

Avaliação de Desempenho da Técnica de Varredura em Roteamento *Ad Hoc* com Antenas Direcionais

Glaucio F. Amorim¹ e José F. de Rezende¹

¹GTA - PEE - COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Caixa Postal 68.504 – 21.945-970 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{glaucio,rezende }@gta.ufrj.br

Abstract. *The use of directional antennas in mobile ad hoc networks requires an adaptation in the link layer as much as in the network layer. In the most part of scenarios, if this adaptation is ignored by the routing algorithms, the advantages offered by the use of directional antennas are missed. In this context, one of the main improvements is the use of a technique, called sweeping, that it allows to accomplish a omnidirectional broadcast transmission sending packets for each one of the communication beams. This paper evaluates the advantages and disadvantages of this technique analyzing metrics as: latency in the route discovery and number of hops of the routes found by the AODV routing protocol.*

Resumo. *A utilização de antenas direcionais em redes ad hoc requer adaptações dos protocolos tanto da camada de enlace quanto da camada de rede. Em grande parte dos cenários, se estas adaptações forem ignoradas, as vantagens oferecidas pelo uso de antenas direcionais podem ser desperdiçadas. Nesse contexto, uma das principais melhorias é a utilização de uma técnica, denominada de varredura (sweeping), que permite realizar uma transmissão broadcast omnidirecional enviando pacotes por cada um dos feixes de comunicação. Este artigo avalia as vantagens e desvantagens do emprego desta técnica, analisando métricas de desempenho como: latência na descoberta de rotas e número de saltos das rotas encontradas pelo protocolo de roteamento AODV.*

1 Introdução

O interesse na utilização de antenas direcionais em redes móveis *ad hoc* tem crescido muito nos últimos anos em virtude das vantagens em potencial que esta tecnologia pode proporcionar em termos de reutilização espacial e que, conseqüentemente, levaria a um aumento da vazão agregada da rede. No entanto, o emprego de comunicações direcionais exige várias mudanças na pilha de protocolos que compõe a arquitetura das redes *ad hoc*. Estas adaptações são extremamente importantes, pois os protocolos utilizados em ambientes omnidirecionais não possuem as características necessárias para trabalharem com antenas direcionais.

Várias foram as propostas para alterações dos protocolos da camada de enlace. Já na camada de rede, uma das principais mudanças diz respeito a como os pacotes de roteamento são difundidos pela rede. Em antenas omnidirecionais, esse processo é natural já que o sinal é transmitido igualmente para todas as regiões, mas em antenas direcionais é necessário que o mesmo pacote seja enviado por todos os feixes da antena, processo

que é denominado varredura (*sweeping*). Nesse cenário, a interação entre as camadas se faz necessário para que todo o potencial oferecido pelas comunicações direcionais possa ser utilizado. Portanto, o desconhecimento das características das camadas inferiores ou a utilização equivocada de parâmetros de configuração pelas camadas superiores podem degradar o desempenho do sistema.

Este artigo avalia o impacto da utilização da técnica de varredura no desempenho dos protocolos de roteamento e descreve as vantagens e desvantagens desse processo. Para tal, utilizou-se o algoritmo de roteamento *Ad Hoc On-demand Distance Vector* (AODV) modificado para implementar a varredura. Foram analisadas as seguintes métricas: latência, quantidade de saltos da origem até o destino e a razão entre a quantidade de pacotes de controle (RREQ e ARP) que sofreram varredura e a quantidade de pacotes de dados transmitidos.

O restante do artigo está organizado da seguinte maneira: a seção 2 apresenta os trabalhos relacionados às técnicas empregadas nos protocolos de roteamento com antenas direcionais, a seção 3 descreve os conceitos básicos de antenas e de roteamento em redes móveis, onde discute-se a técnica de inundação tanto em ambientes omnidirecionais quanto direcionais, na seção 4 as simulações e os resultados são apresentados e a conclusão é feita na seção 5.

2 Trabalhos Relacionados

Os trabalhos propostos para antenas direcionais estão fortemente relacionados às camadas dos protocolos aos quais se propõem mudanças. Podem ser citados dois grandes grupos: trabalhos relacionados à camada de enlace (protocolos de controle de acesso ao meio - MAC) e trabalhos relacionados à camada de rede. Abaixo serão descritas algumas propostas para protocolos de roteamento que é o foco desse artigo, mas pesquisas sobre protocolos de controle de acesso ao meio podem ser encontrados em: [C. de M. Cordeiro and Agrawal 2002], [C. de M. Cordeiro and Agrawal 2006a], [Ko and Vaidya 2000], [Ramanathan 2004], [S. Roy and et al 2003] e [R. R. Choudhury and Vaidya 2002].

Em [T. Joshi and et al 2004], são avaliadas várias técnicas para diminuir a inundação da rede provocada pela técnica de varredura em antenas direcionais e, para tal, utilizou-se uma rede *ad hoc* com 100 nós dispostos aleatoriamente. A densidade dos nós é modificada a medida que se altera a área de simulação. Seis técnicas de inundação foram comparadas: *Omni Directional Flooding* (OFD), *Simple Directional Flooding* (SFD), *Simple Enhanced Directional Flooding* (SEDF), *Single Relay Broadcast* (SRB), *New Enhanced Directional Flooding* (NEDF) e *Probabilistic Relay Broadcasting* (PRB) sob três métricas de desempenho: conectividade, que reflete o número total de nós que receberam o pacote de *broadcast*; pacotes transmitidos e latência, isto é, tempo requerido para que todos os nós recebam o pacote de inundação. Os autores mostraram que as técnicas NEDF e PRB obtiveram resultados melhores que as demais nos cenários simulados.

Em [R. Ramanathan and et al 2005], uma solução para um sistema completo é apresentada. Nesse trabalho, é proposto um protocolo de acesso ao meio direcional denominado D-MAC (*Directional MAC*) que, além de implementar um vetor de alocação da rede (*Network Allocation Vector* - NAV) direcional, também realiza controle de potência. Três tipos de enlaces entre vizinhos são considerados: N-BF (*without beamforming*), T-

BF (*using transmit-only beamforming*) e TR-BF (*using transmit and receive beamforming*). Todos os enlaces formados têm suas propriedades armazenadas em módulos de caracterização de enlace que são utilizados pelo protocolo de roteamento para escolha de rotas. O algoritmo de roteamento é baseado no conhecido protocolo *Hazy Sighted Link State* (HSLS) que tem como características ser: pró-ativo, não hierárquico e simples. Entretanto, os autores não descrevem com detalhes seu funcionamento, nem como as informações são difundidas na rede e os resultados mostram que protocolos pró-ativos geram uma sobrecarga de informações muito grande no sistema.

Já em [C. de M. Cordeiro and Agrawal 2006b], os autores propõem um eficiente protocolo de roteamento (*Directional Routing Protocol - DRP*) para ambientes direcionais baseado no protocolo de roteamento *Dynamic Source Routing* (DSR). Adicionalmente ao DSR tradicional, os pacotes de roteamento do DRP carregam não somente informações dos nós por onde o pacote passou, mas também os feixes por onde foi recebido. Isso dá ao sistema, uma orientação espacial da rota seguida por esse pacote (todos os nós usam a mesma antena), fato que é aproveitado por alguns mecanismos do protocolo. Duas fases de rastreamento são utilizadas no DRP: a fase de localização, onde após a falha de três tentativas consecutivas de envio do pacote RTS, o nó tenta localizar seu vizinho nos feixes adjacentes. Depois de um número finito de tentativas, o nó tenta encontrar um novo vizinho que ainda mantenha a rota antiga, esta fase é chamada de fase de reconstrução local direcional em dois saltos. E, se isso não for possível, uma fase de reparo de rota é iniciada, direcionando a requisição de rota para a região que, potencialmente, contém o destino. Esta região é estimada através das informações dos feixes recebidos durante a comunicação. Além do DRP, os autores apresentam um protocolo de acesso ao meio denominado MDA (*MAC layer of DRP*), que, dentre outras técnicas, implementa múltiplas filas, uma para cada feixe. Isto faz com que a camada de enlace não fique paralisada se o feixe pelo qual deveria enviar o primeiro pacote está bloqueado, podendo escolher um pacote da próxima fila para transmitir.

3 Conceitos Básicos

Nesta seção serão apresentados os conceitos básicos de antenas direcionais e de roteamento em redes ad hoc, assim como, as técnicas de inundação tanto em ambientes omnidirecionais quanto direcionais.

3.1 Conceitos de Antenas

Antenas de rádio irradiam energia de um meio para o outro. Uma antena pode ser classificada como isotrópica, isto é, irradia ou recebe energia igualmente em todas as direções, ou direcional onde a irradiação ou a recepção é preferencialmente feita em uma direção, ou seja, transmite ou recebe mais energia em uma direção se comparada à omnidirecional. ([International Engineering Consortium 2005]).

Um importante conceito em antenas é o ganho, normalmente utilizado para quantificar sua direcionalidade. De acordo com [Ramanathan 2004], o ganho de uma antena em uma direção $d = (\theta, \phi)$ é dado por:

$$G(d) = N \left(\frac{U(d)}{U_{ave}} \right) \quad (1)$$

onde $U(d)$ é a densidade de potência na direção d , U_{ave} é a densidade de potência média sobre todas as direções, e N é a eficiência da antena. Informalmente, o ganho mede a potência relativa em uma direção comparada a uma antena omnidirecional.

Um padrão de irradiação de uma antena é a especificação de valores de ganho em cada direção no espaço. Normalmente, o padrão para antenas direcionais possui um lóbulo principal, onde o ganho é máximo naquela direção e lóbulos laterais com ganhos menores, diferentemente de uma antena omnidirecional onde o ganho é igualmente distribuído em todas as direções. A figura 1 mostra um exemplo de padrão de irradiação para antenas omni e direcionais.

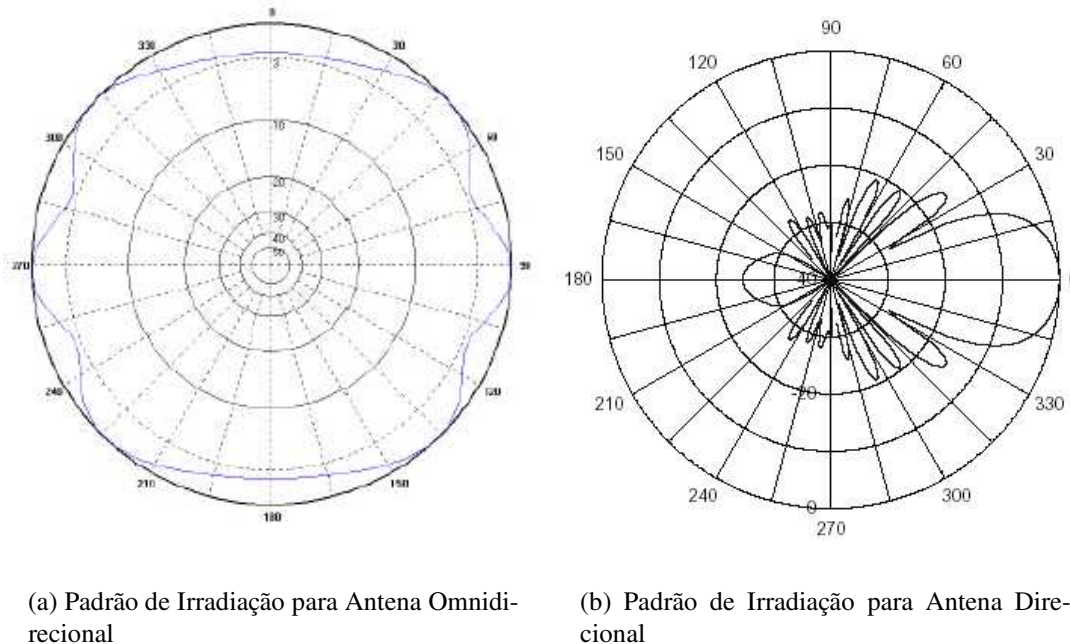


Figura 1. Padrões de Irradiação de Antenas

Neste artigo, iremos utilizar a palavra feixe para denotar os lóbulos de uma antena direcional.

Dada a equação 1, pode-se verificar que, quanto menor for o ângulo de um feixe, maior será a densidade de potência naquele feixe e, portanto, maior será o ganho naquela direção. Com ganhos maiores, os enlaces entre os nós serão maiores e a rota entre um terminal de origem e um terminal de destino será menor, diminuindo a probabilidade de quebra.

De acordo com [Ramanathan 2004], é possível melhorar o desempenho das antenas introduzindo um maior controle sobre os múltiplos elementos (feixes). Pode-se separar esta técnica em duas classes principais: feixes comutados (*switched beams*) e feixes direcionados (*steered beams*).

- Feixes Comutados

Este sistema de antenas é formado por um conjunto finito de feixes com maior sensibilidade para direções particulares. Estas antenas detectam os sinais, escolhem o feixe onde a potência do sinal é maior e migram para esse feixe. Embora

esse sistema aumente a reutilização espacial e seja simples de ser implementado, não consegue rastrear um nó móvel.

- **Feixes Direcionados**

Neste sistema de antenas, o lóbulo (feixe) principal pode ser direcionado virtualmente para qualquer direção através de técnicas que determinam o ângulo de chegada dos pacotes. Um dos principais tipos desse sistema é conhecido como vetor adaptativo que além de maximizar o ganho na direção do nó de destino, minimiza o ganho em outras direções que poderiam causar interferências.

3.1.1 Modelo de Antena Utilizado

O modelo utilizado para as simulações neste artigo é caracterizado pelo uso de M feixes comutados numerados de 0 a $M - 1$ no sentido anti-horário. O sistema oferece dois modos de operação: omnidirecional e direcional. A princípio, o modelo omni só é utilizado para receber informações enquanto o modelo direcional é utilizado tanto para transmitir quanto para receber sinais.

No primeiro modo, o nó é capaz de receber e transmitir dados em todas as direções com um ganho $G(O)$ igual a 1. A área coberta por uma transmissão feita por esse nó pode ser representada por uma circunferência de raio r , onde r é a distância máxima que separa o transmissor do receptor.

No segundo modo, o nó pode transmitir ou receber em uma direção específica com ganho $G(D)$. O valor de $G(D)$ dependerá do ângulo do feixe utilizado pela antena. Quanto menor o ângulo maior será o ganho. $G(D)$ é tipicamente maior do que $G(O)$, uma vez que agora a potência de transmissão é concentrada num feixe na forma de um setor de circunferência. Com um ganho maior, aumenta o alcance de transmissão e recepção do nó; por esse motivo, com antenas direcionais a distância que separa transmissor e receptor é potencialmente maior.

É assumido que todos os nós possuem o padrão de antena direcional definido acima e que podem manter a orientação dos feixes durante todo o tempo.

Para difundir um pacote nesse modelo, é necessário que ele seja enviado por todos os feixes. O sistema segue o padrão 802.11 para acesso ao meio somente para o primeiro feixe, que necessariamente é o feixe 0. Para os demais feixes, o nó verifica se o meio está livre e se estiver transmite o pacote sem esperar pelo tempo de DIFS, senão espera pelo tempo determinado e transmite em seguida.

3.2 Roteamento em Redes Móveis *Ad Hoc*

Os protocolos de roteamento para redes móveis *ad hoc* podem ser classificados em pró-ativos ou reativos [Corson and Macker 1999]. Os protocolos pró-ativos se caracterizam por criarem, a priori, as rotas para todos os destinos possíveis e atualizarem estas rotas periodicamente para que as mudanças de topologia sejam rapidamente detectadas. Assim, sempre que uma rota é requerida esta informação já está disponível. Os protocolos *Destination Sequence Distance Vector* (DSDV) e *Optimized Link State Routing* (OLSR) são exemplos típicos desse tipo de protocolo.

Já os protocolos reativos, também chamados de sob demanda, têm como carac-

terística criar uma rota para um determinado destino somente quando esta for necessária. Isto é feito através de um processo de descobrimento de rota que, quando realizado, difunde uma mensagem de requisição de rota que trafega pela rede até que atinja um nó que conheça um caminho para o destino ou o próprio destino. Ao ser alcançado, o destino ou o nó intermediário responde com uma mensagem que permite aos seus receptores descobrirem uma rota para aquele destino. Os protocolos mais comuns desse tipo são: *Dynamic Source Routing (DSR)* e *Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)*.

Em [C. de M. Cordeiro and Agrawal 2006b], algumas características relacionadas às comunicações direcionais e ao impacto delas no roteamento direcional são apresentadas. Dentre elas, as principais são:

- *Overhead* da difusão direcional: em um sistema com antenas que utilizam feixes comutados, a varredura é necessária para garantir que todos os nós vizinhos recebam a informação. Cada nó que retransmite esta informação, introduz na rede M pacotes (onde M é a quantidade de feixes da antena), o que gera redundância e atraso. Como os pacotes de requisição de rotas têm que ser difundidos, uma estratégia de varredura ineficiente pode degradar a qualidade do protocolo de roteamento.
- ARP com antenas direcionais: uma vez que o destino recebe uma requisição de rota, ele precisa descobrir o endereço do nó anterior que enviou esta requisição. Isso é feito através do protocolo ARP que necessita transmitir uma solicitação por difusão, isto é, realizar uma varredura. Algumas situações podem ocorrer nesse cenário como: o nó não receber a solicitação porque estava enviando a requisição de rota por outro feixe, ou o nó de destino não receber a resposta de solicitação, pois estava transmitindo a solicitação por outro feixe. Portanto, é necessário que a solicitação seja atrasada pelo menos por um período T , tal que T é o tempo requerido para uma varredura completa.
- *Handoff* de feixes em antenas direcionais: em ambientes direcionais um novo tipo de *handoff* é inserido pela movimentação do nó de um feixe para o outro. Para diminuir o *overhead* que isso poderia provocar com várias descobertas de rotas indesejadas, se faz necessário criar um novo mecanismo de manutenção de rotas que tenta encontrar o nó vizinho nos feixes adjacentes a aquele que estava sendo utilizado para comunicação.

Neste trabalho, iremos nos ater somente ao primeiro item. O mecanismo de varredura, se mal configurado ou ignorado pelo protocolo de roteamento, pode degradar o desempenho da rede. O objetivo do artigo é avaliar exatamente as vantagens e desvantagens desse mecanismo, levando em consideração a latência na descoberta de rotas, o número de saltos necessário entre o terminal de origem e destino e o reuso espacial dado pela vazão agregada da rede.

O protocolo de roteamento utilizado para as simulações foi o protocolo AODV [C. Perkins and Das 2003]. Esse protocolo, como mencionado anteriormente, é um protocolo reativo do tipo vetor de distância. Ele utiliza mecanismos de gerenciamento de rotas sob demanda (descritos a seguir), roteamento salto-a-salto (*hop-by-hop*), números de seqüência e pacotes de controle periódicos. Foi desenvolvido para redes *ad hoc* esparsas ou densas e suporta vários graus de mobilidade e diferentes níveis de tráfego. Ele é livre de *loops* e evita o problema da contagem até o infinito, problemas clássicos dos

protocolos de vetor de distância. Ainda, o AODV reage relativamente rápido às mudanças na topologia, atualizando somente os nós que podem ter sido afetados. Os mecanismos básicos de gerenciamento de rotas do AODV são:

- **Descoberta de Rotas** - Quando um nó de origem (O) necessita de uma rota para um nó de destino (D), ele difunde uma mensagem chamada de Route REQuest (RREQ) para seus vizinhos, incluindo o último número de seqüência conhecido para D. A RREQ é transmitida de maneira controlada através da rede até que alcance um nó que conheça uma rota para D ou até que encontre o próprio nó de destino. Cada nó que repassa a RREQ cria uma rota reversa até o nó O adicionando o nó que enviou a RREQ em sua lista de precursores. Ao alcançar um nó que tenha um caminho para D, a RREQ faz com que ele gere uma mensagem de resposta chamada Route REply (RREP) que contém o número de saltos necessários até D e o número de seqüência mais recente para o nó de destino. Cada nó que participa da transmissão da RREP de volta ao nó O cria uma rota reversa para D. O estado criado em cada nó ao longo do caminho de O para D é um estado salto-a-salto, pois cada nó sabe apenas o próximo salto no caminho e não a rota inteira.
- **Manutenção de Rotas** - Para manter rotas ativas, o AODV requer que cada nó transmita, periodicamente, uma mensagem de controle denominada *HELLO*. A falta de três mensagens desse tipo em um intervalo de tempo predeterminado é tratada como a indicação de rompimento de enlace. Quando um enlace se rompe, qualquer nó que tenha utilizado esse enlace para transmitir pacotes é avisado via uma mensagem de erro denominada Route Error (RRER). Após receber esta mensagem, um nó deve configurar esta rota como inválida e procurar outro caminho para o destino.

O protocolo AODV foi modificado para difundir os pacotes por todos os feixes e poder usufruir das vantagens de uma camada de enlace direcional. Todo pacote RREQ é enviado por todos os feixes. Quando o nó de destino recebe uma requisição, se não tiver o endereço MAC do nó anterior, depois de esperar por um tempo, envia uma solicitação ARP por todos os feixes, começando pelo feixe que recebeu o RREQ e que provavelmente contém o nó procurado. Ao receber a resposta, envia a mensagem RREP pelo feixe detectado.

4 Simulação e Resultados

Nesta seção serão descritos os cenários de simulação utilizados, assim como os resultados alcançados em cada um dos cenários.

4.1 Cenários de Simulação

Para avaliarmos a técnica de *sweeping*, dois cenários distintos foram definidos, denominados de inicial e grade. O cenário inicial foi construído para que a técnica de varredura implementada no AODV fosse testada. Apesar de sua simplicidade, ele foi importante para entender o comportamento do mecanismo implementado. O segundo cenário (Grade), apesar de bem comportado, serviu para avaliarmos todas as métricas propostas.

Em cada cenário, dois modos de simulação foram realizados, um com a camada de rede ciente da característica direcional da camada inferior (enlace) e outra com a camada de rede sem saber das funcionalidades oferecidas pelas antenas direcionais. No primeiro

modo, todos os pacotes que devem ser difundidos na rede (ex.: RREQ e ARP) sofrem o processo de varredura, isto é, são enviados por todos os feixes da antena, com ganho direcional. Já no segundo modo, como a rede não sabe que a camada de enlace implementa direcionalidade, o envio desses pacotes é feito através de uma antena omnidirecional. Tanto no primeiro quanto no segundo modo, quando um pacote é recebido, o feixe pelo qual esta ação ocorreu é armazenado e a resposta é transmitida direcionalmente. O intuito é analisar se a técnica de *sweeping* é essencial para ambientes que utilizam antenas direcionais, ou se esse *overhead* provocado por ela poderia ser evitado.

As características de cada cenário, os resultados e as avaliações serão abordadas a seguir. Todas as simulações foram realizadas utilizando o simulador NS-2 (*Network Simulator* [Information Sciences Institute 2005]) na versão 2.26. Esta versão contém um modelo de antenas direcionais e uma camada de enlace direcional implementados pelos alunos do GTA (Grupo de Teleinformática e Automação) do programa de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Esta implementação trabalha com dois módulos: um onde os nós possuem informação sobre a localização dos nós e outro onde esta localização é descoberta com a troca de informações (quadros de controle) da camada MAC. Esta implementação foi estendida para que o protocolo de roteamento pudesse realizar o mecanismo de *sweeping*.

4.2 Cenário Inicial

Este cenário é composto por quatro nós e suas localizações foram definidas como mostrado na figura 2.

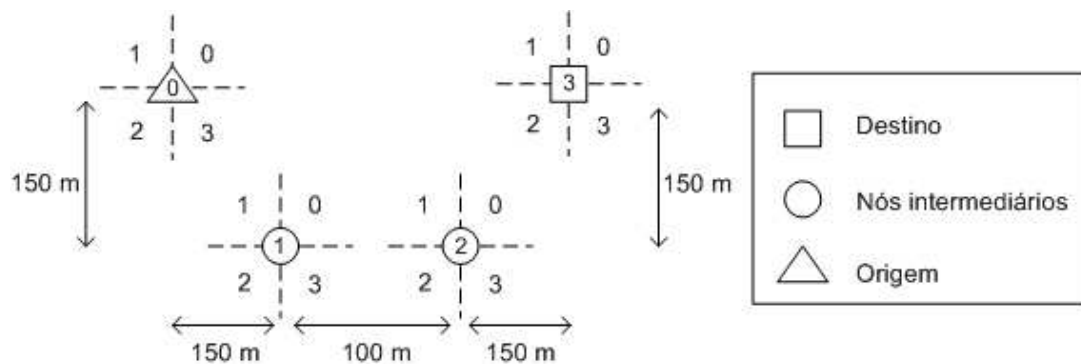


Figura 2. Disposição dos nós no cenário Inicial

Assume-se um tráfego CBR de 64Kbps com variação do tamanho dos pacotes de 256, 512 e 1024 Bytes. A quantidade de feixes de cada nó foi variada seguindo a ordem: 3, 4, 6 e 8. O alcance de transmissão de cada nó depende da antena que está sendo utilizada, isto é, quanto mais feixes maior será o alcance de transmissão. O tempo de simulação foi de 200 segundos e os resultados foram obtidos com um intervalo de confiança de 95% sobre uma média em cinco simulações. O objetivo das simulações nesse cenário é entender o comportamento da técnica de varredura e suas implicações. As figuras 3 e 4 mostram os resultados.

Os valores de latência indicam o que era esperado, quanto maior a quantidade de feixes, maior será a latência para o descobrimento das rotas, isso porque é necessário esperar um tempo de uma varredura total antes de enviar uma resposta de rota para evitar

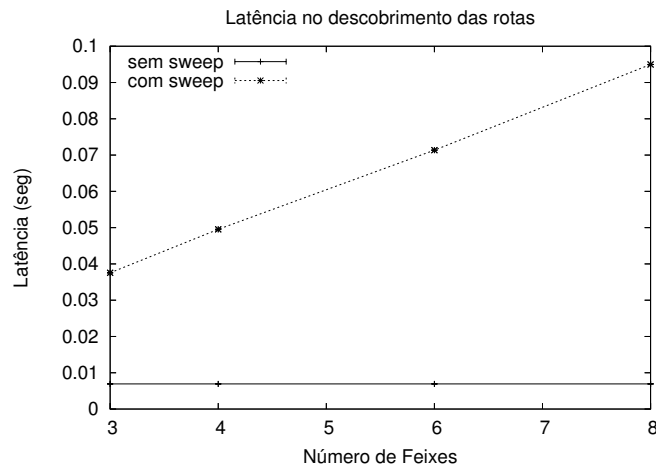


Figura 3. Latência para descoberta de rota

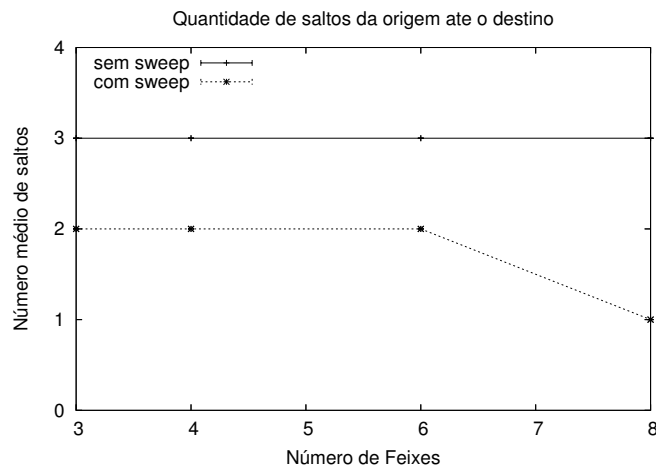


Figura 4. Número de saltos na rota

uma possível surdez. Entretanto, o gráfico do número médio de saltos apresenta uma característica importante para cenários direcionais que é a utilização do ganho. Enquanto os nós que não fazem a varredura necessitam de aproximadamente 3 saltos para alcançarem o destino, os nós que implementam a varredura e, por conseqüência, enviam pacotes direcionalmente, conseguem chegar até o destino com 2 ou até 1 salto, dependendo do número de feixes. Isto faz com que as rotas sejam menores, diminuindo a probabilidade de colisão e quebra de enlace.

Uma situação que pode degradar o desempenho da rede foi visualizada nesse cenário quando os nós fazem a difusão de pacotes de controle utilizando uma transmissão omnidirecional (sem varredura). Nesse caso, a rota é descoberta e os dados começam a ser enviados. Como os pacotes RTS, CTS, DADOS e ACK são enviados direcionalmente, o alcance de transmissão pode atingir um nó que, a princípio, é um vizinho de dois saltos, fazendo com que este tenha seu feixe bloqueado pelo tempo de transmissão, diminuindo a reutilização espacial. Já com a varredura e envios direcionais de requisição, aquele nó irá fazer parte da rota e, portanto, a vazão da rede não será afetada.

4.3 Cenário Grade

Neste cenário, foi utilizado uma grade de 4 X 4, perfazendo um total de 16 nós dispostos sobre uma área de 3000 m². Dois tráfegos CBR com taxa variando de 64Kbps, 1 Mbps e 2 Mbps foram utilizados. As origens foram dispostas nas extremidades à esquerda da grade (quinas), enquanto os destinos foram localizados nas extremidades diametralmente opostas, como mostrado na figura 5. Todos os nós foram compostos por antenas direcionais que tiveram seus feixes variados como no cenário inicial. Os resultados obtidos são mostrados nas figuras 6, 7, 8 e 9

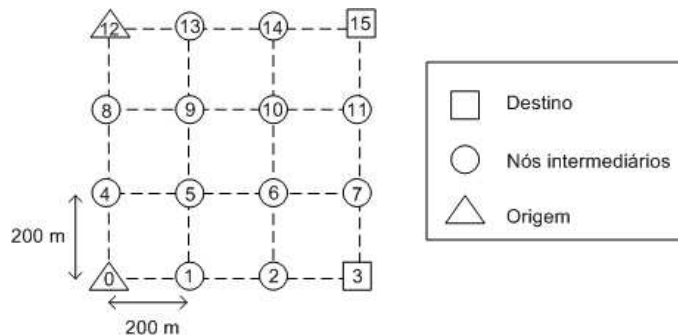


Figura 5. Disposição dos nós no cenário grade

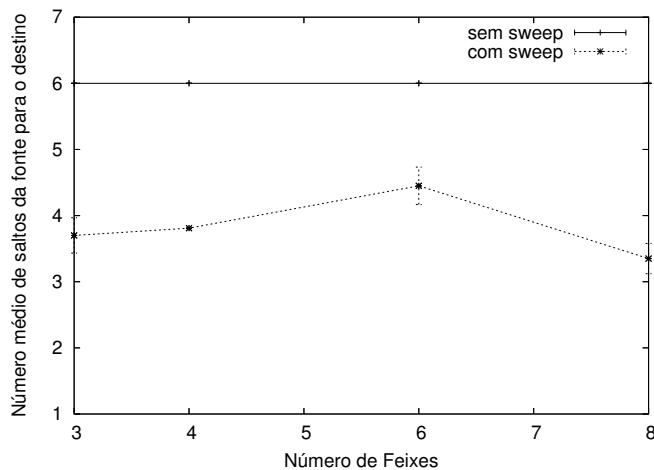


Figura 6. Número médio de saltos

Como esperado, esse resultado mantém as características de direcionalidade. As conexões que utilizaram as comunicações direcionais desde o princípio obtêm uma quantidade de saltos menores em suas rotas. Esta característica, junto com a reutilização espacial, são os atrativos para o uso de antenas direcionais.

Contudo, a melhoria não refletiu o esperado. O número médio de saltos para as duas conexões ficou entre 3 e 4 saltos para todas as antenas. Isso foi provocado pelos cenários de surdez causados pelas duas transmissões em paralelo. Os pacotes que seguiam pelo caminho com menor quantidade de saltos (diagonal) e mais congestionado tinham maior probabilidade de serem descartados devido ao fato dos nós intermediários estarem voltados para outras direções. Então, os que tomavam os maiores caminhos chegavam

ao destino e eram utilizados para configurar a rota. Isso demonstra que é importante implementar um mecanismo que resolva o problema de surdez e que é importante rever a métrica utilizada pelo protocolo de roteamento AODV em ambientes direcionais.

A figura abaixo mostra a razão entre todos os pacotes enviados na rede e os pacotes que deveriam ser enviados por difusão, como por exemplo: RREQ e ARP. Esse resultado pode identificar a escalabilidade do protocolo. Como previsto, a técnica de varredura provoca um aumento significativo do *overhead* na rede. Por isso, otimizações nesta técnica como: não enviar os pacotes para os feixes por onde ele os recebeu, devem ser realizadas a fim de amenizar esse efeito. Entretanto, é possível verificar ainda que nos cenários com antenas que utilizaram um maior número de feixes os resultados se invertiram, isso é, as antenas que utilizaram a varredura tiveram uma percentagem menor de pacotes de controle do que as antenas que não usaram a técnica. Isso ocorre porque as antenas que usam a varredura geram rotas com menor número de saltos, conseqüentemente menor número de nós intermediários que necessitam difundir os pacotes de controle do que as antenas que não utilizam a varredura.

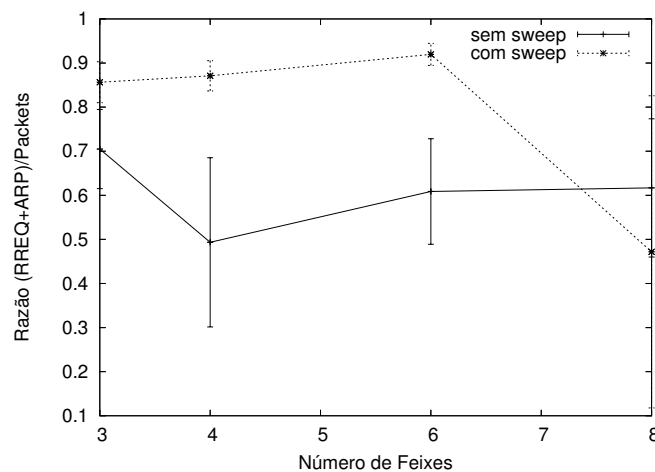


Figura 7. Razão entre os pacotes enviados e os pacotes difundidos

As figuras 8 e 9 mostram as latências das descobertas de rotas na grade. Como pode-se observar, a latência nas simulações que não utilizaram o *sweeping* é menor, pois não existem atrasos forçados em sua descoberta, diferentemente das simulações com varredura. Percebe-se ainda que, nas simulações que não utilizaram o *sweeping*, quanto maior é o número de feixes menor é a latência. Isso ocorre porque quanto maior for o ângulo do feixe maior será a área reservada para a comunicação. Como explicado anteriormente, esse atraso é importante para evitar que os nós percam algumas mensagens por estarem surdos em alguns feixes. Observa-se, também, que quanto maior o número de feixes maior será a latência imposta pela técnica de varredura, independentemente da taxa em que os pacotes são enviados.

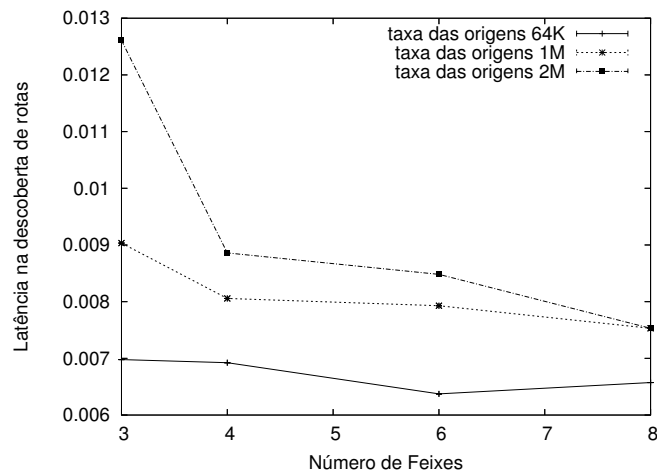


Figura 8. Latência das rotas sem utilizar o sweeping

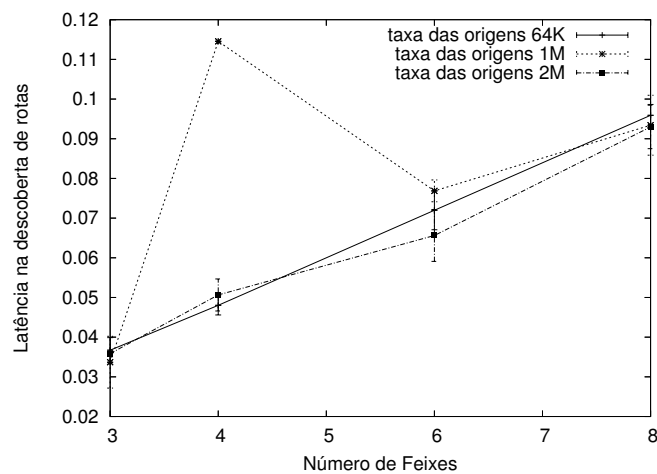


Figura 9. Latência das rotas utilizando o sweeping

5 Conclusão

Este artigo apresentou uma avaliação da técnica de *sweeping* utilizada para difundir os pacotes em uma rede que utiliza antenas direcionais. As simulações indicam que esta técnica é fundamental para que os protocolos de roteamento possam usufruir de características como, maior ganho, apesar de um aumento da latência na descoberta da rota. Entretanto, esta latência é amenizada pela menor quantidade de enlaces na rota. Com essas rotas mais curtas a probabilidade de rompimento da rota ou interferências são reduzidas. A não utilização desta técnica pode ainda causar um novo tipo de surdez (*deafness*) como apresentado na seção 4.2. Percebe-se ainda, que a sobrecarga de controle é aumentada consideravelmente a ponto de colocar em risco a escalabilidade do protocolo. Portanto, se faz necessário implementar otimizações na varredura para que esta sobrecarga seja minimizada.

Foi utilizado o protocolo AODV com modificações para implementação da varredura e uma camada de enlace direcional, ambos implementados pelos pesquisadores

do Grupo de Teleinformática e Automação. Esse protocolo não tinha sido usado ainda em ambientes direcionais, diferentemente dos protocolos DSR e HSLS, e se mostrou robusto e eficiente, motivando a continuação do trabalho que incluirá: otimizações no *sweeping*, proposta de um novo mecanismo de descoberta de rotas e implementações de técnicas que reduzam o gasto de energia na camada física.

Referências

- C. de M. Cordeiro, H. G. and Agrawal, D. P. (2002). Using Directional Antennas for Medium Access Control in Ad Hoc Networks. In *ACM MOBICOM*, Atlanta, Georgia.
- C. de M. Cordeiro, H. G. and Agrawal, D. P. (2006a). Cross-Layer Directional Antenna MAC and Routing Protocols for Wireless Ad Hoc Networks. In *Wiley Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC) Journal*, USA.
- C. de M. Cordeiro, T. Joshi, H. G. and Agrawal, D. P. (2006b). DRP: An Efficient Directional Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks. In *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, USA.
- C. Perkins, E. B.-R. and Das, S. (2003). Ad hoc On-demand Distance Vector (aodv) routing. *Internet RFC 3561*.
- Corson, S. and Macker, J. (1999). Mobile ad hoc networking (manet): Routing protocol performance issues and evaluation considerations. *Internet RFC 2501*.
- Information Sciences Institute (2005). The Network Simulator - ns-2.
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/> - último acesso em 20/12/2005 .
- International Engineering Consortium (2005). Smart Antenna Systems.
http://www.iec.org/online/tutorials/smart_ant/ - último acesso em 20/12/2005 .
- Ko, Y. B. and Vaidya, N. H. (2000). Medium Access Control Protocols Using Directional Antennas in Ad Hoc Networks. In *IEEE INFOCOM*, Tel Aviv, Israel.
- R. R. Choudhury, X. Yang, R. R. and Vaidya, N. (2002). Using Directional Antennas for Medium Access Control in Ad Hoc Networks. In *ACM MOBICOM*, Atlanta, Georgia.
- R. Ramanathan, J. Redi, C. S. and et al (2005). Ad Hoc Networking with Directional Antennas: A Complete System Solution. In *Journal of Selected Areas in Communication*, USA.
- Ramanathan, R. (2004). Antenna beamforming and power control for ad hoc networks. In Press, I., editor, *Mobile Ad Hoc Networking*. S. Basagni, M. Conti, S. Giordano and I. Stojmenovic.
- S. Roy, D. Saha, S. B. and et al (2003). A Network-Aware MAC and Routing Protocol Effective Load Balancing in Ad Hoc Wireless Networks with Directional Antenna. In *MoBiHoc*, Maryland, USA.
- T. Joshi, C. Cordeiro, S. V. and et al (2004). Broadcasting Over Switched Single Beam Antennas. In *IEEE ICON*, Singapore, Malaysian.