

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Uma Abordagem Unificada para Métricas de Roteamento e Adaptação Automática de Taxa em Redes em Malha Sem Fio

Diego Passos

Universidade Federal Fluminense

16 de Junho
2009

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

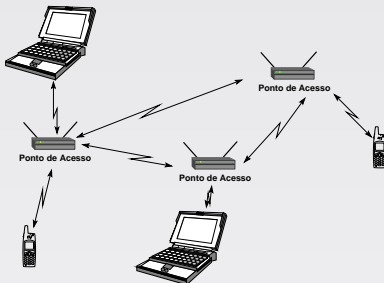
Introdução

16 de Junho
2009

Redes em Malha Sem Fio

Características

- Auto-configuráveis.
 - Nós realizam roteamento dinâmico.
 - Qual o critério para a escolha de uma rota?
- Baixo custo de implantação.
 - Dispositivos baseados no padrão IEEE 802.11.
 - Várias taxas de transmissão disponíveis.
 - Como escolher uma taxa?



Dificuldades nas Escolhas

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

De Rotas

- Condições da rede variam muito.
- Qualidade dos enlaces depende de:
 - Interferências.
 - Obstáculos.
 - Condições climáticas.

De Taxas

- Em geral, quanto mais alta a taxa, maior a probabilidade de erros.
 - Em redes não congestionadas.

Correlação dos Dois Problemas

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Do Ponto de Vista da Métrica

- As características dos enlaces dependem da taxa de transmissão.
- A métrica deve ter ciência da taxa selecionada.

Do Ponto de Vista da Adaptação de Taxa

- Um enlace só tem tráfego se ele é escolhido pelo protocolo de roteamento.
- Caso não seja, o algoritmo de adaptação não tem dados para selecionar a taxa mais correta.

Proposta do Trabalho

MARA (*Metric-Aware Rate Adaptation*)

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

- Uma abordagem *cross-layer*.
- Abordagem unificada para dois problemas:
 - Adaptação automática de taxa.
 - Métrica de roteamento.

Objetivos

- Escolha de taxa coerente com o custo atribuído ao enlace.
- Inferência precisa das informações dos enlaces.
 - Com baixo *overhead*.

Outras Contribuições

Otimizações

- MARA-P.
 - Escolha de taxa dependente do tamanho do quadro.
- MARA-RP.
 - Escolha de taxa e rota dependente do tamanho do quadro.
- Até que ponto influenciam?

Artefatos de Implementação

- Protocolo SLSP (*Simple Link State Protocol*).
- Módulo PPRS (*Per-Packet Rate Selection*).

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Trabalhos Relacionados

16 de Junho
2009

Em Termos de Métricas

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

- *Hop Count.*
- ETX.
- ETT.
- ML.
- WCETT.
- *AirTime*
- mETX.
- ENT.
- ...

Em Termos de Métricas

- *Hop Count.* (quantidade de saltos)
- ETX.
- ETT.
- ML.
- WCETT.
- *AirTime*
- mETX.
- ENT.
- ...

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

16 de Junho
2009

Em Termos de Métricas

- *Hop Count.*
- ETX. (número de retransmissões em nível 2)
- ETT.
- ML.
- WCETT.
- *AirTime*
- mETX.
- ENT.
- ...

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Em Termos de Métricas

- *Hop Count.*
- ETX.
- ETT. (atraso fim a fim)
- ML.
- WCETT.
- *AirTime*
- mETX.
- ENT.
- ...

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Em Termos de Métricas

- *Hop Count.*
- ETX.
- ETT.
- ML. (probabilidade de perda fim a fim)
- WCETT.
- *AirTime*
- mETX.
- ENT.
- ...

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Em Termos de Métricas

- *Hop Count.*
- ETX.
- ETT.
- ML.
- WCETT.
- *AirTime*
- mETX.
- ENT.
- ...

Em Comum:

- Imprecisão na obtenção de informações sobre os enlaces.

Em Termos de Adaptação de Taxa

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

- ARF.
- AARF.
- *SampleRate*.
- SNR.
- YARAa.
- Onoe.
- SRA.
- ...

Em Termos de Adaptação de Taxa

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

- ARF. (falhas ou sucessos consecutivos)
- AARF.
- *SampleRate*.
- SNR.
- YARAA.
- Onoe.
- SRA.
- ...

Em Termos de Adaptação de Taxa

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

- ARF.
- AARF. (falhas ou sucessos consecutivos)
- *SampleRate*.
- SNR.
- YARAa.
- Onoe.
- SRA.
- ...

Em Termos de Adaptação de Taxa

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

- ARF.
- AARF.
- *SampleRate.* (atraso médio)
- SNR.
- YARAA.
- Onoe.
- SRA.
- ...

Em Termos de Adaptação de Taxa

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

- ARF.
- AARF.
- *SampleRate*.
- SNR. (SNR no receptor)
- YARAA.
- Onoe.
- SRA.
- ...

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Em Termos de Adaptação de Taxa

- ARF.
- AARF.
- *SampleRate*.
- SNR.
- YARAA.
- Onoe.
- SRA.
- ...

Em Comum:

- Estatísticas baseadas em amostras não uniformes.
 - Frequência e tamanho dos quadros.

Abordagens Unificadas

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Até agora, não são conhecidas outras propostas unificadas para estes dois problemas.

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Proposta

16 de Junho
2009

MARA (*Metric-Aware Rate Adaptation*)

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Idéia Básica

- Modelar o custo de cada enlace como o tempo de transmissão.
 - O tempo é uma função da taxa de transmissão.
- Encontrar a taxa λ que minimiza o atraso.
- O atraso associado à taxa λ será custo do enlace.

MARA (Cont.)

Modelo do Atraso (ou Expressão de Custo)

$$MARA_{ab} = \min_i \left(\frac{ETX_{ab}^i \cdot ps}{\lambda_i} \right)$$

Parâmetros

- λ_i : *i-ésima* taxa.
- ETX_{ab}^i : ETX do enlace na *i-ésima* taxa.
- ps : tamanho do pacote de *probe*.

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Estimando ETX_{ab}^i

Primeira Parte

- Envio periódico de pacotes de *probe*.
- *Probes* enviados em 4 taxas diferentes:
 - 1, 18, 36 e 54 Mbps.
- Os *probes* são enviados através de um *round-robin*.
 - Apenas um *probe* enviado por período.

Segunda Parte

- As probabilidades para as demais taxas são estimadas.
- É utilizada uma função de “conversão”.
 - A partir das probabilidades inferidas pelos *probes*, obtém-se as demais.

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Função de Conversão

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

- Baseada em uma tabela pré-computada [Pavon e Choi 2003] e [Trivellato 2005] que associa:
 - SNR.
 - Taxa de transmissão.
 - Tamanho do quadro.
 - Probabilidade de erro.

```
function computeProbAtRate( $P_{ab}$ , Rate) {
```

```
     $SNR_{ab}$  = findSNRInTable( $P_{ab}$ , probeRate, probeSize);
```

```
     $NewP_{ab}$  = findPERInTable( $SNR_{ab}$ , Rate, probeSize);
```

```
    return( $NewP_{ab}$ );
```

```
}
```

Problemas da Função de Conversão

Regiões Não Inversíveis

- A função que relaciona SNR e probabilidade de perda não é inversível.
 - Por exemplo, para a probabilidade de perda igual a 1.
- O que fazer nos pontos extremos?

Limitações de Representação da Tabela

- SNR e probabilidade de perda são valores contínuos.
 - Impossível representar todas as entradas em uma tabela.
- Aumentar a resolução da tabela implica em torná-la maior.

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

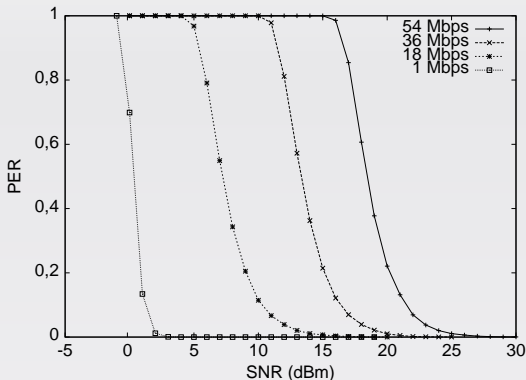
Avaliação

Conclusão

Inversibilidade

Solução Proposta

- Utilização de *probes* em 4 taxas diferentes.
- Com isso, todo o domínio da função é coberto por curvas inversíveis.



Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

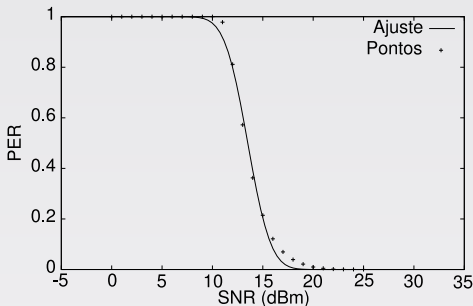
Conclusão

Representação dos Dados

Solução Proposta

- Ajuste de curvas baseado nos dados da tabela.

$$PER = \frac{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{SNR - a}{b \cdot \sqrt{2}}\right)}{2}.$$



Alterações em Relação à Proposta Original

- Definição de *n* classes de tamanho.
 - $[0; 350]$, $[351; 750]$, $[751; 1300]$ e $[1301; 1520]$.
- Para cada enlace, o custo é calculado *n* vezes (uma para cada classe).
- No *k*-ésimo cálculo, *ps* é substituído pelo limite superior da *k*-ésima classe.
- Apenas o custo associado à classe dos maiores quadros é utilizado para roteamento.

Expressão de Custo para a *k*-ésima Classe

$$MARA_{ab} = \min_i \left(\frac{ETX_{ab}^i \cdot sup[k]}{\lambda_i} \right)$$

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Alterações em Relação à Proposta Original

- Extensão da ideia anterior.
- Os custos associados a todas as classes são armazenados.
- O algoritmo de caminho mínimo é executado em n instâncias.
- O resultado é uma tabela de roteamento com mais uma dimensão.

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Implementação

16 de Junho
2009

Implementações Realizadas

Simulações

- Simulador ns-2.
- Módulo DEI802.11-MR.
 - Utilização de múltiplas taxas.
 - Modelo de perda mais real.
- Protocolo OLSR.

Implementação Real

- Roteadores *Linksys* WRT-54G.
- OpenWRT (distribuição *Linux*).
- Protocolo SLSP módulo PPRS.
- *Iptables* e *Iproute2*.

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Protocolo SLSP

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Descrição

- Protocolo baseado em estado de enlaces.
- Bastante simples.
- Projetado para ser extensível, em relação a implementação de novas métricas.
- Simplificou o processo de implementação do MARA e suas variações.

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Descrição

- Módulo para o *kernel* do *Linux*.
- Permite a seleção de taxas de transmissão com base em:
 - Próximo salto.
 - Classe de tamanho do quadro.
 - Modo de transmissão.
- Independente do *driver* da interface.

Funcionamento em Conjunto

Agenda

Introdução

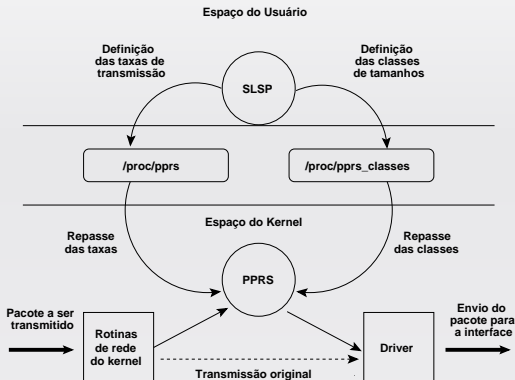
Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão



Implementação do MARA-RP

Como Adicionar uma Dimensão à Tabela de Roteamento?

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

- O *Linux* utiliza múltiplas tabelas de roteamento.
 - *Iproute2*.
- Existem *regras* associando pacotes a cada tabela.
 - Baseadas em destino, origem, TOS...

Nesta Implementação...

- O protocolo constrói tabelas diferentes.
- O *Iptables* coloca marcações nos pacotes.
- As regras redirecionam o pacote à tabela correta.

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Avaliação

16 de Junho
2009

Simulações

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Cenários

- Cinco topologias.
- Um fluxo TCP de 300 segundos de duração.
 - MARA e outras propostas.
- Três fluxos UDP também de 300 segundos (voz, vídeo e *background*).
 - MARA, MARA-P e MARA-RP.

Propostas Comparadas

- Métricas *Hop Count*, ETX, ML e ETT.
- Algoritmos ARF, *SampleRate* e SNR.

Experimentos Reais

Cenários

- Uma topologia.
- Um fluxo TCP de 300 segundos de duração.
 - Um fluxo ICMP concorrente.
- Dois fluxos UDP também de 300 segundos (voz e vídeo).
- Ferramentas: *Iperf* e *ping*.

Propostas Comparadas

- Métricas *Hop Count*, ETX e ML.
- Algoritmo ARF (simplificado).

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

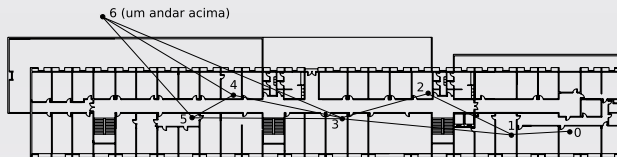
Implementação

Avaliação

Conclusão

Topologia do Projeto Remesh (apenas simulações)

Conclusão



Topologias

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

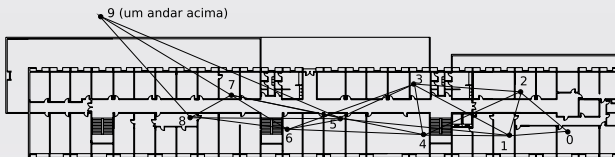
Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Topologia do Projeto ReMoTE (simulações e experimentos reais)



Topologias

Topologia em Grade (apenas simulações)

Agenda

Introdução

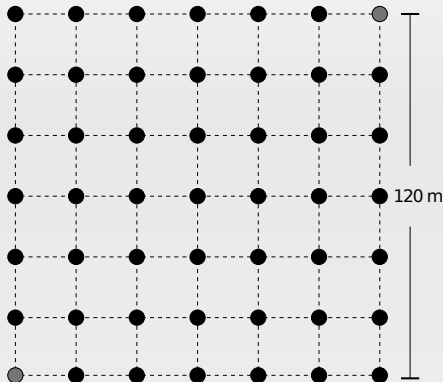
Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão



16 de Junho
2009

Topologias

Topologia Aleatória (apenas simulações)

Agenda

Introdução

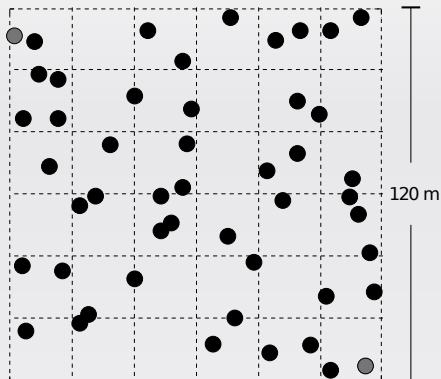
Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão



16 de Junho
2009

Topologias

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

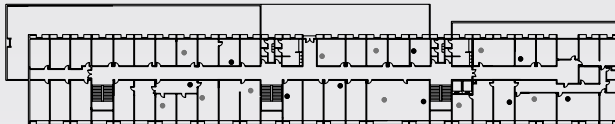
Implementação

Avaliação

Conclusão

Extrapolação da Topologia do Projeto ReMoTE (apenas simulações)

- (um andar acima)



Vazão TCP na Topologia Remesh

Agenda

Introdução

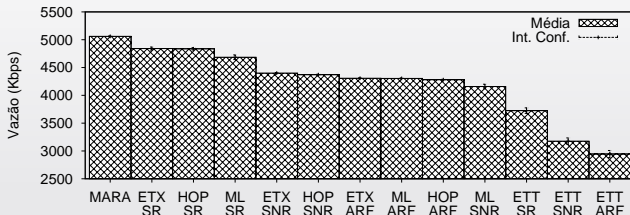
Trab. Rel.

Proposta

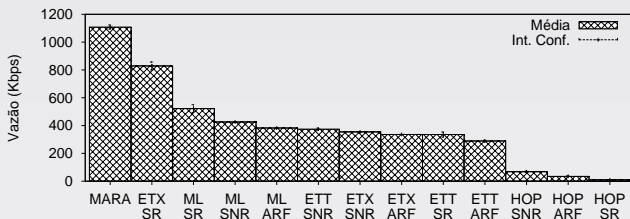
Implementação

Avaliação

Conclusão



Vazão entre os nós 0 e 1.



Vazão entre os nós 0 e 6.

Vazão TCP na Topologia ReMoTE

Agenda

Introdução

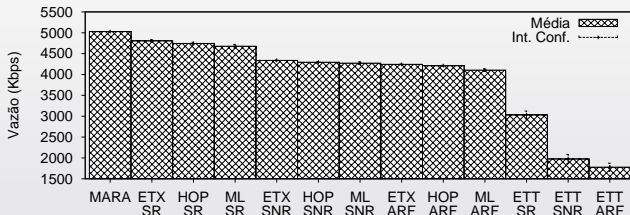
Trab. Rel.

Proposta

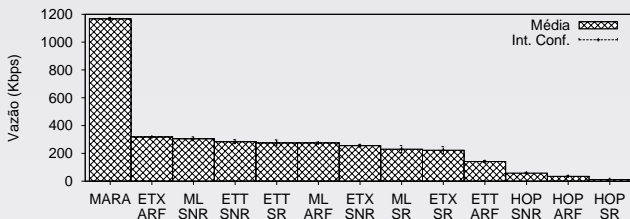
Implementação

Avaliação

Conclusão



Vazão entre os nós 0 e 1.



Vazão entre os nós 0 e 9.

Vazão TCP na Topologia em Grade

Agenda

Introdução

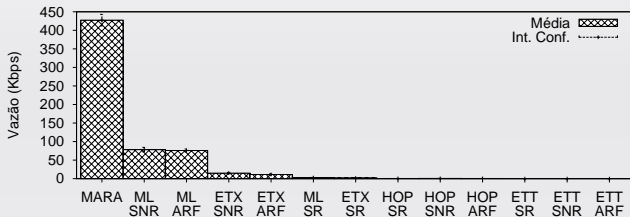
Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão



Vazão TCP na Topologia Aleatória

Agenda

Introdução

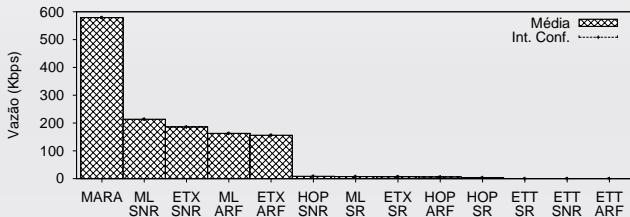
Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão



Vazão TCP na Topologia Extrapolada

Agenda

Introdução

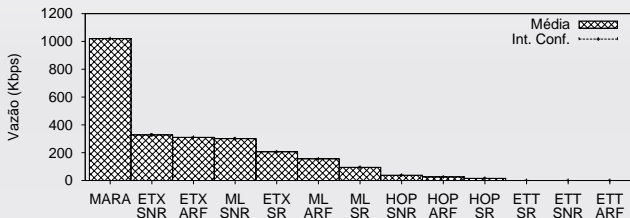
Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão



Comparativo: ETT/SNR e MARA

Agenda

Introdução

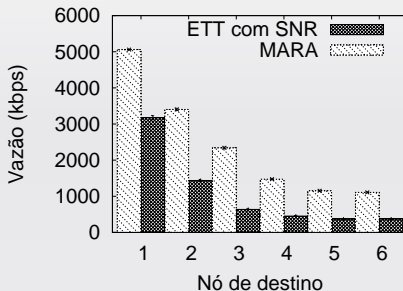
Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão



Topologia Remesh.

Atraso e Perda de Segmentos

Agenda

Introdução

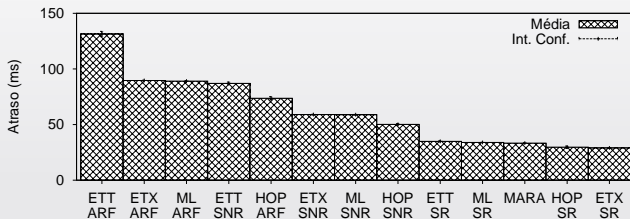
Trab. Rel.

Proposta

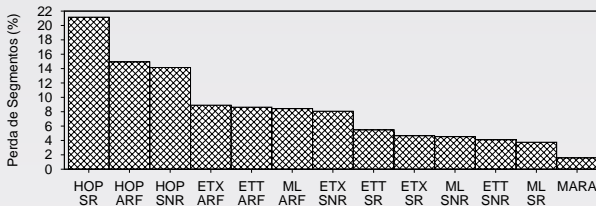
Implementação

Avaliação

Conclusão



Atraso na topologia do Projeto ReMoTE.



Perda na topologia do Projeto ReMoTE.

Seleção de Rotas na Topologia em Grade

Agenda

Introdução

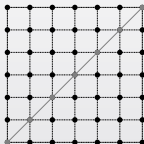
Trab. Rel.

Proposta

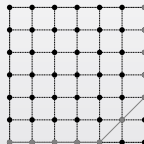
Implementação

Avaliação

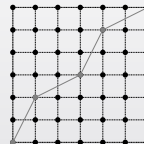
Conclusão



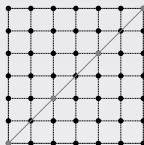
MARA (51%)



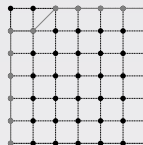
ML e SNR (22, 5%)



ETX e SNR (20, 5%)



Hop Count e SNR (12, 8%)



ETT e SNR (66, 6%)

Atraso e Perda UDP (Topologia Aleatória)

Agenda

Introdução

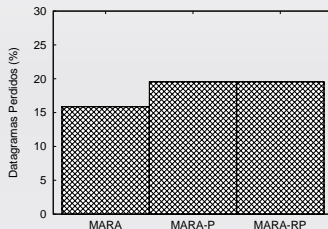
Trab. Rel.

Proposta

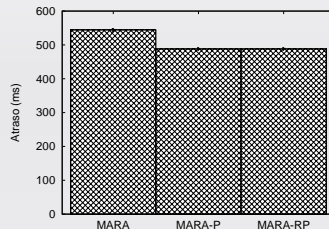
Implementação

Avaliação

Conclusão



Perda (fluxo de áudio)



Atraso (fluxo de áudio)

Atraso UDP (Ao Longo do Tempo)

Agenda

Introdução

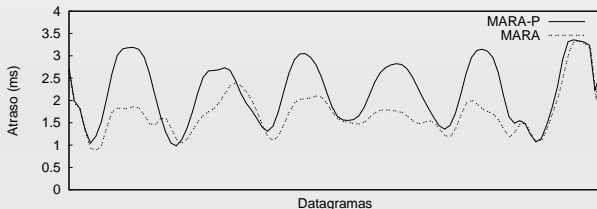
Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão



Atraso do fluxo de áudio entre os nós 0 e 3 na topologia ReMoTE.

Resultados dos

Experimentos Reais (TCP e ICMP)

Agenda

Introdução

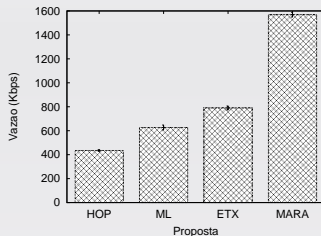
Trab. Rel.

Proposta

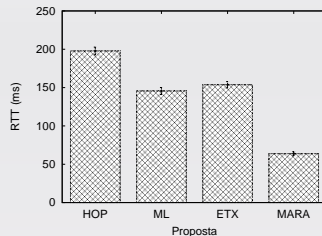
Implementação

Avaliação

Conclusão



Vazão



RTT

Resultados dos Experimentos Reais (UDP)

Agenda

Introdução

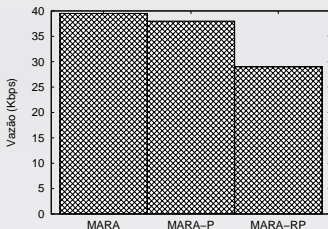
Trab. Rel.

Proposta

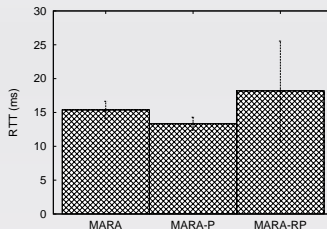
Implementação

Avaliação

Conclusão



Vazão (fluxo de áudio)



RTT

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Conclusão

16 de Junho
2009

Problemas Abordados

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

- Adaptação Automática de Taxa.
 - Falta uniformidade ao processo de amostragem.
- Métrica de Roteamento.
 - Falta confiabilidade às informações coletadas.
- Os dois problemas são fortemente correlacionados.
 - As características dos enlaces dependem da taxa de transmissão.

Contribuições

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

- MARA.
 - Abordagem conjunta para a solução dos dois problemas
 - Garante a coerência das decisões.
- MARA-P e MARA-RP.
 - Otimizações relacionadas ao tamanho dos pacotes.
- PPRS.
 - Módulo de seleção de taxa baseado em diversos atributos.

Resultados Obtidos

MARA

- Foram considerados 5 cenários distintos.
- Se mostrou consideravelmente superior às demais propostas.
 - Especialmente quando a distância entre os nós aumenta.
- Sempre obteve bons resultados de atraso.
- Apresentou estabilidade nas suas escolhas.

MARA-P e MARA-RP

- Nas simulações, se mostraram equivalentes.
 - Não apresentaram melhoras (consideráveis) em relação ao MARA.
- Na prática, MARA-RP mostrou alto *overhead*.
 - O MARA-P apresentou um desempenho melhor.

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Trabalhos Futuros

Tabela

- Repetir os experimentos.
 - Unificar as metodologias.

Alterações no Modelo

- Incorporar outros fenômenos de propagação.
- Considerar ambientes congestionados.

Avaliação das Otimizações

- Verificar analiticamente a diferença entre MARA-P e MARA-RP.
- Entender o pouco efeito observado.

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Referências

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão



Pavon, J. P. e Choi, S. (2003).

Link Adaptation Strategy for IEEE 802.11 wlan
Via Received Signal Strength Measurement.

Em *ICC '03*, volume 2, páginas 1108–1113.



Trivellato, M. (2005).

Windowed/Shaped OFDM and OFDM-OQAM:
Alternative Multicarrier Modulations for Wireless
Applications.

Dissertação de Mestrado, Universidade de
Pádua, Itália.

Agenda

Introdução

Trab. Rel.

Proposta

Implementação

Avaliação

Conclusão

Perguntas?