



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN

**“Diseño e implementación de un sistema guía
de nodos ad hoc sobre redes híbridas inalámbricas”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS
(COMPUTACIÓN)**

P R E S E N T A:

ING. MARCO ANTONIO GONZÁLEZ SILVA

DIRECTOR DE TESIS: “DR. JAVIER GÓMEZ CASTELLANOS”

México, D.F.

2008.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Agradecimientos

Este trabajo de tesis ha sido todo un reto y una culminación a una maestría que me ha dejado más de lo que yo pensaba, también creo que cada noche de desvelo ha sido bien aprovechada para fortalecer la creatividad, ser más analítico y desarrollar todas y cada una de las habilidades que un ingeniero pueda tener.

Gracias a Dios por permitirme terminar esta etapa de mi vida.

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional Autónoma de México institución que me ha formado como profesionista y todos y cada uno de mis profesores del posgrado en ciencia e ingeniería de la computación del IIMAS.

Mi agradecimiento a mi tutor el Doctor Javier Gómez Castellanos por sus conocimientos transmitidos, las enseñanzas y la manera tan adecuada de dirigir este trabajo de tesis, al Doctor Miguel López Guerrero por cada uno de sus consejos, al Doctor Víctor Rangel Licea por cada una de sus observaciones, al Doctor Enrique Daltabuit Godas por cada recomendación hecha y al Ingeniero Mario Rodríguez Manzanera por sus correcciones hechas a este trabajo.

A mi padre José de Jesús González Reyes y a mi madre Amelia Silva García por formarme como una persona de bien e inculcarme valores como el respeto, la perseverancia, la verdad y la unidad que han hecho de mí una persona de bien. A mis hermanos Angélica, Olivia y Jesús por alentarme con su ejemplo y palabras a lograr mis metas, gracias.

A Maribel Salazar Aparicio por todo su apoyo incondicional y la paciencia hacia mi, muchas gracias por estar a mi lado y compartir conmigo este logro.

Agradezco a cada uno de mis compañeros por su amistad y apoyo durante la maestría, en especial a Carlos, Francisco, Humberto, Martha y Yasmine.

Índice

	Página
Índice de figuras	iii
Índice de tablas	v
Introducción	1
Capítulo 1. Redes MANET y sistemas de posicionamiento	4
1.1 Antecedentes de los sistemas guía	4
1.1.1 Redes inalámbricas	4
1.1.2 El estándar 802.11	6
1.1.2.1 Capas del 802.11	7
1.1.2.2 Capa física	7
1.1.2.3 Subcapa MAC	8
1.2 MANET	10
1.2.1 Encaminamiento en MANET	11
1.2.2 Protocolos Reactivos	11
1.3 Sistemas de Posicionamiento	12
1.3.1 Ángulo de llegada	14
1.3.2 Tiempo de llegada	15
1.3.3 Diferencia en tiempo de llegada	16
1.3.4 Intensidad de la señal recibida (RSSI)	17
1.4 Conclusiones del capítulo	18
Capítulo 2. Sistema propuesto de guiado	20
2.1 RSSI y calidad de la señal	21
2.2 Propuesta de guiado basada en RSSI	22
2.2.1 Modelo de propagación empírico de RSSI	22
2.2.2 Método de triangulación RSSI	23
2.2.3 Casos espejo	24
2.2.4 Algoritmo de guiado basado en RSSI	26
2.3 Propuesta de guiado basada en la calidad de la señal	29
2.3.1 Suma de vectores usando la calidad de la señal	30
2.3.2 Criterios de movimiento usando la calidad de la señal	33
2.3.3 Algoritmo de guiado basado en la calidad de la señal	33
2.4 Conclusiones del capítulo	36

	Página
Capítulo 3. Implementación del sistema guía	37
3.1 Interacción con Linux (Ubuntu)	38
3.2 Desarrollo del sistema en lenguaje Java	39
3.2.1 Método para obtener el valor de RSSI o la calidad de la señal en un punto, implementado en Java	40
3.2.2 Método para determinar el movimiento usando triangulación en RSSI, implementado en Java	42
3.2.3 Método para determinar el movimiento usando suma de vectores con calidad de la señal, implementado en Java	44
3.2.4 Implementación de la interfaz gráfica	46
3.3 Conclusiones del capítulo	49
Capítulo 4. Evaluación de la propuesta de guiado basada en RSSI	50
4.1 Entorno de simulación	50
4.2 Pruebas de campo	54
4.3 Conclusiones del capítulo	60
Capítulo 5. Evaluación de la propuesta de guiado basada en calidad de la señal	62
5.1 Pruebas de campo en un área libre de obstáculos	62
5.2 Pruebas de campo en un área con obstáculos	66
5.3 Conclusiones del capítulo	72
Conclusiones y comentarios	73
Glosario	75
Referencias	79

Índice de figuras

	Página
Figura 1.1.- Red de Infraestructura inalámbrica	5
Figura 1.2.- Red ad hoc con diferentes dispositivos móviles	6
Figura 1.3.- Red ad hoc híbrida	6
Figura 1.4.- Capas del estándar 802.11 en el modelo OSI	7
Figura 1.5.- Diagrama de tiempos de CSMA/CA	9
Figura 1.6.- Rangos de propagación de la señal en un nodo ad hoc	10
Figura 1.7.- Inundación en una red ad hoc	11
Figura 1.8.- Clasificación de los sistemas de posicionamiento en redes ad hoc (APS)	13
Figura 1.9.- Ángulos de incidencia encontrados por arreglos de antenas	14
Figura 1.10.- El nodo E encuentra su posición con respecto a los ángulos encontrados respecto a los ángulos de los antenas A, B y C o calcula el ángulo de orientación hacia D con base en los ángulos de orientación de F y G hacia D	15
Figura 1.11.- Intersección de tres círculos cuyo radio es la distancia entre cada estación base y el nodo a ubicar	16
Figura 1.12.- Modelo de propagación simple en espacios abiertos de la señal inalámbrica en una red ad hoc	17
Figura 2.1.- Los paquetes de A enviados a B pasan a través de C y D, ruta que deberá seguir A para llegar a B en el sistema guiado	21
Figura 2.2.- Muestras de la señal en una conexión ad hoc	22
Figura 2.3.- Triangulación con RSSI en el sistema guiado	23
Figura 2.4.- Triángulos que originan el caso espejo	24
Figura 2.5.- Casos espejo en el sistema guiado	26
Figura 2.6.- Algoritmo de guiado basado en RSSI	27
Figura 2.7.- Variación de RSSI entre dos nodos ad hoc conectados a distintas distancias	28
Figura 2.8.- Medición de RSSI en puntos con obstáculos y el línea de vista entre dos nodos ad hoc conectados	29
Figura 2.9.- Movimientos en el sistema guiado que forman un triángulo rectángulo	30
Figura 2.10.- Suma de dirección de vectores en el sistema propuesto de guiado basado en la calidad de la señal	31
Figura 2.11.- Criterios de movimiento usando la calidad de la señal	33
Figura 2.12.- Variación de la calidad de la señal entre dos nodos ad hoc conectados a diferentes distancias	34
Figura 2.13.- Diagrama de flujo del algoritmo de guiado basado en la calidad de la señal	35
Figura 3.1.- Salida del comando iwconfig	38
Figura 3.2.- Diagrama de asociaciones entre clases del sistema guía	39
Figura 3.3.- Caso de posible error en el cálculo de los ángulos de corrección y error utilizando triangulación con RSSI	42
Figura 3.4.- Analogía entre el reloj del sistema guía y los grados en un círculo	46

	Página
Figura 3.5.- Trayectoria dibujada por el sistema guía en un mapa precargado	48
Figura 3.6.- Diseño de la interfaz del sistema guía	49
Figura 4.1.- Simulación del sistema guía basado en RSSI en NS2	52
Figura 4.2.- Recorrido durante la prueba de guiado con RSSI sin obstáculos	56
Figura 4.3.- Grados de error hacia el destino en cada punto de la prueba sin obstáculos utilizando la propuesta de guiado basada en RSSI	57
Figura 4.4.- Recorrido durante la prueba de guiado con RSSI en área con obstáculos	58
Figura 4.5.- Grados de error hacia el destino en cada punto de la prueba con obstáculos utilizando la propuesta de guiado basada en RSSI	60
Figura 4.6.- Comparativa de ángulos de error hacia el destino en cada punto promedio de 8 pruebas de campo y en el simulador NS2 utilizando la propuesta de guiado de RSSI	61
Figura 5.1.- Prueba de guiado con calidad de la señal en zona libre de obstáculos donde el destino se encontraba ubicado al Sur respecto a la orientación de inicio del nodo móvil	63
Figura 5.2.- Prueba de guiado con calidad de la señal en zona libre de obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Este respecto a la orientación de inicio del nodo móvil	65
Figura 5.3.- Prueba de guiado con calidad de la señal correspondiente a zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado al Oeste respecto a la orientación de inicio del nodo móvil	68
Figura 5.4.- Prueba de guiado con calidad de la señal correspondiente a zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado al Sur de la orientación de inicio del nodo móvil	70
Figura 5.5.- Ángulos de error θ_1 y θ_2 correspondientes a los dos primeros movimientos de un nodo ad hoc utilizando el sistema guía para llegar al nodo destino	70
Figura 5.6a.- Ángulo de error hacia el destino en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona sin obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Sur respecto a la orientación de inicio del nodo móvil	71
Figura 5.6b.- Ángulo de error hacia el destino en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona sin obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Este respecto a la orientación de inicio del nodo móvil	71
Figura 5.7a.- Ángulo de error hacia el destino en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Oeste respecto a la orientación de inicio del nodo móvil	71
Figura 5.7b.- Ángulo de error hacia el destino en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Sur respecto a la orientación de inicio del nodo móvil	71
Figura 5.8.- Distribución de las 8 posiciones del nodo destino en cada zona de prueba del sistema guía basado en calidad de la señal	72
Figura 5.9a.- Promedio de ángulo de error hacia el destino en cada punto de las pruebas con obstáculos con calidad de la señal	72
Figura 5.9b.- Promedio de ángulo de error hacia el destino en cada punto de las pruebas sin obstáculos con calidad de la señal	72

Índice de tablas

	<i>Página</i>
Tabla 1.- Comparativo entre algunas versiones del estándar 802.11	7
Tabla 2.- Comparativo entre algunos sistemas de posicionamiento en ad hoc	18
Tabla 3.- 16 posibles casos de corrección de ángulo de trayectoria después de formar el triángulo de referencia con el sistema guiado basado en calidad de la señal	32
Tabla 4.- Ángulos de corrección que debe girar un nodo móvil después de tener una distancia inicial de 100 metros respecto a su destino y haber avanzado 20 metros	43
Tabla 5.- Grados de error de movimiento promedio de un nodo hacia su destino durante la simulación del sistema guía (RSSI) en NS2	53
Tabla 6.- Historia de las mediciones hechas en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona libre de obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el sur respecto a la orientación de inicio del nodo móvil	64
Tabla 7.- Historia de las mediciones hechas en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona libre de obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Este respecto a la orientación de inicio del nodo móvil	66
Tabla 8.- Historia de las mediciones hechas en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal correspondiente a zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado al Oeste respecto a la orientación de inicio del nodo móvil	68
Tabla 9.- Historia de las mediciones en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal correspondiente a zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado al Sur de la orientación de inicio del nodo móvil	69

Introducción

Actualmente existe gran diversidad de equipos que permiten la comunicación inalámbrica y que pueden formar parte de una misma red, entre ellos están: las computadoras portátiles (laptops), las agendas personales electrónicas digitales (PDA's), los equipos a manos libres (Hands Free), los equipos de punto de acceso, e inclusive equipos de impresión, todos ellos equipados con una interfaz inalámbrica que les permite formar parte de una misma red.

Dentro de los diferentes tipos de redes inalámbricas que existen, las redes móviles ad hoc son aquellas que permiten que diferentes dispositivos móviles sean capaces de comunicarse entre sí sin que exista una infraestructura de red desplegada para su implementación y funcionamiento. Cuando un nodo desea comunicarse con otro dentro de una red ad hoc, sólo requiere encontrar una ruta hacia su destino, se realiza una petición de comunicación donde se involucran nodos intermedios entre la fuente y el destino que sirven para encaminar la información, o bien de manera directa cuando transmisor y receptor se encuentran ambos en el mismo rango de transmisión.

Las redes ad hoc no son muy conocidas como redes de trabajo dedicadas para empresas y organizaciones, su uso ha sido mas bien aplicado a fines militares y a fines de investigación en algunas universidades. Inicialmente estas redes fueron concebidas para transmisión de datos, recientemente hay propuestas de utilizarlas en localización con la intención básica de que cada uno de los nodos sepan en qué parte de la red se encuentra y conozcan los servicios que existen a su alrededor como ejemplos: puntos de acceso, servidores, etc.

El enfoque de esta tesis es el estudio del problema de guiar o acercar físicamente una terminal ad hoc hacia un destino que en nuestro caso será otra terminal o una estación base dentro de una red ad hoc.

El poder guiar a un nodo dentro de una red ad hoc puede ser una característica aprovechada para:

- a) Acercar un usuario a la posición de otro. Imagine que un grupo de personas se distribuye en un área cubriendo varias zonas para trabajar en ella, cada persona puede realizar encuestas o recaudar información con ciertos fines. El coordinador del grupo se vería beneficiado si le es posible guiarse a través de la red formada por el grupo de trabajo para encontrar a cada integrante y recibir sus informes parciales.
- b) Asegurar la ruta de transmisión. Piense ahora en que un usuario este enviando un informe importante a otro usuario por medio de la red ad hoc y su comunicación sea a través de varios saltos, la ruta establecida puede romperse por la movilidad de los nodos que intervienen y detener la transmisión, así para evitar perder el informe el usuario decide moverse a la zona de cobertura del nodo transmisor y de esta manera asegurar la transmisión entre ambos sin importar los cambios en las rutas que se sufran en el resto de la red, ya que así conseguirá mantener la transmisión en un solo salto.
- c) Mejorar la velocidad de transmisión. Con una distancia más corta entre dos dispositivos conectados en una red ad hoc la velocidad de transmisión tiende a manejar la velocidad máxima permisible del ancho de banda manejada por el dispositivo, si el nodo al cual quiere acercarse es un punto de acceso que permite la conexión hacia otro tipo de red como Internet entonces podrá tener descargas más rápidas. La compatibilidad de equipos que utilizan el estándar 802.11g por ejemplo, soportan velocidades de 1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps.

Los sistemas de posicionamiento que existen para las redes ad hoc se limitan a localizar las coordenadas de un nodo dentro de la red basados siempre en dispositivos que conocen su propia ubicación. El sistema propuesto en este trabajo de tesis permite guiar un nodo para dirigirse a un punto específico deseado dentro de la red aun cuando no se cuente con información de localización conocida por otros dispositivos.

El objetivo de este trabajo de tesis es diseñar e implementar un sistema guía para nodos ad hoc que permita guiar a un nodo en la red sin necesidad de usar hardware especial y costoso. Otra finalidad del sistema es incrementar y motivar el uso de redes ad hoc como redes de trabajo y despertar el interés de desarrollar software que combinado con el sistema presentado mejore el desempeño de los nodos en las redes ad hoc proveyendo a la red de más y mejores servicios.

La tesis está dividida en los siguientes capítulos:

Capítulo 1

Debido a que el sistema está basado en las características de funcionamiento de las redes ad hoc (indistintamente nos referiremos a las redes ad hoc móviles como MANET, término que proviene del inglés mobile ad hoc network, éste y el resto de los términos empleados en este trabajo se incluyen en el glosario al final de esta tesis) y del comportamiento de la señal de radiofrecuencia, en este capítulo mencionamos: las características generales de las redes inalámbricas junto con el estándar 802.11 (estándar creado para las redes de área local inalámbricas) utilizado por las redes ad hoc.

Mencionaremos las características de las redes MANET donde se incluyen los principales protocolos de encaminamiento. En este capítulo trataremos también de forma detallada los sistemas de posicionamiento más empleados en las redes ad hoc (APS, del inglés ad hoc positioning system), estos sistemas son los únicos antecedentes que tratan con las posiciones de los nodos en una red MANET.

Capítulo 2

Se desarrollaron dos propuestas de guiado basadas en medir un parámetro en específico de la señal inalámbrica, la primera de ellas mide la intensidad de la señal (RSSI, del inglés received signal strength indication) y la relaciona con una distancia estimada entre la fuente y el destino formando un modelo de propagación empírico que se utilizará en ciertos métodos de triangulación propuestos para encontrar los ángulos de error y corrección en cada movimiento. La segunda propuesta mide la calidad de la señal (SQ, del inglés signal quality) que se utilizará en un método de suma de orientación de vectores para determinar la dirección de movimiento. En este capítulo se mencionan ambas propuestas describiendo los métodos utilizados en cada una de ellas.

Capítulo 3

La implementación de cada propuesta es detallada en este capítulo en donde se menciona la herramienta de medición empleada “*Wireless Tools*”, útil para medir los parámetros de la señal inalámbrica en una conexión ad hoc, ejecutándose bajo el sistema operativo Linux. Los procedimientos importantes de la aplicación desarrollada en el lenguaje de programación Java se incluyen en esta parte de la tesis además de la interfaz gráfica hacia el usuario.

Capítulo 4

La evaluación de la propuesta basada en RSSI se detalla en esta sección. La primera forma de evaluar la propuesta es mediante el simulador de redes “*NS2*”, presentando algunos casos y analizando los resultados obtenidos. La segunda forma de evaluar se limita a la interpretación de los resultados de las pruebas de campo.

Capítulo 5

Para la propuesta de guiado basada en calidad de la señal se realizaron pruebas de campo con el fin de evaluar su desempeño en un ambiente real. Distintas pruebas son presentadas y analizadas en este capítulo.

Capítulo 6

Las conclusiones finales de este trabajo de tesis se presentan en este último capítulo.



Capítulo

**Redes MANET y
sistemas de
posicionamiento**

1.1 Antecedentes de los sistemas guía

En este capítulo se presentan los antecedentes de los sistemas guía. Entre los temas que deben ser tratados están los referentes a las redes inalámbricas, redes ad hoc y sistemas de posicionamiento.

1.1.1 Redes inalámbricas

A través de la historia, la comunicación a distancia entre las personas ha ido evolucionando, han surgido nuevas y mejores técnicas para hacerla más rápida y expedita, buscando a la vez de lograrla con mayor seguridad y eficiencia.

Después de las primeras investigaciones de fenómenos eléctricos y magnéticos realizadas por Faraday y Ampère, el escocés James Clerk Maxwell en 1873 en su obra "*Electricity and Magnetism*" describe matemáticamente a las ondas electromagnéticas [1]. Gracias a ello el uso de este fenómeno dedicado a fines de transmisión ha sido constante ya que se aprovecha la característica de que las ondas electromagnéticas pueden propagarse en el aire e inclusive en el vacío.

Podemos decir entonces que la capacidad de transmitir información a distancia está ligada tanto a la potencia de transmisión como a la capacidad de propagar una señal a una frecuencia específica, esto hace a las redes inalámbricas flexibles al no limitar a los equipos de radio que la componen a permanecer en un lugar en específico dentro de la cobertura de la red. Una ventaja adicional importante es la poca planificación de la red puesto que sólo importa que todos los equipos permanezcan en el área de cobertura, y que inclusive la incorporación de nuevos equipos o su reubicación no suela ser tarea complicada.

En todos los medios empleados para transmitir información la señal se atenúa con la distancia y en las redes inalámbricas no es la excepción. Las señales tienden a atenuarse, cuando encuentran objetos en su camino lo cuál representa un problema para las comunicaciones. Otro inconveniente es la calidad de servicio, toda red inalámbrica está expuesta a sufrir interferencias provocadas por otras redes cercanas o campos eléctricos que ocasionan, entre otras cosas, un cambio negativo en la velocidad de transmisión de la red.

Tipos de redes inalámbricas

Las redes inalámbricas pueden tener diferentes clasificaciones según el criterio que se use para ello, una forma de clasificarlas es por el tipo de configuración que utiliza:

Red de infraestructura: Una red de infraestructura inalámbrica se caracteriza porque existe un dispositivo único que se encarga de realizar la conexión entre los dispositivos de la red, como el que se muestra en la figura 1.1. Este dispositivo conocido como punto de acceso (AP, del inglés *access point*) envía periódicamente tramas llamadas anuncios tanto para difundir su presencia como la información de la red, así los clientes pueden acceder a ésta. La figura 1.1 muestra una red inalámbrica con un punto de acceso que proporciona la conexión a clientes inalámbricos haciendo que éstos puedan comunicarse entre sí

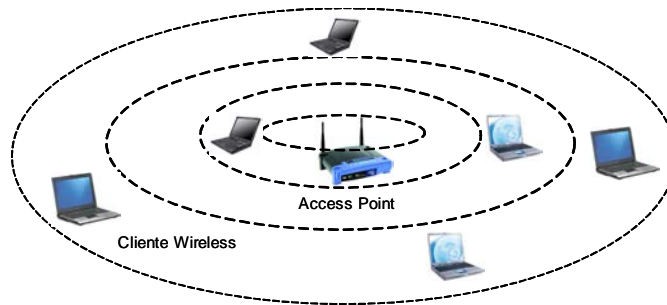


Figura 1.1.- Red de infraestructura inalámbrica

Red ad hoc: El término adoptado por la IEEE "*ad hoc networks*" se refiere a la red formada dinámicamente por dispositivos móviles capaces de comunicarse entre ellos sin requerir de un dispositivo único que los coordine. Para esto, cada nodo debe ser capaz de encaminar los paquetes de la red y poder estar dentro del área de cobertura formada por otros, así se establecen rutas que consisten en un número de saltos para hacer llegar la información de un punto a otro. Cada nodo mantiene un área local a el mismo. Debido a que un nodo puede salir o moverse de la red las rutas pueden cambiar de un momento a otro. La figura 1.2 muestra una red ad hoc formada por varios tipos de dispositivos móviles. Esta configuración también es conocida por las siglas IBSS (independent basic service set).

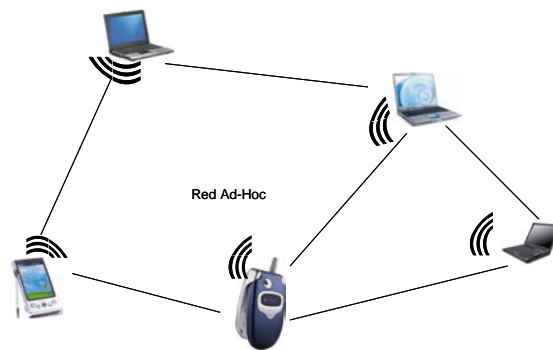


Figura 1.2.- Red ad hoc con diferentes dispositivos móviles

Una combinación entre las redes ad hoc y las redes de infraestructura da como resultado una red híbrida [2]. Esta combinación es típica hoy en día, un punto de acceso puede estar conectado a una red LAN (local area network) ethernet o tener una conexión a Internet. De esta manera los dispositivos inalámbricos aun estando fuera del área de cobertura del punto de acceso pueden llegar a él usando su estructura ad hoc y tener acceso a la LAN a la cual esté conectado dicho punto de acceso o tener salida a Internet si es el caso.

La figura 1.3 muestra un ejemplo de una red ad hoc donde los dispositivos móviles pueden tener acceso a una red LAN y a Internet.

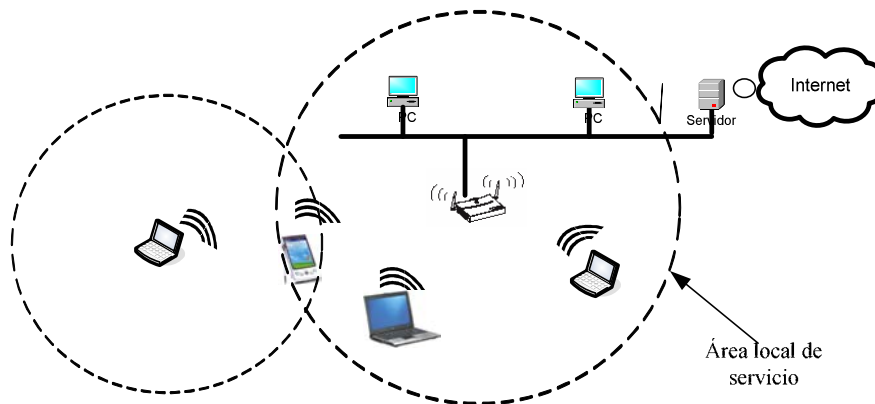


Figura 1.3.- Red ad hoc híbrida

1.1.2 El Estándar IEEE 802.11

Dentro de las recomendaciones de la ITU (Internacional telecommunication union) [3] se define el uso de las bandas ISM (industrial, scientific and medical) como de uso libre. Estas frecuencias van de los 900 MHz a los 5 GHz. El estándar 802.11 utiliza las bandas comprendidas entre los 2.4 y 5 GHz por lo que su uso no requiere de alguna licencia.

La primera versión del 802.11 fue aprobada por el Instituto de ingenieros en electricidad y electrónica en 1997 donde se define la capa MAC (media access control) y la capa física (PHY, del inglés physic). La tabla 1 muestra un comparativo entre las diferentes versiones más populares hasta el momento que han aparecido subsecuentes a la primera versión.

Tabla 1.- Comparativo entre algunas versiones del estándar 802.11

	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Aprobado en	1997	1999	1999	2003
Frecuencia de operación	2.4-2.4835 GHz	5.15-5.35 GHz 5.725-5.825GHz	2.4-2.4835 GHz	2.4-2.4835 GHz
Velocidad Mbps	2, 1	54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6	11, 5.5, 2, 1	54, 36, 24, 18, 12, 11, 9, 6, 5.5, 2, 1
Modulación	DSSS, FHSS	OFDM	DSSS	DSSS, OFDM

1.1.2.1 Capas del 802.11

El estándar 802.11 define la capa física (PHY) subdividida en dos subcapas: PMD (Physical Medium Dependent) y PLCP (Physical Layer Convergence Protocol), y una subcapa de datos MAC, haciendo referencia al modelo OSI (open system interconnection) las capas del 802.11 quedarían como se muestran en la figura 1.4

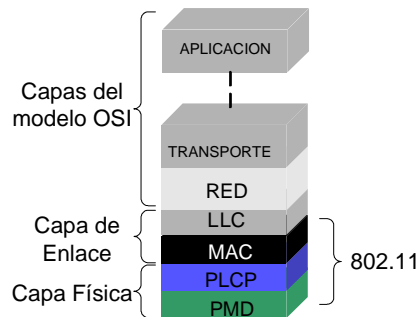


Figura 1.4.- Capas del estándar 802.11 en el modelo OSI

1.1.2.2 Capa física

La capa física maneja las tramas generadas en la capa MAC llamadas MPDUs (MAC protocol data unit), en ella se incorpora el CCA (Clear Channel Assessment) que indica al protocolo MAC cuándo se detecta una señal.

En la subcapa PMD se tienen definidas las características y los métodos a utilizar para transmitir y recibir datos de un usuario a través del medio inalámbrico. A la vez se encarga de las técnicas de codificación, decodificación y modulación.

Por su parte, la subcapa PLCP tiene como función preparar las tramas del protocolo MAC para ser transmitidas por la capa PMD. PLCP agrega su propio encabezado a las tramas, el cual incluye los bits de CRC (cyclic redundancy check), tipo de servicio, la longitud y la señal; esta última especifica la velocidad de transmisión a la cual se transmite la parte del MPDU de la trama.

Las primeras tres técnicas de modulación estandarizadas en la primera versión del 802.11 en 1997 fueron [4]:

- a) Salto de frecuencia de espectro disperso (FHSS, del inglés frequency hopping spread spectrum).
- b) Espectro disperso de secuencia directa (DSSS, del inglés direct sequence spread spectrum).
- c) Infrarrojo esparcido (DFIR, del inglés digital diffuse infrared).

En las siguientes versiones se agregaron dos técnicas de modulación:

- d) Multiplexado de Frecuencias Ortogonales (OFDM, del inglés orthogonal frequency division multiplexing).
- e) Espectro disperso de secuencia directa de alta velocidad (HR/DSSS, del inglés high-rate direct sequence) [5].

1.1.2.3 Subcapa MAC

Entre las principales tareas a realizar por la subcapa MAC se encuentran: el control de flujo, la fragmentación, gestión de potencia y el control de acceso al medio. El protocolo utilizado por el 802.11 para acceder al medio es el CSMA/CA (Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance) que significa acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones.

A diferencia del protocolo CSMA/CD que detecta las colisiones, el CSMA/CA trata de prevenirlas.

Para lograr la prevención de las colisiones es necesario reservar el canal por un lapso de tiempo estimado el cual durará la transmisión, para esto se utilizan algunos mensajes y tiempos que tienen la finalidad de evitar dichas colisiones. Primeramente es común que si el medio se encuentra libre la probabilidad de que dos estaciones traten de transmitir sea mayor, por ello cada nodo en la red después de ver el medio libre deberá esperar un tiempo llamado espacio inter-tramas distribuido (DIFS, del inglés distributed inter-frames space) diferente en cada nodo para solicitar el canal, esto ayuda a evitar que el canal sea solicitado al mismo tiempo por dos o más nodos en la red.

Para solicitar el canal se envía un paquete de solicitud para transmitir (RTS, del inglés request to send) que identifica al origen y destino de la transmisión, este paquete es recibido por todos los nodos que se encuentran en la misma área y que compiten por el canal, de esta manera los nodos que no tengan relación con la transmisión deberán permanecer en estado de reposo durante el tiempo especificado antes de intentar solicitar ellos el canal.

Cuando un nodo ha recibido un paquete RTS cuya dirección destino sea la suya deberá responder con un mensaje de aceptación (CTS, del inglés clear to send) indicando que se encuentra listo para recibir datos, esta respuesta deberá realizarla después de esperar un determinado tiempo llamado espacio inter-tramas corto (SIFS, del inglés short inter-frame space).

Finalmente después de recibir los datos el receptor deberá contestar de recibido con un ACK (acknowledgment) que indica que la recepción se ha hecho sin errores.

La figura 1.5 [6] Muestra un diagrama donde se pueden ver los tiempos de espera entre cada paquete enviado durante una comunicación en 802.11. El canal está reservado con el parámetro llamado NAV (network allocation vector) que indica la reservación del canal por un tiempo definido y está incluido en el RTS.

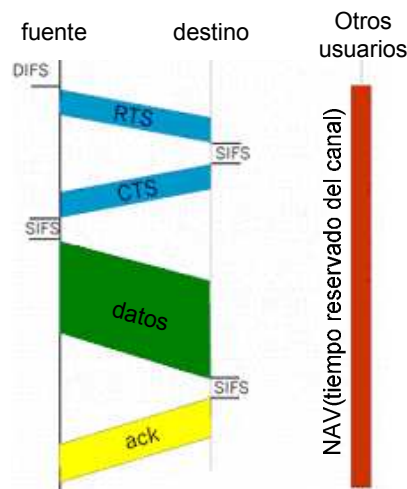


Figura 1.5.- Diagrama de tiempos de CSMA/CA

Existe una forma de coordinar el acceso al medio mediante un punto de acceso que decide quién debe tener el acceso al medio, esta forma es conocida como función de coordinación puntual (PCF, del inglés point coordination function). Para esto el punto de acceso utiliza un tiempo menor al DIFS llamado PIFS lo que le permite ganar el control del medio antes que otro equipo en la red.

Para que un nodo pueda transmitir debe estar en una lista llamada "polling list" la cual indicará al punto de acceso quién debe tener el canal para transmitir, previamente el punto de acceso sondeó todos los dispositivos que solicitan el medio. Una desventaja muy importante de este esquema es que todo el tráfico pasa a través del punto de acceso y el uso del ancho de banda no es optimizado.

1.2 MANET

No es casualidad que las primeras MANET surgieran en 1972 como proyectos de comunicación militar, esa característica de auto-organización permite que no sea necesaria ningún tipo de infraestructura y por lo tanto se crean de manera dinámica.

Un nodo puede intercomunicarse con sus vecinos inmediatos de manera directa siempre y cuando se encuentren dentro del rango de transmisión-recepción. Debido a que la señal se propaga y se atenúa con la distancia, existen fronteras en donde el rango pasa a ser sólo de detección, estos rangos se establecen de acuerdo a la potencia con la cual se transmite y recibe la señal.

Los equipos bajo el estándar 802.11g utilizan una potencia de transmisión de 100 mW, definida ésta en la tabla 115 de la sección 18.4.7.1 del mismo estándar. Se tienen entonces tres rangos de propagación de la señal en donde la transmisión tiene diferentes características en cada una de ellas, éstos son:

- a) Rango de transmisión.- Aquí la recepción-retransmisión es posible ya que su contenido es entendible, se tienen tasas de errores muy bajas.
- b) Rango de detección.- Es posible detectar la señal pero no se entiende el contenido.
- c) Rango de interferencia.- La señal no puede ser detectada.

La figura 1.6 muestra los rangos de propagación de un nodo ad hoc, observamos que la zona de transmisión puede estar dividida entre las posibles velocidades soportadas.

Además de la distancia existen otros factores que hacen que la señal pierda potencia, los obstáculos como árboles, personas, objetos, el clima son algunos de ellos.

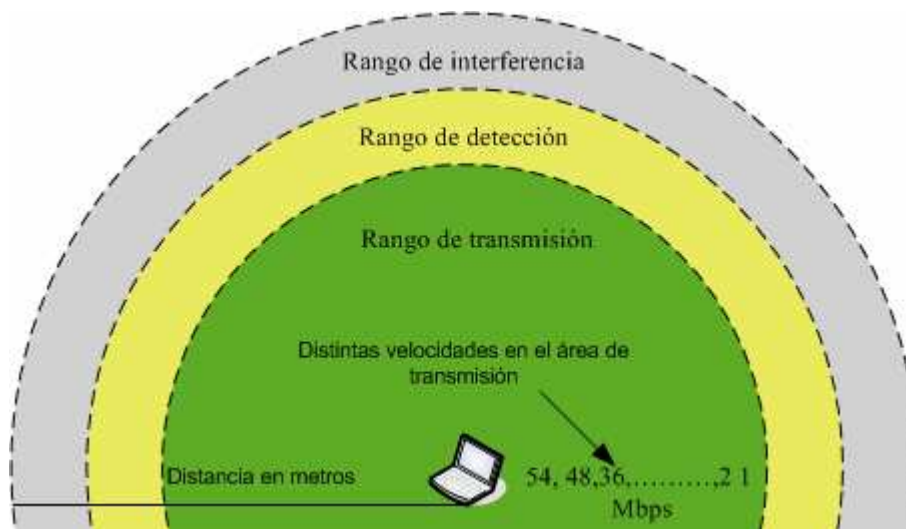


Figura 1.6.- Rangos de propagación de la señal en un nodo ad hoc

1.2.1 Encaminamiento en MANET

Hasta aquí se ha planteado la comunicación directa entre dos nodos de una MANET, no obstante existe la posibilidad de que un nodo quiera comunicarse con otro que no se encuentre dentro de su rango de transmisión, es aquí en donde entra el poder de la organización de la red, en donde cada nodo tiene la responsabilidad de encaminar un paquete hacia la ruta correcta, independientemente de si la ruta ha cambiado por la propiedad de movilidad de sus nodos. Así es responsabilidad de cada nodo encontrar nuevas rutas para hacer llegar el paquete, todo esto independientemente de las aplicaciones que el nodo tenga que estar ejecutando.

Una comunicación directa o a través de saltos entre un destino específico y una fuente específica se realiza con un protocolo que trabaja en modo “unicast”. La mayoría de los protocolos en las redes MANET trabajan en este modo debido a que los usuarios normalmente desean intercambiar información con cierto usuario en determinado momento, es decir, se conocen el destino y el origen específicos. Existen protocolos en MANET que trabajan de forma proactiva, esto es, actualizan su tabla de ruteo constantemente sea necesario o no de tal forma que cuando se necesita una ruta ya no es necesario buscarla, ésta ya se conoce.

1.2.2 Protocolos reactivos

En una red MANET puede suponerse que resulta muy útil tener actualizada la información de todas las rutas activas existentes, sin embargo para redes muy extensas esta información puede ser excesiva debido a los constantes cambios propios de la red. Es por ello que algunos protocolos prefieren actualizar una ruta sólo cuando es requerida y aunque esto puede hacer más lenta la conexión, también puede librar a la red de tráfico de encaminamiento. Esta forma de actualizar las rutas sólo cuando alguien desea hacer una nueva conexión se conoce como “reactiva”. Los principales protocolos reactivos en MANET son el de encaminamiento de fuente dinámica (DSR, del inglés dynamic source routing) y por vector de distancia en demanda ad hoc (AODV, del inglés ad hoc on-demand distance vector).

Tanto AODV como DSR comienzan creando un paquete de petición de ruta llamado RREQ (route request) en el nodo origen y enviándolo a cada vecino que se encuentre dentro de su área de cobertura. Éste se propaga hasta encontrar el destino, el cual concluye la comunicación no propagando más el mensaje. Esta técnica de inundar la red con paquetes de petición de ruta es llamada “flooding” la cual se muestra en la figura 1.7 en donde la inundación en la red se va propagando a través de los nodos vecinos.

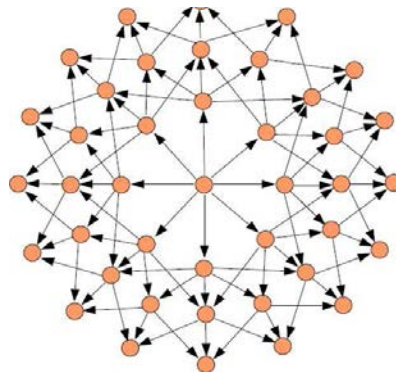


Figura 1.7.- Inundación en una red ad hoc

AODV (On-Demand Distance Vector) es un protocolo reactivo que tiene como principal virtud incluir un número de secuencia por cada destino. A fin de evitar los bucles infinitos, suele utilizar un tipo de mensajes llamados "Hello" que son enviados por aquellos nodos que forman parte de rutas activas y éstos tienen como finalidad mantener información de conectividad ya que ante la ausencia de ellos, en un enlace activo, se puede considerar que existe una pérdida de enlace.

Al presentarse una pérdida de enlace el nodo local en donde se haya detenido la secuencia debe intentar repararla el mismo generando un mensaje RREQ y almacenando el flujo de datos para ver si es posible enviarlos por otra ruta cuando ésta se descubra, en caso de fracasar enviará una señal de error llamada RERR (route error) al nodo origen para que él busque otra ruta.

DSR forma parte también de la familia de protocolos reactivos y tiene como característica principal el manejar un cache de rutas en los nodos con información de eventos pasados. Una vez descubierta una ruta e iniciada una comunicación es necesario que se confirme la recepción de un paquete en el siguiente salto de cada nodo para mantener la conectividad, en caso contrario se origina un mensaje de error hacia el origen para que se vuelva a iniciar el protocolo.

Durante la implementación y pruebas en el simulador NS-2 en el desarrollo de esta tesis se utilizó indistintamente el protocolo DSR y AODV para encontrar la ruta a seguir por el nodo el cual deseábamos guiar a través de la red.

Cuando una MANET se une a otra red debe asignar a los nodos de la MANET direcciones válidas para tener acceso a Internet y evitar problemas como el duplicar una dirección de red [7].

1.3 Sistemas de posicionamiento

En las redes MANET el poder conocer la ubicación en donde se encuentra un nodo ayuda en gran medida a reducir el tamaño y complejidad de las tablas de encaminamiento que se generan en cada nodo en conjunto con los protocolos de encaminamiento empleados [8]. A la vez otra utilidad que da el conocer su posicionamiento es el poder segmentar la red reduciendo el tráfico innecesario en ciertas zonas. No obstante, cualquier solución que se seleccione debe justificar todos los propósitos del ¿por qué? se desea ubicar los nodos dentro de una red.

Para los fines de esta tesis los sistemas de posicionamiento permiten determinar si los movimientos realizados en el sistema guiado han sido adecuados para ubicar al nodo en la posición deseada dentro de la red.

Actualmente los sistemas de posicionamiento global de navegación por satélite (GNSS, del inglés global navigation satellite system) han tenido gran auge, ellos consisten en una constelación de satélites artificiales que mandan señales a la tierra, y que utilizando métodos de triangulación pueden ayudar a conocer la posición geográfica de algún objeto, por ejemplo de: un avión, un barco, un automóvil o de una persona, o de cualquier objeto físico sobre la tierra [9]. Algo en lo que debemos hacer énfasis es que los GNSS para calcular la distancia entre satélite y receptor utilizan el tiempo que tarda la señal en llegar del satélite al receptor para calcular la distancia entre ellos, ésta es una de las técnicas que se han utilizado en las redes ad hoc para posicionar los nodos en la red.

En las redes ad hoc se utilizan diferentes criterios para clasificar los sistemas de localización, una clasificación de ellos se muestra en la figura 1.10 donde apreciamos diversidad en los métodos utilizados.

El sistema guía que se propone más adelante en esta tesis, no requiere de un sistema de localización externo como es el GPS (global positioning system), ya que para unos cuantos nodos podría funcionar una implementación utilizando un dispositivo de ese tipo, pero el resultado de tener una red MANET de mas de 50 nodos, cada uno con un GPS, parecería algo costoso.

Otra cosa a tomar en cuenta es que cada nodo de la MANET requiere de cierta fuente de energía para poder operar, al igual que el GPS. De esta manera existe la limitación de que dos equipos trabajen adecuadamente durante un intervalo de tiempo, ambos con suficiente energía y con una actividad extra a la comunicación entre ellos, además de la comunicación hacia la MANET.

De acuerdo entonces a la clasificación que muestra la figura 1.8 se descarta algún tipo de solución por cálculo centralizado, dado que en este trabajo la intención no es que alguien o algo adicional realice el cálculo lo que implicaría necesariamente el contar con un equipo o equipamiento extra que haga esa función, lo cual no es deseado.

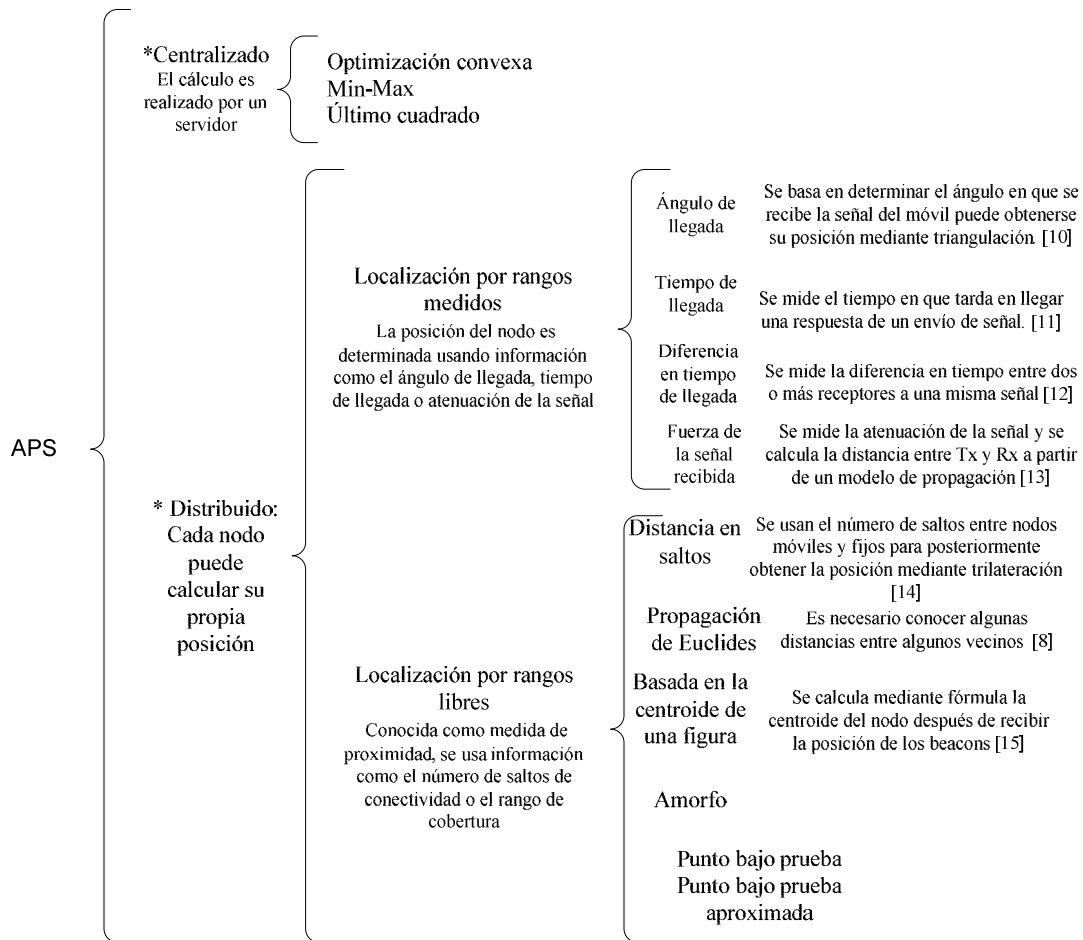


Figura 1.8.- Clasificación de los sistemas de posicionamiento en redes ad hoc (APS)

A continuación se analizan algunos sistemas de posicionamiento que miden algún tipo de variable en el medio con el fin de localizar algún nodo en las redes ad hoc.

1.3.1 Ángulo de llegada

A través de la medición del ángulo de llegada (AOA, del inglés angle of arrival) [10] se ha buscado ubicar los nodos en las redes ad hoc. Las mediciones de estos ángulos se hacen en estaciones base en donde se tienen antenas especiales llamadas arreglos de antenas, capaces de medir el ángulo de incidencia de la señal del nodo móvil utilizando algoritmos de dirección de llegada conocidos como "DoA" (direction of arrival). [16].

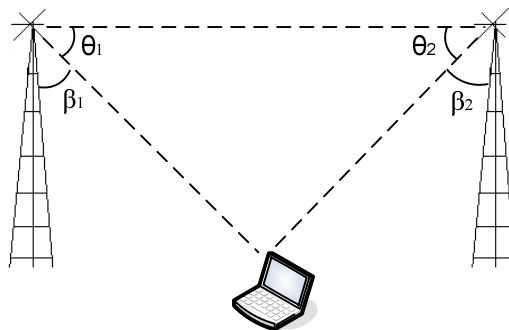


Figura 1.9.- Ángulos de incidencia encontrados por arreglos de antenas

En la figura 1.9 la distancia entre las antenas es conocida ya que están colocadas en lugares estratégicos y con una orientación específica dentro de la red capaces de detectar en línea de vista la señal de cada nodo, cuando la antena ha logrado detectar los ángulos de arribo de la señal de un nodo ad hoc los compara con los valores de otra antena, de esta manera se podrá utilizar la ley de los senos donde se involucren las variables conocidas para encontrar las distancias que existen entre el nodo y las dos antenas.

Cuando una tercera antena se involucra en el cálculo de la ubicación de un nodo que se encuentra dentro del triángulo que forman las tres antenas, la ubicación de este nodo puede calcularse resolviendo un sistema de ecuaciones en donde se conocen las distancias entre las antenas y el nodo, además de las posiciones (x,y) de los antenas en la red. La figura 1.10 muestra una situación semejante donde el nodo E se encuentra dentro del triángulo formado por las antenas A, B y C, una vez calculadas las distancias de E hacia A, B y C se puede formar el sistema de ecuaciones mencionado donde las incógnitas son las coordenadas (x,y) del nodo E a ubicar.

Un problema que puede presentarse es cuando un nodo se encuentra fuera del área de cobertura de alguna antena. En la misma figura 1.10. El nodo E se encuentra fuera del área de cobertura de D, pero tiene los vecinos F y G los cuáles conoce su ángulo de orientación hacia él y éstos a su vez conocen los ángulos de orientación hacia D. Es posible entonces encontrar todos los ángulos entre los triángulos DFE y DGE conociendo así el ángulo que necesita E para orientarse hacia D.

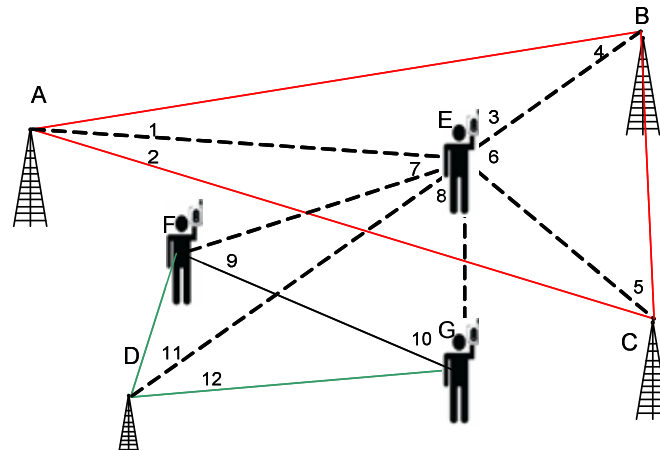


Figura 1.10.- El nodo E encuentra su posición con respecto a los ángulos encontrados respecto a los ángulos de las antenas A, B y C o calcula el ángulo de orientación hacia D con base en los ángulos de orientación de F y G hacia D

Los inconvenientes en AOA surgen de la necesidad de tener línea de vista entre las antenas y los nodos ad hoc y de no considerar multitrayectorias de llegada de la señal; Cualquier desviación en la orientación de las antenas ocasionarían cálculos equivocados en la estimación de los ángulos debido a que están basados en la orientación de la misma.

1.3.2 Tiempo de llegada

Conocer el tiempo de llegada de la señal (TOA, del inglés time of arrival) permite calcular una distancia entre dos puntos [11]. En MANET una onda electromagnética es enviada desde un nodo móvil a una estación base la cual devuelve la señal al nodo que la originó. Debe entonces existir una perfecta sincronización entre los nodos móviles y las estaciones base para medir exactamente el tiempo que tomó la señal para ir y regresar. Algunos tiempos parciales deben agregarse al cálculo final como lo es el tiempo de procesamiento que tomó la estación base antes de enviar la señal de regreso.

La distancia resultante es el producto de la velocidad de luz, que es con la que viaja la onda electromagnética, y el tiempo que tardó la señal en ir o regresar de la estación base. Este tiempo es incorporado dentro del mensaje enviado, donde cada participante agrega el tiempo con el cual recibió o envió el mensaje, de ahí la importancia de tener una buena sincronización de relojes para realizar un buen cálculo del tiempo empleado. La sincronización puede verse afectada por errores ocasionados por varios fenómenos como el "clock drift" [17] donde la velocidad de dos relojes no es la misma.

Para determinar la localización del nodo dentro de la red se realiza el mismo procedimiento con dos estaciones base más, para formar tres círculos con centro en cada estación base, y los radios serán las distancias encontradas por TOA, la intersección de estos círculos dará como resultado la ubicación del nodo. La figura 1.11 muestra tres círculos formados por la señal de propagación de

cada estación base hacia el nodo a ubicar en la red y el lugar en donde se interceptan los círculos resulta ser la ubicación del nodo ad hoc.

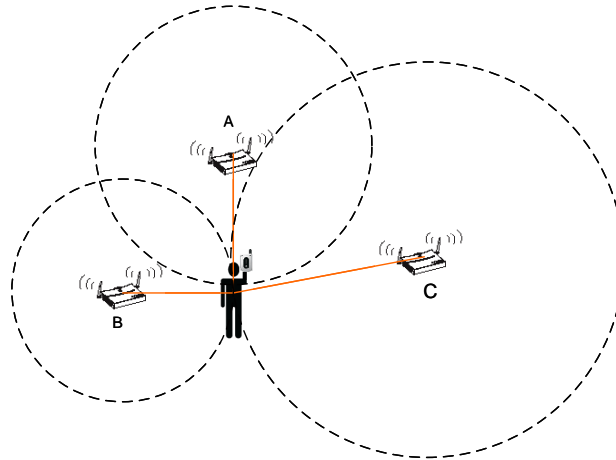


Figura 1.11.- Intersección de tres círculos cuyo radio es la distancia entre cada estación base y el nodo a ubicar

1.3.3 Diferencia en tiempo de llegada

Medir la diferencia en tiempos de llegada de una señal (TDOA, del inglés time difference of arrival) a dos o más estaciones base, permitirá de otra manera conocer la ubicación del nodo emisor de dicha señal. [12].

La idea principal de TDOA es que existan pares de estaciones base (*landmark*) donde se reciba la señal de un nodo que desea conocer su ubicación, el nodo a ubicar envía su señal a un par de estaciones base localizadas a cierta distancia una de la otra, cada estación recibirá la señal con cierta diferencia en el tiempo de recepción, todos los posibles puntos donde se encuentre el nodo ad hoc a ubicar forman una hipérbola cuyos focos son las dos estaciones base y la diferencia en tiempos de llegada de su señal a ambas estaciones es constante.

Ahora bien si se utiliza este mismo procedimiento con tres estaciones base se pueden obtener tres pares diferentes de tiempos de arribo a las estaciones base y podríamos tener mas hipérbolas en donde la intersección de ellas sería la ubicación del nodo ad hoc en la MANET.

Una ventaja con respecto a TOA es que no es necesario la sincronización entre el nodo ad hoc y las estaciones base, basta con que las estaciones base estén sincronizadas entre ellas para hacer un buen cálculo en la diferencia de recepción de la señal. La escala de tiempos utilizada es de nanosegundos [23].

1.3.4 Intensidad de la señal recibida (RSSI)

RSSI es otro parámetro el cual es posible medir dentro de una red MANET, RSSI es la intensidad o atenuación con la cual se recibe una señal en un dispositivo. Es claro que de antemano se debe conocer la potencia de transmisión con la cual la fuente emitió esa señal [13] [24]. Así es necesario relacionar esta atenuación con un modelo de propagación ya que muchos factores intervienen, además de la distancia, para atenuar la señal.

Existen diversos modelos de propagación para diferentes escenarios y con diferentes grados de complejidad, por ejemplo para WiFi (wireless fidelity), que es el radio usado en redes MANET, un modelo de propagación comúnmente usado para espacios abiertos es el utilizado en el proyecto de posicionamiento para redes inalámbricas LAN en interiores llamado WiPS (wireless LAN based indoor positioning system) [18][19]. Tomando en cuenta que la potencia de transmisión empleada por los dispositivos 802.11 es de 100mW y empleando el modelo de propagación para espacios libres (Fórmula de Friis), la potencia de recepción estaría definida por la siguiente fórmula:

$$P_{RX} = P_{TX} G_T G_R \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad \text{y descartando las ganancias de la antena transmisora (GT) y receptora (GR)} \quad P_{RX} = \frac{P_{TX}}{d^2} \left[\frac{\lambda}{4\pi} \right]^2 \quad ..(1)$$

donde:

P_{RX} = Potencia de la señal recibida.

d = Distancia entre transmisor y receptor dada en metros.

P_{TX} = Potencia de transmisión (100mW).

λ = Longitud de onda (velocidad de la luz / frecuencia).

La figura 1.12 muestra la gráfica del modelo simple de propagación en espacios abiertos descrito anteriormente:

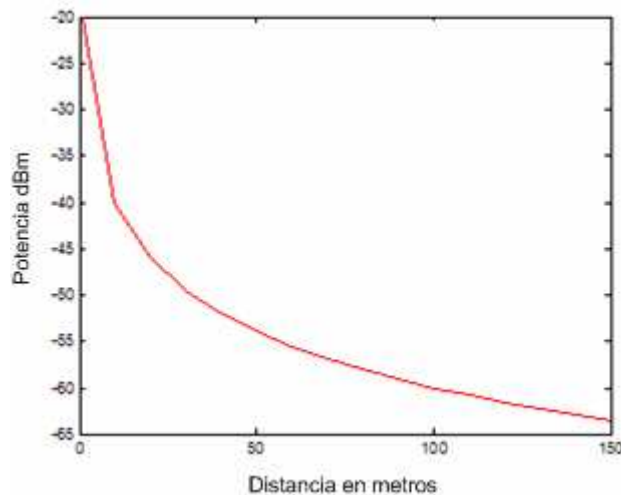


Fig. 1.12.- Modelo de propagación simple en espacios abiertos de la señal inalámbrica en una red ad hoc

De esta manera es posible conocer la distancia de un nodo origen a un nodo destino, lo que nos estima una distancia pero no una dirección, para lograr completar la localización es necesario triangular con algunos nodos que conozcan su posición, como se hace en otros sistemas de localización, una vez conocidas las distancias a tres puntos de referencia es posible calcular el punto dentro de la MANET donde se encuentra el nodo ad hoc.

Otra manera de utilizar la RSSI para localización de nodos en una red es formando un "Radio Map", este algoritmo es empleado por sistemas de localización en interiores como RADAR [20] de Microsoft. La idea principal es colocar puntos de acceso en diferentes zonas del inmueble con la finalidad de tener recepción en cualquier zona de al menos dos diferentes puntos de acceso. El "Radio Map" es un mapa de propagación pregrabado de distintos puntos físicos (x,y,z) dentro del inmueble con su correspondiente medición de RSSI de los puntos de acceso más cercanos. Este mapa se elabora de manera manual tomando las lecturas con los dispositivos móviles en los puntos físicos y grabando estos mapas en los mismos dispositivos móviles.

Cuando un usuario ya dispone de su "Radio Map" y se encuentra dentro de la red puede ubicar su posición comparando su RSSI con el valor más semejante pregrabado, más aún, una vez localizada su ubicación puede observar la forma en la que puede llegar a otros puntos dentro de la red.

Una comparación de los sistemas de posicionamiento vistos en este capítulo se muestra en la tabla 2, donde vemos en resumen los requerimientos y técnicas empleadas en cada sistema.

Tabla 2.- Comparativo entre algunos sistemas de posicionamiento en ad hoc

Sistema de Posicionamiento	Tipo de Medida utilizada	Hardware Especial	Estaciones Base Requeridas	Cálculo y Medida
AoA	Angulo de llegada de la señal	Antenas multiarreglo	Si	Medida Compleja Cálculos Sencillos
ToA	Tiempo de llegada de la señal	Red Sincronizada	Si	Medida Compleja Cálculos Sencillos
TDoA	Diferencia en el Tiempo de llegada de la señal	Red Sincronizada	Si	Medida Compleja Cálculos Sencillos
RSSI	Intensidad de la señal	No	No	Medida Sencilla Cálculos Sencillos

1.4 Conclusiones del capítulo

La característica de movilidad que los nodos tienen en una red ad hoc puede ser aprovechada para encontrar usuarios o servicios cuando hablamos de redes híbridas. Los sistemas de localización vistos en este capítulo ayudan a determinar si la posición actual de un nodo dentro de una red ad hoc es la deseada después de realizar algún movimiento con determinado fin.

Los sistemas de localización tratados en este capítulo pueden emplearse para funciones de guiado en un red ad hoc considerando los requerimientos de cada uno. Sin embargo con excepción de RSSI, la función de guiado se ve limitada a las posiciones de las estaciones base.

De esta manera el sistema guía que se propone en el siguiente capítulo estará basado en mediciones de parámetros como RSSI presentes en la señal inalámbrica y que no requieren hardware especial para obtener su valor.

Podemos decir entonces que contamos con una red MANET de unos cuantos nodos y hasta cientos de ellos teniendo la necesidad en algún momento que algún nodo desee moverse a cierto punto de la red, teniendo como ayuda las características propias de una conexión ad hoc y particularmente de la señal.

2

Capítulo

Sistema propuesto de guiado

Los sistemas de localización revisados en el capítulo 1 requieren, en algunos casos, la utilización de hardware especial para lograr encontrar la ubicación de un nodo dentro de la red a fin de contar con un margen de error menor en los cálculos que si se prescindiera de dicho hardware. Se vio además que se necesita de la colaboración de ciertos nodos con información relativa a su ubicación, estos nodos especiales sirven como referencia para realizar cálculos y aproximaciones.

Para tomar la decisión de utilizar algún sistema de localización en una MANET se debe tomar en cuenta si se cumplen los objetivos principales de tal implementación, así podríamos llenar la red de nodos con información de su ubicación pregrabada y utilizarlos como referencia para conocer la posición de cualquier nodo, no obstante el objetivo principal puede ser no necesariamente el conocer la posición del nodo en la red sino orientarlo a través de ella para acercarse lo mas posible a la ubicación de otro nodo, ese es nuestro caso de estudio.

La idea principal entonces del sistema guiado es indicarle al nodo ad hoc, que se encuentra dentro una red MANET, los movimientos que tiene que realizar desde su posición actual para poder llegar a otro punto en la red donde se encuentra un nodo al cual se desea alcanzar físicamente, este objetivo se debe poder lograr independientemente del tipo de nodos que se encuentren en la red o del número de ellos, podríamos entonces tratar en una red con decenas de nodos o con solo un par de ellos y realizar el mismo procedimiento. No se pretende modificar alguna red o esperar que se encuentren ciertas características adicionales a las propias de la red ad hoc para poder ejecutar el sistema guiado en ella. Cabe señalar que los sistemas del capítulo 1 no cumplen con nuestras expectativas, pero si proporcionan ciertos métodos útiles para desarrollar el sistema guía.

El sistema de guía permite pasar de lo general a lo particular, es decir para poder guiar un nodo "A" hacia la ubicación de un nodo "B" el cual se encuentra fuera del área de cobertura de "A", es necesario conocer la ruta que siguen los paquetes en general cuando hay una transmisión entre "A" y "B" por medio de uno de los protocolos de encaminamiento estudiados en el capítulo 1. En la figura 2.1 se ilustra este caso, "B" se encuentra fuera del área de cobertura de "A" pero los paquetes de "A" hacia "B" llegan por la ruta A-C-D-B. Entonces lo que tiene que hacer "A" es acercarse a los nodos que componen la ruta en ese orden, deberá guiarse por la señal de transmisión presente entre él y el nodo siguiente inmediato en la ruta, cada vez que se acerque a un nodo entrará en el área de cobertura del siguiente salto y se guiará por la nueva señal donde tendrá un nuevo destino momentáneo, cuando "A" se esté acercando al penúltimo nodo de la ruta, en este

caso "D" entrará en algún momento en la cobertura de su destino final "B" donde será guiado por la señal de éste último.

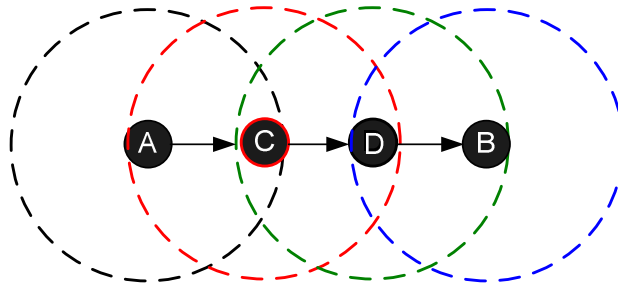


Figura 2.1. Los paquetes de A enviados a B pasan a través de C y D, ruta que deberá seguir A para llegar a B en el sistema guiado

Ahora el problema se reduce a resolver el caso particular. Dos nodos se encuentran conectados de manera inalámbrica formando una pequeña red ad hoc a cierta distancia, se desea que uno de ellos se acerque al otro tomando en cuenta que ninguno de los dos tiene su ubicación o puede tomar referencias de algún punto adicional como estaciones base o la ayuda de un receptor GPS que le permita hacer algún cálculo de dónde se encuentra, la única referencia que existe es la señal entre ambos dispositivos.

La señal en una comunicación inalámbrica como las que se establecen en las MANETs puede darnos mucha información de las condiciones del enlace. El nivel de ruido, la velocidad de transmisión, la atenuación y calidad de la señal son algunos parámetros que pueden ser conocidos y utilizados para diversos fines.

2.1 RSSI y calidad de la señal

El valor de RSSI en la señal inalámbrica se refiere a la fuerza con la que se recibe la señal en el nodo receptor, se hace referencia a este valor en la sección 14.5.5.8.2 del estándar 802.11b y versión g del mismo. RSSI debe ser un valor de magnitud de energía medido en la circuitería de la NIC (network interface card) inalámbrica y que debe asociarse a un valor comprendido en el rango de 0-255, pero el estándar no especifica cuantos valores deben utilizarse en el cálculo. Cada fabricante puede usar entonces la escala que desee, lo que ocasiona que algunas tarjetas sean más precisas (por utilizar una escala de mayor precisión) que otras, así algunos cambios mínimos en el valor de RSSI no suelen reflejarse en algunas tarjetas inalámbricas.

La calidad de la señal también está referida en el estándar 802.11 en distintas versiones, en la sección 15.4.5.11 de este estándar se especifica que el valor de calidad de la señal se debe obtener en la subcapa PMD y debe ser un valor de correlación entre el correcto flujo de datos (símbolos) enviados y el flujo de datos recibidos [20]. Durante la codificación en la capa física se combinan once bits aleatorios conocidos como "PN code" con cada bit de datos a transmitir, se utiliza una operación XOR, de tal manera que cada bit que representa un 1 estará codificado con una secuencia conocida de once bits y el valor de 0 será representado por el complemento de esos once bits.

El receptor debe conocer la secuencia de “PN code” que se utilizó para codificar la información y poder decodificarla. Cuando una secuencia de once bits no corresponde a un valor de codificación válido para un 1 o un 0, estamos hablando de errores ocurridos durante la transmisión y es posible calcular cuántos bits fueron alterados. La calidad de la señal hace referencia entonces a en que medida se está recibiendo correctamente la información. Para este trabajo de tesis nos referiremos a la calidad de la señal como un valor de porcentaje de información recibida correctamente.

2.2 Propuesta de guiado basada en RSSI

Medir la intensidad de la señal recibida (RSSI) entre los equipos es el principio básico de nuestro sistema propuesto, ya que este parámetro siempre estará presente en cualquier punto de la red MANET, sin importar el tipo de nodos que la compongan.

Como se comentó en el apartado de RSSI, si una fuente emite una señal con un nivel de potencia conocido y esta misma señal es recibida en otro punto con un nivel más bajo (atenuada), se puede tener un modelo de referencia del comportamiento de la señal. Existen varios modelos de propagación de la señal de radiofrecuencia que se aplican para diferentes condiciones de terreno existentes entre el transmisor y el receptor, éstos incluyen zonas rurales, urbanas, semi-urbanas, entre otras.

Desafortunadamente el comportamiento real de la potencia de recepción suele desviarse de lo calculado por dichos modelos de propagación, de ahí que se proponga en este trabajo tomar muestras en el área de cobertura entre dos nodos conectados y establecer un modelo de propagación empírico, el cual se describe a continuación.

2.2.1 Modelo de propagación empírico de RSSI

En el modelo de propagación empírico propuesto en este trabajo, se toman mediciones reales de la potencia de recepción entre dos nodos conectados de manera ad hoc en espacio abierto y en línea de vista considerando diferentes distancias como se muestra en la figura 2.2. La finalidad de tales mediciones es tener una relación entre potencia y distancia entre ambos nodos dentro de la zona de cobertura de ambos. El modelo empírico toma en cuenta las particularidades del escenario real, aunque siempre considerando una línea de vista entre ambos nodos por lo que seguramente algunos obstáculos presentes en otros escenarios donde sea utilizado este modelo pueden crear incertidumbre en las mediciones.

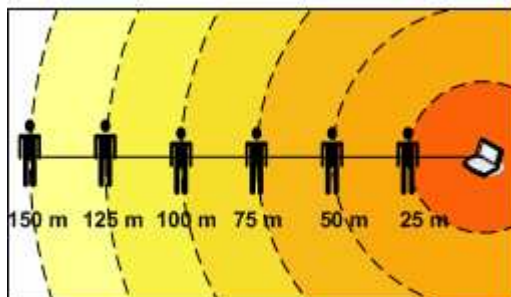


Figura 2.2.- Muestras de la señal en una conexión ad hoc

Para lograr una mejor precisión en el momento de calcular el error en los movimientos del sistema guiado se considera conveniente tomar muestras cada metro de distancia, esto permitirá formar una constelación mucho más completa en información que usar sólo unos cuantos valores, como consecuencia los cálculos en los movimientos serán más precisos.

Todos los equipos que cuentan con una interfaz inalámbrica 802.11 pueden tener una zona de transmisión en línea de vista de hasta 100 metros, más allá de esta distancia ya no se garantiza la transmisión correcta de la información debido a la alta tasa de errores en los paquetes, aun así después de los 100 metros y hasta los 150 metros la señal puede seguir siendo utilizada con fines de orientación debido a que mantiene un nivel bajo pero constante respecto a que se mantiene presente en el medio. Por la razón anterior la constelación de muestras de RSSI tomadas en el enlace ad hoc entre dos equipos será de 150 mediciones.

Con este modelo de propagación cada vez que se realice una medición de RSSI del nodo guiado al nodo destino en algún punto de la red se estimará una distancia entre ambos nodos. Dicha distancia será empleada por el método de “triangulación RSSI” que calcula la ruta a seguir por el nodo ad hoc el cual se está guiando en la red. El método de triangulación RSSI se describe a continuación:

2.2.2 Método de triangulación RSSI

Para poder determinar la dirección de movimiento a seguir por un nodo ad hoc con la finalidad de acercarlo a la ubicación de otro utilizando la señal RSSI que existe entre ellos es necesario realizar dos mediciones de atenuación de la señal en dos puntos diferentes del enlace separados por una distancia conocida, esta distancia se considera de 20 metros ya que en las mediciones del modelo de propagación empírico se observó que hasta esta distancia es posible diferenciar de manera significativa dos puntos distintos en la red usando RSSI.

Las mediciones hechas de RSSI en dos puntos distintos entre la fuente y el destino se relacionan con una distancia estimada por el modelo de propagación empírico obtenido con anterioridad. De esta manera tendremos dos distancias estimadas por RSSI y una conocida que es la que separa a los puntos donde se realizaron dichas mediciones. Como resultado tendremos un triángulo cuya longitud de sus lados es conocida y es posible calcular los ángulos entre sus vértices. Veamos lo anterior detalladamente con un ejemplo que se ilustra en la figura 2.3

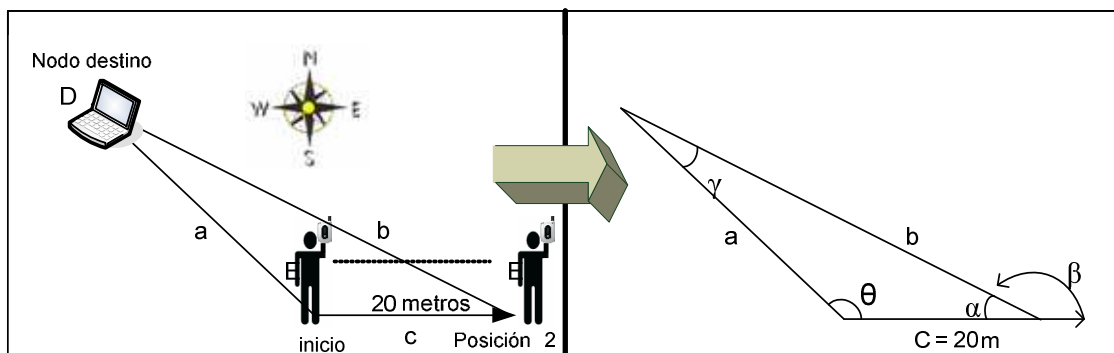


Figura 2.3.- Triangulación con RSSI en el sistema guiado

El caso particular de la figura 2.3 muestra un nodo ad hoc "E" que desea dirigirse a la ubicación del nodo "D" que se encuentra dentro del alcance de su señal. El primer paso es medir la señal de RSSI en el punto inicial (punto actual) del nodo "E" para estimar la distancia "a" que lo separa momentáneamente de su destino el nodo "D". Una vez estimada esta distancia se selecciona una dirección aleatoria o definida (según el algoritmo de guiado explicado mas adelante) y se avanza sobre ella 20 metros, en este ejemplo se seleccionó aleatoriamente el lado este, formando así el lado "c" del triángulo. Finalmente en la posición 2 se hace una segunda medición de la señal RSSI y se estima la longitud de un último lado "b" que es la distancia actual entre "D" y "E". El resultado es un triángulo formado donde el ángulo θ es el error en grados de nuestro movimiento, para encontrar la dirección correcta hacia "D" basta con calcular el ángulo β que está dado por la siguiente fórmula (2) empleando la ley de cosenos:

$$\beta = 180 - \alpha$$

$$\beta = 180 - \cos^{-1} \left[\frac{c^2 + b^2 - a^2}{2cb} \right] \dots\dots\dots(2)$$

2.2.3 Casos espejo

En el ejemplo de la figura 2.3 aún existe el problema de determinar el movimiento hacia "D", aun conociendo el valor del ángulo β . El problema se presenta porque el triángulo obtenido pudo haberse formado de más de una manera posible, tal y como se muestra en la figura 2.4.

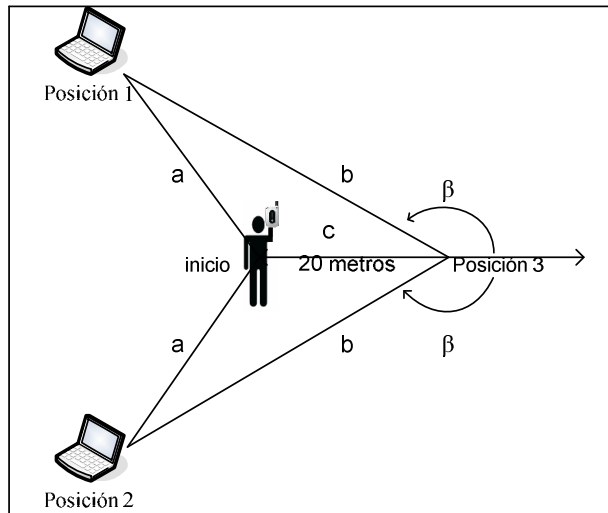


Figura 2.4.- Triángulos que originan el caso espejo

En la figura 2.4 se observa que el nodo destino puede tener la posición 1 o la posición 2, ambas posiciones tienen la misma distancia hacia el nodo móvil, por lo tanto la estimación inicial del lado "a" sería la misma en ambos casos. Inclusive en esta primera estimación, el destino puede estar ubicado en cualquier punto alrededor del nodo móvil y la estimación sería la misma siempre y cuando estos puntos se encuentren a una misma distancia con respecto al nodo móvil.

Siguiendo con la figura 2.4, cuando se estima la distancia “b”, después de que el nodo móvil recorrió el lado “c”, existe la posibilidad que los lados del triángulo formado puedan tener dos direcciones distintas, con excepción de “c” que sería común para los dos triángulos de la figura. El resultado es uno de los dos posibles triángulos de lados y ángulos iguales entre ellos y que presentan el mismo valor del ángulo β de corrección, la diferencia es que en uno de los triángulos el destino se encuentra girando hacia la izquierda y en el otro caso hacia la derecha, la duda sería hacia que dirección fueron formados los lados “a” y “b” y por lo tanto hacia donde girar β , ¿izquierda o derecha?. Denominando a éste problema el “caso espejo”.

Para resolver el problema del “caso espejo” seleccionamos izquierda o derecha de manera aleatoria estando en la posición 3 y giramos el ángulo β avanzando una distancia predefinida (20 metros). Se mide nuevamente la señal de RSSI después de avanzar la distancia predefinida y nuevamente se realiza el cálculo para encontrar ahora el nuevo ángulo de corrección ϵ . Se reitera que la distancia de 20 metros predefinida usada en estos ejemplos es debido a que en las pruebas de campo 10 y 15 metros no representaron una distancia suficiente para percibir de manera significativa los cambios en la señal de RSSI y estimar distancias diferentes entre dos puntos.

Esta nueva medición de RSSI y cálculo de ángulos de error y corrección nos indicará si nuestro movimiento a la derecha o izquierda en relación con el ángulo β anterior fue correcto o no ya que hemos formado nuevamente otro triángulo y un nuevo ángulo de corrección ϵ y podemos analizar dos casos:

Caso 1:

β es mayor a 90 grados. Cuando el ángulo de corrección β es mayor a 90 grados y se elige un movimiento hacia el caso espejo, el nuevo triángulo así formado indicará que nuestro nuevo error en grados es dos veces el valor de la diferencia entre 180° y β , es decir $(2 * (180 - \beta))$. Cuando este caso ocurra, el siguiente giro “ ϵ ” en grados, calculado con la fórmula 2, deberá hacerse hacia el mismo lado que la decisión anterior, es decir si se había girado a la izquierda deberá girarse también a la izquierda el valor calculado en grados.

Caso 2:

β esta entre 0-90 grados. Cuando el ángulo de corrección inicial β se encuentra entre 0-90 grados y se elige un movimiento hacia el caso espejo, el nuevo triángulo así formado indicará que el nuevo error es dos veces el valor de la corrección anterior. Cuando esta condición se cumple el siguiente giro “ ϵ ” en grados debe hacerse al lado contrario del espejo que la decisión anterior, es decir si se había girado a la izquierda y se presenta este caso deberá ahora girarse a la derecha el valor de ϵ en grados que se ha calculado con la fórmula 2.

Los casos 1 y 2 se muestran en la figura 2.5, el vértice 1 de cada triángulo es la posición de inicio de los nodos en movimiento de ambos casos que tratan de alcanzar la posición del nodo que se encuentra en el vértice “D”, cuando se avanzan 20 metros en dirección aleatoria se llega al vértice 2, en ambos casos se calcula el valor de corrección β pero se elige el caso espejo que lleva a cada nodo a la posición 3. Se calcula nuevamente una corrección en grados “ ϵ ” pero la decisión de izquierda o derecha depende de cada caso.

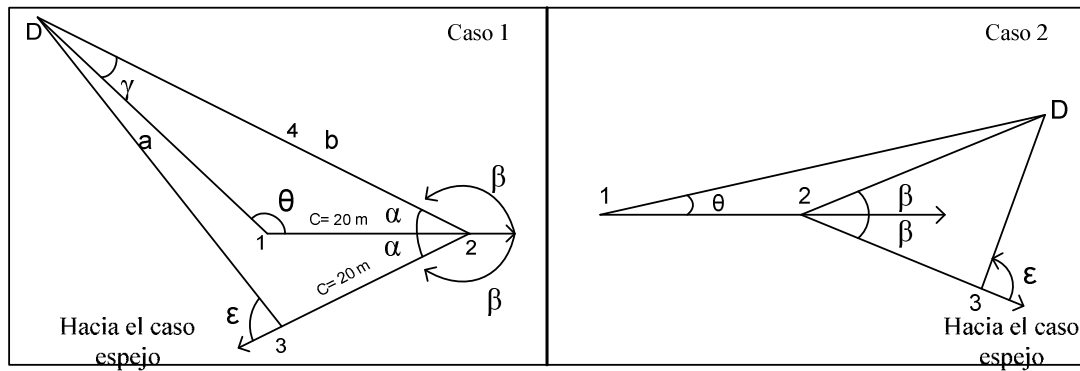


Figura 2.5.- Casos espejo en el sistema guiado

A continuación se describen los pasos del algoritmo de guiado basado en RSSI.

2.2.4 Algoritmo de guiado basado en RSSI

Los siguientes pasos serán realizados por el nodo ad hoc móvil que desea acercarse a la posición de otro nodo dentro de la red el cual se le llama destino.

- Inicio. Se mide la señal de RSSI hacia el destino y se estima una distancia con el modelo de propagación empírico. Con ello se forma el primer lado de un triángulo.
- Se selecciona una trayectoria en línea recta de manera aleatoria y se avanza un tiempo definido. Con ello se forma el segundo lado del triángulo
- Se mide la señal de RSSI hacia el destino y se estima una distancia con el modelo de propagación empírico. Para lograr esta estimación solo se relaciona el valor de RSSI con el valor en distancia correspondiente obtenido en la práctica. Se forma el tercer lado del triángulo y el primer lado del siguiente triángulo.
- Se encuentra el ángulo de error y corrección por medio del método de triangulación RSSI y se gira hacia ese punto.
- Se avanza un tiempo definido hacia la trayectoria calculada por el método de triangulación RSSI. Se forma el segundo lado del triángulo iniciado en el punto anterior.
- Se mide la señal de RSSI hacia el destino y se determinan casos espejo girando hacia el ángulo de corrección determinado. Se forma el tercer lado del triángulo iniciado en el paso "d".
- Se avanza un tiempo definido hacia la trayectoria calculada por el paso anterior.

Los tiempos predefinidos se establecen de manera que se pueda avanzar la distancia de 20 metros ya comentada. La trayectoria seguida después del paso "g" es la trayectoria en línea recta hacia el destino, si por alguna causa no es posible seguir esa trayectoria el algoritmo comienza con el nuevo punto de inicio del inciso "a" que será el punto donde se haya detenido el nodo ad hoc.

Ya hemos visto que el primer movimiento a realizar se debe hacer de manera aleatoria, caminando una distancia predefinida, la única condición que se pone en el sistema guía es que este movimiento no provoque el salirse de la zona de cobertura. Si se presentara el caso en el que el primer movimiento ocasione una atenuación muy alta que provoque una pérdida de comunicación y que por lo tanto imposibilite medir el valor de RSSI, es necesario regresar al punto de inicio y

seleccionar otro punto distinto que ahora pueda cumplir con las características mínimas de medición.

El algoritmo completo de esta propuesta se muestra en la figura 2.6

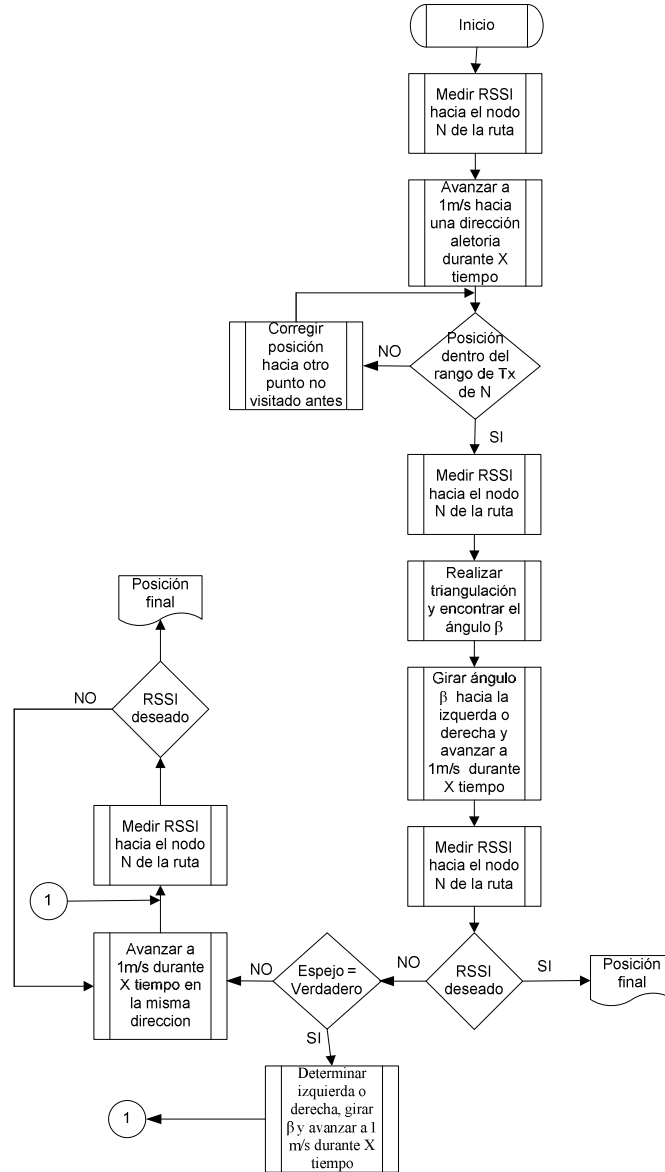


Figura 2.6.- Algoritmo de guiado basado en RSSI

El rango de cobertura del siguiente salto en la ruta puede ser encontrado para cualquier movimiento que realice el nodo siguiendo el algoritmo, aunque es más seguro encontrar este cambio cuando se sigue una ruta previamente calculada por la triangulación, cuando esto sucede se cambia el destino y se toma como referencia la nueva señal del enlace, en ese momento es necesario volver a formar el triángulo de orientación pero ahora el primer movimiento no se hace de manera aleatoria hacia este nuevo nodo, sino que se continúa con la misma dirección anterior ya que fue ésta la que permitió encontrar la nueva señal.

Cuando se ha realizado un movimiento precedido de un cálculo β y se determina que no existió un caso espejo deberá el nodo continuar con la misma trayectoria hasta encontrar el valor de RSSI que se desea si se trata del nodo final o esperar el cambio de la señal si nos dirigimos a un nodo intermedio.

El sistema propuesto basa su comportamiento en las mediciones de RSSI, desafortunadamente el modelo de propagación empírico suele tener ciertas deficiencias ocasionadas por distintos fenómenos que son imposibles de controlar en espacios abiertos y que afectan a la señal presentándose como atenuación.

Si tomamos varias muestras de RSSI en un mismo punto a una distancia "X", entre dos nodos, podremos comprobar la inestabilidad de la señal en ese punto al medir diferentes valores de RSSI. Al tomar otro bloque de muestras de RSSI en otro punto donde la distancia es distinta a "X", podemos ver una variación parecida al del punto anterior pero en otro rango de valores, lo anterior nos permite hacer la diferencia del punto en donde estamos ubicados y por consiguiente el guiado.

La figura 2.7 muestra las distintas mediciones de RSSI en un enlace ad hoc entre dos nodos durante 5 minutos. La separación entre cada distancia es de 20 metros.

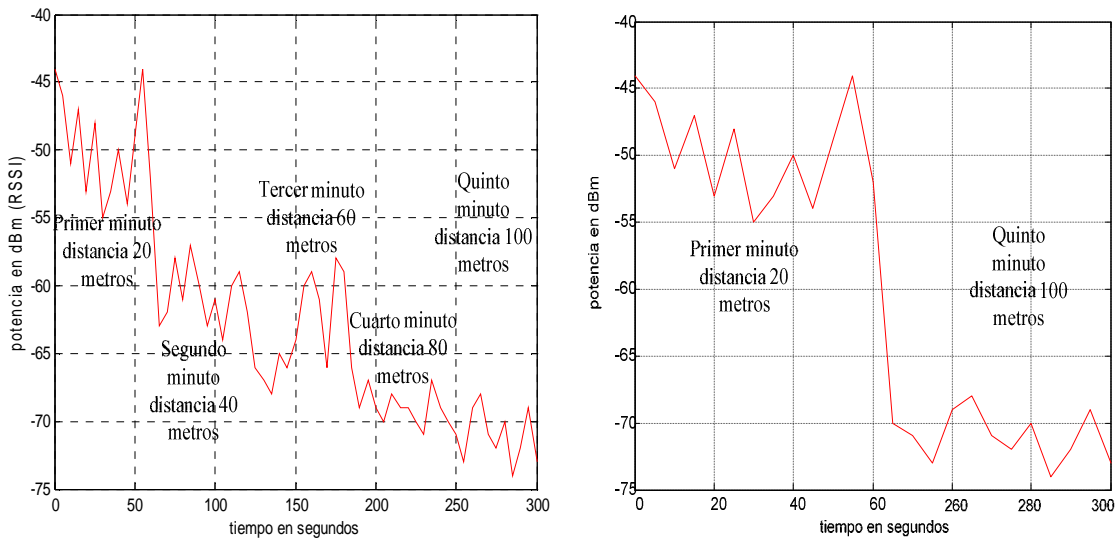


Figura 2.7.- Variación de RSSI entre dos nodos ad hoc a una distintas distancias

Los obstáculos pueden crear fenómenos que propicien una estimación equivocada por la medición de la señal. En la figura 2.8 se ubicaron 6 puntos en diferentes zonas de una conexión ad hoc todos con la misma distancia entre transmisor y receptor. Entre el transmisor y los puntos 1, 2, 5 y 6 existe un árbol que propicia un cambio en la señal. Un movimiento del punto 1 al punto al punto 3 mostraría que nos estamos acercando al transmisor cuando esa trayectoria nos alejara eventualmente.

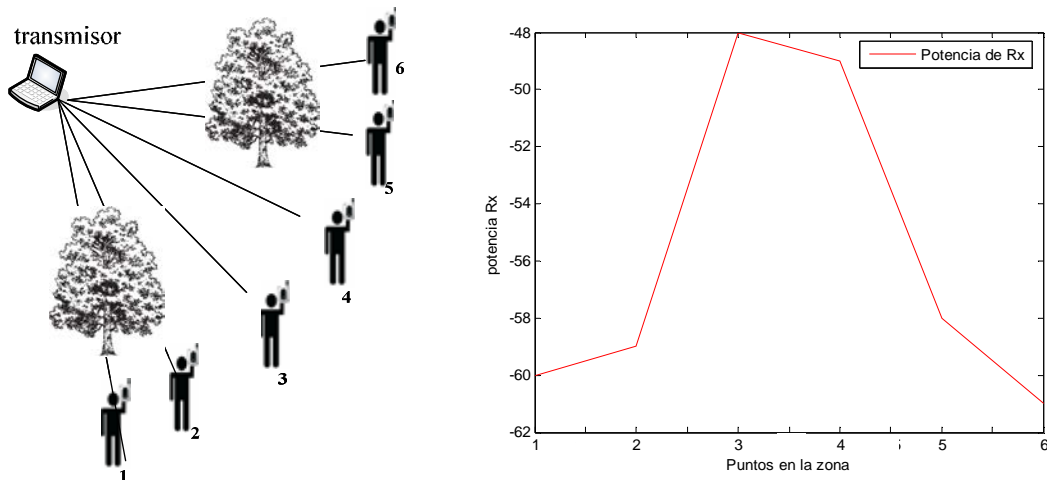


Figura 2.8.- Medición de RSSI en puntos con obstáculos y en línea de vista

Estos problemas se volverán a presentar en el capítulo 4 en donde se evalúa esta propuesta.

2.3 Propuesta de guiado basada en la calidad de la señal

Lo que se pretende en esta propuesta es enfocarnos a las condiciones reales del enlace para tomar decisiones de movimiento. Tendríamos que ser muy optimistas para pensar que nuestro enlace se comporte de la misma manera que lo planteado teóricamente.

La idea principal de esta propuesta de guiado es medir hacia qué dirección se incrementa la calidad del enlace, partiendo de el punto de inicio. Un objetivo principal por el cual se pretende guiar un nodo ad hoc a través de la red es para mejorar las condiciones de su enlace con respecto a otro nodo, más específicamente su velocidad de transmisión.

Aunque es posible medir un mayor número de velocidades y repartir el rango de cobertura de la señal entre ellas, la velocidad de transmisión sólo nos puede ayudar a ubicarnos en la red pero no a orientarnos. De esta manera el sistema guía podría cumplir su objetivo final antes de llegar a la posición donde se encuentra el nodo destino llevando al usuario a encontrar una mejor velocidad de transmisión, cuando éste es el objetivo, aún estando de por medio algunos metros entre ambos nodos.

Para poder guiar un nodo a través de la red MANET utilizando la calidad de la señal se forman vectores de desplazamiento en el área de guiado. La dirección de los vectores se define con base en las mediciones de señal de calidad en cada extremo del vector y la suma de ellas determina la trayectoria a seguir. Este procedimiento se explica a continuación.

2.3.1 Suma de vectores usando la calidad de la señal

Para poder realizar una suma vectorial es necesario tener un conjunto de vectores de los cuales se conozca su magnitud y su dirección. La forma de obtenerlos es a partir de formar una figura geométrica predefinida realizando algunos movimientos desde el punto de inicio y haciendo mediciones de calidad de la señal en distintos puntos. La unión de cada punto donde se hicieron las mediciones nos dará la figura requerida y los vectores. La comparación del valor de calidad de señal medido en cada uno de ellos nos dará la dirección de cada vector.

Una figura con muchos lados nos dará un conjunto mayor de vectores, sin embargo ya que requerimos situarnos en puntos diferentes y hacer mediciones en cada uno de ellos no resulta conveniente utilizar una figura de muchos lados por el tiempo que requiere desplazarse y hacer mediciones. Se sugiere entonces que la figura formada sea un triángulo equilátero por ser la figura geométrica con el menor número de lados y relativamente fácil de trazar con movimientos de una persona en un área determinada.

La figura 2.9 muestra un triángulo equilátero formado por la trayectoria de un nodo ad hoc desde un punto de inicio "A" en donde se hace una medición de calidad de señal hacia un nodo destino ubicado en algún punto lejano "X" del inicio, posteriormente avanzando en línea recta un tiempo predefinido para situarse en el punto "B" en donde se hace una segunda medición de calidad de señal hacia el destino. Para terminar de formar el triángulo solo se requiere un solo movimiento más que es girar 120° a la izquierda y avanzar en línea recta el mismo tiempo empleado para llegar de "A" a "B" y encontrar el tercer vértice que es el punto "C" donde finalmente se hace la tercera medición de calidad de señal hacia el destino.

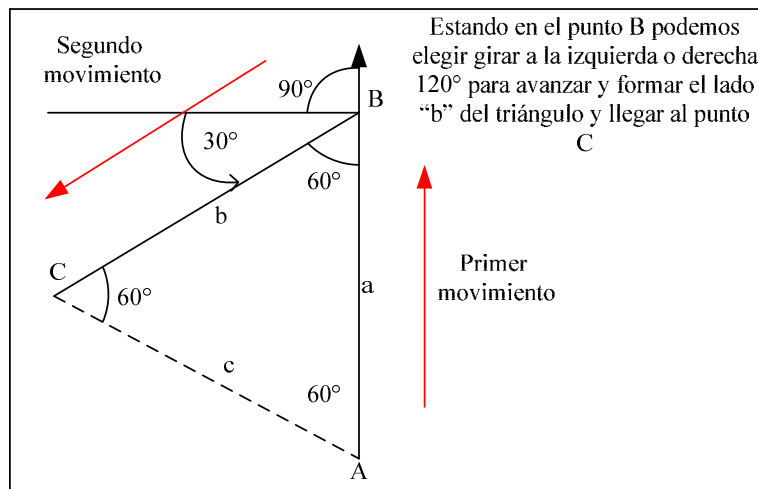


Figura 2.9.- Movimientos en el sistema guiado que forman un triángulo equilátero

Cuando un nodo ad hoc se encuentra en el punto "B" tiene dos alternativas para terminar el triángulo, girar 120° hacia la izquierda o derecha y avanzar en línea recta el mismo tiempo empleado para llegar de "A" a "B". Cualquiera que haya sido la decisión anterior nos situará en un punto "C" que será el tercer vértice del triángulo. En la figura 2.9 se seleccionó a manera de ejemplo el movimiento hacia la izquierda estando en el punto "B".

Con dos movimientos y tres mediciones de calidad de la señal en tres puntos distintos se tiene un triángulo equilátero virtual con en el área de cobertura de ambos nodos, los vectores de desplazamiento de este triángulo son las líneas rectas que unen cada punto con los demás y se considera que tienen una magnitud igual a la distancia que existe entre cada punto, su dirección está dada por la diferencia positiva de calidad de la señal medida en los extremos que componen a cada vector.

Para sumar los vectores sólo se toma en cuenta su dirección ya que la magnitud es la misma para todos los vectores tomando en cuenta que son parte de un triángulo equilátero y que se tienen las mismas distancias entre cada punto. Al sumar la dirección de los tres vectores que componen el triángulo dará como resultado la dirección en la que se encuentra el nodo destino.

La figura 2.10 muestra un ejemplo de un triángulo equilátero formado por la trayectoria de un nodo ad hoc partiendo del punto inicial "A", pasando por el punto "B" y llegando al punto "C". En cada punto se realizó una medición de la calidad de la señal con respecto al destino, ubicado en algún punto "X" dentro del área de cobertura. Las mediciones de calidad de la señal corresponden a 50% de calidad para el punto "A", 53% para el punto "B" y 55% para el punto "C".

Si se compara el valor de calidad del punto "A" (50%) con el de "B" (53%) se tiene una diferencia positiva en favor del punto "B", para fines del sistema guía esto significa que el desplazamiento del punto "A" hacia "B" tiene una dirección positiva en el vector formado entre éstos puntos (según el ejemplo). El mismo procedimiento anterior se realiza para obtener la dirección positiva de los vectores \vec{BC} y \vec{AC} comparando el valor de calidad medido entre los puntos "B", "C" y "A", "C" respectivamente.

En la figura 2.10 la orientación del nodo ad hoc, en el punto "C" después de formar el triángulo, esta dirigida hacia el suroeste antes de realizar cualquier movimiento de corrección. La suma obtenida de las direcciones de cada uno de los vectores, indica una corrección de orientación hacia el noroeste, para fines del sistema guiado esto es girar un ángulo de 60° (β) hacia la derecha, según este ejemplo.

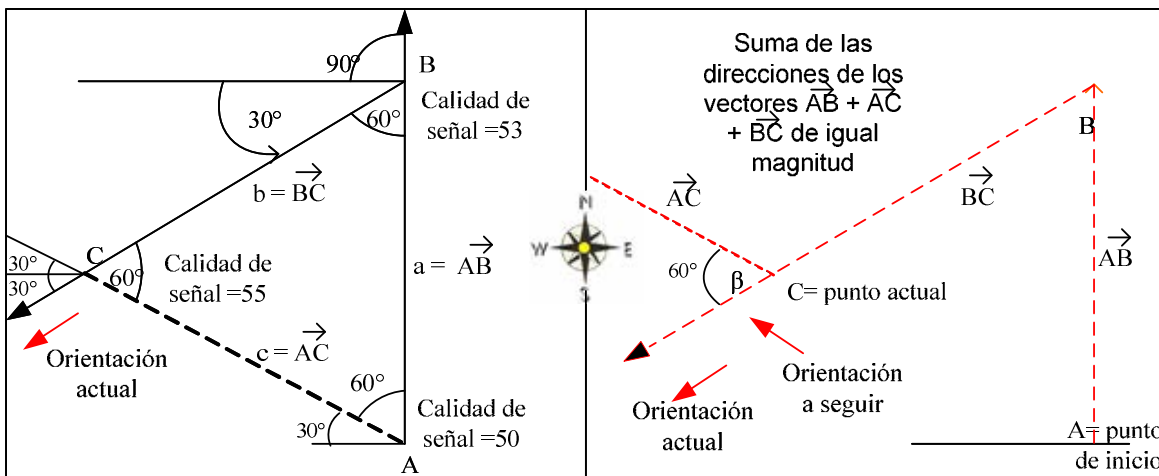


Figura 2.10.- Suma de dirección de vectores en el sistema propuesto de guiado basado en calidad de la señal

Lógicamente un valor distinto de calidad de señal medido entre cada punto podría cambiar el sentido positivo de cualquiera de los tres vectores y por lo tanto la suma de direcciones positivas entre ellos sería distinta. Se consideran 8 posibles casos donde se calcula el ángulo de corrección correspondiente a girar estando en el punto "C", si el triángulo se formó con un movimiento de 120° a la izquierda, y se consideran otros 8 posibles casos donde se calcula el ángulo de corrección correspondiente a girar estando en el punto "C", si el triángulo se formó con un movimiento de 120° a la derecha cuando el nodo guiado estaba en el punto "B". La tabla 3 muestra los 16 casos mencionados anteriormente.

Tabla 3.- 16 posibles casos de corrección de ángulo de trayectoria después de formar el triángulo de referencia con el sistema guiado basado en calidad de la señal

caso	Triángulo formado a la izquierda del punto "B"				Triángulo formado a la derecha del punto "B"				
	vector "a" sentido positivo de	vector "b" sentido positivo de	vector "c" sentido positivo de	Corrección en grados estando en el punto "C" según la suma de direcciones	caso	vector "a" sentido positivo de	vector "b" sentido positivo de	vector "c" sentido positivo de	Corrección en grados estando en el punto "C" según la suma de direcciones
1	A -----> B	A -----> B	A -----> B	60° a la derecha	9	A -----> B	A -----> B	A -----> B	60° a la izquierda
2	A -----> B	A -----> B	B -----> A	120° a la izquierda	10	A -----> B	A -----> B	B -----> A	120° a la derecha
3	A -----> B	B -----> A	A -----> B	150° a la derecha	11	A -----> B	B -----> A	A -----> B	150° a la izquierda
4	A -----> B	B -----> A	B -----> A	150° a la izquierda	12	A -----> B	B -----> A	B -----> A	150° a la derecha
5	B -----> A	A -----> B	A -----> B	30° a la izquierda	13	B -----> A	A -----> B	A -----> B	30° a la derecha
6	B -----> A	A -----> B	B -----> A	80° a la izquierda	14	B -----> A	A -----> B	B -----> A	80° a la derecha
7	B -----> A	B -----> A	A -----> B	120° a la izquierda	15	B -----> A	B -----> A	A -----> B	120° a la derecha
8	B -----> A	B -----> A	B -----> A	120° a la izquierda	16	B -----> A	B -----> A	B -----> A	120° a la derecha

Cuando en dos puntos extremos que forman un vector se tiene el mismo valor de calidad medido, se considera que el vector tiene un sentido hacia donde se ubique el segundo punto donde se haya hecho la medición.

Aunque muy posiblemente la trayectoria tomada después de la suma vectorial sea la correcta, es recomendable seguir haciendo mediciones que ratifiquen o corrijan la dirección. Como ya se ha comentado algunas situaciones propias de la zona u obstáculos momentáneos entre ambos nodos pueden haber propiciado malas lecturas de la calidad de la señal. Se decide entonces avanzar en dirección a la suma vectorial durante un tiempo establecido y volver a realizar una medición, dependiendo del valor obtenido en este nuevo punto se determina el siguiente movimiento bajo ciertas condiciones.

En este trabajo de tesis llamaremos "criterios de movimiento usando calidad de la señal" a las condiciones que determinan un movimiento después de comparar dos puntos consecutivos donde se hicieron mediciones de calidad de la señal, dichos criterios forman parte del algoritmo de guiado explicado más adelante.

2.3.2 Criterios de movimiento usando la calidad de la señal

El movimiento que debe realizar un nodo cuando se compara el valor de la calidad actual contra el valor de la calidad del punto anterior inmediato es:

- El de continuar en la misma dirección durante un tiempo predefinido si la calidad del punto actual es mayor a la del punto anterior inmediato.
- El girar de manera aleatoria hacia la izquierda o derecha 45° y avanzar en línea recta durante un tiempo predefinido si la calidad del punto actual es la misma que la del punto anterior inmediato.
- El girar de manera aleatoria hacia la izquierda o derecha 120° y avanzar en línea recta durante un tiempo predefinido si la calidad del punto actual es menor a la calidad del punto anterior inmediato.

Cuando el criterio "c" se cumple se forma nuevamente un triángulo rectángulo en alguno de los dos sentidos como el de la figura 2.9, entonces el siguiente movimiento estará dado por la suma vectorial de este nuevo triángulo. La figura 2.11 ilustra los criterios de movimiento a seguir comparando los valores de calidad de la señal medida entre dos puntos consecutivos.

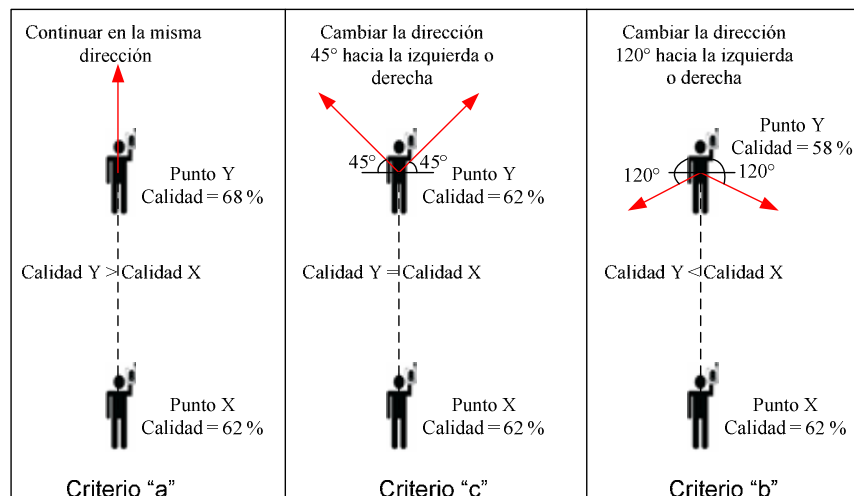


Figura 2.11.- Criterios de movimiento usando la calidad de la señal

2.3.3 Algoritmo de guiado basado en la calidad de la señal

Los siguientes pasos dentro de la red serán realizados por el nodo ad hoc móvil que desea acercarse a la posición de otro nodo el cual se llama destino dentro de la red.

- Inicial. Formar un triángulo equilátero con el método suma de vectores usando la calidad de la señal.
- Girar el ángulo de corrección encontrado en el paso anterior y avanzar un tiempo predefinido en la dirección indicada.

- c) Utilizar los criterios de movimiento usando la calidad de la señal y encontrar el ángulo de corrección.
- d) Girar el ángulo de corrección determinado en el paso "c" y avanzar un tiempo predefinido en la dirección indicada.
- e) Si en el punto c se seleccionó el criterio "a" o "b" se continúa a partir del punto "d", si se seleccionó el criterio "c" se vuelve a inicial el algoritmo.

Los tiempos predefinidos que se establecen para que una persona (nodo) avance y se vuelva a medir la calidad de la señal, considerando que se ha llegado a un nuevo punto, se definen en el capítulo 3, donde se describe la implementación del sistema. Estos tiempos dependerán de la velocidad a la que decida la persona moverse tomando en cuenta que se desea que entre cada punto de medición debe existir una distancia de 20 metros, al igual que RSSI con esa distancia es posible notar un cambio importante en la señal entre dos puntos.

Al igual que para RSSI se tomaron mediciones en varios puntos distintos del área de cobertura de dos nodos en un enlace ad hoc entre ellos, pero ahora se midió la calidad de la señal. La variación de tales mediciones también se ve reflejada en ambos puntos pero al igual que para RSSI dichas variaciones mantienen un margen diferente lo que permite diferenciar distintos puntos en la red midiendo la calidad de la señal. La figura 2.12 muestra tal fenómeno.

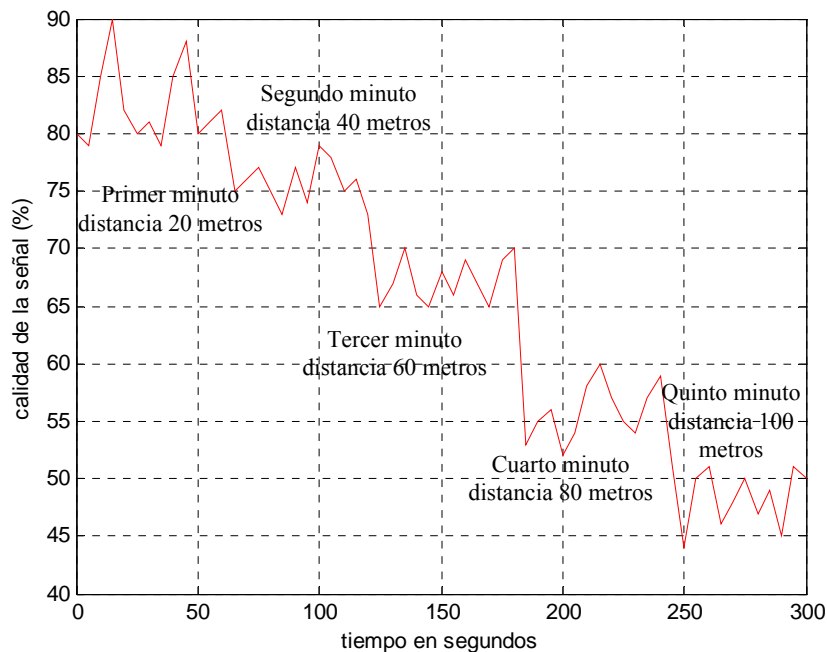


Figura 2.12.- Variación de la calidad de la señal entre dos nodos ad hoc a diferentes distancias

El diagrama de flujo del algoritmo de guiado basado en calidad de la señal se muestra en la figura 2.13.

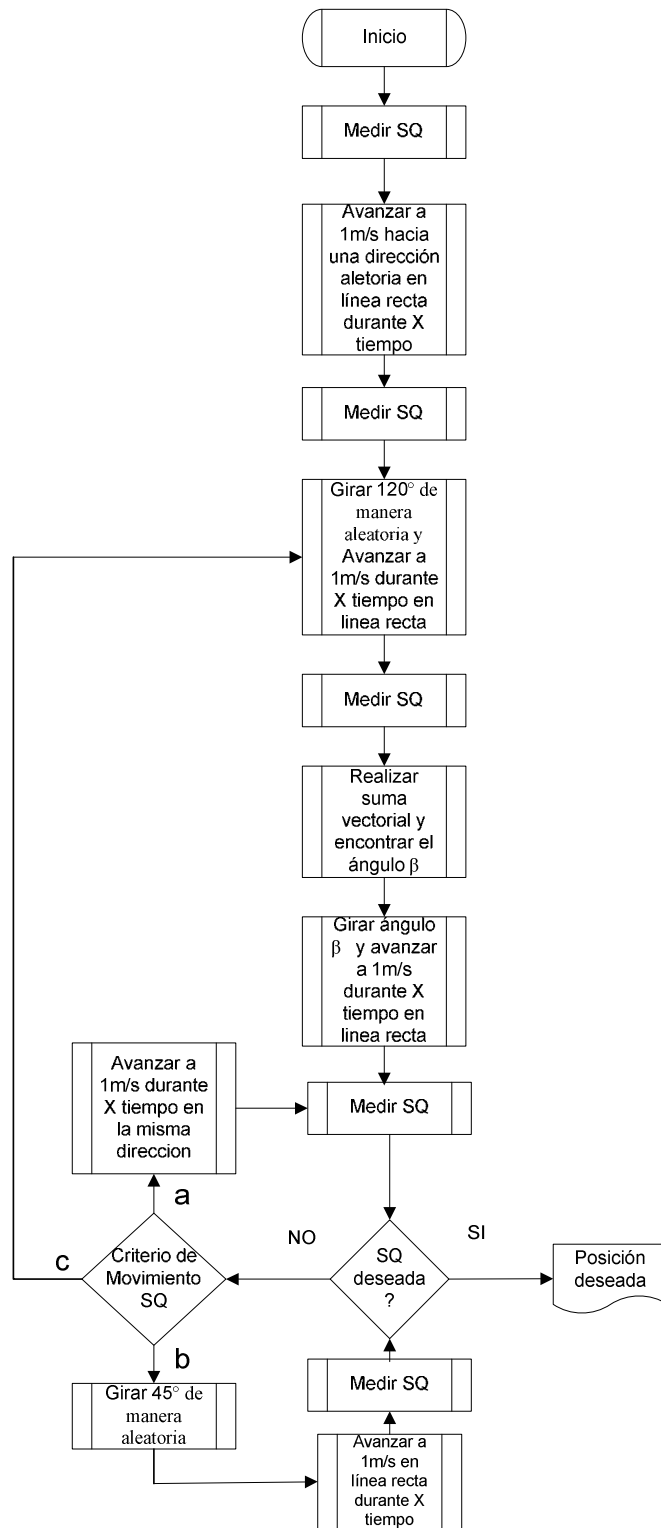


Figura 2.13.- Diagrama de flujo del algoritmo de guiado basado en la calidad de la señal

El diagrama anterior encuentra su fin cuando la calidad de la señal es la adecuada según el objetivo por el cual un nodo desea cambiar su posición dentro de la red MANET. Dicho objetivo puede ser producir una mejora en la velocidad de transmisión, un cambio en la señal del nodo destino encontrando el siguiente salto en la ruta, estimar una distancia dada por RSSI hacia el destino deseado, entre otras.

2.4 Conclusiones del capítulo

La velocidad de transmisión en una red ad hoc puede mantenerse sin cambios en rangos de distancia más amplios que la RSSI o señal de calidad. En la primera versión de 802.11 sólo se manejaban velocidades de 1 y 2 Mbps, sin embargo se tienen 12 velocidades en el estándar 802.11g (1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps). Mejorar la velocidad puede ser un criterio para determinar el fin de un algoritmo de guiado.

Cuando sólo se tiene como referencia la señal de un solo punto es muy difícil establecer hacia que dirección se encuentra nuestro nodo vecino. Recordamos que en la práctica se presentan variaciones de la señal en el mismo punto como lo mostrado en la figura 2.6 y 2.7. Por lo anterior en esta propuesta se mantiene la postura de seleccionar una dirección al azar para realizar nuestro primer movimiento.

La forma de medir los valores de RSSI y el de calidad de la señal en los chips de cada tarjeta inalámbrica no ha sido estandarizada por el 802.11 lo que ocasiona irregularidades en las mediciones.

3

Capítulo

Implementación del sistema guía

El sistema guía basa sus resultados en realizar mediciones precisas de las señales de RSSI y calidad de la señal. Existe una gran cantidad de herramientas de software que ofrecen diversa información de la red MANET, algunas de ellas pueden informar acerca del tráfico en la red, acerca de configuraciones, claves de cifrado, niveles de ruido y características de la señal. La información presentada en una interfaz gráfica es de poca utilidad ya que se necesitan filtrar únicamente los valores de RSSI y SQ, según el caso, para que estos sean los valores de entrada del sistema.

Linux Wireless Extension y *Wireless Tools* [21] conforman un proyecto de software libre patrocinado por Hewlett Packard desde 1996 y construido con la colaboración de muchos usuarios de Linux alrededor del mundo. *Wireless Tools* interactúa con el driver wireless del dispositivo para informar estadísticas específicas de la conexión. La forma en que presenta los resultados *Wireless Tools* es en la línea de comandos de Linux lo que nos permite introducir comandos de filtrado en su salida y que muestre únicamente los valores de los parámetros requeridos.

Una de las ideas principales de la implementación y del sistema guía en general, es poder realizarlo con herramientas adecuadas libres de costo, es por ello que en este trabajo se seleccionó la plataforma Linux con la herramienta *Wireless Tools*. Para la implementación del sistema se instaló Linux Ubuntu versión 6.06 con versión de Kernel 2.6.15-23-386 en una laptop Toshiba Tecra A5 con tarjeta de red inalámbrica interna Intel(R) PRO/Wireless 2200BG Netw. Las versiones de Linux y Kernel fueron las mencionadas ya que no presentaron ningún problema con algún dispositivo de la máquina. La versión de *Wireless Tools* utilizada es la 27+28 pre13-1Ubuntu2.

La plataforma de desarrollo para implementar el sistema es Java. Actualmente varios dispositivos inalámbricos han logrado cargar dentro de su sistema alguna versión de la máquina virtual y correr ciertas aplicaciones desarrolladas en ese lenguaje. La versión utilizada es JDK 1_5_0_11.

Mencionaremos brevemente la forma en que se interactuó con el sistema operativo Linux Ubuntu para poder realizar las mediciones correspondientes de RSSI y calidad de la señal y mantenerlas como entradas principales de nuestro sistema guía independientemente de la propuesta seleccionada.

3.1 Interacción con Linux (Ubuntu)

La forma en que se ejecuta Wireless Tools en Linux es aplicando un comando tras abrir una sesión del shell donde éste interpretado. Wireless Tools posee un conjunto de instrucciones como: iwconfig, iwlist, iwspy, iwpriv e ifrename, cada una de ellas proporciona información de la interfaz wireless reconocida y asociada a un puerto por el sistema operativo.

El comando que nos interesa dentro de Wireless Tools es “iwconfig” ya que muestra información actual del enlace. Dentro de sus opciones iwconfig permite cambiar el modo de funcionamiento de la interfaz inalámbrica ya sea en modo ad hoc o Manager (Infraestructura). La figura 3.1 muestra la salida del comando “iwconfig” en la terminal de Linux.

```
marco@toshiba:~$ iwconfig eth0
eth0      IEEE 802.11g  ESSID:"guiado"
          Mode:Ad-Hoc  Frequency:2.462 GHz  Cell: 02:19:D2:00:01:C3
          Bit Rate=54 Mb/s  Tx-Power=20 dBm  Sensitivity=8/0
          Retry limit:7  RTS thr:off  Fragment thr:off
          Power Management:off
          Link Quality=59/100  Signal level=-67 dBm  Noise level=-256 dBm
          Rx invalid nwid:0  Rx invalid crypt:0  Rx invalid frag:0
          Tx excessive retries:0  Invalid misc:0  Missed beacon:0
```

Figura 3.1.- Salida del comando iwconfig

/Proc de Linux es un pseudo sistema de archivos y estadísticas que suministran información sobre el sistema actual. Estas entradas funcionan como archivos así que con el comando “cat” Wireless Tools obtiene la información necesaria. / Proc / net / wireless, está diseñado para dar a algunas estadísticas inalámbricas específicas sobre la interfaz inalámbrica en el sistema de donde se obtienen los parámetros requeridos.

En la figura 3.1 se muestra la ejecución del comando “iwconfig” en donde la laptop tiene asignado el puerto “eth0” para referirse a la interfaz inalámbrica. Podemos ver que en la información proporcionada por el comando “iwconfig” está incluido el valor de RSSI antecedido por la leyenda “Signal level” y el valor de la calidad de señal antecedido por la leyenda “Link Quality”, valores que necesita la aplicación que implementa el sistema guía para determinar los movimientos del nodo.

Una vez seleccionada la herramienta de medición y la plataforma de desarrollo necesitamos filtrar la información actualizándola cuando sea requerida, para esto colocamos un filtro a la salida del comando “iwconfig” que nos permita obtener sólo el valor deseado. Para obtener el valor de 59 que corresponde a la calidad del enlace en la figura 3.1 colocamos el siguiente filtro:

```
marco@toshiba:~$ iwconfig eth0 |grep level | awk -F" " '{ $2~/[[:print:]]$2 }' | sed -r s/Quality=//g | sed -r s/...$/g
```

Todas las veces que esta instrucción sea ejecutada arrojará como resultado el valor de la calidad de la señal actualizado. Para poder acceder a este valor desde la aplicación deberemos guardar dicho valor en un archivo y mandar leer el archivo desde la aplicación. De esta forma cada

vez que la aplicación necesite conocer el valor de calidad de la señal deberá ejecutar una instrucción que corra el comando anterior en el sistema y después leer el archivo donde se haya almacenado la salida del comando. La primera instrucción es lo que se conoce como llamada al sistema.

Para que la aplicación en Java pueda hacer la llamada al sistema y que ejecutar el comando de Wireless Tools seguido del filtro se debe crear un programa de shell donde se le den las instrucciones, de esta manera solo pasaremos a Java el programa de shell y no el conjunto de instrucciones pipeline. El script que al ejecutarse guarda el valor de la potencia de recepción de la señal en el archivo “pow.txt” tiene por nombre “Shellpotencia.bash” y cuyo contenido son las siguientes líneas:

```
#!/bin/bash
iwconfig eth0 |grep level | awk -F" " '$4~//{print $4}' | sed -r
s/level=//g | sed -r s/level://g> pow.txt
```

Podemos comprobar que el programa funciona tecleando en la línea de comandos de una sesión de shell el nombre de el archivo utilizado después del prompt de la siguiente manera: > ./shellpotencia.bash. El resultado no lo apreciamos de momento puesto que el valor de la lectura se ha almacenado en el archivo “pow.txt”, comprobando el contenido de este archivo con cualquier editor de textos veremos un número que corresponde a la potencia de recepción medida en ese momento. El programa para obtener la medición de calidad es muy similar al de la potencia debido a que ambas cantidades se encuentran en la misma línea que genera iwconfig, llamaremos a este archivo “shellcalidad.bash” y guardaremos el valor medido en el archivo “qual.txt”.

Ejecutando los programas obtenemos los valores de RSSI y calidad de la señal y los almacenamos en dos archivos de texto, cuando los scripts se ejecuten repetidamente los nuevos valores se actualizaran en los archivos de texto sobrescribiendo sobre el valor anterior. Ahora se describe la implementación en Java utilizando como entradas los archivos shellpotencia.bash, shellcalidad.bash, pow.txt y qual.txt.

3.2 Desarrollo del sistema en el lenguaje Java

Para la implementación del sistema guía se desarrolló una clase principal llamada “SistemaGuia.class” la cual contiene los atributos necesarios para presentar una interfaz gráfica al usuario la cual se describirá a detalle más adelante. La segunda clase llamada “Guiado.class” contiene los métodos necesarios para calcular los movimientos y reflejarlos en las variables que componen la interfaz gráfica. La representación en UML quedaría como se muestra en la figura 3.2

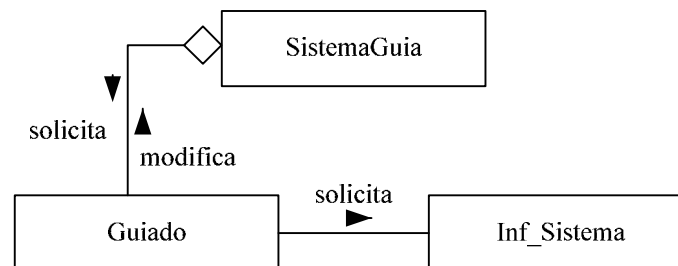


Figura 3.2.- Diagrama de asociaciones entre clases del sistema guía

La asociación de clases podríamos explicarla como si un objeto de tipo “Guiado” se moviera sobre un escenario formado por la clase principal SistemaGuia. El escenario le pide que determine su movimiento para poder reflejarlo de forma gráfica, el objeto Guiado utiliza una subclase que le permita interactuar con el dispositivo para realizar los cálculos de su movimiento.

Los métodos que determinan el valor de RSSI y calidad de la señal en un punto específico se llaman: `potenciamedia` y `calidadmedia`, ambos devuelven un valor entero. Ambos métodos son prácticamente iguales la diferencia es que uno ejecuta el archivo `shellpotencia.bash` y el otro `shellcalidad.bash`, de igual manera los archivos leídos en cada método son los que corresponden al valor guardado `pow.txt` y `qual.txt`. A continuación se explica el método `calidadmedia`.

3.2.1 Método para obtener el valor de RSSI o la calidad de la señal en un punto, implementado en Java

Se utiliza la misma forma para calcular cualquiera de los dos valores en la señal, RSSI o calidad de la señal, por lo que solo se explicará el método para calcular uno de ellos.

Debido a las irregularidades que presentan las señales en el medio, no consideramos conveniente hacer solo una medición en un punto. Para tener un margen de error menor se considera tomar el valor de la media aritmética en el mismo punto. El número de muestras para calcular la media será determinado cuando la desviación estándar tenga un valor máximo de 3. Es posible que la situación anterior se logre con unos cuantos valores por lo se especifica la condición de que por lo menos sean leídos 10 valores. Un posible inconveniente es que el valor de la desviación estándar no logre llegar a 3 en un tiempo razonable y que el usuario utilice mucho tiempo para determinar el valor de la calidad en un punto, por lo tanto se establece la condición de que no sean más de 50 mediciones en cada punto.

La razón para emplear el valor de la desviación estándar igual a 3 como condición de salida es debido a que en la práctica se observó que esta condición se cumple en un 80% de los casos cuando las mediciones se realizan a distancias mayores a 70 metros entre los nodos donde la variación es menor y las mediciones cambian en promedio tres valores arriba o abajo del valor medio. Por otro lado cuando la variación de la señal es en un margen mayor, situación que ocurre a distancias más cortas entre 1 y 70 metros entre nodos, la condición de salida se cumple cuando el número de mediciones llega a 50, cantidad que se consideró como suficiente número de muestras para determinar un valor de calidad de señal en ese punto. Esta condición de salida se cumplió el 80% de los casos donde la distancia entre nodos se estimaba entre 1 y 70 metros.

Para poder hacer mediciones más rápidas en cada punto se generan dos variables que guardan programas similares para ser ejecutados, la sentencia para estas variables se muestra a continuación en donde se especifica la ruta de los archivos shell:


```
String calidad1 = "/home/marco/shellcalidad1.bash";
String calidad2 = "/home/marco/shellcalidad2.bash";
```

La condición de salida del programa esta dada por:

```
while ((iteracion < 5) || ((ds4 > 3) && (flag < 50))) {
```

El método no terminará antes de las 5 iteraciones, en cada iteración se toman dos muestras de la señal para hacer un mínimo de 10, si después de estas 10 la desviación estándar (ds4) es mayor a 3 se siguen haciendo mediciones hasta que esta tenga un valor menor a 3 o el número de mediciones determinado por una bandera sea igual a 50. El resto del código es el siguiente donde cada variable fue declarada antes con un valor de 0.

```
try{ Runtime.getRuntime().exec(calidad1);
while (a < 2000000000) { a = a+1;}
Runtime.getRuntime().exec(calidad2);
while (c < 2000000000) { c = c+1;}
valorcadena1 = Leer.result1(); valorcadena2 = Leer.result2();
flag = flag +2;
entero1 = Integer.parseInt(valorcadena1);
entero2 = Integer.parseInt(valorcadena2);
m1 = entero1 + entero2 + m1;
m = m1/flag;
m3 = (int) m;
doble1i = ((entero1 - m3)*(entero1 - m3));
doble2i = ((entero2 - m3)*(entero2 - m3));
ds2= doble1i + doble2i + ds2;
ds = ds2/(flag - 1);
ds3 = (double) ds;
ds4 = Math.sqrt(ds3);
iteracion = iteracion + 1;}
catch (IOException e){}}
return m3;
```

La sentencia “Runtime.getRuntime().exec(calidad1);” permite hacer la llamada al sistema y ejecutar el script previamente cargado en la variable “calidad1”. Cada programa de shell ha guardado la salida de Wireless Tools en archivos diferentes, estos archivos de texto son qual_1.txt y qual_2.txt., en el código se mandan llamar dos métodos que hacen la lectura de los archivos de texto por separado y almacenan lo leído en las variables tipo string valorcadena1 y valorcadena2 respectivamente para posteriormente convertir estos valores a tipo entero y poder hacer uso de ellos como tales en el resto del código. El valor que regresa este método es el promedio de tipo entero de todas las mediciones de calidad hechas en este punto.

Para leer el valor almacenado en el archivo de texto qual_1.txt o qual_2.txt se crearon los métodos “result1 y result2”. El siguiente código corresponde a cualquiera de ellos con el único cambio en la asignación del archivo qual_1.txt o qual_2.txt a la variable “arch”.

```
public static String result1() throws IOException {
String arch = "qual_1.txt";
String linea;
//Creación del lector de archivo
```

```

FileReader fr = new FileReader (arch);
    //Para manejo de entrada;
BufferedReader entArch = new BufferedReader (fr);
    //Se lee la linea
linea = entArch.readLine ();
entArch.close ();
return linea;}

```

Otros métodos importantes para el sistema guía es cómo se determina el movimiento una vez obtenidos los valores de RSSI o calidad de la señal en los puntos requeridos.

3.2.2 Método para determinar el movimiento usando triangulación en RSSI, implementado en Java

El método descrito en la sección 2.1.1.1 podría tener algunos problemas en el momento de calcular los ángulos de error y corrección debido a las irregularidades de la señal, aun implementado el método anterior, un error de un solo metro de diferencia entre lo medido y lo esperado podría ocasionar una confusión. Veamos el siguiente caso:

Suponemos que hemos utilizado el método de la triangulación y tenemos un triángulo virtual formado por nuestra trayectoria como el que se ve en la figura 3.3.

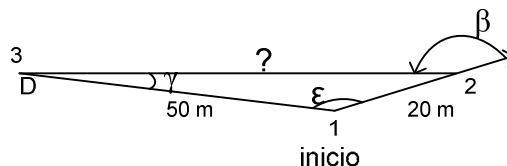


Figura 3.3.- Caso de posible error en el cálculo de los ángulos de corrección y error utilizando triangulación con RSSI

En el caso de la figura 3.3 hemos avanzado de nuestra posición de inicio "1" de manera aleatoria a la posición "2" y así se forma un triángulo con respecto al nodo destino ubicado en la posición 3. Notamos en la figura 3.3 que nuestra trayectoria casi fue de 180° equivocada, conocemos la distancia entre los puntos 1 y 3 proporcionada por una medición de RSSI en el punto 1 (50 metros para este ejemplo), inmediatamente conocemos la distancia entre 1 y 2 puesto que el tiempo de trayectoria estaba predefinido para avanzar 20 metros, siguiendo esta lógica se esperaría medir un valor menor pero cercano a los 70 metros entre 3 y 2 puesto que nuestro error casi fue de 180°. Que pasaría si al medir el RSSI entre 2 y 3 se estima una distancia de 71 metros o más. Nuestro algoritmo caería en un error al no poder calcular Java el arco seno de un valor mayor a 1, como se propone en la fórmula (2) de la sección 2.1.1.2., además resulta ilógico que estando a 50 metros del destino y avanzamos 20 metros, hacia un lado aleatorio, por muy equivocado que haya sido el movimiento no podemos quedar a más de 70 metros.

La manera de resolver el problema anterior es teniendo una constelación de mediciones de RSSI pregrabada con su correspondencia en ángulos de error y corrección previamente calculados. La tabla 4 es un ejemplo donde la distancia del nodo ad hoc en el punto inicial hacia el nodo destino son 100 metros, (estimada por el modelo de propagación empírico descrito en la sección 2.1.1.1.), si

después de esta primera medición el nodo ad hoc avanza una distancia de 20 metros (como lo indica la tabla 3) y se vuelve a estimar el valor de la distancia en este nuevo punto podemos saber de inmediato los valores de los ángulos de error y corrección si previamente se calcularon con la fórmula (2) de la sección 2.1.1.2.

Si sustituimos los valores de $a = 100$, $b = 10$ y $c = 95$ en la fórmula (2) tenemos:

$$\beta = 180 - \cos^{-1} \left[\frac{95^2 + 10^2 - 100^2}{2(10)(95)} \right]$$

$$\beta = 180 - \cos^{-1} \left[-0.4605 \right]$$

$$\beta = 180 - 117 = 63$$

Este valor es el que corresponde al penúltimo renglón de la tabla 4 donde el ángulo de corrección es de 63 grados cuando se estimó una segunda distancia de 95 metros hacia el destino después de moverse 20 metros del punto inicial que estaba a 100 metros del destino.

Tabla 4.- Ángulos de corrección que debe girar un nodo móvil después de tener una distancia inicial de 100 metros respecto a su destino y haber avanzado 20 metros

Distancia inicial de 100 metros hacia el destino					
Avanzar 20 metros					
grados error	Distancia Actual	corrección	grados error	Distancia Actual	corrección
1	80.0038075	1.2499762	51	88.7846746	61.0823294
2	80.0152279	2.49980967	52	89.0918296	62.1891607
3	80.0342543	3.74935787	53	89.4021247	63.2918008
4	80.0608756	4.99847867	54	89.7154334	64.3902518
5	80.0950761	6.24703059	55	90.0316292	65.4845183
6	80.1368356	7.49487293	56	90.350586	66.574607
7	80.1861297	8.74186602	57	90.672178	67.660527
8	80.2429294	9.98787142	58	90.9962798	68.7422892
9	80.3072017	11.2327521	59	91.3227666	69.8199067

Como en el ejemplo de la tabla 4 podemos precalcular todos los ángulos de corrección para todos los casos de distancias de inicio posibles y agregar los casos posibles de error, como el descrito al principio de esta sección, es decir si tenemos una distancia inicial de 100 metros, avanzamos 20 y medimos en el siguiente punto 130 o más se trata obviamente de un error en la estimación de la distancia, aquí es donde condicionamos que si medimos una distancia mayor a 120 el ángulo de corrección será de 180.

En el código de este método comparamos las distancias inicial y final estimadas y devolvemos un valor codificado que refleja un cambio en la interfaz gráfica indicando el movimiento a realizar. Las siguientes líneas de código comparan la RSSI de inicio con la final para un caso específico y regresan un valor "r" que será interpretado por la interfaz gráfica para dibujar el movimiento.

```
// "w" es la variable que almacena la distancia inicial estimada por RSSI
// "z" es la variable que almacena la distancia actual estimada por RSSI

if (w == 11){          // 11 metros equivalente a -45 dBm
switch (z){
case 0: r =0; break; case 1: r =0; break; case 2: r=10; break;
case 3: r =9; break; case 4: r=12; break; case 5: r=12; break;
case 6: r=13; break; case 7: r=14; break; case 8: r=14; break;
case 9: r =14;break; case 10:r =15;break; case 11:r =15;break;
case 12:r =16;break; case 13:r =17;break; case 14:r =17;break;
case 15:r =18;break; case 16:r =18;break; case 17:r =19;break;
case 18:r =20;break; case 19:r =20;break; case 20:r =21;break;
default:r =24;break;}}

```

Después del caso 20 todo lo que se mida que no caiga dentro de los casos antes mencionados entrarán al caso default que asigna un valor de 24 a la variable "r". Esta variable "r" indica en nuestra interfaz gráfica la posición de una flecha que mostrará la dirección a seguir, algunos valores se repiten como los casos 4 y 5 donde ambos indican que la flecha debe estar en la posición 12, esto es porque aunque existe una diferencia en grados entre ambas posiciones, al indicarle a una persona moverse 90 grados a la derecha es prácticamente lo mismo que decirle que se mueva 88 grados a la derecha.

3.2.3 Método para determinar el movimiento usando suma de vectores con calidad de la señal, implementado en Java

Para poder encontrar la suma vectorial entre los vectores que forman el triángulo virtual dibujado según el método descrito en la sección 2.1.2.1 es necesario encontrar los valores de SQ en cada vértice y realizar la resta de todas las combinaciones formadas por estas tres cantidades. Sin embargo la misma irregularidad de la señal podría presentar vectores de magnitud muy contrastante a lo esperado, si partimos de la idea de que la magnitud del vector es la diferencia entre los valores de calidad de sus vértices seguramente un vector con una mala medición inclinaría la dirección a tomar hacia ese punto.

Se propone entonces tomar la magnitud de un vector igual a la distancia que existe entre sus vértices, en esta propuesta no estamos estimando distancias basadas en una medición hecha a la señal puesto que en la práctica muchos casos se salen de lo teórico, nosotros ya conocemos las distancias de cada vector porque hemos recorrido dos distancias iguales que forman un triángulo equilátero, la magnitud entonces debe ser la misma para todos, lo que cambia nuestra orientación es el sentido del vector la cual si está dada por la diferencia de la señal de calidad en sus vértices, cuando se mide el mismo valor en ambos extremos se considera un sentido positivo del punto inicial al punto actual.

De manera muy semejante al método anterior es posible definir previamente todos los posibles casos que se presentarán sumando vectores de igual magnitud con diferente orientación y que forman un triángulo equilátero, por lo que sólo necesitamos conocer los valores de la señal de calidad en los tres puntos que corresponden a cada vértice del triángulo y encontrar a qué caso corresponde para definir su dirección.

El siguiente código en Java compara tres valores de calidad previamente grabados en las variables “ik, fk y fk3” que corresponden a los puntos 1, 2 y 3 respectivamente de un triángulo equilátero, donde el punto de inicio es el punto 1.

```

if (caso == 16){
if ((fk == ik)&&(fk3 == fk))           { caso = 40; }
if ((fk > ik)&&(fk3 > fk)&&(fk3 > ik))   { caso = 39; }
if ((fk > ik)&&(fk3 > fk)&&(fk3 < ik))   { caso = 14; }
if ((fk > ik)&&(fk3 < fk)&&(fk3 > ik))   { caso = 27; }
if ((fk > ik)&&(fk3 < fk)&&(fk3 < ik))   { caso = 21; }
if ((fk < ik)&&(fk3 > fk)&&(fk3 > ik))   { caso = 3; }
if ((fk < ik)&&(fk3 > fk)&&(fk3 < ik))   { caso = 10; }
if ((fk < ik)&&(fk3 < fk)&&(fk3 > ik))   { caso = 14; }
if ((fk < ik)&&(fk3 < fk)&&(fk3 < ik))   { caso = 18; }
if ((fk > ik)&&(ik == fk3))             { caso = 24; }
if ((fk < ik)&&(ik == fk3))             { caso = 18; }
if ((fk > ik)&&(fk == fk3))             { caso = 28; }
if ((fk < ik)&&(fk == fk3))             { caso = 12; }
if ((fk3 > fk)&&(ik == fk))             { caso = 0; }
if ((fk3 < fk)&&(ik == fk))             { caso = 20; }}
return caso;

```

Recordemos que la manera de formar un triángulo equilátero sugerida en este método era girando 120° de manera aleatoria hacia la izquierda o derecha, el código anterior corresponde a un triángulo formado hacia la derecha, cuando se presenta el caso contrario los valores de salida cambian. De la misma manera que en el método anterior la variable caso indica la posición que debe actualizar una flecha en la interfaz gráfica donde indica la dirección a tomar. Cuando hablamos que se debe girar tantos grados hacia un lado aleatorio no queremos dejar esa decisión al usuario, cuando el flujo del programa llega a ese caso se genera un número aleatorio entre 0 y 1 con la función “`rnd.nextDouble()`” y si el número generado es menor a 0.5 el programa indica un giro a la derecha, de manera inversa si es mayor a 0.5 o igual el programa indica un giro hacia la izquierda.

La implementación también requiere comparar las variables “ik” y “fk” cuando no se haya formado un triángulo o bien cuando se haya salido de él y que corresponden a los criterios de movimiento de calidad de la señal ya comentados en el apartado 2.1.2.2. Las siguientes tres líneas definen los criterios, en ellas podemos ver la sentencia completa para definir movimientos aleatorios.

```

if (sumavector == 0){
    if (fk > ik){ caso = 0; sumavector = 0; }
    if (fk < ik){ sumavector = 1;
        if (rnd.nextDouble() < 0.5){ caso = 16; }
        else{ caso = 32; }}
    if (fk == ik){ sumavector = 0;
        if (rnd.nextDouble() < 0.50){ caso = 5; }
        else{ caso = 42; }}
    return caso; }

```

La variable “sumavector” establece qué parte del código se ejecutará para determinar el movimiento, si una suma vectorial o un criterio de movimiento con calidad de la señal. Cuando un criterio de movimiento cae en el caso de que la nueva medición de calidad es menor a la del punto inmediato anterior, se giran 120° de manera aleatoria y se cambia el valor de “sumavector” a 1 que indica que el siguiente criterio es suma de vectores para determinar el movimiento, obviamente a la salida de este método se deberá reestablecer el valor de “sumavector” al valor de 0.

3.2.4 Implementación de la interfaz gráfica

Dado que todos los cálculos de movimiento deben ser informados al usuario de alguna manera, se diseñaron tres formas de comunicarle al usuario la dirección que debe tomar.

La primera forma de comunicación se basa en un reloj de una sola manecilla el cual realiza la función de brújula. La manecilla de el reloj siempre esta apuntando hacia la dirección donde se debió avanzar de acuerdo a la orientación del punto anterior. La analogía con los grados calculados en los métodos anteriores es muy sencilla, si se calcula que el siguiente movimiento deben ser 90° a la izquierda el reloj deberá apuntar hacia las 9 en punto, cuando se ha determinado continuar en la misma dirección, es decir no girar hacia ningún lado nuestro reloj indicará las 12 en punto.

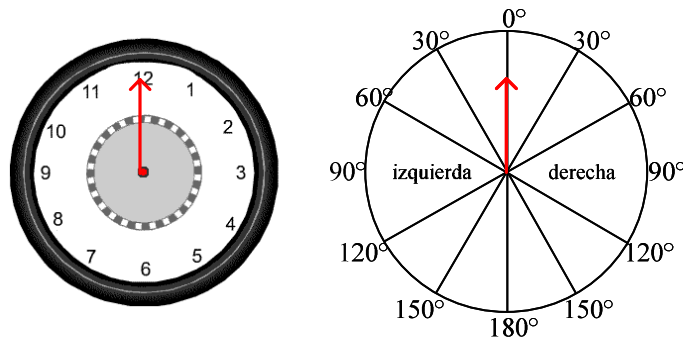


Figura 3.4.- Analogía entre el reloj del sistema guía y los grados en un círculo

El rango de valores en grados se relaciona con una marcación del reloj, se considera que para el usuario es más amigable la indicación en horas que en grados, de cualquier manera cuando a un usuario se le indica girar a las 10 en punto (60° a la izquierda) su movimiento no será de manera exacta en esa dirección, sino lo que el haya calculado que significa ese movimiento.

Para lograr interactuar con la manecilla simplemente se carga la figura del reloj en un canvas de Java, la siguiente parte del código forma parte de la clase principal y es la cabecera de la clase canvas de nuestra aplicación:

```
class CanvasImage extends Canvas{
    private Image img;
    public CanvasImage() {
        img = new ImageIcon("/home/marco/SystemGuide/el_reloj.GIF").getImage();
        setSize(300,300);
    }
}
```

Es posible dibujar cualquier cosa en el canvas, nosotros necesitamos que se dibuje una flecha las veces que sea necesario con punto de inicio fijo y punto final variable lo cual dará el efecto de movimiento. La siguiente instrucción crea nuestra flecha o manecilla con un punto fijo previamente calculado que son las coordenadas del punto central del reloj en el canvas, la posición final estará dada por las variables “x, y” que precisamente tomarán distintos valores cada vez que se designe un nuevo movimiento.

```
Flecha arrow = new Flecha(149,147,x,y);
arrow.dibujar(g);
```

La segunda forma de comunicación con el usuario es de manera auditiva, en el diseño del algoritmo se pretende siempre avanzar la misma distancia entre cada punto de medición, si esta instrucción fuera dada como tal al usuario seguramente se perdería en calcular 10 o 20 metros, el sistema calcula la distancia que el usuario avanza. Para esto en la misma ventana de la aplicación se le pide al usuario mediante un mensaje de texto que seleccione una velocidad de movimiento misma que está disponible en un un menú desplegable.

Una vez seleccionada la velocidad se puede comenzar con los cálculos con un botón de “Start”, en esta parte es donde comienza la información auditiva, antes de comenzar un movimiento se le indica al usuario de manera auditiva y también con un mensaje de texto “esperar un momento”, la instrucción es para lograr obtener la medición de RSSI o calidad de la señal del punto de inicio, cuando cualquiera de estos dos métodos obtiene el valor deseado el usuario podrá escuchar la instrucción de continuar. Los comandos de voz ayudan a indicarle al usuario cuando es necesario detenerse para realizar una medición y cuando puede continuar. También se incluyen las instrucciones auditivas que indican girar hacia una hora determinada.

Los comandos de voz no sólo son una herramienta para orientar al usuario, también ayudan al sistema a que el usuario haya recorrido los metros necesarios para llegar al siguiente punto de medición, de acuerdo a la velocidad que haya elegido el usuario.

La forma de implementar las instrucciones auditivas es muy sencilla al igual que se tiene una correspondencia en ángulos con la posición de la manecilla del reloj, se tiene una relación con el nombre del archivo de audio que se tiene que cargar y ejecutar en el código correspondiente. Los archivos de audio son grabados previamente y almacenados en una ruta conocida por la aplicación.

La tercera forma de comunicación es dibujando la trayectoria actual en un escenario desde el punto de inicio, lo que el usuario puede ver es el recorrido que ha realizado hasta el momento más el siguiente movimiento. Es posible cargar algún mapa en el canvas destinado para dibujar la trayectoria en un escenario conocido. La figura 3.5 muestra la trayectoria que ha seguido un nodo en movimiento y algunas mediciones hechas en cada punto.



Figura 3.5.- Trayectoria dibujada por el sistema guía en un mapa precargado

Cuando se establece una comunicación ad hoc entre dos nodos, la distancia que existe entre ellos difícilmente es mayor a 150 metros por las características que hemos comentado de la señal empleada. El área que se designa en la aplicación para dibujar la trayectoria establece una escala de 150 metros a la redonda del punto de inicio, por tal motivo el nodo destino debe encontrarse en el área predefinida para dibujar la trayectoria y no salirse de ella.

La forma en que se dibuja la trayectoria es guardando la posición (x,y) de cada punto en el canvas en dos vectores, uno de ellos destinado para la posición del eje "x" y el otro para el eje "y", cada vez que se calcula un nuevo movimiento se dibuja una línea con origen en la posición (x,y) actual y con punto final calculado de acuerdo al movimiento, sumando o restando valores a los valores de (x,y) .

Las instrucciones que pintan los vectores recorridos están controladas por una bandera que lleva el conteo de las trayectorias recorridas y pinta las líneas

Tanto el canvas destinado para el reloj como el destinado para dibujar la trayectoria se mandan repintar con sus nuevos valores con la instrucción de Java `canvas.repaint()`.

El diseño de la interfaz final tiene el aspecto de la figura 3.6.

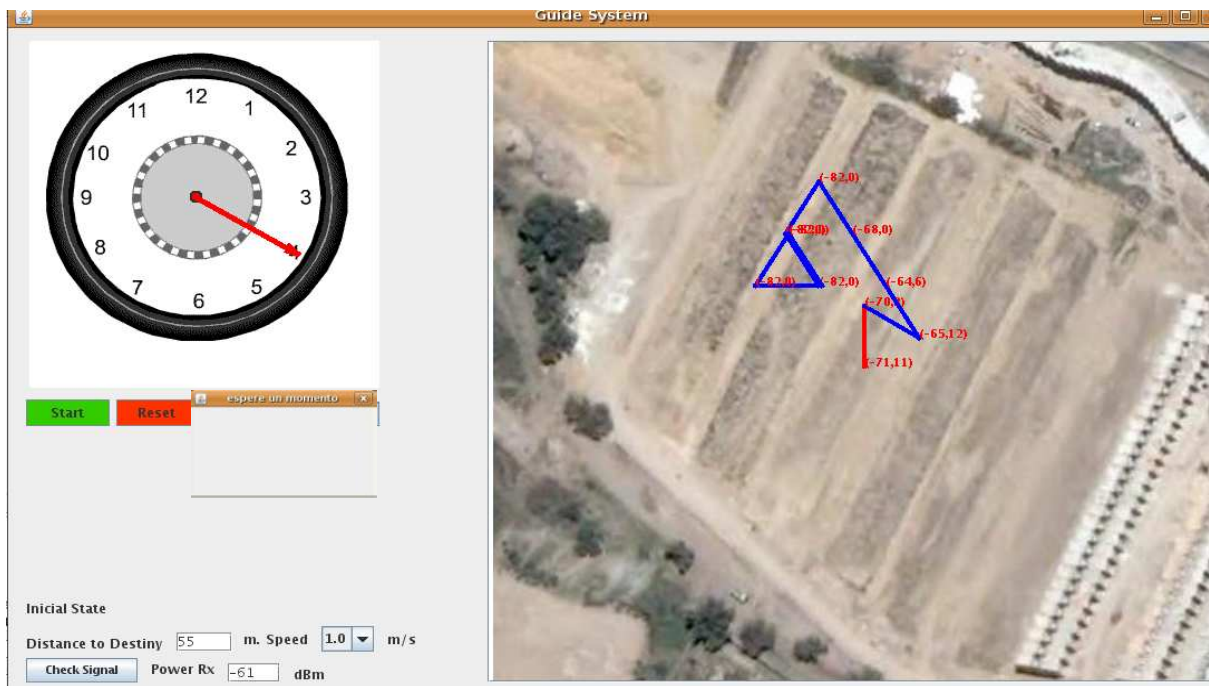


Figura 3.6.- Diseño de la interfaz del sistema guía

La interfaz presenta la brújula en forma de reloj donde la manecilla indica la dirección a seguir después del cálculo y de la indicación auditiva. Algunos parámetros de información se muestran en la esquina inferior izquierda donde se encuentra el selector de velocidad.

3.3 Conclusiones del capítulo

Indicarle a un usuario que gire hacia las ocho en punto prácticamente sería lo mismo decirle que lo haga a las 8 con diez u 8 con 15 minutos.

Otro factor que ocasiona errores en los resultados del guiado propuesto es la correcta orientación que el usuario pueda tener ante los comandos de audio o visuales que reciba de la interfaz.

Consideramos que es más fácil para el usuario ubicar lo que significa un giro hacia las tres en punto que girar 90 grados hacia la derecha ya que esto último indica dos movimientos simultáneos a realizar que son 90 grados y hacia la derecha.

4

Capítulo

Evaluación de la propuesta de guiado basada en RSSI

Dos maneras posibles de probar nuestra propuesta de guiado se dan mediante una herramienta de simulación de redes y a través de pruebas de campo. La ventaja de utilizar un software de simulación para redes inalámbricas es poder generar un área lo suficientemente amplia para dispersar los nodos que consideremos necesarios, es decir, sin hacer alguna inversión tendremos una red virtual donde probar nuestro sistema. La desventaja es no poder simular todos los factores que intervienen en el comportamiento de la señal inalámbrica en el mundo real. Las pruebas de campo por su parte ofrecen resultados reales. En este capítulo se utilizan ambas maneras para evaluar la propuesta de guiado basada en RSSI.

4.1 Entorno de simulación

La herramienta de simulación de redes que se utilizará en este trabajo recibe el nombre de “*The Network Simulator 2*”, NS2 [21].

NS2 es un simulador de eventos discretos administrado por la Universidad de Berkeley, el software es de código libre, lo que permite hacer modificaciones para implementar el algoritmo propuesto. Para la implementación del algoritmo y pruebas en el simulador se utilizó la versión 2-30 de NS2.

Para realizar una simulación en NS2 se escriben en un programa en OTcl los comandos donde se definen: los protocolos que se usarán en la simulación, las dimensiones del área del escenario, el tiempo de simulación, el tipo y cantidad de nodos, los movimientos predefinidos en tiempo de los nodos móviles, entre otras cosas. Esta parte de movilidad, que ofrece NS2, es la que debe ser modificada para que los movimientos se generen de manera dinámica durante la simulación y no de forma predefina. De esta manera, cuando se ejecute cualquier programa en el simulador, especificaremos sólo la conexión entre dos nodos y los movimientos del nodo fuente deben ser calculados uno detrás de otro en el momento de la simulación para llegar al nodo destino.

Para lograr adaptar el algoritmo de guiado en NS2 se modificaron los siguientes archivos:

Packet.h

Se genera un campo más en la estructura de los paquetes que contendrá el valor de la potencia de recepción entre emisor y transmisor. Cuando un paquete sea analizado se podrá obtener la potencia de recepción que existe entre ambos nodos y usar dicho valor como entrada del algoritmo guía. La parte donde se agrega dicho campo es en la declaración del encabezado común de los paquetes, las siguientes líneas presentan dicha declaración:

```
struct hdr_cmn {
double pot_; //potencia de recepción
```

Mobilenode.h y Mobilenode.cc

En Mobilenode.h se declaran los métodos principales para realizar los cálculos de movimiento y su código se especifica en Mobilenode.cc. Los métodos creados son los siguientes:

```
double getDestino(void); // Funcion para obtener la coordenada "x" destino del nodo en movimiento
void modDestino(double x); // Modifica la coordenada "x" destino del nodo en movimiento
double getDestinodos(void); // Funcion para obtener la coordenada "y" destino del nodo en movimiento
void modDestinodos(double y); // Modifica la coordenada "y" destino del nodo en movimiento
double getmap(double z); // Obtiene la relacion entre potencia y distancia de un nodo.
double geterror(double a,double c,double d); //Obtiene en grados el error del nodo en movimiento.
double getcorrect(double a, double c,double d); //Obtiene en grados lo que tiene que corregir el nodo en
movimiento.
```

Mac-802_11.cc

El algoritmo es implementado en la sección de la capa mac del 802.11 en la parte del código de recepción de paquetes "Mac802_11::rcvDATA(Packet *p)". El flujo de la simulación siempre pasará por esta sección de código mientras se mantenga una comunicación entre dos nodos.

Simulación con varios saltos

a) Objetivo de la simulación: Observar y analizar los movimientos de un nodo ad hoc que se guía en la red, utilizando la propuesta de guiado basada en RSSI implementada en el simulador NS2, para alcanzar la posición de otro nodo que se encuentra ubicado a más de un salto en la trayectoria de transmisión entre ambos nodos.

b) Material y equipo: Para la simulación se creó un escenario de 1000 x 1000 metros en un programa en OTcl, se especificaron 21 nodos distribuidos de tal manera que el nodo 1 pudiera establecer una comunicación con el nodo 8 a través de 4 saltos por medio del protocolo AODV. La velocidad asignada al nodo 1 para ejecutar sus movimientos fue de 1 m/s y sus decisiones de trayectoria se basaron en los cálculos del algoritmo de guiado implementado en el simulador NS2.

c) Descripción de la simulación: La figura 4.1 muestra la simulación en el NS2 y la trayectoria seguida por el nodo 1 para llegar al nodo 8.

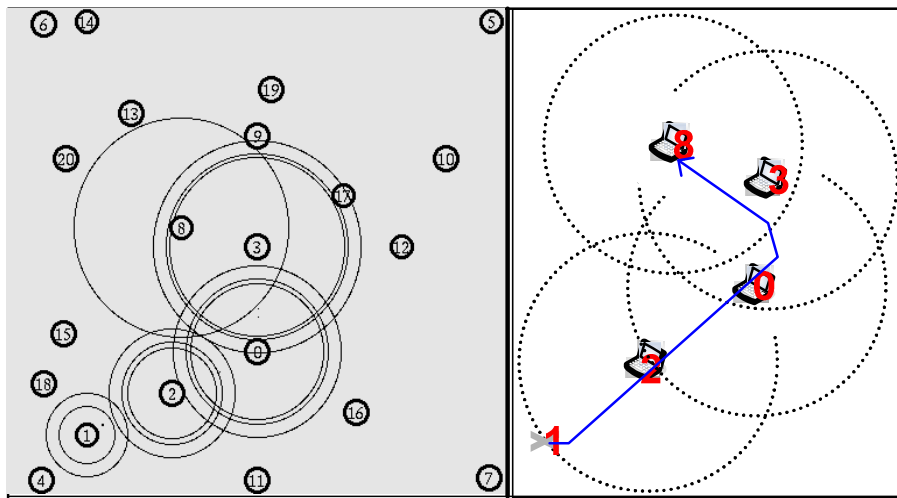


Figura 4.1.- Simulación del sistema guía basado en RSSI en NS2

El nodo 1 primeramente encuentra la ruta en saltos que lo lleva a establecer una comunicación con el nodo 8, esta ruta son los nodos 2, 0, 3 y 8 consecutivamente. Con la ruta anterior el primer destino del nodo 1 es el nodo 2 al cual hace una primera medición de RSSI y estima una distancia entre ellos, se realiza el primer movimiento del nodo 1 que son 10 metros a la derecha de su posición inicial (movimiento aleatorio) y después de avanzar tal distancia se realiza la segunda medición de RSSI entre ambos nodos estimando la segunda distancia. Se ha formado el triángulo de referencia respecto a ambos nodos, se calcula el ángulo de corrección en la trayectoria del nodo 1 y se corrige el movimiento hacia el nodo 2.

Cuando el nodo 1 está muy cerca de la posición del nodo 2 encuentra la señal del siguiente salto que es el nodo 0, instante en el que el algoritmo vuelve a comenzar cambiando el destino y donde el primer movimiento del nodo 1, para generar el triángulo de referencia con su nuevo destino el nodo 0, ya no se hace de manera aleatoria. Se respeta la trayectoria que tenía el nodo 1 avanzando los 10 metros requeridos para formar un nuevo triángulo y volver a calcular una nueva ruta. El procedimiento anterior se repite hasta llegar al nodo 8.

d) **Análisis de resultados:** El tiempo empleado en la simulación fue de 12.17 minutos, tiempo utilizado por el nodo 1 para llegar a la posición del nodo 8 en la red. Solo durante 40 segundos que corresponden al 5.4% del tiempo total de la simulación se mantuvo una ruta equivocada hacia el nodo destino correspondiente.

Se observa que no es necesario que el nodo 1 llegue exactamente a la posición de los nodos intermedios para cambiar su ruta al siguiente salto, en cuanto se entra a la zona de transmisión del siguiente nodo el destino cambia y se calcula una nueva ruta.

Simulaciones con dos nodos en la red

a) **Objetivo de la simulación:** Observar y analizar los movimientos de un nodo ad hoc que se guía en la red, utilizando la propuesta de guiado basada en RSSI implementada en el simulador NS2, para

alcanzar la posición de otro nodo que se encuentra en la misma zona de cobertura (un salto) a diferentes distancias y ángulos de orientación.

b) Material y equipo: Se creó un escenario de 500 x 500 metros con dos nodos en la red a ubicados a diferentes distancias entre ellos en un programa en OTcl. Las distancias utilizadas fueron: 25, 50, 75, 100, 125 y 150 metros respectivamente, en cada distancia se realizaron 8 simulaciones colocando el nodo 1 y el nodo 2 en distintas posiciones dando un total de 64 simulaciones en el NS2. Las posiciones usadas en cada distancia son las mismas que se muestran en la figura 5.8 del capítulo 5.

c) Descripción de la simulación: Para cada una de las 6 distancias empleadas existen mejores y peores casos dando como resultado distintos comportamientos en los movimientos realizados por el nodo 1 tratando de alcanzar la posición del nodo 2. En el análisis de resultados se generalizan tales comportamientos.

d) Análisis de resultados: El ángulo de error promedio en los primeros segundos de las simulaciones, que un nodo genera en su movimiento hacia su destino, es muy alto debido a que es en estos primeros segundos donde se realiza el movimiento de manera aleatoria. Después de la corrección de movimiento, calculada con el triángulo de referencia entre ambos nodos, el promedio de error en grados es aproximadamente del 45%, por los posibles casos espejo. En los siguientes segundos, después de haber determinado el caso espejo, el porcentaje baja a menos del 2% en promedio. Esta relación la vemos en la tabla 5 que muestra el porcentaje de error en grados durante el tiempo de simulación de los 64 casos mencionados.

Tabla 5.- Grados de error de movimiento promedio de un nodo hacia su destino durante la simulación del sistema guía (RSSI) en NS2

	Primeros 10 segundos	Segundos 11 -20	últimos segundos
Distancia Inicial	Promedio de error en grados	Promedio de error en grados	Promedio de error en grados
25	91.669725	37.11058812	1.540028693
50	92.06745	43.68091987	2.26078313
75	89.1212	43.91862636	1.913887984
100	89.699825	43.87254521	1.786824761
125	88.608275	45.43501689	1.41246191
150	88.8404	45.40566339	1.185700285
Total	90.0011	43.23722664	1.683281127

Después de las etapas de corrección hasta el segundo 20 un nodo se equivoca en su movimiento final hacia su destino un promedio de 1.68° según los resultados obtenidos en NS2.

En el simulador NS2 cada movimiento por pequeño que éste sea se ve reflejado en una potencia de recepción (RSSI) distinta, un movimiento de 10 metros es suficiente para formar el triángulo de referencia y encontrar los ángulos de error y corrección con un margen de error mínimo.

4.2 Pruebas de campo

Se realizaron varias pruebas de campo con resultados muy similares. Debido a los malos cálculos de las distancias, estimadas por las señales de RSSI medidas en cada punto, los grados de corrección y error se calcularon después de cada movimiento y triángulo formado con el objetivo de verificar la trayectoria en cada punto. Se decidió que se había caído en un caso espejo cuando después de una trayectoria corregida y avanzado a un nuevo punto la distancia actual era mayor o igual a la del punto anterior. Dos pruebas representativas de los muchos casos encontrados se describen a continuación:

Prueba en un área libre de obstáculos

a) Objetivo de la prueba: Observar y analizar los movimientos de un nodo ad hoc que se guía en la red, utilizando la propuesta de guiado basada en RSSI implementada en un dispositivo móvil, para alcanzar la posición de otro nodo que se encuentra en la misma zona de cobertura (un salto), dentro de una zona libre de obstáculos.

b) Material y equipo: El escenario seleccionado fue una zona libre de obstáculos de aproximadamente 400m², la zona se encuentra en avenida Hacienda de Gavia y avenida Jalpa en la colonia Hacienda del Parque, municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Esta área presenta una buena línea de vista para ubicar dos nodos a una distancia máxima de 200 metros.

Los equipos utilizados fueron dos computadoras portátiles con las siguientes características:

Computadora 1: Computadora portátil marca Toshiba modelo Tecra A5 con tarjeta de red interna inalámbrica modelo Intel(R) PRO/Wireless 2200BG (802.11g).

Computadora 2: Computadora portátil marca Dell modelo Inspiron 1720 con tarjeta de red interna inalámbrica modelo Intel(R) PRO/Wireless 3945ABG (802.11g).

Las pruebas se desarrollaron aproximadamente a 21°C bajo el Sol entre la 1 y 2 de la tarde.

c) Descripción de la prueba: Se ubicaron las dos computadoras portátiles a una distancia de aproximadamente 100 metros entre ellas, manteniendo un enlace ad hoc establecido con las herramientas de configuración de Linux Ubuntu versión 6.06.

Una persona mantuvo la computadora 1 (donde previamente se había cargado la aplicación del sistema guía con la propuesta de guiado basada en RSSI) en sus manos y ejecutó cada uno de los movimientos indicados por el sistema guía, tratando de alcanzar la posición de la computadora 2 que se mantuvo en la misma posición durante toda la prueba. La figura 4.2 muestra la trayectoria realizada por la persona en el área durante el tiempo de la prueba.

Inicio.- Se realiza una medición de RSSI hacia el nodo destino y se estima una distancia aproximada inicial. El valor de RSSI medido es de -67 dBm equivalentes a 85 metros en nuestro modelo de propagación empírico. Se avanzan 20 metros en dirección aleatoria y se llega al punto 1.

- Punto 1.- Se realiza una segunda medición de RSSI hacia el destino y se calcula el ángulo de error y corrección de la trayectoria. El valor de RSSI en este punto es de -68 dBm equivalente a 90 metros en nuestro modelo de propagación empírico. El ángulo de error calculado es de 99° y el de corrección es de 111° , de manera aleatoria el sistema selecciona el lado derecho y se giran entonces 111° a la derecha avanzando 20 metros para llegar al punto 2.
- Punto 2.- El valor medido de RSSI en este punto es de -70 dBm que corresponden a 100 metros según el modelo de propagación empírico de la sección 2.2.1. El ángulo de corrección es de 125° y el de error es de 115° , se considera un caso 1 de espejo por haberse estimado una distancia mayor que en el punto anterior y siendo el ángulo de corrección del punto 1 mayor a 90° . Por lo tanto se giran 125° a la derecha y se avanzan 20 metros para llegar al punto 3.
- Punto 3.- El valor de RSSI en este punto es de -65 dBm equivalentes a 75 metros según el modelo de propagación empírico de esta propuesta. Los ángulos de error y corrección valen cero en este punto por lo que se mantiene la misma trayectoria hasta llegar al punto 4.
- Punto 4.- El valor de RSSI en este punto es de -64 dBm que corresponden a 70 metros en el modelo de propagación empírico de esta propuesta. El ángulo de corrección es de 83° y el de error es de 68° , se gira a la izquierda de manera aleatoria para llegar al punto 5.
- Punto 5.- El valor de RSSI en este punto es de -67 dBm equivalentes a 85 metros en el modelo de propagación empírico descrito en el capítulo 2. El ángulo de corrección es de 143° y se considera un caso 2 de espejo ya que el ángulo de error es de 134° muy cercano al doble del valor del ángulo de corrección del punto anterior que fueron 83° . Se gira entonces a la derecha y se avanzan 20 metros para llegar al punto 6.
- Punto 6.- El valor de RSSI en este punto es de -63 dBm y se estiman 65 metros hacia el destino. El ángulo de corrección y de error es de 0° manteniéndose la misma trayectoria hasta llegar al punto 7.
- Punto 7.- El valor de RSSI en este punto es de -62 dBm estimándose 60 metros hacia el destino. El ángulo de corrección es de 84° y se gira de manera aleatoria a la derecha para avanzar y llegar al punto 8.
- Punto 8.- El valor de RSSI en este punto es de -59 dBm y se estiman 45 metros hacia el destino. El ángulo de corrección se calcula de 49° girándose a la izquierda de manera aleatoria por no presentarse caso espejo. Se llega al punto 9 después de avanzar 20 metros.
- Punto 9.- El valor de RSSI en este punto es de -61 dBm y se estiman 55 metros hacia el destino. El ángulo de corrección es de 130° y el de error es de 112° . Se considera un caso 2 de espejo por lo tanto se gira hacia la derecha para llegar al punto 10.
- Punto 10.- El valor de RSSI en este punto es de -58 dBm y se estiman 40 metros hacia el destino. El ángulo de error se calcula de 34° y el de corrección de 50° girándose a la derecha de manera aleatoria y llegando al punto 11 después de avanzar 20 metros.
-

Punto 11.- El valor de RSSI en este punto es de -61 dBm que significan 55 metros hacia el destino según el modelo de propagación empírico utilizado en esta propuesta. El ángulo de corrección es de 146° y se considera un caso 2 de espejo girándose a la izquierda y llegando al punto 12.

Punto 12.- El valor de RSSI medido en este punto es de -57 dBm que corresponden a 35 metros hacia el destino. No existe trayectoria a corregir por lo que se mantiene la misma dirección llegando al punto 13.

Punto 13.- El valor de RSSI medido en este punto es de -56 dBm que corresponden al valor de 30 metros hacia el destino. Se selecciona el lado izquierdo de manera aleatoria para girar 93° y llegar al punto 14.

Punto 14.- El valor de RSSI medido en este punto es de -63 dBm que corresponden a 65 metros hacia el destino. El valor de corrección son 180° lo que nos lleva al punto 15 que también es el punto 13.

Punto 15.- El valor de RSSI en este punto es de -59 dBm que corresponden a 45 metros hacia el destino. El ángulo de corrección es de 0° y continuamos en la misma dirección llegando al punto 16 donde decidimos terminar la prueba y analizar los resultados.

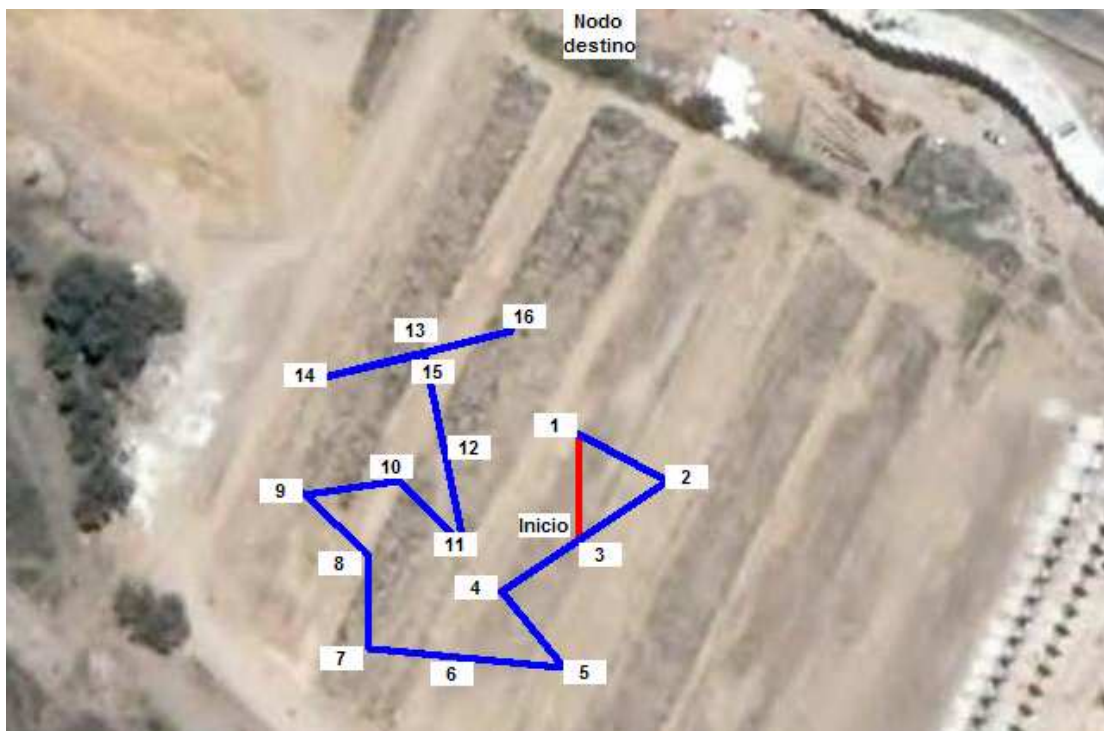


Figura 4.2.- Recorrido durante la prueba de guiado con RSSI sin obstáculos

d) Análisis de resultados: No siempre que se hace un acercamiento en distancia hacia el nodo destino la señal mejora como sucede en el primer movimiento en el punto de inicio, contrario a lo que pudiera esperarse en un modelo de propagación. Las falsas estimaciones de distancia hacia el nodo destino generan en muchos casos ángulos de corrección erróneos que se traducen en malas trayectorias.

Descartando los ángulos de error calculados durante la prueba y haciendo una medición en el plano de los ángulos de error aproximados en cada movimiento hacia el destino se obtiene la siguiente gráfica de la figura 4.3 donde se aprecian los ángulos de error reales en cada punto de la prueba sin obstáculos de guiado basada en RSSI.

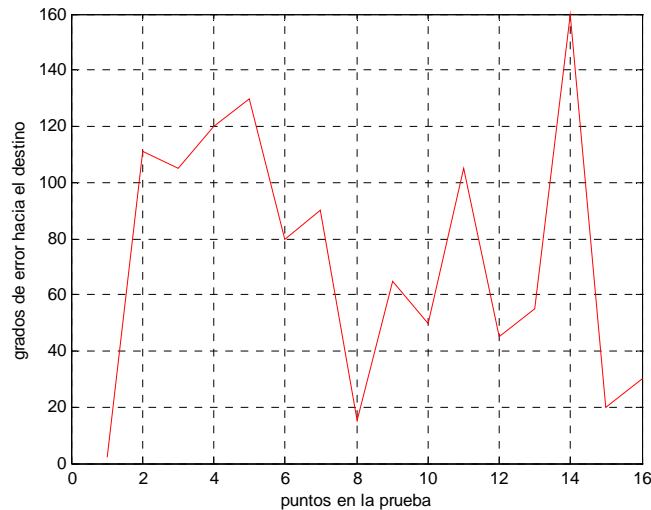


Figura 4.3.- Grados de error hacia el destino en cada punto de la prueba sin obstáculos utilizando la propuesta de guiado basada en RSSI

Prueba en un área con obstáculos

a) Objetivo de la prueba: Observar y analizar los movimientos de un nodo ad hoc que se guía en la red, utilizando la propuesta de guiado basada en RSSI implementada en un dispositivo móvil, para alcanzar la posición de otro nodo que se encuentra en la misma zona de cobertura (un salto), dentro de una zona con algunos obstáculos.

b) Material y equipo: El escenario seleccionado fue una zona con obstáculos de aproximadamente 400m² donde es posible moverse en gran parte de ella, la zona es una explanada ubicada a un costado del edificio Valdez Vallejo de Ciudad Universitaria en el Distrito Federal, México. Esta área presenta varias alternativas para colocar dos nodos a una distancia máxima de 150 metros aproximadamente, sin que pierdan su conexión los dispositivos según las pruebas en tal lugar.

Ambas computadoras portátiles utilizadas para la prueba en un área libre de obstáculos, descrita anteriormente, se utilizaron para esta prueba.

La hora de prueba fue entre las 10 y 11 de la mañana con una temperatura aproximada de 18° C donde en gran parte de la zona de prueba se encontraron sombras propias de los obstáculos.

c) Descripción de la prueba: Se ubicaron las dos computadoras portátiles a una distancia aproximada de 100 metros entre ellas, manteniendo un enlace ad hoc establecido con las herramientas de configuración de Linux Ubuntu versión 6.06.

Al igual que en la prueba anterior, el sistema guía quedó instalado en la computadora portátil marca Toshiba y una persona con la computadora en sus manos fue ejecutando cada movimiento según las órdenes del sistema tratando de alcanzar la posición de la computadora portátil marca Dell que mantuvo su misma posición durante toda la prueba. La figura 4.4 muestra la trayectoria realizada por la persona en el área durante el tiempo de la prueba.

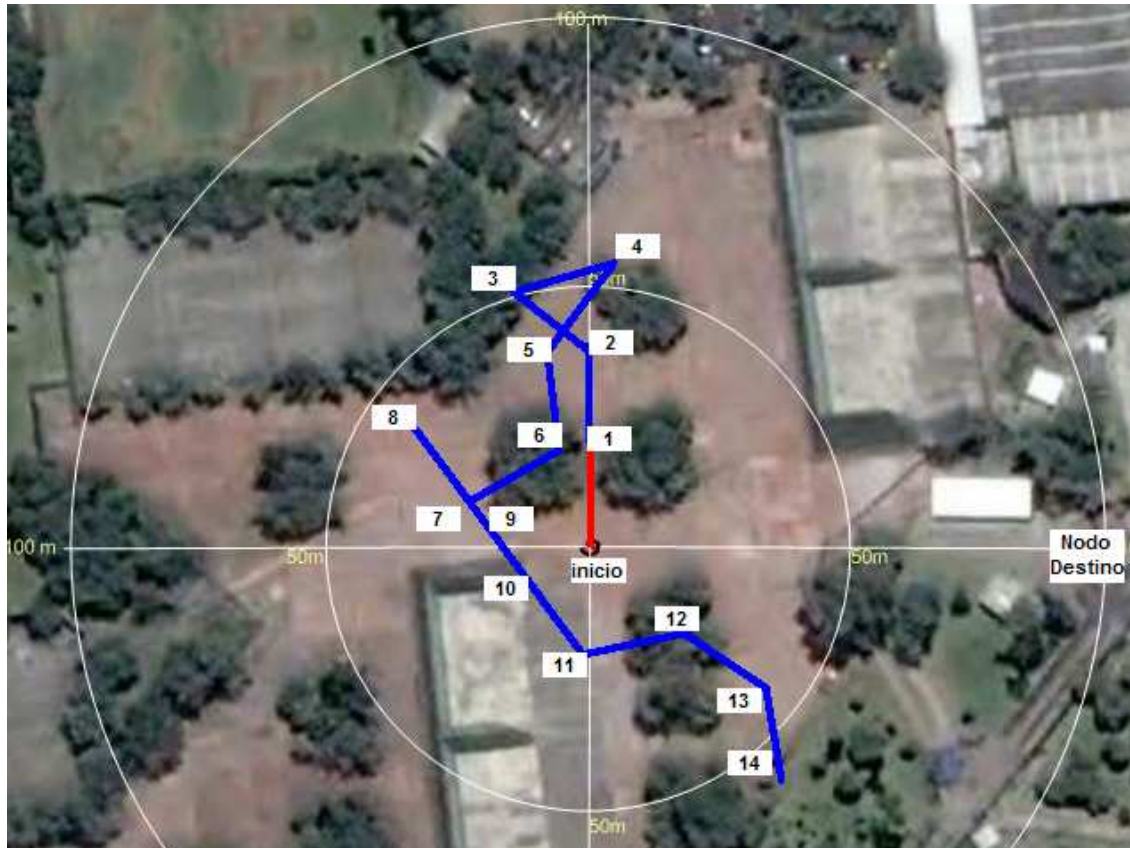


Figura 4.4.- Recorrido durante la prueba de guiado con RSSI en área con obstáculos

Inicio.- Se realiza una medición de RSSI hacia el nodo destino y se estima una distancia aproximada inicial. El valor de RSSI al inicio de la prueba en la computadora Toshiba es de -72 dBm que indican una distancia de 110 metros hacia el nodo destino. Se elige una dirección aleatoria y se avanzan 20 metros para llegar al punto 1 de la prueba.

Punto 1.- El valor de RSSI en este punto es de -68 dBm que corresponden a 90 metros según el modelo de propagación empírico definido en el capítulo 2. El ángulo de error es igual a 0° y por lo tanto debe seguirse la misma trayectoria para llegar al punto 2.

Punto 2.- El valor medido de RSSI en este punto es de -65 dBm que indica una distancia de 75 metros hacia el nodo destino. El ángulo de corrección calculado con el triángulo formado es de 50° y un error de 41° , se gira de manera aleatoria hacia la izquierda y se avanzan 20 metros para llegar al punto 3.

- Punto 3.- El valor medido de RSSI en este punto es de -67 dBm que corresponden a 85 metros en el Modelo de propagación empírico. El ángulo de corrección es de 126° y el de error es de 114° , se considera un caso 2 de espejo y por lo tanto el giro es a la derecha para llegar al punto 4.
- Punto 4.- El valor de RSSI en este punto es de -70 dBm que corresponden a 100 metros hacia el destino. El ángulo de corrección es de 143° y se considera un caso 1 de espejo por lo que el giro se hace nuevamente a la derecha y avanzando 20 metros se llega al punto 5.
- Punto 5.- El valor de RSSI en este punto es de -67 dBm que corresponden a 85 metros hacia el destino. El ángulo de corrección es de 46° que se giran a la izquierda de manera aleatoria por no considerarse un caso espejo. Después de avanzar 20 metros se llega al punto 6.
- Punto 6.- El valor de RSSI en este punto es de -65 dBm que corresponden a 75 metros hacia el destino. El ángulo calculado de corrección por el triángulo formado es de 66° y de igual manera se selecciona un lado aleatorio, en este caso el lado derecho, para girar el ángulo de corrección y avanzar 20 metros para formar un nuevo triángulo y llegar al punto 7.
- Punto 7.- El valor de RSSI en este punto es de -64 dBm que estiman una distancia de 70 metros respecto al nodo destino. Se calcula un ángulo de corrección de 83° y la dirección a la derecha se hace de manera aleatoria. Se llega al punto 8.
- Punto 8.- El valor de RSSI en este punto es de -78 dBm que estima una distancia de 140 metros entre ambas computadoras. El ángulo de corrección y error son de 180° que nos llevan al punto 9 después de avanzar 20 metros.
- Punto 9.- El valor de RSSI es de -73 dBm en este punto y la distancia correspondiente son 115 metros. El ángulo de error y corrección son de 0° por lo que se continúa en la misma dirección para llegar al punto 10.
- Punto 10.- El valor de RSSI es de -69 dBm en este punto y la distancia correspondiente es de 95 metros. No existe corrección en la ruta ya que el ángulo de error tiene un valor de 0° . Se continúa en la misma dirección para llegar al punto 11.
- Punto 11.- El valor de RSSI en este punto es de -67 dBm que indica una distancia de 85 metros hacia el destino. El ángulo de corrección es de 66° mismos que se giran al lado izquierdo de manera aleatoria. Se llega al punto 12.
- Punto 12.- El valor de RSSI en este punto es de -64 dBm que indica una distancia de 70 metros hacia el destino. El ángulo de corrección es de 46° y debido a que se mejoró la distancia en relación al punto anterior no se considera un caso espejo. Se gira hacia de manera aleatoria hacia la derecha y se avanzan 20 metros para llegar al punto 13.
- Punto 13.- El valor de RSSI en este punto es de -61 dBm que indica una distancia de 55 metros hacia el nodo destino. El ángulo de corrección es de 48° y se aplica el criterio del punto anterior para realizar el giro a la izquierda o derecha para llegar al punto 14. En el punto 14 ya no realizamos más mediciones y paramos la prueba para analizar los resultados.

d) Análisis de resultados: Los obstáculos existentes en el área de prueba, entre otros factores, ocasionan que los movimientos realizados no reflejen el cambio esperado en la medición de RSSI que al igual que en la prueba anterior se traducen en malas correcciones en la ruta.

Si tomamos la ruta de la figura 4.4 y medimos manualmente los ángulos de error en movimiento que se obtuvieron con respecto al nodo destino obtenemos la gráfica de la figura 4.5.

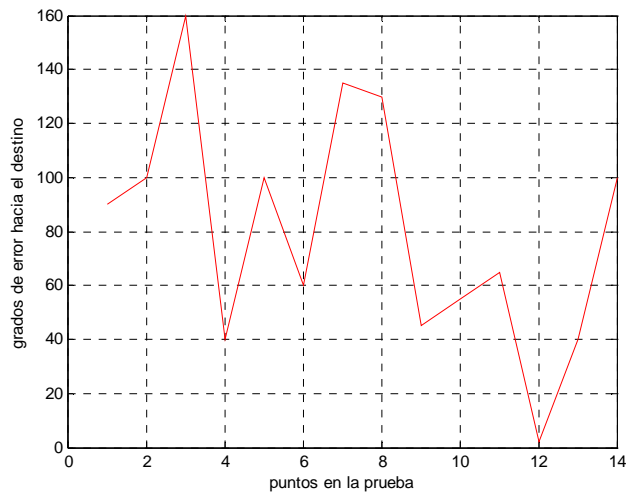


Figura 4.5.- Grados de error hacia el destino en cada punto de la prueba con obstáculos utilizando la propuesta de guiado basada en RSSI

La gráfica anterior muestra un alto índice de error en grados hacia el destino en cada punto visitado, los obstáculos generan que la señal proveniente del nodo destino pueda llegar en más de una trayectoria a la computadora en movimiento y ésta mida valores distintos de RSSI en el mismo punto.

4.3 Conclusiones del capítulo

Los resultados obtenidos en las pruebas de campo reflejan una inconsistencia en las correcciones de movimientos del sistema guía basado en RSSI.

Desafortunadamente NS2 contempla un escenario donde el comportamiento de la señal es perfecto y donde no sucede así en un ambiente real. Las pruebas de campo reflejan un margen de error más alto al obtenido en NS2.

La figura 4.6 muestra una gráfica comparativa entre el promedio de error en grados de movimiento en 12 puntos de pruebas de campo sin obstáculos, con las mismas características a la prueba sin obstáculos descrita en este capítulo, y 8 pruebas de guiado realizadas con el simulador NS2 tratando de simular las mismas características de posición y distancia a las pruebas de campo.

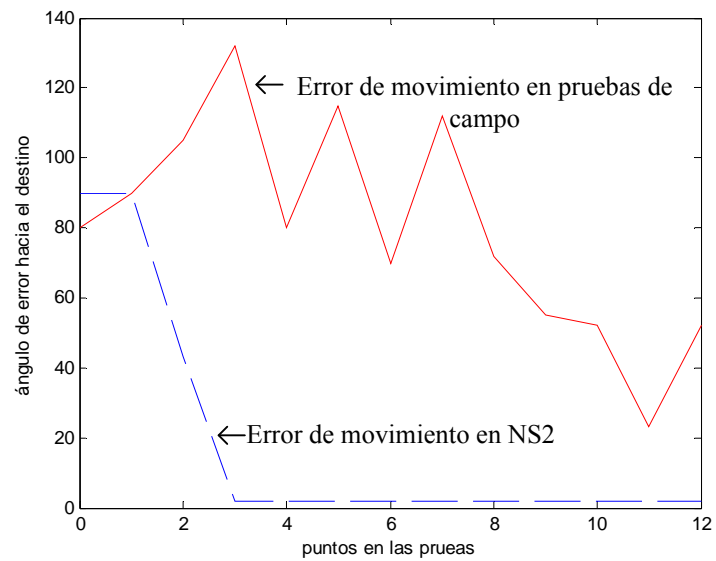


Figura 4.6.- Comparativa de ángulos de error hacia el destino en cada punto promedio de 8 pruebas de campo y en el simulador NS2 utilizando la propuesta de guiado de RSSI

Aunque el error en grados de ambas pruebas en los primeros puntos es alto, en el simulador NS2 el error tiende a bajar rápidamente después del punto 2 y mantiene un valor bajo en los siguientes puntos, para las pruebas de campo el promedio de error en grados se mantiene con cierta variación con valores altos durante la mayor parte de los puntos visitados.



Capítulo

*Evaluación de la
propuesta de guiado
basada en calidad de
la señal*

La forma de evaluar la propuesta de guiado basada en calidad de la señal es mediante pruebas de campo en dos diferentes escenarios.

5.1 Pruebas de campo en un área libre de obstáculos

El objetivo de éstas pruebas es observar y analizar los movimientos de un nodo ad hoc que se guía en la red utilizando la propuesta de guiado basada en calidad de la señal implementada en un dispositivo móvil, para alcanzar la posición de otro nodo que se encuentra en la misma zona de cobertura (un salto), dentro de una zona libre de obstáculos.

Los equipos utilizados para estas pruebas son dos computadoras portátiles con las siguientes características: Toshiba modelo Tecra A5 con tarjeta de red interna inalámbrica modelo Intel(R) PRO/Wireless 2200BG (802.11g). Dell modelo Inspiron 1720 con tarjeta de red interna inalámbrica modelo Intel(R) PRO/Wireless 3945ABG (802.11g).

El área libre de obstáculos que se seleccionó para estas pruebas es la zona que se encuentra ubicada en avenida Hacienda de Gavia y avenida Jalpa en la colonia Hacienda del Parque, municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Se realizaron 8 pruebas en esta zona, todas comenzando con una distancia inicial aproximada de 100 metros entre ambos nodos y manteniendo una conexión ad hoc entre los equipos. Las pruebas se desarrollaron aproximadamente a 21°C bajo el Sol entre la 1 y 2 de la tarde. La figura 5.1 muestra la primera prueba representativa que a continuación se describe:

Prueba 1 libre de obstáculos.

Inicio.- Se forma un triángulo equilátero con vértices en los puntos de inicio, uno y dos. La calidad de la señal se ve mejorada si se avanza del inicio al punto uno, del punto punto 2 al punto 1 y del punto de inicio al punto 2. Según la tabla 3 de la página 32 tenemos el caso 3 por lo que debemos girar 150° a la derecha para encontrar el punto 3 al cual nos dirigimos.

Punto 3. Al encontrarnos en el punto 3 se comparan los valores de calidad de la señal de este punto con el anterior, es decir se comparan la calidad del punto 3 con el punto 2, obtenemos un cambio negativo en la calidad de la señal y por tanto giramos 120° de manera aleatoria a la derecha encontrando el punto 4 al cual nos dirigimos.

Punto 4. En este punto nuevamente hemos dibujado con nuestros movimientos el triángulo formado por los puntos 2, 3 y 4 y procedemos a sumar los vectores del mismo. El resultado esta dado en el caso 14 y por lo tanto giramos 80° a la derecha para llegar punto 5. A este último punto nos dirigimos.

Punto 5 Al encontrarnos en el punto 5 se comparan los valores de calidad de la señal de este punto con el punto 4, obtenemos un cambio positivo en la calidad de la señal y por lo tanto avanzamos en la misma dirección al punto 6.

A partir del punto 6 se repite lo ocurrido en el caso 5 por lo que se mantiene la trayectoria hasta el punto 9 donde se obtienen valores de calidad y velocidad deseados.

En la tabla 6 se muestra la historia de las mediciones hechas en cada punto de esta prueba.



Figura 5.1.- Prueba de guiado con calidad de la señal en zona libre de obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Sur respecto a la orientación de inicio del nodo móvil

Tabla 6.- Historia de las mediciones hechas en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona libre de obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el sur respecto a la orientación de inicio del nodo móvil

Punto	Velocidad	Potencia	Calidad	Punto	Velocidad	Potencia	Calidad
inicio	12	-69	51/100	5	1	-65	55/100
1	2	-70	54/100	6	24	-67	58/100
2	1	-70	53/100	7	24	-58	70/100
3	12	-72	48/100	8	48	-50	80/100
4	1	-69	52/100	9	54	-24	98/100

La segunda prueba representativa libre de obstáculos se observa en la figura 5.2 la cual se describe a continuación.

Prueba 2 libre de obstáculos.

Inicio.- Se forma un triángulo equilátero con vértices en los puntos de inicio, uno y dos. Las mediciones de calidad de la señal en cada punto del triángulo producen que la suma vectorial sea el caso 3 de la tabla 3 por lo que debemos girar 150° a la derecha para encontrar el punto 3 al cual nos dirigimos.

Punto 3.- Al encontrarnos en el punto 3 se comparan los valores de calidad de la señal de este punto con el anterior, es decir se comparan la calidad del punto 3 con el punto 2, obtenemos un cambio positivo en la calidad de la señal y por tanto continuamos en la misma dirección hacia el punto 4 de acuerdo a los criterios de movimiento de calidad de la señal.

Punto 4.- Al encontrarnos en el punto 4 se comparan los valores de calidad de la señal de este punto con el punto 3 y obtenemos un cambio negativo en la calidad de la señal, por tanto giramos 120° de manera aleatoria a la derecha encontrando el punto 5 al cual nos dirigimos.

Punto 5.- En este punto nuevamente hemos dibujado con nuestros movimientos un triángulo formado por los puntos 3, 4 y 5, con lo que procedemos encontrar el caso correspondiente en la tabla 3, el caso es el número 14 que indica girar 80° a la derecha. El resultado es el vector formado por los puntos 5 y 6. A este último punto nos dirigimos.

Punto 6.- En el punto 6 comparamos los valores de calidad de la señal de este punto con el punto 5, observamos que no existió cambio que corresponde al caso (b) de los criterios de movimiento de calidad de la señal que indica avanzar hacia adelante con un pequeño giro de 45° hacia la derecha de manera aleatoria que es el punto 7, al cual nos dirigimos.

Punto 7.- En el punto 7 se presenta al mismo caso que en el punto anterior sin cambios en la señal de calidad. El resultado es avanzar hacia adelante con un giro de 45° en este mismo caso hacia la derecha de manera aleatoria que nos lleva al punto 8.

Punto 8.- Se comparan los valores de calidad de la señal del punto 8 con el 7 y se observa un decremento en el nuevo valor. Giramos 120° de manera aleatoria a la derecha encontrando el punto 9, al cual nos dirigimos.

Punto 9.- En este punto hemos terminado de formar un nuevo triángulo equilátero formado por los puntos 7, 8 y 9. La suma de los vectores que forman dicho triángulo indica la nueva dirección presentándose el caso 14 de la tabla 3. Se forma el vector entre los puntos 9 y 10.

Punto 10.- Comparamos los valores de calidad de la señal de los puntos 10 y 9. Se continúa en la misma dirección ya que existió un cambio positivo en la calidad de la señal encontrando el punto 11.

A partir del punto 11 se repite lo ocurrido en el caso 10 por lo que se mantiene la trayectoria hasta el punto 14 donde se obtienen valores de calidad y velocidad deseados.



Figura 5.2.- Prueba de guiado con calidad de la señal en zona libre de obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Este respecto a la orientación de inicio del nodo móvil

La tabla 7 muestra la historia de las mediciones hechas en cada punto de la prueba 2 libre de obstáculos.

Tabla 7.- Historia de las mediciones en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona libre de obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Este respecto a la orientación de inicio del nodo móvil

Punto	Velocidad	Potencia	Calidad	Punto	Velocidad	Potencia	Calidad
Inicio	1	-75	44/100	8	1	-74	43/100
1	5.5	-69	50/100	9	2	-74	44/100
2	2	-72	49/100	10	1	-73	51/100
3	11	-65	60/100	11	1	-71	53/100
4	1	-76	45/100	12	36	-64	59/100
5	1	-66	52/100	13	48	-51	73/100
6	24	-73	52/100	14	54	-37	87/100
7	2	-67	52/100				

5.2 Pruebas de campo en un área con obstáculos

El objetivo de éstas pruebas es observar y analizar los movimientos de un nodo ad hoc que se guía en la red, utilizando la propuesta de guiado basada en calidad de la señal implementada en un dispositivo móvil, para alcanzar la posición de otro nodo que se encuentra en la misma zona de cobertura (un salto), dentro de una zona con obstáculos.

Los equipos utilizados para estas pruebas son dos computadoras portátiles con las siguientes características: Toshiba modelo Tecra A5 con tarjeta de red interna inalámbrica modelo Intel(R) PRO/Wireless 2200BG (802.11g). Dell modelo Inspiron 1720 con tarjeta de red interna inalámbrica modelo Intel(R) PRO/Wireless 3945ABG (802.11g).

La zona seleccionada fue una explanada ubicada a un costado del edificio Valdez Vallejo de Ciudad Universitaria en el Distrito Federal, México. En esta zona existen varios árboles y frecuentemente se encuentran personas atravesando el área.

Se realizaron 8 pruebas en esta zona. Los equipos utilizados son las computadoras portátiles descritas al inicio de este capítulo. La hora de prueba fue entre las 10 y 11 de la mañana con una temperatura aproximada de 18° C donde en gran parte de la zona de prueba se encontraron sombras propias de los obstáculos.

La figura 5.3 muestra la primera prueba representativa de los ocho casos mencionados y a continuación se describe:

Prueba 1 con obstáculos.

Inicio.- Desde el punto de inicio se forma un triángulo equilátero con vértices en los puntos inicio, uno y dos. El movimiento aleatorio en el punto 1 se hizo 120° a la izquierda.

Punto 2.- En este punto se calcula el vector resultante de la suma de los vectores que forman triángulo anterior. El caso 8 de la tabla 3 se presenta en este punto y por lo tanto giramos 120° a la izquierda para llegar al punto 3.

Punto 3.- Se comparan los valores de calidad de la señal de los puntos 3 y 2. Debido a un cambio positivo en este punto se continúa en la misma dirección según el caso (a) de los criterios de calidad de la señal.

Punto 4.- Se comparan los valores de "SQ" del punto 4 con el 3 y se observa un decremento en el nuevo valor. Giramos 120° de manera aleatoria a la izquierda encontrando el punto 5 al cual nos dirigimos.

Punto 5.- En este punto nuevamente hemos dibujado con nuestros movimientos un triángulo formado por los puntos 3, 4 y 5, el caso 5 de la tabla 3 se presenta en este punto y por lo tanto giramos 30° a la izquierda. El resultado es el vector formado por los puntos 5 y 6.

Punto 6.- Se comparan los valores de calidad de la señal del punto 5 con el 6 y se observa un incremento en el nuevo valor. Avanzamos en la misma dirección para fijar el punto 7.

Punto 7.- Se comparan los valores de calidad de la señal del punto 7 con el 6 y se observa un decremento en el nuevo valor. Giramos 120° de manera aleatoria a la derecha encontrando el punto 8, al cual nos dirigimos.

Punto 8.- En este punto nuevamente hemos dibujado con nuestros movimientos un triángulo formado por los puntos 6, 7 y 8, el caso 6 de la tabla 3 se presenta en este punto y por lo tanto giramos 80° a la izquierda para llegar al punto 9.

Punto 9.- Se comparan los valores de calidad de la señal del punto 9 con el 8 y se observa un decremento en el nuevo valor de calidad de la señal. Giramos 120° de manera aleatoria a la izquierda encontrando el punto, al cual nos dirigimos.

Punto 10.- En este punto nuevamente hemos dibujado con nuestros movimientos un triángulo formado por los puntos 8, 9 y 10, el caso 8 de la tabla 3 se presenta en este punto y por lo tanto giramos 120° a la izquierda para llegar al punto 11.

Punto 11.- Comparamos los valores de calidad de la señal de los puntos 11 y 10. Se continúa en la misma dirección ya que existió un cambio positivo en la calidad de la señal, lo que nos lleva al punto 12.

A partir del punto 12 se repite lo ocurrido en el caso 11 por lo que se mantiene la trayectoria hasta el punto 15 donde se obtienen valores de calidad y velocidad deseados. La tabla 8 muestra la historia de las mediciones en cada punto de esta prueba.

Tabla 8.- Historia de las mediciones hechas en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal correspondiente a zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado al Oeste respecto a la orientación de inicio del nodo móvil

Punto	Velocidad	Potencia	Calidad	Punto	Velocidad	Potencia	Calidad
Inicio	12	-69	61/100	8	11	-67	56/100
1	2	-64	60/100	9	24	-70	55/100
2	36	-73	45/100	10	2	-67	50/100
3	11	-69	52/100	11	24	-62	67/100
4	18	-71	41/100	12	24	-57	69/100
5	2	-70	65/100	13	24	-56	71/100
6	12	-64	66/100	14	54	-48	78/100
7	6	-72	51/100	15	54	-26	93/100



Figura 5.3.- Prueba de guiado con calidad de la señal correspondiente a zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado al Oeste respecto a la orientación de inicio del nodo móvil

La segunda prueba representativa con obstáculos se observa en la figura 5.4 la cual se describe a continuación.

Prueba 2 con obstáculos.

Inicio.- Desde el punto de inicio se forma un triángulo equilátero con vértices en los puntos inicio, uno y dos. El movimiento aleatorio en el punto 1 se hizo 120° a la derecha.

Punto 2.- En este punto se calcula el vector resultante de la suma de los vectores que forman el triángulo anterior.. El caso 9 de la tabla 3 se presenta en este punto y por lo tanto se giran 60° a la izquierda para llegar al punto 3.

Punto 3.- Se comparan los valores de calidad de la señal del punto 3 con el 2 y se observa un decremento en el nuevo valor de calidad de la señal. Giramos 120° de manera aleatoria a la izquierda encontrando el punto 4, al cual nos dirigimos.

Punto 4.- En este punto nuevamente hemos dibujado con nuestros movimientos un triángulo formado por los puntos 2, 3 y 4, . El caso 8 de la tabla 3 se presenta en este punto y por lo tanto se giran 120° a la izquierda para llegar al punto 5.

Punto 5.- Comparamos los valores de calidad de la señal de los puntos 5 y 4. Se continúa en la misma dirección ya que existió un cambio positivo en la calidad de la señal, lo que nos lleva al punto 6.

A partir del punto 6 se repite lo ocurrido en el caso 5 por lo que se mantiene la trayectoria hasta el punto 10 donde se obtienen valores de calidad y velocidad deseados.

La tabla 9 muestra la historia de las mediciones hechas en cada punto de la prueba de la figura 5.4.

Tabla 9.- Historia de las mediciones en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal correspondiente a zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado al Sur de la orientación de inicio del nodo móvil

Punto	Velocidad	Potencia	Calidad	Punto	Velocidad	Potencia	Calidad
Inicio	2	-70	48/100	6	2	-69	56/100
1	5.5	-68	52/100	7	18	-66	61/100
2	2	-69	53/100	8	48	-63	64/100
3	2	-63	49/100	9	48	-26	95/100
4	48	-70	44/100	10	54	-20	98/100
5	1	-73	50/100				



Figura 5.4.- Prueba de guiado con calidad de la señal correspondiente a zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado al Sur de la orientación de inicio del nodo móvil

Cada una de las gráficas siguientes se obtuvo utilizando los mapas de trayectorias originados por la aplicación. Se trazó una línea recta entre cada punto visitado de la trayectoria y la posición del nodo destino en el mapa que debió ser la trayectoria correcta, esta línea forma un ángulo con la trayectoria real pintada en el mapa que es el ángulo de error hacia el destino en cada punto representado en las gráficas. La figura 5.5 muestra un ejemplo de esto.

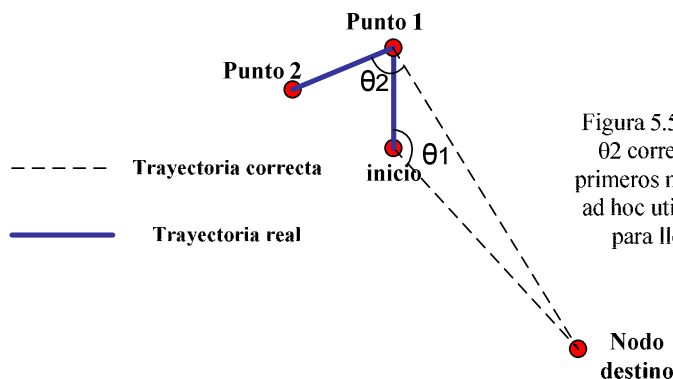


Figura 5.5 Angulos de error θ_1 y θ_2 correspondientes a los dos primeros movimientos de un nodo ad hoc utilizando el sistema guía para llegar al nodo destino

Las gráficas de la figura 5.6 a y b muestran los ángulos de error de las pruebas libres de obstáculos.

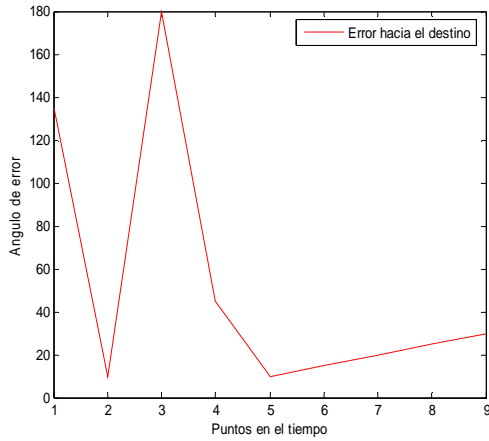


Figura 5.6 a.- Ángulo de error hacia el destino en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona sin obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Sur respecto a la orientación de inicio del nodo móvil

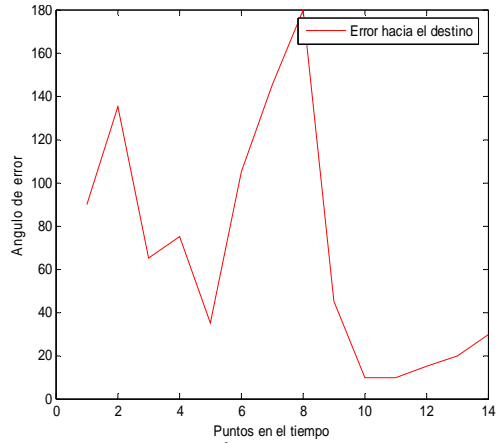


Figura 5.6 b.- Ángulo de error hacia el destino en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona sin obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Este respecto a la orientación de inicio del nodo móvil

Las gráficas de la figura 5.7 a y b muestran los ángulos de error de las pruebas con obstáculos.

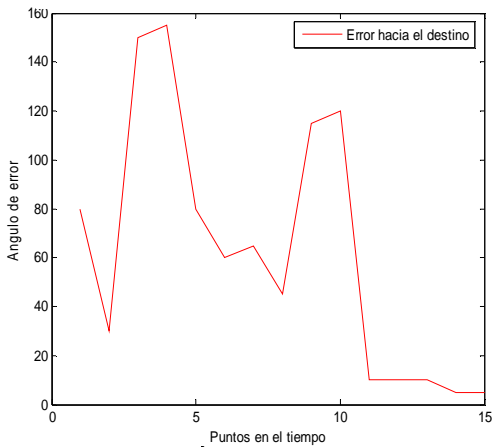


Figura 5.7 a.- Ángulo de error hacia el destino en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Oeste respecto a la orientación de inicio del nodo móvil

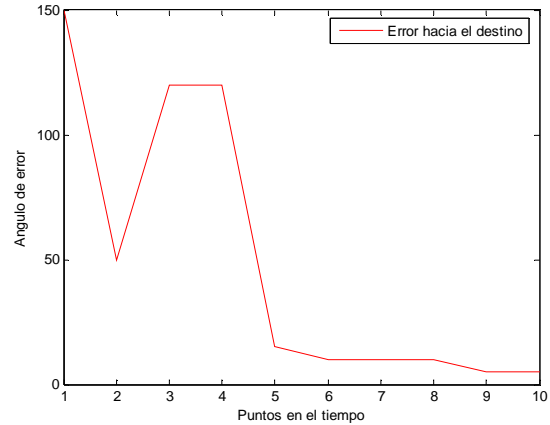


Figura 5.7 b.- Ángulo de error hacia el destino en cada punto de la prueba de guiado con calidad de la señal en zona con obstáculos donde el destino se encontraba ubicado hacia el Sur respecto a la orientación de inicio del nodo móvil

Las gráficas de ángulo de error anteriores muestran en cada caso un alto valor de error en los primeros movimientos, recordemos que al principio de cada prueba se forma un triángulo equilátero en la zona de inicio de manera aleatoria y estos movimientos no tienen la finalidad de acercarnos al nodo destino sino formar vectores de igual magnitud con una dirección específica cuya suma de ellos será la trayectoria a seguir, por ello es muy difícil encontrar valores de error bajos en los primeros movimientos.

Durante los puntos intermedios se encuentran algunos picos altos en la gráfica que indican la formación de otros triángulos que corrigen movimientos equivocados en la trayectoria, los puntos finales mantienen valores bajos que indican que se ha encontrado una trayectoria correcta después de n puntos visitados en el mapa.

De las ocho pruebas que se realizaron en cada zona se obtuvo un promedio por punto del ángulo de error medido. Estos ocho puntos se distribuyeron de manera que se pudiera ubicar el nodo destino en diferentes puntos del área de transmisión manteniendo al principio una distancia de 100 metros entre ambos nodos. La figura 5.8 muestra la distribución de los ocho puntos donde se ubicó el nodo destino en el área de cobertura del nodo móvil ad hoc a guiar.

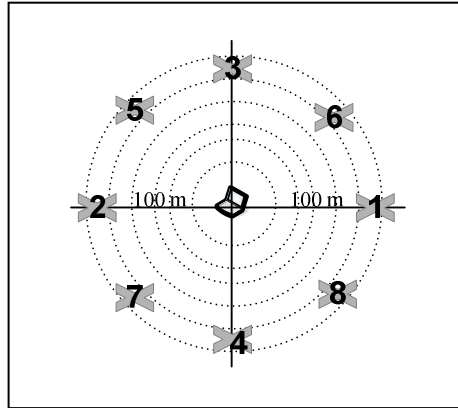


Figura 5.8.- Distribución de las 8 posiciones del nodo destino en cada zona de prueba del sistema guía basado en calidad de la señal

Las gráficas de la figura 5.9 a y b muestran los promedios de ángulos de error de las pruebas sin obstáculos y con obstáculos respectivamente

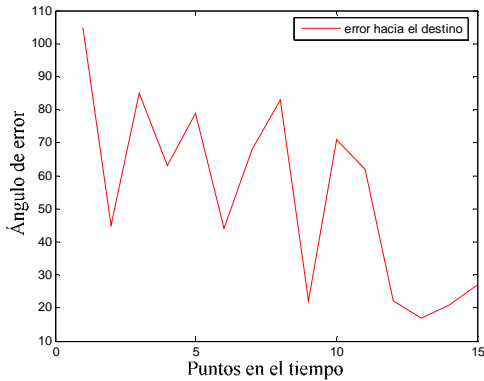


Figura 5.9a.- Promedio de ángulo de error hacia el destino en cada punto de las pruebas con obstáculos con calidad de la señal

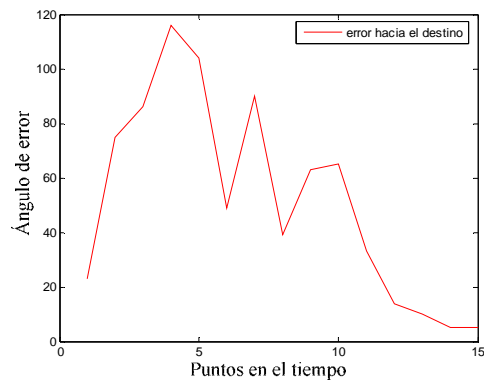


Figura 5.9b.- Promedio de ángulo de error hacia el destino en cada punto de las pruebas sin obstáculos con calidad de la señal

5.3. Conclusiones del capítulo

Los resultados de evaluación de la propuesta de guiado basada en calidad de la señal obtenidos en este capítulo indican que la mejor manera de medir el funcionamiento de un sistema que depende de las mediciones hechas a una señal inestable a causa de fenómenos físicos, es llevándolo a la práctica bajo las condiciones reales de la señal.

Conclusiones y comentarios

En este trabajo se propuso un sistema de guiado para nodos ad hoc en redes MANET, que fuera capaz de indicarle al usuario los movimientos a realizar, a fin de que, en forma guiada pudiera trasladarse desde una posición inicial hasta ubicarse en algún punto deseado en la red. Propósito que se cumplió y para el cual se fijaron dos objetivos de utilidad los cuales fueron: mejorar las características del enlace entre los nodos específicamente la velocidad de transmisión y el segundo lograr posicionar exactamente al nodo ad hoc en la ubicación de otro nodo.

Las técnicas utilizadas para cubrir los objetivos mencionados implicaron la medición del valor RSSI y calidad de la señal detectada por cada nodo guiado sobre la red inalámbrica, en base a ello se encontró que una de los principales atractivos de utilizarlas es el bajo costo del sistema, al no requerir hardware especial para su implementación, basta con tener un dispositivo equipado con una interfaz inalámbrica, que cumpla con el estándar 802.11 y contar con la máquina virtual de Java para poder ejecutar el sistema guía.

En cuanto a los resultados obtenidos al utilizar el sistema no existe algún problema en la interpretación de los resultados, en cuanto a en que dirección debe dirigirse el usuario, ya que la interfaz gráfica desarrollada marca el sentido de la trayectoria a tomar con la brújula de dirección, indicando claramente con una flecha la dirección a seguir, la cual acompañada de comandos de voz resulta ser amigable y sencilla, de tal manera que fácilmente pueden seguirse las instrucciones de guiado del sistema. El mapa de trayectoria incluido en el sistema hace posible al usuario saber si se han realizado los movimientos correctos después de cada instrucción.

En cuanto a la metodología seleccionada, se observó que el *método de triangulación RSSI*, no resuelve del todo el problema del guiado debido a las falsas estimaciones de distancia que se obtienen del modelo de propagación empírico, estas deficiencias se presentan debido a diversos factores que afectan la señal como son: el que un punto más alejado que otro del nodo destino suele tener mejores condiciones de recepción de la señal y como resultado la distancia estimada resulta ser falsa, además de que las diversas trayectorias que puede seguir una señal antes de llegar a su destino pueden variar en diferentes escenarios y de la misma manera encontrarse puntos cuya distancia estimada pudiera resultar falsa.

Por otra parte la propuesta de guiado basada en calidad de la señal ofreció mejores resultados que la primer propuesta basada en RSSI ya que no estima valores de distancias o ángulos de error sino que basa sus decisiones en conocer hacia que punto la señal se comporta con una calidad mayor, por lo cual considero que este mecanismo de medida es el mas adecuado.

También se observó que la historia de las mediciones hechas en varios puntos podrían agregar información de guiado al sistema, desde luego considerando que con ello se incrementaría la necesidad de realizar cambios sustanciales al sistema como lo sería el tener un área de almacenamiento de información en cada nodo, es posible que con ello se obtuvieran más criterios de direccionamiento que permitan conocer más sobre las condiciones de la zona de transmisión como puede ser la presencia de obstáculos fijos y la causa de desvanecimientos o falta de señal, de esta manera los propios obstáculos pueden servir como puntos de referencia para conocer la dirección hacia donde se tiene una línea de vista segura.

Una conclusión interesante es el conocer que aun quedan más puntos por estudiar y analizar y alternativas de solución, dejando este campo para nuevos intentos de solución como lo sería: el buscar algunos parámetros adicionales en la señal inalámbrica que ayuden a formular otros criterios de selección de movimiento, que puedan complementar la descripción del escenario existente entre el nodo guiado y el de destino.

También se considera aconsejable el seguir realizando pruebas en diferentes escenarios utilizando equipos de diferentes fabricantes para conocer su comportamiento de guiado bajo diferentes condiciones.

Finalmente cabe recalcar que los movimientos calculados en las dos técnicas propuestas y utilizadas en este trabajo hacen referencia únicamente a un sistema bidimensional, si bien se sabe que la problemática de las redes ad hoc es tridimensional y que existen otras variables adicionales propias del entorno como la altura a la que se encuentra el nodo ad hoc. Pensamos que si se incluye la dimensión adicional junto con las variables propias del manejo tridimensional el algoritmo de guiado resultara más completo e interesante de solucionar.

Glosario

802.11

Estándar aprobado en 1997 para las redes de área local inalámbricas.

ad hoc

Término adoptado para referirse a la red formada dinámicamente por dispositivos móviles capaces de comunicarse entre sí sin requerir de un dispositivo que los coordine.

ACK

Acknowledgment. Paquete que significa acuse de recibo indicando que se ha recibido correctamente la información en un enlace de red.

AOA

Angle of arrival. Sistema de posicionamiento que emplea el ángulo de llegada de la señal para estimar la posición de un nodo ad hoc dentro la red.

AODV

On-Demand Distance Vector. Es un protocolo reactivo que tiene como principal virtud incluir un número de secuencia por cada destino para evitar los bucles infinitos.

AP

Access point. Dispositivo de redes llamado también punto de acceso que sirve como intermediario para la comunicación entre dispositivos wifi o con otro tipo de red

APS

Ad hoc positioning system. Siglas que se emplean para referirse al conjunto de sistemas de posicionamiento para redes ad hoc.

CRC

Cyclic redundancy check. También llamado control de redundancia cíclica que se refiere a un procedimiento para detectar errores en comunicaciones digitales.

CSMA/CA

Carrier sense, multiple access, collision avoidance. Protocolo empleado en el estándar 802.11 para acceder al medio. El canal inalámbrico es reservado por la estación que transmite durante un lapso de tiempo.

CSMA/CD

Carrier sense, multiple access, collision detection. Protocolo empleado en las redes Ethernet para acceder al medio. En este protocolo se detectan las colisiones a diferencia de CSMA/CA donde se previenen.

CTS

Clear to send. Paquete de aceptación de transmisión empleado en distintos estándares de redes.

DFIR

Diffuse infrared. Modulación empleada para el rango de frecuencias de infrarrojo.

DIFS

Distributed inter-frames space. Espacio de tiempo esperado por las estaciones inalámbricas antes de solicitar el canal para transmitir, empleado en el estándar 802.11.

DoA

Direction of arrival. Algoritmo empleado para determinar la dirección de llegada de una señal inalámbrica.

DSR

Dynamic source routing. DSR forma parte de la familia de protocolos reactivos y tiene como característica principal el manejar un memoria de rutas en los nodos con información de eventos pasados. Es necesaria la confirmación de cada paquete una vez establecida la comunicación.

DSSS

Direct sequence spread spectrum. Técnica de modulación donde el espectro es dividido en 14 canales de 22 MHz cada uno con una separación de 5 MHz entre ellos, de esta manera es posible utilizar 3 canales simultáneamente ya que la separación evita la interferencia.

FHSS

Frequency hopping spread spectrum. Técnica de modulación de espectro ensanchado con saltos de frecuencia. En FHSS la señal de datos se modula con una señal portadora que brinca de frecuencia en frecuencia con un cierto patrón.

GPS

Global positioning system. Sistema de posicionamiento global formado por un conjunto de 24 satélites que cubren 6 órbitas distintas lo que permite ubicar objetos en la tierra.

GNSS

Global navigation satellite system. Sistemas de posicionamiento globales de navegación por satélite.

IBSS

Independent basic service set. Tipo de red inalámbrica que se considera independiente ya que no requiere de dispositivos que coordinen la comunicación entre los nodos que la componen.

HR/DSSS

High-rate direct sequence. Técnica de modulación empleada en el estándar 802.11b. La codificación se realiza utilizando CCK (Complementary Code Keying) que consiste en utilizar el flujo del chip para codificar símbolos.

ISM

Industrial, scientific and medical. Dentro del espectro electromagnético las bandas ISM son aquellas que no necesitan permiso de uso por los organismos reguladores correspondientes. Estas frecuencias van de los 900 MHz a los 5 GHz.

ITU

Internacional telecommunication union. Organismo de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones en el mundo.

LAN

Local area network. Red de cobertura local cuya extensión se limita a unos cuantos kilómetros.

MAC

Media access control. Capa de red cuyas funciones principales son el control de flujo, la fragmentación, gestión de potencia y el control de acceso al medio.

MANET

Mobile ad hoc network. Término que se utiliza para referirse a una red formada de tipo ad hoc.

MPDU

MAC protocol data unit. En el estándar 802.11 a las tramas generadas en la capa MAC se les conoce como MPDU's

NAV

Network allocation vector. Parámetro que indica la reservación del canal por un tiempo definido y está incluido en el RTS dentro del estándar 802.11.

NS2

Network Simulator 2. Simulador de redes de código abierto basado en la investigación y administrado por la Universidad de Berkeley de Estados Unidos.

OFDM

Orthogonal frequency division multiplexing. Técnica de modulación donde el transmisor utiliza multiples portadoras de varias frecuencias.

PCF

Point coordination function. Forma en la que la coordinación de acceso al medio se hace mediante un dispositivo (punto de acceso) en el estándar 802.11.

PDA

Personal digital assistant. Dispositivo electrónico que tiene funciones de computadora, teléfono, fax, Internet y conexiones de red.

PHY

Physic. Abreviatura que se utiliza para referirse a la capa física en una red. La capa física es la encargada de transmitir los bits a través de un canal de transmisión.

PLCP

Physical layer convergence protocol. Subcapa de la capa física del estándar 802.11. la subcapa PLCP tiene como función preparar las tramas del MAC para ser transmitidas por la capa PMD.

PMD

Physical medium dependent. Subcapa de la capa física del estándar 802.11. La subcapa PMD tiene como función principal definir las características y el método a utilizar para transmitir y recibir datos del usuario por un medio inalámbrico.

RADAR

Sistema de localización en interiores desarrollado por Microsoft que emplea el parámetro RSSI.

RERR

Route error. Mensaje de error que se envía al nodo origen al no poder encontrar la ruta hacia el destino los mensajes de petición RREQ empleados en los protocolos reactivos como AODV y DSR.

RREQ

Route request. Mensaje de petición de ruta enviado mediante la técnica de inundación, empleado por protocolos reactivos como AODV y DSR.

RSSI

Received signal strength indication. Indicador del valor de potencia de recepción existente en un enlace inalámbrico.

RTS

Request to send. Paquete de solicitud de transmisión empleado en diversos estándares de redes, entre ellos el 802.11.

SIFS

Short inter-frame space. Periodo de tiempo que debe esperar una estación antes de responder un mensaje CTS o ACK dentro del estándar 802.11.

SQ

Signal quality. Calidad de la señal en un enlace inalámbrico, suele expresarse en términos de porcentaje.

TDOA

Time difference of arrival. Sistema de posicionamiento para nodos ad hoc que utiliza la diferencia en tiempo de llegada a dos o más estaciones base de la señal inalámbrica para calcular la posición del nodo dentro de la red.

TOA

Time of arrival. Sistema de posicionamiento que emplea el tiempo de llegada de la señal inalámbrica para calcular la posición de un nodo ad hoc dentro de la red.

WiFi

Wireless fidelity. Conjunto de tecnologías de comunicación inalámbrica que emplean alguna de las versiones del estándar 802.11.

WiPS

Wireless LAN based indoor positioning system. Proyecto de posicionamiento para redes inalámbricas LAN en interiores.

Wireless Tools

Proyecto de Software libre patrocinado por Hewlett Packard. Es una herramienta que interactúa con el driver inalámbrico del dispositivo para informar estadísticas específicas de la conexión.

Referencias

- 1 James Clerk Maxwell, M.A. "A TREATISE ON ELECTRICITY AND MAGNETISM", PUBLISHERS TO THE UNIVERSITY OF OXFORD, 1873, pp.227-237

 - 2 Basagni Stefano, Conti Marco, Giordano Silvia, Stojmenovic Ivan. "MOBILE AD-HOC NETWORKING", IEEE JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2004, pp. 4-6

 - 3 ITU-R, "RADIO REGULATIONS", ITU-R, 2004, RR 5.280, 5.15

 - 4 Gast, Matthew S., "802.11 Wireless Networks", O'Reilly ANAYA, 1ª edición 2005, pp 158-159.

 - 5 IEEE Computer Society Sponsored by the LAN/MAN Standards Committee, "IEEE Std 802.11g™-2003", Published by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

 - 6 Ponce Enrique, Molina Enrique, Mompó Maicas, "Redes Inalámbricas 802.11", Universidad Politécnica de Valencia, 2004 pp. 22

 - 7 Fazio M., Villari M., Puliafito A., "Autoconfiguration and Maintenance of the IP Address in ad-hoc Mobile Networks", Università di Messina, Dipartimento di Matematica, 2002, pp 3.

 - 8 D. Niculescu and B. Nath, "Ad hoc positioning system (aps)," in *Proc. IEEE Global Telecommunications Conference, 2001 (GLOBECOM '01)*, vol. 5, Nov.29 2001, pp. 2926 - 2931.

 - 9 U.S. Department of Homeland Security, "Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification", 2da Edition, 1995 pp 9-10

 - 10 D. Niculescu and B. Nath, "Ad hoc positioning system (aps) using aoa," in *Proc. IEEE Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM)*, vol. 3, Apr. 2003, pp. 1734 - 1743

 - 11 Golden, Stuart A.; Bateman, Steve S. "Sensor Measurements for Wi-Fi Location with Emphasis on Time-of-Arrival Ranging", IEEE, Volume 6, Issue 10, Oct. 2007 Page(s):1185 - 1198

 - 12 Yamasaki, R.; Ogino, A.; Tamaki, T.; Uta, T.; Matsuzawa, N.; Kato, T. "TDOA location system for IEEE 802.11b WLAN", Wireless Communications and Networking Conference, 2005 IEEE Volume 4, Issue , 13-17 March 2005 Page(s): 2338 - 2343 Vol. 4.
-

- 13 Jagoba Arias, Aitzol Zuloaga, Jesús Lázaro, Jon Andreu and Armando Astarloa. "An RSSI based ad hoc location algorithm", Department of Electronics and Telecommunications, Faculty of Engineering, University of the Basque Bilbao, Spain, 2004.
- 14 Regina Bischoff, Roger Wattenhofer. "Analyzing Connectivity-Based Multi-Hop Ad-hoc Positioning", Department of Computer Science, ETH Zurich, Journal of Telecommunication Systems, 2003.
- 15 Jayashree, L.S.; Arumugam, S.; Anusha, M.; Hariny, A.B. "On the accuracy of centroid based multilateration procedure for location discovery in wireless sensor networks", Wireless and Optical Communications Networks, 2006 IFIP International Conference on Volume , Issue ,April 2006
- 16 Mansilla Guital Cristian, Muñoz Brandao Eduardo, "Antenas inteligentes y su desempeño en redes Wireless", Instituto de Electricidad y Electrónica, Universidad Austral de Chile, 2006
- 17 Kay R"omer, "Time Synchronization in Ad Hoc Networks" ETH Zurich, Department of Computer Science, pp. 3.
- 18 S. Pinzón, L. De Luque, I. Díaz, S. Vásquez, O. Gualdrón, "Predicción del nivel de intensidad de la señal recibida (RSSI) en una red Inalámbrica (WLAN 802.11b) mediante un modelo neuronal", Grupo de Investigación en Conectividad y Procesado de Señal, Universidad Industrial de Santander Bucaramanga Colombia,
- 19 Kitasuka Teruaki, Hisazumi Kenji, Nakanishi Tsuneo, "Positioning Technique of Wireless LAN Terminals Using RSSI between Terminals", International Conference on Pervasive Systems and Computing, 2005, pp 47-53
- 20 Paramvir Bahl Venkata N. Padamanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System", Microsoft Research, 1999.
- 21 Bardwell Joshua, "The Truth About 802.11 Signal and Noise Metrics", Connect802 Corporation, 2004, pp16
- 22 www.isi.edu/nsnam/ns/ Web Official The Network Simulator NS2
- 23 Antti Kotanen, Marko Hännikäinen, Helena Leppäkoski, Timo D. Hämäläinen, "Positioning with IEEE 802.11b Wireless LAN", Tampere University of Technology, Institute of Digital and Computer Systems, Finland, 2001.
- 24 Kitasuka Teruaki, Hisazumi Kenji, Nakanishi Tsuneo, "Positioning Technique of Wireless LAN Terminals Using RSSI between Terminals", International Conference on Pervasive System and Computing, USA 2005.