

Simulación y evaluación de redes *ad hoc* bajo diferentes modelos de movilidad

Jorge Eduardo Ortiz Triviño*, Jaime Leonardo Bobadilla Molina** y Miguel Arnulfo Saumett León***

Simulation and evaluation of ad hoc networks under different mobility models

RESUMEN

En la evaluación del desempeño de un protocolo para una red *ad hoc*, el protocolo debería ser probado en condiciones realistas, incluidos movimientos realistas de los usuarios móviles (un modelo de movilidad). En este artículo se revisan varios modelos de movilidad usados en simulaciones de redes móviles, incluidos modelos de movilidad que representan nodos móviles cuyo movimiento es independiente de los otros nodos móviles y modelos de movilidad que representan nodos móviles cuyos movimientos son dependientes de los otros (modelos de movilidad de grupos). Se presentan algunos resultados de la simulación en NS-2, que ilustran la importancia de escoger un modelo de movilidad en la simulación de un protocolo sobre redes móviles. Específicamente, se ilustra cómo los resultados de desempeño en una red *ad hoc* cambian drásticamente al cambiar, bien sea el modelo de movilidad, o bien los parámetros del modelo seleccionado o ambos.

PALABRAS CLAVE

Redes *ad hoc*, modelo de movilidad, ns-2, desempeño, protocolo, simulación

ABSTRACT

In the performance evaluation of a protocol for an *ad hoc* network, the protocol should be tested under realistic conditions including realistic movements of the mobile users (a mobility model). In this paper we revise several mobility models used in the simulations of mobile networks including mobility models that represent mobile nodes whose movements are independent of each other and mobility models that represent mobile nodes whose movements are dependent on each other (group mobility models). We present simulation results in NS-2 that illustrate the importance of choosing a mobility model in the simulation of a mobile network protocol. Specifically, we illustrate how the performance results of an *ad hoc* network protocol drastically change as a result of changing the mobility model simulated.

KEY WORDS

Ad hoc networks, mobility model, ns-2, performance, protocol, simulation

* Profesor asistente del Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial de la Universidad Nacional de Colombia. jeortiz@unal.edu.co

** Estudiante IX semestre del Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial de la Universidad Nacional de Colombia. leonardobobadilla1@hotmail.com

*** Estudiante IX semestre del Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial de la Universidad Nacional de Colombia. masl9@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición de redes *ad hoc*

Las redes inalámbricas se pueden clasificar en dos tipos: primero redes con infraestructura que presentan *gateways* fijos cableados [1], un nodo móvil se comunica con un punto en la red, llamado estación base, dentro de su radio de comunicación. El nodo móvil se puede mover geográficamente mientras se esté comunicando con su estación base dentro de su radio de comunicación. Cuando sale fuera del rango de una estación base el nodo móvil se conecta con una nueva estación base fija y comienza la comunicación a través de ésta. Este proceso se conoce como *handoff* y se presenta en varios sistemas de comunicación, en especial en los sistemas celulares [2].

El segundo tipo de redes son las denominadas redes *ad hoc* o sin estructura. En las redes *ad hoc* todos los nodos son móviles y pueden ser conectados dinámicamente de manera arbitraria. Todos los nodos de estas redes se comportan como *enrutadores* y participan en el descubrimiento y mantenimiento de rutas a otros nodos de la red.

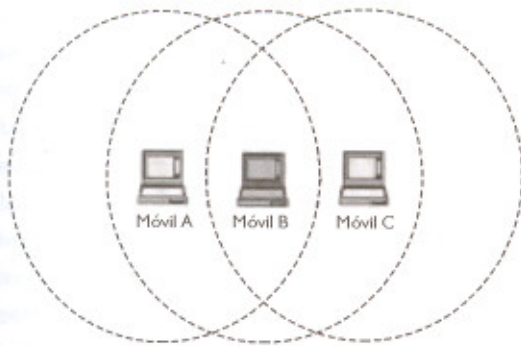


Figura 1. Red *ad hoc* simple.

La figura 1 muestra una red *ad hoc* simple en la que el nodo móvil A desea enviar un paquete al nodo móvil C pero C está fuera del rango. De esta manera al nodo móvil B se le pasa el paquete proveniente de A y éste, a su vez, lo transmite hacia C. El ejemplo ilustra claramente que las redes *ad hoc* consisten en *hosts* inalámbricos que se comunican unos con otros en ausencia de una infraestructura fija.

Las rutas entre dos nodos en una red *ad hoc* pueden consistir en saltos a través de otros *hosts* en la red. La movilidad de los nodos puede causar cambios impredecibles en la topología de la red; por consiguiente, encontrar y mantener rutas es una de las tareas más importantes en los protocolos de enrutamiento [3].

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 1.2 se mencionarán aplicaciones actuales de las redes *ad hoc*. En la sección 1.3 se presentan conceptos sobre simulación de redes *ad hoc*. En la sección 2 se discuten cuatro modelos sintéticos de movilidad, incluida movilidad en grupos y de entidades. En la sección 4 se discute cómo un modelo de movilidad tiene un efecto importante en la evaluación del desempeño de un protocolo de redes *ad hoc*. Esto significa que los resultados de desempeño de un protocolo de red *ad hoc* cambian de manera significativa cuando cambia el modelo de movilidad en la simulación. Los resultados presentados prueban la importancia de elegir un modelo apropiado de movilidad para una evaluación de desempeño dada. Se termina el artículo con una discusión sobre los resultados experimentales más importantes y se esbozan desarrollos futuros.

1.3 Simulación de redes *ad hoc*

Los principales parámetros que afectan el desempeño de una red *ad hoc* son número de nodos móviles en un área, comportamiento de los nodos móviles (movimiento) y calidad de los enlaces [11].

Para simular de manera correcta un nuevo protocolo para una red *ad hoc*, es necesario usar un modelo de movilidad que represente los nodos móviles (NM) que eventualmente utilizarán el protocolo dado. Sólo en este tipo de escenario simulado es posible determinar si el protocolo propuesto será útil cuando se implemente. En la actualidad existen dos tipos de modelos de movilidad usados en simulación de redes: modelos que utilizan rastros y modelos sintéticos. Los modelos que utilizan rastros son aquellos cuyos datos por analizar son tomados de sistemas reales. Estos proveen información exacta en especial cuando involucran un gran número de participantes y un largo periodo de observación. Sin embargo ambientes nuevos de redes, por ejemplo redes *ad hoc*, no son fácilmente modelados si los rastros no han sido creados, caso en el cual se

deben utilizar modelos sintéticos. Los modelos sintéticos intentan representar de manera realista el comportamiento de nodos móviles sin el uso de rastros. En este artículo se presentan cuatro modelos sintéticos, propuestos para la evaluación de protocolos de redes *ad hoc*.

Un modelo de movilidad debe intentar imitar los movimientos reales de nodos móviles. Los cambios de velocidad y dirección deben existir en instantes razonables de tiempo. No es deseable, por ejemplo, que los nodos móviles viajen en línea recta con velocidad constante durante toda la simulación ya que un nodo móvil real no viajaría de esa manera tan restringida.

Se revisa un número importante de modelos sintéticos usados en la simulación de redes *ad hoc*. Detalles de estos modelos proveen un buen recurso para investigadores y diseñadores de redes. Adicionalmente implementaciones de todos los modelos de movilidad descritos en este artículo están disponibles en <http://dis.unal.edu.co/profesores/~jortiz>.

2. MÉTODOS

2.1 Modelos de movilidad

En esta sección se presentan cuatro modelos de movilidad propuestos o usados en la evaluación de desempeño de protocolos en redes *ad hoc*, implementados para desarrollar el estudio. Los primeros tres modelos presentados, el modelo *Random Waypoint*, el modelo *Gauss-Markov* y el modelo en *ciudades*, son representaciones de movilidad para entidades, mientras que el modelo de movilidad de grupo con punto de referencia se refiere a movimiento de grupos de entidades. Detalles más amplios sobre estos modelos de movilidad se presentan en [12] y en [14].

2.2 Modelo de movilidad *Random Waypoint*

El modelo de movilidad *Random Waypoint* incluye pausas entre cambios de dirección o velocidad. Un nodo móvil comienza en una localización en determinado periodo, es decir una pausa. Una vez que el tiempo expira, el nodo móvil escoge un destino aleatorio y una velocidad uniformemente distribuida. Luego el nodo

móvil viaja hacia el nuevo destino con la velocidad seleccionada. Cuando llega el nodo móvil, hace una pausa en un periodo específico antes de empezar de nuevo el proceso.

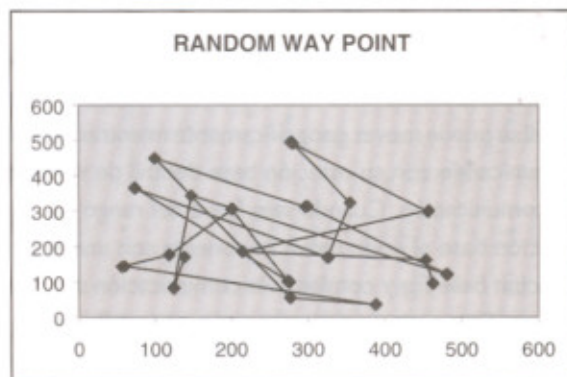


Figura 2. Ejemplo del patrón de movimiento del modelo *Random Waypoint*.

2.3 *Gauss-Markov*

El modelo de movilidad *Gauss-Markov* fue originalmente propuesto para la simulación de PCS; sin embargo, este modelo ha sido usado también para la simulación de redes *ad hoc*. En esta sección se describe una implementación del modelo.

El modelo de movilidad de *Gauss-Markov* fue diseñado para adaptarse a varios niveles aleatorios por medio del ajuste de un parámetro. Inicialmente a cada nodo NM se le asigna una dirección y una velocidad. En intervalos fijos de tiempo, t , el movimiento ocurre actualizando la velocidad y la dirección de cada nodo móvil. Específicamente el valor de la velocidad y dirección en el tiempo t se calcula con base en el valor de la velocidad y dirección del tiempo $t-1$ y una variable aleatoria mediante las siguientes ecuaciones.

$$s_t = \alpha s_{t-1} + (1-\alpha)d + \sqrt{(1-\alpha^2)}s_{x_{t-1}}$$

$$d_t = \alpha d_{t-1} + (1-\alpha)d + \sqrt{(1-\alpha^2)}d_{x_{t-1}}$$

Donde s_t y d_t son la nueva velocidad y dirección de los nodos móviles en el intervalo de tiempo t , donde $0 \leq \alpha \leq 1$ es el parámetro de ajuste usado para variar la aleatoriedad, s y d son constantes que representan el

valor de la media de la dirección y la velocidad cuando $t \rightarrow \infty$ y $s_{x_{t-1}}$, $d_{x_{t-1}}$, son variables aleatorias de una distribución normal estándar. Valores totalmente aleatorios se obtienen haciendo $\alpha = 0$ y el movimiento lineal se obtiene cuando $\alpha = 1$. Niveles intermedios de aleatoriedad se obtienen variando el valor de α entre 0 y 1.

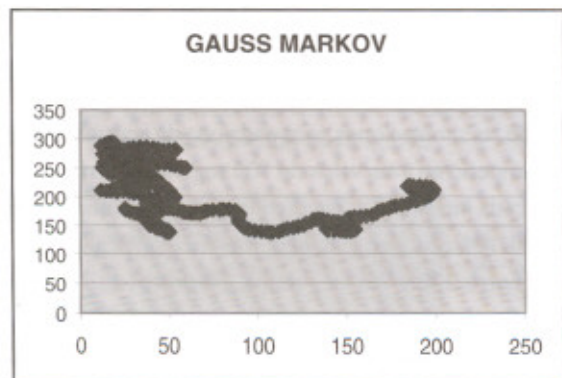


Figura 3. Patrón de movimiento de un nodo en el modelo de movilidad Gauss-Markov.

2.4 Modelo de movilidad en ciudad

En el modelo de movilidad de ciudad, el área de la simulación es una red de calles que representan una parte de una ciudad donde existe una red *ad hoc*. Las calles y los límites de velocidad están basados en el tipo de ciudad que está simulándose. Por ejemplo, las calles pueden formar una rejilla en el centro de la ciudad con una autopista cerca al borde de la simulación para representar una avenida que rodea la ciudad. Cada nodo móvil empieza la simulación en un punto definido en alguna calle.

Luego de la iniciación, un nodo móvil escoge un lugar representado por un punto en una calle. El algoritmo que define el movimiento de la ubicación localiza una ruta correspondiente al camino más corto entre los dos puntos y, adicionalmente, características como límite de velocidad y distancia mínima permitida entre dos nodos móviles. Cuando el nodo llega a su destino, el nodo móvil se detiene por un tiempo específico; luego elige aleatoriamente otra ubicación dentro de la ciudad y comienza el proceso de nuevo.



Figura 4. Patrón de movimiento de un nodo en el modelo de movilidad en ciudades.

2.5 Modelo de movilidad de grupo con punto de referencia

El modelo de movilidad con punto de referencia representa el movimiento aleatorio de un grupo de nodos móviles, así como el movimiento aleatorio de cada nodo móvil dentro del grupo. Los movimientos de grupo se basan en el camino que recorre un centro lógico del grupo. El centro lógico del grupo se calcula usando un vector de movimiento de grupo, GM. El movimiento del centro del grupo caracteriza por completo el movimiento de su grupo correspondiente, incluidas dirección y velocidad. Los nodos móviles individuales se mueven de manera aleatoria alrededor de sus propios puntos de referencia predefinidos, cuyos movimientos dependen del movimiento del grupo. Tan pronto como los puntos individuales de referencia se mueven del tiempo t al tiempo $t+1$ sus ubicaciones se actualizan de acuerdo con un centro lógico.

El modelo *rpgm*, como se conoce este modelo, fue diseñado para ilustrar escenarios como rescates de avalanchas. Durante un rescate de avalancha el equipo de rescate consiste en humanos y caninos que trabajan de manera cooperativa. Los guías humanos tienden a mostrar un camino para que los caninos los sigan, ya que estos conocen la ubicación aproximada de las víctimas. Los perros crean sus propios caminos aleatorios alrededor del área general, escogida por los humanos. Este modelo se definió originalmente en [7].

3. EXPERIMENTOS

En esta sección se muestra, a través de simulación, la importancia de escoger el modelo de movilidad en el momento de evaluar el desempeño de una red *ad hoc*.

Se usa *ns-2*[5] para comparar el desempeño de los cuatro modelos descritos anteriormente: Modelo de movilidad de grupo con punto de referencia, en ciudad, Gauss-Markov, *Random Waypoint*, por medio de simulación de 100 nodos móviles. El conjunto de simuladores, datos resultantes, programas construidos para el análisis de los datos y otros resultados que, por espacio, no se han incluido aquí, se encuentran disponibles en la página web referenciada anteriormente.

Cada nodo móvil tiene 100 m de rango de transmisión y el enrutamiento de los paquetes se realiza a través de DSR. Los parámetros de los 4 modelos de movilidad estudiados se escogieron de tal forma que la simulación de las rutas fuera lo más real posible y los modelos pudieran ser comparados unos con otros.

DSR es un protocolo de origen que determina rutas sobre demanda, en un protocolo de origen cada paquete lleva la ruta completa (una secuencia con una lista de nodos) que el paquete debe atravesar para llegar a su lugar de destino. En un protocolo sobre demanda o reactivo como el caso de DSR, una ruta a un destino se requiere sólo cuando hay datos para enviar a un destino y la ruta a ese destino es desconocida o ha expirado. Se escogió DSR debido a que se comporta de manera adecuada en las evaluaciones de desempeño de protocolos *unicast*.

Parte del código de *ns-2*, usado en las simulaciones fue obtenido en [2], aunque, en gran medida, fue desarrollado en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia. Las simulaciones se ejecutaron para 2010 segundos. Sin embargo, se recolectaron 1010 segundos de tiempo de simulación debido a las razones expuestas.

En las simulaciones se tienen 20 fuentes CBR (*constant bit rate*) que envían paquetes a una tasa de un paquete por segundo a 20 receptores distintos, es decir, una simulación donde son transmitidos 20,000 paquetes entre 20 parejas de comunicación. Todos los resultados de desempeño se presentan en un promedio de 5 simulaciones; las localizaciones iniciales de los nodos móviles son aleatorias y se distribuyen uniformemente.

En la comparación de los cuatro modelos de movilidad, se consideran las siguientes métricas de desempeño: razón de entrega de paquetes de datos sobre paquetes de actualización de rutas, la razón del número de paquetes que se mandan sobre el número de paquetes que se reciben, número promedio de saltos y demora de arribo de paquetes.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados comparativos de las simulaciones para cada una de las medidas de desempeño en intervalos de 100 segundos. En las gráficas, cada intervalo se representa por un número entre 1 y 10. Así, por ejemplo, el número 3 significa un intervalo entre 200 y 300 segundos. Fácilmente se deduce que, como se había supuesto al principio, el modelo de movilidad afecta directamente el desempeño del protocolo.



Figura 5. Comparación de modelos con paquetes de 64 k, de la razón de paquetes de datos sobre paquetes de enrutamiento.

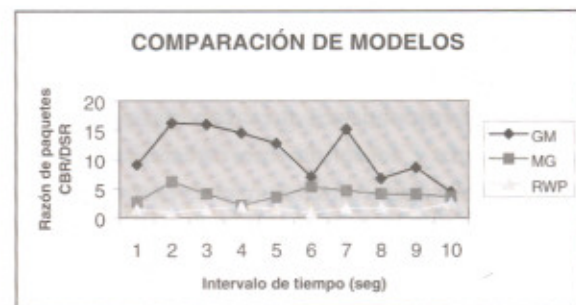


Figura 6. Comparación de modelos con paquetes de 512 k, de la razón de paquetes de datos sobre paquetes de enrutamiento.

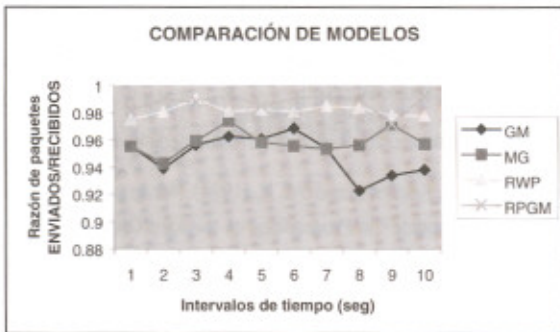


Figura 7. Comparación de modelos con paquetes de 64 k, de la razón de paquetes de enviados sobre recibidos.

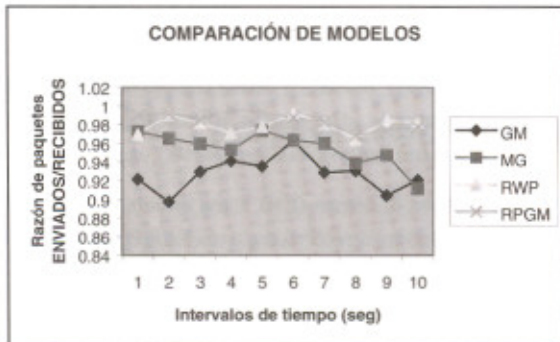


Figura 8. Comparación de modelos con paquetes de 512 k, de la razón de paquetes de enviados sobre recibidos.

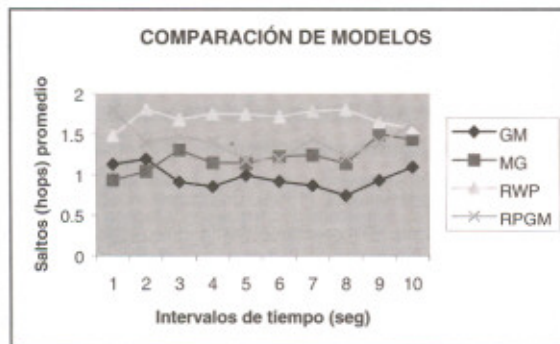


Figura 9. Comparación de modelos con paquetes de 64 k, del número promedio de saltos.

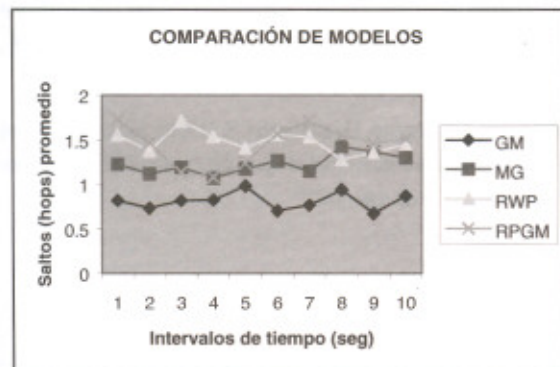


Figura 10. Comparación de modelos con paquetes de 512 k, del número promedio de saltos.

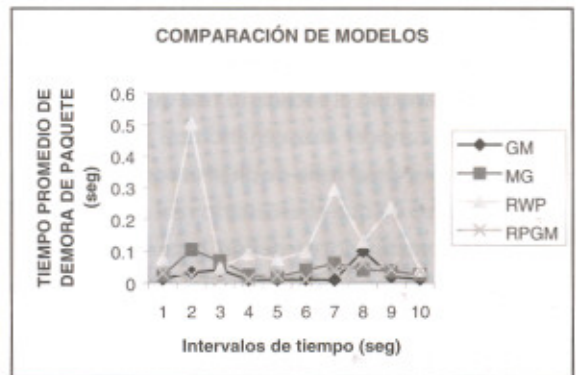


Figura 11. Comparación de modelos con paquetes de 64 k, del tiempo promedio de demora de paquete.

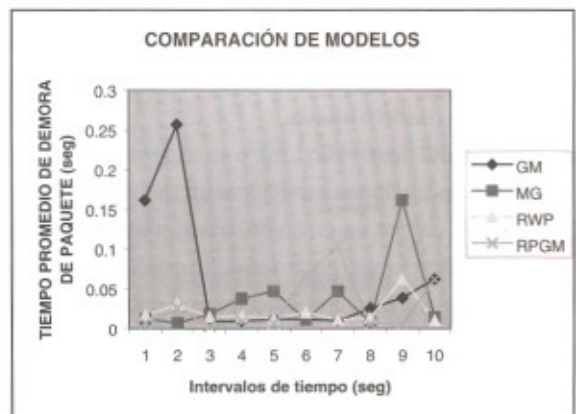


Figura 12. Comparación de modelos con paquetes de 512 k, del tiempo promedio de demora de paquete.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Del estudio se desprenden las siguientes conclusiones, dificultades y desarrollos futuros:

1. El desempeño de un protocolo en una red *ad hoc* puede variar significativamente bajo diferentes modelos de movilidad, las figuras 5-12 ilustran el desempeño de un protocolo de enrutamiento con diferentes modelos de movilidad. Es claro que el desempeño del protocolo se afecta de manera significativa por el modelo escogido.
2. El desempeño de una red *ad hoc* puede variar significativamente cuando el mismo modelo de movilidad se usa con diferentes parámetros. Un ejemplo de esto son las figuras 11 y 12, donde se simula el mismo modelo de movilidad con una tamaño diferente de paquetes.

3. El desempeño del protocolo de una red *ad hoc* debería ser evaluado con el modelo de movilidad que sea más parecido al escenario real que se espera. El hecho de conocer el escenario real ayudaría eventualmente al desarrollo de un protocolo para red *ad hoc*. En caso de que el escenario real no sea conocido, los investigadores deben hacer una elección apropiada acerca del modelo de movilidad que se podría utilizar.
4. Se evidencia la importancia en la investigación sobre modelos de movilidad para protocolos en redes *ad hoc*. Una dirección para la investigación es examinar movimientos de los nodos móviles en escenarios reales para producir modelos de movilidad más precisos, otra dirección sería combinar las mejores características de modelos de movilidad para crear un modelo nuevo.
5. Dentro del desarrollo futuro se espera investigar el uso de aplicaciones específicas en redes *ad hoc*; por ejemplo correo electrónico, transferencia de archivos y aplicaciones multimedia. Se espera, igualmente, poder realizar simulaciones en áreas geográficas más amplias con un mayor número de nodos. Es también interesante evaluar el desempeño de los protocolos en escenarios integrados de redes cableadas y redes inalámbricas.
6. A medida que el modelo imita mejor el sistema real, su complejidad aumenta al igual que los requerimientos computacionales.

6. REFERENCIAS

- [1] Tanenbaum, A.S. (1996). "Computer Networks", Prentice-Hall.
- [2] The CMU Monarch Project. The CMU monarch extensions to the ns simulator. URL:<http://www.monarch.cs.cmu.edu/>. Page accessed on January 5th, 2001.
- [3] Broch, J.; Maltz, D.A.; Johnson, D.B.; Hu, Y.C., and Jetcheva, J. (1998). A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols. In Proc. of the ACM/IEEE MobiCom.
- [4] Chiang, C., and Gerla, M. (1998). On-demand multicast in mobile wireless networks. In Proceedings of the IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP).
- [5] The network simulator - ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2002.
- [6] Bar-Noy, A.; Kessler, I., and Sidi, M. (1994). Mobile users: To update or not to update? In Proceedings of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), pages 570–576.
- [7] Basagni, S.; Chlamtac, I.; Syrotiuk, V.R., and Woodward, B.A. (1998). A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM). In Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pages 76–84.
- [8] Boleng, J. (2001). Normalizing mobility characteristics and enabling adaptive protocols for ad hoc networks. In Proceedings of the Local and Metropolitan Area Networks Workshop (LANMAN), pages 9–12.
- [9] Broch, J.; Maltz, D.; Johnson, D.; Hu, Y., and Jetcheva, J. (1998). Multi-hop wireless ad hoc network routing protocols. In Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pages 85–97.
- [10] Brown, T.X. Personal correspondence. April 2001. [7] T. Camp, J. Boleng, B. Williams, L. Wilcox, and W. Navidi. Performance evaluation of two location based routing protocols. In Proceedings of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), 2002. To appear.
- [11] Chiang, C. (1998). Wireless Network Multicasting. PhD thesis, University of California, Los Angeles.
- [12] Chiang, C., and Gerla, M. (1998). On-demand multicast in mobile wireless networks. In Proceedings of the IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP).
- [13] Davies, V. (2000). Evaluating mobility models within an ad hoc network. Master's thesis, Colorado School of Mines.
- [14] Garcia-Luna-Aceves, J.J., and Madrga, E.L. (1999). A multicast routing protocol for ad-hoc networks. In Proceedings of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), pages 784–792.
- [15] Garcia-Luna-Aceves, J.J., and Spohn, M. (1999). Source-tree routing in wireless networks. In Proceedings of the 7th International Conference on Network Protocols (ICNP).