

Prototipo Software de un Sistema de Posicionamiento en Interiores para Dispositivos Móviles

David A. Castro*

Fecha de recibido: 01/08/2015 Fecha de aprobación: 25/09/2015

Resumen

Este documento describe el proceso de desarrollo que se llevó a cabo para implementar un prototipo de un sistema de posicionamiento en interiores para dispositivos móviles, con el sistema operativo Android, aplicado a algunos edificios del campus principal de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Usando la tecnología propuesta por la compañía IndoorAtlas, que fue fundada en 2012 como un spin-off de la Universidad de Oulu, Finlandia. IndoorAtlas es la primera empresa del mundo en utilizar anomalías magnéticas dentro de los edificios y teléfonos inteligentes para localizar en lugares interiores. Adicionalmente muestra un resumen del estado del arte de los sistemas de posicionamiento en interiores y una caracterización de las APIs de posicionamiento en interiores para dispositivos móviles dispuestas en Internet.

Palabras clave: *Dispositivos móviles, Android, Interiores, IndoorAtlas, API.*

Abstract

This document describes the process to develop a prototype of an indoor positioning system for mobile devices, with operative system Android, applied to some buildings at Universidad Autónoma de Bucaramanga. Using the technology propped by the company IndoorAtlas, this company was founded in 2012 as a spin-off from the University of Oulu, Finland. IndoorAtlas is the world's first company to use magnetic anomalies inside buildings and smartphones to pinpoint indoor locations. Additionally shows a summary of state of the art indoor positioning systems and a characterization of the indoor positioning APIs for mobile devices disposed on the Internet.

Keywords: *Smartphones, Android, Indoor, IndoorAtlas, API.*

* Universidad Autónoma de Bucaramanga, Maestría en Gestión, Aplicación y Desarrollo de Software. Avenida 42 No. 48 – 11, Bucaramanga - Colombia. E-mail: david.castroruiz@gmail.com.

‡ Se concede autorización para copiar gratuitamente parte o todo el material publicado en la *Revista Colombiana de Computación* siempre y cuando las copias no sean usadas para fines comerciales, y que se especifique que la copia se realiza con el consentimiento de la *Revista Colombiana de Computación*.

1. Introducción

La evolución constante de los smartphones (dispositivos móviles inteligentes), ha llevado al desarrollo de un gran número de aplicaciones para estos dispositivos. Estas aplicaciones han transformado los smartphones en dispositivos multifunción que, además de llamadas telefónicas, permiten enviar correos electrónicos, ver páginas web, ver videos, escuchar música, localizarse sobre un mapa, etc. La inclusión de los GPS en estos dispositivos ha hecho muy populares las aplicaciones que los utilizan, ya que una multitud de aplicaciones usan la ubicación del usuario para ofrecerle información de su entorno (Servicios basados en localización o location based Services LBS). Pero la problemática de estas aplicaciones aparece cuando el dispositivo no dispone de cobertura GPS para localizar al usuario. Este caso es bastante común y afecta a espacios en interiores (indoor), a los denominados cañones urbanos e incluso a zonas abiertas montañosas, donde no hay cobertura GPS. En espacios interiores, las paredes de los edificios atenúan y dispersan la señal del GPS, lo que aumenta el error de medición hasta el punto de ser inservible para ubicar al usuario.

Por otro lado, además de posicionar al usuario, estos sistemas necesitan localizarlo, para lo que es necesaria una cartografía de base (Planos interiores de las edificaciones). Sin embargo, en la mayoría de casos, aunque el sistema pudiera posicionar al usuario en el interior de un edificio, no se dispone del plano del mismo para poder localizarlo.

Debido a esta problemática las aplicaciones para smartphones basadas en localización, no permiten ubicar al usuario en espacios interiores (indoor) y se vuelven parcialmente inútiles. Por lo tanto, es necesario desarrollar sistemas de posicionamiento específicos capaces de ubicar a una persona cuando el GPS no está disponible. También es necesario que el sistema de posicionamiento se pueda implementar en los smartphones actuales y sea fácil y rápido de usar para los usuarios. Y finalmente, será necesario complementar estas acciones con la información necesaria para localizar al usuario.

Esto ha sido resuelto de diferentes maneras, a través del tiempo las tecnologías y técnicas usadas para ubicar a un usuario al interior de un edificio han evolucionado bastante, en un inicio los sistemas de posicionamiento en interiores emplearon marcadores específicos (Códigos QR principalmente) en diferentes ubicaciones de los edificios; después aparecieron los sistemas inalámbricos, que precisan de una infraestructura montada en el edificio y de sensores específicos; y finalmente, hoy en día, con la incorporación a los smartphones de sensores inerciales (acelerómetro, giroscopio y brújula), se están empezando a estudiar los sistemas de navegación inercial, los cuales no necesitan referencias externas ni obtención de datos previos para

conocer el movimiento del usuario. Adicionalmente a estas tecnologías hace unos meses se presentó un estudio dirigido por el Ph.D Janne Haverin¹ el cual usa el valor del campo magnético para conocer la localización del usuario, el cual dio como resultado la creación de la empresa IndoorAtlas y su SDK de posicionamiento en interiores.

Este artículo describe la implementación de un prototipo de un sistema de posicionamiento en interiores para el sistema operativo Android, usando la última de las tecnologías mencionadas anteriormente.

2. Estado del Arte de los Sistemas de Posicionamiento en Interiores

Actualmente existen muchos tipos de sistemas de posicionamiento en interiores, estos sistemas pueden variar según el tipo de diseño, tales como la tecnología física que los sustenta, la localización individual, la precisión que se pueda tener y métodos matemáticos de estimación.

A continuación se presentan los sistemas de posicionamiento en interiores existentes al día de hoy:

2.1 Marcadores Fijos

El primer sistema que apareció para la localización indoor, fueron los marcadores fijos en distintas partes del edificio. Este sistema consiste en distribuir en ciertos puntos marcadores reconocibles por un dispositivo específico. Un ejemplo de marcador sería un código QR, reconocible por la cámara de un smartphone.

Algunos de los marcadores más relevantes que existen al día de hoy:

- Código QR: Un código QR (Quick Response Barcode) es un sistema para almacenar información en una matriz de puntos o un código de barras bidimensional creado por la compañía japonesa Denso-Wave en 1994; se caracteriza por los tres cuadrados que se encuentran en las esquinas y que permiten detectar la posición del código al lector. Tiene como ventaja que estos códigos son gratuitos y existen aplicaciones en las que el usuario puede crear su propio QR.
- Código BIDI: Los códigos BIDI son una particularidad de la compañía Movistar creado en el 2008, La aplicación Bidi de Movistar no permite usar el modo marco de la cámara en los móviles por lo que en muchos

¹ Janne Haverin tiene un doctorado en Ingeniería Informática de la Universidad de Oulu en Finlandia, es director ejecutivo (CEO) y fundador de IndoorAtlas compañía lanzada en 2012 junto con su equipo de investigadores, como un spin off de la Universidad de Oulu, Finlandia. En la actualidad el Ph. D Haverin tiene varias patentes concedidas a su nombre en los campos de la navegación interior y los servicios basados en la localización.

casos el sistema no reconocido el código de error. A diferencia de los códigos QR, los BIDI no son gratuitos, el usuario tendrá que pagar por ello, ya que presta algún servicio especial creado por la compañía.

- **Marcas visibles:** Consiste en la utilización de marcas visibles en las paredes que puedan ser detectadas mediante una cámara y reconocidas por un sistema de visión. Cada marca equivale a una posición específica almacenada en una base de datos.

2.2 Sistemas Inalámbricos

Los sistemas inalámbricos usan ondas electromagnéticas para obtener la localización del usuario. Se envían señales entre sensores estáticos (emisores) y el objeto a ser localizado (receptor). La posición del receptor se determina con respecto a los emisores, ya que la posición de los emisores es conocida de antemano. Por lo tanto, son necesarias dos herramientas diferentes para usar estos sistemas:

1. Un receptor de señal inalámbrica ubicado en el objeto en movimiento.
2. Sensores estáticos instalados en diferentes partes del edificio.

Dependiendo de la frecuencia de las ondas electromagnéticas, estas tecnologías se clasifican en: infrarrojos, radio frecuencia (Radio Frequency IDentification-RFID, Wi-fi, Bluetooth, Ultrawideband-UWB), y ultrasonidos.

Vale la pena mencionar la existencia de algunos sistemas híbridos que integran tecnologías como WiFi y Bluetooth [1] y que consiguen una mejor precisión de posicionamiento mediante la explotación de las diferentes capacidades de las diferentes tecnologías. Así como desarrollos de sistemas de posicionamiento con dispositivos ZigBee [2] y proyectos que aplican tecnologías como WiFi para el desarrollo de sistemas de ubicación Indoor para dispositivos móviles con sistema operativo Android [3].

2.3 Sistemas de Navegación Inercial

Los sistemas de navegación inercial (INS) surgen para evitar la dependencia de la infraestructura y de los sensores específicos que tienen los sistemas de posicionamiento con tecnologías inalámbricas. Los INS usan sensores inerciales como acelerómetros, giroscopios y brújulas para determinar la distancia recorrida y la orientación de movimiento del objeto y así obtener el movimiento del usuario.

2.4 Campo Magnético

Además de los sistemas de posicionamiento basados en tecnologías inalámbricas y los INS, recientemente apareció un estudio de la

Universidad de Oulu, en Finlandia, (IndoorAtlas [4]) que usa el valor del campo magnético para conocer la localización del usuario, de la misma forma que lo hacen algunas especies de aves y animales migratorios los cuales son capaces de orientarse en largas distancias gracias a su sensibilidad a los campos magnéticos de la tierra. El estudio propone usar la brújula de los smartphones para medir el módulo del campo magnético de una zona en particular.

El proceso consiste en:

1. Hacer un mapeo de la zona, midiendo el valor del campo magnético en diferentes puntos.
2. Una vez mapeada la zona con los valores del campo, cuando el usuario se mueve por la zona se comparan los valores del campo magnético que obtiene el smartphone con los valores almacenados del mapeo y se puede saber la localización del usuario, ya que teóricamente el valor del campo magnético es constante en cada punto.

2.5 Comparación de Tecnologías de Posicionamiento en Interiores

Tecnologías de posicionamiento	Ventajas	Desventajas
Marcadores fijos	Son sencillos y baratos de implantar Al ser marcas localizadas se consigue gran precisión	No son sistemas de localización Precisan de la acción del usuario para localizarle, ya que, es él quién decide cuándo leer determinado código
Sistemas inalámbricos	Fáciles de implementar, ya que algunos establecimientos ya tienen implantadas redes de este tipo en las mismas Usan tecnología presente en los Smartphones	Necesitan una infraestructura previa No cubren todas las zonas [5]
Sistemas de navegación inercial	Usan solo tecnología en el Smartphone Paso continuo de outdoor a indoor	Necesidad de hardware de gran precisión [6] Insuficiente como único método de localización Error acumulativo
Campo Magnético	Usa únicamente tecnología presente en el Smartphone No necesita infraestructura de sensores en el edificio, aunque precisa de una toma de datos previa antes de posicionar al usuario	Aparatos electrónicos afectan al campo local No sirven para interiores en movimiento, por ejemplo, un crucero

Tabla 1. Comparación de tecnologías de posicionamiento en interiores.

API	Tecnologías de Posicionamiento	Disponible en Android	Disponible en iOS	Documentación API	Ejemplos del Uso de la API	Redes Sociales Activas	Idioma	Pago	Precisión	Nota
Insiteo	Sistemas Inalámbricos	Si Android 4.3 +	Si iPhone 4s +	Si	Si	Si	Inglés	Si	<2m	-
Lookar	Sistemas de Navegación Inercial Sistemas Inalámbricos	Si	No	Si	Si	No	Español	No	-	Uso Libre
IndoorAtlas	Campo Magnético	Si Android 4.4+	Si iOS 7.0 +	Si	Si	Si	Inglés	No	0.1m - 2m	Uso Libre
Aisle411	Sistemas Inalámbricos WiFi, Bluetooth	Si	Si	Si	No	Si	Inglés	No	-	-
Lighthouse Signal	Sistemas Inalámbricos WiFi	Si	Si	No	No	No	Inglés	No	5-7m	Uso previa inscripción
Walkbase	Sistemas Inalámbricos WiFi	Si Android 2.1+	No	Si	Si	Si	Inglés	No	10-50m	Uso privado
SenionLab	Sistemas Inalámbricos WiFi	Si	Si	No	No	No	Inglés	No	-	Uso privado
Infsoft	Sistemas Inalámbricos WiFi	Si	Si	Si	-	-	Inglés	Si 99 Euros	-	-
WiFiSLAM	Sistemas Inalámbricos WiFi	-	-	-	-	-	-	-	2,5m	Adquirido por Apple en el 2013

Tabla 2. Caracterización de las librerías de posicionamiento en interiores para dispositivos móviles.

3. Caracterización de las Librerías de Posicionamiento en Interiores para Dispositivos Móviles

Como se puede observar en la Tabla 2 se muestran nueve librerías de posicionamiento en interiores que se encuentran disponibles en el mercado. En esta se puede ver como la tecnología de posicionamiento más utilizada, son los sistemas inalámbricos y como el idioma más frecuente es el inglés.

Hay que precisar que algunos espacios se encuentran sin información en la tabla debido a que no se encontró en sus fuentes oficiales.

Para llevar a cabo la elección de la librería a utilizar en el proyecto, se tuvo en cuenta el siguiente orden para elegir la más apropiada. Primero, se evaluaron la disponibilidad del API en el sistema operativo Android y que el mismo fuera de uso libre y sin realizar ningún pago, esto dejó como resultado la exclusión de las API: Insiteo e Infsoft, por ser de pago y Walkbase y SenionLab y WiFiSLAM por ser de uso privado.

En segunda instancia se evaluó la precisión y una comunidad actividad en redes sociales, hay que mencionar que algunas API fueron abandonadas por sus desarrolladores desde hace algunos años, esto dejó como resultado la eliminación de las API: Lookar, Aisle411 y Lighthouse Signal.

Dejando como única opción el API de IndoorAtlas, el cual ofrece la mejor precisión de todas las API comparadas. Adicionando características como que es de uso libre y gratuito, que toda su documentación está completa, con ejemplos de su uso y que sus redes sociales se encuentran activas en la actualidad.

Ofreciendo a los desarrolladores una tecnología de posicionamiento en interiores nueva e innovadora que depende exclusivamente de la tecnología presente en el Smartphone y que competitivamente no presenta desventajas significativas ante las otras.

4. Metodología

Después de conocer y comparar las tecnologías de posicionamiento en interiores, se escogió la tecnología propuesta por la compañía IndoorAtlas que usa el valor del campo magnético para localizar al usuario en el interior de determinado edificio.

Como paso previo al desarrollo del prototipo software se procedió a comprobar el funcionamiento de las aplicaciones que IndoorAtlas ofrece para subir los planos interiores de los edificios y para mapear las diferentes zonas, estas aplicaciones una web y una móvil respectivamente, fueron utilizadas en el Edificio D de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, con buenos resultados iniciales.

Luego de la prueba preliminar se realizó una búsqueda de las tecnologías que podrían ser útiles en la creación del prototipo software, esta exploración trajo como resultado la elección del framework libGDX, el cual sirve para el desarrollo de videojuegos multiplataforma, el cual se usó para realizar la interfaz gráfica que contenía el plano y el sprite que sirve como indicador del dispositivo (o el usuario), además de la programación de los diferentes gestos que el usuario puede hacer sobre el dispositivo móvil. Adicionalmente se usaría también el programa Tiled Map Editor, que es un editor de mapas tipo baldosas de propósito general, con el cual se realizaron los planos interiores de los edificios.

Para la realización del prototipo software se aplicó la metodología programación extrema (eXtreme Programmin XP [7]) que es una metodología ágil que maneja un diseño incremental durante el desarrollo. Esta metodología se escogió debido a la comunicación continua que se

mantiene entre el cliente y los desarrolladores y por la constante elaboración de pruebas que se realizan por cada iteración, pues de esta manera se mantiene un código claro y sencillo.

Siguiendo esta metodología se comenzó con la fase de exploración que dio como resultado las especificaciones del prototipo software, que se desglosaron en tres historias de usuario. Realizada la valoración de las historias de usuario, se estimó el número de iteraciones necesarias para el desarrollo del prototipo y la cantidad de historias a ejecutar en cada iteración.

No Iteración	Cantidad de Historias	Historia de usuario	Prioridad
1	1	Diseñar una aplicación que permita el posicionamiento en interiores	Alta
2	1	Resaltar los lugares hacia donde quiera dirigirse el usuario	Media
3	1	Elaborar una interfaz para posicionamiento en exteriores	Baja

Tabla 3. Especificación del número de iteraciones.

Estas historias de usuario se descompusieron en tareas como lo indica la metodología de programación extrema.

En la primera iteración se realizaron cinco tareas de programación y configuración. La primera de ellas consistió en una configuración inicial en la que primero se realizó la adquisición de los planos interiores de los edificios donde sería ejecutada la aplicación. Los edificios elegidos para tal fin fueron: El L, el D y el N; edificaciones seleccionadas por su gran flujo diario.

Para la obtención de los planos interiores se procedió a tomar una fotografía del plano de evacuación que existe en cada piso de los respectivos edificios.

Las fotografías tomadas a los planos fueron:

- Edificio D – Piso 1 y 2.
- Edificio L – Piso 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.
- Edificio N – Piso 2, 3 y 4.

El segundo paso realizado en el proceso de configuración inicial, fue subir los planos obtenidos al servidor IndoorAtlas mediante su aplicación web.

Finalmente para terminar este proceso se establecieron unas rutas para cada piso de cada edificio, las cuales fueron recorridas después con ayuda de la aplicación que IndoorAtlas tiene para tal fin, con el objetivo de obtener la información necesaria para el API.

Después del proceso inicial de configuración, se crearon los mapas ortogonales de los planos interiores de cada edificio, para la cual se usó el programa Tiled Map Editor. La configuración para cada mapa fue la siguiente.

Orientación	Ortogonal
Formato de Capa	Base64 (con comprensión zlib)
Tamaño del Mapa	Ancho: Varía según la imagen Alto: 1024 pixeles
Tamaño de la baldosa o patrón	Ancho: 32 pixeles Alto: 32 pixeles

Tabla 4. Configuración para los mapas ortogonales en Tiled Map Editor.

Las siguientes tareas de programación consistieron en codificar los métodos para controlar la interacción entre el usuario y el plano, y para codificar la interfaz del plano.

Finalmente se codificaron las clases necesarias para tomar los datos provenientes del API de IndoorAtlas y usarlos para la representación y la navegación del usuario en un edificio escogido. La interfaz obtenida fue la siguiente:



Fig. 1. Interfaz del plano interior.

En la segunda iteración se realizó una sola tarea, que consistió en realizar un sistema de búsqueda de sitios (Salones u oficinas) hacia donde el usuario querrá dirigirse, resaltando en el plano el lugar escogido. Para este proceso se realizó una caja de búsqueda en la parte superior de la aplicación que tiene el siguiente aspecto.

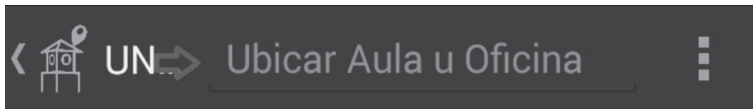


Fig. 2. Caja de búsqueda.

Y en la tercera iteración se ejecutó una sola tarea. La cual consistió en la elaboración de una interfaz para el posicionamiento en exteriores, que se usaría como entrada principal al usuario, llevándole por una experiencia más amigable e intuitiva, presentándole primero una interfaz exterior que lo guíe por los espacios abiertos de la Universidad Autónoma de Bucaramanga para luego llevarlo a la navegación en interiores. El posicionamiento del usuario en exteriores se realizó mediante GPS y adicionalmente se sobrepuso el mapa exterior de la Universidad usando tecnología de Google Maps para tal fin. El resultado se muestra en la siguiente figura:



Fig. 3. Interfaz para posicionamiento en exteriores.

5. Resultados

El resultado de esta investigación deja la base fundamental para la realización de futuros proyectos que investiguen el tema tratado.

En la parte teórica se realizó una caracterización de las librerías de posicionamiento en interiores para dispositivos móviles existentes a la fecha. En el cuadro comparativo de tecnologías y API se puede observar como en el mercado existe una cantidad considerable de soluciones que utilizan los sistemas inalámbricos para el posicionamiento en interiores y como existen muy pocas API que tienen una documentación completa o que son completamente libres.

Hay que mencionar que la elección de IndoorAtlas como API para el desarrollo de este proyecto se debió a que además de presentar con una tecnología de posicionamiento nueva e innovadora, era la que ofrecía mayor precisión de posicionamiento del usuario al ofrecer una de entre 0.1 y 2 metros, adicionalmente contaba con una documentación completa con explicación de sus métodos y con ejemplos demostrativos, características que no cumplían el resto de tecnologías exhibidas en la caracterización. Las otras tecnologías no fueron elegidas porque no contaban con información suficiente en su documentación oficial o porque no cumplían con una precisión de ubicación como la que prometía IndoorAtlas, ya que, las únicas que lo hacían eran API de pago o que ya habían sido adquiridas por otras compañías que privatizaron su uso.

En la parte práctica IndoorAtlas y otras tecnologías ayudaron en la elaboración de un prototipo funcional que permite ubicar al usuario al interior de ciertos edificios de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, campus central. Hay que destacar que las tecnologías elegidas para la elaboración del prototipo dejan una base de programación para futuros proyectos en otros sistemas operativos, debido a que el framework libGDX permite migrar fácilmente el proyecto realizado a plataformas Windows, Linux, Mac OS X, iOS y HTML 5. Claro está cambiando ciertos detalles de configuración y de programación propias de cada plataforma.

6. Conclusiones

Después de exponer las API de posicionamiento en interiores disponibles al día de hoy, se puede observar que el uso del campo magnético además de ser una tecnología reciente e innovadora, depende exclusivamente de la tecnología presente en el Smartphone y competitivamente no presenta desventajas significativas ante las otras. También hay que anotar que esta tecnología aun no dispone de artículos o investigaciones académicas en la red que hagan uso del estudio realizado por la Universidad de Oulu en Finlandia; por consiguiente es de gran interés para el mundo científico realizar un análisis y una aplicación en ambientes reales usando la tecnología propuesta por los investigadores de la mencionada universidad, como la realizada en el actual trabajo.

En relación al prototipo realizado se puede mencionar que permite al usuario conocer su localización en los Edificios D, L y N de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, con una exactitud de entre 0.1 y 2 metros en los edificios D y N donde el usuario puede posicionarse con 90% y 95% de exactitud respectivamente.

Respecto al API de IndoorAtlas hay que realizar varias anotaciones y recomendaciones para futuras implementaciones:

- IndoorAtlas tarda entre uno y tres minutos aproximadamente en obtener el margen de error prometido de 0.1 a 2 metros y en ocasiones este no se obtiene ofreciendo uno de entre 5 a 8 metros.
- Se pudo observar que en el proceso de validación de las rutas en la aplicación de IndoorAtlas es mejor efectuarlas de manera individual y no de manera directa realizando un solo recorrido con varios giros.
- Para el API Android de IndoorAtlas es importante que el usuario camine para hallar su localización, ya que de esta manera, los datos de posicionamiento entregados desde el API son más exactos.
- La obtención previa de datos para el funcionamiento del API de IndoorAtlas es un proceso largo y repetitivo, porque se debe realizar cada recorrido tres veces: uno en modo de mapeo, otro en modo de validación y el último, en modo de comprobación.
- Entre más rutas se mapeen con la aplicación de IndoorAtlas existe mayor probabilidad que la ubicación ofrecida al usuario sea más cercana a la real, ya que, el API IndoorAtlas no aproxima la posición del usuario, si la ruta no fue mapeada con anterioridad.
- El API de IndoorAtlas necesita de una conexión a Internet constante, prefiriendo la red celular 4G sobre la WiFi, esto debido a su velocidad de transmisión. En las pruebas de funcionamiento se pudo observar que la red WiFi con la que se realizaron dichas pruebas, era inestable y lenta, por lo que la posición del usuario tenía un retardo bastante considerable. Cabe destacar que sin conexión a Internet las aplicaciones no pueden obtener los datos de posicionamiento que ofrece el API.

Referencias

- [1] Artur Baniukevic, Christian S. Jensen, Hua Lu. (2013). Hybrid Indoor Positioning With Wi-Fi and Bluetooth: Architecture and Performance, de Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Sitio web: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6569137&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6569137

- [2] Yao Zhao, Liang Dong, Jiang Wang, Bo Hu, Yuzhuo Fu. (2008). Implementing Indoor Positioning System Via ZigBee Devices, de Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Sitio web: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5074752&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5074752
- [3] Beom-Ju Shin, Kwang-Won Lee, Sun-Ho Choi, Joo-Yeon Kim, Woo Jin Lee, and Hyung Seok Kim. (2010). Indoor WiFi Positioning System for Android-based Smartphone, de Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Sitio web: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5674691>
- [4] IndoorAtlas Sitio web: <https://www.indooratlas.com/>
- [5] Deng Zhongliang, Yu Yanpei, Yuan Xie, Wan Neng, Yang Lei. (2013). Situation and Development Tendency of Indoor Positioning, de Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Sitio web: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6488829>
- [6] Anaolena Martínez. (2013). Realidad aumentada en interiores: Posicionamiento del usuario en dispositivos móviles y aplicaciones en rehabilitación y guiado (GuIAR), de Universidad Politécnica de Madrid Sitio web: <http://oa.upm.es/21608/>
- [7] KENT, Beck. Extreme Programming Explained. 2da Edición. Addison-Wesley. 2004. 175p.