

## Tecnologías para la localización de personas mayores con problemas de demencia en centros de residencia

Sixto Enrique *Campaña Bastidas*,<sup>1</sup> Macarena *Espinilla Estévez*,<sup>2</sup> Javier *Medina Quero*,<sup>2</sup> José Francisco *Gay Medina*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de ciencias Básicas tecnologías e Ingeniería, ECBTI, UNAD (Colombia). <sup>2</sup>Departamento de Informática, Centro de Estudios Avanzados en Tecnologías de la Información y Comunicación, Universidad de Jaén (España)

Correspondencia: [sixto.campana@unad.edu.co](mailto:sixto.campana@unad.edu.co) (Sixto Enrique Campaña Bastidas)

### Resumen

El mundo evoluciona rápidamente, el bono demográfico ha empezado a desaparecer y se prevé que para el año 2050, el envejecimiento de la población será sustancialmente mayor de lo que es en la actualidad. Este cambio, afectará a todos los sectores asociados al envejecimiento, en particular, los centros de día y residencias contarán con un mayor número de usuario, por lo que se deben de proponer nuevas soluciones que permiten gestionar un mayor número de usuarios de manera automática. Uno de los principales problemas de estos centros y ya en la actualidad se está demandando, es la localización de usuarios, de una manera simple y no intrusiva. La resolución del problema de la localización en centros presenta una mayor importancia en aquellos usuarios que padecen patologías de demencia. Dichos usuarios requieren de un mayor control y cuidado, principalmente por la evolución que en el tiempo tienen este tipo de enfermedades, donde entre otras cosas, en un determinado momento les puede llevar a salir del centro sin un destino fijo, perderse dentro del entorno o dirigirse a lugares que potencialmente pueden ser peligrosos para ellos, tales como balcones o ventanas, entre otros. Por lo anterior, se hace necesario conocer las tecnologías emergentes que puedan ayudar en este tipo de circunstancias para determinar su localización en interiores, haciendo énfasis principalmente en aquellos sistemas que permiten hacer un control completo de la localización del usuario, pero brindando información adicional a la posición en el lugar donde se encuentran, por ejemplo, si permanecen inmóviles o están en movimiento un tiempo anómalo, entre otros aspectos. En este documento se presenta una revisión de las tecnologías que actualmente existen y están en desarrollo con respecto al control de la localización de un usuario en interiores, haciendo énfasis principalmente a las aplicaciones en centros de residencia y la forma en la que este sistema se podría implementar en dichos centros.

Palabras clave: Sistemas de posicionamiento en interiores. Personas mayores. Tecnologías inalámbricas. Tecnología UWB. Centros de residencia. Redes de sensores.

### Introducción

Los Sistemas de Posicionamiento en Interiores (SPI), son actualmente un tema de estudio con gran relevancia entre la comunidad científica, ya que no existe una técnica o tecnología que permita determinar la ubicación precisa de una persona dentro de un espacio, sin que presente algún grado de error en la estimación del cálculo de su localización. Lo anterior ha generado que se realicen varios estudios de aplicación sobre este tema con diferentes tecnologías, tales como Bluetooth Low Energy (BLE)<sup>1</sup> o con redes inalámbricas utilizando WiFi,<sup>2</sup> apoyándose principalmente en teléfonos inteligentes entre otros dispositivos. Por otra parte, existe una tecnología con gran proyección que está siendo estudiada para los SPI, la cual fue utilizada en el pasado para aplicaciones militares, pero que ahora es una alternativa importante para SPI, denominada Ultra-Wide-Band (UWB).<sup>3</sup>

Con respecto a la población donde aplicará esta tecnología, se tiene a las personas mayores, las cuales representan un segmento importante de la población mundial,<sup>4</sup> que va aumen-

tando significativamente. En España se estima que para 2050, el 44.1% de la población tendrá más de 60 años,<sup>5</sup> y lo mismo ocurrirá en Estados Unidos con el 32%<sup>6</sup> y en Colombia con el 22,5%.<sup>7</sup> Estas estadísticas hacen más importante la necesidad de investigar nuevas alternativas tecnológicas que propendan en mejorar el cuidado para este tipo de personas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se han revisado algunos trabajos previos relacionados con UWB y métodos de SPI, con el objetivo de proponer un diseño SPI con UWB para personas mayores, el cual se evaluará mediante una prueba de concepto en un laboratorio de inteligencia ambiental, para luego adaptarlo en un centro de residencia para personas mayores. La propuesta utilizará diferentes métodos de SPI, como el método de diferencia de tiempo de llegada (TDOA)<sup>8</sup> y huella digital (Fingerprint),<sup>9</sup> para mejorar la precisión en la localización de una persona.

El documento se compone de la sección 2, que define algunos elementos de los SPI; la sección 3, que menciona algunos trabajos relacionados con UWB y SPI; la sección 4, donde se propone el diseño del SPI para personas mayores con

UWB, y finalmente la sección 5, que presenta las conclusiones.

### Conceptos Previos

**Posicionamiento en interiores:** consiste en obtener la ubicación de un dispositivo, generalmente asociado a un usuario en un ambiente o entorno interior.<sup>10</sup> Este proceso ha sido ampliamente investigado en los últimos años, principalmente debido al desarrollo de nuevos teléfonos inteligentes y dispositivos móviles con capacidades de comunicación inalámbrica,

donde las nuevas tecnologías relacionadas con el problema del posicionamiento son ahora más aplicables, como UWB,<sup>11</sup> BLE<sup>1</sup> y WiFi.<sup>2</sup>

**Ultra Wide Band (UWB):** tecnología de radio que puede usar un nivel de energía muy bajo para comunicaciones de corto alcance y alto ancho de banda en una gran parte del espectro de radio.<sup>12</sup>

**Métodos de medición de distancia para SPI - métodos geométricos:** permiten determinar el posicionamiento en interiores, ver tabla 1.

Tabla 1. Métodos medición distancia

| Método  | Descripción   |
|---|---|
| Ángulo de llegada (AOA)                           | La distancia entre los sensores o dispositivos se calcula intersectando líneas angulares para cada emisión de señal, a mayor distancia, empeora la precisión. <sup>13</sup>   |
| Tiempo de llegada (TOA)                           | La información de posicionamiento se obtiene de la intersección de las circunferencias generadas por la emisión de las señales de varios sensores de transmisión, sus radios representan las distancias entre los nodos sensores fijos y el nodo sensor objetivo. Todos los sensores deben estar sincronizados. <sup>13</sup> |
| Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)            | La posición de un sensor o dispositivo se obtiene al medir la diferencia en el tiempo de llegada de una señal enviada por él a tres o más sensores de recepción. <sup>13</sup>  |
| Indicación de intensidad de señal recibida (RSSI) | El posicionamiento se obtiene midiendo la distancia de un sensor o dispositivo con respecto a la atenuación generada por la propagación de la señal de transmisión al sensor de recepción. <sup>13</sup>  |

**Algoritmos de SPI:** Se habla de trilateración y fingerprinting; el primero se refiere al uso de SPI con métodos geomé-

tricos y el segundo es sobre el uso de RSS con algoritmos de proximidad, como k-Nearest Neighbor (KNN). Ver Tabla 2.

Tabla 2. Algoritmos para SPI

| Algoritmo                     | Descripción   |
|-------------------------------|---|
| Trilateración y triangulación | Determinan la ubicación de un sensor o dispositivo utilizando la geometría de los círculos y la medición de las distancias y ángulos de las señales que generan los sensores que se encuentran en el área de medición (14).   |
| Huella digital - Fingerprint  | Crea una base de datos con la distribución de probabilidad de las intensidades de la señal en el escenario o área de aplicación, y el uso de un mapa de estas distribuciones para ubicar una muestra RSS dada (14). Maneja dos fases: entrenamiento y estimación de posición; en entrenamiento se utiliza un mapa con las intensidades de señal recibidas (RSS) en diferentes puntos; para definir el posicionamiento, el RSS observado en el sensor de emisión se compara con el mapa que se construyó previamente, utilizando algoritmos de proximidad, como k-Nearest Neighbor (KNN) (7) y luego se estima la posición del sensor. |
| Técnicas híbridas             | Se utiliza una heterogeneidad de redes de sensores, en términos de sincronización de tiempo, capacidades de enrutamiento de dispositivos de red y rango de comunicación (8). Las técnicas híbridas proporcionan significativamente el error de posicionamiento más pequeño posible (15).  |

### Trabajos relacionados

Existen varios trabajos previos relacionados, que explican los métodos y técnicas utilizados para SPI, donde los protocolos más utilizados son: WiFi y BLE junto con métodos (16) que ayudan a determinar el posicionamiento, como trilateración, TDOA, TOA o fingerprinting, entre otros. También se ha identificado que los temas sobre el posicionamiento en interiores con UWB son temas relativamente nuevos.

Algunos trabajos para referenciar son:<sup>17</sup> que trabaja con huellas digitales RF con WiFi, cuya técnica requiere la calibración y evaluación del espacio interior, diseñando un algoritmo llamado: DSW (Dynamic Space Warping), una desventaja de este trabajo es el error de posicionamiento obtenido, igual a 2 metros. Otro trabajo con fingerprinting, es el de,<sup>18</sup> que trata sobre el análisis del impacto que tiene la presencia de varias personas en el cálculo de la posición en un entorno interior, utiliza WiFi. En<sup>19</sup> se centran en SPI con BLE y trilateración. En,<sup>20</sup> proponen una solución con un prototipo de localización, que funciona con BLE, RSSI y triangulación, donde error de precisión sigue siendo grande. En<sup>21</sup> se explica el diseño de un esquema de SPI que utiliza dos algoritmos: i)

una red neuronal artificial (ANN), y ii) un algoritmo de lógica difusa. ANN trabaja con la distancia euclidiana y entrena la información obtenida con la optimización de la técnica de retro-propagación por redes neuronales, generando resultados de posicionamiento para el algoritmo de lógica difusa, aceptables. En los casos estudiados el error estimado fue de aproximadamente 2 metros.

Con respecto a UWB se tiene a<sup>22</sup> y,<sup>23</sup> donde se centran en la comparación de UWB con WiFi, utilizando fingerprinting, concluyendo que UWB supera a WIFI y se habla de una plataforma llamada PLUS RTLS, que utiliza las técnicas de RSS y TDOA, el resultado publicado es bueno y se estima que UWB es superior a otras tecnologías en cuanto a precisión. En,<sup>24</sup> se explica la evolución de UWB, sus características y sus usos, así como sus aplicaciones y la diferencia con otras tecnologías. En<sup>8</sup> y<sup>25,26</sup> explican principalmente cómo los sistemas UWB pueden ser más precisos. En<sup>25</sup> explican una patente en UWB y SPI con etiquetas y puntos de acceso. En<sup>8</sup> revisan algunos métodos, algoritmos e implementaciones con UWB, principalmente para garantizar la precisión y su comparación con otras tecnologías inalámbricas. Finalmente,<sup>26</sup> habla de la

precisión con UWB utilizando TDOA con un vehículo aéreo no tripulado (UAV) multi-motor.

### Propuesta de posicionamiento en interiores con UWB

*Contexto:* La propuesta se aplicará en el Centro de Estudios Avanzados en Tecnologías de la información y la Comu-

nicación (CEATIC) de la Universidad de Jaén – España, el cual cuenta con un laboratorio de inteligencia ambiental (ver Figuras 1 y 2), y está equipado con diferentes dispositivos electrónicos (sensores y actuadores). Actualmente, el laboratorio cuenta con algunos dispositivos para SPI: suelo electrónico (ver figura 3), y algunos sensores que funcionan con BLE, pero UWB aún no se ha implementado.

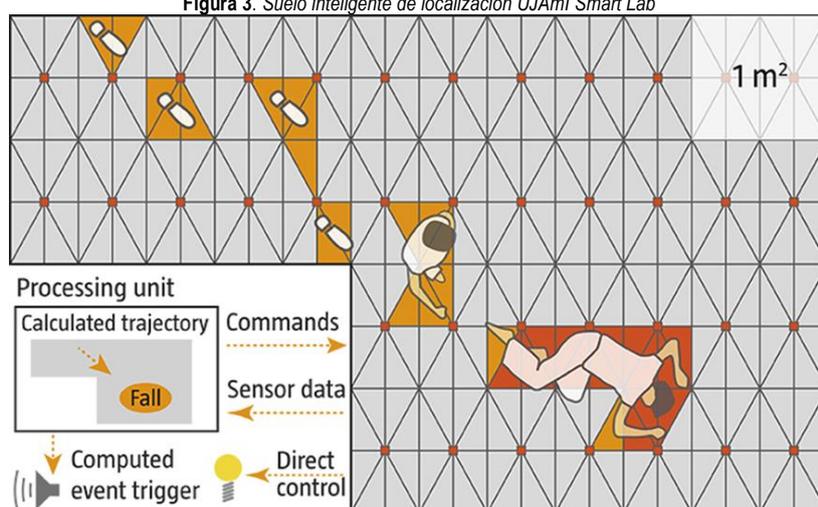
Figura 1. UJAmI Smart Lab (I)



Figura 2. UJAmI Smart Lab (II)



Figura 3. Suelo inteligente de localización UJAmI Smart Lab



El otro lugar para la implementación del SPI con UWB es un centro para personas mayores, específicamente, la residencia “Ángeles Cobo”, que es administrado por Macrosad en España, ubicado en Alcaudete, provincia de Jaén. La descripción de las áreas de este centro se muestra en la Tabla 2.

*Propuesta Tecnológica:* La tecnología propuesta tiene las siguientes características, ver Tabla 3 y figura 4.

*Propuesta del Centro Residencial Ángeles Cobo:* Se ubicarán 10 kits de sensores en diferentes áreas, principalmente en zonas grandes, por ejemplo, la terraza, áreas recreativas comunes, etc., se estima que se instalarán 2 kits por planta del edificio. Cada kit tendrá tres anclas, que se ubicarán en las esquinas de cada área seleccionada, en total se contará con 30 anclajes para el centro completo y 10 etiquetas para pruebas. El método para el posicionamiento en interiores en este centro será TDOA y fingerprinting.

*Procedimiento e implementación:* La descripción que se ha realizado sobre la implementación del sistema de posicionamiento interiores para los lugares mencionados (UJAmI Smart Lab) y Centro Residencial Ángeles Cobo), tiene el siguiente procedimiento:

1. Adquisición y compra de los kits de sensores.
2. Desarrollo aplicación de software para IPS
3. Ubicación de: Anclas y enrutadores WSN y WiFi
4. Configuración de dispositivos
5. Calibración de zonas: toma de huellas dactilares fuera de línea y técnicas en línea
6. Guardar los datos de localización en la base de datos del software desarrollado
7. Pruebas de rendimiento con el algoritmo de posicionamiento
8. Análisis de datos e informes

Tabla 2. Descripción "Residencia Ángeles Cobo"

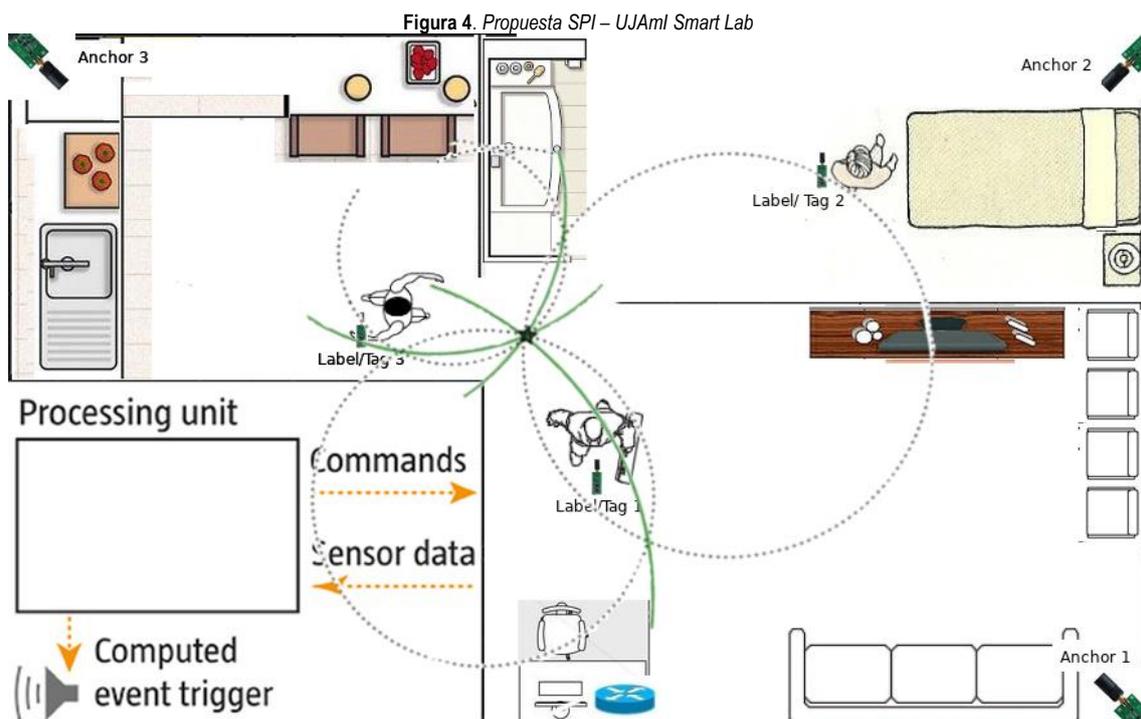
| Area                 | Image  |
|----------------------|--|
| Recepción            |  <p data-bbox="805 571 965 600">Figura 4. Recepción</p>                |
| Comedor              |  <p data-bbox="805 900 965 929">Figura 5. Comedor</p>                  |
| Salon de actividades |  <p data-bbox="766 1229 1005 1258">Figura 6. Salón de actividades</p> |
| Cocina               |  <p data-bbox="821 1559 949 1588">Figura 7. Cocina</p>               |
| Habitación doble     |  <p data-bbox="782 1888 989 1901">Figura 8. Habitación doble</p>     |



Fuente: <http://cuida.trassa.es/AngelesCobo/index.php/instalaciones>

Tabla 3. Hardware propuesto SPI con UWB

| Hardware         | Descripción  | Cantidad | Lugar implementación            |
|------------------|--|----------|---------------------------------|
| Kit RTLS1000 UWB | Kit SPI – funcionamiento en tiempo real. 3 estaciones bases y un sensor de movimiento. | 1        | UJAml Smart Lab                 |
| Kit UWB: DWM1000 | Kit UWB para SPI, Sistema alta potencia con 3 estaciones base y 2 etiquetas.           | 10       | Centro Residencial Ángeles Cobo |



## Conclusiones

Los SPI son una herramienta necesaria para diferentes tipos de población, por ejemplo, para las personas mayores, donde hay muchas situaciones que deben ser monitoreadas y controladas en tiempo real, principalmente cuando se trabaja con personas que tienen patologías como la demencia y otras similares.

Actualmente hay muchas aplicaciones sobre SPI, la mayoría usa principalmente WiFi y BLE, pero hay una nueva posi-

bilidad, que es UWB, donde la precisión según los estudios previos es mucho mejor.

Existen muchos métodos para implementar SPI, algunos son muy buenos, pero los trabajos que implementaron UWB lograron una mayor precisión.

Otra forma de mejorar el rendimiento de las aplicaciones IPS de acuerdo con algunos estudios previos ha sido la combinación de varios métodos, en el diseño propuesto se trabaja con un SPI híbrido con TDOA y Fingerprinting.

## Bibliografía

1. Davidson, Pavel; Piché, Robert. A survey of selected indoor positioning methods for smartphones. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19 (2), 2017.
2. Chao, Cong; Xiaoran, Men. An Innovative Indoor Location Algorithm Based on Supervised Learning and WIFI Fingerprint Classification. En *International Conference on Signal and Information Processing, Networking and Computers*. Springer, Singapore, 2017.
3. Supanakoon, Pichaya; Wansiang, Kritsana; Promwong, Sathaporn & Takada, Jun-ichi. Simple waveform for UWB communication. *The 2005 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference*, 2005.
4. Mainetti, Luca; Mighali, Vincenzo; Patrono, Luigi; Rametta, Piercosimo et al. An IoT-aware system for elderly monitoring. *IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry*, 2017.
5. Otero, Ángel; Zunzunegui, Maria; Rodríguez-Laso, Ángel; Aguilar, Maria & Lazaro, pablo. Volumen y tendencias de la dependencia asociada al envejecimiento en la población española. *Revista española de salud pública*, 78, 2014.
6. Puyol, Rafael. *Grandes líneas del cambio demográfico*. 2017.
7. Esteban, Daniel. *Envejecimiento poblacional: la bola de nieve del siglo XXI*, 2014.
8. Mazhar, Fazeelat; Khan, Muhammad Gufran; Sällberg, Benny. Precise Indoor Positioning Using UWB: A Review of Methods, Algorithms and Implementations. *Wireless Personal Communications*, 97 (3), 2017.
9. Zhang, Fandong; FENG, Jufu. High-Resolution Mobile Fingerprint Matching via Deep Joint KNN-Triplet Embedding. En *AAAI*, 2017.
10. Zafari, Faheem; Gkelias, Athanasios; Leung, Kin. A survey of indoor localization systems and technologies. *arXiv preprint arXiv:1709.01015*, 2017.
11. Marquez, Alvin. *Implementation of an Autonomous Small-scale Car with Indoor Positioning using UWB and IMU*, 2017.
12. García Gutiérrez, Ricardo. Position estimation for IR-UWB systems using compressive sensing. *BS thesis. Universitat Politècnica de Catalunya*, 2016.
13. Gutiérrez Carrero, César. *Seguimiento de objetos por UWB (Ultra Wide Band)*, 2018.
14. Bagaric, Josip. *Indoor positioning system for mobile devices using radio frequency and perfect sequences*. PhD Thesis, 2016.
15. Hong, Jaemin; Kim, Kyujin; Kim, Chonggun. Comparison of Indoor Positioning System Using Wi-Fi and UWB. En *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*. Springer, Cham, 2018.
16. Tariq, Zan; Cheema, Dost; Kamran, Muhammad & Naqvi, Ijaz. Non-GPS positioning systems: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 50(4), 57, 2017.
17. López-Justicia, Alicia. *Sistema de localización en interiores con dispositivo multisensor y redundancia temporal*, 2018.
18. Trevisan Troche, Denise. *Influencia de la presencia de personas en sistemas de posicionamiento indoor mediante Wi-Fi fingerprinting* 2017.
19. Díaz González, Fernando. *Sistema inteligente de posicionamiento en interiores*. BS Thesis, 2017.
20. Pereira Tapiro, Martin & Polo Poveda, Alejandro. *Diseño e implementación de un prototipo de un sistema de localización en espacios cerrados (indoor)* (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente), 2015.
21. Islam, Amirul; Hossan, Tanvir; Chowdhury, Zaman; & Jang, Yeong. Design of an indoor positioning scheme using artificial intelligence algorithms. In *International Conference on Information Networking (ICOIN)*, 2018.
22. Caso, Giuseppe; Le, Mai; De Nardis, Luca & Di Benedetto, Maria. Performance comparison of WiFi and UWB fingerprinting indoor positioning systems. *Technologies*, 6(1), 14, 2018.
23. Barral, Valentin; Rodas, Javier; Escudero, Carlos. *Rendimiento de un sistema de localización UWB en un entorno indoor*.
24. Martínez García, Andrés. *Estudio de canal para sistemas Ultra Wide Band*. 2010.
25. Shin & Jongman, K.W.O. *U.S. Patent Application No. 14/926,421*, 2017.
26. Tiemann, Janis; Wietfeld, Christian. Scalable and precise multi-UAV indoor navigation using TDOA-based UWB localization. En *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, *International Conference on*. IEEE, 2017.