

Caracterizando a mobilidade de usuários e avaliando seu impacto no roteamento das redes móveis *ad hoc*

Carlos Alberto Vieira Campos e Luís Felipe Magalhães de Moraes

Laboratório de Redes de Alta Velocidade - RAVEL
Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - COPPE/UFRJ
Caixa Postal: 68.511 - 21.941-972 - Rio de Janeiro - RJ

{carlosvc, moraes}@cos.ufrj.br

Resumo—Nesse artigo é apresentada uma caracterização da mobilidade dos usuários das redes móveis *ad hoc*. Dentro desse contexto, é realizada uma generalização dos modelos de mobilidade markovianos, que são indicados para representar a movimentação dos usuários, tanto em ambientes fechados, quanto em ambientes abertos. Além disso, é proposta uma nova característica à modelagem definida como, geração de perfis de mobilidade para comportamentos específicos de movimentação. Essa característica torna a modelagem proposta mais adequada para utilização em diversos cenários de redes *ad hoc*. Por fim, é realizada uma avaliação de desempenho, através de simulação, do roteamento dessas redes sob a influência do modelo de mobilidade e regra de borda utilizada, e novos resultados são apresentados.

Abstract—In this paper is presented a characterization users's mobility of the mobile ad hoc networks. In this context, a generalization is made of the markovian mobility models, that are indicated to represent the movement of users in indoors or outdoors. Thus, it is presented a general characterization of the use of Markov processes in the representation of the movement of users. Moreover, a new modeling characteristic defined as mobility profiles generation for specific behaviors of movement is also proposed. This characteristic makes this modeling proposal more suitable to be applied in many different scenarios of ad hoc networks. At last, a performance evaluation, through simulations, of network routing under this influence of used mobility model and border rule is also realized and new results are presented.

I. INTRODUÇÃO

As redes móveis *ad hoc* são redes de computadores sem fio que não necessitam de uma infra-estrutura de comunicação e distribuição de dados. Sendo assim, encaminham os dados diretamente ou através de dispositivos intermediários quando o dispositivo de destino está fora do alcance do dispositivo de origem. Dentro desse contexto, todos os dispositivos denominados de nós móveis - NMs, têm potencialmente, a capacidade de rotear os dados, ou seja, podem atuar como roteadores.

Além disso, essas redes ainda estão em fase de pesquisa e desenvolvimento, o que dificulta a obtenção de *traces* (registros de movimentação dos usuários) de cenários reais. Assim, é necessária a utilização de modelos de mobilidade sintéticos que tentam representar o comportamento de movimentação dos NMs para simular a mobilidade dos usuários. Esses modelos são utilizados nas simulações de redes *ad hoc* para

possibilitar uma avaliação de desempenho de seus componentes, subsistemas e aplicações.

Dentro desse contexto, é realizado nesse trabalho um estudo detalhado do comportamento de movimentação dos NMs e o seu possível impacto no desempenho de protocolos de roteamento das redes *ad hoc*.

O presente artigo está organizado da seguinte forma. Na seção II, são descritos os principais modelos de mobilidade para as redes *ad hoc*. Na seção III, é apresentada a generalização do modelos markovianos, através de uma formulação analítica e uma caracterização de perfis de mobilidade gerado por esses modelos. Além disso, na seção IV, é feita uma análise do impacto das regras de borda no modelo de mobilidade escolhido. Na seção V, é realizada uma avaliação de desempenho dos protocolos de roteamento através de simulação. Por fim, as conclusões e trabalhos futuros são apresentados na seção VI.

II. MOTIVAÇÃO

Os *traces* proporcionam uma observação do comportamento real de movimentação dos NMs, principalmente, quando se tem um grande número de nós durante um longo período de observação. Entretanto, em redes *ad hoc*, capturar esses registros não é uma tarefa fácil, devido ao fato dessas redes ainda não estarem em uso, o que motiva o desenvolvimento e implementação dos modelos de mobilidade sintéticos.

Como exemplos de ambientes onde se aplicam os modelos de mobilidade, têm-se: aplicações de gerenciamento de distribuição de chave criptográfica, suporte à descoberta de serviços, suporte ao gerenciamento do tráfego suportado pela rede, avaliação da perda de pacotes em redes *ad hoc* [1], avaliação da capacidade, avaliação dos protocolos de roteamento [2], [3], predição do particionamento das redes *ad hoc*, cobertura de serviços em redes *ad hoc* particionáveis, protocolos de acesso ao meio para redes *ad hoc*, entre outras.

Dentro do contexto da modelagem da mobilidade, Bettstetter apresenta, em [4], um *framework* da representação da mobilidade usada na simulação e análise de sistemas de comunicações sem fio. Como pode ser visto, na figura 1, a representação da mobilidade é realizada através dos componentes: nível de aleatoriedade (determinística, híbrida

ou aleatória), nível de detalhamento (micromobilidade, macromobilidade, movimentação individual ou em grupo), representação por simulação ou por modelagem analítica, quantidade de dimensões (1D, 2D ou 3D) e na escolha da nova direção da abordagem aleatória, pode-se utilizar diferentes regras de borda para a área representada. Esses componentes do *framework* foram utilizados pela modelagem proposta, em [5], modificada nesse trabalho e que será apresentada na seção III. Além disso, essa representação pode ser aplicada tanto nas redes sem infra-estrutura (rede *ad hoc*), quanto nas redes sem fio infra-estruturadas (rede celular). Entretanto, nesse trabalho, será abordado somente modelos para redes sem infra-estrutura. Esses modelos buscam representar o comportamento de movimentação dos NMs de forma individual ou em grupo.

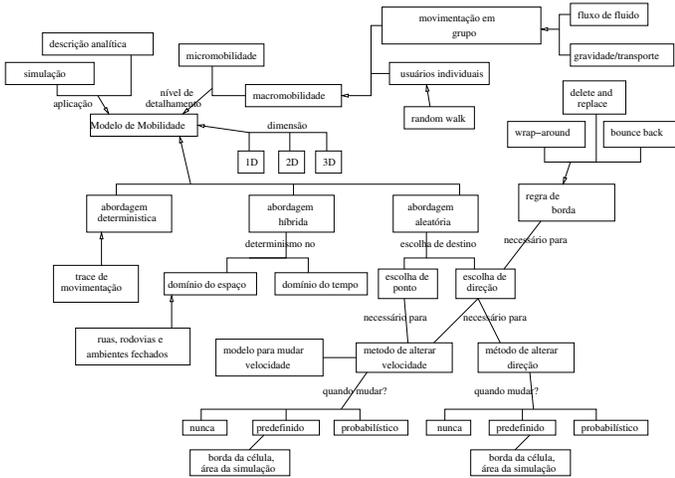


Fig. 1. *Framework* da representação da mobilidade nas comunicações sem fio [4].

Os modelos de mobilidade individual representam o comportamento de movimentação de um NM de forma independente. Consiste numa modelagem mais simples e de fácil implementação, visto que a representação dos NMs é realizada através de eventos independentes não tendo nenhuma correlação entre esses. Devido a tais características, esses modelos são os mais usados na literatura para avaliação de sistemas em redes *ad hoc* [2], [6], [7]. Na literatura existem diversos modelos propostos [2], [4], [6], [7], [8], [9], [10].

Dentre esses, tem-se o modelo de mobilidade aleatória, que é o modelo de mobilidade de percurso aleatório (*Random Walk Mobility Model*) [11] para as redes de telefonia celular e que também é aplicado em redes móveis *ad hoc*. Ainda hoje, é um dos modelos mais utilizados pelos pesquisadores para avaliação de desempenho dos protocolos em redes *ad hoc* [8] devido à sua simplicidade de implementação e utilização. Um outro modelo que se destaca é o modelo *waypoint*[2], [12] e atualmente é o modelo mais utilizado. Entretanto, esses modelos apresentam características indesejáveis, como apresentado em [10], [13], [17], evidenciando um comportamento não realístico.

Dentro desse contexto, em [5], é proposta uma modelagem que utiliza processos markovianos para representar a

movimentação dos usuários. De acordo com os resultados obtidos em [5], essa modelagem é mais adequada que os modelos de mobilidade aleatória e o *waypoint*. Na seção abaixo, será apresentada uma modificação dessa modelagem.

III. GENERALIZAÇÃO DOS MODELOS MARKOVIANOS E GERAÇÃO DE PERFIS DE MOBILIDADE ATRAVÉS DESSES MODELOS

Nesse trabalho, é proposta uma generalização dos modelos de mobilidade A e B apresentados, em [5], que tratam os problemas apresentados e são indicados para representar a mobilidade de NMs em ambientes urbanos e rodovias. Essa generalização possibilitar-se-á um maior ajuste dos parâmetros da modelagem e a geração de diversos perfis de mobilidade.

Dentro desse contexto, os processos markovianos [14], são um dos tipos de processos estocásticos que se destacam e serão utilizados nesse trabalho. Nos processos markovianos, o comportamento do sistema no próximo intervalo de tempo ($t+1$) depende apenas do seu estado atual cujo tempo é (t), ou seja, o estado atual do modelo (representado por um processo markoviano) fornece todas as informações necessárias sobre o sistema.

Essa característica é adequada para ser utilizada na representação do movimento dos NMs, visto que, na maioria das vezes, os usuários movimentam-se com uma certa tendência de permanecer na mesma direção ou em direções próximas. Isso quer dizer que os usuários se movimentam com um senso de direção e não aleatoriamente [2]. Os modelos modificados serão descritos em detalhes nas seções que se seguem.

A. Modelo Markoviano de Mobilidade Individual Simples - MMIS

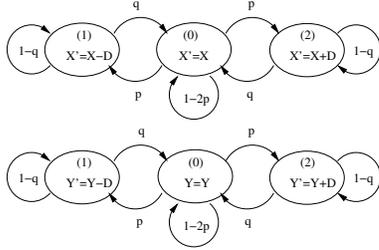
O modelo A, proposto em [5], usa uma cadeia de Markov com parâmetro de tempo discreto para a coordenada x e uma outra cadeia para y . Esse modelo permite movimentos nas direções vertical e horizontal, além de paradas no movimento dos NMs durante um ou mais intervalos de tempo. Devido a extensão proposta neste trabalho, o modelo A passará a ser denominado de modelo Markoviano de Mobilidade Individual Simples - MMIS.

O modelo MMIS usa a matriz de probabilidade P_{MMIS} , definida abaixo.

$$P_{MMIS} = \begin{bmatrix} 1 - 2p & p & p \\ q & 1 - q & 0 \\ q & 0 & 1 - q \end{bmatrix}$$

Na figura 2, são mostrados os diagramas de transições de estado do modelo MMIS, onde a probabilidade de transição do estado (0) para o próprio estado (0) é $1 - 2p$, ao invés de 0,2 definido em [5]. A transição do estado (0) para os outros estados é dada por p , ao contrário de 0,4 [5]. Já a permanência no estado (1) ou (2) é dada pela probabilidade $1 - q$, ao invés de 0,7 [5], logo, a probabilidade de transição desses estados para o estado (0) é dada por q ao contrário de 0,3, definido em [5].

Na matriz $P_{MMIS_{xy}}$, são descritas as probabilidades de transição nas coordenadas x e y . As transições de cada estado representam o deslocamento nos eixos x e y , onde esse deslocamento é representado pelo incremento ou decremento nas posições X' e Y' pela variável D . Dessa forma, as velocidades alcançadas através desse modelo são D e $D\sqrt{2}$ unidades (onde, a variável $D \in \mathbb{R}$ e a unidade da velocidade pode ser m/s , Km/h ou qualquer outra medida desejada). Essa representação facilita a visualização do funcionamento e a implementação do modelo.



X' : próxima coordenada de X X : atual coordenada de X
 Y' : próxima coordenada de Y Y : atual coordenada de Y

Fig. 2. Diagrama do modelo MMIS.

$$P_{MMIS_{xy}} = \begin{bmatrix} (1-2p)^2 & (1-2p)p & (1-2p)p & (1-2p)p & (1-2p)p & p^2 & p^2 & p^2 & p^2 & p^2 \\ (1-2p)q & (1-2p)(1-p) & 0 & pq & 0 & (1-q)p & 0 & (1-q)p & 0 & (1-q)p \\ (1-2p)q & 0 & (1-2p)(1-p) & pq & (1-2p)(1-p) & (1-q)p & (1-q)p & 0 & (1-q)p & (1-q)p \\ (1-2p)q & pq & pq & pq & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ q^2 & (1-p)q & 0 & (1-p)q & 0 & (1-p)^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ q^2 & 0 & (1-p)q & (1-p)q & 0 & 0 & (1-p)^2 & 0 & 0 & 0 \\ q^2 & (1-p)q & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)^2 & 0 & 0 \\ q^2 & 0 & (1-p)q & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)^2 & 0 \end{bmatrix}$$

A partir da matriz $P_{MMIS_{xy}}$ podem ser observadas as seguintes características no modelo MMIS:

- 1- A prob. de um NM ficar parado em mais de um instante de tempo é dada pela fórmula $(1-2p)^2$. Se o valor de p for grande (próximo de um), o modelo permitirá raras paradas.
- 2- A prob. de um NM permanecer movimentando-se na vertical ou na horizontal em mais de um instante de tempo é dada pela fórmula $(1-2p)(1-q)$. Neste caso, se o valor de p for grande (próximo de um), o modelo possibilitará uma pequena movimentação nessas direções. Além disso, quanto maior for o valor de q , menor ainda será a movimentação nessas direções.
- 3- Já a probabilidade de permanecer movimentando-se nas diagonais em mais de um instante de tempo é dada pela fórmula $(1-q)^2$. Sendo assim, quanto menor for o valor de q (próximo de zero), maior será a possibilidade de movimentação nessas direções.

Como foi descrito nas características acima, variando-se o valor das variáveis p e q , entre $[0,1]$, têm-se uma variedade de comportamentos gerados pelo modelo MMIS, caracterizando-o assim, como um modelo parametrizável e adaptativo à situações específicas. Com isso, este modelo permitirá a geração de diversos perfis de movimentação dos nós de uma rede. Esses perfis serão detalhados na próxima seção.

1) Perfis de Mobilidade:

O perfil de mobilidade pode ser definido como sendo um subconjunto de valores atribuídos em cada característica e na correlação dessas, na movimentação do NM seguindo um modelo de mobilidade numa determinada área de simulação.

Com isso, cada perfil de mobilidade representa um comportamento específico de movimentação.

Como características da movimentação de um NM, têm-se: a variação da velocidade, o comportamento das mudanças de direção, o número de paradas no movimento, o intervalo do tempo de pausa e a dependência da movimentação do NM com relação aos outros membros da rede. Com isso, variando-se o valor de cada característica, tem-se um perfil de mobilidade específico.

Dentro desse contexto, a utilização de diferentes matrizes de probabilidade de transição permitirão a geração de diversos perfis de mobilidade. Para isso, basta atribuir diferentes valores para as variáveis p e q , que serão obtidos perfis de mobilidade específicos como alguns mostrados a seguir. Além disso, para gerar a movimentação dos perfis de mobilidade, o incremento D recebeu o valor um e o tempo de transição entre estados é igual a um segundo, fazendo com que as velocidades obtidas sejam $1m/s$ ou $1,41m/s$.

Perfil de Mobilidade MMISa

O perfil de mobilidade MMISa é definido pelo ajuste das variáveis p e q nos valores: 0,4 e 0,3, respectivamente. Com esses valores, a matriz $P_{MMIS_{xy}}$ se transforma na matriz P_{MMISa} mostrada a seguir.

$$P_{MMISa} = \begin{bmatrix} 0,04 & 0,08 & 0,08 & 0,08 & 0,08 & 0,16 & 0,16 & 0,16 & 0,16 & 0,16 \\ 0,06 & 0,14 & 0 & 0,12 & 0,12 & 0,28 & 0 & 0,28 & 0 & 0,28 \\ 0,06 & 0 & 0,14 & 0,12 & 0,12 & 0 & 0,28 & 0 & 0,28 & 0,28 \\ 0,06 & 0,12 & 0,12 & 0,14 & 0 & 0,28 & 0,28 & 0 & 0 & 0 \\ 0,06 & 0,12 & 0,12 & 0 & 0,14 & & 0 & 0 & 0,28 & 0,28 \\ 0,09 & 0,21 & 0 & 0,21 & 0 & 0,49 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,09 & 0 & 0,21 & 0,21 & 0 & 0 & 0,49 & 0 & 0 & 0 \\ 0,09 & 0,21 & 0 & 0 & 0,21 & 0 & 0 & 0,49 & 0 & 0 \\ 0,09 & 0 & 0,21 & 0 & 0,21 & 0 & 0 & 0 & 0,49 & 0 \end{bmatrix}$$

Com isso, o perfil MMISa é gerado pelo diagrama de transições de estado descrito na figura 3.

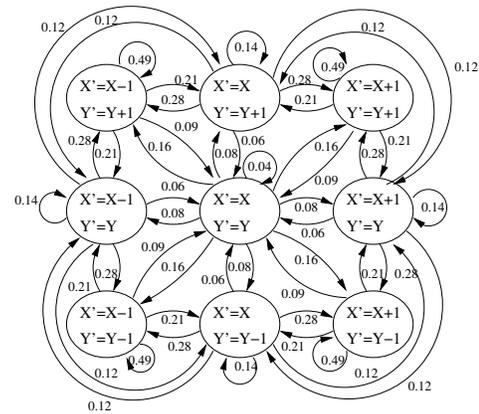


Fig. 3. Diagrama de transições de estado do perfil de mobilidade MMISa.

A partir de P_{MMISa} ou do diagrama dessa figura, observa-se as seguintes características do perfil MMISa:

- 1) A probabilidade de um NM ficar parado em mais de um instante de tempo, $(1 - 2p)^2$, é igual a 0,04, a qual é considerada muito pequena se comparada com as demais probabilidades gerando raras paradas no movimento.
- 2) A probabilidade de um NM permanecer movimentando-se na vertical ou na horizontal em mais de um instante de tempo, $(1 - 2p)(1 - q)$, é igual a 0,14. Isso representa uma pequena movimentação na vertical ou na horizontal.
- 3) A probabilidade de permanecer movimentando-se nas diagonais em mais de um instante de tempo $(1 - q)^2$ com o valor de 0,49 é, comparativamente, alta. Assim, essa probabilidade provoca uma grande movimentação nessas direções.

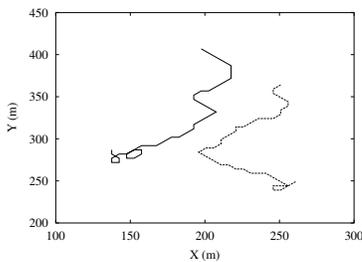


Fig. 4. Percurso de dois nós seguindo o perfil de mobilidade MMISa.

Com essas características, o perfil MMISa representa uma intensa movimentação nas diagonais, pouca movimentação na horizontal e na vertical e raríssimas paradas, conforme é ilustrado, pelo percurso de movimentação de dois nós na figura 4. Esse perfil pode representar a movimentação de pessoas em áreas irregulares com raríssimas paradas como a movimentação de soldados em uma floresta.

Perfil de Mobilidade MMISb

O perfil MMISb é definido por $p = 0,4$ e $q = 0,15$. A partir desses valores, observa-se as seguintes características do perfil MMISb:

- 1) A probabilidade de um NM ficar parado em mais de um instante de tempo, também é igual a 0,04, assim, possibilitando raras paradas no movimento.
- 2) A probabilidade de um NM permanecer movimentando-se na vertical ou na horizontal em mais de um instante de tempo, é igual a 0,17. Isso representa uma pequena movimentação nessas direções.
- 3) A probabilidade de permanecer movimentando-se nas diagonais em mais de um instante de tempo com o valor de 0,72 é, comparativamente, muito alta. Assim, provocando uma movimentação muito grande nessas direções.

Com essas características, o perfil MMISb apresenta um comportamento semelhante ao perfil MMISa, porém, com uma movimentação muito grande nas diagonais. Esse comportamento é evidenciado pelo percurso de movimentação de vários nós na figura 5 e que pode representar, de maneira muito

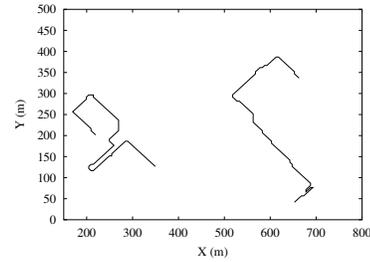


Fig. 5. Percurso dos nós seguindo o perfil MMISb

próxima, a movimentação de pessoas em áreas urbanas com quarteirões quadrados ou retangulares, como por exemplo, a ilha de Manhattan em Nova York.

Perfil de Mobilidade MMISc

O perfil de mobilidade MMISc é definido por $p = 0,05$ e $q = 0,05$. A partir desses valores, observa-se as seguintes características desse perfil:

- 1) A probabilidade de um NM ficar parado em mais de um instante de tempo é igual a 0,81, possibilitando poucas paradas, mas, com grandes intervalos de pausa no movimento.
- 2) A probabilidade de um NM permanecer movimentando-se na vertical ou na horizontal em mais de um instante de tempo é igual a 0,86. Isso representa uma intensa movimentação nessas direções.
- 3) A probabilidade de permanecer movimentando-se nas diagonais em mais de um instante de tempo com o valor de 0,90. Assim, provocando uma alta movimentação nessas direções.

Com essas características, o perfil de mobilidade MMISc apresenta raras paradas devido à transição para o estado (0) ser igual a 0,05, mas, com grandes possibilidades de permanecer parado por muitos instantes de tempo. Além disso, há uma elevada movimentação em todas as direções, principalmente nas diagonais, caracterizando movimentos retilíneos como em algumas regiões urbanas e em rodovias. Esse comportamento pode ser visto na figura 6.

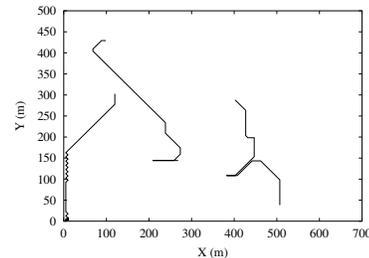


Fig. 6. Percurso de vários nós seguindo o perfil MMISc

Como foi apresentado na seção III-A, o modelo MMIS permite movimentos na vertical e horizontal, além de paradas no movimento dos NMs durante um ou mais intervalos de tempo. Além disso, com o ajuste dos parâmetros p e q , o modelo gera diversos perfis de mobilidade distintos fazendo

com que sejam representados vários cenários de mobilidade conforme descrito na seção III-A.1. Entretanto, o modelo MMIS não possibilita variações da velocidade na mesma direção. Em função disso, na próxima seção, será apresentado um modelo markoviano que possibilita essas variações.

B. Modelo Markoviano de Mobilidade Individual Genérico - MMIG

Como o modelo A não permite grandes variações na velocidade, o modelo B também proposto em [5], visa resolver essa limitação. Devido a sua capacidade de generalização em relação a quantidade de estados que representa um determinado incremento na velocidade, também é capaz de gerar vários perfis de mobilidade, portanto, passará a ser denominado de modelo Markoviano de Mobilidade Individual Genérico - MMIG.

Esse modelo é uma generalização do modelo MMIS, herdando todas as suas características. Além disso, o modelo MMIG permite desde uma movimentação suave com uma pequena variação na velocidade, como por exemplo o movimento de pessoas, até grandes acelerações e/ou desacelerações no movimento, como no caso do movimento de veículos. Essa grande capacidade de variações na representação do movimento é devido ao ajuste dos três parâmetros de configuração do modelo, definidos a seguir:

- $m \rightarrow$ é o valor que representa o somatório de todas as probabilidades de transição do estado inicial para os estados a sua direita. Esse valor também representa o somatório de todas as probabilidades de transição para os estados à esquerda.
- $n \rightarrow$ é o número máximo de incremento de passos no deslocamento do NM durante o instante de tempo de uma transição de estado.
- $b \rightarrow$ é a base do número que representa o deslocamento do NM durante o instante de tempo de uma transição de estado.

Nas seções abaixo serão descritas a modelagem analítica e a geração de perfis de mobilidade do modelo MMIG.

1) Modelagem Analítica:

Como no modelo MMIS, o modelo MMIG também utiliza uma cadeia de Markov para representar o deslocamento na coordenada x e um outra cadeia para a coordenada y . Essas cadeias serão descritas em detalhe nesta seção. Nesse modelo é atribuído um conjunto de valores do incremento na posição inicial do NM, que variará entre $[1, n]$, ou seja, o incremento corresponde à velocidade que o NM usa para mudar da posição atual que é X para a próxima posição que é X' . Esse incremento, que representa a variação do valor da velocidade, segue o comportamento de uma série geométrica onde o valor inicial é 1, o valor máximo é n e a variável b é definida como a base do incremento, sendo assim:

$$n = b^{\log_b n}, \quad b \in \mathbb{R} \quad (1)$$

A próxima posição do NM é calculada da seguinte forma:

$$X' = X + s \cdot b^v, \quad 0 \leq v \leq \log_b n, \quad s = \{-1, 0, 1\}, \quad v \in \mathbb{Z} \quad (2)$$

Onde s representa o sentido do movimento com os valores de -1 para o sentido oposto ao da posição anterior, 0 para representar que o NM está na mesma posição e 1 representando o mesmo sentido de movimento do NM na posição anterior. O valor v representa o expoente do incremento dado à próxima posição do NM e é igual ao módulo do índice de identificação do estado (i) menos uma unidade, ou seja, $v = |i| - 1$ com exceção do estado (0).

Depois de definidas as variáveis usadas para modificar a posição do NM, serão abordados os valores das probabilidades de transição de estado do modelo MMIG. Cada estado das cadeias da figura 7, com exceção dos estados $(-e, e)$, terá os seguintes valores de probabilidade de transição:

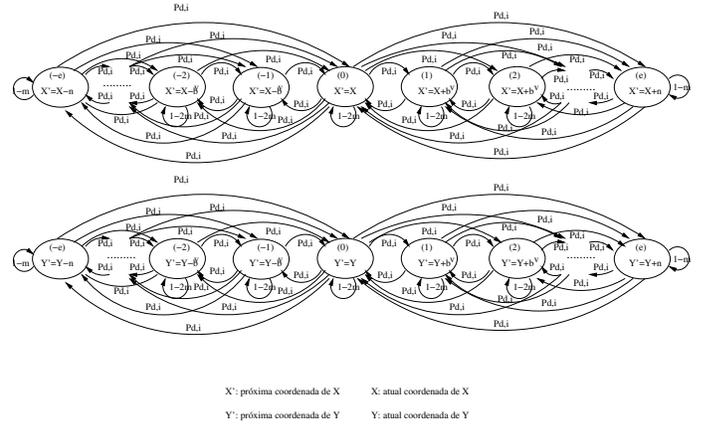


Fig. 7. Diagrama de transição de estado do modelo MMIG

- Para permanecer no estado atual o valor é igual a $1 - 2m$, ao invés de $0,2$ definido em [5];
- A soma de todas as probabilidades de mudança para qualquer estado à direita do estado atual é igual a m , ao invés de $0,4$ [5];
- A soma de todas as probabilidades de mudança para qualquer estado à esquerda também é igual a m , ao contrário de $0,4$ conforme em [5].

Como os estados $(-e, e)$ são as extremidades do modelo MMIG, mostrados na figura 7, eles possuem uma diferença em relação aos outros estados. O estado $(-e)$ só possui a possibilidade de mudar para um outro estado a sua direita, onde a soma de todos os possíveis valores probabilísticos é igual a m , ao contrário de $0,4$ atribuído em [5], ou permanecer nele mesmo com valor probabilístico de $1 - m$ ao invés de $0,6$ [5]. De forma simétrica, isso ocorre para o estado (e) .

Para calcular a probabilidade de transição de um estado (i) para um outro qualquer, de acordo com a figura 7, procede-se da seguinte maneira:

- $P_{d,i} \rightarrow$ é a probabilidade de, no instante t , está no estado (d), dado que no instante $t - 1$ estava no estado (i);

Na equação abaixo, tem-se a fórmula geral da $P_{d,i}$ somente em função de $P_{i+1,i}$.

$$P_{d,i} = \frac{P_{i+1,i}}{b^{|d|-1}} \quad (3)$$

Assim sendo, $P_{i+1,i}$ pode ser utilizada na soma de todas as possibilidades de mudanças à direita ou à esquerda, pois, esta soma segue uma série geométrica de razão igual a $\frac{1}{b}$, além da probabilidade residual $\frac{P_{i+1,i}}{b^{(\log_b n)-1}}$ como descrita na equação abaixo.

$$\left(\sum_{v=0}^{(\log_b n)-1} \frac{P_{i+1,i}}{b^v} \right) + \frac{P_{i+1,i}}{b^{(\log_b n)-1}} = m, \quad v \geq 0 \quad (4)$$

Desenvolvendo o somatório da equação anterior, obtém-se a expressão descrita na equação (5):

$$P_{i+1,i} + \frac{1}{b}P_{i+1,i} + \frac{1}{b^2}P_{i+1,i} + \dots + \frac{1}{b^{(\log_b n)-1}}P_{i+1,i} = m \quad (5)$$

Sendo essa equação a soma dos termos de uma progressão geométrica finita de razão $\frac{1}{b}$, termo inicial $P_{i+1,i}$ e último termo igual $\frac{1}{b^{(\log_b n)-1}}P_{i+1,i}$, a equação (6) é a continuação do desenvolvimento dessa equação, onde é obtida a probabilidade $P_{i+1,i}$ em função da equação (5) e da probabilidade residual descrita na equação (4). Na equação (6), a fórmula geral da $P_{i+1,i}$ é dada somente em função de b , m e n , tal que $i = 0$, tornando a implementação do modelo muito mais simples.

$$P_{i+1,i} = \frac{mn(b-1)}{nb + b^2 - 2b}, \quad i = 0, \quad b > 1 \quad (6)$$

Na equação (7), é dada a soma de todas as $P_{d,i}$ em função de $P_{i+1,i}$ da figura 7 igual a um valor de probabilidade representado por m .

$$\sum_{v=0}^{(\log_b n)-i-1} \frac{P_{i+1,i}}{b^v} + \frac{P_{i+1,i}}{b^{(\log_b n)-i-1}} = m, \quad v \geq 0 \quad (7)$$

Na equação (8), a fórmula geral da $P_{i+1,i}$ é dada somente em função de m e n . Essa equação é a fórmula fechada para se calcular a probabilidade de transição de qualquer estado para qualquer outro estado do cadeia, visto que i aceita qualquer valor. Dessa forma, essa equação é a forma genérica da equação (6). Essa equação facilitou muito a tarefa de implementação do modelo MMIG.

$$P_{i+1,i} = \frac{mn(b-1)}{nb + b^{i+2} - 2b^{i+1}} \quad (8)$$

Como mostrado analiticamente ao longo dessa seção, o modelo MMIG possui as seguintes características:

- A distribuição das probabilidades de um estado (i) segue uma série geométrica de razão $\frac{1}{2}$, ou seja, o valor de $P_{\lfloor \frac{i}{2} \rfloor, \lfloor \frac{i}{2} \rfloor}$ é a metade do valor de $P_{\lfloor \frac{i}{4} \rfloor, \lfloor \frac{i}{4} \rfloor}$, $|i| \neq 0$;
- A velocidade aumenta exponencialmente até o valor máximo n ;
- Estando num estado ($i \rightarrow$ positivo), não é possível passar para um estado ($i \rightarrow$ negativo) sem passar pelo estado (0) e vice-versa. Através dessa característica, o modelo MMIG evita mudanças bruscas de direção.

2) Perfis de Mobilidade do Modelo MMIG:

Como foi definido na seção III-A.1, o perfil de mobilidade é caracterizado por um subconjunto de valores atribuídos aos parâmetros do modelo. Dessa maneira, cada perfil de mobilidade do modelo MMIG representa um comportamento específico de movimentação. Para gerar diferentes perfis de mobilidade basta atribuir diferentes valores para os parâmetros b , m e n , como mostrado a seguir.

Perfil de Mobilidade MMIGa

O perfil de mobilidade MMIGa é semelhante ao modelo B proposto em [5], porém com o parâmetro n igual a 16. Esse perfil é definido pelo ajuste dos parâmetros m , n e b da seguinte forma: 0,4; 16 e 2, respectivamente, como pode ser observado na figura 8.

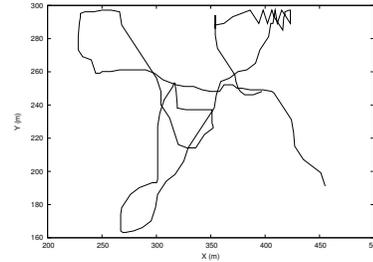


Fig. 8. Percurso de um nó seguindo o perfil MMIGa

Como foi apresentado, o modelo MMIG tem a capacidade de representar tanto padrões de movimentação de apenas um incremento nas coordenadas x e y (como por exemplo o modelo MMIS), como diferentes valores de incrementos nessas coordenadas. Sendo assim, o modelo MMIG é genérico, possibilitando representar vários padrões de movimentação.

Uma avaliação da modelagem proposta foi apresentada em [5], mostrando que, tanto o modelo A (MMIS), quanto o modelo B (MMIG) são mais adequados e possuem um comportamento mais realístico do que modelo *waypoint*, que é atualmente o modelo mais utilizado na literatura [13]. Além disso, como os modelos propostos são parametrizáveis, esses possuem um potencial de aplicabilidade muito grande, bastando apenas fazer um ajuste fino dos seus parâmetros de acordo com as características de cada perfil de movimentação a ser representado. Na próxima seção, será realizado um estudo das regras de borda sobre o modelo MMIG.

IV. REGRAS DE BORDA PARA SIMULAÇÃO DE ÁREAS LIMITADAS APLICADAS AO MODELO MMIG

Na literatura, existem várias regras de borda [4], [6]. A seguir serão descritas as principais regras de borda: *bounce*, *delete and replace*, e *wrap around*.

A. Bounce

A regra de borda *bounce*, apresentada em [4], [15], é definida como sendo uma reflexão do movimento do NM na borda da área de simulação (tendo como forma geométrica um retângulo qualquer), fazendo com que a nova trajetória do NM permaneça dentro da área de simulação. Esse novo movimento

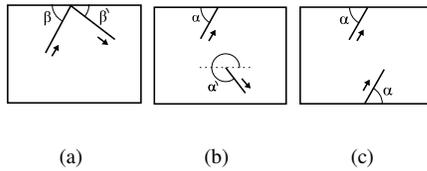


Fig. 9. Tipos de regra de borda.

é caracterizado por dois componentes, o ângulo da direção β e a velocidade v , como pode ser visto na figura 9(a). O novo valor do ângulo β' será $-\beta$ nas bordas da área de simulação e o valor da velocidade v permanecerá o mesmo de antes da reflexão.

Existem algumas extensões dessa regra, como a apresentada em [4], onde o novo valor de β é uniformemente distribuído entre $[0, 180^\circ]$ nas bordas superior, inferior e laterais, e $[0, 90^\circ]$ nos cantos da área de simulação. O valor da velocidade v também segue uma distribuição uniforme entre $[v_{min}, v_{max}]$.

B. Delete and Replace

A regra de borda *delete and replace*, descrita em [4], busca representar um cenário onde os NMs podem atravessar a fronteira da área de simulação, como acontece em muitas situações reais (movimentação de veículos em estradas e rodovias, entrada e saída de pessoas de uma sala, prédio ou *shopping*).

Nessa regra é definido que quando um NM atinge a borda, este é retirado da borda da área de simulação e inserido de novo, aleatoriamente, dentro da área simulada, com um novo ângulo de direção α' , como pode ser visto na figura 9(b).

Essa regra tem a característica de representar a saída do NM da área de simulação, que as vezes é uma característica realística. Entretanto, essa regra possui uma característica não realística que é colocar o mesmo NM aleatoriamente numa posição qualquer da área, para evitar que o cenário fique sem nós durante a simulação.

C. Wrap around

A regra de borda *wrap around*, também apresentada em [4], utiliza o mecanismo de espelhamento do movimento do NM na borda oposta à fronteira alcançada. Esse espelhamento do movimento preserva a mesma direção α e velocidade v do NM no momento de alcance à borda, conforme ilustrado na figura 9(c).

Com o objetivo de avaliar o impacto das regras de borda no modelo MMIG, é mostrado na figura 10, o número de mudanças bruscas de cada nó, com o ângulo de mudança de direção $\geq 90^\circ$. Para isso, foram utilizadas as mesmas configurações do ambiente de simulação descrito em [5] e a métrica *mudança brusca de direção* definida como sendo brusca quando o ângulo de mudança de direção do movimento estiver no intervalo $[90^\circ, 180^\circ]$ ou $[135^\circ, 180^\circ]$. Essa métrica indica se as mudanças de direção são suaves ou não, pois, um usuário normalmente muda de direção com um ângulo de 90° no máximo. Dessa forma, um mudança com o ângulo maior que 90° é considerada brusca. Essa avaliação não foi realizada

no *waypoint*, pois, a inserção de regras de borda iria modificar o seu funcionamento básico.

A figura 10(a) ilustra esse número quando utiliza-se a regra de borda *bounce* e na figura 10(b) é mostrado o impacto da regra *bounce* modificado, cujo ângulo de mudança de direção β , está distribuído uniformemente entre $[0^\circ, 180^\circ]$ para as bordas: superior, inferior e laterais, e entre $[0, 90^\circ]$ nos cantos da área de simulação. Como a segunda regra é uma variação da primeira, elas possuem um comportamento semelhante, o que explica o impacto parecido na métrica de mudança brusca de direção.

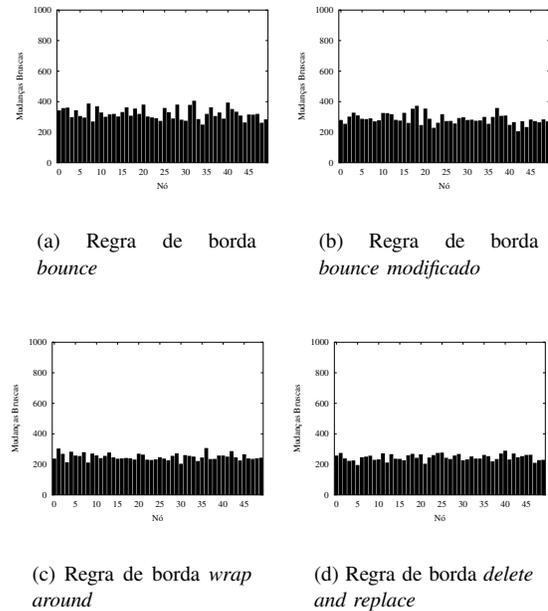


Fig. 10. Número de mudanças bruscas com o ângulo de mudança de direção $\geq 90^\circ$ no modelo MMIG com diferentes regras de borda

Já nas figuras 10(c) e (d), o modelo MMIG utilizou as regras *wrap around* e *delete and replace*, respectivamente, onde observa-se uma ligeira queda no número de mudanças bruscas, quando comparado com as regras *bounce* e *bounce modificado*. Através dos gráficos dessa figura, concluí-se que há uma pequena variação no comportamento de mudanças de direção, quando utiliza-se um regra de borda diferente.

Dentro desse contexto, devem haver critérios para a escolha da regra de borda e cuidados devem ser tomados na sua utilização, pois essas regras influenciam a avaliação do desempenho de sistemas e aplicações simuladas. Na próxima seção, será apresentada uma avaliação de desempenho de alguns protocolos de roteamento para as redes móveis *ad hoc*.

V. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA MOBILIDADE NO DESEMPENHO DO ROTEAMENTO EM REDES *Ad Hoc*

Nesta seção será avaliado o impacto que os modelos de mobilidade causam nos protocolos de roteamento. Essa avaliação tem como objetivo mostrar a importância da escolha criteriosa de modelos de mobilidade e das regras de borda, sob diferentes cargas de tráfego, que representam um determinado ambiente ou comportamento de movimentação de maneira

mais realística, como discutido em [2], [5], [6], [10], [16], [17], pois, até então, a grande maioria das avaliações realizadas nos subsistemas e aplicações para redes *ad hoc* utilizam o modelo de mobilidade *waypoint*. Nas seções abaixo serão descritos os protocolos analisados, o ambiente de simulação e os resultados obtidos.

A. Protocolos de Roteamento para Redes Móveis Ad Hoc

Para realizar o roteamento é necessário a utilização do mecanismo denominado de protocolo de roteamento. Esses protocolos são definidos como sendo um conjunto de regras pré-estabelecidas cujo objetivo é construir e gerenciar rotas para a realização do encaminhamento de dados entre os nós da rede. Sendo assim, os protocolos AODV, DSDV e DSR, que são os mais utilizados, serão descritos nas seções abaixo.

1) *Destination-Sequenced Distance-Vector - DSDV*: O protocolo DSDV [16], [18] é baseado no algoritmo vetor de distâncias. Cada NM mantém uma tabela de roteamento que possui uma entrada para cada destino na rede não particionada e o número de saltos de roteamento para cada destino é armazenado. São realizadas atualizações periódicas para o DSDV manter as tabelas de roteamento consistentes. As atualizações são também utilizadas para propagar rapidamente as mudanças na topologia, além disso, os pacotes de atualização acrescentam os destinos acessíveis de cada nó e o número de saltos requeridos.

Com o recebimento do pacote de atualização de rotas, cada nó verifica as informações em sua tabela. Com isso, as rotas com seqüências antigas são descartadas. Já as rotas com seqüências iguais, a rota de menor métrica é escolhida, sendo assim incrementada de um salto. As novas rotas são propagadas aos vizinhos.

A melhoria desse protocolo, é que ele evita *loops* de roteamento. Entretanto, é gerado uma sobrecarga excessiva na comunicação devido as atualizações das rotas e conseqüentemente, uma latência maior. Além disso, o DSDV não suporta roteamento com múltiplos caminhos.

2) *Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing - AODV*: O protocolo AODV [16], [18] é baseado em vetor de distâncias. O AODV busca eliminar a necessidade de difundir globalmente as informações de roteamento. Outra ponto importante do AODV é tentar minimizar o atraso quando novas rotas são requisitadas. Esse protocolo força todos os nós a estabelecerem dinamicamente entradas em tabelas de roteamento locais para cada destino. Cada nó sabe qual é o próximo a chegar ao destino e a distância em número de saltos.

Quando um nó precisa entrar em contato com um outro o qual ele não possui uma rota em sua tabela, é iniciado o processo de descoberta de rota. Esse processo consiste na difusão de um RREQ, (*route request*), para todos os nós vizinhos desse que deseja descobrir a nova rota. Seus vizinhos por sua vez propagam essa requisição até que o nó destino seja encontrado. Quando isso ocorre uma *route reply*, RREP, é enviada de volta para a origem da requisição.

3) *Dynamic Source Routing - DSR*:

O DSR [12], [18] é do tipo roteamento na origem, ou seja, determina todo o caminho a ser percorrido. Dessa maneira, não é necessário manter atualizações das rotas. Além disso, ele usa um *cache* de rotas que armazena rotas aprendidas anteriormente pelo processo de descoberta de rotas ou por operar em modo promíscuo. Essa *cache* é continuamente atualizada e caso uma entrada não seja utilizada durante um certo período de tempo, esta é apagada.

Quando um nó fonte não possui a rota para enviar pacotes para um destino, é necessário o uso do mecanismo de descoberta de rotas, que inunda a rede com RREQs (*Route Requests*). Caso um nó receba um requisição de uma nova rota e saiba uma resposta, esta deve responder com um RREP (*Route Reply*). Por outro lado, quando um nó percebe a quebra de um enlace, um RERR (*Route Error*) é enviado para a fonte pelo caminho reverso, como funciona o procedimento de manutenção rotas.

Para avaliar o desempenho de um protocolo de roteamento [2], [8] são necessárias métricas de avaliação. Nesse trabalho foi utilizada a métrica taxa de entrega de pacotes. Essa métrica é definida como sendo a razão entre o número de pacotes recebidos pela aplicação no destino e o número de pacotes enviados pela aplicação na origem. Essa métrica é utilizada para avaliar-se a eficiência do protocolo, ou seja, eficiência é diretamente proporcional a vazão máxima e inversamente proporcional a taxa de perda. Além disso, quanto maior a taxa de entrega de pacotes, maior será a vazão (*throughput*) da rede e conseqüentemente a vazão efetiva (*goodput*).

B. Ambiente da Simulação

Como ambiente de simulação foi escolhido o simulador de redes NS (*Network Simulator*) [19] através da versão 2.1b9, para simular a rede *ad hoc* e o gerador de cenários ScenGen [20] para simular os modelos de mobilidades escolhidos. Para o cenário de simulação usou-se uma área retangular de 700m x 500m, contendo 50 NMs inicialmente posicionados de forma aleatória. O raio de alcance da antena de cada NM foi configurado em 250m e utilizou-se o protocolo de acesso da camada MAC do padrão IEEE 802.11 no modo DCF (*Distributed Coordination Function*). Os protocolos de roteamento avaliados foram: AODV, DSDV e DSR, e os modelos de mobilidade utilizados foram: *waypoint*, MMIS e o MMIG. Para o modelo MMIG foram utilizadas as regras de borda: *bounce*, *bounce* modificado e a *delete and replace*.

Como especificação de tráfego na rede, optou-se por um tráfego de taxa constante (CBR), em vez de utilizar o TCP (*Transmission Control Protocol*), pois, seu mecanismo de controle de congestionamento afetaria a avaliação dos protocolos. Com o objetivo de avaliar diferentes cargas na rede, utilizou-se 5, 10 e 20 pares de fontes de tráfego CBR numa taxa de 4 pacotes de 512 bytes por segundo. Essas fontes foram inicializadas aleatoriamente e mantidas até o final da simulação. Cada cenário avaliado foi simulado 10 vezes e retirado o valor médio com um nível de confiança igual a 0,90.

C. Resultados Obtidos

Para verificar a influência do tráfego na taxa de entrega dos protocolos de roteamento, é mostrada a figura 11. Essa análise foi realizada apenas para o modelo MMIG. Observa-se que o AODV obteve a maior taxa de entrega, mesmo aumentando o tráfego na rede. Além disso, o protocolo DSDV, que é um protocolo pró-ativo, obteve o pior desempenho, como é verificado na maioria das avaliações de desempenho disponíveis na literatura. Por esta razão, nesse trabalho, o protocolo DSDV deixou de ser avaliado.

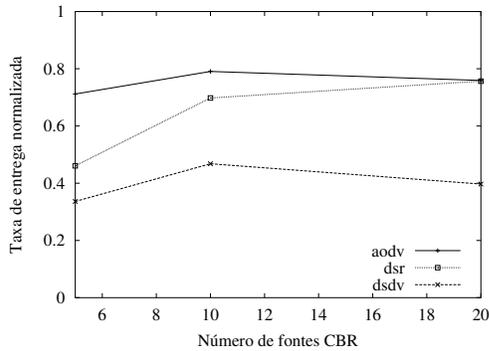


Fig. 11. Taxa de entrega de pacotes dos protocolos de roteamento utilizando o modelo MMIG.

Na figura 12 é mostrado o comportamento de variação da taxa de entrega dos protocolos AODV e DSR em relação ao tempo de simulação para os modelos *waypoint* e MMIG. Nessa figura observa-se uma variação na taxa de entrega do protocolo AODV, entornando de 7% a mais quando se utiliza o modelo *waypoint* ao invés do MMIG e uma taxa de 18% a mais quando se usa o DSR no *waypoint*. Como já foi mencionado anteriormente, o *waypoint* tem um comportamento não realista. Dessa forma, os valores da taxa de entrega obtidos quando se utiliza *owaypoint*, tanto no AODV, quanto no DSR, são super estimados, fato este que deve ser analisado com cuidado.

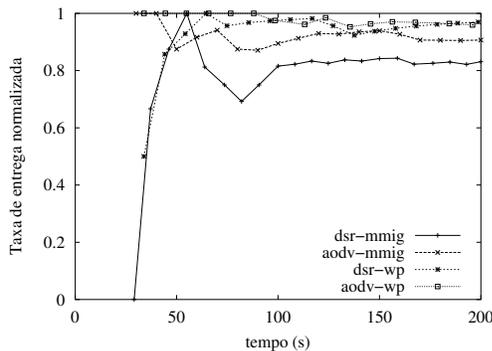


Fig. 12. Taxa de entrega dos protocolos AODV e DSR sob o impacto do modelo de mobilidade utilizado.

Como objetivo de avaliar a influência da regra de borda escolhida, é apresentado o gráfico da figura 13, onde têm-se a taxa de entrega de pacotes do protocolo AODV no tempo, sob diferentes regras de borda. As regras *bounce* e *bounce modificado* provocam um impacto bastante semelhante na taxa

de entrega e esse impacto é menor, cerca de 5%, ao da regra *delete and replace*. Com isso, verifica-se uma influência da regra de borda utilizada no desempenho dos protocolos de roteamento e assim sendo, cuidados devem ser tomados na avaliação desses protocolos.

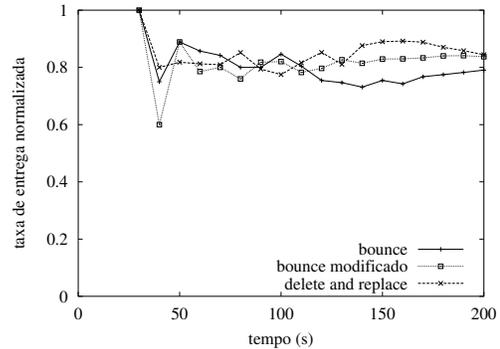


Fig. 13. O impacto da escolha da regra de borda para o modelo MMIG no desempenho do protocolo AODV.

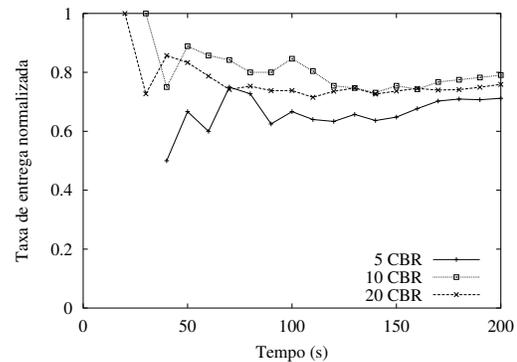


Fig. 14. A influência do tráfego no desempenho do protocolo AODV usando a regra de borda *bounce*.

Nas figuras 14, 15 e 16, são apresentados o impacto da quantidade de tráfego no desempenho do protocolo AODV usando-se as regras de borda: *bounce*, *bounce modificado* e *delete and replace*, respectivamente. Nessas figuras pode ser observado a influência que uma regra de borda gera, com diferentes tráfegos, em uma métrica de desempenho aos protocolos de roteamento. Essas variações comprovam a necessidade de haver critérios na utilização das regras de borda para a representação da mobilidade em redes *ad hoc*, como foi descrito na seção IV desse trabalho. E ainda, perceber que a regra de borda também é um parâmetro a ser levado em consideração na avaliação de desempenho dos protocolos, assim como, o modelo de mobilidade escolhido.

VI. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi realizada uma caracterização da mobilidade individual de usuários em redes móveis *ad hoc*, onde foram propostas modificações nos modelos apresentados em [5], fazendo com que, a representação da mobilidade através desses modelos seja mais genérica e abrangente. Além disso, a generalização da modelagem, devido a sua parametrização, possibilitou a geração de perfis de mobilidade específicos, o que torna a sua aplicação em simulações de comportamentos específicos mais adequada e abrangente.

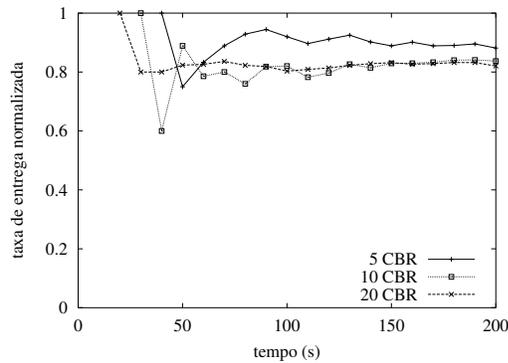


Fig. 15. O impacto da quantidade de tráfego no desempenho do protocolo AODV usando a regra de borda *bounce* modificado.

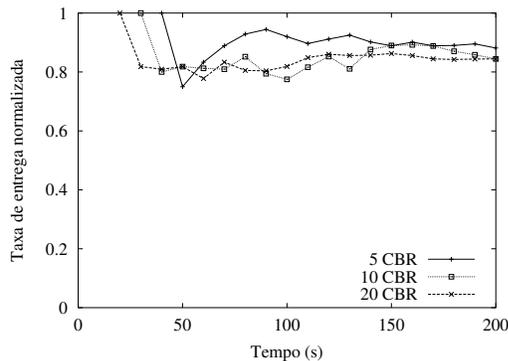


Fig. 16. O impacto da quantidade de tráfego no desempenho do protocolo AODV usando a regra de borda *delete and replace*.

As regras de borda foram inseridas no modelo MMIG e foi observado um impacto dessas regras de bordas no comportamento de movimentação dos NMs. Além disso, foi realizado na seção V, um estudo detalhado sobre o impacto da mobilidade nos desempenhos dos protocolos AODV, DSDV e DSR. Na avaliação de desempenho dos protocolos, observou-se que o modelo de mobilidade e a regra de borda escolhida afetam em alguns casos, drasticamente, o funcionamento dos mesmos.

O estudo realizado mostra que em utilizar-se o modelo de mobilidade *waypoint*, têm-se "resultados muito otimistas", ou seja, tem-se um desempenho super estimado. Com isso, conclui-se que o modelo de mobilidade escolhido, afeta drasticamente a avaliação de desempenho dos protocolos de roteamento. Além disso, este trabalho motiva uma reavaliação não só dos protocolos de roteamento, mas, de todas as aplicações e subsistemas das redes móveis *ad hoc*, pois, na maioria das simulações dessas redes foi utilizado o modelo *waypoint*.

Como trabalhos futuros, pretende-se continuar avaliando o desempenho do roteamento através de outras métricas, como: vazão, atraso, número de saltos, densidade da rede, conectividade dos nós e períodos de particionamento da rede.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado parcialmente com recursos da CAPES.

REFERENCES

- [1] R. S. K. Dantu, S. Kapadia and A. Helmy, "Modeling of Mobility-Induced Losses in MANETs (MILMAN)," *ACM SIGCOMM Computer Communications Review*, vol. 32, no. 3, pp. 30–30, jul 2002.
- [2] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," *Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, vol. 2, no. 5, pp. 483–502, 2002.
- [3] J. Y. S. R. Das, R. Castaneda and R. Sengupta, "Comparative Performance Evaluation of Routing Protocols for Mobile, Ad hoc Networks," in *7th International Conference on Computer Communications and Networks (IC3N)*, oct 1998, pp. 153–161.
- [4] C. Bettstetter, "Mobility Modeling in Wireless Networks: Categorization, Smooth Movement, and Border Effects," *ACM Mobile Computing and Communications Review*, vol. 5, no. 3, 2001.
- [5] C. A. V. Campos and L. F. M. de Moraes, "Modelos Markovianos de Mobilidade Individual para Redes Móveis Ad hoc," in *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2003)*, Natal, RN, Brasil, mai 2003, pp. 135–150.
- [6] C. A. V. Campos, "Uma Modelagem da Mobilidade Individual para as Redes Móveis Ad Hoc," Master's thesis, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.
- [7] F. Bai, N. Sadagopan, and A. Helmy, "The important framework for analyzing the impact of mobility on performance of routing protocols for ad hoc networks," *Elsevier Ad Hoc Networks*, vol. 1, pp. 383–403, 2003.
- [8] G. P. X. Hong, M. Gerla and C. Chiang, "A Group Mobility Model for Ad hoc Wireless Networks," in *Proc. of the ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, aug 1999.
- [9] G. Pei, "Scalable Routing Strategies for Large Ad hoc Wireless Networks," Ph.D. dissertation, Department of Computer Science, University of California, Los Angeles, USA, 2000.
- [10] A. Jardosh, E. M. Belding-Royer, K. C. Almeroth, and S. Suri, "Towards Realistic Mobility Models for Mobile Ad hoc Networks," in *Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. ACM Press, 2003, pp. 217–229.
- [11] M. M. Zonoozi and P. Dassanayake, "User Mobility Modeling and Characterization of Mobility Patterns," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, no. 7, sep 1997.
- [12] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad hoc Wireless Networks," *Mobile Computing*, 1996.
- [13] M. L. J. Yoon and B. Noble, "Random Waypoint Considered Harmful," in *Proc. of the IEEE INFOCOM'03*, 2003.
- [14] L. Kleinrock, *Queueing Systems*. New York, USA: John Wiley & Sons, 1975, vol. I.
- [15] Z. J. Haas and M. R. Pearlman, "The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol," in *ACM SIGCOMM*, 1998, pp. 167–177.
- [16] P. Johansson, T. Larsson, N. Hedman, B. Mielczarek, and M. Degermark, "Scenario-Based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks," in *Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*. ACM Press, 1999, pp. 195–206.
- [17] W. Navidi, T. Camp, and N. Bauer, "Improving the Accuracy of Random Waypoint Simulations Through Steady-State Initialization, Technical Report MCS-03-08," The Colorado School of Mines, Tech. Rep., June 2003.
- [18] M. Ilyas, *The Handbook of Ad Hoc Wireless Networks*. Boca Raton, FL: CRC Press LLC, 2003.
- [19] K. Fall and K. Varadhan, *The NSManual*, The VINT Project, jan 2002.
- [20] L. Qiming, "The Scenario Generator: a tool to generate MANET mobility scenarios for NS-2," <http://www.comp.nus.edu.sg/liqm/scengen/>. Visitado em 10/05/2002.