

## Agenda

---

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão

---

# XORs in the Air: Practical Wireless Network Coding

---

Sachin Katti, Hariharan Rahul, Wenjun  
Hu, Dina Katabi, Muriel Médard e Jon  
Crowcroft

*Apresentação do Artigo*

## Agenda

---

### Introdução

COPE

Ganhos

Detalhes

Avaliação

Conclusão

---

# Introdução

7 de Outubro  
2009

# Conteúdo do Artigo

## COPE

- Uma “arquitetura” para redes em malha sem fio.
- Além de encaminhados, os pacotes são combinados.
- *Network Coding*.

## Avaliação de Desempenho

- Feita em uma rede real de 20 nós.
- Mostra melhoras consideráveis.
  - De 3 a 4 vezes melhor para UDP.
  - De 5% a 70% para TCP.

Agenda

---

Introdução

COPE

Ganhos

Detalhes

Avaliação

Conclusão

---

# Redes em Malha Sem Fio (*Mesh*)

## Agenda

### Introdução

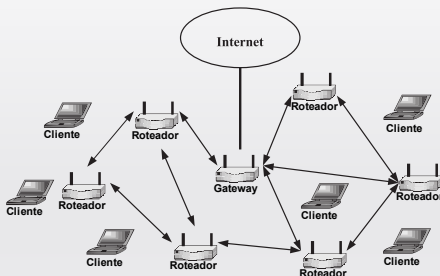
COPE

Ganhos

Detalhes

Avaliação

Conclusão



## Características

- Comunicação em múltiplos saltos.
- Variação da qualidade dos enlaces no tempo.
- Auto-configuração e tolerância a falhas.

# Network Coding

## Definição

- É o ato de nós intermediários combinarem informações de vários canais de entrada em uma única unidade de informação para um canal de saída.
- Objetiva-se aumentar robustez ou capacidade da rede.
- Cada nó da rede pode ser visto como uma matriz de transformação (linear ou não) dos diversos pacotes sendo gerados na rede.
- Para decodificar um pacote, o nó de destino deve aplicar a matriz de transformação inversa.

### Agenda

---

#### Introdução

#### COPE

#### Ganhos

#### Detalhes

#### Avaliação

#### Conclusão

---

# Network Coding (Exemplo)

## Agenda

### Introdução

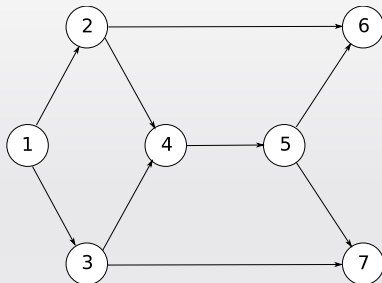
#### COPE

#### Ganhos

#### Detalhes

#### Avaliação

#### Conclusão



- Suponha uma transmissão de dois bits de 1 para 6 e 7.
- Solução com *Network Coding*:
  - Transmitir  $b_1$  por  $1 \rightarrow 2$ ,  $2 \rightarrow 4$  e  $2 \rightarrow 6$ .
  - Transmitir  $b_2$  por  $1 \rightarrow 3$ ,  $3 \rightarrow 4$  e  $3 \rightarrow 7$ .
  - Transmitir  $b_1 \oplus b_2$  por  $4 \rightarrow 5$ ,  $5 \rightarrow 6$  e  $5 \rightarrow 7$ .

# Network Coding (Características)

## Agenda

---

### Introdução

#### COPE

#### Ganhos

#### Detalhes

#### Avaliação

#### Conclusão

---

- Permite atingir o limite teórico de fluxo máximo (teorema do Fluxo Máximo - Corte Mínimo).
- Permite a redução do número total de transmissões
  - Ótimo em redes sem fio de múltiplos saltos.
- Implementação prática não é trivial.
  - Na prática, as topologias não são tão “controladas”.
  - Em redes sem fio, as topologias podem mudar dinamicamente.
  - Como escolher um esquema de codificação eficiente neste caso?

## Agenda

---

Introdução

COPE

Ganhos

Detalhes

Avaliação

Conclusão

---

# COPE

7 de Outubro  
2009



# Características

## Agenda

---

### Introdução

#### COPE

### Ganhos

### Detalhes

### Avaliação

### Conclusão

---

- Esquema genérico de codificação.
- Pode ser aplicado a qualquer topologia.
- Se adapta automaticamente a mudanças.
- Não faz suposições sobre a característica dos fluxos.
- Provê codificação inter-fluxos.
- A codificação/decodificação é feita salto a salto.
  - Foge um pouco ao conceito original de codificação de rede.

# Implementação

## Agenda

---

### Introdução

#### COPE

#### Ganhos

#### Detalhes

#### Avaliação

#### Conclusão

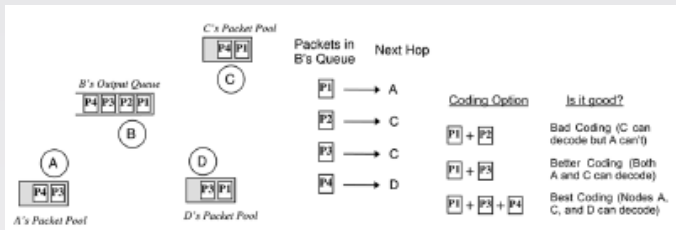
---

- Uma nova camada é adicionada entre o roteamento e o enlace.
- Tenta detectar oportunidades de codificação.
  - Caso existam, os pacotes são combinados via XOR.
  - Caso contrário, eles são enviados normalmente.
- Divide-se em 3 funcionalidades:
  - Codificação oportunista.
  - Escuta oportunista.
  - Aprendizado do estado dos vizinhos.

# Codificação Oportunista

## Objetivos

- Maximizar o número de pacotes entregues em cada transmissão.
- Garantir que os receptores sejam capazes de decodificar o pacote.



# Escuta Oportunista

## Premissas

- O meio sem fio tem natureza compartilhada (difusão).
- Nós, em geral, são equipados com antenas omni-direcionais.

## Como tirar proveito?

- Nós são colocados em *modo promiscuo*.
- Todos os quadros transmitidos por vizinhos são recebidos (idealmente).
- Todos os quadros são armazenados por um pequeno período de tempo (0, 5s).
  - Eles podem ser úteis para codificações posteriores.

### Agenda

---

#### Introdução

#### COPE

#### Ganhos

#### Detalhes

#### Avaliação

#### Conclusão

---

# Aprendizado do Estado dos Vizinhos

## Agenda

---

Introdução

COPE

Ganhos

Detalhes

Avaliação

Conclusão

---

## Objetivo

- Descobrir quais pacotes cada vizinho tem.

## Solução

- Envio de anúncios periódicos por cada nó.
- Utilização de informação da camada de roteamento.
  - O protocolo de roteamento calcula a probabilidade de recepção de cada nó.
- Utiliza esta informação para estimar se um vizinho tem ou não um dado pacote.
- Por ser probabilística, a estratégia pode falhar.

## Agenda

---

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão

---

# Ganhos Teóricos

7 de Outubro  
2009

# Tipos de Ganho

## Agenda

---

- Introdução
- COPE
- Ganhos
- Detalhes
- Avaliação
- Conclusão

---

## Ganho de Codificação

- Razão entre o número de transmissões necessárias sem o COPE pelo número com o COPE.
- Sempre maior ou igual a 1.
- Sem a escuta oportunista, o limite teórico é 2.

## Ganho de Codificação + MAC

- Razão da taxa na qual pacotes saem da fila do nó de gargalo com e sem o COPE.

# Exemplo: Topologia em Linha

## Agenda

Introdução

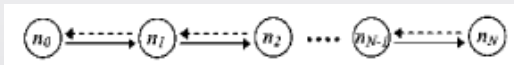
COPE

Ganhos

Detalhes

Avaliação

Conclusão



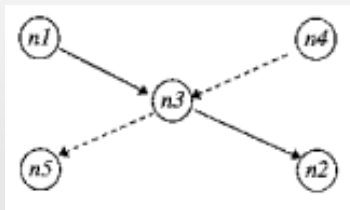
- Ganho de Codificação: 2.
- Ganho de Codificação + MAC: 2.



# Exemplo: Topologia em X

## Agenda

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão



- Ganho de Codificação: 1, 33.
- Ganho de Codificação + MAC: 2.

# Exemplo: Topologia em Cruz

## Agenda

Introdução

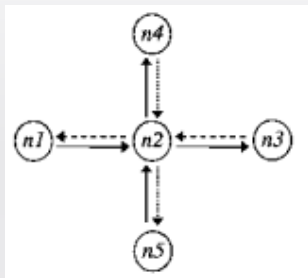
COPE

Ganhos

Detalhes

Avaliação

Conclusão

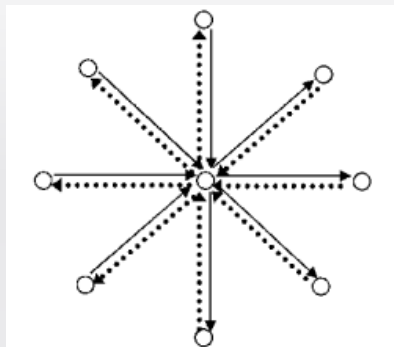


- Ganho de Codificação: 1, 6.
- Ganho de Codificação + MAC: 4.

# Exemplo: Topologia em Roda

## Agenda

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão



- Ganho de Codificação: 2.
- Ganho de Codificação + MAC:  $\infty$  (não limitado).

## Agenda

---

Introdução  
COPE  
Ganhos  
**Detalhes**  
Avaliação  
Conclusão

---

# Detalhes de Implementação

7 de Outubro  
2009

# Algoritmo de Codificação

## Características

- Pacotes não são atrasados.
  - Se não há oportunidade de codificação, os pacotes são enviados normalmente.
- Dá preferência à codificação de pacotes de tamanho semelhante.
  - No entanto, isso não é regra.
- São criadas duas classes: pacotes grandes e pequenos (menos de 100 bytes).
- Nunca serão codificados juntos:
  - Pacotes destinados ao mesmo próximo salto.
  - Pacotes gerados no próprio nó.

### Agenda

---

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão

---

7 de Outubro  
2009

# Algoritmo de Codificação (Cont.)

## Agenda

---

- Introdução
- COPE
- Ganhos
- Detalhes
- Avaliação
- Conclusão

---

## Busca por Pacotes

- São mantidas filas virtuais por vizinho.
  - Duas para cada.
- O primeiro pacote da fila real é escolhido.
- As filas virtuais são percorridas, buscando oportunidades de codificação.
  - Primeiro às de tamanho semelhante, depois de tamanho diferente.

## Probabilidade de Decodificação

- Para  $n$  pacotes codificados:

$$P_D = P_1 \times P_2 \times \cdots \times P_{n-1}$$

# Algoritmo de Codificação

## Agenda

Introdução

COPE

Ganhos

Detalhes

Avaliação

Conclusão

## 1 Coding Procedure

Pick packet  $p$  at the head of the output queue.

Natives =  $\{p\}$

Nexthops =  $\{nextHop(p)\}$

**if**  $size(p) > 100$  bytes **then**

    which\_queue = 1

**else**

    which\_queue = 0

**end if**

**for** Neighbor  $i = 1$  to  $M$  **do**

    Pick packet  $p_i$ , the head of virtual queue  $Q(i, which\_queue)$

**if**  $\forall n \in Nexthops \cup \{i\}, Pr[n \text{ can decode } p \oplus p_i] \geq G$  **then**

$p = p \oplus p_i$

        Natives = Natives  $\cup \{p_i\}$

        Nexthops = Nexthops  $\cup \{i\}$

**end if**

**end for**

which\_queue = !which\_queue

**for** Neighbor  $i = 1$  to  $M$  **do**

    Pick packet  $p_i$ , the head of virtual queue  $Q(i, which\_queue)$

**if**  $\forall n \in Nexthops \cup \{i\}, Pr[n \text{ can decode } p \oplus p_i] \geq G$  **then**

$p = p \oplus p_i$

        Natives = Natives  $\cup \{p_i\}$

        Nexthops = Nexthops  $\cup \{i\}$

**end if**

**end for**

return  $p$

# Pseudo-Broadcast

## Motivação

- Pacotes precisam ser transmitidos para vários vizinhos.
- Nós precisam confirmar o recebimento.

## Solução Proposta

- O quadro é enviado para um dos vizinhos em *unicast*.
- Os demais nós recebem o pacote de forma promiscua.
- A lista completa de receptores é colocada no cabeçalho do quadro.
- *Pseudo-broadcast* é mais confiável que *broadcast*.

### Agenda

---

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão

---



# Hop-By-Hop Acks

## Motivação

- Pacotes codificados podem não ser recebidos por todos os nós.
- Mesmo quando recebidos, os nós podem não ser capazes de decodificá-los.

## Solução Proposta

- Incorporar Acks nos pacotes periódicos de anúncio de pacotes disponíveis.
- O *overhead* de enviar um ack individualmente é muito alto.

### Agenda

---

#### Introdução

#### COPE

#### Ganhos

#### Detalhes

#### Avaliação

#### Conclusão

---

# Evitando Reordenação

## Motivação

- Acks assíncronos podem causar reordenação de segmentos TCP.
- O TCP pode interpretar segmentos fora de ordem como congestionamento.
- Reduz o desempenho.

## Solução Proposta

- Para os pacotes TCP destinados ao nó atual, o COPE verifica a ordem.
- Pacotes só são entregues para a camada superior se não houver “buracos”.
  - Ou até um *timer* expirar.

### Agenda

---

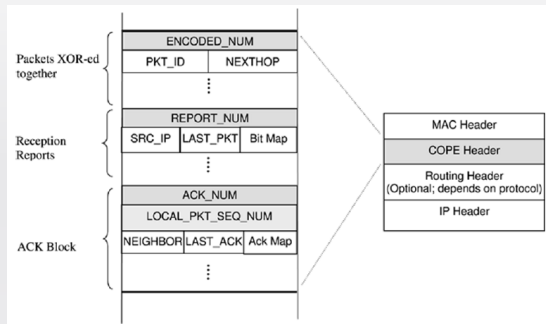
Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão

---

# Formato do Pacote

## Agenda

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão



## Agenda

---

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
**Avaliação**  
Conclusão

---

# Avaliação

7 de Outubro  
2009

# Ambiente de Testes

## Características

- 20 nós em dois andares de um prédio.
- Número de saltos varia de 1 a 6.
- Taxa de perda entre 0% e 30%.
- 802.11a .
- 6Mb/s.

## *Software*

- Click.
- Fila de 100 pacotes.
- Srcr com métrica ETT.
- Libpcap.

### Agenda

---

Introdução

COPE

Ganhos

Detalhes

Avaliação

Conclusão

---

# Ambiente de Testes (Cont.)

## Agenda

---

- Introdução
  - COPE
  - Ganhos
  - Detalhes
  - Avaliação
  - Conclusão
- 

## *Hardware*

- PCs.
- Duas interfaces de rede.
  - Só uma é usada.
- RTS/CTS desabilitado.

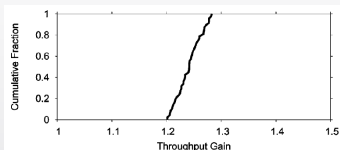
## Modelo de Tráfego

- Fluxos UDP (udpgen).
- Fluxos TCP (ttcp).
  - Longos ou curtos.

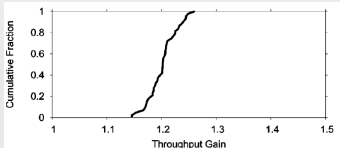
# TCP: Topologias Simples

## Agenda

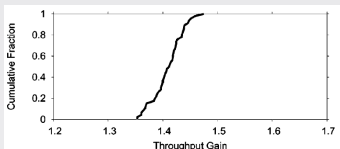
Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão



(a) Alice-and-Bob



(b) Topologia em X

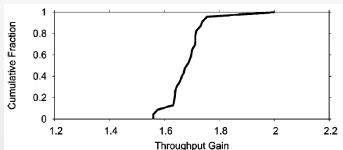


(c) Topologia em cruz

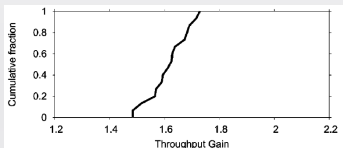
# UDP: Topologias Simples

## Agenda

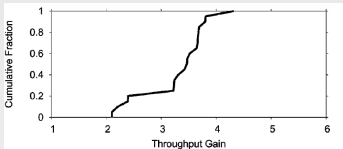
Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão



(a) Alice-and-Bob



(b) Topologia em X



(c) Topologia em cruz



# Efeitos das Colisões

## Agenda

Introdução

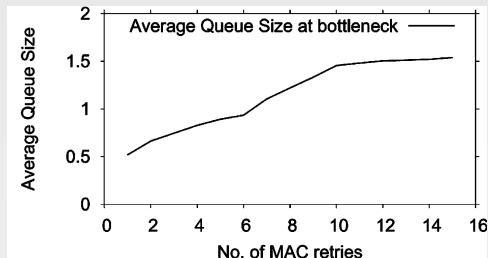
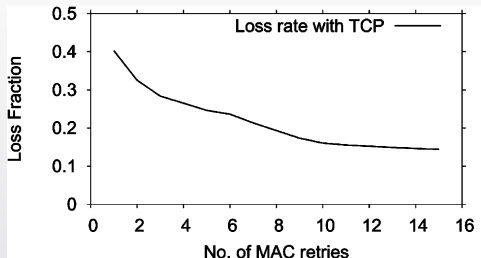
COPE

Ganhos

Detalhes

Avaliação

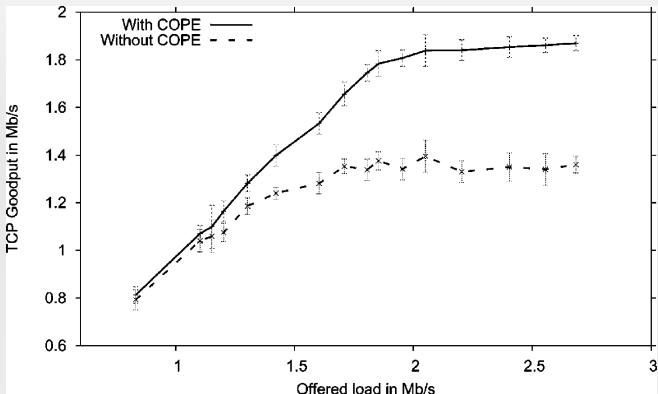
Conclusão



# TCP sem Terminais Escondidos

## Agenda

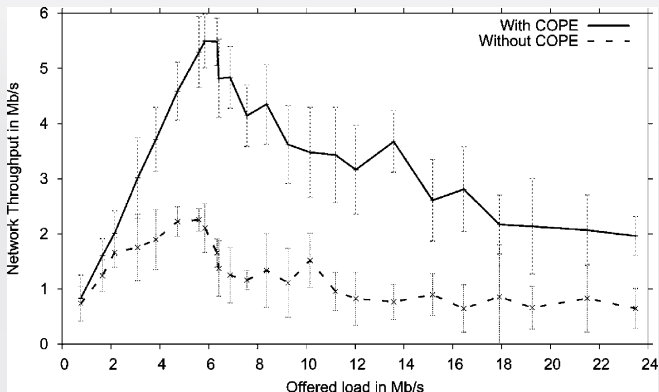
- Introdução
- COPE
- Ganhos
- Detalhes
- Avaliação
- Conclusão



# UDP no Cenário em Larga Escala

## Agenda

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão



# Resultados Sobre a Codificação

## Agenda

Introdução

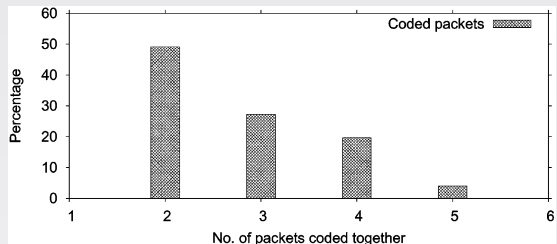
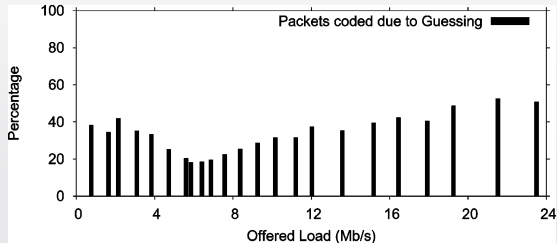
COPE

Ganhos

Detalhes

Avaliação

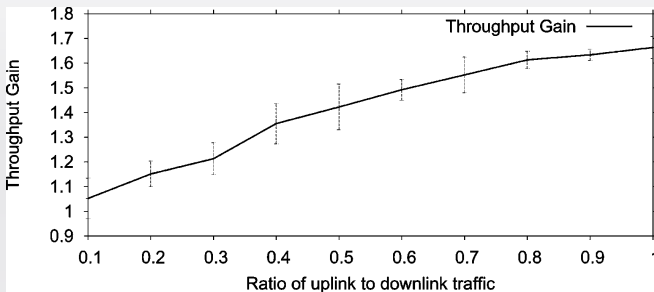
Conclusão



# TCP em Rede de Acesso

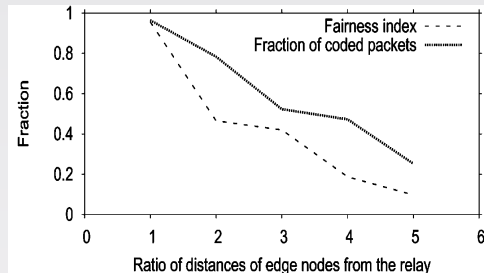
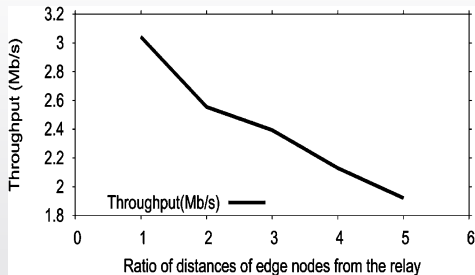
## Agenda

- Introdução
- COPE
- Ganhos
- Detalhes
- Avaliação
- Conclusão



## Agenda

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão



## Agenda

---

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão

---

# Conclusão

7 de Outubro  
2009

# Considerações

## Aplicabilidade

- Dispositivos sem restrições de recursos.
- Grande capacidade de memória.
- Antenas omni-direcionais.
- Sem restrições de energia.

## Outros Tipos de Rede

- Outros protocolos de camada de enlace.
  - WiMax.
  - TDMA.
- Redes de sensores.
  - Menos transmissões, menor gasto energético.
- Celular.
  - Menores custos.

### Agenda

---

Introdução  
COPE  
Ganhos  
Detalhes  
Avaliação  
Conclusão

---