

2. Servicios Basados en Localización: LBS.

2.1. Definición y utilidades de los LBS.

Los Servicios Basados en Localización buscan ofrecer un servicio personalizado a los usuarios basándose en la información de ubicación geográfica de estos.

Los servicios LBS ofrecen una variedad de posibilidades prácticamente ilimitada. La disponibilidad de información en tiempo real relativa a la posición del usuario, como el precio del carburante y avisos sobre el tráfico, supone una mejora en la capacidad de las empresas y de las agencias públicas para suministrar bienes y servicios que los consumidores esperan recibir. Dentro de las aplicaciones destacables, se incluyen tecnologías para localizar rápidamente aparcamiento, «buscadores de amigos» para encontrar amigos y familiares sobre la marcha, y sistemas de envío de avisos sobre tiendas y actividades recreativas cercanas.

La tecnología celular permite al usuario final desplazarse y utilizar los diferentes servicios de comunicación sea cual sea su posición. Sin embargo, la misma libertad de movimiento dificulta la labor de localización del usuario.

Este estudio pretende dar a conocer algunos de los métodos de localización existentes, así como los errores que podríamos obtener de ellos aplicándolos en determinados escenarios. Habrá algunos que no se estudien con detenimiento, al no resultar interesantes, y otros que se verán más en profundidad.

Comenzaremos haciendo un breve recorrido en la historia de los LBS (artículo [1] de la Bibliografía), así como analizando algunas de sus ventajas e inconvenientes.

En los sistemas de posicionamiento tradicionales (desde la década de los setenta), la información de localización es calculada con la ayuda de un sistema de satélites (es decir, un receptor GPS). Sin embargo, no es hasta los noventa cuando empieza a aumentar el amplio interés en los LBS. Estos sistemas se utilizan principalmente en tres ámbitos: industrias militares y gubernamentales, servicios de emergencia, y sector comercial. Como ya se ha mencionado, el primer sistema de localización en uso fue el GPS, que permite la localización de personas y objetos con una precisión de hasta tres metros. GPS está financiado y controlado por el Departamento de Defensa de EEUU desde los setenta principalmente para fines militares. Es en los ochenta cuando se decide que el sistema sea de acceso libre en todo el mundo con el fin de suscitar la innovación en torno a la tecnología de los satélites. A raíz de ahí, surgen otros métodos para el cálculo del posicionamiento. Analicemos las ventajas más destacables que aporta:

- Actualmente, un gran porcentaje de las llamadas E911 se originan en teléfonos móviles; el porcentaje es estimado en un tercio de todas las llamadas al 911 (170000 al día). Estas llamadas inalámbricas al E911 no reciben la misma calidad de asistencia de emergencia que las llamadas fijas al 911. Esto es debido a que no se conoce la localización del llamante inalámbrico.
- La publicidad y el marketing de localización específica se beneficiará una vez que esté disponible la información de localización.

- La tecnología de localización inalámbrica puede también ayudar en aplicaciones avanzadas de seguridad pública, como la localización y recuperación de niños perdidos, pacientes o mascotas.
- Muchos operadores de flotas, como los cuerpos de policía, vehículos de emergencia, y otros servicios como compañías de traslados y taxis, pueden hacer uso de esta tecnología para seguir y dirigir sus vehículos de una forma eficiente para minimizar los tiempos de respuesta. Además, un gran número de conductores llevan teléfonos móviles mientras conducen por carreteras o autopistas. La tecnología de localización inalámbrica puede ayudar al seguimiento de estos teléfonos, convirtiéndolos así en fuentes de información de tráfico en tiempo real que puede ser usada para mejorar la seguridad del transporte.
- Pueden desarrollarse nuevos proyectos de seguridad inalámbrica basada en localización para aumentar la seguridad de las redes inalámbricas y evitar la interceptación de información digital. Usando información de localización, solo gente en áreas físicas específicas podrían acceder a ciertos archivos o bases de datos a través de una WLAN.
- Usando la información de localización de los usuarios inalámbricos, los proveedores de servicios inalámbricos pueden ofrecer planes de llamadas de tasa variable o servicios basados en la localización del llamante.

2.1.1. Privacidad del usuario en los servicios de localización.

La información de localización es bastante delicada en lo que concierne a la intimidad o privacidad y nadie se sentiría cómodo dejando que cualquiera sepa en todo momento dónde se encuentra. Existen normativas muy estrictas sobre el tratamiento de la información de localización (por ejemplo, no se permite el almacenamiento de estos datos). Los organismos de estandarización han reconocido la importancia de la privacidad y se han descrito varios mecanismos para el cumplimiento de las leyes sobre Privacidad en los que respecta a la información de localización. Según las Especificaciones del 3GPP, el usuario del móvil "objetivo" debe poder definir qué normas aplicar al tratamiento de la información en diferentes situaciones. Las Normas de Privacidad se pueden aplicar a un cliente LBS específico, o a un solicitante identificado. En caso de que el usuario no haya definido ninguna norma para ese cliente LBS, el tratamiento predeterminado es no permitir que se determine su posición. Es posible que el usuario desee que se le comunique que alguien ha solicitado su posición, y que puede optar entre aceptar o denegar la solicitud. Además, el usuario puede definir una contraseña y facilitársela a amigos o a las aplicaciones fiables. Cuando se ha definido una contraseña, sólo se facilitará la localización a aquellos solicitantes o aplicaciones que proporcionen la contraseña correcta. Para que los servicios de localización, como la navegación, sean útiles, es necesario que la información sea acertada. En cambio, otros servicios, como los que ofrecen información local, no dependen de esta condición. De acuerdo con las especificaciones, el usuario también puede definir las normas de privacidad conocidas como *tipo de servicio* y que sirven para permitir que determinados tipos de servicios obtengan información, pero rechazar otros.

2.1.2. Ejemplos de servicios que utilizan información de ubicación.

Con frecuencia se presenta la información de localización y los servicios basados en la posición como ejemplos de los servicios avanzados de las redes celulares. El usuario de teléfono móvil puede moverse con libertad y realizar o recibir llamadas o activar servicios desde casi cualquier parte. Evidentemente, se pueden superar las ventajas actuales de servicios de telefonía móvil si se puede seleccionar o adecuar la información atendiendo a la localización actual del móvil. También existen servicios dedicados o a los que sólo se puede acceder cuando se tiene información sobre la ubicación. Aquí describimos algunos de los servicios que aprovechan este tipo de información, empezando por el más evidente, la navegación.

2.1.2.1. Navegación.

Los servicios de navegación resultan muy útiles para la mayoría de los usuarios de telefonía móvil en determinadas situaciones. Al entrar en una ciudad por primera vez, bajar de un autobús o de un tren en un área que no conocemos, un mapa sería de gran ayuda. Quizás tengamos que encontrar una dirección y no sepamos en qué parte de la ciudad se encuentre en relación con nuestra posición actual. Otra aplicación evidente es averiguar el camino más corto hasta un lugar concreto. El beneficio de los LBS en todos estos casos es claro. En primer lugar, el servicio de navegación necesita determinar la ubicación del usuario y, después, éste debe indicar la dirección que desea encontrar. Puede parecer sencillo, pero se plantean algunas dificultades que deben resolverse para que el servicio funcione bien. Antes de nada, el usuario final y el proveedor del servicio necesitan una forma común de describir las ubicaciones, por ejemplo, el nombre de una casa, la dirección o las coordenadas geográficas. Las coordenadas, por ser objetivas y estar bien definidas, son un medio ideal para los servicios de navegación. Sin embargo, como las personas no solemos dar las coordenadas de los sitios, será necesario traducirlas a direcciones o nombres de casas. Otra posibilidad es marcar un nombre de casa o una dirección en un mapa. Los servicios de navegación suelen servirse de mapas gráficos que se visualizan en la pantalla del teléfono. También se pueden dar instrucciones de ruta en modo de mensajes de texto o de voz, pero el mapa siempre es práctico, aunque sea como apoyo.

2.1.2.2. Búsqueda de servicios próximos.

El ejemplo anterior demuestra la utilidad de disponer de información local cuando se llega a una ciudad nueva. La información relacionada con la posición se puede “inyectar” al terminal del usuario cuando entra en una zona concreta o, por el contrario, el usuario podría solicitar la información local siempre que la necesite. Este tipo de información se aproxima tanto al marketing que se podría ofrecer gratuitamente o a un precio mínimo para el usuario. Si bien, es posible que el usuario estuviera dispuesto a pagar por una información de utilidad y que se pudiera encontrar un equilibrio entre

precio y beneficio para este tipo de servicio. No obstante, la información debe mantenerse actualizada porque los directores telefónicos y las Páginas Amarillas siguen siendo un competidor fuerte y suelen estar disponibles en Internet.

2.1.2.3. Gestión del transporte.

Los transportistas son claros beneficiarios de la información de localización, porque la pueden utilizar para mejorar la eficiencia y, en consecuencia, reducir los costes. Disponer de información en tiempo real sobre la localización de los vehículos de una flota facilita la planificación y, probablemente, la combinación de los servicios. El centro de control puede optimizar la planificación en función de las condiciones del tráfico, los cambios de planes, etc. e informar a los conductores. También es útil para llevar el seguimiento de los paquetes transportados y comprobar en qué fase del proceso de entrega se encuentran. Aunque el seguimiento se puede realizar en tiempo real suele ser costoso y, con frecuencia, innecesario. La precisión de la información puede variar en unos cuantos kilómetros, en una operación de largo recorrido, y unos cuantos metros. Sin embargo, poder dar información precisa puede ser vital en el momento menos esperado, como en caso de vehículos robados o en situaciones de emergencia.

Algunos de los servicios de transporte que pueden beneficiarse son la asignación de taxis, la navegación de taxis y la vigilancia. Con la información de localización de los taxis disponibles, la oficina central puede asignar un cliente al taxi que esté más próximo, con lo que se reduce el tiempo de espera para el cliente, a la vez que mejora la eficiencia de la flota. Al cliente se le puede dar una estima de la hora de llegada del taxi y el conductor puede utilizar el sistema de localización para la navegación.

2.1.2.4. Juegos.

Los juegos en red son un *hobby* que fascina a mucha gente y los más adictos pasan horas jugando. Muchos juegos requieren toda la capacidad de gráficos y de cálculo de un PC completamente equipado para que el resultado sea satisfactorio, mientras que el secreto de otros juegos está simplemente tras una buena idea. Es evidente que los dispositivos móviles no poseen las capacidades de un PC, pero ofrecen la ventaja de ser *móviles*. Si el dispositivo de juego es también un teléfono móvil, se darán casos en los que el usuario lo tenga activo siempre para poder participar en ciertos juegos. Como el usuario lleva su teléfono móvil con él, ahora se pueden combinar los juegos del teléfono con la información de localización del terminal.

Ya hay disponibles algunos juegos de este tipo. Un ejemplo es la *búsqueda del tesoro*, en el que el jugador recibe un mensaje de texto informándole de que se ha escondido un tesoro en un determinado sitio. El primero que se acerque suficientemente, gana. El valor del tesoro va aumentando hasta que alguien lo encuentre. Otro juego es el *escondite* y consiste en intentar encontrar a otras personas utilizando los teléfonos móviles e información sobre su localización.

2.1.2.5. Optimización de la red.

Además de los servicios basados en la ubicación normales, los que el usuario puede percibir, los datos de localización se pueden servir para optimizar el rendimiento del sistema si se aplican a la planificación de la red, los mecanismos de gestión de recursos radioeléctricos, los mecanismos de gestión de la movilidad, el mantenimiento de la red y la gestión del mantenimiento, por mencionar algunos. Los diseñadores y operadores de red pueden optimizar sus redes aprovechando la información de localización de los dispositivos móviles. En la planificación de la red, el desarrollo de las políticas de tarificación y la automatización de los sistemas de gestión de la red (por ejemplo, con mecanismos para la eliminación de caídas de llamadas, bloqueos y fallos). Además, la información de localización puede utilizarse para el control de la potencia de transmisión de la BS y como mecanismo de conformación de haz para adaptar la cobertura en función del comportamiento del dispositivo móvil. Estos tipos de aplicaciones pueden no necesitar una información de posicionamiento extremadamente precisa y se pueden reutilizar fácilmente la información obtenida para otros servicios.

El control de los traspasos es un ejemplo típico de una función relacionada con la optimización de la red y basada en la información de localización.

La información de localización traerá consigo una infinidad de nuevas oportunidades para que los operadores optimicen sus redes y los sistemas de gestión de la red. Los beneficios que aportan las medidas basadas en la ubicación para la optimización de la red pueden aumentar drásticamente si se aplican junto con funciones de control de red y, en consecuencia, aumenta la inteligencia de la red de radio. En este sentido, es muy probable que la privacidad del usuario represente el mayor obstáculo para la viabilidad de estas aplicaciones.

2.3. Tipos de LBS.

En una clasificación general (en la Bibliografía los artículos [1], [2], [3] y [4], al igual que de aquí en adelante), nos encontramos con tres tipos de técnicas de posicionamiento: las basadas en la identidad celular, las que hacen uso de la red, y las que requieren una modificación de la red y del terminal móvil.

2.3.1. Técnicas basadas en la identidad celular.

Dentro de este grupo distinguimos entre la Identidad Celular Global (*CID: Cell Global Identity*), y la Identidad Celular Perfeccionada (*ECI: Enhanced Cell Id*), que supone una mejora con respecto a la anterior.

Esta técnica identifica la célula en la que está el terminal móvil. Está disponible sin realizar ningún tipo de modificación en el terminal o en la red. Ubica todo tipo de dispositivos móviles en redes GSM, GPRS, UMTS Y CDMA.

La precisión de este método depende del radio de la célula, que varía desde 50 metros en trayectos urbanos, hasta 3-4 kilómetros en trayectos interurbanos. Actualmente, es el sistema de posicionamiento más utilizado por las operadoras.

2.3.2. Técnicas basadas en la red.

Estas requieren cambios en los equipos de red existentes, pero no en los terminales de usuario. Tienen la ventaja de que son mucho más precisas y por tanto son las que veremos más en detalle.

Las cuatro primeras técnicas que veremos a continuación vienen descritas en el artículo [2] que aparece en la Bibliografía. Este artículo ha sido el más utilizado en este trabajo.

2.3.2.1. Ángulo de Llegada (*Angle of Arrival*, AOA o *Direction of Arrival*, DOA).

Este método utiliza antenas inteligentes situadas en el Nodo B para determinar el ángulo de la señal incidente. Si un terminal que transmite una señal está en la línea de visión directa (LOS, *Line Of Sight*), la antena *multiarrray* puede determinar de qué dirección viene la señal. Para conocer la posición del terminal es necesaria al menos una segunda estima procedente de otro Nodo B con la misma tecnología que el primero. El segundo Nodo localizará al terminal y comparará sus datos con los del primero para después calcular la posición del usuario mediante trigonometría. En principio sólo son necesarios dos Nodos B para estimar la posición del terminal móvil, por este motivo AOA resulta efectiva en entornos rurales, donde es complicado disponer de visión de tres Nodos B al mismo tiempo. Pero en condiciones adversas (entornos urbanos) suele ser imprescindible emplear más Nodos con el fin de obtener mayor precisión. Los sistemas AOA deben diseñarse para tener en cuenta señales multitrayecto: aquéllas que son consecuencia de una reflexión y que por tanto llegan a la antena con un ángulo erróneo. Por otra parte, la instalación y alineación de las antenas inteligentes en los Nodos B es un proceso complicado y caro. Además, si las antenas sufren una leve modificación en su orientación debido al viento o a las tormentas se pueden producir errores considerables en la estima, ya que ésta se realiza en base a ángulos absolutos respecto de la antena.

2.3.2.2. Tiempo de Llegada (*Time of Arrival*, TOA).

Esta técnica se basa en la medición del tiempo de llegada de una señal transmitida por un terminal móvil a diferentes Nodos B. Para efectuar el cálculo una posibilidad es medir el tiempo de ida y vuelta de la señal. De esta manera la distancia recorrida por la señal se calcula como producto del tiempo empleado en llegar al Nodo B y la velocidad de la luz.

Mediante TOA, y para obtener una precisión aceptable en el cálculo de la posición de un terminal, es necesario efectuar medidas al menos respecto a tres Nodos B. Las medidas permiten trazar circunferencias con centro en cada uno de los Nodos, dando su intersección como resultado el punto donde se encuentra el terminal que se desea localizar. Posteriormente se transmiten al servidor de localización, que realiza los cálculos y corrige los errores utilizando métodos matemáticos. Estos errores pueden deberse al tiempo de procesado en el terminal, el cual depende del fabricante y también de la situación de carga del dispositivo en un momento determinado. Otra desventaja que presenta esta técnica es que la ausencia de visión directa entre el terminal y el Nodo puede causar un error que desemboque en una falsa estima.

2.3.2.3. Diferencia en el tiempo de llegada (*Time Difference of Arrival, TDOA*).

TDOA emplea la diferencia entre los tiempos de llegada de la señal procedente del terminal móvil a distintos pares de Nodos B para calcular la posición. Puesto que la curva cuyos puntos satisfacen la condición de que su distancia a dos referencias (en este caso un par de Nodos B) sea una constante es una hipérbola, si se calcula esta correlación para varios pares de Nodos B la intersección de las hipérbolas resultantes muestra el punto donde se encuentra el terminal móvil.

La sincronización entre Nodos B es muy importante, pues la falta de sincronía se traduce en errores de precisión. La principal ventaja de esta técnica es que puede funcionar incluso sin señal de visión directa, ya que la diferencia de tiempos cancela posibles errores por reflexiones. Pero en entornos favorables al multitrayecto (áreas urbanas) a veces es necesario efectuar las medidas respecto a cuatro Nodos B para compensar los efectos de las reflexiones.

Es un método muy complejo, y que no se verá muy en profundidad.

2.3.2.4. Fusión de datos.

Es una técnica "híbrida", la cual resulta de combinar algunas de las anteriores. Esta técnica mejora la precisión sin modificar notablemente las características de coste y complejidad. En nuestro caso hemos implementado un sistema híbrido que adopte la estima mediante AOA para cada Nodo B y las estimaciones TDOA para Nodos múltiples. Esta técnica se utiliza sobretodo en entornos rurales.

2.3.2.5. Estima de la posición mediante almacenamiento previo del retardo.

Disponemos de un número determinado de Nodos B. Cada uno de ellos posee almacenado el retardo que tendría una señal que proviniera de una localización concreta. Sabiendo esto, el método calcula dicha localización con ayuda de la potencia de señal que llega a cada Nodo. Este método se verá con detenimiento en el capítulo siguiente.

2.3.2.6. Fusión de datos en condiciones de propagación no directa.

Cuando tenemos un escenario al que llegan múltiples señales debido al multitrayecto, es necesaria una técnica que mediante algún mecanismo sea capaz de averiguar cuál es la señal deseada y de dónde proviene. Pues bien, este método pretende realizar esta labor con unos determinados mecanismos fáciles que se expondrán más adelante. Es un método muy lento, ya que debe ir dato por dato desechando el que no cumpla unos criterios concretos, pero aún así es un método muy sencillo.

2.3.3. Técnicas basadas en la modificación de la red y del Terminal Móvil.

2.3.3.1. Tiempo de llegada con Terminal modificado (*Time of Arrival*).

El concepto es el mismo que el del método TOA, con la diferencia de que el terminal envía una señal conocida previamente por el receptor. El receptor es capaz de averiguar el retraso sufrido comparando lo que recibe con dicha señal. El inconveniente de esta técnica es que requiere muy buena sincronización entre relojes de Nodos y de terminales, ya que la señal debe llegar bien muestreada al receptor, con la diferencia de que lo hará con un retraso que es el que suponemos vamos a calcular.

2.3.3.2. Ángulo de llegada con Terminal modificado (*Angle of Arrival*).

Es semejante al método anterior, con la diferencia de que lo que aquí buscamos es el ángulo de llegada. También será necesaria la sincronización entre terminal móvil y antena.

Además de estos dos métodos hay un tercero que utiliza las características de ambos, y que se verá junto a ellos con detenimiento en el capítulo 6.

2.3.3.3. Diferencia de tiempo de llegada perfeccionada (*Enhanced Observed Time Difference, E-OTD*).

Esta técnica incluye una nueva tecnología en móvil y Nodo B. Aparecen las denominadas unidades de medida de posición (*Location Measurement Units: LMU*), que se instalan en la red determinando posiciones geográficas dispersas. La densidad de LMUs determinará la precisión del sistema. Normalmente habrá una LMU por cada uno o dos Nodos. Estos receptores y los terminales móviles habilitados con software E-OTD realizan medidas de las señales procedentes de tres o más Nodos B periódicamente. Las diferencias temporales de llegada de la señal a los dos puntos (LMU y terminal) se combinan para producir líneas hiperbólicas que se intersectan donde se encuentra el terminal móvil, dándonos su posición.

No se volverá a hablar más delante de esta técnica ya que queda fuera del alcance de nuestro estudio.

2.3.3.4. Trilateración avanzada de enlace hacia delante (*Advanced Forward Link Trilateration, A-FLT*).

La técnica A-FLT es exclusiva para redes CDMA, pues éstas son síncronas en operación. El método consiste en medir la diferencia de retardos entre señales enviadas a dos Nodos B, y compararla con la diferencia de otras dos. Así, con tres Nodos B se puede localizar a un terminal móvil.

Hay otra técnica mejorada con los mismos fundamentos que AFLT, llamada EFLT (*Enhanced Forward Link Trilateration*), pero ninguna de ellas se verá en profundidad.

2.3.3.5. Sistema de posicionamiento global (*Global Positioning System, GPS*).

No es la idea de este trabajo hablar sobre GPS y A-GPS, ya que sólo buscamos métodos que utilicen la componente terrenal de la tecnología UMTS. Aún así, dada la importancia que ha poseído y posee este método de posicionamiento, no puede quedar fuera de este resumen sobre métodos de localización.

El GPS funciona con una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. Con base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite. Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra. La triangulación en el caso del GPS, a diferencia del caso 2-D que consiste en averiguar el ángulo respecto de puntos conocidos, se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o las coordenadas reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites.

Tiene el inconveniente de que la señal del satélite se vea atenuada por edificios; además del retardo relativamente largo en la recepción de las señales.

Ofrece una precisión de 5 a 20 metros. Se puede emplear DGPS (*Differential GPS*), y así obtener mayor exactitud (de 1 a 5 metros).

2.3.3.6. Sistema de posicionamiento global asistido (*Assisted Global Positioning System*).

A-GPS, fue introducido para mejorar el rendimiento. El A-GPS (GPS Asistido) es un GPS integrado en el terminal que usa las antenas de telefonía móvil para recibir datos de los GPS más rápidamente. Con este sistema se aprovecha el uso del móvil para lograr una localización y posicionamiento más rápido en el momento de iniciar la aplicación.

El GPS asistido es aplicable tanto a redes síncronas como a redes asíncronas, pudiendo ser utilizado en GSM, GPRS, UMTS y CDMA.

Los principales problemas de esta tecnología son el uso de receptores de referencia en los terminales y el posible bloqueo de la línea de visión directa provocado por obstáculos como edificios.

Todo lo visto anteriormente podría situarse dentro de los métodos de localización en “espacios abiertos”. Existen también los métodos de posicionamiento en “espacios cerrados”, como son el Bluetooth, WiFi y la Banda Ultra-Ancha (*Ultrawideband*), pero no se explican porque quedan fuera del alcance de este estudio.