

Servicio de Localización a través de una Red UMTS

R. Sánchez¹, R. Timbiano², W. Medina³
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación (FIEC)
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
robertsanchez2110@hotmail.com¹, atimbiano@hotmail.com², wmedina@espol.edu.ec³

Resumen

Hoy en día la necesidad de localizar personas, objetos o cosas tiene una demanda cada vez mayor, por lo que los Servicios de Localización se están convirtiendo en un servicio muy popular para los usuarios de telefonía móvil; para fines informativos, de seguridad, entretenimiento, etc. En el contexto de los métodos de posicionamiento generales y de los métodos usados en redes UMTS, este trabajo trata de resumir y analizar las diferentes técnicas de posicionamiento más comunes usadas en los Servicios de Localización. Los métodos usados en UMTS son: Cell-ID o Cobertura de Celda, OTDoA-IPDL o Diferencia de Tiempo de Arribo Observada, y Asistido por GPS. Desde el punto de vista analítico y matemático hemos propuesto un algoritmo hecho en Matlab y Simulink, para simular los diferentes métodos y la técnica empleada; de manera gráfica, minuciosa y comprensible, en especial como se intersectan las curvas, círculos y esferas, para encontrar la posición del objetivo. Con esta simulación se intenta comprender de forma clara el proceso de posicionamiento y finalmente hacer un análisis comparativo entre dichos métodos.

Palabras Claves: Servicios de localización en una red UMTS, Cell-ID, OTDoA-IPDL, Asistido por GPS, TOA, Algoritmo, Simulación.

Abstract

Today the need to locate people, objects or things have a growing demand for what Location Services are becoming a very popular service for mobile phone users, for informational purposes, security, entertainment, etc. In the context of positioning methods and general methods used in UMTS networks, this paper attempts to summarize and analyze the different positioning techniques commonly used in Location Services. The methods used in UMTS are: Cell-ID or cell coverage, OTDoA-IPDL or Observed Time Difference of Arrival, and Assisted GPS. From the standpoint of analytical and mathematical, we have proposed an algorithm in Matlab and Simulink to simulate the different methods and the technique used, graphically, thorough and understandable, especially as they intersect curves, circles and spheres, for find the position of the target. With this simulation we try to understand clearly the process of positioning and finally make a comparison between these methods.

Keywords: Location Services in UMTS networks, Cell-ID, OTDoA-IPDL, Assisted GPS, TOA, Algorithm, Simulation.

1. Introducción

El posicionamiento es una tecnología clave para muchos servicios basados en la localización del usuario u otras personas u objetos móviles. Lo atractivo de estos servicios es el hecho de que los participantes no tienen que ingresar la información de localización manualmente, sino que son localizados y rastreados automáticamente, para lo cual existen varios métodos diferentes entre sí, en un número de parámetros de calidad y otras circunstancias. Una vez que la información de localización es obtenida, necesita ser procesada en varias maneras, incluyendo la

transformación al formato de otro sistema de referencias [2].

2. Fundamentos de Localización

Los servicios de localización se encargan de la ubicación de personas y objetos y de hacer disponible el dato de localización resultante a actores externos [2].

Básicamente, el término “locación” está asociado con un cierto lugar en el mundo real, como un aeropuerto, un bar, una oficina o aún el lugar de residencia, es decir locaciones físicas.

Las categorías de locaciones físicas pueden ser divididas en 3 sub-categorías relevantes:

Locaciones descriptivas: territorios, montañas, lagos, fronteras, ciudades, países, caminos, edificios y salones dentro de un edificio, estructuras que son referidas por descripciones, nombres, identificadores o números, de ahí el nombre.

Locaciones espaciales: un término intuitivo para esto es *posición*, expresado por medio de coordenadas de 2 ó 3 dimensiones, no son usadas en nuestra vida diaria porque la gente prefiere los términos geográficos en lugar de coordenadas.

Locaciones de red: se refieren a la topología de una red de comunicaciones, estas redes están compuestas de muchas redes locales o subredes, la provisión de servicios en estas redes asume que la locación del aparato del usuario con respecto a la topología de la red es conocida por medio de direcciones de red, por ejemplo direcciones IP en internet o estaciones base en telefonía móvil.

3. Métodos de Posicionamiento en UMTS

Los siguientes tres métodos de posicionamiento han sido especificados para redes UMTS: Métodos Basados en Celda, Diferencia de Tiempo de Arribo Observada con Enlace de Bajada Periódicamente Inactivo (OTDoA-IPDL), y Asistido por GPS.

4. Método Basado en Celda

Derivan la posición del terminal de las coordenadas de la estación base. En su forma más simple, la posición es derivada de mapear el identificador de celda a las coordenadas de la estación base servidora. Si se desea, la posición puede ser mayormente refinada tomando en cuenta la distancia entre el terminal y la estación base y el AOA de las señales entrantes a la estación base. La forma en que la distancia es determinada depende del modo UTRAN. En FDD, el tiempo de viaje redondo (RTT) es medido continuamente por todos los terminales en estado PMM CONECTADO. El RTT está definido como $RTT = t_{RX} - t_{TX}$, donde t_{TX} es el tiempo de transmisión del inicio de un frame de bajada hacia el terminal, y t_{RX} el tiempo de recepción de el inicio del correspondiente frame de subida desde el terminal. En TDD la distancia es obtenida de la llamada *desviación de cronometraje recibida*, la cual es definida como $t_{RXdev} = t_{TS} - t_{RXpath}$ donde t_{RXpath} es el tiempo de arribo de un slot en el enlace de subida a la estación base. Y t_{TS} denota el tiempo de referencia en que el slot debería haber arribado de acuerdo al cronometraje interno de la estación base. La desviación de tiempo recibida no solamente es usada en posicionamiento, sino especialmente para implementar un mecanismo avanzado de cronometraje. La determinación del AOA es una característica solamente disponible en TDD si la respectiva estación base está equipada con un arreglo de antena [2].

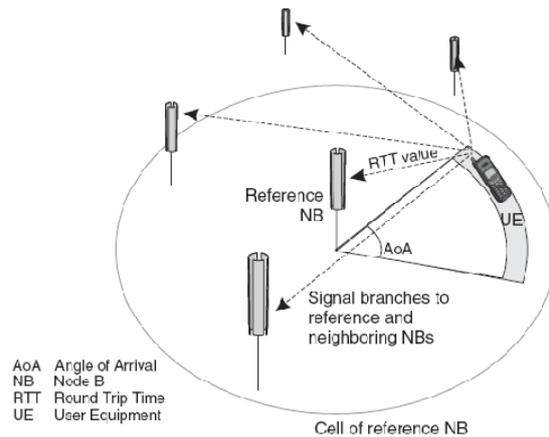


Figura 1. Posicionamiento basado en celda [2]

5. OTDoA-IPDL

Dado un par de Nodos B ($NB1$, $NB2$), siendo r_1 el rango geométrico entre el terminal y $NB1$ y r_2 el rango geométrico entre el terminal y $NB2$, la posición del terminal puede ser limitada a todas las coordenadas para las cuales la diferencia $r_2 - r_1$ tienen el mismo valor. Por definición estos puntos yacen sobre una hipérbola [2].

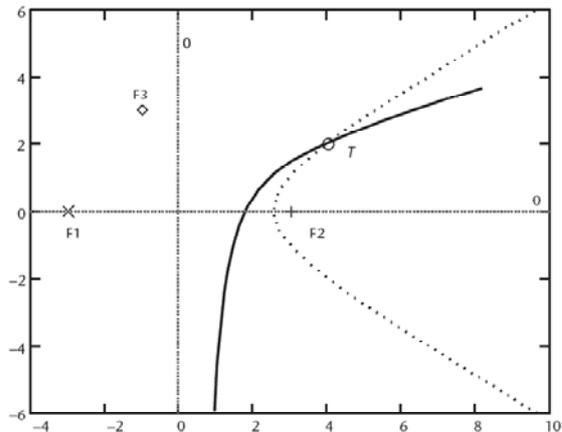


Figura 2. OTDoA usando 3 estaciones fijas [1]

Si la hipérbola de otro par de estaciones base se construye de la misma manera, por ejemplo ($NB2$, $NB3$), entonces ambas hipérbolas se intersectan en cierto punto el cual representa la posición deseada [2].

La diferencia $r_2 - r_1$ es proporcional al periodo de tiempo entre el arribo de las ráfagas de datos en el enlace de bajada de diferentes Nodos B, asumiendo que ellas han sido emitidas exactamente al mismo tiempo. Este periodo de tiempo se llama Diferencia de Tiempo Geométrica (GTD) y está dada por $GTD = (r_2 - r_1) / c$, donde c es la velocidad de la luz. Sin embargo, debido a la ausencia de sincronización de tiempo, es necesario no solamente medir el periodo de tiempo entre el arribo de las ráfagas de datos al terminal, sino también determinar

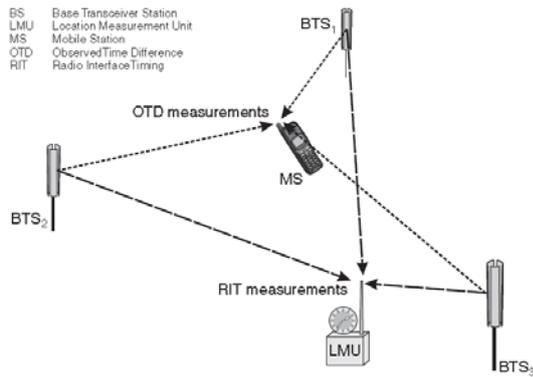


Figura 3. Mediciones RIT y OTD [2]

el desbalance de tiempo entre sus emisiones en los Nodos B. Esto da lugar a otras dos cantidades de sincronización llamadas Diferencia de Tiempo Observado (OTD) y Diferencia de Tiempo Real (RTD).

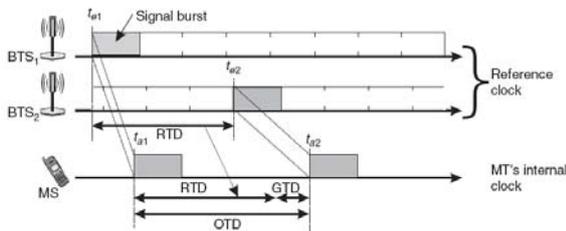


Figura 4. Relaciones entre GTD, OTD y RTD [2]

La Figura 4 muestra las relaciones entre GTD, OTD y RTD. OTD se refiere al periodo de tiempo que es observado en el terminal entre el arribo de ráfagas de datos desde dos diferentes Nodos B. Si t_{a1} es el tiempo de arribo de una ráfaga de datos desde $NB1$ y t_{a2} es el tiempo de arribo de una subsecuente ráfaga de datos desde $NB2$, entonces $OTD = t_{a2} - t_{a1}$. Hay que notar que t_{a1} y t_{a2} son medidos contra el reloj interno del terminal.

El RTD expresa la desviación de tiempo entre la emisión de las ráfagas de las señales en dos distintos Nodos B y es observado en el LMU contra su reloj interno. Si t_{e1} es el tiempo de emisión de la señal en NB_1 y t_{e2} el de NB_2 , entonces $RTD = t_{e2} - t_{e1}$. Habiendo determinado los valores OTD y RTD, el GTD puede ser determinado como sigue:

$$GTD = OTD - RTD$$

Las mediciones de tiempo tienen que ser hechas en el LMU y en el terminal. Las mediciones hechas por un LMU se llaman mediciones de *Cronometraje de interfase de radio* (Radio Interface Timing o RIT), mientras que aquellas ejecutadas por el terminal son llamadas *mediciones OTD*. Debido a que ellas son ejecutadas en dos diferentes sitios, es necesario coordinarlas cuidadosamente y alinear los resultados

logrados durante las mediciones. Esta tarea es adoptada por el SMLC, el cual se comunica con el LMU y el terminal a fin de instruirlos en como exactamente ejecutar las mediciones e intercambiar valores de RTD y OTD. La Figura 3 proporciona una apreciación general de este proceso de coordinación.

6. Asistido por GPS

Para ser localizado con precisión por A-GPS, el terminal objetivo debe estar equipado con una unidad GPS para recibir señales piloto y datos de asistencia de los satélites. Para lograr las mejoras mencionadas, esta unidad GPS está apoyada por datos de asistencia adicionales e información de control desde la red celular. Así, la unidad GPS dentro del terminal es actualmente apoyada por dos conjuntos de datos, uno compilado por la red y otro entregado por los satélites.

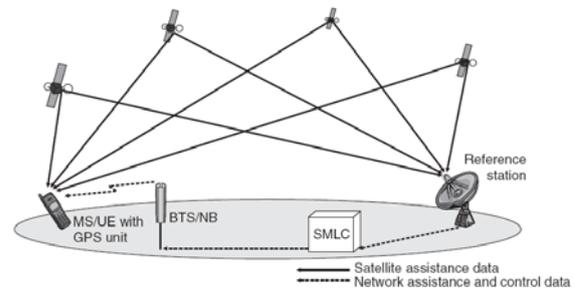


Figura 5. Arquitectura A-GPS [2]

Además de terminales con capacidad GPS, otro requisito es la disponibilidad de estaciones de referencia dentro de la infraestructura celular para el cálculo de datos de corrección y compilación de la materia prima para los datos de asistencia. La estación de referencia está conectada a un SMLC (independiente o asociado con un SRNC) el cual coordina el proceso A-GPS. No es necesario equipar cada celda de radio con su propia estación de referencia, es suficiente con una estación para áreas con un radio de aproximadamente 200 km. La Figura 5 muestra la arquitectura A-GPS y la señalización entre componentes [2].

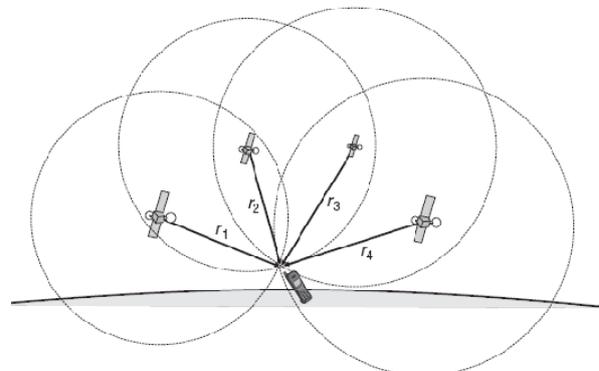


Figura 6. Aplicando TOA en A-GPS [2]

La geometría de este método se basa en la técnica del método TOA (Tiempo de Arribo), que se basa en la intercepción de esferas (Figura 6), donde el centro es el satélite y el radio es el tiempo que demora la señal en arribar del satélite al terminal multiplicada por la velocidad de la luz.

7. Simulación en Matlab

Para la realización de esta simulación hemos utilizado el programa Matlab y Simulink v.R2008a [3], el segundo para representar los bloques de la red UMTS y generar los datos de localización, y el primero para realizar la representación grafica de los datos obtenidos en Simulink. Hay que aclarar que nuestra intención es representar de una manera gráfica los procesos de localización estudiados en los capítulos anteriores para las técnicas indicadas, y presentarlos de una manera comprensible, más no recrear fielmente una red UMTS debido a las limitaciones del programa. Igualmente los bloques de Simulink generan datos aleatoriamente que sirven para realizar los cálculos y gráficos de Matlab. Para empezar hemos creado un menú con varios botones que abren los modelos creados en Simulink y los gráficos en Matlab.



Figura 7. Menú de la simulación

7.1. Cell-ID/RTT/AoA

Al hacer clic en el botón Cell ID Model se abre el modelo en Simulink y al ejecutarlo queda de la siguiente manera (Figura 8).

RNC (Controlador de la Red de Radio) realiza un paging en las celdas una de las cuales contiene al móvil, el cual responde al paging y devuelve el número de la celda en la cual se encuentra, lo cual podemos ver en el display. Conocida la posición del móvil a nivel de celda, se puede mejorar la precisión utilizando los datos de RTT y de AoA también presentes en la salida del RNC.

Una vez establecidos estos datos hacemos clic en el botón Cell ID Graphic ejecutándose el programa que realiza la gráfica presentando de inmediato un clúster de 7 microceldas cada una con un diámetro de 1Km (Figura 9).

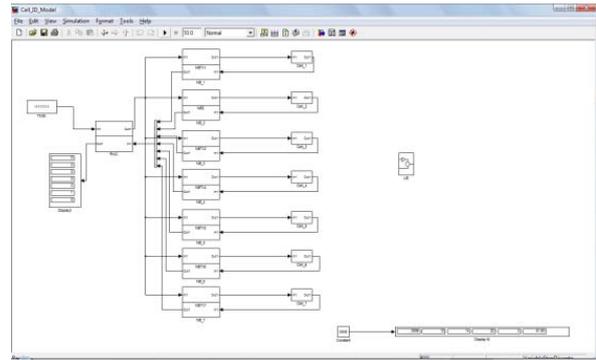


Figura 8. Modelo en Simulink para Cell ID

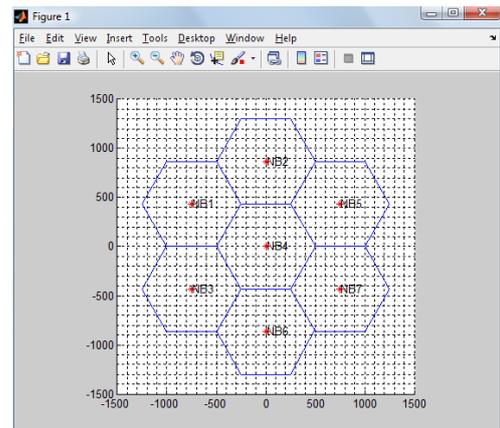


Figura 9. Clúster de 7 celdas

Luego se realiza el paging en todas las celdas (Figura 10). Se establece la celda en la que se encuentra el móvil, en este caso la #3 (Figura 11). Y finalmente se refina la posición del móvil usando los datos de RTT y AoA, con lo cual el móvil se encuentra a una distancia aproximada de 273,45 mt. y un ángulo de 344,7° medidos desde el Norte.

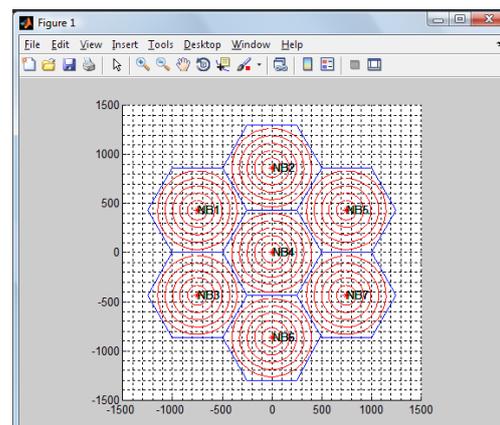


Figura 10. Paging

7.2. TOA

Hacemos clic en el botón TOA con lo que se abre el modelo creado en Simulink y lo ejecutamos.

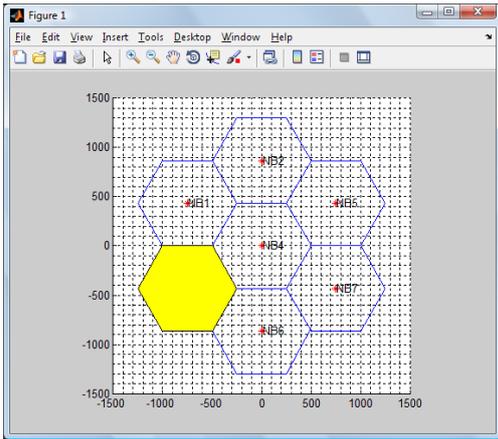


Figura 11. Celda en la que se encuentra el móvil

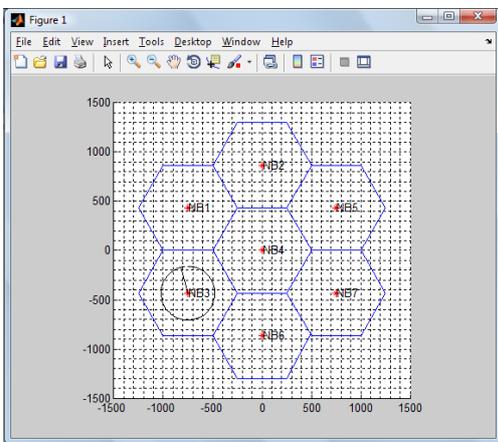


Figura 12. Cell-ID más RTT y AOA

En este modelo hemos representado un RNC que controla un cluster de 3 celdas. Ante una petición de localización el móvil es indicado a enviar un pulso, el cual es recibido en los Nodos B, con el que se calculan los TOA's y, conociendo el tiempo de transmisión, ya que los Nodos B y el móvil están sincronizados, se puede calcular los tiempos de vuelo que son mostrados en el display a la salida del RNC y con ellos, los rangos o distancias del móvil hacia cada Nodo B (Figura 13).

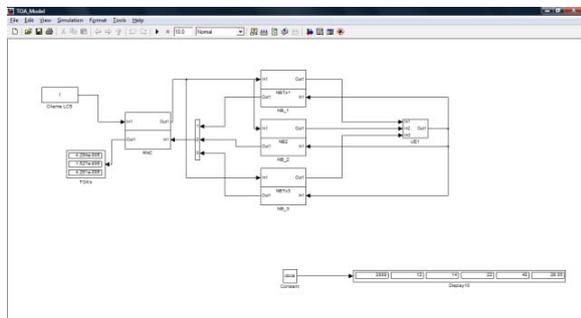


Figura 13. Modelo TOA en Simulink

Con estos datos ejecutamos el programa TOA_Graphic.m haciendo clic en el botón TOA Graphic y aparece el siguiente gráfico (Figura 14).

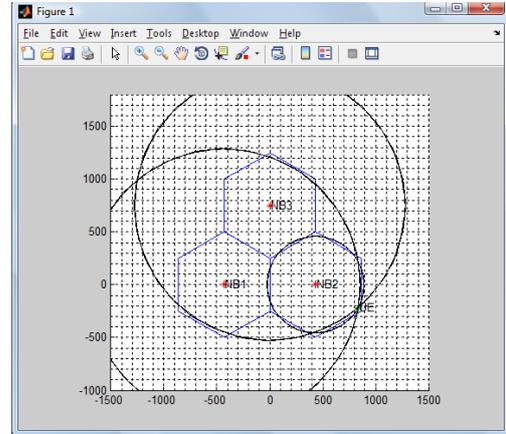


Figura 14. Posicionamiento del UE usando TOA

Los rangos forman 3 circunferencias con centro en cada Nodo B cuya intersección es la posición estimada del móvil.

Al final, continuando con la simulación observaremos el seguimiento del móvil mediante la repetición de los cálculos del método.

7.3. TDOA

Abrimos el modelo de TDOA haciendo clic en el botón TDOA Model y lo ejecutamos, observamos un RNC que controla un cluster de 3 celdas, ante una petición de localización, el móvil es instruido para realizar mediciones (OTD's) de las señales enviadas desde los Nodos B y retornarlas al SMLC en el RNC (Figura 15). Al mismo tiempo el LMU registra el tiempo de arribo de las mismas señales desde los Nodos B (RTD's), datos que son enviados al SMLC donde se calculan las diferencias de tiempo para establecer las GTD's 1 y 2 para las hipérbolas 1 y 2 respectivamente.

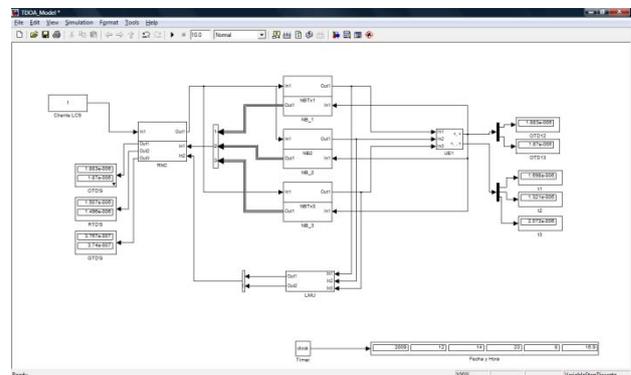


Figura 15. Modelo TDOA en Simulink

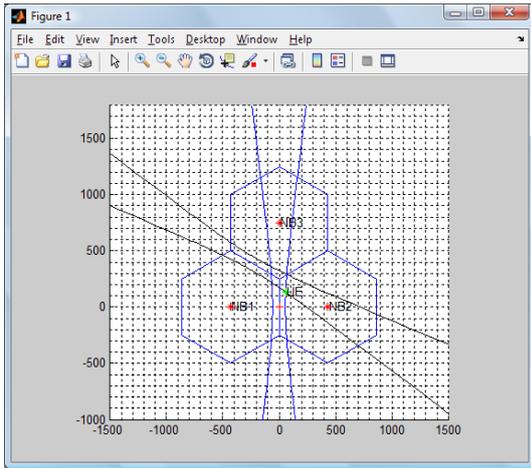


Figura 16. Posicionamiento del UE usando TDOA

Con esta información ejecutamos el programa TDOA_Graphic haciendo clic en el botón respectivo (Figura 16). Como resultado se genera un gráfico el cual contiene las tres microceldas y las hipérbolas con focos F1-F2 y F1-F3. Al observar los tiempos t_1 y t_2 notamos que t_2 es menor por lo cual el móvil debe estar ubicado en el ramal derecho de la hipérbola 1-2, y observando los tiempos t_2 y t_3 notamos que t_2 es menor, por lo tanto podemos deducir en cuál de las intersecciones de los ramales de las hipérbolas se encuentra el móvil.

Al final de la simulación observaremos el seguimiento del móvil mediante la repetición de los cálculos del método.

7.4. A-GPS

Para ejecutar A-GPS hacemos clic en el botón A-GPS Graphic.

El programa comienza creando la red UMTS (Figura 17), con los componentes necesarios para hacer Localización A-GPS. Crea los Nodos B, las celdas en forma hexagonal, el SMLC, el LCS Client, la Estación de Referencia y los 4 satélites que tienen línea de vista con el objetivo móvil de los 24 satélites de la Constelación GPS.

A continuación los satélites envían la data de asistencia, adquisición y corrección a la estación de referencia, y ésta los envía al SMLC. Entonces, el SMLC al recibir una petición de localización y en caso de no existir una conexión activa o no se conoce la celda en la cual se encuentra el terminal, ordena a la red realizar un paging para obtener las coordenadas del Nodo B de la celda en que se encuentra el terminal. Luego el SMLC envía los datos a dicho Nodo B para que este a su vez los envíe al terminal móvil.

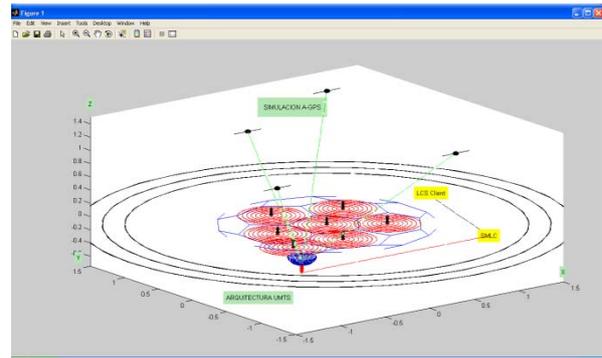


Figura 17. Paging.

El terminal es provisto con la información de la red y también es asistido con la data de los satélites. Con estos datos y con el receptor GPS incorporado en el UE, éste realiza las mediciones de tiempo de las señales enviadas desde los satélites al UE.

Con los tiempos medidos se aplica el método TOA, la intersección de las 3 esferas da la posición del móvil, y con la ayuda del cuarto satélite se reduce el margen de error (Figura 18).

De la intersección de las esferas el algoritmo estima una ubicación para el móvil en el plano 3D, que

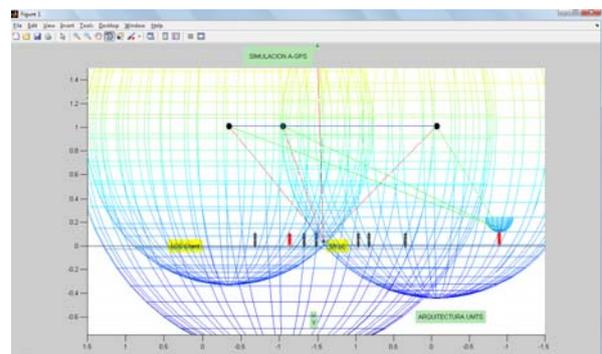


Figura 18. Aplicación de TOA.

es representada por un punto en el espacio. También se muestra en el gráfico 3 esferas concéntricas, una dentro de la otra (Figura 19). Estas esferas representan la locación del objetivo móvil. La esfera más pequeña de radio 10 unidades, representa el margen de error en una área rural, y su volumen interno representa todas las locaciones posibles en las que se podría encontrar el móvil, considerando que la aproximación en un área rural es de 5 a 10 metros para el 67% de los casos (según datos obtenidos en papers [4],[5],[6]). La esfera intermedia de radio 20 unidades, representa el margen de error en una área suburbana, con una precisión de 10 a 20 metros. La esfera mayor de radio 100 unidades, representa el margen de error en una área urbana, con una precisión de 10 a 100 metros.

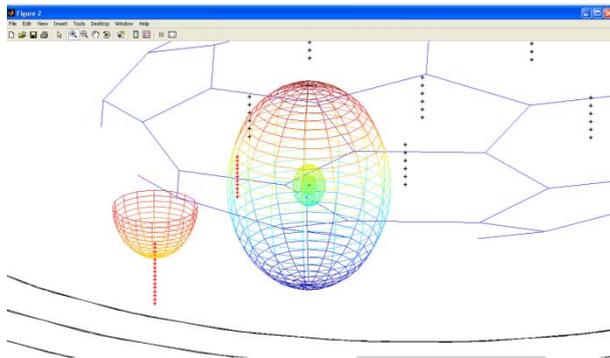


Figura 19. Precisión de la localización.

En el siguiente gráfico, observamos una vista desde el espacio de los tres satélites GPS con las esferas intersectándose en el punto sobre la tierra donde se encuentra el UE (Figura 20). Estos satélites se encuentran a una altura de 20.180 kilómetros sobre la tierra.

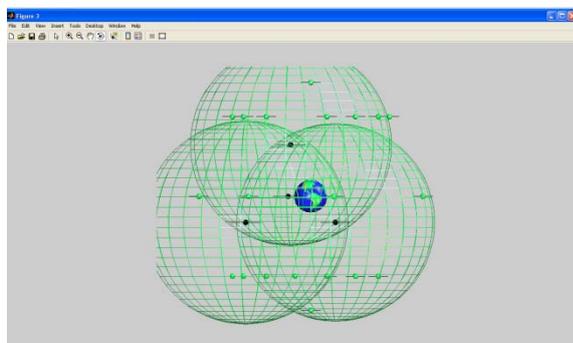


Figura 20. A-GPS desde el espacio.

Finalmente se presenta al móvil en un punto sobre la tierra con coordenadas de Latitud, Longitud y Altitud. En las siguientes figuras se muestra la localización A-GPS en un área rural, suburbana y urbana (Figuras 21, 22, 23).

Finalmente el valor presentado en pantalla de latitud, longitud y altitud corresponde a la posición del UE en la tierra.

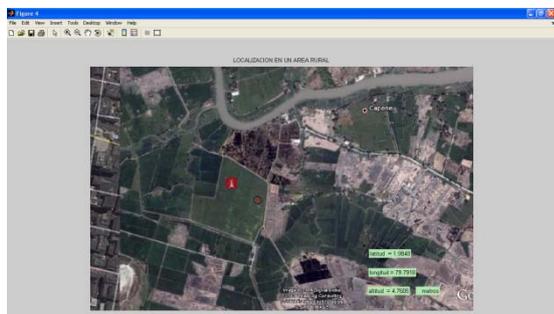


Figura 21. Localización en área rural.

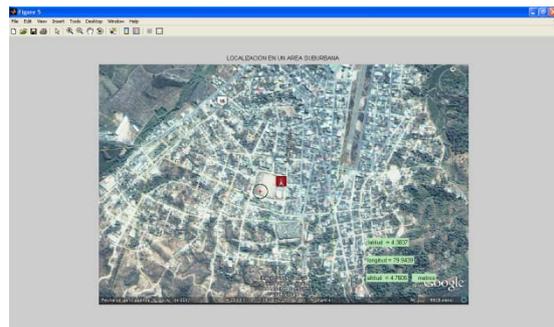


Figura 22. Localización en área suburbana.

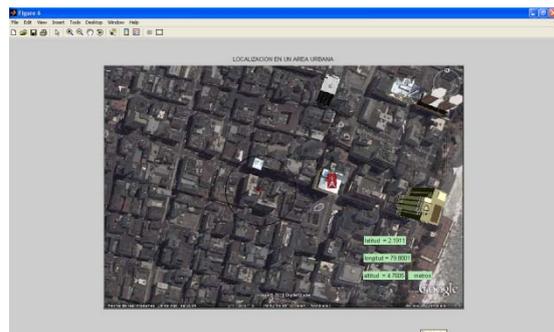


Figura 23. Localización en área urbana.

8. Conclusión y resultados.

Por medio del programa Simulink hemos podido representar los bloques que intervienen en la localización dentro de la red. En Cell ID notamos una estructura muy básica que no difiere mucho de la red UMTS normal, a diferencia de que dentro de los nodos B y RNC's existen los LMU's y SMLC's respectivamente. La gráfica de los datos obtenidos nos muestra primero la ubicación del móvil a nivel de celda la cual no es muy precisa, y luego por medio de los valores de RTT y AoA se puede mejorar en mucho la precisión.

En TOA notamos una estructura similar a la de Cell ID, siendo tal vez la más simple de todas, seguramente por su independencia de bloques adicionales LMU. En este método su acción se limita a la lectura de un canal para determinar los tiempos de vuelo de la señal entre el UE y los Nodos. Su gráfica es de una gran simplicidad debido a la intersección de círculos aunque su desventaja es que nos da una ubicación en el plano y no en el espacio aunque podría mejorarse aplicando un método de esferas similar al empleado en GPS para determinar adicionalmente la altitud.

En TDOA aumenta la complejidad tanto en su estructura con la inclusión de LMU's, en la cantidad de medidas tomadas para realizar el cálculo de localización, en el método geométrico basado en hipérbolas para la determinación de la posición del móvil, y en la ausencia de sincronización entre los nodos y el móvil.

La simulación ha sido hecha considerando condiciones ideales, es decir no se ha considerado ruido, interferencia, NLOS, multitrayectoria, etc. Haría falta considerar lo que ocurriría en una situación real donde puedan existir dichas condiciones.

Los programas principalmente simulan “calcular” la posición del móvil a partir de los tiempos de vuelo entre el móvil y el Nodo B o los satélites, cuando lo ideal sería generar tiempos de vuelo aleatorios que correspondan a los tiempos que generaría un móvil en la realidad.

La elección del mejor método posible es algo relativo y la pregunta que deberíamos hacernos es: “cuál es el mejor método de localización para qué?”; si quiero una localización muy general utilizo Cell ID, si requiero una precisión media los métodos TOA, TDOA o Cell-ID+RTT+AoA nos dan una precisión aceptable, y si queremos ser mucho más precisos como en el rastreo de personas, bienes o vehículos, A-GPS es la mejor elección.

En nuestro medio el método más recomendado sería A-GPS para que los usuarios conozcan la ubicación de sus familiares y allegados, su vehículo, para que las empresas conozcan durante las horas de trabajo el paradero de sus empleados, de sus bienes o carga en vehículos de transporte. Sería un gran apoyo al turista, puesto que este servicio guiaría a una persona a hacer el viaje sólo, dentro de una ciudad o lugar.

Además de que el método es el de mayor precisión, aproximadamente con un margen de error de 5 a 40 metros, todo esto siempre y cuando asumiendo que el equipo móvil posea esta capacidad, para todos los demás equipos sobre todo los antiguos, cualquiera de los otros métodos es adecuado en cuyo caso la

notificación de la posición se recibiría como mensajes de texto.

El método menos recomendado para posicionamiento es el método de Cobertura de Celda, ya que este sólo proporciona las coordenadas de la estación base y de ahí el móvil se encuentra a una distancia radial alrededor de la misma, o sea la aproximación depende del radio de la celda. Normalmente puede estar entre 100 m a 1000 m en áreas urbanas y hasta 10 Km en áreas rurales, aunque ya dijimos que todo depende de la utilidad requerida.

El presente trabajo puede servir como base para la siguiente etapa: los servicios basados en localización LBS's los cuales utilizan el posicionamiento del terminal objetivo para brindar otros servicios como publicidad y cobro de tarifas diferenciadas.

9. Referencias

- [1] Alan Bensky, “*Wireless Positioning Technologies and Applications*”, 2008 ARTECH HOUSE, INC.
- [2] Axel Küpper, “*Location-based Services Fundamentals and Operation*”, 2005 John Wiley & Sons Ltd.
- [3] The Mathworks Inc., “*SIMULINK Dynamic System Simulation for MATLAB®*”, www.mathworks.com, 1999.
- [4] Matthias Klaus Thomas Siebert, “*Interworking of Wireless and Mobile Networks based on Location Information*”, (2006-12)
- [5] Bernd Resch, Peter Romirer-Maierhofer, “*Global Positioning in Harsh Environments*”, (2005-06)
- [6] Zvonimir Lušić, Serdo Kos, Srećko Krile, “*Structural Analysis of Positioning*”, 2008

Richard A. Timbiano
Mat. 199005166

Robert A. Sánchez
Mat. 199105156

Ing. Washington Medina
Director de Tesis