD medidas por los LMU y las posiciones de las estaciones base. De esta forma, después de medir la OTD, el terminal móvil es capaz de calcular su posición de manera autónoma: entonces se habla de OTDOA basado en MS.

3.2.1 Tipos del Cálculo para la posición.

La estimación de la localización es realizada por una Función de Cálculo de Posición (PCF: Position Calculation Function) que puede estar localizada en el MS o en la red.

Existen dos maneras de calcular la posición de un móvil utilizando E-OTD, conocidas como tipo hiperbólico o tipo circular, las cuales usan la misma arquitectura de la red, las funciones MS, LMU y los cálculos de la PCF.

3.2.1.1 Tipo Hiperbólico

Hay tres medidas básicas del tiempo asociadas con este tipo de cálculo:

- Diferencia de Tiempo Observada (OTD). Es el intervalo de tiempo medido por un MS entre la recepción de señales de dos Estaciones (BTS) de la red celular. La señal del BTS₁ se recibe en un tiempo t_1 , y la señal del BTS₂ se recibe en un tiempo t_2 , así los OTD valorados en este caso son: $OTD = t_2 - t_1$. Si las dos señales llegan exactamente al mismo tiempo, entonces $OTD = 0$.
- Diferencia de Tiempo Relativa (RTD). Es la diferencia de sincronización relativa en la red entre dos BTSs. Si la BTS₁ envía una señal en el momento t_3 , y el BTS₂ en el momento t_4 , el RTD entre ellos es: $RTD = t_4 - t_3$.
- Diferencia de Tiempo Geométrica (GTD). Se refiere a la diferencia de tiempo entre la recepción (por un MS) de señales de dos estaciones base diferentes debido a la geometría. Si la longitud del camino de la propagación entre la BTS₁ y la MS es d_1 , y la longitud del camino entre la BTS₂ y el MS es d_2 , entonces $GTD = (d_2 - d_1) / v$ donde v es la velocidad de las ondas de radio.

La relación entre estas tres cantidades es: $GTD = OTD - RTD$. GTD es una cantidad relacionada con la geometría de la localización (las posiciones del móvil y SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN EN SISTEMAS MÓVILES BTSs); GTD es la cantidad real que es útil para los propósitos de la localización, ya que contiene la información sobre la posición del MS, por lo tanto si sólo se conocen los valores de OTD y RTD, la localización no puede calcularse.

La estimación de la posición puede calcularse en el MS o en la red dependiendo de la aplicación. Cualquiera que sea el método utilizado, la estimación de la localización es calculada del GTD, basado en el hecho de que es posible localizar el MS que observa un valor GTD constante ($d_2 - d_1 = \text{constante}$) entre dos BTSs formando una hipérbola. El MS puede localizarse en la intersección de dos hipérbolas obtenida con tres BTSs y dos GTDs. Si más GTDs están disponibles es posible que el área de localización sea más exacta.

En la Figura 3 las flechas representan el GTD determinado, es decir, representa una diferencia constante en la distancia a dos BTSs. El resultado de la medida no es exacto, así el área que se asemeja a una "X" representa el área de incertidumbre para

la medida de OTD. El área de intersección de las hipérbolas, es la posición más probable calculada donde se encuentra el MS.

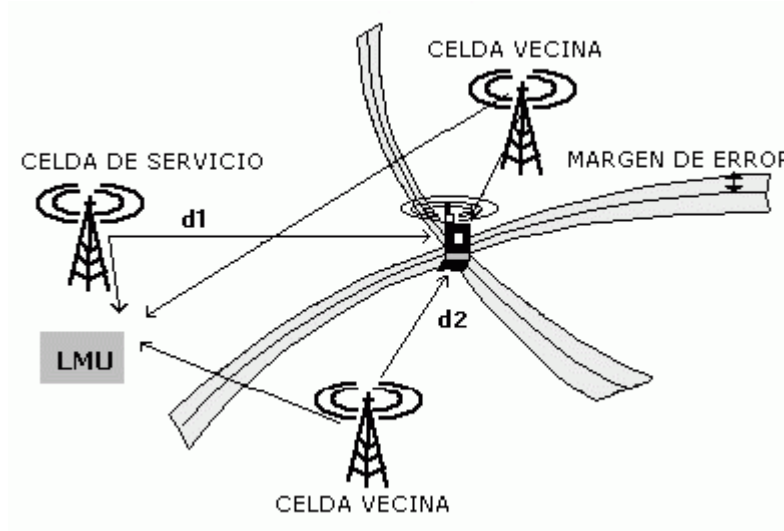


Figura 3. Método de localización OTDOA Hiperbólico

3.2.1.2 Tipo circular

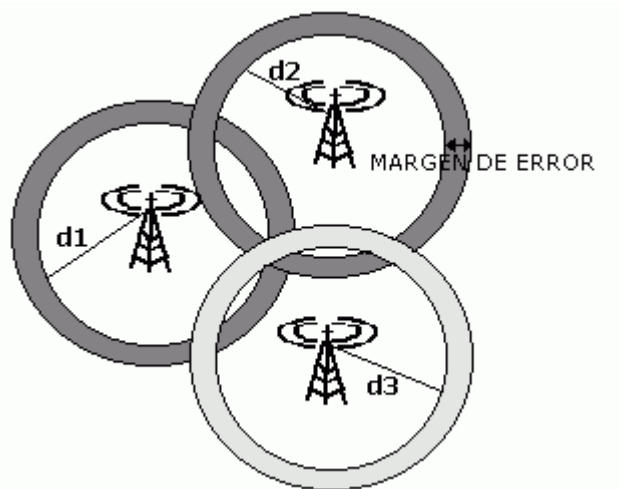


Figura 4. Método de localización E-OTD circular

Este tipo de cálculo de localización no mide las diferencias de tiempo al MS y LMU recibidas por las señales provenientes de las BTSs. Más bien, mide el tiempo de

llegada de esas señales individualmente. Hay cinco medidas asociadas con este tipo E-OTD:

- Tiempo Observado en el MS (MOT), que es una señal que llega de un BTS. Éste es un tiempo medido contra el reloj interior del MS.
- Tiempo Observado por el LMU (LOT), en una señal que llega de un BTS. Éste es un tiempo medido contra el reloj interior del LMU. Habrá un desplazamiento de tiempo ε generalmente entre el reloj interior del MS y el reloj interior del LMU.
- La Distancia Geométrica de MS a BTS (DMB).
- La Distancia Geométrica de LMU a BTS (DLB).

Estas cantidades están relacionadas por:

$$DMB - DLB = u (\text{MOD} - \text{LOT} + \varepsilon)$$

En donde u es la velocidad de las señales (la velocidad de las ondas de radio). Hay tres cantidades desconocidas subsecuentemente (la posición de $MS_{(x,y)}$, y la compensación del reloj ε), ya que tenemos estas incógnitas, se deben contar por lo menos con tres BTS, para así generar una ecuación por cada una. Éste es el mismo número de BTSs que se requiere para el tipo hiperbólico de E-OTD.

La posición del MS se define por la intersección de círculos concéntricos generados por las BTSs comunes a las observaciones hechas por el MS y LMUs, como se muestra en la Figura 4.

Los tipos hiperbólicos y circulares difieren en la relación entre el margen de error del MS y la posición geográfica del MS al BTSs.

Ventajas y desventajas de OTDOA

Ventajas

- ✓ Exactitud entre 10m y 50m.
- ✓ Excelente relación costo beneficio
- ✓ Mínimas modificaciones en el terminal
- ✓ Bajo impacto en la red (necesita un LMU Unidad de Medida de Localización)

Desventajas

- ✓ Requiere una inversión en la red para la construcción de la infraestructura de LMU.
- ✓ Tiene problemas cuando tres estaciones base no son visibles
- ✓ No son aptos los terminales heredados de 2G
- ✓ No supera en precisión a GPS

3.3 SATÉLITE

Para incrementar aún más la precisión se puede recurrir a los sistemas de localización por satélite, tales como el GPS o Galileo.

Las redes de telefonía móvil terrestre ofrecen la posibilidad de transmitir a los receptores de los satélites informaciones de asistencia, tales como efemérides, referencias de tiempo, e incluso correcciones diferenciales. Gracias a estos datos de asistencia, se mejoran considerablemente los tiempos de localización, la precisión y la sensibilidad.

De esta manera se obtienen precisiones del orden de algunos metros. Sin embargo, este servicio no funciona en el interior de los edificios, a menos que se esté cerca de las ventanas (Figura 5).

Por otro lado, este método requiere la integración de un receptor de satélite completo en el terminal móvil, lo que supone un impacto en su costo.

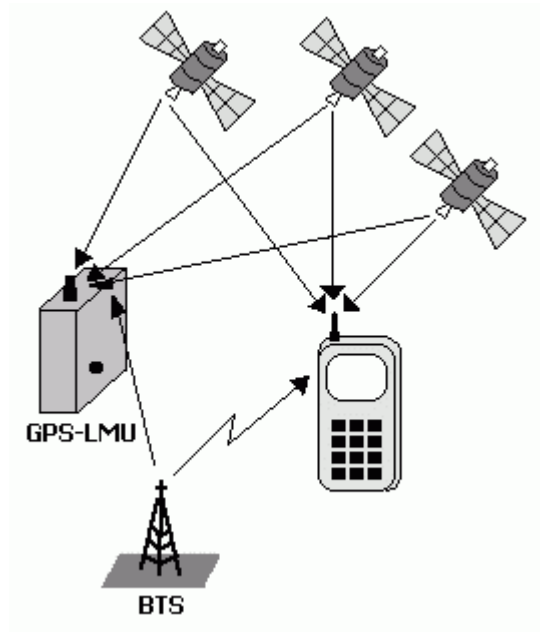


Figura 5. Método GPS – Asistido

LMU: Unidad de Medida de Localización

BTS: Estación Base Transmisor/Receptor

3.3.1 Global Positioning System (GPS)

En un Sistema de Posicionamiento Global (GPS: Global Positioning System) se pueden distinguir tres segmentos o áreas bien diferenciadas:

El segmento espacial: Término técnico que incluye los satélites del sistema. Estos transmiten información horaria, posición del satélite e información sobre el estado del satélite (estado y efemérides), para cada uno de los 24 satélites que orbitan a una altitud de aproximadamente 20,183.61 kilómetros sobre la superficie de la Tierra.

El segmento de usuario: Compuesto por los usuarios y sus receptores. Cada usuario posee un receptor GPS para recibir las señales provenientes de los satélites. El usuario no transmite nada hacia el satélite y, por tanto, este no tiene conocimiento del mismo permitiendo así que el sistema no tenga limite de usuarios para su uso al mismo tiempo.

El segmento de control: Los satélites están controlados y monitoreados por estaciones en tierra que comprueban el estado y posición de los satélites. Los parámetros orbitales, los comandos de mantenimiento y las correcciones de tiempo son actualizados periódicamente desde tierra. NAVSTAR (Sistema de Posicionamiento Global, de Estados Unidos) tiene cinco estaciones de control en Hawaii, Isla Ascensión, Diego García, Kwajalein y Colorado Spring.

Tanto NAVSTAR como GLONASS ((Global Navigation Satellite System) sistema de navegación satelital construido y mantenido por la Federación Rusa) suministran dos tipos de señales. Una utilizada en el campo militar que posee una precisión mucho mayor que la suministrada para uso civil, a la cual se le introducen una serie de errores aleatorios controlados desde las estaciones en tierra. Esta señal es de libre uso y sin costo alguno por su utilización.

3.3.1.1 ¿Cómo funciona el GPS?

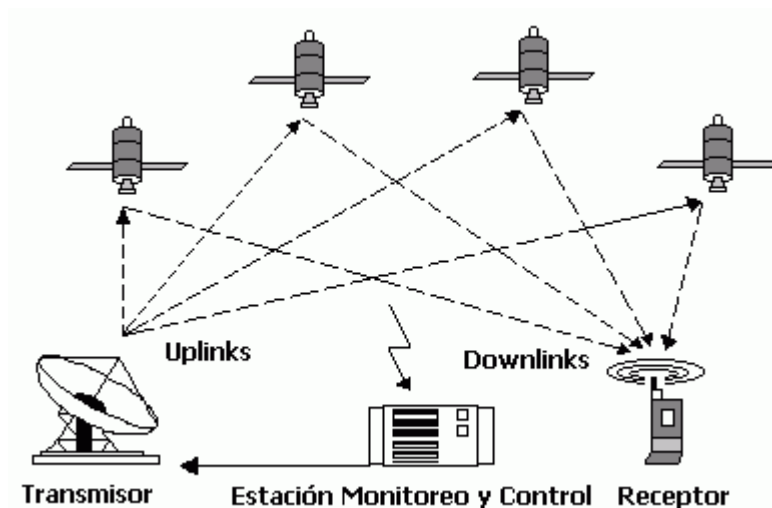


Figura 6. Sistema GPS típico

El Sistema del Posicionamiento Global (GPS) proporciona los medios para determinar la posición, velocidad, y tiempo alrededor del planeta, usando satélites que emiten señales de radio, las cuales permiten calcular la posición de un receptor que a menudo se encuentra en la superficie de la Tierra. Un sistema GPS generalmente consiste en satélites, receptores y estaciones de monitoreo y control como se muestra en la Figura

6. Los cuatro satélites mostrados en la Figura 6 emiten las señales de radio desde el espacio, transmitiendo una Señal serial Directa de Espectro Ensanchado (DS-SS: Direct Séquense – Spread Spectrum) a 1.023 Mchip/seg² con un período de código de un milisegundo; todos los satélites transmiten a 1575.42 MHz usando CDMA; la señal DS-SS de cada satélite se modula con un mensaje de navegación que incluye el tiempo exacto y una descripción de la posición del satélite.

La medida del posicionamiento para el receptor de GPS está basado en el tiempo de llegada (TOA); cuando 4 o más satélites están en línea de vista con el receptor (o la antena del receptor), son determinadas la latitud, longitud, y altitud del receptor, y según la calidad del servicio, la precisión de esta medida varía. El servicio que esta disponible para las aplicaciones comerciales e incluso para la determinación de la posición telefónica móvil es denominado Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS: Standard Positioning Service). El SPS proporciona la exactitud de la posición horizontal dentro de un círculo de 100 metros de radio 95% del tiempo pero para lograr mejor exactitud se usan las técnicas de corrección diferencial; GPS diferencial (DGPS), que puede reducir el error de la posición por debajo de los 5 metros.

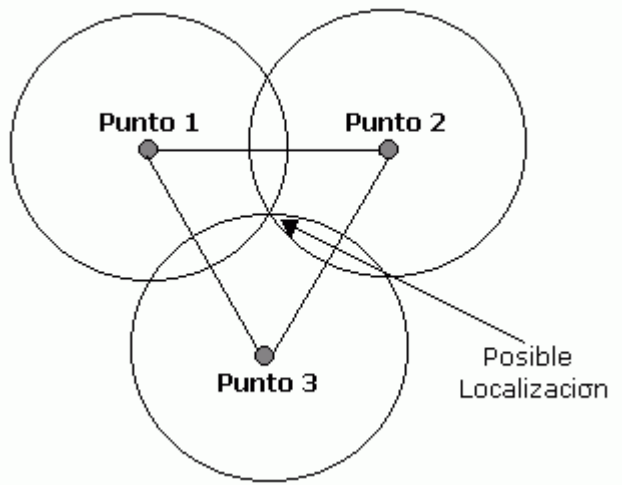


Figura 7. Tiempo de Llegada TOA

La Figura 7. se usa para mostrar una vista bidimensional simplificada del principio TOA; el sistema determina la posición basado en la intersección en el rango de los círculos, el cual es calculado del tiempo de transmisión de señal que se deduce

multiplicando el tiempo por la velocidad de la señal. Tres medidas del rango determinan una única posición y el nivel de exactitud geométrica es mayor dentro del triángulo formado por los centros de los tres círculos y disminuye gradualmente como uno se mueva fuera del triángulo. GPS usa el mismo principio dónde el círculo se vuelve la esfera en el espacio y por lo cual necesitamos una cuarta medida, que es sacada del desfase del reloj del receptor.

Para resolver el desfase entre el reloj del receptor y reloj del satélite, es usado un cuarto satélite, en caso de que los relojes de los satélites no estén sincronizados, por medio de la central de control en tierra son inmediatamente sincronizados manteniendo siempre un alto nivel de exactitud. Como resultado, pueden calcularse la posición del receptor y desplazamiento del reloj de las ecuaciones:

$$P_1 = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} + c(dT_1 - dt)$$

$$P_2 = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2} + c(dT_2 - dt)$$

$$P_3 = \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2} + c(dT_3 - dt)$$

$$P_4 = \sqrt{(x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2} + c(dT_4 - dt)$$

Donde (x_1, Y_1, Z_1) , (x_2, Y_2, Z_2) , (x_3, Y_3, Z_3) y (x_4, Y_4, Z_4) , es la posición conocida de los satélites, P_1 , P_2 , P_3 y P_4 son pseudo rangos medidos, c es la velocidad de luz y dT_1 , dT_2 , dT_3 , dT_4 , son las condiciones conocidas del reloj de los satélites basados en un tiempo GPS, las cuales son deducidos por el receptor gracias al mensaje de navegación del satélite, y dt es una variable desconocida que mide el retardo o desfase del tiempo GPS. Para la simplicidad, varias condiciones de error se han omitido en las ecuaciones anteriores. El término de la raíz cuadrada representa el rango geométrico entre el satélite y receptor, y todas las otras condiciones contribuyen a las medidas del pseudo rango.

Hay cuatro funciones principales para un receptor GPS convencional:

- Medición de la distancia de los satélites al receptor pudiendo determinar los pseudo rangos (fases del código).

- Extracción del tiempo de llegada de la señal de los mensajes contenidos en la transmisión del satélite.
- Cálculo de la posición de los satélites evaluando los datos efímeros que indican el tiempo de llegada.
- Determinación de la posición del receptor y el tiempo base GPS del receptor usando los artículos de los datos anteriores.

3.3.1.2 GPS-Asistido

La idea básica es establecer una red sincronizada GPS, la cual tenga receptores en áreas despejadas que le permitan operar continuamente y que además este conectada con la red 3G, para que cuando ocurra un requerimiento de posición esta red pueda mandar datos de ayuda que permitan aumentar la precisión del receptor GPS. Si se lleva a cabo propiamente la asistencia GPS, el método debe ser capaz de:

1. Reducir el tiempo de cálculo.
2. Aumentar la sensibilidad del censor.
3. Consumir menos poder del microteléfono.

Si el receptor GPS no sabe su localización aproximada, no podrá determinar los satélites visibles o estimar el rango y frecuencia Doppler de estos, por lo cual tiene que investigar completamente la fase del código lo cual toma de 0 a 1023 chips y la frecuencia espacial que varía de -4kHz a $+4\text{kHz}$ para localizar los satélites visibles, además de que los movimientos relativos entre los satélites y el receptor hace que la búsqueda tome un tiempo más; por consiguiente, existe un parámetro importante para evaluar la calidad de un receptor denominado TTFF (Time To First Fix). Para GPS autónomo, este tiempo podría ser superior a 10 minutos, obviamente inaceptable para las aplicaciones de Emergencia, pero se puede reducir el TTFF de un receptor a unos segundos si se transmiten datos de ayuda utilizando la red sincronizada 3G, esto reduce significativamente la búsqueda de fase del código y frecuencia espacial, además, debido a la disponibilidad del mensaje de navegación de satélite transmitida vía red celular, puede ayudar también al receptor cuando las señales del satélite son demasiado débiles para demodular la información útil; también reduce la dispersión de

poder del microteléfono cambiando al “modo ocioso” siempre que no halla necesidad de los servicios de localización. Ver Figura 8.

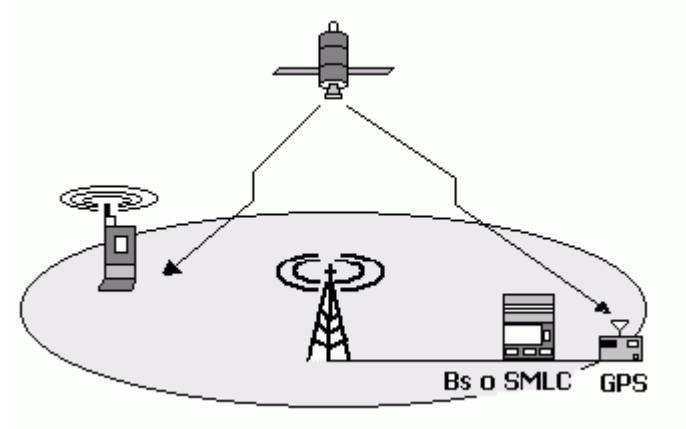


Figura 8. Sistema GPS Asistido

Ventajas y desventajas de AGPS

Ventajas

- ✓ Exactitud por debajo de los 10m
- ✓ Sistema independiente de las condiciones de red
- ✓ Puede ser implementado en cualquier dispositivo 3G
- ✓ Los receptores GPS han estado en el mercado por mucho tiempo, por lo tanto es una tecnología madura.
- ✓ Insignificante impacto en la red

Desventajas

- ✓ Adiciona el costo de un receptor GPS en el terminal
- ✓ Requiere la integración del receptor GPS dentro del teléfono móvil (sin cambios significativos en la arquitectura)
- ✓ Generalmente no trabaja en interiores o con el cielo cubierto

4. Elección de una tecnología de localización apropiada

Cada método de localización se caracteriza por un importante parámetro dentro del campo de la localización: la precisión.

La **Tabla 1** muestra una lista de todos los métodos de localización e indica, para cada uno de ellos, su precisión, el impacto en el terminal de acceso y el impacto en la red.

Teniendo en cuenta los niveles de precisión, podemos establecer una correspondencia entre servicios y métodos de localización. Las tecnologías que se basan en el Cell-Id y el Cell-Id++ satisfacen las necesidades de precisión de los servicios de información y de tarificación, y sólo las tecnologías AGPS y OTDOA se adaptan a las necesidades de los servicios de navegación y de emergencias. El OTDOA ofrece una mayor precisión si se compara con la facilitada por el Cell-ID++, lo que le hace ser una alternativa a éste último en un futuro mercado como es el 3G.

TECNOLOGÍA	METODO	IMPACTO EN LA RED	IMPACTO EN EL TERMINAL	EXACTITUD	TIEMPO DE ESTABLECIMIENTO
Cell ID	Identificación de la localización del móvil utilizando la identidad de la celda de servicio o el sector	Ninguno	Ninguno	250m - 20Km+ (depende del tamaño de la celda)	Menos de un segundo
OTDOA Diferencia de tiempo observado de llegada	Mide la diferencia de tiempo de vuelo de señales conocidas de BS's al móvil en el canal de bajada	Medio Necesita unidades de medida de localización adicional en redes asíncronas como GSM y 3G FDD	Bajo (Software y memoria)	40-150m	Segundos
A-GPS Sistema de posicionamiento global asistido	Mide el tiempo de llegada de las señales transmitidas de la constelación de satélites GPS orbitando a 20.000km de la tierra. Posible uso de asistencia de redes (Assisted GPS) para mejorar el tiempo de establecimiento y sensibilidad.	Ninguno para receptores GPS Autónomos. Bajo (Transmisión de datos de asistencia para GPS)	Muy Alto (Integración de un receptor GPS)	3-50m	Comúnmente Segundos: <5s para AGPS ~40-50s para GPS (cold start)

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de localización

TABLA DE CONTENIDO

MÉTODOS DE LOCALIZACIÓN	1
1. INTRODUCCIÓN	1
2. POSTURAS ANTE LOS SERVICIOS DE POSICIÓN	2
2.1 MINIMIZAR LAS INVERSIONES DE LOS OPERADORES	2
2.1.1 Cell-ID (Identificador de celda)	3
2.1.2 OTD (Diferencia de Tiempo Observada)	3
2.1.3 GPS Asistido (A-GPS)	3
2.2 EL VALOR DE LA DIFERENCIACIÓN	3
3. PRINCIPIOS BÁSICOS: MÉTODOS DE RADIO	4
3.1 CELL-ID	4
3.2 TRIANGULACIÓN	6
3.2.1 Tipos del Cálculo para la posición.	8
3.2.1.1 Tipo Hiperbólico	8
3.2.1.2 Tipo circular	10
3.3 SATÉLITE	12
3.3.1 Global Positioning System (GPS)	13
3.3.1.1 ¿Cómo funciona el GPS?	14
3.3.1.2 GPS-Asistido	17
4. Elección de una tecnología de localización apropiada	18