

# Caracterización de UWB y WiFi FTM en obras

Carlos S. Alvarez-Merino<sup>(1)</sup>, Hao Qiang Luo-Chen<sup>(1)</sup>, Joel Llanes Michel<sup>(1)</sup>, Emil J. Khatib<sup>(1)</sup>, Raquel Barco<sup>(1)</sup>  
{cam, hao} @ic.uma.es; {joel7, emil, rbarco} @uma.es

<sup>(1)</sup>Instituto de Telecomunicación (TELMA), Universidad de Málaga, Bulevar Louis Pasteur 35, 29010 Málaga (España)

**Abstract**—The construction industry is one of the largest sectors not having a major movement towards digitalisation. For this reason, in recent years, there is an effort for stimulating innovation in the construction site mainly to improve the safety of workers. Thanks to precise, real-time location, workers can be monitored to minimise risks and avoid disasters. For this reason, in this paper ultra-wideband (UWB) and WiFi Fine Time Measurement (FTM) localisation technologies are characterised for this type of environment.

## I. INTRODUCCIÓN

En la última década, el mundo está cambiando gracias a una nueva revolución industrial marcada por el avance y desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) conocida como Industria 4.0. Sin embargo, el sector de la construcción es uno de los mercados que menos reflejado ven el impacto de las TIC en comparación con otros como la manufactura. La actividad del sector de la construcción se desarrolla principalmente en las zonas de obras, que se caracterizan por ser un entorno muy cambiante, la gran mayoría al aire libre, y que cuentan normalmente con la intervención de varios actores como diferentes empresas y un gran número de trabajadores contratados y subcontratados durante las distintas etapas del proyecto. Además, también entran en juego el uso de maquinaria pesada, como grúas o camiones, y de materiales nocivos o pesados que hacen que estos escenarios sean peligrosos y cuyas tareas de monitorización y seguridad suelen ser difíciles cumplir. En este contexto, las nuevas TIC que permiten monitorizar y localizar a los distintos trabajadores y maquinaria, así como la automatización de las tareas o el control remoto de algunos elementos, ayudan a conseguir un entorno de construcción más eficiente y seguro, además de reducir la duración y los costes de los diferentes procesos de construcción.

El avance tecnológico de los últimos años se ha centrado, entre otros objetivos, en la localización de usuarios. El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) se ha establecido como referente para la localización y navegación en exteriores. Sin embargo, en aquellos escenarios más hostiles para la propagación de ondas radioeléctricas, como pueden ser escenarios de interior o escenarios rodeados de elementos metálicos como en las zonas de construcción, no ha tenido éxito. Este tipo de escenarios suelen contener objetos metálicos que reflejan y bloquean las señales, crean efectos de multicamino que deterioran la precisión en la localización de objetivos o pueden dar lugar a agujeros de cobertura. Además, los escenarios de construcción típicos son dinámicos, con cambios constantes debido a las diferentes fases por las que pasa el proyecto. Por ello, una localización que cumpla los requisitos de fiabilidad, continuidad y precisión para las aplicaciones dependientes de la localización como la Realidad Aumentada, o los robots autónomos, supone un gran reto.

En los últimos años, han surgido muchos estudios acerca de la utilización de tecnologías de radiocomunicación para la localización en interiores (p. ej., WiFi y Bluetooth) sin llegar a situarse como el estándar o la tecnología de-facto para este tipo de servicios [1]. Además, también se ha estudiado el uso de las redes móviles en proyectos como el H2020 LOCUS [2] (que se enfoca en localización con tecnologías 5G en general) o el proyecto TEDES5G [3] (que tiene como objetivo estudiar la tecnología 5G para escenarios de construcción, con un enfoque práctico sobre la localización).

En este trabajo se muestran pruebas realizadas en un escenario de construcción real que utiliza la tecnología de banda ultra ancha (Ultra Wide Band, UWB), y WiFi Fine Time Measurement (FTM) para una localización precisa. Por otro lado, se propone un algoritmo para fusionar de forma oportunista los rangos obtenidos de diferentes tecnologías de localización. Esta técnica de fusión ayuda a reducir el coste del despliegue para la empresa de construcción ya que el operario se beneficia de cualquier punto de referencia visible para su localización [4]. En localizaciones con una alta densidad de puntos de referencia de diversas tecnologías, el sistema de ecuaciones para resolver el problema de la trilateración está sobredeterminado, es decir, cuenta con información extra para mejorar su precisión, proporcionando así un posicionamiento de alta precisión en este tipo de entorno. Además, esta técnica también ayuda a solucionar los agujeros de cobertura de ciertos despliegues, por ejemplo, en zonas donde hay menos de tres puntos de referencia visibles de una tecnología, la fusión aprovecha la información de otras tecnologías para poder ofrecer el servicio de localización. La contribución de este trabajo se podría resumir en los siguientes puntos:

- Descripción de una campaña de medidas en un entorno real de obras.
- Estudio de las características de propagación de las tecnologías UWB y WiFi en escenarios de obra, con especial atención al error de medida de distancia y a su capacidad de penetración entre distintas plantas.
- Evaluación del rendimiento del algoritmo de fusión en trilateración propuesto en [5] que mejora la precisión y la disponibilidad de la localización.

El resto de este artículo se organiza de la siguiente manera: La Sección II ofrece una visión general de las diferentes tecnologías de localización explicando las características de las tecnologías utilizadas en este trabajo. La Sección III describe el método propuesto y el algoritmo de fusión en trilateración. En la Sección IV se describe el montaje experimental y se comentan los resultados obtenidos en el escenario. Por último, la Sección VI presenta las conclusiones de este trabajo.

## II. VISIÓN GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE LOCALIZACIÓN

Mientras que GNSS es la tecnología de referencia en exteriores, la localización en zonas difíciles para la propagación de la señal como las zonas de construcción o de interiores aún no dispone de ninguna tecnología estándar *de facto*. En esta sección se hace un repaso de las dos tecnologías de localización que aspiran a alcanzar dicho estatus, y que cada vez están presentes en más dispositivos.

### A. Banda Ultra Ancha (UWB)

La tecnología de UWB proporciona una gran precisión de medida de distancia basada en el protocolo Round Trip Time (RTT), incluso en entornos con características de propagación difíciles [6]. Esta tecnología tiene múltiples ventajas, como la precisión a nivel de centímetros, la buena capacidad de penetración de obstáculos [7] y la mitigación de trayectorias múltiples en escenarios densos [8], lo que la hace indispensable para el posicionamiento en escenarios complejos. UWB se utiliza también como tecnología de comunicación inalámbrica que soporta un alto rendimiento debido al uso de un espectro muy amplio. UWB utiliza pulsos de tiempo muy cortos, de pocos nanosegundos, que ocupan un amplio ancho de banda. La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) autorizó el uso sin licencia de UWB en el rango de 3,1-10,6GHz [9]. Las señales UWB se centran en 3,5 GHz con un ancho de banda superior a 500 MHz. Las últimas tendencias del mercado muestran que UWB tiene serias posibilidades de convertirse pronto en un estándar de facto para el posicionamiento y acabará siendo cubierta por los estándares 3GPP.

### B. WiFi Fine Time Measurement

La norma IEEE 802.11mc incluye una medición precisa del tiempo (*Fine Time Measurement*, FTM) para la estimación de la distancia al router gracias al estampado temporal mediante el protocolo RTT [10]. Esta versión transformará el sector del posicionamiento en interiores en los próximos años, gracias a que la infraestructura WiFi está ampliamente disponible en todo el mundo. Esto supone una ventaja frente a UWB, dado que los dispositivos WiFi-FTM tendrán potencialmente más infraestructura disponible para posicionarse. El protocolo estima con precisión la distancia de cualquier usuario que soporte el protocolo WiFi FTM sin necesidad de estar conectado al router. La información se calcula en el dispositivo para preservar la privacidad, ya que la información sensible sobre la ubicación no se comparte entre los nodos de la red. En [10], la precisión para el posicionamiento de WiFi FTM se calcula con una precisión aproximada de un metro en escenarios reales con despliegues densos de routers o puntos de acceso (AP) WiFi.

## III. FUSIÓN EN TRILATERACIÓN

El método de trilateración calcula la posición final del usuario a través de la intersección entre formas geométricas como círculos o hipérbolas definidas por la distancia entre el objetivo y los diferentes puntos de referencia [8], [9], [11]. Dado que las distancias contienen errores en las medidas debido a diferentes factores como reflexiones o bloqueos, dichas distancias no interesectan en un punto si no que

generan un área de incertidumbre que es dónde se encuentra la solución del problema. Por ello, el método iterativo de mínimos cuadrados (Least Square, LS) halla la solución óptima a este problema reduciendo el error hasta obtener el mínimo como se explica en [4].



Fig. 1: Imágenes del escenario real de la planta inferior y de la toma de medidas

En la trilateración normalmente se asume que la información de medida de distancia proviene de una única tecnología. Sin embargo, en [4] se presenta un esquema para fusionar rangos de diferentes tecnologías. Además, en [5] se presentan los resultados de localizar usuarios mediante UWB y WiFi FTM por separado y en fusión en un entorno real de interiores. El uso de la fusión en la trilateración mejora la precisión proporcionada al usuario final. La fusión aprovecha las señales de puntos de referencia de alta precisión aislados o que forman parte de despliegues dispersos montados para ayudar a mejorar la localización en casos de emergencia como incendios, terremotos, etc. En estos escenarios, la fusión también puede compensar los puntos de referencia que faltan con APs portátiles para proporcionar una localización de alta precisión.

## IV. EXPERIMENTACIÓN

### A. Descripción de la obra

En este artículo se presentan las medidas realizadas en un entorno de obra en el que la estructura principal con las columnas y las paredes de carga ya están montadas, pero no los tabiques que delimitan distintos apartamentos y estancias. La Figura 1 muestra algunas imágenes de la obra, en las que se puede apreciar la estructura en tres puntos de medida. Dichos puntos se localizan en tres plantas distintas: planta baja (1(a)), planta -1 (1(b)) y planta -2 (1(c)). La planta baja se destinará a locales comerciales, mientras que las inferiores se destinarán a aparcamientos. Las paredes, los suelos y los pilares se componen de hormigón armado, que consiste en la combinación de una estructura de acero con cemento.

Como se puede observar en la Figura 1, ninguna de las plantas dispone de visibilidad al cielo, con lo que la localización con sistemas GNSS se descarta. Por tanto, tanto durante esta fase de la obra como posteriormente en la fase de explotación del edificio, será necesario utilizar un sistema de localización en interiores. No obstante, las características de dichos sistemas variarán según la fase de la obra, dado que la adición de paredes, sustracción de grúas, andamios y puntales, o la inclusión de estructuras como el cableado o barandillas, modificarán el entorno radioeléctrico y por tanto el funcionamiento de los sistemas basados en radio (como UWB, WiFi o redes móviles). Es por esto que un sistema

de localización en obras debe ser fácil de reconfigurar y poco costoso; además de robusto para soportar las inclemencias del entorno (como los golpes o el polvo).

### B. Entorno experimental

En esta campaña de medidas se han desplegado varios puntos de referencia de UWB y WiFi FTM en la planta -1, con la distribución que se muestra en la Figura 2. Los puntos de referencia de UWB (anchors) se representan como triángulos azules y los routers de WiFi como triángulos rojos. La configuración de alta densidad del escenario asegura el servicio de posicionamiento proporcionado con UWB y WiFi durante todo el escenario.

Sobre este escenario se han realizado dos medidas:

- Recorrido a pie en la planta -1 cuya trayectoria se muestra en la Figura 2 como círculos amarillos. Este recorrido se utiliza para comprobar la precisión de la medida de las distancias a los puntos de referencia situados en la misma planta, así como la precisión de la localización tanto de las tecnologías individuales como con fusión.
- Medida de la capacidad de penetración y el rango de cobertura de las señales de UWB y WiFi a distintas plantas. Para ello se han realizado medidas en las plantas 0 y -2, en la vertical de los puntos identificados con cuadros verdes en la Figura 2.

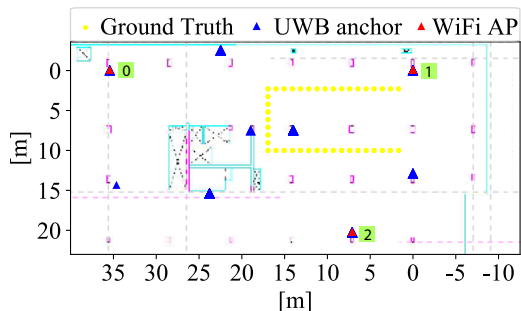


Fig. 2: Escenario con tecnologías UWB y WiFi

El despliegue UWB se basa en dispositivos Decawave DWM1000, mientras que los AP WiFi RTT son routers Google WiFi, y el dispositivo que actúa como objetivo de localización es un smartphone Google Pixel 3 que ejecuta Android 9.0 y soporta WiFi FTM RTT. Se ha programado una aplicación para capturar todos los datos de medida de distancia de los puntos de referencia de la red: anchors UWB y APs WiFi. Los rangos WiFi FTM se obtienen a partir de la API proporcionada por Android. Para las mediciones UWB, se adjunta un dispositivo DWM1000 al smartphone (con rol de etiqueta o tag, es decir, de objetivo de localización) y se conecta mediante Bluetooth Low Energy (BLE) para leer los datos UWB. Una limitación en el rendimiento de los dispositivos UWB es que el tag sólo puede recibir la información de cuatro anchors simultáneamente [7]. Por lo tanto, a pesar de un despliegue de alta densidad de dispositivos, el sistema no está muy sobredeterminado para un posicionamiento en 2D. Los datos capturados se envían a un servidor Flask con una base de datos MySQL que está configurado en un portátil con Windows 10. Se han recogido en una fase offline las muestras

para comprobar la precisión de la posición con una frecuencia de muestreo de 0.3 Hz.

## V. RESULTADOS

En esta sección se describen los resultados obtenidos para demostrar el rendimiento y las ventajas de cada tecnología y de la fusión en la trilateración.

### A. Precisión de UWB y WiFi en la misma planta

La Figura 3 muestra la precisión de los distintos sistemas de UWB y WiFi a lo largo del recorrido. El error de posicionamiento del sistema UWB es considerablemente mayor (un orden de magnitud mayor) al de WiFi FTM. A pesar de tener todos los anchors UWB en buenas condiciones, el error de posicionamiento alcanza una mediana de 4 metros, debido a los efectos multirayecto que afectan tanto a UWB como a WiFi FTM aunque, para WiFi, se puede apreciar que los efectos son menores (mediana de unos 3m con cuartiles mucho más cercanos a la mediana). Con la fusión de tecnologías, más medidas sobredeterminan el algoritmo LS y también la geometría de los puntos de referencia mejora gracias a un despliegue efectivo más denso. En esta campaña de medidas, se ha podido observar que la fusión de tecnologías no mejora la precisión del sistema en gran medida (a diferencia de en [5]). Aunque la mediana del error es menor, los cuartiles están más separados, indicando a un error menos estable que con WiFi FTM. Si bien esto puede dar a entender que la fusión empeoraría los resultados, hay que tener en cuenta que la fusión puede ayudar a otro aspecto de la localización, que es la necesidad de una densidad alta de puntos de referencia. Gracias a la sobredeterminación, la localización podrá ser más robusta frente a agujeros de cobertura. Además, la fusión permitiría el despliegue de un menor número de puntos de referencia. En una obra en la que hay puntos de acceso WiFi con una densidad menor de la necesaria para la localización con WiFi-FTM (que siempre será mayor que la necesaria para la cobertura de acceso a red), se podrá añadir puntos de referencia UWB (de menor coste que los routers WiFi) para poder obtener la funcionalidad de localización.

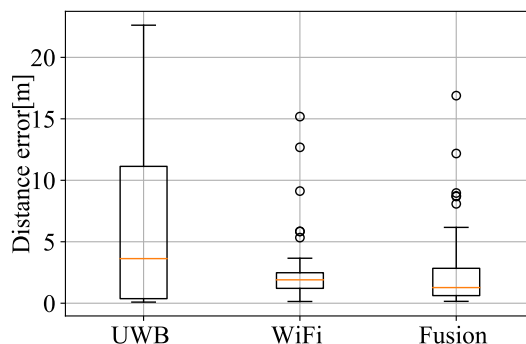


Fig. 3: Distribución del error horizontal de UWB, WiFi FTM y fusión

### B. Cobertura y precisión de UWB y WiFi en otra planta

Por otro lado, la Figura 5 muestra el porcentaje de paquetes perdidos en los distintos puntos(0, 1 y 2) en la planta inferior y superior durante 5 minutos con una tasa de captura de 3Hz. En estas medidas, no se consiguió recibir ningún paquete

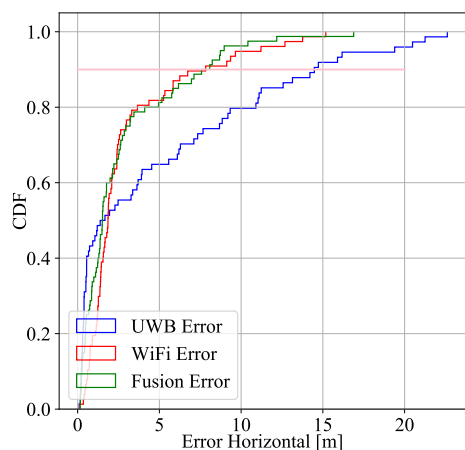


Fig. 4: CDF Distribución del error horizontal de UWB, WiFi FTM y fusión

UWB, por lo que sólo se ha podido estudiar WiFi FTM. Esto es indicativo de una dificultad de UWB para penetrar entre distintas plantas a través de suelos de hormigón armado. Wifi consigue mandar la información y dar cobertura al usuario aunque se ve afectada por la penetración de los muros. Como se puede observar en la Figura 5, hay una gran cantidad de paquetes RTT que se pierden (llegando a no recibirse ninguno en algunos casos). Esto tendrá como consecuencia una frecuencia de refresco menor de la localización, con algún agujero de cobertura potencial.

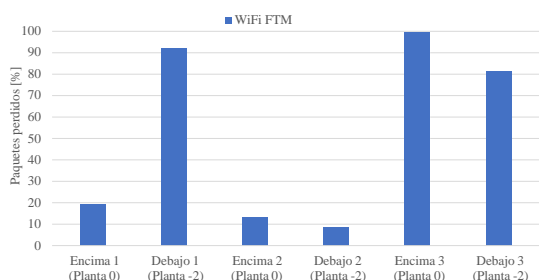


Fig. 5: Porcentaje de cobertura de UWB y WiFi en la planta superior e inferior a la toma de medidas

La Figura 6 muestra el error de medida de distancia en cada uno de los puntos al AP WiFi más cercano. Como puede observarse, la precisión del sistema se mantiene inferior a 10 metros. Este error se puede deber a las reflexiones que sufre la señal para atravesar el espacio entre plantas (incluyendo el suelo/techo y otros posibles caminos), dado que el protocolo RTT no se ve afectado por la atenuación, sino por los efectos multicamino.

## VI. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta varias medidas de sistemas de localización realizadas en un escenario de construcción. El objetivo de estas medidas es comparar la precisión, cobertura y la capacidad de penetración de las tecnologías de UWB y WiFi en este tipo de escenarios dinámicos. En este trabajo queda reflejado que la tecnología de WiFi FTM con el protocolo RTT es mejor en este tipo de escenarios que la tecnología UWB

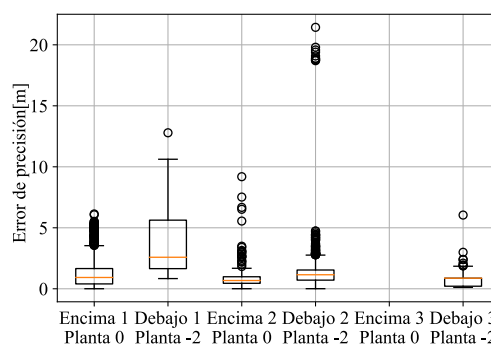


Fig. 6: Error de UWB y WiFi en la planta superior e inferior a la toma de medidas

respecto a los factores de localización como son la cobertura y precisión.

Por otro lado, cabría destacar que gracias a la técnica de fusión, la presencia de múltiples tecnologías puede utilizarse para mejorar la localización de diversas maneras: con una mayor precisión y con una mayor disponibilidad como se indica en [5] aunque, para ello, requiera de un sistema más complejo que valore y balancee la calidad de las fuentes para localizar al usuario. Cuando el número de puntos de referencia de alta precisión es elevado, la fusión proporciona una sobredeterminación que permite una mayor precisión. Sin embargo, en este trabajo la fusión no ha demostrado ser útil ya que, en este escenario, UWB ofrece una localización con un error en la precisión considerablemente mayor (casi 1 orden de magnitud) que WiFi. Por tanto, la técnica de mínimos cuadrados se ve altamente afectada por dichas medidas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado a través del I plan Propio de Investigación y Transferencia y a través de la Junta de Andalucía bajo el acuerdo de subvención UMA-CEIATECH-12 TEDES-5G.

## REFERENCES

- [1] X. Guo, N. Ansari, F. Hu, Y. Shao, N. R. Elikplim, and L. Li, "A survey on fusion-based indoor positioning," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 1, pp. 566–594, 2019.
- [2] "LOCUS project," <https://www.locus-project.eu/>, accessed: 29/04/2021.
- [3] "TEDES-5G," <https://mobilenet.uma.es/index.php/2020/11/06/tedes-5g-tecnicas-5g-para-una-edificacion-eficiente-y-segura/>, accessed: 29/04/2021.
- [4] C. S. Alvarez-Merino, H. Q. Luo-Chen, E. J. Khatib, and R. Barco, "Opportunistic fusion of ranges from different sources for indoor positioning," *IEEE Communications Letters*, 2021.
- [5] C. S. Álvarez-Merino, H. Q. Luo-Chen, E. J. Khatib, and R. Barco, "Wifi ftm, uwb and cellular-based radio fusion for indoor positioning," *Sensors*, vol. 21, no. 21, p. 7020, 2021.
- [6] D. Dardari, A. Conti, U. Ferner, A. Giorgetti, and M. Z. Win, "Ranging with ultrawide bandwidth signals in multipath environments," *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, no. 2, pp. 404–426, 2009.
- [7] Decawave, "DWM1001 System Overview And Performance," 2018, accessed date: <https://www.decawave.com/dwm1001/systemoverview/>.
- [8] R. Mautz, "Indoor positioning technologies," 2012.
- [9] A. Tahat, G. Kaddoum, S. Yousefi, S. Valaee, and F. Gagnon, "A look at the recent wireless positioning techniques with a focus on algorithms for moving receivers," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 6652–6680, 2016.
- [10] C. Gentner, M. Ulmschneider, I. Kuehner, and A. Dammann, "Wifi-rtt indoor positioning," in *2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*. IEEE, 2020, pp. 1029–1035.
- [11] J. A. del Peral-Rosado, R. Raulefs, J. A. López-Salcedo, and G. Seco-Granados, "Survey of cellular mobile radio localization methods: From 1g to 5g," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 2, pp. 1124–1148, 2017.