

Roteamento baseado em localização em redes Ad-Hoc

José Antonio Casemiro Neto e Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

Resumo—Uma das principais áreas de pesquisa no contexto das redes móveis Ad-Hoc é a relativa ao desenvolvimento de algoritmos eficientes para a realização do roteamento dos pacotes. O projeto Terminodes, desenvolvido pelo Instituto Federal de Tecnologia da Suíça [3], desenvolveu um protocolo de roteamento que utiliza a informação de localização. Este método de roteamento é freqüentemente proposto como um meio para prover escalabilidade em redes deste tipo e distribuídas sobre áreas geográficas extensas. O roteamento baseado em localização é difícil quando há áreas de exclusão na topologia da rede e os nós são móveis e freqüentemente se conectam e desconectam da rede. Portanto, a investigação da robustez do protocolo para esses casos é fundamental para avaliar sua viabilidade em redes geográficas extensas, como por exemplo, a rede necessária para prover canal de retorno para a TV digital.

Palavras-Chave—Roteamento; Sistemas de Localização; Terminode; Redes ad-hoc.

Abstract—One of the main research areas related to ad-hoc networks is concerned with the development of efficient routing algorithms. The Terminode Project was carried out by the Swiss Federal Institute of Technology [3], has developed a routing algorithm that requires location information. This method was designed to provide scalability in ad-hoc networks that operate over a large geographic areas. Location-based routing is particularly difficult when there are exclusion areas and nodes are irregularly connected and disconnected. Therefore, a investigation towards the robustness of these protocols are extremely important in order to assess its feasibility in applications such as Digital TV return channel.

Keywords—Routing; Location-Based Systems; Terminode; Ad-Hoc networks.

I. INTRODUÇÃO

A comunicação móvel sem fio está se tornando cada vez mais popular, sendo utilizada em uma gama muito grande de aplicações, tais como redes móveis celulares, WLANs e outras [1]. Porém, em algumas situações, a rede não pode depender da existência de um controle centralizado, surgindo assim o conceito de redes móveis ad-hoc, também conhecidas na literatura como MANET (Mobile Ad-Hoc Networks). Tais redes possuem as seguintes características: i) são idealmente independentes de qualquer infra-estrutura, ii) são potencialmente grandes e irregularmente distribuídas e iii) operam de forma altamente cooperativa, onde cada host (nó) atua também como roteador.

Essas características mostram que as redes ad-hoc apresentam um grande potencial para atender diferentes tipos serviços, pois podem ser implementadas de maneira rápida

e dinâmica. Uma aplicação promissora consiste no uso desta tecnologia para prover a extensão da área de cobertura das redes sem fio infra-estruturadas. Além disso, com os avanços gerados pela tecnologia de TV digital, este tipo de rede pode se mostrar extremamente útil para a implementação de seu canal de retorno, permitindo assim promover o processo de interatividade com os usuários deste sistema [2]. As redes móveis ad-hoc auto-organizadas podem lidar com os diversos requisitos para a implantação do canal de retorno, como a possibilidade da recepção do sinal por estações móveis, além de diminuir o custo e propiciar o aumento da velocidade de implantação.

Para atender a essas aplicações, as redes ad-hoc requerem o emprego de algoritmos adequados para a realização do roteamento eficiente das mensagens. Por isso, uma das questões técnicas principais para o seu funcionamento é a avaliação do desempenho do protocolos de roteamento para ela desenvolvidos. O projeto Terminodes, no seu propósito de apresentar escalabilidade, projetou um protocolo de roteamento baseado na informação da localização geográfica dos nós.

O projeto Terminodes é um projeto de pesquisa de longo prazo (2000-2010) cujo objetivo é o de estudar e criar protótipos de redes ad-hoc auto-organizáveis de larga escala. O nome *terminode* é resultado da combinação de *terminal* e *node*, pois os aparelhos na rede atuam com terminais e nós ao mesmo tempo [3]. Os resultados encontrados na literatura [3],[4],[5],[6] mostram que o desempenho do protocolo desenvolvido neste projeto é superior aos protocolos tradicionais para redes ad-hoc, em grande parte das situações. Portanto, é oportuno o estudo deste particular protocolo de roteamento e a investigação das bases de seu funcionamento, avaliando seu desempenho em diversas condições operacionais. Os autores deste artigo acreditam que no caso da TV Digital brasileira, onde sob o ponto de vista governamental, este sistema será usado para promover a chamada *Inclusão Digital*, o sucesso desta inclusão está intimamente ligado à implementação bem sucedida do chamado *canal de retorno*, que viabiliza o envio de informações do usuário para a emissora ou outra unidade centralizada. Embora as análises aqui realizadas não tenham como objetivo único esta aplicação, por razões de realidade brasileira, ela é por nós vista como um "pano de fundo" motivador de nossas pesquisas.

Alguns cenários e situações que freqüentemente ocorrem em redes distribuídas sobre áreas geográficas extensas devem ser criteriosamente avaliados para garantir a sua viabilidade. No caso específico deste artigo, o propósito é o de avaliar o protocolo de roteamento terminode para redes ad-hoc em diferentes casos. Embora a literatura sobre este protocolo [3][4],[5],[6] descreva o seu desempenho em diversas situações, elas não são

de nenhuma forma exaustivas. O objetivo deste artigo é apresentar o resultado de nossas pesquisas relativas a investigação deste tipo de sistema, em particular de seu protocolo de roteamento, em situações de grande interesse porém não abordadas na literatura. Em especial, destacam-se as seguintes casos por nós investigados: i) nós da rede sendo ativados e desativados em instantes aleatórios, ii) existência de áreas de exclusão por onde usuários não podem se movimentar e iii) erros decorrentes do processo de localização do terminal.

Este artigo encontra-se organizado da forma: na seção 2 são sucintamente apresentados os aspectos relativos ao protocolo de roteamento terminode, relevantes para a compreensão das análises apresentadas neste artigo. Na seção 3 são discutidos os aspectos ligados a simulação e resultados. A seção 4 apresenta a conclusões desta pesquisa.

II. PROTOCOLO DE ROTEAMENTO TERMINODE

A principal vantagem dos métodos de roteamento geográfico está relacionada com a sua escalabilidade em termos de número de nós possíveis de serem servidos e de sua cobertura em áreas geográficas extensas [7].

O roteamento na rede terminode é feito pela combinação de dois protocolos: o roteamento remoto do terminode (do Inglês, *Terminode Remote Routing - TRR*) e o roteamento local do terminode (do Inglês, *Terminode Local Routing - TLR*). Cada terminode possui um identificador permanente único (*EUI - End-System Unique Identifier*) e um endereço temporário dependente da sua localização (*LDA - Location-Dependent Address*). O LDA é simplesmente a trinca que define as coordenadas geográficas do terminode (longitude, latitude, altitude), obtidas por algum método de posicionamento [5]. Para encaminhar o pacote pela rede, o protocolo de roteamento dos terminodes utiliza o seu endereço (EUI) e a sua localização geográfica (LDA), de modo a atender as exigências de escalabilidade, diminuição do volume de mensagens de controle, redução das funções dos sistemas intermediários e aumento da robustez.

O TLR é um protocolo de roteamento do tipo link-state [12] que utiliza o endereço EUI de modo a enviar o pacote para o destino a partir de um nó em sua vizinhança. Por vizinhança entende-se aqui os terminodes localizados até a dois saltos de distância do terminode destino [6]. Se o terminode origem dista até dois saltos do terminode destino, este protocolo é o único empregado.

Já o TRR baseia suas decisões na localização LDA do destino e é usado quando este está geograficamente longe da origem, não podendo ser diretamente alcançado pelo TLR. Este protocolo é o elemento chave para atingir a escalabilidade e utiliza um conjunto de ações respectivamente denominadas de *caminho direto*, *modo perímetro* e *emprego de âncoras*, para determinar o melhor caminho até o terminode destino [6]. Para evitar uma série de problemas inerentes ao processo de roteamento, no caso de origem e destino distantes, o pacote é inicialmente roteado pelo protocolo TRR e quando este chega a dois saltos de destino, o roteamento é comutado para o protocolo TLR, aumentando assim sobremaneira a robustez do processo de roteamento. Conforme já mencionado, o correto

funcionamento do protocolo TRR presume a existência de um sistema de localização que lhe forneça o LDA atualizado do destino [4]. Entretanto isto não quer dizer que esta localização tenha que ser obtida com precisão elevada, típica do uso de sistemas GPS (*Global Positioning Systems*). Em [13] é apresentado um método de localização de terminais em redes ad-hoc onde este sistema não é empregado. Conforme mencionado, um dos objetivos do presente artigo é exatamente investigar a robustez deste sistema a erros de localização.

A técnica do *caminho direto* consiste em aproximar o caminho entre origem e destino por uma linha reta. Assumindo-se que a fonte S conhece a localização aproximada do destino D, S envia o pacote para um terminode vizinho que o leve para mais perto da suposta localização de D. Esse procedimento "guloso" é repetido pelo nós intermediários de modo a aproximar cada vez mais o pacote da localização do destino [4]. Porém existem topologias onde a rota para o destino exige que o pacote se mova temporariamente para um ponto geográfico mais distante destino do que o nó atual [7] e assim o pacote pode ficar retido em um terminode que não possua vizinho mais próximo do destino do que ele mesmo. Neste momento, passa-se a usar o chamado *modo perímetro* (baseado na teoria de grafos planares) onde o pacote é roteado por um caminho que circunda a região onde não existem terminodes mais próximos do destino [6]. O modo perímetro é utilizado até alcançar um nó que reduza a distância até o destino, quando então o modo em caminho direto volta a ser usado. O modo perímetro deve ser evitado, pois pode resultar em caminhos sub-ótimos longos. Além disso, pode causar loops freqüentes de roteamento devido a mobilidade dos terminais. Chama-se de *Geodesic Packet Forwarding (GPF)* o método de roteamento produzido pela combinação dos métodos de caminho direto e modo perímetro [4]. A figura 1 mostra um exemplo do procedimento GPF, onde as linhas pontilhadas indicam o uso do modo perímetro e as regiões sombreadas mostram as áreas onde o caminho direto não pode ser utilizado.

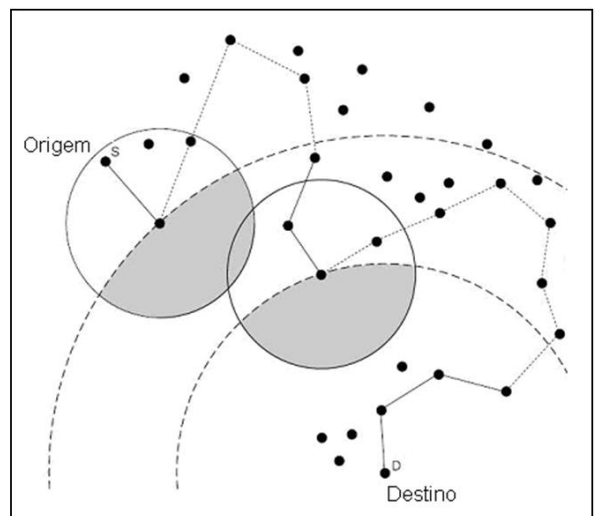


Fig. 1. Exemplo do roteamento utilizando GPF.

Com o objetivo de evitar o modo perímetro, o con-

ceito de *âncoras* foi introduzido e que nada mais são do que localizações fictícias usadas para auxiliar o roteamento. Âncoras são pontos geográficos e não estão associadas a nenhum terminode específico e que indicam um caminho aproximado que o pacote deve percorrer até chegar ao destino. Esse método de envio de pacotes por um caminho com âncoras é chamado *Anchored Geodesic Packet Forwarding* (AGPF) [6].

O uso de âncoras adequadamente escolhidas reduz enormemente o número de saltos executados pelo pacote quando comparado ao modo perímetro porque: i) permite estratégias de roteamento mais eficientes e ii) mesmo quando o modo perímetro e os caminhos com âncoras seguem direções similares, o caminho utilizando modo perímetro tende a ser menos retilíneo e usar mais saltos. Uma lista de âncoras é armazenada pelo terminode origem no cabeçalho do pacote enviado. Essa lista forma o caminho com âncoras, que servirá como orientação para o roteamento do pacote.

A figura 2 mostra um exemplo do uso do AGPF. Nela, o nó S não possui um caminho direto para o destino D e assim o roteamento é efetuado utilizando-se o AGPF. O terminal S envia o pacote em direção à primeira âncora AP1. Ao passar pelo nó A, este verifica que AP1 está dentro de seu raio de transmissão. O nó A atualiza o próximo destino do pacote, que passa a ser então enviado na direção de AP2. O nó B, ao verificar que AP2 está em seu raio de transmissão, envia o pacote para o destino final D.

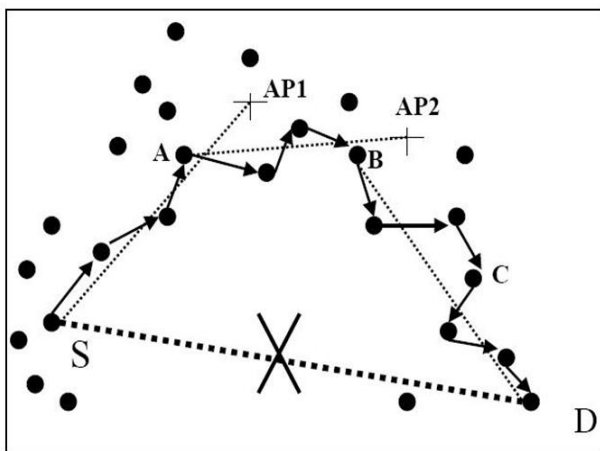


Fig. 2. Roteamento utilizando AGPF.

III. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

A simulação do protocolo de roteamento terminode é baseada no modelo de mobilidade denominado de *Restricted Random Waypoint* [4], atuando em uma área extensa de dimensão 3000 x 2500 metros. Na tentativa de aproximar a simulação de uma caso concreto, a topologia desta área é constituída por cidades e estradas. Cidades são áreas geográficas restritas que se interconectam por estradas. A figura 3 ilustra esta situação embora ainda de forma idealizada. Entretanto a complexidade de introdução de cidades e estradas reais não causa nenhum impacto no aspectos conceituais do problema aqui estudado.

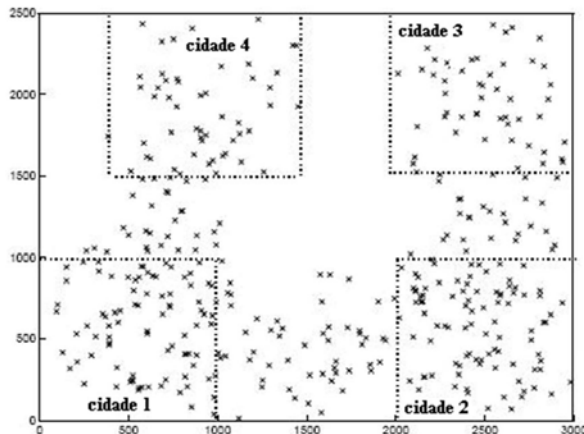


Fig. 3. Modelo Restricted Random Waypoint.

A. Ferramenta de simulação

Para testar o desempenho de uma rede móvel ad-hoc nos moldes do projeto Terminode, foi usado o simulador GloMoSim [8]. Esse simulador é o utilizado pelos autores do projeto Terminodes para seus testes, sendo fornecido na forma de código aberto. O GloMoSim é um ambiente de simulação de redes sem fio que utiliza o Parsec, uma linguagem de simulação semelhante ao C, que fornece a capacidade de simulação discreta orientada a eventos de forma paralela. Ela fornece suporte para simulação de redes ad-hoc sem fio usando o protocolo IP, assim como permite a inclusão de modelos de mobilidade dos nós. Dada a sua natureza de código aberto, o programa GloMoSim foi intensamente alterado nos trabalhos aqui apresentados, para permitir a avaliação de desempenho deste sistema em situação não reportadas na literatura corrente.

Em todos os cenários simulados, as medidas realizadas de desempenho do protocolo foram: i) taxa de pacotes entregues com sucesso e ii) o atraso médio fim-a-fim medido na camada de aplicação.

A rede simulada é composta por 500 terminodes, com velocidades uniformes variando entre 0 e 20 m/s, dos quais 40 terminais geram tráfego CBR a uma taxa de 256 bps e os restantes atuam apenas como roteadores. A razão desta baixa taxa deve-se ao fato de que, se ela fosse elevada, o desempenho ficaria limitado pela capacidade de transmissão do meio e o objetivo aqui é o de avaliar a capacidade do protocolo de roteamento, que ficaria comprometida caso a restrição se devesse ao meio. O tempo total de simulação foi de 1200 segundos, com as conexões CBR sendo iniciadas entre 400 e 500 segundos. Este atraso é necessário para que a distribuição dos terminodes sobre a área de simulação fique estável e permita que os terminodes troquem informações de estabelecimento de vizinhanças. O protocolo IEEE 802.11 foi utilizado na camada MAC em conjunto com o Distributed Coordination Function [9]. A capacidade do canal de transmissão foi de 2 Mbps e o raio de propagação de transmissão utilizado foi de 150 metros. Em todos os resultados apresentados, as estatísticas foram obtidas por meio de uma média entre de seis corridas (runs) de simulação realizadas.

B. Análise de Desempenho do Protocolo Terminode

1) *Quanto à Mobilidade dos Terminais:* A primeira simulação consistiu na comparação do desempenho do protocolo usado no Projeto Terminode com outros dois protocolos de roteamento tradicionais para redes ad-hoc, a saber, o Ad-Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) [10] e o Location-Aided Routing (LAR) [11].

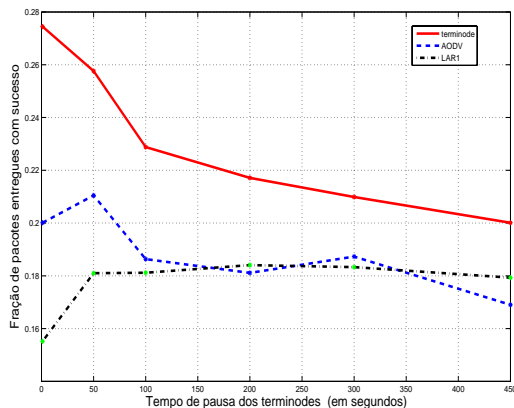


Fig. 4. Taxa de pacotes entregues com sucesso.

O gráfico da figura 4 mostra que o protocolo Terminode possui desempenho superior aos outros protocolos simulados, principalmente em ambientes de maior mobilidade. Embora este protocolo apresente maior sensibilidade a mobilidade dos terminais do que os outros usados como referência, ele apresentou um desempenho em torno de 15% superior aos seus concorrentes, valor que se aproxima de 40% em ambientes de alta mobilidade. A razão da redução do desempenho com a mobilidade (observados em todos os algoritmos) advém do algoritmo de mobilidade: com baixa mobilidade, é provável que existam poucos terminais vizinhos, dificultando o roteamento.

2) *Quanto à Ativação e desativação aleatória de terminodes:* Em redes auto-organizáveis, nós dessa rede são frequentemente adicionados ou removidos, pelas mais diversas razões. Isto ocorre de forma não controlada e o protocolo de roteamento deve estar preparado para lidar com isso. Os terminodes desligam-se de forma independente e sem informar aos outros terminodes, causando impacto no procedimento de roteamento. Ao se desligar, um terminode pode tornar inatingíveis outros terminodes ou diminuir o número ou qualidade das rotas. Sendo este um fato comum, é necessário avaliar como o protocolo de roteamento se comporta diante dessa situação. A situação complementar a essa é a que acontece quando terminodes se ligam em instantes aleatórios, com a rede já em funcionamento. Nesse caso, novas rotas podem ser criadas, ou no pior caso pode acontecer interferência em rotas já estabelecidas, causando perda de eficiência do protocolo de roteamento.

Para analisar o impacto causado, o desempenho da rede foi avaliado em função da porcentagem de terminais que ficam neste processo de on-off (comutação), escolhidas como

30%, 50% e 80% do total de terminodes. Para cada um desses casos considerados, a porcentagem de terminodes em comutação mantida fixa, o desempenho foi medido em função de seu ciclo de trabalho, definido como o tempo médio que o terminode permanece desligado dividido pelo tempo médio que o terminode permanece ligado.

Como pode ser visto no gráfico da figura 5, com apenas 30% dos terminodes em comutação, o desempenho do protocolo se mantém praticamente constante mesmo com esses terminodes permanecendo em média metade do tempo desligados. Com 50% o desempenho do protocolo começa a diminuir de forma mais acentuada com o ciclo de trabalho. Com 80% dos terminodes mudando de estado, o desempenho cai de forma significativa. Como todos os terminodes passam em média ligados pelo menos 60 segundos, é normal que o número de pacotes entregues não atinja a valores muito baixos. Isso é possível porque na maior parte do tempo, novas rotas podem ser estabelecidas pois os terminodes comutam de estado de forma independente.

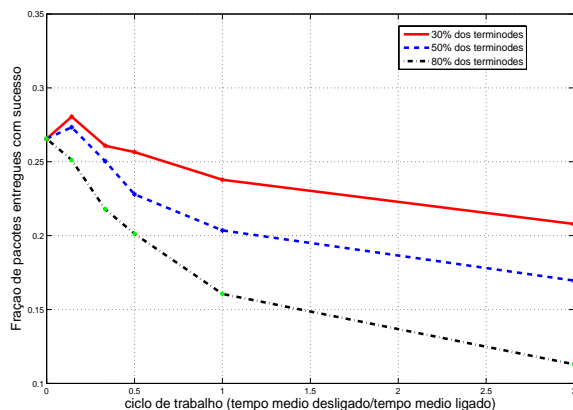


Fig. 5. Fração de pacotes entregues com sucesso.

A figura 6 apresenta o gráfico da evolução do atraso médio sofrido pelos pacotes em função do ciclo de trabalho dos terminodes. Observe que quando o percentual de terminodes em comutação assume os valores de 30% e 50% do total, este atraso médio é aproximadamente constante, mas quando esta porcentagem é de 80% do total, este atraso médio diminui fortemente. Isto não se deve a virtude de algoritmo mas sim ao fato de que nesta porcentagem, o número de pacotes entregues com sucesso é cada vez menor e o atraso a eles relativo tende a ser menor.

Esse resultado ilustra o comportamento positivo do algoritmo que, mesmo que parte dos terminodes se desativem durante algum tempo, ainda assim é possível manter o funcionamento da rede em níveis aceitáveis. Este é um ponto interessante porque em redes ad-hoc é comum que quando um terminal se desative, seu impacto na rede pode eventualmente provocar o seu colapso.

3) *Quanto à Áreas de exclusão de terminodes:* Um problema frequente em redes distribuídas sobre áreas geograficamente extensas é a possibilidade de existência de áreas

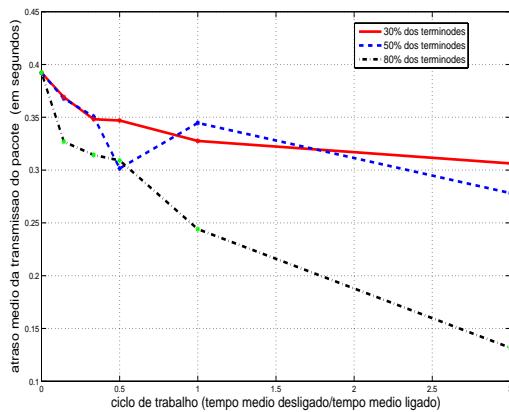


Fig. 6. Atraso médio de transmissão dos pacotes.

problemáticas, onde os terminodes são impedidos de por elas se locomover. Essas áreas ocorrem devido à existência de alguma barreira geográfica, como por exemplo, uma lagoa, morro ou outro acidente geográfico. Isto provoca a ocorrência de *áreas de exclusão* ou *desertos* na topologia que dificultam a descoberta de rotas. Dessa forma, é necessário contornar tais áreas para prover alguma forma de roteamento de pacotes. Nessa simulação, foi incluída uma área de exclusão de dimensão de 700 x 800 metros e localizada entre as cidades 1 e 2. Foi por nós desenvolvida em [14] um técnica relativamente simples de contornar as áreas de exclusão e os resultados que se seguem foram com ela obtidos. O gráfico da figura 7 mostra o desempenho do protocolo quando da inserção da área de exclusão (indicada *deserts* no gráfico) e quando tal área não existe (indicada *restricted* no gráfico).

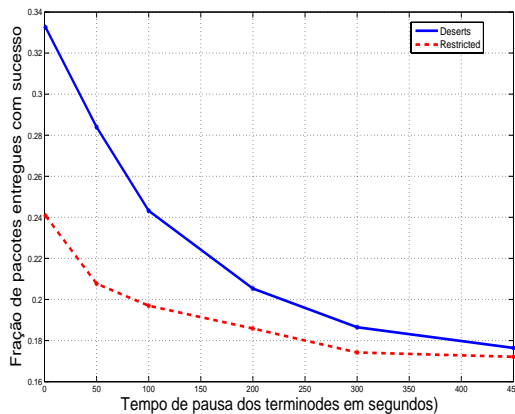


Fig. 7. Efeito no desempenho da área de exclusão.

Como pode ser visto no gráfico 7, o desempenho do protocolo utilizando o modelo quando uma área de exclusão inserida é superior ao do caso alternativo, principalmente quando os terminodes apresentam baixa mobilidade. Esta ganho em desempenho pode ser explicado pelo tamanho da área de exclusão e da região onde ela foi incluída. Como a área estava situada em uma parte da estrada entre duas cidades, o

efeito causado foi uma concentração maior dos terminodes ao longo de duas faixas da estrada configurou-se como vantajoso para a descoberta de novas rotas. Este é um resultado bastante importante, pois áreas de exclusão nesse formato podem ser facilmente encontradas em cenários reais, confirmando o fato de que a existência de áreas de exclusão não necessariamente reduz o desempenho do sistema

4) *Quanto à Erros de localização:* Uma avaliação importante é a que diz respeito aos efeitos de imprecisões da localização no desempenho do protocolo de roteamento. Essa importância decorre do fato do protocolo depende desta informação para realizar o roteamento em longa distância. Se a informação da posição for imprecisa, é possível que a eficiência do protocolo de roteamento seja comprometida. Conhecer quantitativamente a robustez deste protocolo a esta medida permite avaliar a necessidade do uso de um sistema de gerência de mobilidade mais ou menos robustos, determinar seu custo e a taxa de realização de medidas de localização. O erro de localização introduzido nas medidas foi sinteticamente gerado por meio de uma variável aleatória com distribuição gaussiana de média zero e a desvio padrão controlado.

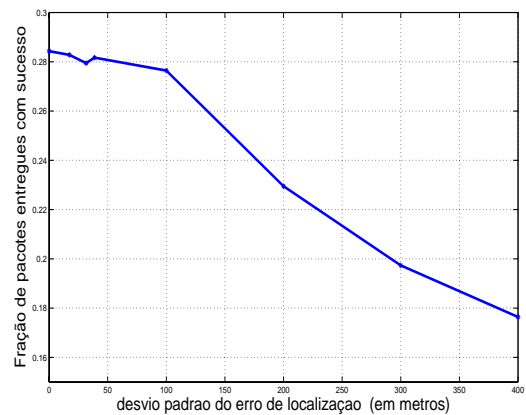


Fig. 8. Fração de pacotes entregues com sucesso versus erro no sistema de localização.

Como pode ser visto no gráfico da Figura 8, o desempenho do protocolo se mantém praticamente constante para os erros de localização com amplitude de até 100 metros, valor muito próximo do raio de transmissão dos terminodes. Embora o desempenho degrade a partir deste ponto, não é razoável que sejam empregados, sob o ponto de vista prático, processos de localização com erros superiores a 100 metros.

Esses resultados indicam que o TRR requer apenas uma estimativa aproximada da localização do terminode destino, pois o TLR é utilizado quando o pacote se aproxima a uma distância da ordem de dois saltos do destino e assim erros de localização desta ordem de grandeza são corrigidos. Embora não apresentado aqui, as simulações revelaram que a taxa de atualização da localização deve ser da ordem da razão entre a velocidade média do terminode e seu raio de transmissão, o que na simulação corrente foi em média da ordem de uma atualização a cada 15 segundos.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho investigou o desempenho do algoritmo de roteamento criado no Projeto Terminodes em redes ad-hoc auto-organizáveis em relação a três aspectos não relatados na literatura : comportamento on-off dos terminais, existência de áreas de exclusão e erros de localização. Como referência foram usados dois algoritmos tradicionais em redes ad-hoc, a saber, o AOVD e o LAR. Em relação a todos os quesitos, o protocolo discutido apresentou bom resultados e uma robustez bastante aceitável.

Entendemos que estes resultados são ainda preliminares e que a aceitação ou rejeição deste algoritmo de roteamento para aplicações específicas depende ainda de testes mais severos e realizados num universo de cenários mais amplo. O que este artigo se propõe é chamar a atenção da comunidade brasileira de telecomunicações para este projeto que, devido aos resultados animadores inicialmente obtidos, vale a pena investir numa investigação mais profunda desta técnica.

AGRADECIMENTOS

Pesquisa apoiada pelo CETUC/PUC-RIO. José Casemiro teve bolsa CAPES durante seu mestrado e Marco Grivet reconhece o suporte da bolsa de produtividade do CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] - Frodigh, M.; Johansson, P.; Larsson, P. , *Wireless ad-hoc networking - The art of networking without a network*, Ericsson Review. no4, 2000.
- [2] *Projeto Sistema Brasileiro de Televisão Digital*, Disponível em: <http://tvd.ic.uff.br/detalhada.html>, Acesso em: 21 de junho de 2007.
- [3] Blazevic, L. et al, *Self-Organization in Mobile Ad Hoc Networks: The Approach of Terminodes*, IEEE Communications Magazine, 2001.
- [4] Blazevic, L.; Le Boudec, J.; Giordano, S. , *A Location-Based Routing Method for Mobile Ad Hoc Networks*, ETRI Journal, Vol 24, no 1, February 2002.
- [5] Hubaux, P.; Gross, T.; Le Boudec, J.-Y.; AND Vetterli, M. , *Toward Self-Organized Mobile Ad Hoc Networks: The Terminodes Project*, IEEE Communications. Magazine, 2001.
- [6] Blazevic, L.; Giordano, S.; Le Boudec, J.-Y. , *Self Organized Terminode Routing*, Cluster Computing Journal, 2002.
- [7] Karp, B.; Kung, H.T., *GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks*, Proceedings ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '00), 2000. P. 243-254.
- [8] *GloMoSim*, Disponível em: <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/gloMosim/>, Acesso em: 21 de julho de 2007..
- [9] IEEE Society LAN MAN Standards Committee, *Wireless LAN Medium Access Protocol (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification*, IEEE Std 802. 11-1997, IEEE, New York, 1997.
- [10] C. E. Perkins; E. M. Royer, *Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing*, Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999, P. 90-100.
- [11] Y.-B. Ko; N. H. Vaidya, *Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks*, Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiCom), 1998. P. 66-75.
- [12] Peterson L.L.; Davie S.B., *Computer Networks: A systems Approach*, 4.th Ed., Morgan Kaufmann Publishers, 2007.
- [13] Capcun, S.; Hamdi, M.; Hubaux, J.-P., *GPS-free positioning system in mobile ad-hoc networks*, IEEE Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-34), 2001.
- [14] José Antonio Casemiro Neto, *Roteamento Baseado em Localização em Redes Ad-Hoc*, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, Setembro de 2007.