

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



Profesor Patrocinante:
Dr. Sergio Sobarzo Guzmán.

Informe de Memoria de Título
para optar al título de:
Ingeniero Civil en Telecomunicaciones

**Sistema de posicionamiento indoor mediante
seguimiento de direcciones MAC de equipos
móviles**

Universidad de Concepción
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Eléctrica

Profesor Patrocinante:
Dr. Sergio Sobarzo Guzmán.

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO INDOOR MEDIANTE SEGUIMIENTO DE DIRECCIONES MAC DE EQUIPOS MÓVILES

Aldo Nicolás Mellado Opazo

Informe de Memoria de Título
para optar al Título de

Ingeniero Civil en Telecomunicaciones

mayo 2019

Índice General

Índice de Figuras	II
-------------------	----

Índice de Tablas	III
------------------	-----

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes históricos	1
1.2. Definición del problema	1
1.3. Estado del arte	2
1.4. Hipótesis de trabajo	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo general	4
1.6. Alcances y limitaciones	4
1.7. Metodología	4
A. Códigos	8
A.1. Derivación de fórmulas	8
A.2. Unidades especiales	8

Índice de Figuras

Índice de Tablas

Siglas

AoA Ángulo de llegada (del inglés *Angle of Arrival*)

AP Punto de Acceso (del inglés *Access Point*)

GPS Sistema de Posicionamiento Global (del inglés *Global Positioning System*)

IPS Sistema de Posicionamiento en Interiores (del inglés *Indoor Positioning System*)

MAC Control de Acceso al Medio (del inglés *Media Access Control*)

NAVSAT Sistema Satelital de Navegación Naval (del inglés *Navy Navigation Satellite System*)

RNN Red Neuronal Recurrente (del inglés *Recurrent Neural Network*)

RSSI Indicador de Intensidad de Señal Recibida (del inglés *Received Signal Strength Indicator*)

ToF Tiempo de Vuelo (del inglés *Time of Flight*)

1. Introducción

1.1. Antecedentes históricos

El ser humano, en la década del 60, ante la incipiente necesidad de saber su posición en el planeta desarrolló un sistema de posicionamiento llamado OMEGA y posteriormente otro llamado TRANSIT o Sistema Satelital de Navegación Naval (del inglés *Navy Navigation Satellite System*, NAVSAT), que fue resultado del trabajo conjunto de la NASA y el departamento de defensa de los Estados Unidos. Años después este acabó siendo reemplazado debido a la falta de precisión que este tenía, y que alcanzaba un error de hasta 250 metros.

Su sucesor apareció en la década del 70 bajo el nombre de Sistema de Posicionamiento Global (del inglés *Global Positioning System*, GPS) y su precisión permitía posicionar un objeto con un error de menos de 5 metros. Esto a través del cálculo del tiempo que tarda en llegar la señal al receptor, es decir, el efecto Doppler.

Funciona actualmente con un mínimo de 24 satélites en órbita sobre la tierra cuyas trayectorias sincronizadas le permiten mapear completamente el planeta y entregar posicionamiento casi exacto a dispositivos móviles y vehículos.

Existen desde ya hace décadas intentos por emular lo logrado con el GPS, pero para espacios interiores, estos intentos han recibido el nombre de Sistema de Posicionamiento en Interiores (del inglés *Indoor Positioning System*, IPS), que conforme a lo que se presentará en capítulos posteriores han logrado obtener resultados de posición con márgenes de error inferiores a los 3 m.

1.2. Definición del problema

Las condiciones bajo las cuales es posible para la señal propagarse no se cumplen en todos los ambientes. Existen lugares en que a diferencia de lo que sucede en el exterior, donde la señal se refleja haciendo posible la triangulación de la posición, esta se absorbe parcial o completamente y principalmente corresponden a espacios interiores, tales como una bodega, un centro comercial o

una oficina, haciendo que posicionarse dentro de estos espacios sea imposible a través del GPS, es por esto que a fin de brindar nuevas experiencias a usuarios a través del posicionamiento dentro de estos espacios se han desarrollado soluciones utilizando la banda de los 2.4 [GHz] que es la utilizada por, entre otros tecnologías, el Wi-Fi.

Esta ha sido ampliamente estudiada debido a la alta penetración comercial que ha alcanzado precisamente en estos espacios donde el GPS no da cobertura, sin embargo, dentro de los distintos enfoques en que se han abordado los estudios se tiene que la medición de los niveles de potencia radiada desde los Punto de Acceso (del inglés *Access Point*, AP), a través de los cuales se realiza la triangulación de la posición, se ven altamente afectados por la variación del escenario caracterizado. Este tipo de variaciones pueden ser inducidas por la presencia de personas u objetos que reflejen o absorban la señal.

Es por esto que el método a través del cual se de solución al problema del posicionamiento en interiores debe ser un IPS capaz de compensar la incidencia de estas variaciones en el Indicador de Intensidad de Señal Recibida (del inglés *Received Signal Strength Indicator*, RSSI) dentro de la operación del algoritmo y así, estimar correctamente la posición de objetivo deseado identificable a través de su dirección de Control de Acceso al Medio (del inglés *Media Access Control*, MAC).

1.3. Estado del arte

En cuánto a los enfoques que se han considerado para evaluar la posición de un dispositivo móvil en un espacio interior se han podido desarrollar diversas soluciones que apuntan de una u otra manera a aproximaciones geométricas. Algunas de las que se pueden mencionar y son las siguientes:

- Ángulo de llegada (del inglés *Angle of Arrival*, AoA): Referido, como su nombre lo dice, se refiere al ángulo de llegada de la señal del dispositivo móvil, proveniente de una ubicación desconocida, la cual es recibida en múltiples estaciones base. Resultaría provechoso un sistema de posicionamiento de este tipo puesto que solo requiere dos AP o Beacons, cuya precisión puede ser mejorada por la inclusión de un tercero. En este caso, y tal y como explican *Kyle Davies e Ian Jones* en [11], si se incluye un tercer elemento se habla de triangulación.
- Triangulación: Este método, explicado en *Recen Advances in Wireless Indoor Loca-*

lization Techniques and System[6] usa herramientas geométricas de triángulos para determinar la ubicación del objetivo. Tiene a su vez dos posibles variaciones:

Trilateración: Si es que en lugar de usar propiedades geométricas de triángulos, utiliza círculos que corresponden al área de cobertura del AP. Estos a través de un punto de intersección de las circunferencias permiten estimar la posición del objetivo. Se basa en el nivel de RSS. Esto fue utilizado en [3], [4], [5], [7], [8] y [9].

En estos papers, específicamente en el trabajo de Zahid, Rosdiadee y Mahamod, ellos recopilaron información detallada sobre las técnicas de posicionamiento indoor a la fecha de publicación, hacen una diferencia respecto cuándo usar Trilateración o Triangulación, mencionando que cuando se trata de técnicas de medición de propagación basadas en tiempo, esto es Tiempo de Vuelo (del inglés *Time of Flight*, ToF), RTOF y TDOA o en RSS, se puede usar un algoritmo del tipo Trilateración, mientras que si se trata de AoA, el algoritmo a usar es el de Triangulación.

Sin embargo, esta aproximación depende del uso de antenas altamente directivas o bien, de arreglos de antenas lo que ciertamente aumenta sustancialmente el costo de su implementación. Ya que lo que se usa son relaciones geométricas que permiten estimar el punto de intersección.

- ToF, este concepto está referido a la técnica a través de la cual se realizan cálculos de posición a través del tiempo de llegada de la señal respecto de diversos puntos de referencia.

No obstante, las técnicas más usadas dentro de las consultadas en la revisión bibliográfica son aquellas que usan un método combinado de herramientas matemáticas del tipo estadísticas, en conjunto con los valores de RSS, para estimar la posición. Las herramientas son utilizadas para corregir errores que se producen en la recepción de la señal y que se originan en las reflexiones que esta experimenta a través del viaje desde y hacia el dispositivo.

Se reconocen además dos fases muy bien definidas en el proceso de desarrollo de un sistema de posicionamiento. Una fase *offline*, que guarda relación con el mapeo o la caracterización del espacio en función de los valores de intensidad de señal recibida en los cuadrantes en que se divide el espacio sobre el cual se moverá el dispositivo, y una fase *online*, que es en la cual el dispositivo móvil se mueve a través de este espacio enviando los RSSI a un servidor que consulta en la base de datos obtenida previamente, cuál es o debería ser la posición de este en el espacio.

Sin embargo, sugieren autores en [8], [11], [12] y [14], que la precisión mejora considerablemente, al rededor de un 45 % sobre los resultados preliminares, si es que se considera la media

y la desviación estándar en los resultados.

1.4. Hipótesis de trabajo

”Es posible posicionar un dispositivo, identificable a través de su MAC, en un espacio interior utilizando una Red Neuronal Recurrente (del inglés Recurrent Neural Network, RNN) para compensar las variaciones de RSS de los AP usados en la trilateración”

1.5. Objetivos

A continuación se señalan los objetivos que apuntan a resolver el problema presentado y a probar la hipótesis de trabajo.

1.5.1. Objetivo general

Posicionar un dispositivo móvil, reconocible a través de su MAC dentro de un espacio interior, a través de algoritmos de trilateración y RNN.

1.6. Alcances y limitaciones

El alcance de este proyecto estará limitado a encontrar la posición de un dispositivo móvil dentro del espacio del segundo piso de Edificio Tecnológico Mecánico de la Universidad de Concepción. Se ejecutará el algoritmo desarrollado en una laptop personal, utilizando Raspberry Pi como AP y el resultado del posicionamiento se desplegará en una interfaz gráfica desarrollada en python.

1.7. Metodología

Para lograr posicionar un dispositivo móvil dentro del espacio interior, se buscará en primera instancia extraer los datos de RSSI obtenidos desde las tarjetas de Red de las placas. Posterior

a esto se caracterizará el espacio de trabajo con sus respectivos niveles de RSSI. Estas serán usadas para entrenar un modelo que, a través de RNN, pueda detectar la posición en que se halla un usuario, respecto de los niveles de potencia y la certidumbre que arroje el entrenamiento realizado. Finalmente, el resultado será desplegado en una interfaz gráfica.

Bibliografía

- [1] VAN VINH NGUYEN y WEON LEE JONG, «Self-Positioning System for Indoor Navigation on Mobile Phones» *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 2012
- [2] REA MAURICIO, CORDOBÉS HÉCTOR, GUSTINIANO DOMENICO, «Twins: Time-of-flight based Wireless Indoor Navigation System»
- [3] BIANCA BOBESCU, MARIAN ALEXANDRU «Mobile indoor positioning using Wifi localization» Review of the Air Force Academy. Transilvania University, Brasov, Romania
- [4] MAYUR TAWARI, ONKAR PATHAK, RAJESH PALASKAR y RAJESH PALKAR, «Wi-Fi Indoor Positioning System Based on RSSI Measurements from Wi-Fi Access Points –A Trilateration Approach», *International Journal of Scientific & Engineering Research*. V5, 2014.
- [5] C. YANG AND H. R. SHAO, «WiFi-based indoor positioning,» in *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 3, pp. 150-157, March 2015. doi: 10.1109/MCOM.2015.7060497
- [6] ZAHID FARID, ROSDIADEE NORDIN y MAHAMOD ISMAIL, «Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System», *Journal of Computer Networks and Communications*, 2013.
- [7] ZHAO KAI, LI BINGHAO y ANDREW DEMPSTER, «A Comparison of algorithms adopted in fingerprinting indoor positioning systems», *IGNSS Symposium*, 2013.
- [8] MA, R., GUO, Q., HU, C., & XUE, J. (2015). «An Improved WiFi Indoor Positioning Algorithm by Weighted Fusion». *Sensors*.
- [9] HABIBI LASHKARI, ARASH & PARHIZKAR, BEHRANG & NG AH NGAN, MIKE. (2010). «WIFI-based indoor positioning system». *Computer and Network Technology, International Conference on*. 76-78. 10.1109/ICCNT.2010.33.
- [10] ZOURMAND A., SHENG N., LAI KUN A., ET AL, «Human Counting and Indoor Positioning System Using WiFi Technology» , *IEEE, International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems*. October 20, 2018, Shah Alam, Malaysia.
- [11] DAVIES K., JONES I. y SHAPIRO J., «A Bayesian Approach to Dealing with Device Heterogeneity in an Indoor Positioning System», *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*. September 2018, Nantes, France.

- [12] LE DORTZ N, ZETTERBERG P. AND GAIN F., «Wifi Fingerpirnt Indoor Positioning System Using Probability Distribution Comparison», *IEEE ICASSP 2012*
- [13] BEOM-JU SHIN, KWANG-WON LEE, SUN-HO CHOI, ET AL,«Indoor WiFi positining System fior Android Based Smartphone» , *ICTC 2010*
- [14] LU Y., ZHANG D. CHENG Y., ET AL,«An Improved Method and Implementation of Indoor Positioning Fingerprint Matching Localization Based on WLAN», *Springer Nature*,Switzerland AG 2019
- [15] ,«Towards the Implementation of Recurrent Neural Networks Schemes for WiFi Fingerprint-Based Indoor Positioning» , *IEEE 2018*
- [16] Y LU ET AL,«Implementation of Fingerprint Matching Method for Indoor Position Based on Virtual Reality Technology», *An Improved Method and Implementation*