GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Cache-aware Named-data Forwarding in Internet of Things

Autores: Zhao Zhang, Huadong Ma e Liang Liu

IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 2015

Programa de Engenharia Elétrica - PEE/COPPE/UFRJ
Universidade Federal do Rio de Janeiro

COPPE UFRJ

Sumário

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Introdução
- Proposta
- Implementação e resultados
- Conclusão e trabalhos futuros
- Avaliação

COPPE UFRJ

Introdução

Alguns problemas no encaminhamento de dados em redes NDN-IoT:

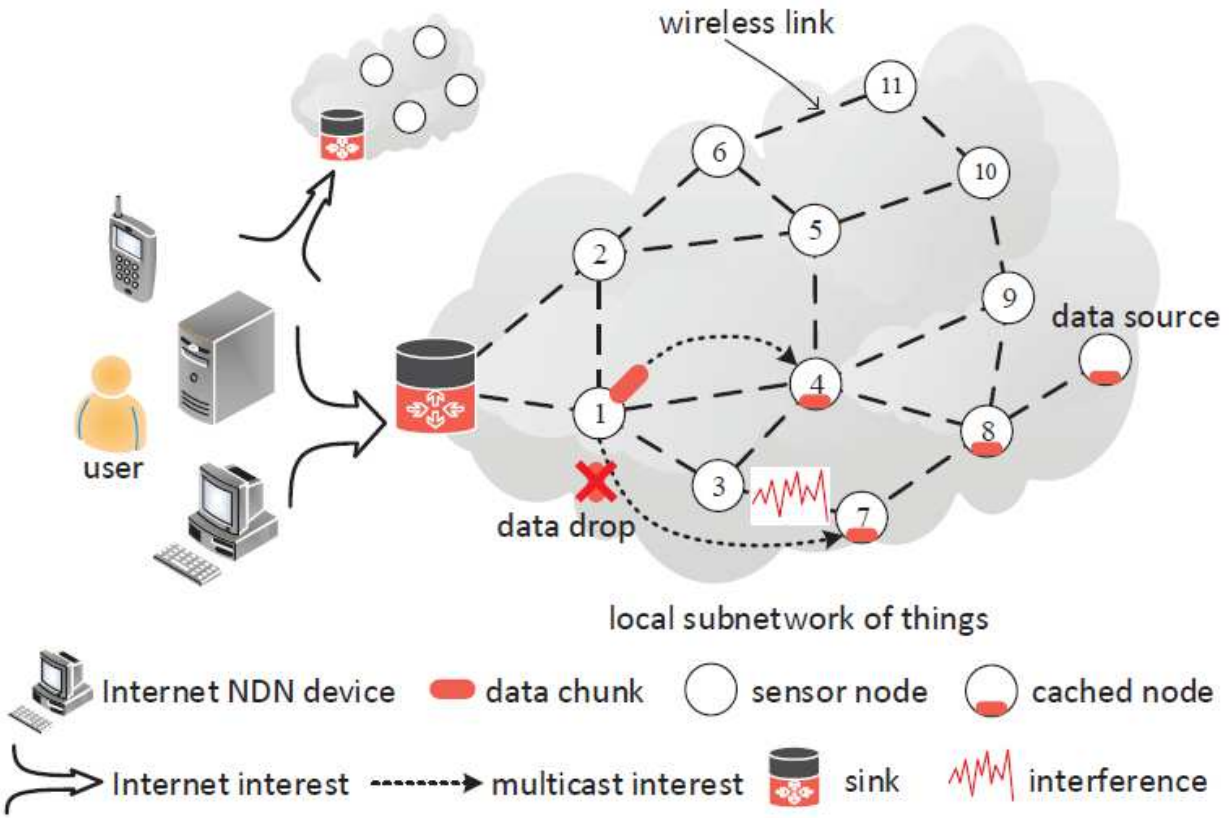


Fig. 1. Multicast forwarding scene in Internet of Things.

Introdução

Alguns problemas no encaminhamento de dados em redes NDN-IoT:

Descarte de pacotes

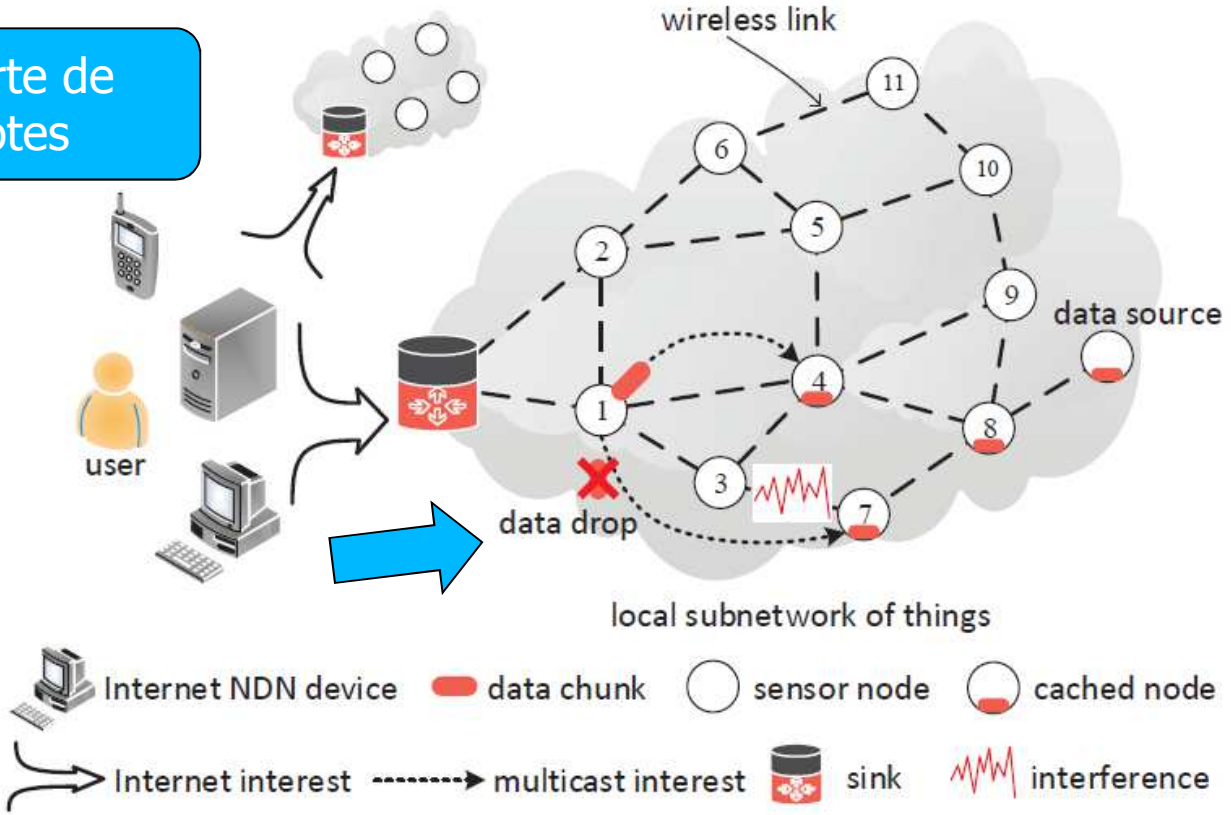
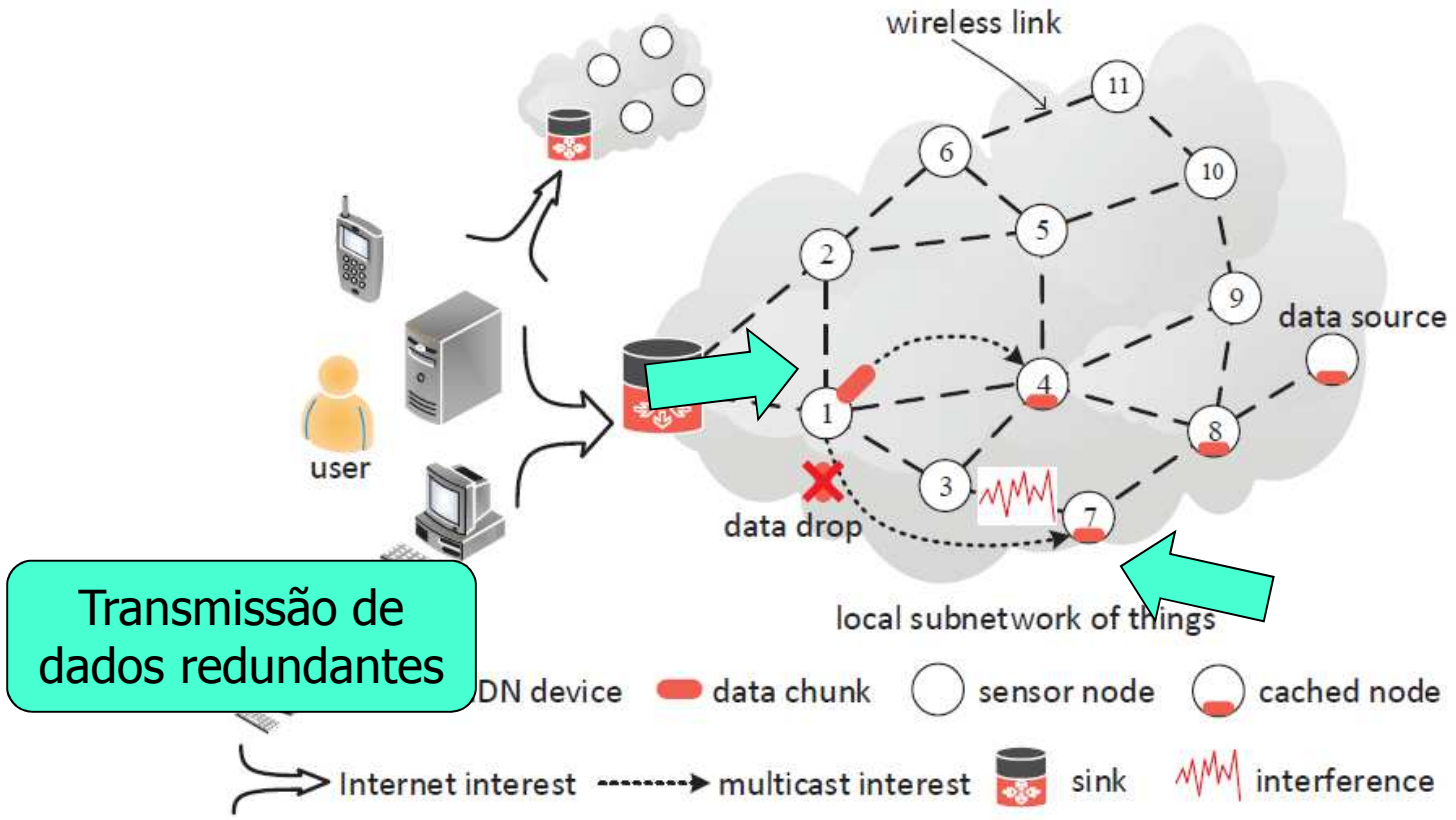


Fig. 1. Multicast forwarding scene in Internet of Things.

Introdução

Alguns problemas no encaminhamento de dados em redes NDN-IoT:



Transmissão de dados redundantes

Fig. 1. Multicast forwarding scene in Internet of Things.

Introdução

Alguns problemas no encaminhamento de dados em redes NDN-IoT:

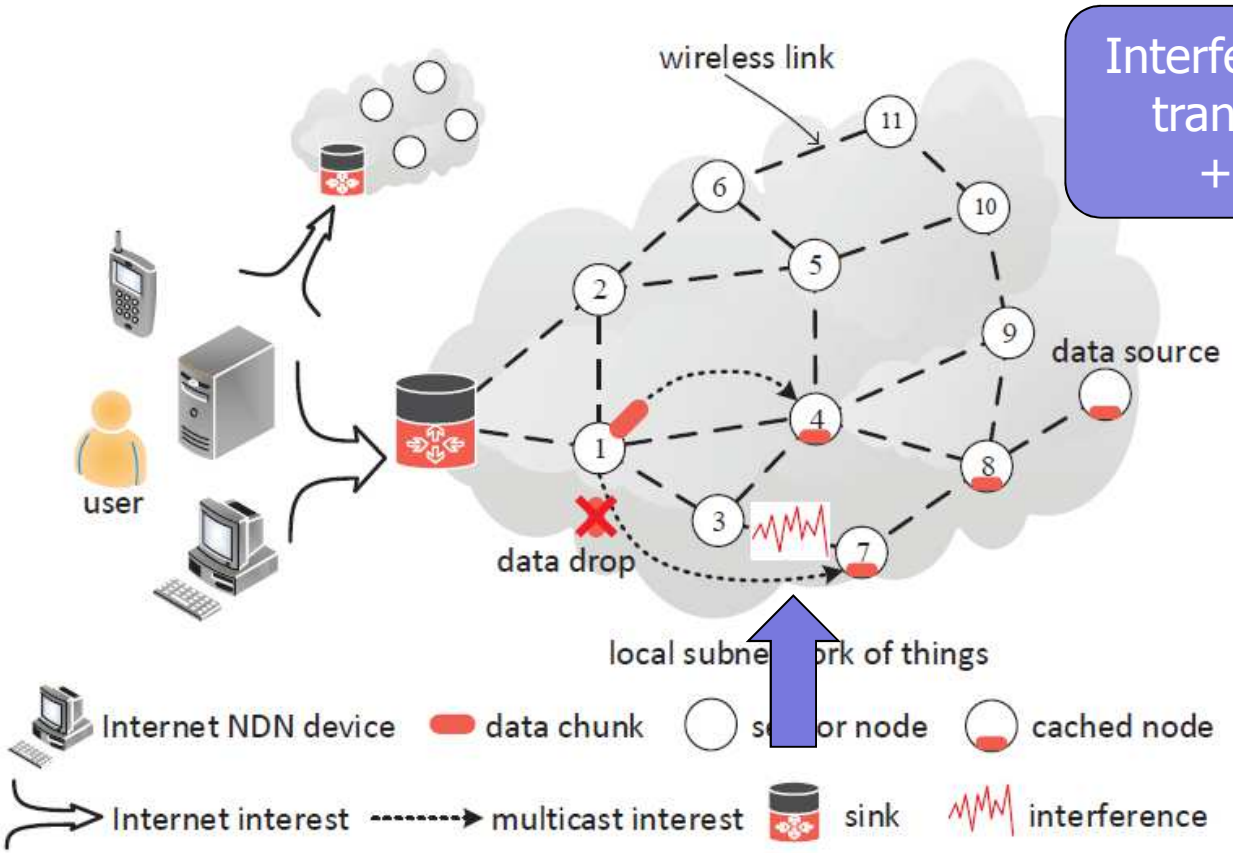


Fig. 1. Multicast forwarding scene in Internet of Things.

Introdução

Alguns problemas no encaminhamento de dados em redes NDN-IoT:

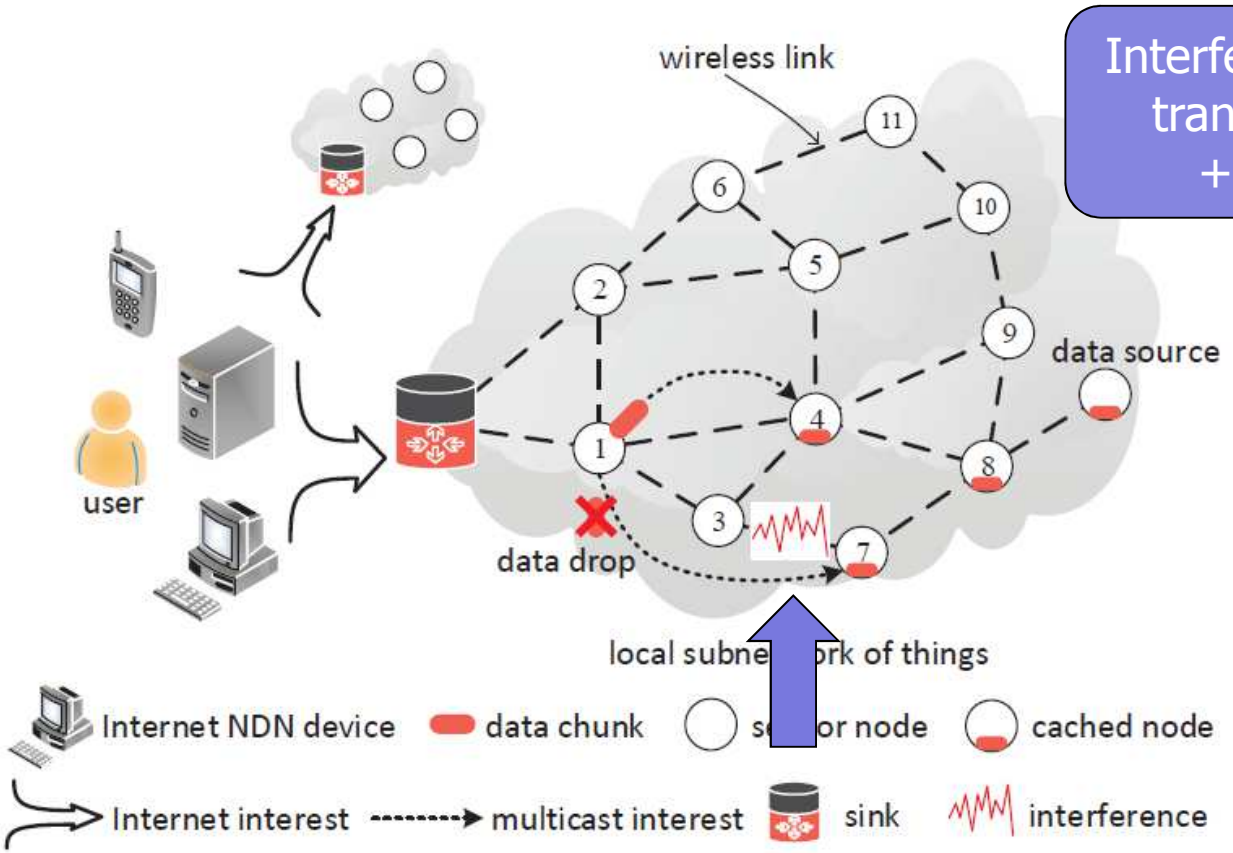


Fig. 1. Multicast forwarding scene in Internet of Things.

Introdução

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Motivação:

- Dispositivos IoT possuem restrição de recursos:
    - Evitar *hits* inválidos de cache e *overhead* na comunicação;
- Desenvolver mecanismo de encaminhamento mais eficiente em rede NDN-IoT
    - Uso da estimativa de tempo de cache do conteúdo nos próximos saltos;

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Principal objetivo: O principal objetivo do trabalho é reduzir o número de pacotes encaminhados e garantir taxa de hits de conteúdo válido em cache;

- Usa um modelo estocástico para calcular o tempo médio de cache do conteúdo nos dispositivos;
- A informação de tempo médio (T) é inserida nas tabelas FIB;
- Os nós usam o modelo para prever se o dado requisitado pode ser encontrado no próximo nó em direção à fonte do conteúdo;

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Modelo de tempo em Cache

Premissas e definições:

T → Tempo estimado que um conteúdo existe no cache do próximo nó em direção à fonte;

λ → Taxa de chegada de pacotes de interesse no nó *sink* (Distribuição Poisson);

s → Dado sensorial individual do nó k (s = 1, 2, 3, ..., N). Os eventos de Interesse para cada s são independentes em cada sensor;

N → Tamanho do espaço amostral do dado. Corresponde ao número de nomes de Interesses distintos. Também igual a N;

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Modelo de tempo em Cache

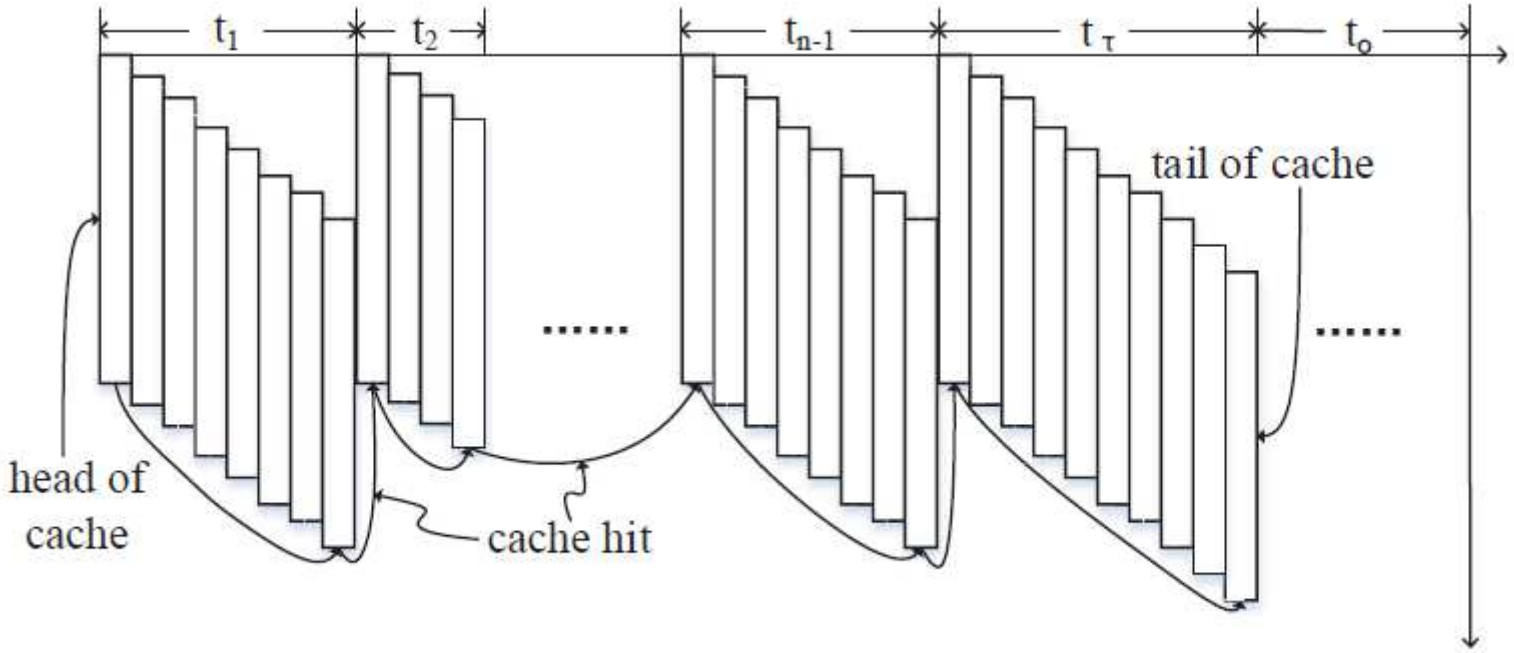


Fig. 3. Moving process of a sensory data at any IoT node.

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Modelo de tempo em Cache

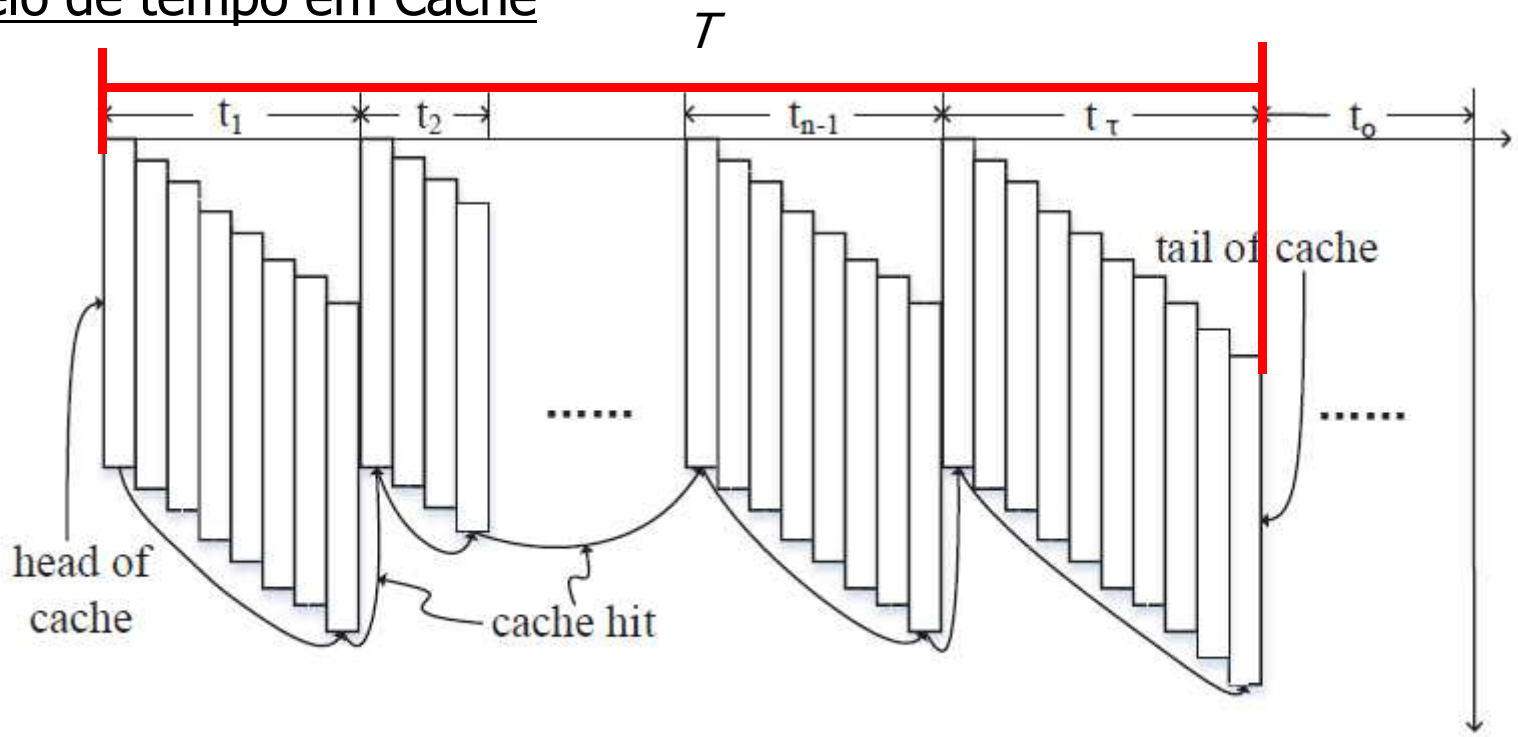


Fig. 3. Moving process of a sensory data at any IoT node.

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Modelo de tempo em Cache

Objetivo é calcular *T*, tempo que dado s existe em cache no próximo nó em direção à fonte;

- 1º passo: Calcular T_s^m -> tempo entre dois despejos do dado s;

T_s^m é composto de uma sequência de tempos aleatórios $t_1, t_2, \cdots, t_{n-1}$

mais o período especial $t_\tau + t_o$.

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Modelo de tempo em Cache

T_s^m depende da probabilidade de chegada novo dado s que depende da chegada de pacote de Interesse;

- Pode ser calculado com técnica de aproximação Che's τ_s

$$T_s^m = \lambda_s^{-1} e^{\lambda_s \tau_s} = (\lambda_s^m)^{-1}$$

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Modelo de tempo em Cache

Da figura 3:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} t_i + t_\tau = T^m - t_o$$

Para obter T, é necessário calcular t_o

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Modelo de tempo em Cache

Usando a aproximação 2 da equação de Che [17]:

$$t_o = E[T^l] - t_{\tau_s}$$

Termo pode ser calculado pela equação de Che

Então: $$T = (\lambda_s^m)^{-1} - (E[T^l] - t_{\tau_s})$$

COPPE UFRJ

Proposta

Esquema de encaminhamento da proposta:

- Como usar T para tornar o encaminhamento mais eficiente na rede IoT?

Proposta

Esquema de encaminhamento da proposta:

- Como usar T para tornar o encaminhamento mais eficiente na rede IoT?

Mudanças nas listas	
PIT	O pacote de Interesse recebido é processado pela PIT antes da Content Store;
FIB	São considerados prefixos de nomes nas FIBs. Cada um com lista de interfaces correspondentes. Cada interface tem uma lista de sufixos e o tempo T;
SNUI	Cada nó grava ciclicamente o *Status of the Next Upstream Interface*. Informações sobre as taxas de hits nos próximos nós;

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Algorithm 1 Interest Processing

Input: Interest

1: **if** PitEntry ← PitFind(Interest.Name) **then**
2: **if** Interest.Nonce ∈ PitEntry.NonceList **then**
3: Add Interest.Interface to PitEntry.Incoming
4: Stop Processing
5: **else**
6: Add Interest.Nonce to PitEntry.Incoming
7: Count InterestIn λ_{ks} and N
8: **end if**
9: **else**
10: Count InterestIn λ_{ks} and N
11: **end if**
12: **if** Data ← CS.Find(Interest.Name) **then**
13: Add InterestIn $\lambda_{k's}$ and InterestOut $\lambda^m_{k's}$ to Data
14: Delete PitEntry, Send Data and Update CS
15: **else**
16: PitEntry ← Pit.Add(Interest)
17: Forward(Interest, FibEntry)
18: Count InterestOut λ^m_{ks}
19: **end if**

Procura match para o Interesse na PIT

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Algorithm 1 Interest Processing

Input: Interest

1: **if** PitEntry ← PitFind(Interest.Name) **then**
2: **if** Interest.Nonce ∈ PitEntry.NonceList **then**
3: Add Interest.Interface to PitEntry.Incoming
4: Stop Processing
5: **else**
6: Add Interest.Nonce to PitEntry.Incoming
7: Count InterestIn λ_{ks} and N
8: **end if**
9: **else**
10: Count InterestIn λ_{ks} and N
11: **end if**
12: **if** Data ← CS.Find(Interest.Name) **then**
13: Add InterestIn $\lambda_{k's}$ and InterestOut $\lambda^m_{k's}$ to Data
14: Delete PitEntry, Send Data and Update CS
15: **else**
16: PitEntry ← Pit.Add(Interest)
17: Forward(Interest, FibEntry)
18: Count InterestOut λ^m_{ks}
19: **end if**

Atualiza a PIT, N e λ_{ks}

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Algorithm 1 Interest Processing

Input: Interest

1: **if** PitEntry ← PitFind(Interest.Name) **then**
2: **if** Interest.Nonce ∈ PitEntry.NonceList **then**
3: Add Interest.Interface to PitEntry.Incoming
4: Stop Processing
5: **else**
6: Add Interest.Nonce to PitEntry.Incoming
7: Count InterestIn λ_{ks} and N
8: **end if**
9: **else**
10: Count InterestIn λ_{ks} and N
11: **end if**
12: **if** Data ← CS.Find(Interest.Name) **then**
13: Add InterestIn $\lambda_{k's}$ and InterestOut $\lambda^m_{k's}$ to Data
14: Delete PitEntry, Send Data and Update CS
15: **else**
16: PitEntry ← Pit.Add(Interest)
17: Forward(Interest, FibEntry)
18: Count InterestOut λ^m_{ks}
19: **end if**

Procura dado na CS. Inclui parâmetros no pacote de dados.

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Algorithm 1 Interest Processing

Input: Interest

1: **if** PitEntry ← PitFind(Interest.Name) **then**
2: **if** Interest.Nonce ∈ PitEntry.NonceList **then**
3: Add Interest.Interface to PitEntry.Incoming
4: Stop Processing
5: **else**
6: Add Interest.Nonce to PitEntry.Incoming
7: Count InterestIn λ_{ks} and N
8: **end if**
9: **else**
10: Count InterestIn λ_{ks} and N
11: **end if**
12: **if** Data ← CS.Find(Interest.Name) **then**
13: Add InterestIn $\lambda_{k's}$ and InterestOut $\lambda^m_{k's}$ to Data
14: Delete PitEntry, Send Data and Update CS
15: **else**
16: PitEntry ← Pit.Add(Interest)
17: Forward(Interest, FibEntry)
18: Count InterestOut λ^m_{ks}
19: **end if**

Envia pacote de interesse (ver algtm. 3)

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Algorithm 2 Data Processing

Input: Data

1: Get InterestIn λ_{ks} and InterestOut λ_{ks}^{m}
2: Calculate Caching Time T_{ks} of the Next Upstream Node
3: **if** PitEntry $\leftarrow$ PitFind(Data.Name) **then**
4: Add InterestIn $\lambda_{k's}$ and InterestOut $\lambda_{k's}^{m}$ to Data
5: Send Data, Delete PitEntry and Update CS
6: **else**
7: Return and Drop Data
8: **end if**

COPPE UFRJ

Proposta

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Algorithm 3 Cache-aware Forwarding Scheme

Input: Interest

```
1:  if FibPrefix ← FibFind(Interest.Name) then
2:    if FibSuffix ← FibSuffixFind(Interest.name) then
3:      if 0 ≠ CacheTimeFind(FibInterfaceEntry, interest.name) then
4:        if 1 == CacheTimeNumFind(FibInterfaceEntry, interest.name) then
5:          Send Interest to UpstreamNode
6:        else
7:          Send Interest to Probabilistic UpstreamNode
8:        end if
9:      else
10:       Send Interest to Probabilistic UpstreamNode
11:     end if
12:   else
13:     Multicast to UpstreamNode
14:   end if
15: else
16:   Return and Drop Interest
17: end if
```

COPPE UFRJ

Implementação e Resultados

Comparação entre 3 propostas:

- Cache-Aware Forwarding (CF);
- NDN Multicast Forwarding (MF);
- Probatilistic Forwarding (PF);

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Comparação entre 3 propostas:

- Cache-Aware Forwarding (CF);
- NDN Multicast Forwarding (MF); → Envia o pacote de Interesse para todas interfaces que aparecem na FIB;
- Probatilistic Forwarding (PF);

COPPE UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Comparação entre 3 propostas:

- Cache-Aware Forwarding (CF);
- NDN Multicast Forwarding (MF);
- Probatilistic Forwarding (PF);

Envia o pacote de Interesse para uma interface. Escolhe entre as interfaces na FIB baseado em distribuição equivalente de probabilidade;

COPPE UFRJ

Implementação e Resultados

- Realizaram integração de NDN no sistema tinyOS;
- Topologia é a mesma da Fig. 1;

Implementação e Resultados

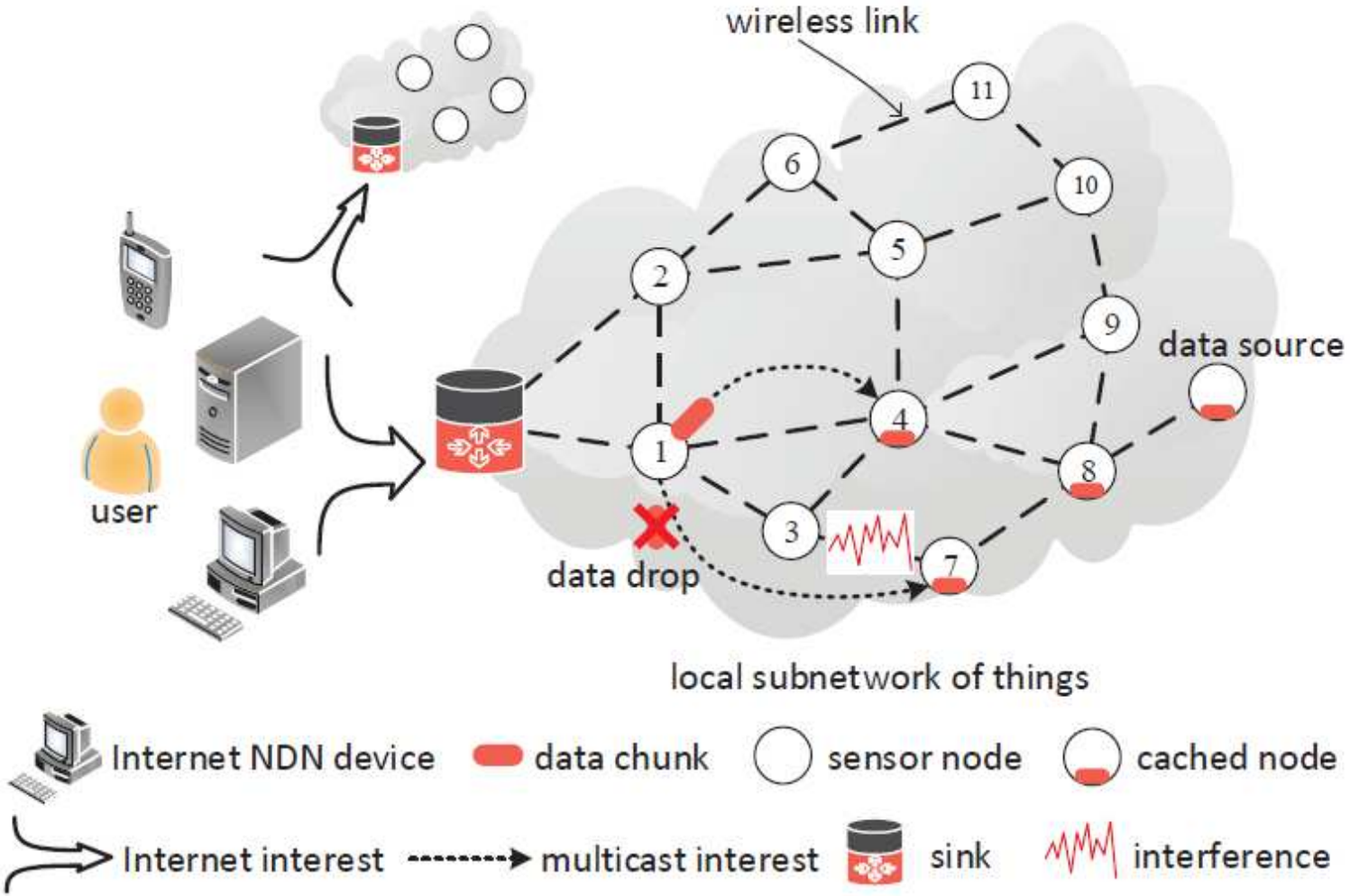


Fig. 1. Multicast forwarding scene in Internet of Things.

Implementação e Resultados

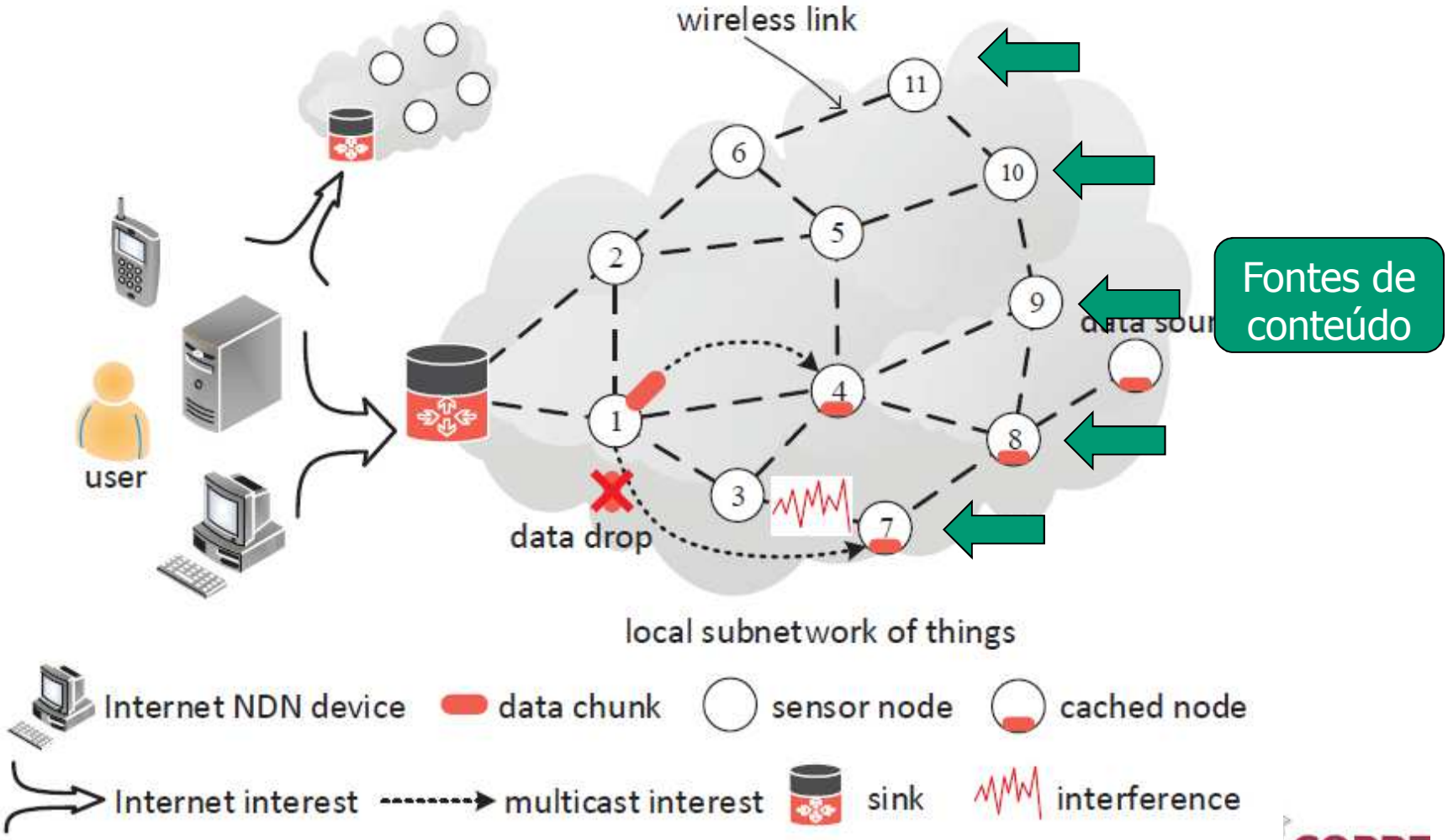


Fig. 1. Multicast forwarding scene in Internet of Things.

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- O espaço amostral dos dados dos conteúdos (N) está uniformemente distribuído pelas 5 fontes;
- Os testes foram feitos com N = 15 e N = 150;
- O tamanho dos pacotes é de 28 bytes;
- Rota estática é utilizada nas FIBs e há, no máximo, 2 interfaces para cada entrada;

COPPE UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Para tornar o tráfego mais realístico, usaram o parâmetro α da distribuição de popularidade do conteúdo nos valores 0, 0.06 e 1;

- Usuários são conectados ao nó *sink* e geram pacotes de Interesse numa taxa $\lambda = 40$ Int/min

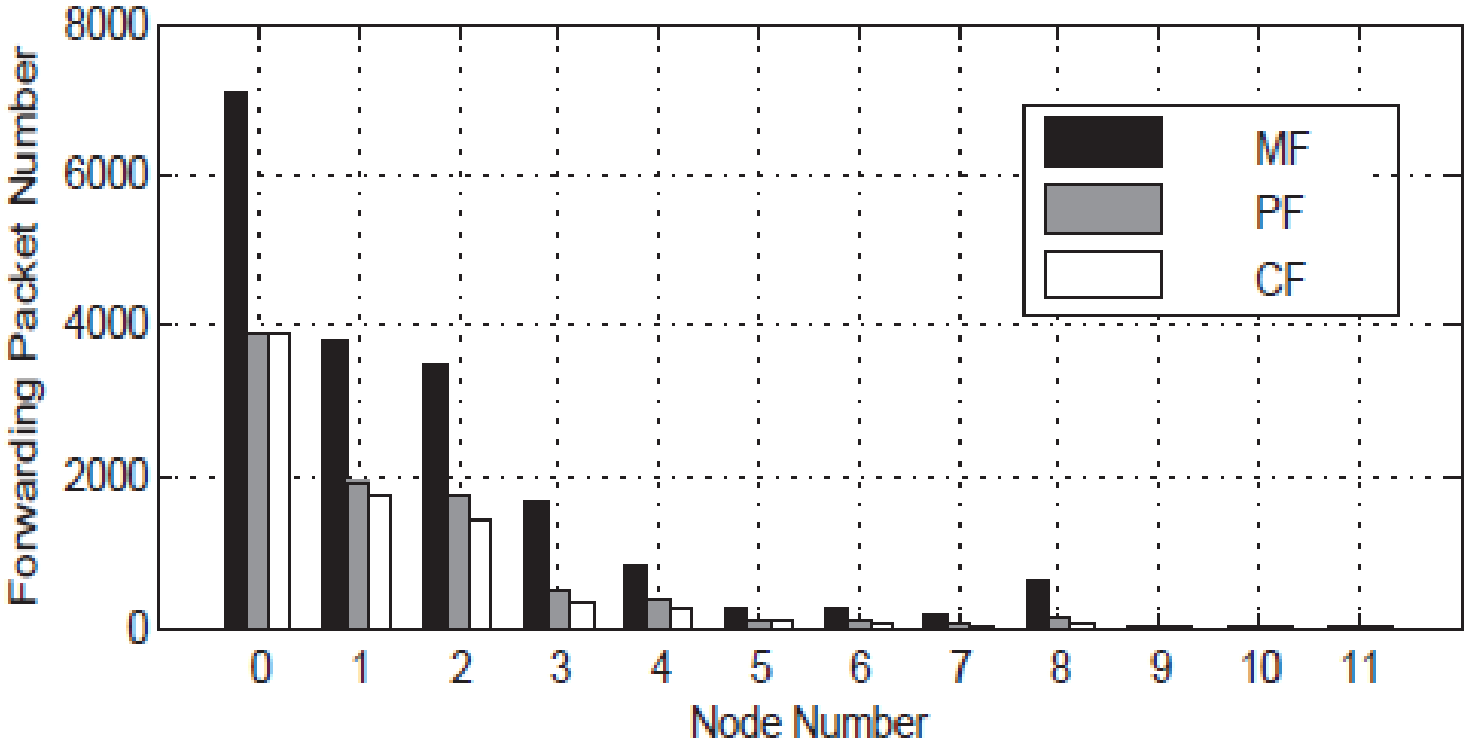
- Os nós divulgam o SNUI para os nós *downstream* a cada 5 minutos;

COPPE UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Total de pacotes encaminhados X Nós



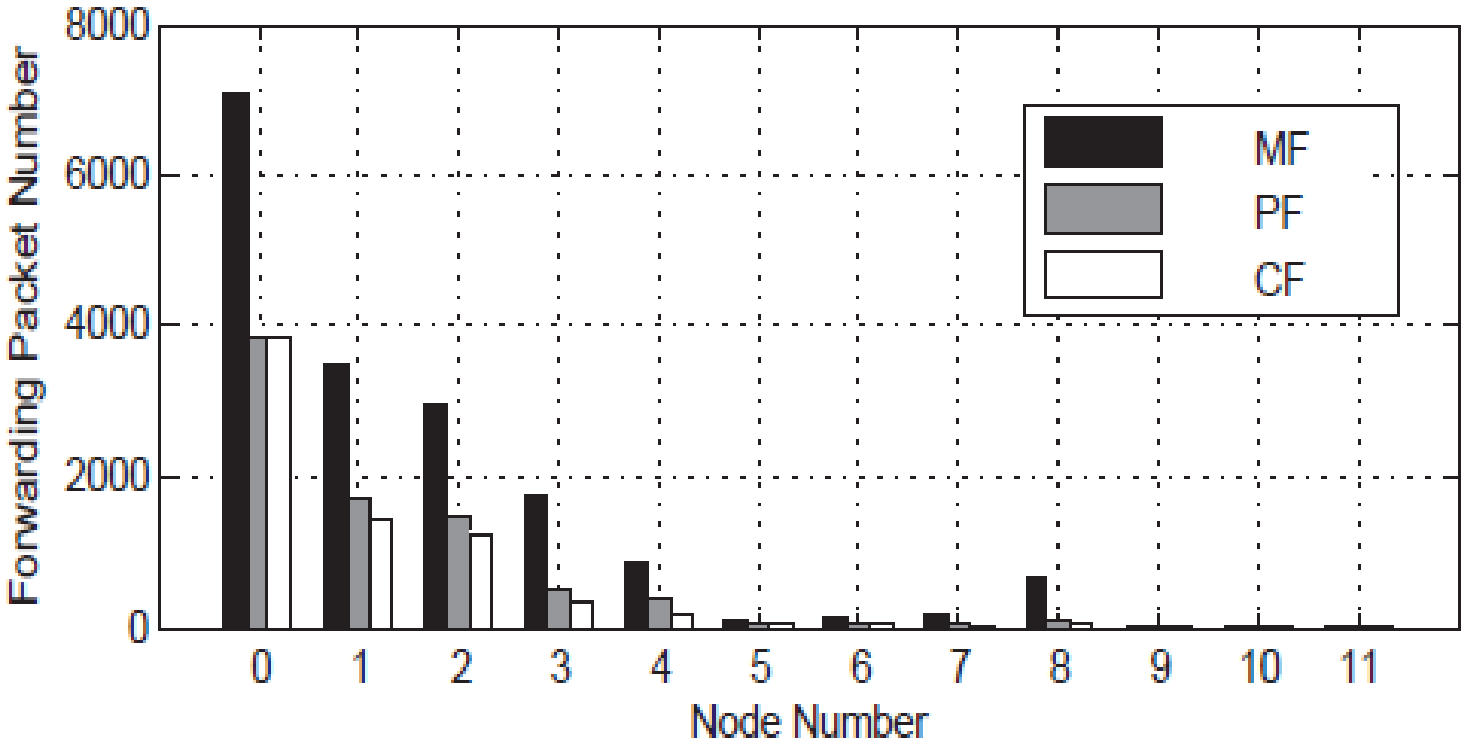
(a) $N = 15, \alpha = 0$

COPPE UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Total de pacotes encaminhados X Nós



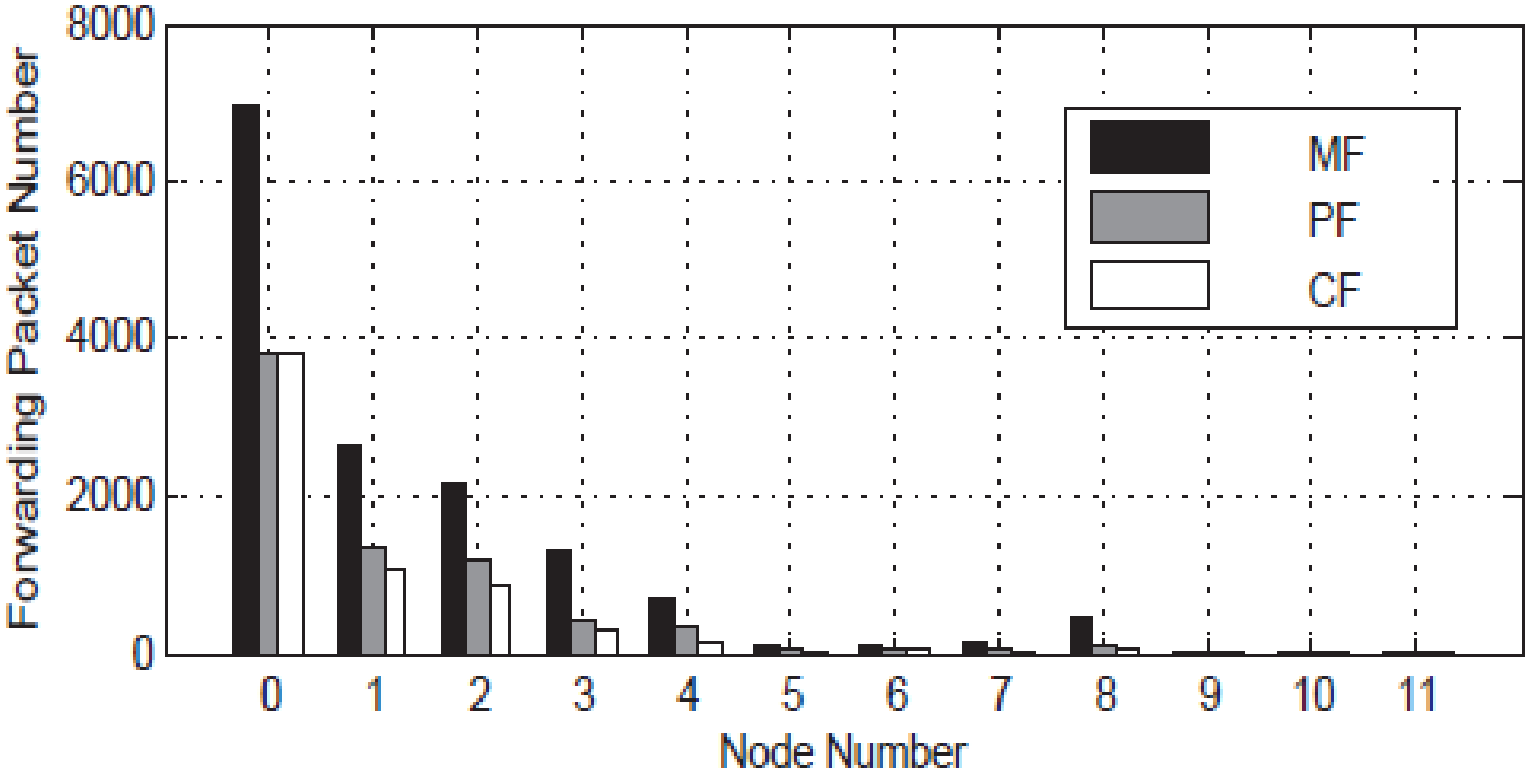
(b) $N = 15, \alpha = 0.6$

COPPE
UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Total de pacotes encaminhados X Nós



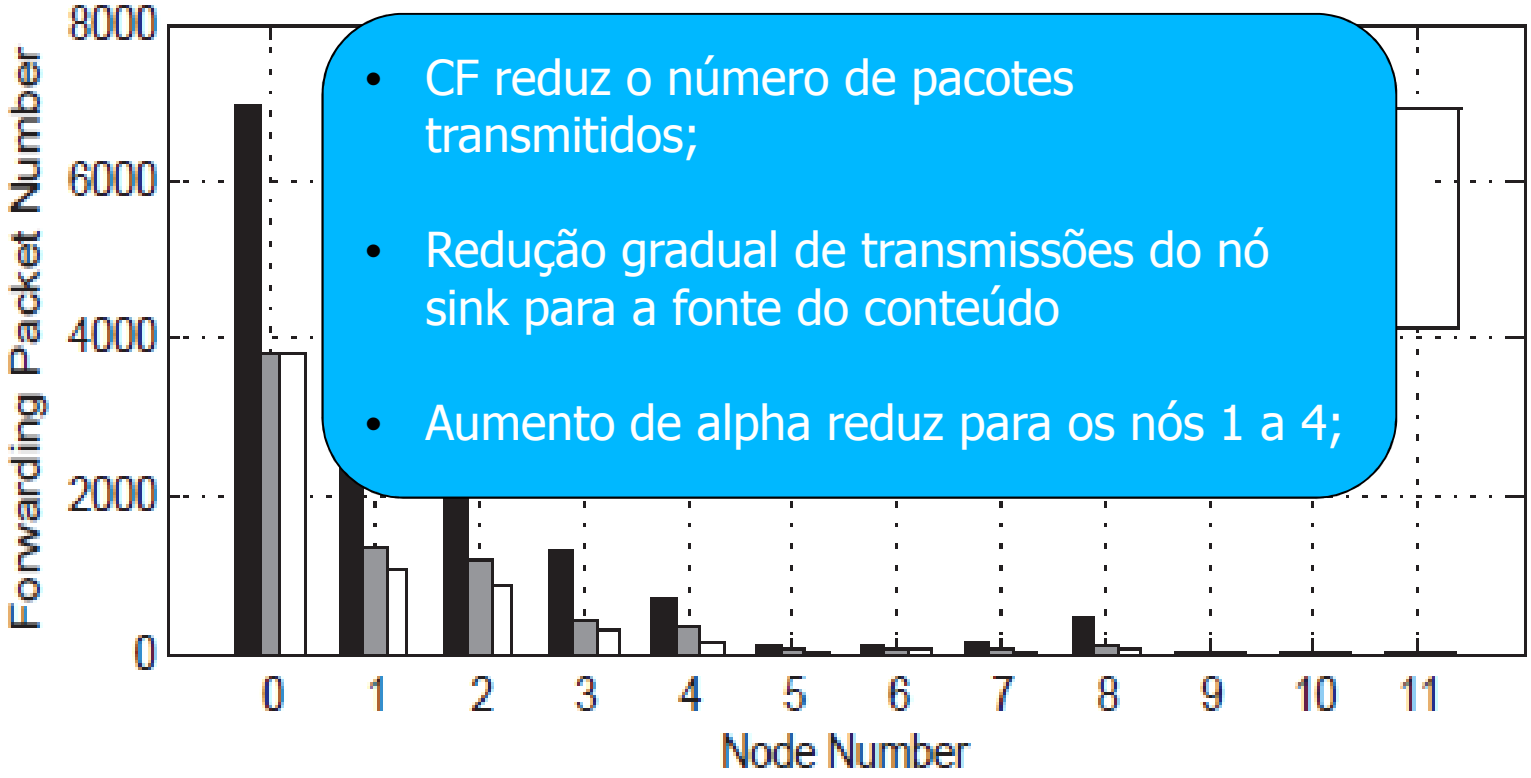
(c) $N = 15, \alpha = 1$

COPPE UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Total de pacotes encaminhados X Nós



- CF reduz o número de pacotes transmitidos;
- Redução gradual de transmissões do nó sink para a fonte do conteúdo
- Aumento de alpha reduz para os nós 1 a 4;

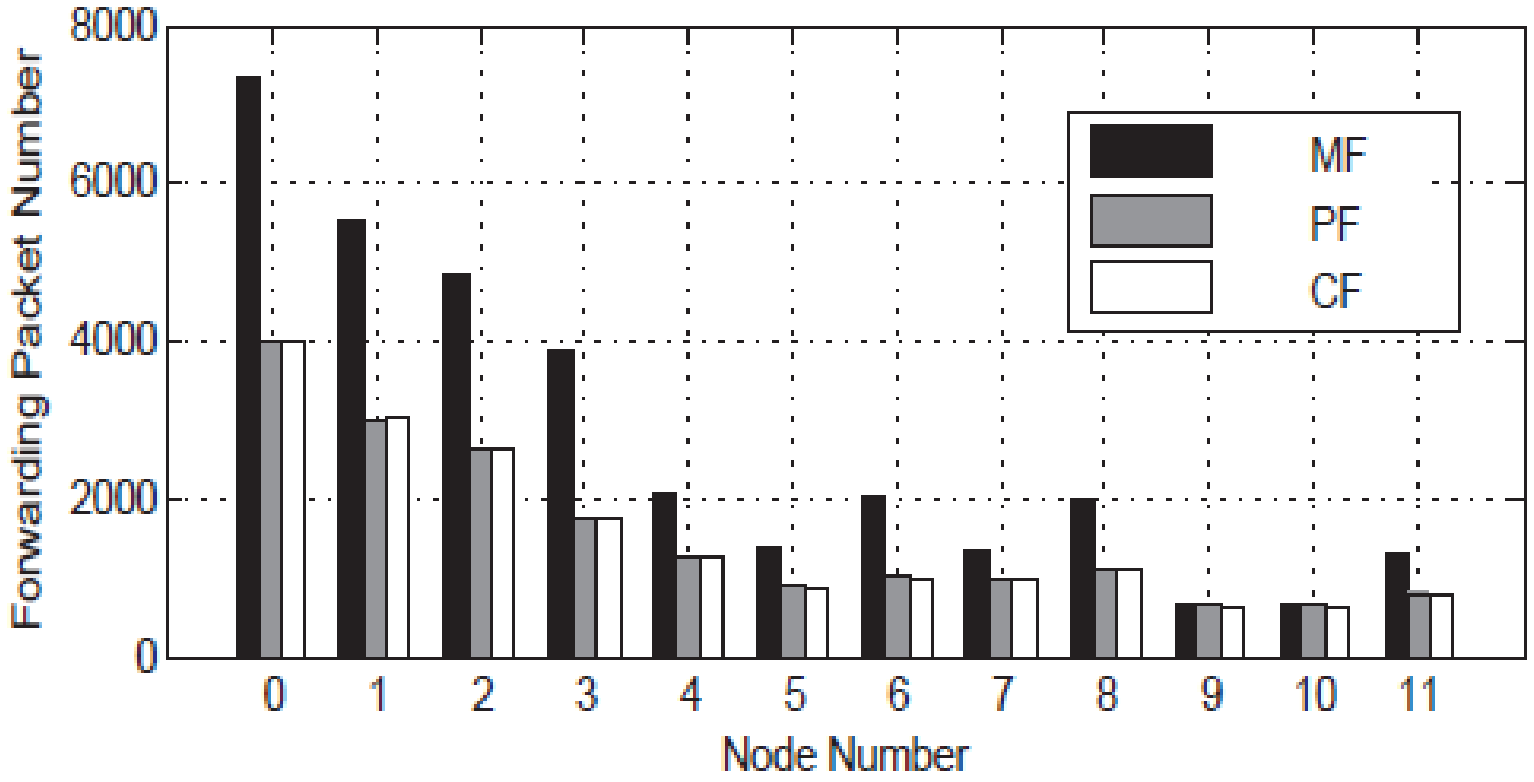
(c) $N = 15, \alpha = 1$

COPPE UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Total de pacotes encaminhados X Nós



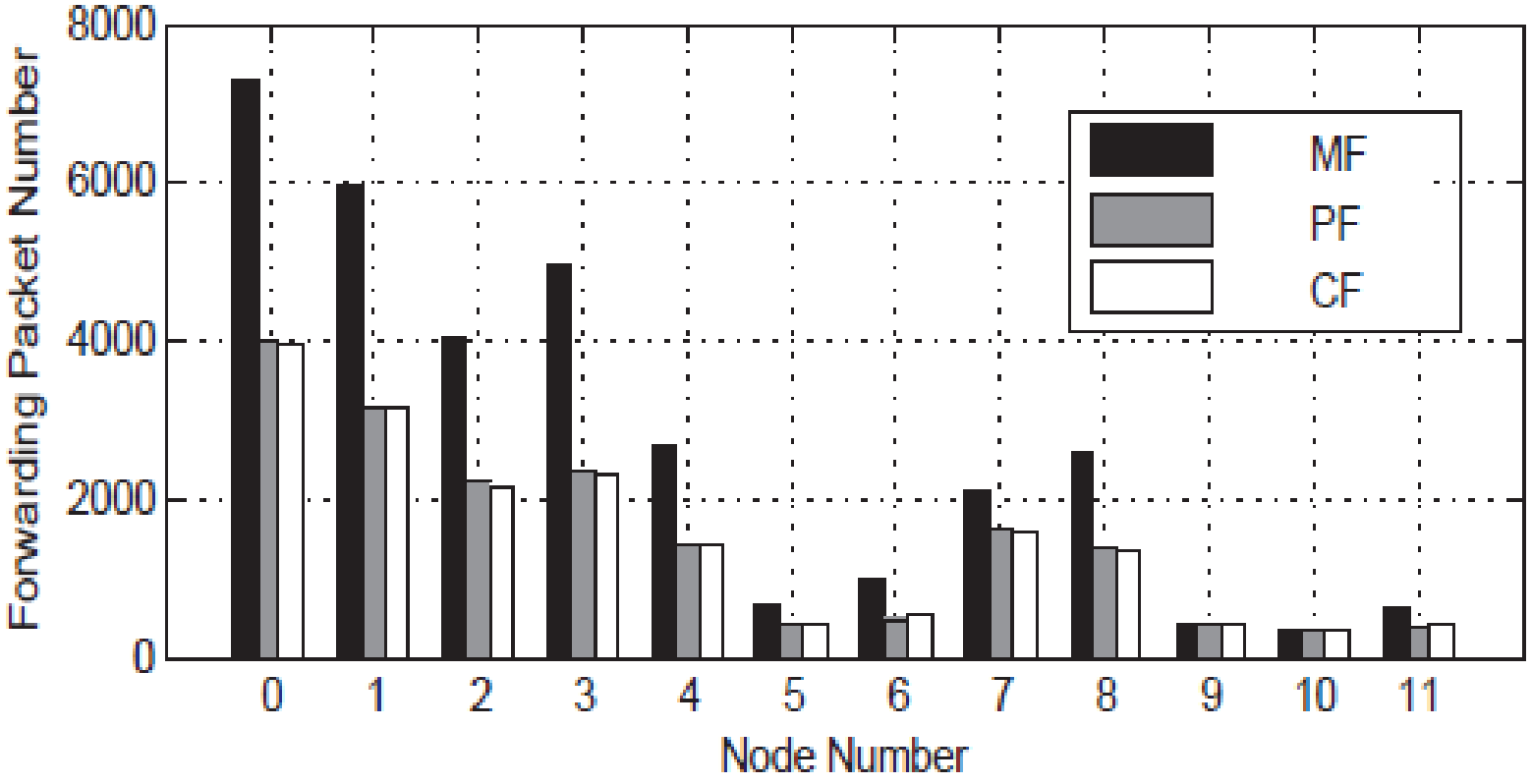
(a) $N = 150, \alpha = 0$

COPPE
UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Total de pacotes encaminhados X Nós



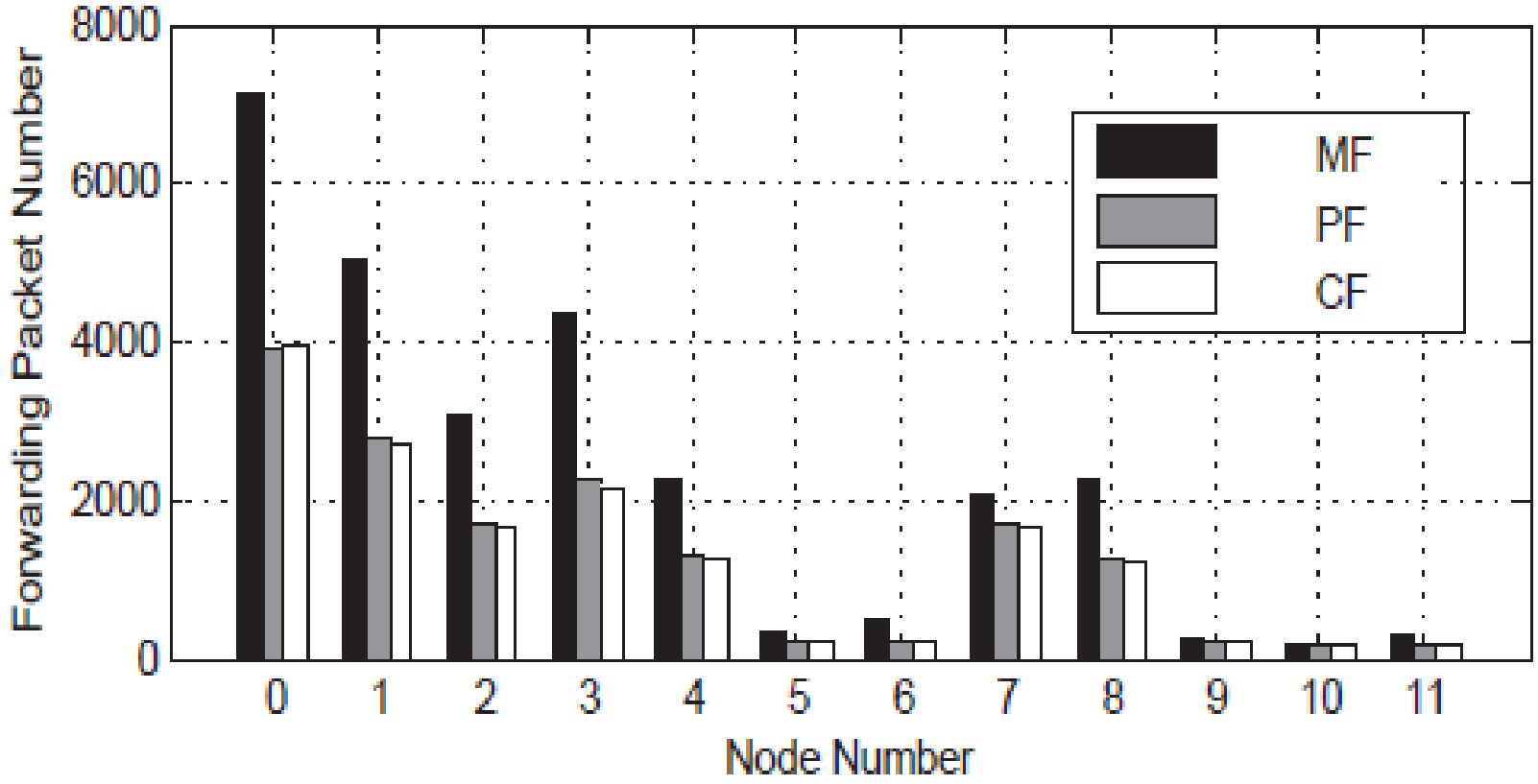
(b) $N = 150, \alpha = 0.6$

COPPE
UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Total de pacotes encaminhados X Nós



(c) $N = 150, \alpha = 1$

COPPE UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Função de distribuição cumulativa do RTT (envio de Interesse / Dado recebido)

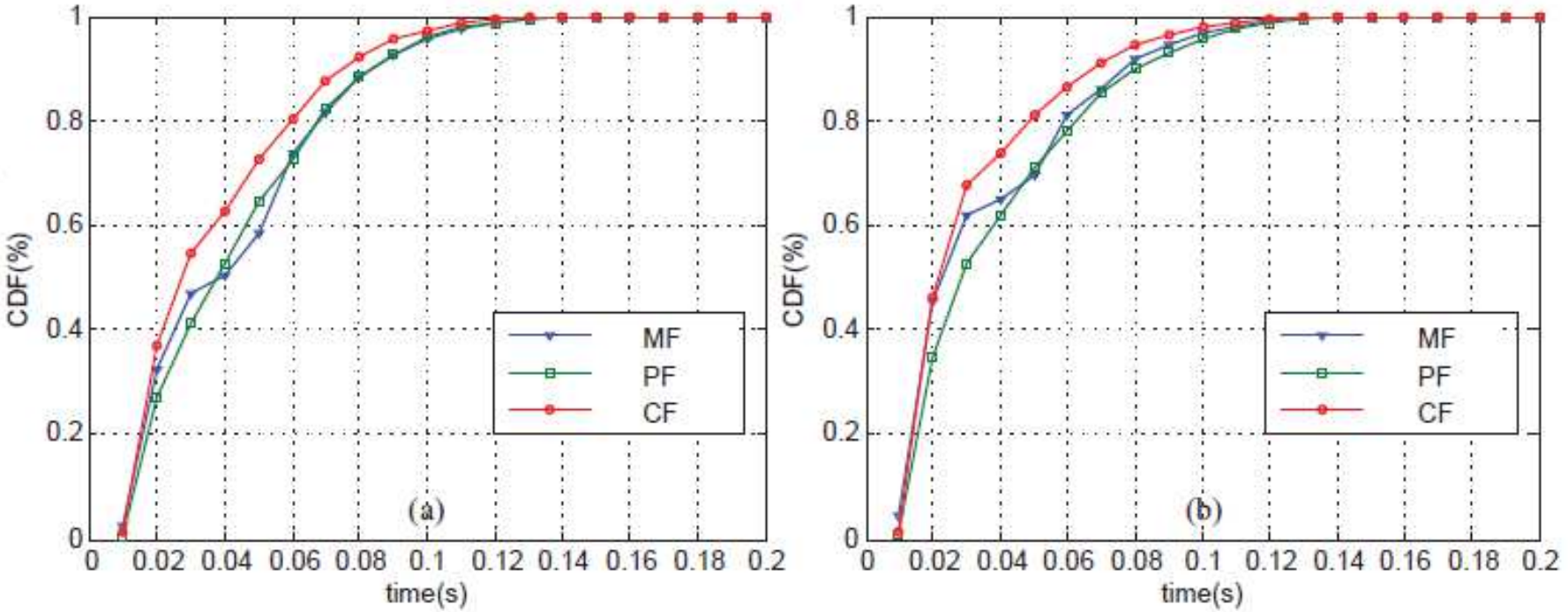


Fig. 7. Cumulative distribution function of round trip time at the sink node when $N = 15$. $(a)\alpha = 0.6, (b)\alpha = 1$

COPPE UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Função de distribuição cumulativa do RTT (envio de Interesse / Dado recebido)

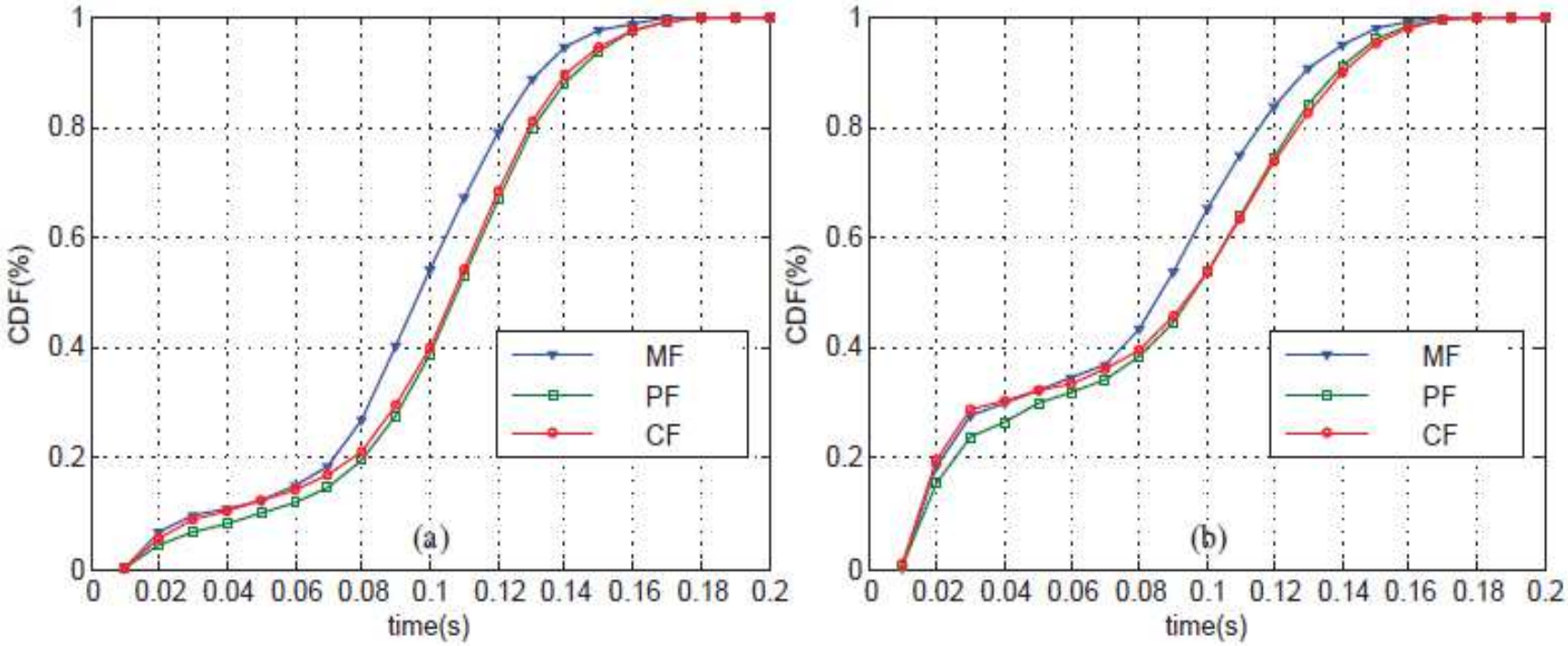


Fig. 8. Cumulative distribution function of round trip time at the sink node when $N = 150$. $(a)\alpha = 0.6, (b)\alpha = 1$

COPPE UFRJ

Implementação e Resultados

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Taxa de hits válidos e Delay médio

TABLE I
SIMULATION RESULTS FOR DIFFERENT SCHEMES

Data Sample Space Size	N=15						N=150					
Zipf Parameter	$\alpha = 0.6$			$\alpha = 1$			$\alpha = 0.6$			$\alpha = 1$		
Scheme Type	MF	PF	CF	MF	PF	CF	MF	PF	CF	MF	PF	CF
Valid Hit Ratio(%)	39.04	98.64	97.57	35.85	97.13	96.38	9.75	98.25	96.75	30.35	93.91	91.91
Average Delay(ms)	42.6	43.5	36.9	35.1	39.1	31.6	92.7	102.9	100.6	76.3	84.2	82.6

COPPE UFRJ

Conclusão e trabalhos futuros

- O objetivo foi alcançado com a redução do tráfego na rede NDN-IoT para coleta de dados e com a redução do tempo para a coleta;
- O esquema é melhor aplicado quando o espaço amostral dos conteúdos desejados não é muito grande;
- Como trabalho futuro apontam realizar mais testes com diferentes espaços amostrais e diferentes tamanhos de rede para analisar a viabilidade do algoritmo;

Avaliação

- Avaliação do trabalho:
  - Forma criativa de utilizar estatística no encaminhamento NDN;
  - Atingiu o objetivo de reduzir o número pacotes encaminhados pela rede NDN-IoT;
  - Não analisou o encaminhamento considerando o valor de T. Apenas considerou se a entrada na FIB possui ou não o valor T;
  - Seria possível usar a informação T como uma métrica em um esquema de roteamento dinâmico na rede NDN-IoT?;

Avaliação

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

- Avaliação do artigo:

Pontos fortes	Pontos fracos
Introduziu uma rica análise estatística no encaminhamento NDN-IoT;	Texto confuso em algumas partes. Algumas cadeias de raciocínio estão reduzidas demais;
Gráficos dos resultados bem apresentados;	Algumas siglas não estão colocadas por extenso;
Boas citações. Congressos relevantes para a área (SIGCOMM, INFOCOM, entre outros);	Não explica como usa o parâmetro SNUI;
	Não explicou muito bem porque seu mecanismo deu menos hits válidos que a proposta PF;

COPPE UFRJ

GTA / UFRJ
GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

Obrigado

COPPE UFRJ