

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de
Telecomunicación



TRABAJO FIN DE MASTER

***ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE
LOCALIZACIÓN EN REDES DE
FEMTOCELDA EN INTERIORES***

Carlos González Merino

2013

RESUMEN:

El presente trabajo fin de máster presenta la arquitectura y despliegue de una herramienta, de fácil uso, para la localización en redes en escenarios de interiores con tecnologías 3G y LTE.

Se ha estructurado en varios capítulos. Tras un primer capítulo introductorio, en el segundo capítulo se presenta un estudio del estado del arte en el que se encuentran las tecnologías de comunicaciones y las diferentes características a la hora de emplear las femtoceldas.

En el capítulo tres se presenta un estudio de las diferentes técnicas de localización que habitualmente son empleadas en estos despliegues.

En el cuarto capítulo se ha llevado a cabo una descripción de la arquitectura del sistema diseñado.

Por último, en el quinto capítulo se presenta la puesta en marcha del sistema de localización.

Arquitectura de un sistema de localización en redes de femtoceldas en interiores

Índice general

Tabla de contenido

1	Introducción.....	11
2	Tecnologías de comunicaciones móviles y femtoceldas.....	12
2.1	Introducción	12
2.2	Estado del arte de los sistemas de comunicaciones móviles celulares.....	12
2.2.1	Sistemas celulares 3G	13
2.2.2	Evolución del sistema celular 3G: HSPA, HSPA+, LTE, LTE-A	13
2.3	Femtoceldas	17
2.3.1	Modo de acceso	17
2.3.2	Sincronización temporal	18
2.3.3	Identificador de celda(PCI)	18
2.3.4	Movilidad	19
3	Técnicas de localización	21
3.1	Estado del arte de las técnicas de localización.....	21
3.2	Técnicas de Triangulación.....	21
3.2.1	Técnicas de Lateración	22
3.2.2	Técnicas de angulación.....	24
3.3	Técnicas de Análisis de Entorno (<i>fingerprinting</i>)	24
3.3.1	Fase de Calibración: Generación del Patrón de Señales de Radiofrecuencia	25
3.3.1.1	Optimización Temporal de la Fase de Calibración: Parametrización de Modelos de Propagación	26
3.3.1.2	Parametrización de Modelos de Propagación	26
3.3.1.3	Procesado Offline del Patrón de Señales de Radiofrecuencia.	27
3.3.2	Fase de Localización (Online)	28
3.3.2.1	Selección en Tiempo Real de Clústers.....	28
3.3.2.2	Vecinos más Cercanos KNN (k-Nearest Neighbor)	29
3.3.2.3	Redes neuronales	30
3.3.2.4	Métodos Support Vector Machine	30

3.3.2.5	Smallest M-Vertex Polygon	30
4	Arquitectura del sistema MONOLOC.....	32
4.1	Introducción	32
4.2	Sistema de Localización [LOS]	33
4.2.1	Sistema de adquisición [ACQS]	33
4.2.1.1	Sistema de cálculo [POALPRS]	33
4.2.1.2	Sistema de presentación [PPS] y presentación móvil	34
4.2.1.3	Sistema de consulta [QRYs]	34
4.2.1.4	Sistema soporte de mapas para la localización [LMSS]	35
4.2.1.5	Sistema de provisión de datos para soporte de autogestión [SSDS]	35
4.3	Comunicaciones entre sistemas.....	35
4.3.1	Comunicación entre ACQS Y POALPRS	35
4.3.2	Comunicación entre POALPRS y IS , SSDS y PPS	40
4.3.3	Comunicación entre LMSS y POALPRS	41
5	Puesta en marcha del sistema	42
5.1	Introducción	42
5.2	Recogida de medidas de calibración.....	43
5.2.1	Muestreo regular	44
6.1.1	Muestreo irregular	47
6.2	Análisis de las medidas recogidas.....	51

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

Índice de Figuras

Figura 1 Mejora de la Latencia con la evolución de las tecnologías	15
Figura 2. Incremento de las tasas de transmisión con en las diferentes tecnologías.....	17
Figura 3 Esquema de funcionamiento de la técnica ToA	22
Figura 4 Arquitectura de posicionamiento	23
Figura 5 Arquitectura completa del sistema MONOLOC	32
Figura 6 Estructura modular del sistema de localización.....	33
Figura 7 Inicio de comunicación.....	36
Figura 8 Rechazo de comunicación	37
Figura 9 Mensa desconocido.....	37
Figura 10 Notificación de posición del POALPRS al IS, SSDS y PPS.....	40
Figura 11 Notificación de nuevo mapa del LMSS al POALPRS.....	41
Figura 12 Escenario de despliegue	42
Figura 13 Ubicación de las femtoceldas.....	43
Figura 14 Zona de cobertura del sistema de localización	43
Figura 15 Muestreo Regular con separación de 3 metros entre muestra	44
Figura 16 Orientaciones relativas para la recogida de medidas	45
Figura 17 Pantalla principal de la aplicación BTSFingerprint	46
Figura 18 Ejemplo del recorrido y los puntos de referencia de cada punto de muestreo	47
Figura 19 Muestreo irregular del escenario.....	48
Figura 20 Muestras de estructura 5x5	49
Figura 21 Muestras de estructura 4x4	49
Figura 22 Muestras de estructura 3x3	50
Figura 23 Muestras de estructura 2x2	50
Figura 24. Diagrama de flujo del protocolo de análisis de medidas	52

Glosario

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
3GPP2	3 rd Generation Partnership Project 2
AMC	Adaptive Modulation and Coding
ARQ	Automatic Repeat-reQuest
AWS	Advanced Wireless Services
CA	Carrier Agreggation
CCs	Component Carriers
CoMP	Coordinated Multiple-Point
CPT	Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones
CSG	Closed Subscriber Group
DARP	Downlink Advanced Receiver Performance
DMRS	Demodulation Reference Signals
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EV-DV	Evolution for integrated Data
EV-DO	Evolution-Data Only
FAPs	Femtocell Acces Point
FDD	Frecuency Division Duplex
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GPRS	General Packet Radio Service
GSA	Global Mobile SUpliers Association

Desarrollo de una herramienta para la evaluación de despliegues de redes LTE en interiores

GSM	Global System Mobile
GUP	Generic User Profile
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HF	Frequency Hopping
HOMs	High Order Modulations
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
ICIC	Inter-cell Interference Coordination
IMS	IP-Multimedia Subsystem
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000- de la ITU -International Telecommunication Union
LOS	Line of Sight
LTE	Long Term Evolution
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service
MLDP	Minimum Loss Dominant Path
MME	Mobility Management Entity
OSG	Open Subscriber Group
P-GW	Packet data Network Gateway
PRBs	Physical Resource Blocks
PTP	Precision Timing Protocol
RRC	Radio Resource Control
RSRP	Reference Signal Received Power
S-GW	Serving Gateway
SINR	Relación señal a ruido más interferencia
SLA	Service Level Agreement
SRS	Sounding Reference Signals

Desarrollo de una herramienta para la evaluación de despliegues de redes LTE en interiores

TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TTI	Time Transmission Interval
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URS	Uplink Reference Signals
WMAN	Wireless Metropolitan Area Networks

1 Introducción

El objetivo final de este trabajo fin de máster es presentar la arquitectura y despliegue de una herramienta, de fácil uso, para la localización en redes en escenarios de interiores con tecnologías 3G y LTE. Con tal fin, este trabajo se ha desarrollado dentro del marco del proyecto INNPACTO, en colaboración con la Universidad Carlos III de Madrid, Universidad de Málaga, Alcatel Lucent Spain y Creativ IT.

Mi aportación a dicho sistema se ha centrado en el motor de cálculo de posiciones así como en las comunicaciones con los diversos módulos con los que interacciona dicho motor de cálculo.

El presente trabajo se ha estructurado en varios capítulos. Tras un primer capítulo introductorio, en el segundo capítulo se presenta un estudio del estado del arte en el que se encuentran las tecnologías de comunicaciones móviles, analizando la evolución que han tenido los sistemas celulares 3G y LTE. A continuación se ha evaluado el empleo de las femtoceldas y sus principales características en el despliegue de una red evaluando los posibles modos de acceso que pueden tener los usuarios y la movilidad que puede ser proporcionada por el sistema.

En el capítulo tres se presenta un estudio de las diferentes técnicas de localización que habitualmente son empleadas en estos despliegues. Las técnicas permiten estimar la posición del usuario en los escenarios y, por lo tanto, su correcta elección influye en gran medida sobre los resultados obtenidos en las simulaciones. Este capítulo se centra en las técnicas fingerprint que son las empleadas por el sistema, técnicas de clustering y diversos algoritmos de localización.

En el cuarto capítulo se ha llevado a cabo una descripción de la arquitectura del sistema diseñado. Se ha centrado la descripción en el módulo de localización, que realiza las tareas de calibrado del escenario, recogida de medidas de potencia y cálculo de posición.

Por último, en el quinto capítulo se presenta la puesta en marcha del sistema de localización. Este capítulo relata los diferentes pasos necesarios para poder disponer del sistema de localización operativo en un escenario específico.

Actualmente el sistema se encuentra montado y operativo en una fase de pruebas. En ella se está comenzando a evaluar los distintos algoritmos de localización implementados y posibles mejoras en cualquier punto del sistema, para conseguir un aumento de la precisión y usabilidad en el sistema.

2 Tecnologías de comunicaciones móviles y femtoceldas

2.1 Introducción

Las comunicaciones móviles son en la actualidad el modo de comunicación dominante en el planeta, modificando el modelo de intercambio de información entre personas y la manera de acceder a Internet.

Estos cambios han sido posibles gracias a la evolución de las tecnologías de los sistemas de comunicaciones móviles, debido a la necesidad de alcanzar mayores tasas de transmisión. Desde la tecnología de primera generación, que sólo permitía transmisión de voz de manera analógica, pasando por la segunda generación, que introduce servicios de datos gracias a la transmisión digital, siguiendo con la actualmente usada, tercera generación, que permite alcanzar altas velocidades de transmisión y finalizando en la cuarta generación, que aún continúa en fase de desarrollo y estandarización.

Sin duda esta evolución permitirá el despliegue de nuevos servicios de banda ancha gracias al aumento de la capacidad y del rendimiento de las redes desplegadas.

Actualmente se proporciona el servicio de banda ancha con las tecnologías HSPA -*High Speed Packet Access*- y HSPA+, ambos, estándares desarrollados por el 3GPP -*3rd Generation Partnership Project*-, que han alcanzado una gran popularidad gracias a su gran capacidad y a la generalización de las tarifas planas para el acceso a Internet móvil.

Para cubrir las necesidades futuras, el 3GPP comenzó el desarrollo de una nueva tecnología de comunicaciones inalámbrica, el sistema LTE -*Long Term Evolution*-. Es un sistema de comunicaciones con elevadas prestaciones, siendo WiMAX -*Worldwide Interoperability for Microwave Access*- 802.16e su máximo competidor. El sistema LTE está siendo desplegado en más de 29 países.

Al mismo tiempo, el 3GPP está trabajando en el desarrollo y estandarización de LTE-Advanced, una evolución de LTE que supondrá un aumento de la capacidad de la red así como un incremento en la eficiencia de uso de la misma.

2.2 Estado del arte de los sistemas de comunicaciones móviles celulares

El 3GPP es un acuerdo de colaboración entre diversos operadores, empresas y asociaciones de telecomunicaciones para producir estándares y especificaciones para la 3ª generación de sistemas móviles en el ámbito del proyecto IMT-2000 -*International Mobile Telecommunications-2000*- de la ITU -*International Telecommunication Union*-. Posteriormente

se amplió este objetivo a las evoluciones futuras y al mantenimiento y desarrollo de GSM - *Global System Mobile*-.

El 3GPP proporciona un sistema de *releases* que permite la implementación de productos a los desarrolladores e incluye las nuevas funcionalidades requeridas por el mercado.

2.2.1 Sistemas celulares 3G

Hasta el final de 1998 el ETSI -*European Telecommunications Standards Institute*- se encargaba de la estandarización de la tecnología WCDMA -*Wideband Code Division Multiple Access*-, momento en el que se formó el 3GPP. A partir de entonces el 3GPP estandarizó WCDMA y la usó para desarrollar unas especificaciones globales del sistema 3G, también conocido como UMTS -*Universal Mobile Telecommunications System*- .

La *Release 3* fue la primera especificación que cumplía con los requerimientos definidos por la ITU. Proporciona servicios de vídeo y voz basados en conmutación de circuitos y servicios de datos sobre conmutación de circuitos y paquetes. Esta *release* llega a ofrecer 384 kbps en velocidades de transmisión.

La *Release 4* proporciona mejoras al transporte y a la interfaz radio.

2.2.2 Evolución del sistema celular 3G: HSPA, HSPA+, LTE, LTE-A

La *Release 5* extiende a las dos anteriores y define una evolución del sistema 3G conocido como HSDPA -*High Speed Downlink Packet Access*-. Entre las mejoras ofrecidas en esta *release* se pueden destacar: retransmisión híbrida de paquetes HARQ -*Hybrid Automatic Repeat Request*-, un nuevo sistema de reparto de recursos denominado *advanced packet scheduling*, reducción en el tiempo del intervalo de transmisión, rápida adaptación del nivel de enlace a las condiciones del canal radio mediante el uso de esquemas AMC -*Adaptive Modulation and Coding*-. Estas mejoras permiten aumentar la tasa de transmisión hasta los 14 Mbps en el enlace descendente.

La *Release 6* se centra en mejorar la capacidad, la calidad de servicio (QoS) y la provisión de servicios multimedia basados en transmisión de paquetes. Entre las funcionalidades clave se encuentra el servicio MBMS -*Multimedia Broadcast Multicast Service*-, que permite transmitir datos a un conjunto de usuarios en una cierta área de servicio, haciendo uso de los mismos recursos radio. En esta *release* se define una nueva evolución del sistema 3G para el enlace ascendente, denominado como HSUPA -*High Speed Uplink Packet Access*-. Esta evolución incorpora una serie de mejoras respecto de las características del enlace ascendente del WCDMA R99, como son: EDCH, reducción del tiempo del intervalo de transmisión hasta 2 ms,

Capítulo 2

Tecnología LTE y femtoceldas

el sistema de retransmisión HARQ. Así mismo se añaden otras serie de mejoras en esta *release*: GUP -*Generic User Profile*-, DARP -*Downlink Advanced Receiver Performance*-, mejoras sobre IMS, etc. Al conjunto de HSDPA y HSUPA se le denomina HSPA.

Las principales novedades de la *Release 7* se orientan a incrementar la eficiencia espectral de la HSPA-RAN (HSPA+) e incluyen: la introducción de sistemas de antena MIMO -*Multiple-Input Multiple-Output*- que incrementan la tasa de transmisión de datos en el enlace descendente utilizando múltiples antenas, tanto del lado del UE -*User Equipment*- como en el del eNodeB -*Evolved NodeB*-, la adición de HOMs -*High Order Modulations*- (16 QAM en el enlace ascendente y 64 QAM en el enlace descendente) y un soporte mejorado de servicios en tiempo real de IMS -*IP-Multimedia Subsystem*-, así como reducciones de latencia. También proporciona mejoras a GSM con Evolved Edge que incrementa las tasas de datos convencionales, reduce la latencia a la mitad y mejora la eficiencia espectral.

En diciembre de 2004 comenzó el estudio "Evolved UTRA and UTRAN" para que la evolución de HSPA-RAN se orientase hacia una tecnología de acceso de elevada velocidad de transmisión, baja latencia y que estuviese optimizada para la transmisión de paquetes, lo que acabaría llevando a LTE. Algunos de estos objetivos son:

- Velocidades de transmisión de pico de 100 Mbps en enlace descendente y 50 Mbps en enlace ascendente.
- Mejorar la eficiencia espectral en un factor 2-4 con respecto a la *Release 6*.
- Latencia de usuario en la red de acceso inferior a 10ms.
- Ancho de banda escalable.
- Interoperabilidad con sistemas 3G y sistemas no 3GPP.

En la figura 1 se muestra la evolución de las latencias de transmisión en las distintas tecnologías.

Tecnología de comunicaciones móviles y femtoceldas

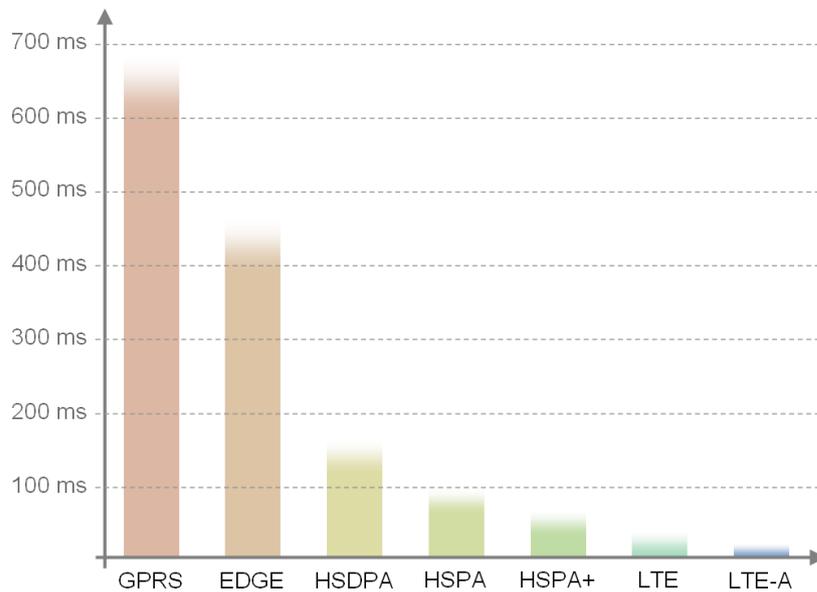


Figura 1 Mejora de la Latencia con la evolución de las tecnologías

En junio de 2006 se incorporaron una serie de características a esta evolución:

- Acceso radio OFDMA -*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*- en el enlace descendente y SC-FDMA -*Single Carrier Frequency Division Multiple Acces*- en el enlace ascendente.
- Soporte de *packet scheduling* en el dominio temporal y frecuencial.
- Simplificaciones en la MAC y en el modelo de estados RRC.
- Funcionalidades de *packet scheduling*, ARQ -*Automatic Repeat-reQuest*- e HARQ -*hybrid Automatic Repeat-reQuest*- terminadas en eNodeB.
- Simplificación de la arquitectura E-UTRAN -*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*- y descentralización de la misma.

La primera versión completa de las especificaciones LTE se aprobó en diciembre de 2007 usándose OFDMA como sistema de acceso. Este nuevo interfaz radio basado en OFDMA recibe con frecuencia el nombre de E-UTRA -*Evolved Terrestrial Radio Access*-. En esta versión la red troncal, llamada EPC -*Evolved Packet Core*- está diseñada como una arquitectura plana y en la que todos los sistemas funcionan con arquitectura IP.

En paralelo se fue desarrollando la *Release 8* del 3GPP que fue publicada a principios de 2008. Esta *release* añade evoluciones a HSPA (uso simultáneo de MIMO y 64-QAM, Dual Carrier-HSPA, etc.) y en las especificaciones de LTE se mejoran substancialmente los flujos finales de usuario, la capacidad de sectorización y reduce la latencia, mejorando significativamente la experiencia de usuario con movilidad completa.

Capítulo 2

Tecnología LTE y femtoceldas

El proceso de estandarización de LTE dentro del 3GPP ha alcanzado un estado de madurez en el que los cambios en la especificación se limitan a corrección de errores. La *Release 9* introduce mejoras tanto a HSPA como a LTE las más destacadas son el soporte para femtoceldas (HNodeB/HeNodeB) y la evolución de la arquitectura IMS.

Mientras se completaban las especificaciones de la UMTS -Universal *Mobile Telecommunications System*- R99, la ITU comenzó a considerar la concepción de soluciones más allá de IMT-2000, conocido como IMT-Advanced(4G).

A lo largo de 2009, el 3GPP trabajó en un estudio en el que se identificaron una serie de mejoras para LTE para poder cumplir con los requisitos impuestos por el IMT-Advanced. En septiembre de 2009 el 3GPP presentó la propuesta "LTE Release 10 & beyond" en la que se planteó que a partir de la *release 10*, todas las *releases* deberían ser evaluadas como candidatas para IMT-Advanced. En Octubre de 2010, la ITU aceptó la propuesta y designó LTE-Advanced como una tecnología IMT-Advanced.

LTE-Advanced se concibe como la evolución de LTE, por lo que han de ser compatibles espectralmente, LTE-Advanced ha de poder ser desplegado en bandas ocupadas por LTE, y el equipamiento de LTE debe poder incorporar las funcionalidades LTE-Advanced con un aumento en los costes y complejidad razonable.

La *Release 10*, vio la luz en el 2011 y es la primera en incluir completamente LTE-Advanced, además, incorpora operación con cuádruple portadora para HSPA+ y retro compatibilidad con LTE.

En la actualidad, el 3GPP está definiendo el contenido y las líneas de tiempo de las *Release 11* y *12*, que proporcionarán mejoras tanto a LTE como a LTE-Advanced.

La Figura 2 muestra el crecimiento de las tasas de transmisión de datos en las tecnologías 2G, 3G y 4G que se han expuesto en este apartado.

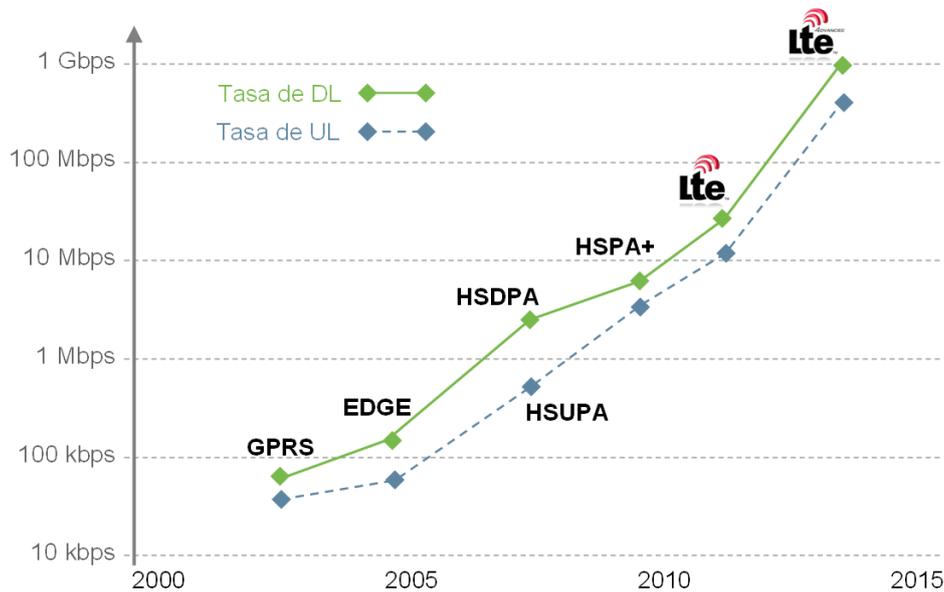


Figura 2. Incremento de las tasas de transmisión con en las diferentes tecnologías

2.3 Femtoceldas

Se calcula que en el próximo año el 50% de las llamadas de teléfono y el 70% de los servicios de datos tendrán lugar en escenarios de interiores. Por lo que proporcionar altas tasas de transferencia y una QoS en escenarios interiores ha tomado una gran relevancia para los operadores.

Dado que cumplir estos requisitos con macroceldas es complicado y muy costoso, es necesario la implementación de nuevos métodos, como las FAPs *-Femtocell Acces Point-*. Que son estaciones base de pequeño tamaño, bajo coste y baja potencia, concebidas para garantizar cobertura radio a una zona reducida que admite un número limitado de usuarios. Proporcionan cobertura radio GSM, UMTS, LTE y su conexión *backhaul* suele realizarse mediante la línea de abonado DSL.

El uso de femtoceldas beneficia tanto a usuarios como operadores, los usuarios se benefician de una mejor calidad de señal, permitiendo alcanzar mejores tasas de transferencias y calidades de servicio. Los operadores obtienen una mayor eficiencia espectral, ya que los usuarios pueden usar esquemas de codificación más eficientes, y una mejor capacidad.

2.3.1 Modo de acceso

Las femtoceldas pueden ser configuradas de tres maneras diferentes en función de la restricción a la hora de permitir a los usuarios conectarse a la misma:

- *Acceso abierto (OSG -Open Subscriber Group-)*: Se permite a todos los usuarios conectarse. Mejora la capacidad global de la red, gracias a que los usuarios pueden conectarse a la estación base más cercana, aunque provoca el aumento de señalización y de cambios de estaciones base.
- *Acceso cerrado(CSG -Closed Subscriber Group-)*: Sólo los usuarios suscritos pueden conectarse. Es desplegado habitualmente en entornos residenciales. La potencia que se emite al exterior puede interferir a los usuarios de la macrocelda reduciendo su capacidad.
- *Acceso Híbrido*: Los usuarios no suscritos, reciben únicamente una parte de los recursos de la celda. Consigue eliminar muchos de los problemas de interferencia del acceso cerrado.

2.3.2 Sincronización temporal

Es necesaria una sincronización temporal entre las macroceldas y las femtoceldas para minimizar la interferencia por acceso múltiple y realizar de manera adecuada los traspasos. Se han propuesto y estudiado diversas soluciones como el uso de osciladores de precisión, pero su elevado precio no lo hace una solución viable, obtener la sincronización a través de señal GPS, que depende de la cobertura de los satélites. Por lo que se ha optado por el uso del IEEE-1588 PTP *-Precision Timing Protocol-*, que fue diseñado para la sincronización de relojes a través de una red de datos basándose en una arquitectura jerárquica de maestro-esclavo.

2.3.3 Identificador de celda(PCI)

Es usado para identificar una celda, facilitando procedimientos como el traspaso. En una red de macroceldas no es único para cada celda, pero bastará con que no se repita en una escala local.

El problema aparece en el uso de las femtoceldas ya que eligen su PCI dinámicamente al ser iniciadas o cambiadas de lugar. Además el limitado número de PCIs hace necesario un factor de rehuso.

La gran movilidad de las femtoceldas, que pueden ser apagadas o desplazadas de manera habitual, hacen necesario un tratamiento dinámico de las listas de celdas vecinas.

2.3.4 Movilidad

En los despliegues de acceso abierto o híbrido, se producen los traspasos cuando el usuario entra en la zona de cobertura de otra femtocelda. Este suceso tiene una frecuencia mucho más alta que en las redes de femtoceldas, produciendo un gran incremento de la señalización.

Para intentar reducir este tráfico se usa una estructura jerárquica para distinguir entre macroceldas y femtoceldas, evitando que la señalización no supere ciertos niveles de protocolo, minimizando el tráfico.

3 Técnicas de localización

3.1 Estado del arte de las técnicas de localización

Actualmente, las técnicas de localización en interiores que más interés están suscitando son las técnicas de análisis del entorno, más conocidas como técnicas de *fingerprinting*. Éstas usan principalmente una arquitectura de localización de tipo remoto, donde las medidas las realiza el terminal móvil y el procesado de dichas medidas lo realiza un motor de cálculo, o de procesamiento, externo. El funcionamiento de las técnicas de *fingerprinting* se basa en realizar una comparación entre las medidas reportadas por los terminales móviles, básicamente medidas del nivel de potencia de señal recibida (RSSI), y un mapa radio previamente calculado.

En primer lugar, antes de tratar las distintas opciones existentes para determinar la posición de un terminal móvil, hay que diferenciar que tipos de posicionamiento existen. Se pueden diferenciar dos tipos de posicionamiento según como se expresen los resultados de la localización:

- Posicionamiento físico: En este caso la posición se expresa mediante coordenadas, ya sea en 2D o en 3D. Dentro del posicionamiento físico se puede hablar de posicionamiento absoluto cuando se utiliza un sistema de referencia mundialmente aceptado, por ejemplo dando la longitud y latitud de un punto; o de posicionamiento relativo cuando el sistema de referencia es aceptado únicamente para un determinado espacio o grupo de trabajo.
- Posicionamiento simbólico: Aquí la posición se expresa de manera menos precisa, mencionando un determinado área para expresar la localización del terminal; por ejemplo en la oficina, en el pasillo, en el quinto piso, etc.

A continuación se exponen las distintas técnicas de posicionamiento. Éstas se clasifican en 3 tipos: técnicas de triangulación, de análisis del entorno (*fingerprinting*) y de proximidad.

3.2 Técnicas de Triangulación

Se dividen en dos subcategorías: Lateración y angulación. La lateración consiste en estimar la posición del terminal basándose en medidas a partir de las cuales se puede hallar la distancia hacia una serie de puntos de referencia, dichas medidas pueden ser el nivel de potencia de señal recibida (de la que se deduce las pérdidas de propagación), el tiempo de propagación, y lo que se puede derivar de estas dos medidas (tiempo de viaje de la señal – *round trip time*

RTT, fase de la señal recibida...). La angulación mide los ángulos con los que llega la señal a un determinado dispositivo respecto a una dirección de referencia.

Este tipo de técnicas no son empleadas para la localización en interiores, pero se han comentado debido a la importancia que suscitan para la localización en exteriores.

3.2.1 Técnicas de Lateración

- Time Of Arrival (TOA) :La posición se estima a partir del tiempo de propagación de las señales emitidas por las distintas estaciones base presentes en el entorno. A partir de cada medida es posible calcular a qué distancia de la estación base emisora correspondiente se encuentra el terminal, ésta vendrá determinada por circunferencias centradas en las estaciones base. Utilizando métodos geométricos es posible obtener el punto donde intersecan las 3 circunferencias obtenidas, que será el punto estimado donde se ubica el terminal. Se presenta en la Figura 3 un ejemplo del funcionamiento de esta técnica.

Uno de los inconvenientes que presentan las técnicas basadas en tiempos de propagación es la necesidad de sincronización entre todos los dispositivos involucrados (tanto estaciones base emisoras, como terminales móviles) para obtener precisión en las medidas.

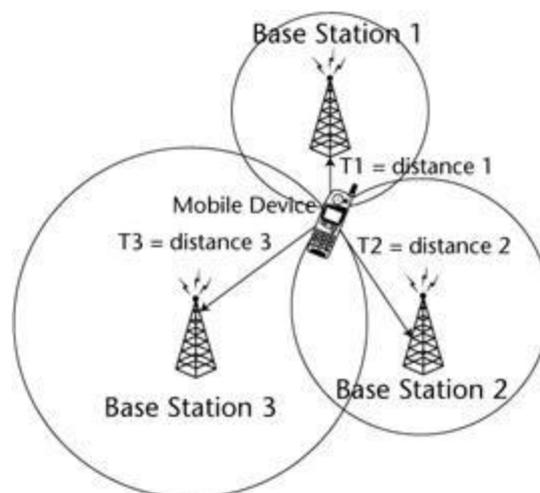


Figura 3 Esquema de funcionamiento de la técnica ToA

- Time difference of arrival (TDOA) :Esta técnica se basa en el tiempo de propagación como TOA, pero en este caso se miden las diferencias de tiempo de llegada de una señal emitida por el terminal móvil, entre las distintas estaciones base. Se difiere de TOA de la manera de tomar las medidas, una vez que se toman las medidas se utilizan métodos convencionales de computación basados en técnicas de correlación. Este tipo de sistemas presenta los mismos pros y contras que el TOA.

El modo de funcionamiento que se propone aquí viene descrito en la Figura 4. El fin pretendido es medir las diferencias de tiempos de llegada entre las peticiones y las respuestas, en este caso el encargado de realizar los algoritmos necesarios es un ordenador externo.

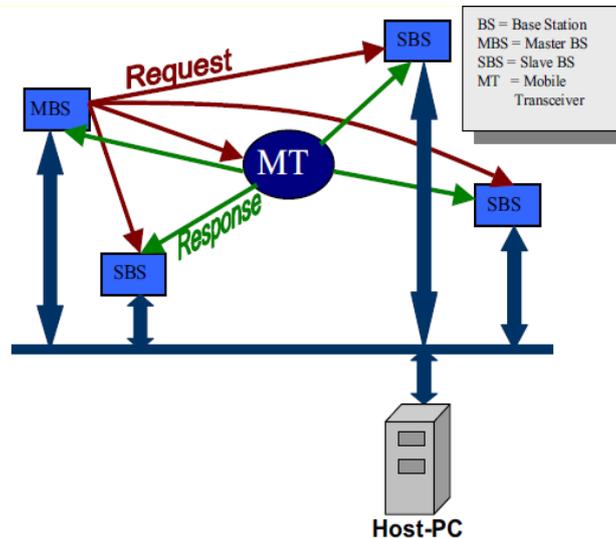


Figura 4 Arquitectura de posicionamiento

- Basados en medidas de potencia RSSI (*Received Signal Strength Indicator*): Estos métodos se basan en realizar medidas de potencia, a partir de las cuales se pueden obtener las pérdidas de propagación, para después poder obtener la posición del terminal móvil mediante la triangulación de al menos tres medidas. La localización se basa en la suposición de que las antenas generan un patrón de radiación en forma de esfera con centro en la propia antena. Con tres de estas esferas, cada una de ellas con una distancia (radio) estimada en base a los niveles de RSSI recibidos de cada una de estas tres antenas, se obtiene la estimación de la localización al intersecar las tres esferas.

Uno de los principales inconvenientes de estos sistemas es el error cometido en la traducción de los niveles medidos de RSSI a valores de distancia para la triangulación. Estos errores se acentúan en estos entornos por los fenómenos de reflexión, multitrayecto y falta de visión directa entre emisores y receptores (NLOS).

- *Round-trip Time Of Flight (RTOF)*: Estas técnicas se basan en el tiempo que tarda la señal en ir desde la estación base hacia el terminal móvil, o viceversa. Y posteriormente se realizan cálculos parecidos a los de TOA para determinar la posición del móvil.

3.2.2 Técnicas de angulación

- *Angle Of Arrival (AOA)*: En este tipo de técnicas la posición se puede obtener a través de la intersección de pares de líneas de dirección obtenidas a partir de los ángulos de llegada. Los ángulos de llegada se miden a partir de una dirección de referencia. En este caso, sólo se necesitan dos medidas para obtener la posición, pero se requiere la utilización de un *hardware* adicional complejo y caro.

3.3 Técnicas de Análisis de Entorno (*fingerprinting*)

Estas técnicas se basan principalmente en la utilización de las medidas de los niveles de potencia de señal recibida.

Existen dos fases claramente diferenciadas:

- Una primera fase, llamada fase *offline* o fase de calibración, en la que se lleva a cabo una caracterización del entorno, comúnmente basada en la recolección y almacenamiento de medidas de nivel de potencia de señal provenientes de las estaciones transmisoras de alrededores. Estas medidas se obtienen en distintos puntos del escenario llamados puntos de referencia, ya sea mediante medidas de campo o utilizando métodos de propagación en interiores, creando así lo que se denomina mapa radio.

Las coordenadas exactas de los puntos del escenario donde se realizan las mediciones de RSSI son conocidos y se almacenan junto a sus correspondientes mediciones de forma que se encuentran asociados. Además se suele incluir en esta fase, un procesado de dicho patrón de señales, denominado *clústerización* a fin de mejorar y acelerar la localización del usuario en tiempo real.

- Una segunda fase, llamada fase *online* o fase de localización, en la que se realiza una comparación entre las medidas de RSSI tomadas por el dispositivo móvil y las medidas almacenadas en el mapa radio generado en la fase de calibración. Para esta fase existen varios métodos de implementación que se detallan más adelante.

En caso de haber realizado la *clusterización* del patrón de señales de radiofrecuencia, antes de realizar la comparativa de las medidas, hay que efectuar una selección inteligente de los *clúster* a comparar.

3.3.1 Fase de Calibración: Generación del Patrón de Señales de Radiofrecuencia

La generación del patrón de señales de radiofrecuencia consiste en la elaboración de una base de datos que contiene las lecturas de los valores de RSSI (*fingerprints*) en una serie de puntos del escenario, denominados puntos de referencia (Reference Points, RP). Esta fase se realiza de forma *offline*, es decir, no se ejecuta en tiempo real. El objetivo es generar un vector:

$$\{(p_i, \Psi_i(1), \dots, \Psi_i(t), \dots, \Psi_i(T)) \mid i=1, \dots, N\}$$

donde p_i son las coordenadas cartesianas para el punto de referencia 'i', y el vector:

$$\Psi_i(t) = [\Psi_{i,1}(t), \dots, \Psi_{i,L}(t)]^T$$

representa las medidas RSSI en el punto de referencia 'i' para un tiempo t desde las 'L' femtoceldas visibles en dicho punto. $\Psi_{i,j}(t)$ es la lectura RSSI recibida en el punto de referencia 'i', desde la femtocelda 'j' en tiempo 't'. 'N' es el número de puntos de referencia donde se realizan las medidas. 'T' es el número total de muestras temporales que se toman en dicho punto.

Dado que la generación del patrón de señales de radiofrecuencia es un proceso manual y muy costoso en términos de tiempo, el número de puntos de referencia, representado como "N" en las ecuaciones anteriores, debe ser elegido siempre como un compromiso entre el tiempo de despliegue del sistema y la exactitud de la estimación de la posición del móvil. Cuanto mayor sea la resolución en los mapas de radio se tendrá una mejor estimación de la posición del usuario. Como consecuencia, el aumento de la precisión en la estimación de la posición requiere realizar medidas en un mayor número de puntos de la rejilla. Además, las muestras de RSSI de las mediciones es un proceso dependiente del tiempo y, por tanto, recoger más muestras temporales de las lecturas de RSSI en el mismo RP también mejora la estimación de la posición.

Otro efecto que hay que cuantificar y que influye en el tiempo de generación del mapa de huellas de radiofrecuencia, es la orientación a la hora de tomar las medidas en la fase de calibración. Se ha investigado que la orientación de la antena del dispositivo de usuario tiene un efecto importante en las mediciones de RSSI. Por lo tanto, se puede obtener un mapa de patrones de radiofrecuencia más completo y que mejora la precisión en la localización, mediante la realización de mediciones de RSSI en 4 orientaciones (Norte, Sur, Este, Oeste) en cada uno de los puntos de referencia que forman la rejilla.

Existen dos técnicas para la generación del patrón de señales radiofrecuencias. Una es la técnica de recolección de medidas de valores RSSI en el escenario, la otra consiste en la parametrización de modelos de propagación para, mediante simulación, generar los valores de RSSI en dichos puntos de referencia. La técnica más costosa en términos de tiempo, es la

recolección de medidas de RSSI en el escenario. La técnica de parametrización de modelos de propagación, no está exenta de una fase de recolección de medidas en el escenario, si bien, esta fase es mucho menos laboriosa y extensa que la técnica basada exclusivamente en la recolección de medidas en el escenario.

3.3.1.1 Optimización Temporal de la Fase de Calibración: Parametrización de Modelos de Propagación

La mayoría de las técnicas de localización basadas en *fingerprint* crean la base de datos de patrones de señales de radiofrecuencia mediante aprendizaje supervisado. En estos casos, los puntos de referencia más significativos son definidos por los profesionales o los usuarios. Las muestras recogidas en estos puntos de referencia son etiquetadas para saber en qué punto de referencia han sido tomadas, y este proceso es muy costoso en términos temporales.

Algunos de ellos se centran en reducir o incluso eliminar la fase de etiquetado de los valores de RSSI tomados en los puntos de referencia. Otros métodos se centran en reducir el esfuerzo de la generación de los valores de RSSI en cada RP mediante el uso de modelos de propagación.

3.3.1.2 Parametrización de Modelos de Propagación

Esta técnica, modela y predice los niveles de señal en diversos puntos de referencia del escenario donde se implanta la localización. Para ello, es necesario seleccionar previamente una serie de puntos de referencia claves, donde se llevarán a cabo medidas reales de los niveles de RSSI, a fin de calibrar correctamente los modelos de propagación. Sin embargo, esta técnica no está exenta de la problemática del modelado de la propagación en interiores, que puede afectar a la exactitud final en la estimación de la localización.

Los cambios en los niveles de señal en la propagación en interiores son difíciles de predecir debido a la complejidad de dichos entornos, y debido a los efectos propios de la propagación tales como la reflexión, la refracción y la dispersión que pueden provocar desvanecimientos de la señal. El desvanecimiento multitrayecto es el resultado de la combinación ya sea constructiva o destructiva de copias múltiples de la señal en el receptor, lo cual provoca que la señal recibida fluctúe alrededor de un valor medio para una ubicación en particular.

Los cambios en el entorno, tales como el movimiento de un ser humano o reubicación de muebles también podría cambiar el valor medio de RSSI. Estas propiedades no estacionarias indican la dificultad en el modelado de la RSSI para sistemas de posicionamiento en interiores basados en *fingerprints*.

Si se emplea la técnica de parametrización de modelos de propagación, es necesario además, realizar una recalibración de dichos modelos siempre que se detecten diferencias sustanciales

entre los valores registrados en los puntos de referencia clave y mediciones reales de RSSI. Este proceso requiere la intervención humana y consiste en tomar mediciones de RSSI a los RPs clave. Pudiéndose emplear las lecturas de RSSI tomadas en RPs clave, para volver a ajustar los parámetros del modelo de propagación.

Este proceso dará lugar a una actualización precisa y fiable de la base de datos, aumentando la precisión del sistema de localización. Una cuestión clave a la hora de realizar el proceso de recalibración, será el tiempo de cómputo empleado por los modelos de simulación para la estimación de las pérdidas de propagación en los puntos de referencia donde no se han realizado medidas. Dicho proceso debe realizarse tan rápido como sea posible para mantener la fiabilidad del sistema de localización y aumentar su precisión.

3.3.1.3 *Procesado Offline del Patrón de Señales de Radiofrecuencia.*

Se divide en dos fases claramente diferenciadas:

- La primera fase consiste en la selección de un subconjunto de *femtoceldas* L' tal que $L' \leq L$. Esta fase se realiza si el número de *femtoceldas* que cubre un escenario es elevado, o si las características de la señal recibida en un punto de referencia desde una o más *femtoceldas*, es inestable temporalmente. Esto quiere decir que deberían de seleccionarse *femtoceldas* que cubran el punto de referencia durante un porcentaje de tiempo no inferior al 90 % en el intervalo temporal donde se midieron los valores de RSSI.

En el caso de que haya un número elevado de *femtoceldas*, se obtiene una mejora cualitativa en los resultados del sistema de posicionamiento, seleccionando aquellas *femtoceldas* del mapa que se discriminan mejor por potencia en los puntos de referencia, o que ofrecen unos valores más divergentes en términos de medidas de RSSI, en cada punto de referencia. La razón fundamental para el desarrollo de esta fase, es que menos *femtoceldas* significan un menor tiempo de cómputo en la fase *online* del algoritmo.

Para ello se seleccionan las *femtoceldas* con niveles de señal más altos en cada punto de referencia.

- La segunda fase consiste en la generación de *clusters* que engloban puntos de referencia donde las huellas de cobertura de *las femtoceldas* son similares. El objetivo es la generación de una RoI (*Region of Interest*) tal que P_i con $i=1:N'$ siendo $N' < N$, donde N es el número total de puntos de referencia. En este caso, N' son los vectores generados mediante clusterización y son los vectores representantes de cada *cluster*. Estos vectores representantes se emplearán para realizar una primera comparación

con el vector de medidas RSSI del dispositivo a ubicar, en la fase *Online*. Este proceso reduce el tiempo necesario para localizar al dispositivo.

Las técnicas de *clustering* pueden ser de diferente naturaleza; redes neuronales, basadas en métricas de distancia entre puntos de referencia: K-Means, Joint Clustering o basadas en otras técnicas como Affinity Propagation. Una vez agrupados los puntos de referencia en diferentes *clusters*, se genera un ejemplar que representa a la población de puntos de referencia de dicho *clúster*.

3.3.2 Fase de Localización (Online)

La estimación de una posición con precisión en la fase de localización no es una tarea sencilla. El motivo principal es la variación existente entre las medidas almacenadas en el mapa radio y las recibidas por el terminal móvil, debido a la variación intrínseca del canal debido al desvanecimiento, por modificaciones en el entorno, por la posición y altura del dispositivo móvil e incluso por la presencia o ausencia de grupos de personas dentro del entorno. Así, dentro de las técnicas de *fingerprinting* existen distintos métodos que intentan reducir la influencia de los efectos adversos citados, además de minimizar el error al realizar la localización y minimizar la carga computacional.

Los distintos métodos que pueden aplicarse en la fase *online* son: método de los vecinos más próximos y sus variantes (NN – *Nearest Neighbor*, kNN – *k Nearest Neighbor*, wkNN – *weighted k Nearest Neighbor*), métodos basados en redes neuronales, métodos basados en SVM (*Support Vector Machine*), métodos basados en SMP (*Smallest M-vertex Polygon*) y métodos probabilísticos.

Antes de describir cada uno de ellos, se explicará en qué consiste el procesado online del mapa patrón de señales de radiofrecuencia, esto es, la selección de *clusters* en tiempo real.

3.3.2.1 Selección en Tiempo Real de Clústers

Esta fase tiene como objetivo la selección de aquellos *clusters* cuyos mapas de vectores RSSI son más similares al vector actual de medidas RSSI. Para ello se compara el vector de medidas actual con los ejemplares que representan a cada *clúster*.

Las diversas técnicas para generar los ejemplares representativos de cada agrupación (N') y realizar la comparación con el vector actual de medidas son:

- *Técnicas Exemplar Based*: Se realiza la comparación calculando la distancia euclídea entre la medida actual y el ejemplar representante de cada *clúster*. El ejemplar representante de cada *clúster* es un punto representativo dentro de los que pertenecen al *clúster*. Por ejemplo, si la técnica empleada para generar *clusters* es K-

Means, el ejemplar representante será el último centroide obtenido entre los puntos del *clúster*.

- Técnicas *Average Clúster Matching*: A la hora de generar los ejemplares, se realiza una media de los vectores RSSI de todos los miembros del *clúster* y posteriormente se calcula la distancia euclídea entre el ejemplar generado y el vector de medidas actual.
- Técnica *Weighted Averaged Clúster Matching*: Estas técnicas tienen en cuenta inestabilidad temporal de medidas de *las femtoceldas* a la hora de elegir el representante del *clúster*.
- Técnica *Strongest AP Matching*: En primer lugar prefiltran el vector de medidas RSSI para determinar *las femtoceldas* con RSSI más potentes. Luego se emplea alguna de las técnicas descritas anteriormente pero sólo se consideran las medidas RSSI de *las femtoceldas* seleccionados mediante el prefiltrado.

3.3.2.2 Vecinos más Cercanos KNN (*k-Nearest Neighbor*)

En este tipo de técnicas se hace una comparación entre los valores de señal recibidos y los valores almacenados en el *radio map*. Hay varias maneras de realizar la comparación. Lo más común es utilizar distancias euclídeas.

De esta manera, el valor (para el caso de NN) o los k valores (para los casos kNN y wkNN) más cercanos a la señal recibida, es decir, los que menor distancia presenten, son elegidos para elegir la posición del terminal:

- En el caso de NN, la posición del valor del mapa radio que presenta menor distancia se elige como estimación de la posición:

$$D_i = \left\| r - \overline{\psi}_i \right\|$$

- Para el caso de kNN, se realiza una media aritmética entre las posiciones de los k valores más cercanos obtenidos.

$$\hat{p} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K p_i$$

- Para el caso de wkNN se realiza una media ponderada entre las posiciones de los k valores más cercanos obtenidos. En este caso, se le da mayor importancia al punto que ha obtenido una distancia menor y menor importancia al punto en que se ha obtenido una distancia mayor.

Capítulo 3

Técnicas de localización

Estos métodos son muy sencillos de implementar y además suponen un coste computacional muy bajo.

3.3.2.3 Redes neuronales

En este tipo de métodos, durante la fase de calibración, los valores de RSSI almacenados en el mapa radio y sus correspondientes coordenadas se tratan como entradas y valores objetivo, respectivamente, dentro de una red neuronal con el objetivo de entrenar el sistema y obtener los pesos adecuados que caractericen el sistema.

Una vez entrenado el sistema, durante la fase de localización se introducen como entrada de la red neuronal los valores de RSSI recibidos por el terminal. De esta manera la salida de la red neuronal se corresponde con la posición estimada del terminal.

Estos sistemas presentan una complejidad elevada, aunque una vez entrenados, su coste computacional es muy bajo. Sin embargo, las redes neuronales presentan un problema importante, en caso de que se produzca una modificación en el entorno, además de calcular de nuevo el mapa radio, se deberá de re-entrenar el sistema con el correspondiente coste computacional asociado.

3.3.2.4 Métodos Support Vector Machine

Estos métodos se basan en la utilización de una técnica de clasificación de datos utilizando regresión. Se trata de una herramienta de análisis estadístico y el aprendizaje máquina.

3.3.2.5 Smallest M-Vertex Polygon

En estos métodos, los valores de potencia de señal recibida por el dispositivo móvil en la fase de localización, procedentes de cada estación transmisora, son utilizados por separado para hallar la posición. Si suponemos la existencia de M estaciones transmisoras, eligiendo al menos una posición candidata por cada estación transmisora (utilizando métodos de comparación de distancias), se generan polígonos formados por M vértices (cada vértice del polígono es la posición elegida como candidata asociada a una estación transmisora). Finalmente, se elige el polígono que presenta menor perímetro, al ser el que más se debe de ajustar a la posición deseada. Una vez realizada la elección del polígono con menor perímetro, se realiza un promedio de las posiciones candidatas resultantes.

4 Arquitectura del sistema MONOLOC

4.1 Introducción

MONOLOC es un sistema de localización en redes de femtoceldas en interiores. Se compone de tres subsistemas: sistema de localización, sistema de aplicaciones y sistema de gestión de red. En la Figura 5 se muestra la arquitectura completa del sistema, se distingue en azul el sistema de gestión de red, en naranja el sistema de aplicaciones y en rojo el sistema de localización. En el presente trabajo fin de máster, nos centraremos únicamente en el sistema de localización y su comunicación con el sistema de gestión para el paso de información SON. El presente trabajo fin de máster se centra en el subsistema de localización, donde se han realizado los desarrollos, describiéndolo en detalle.

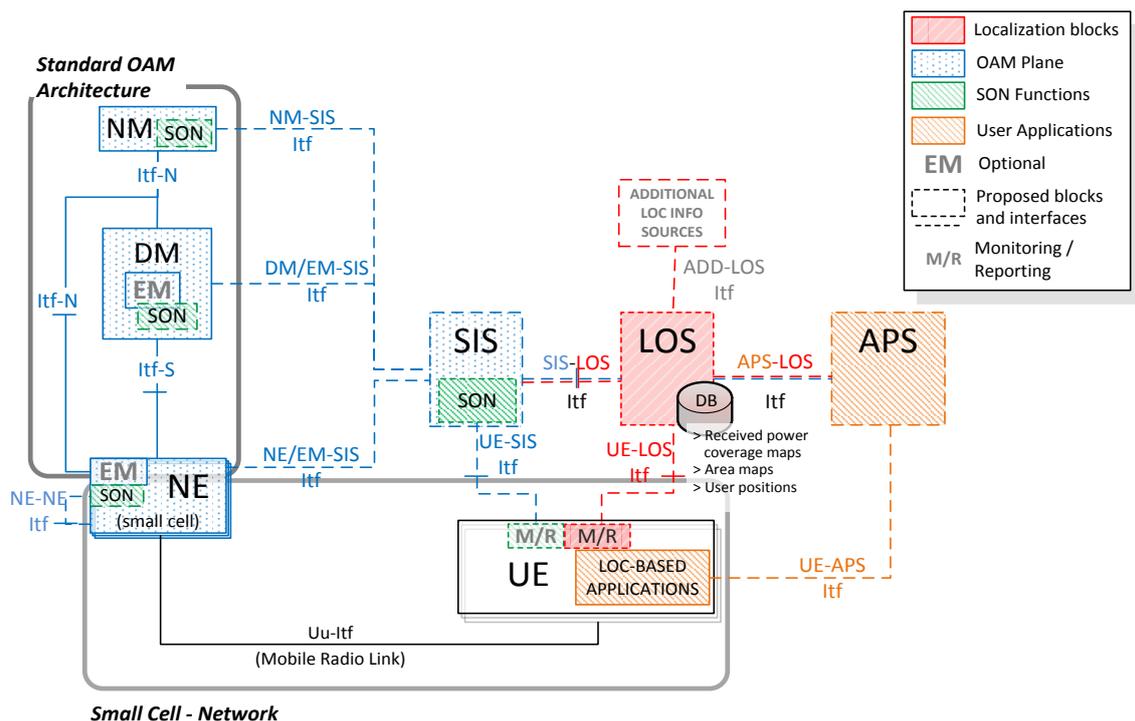


Figura 5 Arquitectura completa del sistema MONOLOC

En las siguientes secciones se detallan los módulos que componen el sistema de localización mostrado en la Figura 6 y las comunicaciones que se han establecido entre ellos.

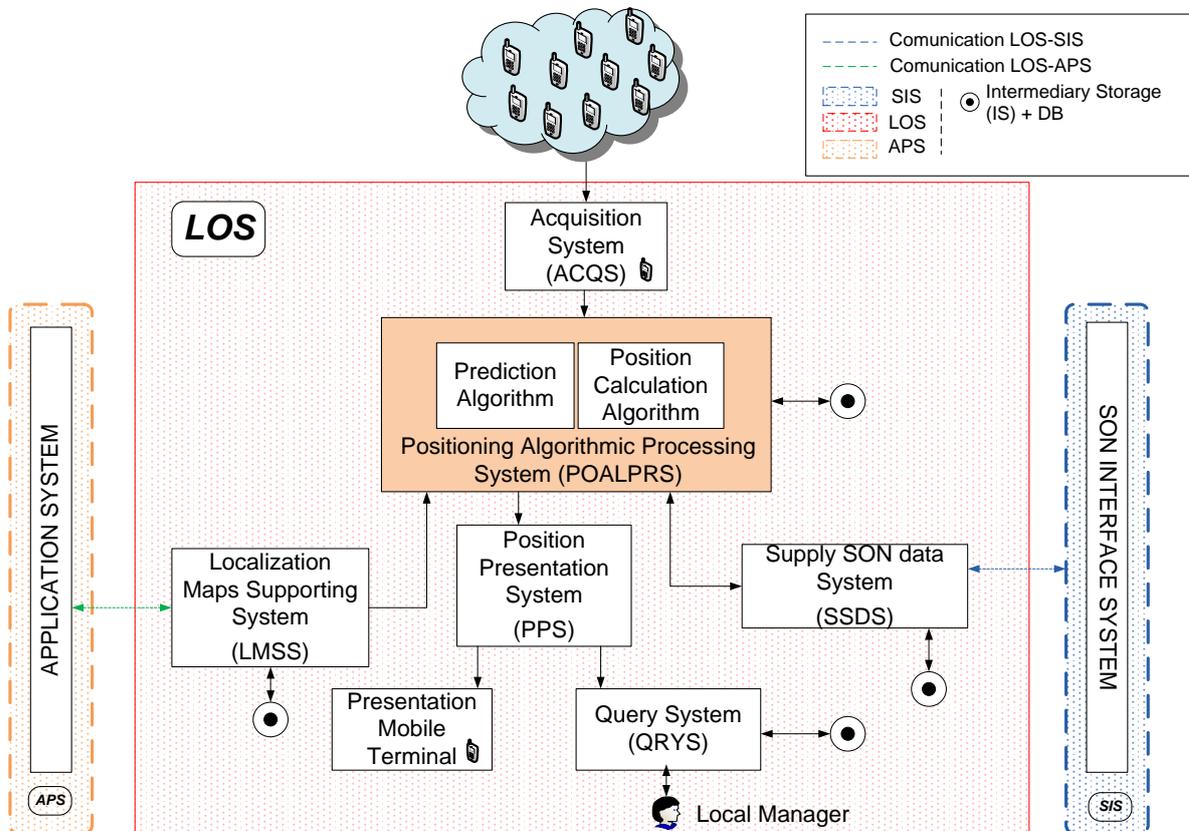


Figura 6 Estructura modular del sistema de localización

4.2 Sistema de Localización [LOS]

4.2.1 Sistema de adquisición [ACQS]

Este sistema, desarrollado por la UC3M, se encarga de la obtención de medidas en el terminal y su envío al sistema central. Estas medidas incluyen los parámetros de la señal de radio (potencia recibida de estaciones base o balizas cercanas, ángulos de llegada y tiempos de vuelo de la señal, retardos relativos), así como parámetros de otros sensores del terminal (la aceleración del dispositivo, la orientación del usuario).

El sistema de adquisición mantiene una interfaz con el Sistema de Cálculo (SC). A través de esta interfaz el sistema de adquisición le provee toda la información que recopila al sistema de cálculo para que éste realice los procesamientos necesarios. Esta interfaz se trata de un comunicación TCP/IP.

4.2.1.1 Sistema de cálculo [POALPRS]

Capítulo 4

Arquitectura del sistema MONOLOC

El sistema de cálculo (POALPRS) es el módulo encargado de mantener los datos necesarios y realizar los cálculos para la localización y es principal desarrollo para este trabajo fin de master.

La localización de este sistema se basa en técnicas fingerprint, por lo que contendrá una matriz de calibración del escenario de despliegue generada en una primera fase offline. El sistema recibe las medidas tomadas por el sistema de adquisición. Dentro de este sistema estas medidas son comparadas en la fase online con la matriz de calibración previamente generada, obteniendo el punto del escenario que más se ajuste pudiendo emplear distintos algoritmos.

El sistema de cálculo emplea el algoritmo KNN descrito previamente para la localización y sin clustering.

El sistema de cálculo mantiene interfaces con el sistema de adquisición, con el intermediario de almacenamiento (IS) para el almacenamiento de información y el Sistema para la Presentación de la Posición (PPS). Por otro lado, recibirá en un futuro mensajes del sistema de soporte de mapas para la localización y también se relacionará con el Sistema Soporte de Mapas para la Localización (SSDS).

4.2.1.2 Sistema de presentación [PPS] y presentación móvil

El sistema de presentación se encarga de recibir la información del sistema de cálculo (POALPRS) y de almacenar dicha información en el móvil y el sistema central para mantener actualizada la posición actual y predicciones futuras para que pueda ser utilizada por las aplicaciones móviles y gestor local respectivamente.

El sistema de presentación (PPS) mantiene interfaces con el sistema de cálculo (POALPRS) del que recibe los cálculos de posición y predicciones y además sirve como intermediario con el sistema de presentación móvil y el sistema de consulta (QRYS).

4.2.1.3 Sistema de consulta [QRYS]

La función del sistema de consulta es servir como interfaz para la administración, gestión y explotación de los datos referentes a la localización de los usuarios por parte de terceros. El sistema de consulta mantiene dos interfaces una con el sistema de presentación (PPS) y otra con el intermediario de almacenamiento (IS).

Este sistema recibe del sistema de presentación (PPS) la información de posiciones y de predicciones que el sistema de cálculo le envía al anterior. El sistema de consulta recibirá las notificaciones a medida que estas se vayan realizando. Al tratarse de un módulo interno al sistema de localización (LOS) no hay definido ningún protocolo como tal sino que este sistema se pone a la escucha de notificaciones que el sistema de presentación (PPS) le envíe. El sistema

de consulta (QRYS) obtendrá las notificaciones del sistema de presentación y las mostrará en algún formato inteligible para usuarios aún por definir.

Por otro lado, la información que este sistema obtiene del intermediario de almacenamiento se mostrará de alguna forma visual y que permita su comprensión por usuarios aún por definir.

4.2.1.4 Sistema soporte de mapas para la localización [LMSS]

El sistema de soporte de mapas para la localización se encarga de recibir las notificaciones del sistema de aplicaciones (APS) que indican la existencia de un nuevo mapa para la recalibración de los algoritmos de cálculo.

Esta comunicación no será implementada ya que en la actualidad los algoritmos de localización no aceptan esta posibilidad, sin embargo, se plantea para futuras evoluciones en que dichos algoritmos puedan ser recalibrados con estos mapas.

Este sistema mantiene interfaz con el sistema de cálculo (POALPRS), para la futura notificación de nuevos mapas, con el intermediario de almacenamiento (IA) y además sirve como interfaz entre el sistema de Localización (LOS) y el sistema de Aplicaciones (APS).

4.2.1.5 Sistema de provisión de datos para soporte de autogestión [SSDS]

Este sistema sirve de intermediario entre el sistema de Localización (LOS) y el sistema de autogestión de red (SIS), recibiendo los mensajes del sistema de Cálculo (POALPRS) y adaptándolos para su notificación al sistema de autogestión de red. A su vez recibe los mensaje provenientes del sistema de autogestión de red con la información relativa a SON y la transmitirá al módulo POALPRS, para que este pueda adaptar la información SON al cálculo de posición.

4.3 Comunicaciones entre sistemas

4.3.1 Comunicación entre ACQS Y POALPRS

Este tipo de comunicación se encarga de transmitir las medidas que el sistema de adquisición toma sobre el terminal al sistema central y, en concreto, al sistema de cálculo para que éste realice sus procesamientos. A continuación se detalla el protocolo de comunicación entre el sistema de adquisición y el sistema de cálculo.

En este protocolo se distinguen dos partes diferenciadas: el inicio de la comunicación y el envío de medidas.

Capítulo 4

Arquitectura del sistema MONOLOC

El inicio de comunicación contiene los siguientes mensajes:

- El sistema de adquisición envía el mensaje de inicio de comunicación con su identificador IMEI.
- El sistema de cálculo responde a dicho mensaje de dos formas.
 - Envía de vuelta el mensaje de aceptación de inicio de comunicación.
 - Envía un mensaje de rechazo de inicio de comunicación.
- En caso de que el sistema de cálculo envíe el mensaje de aceptación de comunicación el sistema de adquisición podrá comenzar a enviar mensajes de medidas.
- En caso de que el sistema de cálculo envíe el mensaje de rechazo de inicio de comunicación cualquier mensaje enviado a continuación por el sistema de adquisición será ignorado y no se enviará ninguna respuesta excepto si el mensaje es un nuevo mensaje de inicio de comunicación.
 - En principio todos los terminales serán aceptados; sin embargo, se deja abierta esta posibilidad en caso de que se quieran definir políticas de aceptación o rechazo de terminales en un futuro.
- En caso de que se reciba un mensaje con un formato que se salga del protocolo definido en estos pasos el servidor de cálculo devolverá un mensaje genérico error.

A continuación se detallan los pasos anteriores de forma gráfica.

Inicio de comunicación válido y envío de medidas

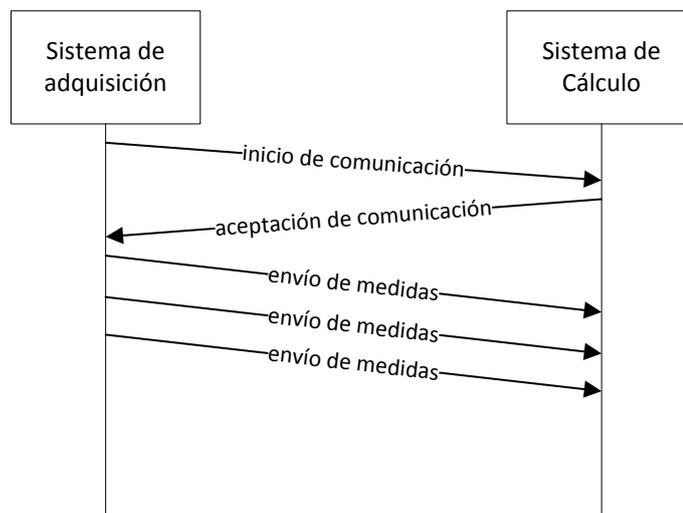


Figura 7 Inicio de comunicación

Inicio de comunicación no válido y envío de medidas



Figura 8 Rechazo de comunicación

Envío de mensaje desconocido y respuesta de error

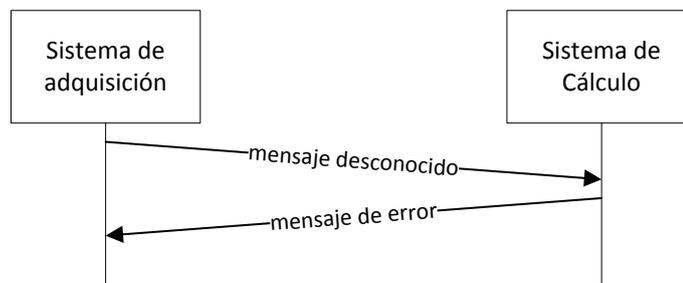


Figura 9 Mensa desconocido

• **Mensajes y formatos**

El formato de los mensajes de esta comunicación será en JSON.

- Mensaje de inicio de comunicación
 - El mensaje incluye los siguientes campos:
 - Identificador de terminal (id)
 - Código de mensaje (type, valor 0)
 - Información de Android (compilation): los campos y nombres de este componente corresponden con el objeto `android.os.BuildState` del API de Android
 - Información del teléfono (telephony): los campos y nombres de este componente corresponden con el objeto `android.telephony.TelephonyManager` del API de Android.
- Mensaje de aceptación de comunicación
 - El mensaje incluye los siguientes campos:

Capítulo 4

Arquitectura del sistema MONOLOC

- Identificador de terminal (id)
 - Código de mensaje (type, valor 1)
- Mensaje de rechazo de la comunicación
 - El mensaje incluye los siguientes campos:
 - Identificador de terminal (id)
 - Código de mensaje (type, valor 2)
- Mensaje de error
 - El mensaje incluye los siguientes campos:
 - Código de mensaje (type, valor -1)
 - Identificador de terminal (id)
- Mensaje de envío de medidas
 - El mensaje incluye los siguientes campos:
 - Código de mensaje (type, valor 3)
 - Referencia (reference)
 - Identificador (id): se usará el IMEI
 - Marca de tiempo (timestamp): momento de la toma de la medida.
 - Tipo de red (mNetworkType)
 - Orientación (Orientation)
 - Azimuth
 - Pitch
 - Roll
 - Localización (location): corresponde con el objeto android.location.Location del API de Android
 - Celdas GSM: lista de celdas GSM que el terminal detectó en su radio de acción. Cada elemento contiene la información:

- Marca de tiempo (mTimeStamp)
 - Registrado (mRegistered)
 - Tipo de red (mNetworkType)
 - Tipo de marca de tiempo (mTimeStampType)
 - Tipo (type)
 - Identificación de celda GSM (mCellIdentityGsm), corresponde con un objeto del tipo android.telephony.CellIdentityGSM.
 - Potencia de señal de celda GSM (mCellSignalStrengthGsm), corresponde con un objeto del tipo android.telephony.CellStrengthGSM.
- Celdas CDMA: lista de celdas GSM que el terminal detectó en su radio de acción. Cada elemento contiene la información:
 - Marca de tiempo (mTimeStamp)
 - Registrado (mRegistered)
 - Tipo de red (mNetworkType)
 - Tipo de marca de tiempo (mTimeStampType)
 - Tipo (type)
 - Identificación de celda CDMA (mCellIdentityCdma), corresponde con un objeto del tipo android.telephony.CellIdentityCdma.
 - Potencia de señal de celda CDMA (mCellSignalStrengthCdma), corresponde con un objeto del tipo android.telephony.CellSignalStrengthCdma.
- Celdas GSM: lista de celdas LTE que el terminal detectó en su radio de acción. Cada elemento contiene la información:
 - Marca de tiempo (mTimeStamp)
 - Registrado (mRegistered)
 - Tipo de red (mNetworkType)

- Tipo de marca de tiempo (mTimeStampType)
- Tipo (type)
- Identificación de celda LTE (mCellIdentityLte), corresponde con un objeto del tipo android.telephony.CellIdentityLte.
- Potencia de señal de celda LTE (mCellSignalStrengthLte), corresponde con un objeto del tipo android.telephony.CellSignalStrengthLte

4.3.2 Comunicación entre POALPRS y IS , SSDS y PPS

Esta comunicación se define para almacenar a través del intermediario de almacenamiento (IS) todas aquellas medidas que se van realizando en su recepción desde el sistema de adquisición (ACQS) y para almacenar los resultados que el sistema de cálculo va notificando.

Al ir realizando cálculos de posición y predicciones, éstas se notificarán al intermediario de almacenamiento (IS) para su almacenamiento.

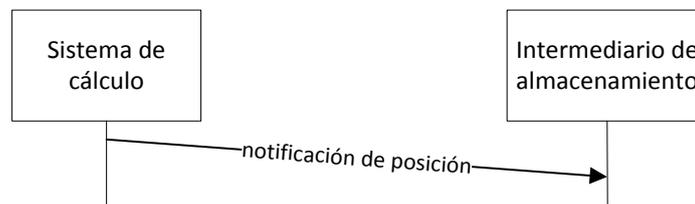


Figura 10 Notificación de posición del POALPRS al IS, SSDS y PPS

El sistema de cálculo, con la recepción de cada medida tomada por el sistema de adquisición (ACQS) realiza los cálculos oportunos para devolver una posición. Esta posición contiene la siguiente información:

- Código de mensaje (type, valor 4)
- Identificador de terminal (id)
- Marca de tiempo (timestamp)
- Marca de tiempo de la medida (timestampMeasure)
- Posición (location)
 - Latitud (latitude)
 - Longitud (longitude)
 - Altitud (altitude)
 - Precisión (accuracy)
- Datos opcionales
 - Posición en formato x,y,z (en metros) (location)

- Tiempo de la última medida fiable (lastReliableMeasure)

El sistema de cálculo tiene como resultado predicciones de posición de un terminal relacionado con su historial. El funcionamiento de estos algoritmos está descrito en el documento entregable E2.3 Desarrollo modelos predictivos de localización.

El algoritmo de cálculo de predicciones devuelve mensajes con la siguiente información:

- Código de mensaje (type, valor 5)
- Identificador de terminal (id)
- Marca de tiempo (timestamp)
- Predicción (prediction)
 - Siguiete elemento más probable (cell)
 - Probabilidad de ser conectado (probability)
 - Identificador de celda GSM (gsm)
 - Identificador de celda CDMA (cdma)
 - Identificador de celda LTE (lte)

4.3.3 Comunicación entre LMSS y POALPRS

Esta comunicación se encarga de trasladar la notificación de un nuevo mapa por parte del sistema de aplicaciones (APS) al sistema de cálculo para su recalibración.

Esta comunicación está planteada, sin embargo, en el momento actual los algoritmos de cálculo utilizados no están pensados para realizar una recalibración de sus parámetros a través de información que no sean las técnicas de *fingerprinting*, sin embargo, se deja abierta esta posibilidad por la posible evolución que pueda surgir en adelante.

Esta comunicación contiene únicamente el mensaje de notificación de la disponibilidad de un nuevo mapa por parte del sistema de aplicaciones.

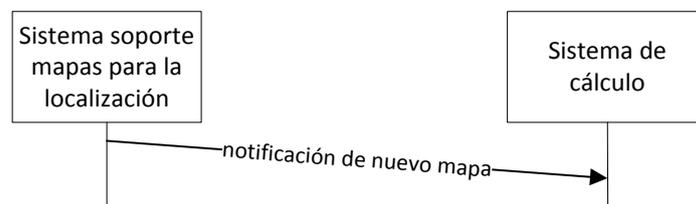


Figura 11 Notificación de nuevo mapa del LMSS al POALPRS

Puesto que es una comunicación planteada como posible evolución no se definen formatos específicos. En caso de que en un futuro el sistema de cálculo haga uso de esta información se definirá el formato en que recibirá dicha información.

5 Puesta en marcha del sistema

5.1 Introducción

En el siguiente capítulo se detalla el proceso llevado a cabo para desplegar el sistema de localización explicado en capítulos anteriores. El proceso se compone de 3 fases mostradas a continuación:

- Recogida de medidas de calibración: Realizada con una aplicación android para terminales móviles implementada por la UC3M.
- Análisis de las medidas recogidas: Aplicación de un formato concreto a las medidas recogidas para su posterior empleo.
- Arranque del motor de cálculo.

El sistema es desplegado sobre la planta del edificio de Alcatel Lucent Spain, mostrado en la Figura 12.

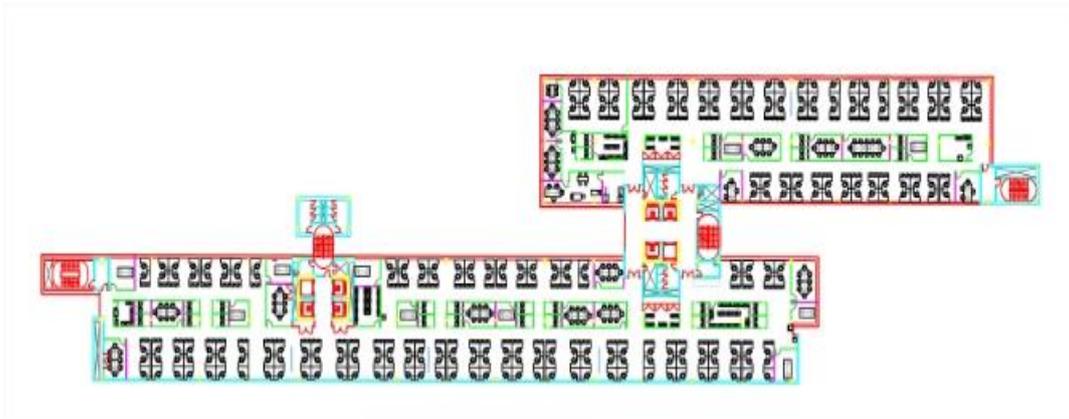


Figura 12 Escenario de despliegue

Dado que para el despliegue del sistema solo se dispone de 4 femtoceldas, la disposición de las mismas y la zona de cobertura para el sistema de localización en la planta se detallan en las siguientes figuras.

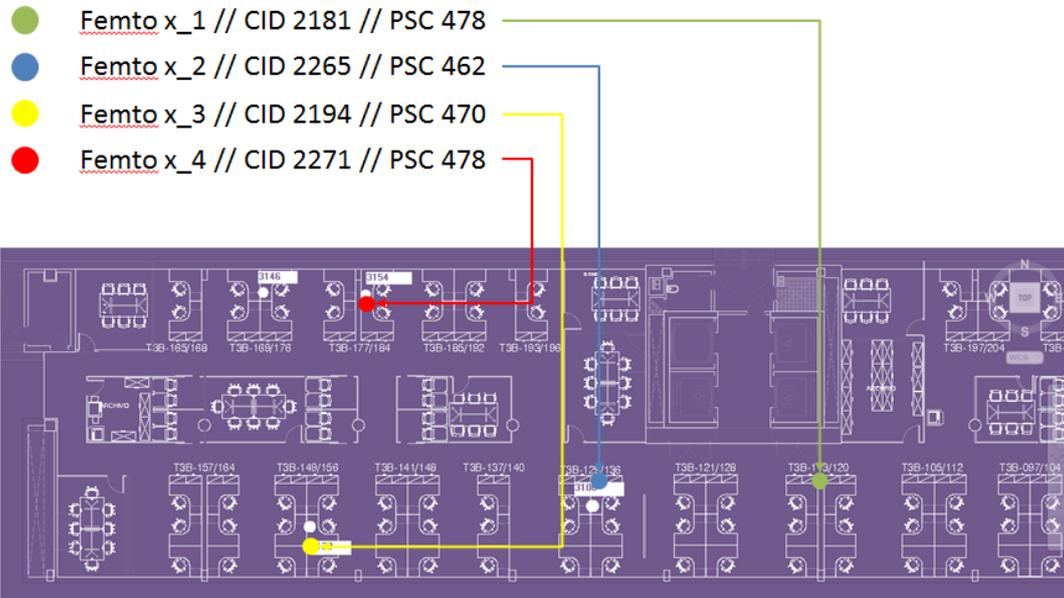


Figura 13 Ubicación de las femtoceldas

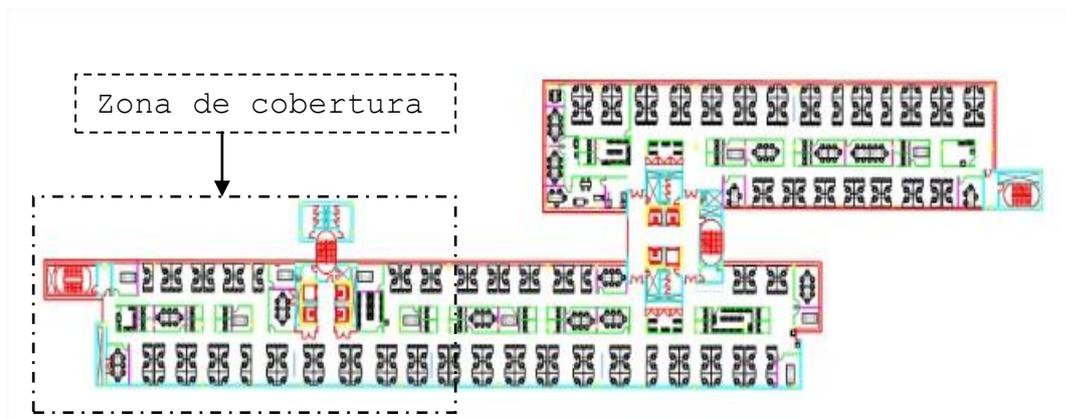


Figura 14 Zona de cobertura del sistema de localización

5.2 Recogida de medidas de calibración

En esta fase se llevarán a cabo esencialmente tres tomas de medidas diferentes. La primera de ellas estará asociada a la toma de medidas para la caracterización de procedimientos de calibración basados en un muestreo regular del escenario de despliegue. La segunda fase de la toma de medias corresponde a una caracterización de procedimientos de calibración de algoritmos de localización basados en fingerprint utilizando un muestreo irregular del escenario de despliegue. Finalmente, una tercera fase de toma de medidas será utilizada para caracterizar un proceso de movimiento de un usuario del servicio MONOLOC por el escenario

de despliegue, con el fin de recopilar medias para validar el funcionamiento de los algoritmos de localización desarrollados mediante herramientas desarrolladas en el proyecto con ese fin.

5.2.1 Muestreo regular

En primer lugar con una herramienta software desarrollada en Matlab por la UPM se realizará un muestreo sobre el escenario para evaluar requerimientos temporales a la hora de llevar a cabo la recogida de medidas. En la Figura 15 se ha llevado a cabo un muestreo regular con una separación de 3 metros entre muestras, dando lugar a 83 muestras en el escenario, haciendo abordable en tiempos la tarea de recogida de medidas y aportando la suficiente precisión al proceso.

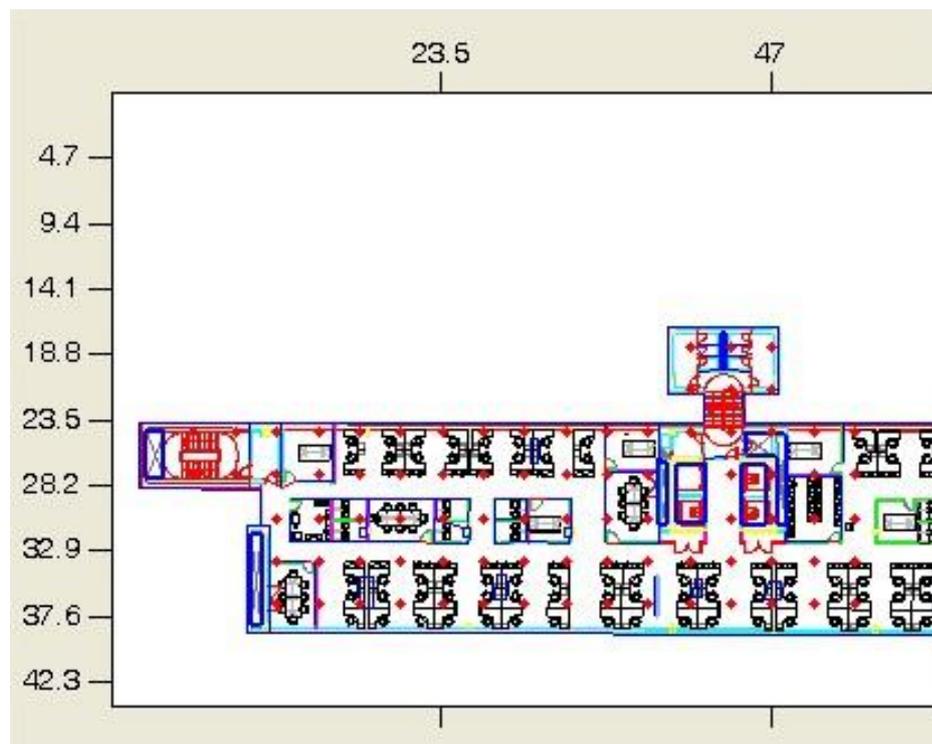


Figura 15 Muestreo Regular con separación de 3 metros entre muestra

Una vez seleccionado el muestreo deseado, se procederá con el software desarrollado por la UC3M, mostrado en la Figura 17, a recoger medidas en el escenario. Para ello, el usuario se posicionará en un punto de muestreo del escenario, incrementará en uno la referencia (botón reference), arrancará la aplicación (botón play), recogerá medidas parado durante 2 minutos. En estos dos minutos de medidas, el usuario seguirá las orientaciones relativas indicadas en la

Figura 16, comenzará orientándose al Norte y recogerá medidas durante 30 segundos. Siguiendo el sentido de las agujas del reloj se orientará al este y recogerá medidas durante otros 30 segundos. A continuación se orientará al sur y recogerá durante otros 30 segundos. Por último se orientará al oeste y hasta completar los 2 minutos seguirá recogiendo medidas.

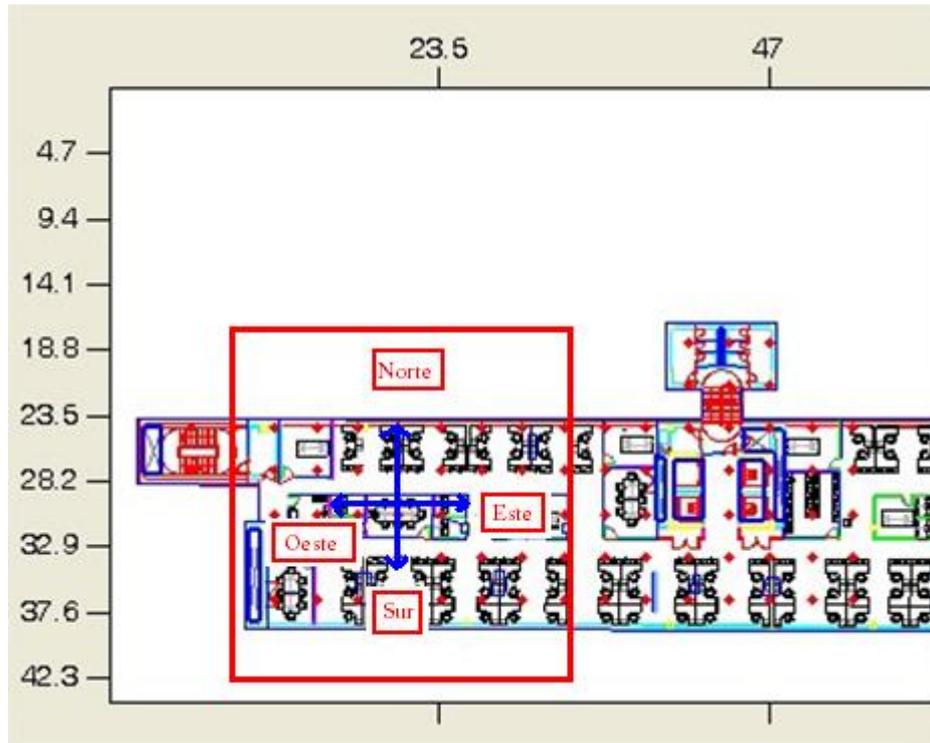


Figura 16 Orientaciones relativas para la recogida de medidas

Una vez recogidas medidas en las cuatro orientaciones, pausará la aplicación y se desplazará al siguiente punto de muestreo repitiendo el proceso.

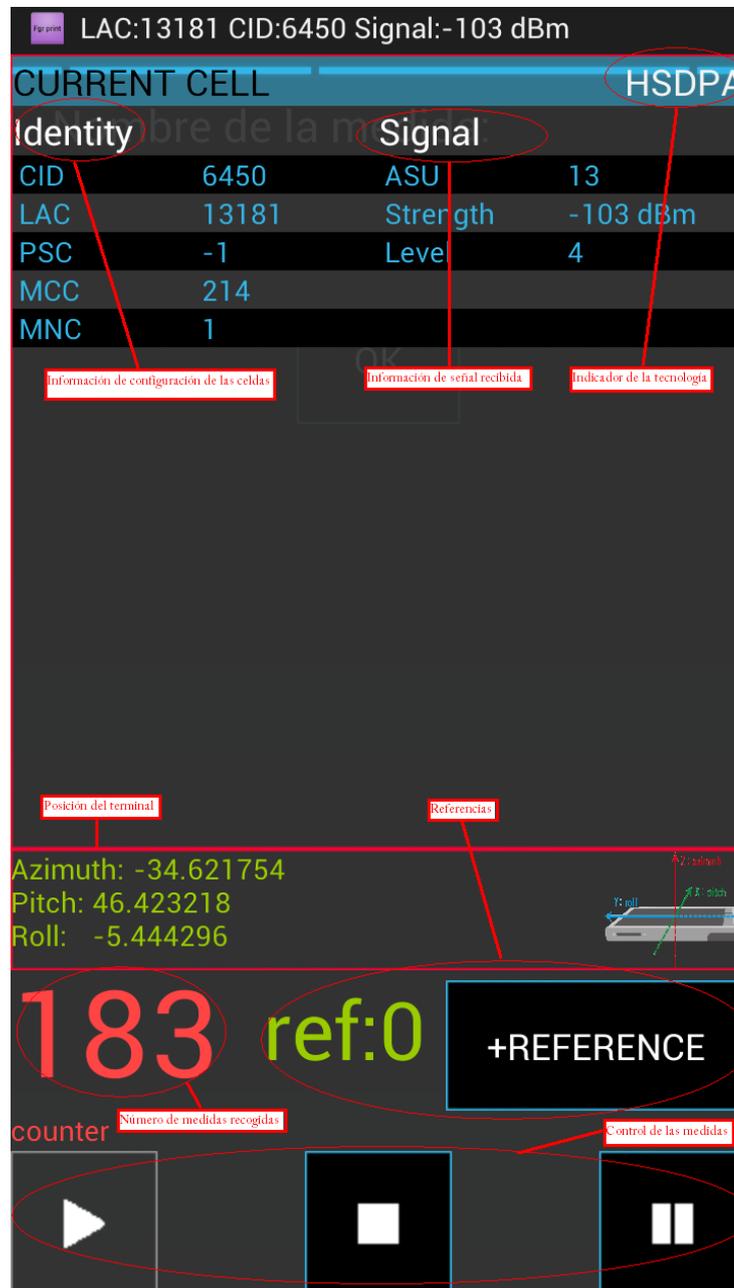


Figura 17 Pantalla principal de la aplicación BTSFingerprint

En la primera medida que sea llevada a cabo no es necesario aumentar la referencia, llevando el indicador de referencia 0.

Se recorrerán todos los puntos de muestreo empezando siempre por el extremo superior izquierdo y se irán recorriendo por columnas. Un ejemplo de cómo se realizará este recorrido y cuáles serían los puntos de referencia, en cada punto de muestreo se presenta en la Figura 18.

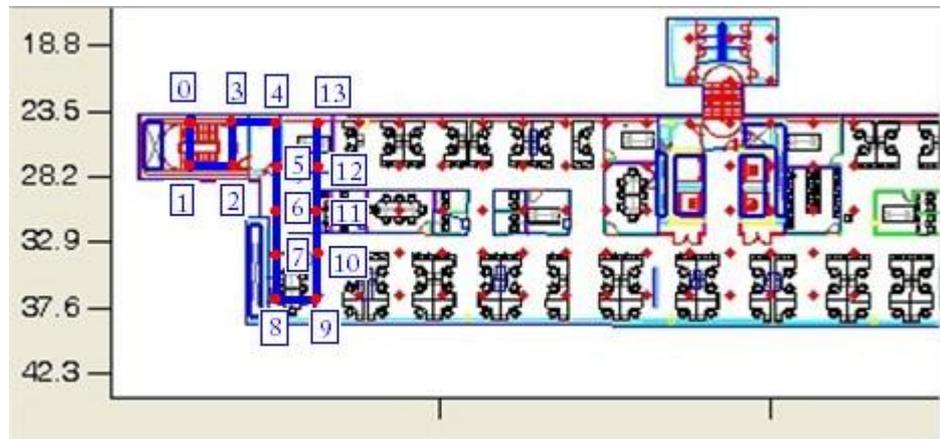


Figura 18 Ejemplo del recorrido y los puntos de referencia de cada punto de muestreo

Para la recogida correcta de medidas y evitar errores humanos que puedan provocar un retraso en esta fase, se realizarán tandas de recogida de medidas siguiendo el proceso explicado anteriormente. Cada tanda de medidas se compone de 5 puntos de muestreo del escenario, al terminar el 5 se parará la aplicación y se enviarán los resultados al correo destinado a tal efecto loctraces@gmail.com. El individuo encargado de las medidas procederá a la siguiente tanda de medidas, mientras que otra persona, validará la coherencia de las medidas obtenidas. En el caso de resultar medidas coherentes serán almacenadas, mientras que si existe un error en ellas serán descartadas y se repetirá esa tanda de medidas.

5.2.2 Muestreo irregular

En primer lugar con una herramienta software desarrollada en Matlab por la UPM se realizará un muestreo sobre el escenario para evaluar requerimientos temporales a la hora de llevar a cabo la recogida de medidas. En este caso se emplea un muestreo irregular, en el que una estructura cuya área puede variarse, representa un solo punto de muestreo sin afectar a la precisión del sistema, permitiendo reducir el número de muestras. Se han empleado estructuras de 5,4,3 y 2 metros cuadrados, dando lugar a 50 muestras en el escenario. Este número hace abordable en tiempos la tarea de recogida de medidas y aporta la suficiente precisión al proceso.

Capítulo 5

Puesta en marcha del sistema

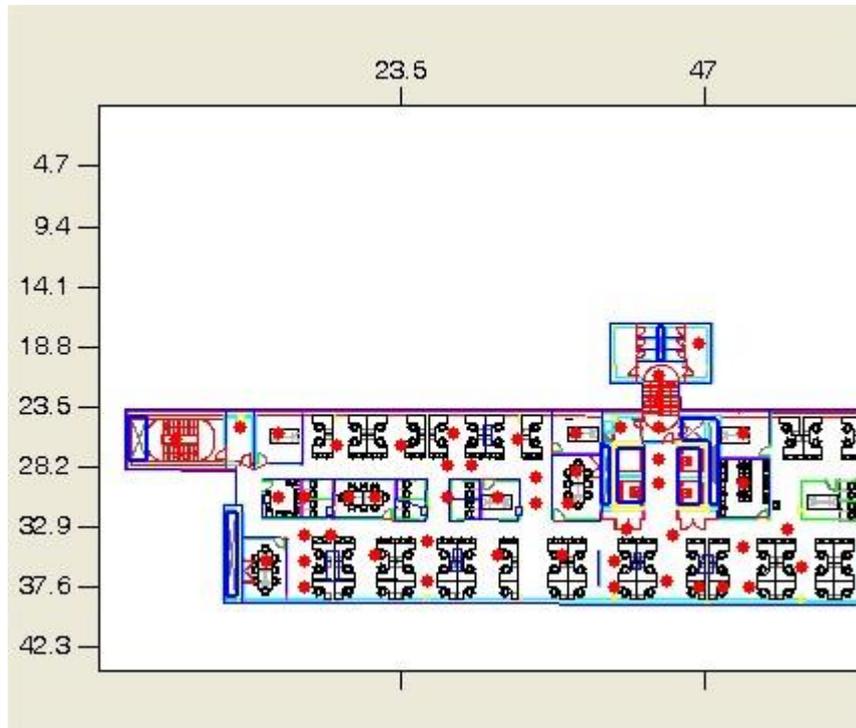


Figura 19 Muestreo irregular del escenario

Una vez simulado el muestreo, se procederá con el software desarrollado por la UC3M, mostrado en la Figura 17, a recoger medidas en el escenario. Para ello, el usuario se posicionará en un punto de muestreo del escenario, incrementará en uno la referencia (botón reference), arrancará la aplicación (botón play), recogerá medidas parado durante 5 minutos, con diferentes orientaciones, y pausará las medidas. A continuación se desplazará al siguiente punto de muestreo y repetirá el proceso.

En la primera medida que sea llevada a cabo no es necesario aumentar la referencia, llevando el indicador de referencia 0.

Para la recolección de medidas en todos los puntos de muestreo del escenario, se sigue el siguiente procedimiento. En primer lugar se recorrerán todos los puntos de muestreo asociados a las estructuras de 5x5 metros, empezando por el extremo superior izquierdo y avanzando por columnas. A continuación se procederán con las muestras de estructura 4x4 de igual manera. Una vez terminadas con las muestras 4x4 se comenzará con las de estructura 3x3. Por último se terminará con las muestras de estructura 2x2.

En la Figura 20, Figura 21, Figura 22 y Figura 23 se muestra el orden en que serán recogidas las medidas para cada grupo de estructuras.

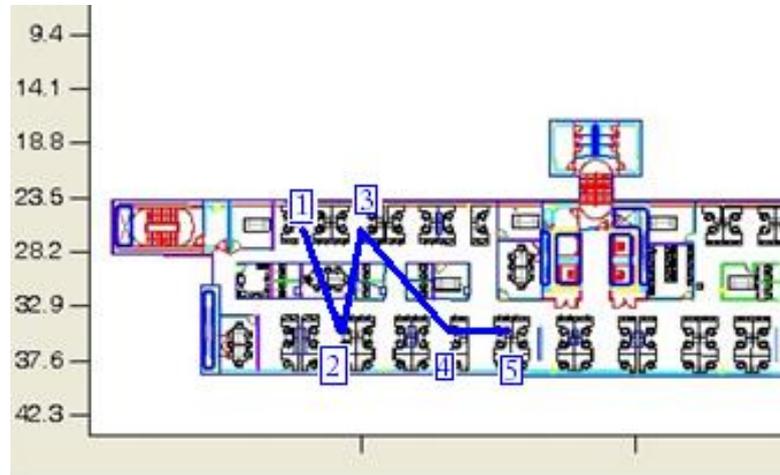


Figura 20 Muestras de estructura 5x5

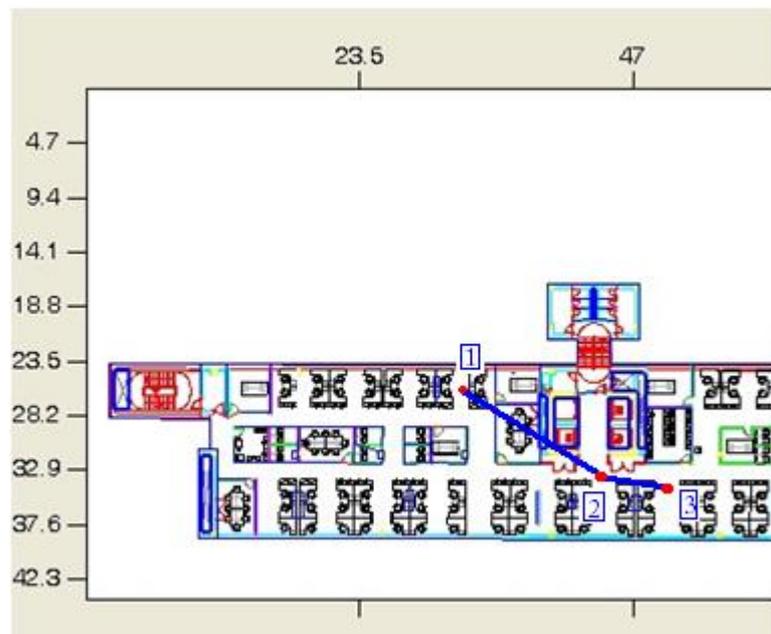


Figura 21 Muestras de estructura 4x4

Capítulo 5

Puesta en marcha del sistema

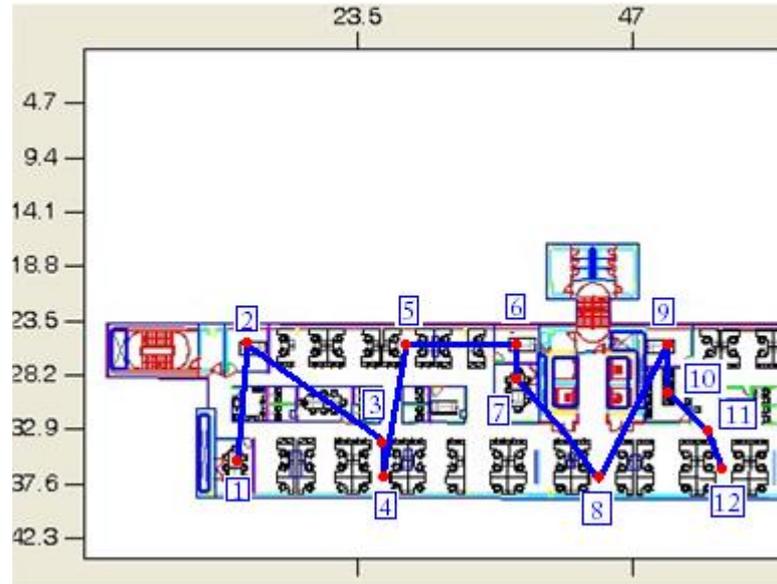


Figura 22 Muestras de estructura 3x3

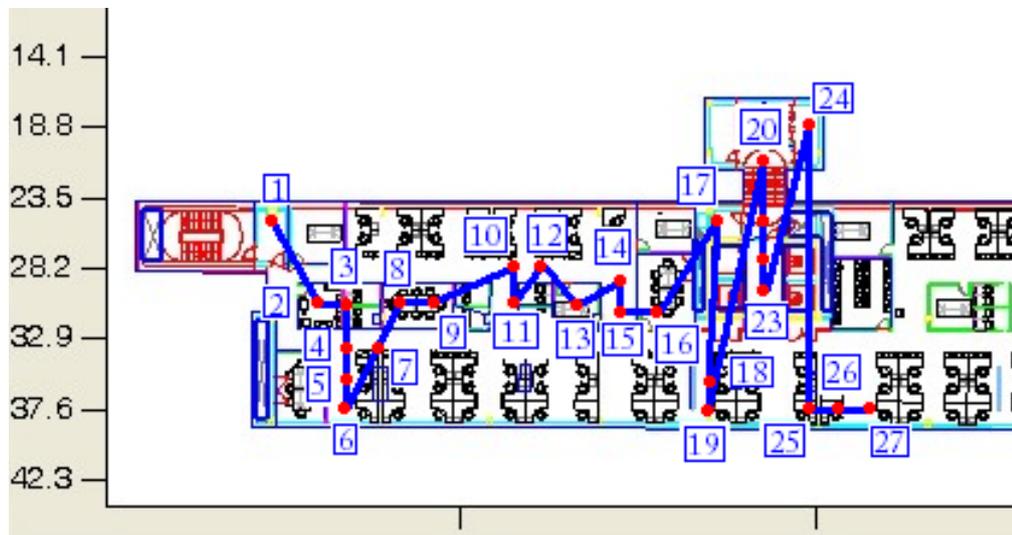


Figura 23 Muestras de estructura 2x2

Para la recogida correcta de medidas y evitar errores humanos que puedan provocar un retraso en esta fase, se realizarán tandas de recogida de medidas siguiendo el proceso explicado anteriormente. Cada tanda de medidas se compone de 5 puntos de muestreo del escenario, al terminar el 5 se parará la aplicación y se enviarán los resultados al correo

destinado a tal efecto loctraces@gmail.com. El individuo encargado de las medidas procederá a la siguiente tanda de medidas, mientras que otra persona, validará la coherencia de las medidas obtenidas. En el caso de resultar medidas coherentes serán almacenadas, mientras que si existe un error en ellas serán descartadas y se repetirá esa tanda de medidas.

5.3 Análisis de las medidas recogidas

El protocolo de análisis de medidas se divide en dos grandes bloques de acciones, el Parseador JSON y el Procesador Medidas.

- **Parseador JSON:** Este módulo cargará las trazas recogidas con la aplicación BTSFingerprint en un formato .txt. Obtendrá los datos de cada medida recogida: referencia, cellID de la celda servidora, PSC de las celdas vecinas, tipo de red, potencias recibidas de femtocelda servidora y vecinas y por último, timestamp. Esta información será incluida en una matriz para poder continuar su procesado en el entorno MATLAB.
- **Procesador Medidas:** Este bloque recibe la matriz generada por el parseador y procederá a la generación de los parámetros de la fase offline. Se compone de 5 sub-bloques:
 - **Asociación y paso de PSC a cellID:** Puesto que de las celdas servidoras únicamente se obtiene el cellID y de las vecinas el PSC, es necesario establecer una relación unívoca entre cellID y PSC y traducir todos los PSC a cellID para un procesado más sencillo.
 - **Eliminación de macroceldas y referencias no válidas:** El terminal móvil puede conectarse a macroceldas en algún momento, recibiendo medidas que no aportarán información a la fase offline, por lo que la herramienta elimina toda información relativa a macroceldas en las trazas.
 - **Creación de structCalibración:** El structCalibración contendrá la información de la fase offline y será el empleado por el motor de cálculo. Contendrá por cada punto de referencia del escenario, una matriz con la media de las medidas recibidas por cada AP y el conjunto de medidas recibidas en cada punto de referencia por cada AP.
 - **Ordenación de las medidas de menor a mayor CellID:** Las medidas para cada AP se encuentran en una columna distinta. Para evitar confusiones a la hora de comparar medidas online, se ordenan las columnas por CellID de menor a mayor siempre.

Capítulo 5

Puesta en marcha del sistema

- Establecimiento de umbral de medidas: Los chipset de los terminales móviles poseen un umbral, por debajo del cual no se reporta medida. Esto supone que en algunos casos no se dispondrá de medidas de todas las celdas vecinas. Para evitar confusiones y aumento del error en el cálculo de posición, las medidas no reportadas serán establecidas a -120 dBm.

Tras todo este procesado, el structCalibracion estará en condiciones de ser empleado por el motor de localización.

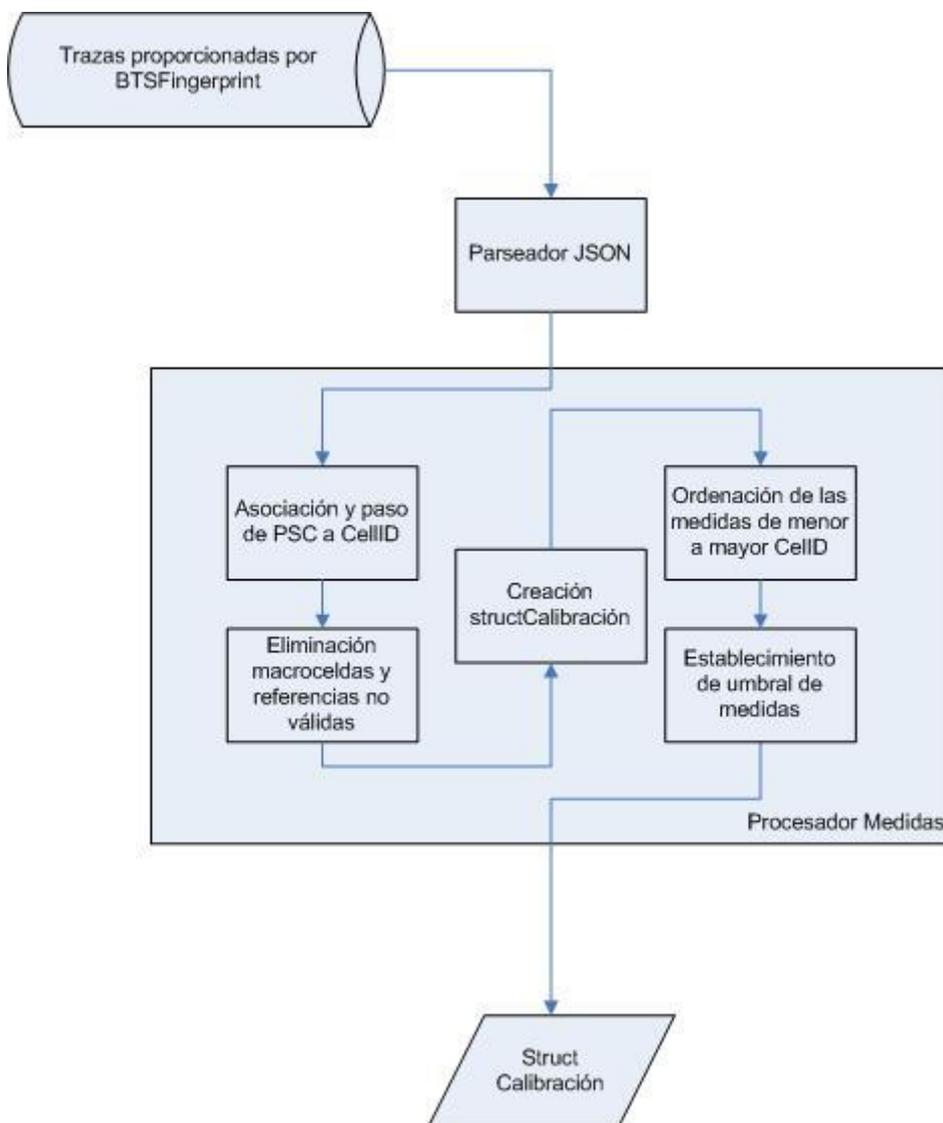


Figura 24. Diagrama de flujo del protocolo de análisis de medidas

Una vez llevado a cabo todo el proceso, únicamente es necesario cargar las matrices offline que han sido generadas y arrancar el motor de cálculo para que se encuentre en disposición de recibir y procesar medidas entrantes.

ANEXO I

Ejemplo Comunicación ACQS-POALPRS

Mensaje inicio comunicación

```
{
  "type":0,
  "id":"identificador de terminal",
  "compilation":{
    "ID":"JOP40D",
    "DISPLAY":"cm_galaxysmtd_4.2.1_JOP40D_RemICS-JB",
    "PRODUCT":"GT-I9000",
    "DEVICE":"GT-I9000",
    "BOARD":"aries",
    "BRAND":"samsung",
    "MODEL":"GT-I9000",
    "VERSION_INCREMENTAL":"eng.derteuffel1980.20121228.175146",
    "VERSION_RELEASE":"4.2.1",
    "VERSION_SDK":"17",
    "VERSION_SDK_INT":17,
    "VERSION_CODENAME":"REL",
    "TYPE":"userdebug",
    "TAGS":"test-keys",
    "FINGERPRINT":"samsung/GT-I9000/GT-
I9000:2.3.5/GINGERBREAD/XXJVT:user/release-keys",
    "TIME":1356717185000,
    "USER":"derteuffel1980",
    "HOST":"build1",
    "BOOTLOADER":"unknown",
    "CPU_ABI":"armeabi-v7a",
    "HARDWARE":"aries",
    "CPU_ABI2":"armeabi",
    "MANUFACTURER":"samsung",
    "RADIO":"unknown",
    "SERIAL":"null"
  },
  "telephony":{
    "DataState":"state",
    "DeviceId":"352961043508636",
    "DeviceSoftwareVersion":"01",
    "Line1Number":"line1Number",
    "NetworkCountryIso":"es",
    "NetworkOperator":"21403",
    "NetworkOperatorName":" "
  }
}
```

```

    "NetworkType":"GPRS",
    "PhoneType":"GSM",
    "SimCountryIso":" ",
    "SimOperator":" ",
    "SimOperatorName":" ",
    "SimSerialNumber":" ",
    "SimState":"simState",
    "SubscriberId":"null",
    "VoiceMailAlphaTag":"mailTag",
    "VoiceMailNumber":"mailNumber"
  }
}

```

Mensaje de aceptación de la comunicacióm

```

{
  "type":1
  "id":"identificador de terminal",
}

```

Mensaje de rechazo de la comunicación

```

{
  "type":2
  "id":"TestInvalidID",
}

```

Mensaje de error

```

{
  "type":-1
  "reason":"Invalid message format",
}

```

Mensaje de medidas para GSM

```

{
  "type":3,
  "Reference":0,
  "Timestamp":1362560369091,
  "ID":"12345",
  "Orientation":{
    "azimuth":256.46545,
    "pitch":-1.6651002,
    "roll":-0.05643167
  },
  "location":{
    "mResults":[
      0.0,
      0.0
    ],
    "mProvider":"gps",
    "mExtras":{
      "mParcelledData":{

```

```
        "mOwnObject":1,
        "mObject":3366600
    },
    "mHasFds":false,
    "mFdsKnown":true,
    "mAllowFds":true
},
"mDistance":0.0,
"mTime":1361520652000,
"mAltitude":720.0,
"mLongitude":-3.7640868957072713,
"mLon2":0.0,
"mLon1":0.0,
"mLatitude":40.33176575059477,
"mLat1":0.0,
"mLat2":0.0,
"mInitialBearing":0.0,
"mHasSpeed":true,
"mHasBearing":true,
"mHasAltitude":true,
"mHasAccuracy":true,
"mAccuracy":48.0,
"mSpeed":1.6633327,
"mBearing":261.05942
},
"CellsGSM":[
    {
        "mTimeStamp":1362560369071,
        "mRegistered":true,
        "mNetworkType":8,
        "mTimeStampType":0,
        "type":1,
        "mCellIdentityGsm":{
            "mCid":4551,
            "mLac":16070,
            "mMcc":214,
            "mMnc":1,
            "mPsc":-1
        },
        "mCellSignalStrengthGsm":{
            "mAsu":9,
            "mBitErrorRate":2147483647,
            "mDbm":-95
        }
    }
}
}
```

Comunicación POALPRS y IS , SSDS y PPS

Ejemplo de notificación de medidas

```
{
  "type":3,
  "Reference":0,
  "Timestamp":1362560369091,
  "ID":"12345",
  "Orientation":{
    "azimuth":256.46545,
    "pitch":-1.6651002,
    "roll":-0.05643167
  },
  "location":{
    "mResults":[
      0.0,
      0.0
    ],
    "mProvider":"gps",
    "mExtras":{
      "mParcelledData":{
        "mOwnObject":1,
        "mObject":3366600
      },
      "mHasFds":false,
      "mFdsKnown":true,
      "mAllowFds":true
    },
    "mDistance":0.0,
    "mTime":1361520652000,
    "mAltitude":720.0,
    "mLongitude":-3.7640868957072713,
    "mLon2":0.0,
    "mLon1":0.0,
    "mLatitude":40.33176575059477,
    "mLat1":0.0,
    "mLat2":0.0,
    "mInitialBearing":0.0,
    "mHasSpeed":true,
    "mHasBearing":true,
    "mHasAltitude":true,
    "mHasAccuracy":true,
    "mAccuracy":48.0,
    "mSpeed":1.6633327,
    "mBearing":261.05942
  },
  "CellsGSM":[
    {
```

```
"mTimeStamp":1362560369071,
  "mRegistered":true,
  "mNetworkType":8,
  "mTimeStampType":0,
  "type":1,
  "mCellIdentityGsm":{
    "mCid":4551,
    "mLac":16070,
    "mMcc":214,
    "mMnc":1,
    "mPsc":-1
  },
  "mCellSignalStrengthGsm":{
    "mAsu":9,
    "mBitErrorRate":2147483647,
    "mDbm":-95
  }
}
]
```

Ejemplo de notificación de posición sin datos adicionales

```
{
  "type" : 4
  "id" : "Identificador",
  "timestamp" : 1361957702031,
  "position" : { "accuracy" : 0,
    "altitude" : 3.0,
    "latitude" : 1.0,
    "longitude" : 2.0
  },
}
```

Ejemplo de notificación de posición con datos adicionales

```
{
  "id":"Identificador",
  "type":4
  "timestamp":1361961676531,
  "position":{
    "latitude":1.0,
    "longitude":2.0,
    "altitude":3.0,
    "accuracy":0
  },
  "localPosition":{
    "x":1.0,
    "y":2.0,
  }
}
```

```
    "z":3.0
  },
  "referencePoint":{
    "latitude":33.0,
    "longitude":44.0,
    "altitude":55.0,
    "accuracy":6
  },
  "lastReliableMeasure":1361961676531,
}
```

Ejemplo de notificación de predicción

```
{
  "type":5
  "id":"Identificador",
  "timestamp":1362042063750,
  "prediction":{
    "cell":"12345",
    "probability":90.0
  },
}
```


REFERENCIAS

Libros

- Ramón Agusti Comes, Francisco Bernardo Álvarez, Fernando Casadevall Palacio, Ramón Ferrús Ferre, Jordi Pérez Romero, Oriol Sallent Roig "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles".
- Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld and Per Beming "3G EVOLUTION HSPA and LTE for mobile Broadband.
- Farooq Khan "LTE for 4G Mobile BroadBand".
- G.Giannattasio, J.Erfanian, P. Wills, H. Nguyen, T.Croda, K.Rauscher, X.Fernando, N.Pavlidou and K.D.Wong, "A guide to the wireless engineering body of knowledge".
- José María Hernando Rábanos, "Comunicaciones Móviles".

Documentos

- [1] Kushki, Azadeh; Plataniotis, Konstantinos N.; Venetsanopoulos, Anastasios N.; , "Kernel-Based Positioning in Wireless Local Area Networks," Mobile Computing, IEEE Transactions on , vol.6, no.6, pp.689-705, June 2007.
- [2] Youssef, M.A.; Agrawala, A.; Udaya Shankar, A.; "WLAN location determination via clustering and probability distributions," Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on, vol., no., pp. 143- 150, 23- 26 March 2003.
- [3] Youssef, M.A.; Agrawala, A.; "The Horus location determination system," Wirel. Netw., vol., no.14, pp. 357- 374, 2008.
- [4] Arya, A. and Godlewski, P.; "A Hierarchical Clustering Technique for Radio Map Compression in Location Fingerprinting Systems," Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), 2010 IEEE 71st , vol., no., pp. 1-5, Mayo 2010.
- [5] ElGammal, M. and ElToweissy, M.; "Distributed context-aware Affinity Propagation clustering in Wireless Sensor Networks," Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom), 2010 6th International Conference on, vol., no., pp., 1-7, Oct. 2010.
- [6] Anthea Wain Sy Au. "RSS-based WLAN Indoor Positioning and Tracking System Using Compressive Sensing and Its Implementation on Mobile Devices", University of Toronto, 2010.

- [7] Laoudias, C. and Michaelides, M.P. and Panayiotou, C.G.; "*Fault tolerant positioning using WLAN signal strength fingerprint*", Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2010 International Conference on, vol., no., pp.1-8, Sept. 2010.
- [8] W. Xiao, P. Liu, W.S. Soh, G.B. Huang.; "*Large scale wireless indoor localization by clustering and Extreme Learning Machine*", Information Fusion (FUSION), 2012 15th International Conference on, vol., no., pp. 1609 -1614, Jul. 2012.
- [9] Youssef, M.A. and Agrawala, A. and Udaya Shankar, A.; "*WLAN location determination via clustering and probability distributions*", Pervasive Computing and Communications, Proceedings of the First IEEE International Conference on, vol., no., pp. 143-150, Marzo 2003.
- [10] X. Zhang, C. Furtlehner, M. Sebag, "*Frugal and Online Affinity Propagation*", Conférence francophone sur l'Apprentissage (CAP), 2008.
- [11] Lin Ma, Yubin Xu, Di Wu, "*A Novel Two-Step WLAN Indoor Positioning Method*", Journal of Computational Information Systems, vol. 6, no., pp. 4627-4636, 2010.
- [12] Jing Chai and Hongwei Liu and Zheng Bao; "*A W-KNN classifier to improve radar outlier rejection performance*", Radar Conference, 2009 IET International, vol., no., pp. 1-4, Abril 2009.
- [13] Prasithsangaree, P. and Krishnamurthy, P. and Chrysanthi, P.; "*On indoor position location with wireless LANs*", Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002. The 13th IEEE International Symposium on, vol. 2, no., pp. 720 - 724, Sept. 2002.
- [14] Widyawan and Klepal, M. and Pesch, D.; "*Influence of Predicted and Measured Fingerprint on the Accuracy of RSSI-based Indoor Location Systems*", Positioning, Navigation and Communication, 2007. WPNC '07. 4th Workshop on, vol., no., pp. 145 - 151, Marzo 2007.
- [15] Kaemarungsi, K., "*Efficient design of indoor positioning systems based on location fingerprinting*", Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, 2005 International Conference on , vol.1, no., pp.181,186 vol.1, 13-16, June 2005.
- [16] Teemu Roos, Petri Myllymaki, Henry Tirri, Pauli Misikangas, and Juha Sievanen; "*A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation*", International Journal of Wireless Information Networks, vol. 9, no., pp. 155-164, 2002.
- [17] Honkavirta, V. and Perala, T. and Ali-Loytty, S. and Piche, R.; "*A comparative survey of WLAN location fingerprinting methods*", Positioning, Navigation and Communication, 2009. WPNC 2009. 6th Workshop on, vol., no., pp. 243 -251, Marzo 2009.
- [18] Kaemarungsi, K., "*Distribution of WLAN received signal strength indication for indoor location determination*", Wireless Pervasive Computing, 2006