

01149 2
250



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE
POSICIONAMIENTO EN EL TRANSPORTE**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN INGENIERIA
(TRANSPORTE)
PRESENTA:
ELIZABETH FONSECA CHAVEZ



DIRECTOR DE LA TESIS: DR. RICARDO AOEVEZ GARCIA

MEXICO, D. F.

276/111

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAG / NA CIOM

DISCONT / MUA.

INDICE

INTRODUCCION	1
RESUMEN	4
CAPITULO UNO: SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE	5
1.1 Problemática y Solución de los Sistemas de Transporte	5
1.2 Transporte Terrestre	6
1.2.1 Tránsito y medio ambiente	6
1.2.2 Factores contaminantes	6
1.2.3 Accidentes viales	6
1.2.4 Computadoras y Telecomunicaciones	6
1.2.5 Sistema Vehicular de Autopistas Inteligentes (IVHS)	7
1.3 Ferrocarriles	7
1.3.1 Sistema de Control automatizado de trenes(ATCS)	7
1.4 Transporte Aéreo. Los sistemas CNS/ATM	8
1.5 Transporte Marítimo	10
1.6 Movisat	10
1.7 Orbcomm	11
1.8 Sistema de Gestión de tráfico de autopista (prototipo)	12
CAPITULO DOS: SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GEOGRAFICO	13
2.1 Generalidades	13
2.2 Medición Electromagnética	13
2.2.1 Principios de la Medición Electromagnética	14
2.3 Tipos de Sistemas de posicionamiento	15
2.4 Clases de Posicionamiento	15
2.4.1 Postes de Señal	15
2.4.2 Sistemas de Onda Base	16
2.4.3 Sistema de Estima	17
2.5 Caracterización de los Sistemas de Posicionamiento	18
2.5.1 Exactitud	18
2.5.2 Sistema de Coordenadas de medición	18
2.5.3 Ambigüedad	19
2.5.4 Tiempo	20
2.5.5 Cobertura	20
2.6 Errores en el Sistema de Estima(Dead Reckoning)	20
2.7 Caracterización de Sistemas de Postes de señal	20

CAPITULO TRES: MODELOS MATEMATICOS PARA EL POSICIONAMIENTO	23
3. 1 Generalización mediante cónica	23
3.2 Determinación de la posición de un robot móvil con ultrasonido	25
3.2.1. Determinación de Posición en el plano	25
3.3 Sistemas de navegación 3 y 4 referencias sin movimiento	27
a) Mediante satélites Geoestacionarios	27
b) Análisis mejorado para un sistema de 4 referencias.	30
c) Geolocalización TDOA con Geoestacionarios	31
3.4 Sistema de navegación con 4 referencias en movimiento.	33
a) Sistema de Posición Global (GPS)	33
b) Las esferas de Posición del sistema de posicionamiento global	33
c) Existencia y unicidad de la Solución GPS	35
d) Solución algebraica de las ecuaciones GPS	36
3.5 Soluciones de Localización-posición por estimaciones de Taylor	38
CAPITULO CUATRO: RESULTADO DEL ANALISIS DEL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO	42
CONCLUSIONES	51
APENDICES	53
Programas en Matlab y Matcad	53
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCION

Un sistema de posicionamiento (GEOGRAFICO) es un arreglo de elementos: transmisores, receptores e información, que permiten ubicar un ente en un determinado sistema de coordenadas de referencia.

Por ejemplo, en nuestras casas sabemos o tenemos referencia de las cosas que están dentro de ella, sabemos donde ubicarlas, los platos están en la cocina, los libros en el librero, etc., sabemos como llegar a ellos y sabemos por supuesto donde nos encontramos nosotros. El problema surge cuando alguien o algo se encuentra perdido, se desea saber donde está; y si lo que está perdido es uno mismo es más lamentable.

Por este motivo, surgen ideas y propuestas para hallar lo perdido. ¿Reconoce alguna parte de su entorno?, un edificio, un monte, un volcán, etc.

Así fueron los principios en la navegación; si hay un faro en un determinado lugar que conoce entonces ya se sabe por donde se va. Pero también hay situaciones más complicadas que se tratan de mejorar, como hacer que alguien no se pierda, aún cuando esta persona nunca ha estado ahí, sabe a donde quiere llegar y también sabe donde está originalmente; pero no sabe como llegar, por donde, que rutas elegir, debe pasar por lugares desconocidos y por supuesto puede llegar a perderse fácilmente. La solución más cercana a nosotros sería traer a un individuo conocedor de los lugares por donde vamos a pasar y llevarnos a nuestro destino. Si el caso es un trailer que tiene que llevar cierta mercancía a un destino determinado y no es costeable llevar un conocedor para cada ruta que le sea asignada; entonces será posible que el propietario adquiera un sistema de ubicación vehicular, el más comercial es el llamado GPS(Global Positioning System), este sistema de posicionamiento global permite dar solo coordenadas de donde está el dispositivo o receptor comprado. Y si se compra un sistema de comunicaciones para estos trailers, los conductores sabrán donde están y cuanto les falta para llegar a su destino, pero el propietario de los vehículos también sabrá donde están cada uno de sus trabajadores mediante comunicación por RF(radio frecuencia).

El GPS no resuelve todo, solo es posible presentar datos de donde se encuentra el receptor de GPS, esto quiere decir que no es posible monitorear o que un centro detecte donde está el receptor, solo es receptor(recibe señales no transmite señales) no es transmisor. Por esta razón, para encontrar el receptor, se utilizan comunicaciones móviles que envían por RF los datos obtenidos por el receptor y por lo tanto si el GPS está dentro de un auto en movimiento, las lecturas enviadas ya son erróneas. Ahora, si el GPS se encuentra en un avión, las lecturas obtenidas tendrán un mayor margen de error. Cabe señalar que el sistema terrestre es bastante complejo porque hay más probabilidad de cambios de orientación (dar vuelta en una calle, es variar más de 180 grados) y tomando en cuenta el tipo de antena instalada tarda en encontrar su posición para detectar solamente los satélites al enviar por RF las lecturas tendrán aún más error. Y si a todo esto le aumentamos que las señales de los satélites son enviadas con degradación a propósito por E.U., El error será muy grande.

Y finalmente, El GPS no funciona en áreas boscosas, túneles, ciudad con edificios que entorpezcan la visibilidad en el cielo.

Se requiere ver el cielo, para que un receptor GPS encuentre su posición. Porque el

sistema de posicionamiento global funciona mediante referencias en el cielo (satélites), los cuales transmiten ciertas frecuencias hacia la tierra, el receptor en tierra (que es el que puede traer un trailer), detecta al menos cuatro señales que provienen de cuatro satélites. Y este receptor mediante un calculo matemático concluye en donde se encuentra este, mandando al display solo las coordenadas de latitud, longitud y altitud.

Existen otros sistemas de posicionamiento además del GPS. Glonass que controla el gobierno Ruso, es muy similar al GPS se encuentran alrededor de los 20 000km.; pero antes de estos ya había otros Loran, Decca, Omega y otros sistemas similares antiguos con satélites geoestacionarios, que no permiten comunicación en los polos, y la comunicación requiere aparatos con ganancia grande por el recorrido de 36 000km. Además siguen surgiendo nuevos proyectos como Orbcomm que tiene sistemas de órbita baja que están al rededor de los 1 000km, la ganancia del receptor es menor, por lo tanto debe ser más barato este, deben utilizar más satélites pero la transmisión tiene menos retardo en la señal. También existen otros tipos de sistemas que no utilizan satélites pero que tienen el mismo funcionamiento básico "encontrar la posición", las referencias están en tierra y pueden estar ubicadas en sitios estratégicos para localizar el móvil, o pueden estar dentro del mismo móvil generando posiciones respecto a los movimientos que este tenga.

El problema de estudio es: como un sistema de posicionamiento encuentra la posición de un ente determinado (receptor/transmisor).

¿De que servirá saber esto? Particularmente, servirá para entender mejor los sistemas que están en funcionamiento, ventajas y desventajas de estos, propiciando algunas bases de decisión, en el caso únicamente de métodos de posicionamiento, para elegir el más óptimo.

En forma más generalizada servirá para hacer más eficiente la utilización de los sistemas, escogiendo los más fáciles de utilizar, los más baratos, los que se acomoden mejor a nuestra geografía, los que utilicen un método que ofrezca mejor exactitud, menos ambigüedad utilizando la infraestructura con que cuenta el país, o que se adquiera solo el equipo necesario.

¿Cómo se lograra resolver este problema? Mediante dos investigaciones y estudio básico.

Primero. Si se sabe su funcionamiento: ¿Que calcula, como lo calcula, hay un solo método, son varios métodos, algunos son mejores que otros, defectos, virtudes?

Segundo. Si se sabe ¿cuantos tipos de sistemas hay, como se clasifican, en donde se utilizan, etc.?

Entonces será posible resolver nuestro problema.

En general, La seguridad es un tema de gran interés para todos los seres vivientes, al nacer y saber que hay incertidumbre del mañana nos ha llevado a buscar formas de solución para prevenir cualquier situación de peligro. Hemos procurado obtener una vida con un futuro planeado. Tratamos siempre de obtener seguridad en todo.

Una parte de la solución posible en nuestra modernidad es la comunicación, el traslado de Información, que nos permita con tiempos reducidos realizar la transmisión

y la recepción del mensaje (información requerida).

Con una comunicación adecuada en el mundo y por supuesto en México, será posible obtener conocimiento más preciso de diversos problemas, con una panorámica más amplia de posibles soluciones. La toma de decisiones aumentará su eficiencia, y por ejemplo, en el transporte se mejorará notablemente en todos los sentidos.

La comunicación entre diversos lugares mediante el transporte genera menores costos de traslado de mercancías y gente, ofreciendo mayor productividad a las empresas y por lo tanto creando más empleo y mejores niveles de vida. Pero la concentración de masas en lugares específicos crea aglomeraciones y pérdidas millonarias, pues los tiempos de viaje van aumentando paulatinamente acompañados con el problema de la contaminación atmosférica y la inseguridad. Al surgir los Sistemas Inteligentes de Transporte tratan de minimizar y medir los problemas del entorno para poder manejarlos adecuadamente.

Los sistemas de ubicación de posición son una ayuda en cuanto a la localización de terrenos, vehículos y personas.

Dependiendo de los tipos de transmisores-receptores, de la potencia de estos, del tipo de señal que utilizan, de la frecuencia, del costo, del origen-destino de la información, así como de las condiciones atmosféricas, y por supuesto de algún método de sistemas de posicionamiento, será posible determinar la ubicación de lo que se desea conocer.

El presente trabajo tiene como objetivo investigar y probar diversos métodos de sistemas de posicionamiento geográfico para su aplicación en el transporte principalmente terrestre.

RESUMEN

Existen dos tipos de sistemas de posicionamiento: auto-posicionamiento y posicionamiento remoto; se auto ubican o los ubica un centro de operaciones, cualquier variación entre estas dos formas se les llama sistemas indirectos.

Hay tres clases de posicionamiento: Postes de señal, Onda base y de Estima. Los sistemas de onda base son los más utilizados.

Basados en los tipos de sistemas de posicionamiento (auto - posicionamiento y posicionamiento remoto) se destacan dos sistemas de localización en donde el primer sistema (auto - posicionamiento) requiere 3 o 4 referencias transmisoras y el punto a encontrar es el receptor (ejemplo: GPS) el segundo sistema (posicionamiento remoto) requiere 3 o 4 referencias receptoras y el punto a localizar es un transmisor (ejemplo: Geolocalización); pero los métodos de resolver el problema son muy similares.

Los sistemas de posicionamiento también se clasifican tomando como punto de referencia la forma que surge (locus) de un conjunto de puntos que satisface las ecuaciones dadas para encontrar la posición (loci). Puede ser con la intersección de, una circunferencia y una línea(sistema polar circular - línea); dos circunferencias(sistema circular-circular), dos hipérbolas(sistema hiperbólico - hiperbólico), etc.

En el capítulo uno, se hace una recopilación y explicación de lo más sobresaliente en los Sistemas Inteligentes de Transporte, en el mundo y México. En el capítulo dos, se examinan algunas aplicaciones de los Sistemas de Posicionamiento y su clasificación general. En el capítulo tres se presentan los modelos matemáticos para el posicionamiento, las formas de cálculo para encontrar la posición del punto desconocido; con tres o cuatro distancias como dato para encontrar la posición del móvil. En el capítulo cuatro, se presenta las conclusiones a las que se llegó. Ventajas y desventajas de los tipos de sistemas de posicionamiento explicados antes con soluciones posibles para encontrar la ubicación del móvil.

CAPITULO UNO:

SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE.

CAPITULO UNO: "SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE "

1.1 Problemática y Solución de los Sistemas de Transporte.

La eficacia de las infraestructuras del transporte y de los sistemas de gestión desempeña un papel primordial en nuestra vida social y en las actividades económicas cotidianas. La demanda de transporte de mercancías y viajeros seguirá aumentando a medida que crezca la economía de las naciones[1]. Esto se refiere en particular al sistema de transporte por carretera, que maneja la mayor parte del transporte de mercancías y pasajeros.

Uno de los problemas es resolver *congestiones* periódicas y fortuitas. La congestión es fundamentalmente un fenómeno urbano, aunque pueden ocurrir por temporada en zonas rurales cerca de centros vacacionales. Las congestiones periódicas indican desequilibrio entre la oferta y la demanda, y suele ocurrir en las horas de ida y vuelta del trabajo. El 60 % aproximadamente del tiempo perdido es resultado de situaciones fortuitas como accidentes, averías de vehículos y objetos caídos en la calzada[1]. Los sistemas avanzados de gestión tienen como fin reducir la congestión, avisando a los viajeros de la situación antes de iniciar el viaje; para que decida aplazar el viaje o tomar otra alternativa. Estos sistemas pueden aumentar la capacidad de la vía mediante la mejora de la eficacia, reduciendo así el tiempo de congestión. La clave de una gestión eficaz de los incidentes reside en la detección y reacción rápida para reducir la congestión en la red.

Reducir la Tasa anual de pérdidas humanas y económicas ocasionadas por los accidentes, mediante la mejora de la *seguridad* (que lleguen a su destino a salvo y a tiempo), a veces la gran velocidad que se alcanza en tramos en campo abierto con poca intensidad de tráfico, produce un índice relativamente mayor de muertes y lesiones graves[1]. Existe una serie de aparatos que van instalados a bordo del automóvil o que se sitúan al borde de la carretera que avisan con tiempo de un choque inminente, suprimen los puntos ciegos del conductor, le reanima cuando se adormila, le ayuda a orientarse para que pueda prestar más atención al conducir, regulan la velocidad de cruce por medios "inteligentes", y colaboran de otras maneras para impedir los accidentes.

Respecto al *medio ambiente*, si circulan los vehículos con fluidez habrá menor cantidad de contaminantes, ya que no aceleran ni frenan continuamente.

Los sistemas avanzados del transporte pueden ser de gran ayuda en lo que se refiere a la eficacia, seguridad y comodidad del viajero.

El término de Sistemas Avanzados de Transportes es solamente la fusión de muchos avances de la moderna tecnología de información y telecomunicaciones dirigidos a resolver los problemas del transporte[1]. Existen términos que usan el mismo concepto pero con otros términos: Sistema Inteligente de Carreteras-vehículo (IVHS), Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS), Telecomunicaciones Avanzadas para el Transporte(ATT), Informática del Transporte(RTI), Telemática del Transporte.

Los Sistemas Inteligentes de Transporte(ITS) son en favor de la seguridad en los sistemas principalmente carreteros, mediante la electrónica. Estos sistemas avanzados de transporte señalan aspectos de necesidades del usuario, oferta de los productores de tecnología y reto en la explotación de los sistemas.

El transporte carretero, ferroviario, aéreo y marítimo en México cuentan actualmente con diversas situaciones de falta de seguridad, ya sea en pasajeros o en carga. Los problemas son variados, desde accidentes por alguna falla técnica o falla humana hasta los asaltos, así como la contaminación atmosférica la cual no es posible olvidar ni dejarla a un lado.

1.2 Transporte Terrestre

1.2.1 Tránsito y medio ambiente

La congestión de tránsito propicia inseguridad y deterioro del ambiente (atmosférico y ruido), aumenta la utilización de espacio; perjudicando todo nuestro marco de vida y por ende la productividad[2].

Así es necesaria la reducción de la congestión de tránsito, con mejoras locales de sistemas de control de semáforos, control de estacionamientos y de los ejes principales; incitación al uso de transporte público, marchas, bicicleta, y la utilización del transporte inteligente: control de tráfico, información, desvíos, vigilancia de redes, etc.

Seguridad por zonas, tránsito vehicular fuera de centros urbanos, protección de peatones, limitaciones de velocidad y control de la misma.

1.2.2 Factores contaminantes

Tecnológicos: motores, dispositivos anticontaminantes, antigüedad del vehículo, etc.

Cualitativos: número de vehículos, distancias recorridas.

Uso: velocidades, aceleraciones, paradas, cargas transportadas, condiciones térmicas del motor, etc.

1.2.3 Accidentes viales

Pueden ocurrir por el USUARIO (actitud, educación vial, distracción, etc.), por el CAMINO (tipo de camino, estado del camino, falta de avisos de mantenimiento, etc.), por el VEHÍCULO (deterioro de éste, sin mantenimiento preventivo ni correctivo, por falta de algún accesorio necesario, depreciación, etc.), o por incumplimiento de las LEYES (reglamento de tránsito, ley de vías).

1.2.4 Computadoras y Telecomunicaciones

En Francia existe ya tres generaciones en el transporte urbano. La *primera* generación inicio cuando surgió la electricidad, tranvías y las primeras líneas del metro.

La *segunda* generación en Francia inicio através del pilotaje automático, la regulación de trenes, los puestos de mando centralizados, el peaje magnético, la distribución automática de los títulos de transporte. Con las computadoras y las telecomunicaciones surge una **tercera** generación del transporte urbano: Tren de mayor frecuencia, un tren tras otro con gran seguridad (la línea A del metro de México por ejemplo)[2]. Nuevas herramientas en el servicio de viajero, peaje, *seguridad* (radiolocalización de los viajeros con respecto al autobús, gracias a los satélites) tarjeta sin contacto en el autobús, mapa luminoso iterativo, etc.

1.2.5 Sistema Vehicular de Autopistas Inteligentes (IVHS)

El IVHS describe el monitoreo y control de tránsito, incluyendo videocámaras, control de cruce automático, detectores como máquinas de visión y acústicos, sensores de imagen y láser, *y el posicionamiento global mediante satélites, el intentar el uso de esta tecnología es para dar un gran control sobre el flujo de tránsito, reduciendo el problema dentro de una cuadrícula.* Sin embargo, esta tecnología puede ser también gobernante para el movimiento de ciudadanos.

1.3 Ferrocarriles.

La evolución tecnológica reciente de los ferrocarriles es un fenómeno importante del proceso de recuperación de la competitividad de este modo con respecto al autotransporte y, por otro, se complementan. Los progresos ocurren en todos los ámbitos; el desarrollo en los equipos de tracción, de arrastre y en menor medida en los equipos de patio. El dinamismo es tan grande que se han reducido los tiempos de prueba para aplicar las innovaciones.

Equipos de Tracción. Guerra tecnológica entre empresas por ofrecer máquinas diesel más confiables y eficientes. La evolución del mercado de los servicios de doble estiba y del transporte combinado, propicia el uso de trenes más cortos para reducir demoras y agilizar la carga y descarga en las estaciones de transferencia. Esta tendencia se ve compensada por una intensificación de los movimientos de los trenes de horarios fijos y una reducción de los costos de operación.

Equipos de arrastre. Evolución del tamaño de los contenedores y de los remolques, los constructores y usuarios están desplegando grandes esfuerzos por diseñar equipos más eficientes, capaces de superar las restricciones impuestas por los reglamentos de sus pesos y dimensiones[3]. Remolques y contenedores. La evolución de los equipos móviles y la paulatina sustitución del remolque tradicional son consecuencia tradicional de la complementación del autotransporte y el ferrocarril.

1.3.1 Sistema de Control automatizado de trenes(ATCS)

Estos sistemas surgieron como respuesta a la conveniencia de incorporar los adelantos de la microelectrónica y las telecomunicaciones al control de la circulación

de trenes. En su configuración básica comprenden equipo a bordo de la locomotora, en la vía y en una estación transmisora y receptora de señales. Los principales equipos a bordo son una computadora, un sistema de transmisión de señales por radio y un integrador electrónico para leer la información que contienen transpondedores colocados en la vía a ciertos intervalos para ubicar su posición durante el recorrido. El interrogador transmite la información a la computadora a bordo y ésta la envía por radio hasta una antena ubicada en un puesto de control, donde la información recibida se usa para tomar decisiones y poder retransmitírselas al maquinista.

En esencia, ATCS es un sistema modular respaldado por un conjunto de especificaciones que definen las funciones, el rendimiento, las dimensiones, las formas de montaje y de interface mecánica, eléctrica y de entorno de los componentes necesarios para llevar a cabo las funciones básicas del control de trenes, que son despacho, seguimiento, monitoreo y control, determinación de ritmos de marcha y manejo de contingencias. Dada la gran cantidad de componentes y proveedores involucrados, el sistema busca establecer términos homogéneos para la actividad de todos los interesados y asegurar la compatibilidad de marcas y aparatos.

Los beneficios que ofrece la sustitución de la tecnología convencional para el control de trenes por estos sistemas incluyen una mayor seguridad, facilidad de comunicaciones entre despachadores y maquinistas y control en tiempo real de los sistemas críticos de locomotoras y carros, etc., así como un enorme potencial racionalizador del funcionamiento de las organizaciones ferrocarrileras al combinar el control de los trenes con la administración de los recursos para la producción de los servicios.

1.4 Transporte Aéreo. Los sistemas CNS/ATM

El proceso que permite llevar a una aeronave de manera segura y eficiente a su destino exige sistemas eficaces de gestión del tránsito aéreo con apoyo de tres funciones: comunicaciones, navegación y vigilancia[4].

La función de *comunicaciones* es el intercambio de información en fonía y de datos entre las aeronaves y los controladores de tránsito aéreo o los centros de información de vuelo. La *navegación* indica con precisión la ubicación de la aeronave para los tripulantes de la aeronave. La *vigilancia* indica con precisión la ubicación de la aeronave para los controladores de tránsito aéreo.

La OACI ha dado a estas tres funciones el nombre de sistemas CNS y las considera como los servicios de apoyo básicos de los sistemas de gestión del tránsito aéreo (ATM). Si bien no se trata de funciones nuevas para la aviación, tanto las aeronaves como sus aviónicas se han perfeccionado. Las tecnologías de satélites y de computadoras, que evolucionan a un ritmo acelerado, hacen posible en la actualidad adelantos aún más extraordinarios.

Las deficiencias de los sistemas actuales se dan fundamentalmente en tres factores:

a) las limitaciones de propagación de los sistemas actuales de alcance óptico

y/o las limitaciones en precisión y en fiabilidad impuestas por la variabilidad de las características de propagación de otros sistemas;

b) la dificultad, causada por varias razones, de implantar los sistemas actuales CNS y de hacerlos funcionar de un modo sistemático en muchos lugares del mundo; y

c) las limitaciones de la comunicación en fonía y la falta de sistemas digitales de intercambio aeroterrestre de datos para apoyar los sistemas automatizados a bordo y en tierra.

Estas limitaciones son inherentes a los sistemas CNS actuales y, en consecuencia, los problemas no pueden solucionarse a escala mundial, salvo por nuevos conceptos y nuevos sistemas CNS, los cuales apoyarán a su vez los futuros sistemas ATM[4]. La explotación de la tecnología de satélites constituye la única solución viable que superará las limitaciones actuales y satisfará las necesidades futuras a escala mundial en forma eficaz de los costos.

Los nuevos sistemas CNS/ATM cambiarán algunas de las medidas, definidas antes. *Su objetivo es aumentar la capacidad del espacio aéreo y reducir los costos de explotación de la industria del transporte aéreo y al mismo tiempo mejorar, o por lo menos conservar, el nivel de seguridad de vuelo que la industria posee actualmente.*

Con los nuevos sistemas CNS, las *comunicaciones* con las aeronaves tanto en fonía como de datos se llevaría a cabo por un enlace directo entre el satélite y la aeronave utilizando las bandas de frecuencia atribuidas exclusivamente al servicio móvil aeronáutico por satélite.

En materia de *navegación*, la OACI está elaborando el mejoramiento requerido de navegación(RNP) que se definirá de la navegación necesaria para la operación dentro de un espacio aéreo definido o en una fase del vuelo para poder lograr la performance requerida con una diversidad de equipos de navegación. El concepto de la OACI es muy claro, sin embargo, en su preferencia por el sistema mundial de navegación por satélite(GNSS) para la navegación. Dicho sistema comprende constelaciones de satélites, receptores de a bordo e instalaciones de vigilancia de la integridad. La OACI ve al GNSS proveer determinación independiente de la posición en el sistema de a bordo y como una característica clave del concepto futuro.

Se prevé que evolucionará de manera que sea el único medio de navegación y, por último, que remplazará a los sistemas de navegación actuales de largo y corto alcance como el Omega, el radiofaro no direccional (NDB) y el radiofaro omnidireccional VHF(VOR). Además el GNSS proporcionará cobertura mundial y tendrá suficiente precisión para el apoyo de la navegación de ruta y responder a las necesidades relacionadas con las aproximaciones que no son de precisión, y quizá también, en el futuro, aproximaciones de precisión de modo limitado o, incluso, completo.

En lo que respecta a *vigilancia*, el radar secundario de vigilancia, opera cuando las condiciones del tránsito lo justifiquen, continuará utilizándose de manera amplia, especialmente en áreas de gran densidad. En otras, especialmente en el espacio aéreo

oceánico y en áreas remotas sobre tierra, la vigilancia se realizará mediante la vigilancia dependiente automática(ADS). Con la ADS, la aeronave transmite automáticamente su posición (proporcionada por los sistemas de navegación de a bordo) a los centros de tránsito aéreo por satélite u otro enlace de comunicaciones. Esto permitirá una información detallada para fines de vigilancia en áreas en que actualmente hay poco o ningún servicio de vigilancia.

1.5 Transporte Marítimo.

El rol de los puertos cambia conforme llega una apertura comercial[5] con la creciente internacionalización de la economía de cada país. Por ejemplo, en los puertos Mexicanos se mantuvieron con una baja actividad y débiles vínculos con las regiones interiores de país, solo algunos puertos exportaban materias primas. Ahora se tienen conexiones en el interior del país, donde se localizan plantas industriales importantes vinculadas al mercado internacional. Y ya no se manejan como estructuras aisladas sino como nodos de distribución internacional.

En el desarrollo actual el problema de la integración modal y las conexiones marítimo-terrestres son relevantes.

Existen zonas donde no es posible establecer contacto alguno con los barcos y la radiocomunicación no sirve[6], hay barcos que están fuera de alcance por muchas horas e incluso días enteros.

Las comunicaciones se realizan por INMARSAT y en México lo ofrece la banda L pero solo el territorio Mexicano y 200 millas de mar patrimonial. Ambas tecnologías utilizan el GPS o sistema de posicionamiento global para la localización de sus barcos, etc.

Algunas aplicaciones que en México se están utilizando actualmente son los sistemas Movisat de SCT, Orbcomm y el sistema prototipo en la autopista de cuernavaca de CAPUFE.

1.6 Movisat

Movisat-voz:

Es un servicio ofrecido por Telecomunicaciones de México para la comunicación de voz para móviles terrestres, aéreo y marítimos, utiliza la tecnología MSAT(estándar dispuesto por TMI de Canadá y AMSC de Estados Unidos) a través de la banda "L" del sistema de satélites Solidaridad[6].

Servicios que proporciona: a nivel nacional e internacional(Voz y Fax), servicios para llamadas (interconexión a la red telefónica pública y usuarios de grupo cerrado o red privada) y comunicaciones de extensión celular.

Cobertura: territorio Mexicano, mar patrimonial, sur de Estados Unidos, Centro América y el Caribe.

Aplicaciones: hombres de negocios los cuales requieren comunicación mas extensa, precisa y confiable que los sistemas Celulares actuales deficientes.

Movisat Datos:

Es el servicio que proporciona Telecomunicaciones[6] de México a través del Sistema de satélites Solidaridad y permite la comunicación de datos a baja velocidad en forma bidireccional entre unidades de transportación marítima y terrestre; así como sistemas ubicados en puntos remotos o en las instalaciones de las empresas.

Este servicio utiliza la tecnología Estándar C de Inmarsat.

Características del servicio: Sistema de almacenamiento y envío, reintento automático de entrega de mensajes, mensaje multidestino, confirmación de entrega de mensajes. Servicios que proporciona: transferencia de mensajes, reportes de Posicionamiento (GPS), monitoreo Remoto (SCADA), llamadas de Grupos y Pruebas de Verificación de la Terminal (PVT).

Los reportes de Posicionamiento(GPS) sirven para la localización permanente del vehículo, mediante el Sistema Global de Posicionamiento (GPS), para lo cual solo se requiere incorporar el software de mapeo en el Centro de Despacho del Usuario.

Monitoreo Remoto (SCADA):

Permite el envío de mensajes cortos en forma periódica desde las terminales móviles. Este servicio puede monitorear el estado del vehículo, el nivel de combustible, temperatura de la carga, etc., estos datos son almacenados por la estación terrena de MOVISAT Datos y pueden ser recuperados por el Centro de Despacho del Usuario en cualquier momento.

Llamadas a grupos:

Permite el envío a las terminales, de información de interés general tal como terremotos, reportes climatológicos, huracanes e inundaciones.

Pruebas de Verificación de Terminal:

Permite asegurar al usuario que existe continuidad en sus comunicaciones mediante la confirmación de que se está cumpliendo en las especificaciones requeridas por el sistema.

Las terminales Móviles cuentan con Antena de comunicación Banda L con GPS incluido, un equipo transreceptor de comunicación móvil vía satélite con GPS también incluido y un teclado de datos.

Aplicaciones: Seguridad en Trailers, barcos, coches, lugares, etc.

1.7 ORBCOMM

Un nuevo servicio de comunicaciones por satélite de OrbcComm[7] estará operando muy pronto en México. Esta compañía utiliza satélites en la Órbita Baja de la Tierra (LEO, por sus siglas en inglés) para enviar mensajes por dos vías. El costo por

mensaje es generalmente menor que el del servicio por satélite GEO, y las necesidades de más bajo poder lo hacen más conveniente para rastrear camiones.

La compañía Orbcomm de México, S.A. de C.V. está controlada por Proeza, S.A. de C.V., y tiene sus oficinas principales en la ciudad de Monterrey, Nuevo León. Proeza es un grupo industrial con intereses en almacenes de vehículos, jugos de fruta y software.

Orbcomm de México planea introducir sus servicios a mitad de este año(1999), y para tal propósito pretende utilizar la infraestructura de Orbcomm basada en Estados Unidos, incluyendo su Gateway Control Center (Centro de Puerta de Control), del estado de Virginia, y cuatro Gateway Earth Stations (Estaciones de Puerta en Tierra) a lo largo del país.

Este servicio brinda la habilidad de rastrear remolques a través de la frontera de Estados Unidos con México, y tendrá un radio de cobertura que alcanzará Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Belice.

Eventualmente Orbcomm proyecta tener 36 satélites LEO orbitando a una altura de 500 millas de la Tierra. Comunicación: Vital en el Autotransporte.

1.8 Sistema de Gestión de Tráfico de Autopista (prototipo)

La Gerencia de Electrónica aplicada, de la dirección de operaciones(CAPUFE) de la secretaría de comunicaciones y transportes[8], debido a diversos problemas(flujo vehicular desconocido, accidentes, señalización inadecuada, deficiencia de comunicación, etc.) que ocasionan deficiencias en el servicio al usuario, inseguridad, gastos de mantenimiento y operación, va a realizar una primera fase del Sistema de gestión de Tráfico, mediante un prototipo en la Autopista México-Queretaro o en la Autopista México-Cuernavaca.

El sistema ofrecerá mejoras en seguridad y eficiencia en la operación; reducción en el tiempo de viaje de los usuarios, control de tráfico vehicular, mejor señalización e información al usuario, así como reducción de gastos de operación y mantenimiento y por supuesto mejorará la calidad del servicio a los usuarios.

Y con ello se colocaran a la vanguardia en la tecnología de los Sistemas de Transporte Inteligente.

Este sistema incluye sensores de pavimento, meteorológicos, de detección de vehículos, torres de auxilio vial, cámaras de vídeo, letreros variables electrónicos, Interconexión con capufenet, repetidores de FM y red privada de radio CAPUFE, radio difusora de FM, etc.

CAPITULO DOS:

SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO.

CAPITULO DOS: SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO.

2.1 Generalidades

Los sistemas inteligentes de transporte, son una tecnología avanzada para hacer más eficiente los sistemas de Transporte terrestre, menos congestión, seguridad y menos contaminación. Los sistemas de posicionamiento miden la posición de carros, camiones, y trenes. Algunos ejemplos de sistemas de posicionamiento incluyen Loran, Omega, El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), radar, sonar, sistemas de rastreo de vehículos, y sistemas de estima(náutica)[9].

Los sistemas de posicionamiento tienen una larga historia. La primera aplicación fue para la navegación, ésta comenzó por reconocer características claves geográficas como ríos, árboles grandes, rocas. El Sol y la luminosidad de las estrellas proveen una forma de orientación.

Algunas civilizaciones grababan detalles de observaciones del movimiento del Sol, estrellas, planetas cercanos y la luna. Por el año 200 a. c. manejaban las medidas de diferencia de latitud entre algunos lugares. Esto significa la posición de Norte-Sur que puede dibujarse para los cálculos. Las distancias Este-Oeste se estimaban por medidas de tiempo de viaje. La necesidad de navegación terrestre ha causado una innovación tecnológica, la expansión Marítima Europea requirió incrementar los métodos de mayor exactitud. Los diferentes métodos incluyen sextantes, cronómetros, postes de señales, y estimación náutica. Las observaciones con latitud y longitud usan sextantes y cronómetros que proveen la posición absoluta de un barco.

2.2 Medición Electromagnética

Hasta mediados del Siglo XX, uno de los problemas fundamentales y más difícil de la topografía era la determinación precisa de las longitudes de líneas relativamente largas, para el control de escala en sistemas de triangulación. Cuando se realizaban con habilidad, dichas mediciones eran lo bastante precisas para satisfacer las normas más estrictas en los trabajos geodésicos; pero los trabajos eran costosos y laboriosos.

La búsqueda de un método menos costoso y más rápido para la medición precisa de líneas de gran longitud, estimuló la investigación en el área de electrónica aplicada a la metrología de distancias[10].

El principio fundamental de operación de todos los equipos electromagnéticos de medición de longitudes, se basa en el concepto de que la distancia es igual al producto de la velocidad por el tiempo. Por lo tanto, si se conoce la velocidad de una onda de radio o de luz, y se conoce también el tiempo para que esa onda viaje de un punto a otro, con lo cual podrá calcularse la distancia correspondiente.

2.2.1 Principios de la Medición Electromagnética.

La oscilación de energía de una corriente alterna que fluye en un circuito abierto - como una antena - está asociada a la formación de un campo eléctrico que irradia energía electromagnética al espacio en forma de ondas electromagnéticas[10]. Tanto las ondas de radio como las de luz son ondas electromagnéticas que viajan a velocidades idénticas en el vacío.

La velocidad de propagación es igual a 299.792.5 km por seg. en el vacío, de la luz visible y de las microondas de radio.

En el movimiento ondulatorio es: $\lambda = V/f$

λ , Longitud de onda
V, Velocidad de propagación
f, frecuencia

Fase es una porción del ciclo completo de una onda. Puesto que un ciclo completo se representa por 360°, un cuarto de ciclo sería 90°. Diferencia de Fase es el tiempo, en grados, que una onda se adelanta o se retrasa respecto a otra. Para comparar fases se mide la fase de una onda y la de otra en el mismo momento. Por ejemplo, si la fase de la onda A es 70° en el instante en que la fase de la onda B es 130°, al compararlas se hallará una diferencia de fase de 60°. Si la longitud de la onda completa es 10 cm, la diferencia de fase equivaldrá a una distancia de 60°/360° por 10, o sea 1.67 cm.

Para medir electrónicamente la distancia entre dos puntos, se hace que una señal de corriente alterna viaje de un punto al otro, donde es reflejada y retransmitida; en la estación emisora se compara su fase con la de la señal original para determinar el tiempo de recorrido del viaje redondo. Si se pretendiera calcular directamente la distancia a partir del tiempo recorrido, con una exactitud de 0.15m, el intervalo de tiempo tendría que ser correcto dentro de un milimicrosegundo; tan pequeño lapso sería muy difícil de medir, y el problema se acrecentaría si la tolerancia en la determinación de la distancia fuere menor, como ocurre en la realidad. Esta dificultad puede superarse por la posibilidad física de hacer una medición muy exacta de la fase de la señal.

Los equipos electrónicos para la medición de distancias utilizan una señal modulada portadora por una microonda de radio o por un rayo de luz.

La función básica de los instrumentos de microondas de radio y electro-ópticos (ondas luminosas) es la determinación del número de longitudes de onda, a la frecuencia de modulación, que se requiere para cubrir la distancia entre los extremos de la línea por medir. Si se conoce la velocidad de propagación de la onda

y la frecuencia esta bien controlada, será posible sacar la lamda o longitud de onda de ella.

2.3 Tipos de Sistemas de Posicionamiento

Con las siguientes categorías[9]:

a) Auto-posicionamiento:

Los vehículos se auto-ubican en el lugar donde se encuentran. Ej. GPS

b) Posicionamiento Remoto:

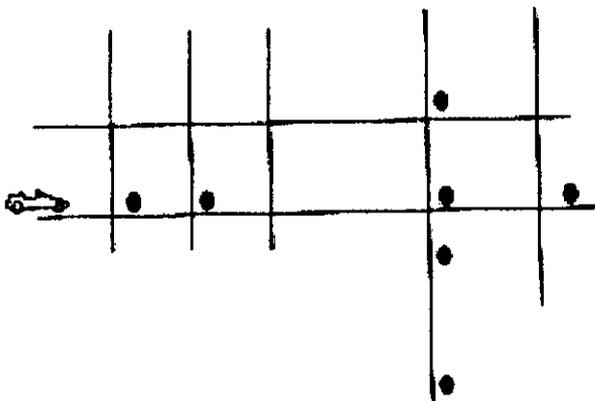
Un centro de operaciones ubica la posición de los vehículos. Ej. Radar

Si un vehículo, con sistema de Auto-posicionamiento, transmite su posición a un centro de operaciones usando comunicaciones móviles, esta funcionando como un Sistema de Posicionamiento Remoto. Y un Sistema de Posicionamiento Remoto puede funcionar como Auto-posicionamiento si la central de operaciones transmite información de su posición a cada objeto vía un enlace de comunicaciones móviles. A estas últimas dos formas se les llama **Sistemas Indirectos**[9].

2.4 Clases de Posicionamiento.

Los Sistemas de Posicionamiento se pueden dividir dentro de tres clases básicas: postes de señal, Onda base y Estima[9].

2.4.1 Postes de Señal.



Conceptualmente, es una forma simple de Posicionamiento. Las medidas de posición del vehículo se encuentran muy cerca a un punto de referencia específico, un poste de señal; puede ser una señal de radio, luz y ondas de sonido. Las señales tienen un código de identificación. Mediante un número de faros cercanos al punto a determinar su ubicación, como se observa en la figura número 1.

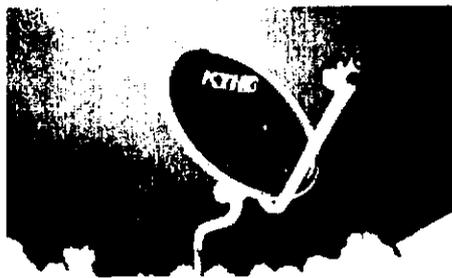
Figura 1.

Dos importantes elementos de sistemas automatizados son vehículos con rótulos montados y una unidad de medida de distancia. Normalmente se tienen un número de faros dispersos que permiten monitorear la trayectoria del vehículo.

La configuración básica para un sistema de postes de señal, consiste de antenas, transmisores y receptores electrónicos. las transmisiones solamente son recibidas en una localidad de área definida.

El método más común es usando alta frecuencia y baja potencia en las transmisiones, reduciendo el área de recepción.

2.4.2 Sistemas de Onda Base.



Este sistema usa las propiedades de la propagación de ondas para determinar la posición. Por ejemplo, un radar que usa un frente de onda planar y una propagación de tiempo finita de ondas electromagnéticas puede tener ese uso. La figura 2 muestra una antena parabólica que recibe y envía señales electromagnéticas. Un sistema de Posicionamiento basado en Ondas puede necesitar uno o más sitios de referencia.

Figura. 2

Cada sitio de referencia puede tener un receptor o un transmisor, o ambos. Cada vehículo puede tener un transmisor, receptor, elementos reflexivos o alguna combinación de estos. Por ejemplo en el caso del GPS, cada satélite tiene una referencia de transmisor. Un móvil pudiera tener un receptor GPS, que reciben una señal desde el satélite y usando información de tiempos de arribo calculan la posición. Un sistema simple de radar tiene una referencia con ambas posibilidades de transmitir y recibir. El "destino" se refleja y la onda de radio regresa a la referencia.

Los componentes básicos difieren del tipo de sistema, en este sistema los bloques fundamentales son los transmisores y receptores, la combinación de estos se optimizan para medir los parámetros de la señal como tiempo de arribo o fase. (A diferencia del sistema de postes de señal que también usa transmisor/ receptor pero su señal imparte datos digitales como identificador de número de vehículo) -

La configuración básica es con el par transmisor/ receptor y antenas respectivas.

2.4.3 Sistemas de Estima.

Estos sistemas tienen que ver con la operación del vehículo, aceleración y velocidad. Esta información es integrada para determinar el rastreo del vehículo. Por ejemplo un sistema de compás y de odómetro. El Odómetro integra la velocidad angular del vehículo, para determinar la distancia viajada. El compás define la dirección del viaje. La información combinada puede usarse para rastrear el curso del vehículo. Otras tecnologías con sensores incluyen giroscopios y acelerómetros. En la figura cuatro se observa un robot que utiliza los datos de Odómetros y Giroscopios

La primera práctica en sistemas de navegación automática en vehículos (introducido en 1985) utiliza Dead Reckoning o lo que es lo mismo sistemas de estima[17] combinado con un mapa digital

para guardar el rastreo de la posición del vehículo en el tiempo real. Dead Reckoning esta basado sobre sensores de rumbo, compases magnéticos acoplado en mapas digitales.

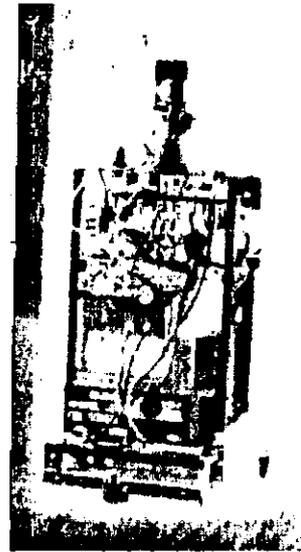


Figura 4

Esta tecnología de acoplamiento mapas/dead reckoning (sistemas de estima) tienen un avance considerable en los últimos tiempos, no solamente en la exactitud de mapas, cobertura y mejoramiento pero los inclinómetros y giroscopios se han sumado al mejoramiento de los sistemas de estima.

Todas las tecnologías tienen ventajas y limitaciones relacionadas a características, funcionamiento, exactitud, confiabilidad y costos. Un sistema satisfactorio para su comercialización general con aplicaciones al consumo puede requerir una combinación de técnicas para mejorar su funcionamiento.

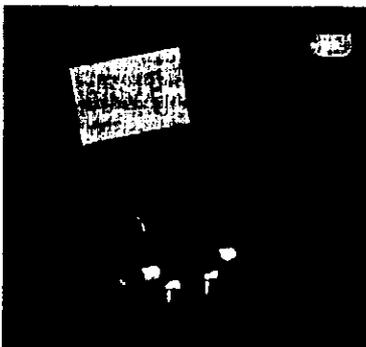


Figura 5

El odómetro es muy usado como método de navegación para el posicionamiento de robots móviles, buena exactitud y permite una alta tasa de muestreos[21]. Sin embargo, la idea fundamental del odómetro es la integración en el incremento de movimiento sobre un determinado tiempo, que es la principal causa inevitable hacia la acumulación de errores. Se observa en la figura cinco un robot móvil que tiene integrado un Odómetro.

Particularmente, la acumulación de errores de orientación puede ser causada por largos errores de posición que se incrementan proporcionalmente con la distancia de viaje (en este caso del robot, pero también de vehículos de transporte prototipo).

2.5 Caracterización de los Sistemas de Posicionamiento

A continuación se presentan las definiciones matemáticas de algunos parámetros importantes de los sistemas. Se uso un cuadro de coordenadas cartesianas de tres dimensiones. Otros cuadros de referencia, como la latitud, longitud y altitud, que pueden definirse por la transformación de cuadro cartesiano. Para su fácil visualización, algunos ejemplos se verán en dos dimensiones.

2.5.1 Exactitud.

Hay dos tipos de errores en los sistemas de posicionamiento: errores aleatorios y errores sistemáticos (bias). Los errores aleatorios ocurren por el ruido estocástico del ancho de banda en los procesos de medidas. Esto significa que aún si el vehículo estuvo estacionado, el sistema de posicionamiento puede regresar un valor diferente para cada tiempo de posición fija que sea enviada, aunque las mediciones estén muy cercanas. Donde se podrá asumir para esta sección que los errores aleatorios son gaussianos.

Los errores Bias (o errores sistemáticos) ocurren por el desplazamiento en las mediciones. Sobre periodos de corto tiempo, este desplazamiento puede ser constante. Los errores bias son pequeñas variaciones de tiempo; el mejor caso conocido para este sistema de posicionamiento es la disponibilidad selectiva en GPS.

2.5.2 Sistemas de Coordenadas de medición.

Para los sistemas de posicionamiento de onda base una característica importante es la posición o "el loci", que es usado para hacer el calculo de posición[9]. El cálculo de posición esta normalmente basado sobre las medidas desde un número de sensores diferentes. Por ejemplo, las medidas del tiempo de viaje de ida y vuelta de un radar usando el rango del transmisor y receptor y el ángulo de arribo de una antena direccional. La medida desde los sensores individuales no provee una única estimación de posición, mas bien será una restricción de la posición hacia un subespacio. La forma o "el locus" surge desde la medida de un sensor particular que se encuentra en el conjunto de puntos que el objeto puede ocupar, cada punto satisface las medidas del sensor. Por ejemplo, la medida de un tiempo de viaje será la restricción del objeto hacia una superficie esférica si el objeto esta en movimiento en tres dimensiones o un círculo si esta en movimiento en dos dimensiones.

Otro ejemplo es un sistema de radar simple que mide el tiempo de viaje y ángulo hacia el destino, la medida del tiempo de viaje de ida y vuelta de la ubicación del destino hacia un locus circular, centrado sobre el radar, como se muestra en la figura siguiente (a). El ángulo de medida del destino hacia un rayo, emanando desde el destino. La intersección del rayo y el círculo define la posición. Este loci genera un sistema de coordenadas de medición que representa el espacio de medidas del sistema de posición. Las medidas son hechas en el cuadro donde la información es intercambiada entre el objeto y el sistema de posicionamiento y la transformación a un cuadro de coordenadas cartesianas. La naturaleza del sistema de coordenadas de medidas muchas veces es no lineal y esto genera efectos de distorsión en los errores.

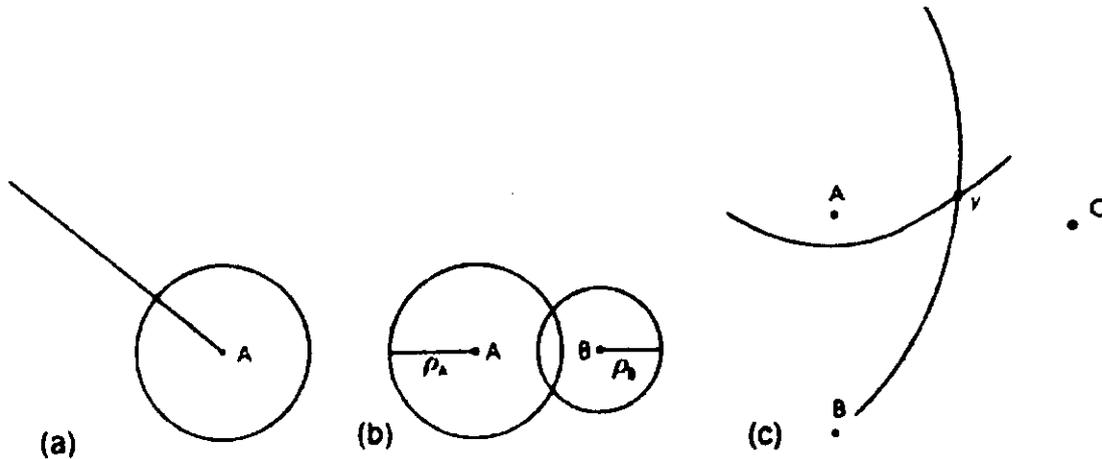
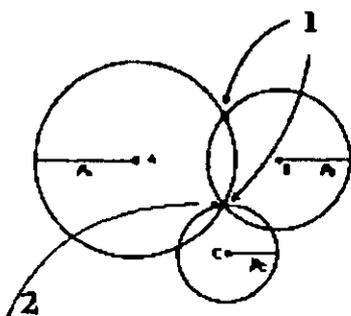


Figura 6

Esta figura seis, representa el loci de tres diferentes sistemas de posicionamiento. Se muestra con la posición de los sitios de referencia: (a) sistema (polar) ángulo-circular, (b) circular-circular y, (c) hiperbólico-hiperbólico.

En orden para hacer la medida de posición final. Por ejemplo, el sistema de coordenadas polares del radar esta descrito como ángulo-circular. El posicionamiento remoto con un sistema circular-circular surge cuando hay dos sitios de referencia para cada medida de tiempo de viaje redondo hacia un objeto. Un posicionamiento remoto de un sistema hiperbólico-hiperbólico usa tres sitios de referencia para comparar la diferencia de tiempo de arribo (TDOA) de la señal desde un objeto. La medida TDOA esta hecha entre pares de sitios de referencia y cada medida TDOA produce un locus hiperbólico.

2.5.3 Ambigüedad.



La ambigüedad en un sistema de posicionamiento ocurre cuando hay una posible confusión en la medida de la posición exacta y es posible separarlas en ambigüedad física y de la señal[9]. La ambigüedad que ocurre en el mapeo desde el cuadro mundial hacia el cuadro

Figura 7

de medidas se observa en la figura seis un sistema circular-circular, el círculo A y B se intercepta en dos puntos diferentes, esto significa que los dos puntos diferentes en el mundo real corresponden a un punto en el circular-circular, presentándose una ambigüedad. En la figura siete se observa el número 1 que indican las flechas una estimación de posición ambigua. En el número 2 se mira que la Ambigüedad es resuelta con una tercer medida.

2.5.4 Tiempo.

Un factor crítico en algunas medidas de posicionamiento es el retardo de tiempo. En algunos casos, un pequeño retardo puede hacer la medida de posicionamiento inservible[9]. Por ejemplo, un sistema de control de cruce automático con un poco de retardo de tiempo podría ocasionar una colisión.

2.5.5 Cobertura

El porcentaje de cobertura[9] es proporcional al área de interés con un nivel de servicio aceptable(número de caminos, nivel de exactitud)

2.6 Errores en el Sistema de Estima(Dead Reckoning)

Para el caso de los Sistemas de estima, la mayoría de los errores en los sistemas de posicionamiento son principalmente de tecnología[9], errores en los instrumentos y en los sensores, la propagación de estos errores dentro de los errores de determinación de posición se presenta con procesos complejos y no lineales. Los errores en DR crecen con el tiempo, o distancia; considerando un punto de empieza de posición conocida o una posición "actual" si el DR esta integrado con algún sistema de auto-posicionamiento.

Los sensores DR son básicamente de dos tipos: sensores de inclinación(o tasa de cambio de inclinación) como son los compases y los giroscopios; y sensores de distancia como los odómetros. Los errores en los sensores de inclinación crecen con el tiempo (linealmente) y se expresan en grados/hr. Los errores en los sensores de Distancia están en función de la distancia recorrida y se expresan comúnmente como porcentaje de la distancia recorrida.

La exactitud de la posición depende de un número de factores, incluyendo la trayectoria de viaje del objeto desde una posición inicial conocida y un tiempo desde la posición actual.

2.7 Caracterización de Sistemas de postes de señal [9]

Un sistema de postes de señal se caracteriza en términos de la activación. Imaginemos el manejo de un vehículo en este sistema, un punto del Transpondedor es activado (o detectado) por un poste de señal(ver figura ocho). Si en varios

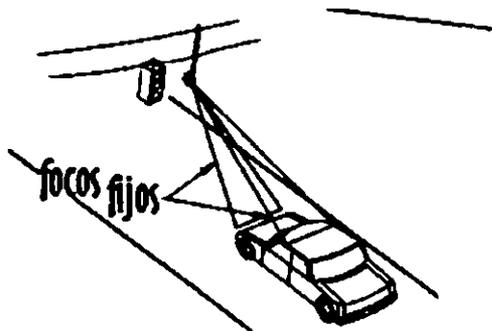


Figura 8

tiempos se detecta, entonces es posible estimar la posición de la activación. Si se define una región donde la probabilidad de activación es grande, entonces esta en el rango de activación, puede ser caracterizada en términos de promedio, desviación estándar, y momentos de alto orden. La naturaleza del rango de activación puede variar, dependiendo de en que dirección se maneja el vehículo.

CAPITULO TRES:

MODELOS MATEMATICOS PARA EL POSICIONAMIENTO.

CAPITULO TRES: MODELOS MATEMATICOS UTILIZADOS PARA RESOLVER EL PROBLEMA DEL POSICIONAMIENTO (SISTEMAS ONDA BASE)

Conseguir la ubicación del móvil por medio de postes de señal solo requiere la colocación de faros en lugares estratégicos y por medio de la activación de estos es posible saber en que lugar se encuentran aproximadamente, por ejemplo en CAPUFE (camino y puentes federales de la SCT) su prototipo de una autopista inteligente proveerá información a determinadas distancias con dispositivos (transponders) de lectura y escritura detectando el vehículo al pasar por ahí[8].

Mientras que para los sistemas de estima dependerá en gran medida de los dispositivos (odómetros, acelerómetros, etc.) que sean integrados al vehículo, para así aumentar o disminuir las coordenadas de su posición con respecto a la posición de origen[21]. Un ejemplo representativo es para robots móviles donde se les coloca algún dispositivo que pueda detectar si tuvo un movimiento hacia atrás o hacia delante o realizó un giro hacia la izquierda o hacia la derecha; el funcionamiento es análogo para los vehículos, donde es posible colocarle, por ejemplo, a un helicóptero estos dispositivos[10].

Para los sistemas de onda base, se ha separado la investigación tomando en cuenta si el sistema tiene movimiento o no, con tres o cuatro referencias.

El Subtema 3.1 representa la generalización del tipo de Locus o forma para calcular el loci (posición), utilizando cónicas. El 3.2 intersección de circunferencias (3 referencias), ha sido utilizado para la navegación de robots por medio del sonido, este caso es representativo de los sistemas que no tienen movimiento; el subtema 3.3 que utiliza satélites Geoestacionarios, requiere 3 o 4 referencias y depende si se conoce o no la altura, esta dividido en tres incisos a) Geoestacionarios, b) Geolocalización mejorada y c) Geolocalización TDOA y finalmente se tiene el subtema 3.4 GPS, con 4 referencias en movimiento pero adicionándole el desplazamiento de reloj, esta dividido en cuatro incisos a) GPS b) Esferas de posición c) Existencia y Unicidad y D) Solución algebraica. Dependiendo del tiempo de reloj.

3.1 Generalización mediante cónicas.

Loran, es un ejemplo de un sistema de localización de diferencia de rango "hiperbólico", ofrece líneas hiperbólicas de posición sobre el destino a localizar. Se muestra que las líneas de posición pueden no ser hiperbólicas[12], por ejemplo líneas rectas de posición sobre un plano o sobre una superficie esférica (donde la solución es un gran círculo).

El método común de ubicación de posición "fijo" se basa sobre medidas de diferencias en rango hacia dos puntos de posiciones conocidas, ofrece ventajas prácticas en el desarrollo de Loran, Decca, Omega y otros sistemas similares.

En la posición hiperbólica de diferencia en rangos, la medida de diferencia de tiempo de arribo(TDOA) hacia dos estaciones conocidas, convierte los rangos de diferencia por multiplicación de esta con la velocidad de propagación para determinar una línea hiperbólica de posición(LOP). Algún punto sobre la hipérbola puede producir el mismo rango de diferencia. Es claro que si más de dos estaciones fijas son pulsos de transmisión, el receptor a localizar puede tratar la emisiones en par, produciendo más de un LOP; luego se calcula analíticamente la intersección de estas para encontrar la posición. Este problema no es tan simple.

Se revisa el axioma básico de un sistema de la posición mediante diferencia de rangos(DR) y construye una geometría comprensiva de DR que es más simple que muchos otros métodos[12].

Considerando los sistemas convencionales hiperbólicos DR, el teorema fundamental es "Las diferencias en rango hacia dos estaciones conocidas proveen una línea(hiperbólica) de posición", El teorema fundamental de sistemas no hiperbólicos de este artículo es "La diferencia en rango hacia tres estaciones conocidas proveen una línea recta de posición, que es el mejor eje de una cónica general, a un foco de la posición en cuestión"

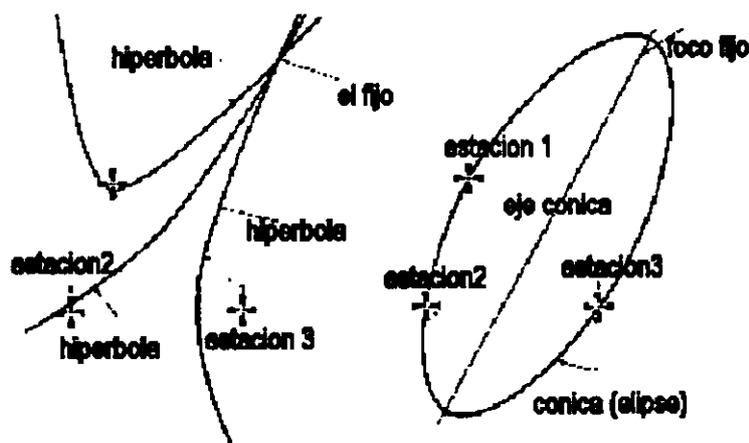


Figura 9

hipérbola en todos los casos). Y las estaciones al foci.

De la figura nueve se observa que las tres estaciones conocidas están sobre la cónica. El foci esta sobre el eje de la cónica; por lo tanto, el procedimiento puede referirse hacia una localización sobre el eje de las cónicas.

La DR hiperbólica, contrario a lugares fijos sobre la cónica(una

La solución matemática, ya sea en una región plana (euclidiana) o sobre una larga porción de la superficie de la tierra, es conciso, exacto y no iterativo. Las matemáticas de los sistemas de diferencia de rango dependen de que se encuentren en la dirección de transmisión.

Este procedimiento empieza por localizar el foci de la cónica general que se asume como la ecuación General de la Cónica:

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0 \quad (1)$$

Para completar la cónica se normaliza para A con cinco coeficientes, los tres puntos sobre la cónica y el eje mayor son conocidos, por una translación y rotación de los ejes, el eje mayor puede coincidir con los ejes. la ecuación de la cónica quedaría:

$$\frac{(x-xc)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (2)$$

Donde xc es la abscisa del centro de la cónica (yc=0) y el signo de la b² indica si la cónica es una elipse o una hipérbola.

La ec. Puede reescribirse como:

$$x^2 \left(\frac{b^2}{a^2} \right) + x \left(-\frac{2b^2 x_c}{a^2} \right) + \frac{b^2}{a^2} (x_c^2 - a^2) - y^2 \quad (3)$$

Que puede expresarse así:

$$x^2 u + xv + w = -y^2. \quad (4)$$

Entonces, las tres ecuaciones dentro de tres incógnitas u, v, w pueden escribirse insertando las rotadas (x1,y1), (x2,y2) y (x3,y3) para (x,y) de la ec. (4). Esto puede resolverse y ser convertido a "a,b y xc". La solución es directa y el foci desde xc provee el centro de la cónica y la distancia del foco es la raíz de la diferencia de los cuadrados de a y b.

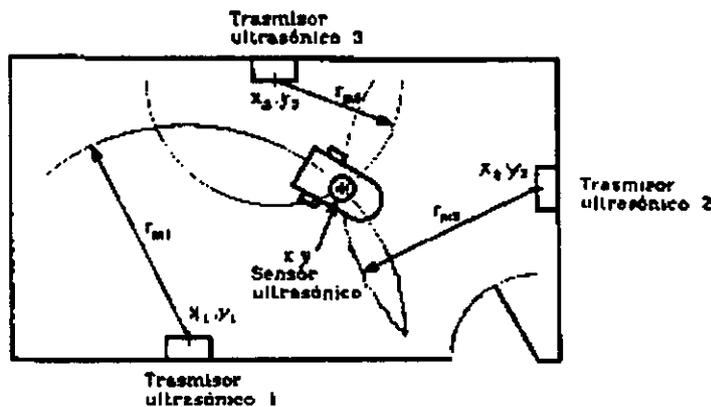
3.2 Determinación de la posición de un robot móvil con ultrasonido

3.2.1 Determinación de Posición en el plano.

La ubicación de un robot móvil es un problema importante en el área de navegación para la ingeniería Eléctrica y Computación, aquí uno de los problemas más frecuentes es la desviación que sufren los dispositivos del robot debido a la falta de precisión de los motores para direccionamiento, errores que afectan la precisión de la posición del robot.

Se plantean dos métodos para la determinación de la posición de robots en un ambiente de trabajo, basado en el uso de tres transmisores ultrasónicos, un micrófono omnidireccional y filtros digitales implantados con un Procesador Digital de Señales.

Se escogió el primer método donde utilizaron tres transmisores ultrasónicos en una sala de pruebas, generando señales sinusoidales de 17, 19 y 21 khz respectivamente, las señales se sincronizan con el procesador montado en el robot móvil por medio de un pulso de comando que éste envía por radiofrecuencia. También sobre el robot se tiene colocado el micrófono omnidireccional que recibe



las señales dadas que pasan por el procesador y éste va midiendo los tiempos de llegada de cada una de ellas, estos tiempos se convierten a distancias. Y ya conocidas las distancias se pueden trazar tres circunferencias en el plano en el cual el robot se encuentra navegando, como se observa en la figura diez.

Figura 10

Usando las ecuaciones de las tres circunferencias puede encontrarse el punto estimado (x_e, y_e) en el que se intersecan, de manera que pueda estimarse la posición del robot:

$$\begin{aligned} (x_e - x_1)^2 + (y_e - y_1)^2 + (dz_1)^2 &= r_{m1}^2 \\ (x_e - x_2)^2 + (y_e - y_2)^2 + (dz_2)^2 &= r_{m2}^2 \\ (x_e - x_3)^2 + (y_e - y_3)^2 + (dz_3)^2 &= r_{m3}^2 \end{aligned} \tag{5}$$

Los valores de (x_i, y_i) , $i=1,2,3$, de la ec. (5) representan las posiciones de los transmisores ultrasónicos. dz_i la diferencia de alturas entre los transmisores y el robot, y r_{mi} representa la distancia, calculada por el Procesador Digital de Señales a partir de los tiempos medidos, entre el transmisor i y el micrófono.

Resolviendo el sistema de ecuaciones (5) para (x_e, y_e) se obtiene:

$$y_e = \frac{(x_2 - x_1)(r_{m2}^2 - r_{m3}^2 - x_2^2 + x_3^2 - y_2^2 + y_3^2) - (x_3 - x_2)(r_{m1}^2 - r_{m2}^2 - x_1^2 + x_2^2 - y_1^2 + y_2^2)}{2(x_2 - x_1)(y_3 - y_2) - 2(x_3 - x_2)(y_2 - y_1)}$$

$$x_e = \frac{r_{m1}^2 - r_{m2}^2 - x_1^2 + x_2^2 - 2y_e(y_2 - y_1) - y_1^2 + y_2^2}{x_2 - x_1}$$

Siendo estos valores las coordenadas de la posición estimada del robot dentro de la sala de pruebas.

3.3 Sistemas de navegación 3 y 4 referencias sin movimiento.

a) Mediante satélites Geoestacionarios

Aquí se presenta una nueva solución de desarrollo de bajo costo, confiable y un sistema de navegación exacta que puede ser habilitado para los usuarios civiles en un diseño de un sistema GPS. Como una nueva solución para un sistema de localización de posición de bajo costo utilizando satélites. Mediante dos formas que involucran la determinación de la distancia de tres o cuatro satélites geoestacionarios. Estos difieren de cada uno por la medición de la altitud en una y en la otra no.

Un satélite Geoestacionario tiene poco movimiento con respecto a la tierra, y como resultado puede existir un sistema de navegación capaz de cubrir los Estados Unidos con solamente cuatro satélites Geoestacionarios. Solamente tres de estos satélites se necesitan si no se requiere determinar la altitud. Un sistema capaz de cubrir todo el globo (excluyendo las regiones polares) requiere de 12 satélites geoestacionarios para determinar longitud, latitud y altitud. Menos satélites que el sistema GPS.

El uso de los geoestacionarios también es atractivo porque tiene bajo desplazamiento Doppler comparado con el sistema GPS. Es deseado bajo desplazamiento Doppler porque los resultados tienen un reducido error en el rastreo y el diseño de equipo es simplificado. (El desplazamiento Doppler es debido al movimiento de la fuente de emisión que hace que cambie la frecuencia de origen)

Conceptos de Operación

Un sistema Geoestacionario tiene una órbita ecuatorial circular, con una altitud de aproximadamente 35,748 km. Con esta altitud el periodo de la órbita es de 23 h 56 m 4.90 s; que es el día sideral, o sea el tiempo que tarda la tierra al dar la vuelta completa sobre su eje o rotación de la tierra. Aquí aparece el satélite relativamente estacionario en un punto sobre la tierra. Tenemos el radio del ecuador de la tierra: 6378 km y el radio de la órbita geoestacionaria: $r=42,164$ km.

Las regiones polares no son cubiertas por la señal de los satélites, por problemas de la antena del usuario(mínimo ángulo de elevación:5 grados)

La determinación de posición de un sistema de navegación geoestacionaria en el eje x esta en la intersección del plano ecuatorial(latitud 0°) y el plano meridiano de Greenwich (longitud 0°) y es orientado desde el centro de la tierra; el eje z es el eje polar orientado de sur a norte; el eje completa el sistema de coordenadas de mano derecha. Se designa como posición del usuario, la incógnita, por (x, y, z) y las posiciones dato de $n \geq 3$ satélites geoestacionarios (x_i, y_i, z_i) , donde $i=1,2,\dots,n$. Así la distancia cuadrada desde la posición del usuario hacia cada satélite geoestacionario puede expresarse por

$$d_i := \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \quad (6)$$

Y una cantidad:

$$a_i := d_1 - d_i \quad (7)$$

Donde $i=1,2,\dots,n$

Puede verse que la variable a_i representa la diferencia dentro de la distancia hacia el usuario desde el satélite uno, arbitrariamente designado este como satélite uno, y hacia cada uno de los otros satélites. La variable a_i se refiere a las distancias que se asumen por ser medidas.

Para $n=4$, estas dos ecuaciones básicas se combinan para formar un conjunto de cuatro ecuaciones independientes con cuatro incógnitas, es decir para encontrar la solución x, y, z y d_1 pueden ser resueltas usando los datos de las medidas a_i y las efemérides de los satélites conocidos (x_i, y_i, z_i) $i=1,2,3,4$. Alguna posible ambigüedad se resuelve asumiendo que los usuarios están localizados en un cuadrante de la tierra.

En este caso para las cuatro ecuaciones independientes no lineales

$$(d_1 - a_i)^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + z^2, \quad (8)$$

$$(x_i - x_1)x + (y_i - y_1)y - a_i d_1 = -\frac{a_i^2}{2}. \quad (9)$$

Que se reduce a tres ecuaciones lineales independientes

Donde se obtienen por sustitución sobre las ecuaciones básicas la segunda en la primera y se sustrae el índice $i=1$. De la ecuación anterior X, Y e D_1 son incógnitas.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ d_1 \end{bmatrix} := \frac{-1}{2} \cdot \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & -a_2 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & -a_3 \\ x_4 - x_1 & y_4 - y_1 & -a_4 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} a_2^2 \\ a_3^2 \\ a_4^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

La variable z puede encontrarse por sustitución de esta matriz en la ecuación lineal(6).

$$z_i := \sqrt{(d_1 - a_i)^2 - (x - x_i)^2 - (y - y_i)^2} \quad (11)$$

De esta matriz y z_i se obtiene una aproximación inicial x^0, y^0, z^0 .

Las coordenadas del usuario (x,y,z) son determinadas, la altitud h, longitud theta l y latitud theta i se encuentran desde.

$$j := \frac{\cos(\theta 1)}{x} \quad \theta 1 := \frac{1}{\tan\left[\frac{-y}{x}\right]} \quad h := \frac{z 1}{\sin(\theta 1)} \quad \theta 2 := \frac{1}{\tan(j \cdot z 1)} \quad w := \tan(j \cdot z 1)$$

$$x := (R+h) \cdot \cos(\theta 1) \cdot \cos(\theta 2) \quad y := (R+h) \cdot \sin(\theta 1) \cdot \cos(\theta 2) \quad z := (R+h) \cdot \sin(\theta 2)$$

Para un sistema de 3 satélites, n=3, se usa

$$x^2 + y^2 + z^2 = (R+h)^2 \quad (12)$$

Como cuarta ecuación de (6) y(7), adicionándose a la ecuación (12) Con i=1,2,3. Este conjunto de cuatro ecuaciones no lineales puede ser resuelto iterativamente para obtener las coordenadas del usuario (x y z). En otras palabras se asume que las altitudes de los usuarios son conocidas y solo se determinara la posición para latitud y longitud. Para un sistema de tres satélites, la aproximación inicial es más compleja. Puede ser calculada desde cuatro ecuaciones no lineales.

Y las ecuaciones a utilizar se presentan aquí.

$$\alpha 1 := \frac{[x_2 - x_1]}{a_2} \quad \alpha 2 := \frac{[x_3 - x_1]}{a_3} \quad \beta 1 := \frac{[y_2 - y_1]}{a_2} \quad \beta 2 := \frac{[y_3 - y_1]}{a_3}$$

$$\gamma 2 := \frac{[[x_1]^2 + [y_1]^2 - [x_3]^2 - [y_3]^2 + [a_3]^2]}{[2 \cdot a_3]} \quad \gamma 1 := \frac{[[x_1]^2 + [y_1]^2 - [x_2]^2 - [y_2]^2 + [a_2]^2]}{[2 \cdot a_2]}$$

$$\mu 1 := \frac{(\alpha 1 - \alpha 2)}{(\beta 2 - \beta 1)} \quad \mu 2 := \frac{(\gamma 1 - \gamma 2)}{(\beta 2 - \beta 1)}$$

$$\mu 3 := \frac{((\alpha 1 \cdot \beta 2) - (\alpha 2 \cdot \beta 1))}{(\beta 2 - \beta 1)} \quad \mu 4 := \frac{((\gamma 1 \cdot \beta 2) - (\gamma 2 \cdot \beta 1))}{(\beta 2 - \beta 1)}$$

$$a := \mu 3^2 \quad b := 2 \cdot \mu 3 \cdot \mu 4 + 2 \cdot y_1 \cdot \mu 1 + 2 \cdot x_1 \quad c := \mu 4^2 + 2 \cdot y_1 \cdot \mu 2 - [x_1]^2 - [y_1]^2 - (R+h)^2$$

$$\text{discrim} := b^2 - 4 \cdot a \cdot c$$

$$x 1 := \frac{-b + \sqrt{\text{discrim}}}{2 \cdot a} \quad a \cdot x 1^2 + b \cdot x 1 + c = 0$$

$$x 2 := \frac{-b - \sqrt{\text{discrim}}}{2 \cdot a} \quad a \cdot x 2^2 + b \cdot x 2 + c = 0$$

$$y := \mu 1 \cdot x 2 + \mu 2 \quad y 2 := \mu 1 \cdot x 1 + \mu 2$$

b) Análisis mejorado para un sistema de 4 referencias.

Se presenta un método de Geolocalización basado en la medida de diferencia de tiempo de arribo (TDOA) de una señal recibida para tres o cuatro satélites. Con un conjunto de ecuaciones no lineales para resolver la estimación de posición.

La geolocalización de un transmisor de radio tiene una variedad de aplicaciones. Un ejemplo es la localización de fuentes de radio en emergencias para barcos y rescate aéreo[14]; otro es encontrar la posición de una interferencia de la fuente con otros satélites. La geolocalización esta basada sobre técnicas que se encuentran sobre una frecuencia o combinación de esta, información de tiempo y espacio.

Con tres receptores de posiciones conocidas, las dos TDOAs de una señal recibida por satélites define dos hipérbolas en donde el transmisor puede ser localizado. Si la fuente esta sobre la tierra, la intersección de las dos curvas sobre la superficie de la tierra define la posición del transmisor. El método TDOA puede localizar un rango ancho de algún tipo de señal[14].

La Geolocalización vía satélites geoestacionarios recibe mucha atención recientemente, el costo del sistema es menor que el GPS ya que es posible utilizar los satélites que ya están trabajando (en órbita). No se necesita lanzamientos extras de E.U. para propósitos de geolocalización. En suma, los satélites se mueven muy poco con respecto a un punto a la tierra; esto permite medidas exactas de TDOA para reducir el error. Finalmente, hay una alta altitud y una larga área de cobertura en la tierra. El tiempo de respuesta para la localización puede ser corto.

En la Geolocalización usando satélites Geoestacionarios desde medidas TDOA, después de medidas las TDOAs, es necesario resolver un conjunto de ecuaciones no lineales para obtener la posición del transmisor[14]. Esto no es fácil y requiere un trabajo más laborioso sobre los métodos iterativos y linealización. El cálculo también se muestra complejo y requiere un punto inicial cercano a la solución real, que puede no ser fácil para seleccionar en la práctica. Aunque existe una solución derivada para hiperbólicas fijas, esto no es aplicable para sobre determinar la situación en que más TDOA habilitados reduce el error.

Aquí se presenta una solución que se dice exacta y elimina los problemas asociados con las técnicas iterativas.

C) Geolocalización TDOA con satélites geoestacionarios.

El sistema de coordenadas geocéntricas es comúnmente adoptado en Geolocalización. La TDOA mide la diferencia de tiempo de arribo de una señal a dos localizaciones separadas. En la práctica, solamente hay un número limitado de receptores que son habilitados. Un mínimo de tres satélites son necesarios cuando se sabe que el transmisor se encuentra sobre la tierra y cuatro si se requiere conocer la altitud del transmisor[14]. Dado si, $i=1,2,3,4$ para los satélites geoestacionarios $D_{i+1,i}$ $i=1,2,3$ serán los TDOA medidos entre "si"+1 y "si". Si c es la velocidad de propagación entonces

$$r_{i+1,i} = cD_{i+1,i} = r_{i+1} - r_i, \quad i = 1,2,3 \quad (13)$$

Con r_i denotamos la distancia entre el transmisor y el satélite i . Y tenemos "si" como las posiciones conocidas (x_i, y_i, z_i) , $i=1,2,3,4$ y las coordenadas del transmisor desconocido (x, y, z) con

$$r_i^2 = (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2, \quad (14)$$

Donde $i=1,2,3,4$.

Resolviendo ambas ecuaciones(13 y (14) da la posición del emisor. Esta solución no es fácil porque involucra ecuaciones no lineales. Chan, 1993 [14]menciona las soluciones iterativas por linealización, o mediante una solución inicial cercana a la solución real pero que no se garantiza la convergencia.

Para el caso de cuatro receptores, se observa de la primera ecuación que

$$r_3 - r_2 + r_2 - r_1 - (r_3 - r_1) = 0$$

$$r_4 - r_3 + r_3 - r_1 - (r_4 - r_1) = 0$$

$$r_4 - r_2 + r_2 - r_1 - (r_4 - r_1) = 0$$

$$r_4 - r_3 + r_3 - r_2 - (r_4 - r_2) = 0$$

$$k_1 := x_1^2 + y_1^2 + z_1^2$$

$$k_2 := x_2^2 + y_2^2 + z_2^2$$

$$k_3 := x_3^2 + y_3^2 + z_3^2$$

$$k_4 := x_4^2 + y_4^2 + z_4^2$$

Y existe una relación de igualdad.

$$\begin{aligned} \text{dato1} &:= (r3-r2) \cdot (r2-r1) \cdot (r3-r1) \\ \text{dato1} &:= [r3-r2 \cdot [r1^2]] + [r2-r1 \cdot [r3^2]] - [r3-r1 \cdot [r2^2]] \end{aligned}$$

Expresándose como una ecuación lineal en (x y z):

Las ecuaciones numeradas (1-4) representan las ecuaciones lineales a calcular.

$$(1) \quad l1 + (m1 \cdot x) + (u1 \cdot y) + (v1 \cdot z)$$

$$l2 := (r4-r3) \cdot k1 + (r3-r1) \cdot k4 - (r4-r1) \cdot k3$$

$$m2 := -2 \cdot ((r4-r3) \cdot x1 + (r3-r1) \cdot x3 - (r4-r1) \cdot x2)$$

$$u2 := -2 \cdot ((r4-r3) \cdot y1 + (r3-r1) \cdot y3 - (r4-r1) \cdot y2)$$

$$v2 := -2 \cdot ((r4-r3) \cdot z1 + (r3-r1) \cdot z3 - (r4-r1) \cdot z2)$$

$$(2) \quad l2 + (m2 \cdot x) + (u2 \cdot y) + (v2 \cdot z)$$

$$l3 := (r4-r2) \cdot k1 + (r2-r1) \cdot k4 - (r4-r1) \cdot k2$$

$$m3 := -2 \cdot ((r4-r2) \cdot x1 + (r2-r1) \cdot x3 - (r4-r1) \cdot x2)$$

$$u3 := -2 \cdot ((r4-r2) \cdot y1 + (r2-r1) \cdot y3 - (r4-r1) \cdot y2)$$

$$v3 := -2 \cdot ((r4-r2) \cdot z1 + (r2-r1) \cdot z3 - (r4-r1) \cdot z2)$$

$$(3) \quad l1 + (m3 \cdot x) + (u3 \cdot y) + (v3 \cdot z)$$

$$l4 := (r4-r3) \cdot k2 + (r3-r2) \cdot k4 - (r4-r2) \cdot k3$$

$$m4 := -2 \cdot ((r4-r3) \cdot x1 + (r3-r2) \cdot x3 - (r4-r2) \cdot x2)$$

$$u4 := -2 \cdot ((r4-r3) \cdot y1 + (r3-r2) \cdot y3 - (r4-r2) \cdot y2)$$

$$v4 := -2 \cdot ((r4-r3) \cdot z1 + (r3-r2) \cdot z3 - (r4-r2) \cdot z2)$$

$$(4) \quad l4 + (m4 \cdot x) + (u4 \cdot y) + (v4 \cdot z)$$

Pero se encontro que : $(1)+(2)-(3)=(4)$ mas $(1)+(2)=(3)$ entonces solo hay dos ecuaciones independientes. Ahora x^* y y^* pueden determinarse en terminos de z^* desde (1)-(2)

$$W := \begin{bmatrix} m1 & u1 \\ m2 & u2 \end{bmatrix} \quad v := \begin{bmatrix} (r3-r2) \cdot (r2-r1) \cdot (r3-r1) - l1 - (v1 \cdot z) \\ (r4-r3) \cdot (r3-r1) \cdot (r4-r1) - l2 - (v2 \cdot z) \end{bmatrix}$$

$$e := W^{-1} \cdot v$$

Y regresando con las ecuaciones básicas (6) y (7), la segunda de esta(7) se sustituye en la primera (6) en algún i para formar la ecuación cuadrática en z , que puede ser resulta.

Insertando raíces dentro de esta matriz nueva "v" que da dos soluciones. La posición del transmisor se obtiene conociendo las direcciones hacia donde la antena esta dirigida. La solución del artículo se puede extender fácilmente a situaciones donde existan TDOA extras(desde satélites extra) son habilitados para reducir la estimación del error.

3.4 Sistema de navegación con 4 referencias en movimiento.

a) Sistema de Posicionamiento Global(GPS)

Los progresos alcanzados por los científicos e ingenieros ajenos al ámbito militar, permiten que los radiorreceptores GPS guíen embarcaciones de recreo a través de la niebla o autocares de pasajeros por carreteras secundarias[16]. Se recurre al sistema GPS hasta para registrar la posición de los buques de carga.

Todavía impresiona más que con el equipo de inspección GPS puedan los geólogos medir los ligeros desplazamientos de la corteza terrestre, del orden de unos pocos milímetros, que muestran el movimiento de las placas tectónicas del planeta y ayudan a definir la situación y la extensión de las zonas propensas a terremotos.

b) Las esferas de posición del sistema de posicionamiento global

Poco después de que los soviéticos lanzaran el Sputnik en 1957, hubo quienes se dieron cuenta de que las transmisiones de radio procedentes de un satélite situado en una órbita bien definida podían indicar la posición de un receptor en la superficie terrestre[16].

La idea de determinación de posición por distancias es bastante elemental. Supongamos que pueda asegurarse que un satélite está a 20,000 kilómetros de distancia. La posición de la persona se encuentra, situada sobre una inmensa esfera de 20,000 kilómetros de radio en torno a dicho satélite. Como los satélites recorren órbitas estables y predecibles, la situación del satélite y de la esfera que lo rodea se conoce con toda exactitud.

Si al mismo tiempo que tomamos la primera determinación se mide también su distancia a un segundo satélite, podremos definir una segunda - esfera de posición -, e igualmente una tercera esfera con un tercer satélite, etcétera. Habrá que buscar en las intersecciones de todas estas esferas las soluciones razonables al problema del posicionamiento.

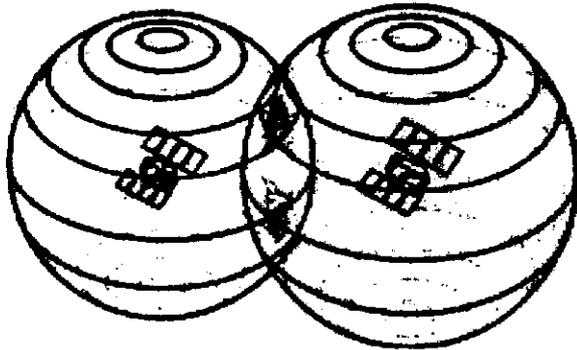


Figura 11

Los satélites de navegación transmitirán pulsos de radiofrecuencia en momentos específicos, y los equipos receptores determinarán la distancia al satélite midiendo el instante exacto en que tales pulsos se reciben.

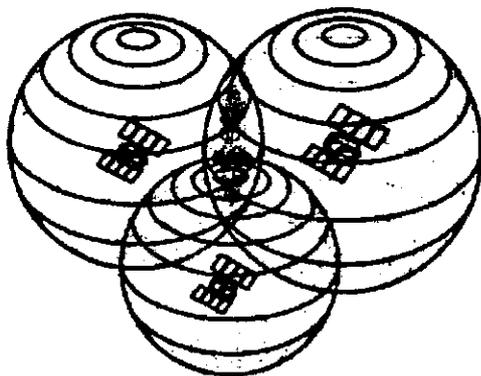


Figura 12

Pero hay un modo de conseguir el mismo fin sin necesidad de relojes tan perfectos en tierra: basta con establecer en cuánto se ha desviado del tiempo correcto el reloj de inferior clase del receptor. Esta tarea no implica especiales dificultades. Se empieza por suponer que el reloj del receptor marca aproximadamente la hora correcta para el cálculo de las distancias a cuatro satélites. En tales condiciones cada una de las distancias calculadas (cuatro) corresponderán a una esfera imaginaria centrada en el satélite respectivo. Las cuatro esferas deberían cortarse en un punto único - la posición del receptor -, pero esto no sucederá al no estar los relojes del satélite y del receptor rigurosamente sincronizados. Ahora bien, es posible ajustar el error del reloj de tal modo que las cuatro esferas se corten en un solo punto, y ello se consigue mediante unos pocos cálculos algebraicos. Un sencillo receptor con un reloj electrónico no más complicado que un reloj digital de pulsera puede así sincronizarse con los relojes atómicos que discurren por el espacio.

Dos esferas pueden cortarse en un círculo(figura 11), pero tres esferas sólo pueden coincidir en dos puntos(figura 12), uno de los cuales será absurdo por estar en las profundidades del planeta o en el espacio exterior[16]. Basta, pues, con tres determinaciones por satélite para conocer la posición exacta.

Lo que requiere que el reloj del receptor este sincronizado con el del satélite. Este concepto es la base del sistema global de posicionamiento. Si bien es posible equipar todos los satélites de navegación con relojes atómicos de extrema precisión, sería prohibitivo por el costo y la complejidad hacer lo mismo con todos los receptores.

El uso de secuencias pseudoaleatorias para codificar las emisiones radioeléctricas ofrecía muchas ventajas. Entre ellas, la de conseguir receptores GPS económicos que tanto apreciarían marinos y caminantes años más tarde. Todos los satélites podrían entonces transmitir a la misma frecuencia sin crear una confusa mezcla de interferencias; cada satélite GPS transmitiría un código de uso exclusivo, de manera que un receptor de frecuencia única, de bajo costo, pudiera separar fácilmente las diferentes señales.

Al planificar el GPS se situaron a unos 20,000 kilómetros de altura. En esas órbitas, 17 satélites serían suficientes para garantizar que siempre estén al menos cuatro de ellos - mínimo número requerido para determinar una posición - al alcance de cualquier lugar de la superficie terrestre. La configuración que terminó por adoptar el GPS consta de 21 satélites primarios y tres de reserva en órbita.

Se dispone de multitud de fuentes que proporcionan las correcciones del GPS diferencial. La Administración Federal de Aviación, por ejemplo, está empezando a ofrecer estos servicios a los aviones. La Guarda Costera transmite también correcciones en las cercanías de los puertos principales. Además, varias compañías comerciales venden correcciones GPS para la mayoría del territorio norteamericano, así como para otras regiones del mundo.

La amplia disponibilidad del GPS diferencial ha suscitado vivos debates sobre qué motivos mueven al Ejército de EE.UU. [16] a seguir gastando dinero en codificar el GPS en tiempos de paz, obligando a otros sectores del gobierno a invertir todavía más recursos en decodificar los errores y difundir los resultados por radio.

Resulta paradójico que durante dos recientes operaciones militares, la guerra del golfo Pérsico y la ocupación de Haití, el Departamento de Defensa (DD) desactivara las medidas de seguridad del GPS. Y lo hizo porque no disponía de suficientes equipos GPS clasificados para desplazarse, mientras que los modelos civiles eran bastante fáciles de conseguir.

c) Existencia y unidad de la solución GPS

Se hace notar que Algunos autores proponen soluciones directas para convertir un conjunto de cuatro ecuaciones de las medidas de PR de GPS dentro de un sistema de tres dimensiones para calcular la posición del usuario y el reloj del usuario, las soluciones fueron diseñadas para trabajar en el espacio, donde comúnmente se usan técnicas iterativas que pueden no tener puntos de inicio favorables. Y esto repercute en el diseño del receptor del GPS ya que pueden presentarse problemas en la solución[18].

Como una consecuencia adicional, los métodos de linealización pueden converger a soluciones erróneas si la estimación inicial no es suficientemente cercana a las posiciones de usuarios verdaderas. Afortunadamente, la solución única está virtualmente garantizada para los usuarios que operan cerca de la tierra. Sin embargo, los métodos de linealización son usados en el espacio que pueden fallar.

Un pseudorange y una constante aditiva miden la distancia entre el usuario GPS y el satélite dado, la constante aditiva es el tiempo de reloj de usuario, comúnmente en todos los pseudoranges (PRs). Se da un conjunto de medidas de PR y sus posiciones correspondientes de los satélites, esto es deseado para calcular la posición del usuario y su tiempo de reloj[18].

Se tienen cuatro ecuaciones de PRs que son suficientes para especificar la unicidad de la posición del usuario en tres dimensiones y el tiempo de reloj. Es un hecho que los GPS fijos se encuentran como puntos de intersección de cuatro esferas

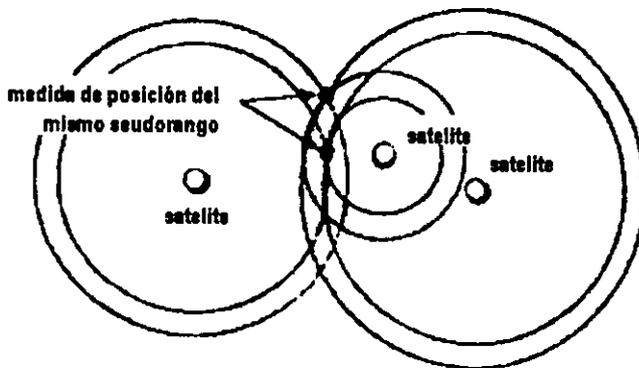


Figura 13

centradas sobre los satélites con radios dados para la corrección de los PRs con el tiempo de reloj predispuesto. Sin embargo los grados de libertad introducidos por el tiempo de reloj desconocido permiten que las esferas se inflen o desinflen(ver figura 13), con posibilidades de ser adicionado a la solución.

D) Solución algebraica de las ecuaciones GPS

El conjunto de ecuaciones básicas para determinar la posición del usuario y el desplazamiento del reloj del receptor[15] desde las medidas de cuatro pseudoranges son:

$$\begin{aligned}
 P1 &= [(X-x1)^2+(Y-y1)^2+(Z-z1)^2]^{1/2} - c dT \\
 P2 &= [(X-x1)^2+(Y-y1)^2+(Z-z1)^2]^{1/2} - c dT \\
 P3 &= [(X-x1)^2+(Y-y1)^2+(Z-z1)^2]^{1/2} - c dT \\
 P4 &= [(X-x1)^2+(Y-y1)^2+(Z-z1)^2]^{1/2} - c dT
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Las medidas de pseudoranges son hechas por el receptor, en unidades de distancia, estas son las que se encuentran del lado izquierdo de cada ecuación. La expresión que se encuentra debajo de la raíz cuadrada son los rangos verdaderos hacia el satélite. Esta es actualmente una representación de la esfera centrada sobre las coordenadas x, y, z de la posición del satélite. Las coordenadas de los satélites se obtienen desde los mensajes de navegación. Las coordenadas X, Y, Z representan las posiciones del receptor. El término c dT es la contribución del desplazamiento de reloj del receptor(dT) hacia el pseudorange. El conjunto de cuatro ecuaciones puede resolverse simultáneamente para obtener los valores X, Y, Z junto con el desplazamiento de reloj, dT.

La linealización de las ecuaciones de pseudorángos, se realiza porque los cuadrados y las raíces cuadradas en las ecuaciones y las medidas de pseudorángos dependen de las coordenadas del receptor las cuales vienen en un camino no lineal. Consecuentemente, las ecuaciones no pueden resolverse en la forma usual. Se utiliza un procedimiento conocido como iteración Newton-Rapson. En este procedimiento, cada una de las ecuaciones es expandida dentro de un polinomio de longitud infinita sobre un conjunto de datos de prueba o aleatorios para X, Y, Z y dT. Entonces cada serie se trunca después del primer grado del término, resultando una ecuación que es lineal en correcciones incrementales hacia los valores de prueba[15]. Las cuatro ecuaciones linealizadas pueden ser resueltas simultáneamente para determinar los valores de esos incrementos y acordar un ajuste de los valores de prueba.

Porque las ecuaciones linealizadas son una aproximación a las no lineales, estos procesos en general, pueden ser por iteración[15], con las subsecuentes iteraciones de campos de incrementos más pequeños y más pequeños. La solución final deberá satisfacer la ecuación no lineal original con una tolerancia aceptable. Algunas iteraciones requieren que convergan hacia una solución final. Sin embargo si la posición inicial estimada es cercana a la posición actual, las ecuaciones de pseudorángos GPS pueden resolverse en la primera iteración.

Las ecuaciones del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) son usualmente resueltas con una aplicación del método de Newton o una variante de ello, en este artículo se introduce un nuevo método de solución que es por su naturaleza algebraica y no iterativo.

Algoritmo de estado de resultados.

Dado "x" y $\{s_i : 1 \leq i \leq n\}$ que denotan las coordenadas de posición del usuario y los satélites en algún conveniente sistema de coordenadas cartesianas con centro en la tierra. Se tiene $\{t_i : 1 \leq i \leq n\}$ que son las medidas de pseudorángos tomadas por el usuario desde cada n satélite.

Donde
$$t_i = d(x, s_i) + b \tag{16}$$

Y $d(x, y)$ es la distancia desde x a y , b es el desplazamiento del reloj. Se define un vector de datos columna:

$$a_i = (s_i \ t_i)^t \quad 1 \leq i \leq n \tag{17}$$

Se define la funcional de Minkowski para un espacio 4

$$\langle a, b \rangle = a_1 * b_1 + a_2 * b_2 + a_3 * b_3 - a_4 * b_4 \tag{18}$$

definiciones

$$A = (a_1 \ a_2 \ a_3 \ \dots \ a_n)^t \tag{19}$$

$$i0=(1 \ 1 \ 1 \dots \ 1)^t \quad (20)$$

$$r=(r1 \ r2 \ r3 \ \dots \ rn)^t \quad (21)$$

donde r_i , $1 \leq i \leq n$, es calculado desde

$$r_i = \langle a_i, a_i \rangle / 2 \quad (22)$$

calculando la inversa generalizada.

$$B = (A^t W A)^{-1} A^t W \quad (23)$$

Donde W es una matriz de pesos simétrica, la matriz (23) es un operador de proyección ortogonal.

Calcular los vectores columna u y v

$$u = B \cdot i0 \quad (24)$$

$$v = B r \quad (25)$$

junto con los coeficientes escalares E , F , G definido así.

$$E = \langle u, u \rangle \quad (26)$$

$$F = \langle u, v \rangle - 1 \quad (27)$$

$$G = \langle v, v \rangle \quad (28)$$

Resolver la ecuación cuadrática

$$E l^2 + 2F l + G = 0 \quad (29)$$

Para el par de raíces $l_{1,2}$. Calcular los vectores columna $y_{1,2}$ definido por

$$y_{1,2} = l_{1,2} \cdot u + v \quad (30)$$

Entonces con la identificación

$$y^{tr} = (x^t - b)^t \quad (31)$$

Cada par x_1 , b_1 o par x_2 , b_2 resolverá el problema de GPS para la posición de usuario y desplazamiento de reloj. Para distinguir la solución de posición actual, substituyendo hacia atrás dentro de las ecuaciones con seudorangos original.

3.5 Soluciones de Localización - posición por estimaciones de Series de Taylor.

Los resultados solo enfatizan la utilidad del método matemático conocido[22].

Los tres puntos de ventajas son (1) del método de Series de Taylor que trabajan para una variedad de problemas que incluyen un modo mezclado, la convergencia(2)

en la mayoría de los caminos que pasa es independiente de la solución de una suposición inicial, y (3) los cálculos pueden acompañarse dentro de un simple manejo de cómputo. Por conveniencia de notación y fácil exposición dentro de la presentación del método, lo restringen a una posición de localización de dos dimensiones en el plano. Extendiendo las ideas a más espacios complicados es directamente.

Adoptando un conjunto rectangular de ejes coordenados en el plano,

- . x, y = posición verdadera del vehículo
- . x_v, y_v = posición verdadera (conocida) de la estación $k, k=1,2,\dots, n_s$
- . n_s = Número de estaciones fijas o puntos de referencias

Se escribe m_{ki} para la medida navegacional i (rango, ángulo de orientación, etc., hacia la estación k) y se tiene una relación algebraica de la forma

$$. \quad f_i(x, y, x_v, y_v) = u_i = m_{ki} - e_i \quad i=1,2,\dots, n \quad (32)$$

donde

u_i = es el valor correcto de la medida cuantificada

e_i = el error en la medida m_{ki}

El problema matemático es estimar x, y dando las n medidas m_{ki} , la forma funcional f_i , y las posiciones de las estaciones.

Si x_v, y_v son las posiciones iniciales de la posición verdadera del vehículo se escribe

$$. \quad x = x_v + dx \quad y = y_v + dy, \quad (33)$$

y expandiendo en series de Taylor, guardando solo los términos de segundo orden:

$$. \quad f_{iv} + a_{i1}dx + a_{i2}dy \quad (\text{aprox. } =) \quad m_{ki} - e_i \quad (34)$$

donde

$$f_{iv} = f_i(x_v, y_v, x_k, y_k)$$

a_{i1} = derivada parcial de f_i con respecto a x | x_v, y_v

a_{i2} = derivada parcial de f_i con respecto a y | x_v, y_v

se define las matrices y vectores

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} \end{vmatrix} \quad d = \begin{vmatrix} dx \\ dy \end{vmatrix} \quad z = \begin{vmatrix} mk_1 - f_{1v} \\ mk_2 - f_{2v} \\ \cdot \\ \cdot \\ mk_n - f_{nv} \end{vmatrix} \quad e = \begin{vmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ e_n \end{vmatrix} \quad (35)$$

Y las relaciones aproximadas de (1) pueden ser escritas como

$$Ad \approx z - e \quad (36)$$

$$d = [A^T A]^{-1} A^T z \quad (37)$$

Entonces para estimar la posición, se calcula dx y dy con la ecuación de "d", reemplazando

$$x_v \leftarrow x_v + dx \quad y_v \leftarrow y_v + dy \quad (38)$$

en la ecuación (36). Y se repite el cálculo. Las iteraciones tendrán convergencia cuando dx y dy sean esencialmente cero.

Técnica estándar de Localización - posición

El método de triangulación clásica envuelve medidas de orientación de los ángulos hacia los pares de estaciones de localizaciones conocidas y la estimación de algunas posiciones como la intersección de dos líneas de orientación. Es fácil en la generalización de esta idea usar n medidas de ángulos a posiciones conocidas (o puntos de referencia); la posición estimada puede encontrarse desde la orientación de n líneas.

Otro método [22], involucra medidas de los rangos hacia dos o más puntos conocidos o estaciones (Multilateración). las posiciones correspondientes son arcos de círculos centrados sobre estaciones. El rango verdadero de la "i" estación esta dada por

$$[(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2]^{(1/2)} = p_i \quad (39)$$

Y el campo de expansión de primer orden es

$$[(x_v - x_i) / p_i] \Delta x + [(y_v - y_i) / p_i] \Delta y = p_i - p_{iv} - e_{pi} \quad (40)$$

con p_i es el rango de medida.

CAPITULO CUATRO:

RESULTADO DEL ANALISIS DEL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GEOGRAFICO.

CAPITULO CUATRO: RESULTADO DEL ANALISIS DEL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GEOGRAFICO.

¿Qué se tiene? En México existen varias empresas privadas que ofrecen el servicio de Localización de Flotillas de Trailers por medio del GPS(Global Position System de la secretaria de defensa de E.U.), la secretaria de comunicaciones y transportes en la parte de banda L utiliza GPS, para la parte de CAPUFE (camino y puentes federales) se esta implementando la localización de vehículos por medio de tarjetas llave con un sistema de postes de señal. Orbcomm esta empezando a entrar al mercado mexicano con un sistema que utiliza satélites de órbita baja, sin embargo no ofrecen información adicional. En el panorama mundial se tiene ya una organización de la comunidad europea EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) y GNSS(Global Navigation Satellite System) para competir con el GPS y el GLONASS (sistema parecido al GPS pero controlado por soviéticos) su objetivo es crear un sistema para civiles(GPS ideado originalmente para fines militares) en donde ellos puedan gobernar plenamente y entrar a la competencia en la globalización, tratando de perfeccionarlo. Los sistemas de estima que tuvieron su origen en la navegación hoy son muy utilizados en los transportes y robots móviles; en E.U. existen helicópteros, aviones, automóviles y motos especiales que se encuentran implementadas con sensores de movimiento más el GPS.

En México, algunos de los dirigentes de empresas de transporte que adquirieron el servicio de localización, han comentado que los asaltos a trailers han disminuido, los trailers que han sido secuestrados se han podido encontrar más rápidamente que antes.

Algunas marcas de teléfonos celulares han empezado a vender su producto con el nuevo servicio de localización de personas con GPS. El gobierno del distrito Federal de la ciudad de México esta tratando de implementar el GPS para mejoras en la circulación vehicular.

Restricciones del GPS.

Sin embargo, el GPS no resuelve todo, solo es posible presentar datos de donde se encuentra el receptor de GPS, esto quiere decir que no es posible monitorear o que un centro detecte donde esta el receptor, solo es receptor(recibe señales no transmite señales) no es transmisor. Por esta razón, para encontrar el receptor, se utilizan comunicaciones móviles que envían por RF(radiofrecuencia) los datos obtenidos por el receptor y por lo tanto si el GPS esta dentro de un auto en movimiento, las lecturas enviadas ya son erróneas. Ahora, si el GPS se encuentra en un avión, las lecturas obtenidas tendrán un mayor margen de error. Cabe señalar que el sistema terrestre es bastante complejo porque hay más probabilidad de cambios de orientación (dar vuelta en una calle, es variar más de

180 grados) y tomando en cuenta el tipo de antena instalada tarda en encontrar su posición para detectar solamente los satélites al enviar por RF las lecturas tendrán aún más error. Y si a todo esto le aumentamos que las señales de los satélites son enviadas con degradación a propósito por E.U., El error será muy grande.

Se tienen mapas geográficos donde dadas las lecturas del GPS es posible su acoplación a coordenadas. En Japón y en algunas partes de E.U. Existen coches que solicitan visualmente (en display) el destino del usuario, este escribe o pronuncia la información solicitada y los dispositivos implantados en el coche ofrecen las rutas más cortas para el traslado y se va indicando gráficamente o con imágenes en donde se encuentran y donde esta su destino.

¿Qué se requiere a futuro?

Se requiere un sistema que permita a México conocer, lo más aproximadamente a la verdad, la posición de un receptor determinado y que pueda ser detectado también en un centro de operaciones, para ofrecer a la población rutas alternativas en caso de embotellamiento, accidente vial, marchas, etc., aviso de mantenimiento de vías, y que el conductor pueda decidir sobre su tiempo (salir más temprano si no hay rutas alternativas).

Se requiere que exista un centro de monitoreo para que los controladores de tráfico mejoren la vialidad, para que den prioridad a las ambulancias y policía, para que sea posible la localización de los autos robados, y que las empresas puedan ofrecer mejores servicios de transporte de carga más eficientemente, así como los usuarios de transporte colectivo puedan estar informados de tiempos de llegada y de partida.

Como un caso general: Ubicar un ente significa tener la confianza y la seguridad de su posición, el saber donde nos encontramos nos permite al menos no perdernos. Si tenemos ambas cosas (autoposicionamiento y posicionamiento remoto) será posible predecir el futuro con más certeza que antes. Y por consiguiente deberá mejorar todo el entorno que repercute con esto. (Mejorar el nivel de vida de la comunidad).

¿Es el GPS el mejor sistema de ubicación?, ¿Funciona mejor que otros?,

¿Es necesario tener nuestro propio sistema?

¿Es posible crear nuestro sistema?

¿Será mejor con respecto al GPS?

Problema: No existe un sistema integral de posicionamiento global especialmente diseñado para disminuir el congestionamiento de tránsito, para ofrecer seguridad y eficiencia en tiempos a los viajeros y a la carga en México.

¿Que se encontró de la investigación y estudio de los sistemas de posicionamiento?

Basados en los tipos de sistemas de posicionamiento (auto - posicionamiento y posicionamiento remoto) se destacan dos sistemas de localización en donde el primer sistema (auto - posicionamiento) requiere 3 o 4 referencias transmisoras y el punto a encontrar es el receptor (ejemplo: GPS) el segundo sistema (posicionamiento remoto) requiere 3 o 4 referencias receptoras y el punto a localizar es un transmisor (ejemplo: Geolocalización); pero los métodos de resolver el problema son muy similares.

También es posible clasificar los sistemas de localización tomando como punto de referencia la forma que surge (locus) de un conjunto de puntos que satisface las ecuaciones dadas para encontrar la posición (loci). Puede ser con la intersección de, una circunferencia y una línea (sistema polar circular - línea); dos circunferencias (sistema circular-circular), dos hipérbolas (sistema hiperbólico - hiperbólico), etc.

Para los casos de Elipses (circunferencias), hipérbolas y parábolas; estas cónicas son ecuaciones de segundo grado que dan 2 resultados como solución; y a veces pueden generar ambigüedad para encontrar la posición deseada. Por tal motivo se requiere otra referencia para encontrar la solución verdadera con la intersección de tres circunferencias, tres esferas, cuatro esferas, etc.

O utilizar la forma de la hipérbola o elipse para que las referencias satisfagan sus ecuaciones y la solución a encontrar debe estar en uno de los focos.

Ventajas y desventajas de los tipos de sistemas de posicionamiento.

Sistema de Poste de señales.

Ventajas: Puede ser muy exacto, no tiene errores a deriva, puede ofrecer medidas de Posicionamiento continuo.

Desventajas: Alto costo de infraestructura, susceptible a la interferencia, problemas de multitrayectoria y problemas de oclusión.

Es similar a un sistema de onda base pero con algunos componentes diferentes.

Sistemas de onda Base.

Ventajas: puede tener gran exactitud, No tiene errores en Deriva, puede ofrecer medidas de posicionamiento continuo.

Desventajas: Altos costos en la infraestructura, susceptibilidad a la interferencia, problemas de multitrayectoria, problemas de oclusión.

Sistemas de Estima.

Ventajas: bajos costos(para baja exactitud), El auto-posicionamiento es particular, Autónomo, y permite medidas de posicionamiento continuo.

Desventajas: Necesita una posición de inicio, datos de actualización debido a la deriva; Costo caro si son usados los mapas y los giroscopios de alta exactitud.

Los sistemas de navegación pueden utilizar como referencias satélites de órbita alta(36,000 kms), media(1500 a 10000 kms) y baja(500 a 1500kms.).

Los de órbita alta como los geoestacionarios tienen la ventaja de que relativamente se encuentran casi sin movimiento con respecto a la tierra, los dispositivos para encontrar la posición son más sencillos, pero requieren más ganancia por cubrir una gran distancia, otro defecto es que las antenas de los dispositivos que se encuentren en los polos de la tierra, no captan la señal. Se requieren tres satélites al menos, visibles al punto a localizar.

Los de órbita media y baja si tienen un movimiento con respecto a la tierra, por lo tanto el cálculo de posición es más complejo, por que se debe considerar que las referencias no permanecen en el mismo lugar y la dinámica de trayectoria debe ser tomada en cuenta.

Se requieren más satélites en órbita que los de órbita geoestacionaria, porque estos cubren el área donde se debe localizar el punto solo en un cierto rango de tiempo, y para que a cualquier hora pueda ser posible la localización del objeto deben estar varios satélites en el cielo. La ganancia de la antena es menor porque es más pequeña la distancia.

Relaciones con otras áreas.

Este problema de encontrar un sistema capaz de controlar el flujo vehicular, también se extiende a otras aplicaciones, localización de trailers para beneficio del empresario con una mejor logística, localización de aviones para control de las líneas aéreas (En E.U. se continúan haciendo pruebas para lograr que una nave aterrice adecuadamente sin un piloto dentro de esta, mediante control remoto utilizando GPS). En los Ferrocarriles hay partes donde no existe comunicación entre la central, y el controlador de tráfico no puede ayudar, también se esta tratando de incorporar algún dispositivo que ayude. En los barcos ocurre de forma

similar, ellos también utilizan el GPS para saber donde están y deben contratar un sistema de radiocomunicación (Inmarsat) capaz de alcanzar grandes distancias para que en caso de accidente puedan los demás saber donde están los del barco. Es posible también detectar el lugar donde se encuentran las personas que traen un sistema receptor y emisor de localización. También sirve para detectar fallas en la tierra, para fines militares, para seguridad en lugares, para medir terrenos, etc.

¿Sería trascendental proponer una solución determinada?

Proponer el diseño de un sistema mejorado específicamente creado para México, utilizando la tecnología ya conocida o crear una nueva, beneficiara paulatinamente el desarrollo del país.

Generación de ideas fundamentadas en el conocimiento del estudio obtenido.

De los modelos matemáticos para el posicionamiento (capítulo tres).

De 3.1 Generalización de cónicas se tiene que las matemáticas de los sistemas de diferencia de rango aplicadas a cónicas es un sencillo conjunto de ecuaciones simultaneas que resuelve los tres cambios de variable u, v, w ; para después resolver las variables de inicio y encontrar el punto x_c .

De 3.2 determinación de la posición de un robot móvil con ultrasonido, se utilizó la intersección de tres circunferencias donde el despeje de las coordenadas a estimar (x,y) es fundamental y concluyente, dando excelentes resultados.

De 3.3 Sistemas de navegación 3 y 4 ref. a. se tiene que con la utilización de los satélites Geoestacionarios con tres o cuatro referencias, se muestra muy interesante el planteamiento de sus dos ecuaciones de inicio (ecuación de la distancia tridimensional entre dos puntos y la diferencia de distancias con respecto a una dada) y al linealizarlas nos muestran un conjunto de ecuaciones simultaneas ($n=4$) con soluciones iniciales y se debe utilizar otro método adicional para encontrar finalmente los resultados esperados; para $n=3$ el número de ecuaciones aumenta de las ecuaciones originales con otra más que tiene que ser exactamente igual, la suma de cuadrados de las coordenadas en tercera dimensión a el cuadrado de la suma del radio del ecuador de la tierra y la altitud del dispositivo a encontrar. La linealización se hace más compleja pero el resultado es mucho más cercano al deseado, con respecto al sistema $n=4$. También requiere otro método de aproximación al punto.

De 3.3 Sistemas de navegación 3 y 4 ref. b. El análisis mejorado para el sistema Geoestacionario, y Geolocalización presentan dos ecuaciones de inicio similares al inciso a) del punto 3.3; pero la linealización de sus ecuaciones difiere bastante, al

resolver las ecuaciones simultaneas propuestas, no llega a un resultado cercano, y la explicación de cómo encontrar el punto es ambiguo.

Para el sistema GPS, se empieza a utilizar cuatro dimensiones, las coordenadas de posiciones tridimensionales y la diferencia de tiempo con respecto a los satélites en movimiento. Para las ecuaciones en la existencia y unicidad de la solución GPS, no explican variable que aparecen y también hay variables incógnitas. En la parte de la solución algebraica de las ecuaciones GPS, tenemos la propuesta de cuatro ecuaciones que calculan la distancia tridimensional entre dos puntos sustrayendo a cada una el producto de la diferencia de tiempo y la velocidad de la luz; proponiendo para resolver estas ecuaciones no lineales un grupo de ecuaciones que utilizan una funcional de Minkowski (Métodos geométricos de Minkowski de proponer normas) para un espacio de cuatro dimensiones. Se logra obtener resultados exactos.

En cuanto a las soluciones de localización- posición por estimaciones de series de Taylor, se requirió tomar referencias de que hace y como funciona para después ver como realizan la aplicación a sistemas de navegación y finalmente extraer solamente lo que únicamente se utiliza para medidas de rango. El resultado encontrado para dos dimensiones con coordenadas cercanas a la solución converge en la segunda iteración, mientras que para un sistema de cuatro dimensiones con coordenadas cercanas al resultado no converge.

¿Que alternativas se proponen?

Como alternativas se tienen dos métodos factibles, intersección de tres circunferencias e intersección de cuatro esferas.

Es requerido un dispositivo capaz de realizar ambos cálculos, que permita recibir y transmitir señales no solo del sistema GPS.

Es posible implementar un programa que funcione en cualquier computadora (ejemplos: 8088,80286,80386,486, pentium, pentium II, portatiles).

Es necesaria una interface de la computadora hacia una antena tx/rx
La antena debe poder recibir señales de satélites GPS, Mexicanos y otras referencias terrestres.

Para puntos de referencia terrestre es posible realizar la triangulación con circunferencias.

Con GPS(satélites) la localización puede fallar, por falta de cobertura(ejemplo: zona boscosa).

Es posible en emergencias utilizar helicópteros o globos aerostáticos como referencias con un sistema de Estima.

En lugares de difícil visibilidad de satélites es posible utilizar el sistema de poste de señal.

Pero, ¿ Que infraestructura necesita?

Con respecto a los recursos e infraestructura, en México se cuenta con tres satélites Geoestacionarios de los cuales uno opera la banda L, para la transmisión de comunicaciones móviles.

Restricciones: No hay presupuesto para financiar un sistema de navegación satelital (hacer, lanzar y mantener satélites) solo para México.

Se necesita seleccionar puntos terrestres estratégicos para colocar referencias en tierra.

¿Y el costo de los puntos estratégicos? Es el mismo que para ubicar antenas parabólicas de RF.

¿Quiénes podrán financiar un proyecto así?

Ya existen lugares de México que están adquiriendo dispositivos variados para ubicar sistemas inteligentes de Transporte. Si hay presupuesto por parte de la iniciativa privada para participar en algo que los beneficie, y el gobierno de la ciudad ya esta gastando en ofrecer seguridad a los mexicanos.

Entonces, ¿Cuál sería la mejor solución para nuestro país?

La mejor solución seria realizar un sistema integral que utilice estos dos métodos(dos y cuatro dimensiones) de encontrar la posición, mediante referencias en tierra, satélites y vehículos aéreos estáticos o en movimiento.

El costo de diseño del aparato dependería de que empresa pueda industrializar el prototipo. Requiere microelectrónica y microcontroladores para que el prototipo sea del mismo tamaño que el receptor GPS comercial.

O el precio sería pequeño si solo lo que se comercializa es el software para cualquier computadora, los concesionarios del transporte adquirirían una laptop (20 mil pesos), interfase y antena microcinta (mil pesos); y cualquier persona lo tendría a su alcance.

¿Cómo podría superarse el problema?

Realizar el diseño de prototipo (software y hardware, o solo software) y proponer una forma de utilización del nuevo sistema. Llevarlo a cabo como programa piloto en algún lugar, que el presupuesto y leyes permitan.

Recomendaciones

Sería recomendable realizar primero el software únicamente y probar alguna técnica que emplee el sistema más barato requerido; para que después sea presentado para su industrialización, si es requerido.

¿Será posible proponer una forma o técnica de utilizar el prototipo de aparato?

El enfoque de solución (general) que se va a presentar, esta orientado solamente para detectar y por supuesto dar la posición de los vehículos (pero no por el tipo de vehiculo "trailers", ni por el tipo de servicio que presta "policia", ni para algún grupo determinado de personas "Concesionario de flotillas"), donde se requiere SUPERVISION, ya sea del estado "SCT", o de algún gobierno "D.F."

Con las siguientes actividades a determinar.

- 1) Designar área a controlar.
- 2) Separar en segmentos la zona. A: con visibilidad a satélites, B: nula visibilidad con satélites, C: privilegiadas, D: peligrosas.
- 3) Segmento A. Utiliza sistema de onda base. No requiere implementación con otros sistemas (poste de señal ni dead reckoning)
- 4) Segmento B. Requiere implantar un sistema de postes de señal.
- 5) Segmento C. Se requiere sistema de onda base y poste de señal (Es posible incluir sistema de estima)
- 6) Segmento D. Es requerido un sistema de onda base y sistemas de estima en helicópteros (el sistema de poste de señal puede ser destruido, exceptuando de la distancia a la que se encuentre).
- 7) Seleccionar lugares estratégicos en el segmento necesario para ubicar las referencias de un sistema de poste de señal.
- 8) Preparar ubicaciones urgentes y necesarias para colocar parabólica que funcione como reflector a distancia de 30 metros de altura.
- 9) Acondicionar helicópteros con el sistema dead reckoning(sistemas de estima)

¿Que se obtiene de este proceso?

Se obtiene con esto un proceso de diseño de control vehicular por zona, o lo que es lo mismo se obtiene un diseño de un sistema para controlar por zona el flujo vehicular.

Presentando el problema en forma Inductiva.

Primero se requiere realizar un sistema que acepte datos de entrada: Cuatro datos de satélites GPS y un satelite Mexicano, tres referencias terrestres y tres referencias aéreas con movimiento. El sistema debe ser capaz de descartar o unir información para encontrar la posición verdadera del móvil.

Posibilidades de Tipos de Datos de entrada:

- 1) 5 datos de entrada (Microondas banda L)
dato1 (x1,y1,z1)

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

dato2 (x2,y2,z2)

dato3 (x3,y3,z3)

dato4 (x4,y4,z4)

dato5 b

2) 4 datos de entrada (Microondas banda L)

dato1 (x1,y1,z1)

dato2 (x2,y2,z2)

dato3 (x3,y3,z3)

dato4 (x4,y4,z4)

3) 3 datos de entrada (RF FM)

dato1 (x1,y1)

dato2 (x2,y2)

dato3 (x3,y3)

4) 1 dato de entrada (RF FM) Poste de señal

d1 (x,y)

5) 2 datos de entrada Estima

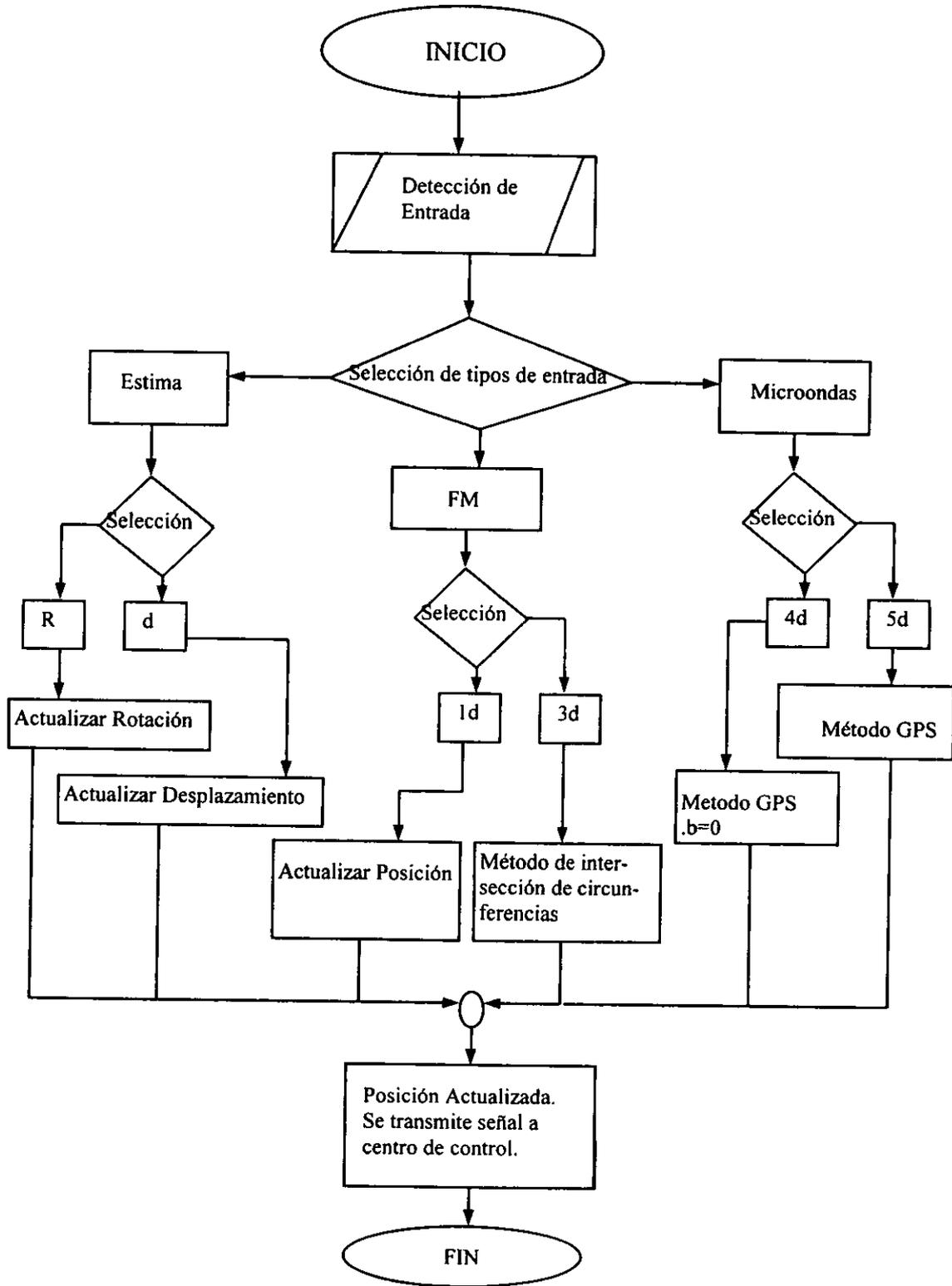
d1 (dx,dy)

d2 (Rx,Ry)

Es posible separar en tres tipos de datos de entrada (Microondas, FM y Estima)

Después se requiere probar el sistema para cada dispositivo, verificar cada uno por partes.

Debe funcionar bien cada parte para después verificar todo el sistema completo.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Para proponer el diseño del sistema dado, se requirió conocer como opera un receptor en la parte de calcular la posición dado una, dos, tres, cuatro referencias; forma de analizar el problema mediante intersección de líneas, cónicas, planos y esferas. Tipos de formas de obtener la posición con sistemas de poste de señal, por estima y por sistemas basados en ondas, del tipos de frecuencia, distancia al punto desconocido, verificar si las referencias tienen movimiento o no, si el punto desconocido se esta moviendo o no. Se conoció CAPUFE y su autopista prototipo; BANDA L (satmex) del nuevo satélite que fue lanzado; se conoció un laboratorio de Ingeniería Eléctrica área computación (FI UNAM) donde se trabaja con un robot que tiene incorporado varias bocinas que funcionan como un sonar; Se realizó una práctica con dos bocinas y elementos pasivos y activos, para observar como es posible conocer la distancia entre ellas. Se realizo búsquedas bibliográficas de "triangulación y GPS". Se hicieron pruebas de funcionamiento de los métodos de posicionamiento en Matcad y Matlab.

Se hizo una recomendación proponiendo el diseño de un sistema de "control de flujo vehicular por zona" Dado el tipo de segmento, con datos de posibles entradas.

En la unión europea proponen un receptor que obtenga información del sistema GPS y GLONASS, a esto le llaman EGNOS(European Geostationary Navigation Overlay Service), o GNSS(global navigation satellite system) en la aviación. Al sistema sugerido es posible incrementarle entradas para el GLONASS. El diseño de sistema propuesto puede incrementar el precio con respecto a los nuevos receptores GPS/GLONASS.

El problema originalmente era que existen deficiencias para iniciar operaciones de control de tráfico vehicular, en el país. Esto es porque se requiere un control duplex de la señal, no-solo de un canal, es necesario tener un dispositivo capaz de recibir y transmitir; con la propuesta que se plantea, no nada mas puede recibir información de varias fuentes, sino que además manda la señal al controlador de tráfico dado.

La solución propuesta se debe adaptar a calcular la posición, de un vehículo terrestre, aéreo o marítimo, aquí la diferencia seria las antenas de transmisión y recepción. Para el área de computación se recomienda un sistema integral que incrementará la exactitud en el calculo de posición, dado referencias en movimiento que no se encuentren a grandes ni a cortas distancias, mediante RF(FM). También se sugiere para un sistema de seguridad integral en Industrias, para control policiaco mediante helicópteros como referencias móviles.

Se cumplió el objetivo y con la investigación efectuada se proponen recomendaciones para la toma de decisiones en la selección de métodos y tipos de sistemas para la realización de un sistema de posicionamiento geográfico en México.

APENDICES



Conicas dos dimensiones

matlab

$$x1 = 3 \quad x2 = 11 \quad x3 = 28$$

$$y1 = 15 \quad y2 = 29 \quad y3 = 24$$

$$a = 23.0870$$

$$A =$$

$$\begin{array}{ccc} 9 & 3 & 1 \\ 121 & 11 & 1 \\ 784 & 28 & 1 \end{array}$$

$$b =$$

$$-225$$

$$-841$$

$$-576$$

$$x =$$

$$3.7035$$

$$-128.8494$$

$$128.2165$$

$$u = 3.7035 \quad v = -128.8494 \quad w = 128.2165$$

$$b = 0.5964$$

$$xc = 17.3955$$

Conicas para 3 dimensiones

$$x1 = -5.4673e+006 \quad y1 = -2.3774e+006$$

$$x2 = -5.4656e+006 \quad y2 = -2.3797e+006$$

$$x3 = -5.4704e+006 \quad y3 = -2.3910e+006$$

$$a = 2.8843e+004$$

$$A =$$

$$\begin{array}{ccc} 1.0e+013 * & & \\ 2.9892 & -0.0000 & 0.0000 \\ 2.9873 & -0.0000 & 0.0000 \\ 2.9925 & -0.0000 & 0.0000 \end{array}$$

$$b =$$

$$1.0e+012 *$$

$$-5.6519$$

$$-5.6630$$

$$-5.7169$$

$$x =$$

$$1.0e+017 *$$

$$-0.0000$$

$$-0.0000$$

$$-1.7255$$

$$u = -5.7731e+003 \quad v = -6.3123e+010 \quad w = -1.7255e+017$$

$$b = 53.7269$$

$$xc = -5.4670e+006$$

$$ans = 2.8843e+004$$

Determinación de la posición de un robot móvil con ultrasonido

$$\begin{array}{lll}
 x_1 = 3 & y_1 = 15 & z_1 = 0 \\
 x_2 = 11 & y_2 = 29 & z_2 = 0 \\
 x_3 = 28 & y_3 = 24 & z_3 = 0 \\
 d_1 = 17 & d_2 = 23.087 & d_3 = 19.723 \\
 x_5 = 0 & y_5 = 0 &
 \end{array}$$

$$i = 1..3$$

$$a_i = d_1 - d_i$$

$$a_i$$

0
-6.087
-2.723

$$[x_5 - x_1]^2 + [y_5 - y_1]^2 + [a_1]^2 = 234 \quad [d_1]^2 = 289 \quad \text{deben ser iguales}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones propuesto:

$$a = [x_2 - x_1] \cdot \left[[d_2]^2 - [d_3]^2 - [x_2]^2 + [x_3]^2 - [y_2]^2 + [y_3]^2 \right]$$

$$a = 4.336 \cdot 10^3$$

$$b = [x_3 - x_2] \cdot \left[[d_1]^2 - [d_2]^2 - [x_1]^2 + [x_2]^2 - [y_1]^2 + [y_2]^2 \right]$$

$$b = 8.228 \cdot 10^3$$

$$c = 2 \cdot [x_2 - x_1] \cdot [y_3 - y_2] - 2 \cdot [x_3 - x_2] \cdot [y_2 - y_1]$$

$$c = -556$$

Por lo tanto la solución para estimar y :

$$y_5 = \frac{(a \cdot b)}{c}$$

Debe dar: 7

$$y_5 = 7$$

$$x_5 = \frac{[d_1]^2 - [d_2]^2 - [x_1]^2 + [x_2]^2 - 2 \cdot y_5 \cdot [y_2 - y_1] - [y_1]^2 + [y_2]^2}{x_2 - x_1}$$

Debe dar: 18

$$x_5 = 36$$

Determinación de la posición de un robot móvil con ultrasonido

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 5467341.040 & y_1 &= 2377371.660 & z_1 &= 2259250.933 \\
 x_2 &= 5465598.712 & y_2 &= 2379714.818 & z_2 &= 2260732.368 & R &= 6378000 \\
 x_3 &= 5470395.583 & y_3 &= 2391012.890 & z_3 &= 2239126.835 & h &= 40 \\
 x_4 &= 5464410.508 & y_4 &= 2395296.286 & z_4 &= 2242502.619 \\
 d_1 &= 28842.984 & d_2 &= 27068.904 & d_3 &= 17891.241 & d_4 &= 8745.351
 \end{aligned}$$

$$i = 1..3 \quad x_5 = 0 \quad y_5 = 0$$

$$a_i = d_1 - d_i$$

a_i

0
$1.774 \cdot 10^3$
$1.095 \cdot 10^4$

$$[x_5 - x_1]^2 + [y_5 - y_1]^2 + [a_1]^2 = 3.554 \cdot 10^{13} [d_1]^2 = 8.319 \cdot 10^8$$

deben ser iguales

Resolviendo el sistema de ecuaciones propuesto:

$$\begin{aligned}
 a &= [x_2 - x_1] \cdot [d_2]^2 - [d_3]^2 - [x_2]^2 + [x_3]^2 \cdot [y_2]^2 + [y_3]^2 \\
 & \qquad \qquad \qquad a = 1.86 \cdot 10^{14}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= [x_3 - x_2] \cdot [d_1]^2 - [d_2]^2 - [x_1]^2 + [x_2]^2 - [y_1]^2 + [y_2]^2 \\
 & \qquad \qquad \qquad b = 3.743 \cdot 10^{13}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= 2 \cdot [x_2 - x_1] \cdot [y_3 - y_2] - 2 \cdot [x_3 - x_2] \cdot [y_2 - y_1] \\
 & \qquad \qquad \qquad c = -6.185 \cdot 10^7
 \end{aligned}$$

Por lo tanto la solución para estimar y_5 :

$$y_5 = \frac{(a - b)}{c}$$

Debe dar: -2403802.00

$$y_5 = -2.403 \cdot 10^6$$

$$x_5 = \frac{[d_1]^2 - [d_2]^2 - [x_1]^2 + [x_2]^2 - 2 \cdot y_5 \cdot [y_2 - y_1] - [y_1]^2 + [y_2]^2}{x_2 - x_1}$$

Debe dar: -5462451.00

$$x_5 = -1.094 \cdot 10^7$$

$$x_5 = \frac{x_5}{2}$$

$$x_5 = -5.47 \cdot 10^6$$

Sistema de Navegación Satelital Geoestacionario

Para un sistema de cuatro satélites: $n=4$

Incógnitas x, y, z . $x = 0$ $y = 0$ $z = 0$

R = 0

Suponemos estos datos.

$x_1 = 3$	$y_1 = 15$	$z_1 = 7$
$x_2 = 11$	$y_2 = 29$	$z_2 = 13$
$x_3 = 28$	$y_3 = 24$	$z_3 = 25$
$x_4 = 34$	$y_4 = 15$	$z_4 = 27$

Distancias como Datos ofrecidos en medición.

$d_1 = 17.464$ $d_2 = 25.159$ $d_3 = 29.546$ $d_4 = 29.933$

$a_1 = d_1 - d_1 = 0$ $a_2 = d_1 - d_2 = -7.695$ $a_3 = d_1 - d_3 = -12.082$ $a_4 = d_1 - d_4 = -12.469$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ d_1 \end{bmatrix} = \frac{-1}{2} \cdot \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & -a_2 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & -a_3 \\ x_4 - x_1 & y_4 - y_1 & -a_4 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} a_2^2 \\ a_3^2 \\ a_4^2 \end{bmatrix}$$

$x = -4.472$ $y = -2.243$ $d_1 = 4.883$

$$z_1 = \sqrt{(d_1 - a_1)^2 - (x - x_1)^2 - (y - y_1)^2}$$

$z_1 = 18.147i$

Sistema de Navegación Satelital Geoestacionario

Para un sistema de cuatro satélites: $n=4$

Incógnitas x, y, z . $x = 0$ $y = 0$ $z = 0$

Suponemos estos datos.

$$R = 6378000$$

$$x_1 = 5467341.040 \quad y_1 = 2377371.660 \quad z_1 = 2259250.933$$

$$x_2 = 5465598.712 \quad y_2 = -2379714.818 \quad z_2 = 2260732.368$$

$$x_3 = 5470395.583 \quad y_3 = -2391012.890 \quad z_3 = 2239126.835$$

$$x_4 = 5464410.508 \quad y_4 = -2395296.286 \quad z_4 = 2242502.619$$

Distancias como Datos ofrecidos en medición.

$$d_1 = 28842.984 \quad d_2 = 27068.904 \quad d_3 = 17891.241 \quad d_4 = 8745.351$$

$$a_1 = d_1 - R \quad a_2 = d_1 - d_2 \quad a_3 = d_1 - d_3 \quad a_4 = d_1 - d_4$$

$$a_1 = 0 \quad a_2 = 1.774 \cdot 10^3 \quad a_3 = 1.095 \cdot 10^4 \quad a_4 = 2.01 \cdot 10^4$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ d_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & -a_2 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & -a_3 \\ x_4 - x_1 & y_4 - y_1 & -a_4 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} a_2^2 \\ a_3^2 \\ a_4^2 \end{bmatrix}$$

$$x = 2.676 \cdot 10^3 \quad y = -1.614 \cdot 10^4 \quad d_1 = 2.484 \cdot 10^4$$

$$z = \sqrt{(d_1 - a_1)^2 - (x - x_1)^2 - (y - y_1)^2}$$

$$z = 5.958 \cdot 10^6 \text{ i}$$

$$x = 2.676 \cdot 10^3$$

$$y = -1.614 \cdot 10^4$$

$$z = 5.958 \cdot 10^6 \text{ i}$$

Debe dar de resultado

$$x = -5462451.00$$

$$y = -2403802.00$$

$$z = 2248791.000$$

Pruebas de sistema con tres satelites.

x_0	0	y_0	0	z_0	0	h	19.4	R	0
x_1	3	y_1	15	z_1	0				
x_2	11	y_2	29	z_2	0				
x_3	28	y_3	24	z_3	0				
d_1	17	d_2	23.087	d_3	19.723				

$i = 1..3$
 $a_i = d_1 - d_i$ $dif_i = d_1 - a_i$

a_i	dif_i
0	17
6.087	23.087
2.723	19.723

$$\alpha_1 = \frac{x_2 - x_1}{a_2} \quad \alpha_2 = \frac{x_3 - x_1}{a_3} \quad \beta_1 = \frac{y_2 - y_1}{a_2} \quad \beta_2 = \frac{y_3 - y_1}{a_3}$$

$\alpha_1 = -1.314$ $\alpha_2 = -9.181$ $\beta_1 = -2.3$ $\beta_2 = -3.305$

$$\gamma_2 = \frac{[x_1]^2 + [y_1]^2 - [x_3]^2 - [y_3]^2 + [a_3]^2}{2 \cdot a_3} \quad \gamma_1 = \frac{[x_1]^2 + [y_1]^2 - [x_2]^2 - [y_2]^2 + [a_2]^2}{2 \cdot a_2}$$

$\gamma_2 = 205.396$

$\gamma_1 = 56.756$

$$\mu_1 = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)}{(\beta_2 - \beta_1)} \quad \mu_2 = \frac{(\gamma_1 - \gamma_2)}{(\beta_2 - \beta_1)}$$

$\mu_1 = -7.826$ $\mu_2 = 147.872$

$$\mu_3 = \frac{((\alpha_1 \cdot \beta_2) - (\alpha_2 \cdot \beta_1))}{(\beta_2 - \beta_1)} \quad \mu_4 = \frac{((\gamma_1 \cdot \beta_2) - (\gamma_2 \cdot \beta_1))}{(\beta_2 - \beta_1)}$$

$\mu_3 = 16.686$ $\mu_4 = -283.346$

$$a = \mu_3^2 \quad b = 2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4 + 2 \cdot y_1 \cdot \mu_1 + 2 \cdot x_1 \quad c = \mu_4^2 + 2 \cdot y_1 \cdot \mu_2 - [x_1]^2 - [y_1]^2 - (R+h)^2$$

$a = 278.412$ $b = -9.684 \cdot 10^3$ $c = 8.411 \cdot 10^4$

$discrim = b^2 - 4 \cdot a \cdot c$

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{discrim}}{2 \cdot a}$$

debe dar $x=18$

$x_1 = 18.01$

$$a \cdot x_1^2 + b \cdot x_1 + c = 0$$

$x = x_1$

$$x_2 = \frac{-b - \sqrt{discrim}}{2 \cdot a}$$

$x_2 = 16.774$

$$a \cdot x_2^2 + b \cdot x_2 + c = 0$$

Se escoge x_1 , $R=0$, R =radio de la tierra. pero aquí $z=0$.

$y_1 = \mu_1 \cdot x_2 + \mu_2$

$y_2 = \mu_1 \cdot x_1 + \mu_2$

$y_1 = 16.593$
 $y = y_1$

Debe dar $y=7$, se escoge y_2

$y_2 = 6.922$

Para este caso no cuenta Z.

$$z = \sqrt{d_1^2 - x^2 - y^2 + 2 \cdot x_1 \cdot x + 2 \cdot y_1 \cdot y} \quad x^2 - y^2$$

$z = 17$

$$\begin{array}{lll}
 x_1 & 5465.598712 \cdot 10^3 & y_1 & 2379.714818 \cdot 10^3 & z_1 & 2260.732368 \cdot 10^3 & R & 6378000 \\
 x_2 & 5470.395583 \cdot 10^3 & y_2 & -2391.012890 \cdot 10^3 & z_2 & 2239.126835 \cdot 10^3 & h & 20 \\
 x_3 & 5466.115285 \cdot 10^3 & y_3 & -2403.901300 \cdot 10^3 & z_3 & 2242.502619 \cdot 10^3 & &
 \end{array}$$

Distancias como Datos ofrecidos en medición.

$$\begin{array}{l}
 i \quad 1 \dots 3 \quad d_1 = 27.068899 \cdot 10^3 \quad d_2 = 17.891239 \cdot 10^3 \quad d_3 = 7.278925 \cdot 10^3 \\
 a_i \quad d_1 \quad d_i
 \end{array}$$

a_i
0
$9.178 \cdot 10^3$
$1.979 \cdot 10^4$

$$\begin{array}{llll}
 \alpha_1 = \frac{x_2 - x_1}{a_2} & \alpha_2 = \frac{x_3 - x_1}{a_3} & \beta_1 = \frac{y_2 - y_1}{a_2} & \beta_2 = \frac{y_3 - y_1}{a_3} \\
 \alpha_1 = -0.523 & \alpha_2 = -0.026 & \beta_1 = -1.231 & \beta_2 = -1.222
 \end{array}$$

$$\gamma_2 = \frac{[(x_1)^2 + (y_1)^2 - (x_3)^2 - (y_3)^2 + (a_3)^2]}{[2 \cdot a_3]} \quad \gamma_1 = \frac{[(x_1)^2 + (y_1)^2 - (x_2)^2 - (y_2)^2 + (a_2)^2]}{[2 \cdot a_2]}$$

$$\gamma_2 = -3.056 \cdot 10^6 \quad \gamma_1 = -5.79 \cdot 10^6$$

$$\mu_1 = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)}{(\beta_2 - \beta_1)} \quad \mu_2 = \frac{(\gamma_1 - \gamma_2)}{(\beta_2 - \beta_1)}$$

$$\mu_1 = -55.905 \quad \mu_2 = -3.078 \cdot 10^8$$

$$\mu_3 = \frac{((\alpha_1 \cdot \beta_2) - (\alpha_2 \cdot \beta_1))}{(\beta_2 - \beta_1)} \quad \mu_4 = \frac{((\gamma_1 \cdot \beta_2) - (\gamma_2 \cdot \beta_1))}{(\beta_2 - \beta_1)}$$

$$\mu_3 = 68.299 \quad \mu_4 = 3.731 \cdot 10^8$$

$$a = \mu_3^2 \quad b = 2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4 + 2 \cdot \gamma_1 \cdot \mu_1 + 2 \cdot x_1 \quad c = \mu_4^2 + 2 \cdot \gamma_1 \cdot \mu_2 - [x_1]^2 - [y_1]^2 - (R+h)^2$$

$$a = 4.665 \cdot 10^3 \quad b = 5.122 \cdot 10^{10} \quad c = 1.406 \cdot 10^{17}$$

$$\text{discrim} = b^2 - 4 \cdot a \cdot c$$

$$\begin{array}{lll}
 x_1 = \frac{-b + \sqrt{\text{discrim}}}{2 \cdot a} & \text{debe dar } x = -5462.451 & a \cdot x_1^2 + b \cdot x_1 + c = 0 \\
 & x_1 = -5.447 \cdot 10^6 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 x_2 = \frac{-b - \sqrt{\text{discrim}}}{2 \cdot a} & x_2 = -5.533 \cdot 10^6 & a \cdot x_2^2 + b \cdot x_2 + c = 16 \\
 & & \text{debe dar } y = -2403.802
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 y_2 = \mu_1 \cdot x_2 + \mu_2 & y_2 = 1.551 \cdot 10^6 & y_1 = \mu_1 \cdot x_1 + \mu_2 \\
 & & y_1 = 3.261 \cdot 10^6
 \end{array}$$

$$x = x_1 \quad y = y_1$$

$$\text{debe dar } z = 2248.791662$$

$$z = [d_1]^2 - x^2 - y^2 + 2 \cdot x_1 \cdot x + 2 \cdot y_1 \cdot y - x^2 - y^2$$

$$z = 2.707 \cdot 10^4$$

Solucion y analisis mejorado de Geolocalización por TDOA.

$$\begin{array}{llll}
 x_1 & 5467341.040 & y_1 & 2377371.660 \\
 x_2 & 5465598.712 & y_2 & 2379714.818 \\
 x_3 & 5470395.583 & y_3 & 2391012.890
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 z_1 \quad 2259250.933 \\
 z_2 \quad 2260732.368 \\
 z_3 \quad 2239126.835
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 r_e \quad 6378000 \\
 x = 0 \quad y = 0 \quad z = 0
 \end{array}$$

$$r_1 = 28842.984 \quad r_2 = 27068.904 \quad r_3 = 17891.241$$

$$\begin{aligned}
 k_1 &= x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 & k_1 &= 4.065 \cdot 10^{13} \\
 k_2 &= x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 & k_2 &= 4.065 \cdot 10^{13} \\
 k_3 &= x_3^2 + y_3^2 + z_3^2 & k_3 &= 4.066 \cdot 10^{13}
 \end{aligned}$$

Observando que:

$$r_3 - r_2 + r_2 - r_1 - (r_3 - r_1) = 0$$

$$v = \begin{bmatrix} k_1 + r_e^2 + (r_2 - r_1)^2 + 2 \cdot (r_2 - r_1) \cdot r_2 - r_2^2 \\ k_2 + r_e^2 - r_2^2 \\ k_3 + r_e^2 - (r_3 - r_2)^2 + 2 \cdot (r_3 - r_2) \cdot r_2 - r_2^2 \end{bmatrix}$$

$$v = \begin{bmatrix} 8.133 \cdot 10^{13} \\ 8.132 \cdot 10^{13} \\ 8.133 \cdot 10^{13} \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} -5.467 \cdot 10^6 & -2.377 \cdot 10^6 & 2.259 \cdot 10^6 \\ -5.466 \cdot 10^6 & -2.38 \cdot 10^6 & 2.261 \cdot 10^6 \\ -5.47 \cdot 10^6 & -2.391 \cdot 10^6 & 2.239 \cdot 10^6 \end{bmatrix}$$

$$W^{-1} = \begin{bmatrix} -1.507 \cdot 10^{-4} & 1.54 \cdot 10^{-4} & -3.469 \cdot 10^{-6} \\ 2.524 \cdot 10^{-4} & -2.289 \cdot 10^{-4} & -2.356 \cdot 10^{-5} \\ -9.855 \cdot 10^{-5} & 1.318 \cdot 10^{-4} & -3.319 \cdot 10^{-5} \end{bmatrix}$$

$$e = W^{-1} \cdot v \cdot 5$$

$$e = \begin{bmatrix} -5.463 \cdot 10^7 \\ -2.403 \cdot 10^7 \\ 2.249 \cdot 10^7 \end{bmatrix}$$

An algebraic Solution of the GPS Equations. EJEMPLO

$$s1 = -4 \quad s2 = 4$$

$$b = 0$$

$$t1 = 4 \quad t2 = 2$$

definiciones...

$$a1 =$$

$$-4$$

$$4$$

$$a2 =$$

$$4$$

$$2$$

$$A =$$

$$-4 \quad 4$$

$$4 \quad 2$$

$$i0 =$$

$$1$$

$$1$$

Funcional minkowski para un espacio

$$r1 = 0 \quad r2 = 6$$

$$r =$$

$$0$$

$$6$$

Calculando la inversa generalizada...

$$w =$$

$$-0.0833 \quad 0.1667$$

$$0.1667 \quad 0.1667$$

$$B =$$

$$-0.0833 \quad 0.1667$$

$$0.1667 \quad 0.1667$$

$$u =$$

$$0.0833$$

$$0.3333$$

$$v =$$

$$1$$

$$1$$

junto con los coeficientes escalares...

$$E = -0.1042 \quad F = -1.2500 \quad G = 0$$

$$2 * F = -2.5000$$

Resolviendo la cuadratica: $Ei^2 + 2Fi + G = 0$

$$\text{raiz1} = -24 \quad \text{raiz2} = 0$$

$$y1 =$$

$$-1.0000$$

```
-7.0000
y2 =
     1
     1
```

Par de soluciones x1, b1, y x2, b2 para el problema GPS dando la posición del usuario y el desplazamiento del reloj:

```
yt1 =
```

```
-1.0000
-7.0000
```

```
sol1 =
```

```
-1.0000 -7.0000
```

```
yt2 =
```

```
     1
     1
```

```
sol2 =
```

```
     1     1
```

```
»
```

```
»
```

**An algebraic Solution of the GPS Equations.
Matlab**

```
s1 =
```

```
     3
    15
     7
```

```
s2 =
```

```
    11
    29
    13
```

```
s3 =
```

```
    28
    24
    25
```

```
s4 =
```

```
    34
    15
```

27

$$b = 0$$

$$t1 = 17 \quad t2 = 23.0870 \quad t3 = 19.7230 \quad t4 = 17.8890$$

definiciones...

$$a1 =$$

3

15

7

17

$$a2 =$$

11.0000

29.0000

13.0000

23.0870

$$a3 =$$

28.0000

24.0000

25.0000

19.7230

$$a4 =$$

34.0000

15.0000

27.0000

17.8890

$$A =$$

3.0000 15.0000 7.0000 17.0000

11.0000 29.0000 13.0000 23.0870

28.0000 24.0000 25.0000 19.7230

34.0000 15.0000 27.0000 17.8890

$$i0 =$$

1

1

1

1

Funcional minkowski para un espacio 4

$$r1 = -3 \quad r2 = 298.9952 \quad r3 = 798.0016 \quad r4 = 894.9918$$

$$r =$$

-3.0000

298.9952

798.0016

894.9918

Calculando la inversa generalizada...

w =
-0.2244 0.2601 -0.3137 0.2234
-0.0967 0.0714 0.0514 -0.0569
0.2951 -0.4058 0.4948 -0.3023
0.0623 0.0582 -0.1938 0.1353

B =
-0.2244 0.2601 -0.3137 0.2234
-0.0967 0.0714 0.0514 -0.0569
0.2951 -0.4058 0.4948 -0.3023
0.0623 0.0582 -0.1938 0.1353

u =
-0.0546
-0.0308
0.0818
0.0620

v =
28.0543
11.7374
2.1429
-16.3662

junto con los coeficientes escalares...

E = 0.0068 F = -1.7037 G = 661.5536

Resolviendo la cuadratica: $Ey^2 + 2Fy + G = 0$

$2 * F = -3.4075$

raiz1 = $2.5091e+002 + 1.8566e+002i$ raiz2 = $2.5091e+002 - 1.8566e+002i$

y1 =
14.3593 -10.1338i
4.0035 - 5.7228i
22.6791 +15.1961i
-0.8221 +11.5020i

y2 =
14.3593 +10.1338i
4.0035 + 5.7228i
22.6791 -15.1961i
-0.8221 -11.5020i

**Par de soluciones x1, b1, y x2, b2 para el problema GPS
dando la posición del usuario y el desplazamiento del reloj:**

yt1 =
14.3593 -10.1338i
4.0035 - 5.7228i
22.6791 +15.1961i
-0.8221 +11.5020i

sol1 =
14.3593 +10.1338i 4.0035 + 5.7228i 22.6791 -15.1961i -0.8221 -11.5020i

yt2 =
14.3593 +10.1338i
4.0035 + 5.7228i
22.6791 -15.1961i
-0.8221 -11.5020i

sol2 =
14.3593 -10.1338i 4.0035 - 5.7228i 22.6791 +15.1961i -0.8221 +11.5020i
»

An algebraic Solution of the GPS Equations. con el ejemplo de medidas de 3a. dimension

s1' = 1.0e+006 * -5.4673 -2.3774 2.2593
s2' = 1.0e+006 * -5.4656 -2.3797 2.2607
s3' = 1.0e+006 * -5.4704 -2.3910 2.2391
s4' = 1.0e+006 * -5.4644 -2.3953 2.2493

b = 0
t1 = 2.8843e+004
t2 = 2.7069e+004
t3 = 1.7891e+004
t4 = 8.7454e+003

definiciones...
a1' = 1.0e+006 * -5.4673 -2.3774 2.2593 0.0288
a2' = 1.0e+006 * -5.4656 -2.3797 2.2607 0.0271
a3' = 1.0e+006 * -5.4704 -2.3910 2.2391 0.0179
a4' = 1.0e+006 * -5.4644 -2.3953 2.2493 0.0087

A = 1.0e+006 *
-5.4673 -2.3774 2.2593 0.0288
-5.4656 -2.3797 2.2607 0.0271
-5.4704 -2.3910 2.2391 0.0179
-5.4644 -2.3953 2.2493 0.0087

i0 = (1 1 1 1)'
Funcional minkowski para un espacio 4
r1 = 2.0324e+013
r2 = 2.0323e+013
r3 = 2.0328e+013
r4 = 2.0328e+013
r = 1.0e+013 *
2.0324
2.0323

2.0328

2.0328

Calculando la inversa generalizada...

w = 1.0e-003 *

-0.2655	0.2788	0.0250	-0.0384
0.5708	-0.5748	-0.1026	0.1066
-0.0354	0.0632	-0.0489	0.0211
-0.4805	0.5221	0.1193	-0.1608

B = 1.0e-003 *

-0.2655	0.2788	0.0250	-0.0384
0.5708	-0.5748	-0.1026	0.1066
-0.0354	0.0632	-0.0489	0.0211
-0.4805	0.5221	0.1193	-0.1608

u = 1.0e-006 *

-0.1287
-0.0687
0.0588
0.0135

v = 1.0e+006 *

-2.8460
-1.0058
1.0536
-0.2749

junto con los coeficientes escalares...

E = 2.4549e-014

F = -0.4991

G = 1.0146e+013

Resolviendo la cuadrática: $EI^2 + 2FI + G = 0$

F = -0.9981

I1 = 2.0337e+013

I2 = 2.0322e+013

y1 = 1.0e+006 *

-5.4625
-2.4038
2.2488
0.0000

y2 = 1.0e+006 *

-5.4605
-2.4028
2.2479
-0.0002

Par de soluciones x1, b1, y x2, b2 para el problema GPS
dando la posición del usuario y el desplazamiento del reloj:

yt1 = 1.0e+006 *

```
-5.4625
-2.4038
 2.2488
 0.0000
sol1 = 1.0e+006 * -5.4625 -2.4038  2.2488  0.0000
yt2 = 1.0e+006 *
-5.4605
-2.4028
 2.2479
-0.0002
sol2 = 1.0e+006 * -5.4605 -2.4028  2.2479 -0.0002
```

ESTIMACION EN SERIES DE TAYLOR DOS DIMENSIONES

$$x_1 = 3 \quad x_2 = 11 \quad y_1 = 15 \quad y_2 = 29 \quad p_1 = 17 \quad p_2 = 23.0870$$
$$x_v = 10 \quad y_v = 5$$

$$p_{1v} = 12.2066 \quad p_{2v} = 24.0208$$

$$A = \begin{pmatrix} 0.5735 & -0.8192 \\ -0.0416 & -0.9991 \end{pmatrix}$$

$$z = \begin{pmatrix} 4.7934 & 0.0001 \\ -0.9338 & 0.0001 \end{pmatrix}$$

$$\text{sol} = \begin{pmatrix} 9.1494 & 0.0000 \\ 0.5534 & -0.0001 \end{pmatrix}$$

$$dx = 9.1494$$
$$dy = 0.5534$$

$$x_v = 19.1494$$
$$y_v = 5.5534$$

ITERACION 1

$$dx = -1.1367$$
$$dy = 1.4422$$

$$x_v = 18.0127$$
$$y_v = 6.9956$$

ITERACION 2

$$dx = -0.0128$$
$$dy = 0.0041$$

$$x_v = 17.9999$$
$$y_v = 6.9997$$

ITERACION 3

$$dx = 1.5212e-006$$
$$dy = 3.2137e-006$$

$$x_v = 17.9999$$
$$y_v = 6.9997$$

ITERACION 3

$$dx = -4.1812e-013$$
$$dy = 1.1814e-015$$

$$x_v = 17.9999$$

$$y_v = 6.9997$$

ITERACION 4

$$\begin{aligned} dx &= 0 \\ dy &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} xv &= 17.9999 \\ yv &= 6.9997 \end{aligned}$$

ESTIMACION EN SERIES DE TAYLOR (4 referencias) Método de interpolación Gauss-Newton

Matlab

$$\begin{aligned} x_1 &= 3 & x_2 &= 11 & x_3 &= 28 & x_4 &= 34 \\ y_1 &= 15 & y_2 &= 29 & y_3 &= 24 & y_4 &= 15 \\ z_1 &= 7 & z_2 &= 13 & z_3 &= 25 & z_4 &= 27 \\ p_1 &= 17 & p_2 &= 25.1590 & p_3 &= 29.5460 & p_4 &= 29.9330 \\ & & & & & & xv &= 10 & yv &= 5 & zv &= 1 \end{aligned}$$

$$p_{1v} = 13.6015 \quad p_{2v} = 26.8514 \quad p_{3v} = 35.5106 \quad p_{4v} = 36.7696$$

$$\begin{aligned} A &= \\ &0.5147 & -0.7352 & -0.4411 \\ &-0.0372 & -0.8938 & -0.2235 \\ &-0.5069 & -0.5351 & -0.1690 \\ &-0.6527 & -0.2720 & -0.7071 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \\ &3.3985 & 0.0001 \\ &-1.6924 & 0.0001 \\ &-5.9646 & 0.0001 \\ &-6.8366 & 0.0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} sol &= \\ &9.4909 & -0.0000 \\ &1.6413 & -0.0001 \\ &0.3612 & -0.0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= 9.4909 & dy &= 1.6413 & dz &= 0.3612 \\ & & & & xv &= 19.4909 & yv &= 6.6413 & zv &= 2.6413 \end{aligned}$$

ITERACIÓN 1

$$\begin{aligned} dx &= -1.8043 & dy &= 0.4717 & dz &= 0.4928 \\ & & & & xv &= 17.6867 & yv &= 7.1130 & zv &= 3.1130 \end{aligned}$$

ITERACIÓN 2

$$\begin{aligned} dx &= -0.1250 & dy &= -0.2331 & dz &= 0.2443 \\ & & & & xv &= 17.5616 & yv &= 6.8799 & zv &= 2.8799 \end{aligned}$$

ITERACIÓN 3

dx = 0.0842 dy = 0.1460 dz = 0.3807
xv = 17.6458 yv = 7.0258 zv = 3.0258

ITERACIÓN 4

dx = -0.0534 dy = -0.0911 dz = 0.2959
xv = 17.5923 yv = 6.9347 zv = 2.9347

ITERACIÓN 5

dx = 0.0331 dy = 0.0570 dz = 0.3491
xv = 17.6254 yv = 6.9917 zv = 2.9917

ITERACIÓN 6

dx = -0.0208 dy = -0.0356 dz = 0.3159
xv = 17.6046 yv = 6.9561 zv = 2.9561

ITERACIÓN 7

dx = 0.0129 dy = 0.0222 dz = 0.3367
xv = 17.6175 yv = 6.9784 zv = 2.9784

ITERACIÓN 8

dx = -0.0081 dy = -0.0139 dz = 0.3237
xv = 17.6094 yv = 6.9645 zv = 2.9645

ITERACIÓN 9

dx = 0.0051 dy = 0.0087 dz = 0.3318
xv = 17.6145 yv = 6.9732 zv = 2.9732

ITERACIÓN 10

dx = -0.0032 dy = -0.0054 dz = 0.3268
xv = 17.6113 yv = 6.9677 zv = 2.9677

ESTIMACION EN SERIES DE TAYLOR (4 REFERENCIAS)

Método de interpolación Gauss-Newton

Matlab

x1 = -5.4673e+006 x2 = -5.4656e+006 x3 = -5.4704e+006 x4 = -5.4644e+006
y1 = -2.3774e+006 y2 = -2.3797e+006 y3 = -2.3910e+006 y4 = -2.3953e+006
z1 = 2.2593e+006 z2 = 2.2607e+006 z3 = 2.2391e+006 z4 = 2.2493e+006
p1 = 2.8843e+004 p2 = 2.7069e+004 p3 = 1.7891e+004 p4 = 8.7454e+003

xv = -5000000 yv = -2000000 zv = 2000000

p1v = 6.5424e+005 p2v = 6.5494e+005 p3v = 6.5677e+005 p4v =
6.5886e+005

A =

0.7143 0.5768 -0.3963
0.7109 0.5798 -0.3958
0.7162 0.5954 -0.3947
0.7049 0.6000 -0.3784

b =

1.0e+005 *
-6.2540 0.0000
-6.2787 0.0000

-6.3888 0.0000
-6.5012 0.0000
sol =
1.0e+005 *
-9.3487 0.0000
-6.0983 -0.0000
-9.9216 0.0000

dx = -9.3487e+005 dy = -6.0983e+005 dz = -9.9216e+005
xv = -5.9349e+006 yv = -2.6098e+006 zv = 1.0078e+006

ITERACION 1

dx = 6.1707e+006 dy = 1.8293e+006 dz = -1.2071e+006
xv = 2.3586e+005 yv = -7.8057e+005 zv = -1.9930e+005

ITERACION 2

dx = -1.1873e+007 dy = -7.5018e+005 dz = -1.1375e+007
xv = -1.1637e+007 yv = -1.5308e+006 zv = -1.1575e+007

ITERACION 3

dx = 7.0588e+007 dy = 1.3948e+007 dz = -1.4023e+007
xv = 5.8951e+007 yv = 1.2417e+007 zv = -2.5598e+007

ITERACION 4

dx = -1.3642e+008 dy = 2.8165e+005 dz = -1.3070e+008
xv = -7.7465e+007 yv = 1.2699e+007 zv = -1.5630e+008

ITERACION 5

dx = 8.1191e+008 dy = 1.4910e+008 dz = -1.6185e+008
xv = 7.3445e+008 yv = 1.6179e+008 zv = -3.1815e+008

ITERACION 6

dx = -1.5715e+009 dy = 1.9174e+007 dz = -1.5061e+009
xv = -8.3704e+008 yv = 1.8097e+008 zv = -1.8242e+009

ITERACION 7

dx = 9.3573e+009 dy = 1.6976e+009 dz = -1.8664e+009
xv = 8.5202e+009 yv = 1.8786e+009 zv = -3.6906e+009

ESTIMACION EN SERIES DE TAYLOR (4 REFERENCIAS)

Método de interpolación Gauss-Newton

Matlab

x1 = -5.4673e+006 x2 = -5.4656e+006 x3 = -5.4704e+006 x4 = -5.4644e+006
y1 = -2.3774e+006 y2 = -2.3797e+006 y3 = -2.3910e+006 y4 = -2.3953e+006
z1 = 2.2593e+006 z2 = 2.2607e+006 z3 = 2.2391e+006 z4 = 2.2493e+006
p1 = 2.8843e+004 p2 = 2.7069e+004 p3 = 1.7891e+004 p4 = 8.7454e+003

xv = -5000000 yv = -2000000

p1v = 6.5424e+005 p2v = 6.5494e+005 p3v = 6.5677e+005 p4v = 6.5886e+005
A =

0.7143 0.5768 -0.3963
0.7109 0.5798 -0.3958
0.7162 0.5954 -0.3947

0.7049 0.6000 -0.3784

z =

1.0e+005 *
-6.2540 0.0000
-6.2787 0.0000
-6.3888 0.0000
-6.5012 0.0000

sol =

1.0e+005 *
-9.3487 0.0000
-6.0983 -0.0000
-9.9216 0.0000

dx = -9.3487e+005 dy = -6.0983e+005

ITERACION 1

dx = 9.5098e+005 dy = 7.6212e+005

ITERACION 2

dx = -2.8571e+005 dy = -1.1342e+006

ITERACION 3

dx = 5.4189e+005 dy = 1.1566e+006

ITERACION 4

dx = -3.8553e+005 dy = -1.3912e+006

ITERACION 5

dx = 3.6511e+005 dy = 1.3749e+006

ITERACION 6

dx = -4.2904e+005 dy = -1.3197e+006

ITERACION 7

dx = 5.1564e+005 dy = 1.3139e+006

ITERACION 8

dx = -4.9387e+005 y = -1.3856e+006

xv = -5.9349e+006 yv = -2.6098e+006

xv = -4.9839e+006 yv = -1.8477e+006

xv = -5.2696e+006 yv = -2.9819e+006

xv = -4.7277e+006 yv = -1.8253e+006

xv = -5.1133e+006 yv = -3.2165e+006

xv = -4.7481e+006 yv = -1.8416e+006

xv = -5.1772e+006 yv = -3.1613e+006

xv = -4.6615e+006 yv = -1.8474e+006

xv = -5.1554e+006 yv = -3.2330e+006

BIBLIOGRAFIA

- [1] AIPCR 20.73. S 1995 SCT
- [2] INRETS FRANCIA, 1998, MANUAL DE CURSO DE TRANSPORTE Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, LABORATORIO DE CONTROL DE EMISIONES, FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM Y INRETS FRANCIA.
- [3] PUBLICACIÓN TÉCNICA NO. 47, 1993, NUEVAS TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE: ALGUNAS PERSPECTIVAS E IMPLICACIONES PARA MÉXICO, IMT, SCT, SANFANDILA, QRO.
- [4] DOC 9660, OACI, GRUPO DE EXPERTOS SOBRE ASPECTOS ECONÓMICOS DE LOS SERVICIOS DE NAVEGACIÓN AÉREA.
- [5] PUBLICACION TECNICA NO. 55 IMT REVISTA DEL INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.
- [6] MOVISAT, TELECOMUNICACIONES DE MÉXICO, BANDA L,1997.
- [7] ORBCOMM DE MÉXICO, INTERNET, 1999.
- [8] GERENCIA DE ELECTRÓNICA APLICADA, SISTEMA DE GESTIÓN DE TRÁFICO DE AUTOPISTA (PROTOTIPO), 1998, DIRECCIÓN DE OPERACIONES. CARRETERAS PÚBLICAS FEDERALES CAPUFE, CUERNAVA, MORELOS.
- [9] , CHRIS DRANE Y CHRIS RIZOS, 1997, POSITIONING SYSTEMS IN INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMSTHE ARTECH HOUSE ITS SERIES, ARTECH HOUSE PUBLISHERS (BOSTON-LONDRES).
- [10] P. S. ZAKATOV, 1976, CURSO DE GEODESIA SUPERIOR, EDITORIAL MIR, TRADUCCIÓN 1981.
- [11] YUKIHIRO MINAMI KOYAMA, JESÚS SAVAGE CARMONA, FERNANDO LEPE-CASILLAS, DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN DE UN ROBOT MÓVIL CON ULTRASONIDO, DEPFI, UNAM.
- [12] , RALPH O. SCHMIDT, 1972, A NEW APPROACH TO GEOMETRY OF RANGE DIFFERENCE LOCATION IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS VOL. AES-8 NO. 6 NOVEMBER 1972, PAG 821-835
- [13] TRI T. HA, R. CLARK ROBERTSON, 1987, GEOSTATIONARY SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS, IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS VOL. AES-23 NO. 2 MARCH 1987, PAG 247-253
- [14] K.C.HO , Y.T. CHAN, 1993, SOLUTION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF GEOLOCATION BY TDOA, IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS VOL. 29 NO. 4 OCTOBER 1993, PAG 1311-1322

[15] , RICHARD B. LANGLEY, 1991, THE MATHEMATCS OF GPS, RICHARD B. LANGLEY, GPS WORLD, VOL. 2 NO. 7, 1991, PAG. 45-50

[16] LAS ESFERAS GPS, 1998, INTERNET

[17] OTTAWA-VNIS '93 , COMPARATIVE PERFORMANCE OF VARIOS AUTOMOTIVE NAVIGATION TECHNOLOGIES IEEE VEHICLE NAVIGATION & INFORMATION SYSTEMS CONFERENCE, PAG. 437-441

[18] VOL. 27 NO. 6 NOVEMBER 1991, EXISTENCE AND UNIQUENESS OF GPS SOLUTIONS, IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, PAG 952-956

[19] STEPHEN BANCROFT, 1985, AN ALGEBRAIC SOLUTION OF THE GPS, IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS VOL. AES-21 NO. 7 JANUARY 1985, PAG 56-59

[20] LLOYD O. KRAUSE, 1987, A DIRECT SOLUTION TO GPS- TYPE NAVIGATION EQUATIONS, IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS VOL. AES-23 NO. 2 MARCH 1987, PAG 225-232

[21] JOHANN BORENSTEIN, 1996, NAVIGATING MOBILE ROBOTS, H.R. EVERETT, LIQIANG FENG, A K PETERS WELLESLEY, MASSACHUSETTS, 1996 PAG 100-121

[22] VOL. AES-12, NO. 2 MARCH 1976, SOLUCIONES DE LOCALIZACIÓN - POSICIÓN POR ESTIMACIONES DE SERIES DE TAYLOR,IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS