

MÊS e ANO: julho / 2009

NOME DO BOLSISTA: Alisson Soares Limeira Pontes E-mail: alissonslp@gmail.com

CURSO: Engenharia da Computação PERÍODO: 1º de janeiro à 31 de julho de 2009

NOME DO ORIENTADOR: Renato Mariz de Moraes

TÍTULO DO PROJETO: Uma Proposta para Estabilizar o Modelo de Mobilidade Random Waypoint em Redes Ad Hoc

Resumo do relatório

Redes ad hoc são redes formadas por dispositivos computacionais sem fio. Essas redes não possuem infra-estrutura física nenhuma e todo processo de comunicação é desempenhado unicamente pelos próprios nós da rede. Este trabalho trata da importância na escolha do modelo de mobilidade utilizado em simulações para avaliação de desempenho de protocolos de comunicação em redes ad hoc e da importância de se ter ambientes de simulação confiáveis. O modelo de mobilidade mais usado na literatura é o Random Waypoint (RWP), no entanto trabalhos anteriores mostraram que em algumas condições o RWP falha ao não atingir um estado estacionário e que por isso não deve ser usado em simulações. A proposta deste trabalho é que uma alteração na escolha da função densidade de probabilidade da velocidade dos nós permita ao RWP sempre atingir o estado estacionário, estabilizando este modelo para uso nos simuladores de rede ad hoc. Por meio de simulações utilizando o simulador de redes NS-2, buscou-se avaliar medidas que têm impacto na vazão e qualidade de serviço das aplicações que utilizam redes ad hoc. Portanto, um modelo mais realista será proposto, o qual será validado com simuladores de redes e através de estudo analítico.

Esse relatório introduz o problema abordado no decorrer deste trabalho, traz os objetivos, materiais de estudo e metodologia adotada no desenvolvimento da pesquisa. Além disso descreve todas as experiências realizadas, a análise dos dados, resultados obtidos e as contribuições deste trabalho para a comunidade científica da área de redes de computadores e sistemas distribuídos.

Sumário

1. Introdução.....	3
2. Objetivos.....	4
3. Delineamento Metodológico.....	5
4. Variáveis analisadas.....	5
5. Equipamentos utilizados.....	6
6. Resultados e discussão.....	6
7. Conclusões.....	9
8. Dificuldades encontradas	9
9. Atividades paralelas desenvolvidas pelo bolsista	10
10. Referências bibliográficas.....	11

1. Introdução

A disponibilidade dos dispositivos portáteis e avanços na computação sem fio têm contribuído para a crescente aceitação de aplicações de computação móvel e abriram as portas para a possibilidade de serviços ubíquos em ambientes móveis. Esses dispositivos (ou nós) móveis, incluindo telefones, PDA's, laptops e sensores cooperam entre si para formar e criar uma rede ad hoc móvel (MANET) através da comunicação sem fios com outros dispositivos, sem o apoio de uma infra-estrutura fixa ou sistema de controle centralizado.

MANETs são formadas por dispositivos computacionais sem fio que podem se mover livremente e podem atuar tanto como agentes diretos de uma comunicação de rede quanto como roteadores. No papel de agentes, os nós podem ser classificados como geradores ou receptores de tráfego de dados. Já no papel de roteadores, os nós encaminham pacotes entre agentes que não podem se comunicar diretamente devido às limitações de alcance de sinal entre ambos [12]. Para troca de informações uma rota determinada dinamicamente é necessária. Ela é criada e mantida em função de diversos parâmetros, tais como a distância entre os nós e a topologia da rede, com nós entrando, saindo e movendo-se pela rede a qualquer momento.

Essas redes são formadas dinamicamente e são gerenciadas pelos próprios nós que compõem a rede. Portanto, uma rede ad hoc pode ter qualquer topologia, e ter ou não conexões para uma rede fixa (Figura 1). Os usuários devem poder trazer seus dispositivos e se conectarem à rede sem necessidade de configuração anterior. Quando o dispositivo é ligado, ele é conectado espontaneamente e pode se comunicar com os demais nós da rede ou usar os serviços que estão disponíveis nessa rede. Por essa espontaneidade e por sua natureza dinâmica, projetar esse tipo de rede pode ser bastante desafiador.

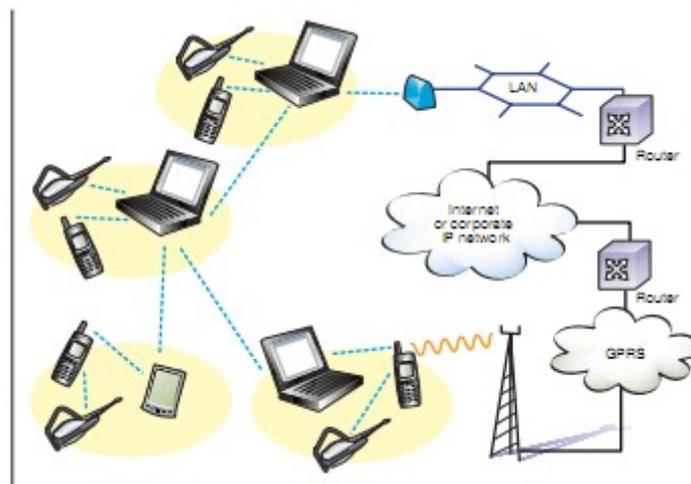


Figura 1. Ilustração de uma rede *ad hoc* com saída para uma rede fixa. [12]

A falta de um controle central em redes ad hoc impõe enormes desafios para os projetistas de tais sistemas e formam, em verdade, um campo de pesquisa aberto e repleto de perguntas sem respostas. Mesmo assim, existem possibilidades cada vez mais realistas de viabilização em larga escala desse tipo de rede em aplicações comerciais como na combinação entre redes de área pessoal, mais conhecida pela sigla PAN (Personal Area Network), e redes metropolitanas, como as redes celulares [12].

Dentre os grandes desafios para realizar pesquisas principalmente em redes sem fio está a construção de sistemas de simulação eficientes e confiáveis. Um importante aspecto que deve ser bem investigado nos sistemas de simulação é a mobilidade dos nós sob diferentes cenários de movimento. O padrão de mobilidade representa a sucessiva movimentação das estações comunicantes numa rede sem fio móvel. Diversos estudos [6], [11] e [14] têm demonstrado que o modelo de mobilidade escolhido em termos de simulação tem efeito significativo no desempenho de protocolos de comunicação sob investigação nessas redes. O padrão de mobilidade de nós é,

portanto, um fator chave que impacta diretamente nos resultados da simulação e conseqüentemente no mundo real.

Neste sentido, modelos de mobilidade que procuram retratar padrões de comportamentos dos nós ou usuários têm sido propostos [1]. Entretanto, os estudos apresentados até hoje têm simplificado de sobremaneira a realidade de deslocamentos. Vale ressaltar que vários parâmetros relacionados ao desempenho da rede, tais como capacidade de canal, atraso de entrega de pacotes, relação sinal-ruído e interferência, como também taxa de colisão de pacotes, estão estritamente relacionados com o padrão de movimento executado pelos nós da rede [13].

Este trabalho trata da importância na escolha do Modelo de Mobilidade utilizado em simulações para avaliação de desempenho de protocolos de comunicação em redes *ad hoc*. O modelo de mobilidade mais usado na literatura é o *Random Waypoint* (RWP) [1], no entanto, apesar da popularidade do uso do modelo de mobilidade RWP, foi observado que, durante as simulações, este modelo apresenta uma falha caracterizada por não atingir um estado estável, uma vez que a velocidade média dos nós tende a zero com o passar do tempo para certos valores de parâmetros. Esta situação de instabilidade dos nós foi atestada intuitiva e formalmente [6], demonstrando que o modelo é falho e que não deve ser usado diretamente em simulações. Mais preocupante é que vários autores têm testado diversos protocolos de comunicação sob estas condições [9],[19],[27],[28], o que pode levar a resultados imprecisos ou até mesmo inválidos.

2. Objetivos

A proposta deste trabalho é que uma alteração na escolha da função densidade de probabilidade da velocidade dos nós permita ao RWP sempre atingir o estado estacionário, estabilizando este modelo para uso nos simuladores de rede *ad hoc*. Através do resultado de simulações será demonstrado que estas modificações solucionam o problema do decaimento da velocidade média dos nós no modelo RWP original, permitindo que a mobilidade na rede sempre atinja o regime estacionário. Uma grande vantagem da modificação feita neste trabalho se dá pelo fato de que a alteração pode ser facilmente implementada nos simuladores de redes existentes, bastando para isso, realizar mudanças na escolha da função de distribuição de probabilidades das velocidades dos nós.

Para isto está prevista a consecução dos seguintes objetivos:

- Estudos estatísticos para obtenção de distribuição de probabilidade que mapeie adequadamente a velocidade dos nós;
- Simular o comportamento da velocidade instantânea média quando o tempo de simulação tende ao infinito para algumas distribuições de probabilidade, tais como a $BETA(\alpha, \beta)$ para diversos valores de α e β ;
- Determinar quais α e β tornam o RWP estável;
- Comparar as medidas de desempenho para cada caso investigado e contrastar com a literatura.

Este trabalho provê resultados fundamentados, de modo que fique claro que o RWP modificado retrata mais precisamente o ambiente real, conforme sua proposição inicial, tornando-o um modelo de mobilidade mais adequado para simulações.

3. Delineamento Metodológico

Inicialmente foi feita uma revisão do modelo de mobilidade RWP, ressaltando sua deficiência em atingir um regime estacionário caso o parâmetro da velocidade não seja apropriadamente escolhido. Posteriormente foram realizados estudos estatísticos, envolvendo principalmente a área de distribuições de probabilidade para aplicação direta na descrição formal do problema e elaboração de possíveis soluções, inclusive as já alcançadas. Neste sentido, algumas distribuições de probabilidade foram usadas (com ênfase para a $BETA(\alpha, \beta)$) para determinação da velocidade dos nós na rede. Esta ação foi tomada para obter-se maior respaldo no que diz respeito a noção intuitiva do problema e respectiva solução.

No intuito de mostrar a importância de se empregar um modelo de mobilidade estável ao analisar desempenho de redes ad hoc realizamos algumas simulações dos modelos RWP original e modificado. Foram considerados 50 nós que se movem em uma rede de área retangular de dimensões 1500 x 500m com os nós executando o modelo de mobilidade RWP original ou modificado. Para cada conjunto de parâmetros simulamos e realizaremos médias sobre 30 diferentes cenários. O tráfego de dados foi de taxa constante (CBR), onde empregamos 30 nós fontes gerando tráfego a 4 pacotes por segundo, tendo cada pacote tamanho de 64 bytes. Para roteamento foi utilizado o Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) [8]

A escolha da distribuição $BETA(\alpha, \beta)$ justifica-se pelo fato de que ao variarmos os parâmetros α e β os casos anteriores são reproduzidos, ou seja, quando $\alpha=1$ e $\beta=1$ obtém-se o RWP original [1] com a distribuição uniforme para a velocidade e quando $\alpha=2$ e $\beta=1$, o caso da distribuição linear é alcançado conforme observado em [5]. Quando $\alpha=2$ e $\beta=2$ recaímos nos resultados obtidos em [9]. Desta forma, verifica-se que a distribuição $BETA(\alpha, \beta)$ é uma generalização dos casos anteriores. Além disso, é uma alteração que pode ser facilmente implementada nos simuladores de redes existentes, bastando para isso, realizar mudanças na escolha das velocidades dos nós.

Realizamos simulações segundo as novas premissas obtidas, de modo que a otimização dos resultados comprovaram o quanto a solução proposta torna o modelo de mobilidade RWP mais confiável, levando a rede *Ad Hoc* em questão a um estado de estabilização, bem mais aceitável que os estudos desenvolvidos até o momento.

O uso das técnicas mencionadas provê resultados fundamentados, de modo que o RWP retrate mais precisamente o ambiente real, conforme sua proposição inicial, tornando-o um modelo de mobilidade mais adequado para simulações futuras. Dessa forma, fica claro que a aplicação da solução proposta não só otimiza o uso do RWP, mas também permite uma análise crítica do comportamento de uma rede *Ad Hoc*.

4. Variáveis analisadas

Com o objetivo de produzir resultados relevantes, foram consideradas medidas de desempenho análogas aos trabalhos anteriores relacionados [6], [19]. Deseja-se ilustrar como a alteração no modelo de mobilidade influencia as medidas investigadas que têm impacto na sobrecarga, na vazão, e na qualidade de serviço das aplicações que utilizam redes *ad hoc* sem fio.

As medidas utilizadas foram as seguintes:

- **Número de pacotes de controle de roteamento:** Esta medida considera todos os pacotes de controle utilizados pelo AODV na descoberta e manutenção de rotas. Cada salto realizado pelo pacote é levado em consideração, assim um pacote que percorre cinco nós contabiliza cinco pacotes de controle. A Figura 2 ilustra o resultado obtido para essa medida na simulação.

- **Pacotes de dados descartados:** Esta medida descreve o número de pacotes perdidos que ocorrem na rede ao se transmitir pacotes de dados (UDP). Estas perdas podem acontecer em qualquer das camadas (física, enlace, etc.) devido a erros de transmissão, colisões, etc., o que impede que pacotes de dados sejam entregues aos seus destinos. A Figura 3 apresenta o resultado obtido para essa medida na simulação.

- **Atraso de entrega de pacote de dados:** Quantifica o tempo médio despendido pelos pacotes de dados (UDP) desde o momento de suas transmissões nas fontes até suas entregas com sucesso nos destinos. Para análise de rede, o atraso é medido em segundo. Os resultados para essa medida podem ser vistos na Figura 4.

5. Equipamentos utilizados

Foi utilizado o simulador para redes ad hoc sem fio JiST/SWANS (Java in Simulation Time/ Scalable Wireless Ad hoc Networks) [7] para avaliar o modelo de mobilidade Random Waypoint. Posteriormente utilizou-se o simulador NS-2 (Network Simulator versão 2) [21], escrito na linguagem de programação C++, e a biblioteca GSL. NS-2 é um simulador de eventos discretos escrito em C++, com um interpretador de Tcl como interface de usuário que permite a entrada de arquivos (Tcl scripts) a serem executados, de domínio público, que ostenta um rico conjunto de protocolos de redes, incluindo redes fixas, sem fio e por satélite. NS é o simulador mais utilizado nos trabalhos publicados nas conferências mais reconhecidas no mundo. Ele é utilizado e mantido por uma base de usuários cada vez maior.

As simulações foram realizadas utilizando-se três computadores com processador Intel(R) Core(TM) 2 Quad de 2,4 Ghz e 8 GB de memória RAM, todos adquiridos com recursos da FACEPE.

6. Resultados e discussão

Para as simulações realizadas com o simulador JiST/SWANS a Figura 2 ilustra os resultados obtidos para o número de pacotes de controle de roteamento enviados; a Figura 3 ilustra os resultados obtidos para o número de pacotes de dados enviados; a Figura 4 ilustra os resultados obtidos para o atraso de entrega de pacotes de dados sempre em função do tempo de simulação.

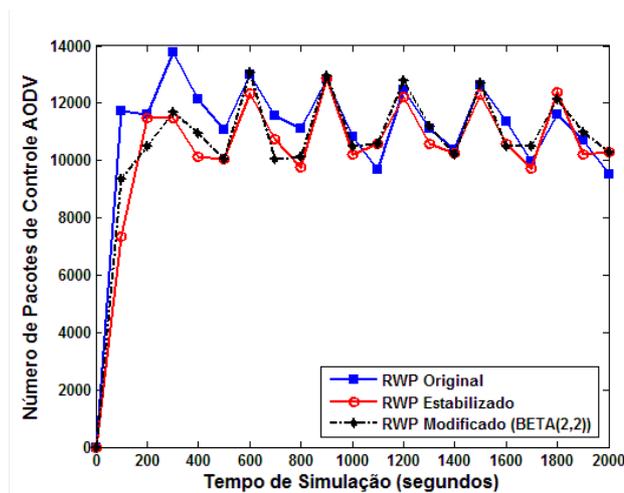


Figura 2. Número de pacotes de controle de roteamento AODV em função do tempo de simulação.

Os resultados obtidos para essas três medidas não assumiram os valores esperados. Foi tomado como hipótese inicial deste trabalho que o RWP original possui uma tendência de diminuição contínua da velocidade instantânea média da simulação quando tomado um intervalo de escolha de velocidades em $(0,20]$ m/s e que considerando-se uma função densidade de probabilidades baseada numa distribuição beta chegar-se-ia a um estado estacionário dessa velocidade.

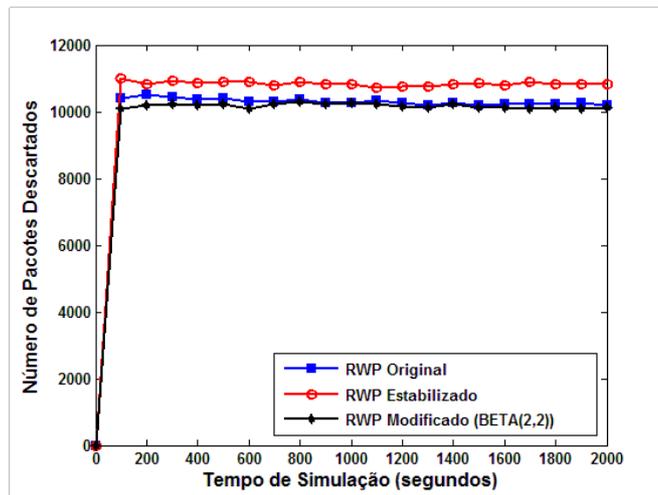


Figura 3. Número de pacotes de dados descartados em função do tempo de simulação.

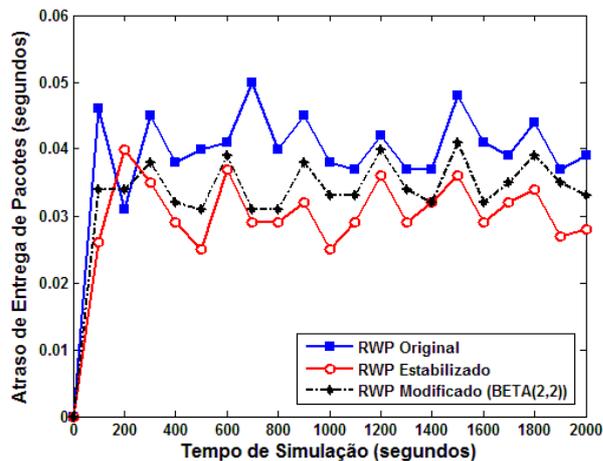


Figura 4. Atraso de entrega de pacote de dados em função do tempo de simulação.

Essa característica deveria ocasionar uma menor perda de pacotes à medida que a rede fica mais estática e, por conseguinte, haveria menor necessidade de troca de pacotes de controle para estabelecer e manter as rotas no AODV quando do uso do modelo de mobilidade RWP original. Isso não se confirma nos resultados visualizados nas Figuras 2, 3 e 4.

De posse dos resultados destes experimentos, duas hipóteses podem ser levantadas para justificar esses resultados. Primeiro, que nossa hipótese inicial é precipitada: não há tendência de queda da velocidade instantânea média da simulação para o RWP original e a mudança da função densidade de probabilidade da velocidade da simulação não afeta significativamente os resultados de simulações, como apresentado nas Figuras 2, 3 e 4. Segundo, que o simulador de redes utilizado não produza resultados confiáveis, já que o JiST/SWANS é um simulador de código aberto, relativamente recente e com um grupo de usuários ainda restrito.

Com relação à primeira hipótese, todo desenvolvimento analítico realizado durante esse trabalho [9] comprova que realmente há uma tendência de queda da velocidade da simulação quando do uso do RWP original, e essa tendência é anulada mudando-se a função uniforme de densidade de probabilidade para uma função baseada numa distribuição BETA(2,1) ou BETA(2,2) para escolha das velocidades dos nós.

Já quanto à segunda hipótese, o grande número de aspectos de uma rede real que precisam

ser traduzidos para linguagem de programação torna bastante complexa a construção de um ambiente de simulação. Além disso, a grande quantidade de correções feitas no simulador durante o decorrer desse trabalho leva-nos a acreditar que existam outros problemas que tornem a ferramenta não confiável. Ademais, foram reproduzidos cenários de simulação no simulador NS-2 idênticos aos gerados no JiST/SWANS. Os resultados obtidos apresentam a tendência de queda para o RWP original, de acordo com o que era esperado, e podem ser vistos nas Figuras 5 e 6 a seguir. Em [6], também foram apresentados resultados de simulações utilizando-se o simulador de redes NS-2, compatíveis com o resultado do modelo analítico apresentado neste trabalho.

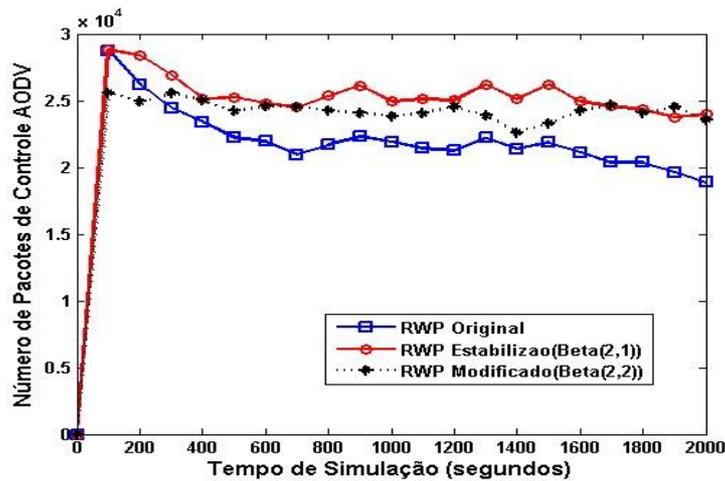


Figura 5. Número de pacotes de controle de roteamento AODV em função do tempo de simulação obtidos do simulador NS-2 para o RWP

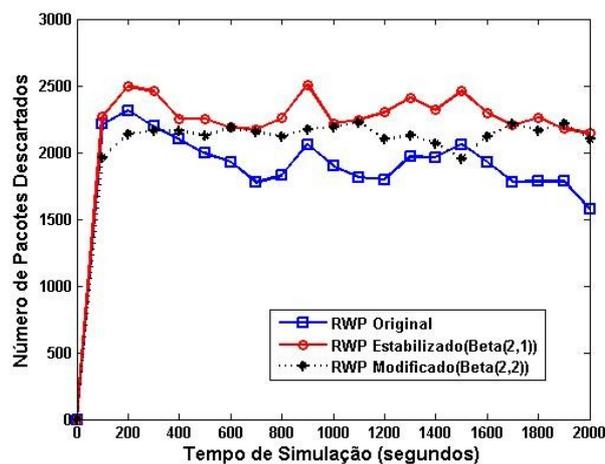


Figura 6. Número de pacotes de dados descartados em função do tempo de simulação obtidos do simulador NS-2 para o RWP original.

Portanto, considera-se que estudos mais aprofundados a respeito do JiST/SWANS devam ser realizados a fim de identificar os motivos pelos quais não se chegou a resultados precisos para as medidas apresentadas.

7. Conclusões

Apesar da popularidade do uso do modelo de mobilidade *Random Waypoint*, foi demonstrado neste trabalho que durante as simulações este modelo apresenta uma falha caracterizada por não atingir um estado estável, uma vez que a velocidade instantânea média das simulações tende a zero com o passar do tempo, para certos valores de parâmetros.

A fim de sanar este problema, foi proposto trocar-se a função uniforme de densidade de probabilidades da escolha da velocidade dos nós da simulação por uma distribuição baseada na função BETA(α, β). Foi demonstrado analiticamente que a mudança proposta estabiliza o modelo de mobilidade. Quando utilizando-se a função BETA(2,2), tem-se velocidade média no estado estacionário igual a velocidade máxima de simulação (V_{max}) dividido por 3; quando utilizando-se a função BETA(2,1), tem-se velocidade média no estado estacionário igual a V_{max} dividido por 2.

A fim de corroborar nossas análises realizamos simulações no simulador de redes JiST/SWANS. Os resultados obtidos das simulações não corresponderam ao demonstrado na análise matemática e como em trabalhos anteriores que utilizaram o simulador NS-2. Concluiu-se, assim, que o JiST/SWANS não apresenta resultados suficientemente confiáveis e deve ser refinado.

Parte deste trabalho resultou na publicação de um artigo no Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC) [9], o mais importante evento científico nacional em redes de computadores e sistemas distribuídos, e um dos mais concorridos em informática, tendo sido classificado pela CAPES com o conceito A.

Além dos resultados publicados no SBRC, as contribuições deste trabalho dizem respeito, primeiro, ao modelo de mobilidade *Random Waypoint* utilizando-se a distribuição de probabilidades BETA(2,1), e depois, aos resultados obtidos das simulações no JiST/SWANS.

Quanto ao modelo de mobilidade, este trabalho demonstra, analiticamente e por meio de simulações, que o RWP estabilizado (utilizando a função BETA(2,1)) chega a um estado estacionário com velocidade média igual a $(V_{max} + V_{min})/2$ quando V_{min} tende a zero.

Quanto ao simulador, foi demonstrado que é necessário avaliar-se melhor seu desempenho a fim de encontrar por qual motivo não se chegou a resultados semelhantes aos resultados obtidos quando do uso do simulador NS-2.

A monografia aqui apresentada possui diversos desdobramentos possíveis. Tais desdobramentos têm como alvo generalizar e escalar os resultados atingidos. A análise das medidas de desempenho de redes *ad hoc* ainda pode ser bastante aprofundada.

Buscando-se generalização pode-se modelar analiticamente a velocidade instantânea média das simulações considerando distribuições BETA(k, k) e BETA($k+1, k$), sendo k um inteiro qualquer, ao invés dos valores específicos de $k=1$ e $k=2$ como feito aqui.

Buscando-se escalabilidade pode-se ampliar o número de nós e a área de simulação para se ter cenários compatíveis com redes locais (centenas de usuários) e com redes metropolitanas (milhares de usuários) e verificar a validade do RWP estabilizado para essas redes.

Os experimentos realizado neste trabalho com o JiST/SWANS devem ser reproduzidos utilizando-se outros simuladores de redes, para alcançar resultados compatíveis entre simulações e modelo analítico. Isso seria fundamental para validar os resultados deste trabalho.

8. Dificuldades encontradas

A maior das dificuldades foi conseguir ajustar os parâmetros do simulador JiST/SWANS a fim de chegar a resultados compatíveis com os de outros trabalhos encontrados na literatura [6]. O grande número de parâmetros ajustáveis no simulador e o tempo necessário para simulação (aproximadamente duas horas) dificultou bastante essa tarefa, ainda também, porque são

necessárias algumas dezenas de iterações para se tomar alguma conclusão a cerca dos resultados. Deparando-se com a impossibilidade de chegar aos resultados esperados com o JiST/SWANS tivemos a iniciativa de mudar para o simulador NS-2, tornando difícil a conclusão dos trabalhos de acordo com o cronograma.

As demais dificuldades haviam sido previstas e consideradas na elaboração do cronograma sendo encontradas em qualquer trabalho de pesquisa científica.

9. Atividades paralelas desenvolvidas pelo bolsista

Durante o período de vigência da bolsa de iniciação científica do CNPq/FACEPE o bolsista se dedicou integralmente as atividades acadêmicas. Estando no último ano da graduação, o desenvolvimento deste trabalho se deu ao mesmo tempo da elaboração do trabalho monográfico para obtenção do título de Bacharel do curso de Engenharia da Computação da Universidade de Pernambuco.

10. Referências bibliográficas

- [1] CAMP, T.; BOLENG J.; DAVIES V.; A Survey of Mobility Models for *Ad Hoc* Network Research; In: Wireless Communication & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile *Ad hoc* Networking: Research, Trends and Applications, v. 2; no. 5, pp. 483-502, 2002.
- [2] JOHANSSON, P.; LARSSON T.; HEDMAN N.; MIELCZAREK, B.; DEGERMARK, M.; Routing protocols for mobile ad-hoc networks – a comparative performance analysis; In: Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 195-206, 1999.
- [3] BOLENG, J.; Normalizing mobility characteristics and enabling adaptive protocols for *ad hoc* networks; In: Proceedings of the Local and Metropolitan Area Networks Workshop (LANMAN), pp. 9-12, March 2001.
- [4] KARP, B.; Geographic Routing for Wireless Networks, 2000. PhD thesis. Harvard University.
- [5] GARCIA-LUNA-ACEVES, J.J.; SPOHN, M.; Source-tree routing in wireless networks; Proceedings of the 7th International Conference on Networks Protocols (ICNP); 1999.
- [6] YOON, J.; LIU, M.; NOBLE, B.; *Random Waypoint* Considered Harmful; Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), San Francisco, CA, USA, 2003.
- [7] JiST/SWANS: Java in Simulation Time/Scalable Wireless *Ad hoc* Network Simulator. Disponível em: <<http://jist.ece.cornell.edu>> Acesso em 08 de maio de 2009.
- [8] PERKINS, C. E.; BELDING-ROYER, E. M.; *Ad hoc* On-Demand Distance Vector Routing; Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999.
- [9] MORAES, R. M.; ARAÚJO, F. P.; PONTES, A. S. L.; Uma proposta para estabilizar o modelo de mobilidade *Random Waypoint* em redes *Ad hoc* sem fio. In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), 2009, Recife-PE.
- [10] SSJ: Stochastic Simulation in Java. Disponível em <<http://www.iro.umontreal.ca/simandr/ssj/indexe.html>> Acesso em: 16/05/09.
- [11] GUOLONG, Lin; GUEVARA, Noubir and RAJMOHAN, Rajaraman. Mobility Models for *Ad hoc* Network Simulation. In: Proceedings of IEEE INFOCOM 2004.
- [12] FRODIGH, M., JOHANSSON, P., LARSSON, P., Wireless *Ad hoc* Networking – The Art of Networking Without a Network, Ericsson Review no. 04, 2000, Disponível em: <http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/2000_04/files/2000046.pdf> Acesso em: 11 de maio de 2009.
- [13] MORAES, R. M. de; SADJADPOUR, H. R. and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Mobility-Capacity-Delay Trade-off in Wireless *Ad hoc* Networks," *Elsevier Ad hoc Networks Journal*, vol. 4, no. 5, pp. 607-620, Netherlands (Holanda), September 2006.
- [14] DAVIES, V. Evaluating mobility models within an *ad hoc* network. Master's thesis, Colorado School of Mines, 2000.
- [15] ZENG X.; BAGRODIA, R. and GERLA, M. GLOMOSIM: A Library for Parallel Simulation of Large-scale Wireless Networks. In Workshop on Parallel and Distributed Simulation, 1998.
- [16] BARR, R.; HAAS, Z. and VAN RENESSE, R. JiST: An Efficient Approach to Simulation Using Virtual Machines. In: Software Practice and Experience, 2005, V.35(6), P.539-576.

- [17] FAN, Bai, et al. Important: A Framework to Systematically Analyze the Impact of Mobility on Performance of Routing Protocols for *Ad hoc* Networks. In: IEEE INFOCOM 2003. Twenty Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, V.3, P.825-835, 2003.
- [18] HONG, Xiaoyan, et al. A Mobility Framework for *Ad hoc* Wireless Networks. In: MDM'01: Proceedings of the Second International Conference on Mobile Data Management, P 185-196, 2001.
- [19] BROCH, J.; MALTZ, D. A.; JOHNSON, D. B.; HU, Y. C. and JETCHEVE, J. A Performance Comparison of Multi-hop Wireless *Ad hoc* Networking Routing Protocols. Proceedings of ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, 1998, Dallas, TX, USA.
- [20] SWANS++ Homepage, Disponível em:
<<http://www.aqualab.cs.northwestern.edu/projects/swans++>> Acesso em 16 de maio de 2009.
- [21] The Networking Simulator – NS-2, Disponível em: <<http://www.isi.edu/nsnam/ns>> Acesso em: 11/05/08
- [22] PAPOULIS, A. and PILLAI, S. U. Probability, Random Variables and Stochastic Processes. McGraw Hill, 2002.
- [23] D. B. JOHNSON and D. A. MALTZ, Dynamic Source Routing in *Ad hoc* Wireless Networks, In: Mobile Computing, Imielinski and Korth, Eds.Kluwer Academic Publishers, 1996, Vol.353.
- [24] BARR, Rimon. An efficient, unifying approach to simulation using virtual machines. PhD dissertation, Cornell University, May 2004.
- [25] WEISER, M.; The Computer for the 21st Century. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review Special issue dedicated to Mark Weiser Pages: 3 – 11, 1999.
- [26] <http://www.dsc.upe.br/~aslp/arquivos/js-uulm.rar>.
- [27] PERKINS, D. D.; Hughes, H. D. and Owen,C.B. (2002). Factors affecting the performance of ad hoc networks. Proc. Of IEEE International Conference on Communications(ICC), New York, NY, USA.
- [28] JAYAKUMAR, G. and Gopinath, G. Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad-hoc networks based on random waypoint mobility model. American Journal of Applied Sciences, 5(6):649-664, 2008.

Recife, 23 / 07 / 2009

Assinatura do Bolsista

Assinatura do Coordenador de Pesquisa

DE ACORDO:

FACEPE

DATA do RECEBIMENTO: ____/____/____
