



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 Final Proyecto de Habilitación Profesional

Concepción, Chile.

2 de julio 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 ha creado sofisticadas y novedosas herramientas para guiarse, las cuales le permiten, entre otras cosas, llegar de una ciudad a otra, encontrar un local de comida al otro lado de la ciudad y movilizarse 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.

Donde el Global Positioning System ([GPS](#)) solía ser una alternativa al posicionamiento, se tiene que para espacios indoor la solución a implementar, tanto si es un usuario el que desea saber su posición o si es un cliente el que desea saber la posición de sus usuarios a fin de tener estadísticas que relacionen las trayectorias de estos dentro de un espacio con patrones de conducta o de consumo, es ciertamente el Indoor Positioning System ([IPS](#)) la solución.

Índice General

Resumen	I
Índice de Acrónimos	III
1. Introducción	1
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	6
2. Marco Teórico	7
3. Nombre del Capítulo	15
3.1. Introducción	15
3.2. Otros comentarios...	15
3.3. Referencias	16

Lista de Acrónimos

GPS Global Positioning System

WiFi Wireless Fidelity

IPS Indoor Positioning System

AP Access Point

MAC Media Access Control

RSS Received Signal Strength

AOA Angle of Arrival

TOA Time of Arrival

IRDP Internet Router Discovery Protocol

ICMP Internet Control Message Protocol

DHCP Dynamic Host Configuration Protocol

ISP Internet Service Provider

LOS Line Of Sight

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 referencia¹, λ es la longitud de onda de la señal a $f = 2,4$ GHz. Finalmente se tiene que el último parámetro, esto es X_σ 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 usuario 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

¹Considerada 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 [1], 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 [1] 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.

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 el seguimiento de las solicitudes de ICMPV6 recibidas por los distintos AP a los que un usuario realiza solicitudes.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar sobre las distintas alternativas de [IPS](#) usadas actualmente.
- Estudiar las ventajas y desventajas existentes entre las distintas alternativas de [IPS](#)
- Estudiar el comportamiento de una red wifi en un espacio indoor apoyado en un modelo de propagación.
- Estudiar antecedentes sobre IPS que utilicen Internet Router Discovery Protocol ([IRD](#))
- 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 además 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. Estas son usadas para transmitir información en forma de señales que en comunicaciones, viajan por distintos medios, cables de cobre, fibra óptica o enlaces de microondas, entre otros.

Sin embargo, la información, considerando el volumen de datos que viajan por las redes, obedece un orden, que en redes de datos se conoce como modelo OSI.

Modelo OSI

Es un modelo que sirve de referencia para los protocolos que operan en las distintas capas que componen este modelo. Es un estándar desarrollado en 1980 por la ISO que establece un ordenamiento por el cual deben regirse los datos al moverse.

Este modelo consta de siete capas

Físico, Enlace, Red, Transporte, Sesión, Presentación, Aplicación.

Donde cada nivel realiza una función concreta, y se separa de los adyacentes por interfaces conocidas, sin que le concierna ningún otro aspecto del total de la comunicación. Las capas que participan de los modelos estudiados son las que se detallan a continuación:

■ Capa Física

Corresponde a la capa que guarda relación con la conexión, es decir, con la forma en que se conecta el dispositivo a la red y la transmisión, esto es a cómo se transmiten los datos. Entre sus funciones, está el establecer cuál o cuáles son los medios por los cuales viaja la señal y el normar las características materiales y eléctricas de los componentes.

■ Capa de Enlace

Esta capa representa para efectos de lo que se pretende investigar y eventualmente desarrollar, la capa que hace posible el seguimiento, pues se encarga de la transferencia de información entre la capa de red y la capa física. Y para ello se vale de tramas que le dotan al dispositivo una dirección Media Access Control ([MAC](#)) lo que le permite hacer control de flujo, detección y corrección de errores.

Es de esta capa que los IPS, se valen, como es el caso de el algoritmo de trilateración en donde se establece la conexión a un AP, se hace la identificación del dispositivo a través de la dirección MAC y luego el posterior cálculo.

Medio No Guiado

Corresponde a los medios por los cual viajan las ondas electromagnéticas y que en este caso, corresponden a dispositivos que se valen de antenas para propagarlas.

Router

Un router inalámbrico es un dispositivo que además de la función de router, sirve de punto de acceso, es decir, permite que los dispositivos inalámbricos se conecten a la red. En las funciones de router, este dispositivo direcciona los datos que provienen desde y hacia los dispositivos conectados a la red y que compartan la misma conexión de red por las distintas interfaces que la compongan, permitiendo que estos se comuniquen entre sí.

Todas las conexiones realizadas en la red inalámbrica se hacen dentro de lo que se denomina, para cuando se usa este tipo de redes, una red de infraestructura inalámbrica y es sobre esta que los dispositivos se comunican entre si e interactúan con la red exterior.

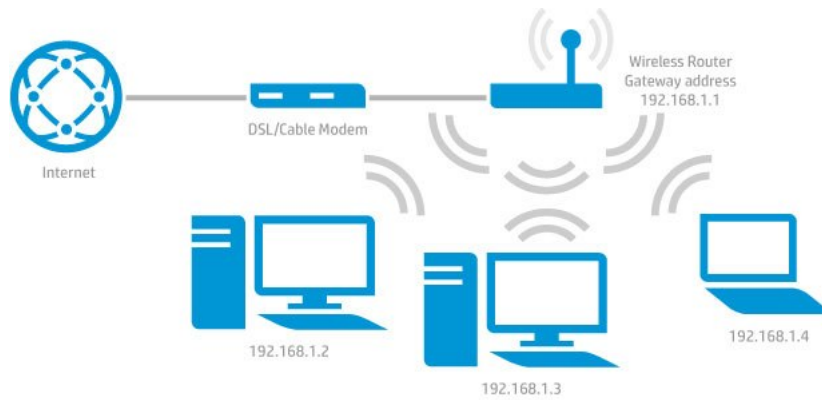
Es en esta parte donde el router recibe, desde el dispositivo móvil, solicitudes del tipo ICMPv6, que son un tipo de solicitudes conocidas como [IRDP](#) o Protocolo de descubrimiento de enrutador de internet y que son un tipo de solicitudes del protocolo Internet Control Message Protocol ([ICMP](#)) o Protocolo de control de mensajes de internet que se encargan de establecer la conexión con el router. Del tipo de mensajes ICMP existen dos tipos:

- *ICMP Router Solicitation Message*: Este tipo de mensajes es enviado desde un equipo a cualquiera de los routers que se hallen en la LAN para avisar que se encuentran en presencia de esta red. Básicamente, avisan que podrían eventualmente desear conectarse.
- *ICMP Router Advertisement Message*: Es enviado por el router en la LAN para anunciar la IP disponible para rutear.

8	7.099745262	::	ff02::16	ICMPv6	90 Multicast Listener Report Message v2
9	7.509995853	fe80::2ec:aff:...	ff02::16	ICMPv6	90 Multicast Listener Report Message v2
10	7.511021147	fe80::2ec:aff:...	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:ec:0a:5a:b4:1a
12	7.919139899	fe80::2ec:aff:...	ff02::16	ICMPv6	90 Multicast Listener Report Message v2
14	11.509620249	fe80::2ec:aff:...	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:ec:0a:5a:b4:1a
23	15.190252596	fe80::2ec:aff:...	ff02::16	ICMPv6	130 Multicast Listener Report Message v2
24	15.599612927	fe80::2ec:aff:...	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:ec:0a:5a:b4:1a
25	15.704666089	fe80::2ec:aff:...	ff02::16	ICMPv6	130 Multicast Listener Report Message v2
15065	133.586145620	fe80::82c:d28f:...	ff02::16	ICMPv6	110 Multicast Listener Report Message v2
15081	134.509358576	fe80::82c:d28f:...	ff02::16	ICMPv6	110 Multicast Listener Report Message v2

Fig. 2.1: Captura en Wireshark de solicitudes IRDP

Finalmente, se anuncian mediante una solicitud de establecimiento de conexión donde el router recibe la MAC del dispositivo, entre otros datos, y establece la conexión si la autenticación fue exitosa.

Fig. 2.2: Ejemplo de red de infraestructura inalámbrica²

De ser exitosa, el router, mediante el protocolo Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP), asigna desde el número limitado de direcciones IP que el Internet Service Provider (ISP) entrega al cliente, una IP que enlaza esta dirección con la MAC del usuario estableciendo así la conexión. Es así como del router inalámbrico el dispositivo posee ahora la conexión al AP WiFi.

Wifi

Es una tecnología que recibe su nombre a partir de la abreviación de una marca comercial y que permite el acceso a la red por parte de dispositivos de forma inalámbrica, haciendo así posible la vinculación de diferentes equipos entre si prescindiendo de cables.

Dado que la conexión inalámbrica se hace a través de ondas electromagnéticas dentro del rango de frecuencias en los 2.4 GHz y que estas se dividen en 14 canales que van desde los 2412 MHz hasta los 2484 MHz, existen combinaciones óptimas de canales en las que estos no se solapan entre si, y con ello, se logran reducir las interferencias.

Esta tecnología está regulada por el estándar internacional IEEE 802.11 que con el paso del tiempo, ha dado lugar a otras versiones que incluyen mejoras tales como ancho de banda, alcance, velocidad y frecuencia.

Para efectos de este estudio, se deben tener en consideración las pérdidas propias de la propagación de estas ondas. Ejemplo de la propagación de la señal de Wifi en un espacio es el presentado en la imagen 2.3

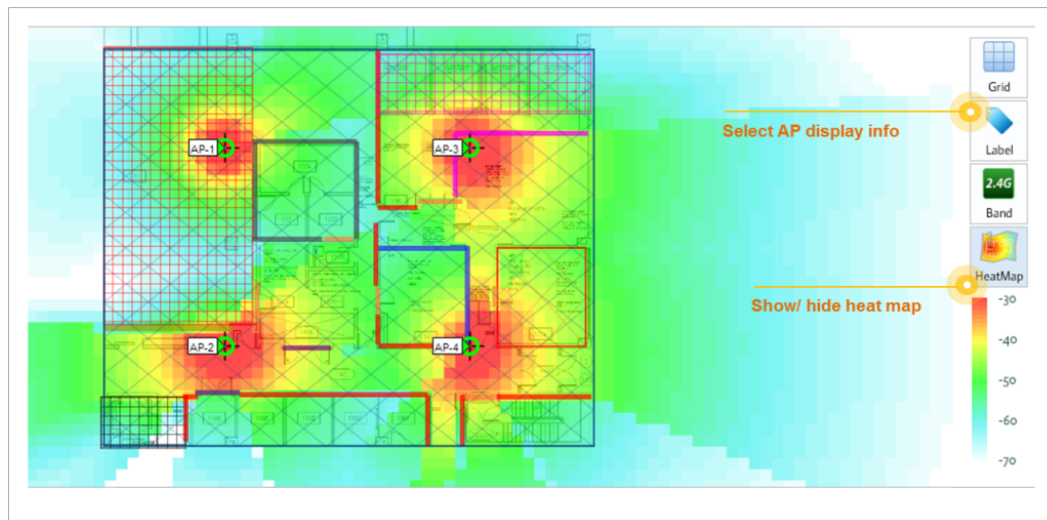


Fig. 2.3: Muestra software D-link sobre variación de intensidad de señal por propagación en espacio indoor.¹

Modelo de propagación

Son aproximaciones matemáticas que permiten modelar el espacio físico por el cual se va a propagar la señal y que contemplan los principios físicos que la describen y que se introducen al modelo en forma de parámetros. Y que para efectos de este estudio, permiten caracterizar los valores esperados según el tipo de espacio que se vaya a caracterizar para así tener un marco de referencia con el cual contrastar las mediciones obtenidas.

”Estos modelos a menudo se basan en modelos probabilísticos, que pueden calcular con una cierta probabilidad de que la señal llegue o no a un determinado lugar. Algunos de estos modelos se basan en mediciones realizadas en el lugar de interés de las cuales se toman miles de mediciones que se promedian, pudiendo entonces, establecerse modelos de propagación en estos medios”[4]. De esta forma, cada modelo sirve para cada entorno, pudiendo estos a su vez, servir de base para otros modelos. Es por esto que se trabaja apoyándose tanto de información estadística como de teorías matemáticas.

Dado que el espacio a caracterizar, para el uso de IPS, se trata de espacios interiores, se tiene que los modelos de este tipo a aplicarse serían:

Modelo de propagación Indoor

Corresponden a un tipo de modelo de propagación que se adecúa a la forma en que se propagan las ondas en un espacio indoor. Contemplan fenómenos físicos como son la reflexión, la refracción y la atenuación. Estudian además, cuáles son las variantes que se adecúan mejor al espacio, es decir, si se trata de un espacio físico de varios pisos o de una sola planta.

- **Modelo de propagación en espacio libre - Ecuación de FRIIS:** El modelo de propagación en espacio libre, es utilizado para estimar el nivel de potencia que se recibiría en determinado lugar cuando no se está en presencia de objetos que puedan degradar la

señal, afectando la propagación de esta entre el transmisor y el receptor. Esta condición es conocida como Line Of Sight (**LOS**) o línea de vista.

Pese a lo estricto que es el tener que considerar que la señal no se propagará en un entorno con obstáculos, el modelo FRIIS es una buena referencia de comparación para enlaces de mayor complejidad. Este modelo establece que el decaimiento de la potencia es una función que depende de la distancia de separación entre el transmisor y el receptor, elevada a alguna potencia.

Dicha relación queda de manifiesto en la siguiente ecuación.

$$PL = 10 \cdot \log\left(\frac{P_t}{P_r}\right) = -10 \cdot \log\left(\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2}\right) \quad (2.1)$$

donde

- P_t : es la potencia transmitida, en este caso, por el router
- P_r : es la potencia recibida, en este caso, por el equipo
- λ : Es la longitud de onda a la que opera, en este caso, Wifi
- d : Representa la distancia a la que se realiza la medición.

De lo anterior, se tiene que la ecuación de Friis muestra, como la potencia de la señal recibida, se atenúa de acuerdo al cuadrado de la distancia entre el transmisor y el receptor.

- **Linear Path Attenuation Model:** Es un modelo que se usa para cuando el transmisor y el receptor se hallan en la misma planta. Las pérdidas por propagación están en dB y se obtienen a partir del *path loss* en espacio libre, PL_{FS} , además de un factor que es lineal y que se obtiene experimentalmente.

Este modelo se vale de la siguiente fórmula:

$$PL(d) = PL_{FS} + a \cdot d \quad (2.2)$$

Donde a es el coeficiente de atenuación lineal, y d es la distancia entre Tx y Rx. Este coeficiente obedece a datos tabulados según el ambiente en el que se hizo la medición y que para el caso de oficinas sería de 0.47 dB/m.

- **Modelos basados en Redes Neuronales (ANNs):** Este tipo de modelos, recoge las imprecisiones de modelos tales como los empíricos, donde la falta de precisión es la principal deficiencia, y de modelos deterministas que si bien otorgan precisión, son altamente ineficientes, puesto que a menudo, requieren altas capacidades de procesamiento, y basándose en redes neuronales que aprovechan una base de datos de la planta en que se desea implementar, permiten con gran rapidez llegar a resultados precisos.

Dicha base de datos se compone de datos sobre zonas compuestas de diferentes categorías de materiales, superficies y objetos que existen en el entorno, además de la distancia entre el transmisor y el posible receptor, debiendo además, incluir información sobre el número y el tipo de materiales con que se va a encontrar la señal en las distintas categorías.

Las ANNs además de precisión, se valen del paralelismo sobre el cual se implementan proveyendo así una rápida evaluación de los resultados, y donde si bien, los procesos de aprendizaje suelen ser del orden de las horas, los procesos que le suceden en la predicción de niveles, es rápido.

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] ZAHID FARID, ROSDIADEE NORDIN y MAHAMOD ISMAIL, «Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System», *Journal of Computer Networks and Communications*, 2013.
- [2] ZHAO KAI, LI BINGHAO y ANDREW DEMPSTER, «A Comparison of algorithms adopted in fingerprinting indoor positioning systems», *IGNSS Symposium*, 2013.
- [3] 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.
- [4] SORIANO MONTERO, J. C. 2006. «Modelo Experimental de Propagación de RF en Espacio Libre y Vegetación a 9.1Ghz.» Cap.II Pág. 7. *Tesis Licenciatura. Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones*. Departamento de Computación, Electrónica, Física e Innovación, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla
- [5] CHOU, YUN-CHIH. «Characterizing Wi-Fi Network Discovery.» 10.13140/RG.2.2.36542.18241.(2017).

3.3. Referencias

- [1] Accedido en Julio 2018. [En línea]. Disponible en: <http://tools.dlink.com/intro/wfp/help>
- [2] Accedido en Julio 2018. [En línea]. Disponible en: <https://goo.gl/esTKaJ>

- [3] OLIVARES CAMARGO, JOSE L. «Modelo de Cobertura Para redes Inalámbricas de Interiores», (2009) Proyecto Fin de Carrera, Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros.