

(1/47) Portada

Buenas tardes, señores profesores, familia y amigos. Bienvenidos a la presentación de mi trabajo de memoria titulado "Análisis comparativo de sistemas de posicionamiento indoor"

(2/47) Tabla de Contenidos

Esta presentación está dividida en 6 secciones:

1. Introducción, donde se define la problemática y los objetivos que aborda esta memoria.
2. Estado del Arte, donde se habla acerca de cuáles son los métodos de posicionamiento y cuáles son las tecnologías actuales que permiten la geolocalización.
3. Diseño del Estudio, acá hablaré sobre las cualidades y costos de las distintas tecnologías para el posicionamiento indoor, además de mencionar el lugar donde fue realizado el estudio.
4. Implementación, hablaré sobre los requerimientos necesarios en una aplicación móvil que desarrollé y que me permitió poder hacer la experimentación, luego brevemente sobre el hardware utilizado, para terminar la sección con la ejecución del experimento.
5. Resultados, en esta parte mostraré los resultados a través de distintos gráficos.
6. Y finalmente les mostraré las conclusiones obtenidas en este trabajo.

(3/47) Tabla de Contenidos – Introducción

(4/47) Introducción

(1) La geolocalización, en pocas palabras, hace referencia al posicionamiento con el que se define la localización de un objeto espacial en un sistema de coordenadas determinado.

La geolocalización como la conocemos hoy en día tuvo su auge en la mitad del siglo XX en el ámbito militar y académico con el desarrollo del sistema GPS en Estados Unidos. Luego, en las décadas siguientes se comenzó a utilizar en el sector comercial, donde a comienzos de los 2000 tuvo un explosivo aumento en su uso.

(2) Ya hoy en día prácticamente todos los dispositivos móviles cuentan con la tecnología GPS o sistemas satelitales similares, por lo que es una tecnología bastante accesible. Se estima que a fines del año 2016 hay unos dos mil millones de smartphones activos en el mundo.

(5/47) Descripción del Problema

(1) Lo anterior genera un potencial mercado en distintos sectores, lo que genera que exista una alta demanda en el posicionamiento en interiores, ya sea en centros comerciales, hospitales, en túneles en el sector minero, estacionamientos subterráneos, etc.

(2) Sin embargo, las tecnologías satelitales de posicionamiento presentan limitancias importantes a la hora de obtener la posición en ambientes interiores ya que necesitan una línea de visión *casi* directa entre el dispositivo y los satélites, por lo que la presencia de muros, techos, entre otros genera una fuerte interferencia en esta línea de visión. Ante este problema, la pregunta natural es

(3) ¿Cómo podemos conocer nuestra posición en dichos lugares?

(6/47) Objetivos

(1) Los objetivos de esta memoria son identificar cuáles son los métodos y tecnologías que actualmente permiten el posicionamiento

(2) Y, como profesionales (o próximos a serlo, en mi caso... espero) tenemos que ser conscientes de los gastos que implica la implementación de una solución, es por esto que el objetivo principal es determinar los *trade-offs* entre exactitud y costo para tecnologías de posicionamiento indoor

(7/47) Tabla de Contenidos – Estado del Arte

Ahora hablaré sobre el Estado del Arte, primero sobre cuáles son los métodos que permiten obtener la localización de cierto objeto, y luego sobre las tecnologías que permiten la geolocalización

(8/47) Métodos de Posicionamiento

(1) Dentro de los métodos de posicionamiento se identifican 4 grandes métodos, los cuales son:

(2) *Fingerprints* o Reconocimiento de Patrones;

(3) Basado en celdas de origen, o *Cell-ID*, en inglés;

(4) Triangulación; y finalmente la

(5) Trilateración, que es la utilizada en este trabajo.

(9/47) *Fingerprints*

El reconocimiento de patrones, a grandes rasgos, se basa en medir las intensidades de las señales de diferentes estaciones base en distintos puntos dentro de un plano, luego se almacenan los datos, se procesan y son mapeados al lugar en cuestión. Finalmente, el usuario que desea conocer su posición mide las intensidades de señales cercanas y se comparan con las previamente registradas.

(10/47) Basado en celdas de origen

Para el método basado en celdas de origen simplemente se usa la ubicación de la estación base para determinar la posición. Esta posición estará determinada por la intensidad de señal de diferentes estaciones base, el cual se asumirá que está en la posición de la celda de la estación base más cercana.

(11/47) Triangulación

La triangulación corresponde al proceso de determinar la posición de un objeto midiendo los ángulos de distintos puntos conocidos. Las estaciones base miden el ángulo de llegada (*Angle Of Arrival*, en inglés) de la señal recibida por el terminal usuario.

(12/47) Trilateración

Finalmente, se tiene la Trilateración, que es el método usado en esta memoria. La trilateración es parecida a la triangulación, pero la gran diferencia radica en que la trilateración obtiene la posición de un terminal usando las distancias entre puntos conocidos, en vez de los ángulos de llegada.

(13/47) Trilateración

- (2) Dados tres circunferencias con centros y radios conocidos
- (3) ¿Cómo podemos obtener la posición de B ?
- (4) Las tres circunferencias quedan representadas analíticamente de la siguiente manera: la primera centrada en el origen, la segunda a una distancia d del origen y la tercera centrada en la coordenada (i, j)

(14/47) Trilateración

Luego de un poco de álgebra se obtienen las coordenadas de x , y y z para el punto B . Cabe mencionar que estas coordenadas relativas están bajo el supuesto en que P_1 está en el origen y P_2 a una distancia d . Para cualquier otro sistema de referencia simplemente se hace una traslación, se obtienen las coordenadas y luego se hace la traslación inversa para obtener las coordenadas reales.

(15/47) Tecnologías que permiten la geolocalización

Así como hay distintos métodos, también hay distintas tecnologías que permiten la geolocalización. Se dividen en dos grupos: *outdoor* e *indoor*. Para el posicionamiento outdoor se tiene principalmente sistemas satelitales, tales como GPS; y sistemas basados en antenas móviles como la red GSM. Por otro lado, el posicionamiento indoor destacan tres tecnologías: WiFi, Bluetooth y RFID, entre otras, tales como localización por magnetismo, ultrasonido, por luz, etc.

(16/47) Posicionamiento Outdoor

Dentro del posicionamiento *outdoor*, como dije previamente, se encuentra principalmente el sistema satelital GPS y la red de antenas GSM. El GPS está compuesto por 24 satélites en órbita, distribuidos de tal manera que siempre existen al menos 4 de ellos disponibles para cualquier punto sobre la Tierra, además posee una gran precisión: del orden de centímetros a un par de metros. El gran contra del GPS y similares es que requiere una línea de visión directa entre el dispositivo terminal y la red de satélites, por lo que cualquier objeto que interfiera esta línea de visión limita considerablemente su efectividad. También está la tecnología GSM, donde la localización consta principalmente por los métodos de Celdas de Origen y triangulación; consta una precisión del orden de 50 metros a unos cuantos kilómetros dependiendo de la densidad de antenas en el área.

(17/47) Posicionamiento indoor – WiFi

Una de las formas de obtener la posición es por trilateración, y para eso es necesario conocer las distancias que hay entre un Access Point y el dispositivo terminal. Para ello se hace uso del concepto físico llamado Free space path loss, el cual se define como la pérdida de la intensidad de señal que ocurre cuando una onda electromagnética viaja a través de una línea de visión directa en un espacio libre.

(18/47) Posicionamiento indoor – WiFi

Se define de la siguiente manera. Otra forma conveniente de escribir el FSPL es usando la notación de decibeles: FSPL es igual a 20 logaritmo de distancia más 20 logaritmo de la frecuencia más una constante K, que su valor está determinado por las unidades de distancia y frecuencia. Luego, haciendo el despeje se obtiene la fórmula de distancia.

(19/47) Posicionamiento indoor – Bluetooth

Para el caso de Bluetooth se usa el estándar Bluetooth 4.0 que tiene la particularidad de ser de bajo consumo y que emite señales del tipo broadcast, por lo que no requiere una conexión del tipo maestro-esclavo con el cliente. Los dispositivos especializados para este tipo de temáticas son los llamados Beacons.

(20/47) Posicionamiento indoor – Bluetooth

Haciendo uso de dos conceptos es posible obtener la distancia entre el dispositivo terminal y un Beacon. Primero se define el TxPower como la potencia constante que transmite cada Beacon. Este valor decae a medida que aumenta la distancia. Otro concepto es el RSSI, el cual es una escala de referencia para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo. La fórmula de distancia usando ambos conceptos es la siguiente. Estas constantes fueron obtenidas luego de hacer un ajuste de curva.

(21/47) Posicionamiento indoor – RFID

- (1) Un sistema RFID consta de tres componentes: Un lector de etiquetas, un ordenador central y un transpondedor. El lector de etiquetas emite y reciben ondas de radio que activan a un transpondedor para que pueda leer la información de éste. El ordenador central es el encargado de hacer todo el proceso de información. El transpondedor es un microchip que almacenan información.
- (2) El posicionamiento de un dispositivo está basado en celdas de origen, es decir, la posición estará determinada por el lector de etiquetas más cercano al dispositivo.

(22/47) Tabla de Contenidos – Diseño del Estudio

Con el fin de estudiar qué tan preciso es el posicionamiento usando estas tecnologías indoor es que primero se identifican las características y precios de cada una.

(23/47) Cualidades y costos de tecnología – WiFi

- (1) Dentro de la tecnología WLAN o WiFi, se identifican 5 protocolos principales: 802.11^a, b, g, n y ac, cada una con características distintas. Hoy en día, la mayoría de los dispositivos que proveen señal WiFi cumplen el protocolo b/g y n. El rango indoor, es decir, dentro de una casa o edificio con murallas internas, por ejemplo, ronda entre los 35 a 70 metros, mientras que el rango outdoor o al aire libre ronda de los 120 metros a los 250 teóricos.
- (2) El precio de cada Access Point está entre casi 18 mil pesos hasta pasado los 300 mil, siendo la mayoría cercanos a los 30mil a 60mil.
- (3) El consumo promedio mensual de cada Access Point es de 5,4 kilowatt Hora
- (4) Lo que provoca un consumo energético mensual aproximado de 600 pesos

(24/47) Cualidades y costos de tecnología – Bluetooth

- (1) Para el caso de Bluetooth, la empresa Estimote que es la líder del rubro de Beacons, ofrece 4 tipos de dispositivos, siendo el más común dentro del mercado el del tipo Proximidad, el cual posee una vida útil de 2 años con un rango de 70 metros. El precio es de 59 dólares. También recientemente Estimote lanzó al mercado los Beacon del tipo Locación, con un mayor rango y un precio mayor.
- (2) Estos dispositivos tienen la gran ventaja de que son del tipo Plug and Play, es decir, no requieren instalación previa ni alimentación eléctrica por cable.
- (3) Usan baterías de litio de 3 volt
- (4) El cual cada pila cuesta alrededor de 5000 a 6000 pesos
- (5) Por lo que el consumo energético mensual es de aproximadamente 250 pesos teóricamente.

(25/47) Cualidades y costos de tecnología – RFID

- (1) Por último, tenemos los RFID, que se dividen en tres categorías: LF, HF y UHF. Cada una posee un alcance distinto, por lo que los usos también varían. Por ejemplo, el RFID del tipo HF es el que está presente en la tarjeta Bip y en controles de acceso,

mientras que el tipo UHF es el que se usa en los pórticos de las autopistas para la identificación de automóviles. Es por esto por lo que para la localización usando RFID es necesario contar con este último tipo.

- (2) El precio es bastante elevado dado que cada lector de etiquetas del tipo UHF tiene un precio desde 450 dólares, además de la necesidad de tener otros elementos para que funcione correctamente.
- (3) El consumo energético mensual es cercano a los 1000 pesos chilenos.

(26/47) Cualidades y costos de tecnología – Resumen

A modo de resumen, se tienen las tres tecnologías antes mencionadas con sus rangos y precios unitarios. Cabe mencionar que, dado que para WiFi y Bluetooth se necesitan al menos tres dispositivos para poder posicionarse usando la trilateración, el precio mínimo es de desde los 54 mil pesos para WiFi y desde 39 mil pesos aproximados para Bluetooth. El caso de RFID debido a su alto costo es rechazado para este estudio ya que, al estar la posición basado en celdas de origen, la precisión será fuertemente influida por la densidad de estos dispositivos, por lo que el costo se eleva bastante.

(27/47) Lugar del estudio

Una vez identificadas las tecnologías a usar, se eligió el lugar de estudio el estacionamiento subterráneo del campus san Joaquín de esta universidad.

(28/47) Tabla de Contenidos – Implementación

Para poder llevar a cabo el estudio, se hizo una aplicación en Android, el cual muestra el plano del lugar y mediante marcadores simulando ser Access Point o Beacons determina la posición del usuario.

(29/47) Requerimientos

- (1) Los requerimientos mínimos que debe tener esta aplicación son las siguientes
- (2) Mostrar el plano de la ubicación
- (3) Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point
- (4) Calcular la posición del usuario usando el método de la trilateración
- (5) Permitir al usuario agregar un marcador de la ubicación real del usuario
- (6) Calcular la distancia entre ubicación real y la calculada
- (7) Y finalmente registrar las distancias en un archivo persistente para luego procesar los datos y hacer los análisis correspondientes.

(30/47) Aplicación móvil

Acá hay tres capturas de pantalla donde se muestra el plano del estacionamiento, una pantalla para colocar dispositivos y la distancia entre el usuario real y la posición calculada

(31/47) Hardware utilizado

Para el estudio se usaron tres Access Point marca Buffalo de gama media/baja y tres Beacons del tipo Proximity. Las características de estos dispositivos son las siguientes.

(32/47) Ejecución

- (1) Para ver el efecto real de las distancias entre los dispositivos con el usuario es que se tomaron datos en 5 áreas triangulares distintas
- (2) Se tomaron aproximadamente 200 datos en un tiempo cercano a los dos minutos por área
- (3) Para esto, el usuario estuvo inmóvil cercano al centro de gravedad del triángulo formado
- (4) Para mitigar los datos se usó la técnica llamada ventana deslizante, el cual consiste en registrar el promedio de los últimos 5 datos leídos por la aplicación.

(33/47) Tabla de Contenidos – Resultados

Los resultados obtenidos son los siguientes.

(34/47) Área 7.95

Este gráfico corresponde a las posiciones relativas calculadas por la aplicación, siendo el origen la posición del usuario. Para el caso de un área de 7,95 metros cuadrados se aprecia que unos pocos datos de la medición con Bluetooth se alejan del centro, no obstante, la mayoría de ellos se encuentra más cerca del origen en comparación a la medición con WiFi. Esto se confirma con el siguiente gráfico.

(35/47) Área 7.95

Este gráfico corresponde al error en metros. Los promedios son 8.12 para Bluetooth y 14.83 metros para WiFi, lo que confirma que para esta área Bluetooth presenta mejores resultados.

(36/47) Área 25.09

Para el caso del área de 25.09 metros cuadrados, se aprecia que ya existe una dispersión visible en ambas tecnologías, no obstante, el caso de Bluetooth presenta una mejor precisión ya que la mayor parte de sus datos se encuentran relativamente cercanos y no se alejan tanto del origen, no así el WiFi donde hay una gran cantidad de datos que están más distanciados del centro.

(37/47) Área 25.09

Nuevamente se confirma lo anterior ya que tanto el promedio como la desviación estándar de WiFi son considerablemente mayores que Bluetooth

(38/47) Área 27.64

Una situación similar ocurre en el área de 27,64 metros cuadrados, donde se aprecia que WiFi mantiene una cantidad de datos alejados del centro. También se identificaron datos de Bluetooth que están alejados del centro, lo que provocará un aumento en el promedio en la desviación estándar

(39/47) Área 27.64

Al igual que el área de 25 metros, la diferencia entre los promedios es considerable, incluso el promedio de WiFi llega a casi el doble que el promedio de error de Bluetooth

(40/47) Área 84.52

Ahora, para el área de 84,52 metros ya presenta un alto grado de dispersión en ambas tecnologías, por lo que su precisión y exactitud se reduce considerablemente

(41/47) Área 84.52

Se aprecia una gran cantidad de peaks de errores en ambos casos. Hay que notar que para esta área el promedio de error de Bluetooth es mayor que para el de WiFi, al igual que su desviación estándar. Por lo que para esta área WiFi presenta mejores resultados.

(42/47) Área 118.37

Finalmente, para el área de 118,37 metros se obtuvo un alto grado de error también en ambos casos, pero en el caso de Bluetooth los datos leídos fueron obtenidos en su mayoría en un solo cuadrante, mientras que para el WiFi la dispersión igual sigue presente.

(43/47) Área 118.37

Nuevamente se aprecia que para el caso de Bluetooth tanto el error promedio como la desviación estándar son mayores que para el caso de WiFi. Incluso, para Bluetooth hubo una serie de datos donde la lectura no varió y luego hubo un gran salto de lecturas de error, mostrando una gran inestabilidad en los datos.

(44/47) Resumen de Resultados

A modo de resumen, este gráfico muestra los errores promedio y las desviaciones estándar de ambas tecnologías para las distintas áreas. Las barras representan los promedios siendo el color verde Bluetooth y la naranja WiFi. La recta verde representa la desviación estándar del Bluetooth y la burdea la de WiFi. Se aprecia que para áreas pequeñas Bluetooth entrega mejores resultados que el Wifi, no así para áreas más grandes, donde WiFi entrega mejores resultados en comparación a Bluetooth. Además, se aprecia que para el caso de WiFi no hay una diferencia sustancial entre los errores de 25 metros a 118 metros cuadrados, sino que es más bien estable en sus mediciones, a diferencia de Bluetooth que el salto entre el área de 27.64 metros a 84.52 es enorme.

(45/47) Tabla de Contenidos – Conclusiones

Para finalizar las conclusiones obtenidas fueron las siguientes.

(46/47) Conclusiones

- (1) Para áreas reducidas, Bluetooth es más efectivo. Tanto el promedio de error como la dispersión fueron menores que el WiFi para áreas pequeñas. Por lo que si se desea contar con una alta precisión es conveniente invertir en Beacons.
- (2) Para áreas mayores, WiFi presenta un error más estable. Los errores presentados por WiFi fueron casi constantes, independiente del tamaño del área, por lo que a medida que los Access Point se alejan entre sí el error de distancia entre el usuario real y la posición calculada no varía mucho. Por lo tanto, si se desea contar con la localización donde la precisión no juega un papel fundamental conviene usar Access Point para ello.
- (3) La precisión y exactitud del posicionamiento depende de la densidad de dispositivos. En pocas palabras: Más exactitud implica más dispositivos instalados y por tanto, el costo de instalación y mantención será mayor.
- (4) La importancia en algoritmos de localización. Al comienzo de la experimentación hice las mediciones sin ningún tipo de mitigación, por lo que los datos registrados eran visiblemente malos, la inestabilidad era tan alta que tuve que interrumpir el proceso de toma de datos para luego implementar el método de ventana deslizante para mitigar los errores. También, dentro de la aplicación se omitieron datos donde presentaba errores superiores a los 100 metros para evitar peaks altísimos que afectaran en mayor medida el promedio final
- (5) El posicionamiento indoor aún es un campo abierto de estudio. Como trabajo futuro sería conveniente comparar estos resultados con otras técnicas de localización como por patrones de datos o *Fingerprints*, o la triangulación.

(47/47) Gracias por su atención.