

Indoor location prototype with BLE Beacons

Christian O. Benavides
Programa de Ingeniería de Sistemas
Universidad Autónoma de Colombia
Bogotá, Colombia
christian.benavides@fuac.edu.co

Edison Bermudez
Programa de Ingeniería de Sistemas
Universidad Autónoma de Colombia
Bogotá, Colombia
edison.bermudez@fuac.edu.co

Abstract—The ambitious goal of mobile technology is to provide awareness situational in order to support the common tasks of human beings. However, to achieve this goal, technologies have not matured and their first attempts are limited to human conditions (invasive applications) and environmental difficulties (not possible in closed environments).

In this context, fields of action such as highly complex environments (where the human factor can run risks) present resistance to the implementation of these tools, although, people in the system see it as necessary. On this panorama this project has the initiative of showing the implementation of a non-invasive monitoring platform for closed environments, it making use of BEACON technology and the modification of some paradigms of implementation of positioning algorithms (inverted positioning modeling). Thus, this document shows a non-invasive alternative in hardware and information security. The result concludes in the versatility of the model to be applied to monitoring processes and organizational evaluation. .

Index Terms—BLE Beacons, Indoor location, RSSI, Indoor Positioning

I. INTRODUCCIÓN

Una de las metas más ambiciosas de la tecnología es proveer contexto situacional que realimente a cada persona que la use en el entorno físico donde se encuentre. Algunos acercamientos gracias a las tecnologías móviles incluyen aplicaciones de software para ayuda como: GoogleMaps, Waze, Here, AccuWeather, que haciendo uso de GPS realimentan con posibilidades de ayuda al entorno físico de quien las usa y algunas obtienen información que realimentan a otros usuarios cercanos; estas aplicaciones comúnmente se unen a las redes sociales y con algunas aplicaciones comerciales, que usan el conocimiento colectivo para recomendar situaciones, lugares o productos que se complementan con alternativas algunas veces inteligentes y específicas a las personas que hacen uso de ellas.

Este panorama es posible gracias al crecimiento en hardware y software de las tecnologías móviles, en especial de las vestibles (celulares, relojes, manillas inteligentes, etc.) y de otras portables como las computadoras personales (laptops) y las tabletas electrónicas. Estos dispositivos de forma inteligente o asistida reportan las condiciones del entorno y en algunos casos condiciones personales (condiciones fisiológicas), alertando, recomendando o simplemente realimentando el conocimiento a otros.

Sin embargo, estas tecnologías de monitoreo aún tienen grandes retos, uno de los más importante es hacer posible

el contexto situacional¹ en entornos cerrados donde la tecnología GPS es bastante inexacta. Recientemente tratando de solucionar este problema nace la tecnología Beacon BLE, dispositivos de tecnología ubicua² que envían señales de Bluetooth de baja energía(BLE) que pueden ser procesadas por dispositivos de tecnología vestibles, los cuales pueden reportar más exactamente posicionamiento y otras condiciones de entorno (como temperatura, altitud, longitud o algunas condiciones fisiológicas) cuando reaccionan a una petición de otro dispositivo (comúnmente los dispositivos BLE están fijos en el espacio de monitoreo), esta información finalmente pueden ser procesada en una red local por el dispositivo que realizó la petición y distribuir información entre más personas. Ejemplo de esta tecnología se puede ver en centros comerciales, aeropuertos, estadios de futbol, entre otros, que están constantemente recomendando, guiando o informando las características de su entorno.

Pero este proceso tecnológico de monitoreo invasivo empieza a tener repercusiones en la privacidad de las personas y en otros casos en la seguridad de la información almacenada. Estos problemas limitan la implementación de estas tecnologías en ambientes organizacionales (principalmente en ambientes complejos) donde se podría ver beneficios y mejorar la seguridad de las personas, tal él es caso de los entonos médicos o industrias especializadas, donde el acceso a la tecnología vestible y portable para reportar información implica una alta inseguridad en los datos y una conciencia colectiva de persecución.

Entonces sobre este problema surge la pregunta *¿Qué estrategias se pueden implementar para involucrar tecnología de conciencia situacional en entornos organizacionales?*

II. PROPUESTA DE DESARROLLO

El proceso de monitoreo es una necesidad organizacional que en la mayoría de casos se lleva a cabo en entornos cerrados con unas dimensiones de espacio definidas, donde se busca saber en qué lugar están las personas para proveerles información valiosa del entorno o para obtener información

¹Contexto situacional es el nombre que se le asigna al conocimiento de una situación que es compartida por individuos, grupos y comunidades que pueden utilizar al mismo tiempo la información aportada en otros contextos o para modificar el propio

²La computación ubicua es el término que define la integración de la tecnología informática en el entorno del ser humano

de ellos que apoye al análisis del sistema para la toma de decisiones y como soporte a otros actores, por tanto, se hacen necesarias tecnologías que soporten esta tarea de forma automatizada y gestionada que evite sobrecargas de trabajo o sea intrusiva; como una solución a este problema recientemente se encuentran en el mercado dispositivos de monitoreo conocidos como Beacons BLE, dispositivos de hardware capaces de compartir inalámbricamente posicionamiento con ayuda de otros dispositivos en el entorno. Sin embargo, por sus características de baja seguridad y privacidad en implementación, las condiciones organizacionales de aceptación de la tecnología se ven limitadas, y *entonces para proponer una tecnología similar se debe validar que tiene el propósito de apoyar a mejorar el sistema y los flujos de información y que no interviene en la seguridad ni el trabajo diario de las personas.*

Es así, que surge este proyecto con la iniciativa de proponer una estrategia tecnológica para monitoreo de ambientes organizacionales (sobre el concepto de posicionamiento) ,que intente probar las ventajas de esta innovación tecnológica como apoyo al rendimiento del sistema.

Con este objetivo se presenta una estrategia de monitoreo que soportada en el estado del arte, busca invertir el proceso común de monitoreo por Beacon's es decir, cambiar la concepción de que un dispositivo móvil (por ejemplo un celular propietario de un trabajador del entorno) sea el responsable de los datos y compartirlos al momento de detectar el dispositivo fijo y físico Beacon (lo que implica inseguridad de datos y falta de privacidad ya que la información se puede transportar hacia la red internet), a crear una red independiente donde los dispositivos Beacon's de monitoreo van con las personas y solo son detectados en áreas determinadas (así como lo representa la figura 1). La detección además se puede apoyar en otros canales de entrada como fotografías o sonidos (esto depende del consentimiento informado de la empresa y sus trabajadores) del entorno que precisen tras análisis computacional otras características del sistema.

Los resultados producto del procesamiento en tiempo real o pos procesamiento de la información según sea la tecnología, puede generar estrategias que aporten a la conciencia situacional de las personas inmediatamente o para re-organizar el ambiente tecnológico sobre un posterior análisis y toma de decisiones.

III. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años brindar contexto situacional en un espacio cerrado ha sido un área de investigación muy dinámica, se han propuesto diferentes métodos para: posicionamiento [23] [10], servicios de navegación [12][7] y para compartir datos del entorno [15]. Un gran número de estas tecnologías se centra en aplicación de WiFi, ZigBee [18][6], Bluetooth, sistemas de navegación inercial[13] [1], sistemas de escaneo por láser[20], radiofrecuencia(RF) entre otras ,que acompañadas por sensores autónomos [3] como: giroscopios, acelerómetros, magnetómetros, sensores de temperatura o la cámara web [17] logran un esquema de navegación con información extra del ambiente en entornos cerrados. Estas tecnologías se apartan de

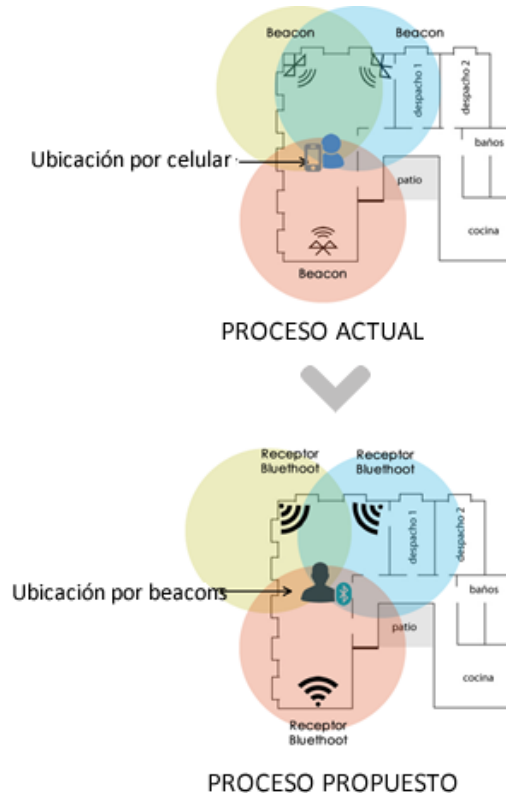


Figura 1. Propuesta de desarrollo

otras populares como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que no es adecuado para estos lugares por su inexactitud [24], además estas tecnologías suelen ser costosas y de una alta dependencia en configuración.

Debido a esta problemática se han vuelto populares las tecnologías para contexto situacional basadas RSSI (Received Signal Strength Indicator) especialmente las desarrolladas con tecnología Bluetooth de baja energía (BLE), esto por su simplicidad de uso, manejo de datos y costo. El Bluetooth Special Interest Group predice que para el 2018 más del 90 % de los teléfonos y dispositivos inteligentes tendrán capacidad de Bluetooth y en especial de Bluetooth inteligente [5], lo que ha impulsado además el alza en la investigación y uso de estas tecnologías, sin embargo, problemas relacionados con la precisión, la complejidad computacional y la facilidad de implementación siguen siendo un desafío al utilizar estos medios existentes [13].

Aplicaciones para Bluetooth de baja energía se han propuesto en varias áreas del conocimiento y en entornos físicos, por ejemplo: en casas inteligentes en donde una ?persona mayor? puede ser localizada y monitoreada en sus signos vitales [21][19], en ambientes hospitalarios para el proceso de difusión de los datos relevantes para los pacientes o visitantes y el personal médicos [9], en la agricultura como medio para determinar condiciones adversas del terreno en diferentes épocas del año[8], en la minería como una alternativa de posicionamiento subterráneo [11], en el transporte público,

proporcionando a los usuarios información útil de la ubicación actual de autobuses, la hora de llegada y el tiempo estimado del recorrido [2], en sistemas de localización y navegación en aeropuertos [14] o estadios de fútbol y en entornos comerciales como tiendas de ropa o de víveres donde es posible descubrir fácilmente promociones ó de manera selectiva ciertos de productos de gusto personal[16].

De esta forma con el avance y aplicación de estas tecnologías inalámbricas se abren nuevos campos de investigación, los conjuntos de datos más grandes y complejos empiezan a describir la realidad de las interacciones humanas en el espacio físico, y entonces el análisis de estas redes sociales soportadas en la minería de datos se hace importante para describir el funcionamiento de los sistemas humanos[22] y se convierte el puente que une el análisis y los procesos de descubrimiento en la interacción social.

IV. BLUETOOTH DE BAJA ENERGÍA

Es un estándar de comunicación entre aparatos inalámbricos desarrollado por Bluetooth Special Interest Group (SIG), definido para sensores, actuadores y otros dispositivos que tengan bajo consumo de energía. Las características más importantes son:

- No tienen problema cuando existe gran cantidad de nodos.
- Robustez similar con el Bluetooth clásico.
- Soporte con smartphones y tablets.

El funcionamiento de un dispositivo BLE se especifica por medio de una pila de protocolos que se divide en dos partes: controlador (dispositivo físico que permite transmitir y recibir señales de radio e interpretarlas como paquetes de información) y host (Administra cómo dos o más dispositivos se comunican entre ellos) donde cada una de ellas especifica diferentes capas que proveen la funcionalidad de operación [4]. Esta configuración hace posible la forma de comunicación que se especifica por la topología de red, que es la forma como el dispositivo BLE se comunica con el mundo exterior, lo que se logra mediante dos maneras:

La topología de transmisión (figura 2): Es una transmisión unidireccional y tiene los siguientes roles:

- Rol de Transmisor: Envía paquetes periódicamente a quien lo pueda recibir.
- Rol de Observador: Escanea las frecuencias presentes para recibir datos.

La topología de conexión(figura 2): Es una transmisión bidireccional, que presenta los siguientes roles.

- Rol de Maestro (Central): Escanea las frecuencias presentes y cuando es apropiado inicia una conexión. Una vez establecida la conexión este maneja un timing e inicia el intercambio de datos.
- Rol de Esclavo (Periférico): Envía paquetes de conexión y acepta conexiones entrantes, el esclavo sigue un timing del maestro e intercambia datos con este.

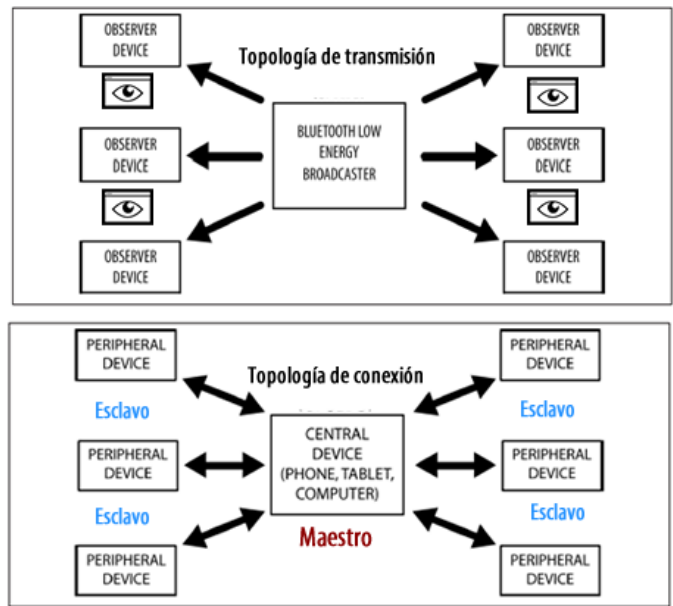


Figura 2. Topologías de comunicación

IV-A. RSSI

RSSI es una escala que representa el nivel de potencia de una señal de un dispositivo inalámbrico, su valor está íntimamente relacionado con información de proximidad, que, para el caso de un dispositivo BLE, esta información es procesada por otro dispositivo que observa la conexión (por ejemplo un teléfono inteligente) y sobre ella genera notificaciones. Las notificaciones del dispositivo varían de acuerdo a la información enviada adicional en la señal. Según el estándar 802.11 la exactitud absoluta de lectura de RSSI no es especificada.

Con esta tecnología entre algunos dispositivos en el mercado están:

- *Estimote Beacon*: Desarrollados por la empresa Estimote, cuenta con un SDK que permite obtener distancias según su propio modelo de pérdida de señal. La fórmula para el cálculo no es pública y no se puede adaptar a diferentes ambientes de espacios cerrados. Tienen un costo elevado.
- *Gimbal Proximity Beacon*: Son beacons BLE fabricados por la empresa Gimbal que soportan el estándar BLE y el estándar iBeacon. Tienen su propio SDK gestionado en la plataforma Gimbal Manager. No poseen un método propio de cálculo de distancias. Son económicos.

IV-B. RSSI y la Distancia

Dada la especificación RSSI según la 802.1, no existe una ecuación general para el cálculo de las distancias. Pero sí existen modelos determinísticos que ayudan a transformar RSSI en distancia, por ejemplo a partir de la **Atenuación por espacio libre**, uno de los modelos más conocidos; este modelo apoyado en el RSSI sigue una pérdida normal de señal distribuida sobre su distancia. Su formulación se observa a continuación.

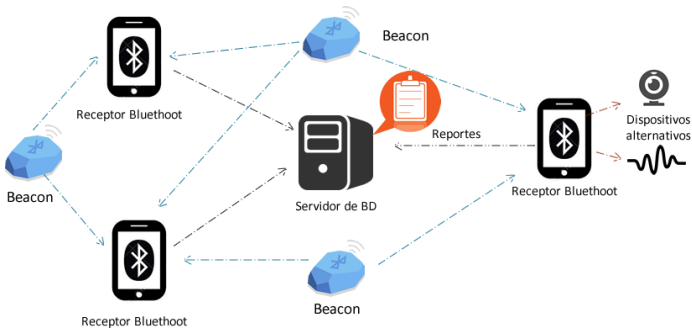


Figura 3. Arquitectura general

$$RSSI = RSSI_0 - 10 * n * \log_{10} \left(\frac{d}{\log_{10}} \right) - Xg$$

En donde, n se define como una constante de pérdidas de propagación relacionada con el ambiente, Xg como el ruido que se puede omitir con gran cantidad de información y $RSSI_0$ es el RSSI a la distancia de un metro. La atenuación de la señal en el espacio libre puede ser afectada por reflexión, refracción, difracción, scattering, multitrayecto, orientación relativa entre emisor/receptor.

V. ARQUITECTURA DE IMPLEMENTACIÓN

Para construir una arquitectura de hardware y software que soporte las necesidades de esta propuesta es importante resaltar el objetivo principal que ha sido definido: *desarrollar un ambiente software de captura y procesamiento de información que apoye a la consecución de conciencia situacional, con el uso de una arquitectura de Beacon's*. Cabe anotar que lo importante de la propuesta no es el análisis final de la información, si no capturar información del entorno a partir de la ubicación de los actores en el sistema. Se espera que la información capturada, tras un procesamiento previo que permita su visualización, complemente el análisis realizado por un experto para la obtención de conclusiones, con el fin de mejorar la conciencia situacional, por ejemplo, en lugares de alta afluencia se podría integrar dispositivos de seguimiento o de gestión de alarmas.

Entonces, para la implementación se han definido de 3 componentes: la detección de ubicación, la captura de condiciones del entorno y el procesamiento de la información, las cuales se pueden describir bajo las siguientes características (figura 3):

- El uso de la tecnología Beacon y una arquitectura inversa de monitoreo, se presenta por las ventajas no punitivas, de privacidad y portabilidad de los dispositivos. Por lo tanto, el uso inicial de los dispositivos debe estar diseñado para registrar no más allá de valores RSSI³ o de intensidad de señal (Bluetooth), que es una herramienta ideal para

³RSSI (Receive Signal Strength Indication), es el Indicador de fuerza de señal de recepción. El término se usa para medir el nivel de potencia de las señales recibidas en las redes inalámbricas. Por procesos estadísticos esta información puede ser convertida en distancias a los dispositivos

un proceso de monitoreo anónima sobre la distancia (su uso igualmente requiere del consentimiento informado del evaluado).

- El **procesamiento** de la información inicia con el registro de los RSSI como soporte posterior para definir las posiciones físicas del espacio. Para lograr este proceso es necesario contar con al menos tres valores de RSSI de un mismo dispositivo en un instante de tiempo, esto debido a que la información RSSI sólo puede ser convertida a una distancia entre un emisor y un posible receptor, pero si se cuenta con tres datos del mismo dispositivo en un mismo periodo de tiempo, es posible usar métodos de triangulación o trilateración⁴ para posicionar un dispositivo.
- La intención de captura de datos, en un proceso de captura inversa como se menciono anteriormente, se debe realizar por dispositivos móviles; para este caso se propone el uso de celulares inteligentes (smartphones), debido a: (1) facilidad de ubicación en el espacio físico, (2) soporte en un sistema operativo para el desarrollo de aplicaciones, (3) capacidades de procesamiento y (4) se puede aprovechar otros dispositivos de entradas para registrar condiciones alternativas del ambiente, por ejemplo, con valores pequeños de RSSI para activar la cámara web.
- Las capturas de datos necesitan de un soporte remoto para ser almacenadas y procesadas, ya que los dispositivos móviles tienen baja capacidad de procesamiento, por ejemplo el proceso de conversión de RSSI, por tanto, la información deberá ser entregada a un servicio remoto de base de datos, y consultada por un servidor local, del cual se puede aprovechar para procesar otros servicios que apoyen a la calidad del proceso y reportes de la información.

V-A. Requerimientos del prototipo

De acuerdo a las tecnologías de localización y teniendo en cuenta que se busca realizar un prototipo funcional para localización de beacons BLE, se especifican los siguientes requerimientos para su desarrollo:

- **Marco de referencia:** Espacios cerrados.
- **Objeto de referencia:** Beacon BLE para este caso Gimbal Proximity Beacon que son detectados por dispositivos inteligentes (figura 4).
- **Contexto visual:** Debido a su fácil comprensión se utiliza un mapa de calor como resultado del desplazamiento de los beacons BLE en su marco de referencia. Por ejemplo, la Figura 4B es el resultado de los desplazamientos de la Figura 4A. En síntesis, el prototipo es el resultado de la construcción de un mapa de calor a partir de la información recibida por los dispositivos inteligentes, que a su vez funcionan como observadores de dispositivos beacons BLE (Gimbal Proximity Beacons)

⁴La trilateración es un método para obtener las coordenadas de un punto que se ignora su posición a partir de la medición de distancias a puntos de coordenadas conocidas a priori.

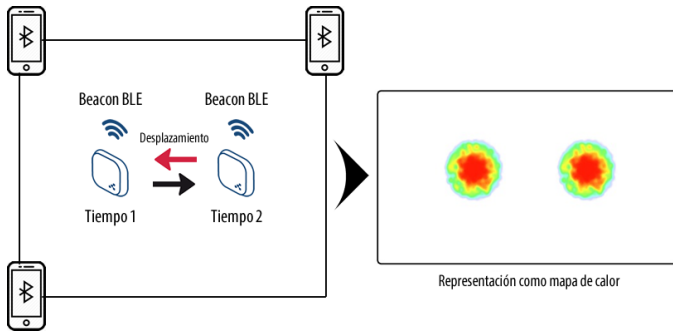


Figura 4. Propuesta de solución, Figura 4A Beacon en movimiento/izquierda. Figura 4B Mapa de calor resultado de la localización/derecha

- **Interoperatividad:** El modelo de comunicación entre aplicaciones será un API web.

V-B. Configuración de Hardware

La implementación consiste en una configuración de al menos 5 dispositivos de hardware distribuidos así: (1) uno o un conjunto de dispositivos Beacon's⁵, que sea(n) fuente de datos RSSI para calcular la distancia entre él (ellos) y un dispositivo receptor, (2) 3 dispositivos móviles⁶ (smartphones) que son los encargados de recibir la información proveniente de los dispositivos Beacon (capturan información RSSI por habilitación de Bluetooth BLE), y (3) una base de datos, que centraliza la información proveniente de los dispositivos móviles, y (4) un equipo de cómputo que consulte y efectúa el análisis de información, por ejemplo el proceso trilateración para obtener la ubicación en el espacio físico. Además este equipo de cómputo funciona como director en el inicio y finalización de los servicios en los dispositivos receptores.

V-C. Arquitectura de comunicación

Para el cálculo de las distancias se necesita de dos fases: almacenar la información por periodos de tiempo por cada dispositivo para después relacionarla, procesarla y analizarla. Sin embargo, esto requiere de alta capacidad en memoria y procesamiento, por ende el prototipo necesitará de un servicio que permitan analizar y visualizar los resultados, en lo posible, en tiempo real. Por este motivo y buscando el modularidad del prototipo se define como estrategia de comunicación entre los datos de los dispositivos un API Web; para este desarrollo se utiliza la arquitectura proporcionada por AWS (Amazon Web Services) definida en los siguientes componentes:

- **Gateway API:** Es un servicio que permite administrar RESTful APIs.
- **Lambda:** Es un servicio que permite ejecutar código, usando la infraestructura AWS.
- **DynamoDB:** Base de datos NoSQL.
- **AWS API Rest:** Es un endpoint desarrollado con Amazon Web Services (AWS). Básicamente, es un API Rest

⁵Para la aplicación se propone el uso de dispositivos Gimbal Beacon serie 10 <https://store.gimbal.com/collections/Beacons/products/s10>

⁶Dispositivo Android con SO 4.4, RAM de 1 GB y almacenamiento de 4 GB

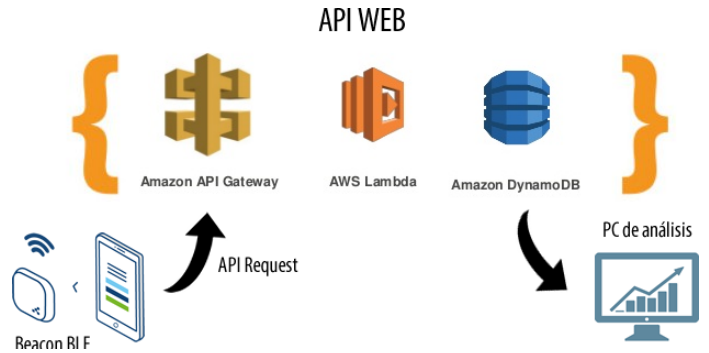


Figura 5. API Web y comunicación

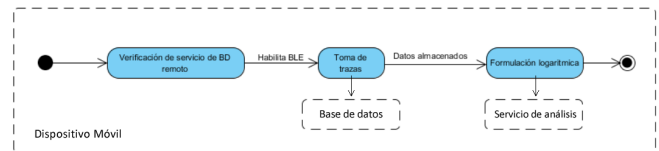


Figura 6. Proceso de configuración

encapsulado entre servicios AWS como lo son Gateway API, Lambda y DynamoDB (Figura 5).

En esta arquitectura, los beacons BLE se encuentran en movimiento y existen dispositivos móviles (smartphones) fijos en el ambiente que harán la función de access point. Estos dispositivos móviles a su vez mediante el API almacenarán la información generada tanto de los Beacons BLE como de información adicional proveniente de los demás dispositivos móviles. Por otro lado un equipo de cómputo estará consultando la información en tiempo real permitiendo obtener una información actualizada de la localización de los beacons BLE en el espacio.

V-D. Configuración de software

El desarrollo de la aplicación que soporta los dispositivos de hardware consta de 3 interfaces:

Plataforma de Configuración: Aplicación para el dispositivo móvil (figura 6) mediante el cual se configura una ecuación de distancia ajustada al ambiente, esta ecuación permite definir una distancia entre un dispositivo Beacon y un receptor de señal, esto se realiza con un solo dispositivo móvil que captura los valores RSSI que emiten los dispositivos Beacon. La información es obtenida por un módulo de configuración asistida por el investigador, que recoge los datos de RSSI a distancias de 1 metro hasta 10 metros en intervalos de 0.25 metros, las trazas obtenidas son guardadas en la base de datos y analizadas al finalizar la toma de muestras.

Una aplicación realizada en HTML y JavaScript mediante el API Web recibe los parámetros y realiza los cálculos para generar una ecuación de distancia a partir de los RSSI, pero como es conocido, los valores RSSI son caóticos entonces es necesario primero intentar corregir este inconveniente, por tanto, se implementa un Filtro de Kalman para suavizar los posibles errores y estimar los parámetros de movimiento.

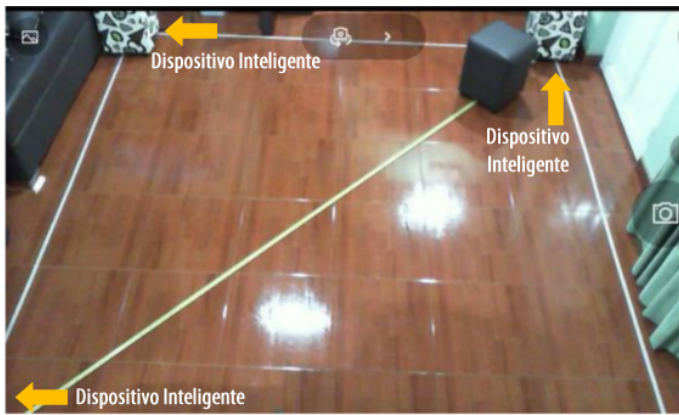


Figura 11. Escenario de prueba



Figura 12. Prueba de movimiento del Beacon

Para esto se configura un escenario de pruebas cuadrado de 5.76m como se observa en la figura 11, se cuenta con 3 dispositivos móviles (Motorola G3) y se configura la aplicación para toma de fotografías cuando la distancia a un dispositivo sea menor a 1 metro, utilizando el calculo de distancias a partir de RSSI. La configuración inicial se hace con tomas de datos de 0.25m hasta 5m a partir del Beacon en la esquina superior derecha. Ya en funcionamiento se hace movimientos del Beacon en el espacio sobre una ruta definida, obteniendo la respuesta de la figura 12.

Para analizar la exactitud del método se toman 150 posiciones detectadas por la aplicación y se comparan con el calculo geométrico, donde se percibe un error aproximado de 27.69% en posicionamiento y del 10% en toma de imágenes. Sin embargo, los porcentajes de error se ven afectados según el dispositivo móvil, por ejemplo con celulares LG G2 el error sube al 43.58% y con Motorola G2 baja al 20.51%.

Estos resultados, aunque muy previos muestran que con una configuración de dispositivos adecuada y una posible toma de datos más rigurosa, contando con la posibilidad futura de mejorar el análisis en la toma de muestras, se puede considerar esta estrategia válida para monitoreo y de apoyo a la toma de decisiones.

VII. CONCLUSIONES

La naturaleza de los beacons BLE permiten entender cómo la comunicación entre dispositivos a través de la internet genera espacios inteligentes en tiempo real, como una alternativa a posibles implementaciones de conciencia situacional.

Las pruebas preliminares permiten concluir que la arquitectura propuesta es una estrategia de posicionamiento válida en cuanto al cumplimiento de su objetivo, sin embargo, para obtener datos más ajustados y cercanos a la realidad, se ve la necesidad de crear una configuración de la aplicación desarrollada, más detallada y especializada en cuanto a mejorar la facilidad de uso que permita registrar una gran cantidad de parámetros iniciales y la implementación de diferentes parámetros que mejoren la toma de datos.

Adicional, se sugiere incluir nuevos requerimientos que abarquen: mejorar la facilidad de uso para registrar mayor cantidad de parámetros iniciales e implementar diferentes parámetros ambientales que mejoren la toma de datos. Como trabajo futuro se esperan pruebas rigurosas, en ambientes reales.

REFERENCIAS

- [1] K. Abdulrahim, K. Seman, M. Othman, F. M. Shuib, T. Moore, C. Hide, and C. Hill. On magnetometer heading updates for inertial pedestrian navigation system. *Gyroscopy and Navigation*, 5(3):145–152, 2014.
- [2] H. Adachi, H. Suzuki, K. Asahi, Y. Matsumoto, and A. Watanabe. Estimation of bus traveling section using wireless sensor network. In *Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), 2015 Eighth International Conference on*, pages 120–125. IEEE, 2015.
- [3] I. Aicardi, P. Dabove, A. Lingua, and M. Piras. Sensors integration for smartphone navigation: performances and future challenges. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(3):9, 2014.
- [4] Y. Akhayad. Bluetooth 4.0 low energy: Análisis de las prestaciones y aplicaciones para la automoción. B.S. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.
- [5] K.-H. Chang. Bluetooth: a viable solution for iot?[industry perspectives]. *Wireless Communications, IEEE*, 21(6):6–7, 2014.
- [6] A. Y. Chang and T.-C. Liu. Performance evaluation of real-time indoor positioning with active rfid and zigbee-based wsn systems. *Journal of Vibroengineering*, 15(2), 2013.
- [7] V. V. Chirakkal, M. Park, and D. S. Han. Indoor navigation using wifi for smartphones: An improved kalman filter based approach. In *Consumer Electronics (ICCE), 2015 IEEE International Conference on*, pages 82–83. IEEE, 2015.
- [8] M. Duarte, F. N. dos Santos, A. Sousa, and R. Morais. Agricultural wireless sensor mapping for robot localization. In *Robot 2015: Second Iberian Robotics Conference*, pages 359–370. Springer, 2016.
- [9] A. Dutta and A. Palta. Location-awareness based data dissemination for smart hospitals. In *Medical Imaging, m-Health and Emerging Communication Systems (MedCom), 2014 International Conference on*, pages 72–75. IEEE, 2014.
- [10] Y. Fang, Z. Deng, C. Xue, J. Jiao, H. Zeng, R. Zheng, and S. Lu. Application of an improved k nearest neighbor algorithm in wifi indoor positioning. In *China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2015 Proceedings: Volume III*, pages 517–524. Springer, 2015.
- [11] B. Ge, K. Wang, J. Han, and B. Zhao. Improved rssi positioning algorithm for coal mine underground locomotive. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2015:10, 2015.
- [12] D. Han, S. Jung, M. Lee, and G. Yoon. Building a practical wi-fi-based indoor navigation system. *Pervasive Computing, IEEE*, 13(2):72–79, 2014.
- [13] R. Harle. A survey of indoor inertial positioning systems for pedestrians. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 15(3):1281–1293, 2013.
- [14] S. V. Herrán. Lanzan aplicativo móvil para el aeropuerto el dorado, sep 2015.

- [15] A. Jain. *NFC-An Accurate Indoor Navigation System*. PhD thesis, Indian Institute of Technology, Bombay Mumbai, 2013.
- [16] K. Karunaratna, H. Weerasingha, M. Rummy, M. Rajapaksha, D. De Silva, and N. Kodagoda. A fully functional shopping mall application-shopping eye. In *Artificial Intelligence, Modelling and Simulation (AIMS), 2014 2nd International Conference on*, pages 292–296. IEEE, 2014.
- [17] G. Lu and C. Kambhamettu. Image-based indoor localization system based on 3d sfm model. In *IS&T/SPIE Electronic Imaging*, pages 90250H–90250H. International Society for Optics and Photonics, 2014.
- [18] L. Luoh. Zigbee-based intelligent indoor positioning system soft computing. *Soft Computing*, 18(3):443–456, 2014.
- [19] J. Manweiler, P. Franklin, and R. R. Choudhury. Rxip: Monitoring the health of home wireless networks. In *INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE*, pages 558–566. IEEE, 2012.
- [20] J. Tang, Y. Chen, A. Jaakkola, J. Liu, J. Hyppä, and H. Hyppä. Navisan ugv indoor positioning system using laser scan matching for large-area real-time applications. *Sensors*, 14(7):11805–11824, 2014.
- [21] A. Thaljaoui, T. Val, N. Nasri, and D. Brulin. Ble localization using rssi measurements and iringla. In *Industrial Technology (ICIT), 2015 IEEE International Conference on*, pages 2178–2183. IEEE, 2015.
- [22] M. Williams, J. Burry, and A. Rao. Graph mining indoor tracking data for social interaction analysis. In *Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), 2015 IEEE International Conference on*, pages 2–7. IEEE, 2015.
- [23] C.-H. Yun and J. So. A bluetooth beacon-based indoor localization and navigation system. *Advanced Science Letters*, 21(3):372–375, 2015.
- [24] R. Zhang, A. Bannoura, F. Hoflinger, L. M. Reindl, and C. Schindelhauer. Indoor localization using a smart phone. In *Sensors Applications Symposium (SAS), 2013 IEEE*, pages 38–42. IEEE, 2013.