



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Máster Universitario
en Tecnologías, Sistemas y
Redes de Comunicaciones

Localización Indoor Multimodal

Autor: Oswaldo Martínez

Director: Dr. D. Manuel Esteve Domingo

Fecha de comienzo: 11/03/2013

Lugar de trabajo: Grupo de Sistemas de Tiempo Real y Distribuidos

Objetivos —

1. El objetivo principal de este trabajo es el estudio de las técnicas de fusión sensorial multimodal y plantear una arquitectura para mejorar la precisión de las técnicas de localización indoor existentes. Para ello se tomarán las técnicas basadas en nivel de señal de IEEE 802.11 con triangularización y los sistemas de navegación inercial (INS) y se plantearán aproximaciones de fusión sensorial, para mejorar la localización de un dispositivo móvil en interiores donde no se tiene cobertura del sistema de posicionamiento global (GPS). Como plataforma de pruebas se plantea el uso de Smartphone con sistema operativo Android, por disponer los sensores anteriormente citados.
 - a. Analizar los conceptos, elementos, arquitectura y estándares que intervienen en los sistemas de localización, necesarios para la elaboración del proyecto.
 - b. Realizar un estudio del sistema de localización indoor basado en la tecnología IEEE 802.11
 - c. Analizar el funcionamiento de los sensores inerciales que posee los teléfonos Smartphone.
 - d. Diseñar de una manera lógica una arquitectura para fusión multimodal para el posicionamiento indoor utilizando la tecnología IEEE 802.11 y los sistemas de navegación inercial.

Metodología —

- Explicación del problema y definición de objetivos a desarrollar en la tesina para determinar los requerimientos.
- Investigación Bibliográfica
- Pruebas de validación
- Diseño de la arquitectura del sistema, definición del modelo de datos y planteamiento del mecanismo de comunicación.
- Documentación del trabajo realizado.

Desarrollos teóricos realizados —

- Se ha desarrollado un análisis de los sistemas de localización indoor basados en la tecnología WIFI y el funcionamiento de los sensores inerciales que vienen incorporados en un Smartphone para ser usados para posicionamiento en interiores.
- Se realizó un estudio bibliográfico del filtro de Kalman para realizar una fusión multimodal de las tecnologías de localización anteriormente mencionadas.

Desarrollo de prototipos y trabajo de laboratorio —

- Para el análisis técnico de localización basada en la tecnología WIFI se trabajó en el laboratorio utilizando el software Ekahau HeatMapper.
- Se analizó el funcionamiento de los sensores inerciales con programas y subprogramas basado en Java para obtener los datos de cada uno de los sensores acelerómetro, magnetómetro y giroscopio realizando diferentes pruebas.

Resultados —

- Se ha planteado una arquitectura de fusión multimodal para mejorar la precisión en los sistemas de localización indoor, luego de haber analizado y estudiado las diferentes técnicas de una manera individual teniendo como resultado que la tecnología WIFI como sistema de posicionamiento tiene algunos inconvenientes, es lenta en respuesta a un cambio instantáneo y se somete a variaciones a corto plazo y los sensores inerciales adolecen de la gran deriva por lo tanto su rendimiento dependen del tiempo y comienza a deteriorarse a medida que el tiempo aumenta.

Líneas futuras —

- Implementación de la arquitectura propuesta con el fin de crear módulos distribuidos e independientes pero compatibles y colaborativos entre sí y garantizar interoperabilidad.
- Una importante línea de trabajo futuro es aumentar la exactitud de la estimación de la posición utilizando cámaras de video y software de tracking de objetivos.
- Adaptar este estudio de investigación para el software de mando y control de los sistemas de tiempo real Simacop y ser utilizado para de control emergencias.

Abstract —

- Este proyecto propone una arquitectura para mejorar la precisión de las técnicas de posicionamiento indoor mediante el uso de los sensores incorporados en un Smartphone con sistema operativo Android. El proyecto se centra en la estimación de la posición del teléfono dentro de un edificio donde la señal GPS es muy deficiente.
- El planteamiento es realizar la fusión multimodal mediante el uso de los diferentes sensores del dispositivo, tales como acelerómetro, giroscopio, magnetómetro y el adaptador inalámbrico, para determinar la posición de objetos o personas en tiempo real y los resultados de esta técnica son prometedoras para los sistemas de localización indoor que puede ser utilizado en sistemas de emergencias o en centros comerciales, museos, grandes edificios de oficinas, hospitales, etc.

Autor: Oswaldo Martínez Guashima, email: osmar1@teleco.upv.es

Director: Dr. D. Esteve Domingo Manuel, email: mesteve@dcom.upv.es

Fecha de entrega: 9-09-2013

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	4
II. ESTADO DEL ARTE	5
II.1. SISTEMA DE LOCALIZACIÓN EN ENTORNOS INDOOR.....	5
II.1.1. SISTEMAS BASADOS EN NAVEGACIÓN INERCIAL.....	6
II.1.2. SISTEMAS BASADOS EN SEÑAL EM.....	9
II.2. SISTEMA OPERATIVO ANDROID	15
II.3. FUSIÓN SENSORIAL	16
III. VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS DE LOS INS Y WIFI	18
III.1 SENSORES INERCIALES (IMU).....	18
III.1.1 DISPOSITIVO INMÓVIL EN UNA SUPERFICIE PLANA	21
III.1.2. EL DISPOSITIVO EN MOVIMIENTO	26
III.2. WIFI	29
IV. ARQUITECTURA PROPUESTA PARA LOCALIZACIÓN INDOOR.....	32
IV.1. FILTRO DE KALMAN EXTENDIDO COMO ALGORITMO DE FUSIÓN	34
IV.1.1 ETAPA DE INICIALIZACIÓN	34
IV.1.2. PROCESO DE ACTUALIZACIÓN DE TIEMPO.....	35
IV.1.3 PROCESO DE ACTUALIZACIÓN DE LA MEDIDA	35
V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	36
BIBLIOGRAFÍA	37

I. INTRODUCCIÓN

La idea de este proyecto ha surgido por el vacío tecnológico existente en relación al posicionamiento en interiores y tener un campo de investigación tecnológico muy extenso, debido a que los servicios de información y comunicaciones basados en localización permiten desarrollar innumerables aplicaciones por medio del posicionamiento de objetos o personas en tiempo real.

Por lo que en este proyecto se propondrá una arquitectura para la posición indoor de un usuario u objeto utilizando la fusión multimodal de los sistemas de navegación inercial con las mediciones de señal de radio frecuencia y tiempo de retorno en tecnologías 802.11.

En exteriores un receptor GPS es capaz de determinar su posición con muy alta precisión, pero existen lugares como por ejemplo dentro de un edificio o en un subterráneo, donde la señal GPS es mala o no está disponible y la estimación de posición de un GPS es muy inexacta.

El inconveniente que se ha tenido en la posición de objetos o personas en ambientes indoor ha producido un estudio e investigación a gran escala en los últimos años sobre este tema, pero hasta ahora ninguna de las técnicas propuestas han alcanzado el éxito que hasta ahora nos ha brindado las técnicas usadas para entornos outdoor como el popular GPS, los fracasos que se han tenido en los sistemas de localización indoor se debe a los nuevos retos tecnológicos muy superiores que los tiene la localización en lugares abiertos provocado por los factores de dispersión, atenuación o multitrayecto que sufre la señal por las paredes y obstáculos existentes en el interior, por los que es necesario utilizar instalaciones fijas como sensores, puntos de acceso, estaciones base entre otros, lo que hacen aumentar la infraestructura y costes.

Con la evolución del teléfono móvil hoy en día denominado Smartphone, que lleva incorporado sensores inerciales que pueden ser utilizado para diferentes aplicaciones útiles para el usuario y un caso muy particular en gestión de emergencias, donde el posicionamiento indoor del personal que realiza su trabajo es de gran utilidad y complementaria con la localización outdoor obtenida por un GPS u otros métodos.

II. ESTADO DEL ARTE

En esta parte del capítulo se va indicar la información considerada y utilizada durante este proyecto, así como las tecnologías y técnicas usadas para localizar a un usuario dentro de un entorno indoor.

II.1. SISTEMA DE LOCALIZACIÓN EN ENTORNOS INDOOR

Un sistema de localización en interiores permítame determinar el lugar donde se encuentra alguien o algo ya sea por medio de un conjunto de estaciones fijas, una serie de etiquetas o dispositivos móviles inalámbricos asociados a las personas u objetos que se desean seguir siempre teniendo en cuenta sus principales características del sistema de localización como son disponibilidad, precisión, latencia, respuesta en tiempo real y otras como tamaño, batería, coste.

En estos tiempos modernos, hemos tenido una gran adelanto de las tecnologías y técnicas usadas para la localización indoor, Una de las primeras tecnologías en el posicionamiento fue la radiación infrarroja [2], pero la gran limitación que tenía fue no poder atravesar paredes y requerir un número elevado de sensores y por lo tanto su coste es superior, seguido de esos aparecieron nuevos métodos de localización que no necesitan el uso de dichos sensores y actualmente están en gran desarrollo, son las redes inalámbricas con sistemas como wifi, bluetooth, etc., un ejemplo de esto es Place Lab [3], que utiliza tanto la tecnología WIFI, como GSM para la localización en interiores y exteriores, aunque estos poseen errores de entre 15 y 20 metros si se utiliza redes WIFI o entre 100 y 200 metros si se utiliza la red GSM. Estos errores no son muy considerables si se utiliza para aplicaciones en exteriores; en campus, urbanizaciones, etc., pero para realizar localización en interiores si son muy considerables, pero ahora con la evolución tecnológica de los Smartphone que vienen incorporados sensores inerciales como magnetómetro, giroscopio, acelerómetro, se empieza a estudiar los sistemas de navegación inercial para localización indoor.

Un sistema de localización indoor se basa en el intercambio de información entre dispositivos, pudiendo utilizarse diferentes tecnologías como WiFi, RFID, redes de sensores inerciales, UWB, GPS, etc. Ya que independiente de la tecnología usada el modelo de operación utilizado es similar teniendo el mismo objetivo. A continuación vamos a comentar las tecnologías y algoritmos que se usan mayoritariamente en la actualidad para sistemas de localización.

II.1.1. SISTEMAS BASADOS EN NAVEGACIÓN INERCIAL

II.1.1.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de navegación inercial (INS), se basan en unidades de medida inercial llamados IMUs, mediante las cuales se realiza el seguimiento y el posicionamiento relativo de un individuo en relación a su punto de partida, orientación y velocidad de marcha.

Con la ayuda de los sistemas de navegación inercial evitamos depender de una infraestructura y de algún sensor específico que tienen algunos de los sistemas de localización, los INS usan sensores como acelerómetros, giroscopios y brújulas para determinar la distancia recorrida y la orientación esto es lo que permite que estos sistemas puedan posicionar al usuario sólo con el uso de un Smartphone sin necesidad de ninguna infraestructura externa, lo que ofrece la posibilidad de usar este sistema en cualquier entorno indoor.

Hoy en día todavía no existen aplicaciones que utilicen INS para posicionamiento indoor, la inexistencia es debida principalmente a los errores de medida de estos sistemas como por ejemplo la magnitud de la vibración es mayor que el rango del acelerómetro esto hace que el acelerómetro se sature en el tiempo lo que llama como “drift”, el mismo también se notara en las estimaciones de la orientación como un error de ‘pitch’ / ‘roll’.

Por lo que un sistema de posicionamiento indoor debe ofrecer la mayor precisión posible cuando calcule la localización del usuario, teniendo en cuenta que en la localización indoor se requiere mucha más precisión que en los espacios outdoor. Los errores no deben exceder un metro de error para permitir una diferenciación entre los pisos, las habitaciones o los elementos de interés. De hecho, los INS todavía están en fase de investigación y les falta dar el salto a la implementación en aplicaciones.

Hemos descrito una serie de definiciones básicas sobre la navegación inercial que será muy fundamentales para el desarrollo de este trabajo, a continuación se va a describir los principales sensores que forman parte de un sistema de navegación inercial que se van a utilizar en el arquitectura de este proyecto.

Acelerómetro

El acelerómetro mide la aceleración lineal, la magnitud y la dirección de la fuerza que se aplica al sensor sobre un eje (vector), inclusive la gravedad (a diferencia de la aceleración coordinada, que es un cambio en la velocidad). Estos datos son importantes, por ejemplo para cambiar la pantalla de la posición vertical a la horizontal cuando el usuario rota el dispositivo.

Magnetómetro

Los magnetómetros miden la fuerza y la dirección del campo magnético de la tierra y estos datos pueden ser utilizados para calcular donde apunta el dispositivo, lo cual es útil no solo para navegar sino también para implementaciones como la identificación de puntos de referencia en una dirección específica desde el mismo punto del usuario.

Giroscopio

El Giroscopio miden la orientación en el espacio utilizando principios de momento angular, estos datos son especialmente valiosos junto con otros sensores, principalmente el acelerómetro y magnetómetro, para hacer las mediciones y ajustes más precisos debido a sus limitaciones inherentes.

Una característica principal de los sistemas de navegación inercial es que permite realizar la estimación y seguimiento de los objetos en relación a su ubicación inicial, anteriormente no se tenía IMUs tan pequeños y ligeros como requieren las aplicaciones de seguimiento y localización de personas, en los últimos años, la aparición de sistemas miniaturizados ha hecho posible la fabricación y salida al mercado de pequeños chips de sensores inerciales con gran aplicación en este campo.

Teniendo en cuenta que uno de los problemas que tienen los sistemas inerciales es la acumulación de errores o deriva que es habitual en los sistemas de posicionamiento relativo y que hace de estos sistemas sean muy imprecisos en un periodo de tiempo, por lo que puede resultar más conveniente utilizar únicamente la información de posicionamiento relativo para completar la precisión de un sistema de posicionamiento absoluto como podemos observar en la figura 1.

II.1.1.2. COMBINACIÓN DE IMU CON OTROS SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN

Los métodos de navegación inercial se caracterizan por ser sistemas independientes que proporcionan información dinámica a través de diferentes sensores inerciales.

Básicamente estos elementos de medición son giróscopos para proporcionar medidas de desplazamiento angular, acelerómetros para contar pasos y magnetómetros para aportar medidas complementarias de orientación con respecto al norte magnético.

Como ya se ha comentado, los errores inducidos en estos casos, aunque pequeños individualmente, pueden causar un crecimiento ilimitado del error en la integración de mediciones y proporcionar posiciones equivocadas.

Una forma de superar este problema es utilizar sensores inerciales en combinación con otros sistemas de posicionamiento absoluto, de forma que los IMU únicamente provean la información necesaria para completar y corregir la posición del usuario en términos (X, Y), con datos acerca de su orientación, sentido y velocidad de marcha.

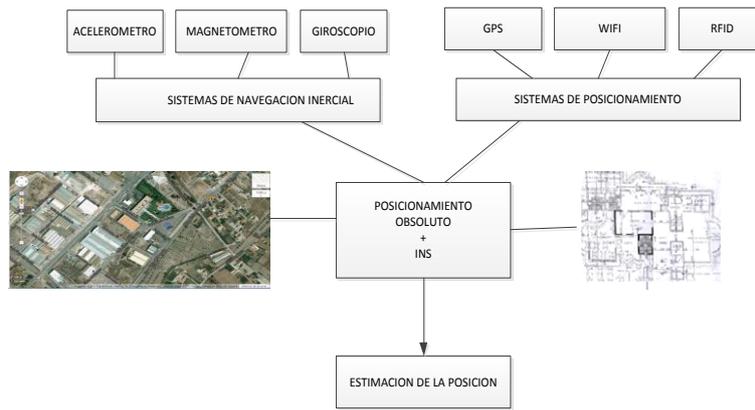


Fig. 1. Arquitectura de sistemas de posicionamiento e INS

Como podemos observar en la figura 1 un sistema combinado de estas características será capaz de proveer información de posicionamiento de gran precisión y por tanto ampliar considerablemente el abanico de posibles aplicaciones prácticas con técnicas de localización de personas

II.1.1.3. DISPOSITIVOS MÓVILES COMO IMU

Caminar con el teléfono móvil en la mano dejando que el usuario interactúe con la pantalla de su terminal o dejando que el terminal móvil trabaje sin que el usuario este pendiente del dispositivo, se puede aprovechar para recibir a través de él gran cantidad de información del entorno de una manera muy gráfica e intuitiva.

Los teléfonos de última generación ya son considerado en muchos casos como IMUs, debido a que ya viene incorporado sensores inerciales s móviles, por tanto, resulta lógico pensar en un terminal móvil como dispositivo de censado para la obtención de datos de movimiento, ya que además de ser una tecnología muy extendida en la sociedad, integra como parte de su propio hardware los sensores inerciales necesarios para analizar desplazamientos de personas y poder explotar esta información como complemento de sistemas de posicionamiento más potentes.

El terminal móvil no constituirá el sistema de posicionamiento propiamente dicho sino será una herramienta de apoyo que proporcionará al verdadero sistema de posicionamiento absoluto, dándonos información adicional acerca de la orientación y aceleración del individuo.

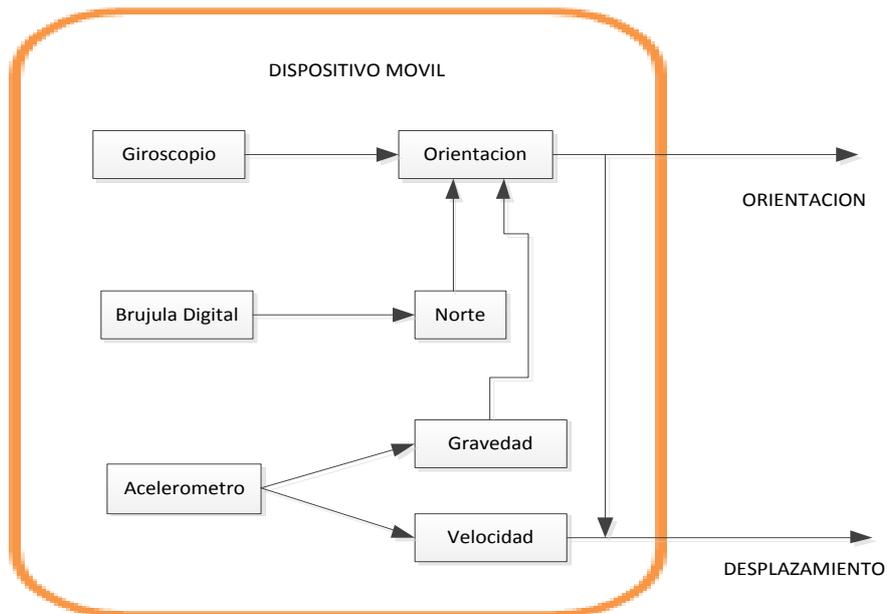


Fig. 2. Dispositivo móvil como IMUs

Como observamos en la figura 2., los terminales móviles de última generación integran ya en muchos casos estos sensores y por tanto pueden ser considerados en sí mismos como IMUs. Este hecho facilita enormemente la posibilidad de desarrollar soluciones de localización de precisión en escenarios indoor, viables técnicamente y aceptables desde el punto de vista económico y funcional ya que no será necesario dotar al usuario de hardware adicional.

Teniendo en cuenta que los sistemas inerciales no son aconsejables desde el punto de vista técnico ser usados como sistemas de posicionamiento absoluto puesto que presentan una importante limitación que los hacen inadecuados para este uso que es la deriva o error acumulativo, debido a la cual los errores obtenidos en el procesamiento de datos de una posición, se acumulan y repercuten en el cálculo de la siguiente posición, haciendo el sistema altamente impreciso en un periodo de tiempo.

Este trabajo lleva a plantearse sistemas inerciales IMU como sistemas autónomos que completen la información de otros sistemas de posicionamiento absoluto más potentes, aportando a esta información dinámica y complementaria sobre el movimiento realizado.

II.1.2. SISTEMAS BASADOS EN SEÑAL EM

A continuación se explicaran algunas de las tecnologías, que típicamente se emplean para ofrecer servicio de posicionamiento indoor como son la RFID (Radio Frequency IDentification), la red de telefonía móvil GSM o red inalámbrica WIFI teniendo en cuenta sus diferentes algoritmos de localización.

II.1.2.1. TECNOLOGÍAS DE LOCALIZACIÓN

Global System for Mobile Communications (GSM)

La red GSM es una gran infraestructura ya desarrollada que ofrece gran cobertura y por esta razón es una buena opción para utilizarla como tecnología de localización.

GSM utiliza sistemas celulares, al realizar esta fragmentación celular permite incrementar la capacidad del sistema en zonas con densidad de tráfico más elevada. Trabaja en dos bandas de 25 MHz cada una, el uplink (terminal móvil-estación base) que se encuentra entre 890-915 MHz y el downlink (estación base-terminal móvil) que se encuentra entre 935 -960 MHz. Además, al operar en una banda de frecuencias legal no sufre interferencias de dispositivos cercanos que operen a frecuencias cercanas. [5]

La localización GSM puede utilizar tanto el sistema de fingerprinting como el de triangulación. Algunos experimentos han demostrado que la localización GSM se puede diferenciar entre pisos y se puede llegar a una exactitud media de 2.5 metros [6].

Wireless local area network (WIFI)

La tecnología WIFI es una red inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.11 y su uso principal es para WLAN (Wireless Local Área Network), proporcionando el valor añadido de la movilidad. Su capa física consta de 14 canales solapados en la banda libre de 2.4GHz, utiliza multitud de puntos de acceso que transmiten constantemente en uno de esos canales.

Las características principales de esta señal son:

- La atenuación con la distancia debida por ejemplo obstáculos que dificulten y alteren a la señal transmitida por un punto de acceso, fenómeno que se empleará en apartados posteriores para estimar la posición.
- La atenuación debida a otros factores, como pueden ser por La difracción, dispersión de la señal y reflexión.
- Efecto de propagación multicamino.

Esta tecnología, al igual que la localización mediante GSM, se puede utilizar tanto el método de fingerprinting como el de triangulación, utilizando siempre el RSS de la señal recibida por los AP's.

Radio Frequency IDentification RFID

En RFID el propósito principal de esta tecnología es identificar el objeto determinado mediante ondas de radio, éstos son localizados cada vez que son detectados por otros dispositivos denominados lectores.

Las etiquetas RFID son pequeños chips con una memoria, son similares a una pegatina que pueden ser adheridas o incorporadas a un producto, animal o persona. Contienen antenas para poder transmitir y recibir datos por radiofrecuencia. Los tags pueden ser pasivos, sin necesidad de ser alimentados eléctricamente, o activos, que disponen de una pequeña batería. Los activos tienen un alcance de unos 30 metros mientras que los pasivos llegan escasamente al metro. Los lectores están compuestos por una antena, un transceptor y un decodificador como observamos en la figura 3., que pueden ser móviles o fijos según su funcionalidad.

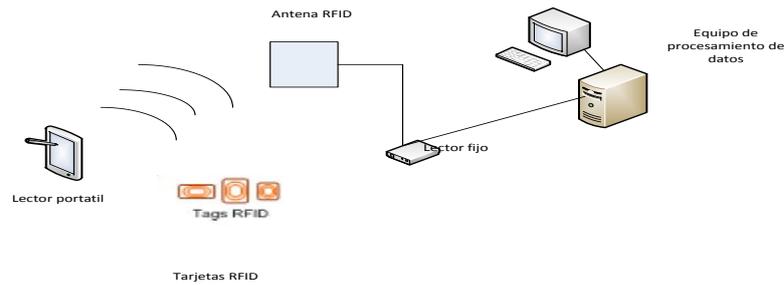


Fig. 3. Estructura de un sistema RFID

También puede darse el caso que las etiquetas, en este caso fijas y con ubicaciones conocidas, estén distribuidas por una superficie. Y el usuario con un lector portátil pueda localizarse mediante la triangulación de las señales recibidas por las etiquetas. En este caso cuantas más etiquetas haya más resolución en el sistema se tendrá, pero implica más coste.

II.1.2.2 ALGORITMOS DE LOCALIZACIÓN

Existen muchos algoritmos de localización que utilizan las características de las señales electromagnéticas para determinar una posición como observamos en la figura 4, por lo cual vamos a detallar algunas de ellas.

Por lo general, las técnicas de localización existentes se basan en los conceptos de identificación por celda, ángulo de llegada, potencia de señal recibida, y tiempo de propagación. Además, estos métodos son combinables entre sí, dando lugar a técnicas híbridas que mejoran la precisión o minimiza el requerimiento de nueva infraestructura.

Existen muchos algoritmos de localización que utilizan las características de las señales electromagnéticas para determinar una posición como observamos en la figura 4, por lo cual vamos a detallar algunas de ellas.

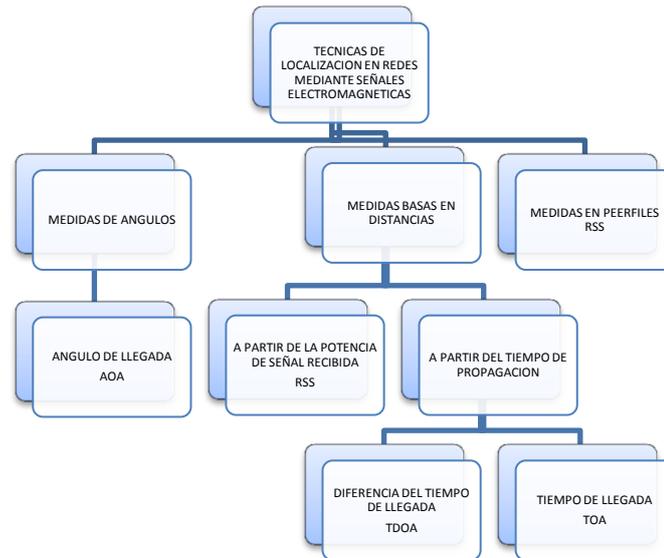


Fig. 4. Algoritmos de localización mediante señales Electromagnéticas

Ángulo de llegada o AOA

Este algoritmo llamado ángulo de llegada (Angle of Arrival, AOA o Direction of Arrival, DOA) utiliza un conjunto de antenas para determinar el ángulo de la señal incidente.

Para saber la ubicación del dispositivo móvil es necesaria al menos una segunda evaluación del ángulo procedente de otra antena.

La segunda antena localizará al terminal, y sus datos se compararán con los de la primera estación, para después calcular la posición del dispositivo mediante trigonometría.

Esta técnica estima la posición mediante la triangulación de los diferentes ángulos de llegada al receptor como podemos observar en la figura 5. Esta técnica sólo es efectiva cuando no existe multicamino, ya que esto puede inducir una angulación incorrecta del ángulo de llegada como consecuencia de las señales reflejadas porque lo que le hace inusual usarla para sistemas de localización indoor ya que por las reflexiones de las paredes u obstáculos existentes producen multicamino a la señal emitida.

Con este sistema, bastan con tres señales de medida para poder posicionarse en tres dimensiones o tan solo dos para un posicionamiento en dos dimensiones. El problema es que necesita un hardware muy complejo y voluminoso, incrementando el precio y la escalabilidad. Además sufre problemas con las sombras, el multitrayecto dando ángulos equivocados o con objetivos en movimiento.

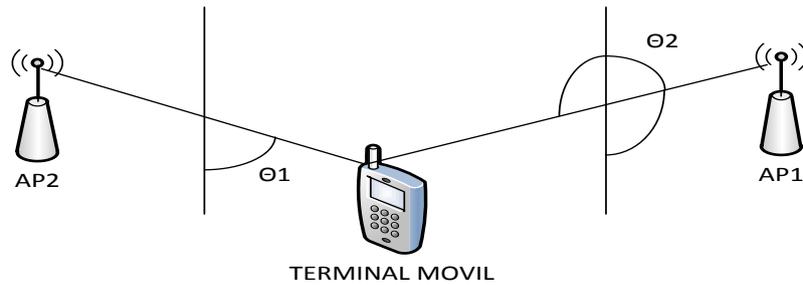


Fig. 5. Localización Por Angulo De Llegada

Esta técnica de localización es determinante lo cual no le hace válida para posicionamiento indoor, es que requiere que el emisor y receptor tengan línea de visión directa para evitar el multicamino y poder calcular el ángulo correctamente, también requiere de múltiples antenas para calcular el ángulo porque necesita de un hardware adicional.

Tiempo de llegada o TOA

Esta es una técnica basada en el tiempo de propagación de una señal electromagnética ya que existe una relación lineal entre el tiempo de propagación y la distancia entre un emisor y receptor para lo cual es posible estimar las distancias entre nodos vecinos.

$$R_i = c \cdot \Delta t_i$$

Donde R_i es la distancia entre el emisor y el receptor, c la velocidad de la luz en el vacío y Δt_i es la diferencia entre el tiempo de emisión y el tiempo de llegada del pulso.

La distancia se calcula en forma de función euclídea:

$$f_i = c(t_i - t) - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$$

Para calcular dicha distancia será necesario que los relojes de los emisores y los receptores estén sincronizados y la distancia sea calculada a partir del tiempo de propagación desde que se emita la señal hasta que sea recibida.

El problema de esta técnica es necesario emplear un algoritmo la sincronización de relojes muy robusto, para minimizar el error ya que se necesita 10^{-8} segundos para 1 metro de precisión y ningún CPU nos da eso.

Diferencia de Tiempo de llegada o DTOA

La técnica TDOA es similar a la TOA en cuanto emplea la relación lineal que existe entre el tiempo de propagación y la distancia recorrida, pero en este caso no es necesario que los relojes entre los emisores y receptores estén sincronizados.

Esta técnica hace el uso de dos señales cada una con velocidad de propagación diferente, la primera de ellas es una señal radio (electromagnética) expresada T_R , la segunda en cambio es una señal acústica T_S , como se muestra en la siguiente figura 6.

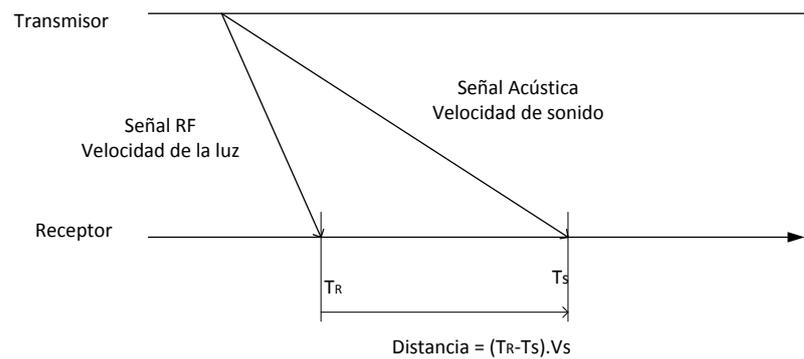


Fig. 6. Técnica de localización DTOA

Como la distancia que tarda en llegar una señal de radio de un transmisor a un receptor situado a pocos metros es muy pequeña, se puede asimilar en un tiempo 0. Por ello observaremos cuánto tiempo más ha retardado la recepción de la señal acústica y multiplicándola por la velocidad de propagación de la señal acústica tendremos una medida bastante correcta de la distancia.

La ventaja es que usa medidas de tiempo relativos por lo que elimina los errores que pueden aparecer por pequeñas diferencias entre los relojes del emisor y receptor.

Received Signal Strength (RSS)

Esta técnica que mide la Potencia de la señal recibida se basa en la atenuación que sufre la señal a medida que se aleja de la fuente emisora, calculando la atenuación sufrida se puede calcular la distancia al emisor.

Esta técnica usa la atenuación de la señal recibida para inferir la localización del terminal móvil, y se puede estimar la distancia que separa al terminal móvil de cada punto de acceso, pero la relación distancia/potencia de la señal recibida no es muy clara al haber multitrayecto, reflexiones, difracciones etc. Sin embargo, esta solución que se ha elegido por ser la más simple conceptualmente y la más barata de las anteriores al no necesitar ningún hardware adicional, en caso de haber elegido hacer una localización tipo TOA se tendría que dotar de un reloj muy preciso a los dispositivos, y en el caso de AOA se debería de disponer de muchas antenas en cada transmisor.

Una de las ventajas de esta técnica es que no se requiere sincronización para la medida de la distancia, es de fácil implementación y de bajo coste. En cambio, uno de sus principales inconvenientes es la variabilidad de la señal que provoca multicamino e interferencias.

Hay dos técnicas que utilizan el RSS: la triangulación y el fingerprinting.

Triangulación

Este método consiste en determinar la posición de un objeto a partir de la triangulación que es la intersección de al menos tres circunferencias centradas en cada posición fija conocida (en este

caso, estaciones o puntos de acceso), cuyo radio ha de guardar relación con el parámetro medido (en este caso, potencia recibida). La exactitud de la triangulación está ligada a la precisión de cada una de las medidas realizadas. Las medidas pueden estar distorsionadas debido a la orientación de las antenas, al multitrayecto, a la atenuación por presencia de obstáculos.

Fingerprinting

El Fingerprinting es un método basado en la comparación de bases de datos, entre la del sistema que son los datos de la fase de captura: posiciones de captura, vectores de potencia, identificador de los AP's, etc., y la del usuario que es principalmente el vector de potencias recibidas de los AP's., y se puede usar tanto en modo unilateral como en modo multilateral

Suponiendo un sistema unilateral, se mapea la superficie de búsqueda con N puntos, cuyas ubicaciones son conocidas y se mide la potencia recibida de cada transmisor, para cada uno de esos puntos, a esto se le denomina vector de potencias (RSS_n). Habrá tantos vectores como N puntos de mapeo. Estos vectores se guardarán en una base de datos.

$$RSS_n = S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, \dots \dots S_k$$

Donde k es el número total de transmisores.

Para el primer caso, la idea general es comparar el RSS_n de todos los puntos con el RSS_{usuario} y escoger como posición potencial del usuario la correspondiente a la mínima distancia Euclidiana por lo que se requiere tener un mapa radioeléctrico de cada planta de un edificio, comúnmente llamado tener un drawback.

Tenemos algunos ejemplos que utilizan las diferentes técnicas del localización estos son GPS [8], Active Bats [9] y Cricket [10]. Además de estas técnicas basadas en retardo de tiempo, la distancia entre transmisor y receptor también puede ser determinada a partir de la atenuación de la potencia de la señal y la medida de la distancia directa como dead reckoning, método de localización que se utiliza actualmente en los sistemas como GPS, para mantener la estimación de la posición cuando se producen pérdidas de señal de los satélites son GPS.

II.2. SISTEMA OPERATIVO ANDROID

Hoy en día los móviles van aumentando la potencia hasta acercarse a la capacidad de un pequeño ordenador personal, habiendo en el mercado dispositivos con procesadores de doble núcleo y a la espera de los cuatro núcleos. Incluso los sistemas operativos parece que empiezan a converger, como el futuro sistema operativo Androide que se espera que funcione tanto en ordenadores convencionales como en tablets y teléfonos inteligentes. Esto permite una libertad y una disponibilidad de recursos cada vez mayor para los desarrolladores, que también se ven beneficiados por los continuos avances de los sistemas operativos. Además de un mercado cada vez mayor debido al crecimiento en el número de estos dispositivos, alcanzando el 40% del mercado y cientos de millones de dispositivos móviles inteligentes en más de 190 países de todo el mundo.

El sistema operativo Android tiene un núcleo basado en Linux con código abierto. Su SDK son un conjunto de APIs que dan acceso a todos los recursos del terminal, la programación es en Java sobre un entorno como Eclipse y se dispone de un emulador bastante realista con el que realizar pruebas.

Características de Android son las siguientes:

- Amplia variedad de diseños (VGA, librerías de gráficos 2D y 3D...)
- Almacenamiento de datos en BBDD SQLite
- Conectividad (GSM/EDGE, CDMA, EV-DO, UMTS, Bluetooth y Wi-Fi)
- Navegador Web
- Máquina virtual de Java
- Las aplicaciones escritas en Java pueden ser compiladas y ejecutadas en la máquina virtual de Dalvik, la cual es una especializada máquina virtual diseñada para uso en dispositivos móviles.
- Soporte de formatos (MPEG-4, H.264, MP3, AAC, OGG, AMR, JPEG, PNG, GIF)
- Soporte para hardware adicional (cámaras de video, pantallas táctiles, GPS, acelerómetros, giroscopio, brújula....)
- Entorno de desarrollo (emulador, herramientas de depuración, perfiles de memoria y funcionamiento, plugin para Eclipse IDE).

II.3. FUSIÓN SENSORIAL

La base analítica para la localización multimodal será la fusión sensorial que es la combinación de los datos sensoriales de diferentes fuentes que de tal manera que sea la información resultante en cierto sentido mejor que cuando se utilizan estas fuentes de una manera individual.

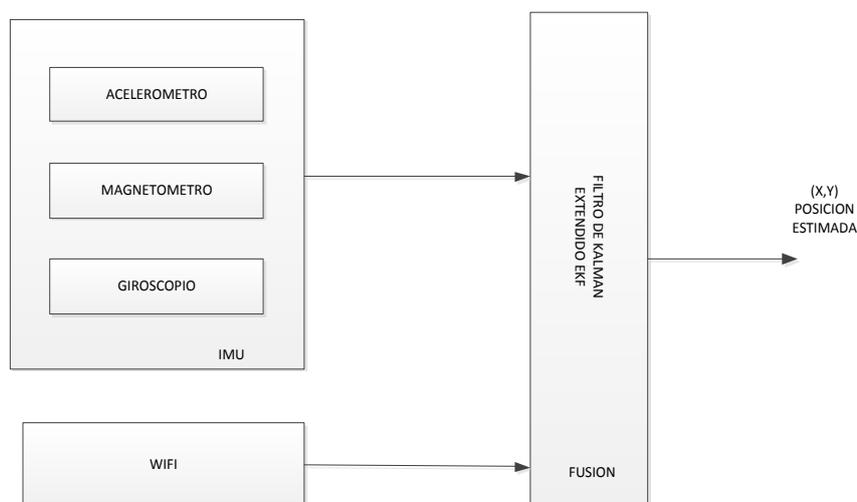


Fig. 7. Algoritmo de fusión

Como técnica de fusión sensorial, es conveniente emplear Filtros de Kalman, de tal manera que se obtenga una única solución a partir de las diversas fuentes de datos [11]. Hay distintas variaciones del filtro y desde su origen ha sido estudiado ampliamente y se ha modificado para mejorar sus prestaciones, generando nuevas versiones para distintas aplicaciones prácticas [12, 15]. A pesar de la gran variedad de filtros con los que se cuentan hoy en día, todos basan su funcionamiento en el algoritmo fundamental propuesto originalmente por Kalmar. Además debido a la complejidad de ciertos filtros, es conveniente centrar el estudio en aquellos que pueden ser implementados para localización indoor. Este es el caso del algoritmo original filtro de Kalman KF y del algoritmo extendido (EKF) para sistemas no lineales, los cuales son bastante sencillos y robustos si se diseñan adecuadamente [15].

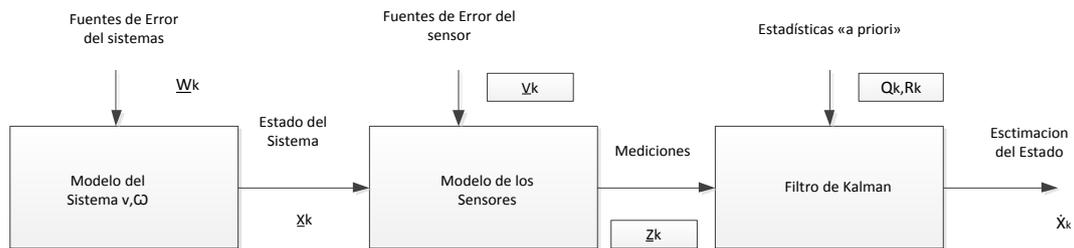


Fig. 8. Funcionamiento del filtro del Kalman

II.3.1 EL FILTRO DEL KALMAN

El filtro de Kalman es un filtro recursivo de predicción para estimar el estado de un proceso de modo que minimiza la varianza estimada del error utilizando mínimos cuadrados. El KF es un procedimiento matemático que trabaja por medio de un mecanismo de predicción y corrección, en si este algoritmo pronostica el nuevo estado a partir de su estimación previa añadiendo un término de corrección proporcional al error de predicción de tal manera que este último es minimizado estadísticamente.

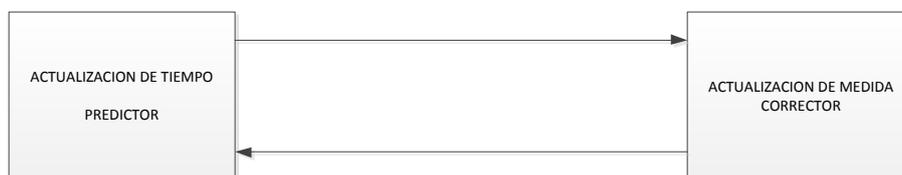


Fig. 9. Ciclo simplificado del filtrado de Kalman

Para la actualización del tiempo usamos este par de ecuaciones

$$\hat{x}_k^- = A \hat{x}_{k-1} + B u_{k-1}$$

$$P_k^- = A P_{k-1} A^T + Q$$

De estas ecuaciones podemos deducir que el estado y la covarianza estimada a priori se modifican en función de los valores a posteriori del paso siguiente y para la actualización de las medidas utilizaremos este conjunto de fórmulas.

$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1}$$

$$x_k = \hat{x}_k^- + K_k (z^+ - H \hat{x}_k^-)$$

$$P_k = (I - K_k H) P_k^-$$

A continuación en la figura 10, vamos a ver el ciclo más detallado del filtrado de Kalman Extendido que luego lo usaremos para realizar la fusión de la información proporcionada de los sensores inerciales con técnicas basadas en el nivel de señal de la tecnología 802.11.

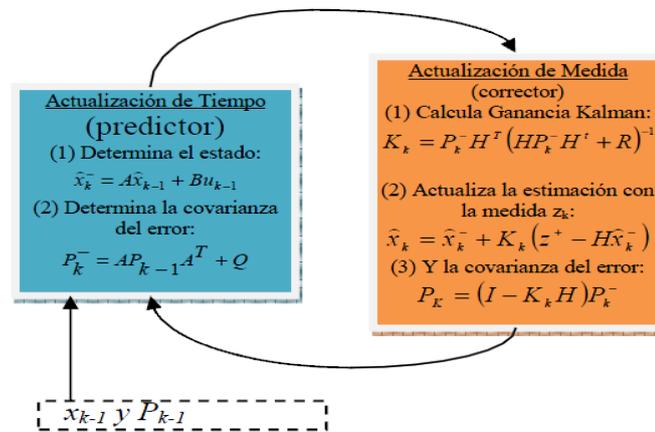


Fig. 10. Ciclo detallado del filtrado de kalman [15]

Actualización del tiempo (o Predictor): Calcula la siguiente estimación del estado a priori utilizando la estimación previa del estado y el valor actual de la entrada (requiere normalmente una suposición inicial al empezar los cálculos); esto se usa para calcular la covarianza a priori. **Actualización de medidas (o Corrector):** Utiliza la medida actual para refinar el resultado dado por la etapa anterior para obtener una estimación a posteriori mejorada.

III. VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS DE LOS INS Y WIFI

En esta sección se va realizar la validación de datos y analizar los errores que existen en cada uno de los sensores inerciales y de la conexión WIFI.

III.1 SENSORES INERCIALES (IMU)

Para la adquisición y el análisis de datos sensoriales (acelerómetro, magnetómetro, giroscopio) vamos a utilizar el teléfono Samsung modelo GT-I8160, versión de sistema operativo Android 2.3.6 se realizó la elección de este dispositivo es por el de sensores incorporados que este posee.



Fig. 11. Teléfono Samsung GT-I810[18]

Los sensores se ponen a prueba de errores para considerar la necesidad de calibración antes de utilizar dichos sensores. Para saber la exactitud y el comportamiento de los sensores inerciales vamos a realizar diferente tipo de pruebas repetitivamente, estas pruebas la realizaremos utilizando el software eclipse y las muestras serán tomadas aproximadamente en 10, 15 y 1,2 milisegundos por cada uno de los sensores inerciales que vamos a estudiar.

La salida de los sensores es con respecto a la orientación del dispositivo, que lo denominaremos sistema de coordenadas del dispositivo como se observa en la figura 12., que está en relación a la orientación de la pantalla y los ejes los que no cambian cuando la orientación de la pantalla del dispositivo toma diferentes posiciones.

La referencia del sistema de coordenadas está definido por:

- Eje X, por el producto vectorial entre Y.Z y esto es tangencial a la tierra en la ubicación actual del dispositivo y apunta hacia el oeste.
- Eje Y, es tangencial a la tierra en la ubicación actual del dispositivo y apunta hacia el Polo Norte.
- Eje Z, es perpendicular al suelo y apunta hacia el centro de la tierra

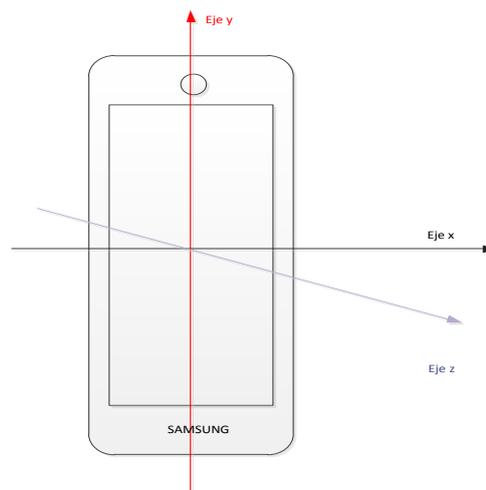


Fig. 12. Sistema de coordenadas del dispositivo móvil

Luego de tener en cuenta sobre el sistema de coordenadas que vamos a utilizar en el dispositivo móvil que será nuestra fuente de información de los sensores inerciales, seguidamente vamos a realizar dos tipos de pruebas: en la primera el móvil se encuentre sin movimiento sobre una superficie plana y en la segunda teniendo el móvil en la mano mientras se camina en diferentes direcciones. En esta parte del proyecto le vamos a dar más preferencia al teléfono siempre apuntando al norte.

Lo ideal también nos resultaría escoger una frecuencia de muestreo alta y constante con el fin de perder la menor cantidad de datos posibles, en Android no es posible seleccionar la frecuencia de muestreo, si no leer directamente de los sensores inerciales por lo que eventos ocasionados del sensor que se genera cada vez que los datos de los sensores tiene algún cambio en el movimiento.

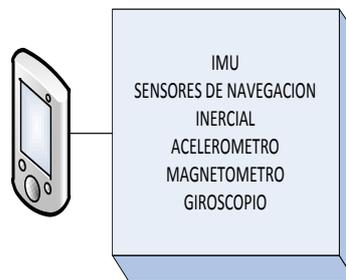


Fig. 13. IMU del dispositivo móvil

Dado que la frecuencia de muestreo en el dispositivo es limitada, se puede perder alguna información. Una prueba se realizó para analizar la frecuencia de muestreo de cada sensor. Las medidas se realizaron tanto con el dispositivo quieto o inmóvil y en puesto marcha. Los resultados de ambas pruebas fueron similares, y se presentan en la Tabla 1.

SENSOR	TASA DE MUESTREO PROMEDIO	MAX	MIN	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Giroscopio	1,574713	3,512	0,589	0,2714452
Magnetómetro	16,81256	19,3	14,38	0,4401434
Acelerómetro	20,57853	23,703	18,256	0,4601378

Tabla. 1. Frecuencia de muestreo de los sensores inerciales

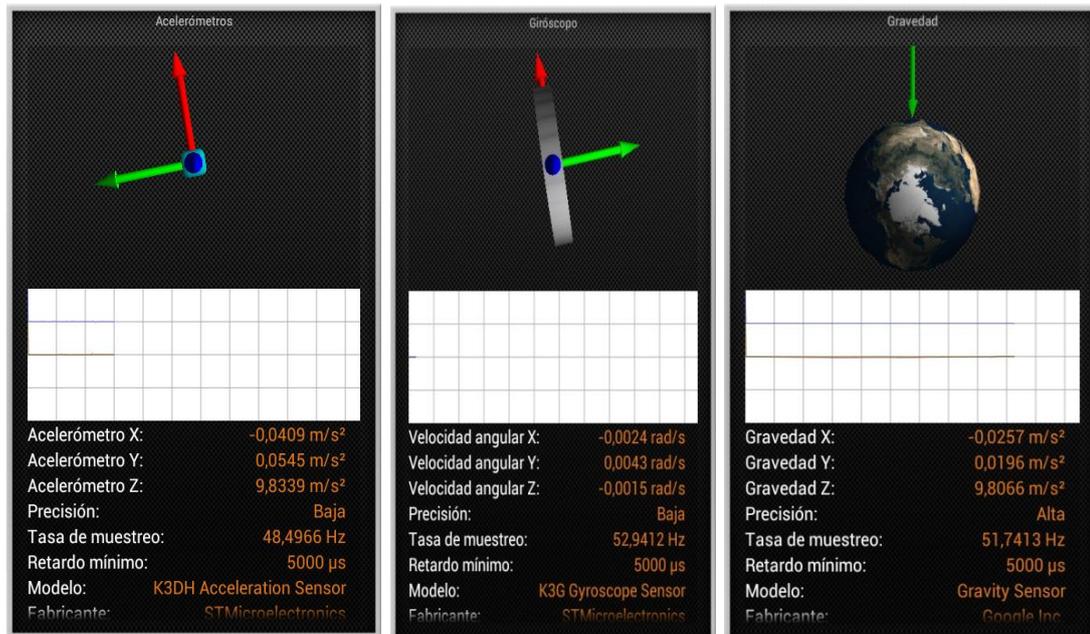


Fig. 14. Valores obtenidos de los IMU en el dispositivo móvil

A continuación se detalla las pruebas realizadas con cada tipo de los sensores inerciales, toda la información se obtuvo del dispositivo móvil Smartphone que tiene incorporado dichos sensores.

III.1.1 DISPOSITIVO INMÓVIL EN UNA SUPERFICIE PLANA

Esta prueba la vamos a realizar en una parte plana dejando inmóvil el dispositivo por un periodo de 20 segundos, de tal forma que la única fuerza que interactúe sea la gravedad. Para cada prueba tendremos las salidas de cada uno de los sensores el acelerómetro, giroscopio y magnetómetro.

III.1.1.1 ACELERÓMETRO

Conceptualmente, el acelerómetro determina la aceleración que se aplica a un dispositivo mediante la medida de las fuerzas que se aplican para el propio sensor usando la siguiente relación:

$$A_d = - \Sigma F / \text{masa}$$

Sin embargo, la fuerza de la gravedad siempre está influyendo en la medida de la aceleración de acuerdo con la siguiente:

$$A_d = -g - \Sigma F / \text{masa}$$

Donde A_d es la aceleración aplicada al dispositivo, g la fuerza de la gravedad, F la fuerza actuada en el dispositivo y m la masa del dispositivo. Y Σ es la sumatoria de los ejes (x, y, z). Por esta razón, cuando el dispositivo está colocado en una parte plana y no acelerada, el acelerómetro lee una magnitud de $g = 9,81 \text{ m} / \text{s}^2$. Del mismo modo, cuando el dispositivo está en caída libre y

por lo tanto acelerara a $9,81 \text{ m / s}^2$, su acelerómetro lee una magnitud de $g = 0 \text{ m / s}^2$. Por lo tanto, para medir la aceleración real del dispositivo, la contribución de la fuerza de gravedad debe ser obtenida de los datos del acelerómetro. Teniendo como resultado de la prueba los siguientes datos:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix}$$

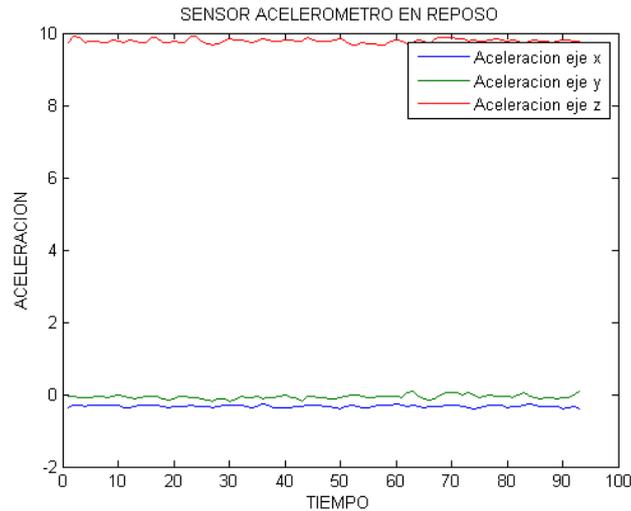


Fig. 15. Salida del acelerómetro en cada eje (x, y, z)

En la siguiente tabla tenemos los datos estadísticos de las salidas de cada eje del acelerómetro de las medidas que se realizaron.

EJES	MEDIA	MAX	MIN	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
x (m/s²)	-0.3381	-0.2680	-0.4210	0.0353
y (m/s²)	-0.0581	0.0760	-0.1910	0.0544
z (m/s²)	9.7766	9.9210	9,6292	0.0615
Total Aceleración (m/s²)	9,6556	9,9240	9,0154	0,08288

Tabla 2. Valores estadísticos de la salida del acelerómetro

Como podemos observar en la prueba la aceleración total medido en reposo fue en promedio cerca de $9,66 \text{ m/s}^2$ y no el esperado $9,81 \text{ m/s}^2$. La desviación estándar de la aceleración total de $0,08 \text{ m/s}^2$, es equivalente a casi el uno por ciento de la aceleración total, que, con el tiempo, podría potencialmente generar un gran error.

El acelerómetro es un buen sensor a usar si deseamos estar monitorizando el movimiento del dispositivo. Casi todos los teléfonos Android y tabletas tienen un acelerómetro, y este utiliza alrededor de 10 veces menos energía que los otros sensores de movimiento. Una desventaja es

que puede que tengamos que aplicar filtros de paso bajo y paso alto para eliminar las fuerzas gravitatorias y reducir el ruido.

III.1.1.2 GIROSCOPIO

El giroscopio mide la tasa o la velocidad de rotación en rad / s alrededor de un dispositivo en los tres ejes, esta es positiva en el sentido contrario a las agujas del reloj.

Cuando el dispositivo está en reposo sobre una mesa y no se mueve, los valores deben leer un giroscopio magnitud de 0 radianes por segundo.

EJES	MEDIA	MAX	MIN	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
x (rad/s)	-0,000127	0,06230	-0,0720	0,007556
y (rad/s)	0,006185	0,14538	-0,1148	0,008577
z (rad/s)	-0,007724	0,02565	-0,0476	0,007891

Tabla 2. Valores estadísticos de la salida del giroscopio

En los resultados se puede observar que existe un desplazamiento llamado “sesgo” en todos los tres ejes, pero sobre todo en Y (positivo) y el eje z (negativo). Para calcular el ángulo α , la salida de la ω giroscopio (velocidad angular), se integra en el tiempo (t).

$$\alpha_n = \sum_{i=0}^n (\omega_i * \Delta t)$$

Las diferentes pruebas que se realizaron rotando al dispositivo 360° sobre el eje z en diferentes intervalos de tiempo nos mostraron una salida similar a la que se muestra en la tabla anterior. Después de una rotación completa la tendencia fue de aproximadamente 0,3 radianes cuando se gira hacia la derecha y -0,3 radianes cuando se gira en sentido anti horario. Este error sin embargo, no era completamente constante, siendo un poco más grande cuando la rotación se hace más rápido. Para compensar la desviación se aplica una corrección utilizando la siguiente ecuación.

$$\omega_i = \omega_i - \omega_i (1 - \varepsilon'_{x,y,z})$$

Donde ε' es el error estimado de la velocidad angular alrededor de cada eje. El error de deriva alrededor del eje z se calcula con la siguiente fórmula siendo 0,33 la deriva media en las pruebas.

$$\varepsilon' = \frac{0.33}{2\pi}$$

$$\varepsilon' = 0.053 (5.3\%)$$

Esta corrección reduce significativamente la deriva del giroscopio que se acumula con el tiempo en los ángulos.

El error en sí realmente es muy pequeño, pero a medida que se acumula en el ángulo debido a la integración de la velocidad angular, hay que hacer regularmente un ajuste. El ajuste se realiza de tal manera que cuando las lecturas del magnetómetro son estables, el azimuth del girocompás se establece en el azimuth propuesta por el magnetómetro.

También podemos indicar que el giroscopio estándar proporciona los datos de rotación sin ningún tipo de filtro o corrección para el ruido y la deriva, por lo general, para determinar la deriva (sesgo) y el ruido se hace mediante el control de otros sensores, como el sensor de la gravedad o acelerómetro.

III.1.1.3 MAGNETÓMETRO

El magnetómetro mide la fuerza del campo magnético ambiente en micro-Tesla (UT), en los tres ejes de coordenadas. La salida del magnetómetro junto con los valores del acelerómetro se fusiona para obtener la orientación

Por lo general, no es necesario utilizar este sensor directamente. En su lugar, se puede utilizar el sensor de rotación para determinar el movimiento de rotación en bruto o puede utilizar el acelerómetro y un sensor de campo magnético terrestre.

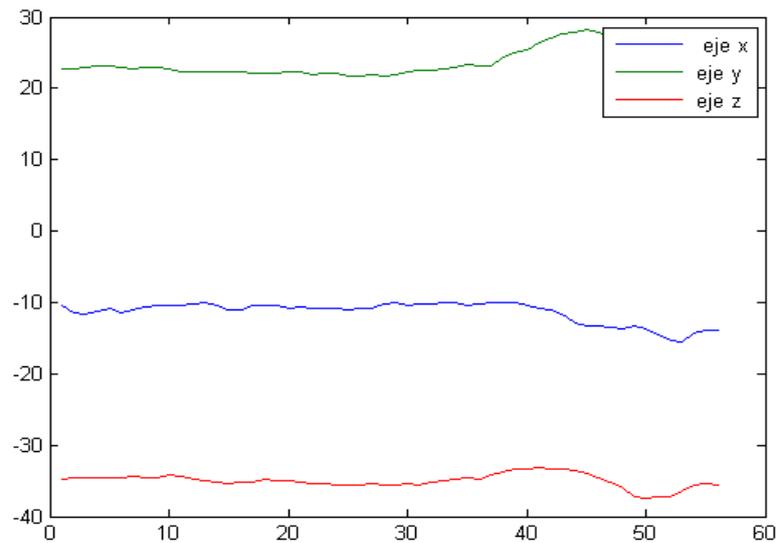


Fig. 16. Salida del Magnetómetro en reposo

EJES	MEDIA	MAX	MIN	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
x (rad/s)	0,4285	2,368	-0,8647	0,488565
y (rad/s)	22,7521	24,598	21,5896	0,435798
z (rad/s)	-44,8589	43,8569	-41,2567	0,475686

Tabla 4. Valores estadísticos del magnetómetro

Una observación interesante en los datos obtenidos es la sensibilidad del sensor, lo que resulta en un alto nivel de la desviación por encima de 0,40 UT a cada eje.

III.1.1.4. ORIENTACIÓN

El sensor de orientación o llamado brújula digital es el resultado de una fusión, es decir, es un método de software proporcionados por Android que utiliza lecturas del acelerómetro y magnetómetro para calcular la orientación del dispositivo sobre la base de la matriz de rotación. Los valores devueltos por este método esta en radianes y son positivos y en sentido antihorario.

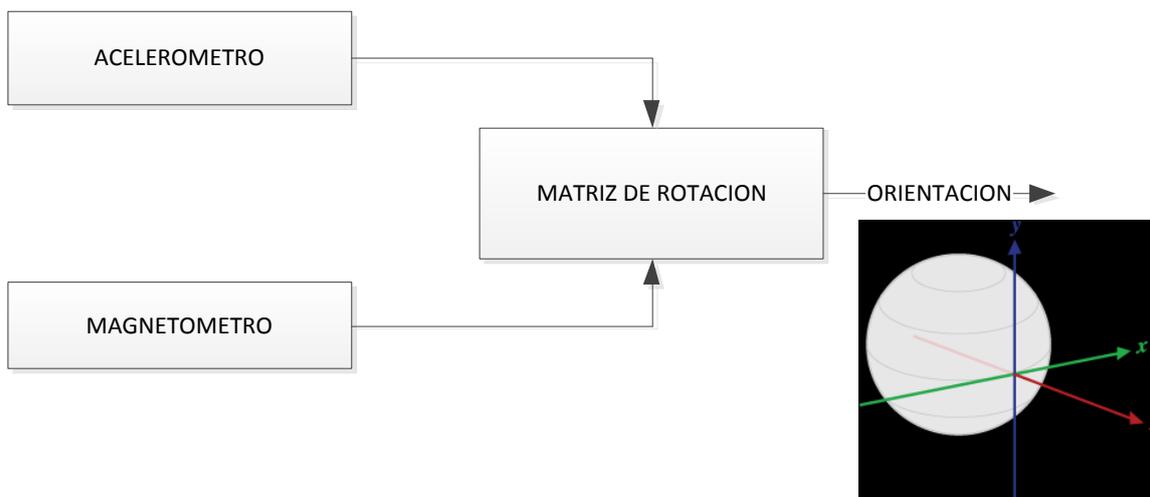


Fig. 17. Fusión del acelerómetro y magnetómetro

Los valores devueltos por la aplicación del dispositivo en cada evento del sensor son los siguientes:

Values [0] indica el azimuth que es la rotación alrededor del eje z, este es el ángulo entre el norte magnético y el eje Y del dispositivo. Por ejemplo, si y eje del dispositivo está alineada con el norte magnético este valor es 0, y si el eje y del aparato está orientado al sur este valor es 180. Del mismo modo, cuando el eje y está apuntando al este este valor es 90 y cuando está apuntando al oeste este valor es 270.

Values [1] indica el pitch que es la rotación alrededor del eje x; este valor es positivo cuando el eje z positivo rota hacia el eje y positivo, y es negativo cuando el eje z positivo rota hacia el eje y negativo. El rango de valores es de 180 grados a -180 grados.

Values [2] indica el roll que es la rotación alrededor del eje y, este valor es positivo cuando el eje z positivo rota hacia el eje x positivo, y es negativo cuando el eje z positivo rota hacia el eje x negativo. El rango de valores es de 90 grados a -90 grados.

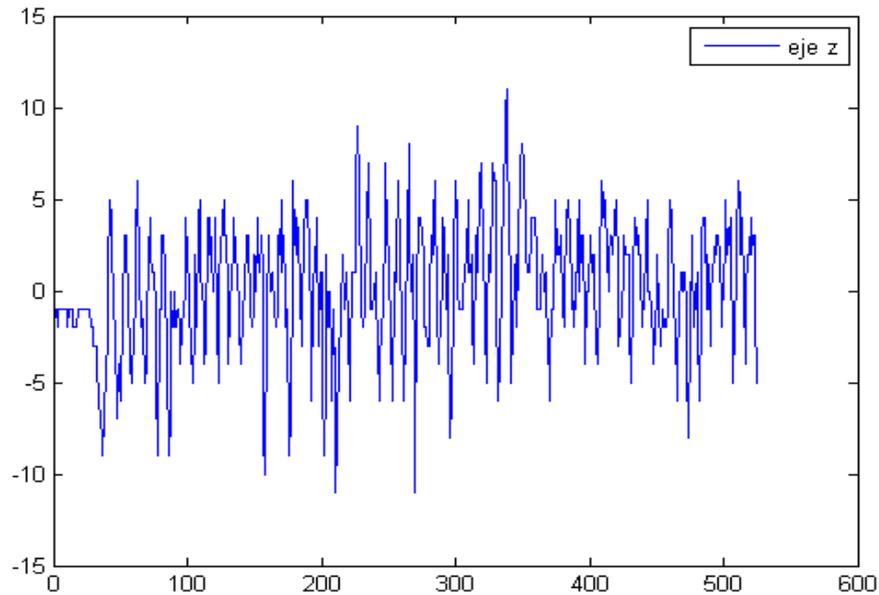


Fig. 18. Rotación alrededor del eje z (azimuth)

La principal funcionalidad del magnetómetro que usamos en este trabajo es calcular el azimuth magnético es decir la dirección relativa a la distancia angular desde el norte magnético.

El resultado esperado es un valor aparentemente estable, pero los resultados reales de las muestra demuestran lo contrario, la señal es bastante inestable con una desviación estándar bastante alta, por lo que nos ratifica que estos errores son a partir del acelerómetro y la sensibilidad del magnetómetro.

III.1.2. EL DISPOSITIVO EN MOVIMIENTO

Esta prueba que se realizó para analizar los resultados que obtenemos cuando el dispositivo de mueve durante una periodo de tiempo llevado en la mano por el usuario a diferentes direcciones. En el documento vamos a indicar lo resultados indicando siempre la dirección hacia el Norte.

III.1.2.1 ACELERACIÓN

En el siguientes grafico vamos a observar los valores que son obtenidos por el dispositivo en los tres ejes durante un intervalo de tiempo en movimiento y descanso respectivamente.

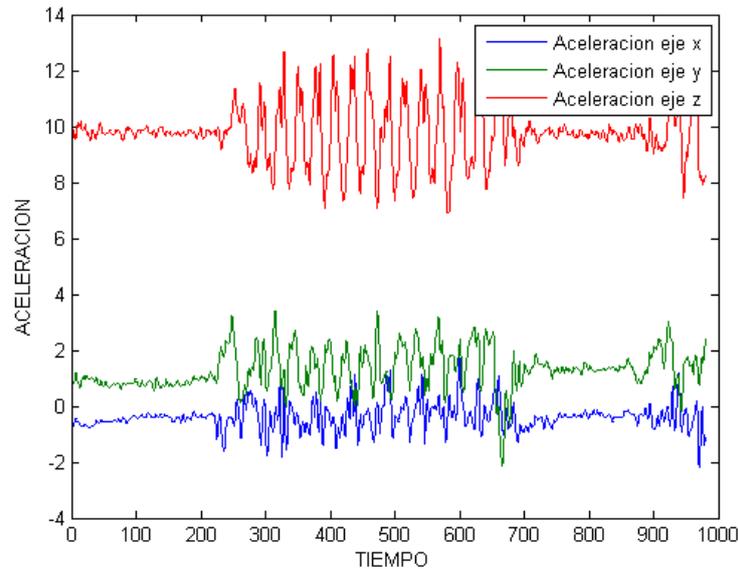


Fig. 19. Datos del dispositivo en movimiento

Como podemos observar la mayor parte del movimiento está en el eje Z con respecto a las coordenadas del dispositivo. Esto se debe a que el dispositivo lo tenemos en la mano con la parte posterior apuntando hacia el centro de la tierra. La fuerza aplicada por el “paso” que se da tiene la misma dirección que la gravedad. Es lo que podemos ver en los picos vistos en el eje Z.

La aceleración detectada en el eje Y, es causada por el movimiento real como vemos tiene el mismo sentido del movimiento, el resto es la componente de la gravedad que actúa sobre él, junto con la aceleración causada por la inclinación ya que es imposible mantener el dispositivo de una manera uniforme.

La aceleración detectada en el eje x es causada principalmente por el componente de la gravedad y la inclinación; dado que al caminar se hace lo recto posible con respecto al eje Y y se espera que no sea detectada la aceleración en los lados.

III.1.2.1. ACELERACIÓN LINEAL

La aceleración lineal se calcula mediante el uso de las salidas del magnetómetro y acelerómetro para obtener la orientación del dispositivo y deducir los componentes de gravedad en el eje respectivo. El resultado es la aceleración a lo largo de los ejes en el sistema de coordenadas del dispositivo. La interesante en este contexto es la aceleración hacia delante (o hacia atrás), que se obtiene por la lectura de la aceleración lineal en el eje y.

La salida es un vector que indica la aceleración de tres dimensiones a lo largo de cada eje del dispositivo, no incluyendo la gravedad. Todos los valores tienen unidades de m/s^2 . El sistema de coordenadas es el mismo que se utiliza por el sensor de aceleración que se indicó anteriormente.

La salida de los sensores de acelerómetro, la gravedad y la aceleración lineal-debe obedecer la siguiente relación

$$Total\ aceleracion = Gravedad + Aceleracion\ lineal$$

En la siguiente figura siguiente observamos la componente de la aceleración lineal obtenida con respecto al eje Y que es hacia adelante la aceleración, para ser considerado en el cálculo de la velocidad y la distancia caminado.

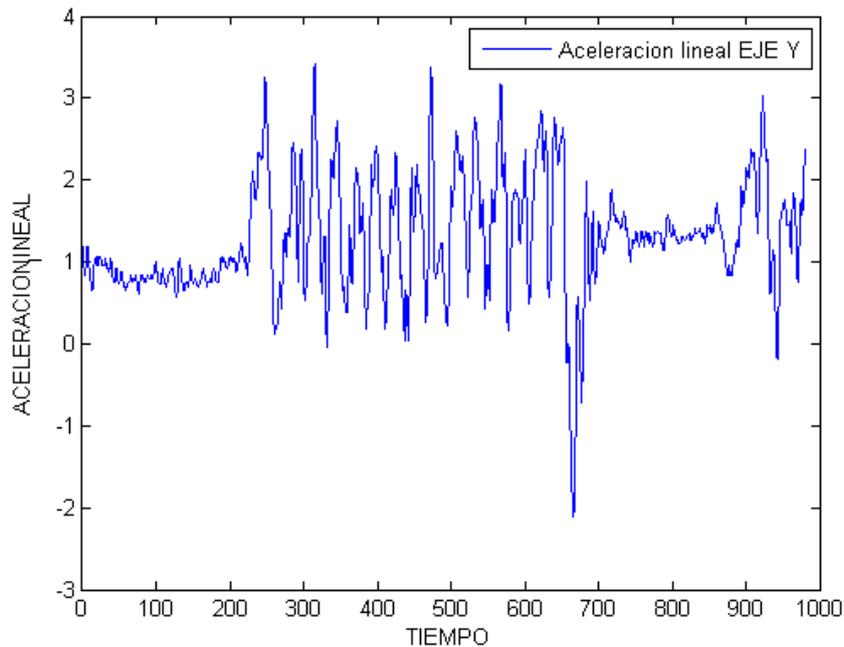


Fig. 20. Aceleración lineal en el eje Y

Para calcular la velocidad v , la aceleración lineal α , se integra en el tiempo t como podemos ver la siguiente ecuación:

$$v_n = \sum_{i=0}^n (a_i * \Delta t)$$

En la siguiente figura se muestra la velocidad resultante de la integración de la aceleración hacia adelante. Y es posible identificar los pasos al caminar (17 pasos) y también que el incremento / decremento de la velocidad es más fuerte con el paso de un pie que con el paso del otro pie y respectivos descansos que se hizo para comprobar.

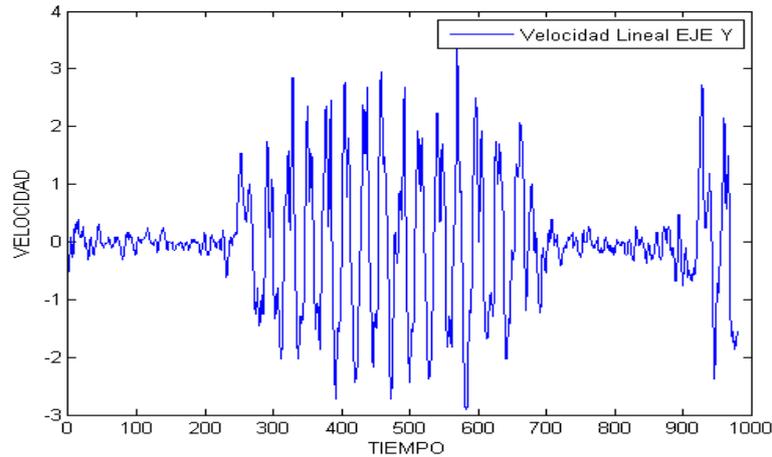


Fig. 21. Velocidad en el eje Y

Como la aceleración lineal calculado por Android no era perfecto y parecía estar afectada por el ruido de los pasos que introducen los sensores y los errores de la interferencia magnética la alternativa es tratar de calcular la aceleración lineal con giroscopio y acelerómetro.

Se encontró que el principal problema aquí es la de deshacerse del componente de la gravedad. Para empezar, se necesitan los ángulos de orientación inicial, lo que se puede calcular mediante la calibración del dispositivo completamente en reposo la medición de la gravedad en cada eje.

A continuación, se necesitan los ángulos de orientación exactos, lo que puede obtenerse a partir de la integración del giroscopio. Pero el giro acumula un error en el tiempo que hace que los resultados difieran mucho de la realidad después de un tiempo. Por último, es necesario no perder de vista la componente de la gravedad es decir, saber en qué dirección está hacia abajo cuando se sostiene el teléfono en la mano y el usuario está caminando.

III.2. WIFI

En esta parte vamos a indicar la localización indoor utilizando la potencia de la señal recibida de la tecnología 802.11, que nos servirá como parte para la fusión con los sensores de la navegación inercial para realizar la localización del dispositivo móvil, teniendo en cuenta que existen muchas aplicaciones que ya lo realizan[19].

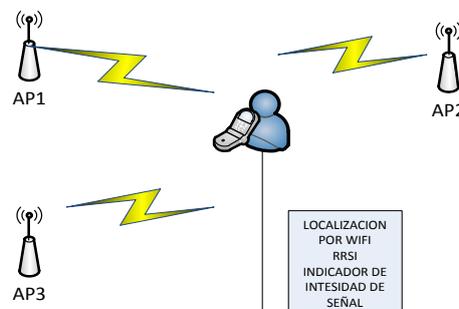


Fig. 22. Sistema de localización por RSSI

El gráfico siguiente no indica la ubicación donde se encuentran los puntos de acceso, como punto de referencia hemos tomado la segunda planta del edificio 4D de la UPV y la potencia radiada por cada uno de los AP utilizado el software de localización indoor Ekahau HeatMapper[20].

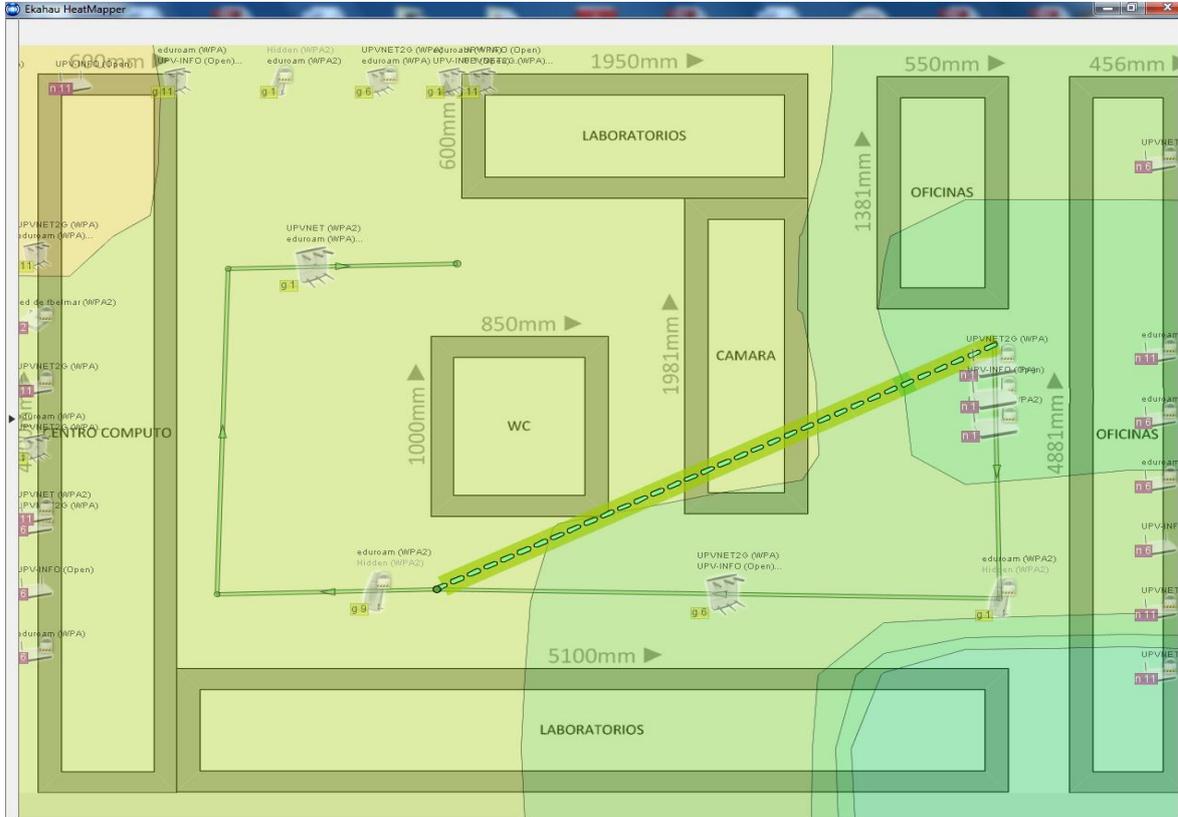


Fig. 23. RSSI en diferentes puntos

En la siguiente figura observamos la lista de datos que nos da el dispositivo móvil y cada elemento tiene la siguiente información:

- SSID que nos indica el nombre de la red
- BSSID que nos indica la dirección MAC del punto de acceso
- RSSI que nos indica el nivel de la señal detectada en dBm (dBm = la relación de potencia radio en decibelios (dB), la potencia medida hace referencia a un milivatio).



Fig. 24. Datos recibidos por el dispositivo móvil de la redes WIFI

La figura 26 ilustra la variación de intensidad de la señal registrada durante un período de aproximadamente un minuto.

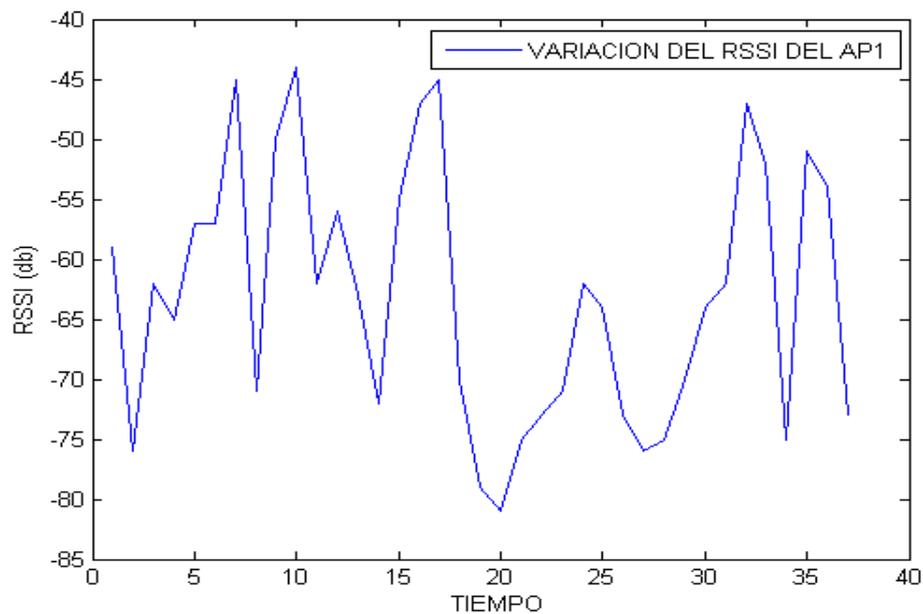


Fig. 25. Variación de RSS durante un tiempo

PUNTOS DE ACCESO	MEDIA	MAX	MIN	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
AP1	-77,37838	-75	-80	1,042950277
AP2	-56,82435	-54	-62	2,247422317
AP3	-59,02702	-56	-64	1,452187514

Tabla 5. Valores estadísticos de la RSSI

Como podemos observar en la tabla 5 con los datos estadísticos de la RSSI de los diferentes puntos de acceso la desviación estándar disminuye cuando la señal es más débil AP2 es el más cercana, AP1 más alejado.

Luego de haber realizado el estudio de los valores y los diferentes gráficos se puede observar que, dependiendo de la posición del usuario con referencia al punto de acceso, la señal es más fuerte o más débil. Si el usuario se coloca entre el teléfono y el punto de acceso, es decir, en la línea de visión, la fuerza de la señal suele ser sensiblemente inferior, resultados similares se notan cuando hay una pared entre el teléfono y el AP.

También se observó que la intensidad de la señal varía con el número de personas presentes o en movimiento en el edificio. En este caso la señal se refleja o se bloquea, lo que resulta en diferente intensidad de la señal medida en el mismo punto, la intensidad de la señal varía también debido a los reflejos de las paredes, el suelo y el techo, o de otro tipo estructuras en el edificio.

IV. ARQUITECTURA PROPUESTA PARA LOCALIZACIÓN INDOOR

En los últimos años, WIFI como tecnología de localización tiene mucho auge en la parte de localización indoor, sin embargo solo WIFI no proporciona la precisión suficiente para localizar un objeto debido algunos defectos que se indicaron anteriormente y otros como:

- Es lenta en respuesta a un cambio instantáneo, y
- Se somete a variaciones a corto plazo

Para lo que se va utilizar las medidas de los sensores inerciales en este caso es para corregir las lecturas de la red WIFI. Por el contrario los sensores inerciales adolecen de gran deriva, por lo tanto su rendimiento depende del tiempo y comienza a deteriorarse a medida que este aumenta en tiempo, por lo que aquí se corregirá con la tecnología de localización WIFI. La arquitectura será fusionando las lectura de los sensores inerciales (IMU), con las mediciones de potencia de la señal recibida (RSSI) mediante la aplicación del filtro del Kalman extendido (EKF).

El EKF es un filtro adaptativo con modelos de movimiento no lineal y transiciones de estado, dado que el filtro de Kalman es un filtrado no lineal es muy práctico y puede ser usado para suavizar las lecturas de los sensores para obtener la mejor posición del dispositivo móvil.

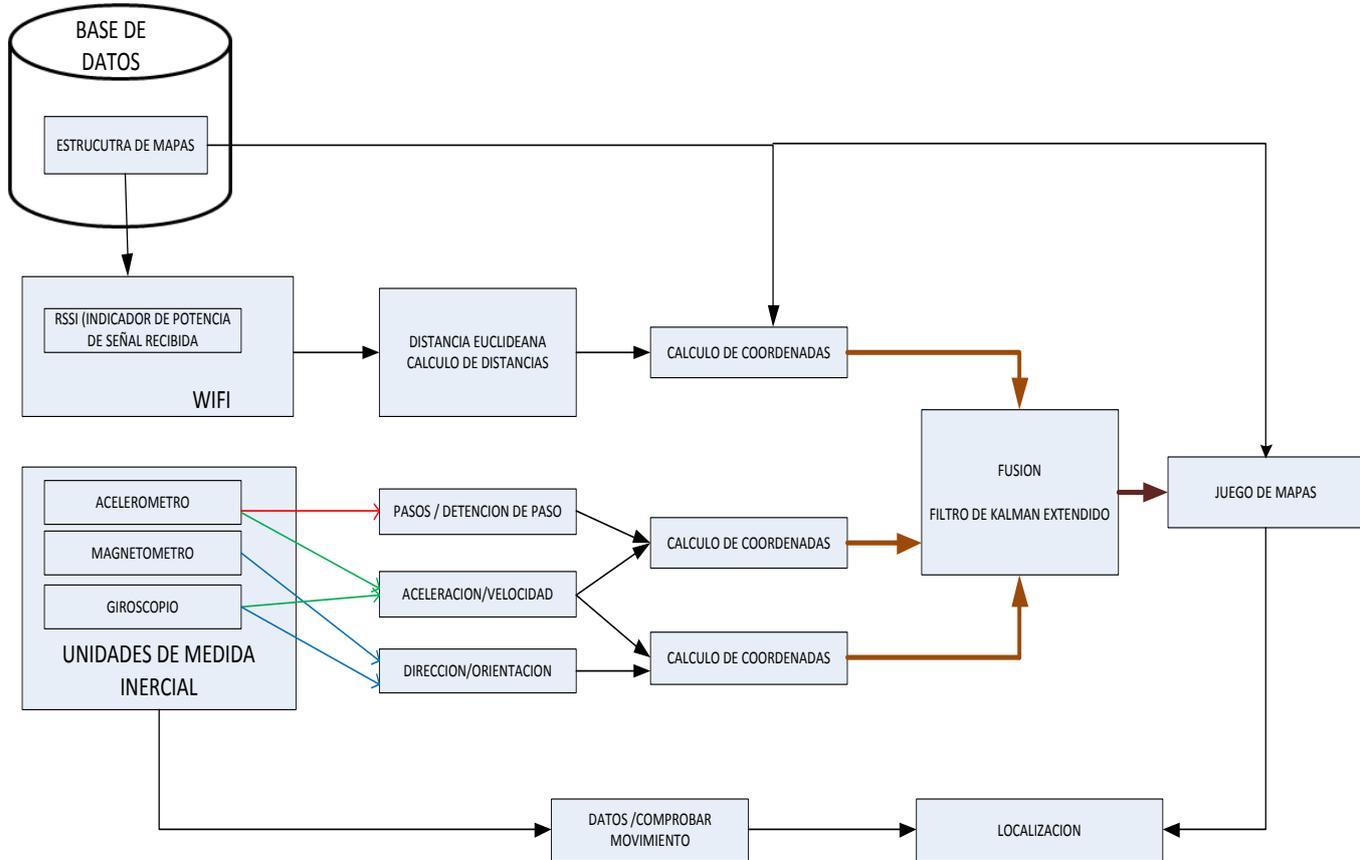


Fig. 26. Arquitectura propuesta para localización indoor

La arquitectura propuesta en la figura 26 se trata de combinar las ventajas que presenta la utilización de la técnica de posicionamiento wifi con la unidades de medida inercial, con la integración multisensorial utilizando un Filtro Extendido de Kalman para estimar la localización en un entorno indoor del dispositivo móvil.

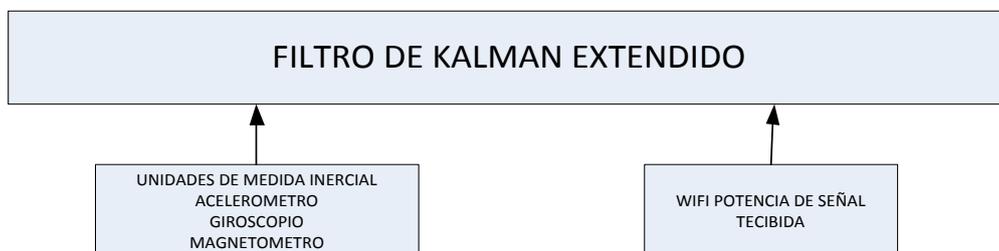


Fig. 27. Fusión de las tecnologías de localización

IV.1. FILTRO DE KALMAN EXTENDIDO COMO ALGORITMO DE FUSIÓN

Uno de los mejores métodos para la combinación de las lecturas de la IMU (acelerómetro, magnetómetro y giroscopio) y las mediciones de WIFI por medio de RSSI es mediante la aplicación del filtro de Kalman extendido. Dado que el Filtro de Kalman extendido es un filtro no lineal, tiene muchas prestaciones y ventajas para usarlo en nuestro caso, debido a que puede suavizar las lecturas de los sensores para rastrear el dispositivo móvil y obtener una mejor posición. Nuestro EKF contiene tres etapas, la etapa de inicialización, la etapa de actualización del tiempo, y la etapa de actualización de la medida similar a la figura 10 del capítulo anterior.

La fase de inicialización es para iniciar el estado y la covarianza. Luego de esto podemos procesar los datos durante la fase de actualización de tiempo con el giroscopio y acelerómetro, y por último debido a la tendencia impuesta por los sensores locales, compensamos por ello durante la medición, la fase de actualización será utilizando el algoritmo RSSI de WIFI. En esta parte se procederá a realizar la explicación de cada una de estas tres etapas.

IV.1.1 ETAPA DE INICIALIZACIÓN

Existen muchos enfoques para implementar este filtro, uno de los mejores métodos es mediante el desarrollo de un filtro de tres estados, implementada por [15]. Para crear este filtro, el primer paso es identificar el estado actual.

$$x = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix}$$

El estado actual de nuestro EKF contendrá tres elementos, la coordenada X, coordenada Y, y el punto de partida. Estos son también los tres principales términos que se alteran durante cada fase de la EKF. Durante la fase de inicialización, utilizamos las estimaciones de posición WIFI y el magnetómetro para inicializar los estados. Primero recogemos 10 muestras de las salidas de la RSSI de WIFI, que contienen la coordenada X, y coordenada Y. Luego se calcula el promedio y la desviación estándar de las mediciones que se utilizará como la posición inicial y la posición de covarianza. La covarianza de la posición se muestra a continuación.

$$P = \begin{bmatrix} x_{std^2} & 0 & 0 \\ 0 & y_{std^2} & 0 \\ 0 & 0 & \theta_{std^2} \end{bmatrix}$$

El propósito de la matriz de covarianza es modelar la deriva (drift), para determinar el peso de las medidas de WIFI en un punto. Con valores altos de covarianza, el peso de cada medición WIFI se incrementará hasta que los valores de covarianza se reduzcan hasta un cierto punto. Con el establecimiento de la fase de inicialización se procede al desarrollo de la actualización de tiempos y la medición etapas de actualización

IV.1.2. PROCESO DE ACTUALIZACIÓN DE TIEMPO

Durante la fase de actualización del tiempo, actualizamos el estado sólo con el giroscopio y el acelerómetro, como se mencionó anteriormente. Las ecuaciones de predicción importantes son las siguientes:

$$\begin{aligned} \hat{x}_k^- &= f(x_{k-1}, u_k, 0, 0) \\ P_k^- &= A_k P_{k-1} A_k^T + B_k T_{k-1} B_k^T + Q_{k-1} \end{aligned}$$

Por razones de simplicidad, τ_{k-1} y u_k son generalmente puestos a cero, como se sugiere en [25]. Sin embargo, una posible función para combinar los tres sensores es la siguiente.

$$\begin{aligned} f_x &= x_{k+1} = x_k + \Delta D_k \cos(\theta_k) \\ f_y &= y_{k+1} = y_k + \Delta D_k \sin(\theta_k) \\ f_\theta &= \theta_{k+1} = \theta_k + \Delta\theta_k \end{aligned}$$

Ya que estamos combinando WIFI y IMU, lograremos mediciones en términos de (X, Y), el ángulo, la velocidad y la velocidad angular. Con la velocidad y la velocidad angular podemos utilizar la función en la figura anterior para predecir cuál será la próxima posición. Además, la función de estado sólo se usa en la fase de predicción para predecir con mayor precisión donde esté el móvil. La última característica importante de la etapa de predicción es la matriz de transición, A.

$$A_k = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_x}{\partial x_k} & \frac{\partial f_x}{\partial y_k} & \frac{\partial f_x}{\partial \theta_k} \\ \frac{\partial f_y}{\partial x_k} & \frac{\partial f_y}{\partial y_k} & \frac{\partial f_y}{\partial \theta_k} \\ \frac{\partial f_\theta}{\partial x_k} & \frac{\partial f_\theta}{\partial y_k} & \frac{\partial f_\theta}{\partial \theta_k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\Delta D_k \sin(\theta_k) \\ 0 & 1 & \Delta D_k \cos(\theta_k) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Esta matriz se usa durante la fase de actualización de covarianza. Ahora que tenemos todos los elementos del estado de la predicción, vamos a pasar a la fase de actualización de la medida.

IV.1.3 PROCESO DE ACTUALIZACIÓN DE LA MEDIDA

Al igual que en el filtro de Kalman (KF), la EKF también implementa un conjunto de ecuaciones matemáticas para actualizar la ganancia de Kalman, matriz de estado y la covarianza.

$$\begin{aligned} K_k &= P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \\ \hat{x}_k &= \hat{x}_k^- + K_k (z_k - h(\hat{x}_k^-, 0)) \\ P_k &= (I - K_k H_k) P_k^- \end{aligned}$$

La primera parte de la fase de actualización de la medida consiste en determinar lo que realmente se está midiendo. En nuestro caso, optamos por medir el RSSI y obtener las coordenadas y sólo vamos a usar estos valores para actualizar la posición EKF sólo cuando los valores de covarianza se vuelven demasiado grandes.

Durante la fase de actualización de la medida, las lecturas de RSSI se pueden aplicar directamente al estado actual sólo si la covarianza se vuelve demasiado alta. Si la covarianza no es alta, entonces las mediciones no tendrán un gran impacto en las coordenadas de posición.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El posicionamiento indoor todavía es problema no resuelto y de gran futuro de investigación, aunque hay soluciones aproximadas muy accesibles con los teléfonos inteligentes, no son todo lo precisas que muchas veces se requiere, para aumentar esta precisión hace falta ampliar la infraestructura o utilizando la ya existente, realizar estudios y mapas de señal que luego requieran localización.

Con esta tesina hemos abordado el problema proponiendo una arquitectura de fusión multimodal de dos diferentes tecnologías de localización que siendo independientes entre sí, ayudarán a tener un funcionamiento mucho más preciso que actuando de una manera individual.

Una línea futura es la implementación de la arquitectura propuesta con el fin de crear módulos distribuidos e independientes pero compatibles y colaborativos entre sí y garantizar interoperabilidad.

Una importante línea de trabajo futuro es aumentar la exactitud de la estimación de la posición utilizando cámaras de video.

Y otra línea de trabajo futuro es adaptar este estudio de investigación para software de mando y control del grupo de sistemas de tiempo real distribuidos SIMACOP y ser utilizado para control emergencias.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, al Dr. D. Manuel Esteve Domingo por aceptar dirigir y ayudarme con su orientación, experiencia, ideas, aportes y apoyo continuo hacen posible que hoy esté culminando con éxito esta tesina y se cumplan los objetivos planteados.

Al Dr. D. Israel Pérez Llopis, que me ha contribuido con sus conocimientos e ideas para el desarrollo adecuado de esta tesina y que será aplicado también en las fases futuras. Y no podía faltar mi familia que han sido un pilar muy fuerte para ayudarme en todo y darme fuerzas para seguir adelante, mi madre, mi hermana María mis sobrinos, que han estado muy cerca de mi todos los días y mi esposa Alejandra mis hijos Antony y Alejandro que son mis mayor inspiración para seguir adelante que a pesar de la distancia han estado conmigo siempre y mis amigos y todos quienes de un modo u otro han ayudado al desarrollo de mis estudios.

Madre Dolorosa gracias por todo...

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alberto Sanchez, Santiago Elvira, Angel de Castro, Guillermo Glez-de-Rivera, Ricardo Ribalda, Javier Garrido “Low Cost Indoor Ultrasonic Positioning Implemented in FPGA” 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON) Novembre 2009.
- [2] Raúl Sánchez Vítóres. ILS (Indoor Location Systems) Sistemas de Localización en Interiores. Revista Bit, núm 148, págs. 57-59, junio 2005. ISSN 0210-3923.
- [3] Anthony LaMarca, Yatin Chawathe, Sunny Consolvo, Jeffrey Hightower, Ian Smith, James Scott, Timothy Sohn. Place lab: Device positioning using radio beacons in the wild. Conference Pervasive 2005.
- [4] Ladetto, Q., & Merminod, B. (2002). Digital Magnetic Compass and Gyroscope Integration for Pedestrian Navigation. 9th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, Saint Petersburg, Russia, 2002.
- [5] Apuntes Optativa de Sistemas de Comunicaciones Móviles. T5: Sistema GSM/GPRS Optativa. 2008, EPSC.
- [6] Veljo Otsason, Alex Varshavsky, Anthony LaMarca, Eyal da Lara. Accurate GSM Indoor Localization. Conference Ubicomp 2005.
- [7] L. Martínez Romero, Estudio Experimental de los Errores de Posicionamiento en Interiores Mediante Redes Inalámbricas Ad-Hoc, Universitat Politècnica de Catalunya, 2009.
- [8] Hofmann-Wellenhoff, B., Lichtenegger, H., & Collins, J.: Global Positions System: Theory and Practice. Fourth Edition. Springer Verlag (1997)
- [9] Eva M. García Polo, Técnicas de Localización en Redes Inalámbricas de Sensores, Instituto de Investigación en Informática de Albacete, Departamento de Sistemas Informáticos Universidad de Castilla-La Mancha,2006
- [10] Priyantha, N. B., Chakraborty, A., & Balakrishnan, H.: The cricket location-support system. (págs. 32-43). New York, USA: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom '00). ACM Press (2000)
- [11] Navarro, D. Contribución a la Auto-localización de Robots Móviles Basada en Fusion de Información Multisensorial. PhD thesis, Departamento de Informática, Sistemas y Computadores. Universidad Politècnica de Valencia,(2008).
- [12] Luo R. and Kay M. “Multisensor Integration and Fusion in Intelligent Systems”, IEEE Transactions on Systems,Vol 19,No 5, 1989, pp 901-931.
- [13] Pandya, D., Jain, R., Lupu, E.: Indoor Location Estimation Using Multiple Wireless Technologies. In: The 14th IEEE 2003 Int. Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communication Proceedings, Beijing, pp. 2208–2212 (2003)
- [14] Collado, E.: Diseño y desarrollo de algoritmos de localización de dispositivos en redes inalámbricas para provisión de servicios móviles. Master’s thesis, ETSIT-UPM (2007)
- [15] Juan M. Camús, Pablo Corral, Italo Atzeni, Alberto Congiu, Simulación de seguimiento Zigbee en tiempo real, Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad Miguel Hernández, Elche (Alicante), Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica, Università degli Studi di Cagliari, Cagliari (Italia),(2009)

- [16] P. Corral, R. Barbéra et al., “Mejoras en Sistema de Localización mediante ZigBee” XXIV Symposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio URSI 2009.
- [17] <http://developer.android.com/reference/packages.html>
- [18] <http://www.samsung.com/es/consumer/mobile-phone/smartphones/galaxy/GT-I8160OKAXEC>
- [19] Ubejd Shala Angel Rodriguez, Indoor Positioning using Sensor-fusion in Android Devices, School of Health and Society Department Computer Science Embedded Systems, (2011).

ANEXOS

Código fuente en java/Android para la obtener la información de los sensores en el Smartphone

```
Package contadopasos;
```

```
import com.strviola.contadopasos.R;
```

```
import java.util.List;
```

```
import android.app.Activity;
import android.hardware.Sensor;
import android.hardware.SensorEvent;
import android.hardware.SensorEventListener;
import android.hardware.SensorManager;
import android.os.Bundle;
import android.view.View;
import android.view.View.OnClickListener;
import android.widget.Button;
import android.widget.TextView;
```

```
public class WalkCounterActivity extends Activity {
    final String COUNT_KEY = "counter_value";
    TextView count_view;
    Button reset_button;
    int count;
    SensorManager manager;

    SensorManager man;
    Sensor accel;
    List<Sensor> accels;

    @Override
    public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {

        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.main);

        count_view = (TextView)this.findViewById(R.id.count_view);
        reset_button = (Button)this.findViewById(R.id.reset);
        manager = (SensorManager) getSystemService(SENSOR_SERVICE);

        if (savedInstanceState != null) {
            count = savedInstanceState.getInt(COUNT_KEY, 0);
        } else {
            count = 0;
        }

        man = (SensorManager) getSystemService(SENSOR_SERVICE);
        accel = man.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_ACCELEROMETER);
        accels = man.getSensorList(Sensor.TYPE_ACCELEROMETER);
        man.registerListener(new StepCounter(), accel, SensorManager.SENSOR_DELAY_NORMAL);

        if (count <= 1) {
            count_view.setText(String.valueOf(count) + " step");
        } else {
            count_view.setText(String.valueOf(count) + " steps");
        }
        reset_button.setOnClickListener(new CounterReset());
    }

    class StepCounter implements SensorEventListener {
        double prev = 0;
```

```

    double w_ave;
    final double ratio = 0.8;
    boolean flag = true;
    final double gate_up = 130;
    final double gate_down = 80;

    @Override
    public void onAccuracyChanged(Sensor sensor, int accuracy) {

    }

    @Override
    public void onSensorChanged(SensorEvent event) {

        final float val[] = event.values;

        float accel_scalar = val[0] * val[0] + val[1] * val[1] + val[2] * val[2];

        w_ave = ratio * accel_scalar + (1 - ratio) * prev;

        if (flag && w_ave > gate_up) {
            count++;
            if (count <= 1) {
                count_view.setText(String.valueOf(count) + " step");
            } else {
                CharSequence show = String.valueOf(count) + " steps";
                count_view.setText(show);
            }
            flag = false;
        } else if (!flag && w_ave < gate_down) {
            flag = true;
        }

        prev = accel_scalar;
    }
}

class CounterReset implements OnClickListener {
    @Override
    public void onClick(View v) {
        count = 0;
        count_view.setText(String.valueOf(count) + " step");
    }
}

@Override
protected void onSaveInstanceState(Bundle outState) {
    super.onSaveInstanceState(outState);
    outState.putInt(COUNT_KEY, count);
}

@Override
protected void onRestoreInstanceState(Bundle savedInstanceState) {
    super.onRestoreInstanceState(savedInstanceState);
    count = savedInstanceState.getInt(COUNT_KEY);
}
}

```

```

package com.acelerometro;

import java.util.List;

import android.app.Activity;
import android.content.pm.ActivityInfo;
import android.hardware.Sensor;
import android.hardware.SensorEvent;
import android.hardware.SensorEventListener;
import android.hardware.SensorManager;
import android.os.Bundle;
import android.widget.TextView;

public class Acelerometro Activity extends Activity implements SensorEventListener{

    TextView x,y,z;
    private Sensor mAccelerometer;
    @Override
    public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.main);
        x = (TextView)findViewById(R.id.xID);
        y = (TextView)findViewById(R.id.yID);
        z = (TextView)findViewById(R.id.zID);
        this.setRequestedOrientation(ActivityInfo.SCREEN_ORIENTATION_PORTRAIT);
    }

    protected void onResume()
    {
        super.onResume();
        SensorManager sm = (SensorManager) getSystemService(SENSOR_SERVICE);
        List<Sensor> sensors = sm.getSensorList(Sensor.TYPE_ACCELEROMETER);
        if (sensors.size() > 0)
        {
            sm.registerListener(this, sensors.get(0), SensorManager.SENSOR_DELAY_GAME);
        }
    }

    protected void onPause()
    {
        SensorManager mSensorManager=(SensorManager) getSystemService(SENSOR_SERVICE);
        mSensorManager.unregisterListener(this, mAccelerometer);
        super.onPause();
    }

    protected void onStop()
    {
        SensorManager mSensorManager=(SensorManager) getSystemService(SENSOR_SERVICE);
        mSensorManager.unregisterListener(this, mAccelerometer);
        super.onStop();
    }

    @Override
    public void onSensorChanged(SensorEvent event) {
        this.x.setText("X = "+event.values[SensorManager.DATA_X]);
        this.y.setText("Y = "+event.values[SensorManager.DATA_Y]);
        this.z.setText("Z = "+event.values[SensorManager.DATA_Z]);
    }

    @Override
    public void onAccuracyChanged(Sensor sensor, int accuracy) {
    }
}

package com.magnetometro;

import java.util.List;

```

```

import android.app.Activity;
import android.content.pm.ActivityInfo;
import android.hardware.Sensor;
import android.hardware.SensorEvent;
import android.hardware.SensorEventListener;
import android.hardware.SensorManager;
import android.os.Bundle;
import android.widget.TextView;

public class magnetometro Activity extends Activity implements SensorEventListener{

    TextView x,y,z;
    private Sensor magnetómetro;
    @Override
    public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.main);
        x = (TextView)findViewById(R.id.xID);
        y = (TextView)findViewById(R.id.yID);
        z = (TextView)findViewById(R.id.zID);
        this.setRequestedOrientation(ActivityInfo.SCREEN_ORIENTATION_PORTRAIT);
    }

    protected void onResume()
    {
        super.onResume();
        SensorManager sm = (SensorManager) getSystemService(SENSOR_SERVICE);
        List<Sensor> sensors = sm.getSensorList(Sensor.TYPE_MAGNETOMETRO);
        if (sensors.size() > 0)
        {
            sm.registerListener(this, sensors.get(0), SensorManager.SENSOR_DELAY_GAME);
        }
    }
    protected void onPause()
    {
        SensorManager mSensorManager=(SensorManager) getSystemService(SENSOR_SERVICE);
        mSensorManager.unregisterListener(this, mAccelerometer);
        super.onPause();
    }
    protected void onStop()
    {
        SensorManager mSensorManager=(SensorManager) getSystemService(SENSOR_SERVICE);
        mSensorManager.unregisterListener(this, mAccelerometer);
        super.onStop();
    }

    @Override
    public void onSensorChanged(SensorEvent event) {
        this.x.setText("X = "+event.values[SensorManager.DATA_X]);
        this.y.setText("Y = "+event.values[SensorManager.DATA_Y]);
        this.z.setText("Z = "+event.values[SensorManager.DATA_Z]);
    }

    @Override
    public void onAccuracyChanged(Sensor sensor, int accuracy) {
    }
}

```