



Mobilidade em Redes *Ad hoc*

Carlos Alberto V. Campos, Alexandre Mendes, Daniel C. Otero,
Luciano Renovato e Luis Felipe M. de Moraes

*Laboratório de Redes de Alta Velocidade - RAVEL
Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE / UFRJ
Caixa Postal: 68.511 - 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil*

{beto, alexandre, daniel, aluciano, moraes}@ravel.ufrj.br





Sumário

- Introdução;
- Redes móveis *ad hoc*;
- O problema do roteamento em redes *ad hoc*;
- Segurança;
- Representação da mobilidade;
- Modelos de mobilidade;
- Simuladores de redes *ad hoc*;
- Geradores de cenários de mobilidade;
- Pesquisas atuais e sugestões de estudos;
- Considerações finais.





Introdução

- Atualmente, a **Computação Móvel** vem surgindo como um novo **paradigma computacional**.
- As redes que suportam a computação móvel são as Redes Móveis, que trazem novos requisitos e desafios não encontrados em redes de computadores tradicionais.





Introdução (cont.)

- A **Mobilidade** é a principal característica das Redes Móveis. Ela traz problemas e desafios que até então, não víamos, ou ignorávamos em ambientes fixos.
- A mobilidade impõe requisitos e gera problemas:
 - roteamento;
 - velocidade do canal;
 - interferências do ambiente;
 - localização da estação móvel;
 - duração da energia da bateria da estação parada e em movimento;
 - entre outros.





Portabilidade

- É a capacidade de um terminal móvel operar a partir de diferentes pontos de conexão, mas perde o contato durante o tempo de mudança do ponto de acesso.
 - ao se mover, as conexões são encerradas e reinicializadas no novo ponto de conexão.





Mobilidade

- É a capacidade de um terminal móvel continuar em contato contínuo com os recursos da rede.
 - nem o sistema, nem as aplicações precisam ser encerrados e reinicializados;
 - modo de acesso a rede: interface sem-fio ;
 - redes móveis.





Redes Móveis

São redes de computadores sem fio que possuem nós móveis:

- Redes Infra-Estruturadas:
 - Rede de telefonia celular;
 - *Wireless* LANs (IEEE 802.11, HIPERLAN);
 - *Wireless* ATM;
 - Redes via satélite.
- Redes Sem Infra-Estrutura:
 - Redes Móveis *Ad-hoc* (MANET);
 - WPAN – IEEE802.15(*Bluetooth*).





Estrutura das Redes Móveis

- Parte Fixa (redes de computadores tradicionais):
 - ERB- Estação Rádio Base;
 - ESM - Estação de suporte à mobilidade;
 - Estações Fixas (servidores, roteadores).
- Parte Móvel (equipamentos móveis):
 - Estações Móveis (*notebook*, celular, *palmtop*, PDA, sensores).
- Existem pesquisas propondo redes totalmente móveis:
 - Ex : Rede Móvel *Ad hoc*.





Problemas em Redes Móveis

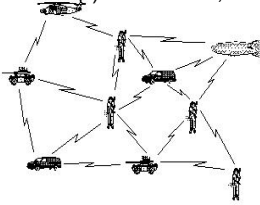
- Mobilidade do usuário;
- Instabilidade (variação das condições do canal de comunicação sem fio);
- Baixa largura de banda (bandwidth);
- Alta taxa de erros (10^{-5} bits errados);
- Gerenciamento do consumo de energia da estação móvel;
- Suporte à QoS;
- Segurança.





Redes Móveis Ad hoc

- São redes, onde os dispositivos computacionais trocam informações diretamente entre si, ou através de seus vizinhos.
- IETF criou grupo de trabalho em MANET (*Mobile Ad-hoc NETWORK*) - RFC 2501, RFC .



Indicadas para situações onde não se pode, ou não faz sentido, instalar uma rede fixa.





Vantagens

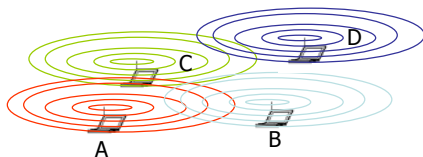
- Rápida instalação:
 - Excelente para cenários de desastre, campos de batalha ou conferências onde não existe uma estrutura prévia ou esta não está disponível.
- Tolerância à falhas:
 - Vários caminhos podem ser criados.





Vantagens

- Conectividade:
 - Os nós dentro da área de alcance podem trocar informações diretamente.





Desvantagens e dificuldades

- Localização:
 - Encontrar o nó móvel.
- Movimentação dos nós:
 - Nós não necessariamente seguem algum padrão de movimentação.
- Desligamento sem aviso dos nós:
 - O nó pode passar por períodos sem contato com a rede, ou mesmo desligados, e reaparecer em algum lugar imprevisto.





Desvantagens e dificuldades

- Qualidade do canal:
 - Canal sujeito a variações na qualidade.
- Baixa banda passante.
- Consumo de energia:
 - Tráfego de mensagens que não dizem respeito diretamente ao nó.
- Nós de capacidades e características diferentes.





Aplicações

- Fins militares;
- Cenários de catástrofes:
 - Furacões;
 - Terremotos;
 - Enchentes.
- Busca e salvamento;
- Conferências;
- Controle de tráfego;
- Qualquer outro cenário de troca de informações direta entre nós móveis que possa ser imaginado.





Diferentes pontos de vista

- Comunidade Militar:
 - Redes pequenas;
 - Mensagens pequenas, normalmente de controle;
 - Principal problema é encontrar os nós de forma eficiente e no menor espaço de tempo possível;
 - Não tem muita preocupação com a eficiência da rede ou com economia de energia.





Diferentes pontos de vista

- Comunidade Internet:
 - Redes grandes;
 - Mensagens grandes;
 - Grande fluxo;
 - Atraso, em alguns casos, não é um grande problema;
 - Principais pontos: eficiência e economia de energia;
 - Capacidade da implementação de múltiplos caminhos (*multipath*).





Roteamento

- O problema de Roteamento:
 - Requisitos para algoritmos e protocolos de roteamento;
 - Problemas que devem ser considerados;
 - Qualidades desejáveis;
 - Análise dos algoritmos e protocolos de roteamento.





Requisitos para Algoritmos e Protocolos de Roteamento

- Funcionamento correto;
- Simplicidade;
- Robustez;
- Imparcialidade;
- Estabilidade;





Requisitos para Algoritmos e Protocolos de Roteamento

- Rápida convergência para a rota ótima;
- Flexibilidade;
- Aceitação de parâmetros de QoS (*Quality of Service*);
- Independência da tecnologia de rede.





Considerações Importantes

- Inexistência de uma entidade central:
 - Dificuldade em conhecer o estado real da rede;
- Possibilidade de rápidas mudanças topológicas:
 - Dificuldade em manter o caminho ótimo para todos os nós da rede ;
- Todas as comunicações devem ocorrer através do meio sem fio:
 - Podem haver perdas de pacotes com informações de roteamento.





Qualidades Desejáveis em Algoritmos para Redes *Ad hoc*

- Operar de forma distribuída;
- Não apresentar *loops* de roteamento;
- Operar de acordo com a demanda;
- Modo de operação pró-ativa;
- Segurança;
- Observar períodos de desligamento;
- Suporte a *links* unidirecionais.





Análise de Protocolos de Roteamento para Redes *Ad hoc*

- Pontos para se analisar de forma quantitativa um protocolo de roteamento:
 - Vazão e atraso fim-a-fim dos pacotes de dados;
 - Taxa de perda de pacotes;
 - Tempo para aquisição de uma rota;
 - Porcentagem de pacotes entregues fora de ordem;
 - Eficiência do protocolo :
 - Número de pacotes de controle necessários pelo protocolo.





Análise de Protocolos de Roteamento para Redes *Ad hoc*

- Parâmetros que devem ser levados em consideração, tanto na análise, quanto no projeto do protocolo:
 - Tamanho da rede;
 - Conectividade;
 - Capacidade do canal;
 - Mobilidade dos nós;
 - Porcentagem da rede desligada ou em *doze mode*;
 - Roteamento baseado em QoS.





Protocolos de Roteamento para Redes *Ad hoc*

- **Unicast:**
 - Pró-ativos: DSDV, WRP etc;
 - Reativos: AODV, DSR, TORA etc;
 - Híbridos: ZRP etc.
- **Multicast:**
 - B. árvores: MAODV, AMRoute, AMRIS etc;
 - B. malhas: ODMRP, CAMP etc;
- **Geocast:** DREAM, LAR etc.





Segurança em Redes *Ad hoc*

- Falhas nos protocolos de roteamento;
- Autenticação dos usuários da rede;
- Distribuição de chave criptográfica;
- Detectar e, se possível, evitar a ação de nós maliciosos na propagação de rotas;
- Propostas de segurança, como:
 - Sistemas de detecção de intrusão – IDS;
 - *Firewalls*;
 - Sistemas de autenticação etc.





Problemas a Resolver em Redes *Ad-hoc*

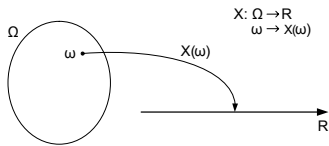
- Protocolos de Acesso ao Meio;
- Protocolos de Roteamento:
 - Com qualidade de serviço (QoS);
 - Com segurança;
 - Protocolos de Roteamento Geográfico (baseados em posi);
- Endereçamento;
- Integração com a Internet:
 - IP Móvel;
- Integração com outras tecnologias de rede.



Probabilidade e Estatística

Variável Aleatória

- Uma função (ou regra) que associa um número real a cada ponto do espaço amostral (Ω) de um experimento aleatório.



Variável Aleatória

- Exemplos:
 - X = Velocidade de um nó móvel;
 - Experimento: lançamento de um dado
 - A = valor obtido;
 - $B = 0$ se valor ≤ 3 ou 1 se valor ≥ 4 ;
- Podem ser discretas ou contínuas.



Função Distribuição (cdf)

- Determina a probabilidade da variável X assumir um valor menor ou igual a x:

$$F_X(x) = P(X \leq x) = P(X \in (-\infty, x]);$$

- É definida para variáveis contínuas e discretas.

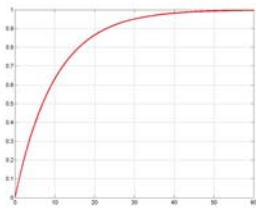




Função Distribuição (cdf)

- Variáveis aleatórias contínuas:

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(u) du; \quad f_X(u) \Rightarrow \text{função densidade}$$



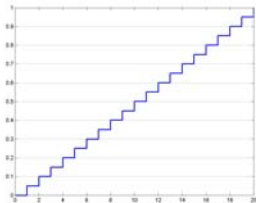


Função Distribuição (cdf)

- Variáveis aleatórias discretas:

$$F_X(x) = \sum_{k \leq x} P(X = k) = \sum_{k=0}^{\infty} p_k u(x - x_k); \quad u(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0; \end{cases}$$

$$p_k = P(X = x_k);$$





Funções pdf / pmf

- A função densidade (pdf) é definida apenas para variáveis contínuas:

$$f_X(x) = \frac{dF_X(x)}{dx};$$

$$P(X \in [x, x + \Delta x]) = \int_x^{x+\Delta x} f_X(u) du;$$

- Já a pmf mapeia x_k para p_k em variáveis discretas:

$$p_k = P(X = x_k); \quad \sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1;$$





Distribuição Uniforme

- Contínua (pdf): $f_X(x) = \frac{1}{b-a}; \quad a \leq x \leq b$

- Discreta (pmf): $P[X = x] = \frac{1}{n-m+1}; \quad m \leq x \leq n$

- Utilização:

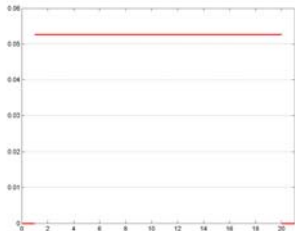
- Direção da movimentação do nó em alguns modelos de mobilidade;
- Geração números aleatórios seguindo outras distribuições.





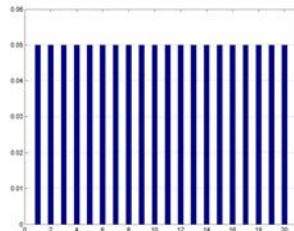
Distribuição Uniforme

Contínua



$a = 1, \quad b = 20$

Discreta



$m = 1, \quad n = 20$





Distribuição de Poisson

- pmf:

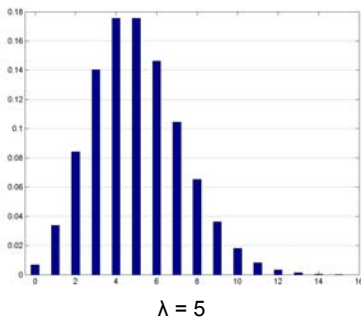
$$P[X = x] = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}; \quad \lambda > 0, x = 0, 1, 2, \dots, \infty$$

- Parâmetros: λ = média
- Utilização:
 - Chegada de mensagens em um sistema com muitas estações gerando um tráfego muito baixo;
 - Número de chamadas telefônicas em um intervalo de tempo Δt .





Distribuição de Poisson



$\lambda = 5$





Distribuição Exponencial

- pdf:

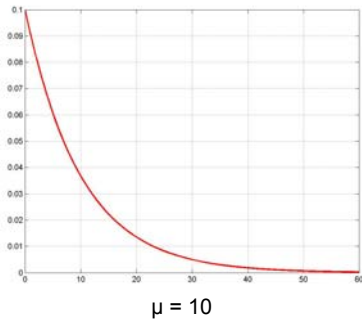
$$f_x(x) = \frac{1}{\mu} e^{-x/\mu}; \quad \mu > 0, x \geq 0$$

- Parâmetros: μ = média
- Utilização:
 - Tempo entre chegadas de mensagens em um sistema (chegadas de Poisson);
 - Muito utilizada em modelos analíticos. É a única variável aleatória contínua sem memória.





Distribuição Exponencial





Distribuição Geométrica

• pmf:

$$P[X = x] = p(1-p)^x; \quad 0 < p < 1, \quad x = 0, 1, 2, \dots, \infty$$

• Parâmetros: p = probabilidade de sucesso

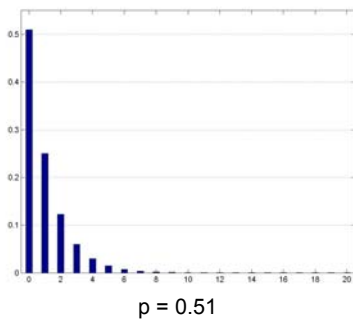
• Utilização:

- Número de falhas até o sucesso de um evento;
- É a única variável aleatória discreta sem memória.





Distribuição Geométrica





Distribuição Normal

• pdf:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}; \sigma > 0; -\infty \leq x \leq \infty;$$

• Parâmetros: μ = média

• σ = desvio padrão

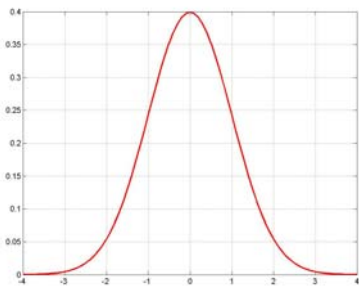
• Utilização:

- Representa a aleatoriedade de várias fontes independentes agindo em conjunto;
- Utilizada para o estabelecimento do intervalo e nível de confiança de simulações.





Distribuição Normal



$\mu = 0$ $\sigma = 1$





Média e variância

• A média representa o valor esperado de uma variável aleatória:

$$\mu = E(X) = \begin{cases} \sum_{j=0}^{\infty} x_j p(x_j); & \text{(variáveis discretas)} \\ \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx; & \text{(variáveis contínuas)} \end{cases}$$

• A variância e o desvio padrão indicam a dispersão de uma variável aleatória em relação à sua média:

$$\sigma^2 = E[(X - \mu)^2] = E(X^2) - \mu^2;$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2};$$





Transformadas

- Sendo $f(x)$ a pdf de uma variável contínua e $p_k = P[X = k]$ em uma variável discreta, define-se:

$$F^*(s) = E[e^{-sX}] = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-sx} f(x) dx;$$

$$G(z) = E[z^X] = \sum_k z^k p_k;$$

- As transformadas são utilizadas como funções geradoras de momento:

$$F^{*(n)}(0) = (-1)^n \overline{X^n}; \quad G^{(1)}(1) = \overline{X};$$





Amostragem

- Considerando X_1, X_2, \dots, X_n observações de uma amostra de tamanho n :

$$\overline{X}(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; \quad (\text{média amostral} \Rightarrow \text{estimativa de } \mu)$$

$$S^2(n) = \frac{\sum_{i=1}^n [X_i - \overline{X}(n)]^2}{n-1}; \quad (\text{variância amostral} \Rightarrow \text{estimativa de } \sigma^2)$$

- Pela lei forte dos grandes números:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \overline{X}(n) = \mu;$$



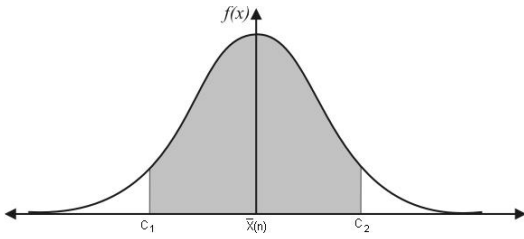


Amostragem

- No entanto, na prática, o tamanho da amostra é finito, criando a necessidade da obtenção de limites probabilísticos.
- Pelo teorema do limite central, para um grande número de observações, a média amostral tem distribuição normal com média μ e variância σ^2/n .
- É determinado um intervalo $[c_1, c_2]$ em torno de $\overline{X}(n)$, que contém μ com alguma probabilidade.



Intervalo de confiança



Intervalo de confiança

- São determinados os limites c_1 e c_2 , onde:

$$P[c_1 \leq \mu \leq c_2] = 1 - \alpha;$$

- $100(1 - \alpha) \Rightarrow$ nível de confiança (%)
 $[c_1, c_2] \Rightarrow$ intervalo de confiança;
- Um intervalo de confiança de $100(1 - \alpha)\%$ para μ (e n suficientemente grande) é dado por :

$$\bar{X}(n) \pm z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{n}};$$

Intervalo de confiança

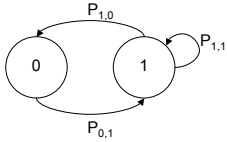
- Um problema é determinar o número de observações (n). Quanto mais assimétrica for a distribuição de X maior será n .
- Existe uma definição alternativa que pode ser utilizada, e que depende do valor de n :

$$\bar{X}(n) \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{n}};$$

- Calcula-se o coeficiente ($t_{n-1, 1-\alpha/2}$) em função de n e α , a partir de valores tabelados.

Cadeias de Markov

- Representam os estados que uma variável pode assumir, assim como as probabilidades de transição entre estados (parâmetro discreto):



$$P = \begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{0,1} \\ P_{1,0} & P_{1,1} \end{bmatrix}$$

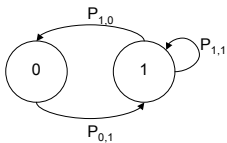
- É definida por uma matriz de transição de estados, onde:

$$\sum_j P_{i,j} = 1;$$



Cadeias de Markov

- Representa um processo de Markov, onde o passado não influencia o futuro se o presente é especificado:



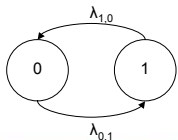
$$P = \begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{0,1} \\ P_{1,0} & P_{1,1} \end{bmatrix}$$

- Cada probabilidade de transição representa a probabilidade da mudança do estado i para o estado j em dois instantes consecutivos de observação do sistema.



Cadeias de Markov

- Também são utilizadas cadeias de Markov com parâmetro (tempo) contínuo (mas espaço de estados discreto);
- Nestas, utilizam-se taxas de transição no lugar das probabilidades de transição:



$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0 & \lambda_{0,1} \\ \lambda_{1,0} & 0 \end{bmatrix}$$



Modelos de Mobilidade

Motivação

- Dificuldade de obtenção dos registros de movimentação (*traces*) dos dispositivos móveis.
 - Necessidade de desenvolvimento de modelos de mobilidade **sintéticos** para a representação do movimento dos dispositivos móveis.

Motivação

- Inexistência de modelos de mobilidade que representam todos os comportamentos de movimentação dos nós numa rede *ad hoc*.
- Os modelos propostos e usados pelos pesquisadores, não são modelos realísticos.



Modelos de Mobilidade

Modelos de mobilidade são usados para avaliação de desempenho de sistemas e protocolos de comunicação.

- Redes celular:
 - handoff;
 - tráfego;
 - atualização de localização dos usuários;
 - paging;
 - duração das chamadas;
 - registro.





Modelos de Mobilidade

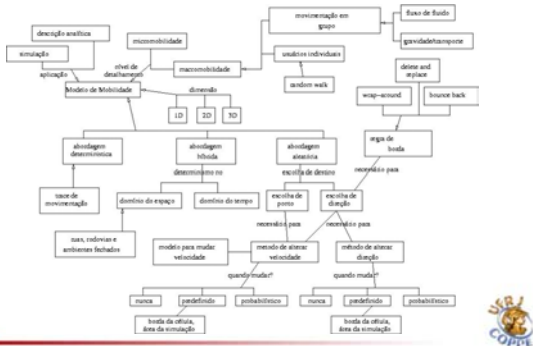
- Redes *ad hoc*:
 - tráfego oferecido;
 - suporte a descoberta de serviços;
 - implementação de infra-estrutura de chave pública;
 - avaliação da perda de pacotes;
 - protocolos de roteamento;
 - predição do particionamento da rede;
 - cobertura de serviços em redes *ad hoc* particionáveis;
 - protocolos de acesso ao meio;
 - gerenciamento de energia das baterias.





Caracterização da Mobilidade

Framework da representação da mobilidade em comunicações sem fio:





Modelos de Mobilidade

Busca representar a movimentação dos dispositivos na rede.

Tipos:

- Modelos de Mobilidade Individual;
- Modelos de Mobilidade em Grupo.





Modelos de Mobilidade Individual

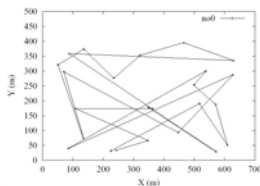
- *Random Walk*(vel. e dir. aleatórias);
- *Waypoint* (pausas na mudança de v. e d.);
- Direção Aleatória(vel. constante);
- Área de simulação sem fronteira;
- *Gauss – Markov*;
- City Section;





Modelos de Mobilidade Individual

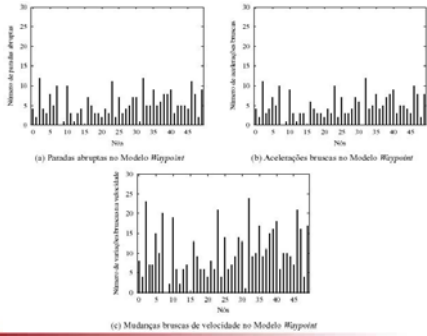
- **Modelo Aleatório (*Random Walk*):**
 - Velocidade e direção aleatórias uniformemente distribuídas;
 - Várias propostas para modificações.
- **Modelo *Waypoint*:**
 - Velocidade e direção aleatórias uniformemente distribuídas;
 - Pausas no movimento antes da escolha da nova direção.





Modelos de Mobilidade Individual

Variação brusca da velocidade ($\geq 50\%$) no Waypoint:

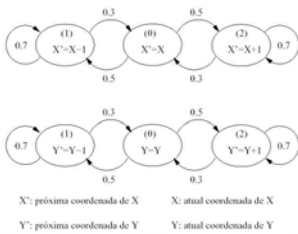




Modelos de Mobilidade Individual

- Modelo Markoviano de Percurso Aleatório - MPA
 - Não movimentada na vertical ou horizontal em 2 ou mais vezes consecutivas;
 - Não existem paradas no movimento;
 - Intensa movimentação nas diagonais;
 - Evita mudanças bruscas de sentido e de direção.

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0,3 & 0,7 & 0 \\ 0,3 & 0 & 0,7 \end{bmatrix}$$





Modelo Smooth

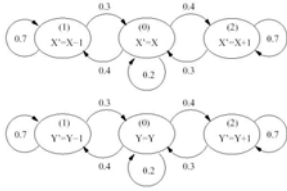
- Utiliza processos estocásticos para a mudança de direção e de velocidade;
- Permite mudanças suaves na velocidade (aceleração e desaceleração);
- Não evita mudanças bruscas de direção.



Modelo A

- Movimentos nas diagonais, vertical ou horizontal e intervalos de pausa;
- Evita mudanças bruscas de sentido e de direção.

$$P_A = \begin{bmatrix} 0,2 & 0,4 & 0,4 \\ 0,3 & 0,7 & 0 \\ 0,3 & 0 & 0,7 \end{bmatrix}$$

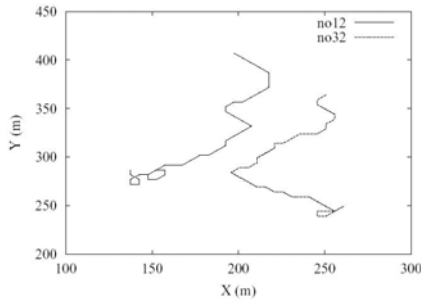


X': próxima coordenada de X X: atual coordenada de X
Y': próxima coordenada de Y Y: atual coordenada de Y



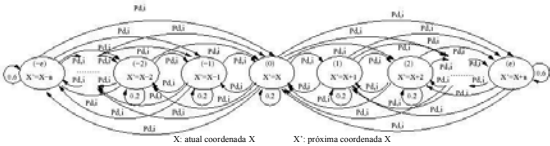
Modelo A

Percurso de dois nós usando o Modelo A



Modelo B

Diagrama de transições de estado para a coordenada X:



$$P[X'(t) = X(t) + s \cdot 2^i | X'(t-1) = X(t-1) + s \cdot 2^i] = 0,2$$

$$0 \leq i < \log_2 n \quad \wedge \quad -1 \leq s \leq 1$$

$$\sum_{i=0}^{\log_2 n} P[X'(t) = X(t) + s \cdot 2^i | X'(t-1) = X(t-1)] = 0,4 \quad s = \{-1, 1\}$$

$$P[X'(t) = X(t) + s \cdot n | X'(t-1) = X(t-1) + s \cdot n] = 0,6, \quad s = \{-1, 1\}$$





Modelo B

Generalização do Modelo B:

$$P_{i,i} = 1 - 2m,$$

$$\sum_{v=0}^{\log_2 n} P_{v,0} = m,$$

$$P_{e,e} = P_{-e,-e} = 1 - m,$$

$$P_{d,i} = \frac{P_{i+1,i}}{2^{i|d|-1}},$$

A distribuição das probabilidades do estado (i) segue uma série geométrica de razão $\frac{1}{2}$;

A velocidade aumenta exponencialmente até n ;

O Modelo B é genérico.





Modelos de Mobilidade para Redes Móveis *Ad hoc*

- Modelos de Mobilidade em Grupo:
 - Comportamento de movimentação dos nós é dependente:
 - intervalo de tempo de simulação;
 - relacionamento entre os nós (velocidade, direção, tipo);
 - Modelagem complexa e de difícil implementação.





Modelos de Mobilidade em Grupo

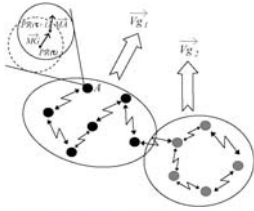
- Column model (Scanning, a procura);
- Pursue Model (rastreado um alvo);
- Nomadic community (militares e agricultores);
- Modelo em Grupo baseado numa Velocidade de Referência;





Modelos de Mobilidade em Grupo

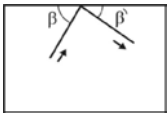
- Modelo em Grupo baseado num Ponto de Referência – MMGPR:
 - Vetor de movimentação – Vg ;
 - Ponto de referência PR(r);



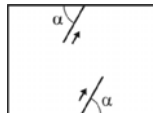


Regras de Borda

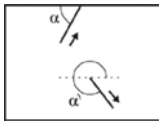
Bounce



Delete and Replace



Wrap around





Avaliação dos Modelos de Mobilidade





Métricas

Mudança brusca de direção:

- Ângulo de mudança estiver no intervalo $[90^\circ, 180^\circ]$ ou $[135^\circ, 180^\circ]$.

Parada abrupta:

- Velocidade no tempo $(t + 1)$ é igual a zero;
- $\Delta V \geq 50\%$ da velocidade máxima.

Aceleração brusca:

- Velocidade no tempo (t) é igual a zero;
- $\Delta V \geq 50\%$ da velocidade máxima.

Variação brusca na velocidade:

- $\Delta V \geq 50\%$ da velocidade máxima.





Simulação [1]

Gerador de cenários de mobilidade ScenGen[2]:

- Implementado em C++;
- Gera uma saída padrão para o Simulador NS-2.

Foram simulados os modelos *Waypoint*, MPA e o Modelo A.

Cenário de simulação:

- Área de 700 m x 500 m;
- 50 nós posicionados aleatoriamente;
- 100 simulações;
- Tempo suficiente para satisfazer as métricas.

[1] Campos, C. A. V., Moraes, L. F. M., "Modelos Markovianos de Mobilidade Individual para Redes Móveis Ad Hoc", XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores – SBRC2003, pp. 135 - 150, Natal - RN, Brasil, Maio de 2003.

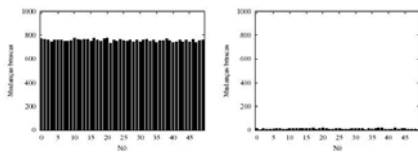
[2] <http://www.comp.nus.edu.sg/~liqm/scengen/index.html>





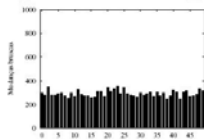
Resultados Obtidos

Número de mudanças bruscas com o ângulo $\geq 90^\circ$



(a) Modelo Waypoint

(b) Modelo MPA



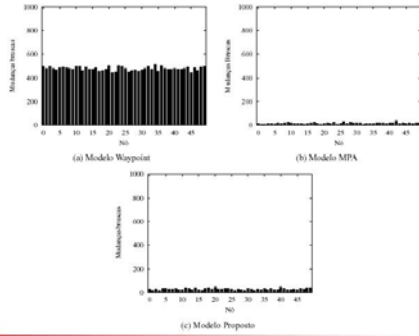
(c) Modelo Proposto





Resultados Obtidos

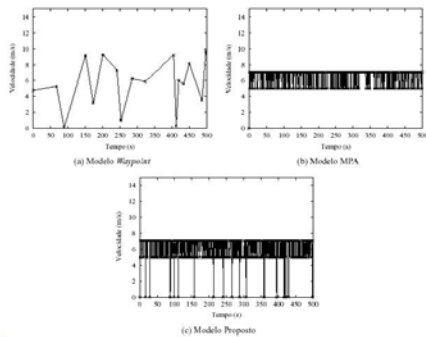
Número de mudanças bruscas com o ângulo $\geq 135^\circ$





Resultados Obtidos

Variação da velocidade no tempo





Considerações Importantes

- Desenvolver um modelo de mobilidade, que represente diversos cenários, não é uma tarefa simples;
- Necessidade de critérios na escolha do modelo de mobilidade;
- Os modelos mais utilizados, Aleatório e *Waypoint*, não representam bem a realidade:
 - Necessidade de modelos mais realísticos.





Considerações Importantes

- Os modelos A e B permitem:
 - Movimentos consecutivos na mesma direção;
 - Paradas no movimento;
 - Acelerações e desacelerações.
- Os modelos A e B evitam:
 - Mudanças bruscas de direção;
 - Paradas abruptas no movimento.

⇒ Os modelos A e B são mais realísticos.





Considerações Importantes

- O modelo *Smooth* possui uma variação suave na velocidade, mas, suas mudanças de direção podem ser bruscas.
⇒ Representação não realística.
- Os modelos em grupo são complexos e utilizam, principalmente, o modelo aleatório para representar a componente de movimentação individual de cada nó dentro do grupo.
⇒ Representação não realística.





Simuladores





Simuladores

- Contextualização;
- Global Mobile Information System Simulator (GloMoSim);
- Network Simulator (NS-2);
- Geradores de Cenário;
- Visualizadores Gráficos.





Simuladores

- Introdução
 - Cenários;
 - # de nós;
 - Padrões de Mobilidade;
 - Protocolos de Roteamento;
 - Protocolos de acesso ao meio (MAC);
 - Perfil do tráfego;
 - Geração de estatísticas.





Simuladores

- Redes sem fio *ad hoc* móveis
 - Resultados obtidos através de simulações;
 - Implementação complexa, muitas vezes inviável;
 - Diferentes padrões de mobilidade;
 - Vários protocolos de roteamento.





Simuladores de Rede

- GloMoSim;
- NS-2





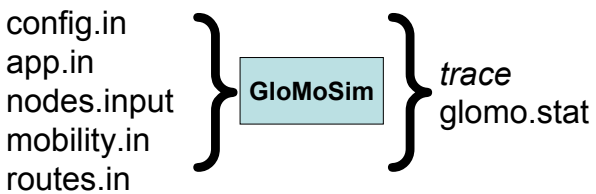
GloMoSim

- Implementado utilizando PARSEC;
- Simples configuração;
- Estrutura organizada – fácil compreensão;
- Configuração de cenário através do *config.in*;
- Visualizador gráfico implementado em java.





GloMoSim





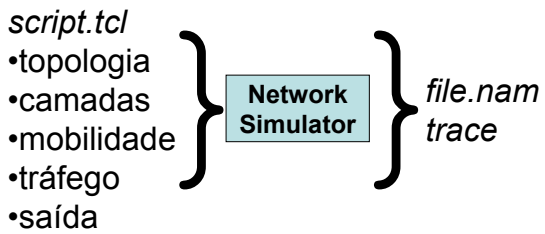
Network Simulator (NS-2)

- Implementado em C++;
- Configuração complexa;
- Flexível;
- Configuração de cenário através de *script* TCL;
- Visualizador Gráfico *NAM* implementado em C++.





Network Simulator (NS-2)





Geradores de Cenários de Mobilidade





Geradores de Cenários

- Geradores de Cenários:
 - SETDEST (NS-2);
 - SCENGEN;
 - BonnMotion.
- Geram a movimentação dos nós (*trace*) em arquivos que serão utilizados como entrada para os simuladores de rede.





O Gerador de Cenários ScenGen





ScenGen

- Desenvolvido por Li Qiming, um pesquisador da Universidade de Singapura;
- Ferramenta destinada a gerar modelos de mobilidade ;
- A visualização da movimentação dos nós (agentes móveis) é realizada pelo Ad Hockey.





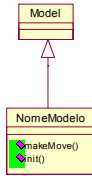
Vantagens do ScenGen

- Implementa os modelos:
 - Random Waypoint;
 - Pursue;
 - Gauss-Markov;
 - Brownian;
 - Column.
- Facilidade de alteração dos modelos existentes;
- Possibilidade de implementação de novos modelos.





Implementação de Modelos



- Todos os modelos são implementados em linguagem C++
- Métodos indispensáveis para a simulação:
 - init;
 - makeMove.





Configuração da Simulação

- Arquivos de configuração:
 - Model-spec: parâmetros admitidos por cada modelo;
 - Scen-spec: parâmetros referentes ao cenário a ser simulado.
- Scen-spec:
 - Seção Global: tamanho da área retangular de simulação, tempo de início da simulação, tempo de término da simulação;
 - Seção com os Grupos de Mobilidade.





Alterando um Modelo

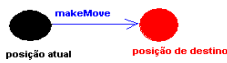
- As alterações com relação aos parâmetros devem ser refletidas no arquivo model-spec e no método init da classe.
- Já as alterações referentes a mobilidade dos nós devem ocorrer no método makeMove.





Adicionando um Modelo

- Criar um arquivo com o código do novo modelo estruturado em uma classe com herança da classe model.
- Dentro desta classe todo o código que representa o movimento dos nós deve estar no método makeMove que é chamado sempre que a ferramenta necessite calcular a próxima posição de um nó:





Adicionando um Modelo

- Todo nó da simulação é um objeto da classe node. Esta classe possui algumas propriedades relativas à movimentação do nó:
 - node->dest_
 - node->pos_
 - node->startTime_
 - node->arrivalTime_
 - node->nextStartTime_
 - node->speed_





Adicionando um Modelo

- Acrescentar no arquivo **model.h** a linha `enum NomeModelo` para que o `ScenGen` possa fazer referência ao novo modelo.
- Acrescentar no arquivo **modelspec.cc** uma chamada para o modelo no método `ModelSpec::createModelByName()` como no exemplo abaixo:

```
else if (! strcmp(modelName, "NomeModelo"))
{
    model = new NomeModelo ();
}
```
- Além disso, o arquivo **modelspec.cc** deve conter um `#include` para o arquivo com o header (arquivo com extensão `.h`) da classe criada.
- O arquivo **Makefile** deve conter os arquivos com o código da implementação que foi criado.





O Gerador de Cenários BonnMotion





A Ferramenta

- Desenvolvida para auxiliar um projeto da University of Bonn da Alemanha;
- Desenvolvida na plataforma Java;
- Implementa os modelos:
 - Manhattan Grid;
 - Waypoint;
 - Gauss-Markov;
 - Reference Point .





Funcionalidades

- Simulador de modelos de mobilidade;
- Visplot: módulo para auxiliar a visualização de cenários;
- NSFile: converte a saída para o formato do ns-2;
- GlomoFile: converte a saída para o formato do GlomoSim.





Utilização

bm -f <cenario> <parâmetros do cenario >

Parâmetros importantes (comuns a todos modelos implementados):

- Número de nós: -n
- Duração do cenário (segundos): -d
- Número de segundos no início do cenário que são desprezados: -i
- Tamanho da área de simulação: -x e -y
- Valor da semente inicial para o gerador de números aleatórios: -R

bm -f cenário RandomWaypoint -n 100 -d 900 -i 3600





Utilização

- Exibindo os possíveis parâmetros que podem ser fornecidos para um modelo:

bm -hm <NomeModelo>

- Como saída, o BonnMotion apresenta dois arquivos:
 - um com a extensão ".params" - conjunto dos parâmetros utilizados na simulação
 - outro arquivo com extensão ".movements.gz" - contém os movimentos realizados pelos nós





Saída Gerada

- A saída gerada é interpretada pelo Visplot:
 - `bm -ha Visplot -f <cenario>`
- A saída gerada também pode ser traduzida para o formato do ns-2 ou do GlomoSim:
 - Para NS-2:
`bm -ha NSFile -f <cenario>`
 - Para GloMoSim:
`bm -ha GlomoFile -f <cenario>`





Saída Gerada

- NSFile cria os arquivos:
 - `cenario.ns_params;`
 - `cenário.ns_movements).`
- O GlomoFile cria os arquivos:
 - `cenário.glomo_nodes;`
 - `cenário.glomo_mobility.`





Visualizadores





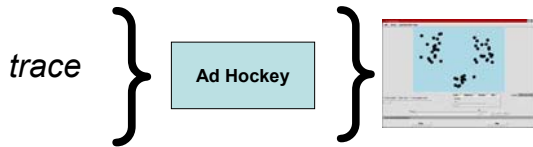
Visualizadores

- Visualizadores Gráficos:
 - Reproduzir simulações;
 - Análise gráfica da simulação;
 - Avaliar comportamento em relação a movimentação dos nós;
 - No GloMoSim apresenta alguns problemas;
 - NS: Ah Hockey mostrou-se mais adequado.





Visualizadores

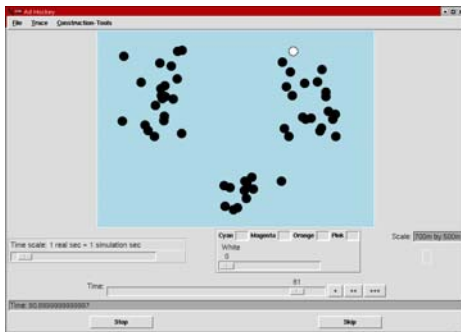


❖ O trace pode ter sido gerado pelo SETDEST ou SCENGEN



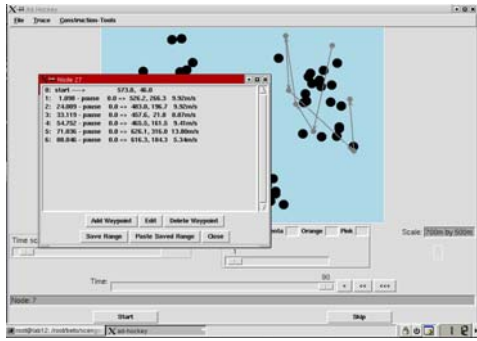


Ad Hockey





Ad Hockey





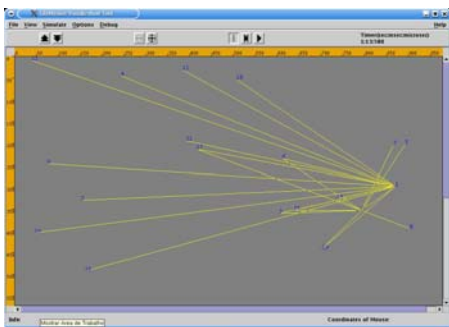
Visualizadores

config.in
glomosim
trace



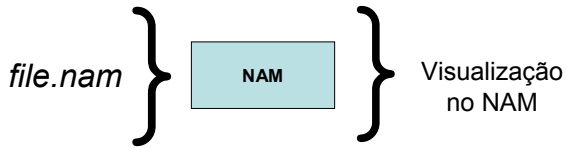


Visualizador do Glomosim





Visualizador do NS-2





Pesquisas Atuais e Sugestões de Estudos

- Desenvolvimento de novos modelos de mobilidade;
- Caracterização dos Protocolos de Acesso ao Meio sob a influência da mobilidade;
- Protocolos de Roteamento sob o impacto da mobilidade:
 - Com qualidade de serviço (QoS);
 - Com segurança;
 - Protocolos de Roteamento Geográfico(baseados em posição).





Pesquisas Atuais e Sugestões de Estudos

- Integração com a Internet:
 - IP Móvel.
- Particionamento da Rede;
- Avaliação de Mecanismos de Segurança;
- Suporte à Descoberta de Serviços;
- Reserva de Recursos Baseada na Predição da Mobilidade e no Particionamento da Rede;
- Acurácia dos Simuladores de Redes.





Considerações Finais

- Sendo a mobilidade uma característica das redes *ad hoc*, é necessário avaliar o seu impacto nas aplicações e subsistemas de redes *ad hoc*.
- Avaliações de desempenho em redes *ad hoc* realizadas com modelos de mobilidade não realísticos devem ser refeitos.





Perguntas?





Mobilidade em Redes *Ad hoc*

Carlos Alberto V. Campos, Alexandre M. da Silva, Daniel C. Otero, Luciano R. de Albuquerque, Luís Felipe M. de Moraes

Laboratório de Redes de Alta Velocidade - RAVEL / COPPE / UFRJ
<http://www.ravel.ufrj.br>

Grupo de Atuação em Redes Sem Fio – GARF / COPPE / UFRJ
<http://www.garf.coppe.ufrj.br>

carlosvc@cos.ufrj.br

beto@ravel.ufrj.br