



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Prof. Comisión**

Sergio Sobarzo G., PhD.

Sergio Torres I., PhD.

Sebastián Godoy M., PhD.

# **Posicionamiento indoor mediante seguimiento de interfaces de red de equipos móviles.**

**Aldo Nicolás Mellado Opazo**

Informe de Avance del Proyecto de Habilitación Profesional

Concepción, Chile.

30 de mayo de 2018

# Resumen

La historia nos dice que conforme evolucionan las especies también lo hacen sus necesidades. En un comienzo, el humano nómada necesitaba de alimento y cobijo, y debido a esto adaptó sus hábitos errantes para dar paso al asentamiento. Años más tarde, con el desarrollo de la agricultura y el paso hacia el sedentarismo, el ser humano adaptó su entorno para que éste saciara sus requerimientos. Sin embargo, con el paso del tiempo y al evolucionar el colectivo, y por tanto, las estructuras políticas y sociales, el ser humano se vio en la necesidad de volver a movilizarse por motivos diferentes a supervivencia elemental. Volvió a viajar, recorrer nuevos terrenos, y para ello requirió de nuevas herramientas: mapas, cartas de navegación, y más tarde, radares.

En la actualidad, para satisfacer estas nuevas necesidades hemos creado sofisticadas y novedosas herramientas para guiarnos, las cuales nos permiten, entre otras cosas, llegar de una ciudad a otra, encontrar un local de comida al otro lado de la ciudad y movilizarnos por la ruta más óptima, una que nos ahorre el tráfico o tediosos pagos de peaje. Todo esto y más ha sido resuelto con la implementación de algoritmos en aplicaciones móviles que nos permiten hacer todo lo anteriormente mencionado.

Sin embargo los algoritmos usados en espacios exteriores se valen del Global Positioning System ([GPS](#)) resultan, dada la precisión de sus mediciones, poco eficiente para determinar la posición en un espacio interior. La señal del satélite no es capaz de atravesar los muros y, es por este motivo que, luego un acucioso estudio, se desarrollará un tipo de Indoor Positioning System ([IPS](#)) que permita determinar la ubicación de un objetivo en un espacio indoor.

# Índice General

<b>Resumen</b>	<b>I</b>
<b>Índice de Acrónimos</b>	<b>III</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes Históricos . . . . .	1
1.2. Definición del Problema . . . . .	2
1.3. Estado del Arte . . . . .	2
1.4. Objetivos . . . . .	5
1.4.1. Objetivo General . . . . .	5
1.4.2. Objetivos Específicos . . . . .	5
1.5. Alcances y Limitaciones . . . . .	5
1.6. Temario y Metodología . . . . .	5
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>7</b>
<b>3. Nombre del Capítulo</b>	<b>9</b>
3.1. Introducción . . . . .	9
3.2. Otros comentarios... . . . .	9

# Lista de Acrónimos

**GPS** Global Positioning System

**WiFi** Wireless Fidelity

**AP** Access Point

**IPS** Indoor Positioning System

**RSS** Received Signal Strength

**AOA** Angle of Arrival

**TOA** Time of Arrival

**MAC** Media Access Control

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Antecedentes Históricos

En la década de los 60's, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos desarrolló el primer prototipo de un sistema de geolocalización basado en el cálculo de la diferencia de fases de la señales emitidas desde un satélite a estaciones terrestres, lo que les permitía determinar su posición. Años más tarde, en la década de los 70's, los programas de la armada y de la Fuerza Aérea desarrollaron un sistema que les permitía determinar posiciones mediante el uso de 24 satélites dispuestos a una órbita a 20.200 km sobre la superficie terrestre.

Mediante el uso del método matemático llamado Trilateración, usan los satélites, y la cobertura que estos hacen sobre la superficie de la tierra, para comparar la posición del dispositivo, respecto de otras 3 unidades fijas de distancia. Las mediciones y la cobertura de este sistema se hacen más exactas conforme se cubre más áreas, de ahí la necesidad de 24 satélites.

Sin embargo, el uso del GPS no aplica para espacios interiores, por este motivo aparecen prototipos de GPS para indoors, también llamados Sistemas de Posicionamiento Interior o (IPS) en los que implementaciones recientes como las hechas por Google que, tras añadir a su aplicación Google Maps planos de pisos en centros comerciales, aeropuertos y otras grandes áreas comerciales, permiten al usuario moverse estando en conocimiento de accesos, salidas de

emergencia y ubicaciones de tiendas.

## 1.2. Definición del Problema

Para personas con algún tipo de discapacidad es de por sí muy tedioso y difícil hallar un lugar en el estacionamiento, encontrar un acceso habilitado para sillas de ruedas, ascensores y baños, especialmente si se trata de algún usuario que se halla de paso en la ciudad.

Además de lo anterior, es sabido que para las tiendas de retail es importante poder concentrar de mejor manera sus esfuerzos para captar clientes y comprender el comportamiento basado en el interés que estos muestran por determinados productos y la forma en que la disposición de estos influye en sus hábitos de compra.

Todo esto se puede lograr diseñando un sistema de posicionamiento indoor que entregue una ubicación exacta al usuario, ya sea para encontrar accesos y facilitar la navegación de este al interior de un centro comercial, de un hospital o para guiar un robot, para hallar un vehículo en un estacionamiento subterráneo o para entregar informes estadísticas sobre las trayectorias de los clientes alrededor de una tienda en particular.

La utilidad y aplicabilidad de este sistema, tal como lo menciona un informe sobre la inversión realizada en tecnologías de posicionamiento indoor es incuestionable y es por ello que urge una implementación que de respuesta a esta oportunidad.

## 1.3. Estado del Arte

### *Trilateración*

En abril del año 2014, en International Journal of Scientific and Engineering Research se publicó el artículo "Wifi Indoor Positioning System Based on RSSI Measurements from Wi-fi Access Points - A Tri-lateration Approach", en que Pratik Palaskar y Onkar Pathak, entre otros

autores hablan de un algoritmo para obtener la posición de un usuario al interior de un espacio indoor mediante el cálculo de la distancia respecto de tres diferentes puntos de acceso o Access Point (AP), en que además de calcular la distancia, se busca el punto de intersección entre tres circunferencias que representa el área de cobertura del AP. En el además se hace uso de los valores de distancia de propagación que entrega la ecuación de Friis y el modelo de propagación indoor en espacio interior.

En el trabajo que hicieron, hablan de este modelo básico de decaimiento de la señal en espacio interior, el cual, está sujeto a las reflexiones, refracciones y atenuaciones y el cual mediante la consideración de los parámetros anteriores y de lo que se puede expresar en la ecuación 1.1

$$P(X) = 10 \cdot n \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) + X_\sigma \quad (1.1)$$

Tal que  $P(X)$ , es la pérdida por ruta,  $n$ , es el exponente de decaimiento de la señal,  $d$ , es la distancia entre el transmisor y el receptor,  $d_0$ , la distancia de referencia<sup>1</sup>,  $\lambda$  es la longitud de onda de la señal a  $f = 2,4$  GHz, finalmente se tiene que el último parámetro, esto es  $X_\sigma$  debe calcularse in situ, esto debido a que varía la cantidad de muros, no obstante, se considera con un valor de  $X_\sigma = 10$  dB.

El modelo de propagación indoor les permitió obtener valores de la distancia entre donde se ubicaba el AP y donde se hallaba el usuario. Esto es fundamental al desarrollar un IPS dado que este algoritmo lo que hace es calcular la posición exacta de un suuario dada la posición exacta de un AP, de modo que la poca precisión de estas resultaría en una imprecisión generalizada del algoritmo.

Además de lo anterior, se tiene que lo que en realidad es la base de este método, es un sistema de ecuaciones de tres incógnitas que calculan la ubicación espacial del usuario.

Al trabajar con la trilateración se prescinde de un seguimiento por dirección MAC, ya que

---

<sup>1</sup>Considerada como 1 m

solo se trabajó y aplicó para un dispositivo, sin llegar a una tabulación de resultados para distintos dispositivos trabajando en simultáneo.

### *Triangulación*

Por otro lado, existen otras formas, alternativas a la de trilateración, como el que presentan en "A Comparison of algorithms adopted in fingerprinting indoor positioning systems" en donde lo que se hace, es basar la estimación de la ubicación del objetivo, en las propiedades geométricas de los triángulos, a diferencia de lo que se presentaba en **ref6**, en que se proponía hacerlo usando la intersección de las circunferencias que representaban a los AP's. En esta forma, se ocupan parámetros tales como el Time of Arrival (**TOA**), el Angle of Arrival (**AOA**) y el Received Signal Strength (**RSS**) para poder hacer el cálculo. Estos parámetros son entregados directamente por los AP's y se usan para calcular las distancias entre el objetivo y los AP's, al igual que lo que se plantea en **ref6** se debe disponer de a lo menos 3 AP's para poder estimar su ubicación.

### *Algoritmos de Proximidad*

En el texto de "Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System" se tiene que este tipo de algoritmos ayuda a estimar la ubicación del objetivo usando la relación de proximidad entre el objetivo y los puntos de acceso Wifi. Esto es, cuando el dispositivo móvil recibe la señal desde diferentes AP's, la compara a partir de las señales recibidas se la asigna al AP con la RSS más fuerte. La precisión de este algoritmo está dada por la densidad de distribución y la señal de los AP Wifi.

Como se puede ver en [1, pág 21] ...



## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo General

Investigar y desarrollar un algoritmo para la memoria de título que permita hacer seguimiento de un dispositivo en un espacio indoor haciendo uso modelos de propagación indoor y algoritmos de trilateración.

### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar sobre las distintas alternativas de [IPS](#) usadas actualmente.
- Estudiar el comportamiento de una red wifi en un espacio indoor apoyado en un modelo de propagación.
- Estudiar el modelo de pérdidas que se adecúe mejor al espacio sobre el que se desean hacer las mediciones.

## 1.5. Alcances y Limitaciones

### *Alcances*

Acotar el estudio a modelos de propagación indoor que se adecuen mejor al espacio que se desea caracterizar para hacer las mediciones.

### *Limitaciones*

Escoger un espacio que sea representativo para realizar las mediciones, es decir, que sea acorde a los espacios en los que podría llegar a implementarse el seguimiento.

## **1.6. Temario y Metodología**

En el segundo capítulo, se abordarán con mayor detalle los modelos de propagación para así poder cotejar la validez y concordancia entre los valores de RSS teóricos y los recibidos, ya que de este modo se tendrá mejor entendimiento respecto de cómo obtener los valores. En el tercer capítulo se hablará de cómo se desarrollará el algoritmo, pasando por el razonamiento subyacente a la idea que se pretende implementar, hasta llegar a la

# Capítulo 2

## Marco Teórico

En el proceso de comunicación se tiene que aparte del emisor, el receptor y el mensaje, existe el canal, el cual para la propagación de las ondas electromagnéticas corresponden al aire o bien, a un cable conductor.

### **Espectro electromagnético**

Corresponde al conjunto de todas las radiaciones electromagnéticas para las distintas longitudes de onda. Ejemplos de estos tipos de radiación son los rayos gamma, que corresponden a longitudes de onda cortas, pero a altísimas frecuencias.

Estas ondas se pueden propagar por un medio el cual puede ser de guiado, si es que corresponde a los cables de par trenzado, coaxial o a fibra óptica, o a medios no guiados, como es el caso de las antenas, que pueden ser de tipo direccional u omnidireccional que serán el transmisor desde el cual, según el rango de frecuencia, es decir, en la banda en la que se trabaje, proveerá distintos servicios.

La banda de operación de Wifi, está regulada por el estandar IEEE 802.11, el cual detalla las condiciones de velocidad, seguridad y las tecnologías que son compatibles con esta. . Esta banda se encuentra en los 2.4 GHz, la cual permite, a diferencia de las bandas que se espera operen en poco tiempo más, una mayor área de servicio, sin embargo, presenta mayor

interferencia y problemas de propagación, por lo que resulta imperativo que se migren los servicios a frecuencias más altas y con esto, descongestionar el medio.

Los problemas de interferencia pasan, entre otras cosas, debido a la gran cantidad de equipos operando en la misma banda, mientras que los problemas de propagación se deben a las reflexiones, refracciones y atenuaciones que experimentan al incidir sobre las distintas superficies que se pueden hallar en un espacio indoor, tal y como señalan los modelos de propagación.

### **Modelo de propagación Indoor**

Los modelos de propagación indoor son aproximaciones matemáticas que permiten mediante herramientas estadísticas hacer aproximaciones que permiten

# Capítulo 3

## Nombre del Capítulo

### 3.1. Introducción

Es importante que cada capítulo tenga una pequeña introducción. Esto justifica plenamente el tener dicho capítulo en el informe.

### 3.2. Otros comentarios...

El capítulo 3 en general presenta la idea, la justificación teórica y el desarrollo de la hipótesis que se planteó.

Resulta ser el capítulo más importante en sí, ya que buscará la solución al problema planteado.

# Bibliografía

- [1] DANTZIG, G.B. y P. WOLFE, «Decomposition principle for linear programs», *Operations Research*, **8**, págs. 101–111, 1960.