

Aplicações P2P em Redes móveis centradas em Interesses

Hébert F. Moraes, Claudio L. Amorim

¹ Laboratório de Computação Paralela e Sistemas Móveis – COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Caixa Postal 68.511 – Rio de Janeiro – RJ – Brazil

{hmoraes, amorim}@lcp.coppe.ufrj.br

Abstract. Hierarchically structured names used by recent proposals for Information-centric Networking are unsuitable for mobile ad hoc networks (MANETS). In addition, applications for MANETS are typically peer-to-peer (P2P). In this work, we evaluate the alternative introduced by interest-centric MANETS namely Radnets to the development of P2P applications. In a Radnet, nodes send interest messages whose headers contain the node's Prefix coupled with an Interest that is a metadata defined by a P2P application. In addition, Radnets implement a mechanism to support interest-centric communication in the network interface of each node. An evaluation of Radnet performance was carried out using the NS-3 simulator and scenarios with different node densities so as to reproduce situations from isolation of nodes up to localized flooding. In particular, our results showed that the isolation of nodes can be avoided while maintaining the message delivery time low enough and reducing the amount of exchanged packets for a low-density network of 100 nodes distributed randomly. In a scenario of high-density network of 1,000 nodes the amount of transmitted packets was reduced up to 16%. In addition, our implementations of Radnet in Linux (Ubuntu, Android) are publicly available for development of P2P (Pub/Sub) applications.

Resumo. Nomes estruturados hierarquicamente usados por recentes propostas para redes centradas em informação são inadequados para redes móveis ad hoc (acrônimo MANETS em inglês). Ademais, as aplicações em MANETS são tipicamente P2P. Neste trabalho, avaliamos a alternativa introduzida pelas MANETS centradas em Interesses, chamadas Radnets, para o desenvolvimento de aplicações P2P. Em uma Radnet, os nós enviam mensagens cujo cabeçalho contém o prefixo do nó acoplado a um Interesse que é um metadado definido por uma aplicação P2P. Ainda, as Radnets implementam um mecanismo de suporte à comunicação centrada em interesse na Interface de Rede de cada nó. Uma avaliação do desempenho das Radnets foi feita usando o simulador NS-3 e cenários com diferentes densidades de nós de modo a reproduzir situações onde ocorressem desde o isolamento de nós até a inundação localizada. Em particular, os resultados obtidos mostraram que o isolamento pode ser evitado além de manter pequeno o tempo de entrega e reduzir a quantidade de pacotes trocados para uma rede de baixa densidade de 100 nós. No cenário mais denso com 1.000 nós e distribuição aleatória dos nós, a quantidade de pacotes transmitidos foi reduzida em até 16%. Adicionalmente, nossas implementações da Radnet em sistemas baseados em Linux (Ubuntu, Android) estão publicamente disponíveis para o desenvolvimento de aplicações P2P (Pub/Sub).

1. Introdução

Nos últimos anos, redes centradas em informações [Intanagonwiwat et al. 2000, Jacobson et al. 2007, Jacobson et al. 2009] têm sido propostas como um novo paradigma arquitetural para a Internet. Notadamente, o projeto Named Data Networking (NDN) [Jacobson et al. 2009] considera mensagens de dois tipos: pacotes de interesses que os nós consumidores usam para requisitar conteúdos e pacotes de dados que os nós possuidores dos conteúdos de interesse enviam como respostas aos nós consumidores. O endereçamento é feito através do nome do conteúdo inserido em campo reservado em ambos os pacotes, onde o nome (semelhante a uma URL) representa um caminho hierárquico usado diretamente e inversamente para chegar ao produtor e ao consumidor, respectivamente. O resultado é uma nova arquitetura de rede na qual os nomes substituem o convencional endereçamento (e.g., IP) para a identificação de *hosts* produtores/consumidores.

A hierarquia de nomes, porém, não se aplica a redes móveis ad hoc (MANETs), motivando novas propostas [Nordström et al. 2009, Bjurfors et al. 2010, Meisel et al. 2010a, Amadeo and Molinaro 2011, Yu et al. 2013] de protocolos para essas redes. Em particular, o trabalho [Meisel et al. 2010a] propõe um protocolo inspirado em NDN mas adaptado para IC-MANETs. Por outro lado, as MANETs e aplicações P2P têm características e funcionalidades em comum. Essencialmente, ambas são auto-organizáveis e têm topologias dinâmicas e são responsáveis pelo roteamento de mensagens em ambiente distribuído [Oliveira et al. 2005].

Nesse contexto, uma outra alternativa ao uso de hierarquia de nomes é introduzida pelas redes centradas em interesses denominadas Radnets [Dutra et al. 2012]. Em uma Radnet, as mensagens de interesse enviadas na rede são encabeçadas pelo Prefixo Ativo (PA) do nó de origem formado pela combinação de seu prefixo e o interesse de uma aplicação. Especificamente, cada nó gera um prefixo de forma distribuída e cada aplicação define seus interesses, onde um interesse especifica um metadado. Ainda, a Radnet implementa um suporte na Interface de Rede (IR) para efetuar a comunicação centrada em interesse.

Como uma ilustração, considere uma aplicação P2P desenvolvida para Radnets usando o modelo Pub/Sub, onde um publicador anuncia um conteúdo disponível enviando uma mensagem de interesse que inclui seu prefixo para a rede enquanto um assinante em outro nó apenas registra interesses localmente na IR, permitindo preservar sua anonimidade. Em seguida, o protocolo Radnet encaminhará a mensagem de interesse a todos os nós da rede, cuidando para que cada nó receptor da mensagem compare o interesse registrado em sua IR com o interesse de mensagem recebida e se coincidirem ela então será entregue ao assinante correspondente ao referido registro. Em seguida, o assinante poderá usar o prefixo do publicador para enviar uma mensagem de interesse e requisitar diretamente ao publicador o conteúdo anunciado.

Um prefixo (Px) de tamanho $n*m$ bits consiste de n campos e cada campo com m bits. A geração do prefixo atribui um valor a cada campo usando uma distribuição de probabilidade uniforme. Além de identificação, o prefixo também é usado pelo protocolo Radnet para encaminhamento probabilístico de mensagens com garantia de comportamento bimodal similar ao uso de probabilidade pelo protocolo de disseminação de pacotes Gossip [Haas et al. 2006].

Por exemplo, assumamos uma Radnet com prefixos de 20 (5×4) bits composto de 5 campos cada um com 4 bits e uma aplicação Pub/Sub. Suponha que um assinante do nó Px(1) ([1:5:6:2:4]) registre o interesse “Teatro” na IR e um publicador em outro nó Px(2) ([1:3:8:9:1]) envie a mensagem de interesse (PA=[13891][Teatro]) para a rede. Ainda, cada nó receptor Px decide encaminhar ou não uma mensagem PA se pelo menos um dos campos de Px e PA tiverem o mesmo valor. Assim, como ambos Px(1) e Px(2) têm o 1º campo(=1) em comum, o nó 15624 ao recebê-la irá encaminhá-la e também entregá-la ao assinante local devido ao casamento de interesses.

Neste trabalho, avançamos o desenvolvimento das Radnets em duas frentes: protocolo e aplicações Pub/Sub. Na primeira utilizamos novos cenários para avaliar o desempenho do protocolo e enfrentar situações de isolamento de nós e inundação localizada em função da densidade de nós de uma região. Os resultados obtidos mostraram que o isolamento pode ser evitado e ainda manter um baixo tempo de entrega e reduzir a quantidade de pacotes trocados usando uma rede de baixa densidade de 100 nós. Já no maior cenário aleatório usando uma rede com mobilidade e alta densidade com 1000 nós observa-se que a quantidade de pacotes foi reduzida em até 16%.

As contribuições do presente trabalho são: 1) avançar a P&D de Radnets, uma nova proposta de rede centrada em informação para aplicações Pub/Sub em MANETs, e; 2) propor e avaliar soluções para os problemas de inundação localizada e isolamento de nós em Radnets; 3) disponibilizar o código fonte da Radnet e API [Moraes et al. 2012] para outros grupos de P&D na área.

A seguir na Seção 2 serão apresentados os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta a Radnet, suas estruturas e o seu funcionamento. Na Seção 4, a Radnet é confrontada com problemas encontrados nos novos cenários avaliados e soluções. A Seção 5 apresenta a avaliação das soluções propostas nos novos cenários avaliados e uma discussão sobre os resultados obtidos. Por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Na área de MANETs centrada em informação (NDM - *Named Data MANETs*), o trabalho [Meisel et al. 2010a] apresenta uma adaptação do NDN usando o LFBL (*Listen First Broadcast Later*) [Meisel et al. 2010b] sobre o CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*) e o trabalho CHANET [Amadeo and Molinaro 2011] uma proposta sobre o IEEE 802.11. Em ambos, cada nó mantém informações de distância com relação aos nós que contêm dados de um determinado nome. Caso o nó não tenha informações sobre um dado requisitado, pacotes de Interesses são enviados para todos os nós na rede. O trabalho [Yu et al. 2013] apresenta uma proposta para realizar o encaminhamento de pacotes de Interesse, aumentando ou diminuindo a taxa de encaminhamento em um nó de acordo com a quantidade de pacotes de Dados encaminhados pelos seus vizinhos.

Apesar dessas propostas fazerem o uso de conteúdo na disseminação dos dados, todas estas soluções são baseadas na proposta NDN para Internet. Em MANETs algumas características do NDN não são válidas como por exemplo a hierarquia no nome do dado. A proposta da Radnet foca apenas em redes sem infraestrutura e sem hierarquia. A utilização do Prefixo Ativo tem como objetivo contornar a ausência dessa infraestrutura e permitir a comunicação mesmo quando não se têm tabelas de roteamento, dado a

dinamicidade das redes móveis sem fio.

A Radnet segue o modelo Publicador/Subscriber (Pub/Sub) para desenvolvimento de aplicações. Na literatura existem diversos trabalhos [Caporuscio et al. 2003, Huang and Garcia-Molina 2004, Yoo et al. 2009, Nordström et al. 2009, Bjurefors et al. 2010] sobre Pub/Sub e o foco de cada um deles vai desde o mecanismo de comunicação na rede até o modo como a aplicação é executada em cada nó.

O trabalho [Caporuscio et al. 2003] propõe e avalia um mecanismo transparente às aplicações para suportar a mobilidade que ocorre quando estão executando em dispositivos móveis. O projeto é baseado em um cliente *proxy* que assume os registros de um *host* quando ele está desconectado e repassa essas assinaturas para outro ponto de acesso quando o cliente se reconecta. Esta é uma proposta Pub/Sub para redes sem fio móveis usando pontos de acesso e não tem o suporte para redes ad hoc.

O trabalho [Huang and Garcia-Molina 2004] apresenta uma revisão de alguns modelos Pub/Sub centralizados, abordando como cada um realiza a distribuição dos eventos e discute como adaptá-los para ambientes móveis, redes ad hoc e de sensores.

O trabalho [Yoo et al. 2009] propõe um esquema escalável Pub/Sub adequado para redes sem fio ad hoc, levando em conta as seguintes suposições: não existe infraestrutura de rede ou servidor centralizado dedicado; não existe nenhum dispositivo externo como GPS; e não existe conhecimento a priori sobre os publicadores. Eles apresentam um mecanismo híbrido para criar esse sistema distribuído Pub/Sub usando ideias de inundação de documentos e roteamento baseado em conteúdo.

Outros trabalhos, como o do projeto Hagggle [Nordström et al. 2009, Bjurefors et al. 2010], propõem um arcabouço para disseminar dados em redes móveis oportunísticas. Esse projeto provê uma API seguindo o modelo Pub/Sub e tem o objetivo de abstrair a comunicação escondendo detalhes referente ao dado transmitido. A solução apresentada é um mecanismo distribuído de busca oportunística de informação. Nosso trabalho consiste no desenvolvimento de um protocolo de comunicação em nível de rede que faz uso de Interesses nessa comunicação e não a criação de um arcabouço. A atual implementação da Radnet não provê todas as características de um arcabouço Pub/Sub, como a persistência por exemplo. Ela provê um mecanismo de publicação e assinatura de eventos por Interesse utilizando sua API.

3. Radnets

As Radnets [Dutra et al. 2010] tornam possível o desenvolvimento de aplicações distribuídas em redes móveis ad hoc (MANET), pois a troca de dados se baseia apenas nos interesses definidos pelas aplicações sem a necessidade de utilizar os endereços dos hosts, portanto estendendo os benefícios de sistemas de comunicação além daqueles oferecidos por redes tradicionais (p.ex., Internet). As Radnets permitem o compartilhamento de informações em uma determinada região explorando as características de comunicação existentes nos dispositivos sem fio.

O Prefixo Ativo (PA) usado pela Radnet na comunicação é composto por duas variáveis: prefixo e interesse. O prefixo é um conjunto de n campos compostos por m bits cada que definem a quantidade de possibilidades em cada campo. Os valores dos campos

são escolhidos aleatoriamente usando uma distribuição de probabilidade uniforme. O protocolo usa o grau de casamento entre os prefixos do nó origem e nó intermediário para decidir pelo encaminhamento probabilístico dos pacotes recebidos por cada nó. Como um protocolo gossip, o casamento de prefixos é o meio usado pela Radnet para evitar a inundação de pacotes na rede. Além disso, todos os campos de um prefixo justapostos formam a identificação do nó. Usamos os termos *mensagem* e *pacote* indistintamente nesse trabalho.

O Interesse é composto de termos escolhidos pelas aplicações para rotular os seus dados. Cada aplicação é responsável por definir o padrão de interesse utilizado. Todo o pacote enviado contém o *PA* do nó transmissor.

Todo o registro de interesse é realizado localmente no *host*, nenhuma informação de registro é trocada na rede. Os dados ao serem enviados não são destinados aos nós interessados, em vez disso, os pacotes são disseminados indistintamente e somente os interessados pegam os mesmos oportunisticamente.

3.1. Filtro de Casamento

A propagação de pacotes ocorre através do encaminhamento realizado pelos dispositivos. A decisão de encaminhar ou repassar o pacote para as aplicações registradas é realizado individualmente por cada nó através de uma função de casamento. Esta função avalia os campos do Prefixo Ativo (*PA*) presente no cabeçalho do pacote comparando, campo a campo, com o *PA* do dispositivo.

O encaminhamento se baseia em um estudo de percolação [Dutra et al. 2011] que demonstra a alta probabilidade de disseminação dos pacotes de acordo com a combinação de campos utilizados no Prefixo. Este mecanismo de casamento se compara a uma distribuição binomial.

Todas as instâncias de aplicações devem registrar os seus interesses localmente com a Radnet, para que o protocolo tome conhecimento deles e possa repassar a elas os pacotes de seus interesses. Todo pacote é encaminhado apenas uma vez devido a uma memória existente em cada nó que mantém rastros dos últimos pacotes encaminhados.

3.2. Exemplo de uma Radnet

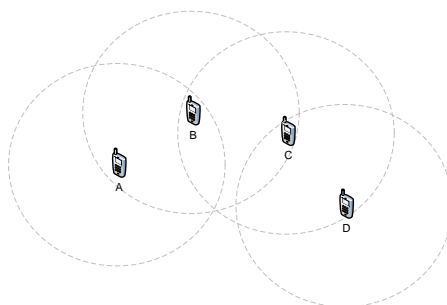


Figura 1. Exemplo de rede com quatro nós

Supondo uma rede composta por quatro dispositivos arranjados como na Figura 1. Repare que o raio de transmissão de cada dispositivo não é capaz de atingir todos os outros presentes na rede.

Tabela 1. PAs participantes da rede

Dispositivo	PA		
	Prefixo		Interesse
	P_{x_1}	P_{x_2}	
<i>A</i>	①	5	Teatro
<i>B</i>	3	5	Carona
<i>C</i>	①	2	Cinema
<i>D</i>	3	4	Teatro

A Tabela 1 apresenta o *PA* de cada elemento da rede. Para simplificar o exemplo utilizamos dois campos de prefixo com 3 bits cada. O nó *D* ([34][Teatro]), tem o mesmo interesse que o nó *A* ([15][Teatro]), logo os pacotes enviados por *A* são de interesse de *D*, entretanto o nó *A* não é capaz de enviá-lo diretamente ao *D*. Para entregar os pacotes é necessário que os outros membros da rede colaborem encaminhando os pacotes de *A* até *D*.

O nó *A* envia seu pacote com o interesse *Teatro*. Após o envio, *B*, por estar no raio de transmissão de *A*, irá recebê-lo. *B* avalia seus campos do *PA* e verifica o casamento no campo “ P_{x_2} ”, logo *B* irá encaminhá-lo. Por estar no raio de alcance, *C* o recebe e avalia seu *PA* e constata o casamento no campo “ P_{x_1} ” e o encaminha. Por estar no alcance de *C*, *D* recebe o pacote e verifica em seu *PA* que ele é de seu interesse, logo o repassa para a aplicação e/ou mostrando-o para o usuário, *D* também constata que não há campos do Prefixo em comum, logo o dispositivo não o encaminha.

3.3. Discussão

A comunicação Pub/Sub permite que qualquer nó receba dados publicados, desde que estejam registrados nos interesses que definem esses dados. Não há a necessidade de especificar endereços como ocorre no modelo tradicional de comunicação, facilitando a criação da rede e permitindo-a ser dinâmica. Os nós não precisam conhecer os outros membros da rede, apenas necessitam ter a aplicação em execução que conheça os interesses presentes na rede. O usuário não necessita ter conhecimento desses interesses, a aplicação irá gerenciá-los de acordo com a sua necessidade.

Este modelo de comunicação por interesse facilita ao desenvolvedor o gerenciamento dos diversos recursos disponíveis. Cada componente tem um interesse que o representa e as ações sobre estes recursos também podem compor o interesse do recurso.

4. Isolamento de nós e Inundação localizada

A Radnet deve enfrentar duas situações adversas devido à possibilidade da função casamento de prefixos levar ao isolamento de nós e a inundação localizada.

4.1. Isolamento de nós

Em regiões com baixa densidade de nós, a Radnet pode causar o isolamento pois um nó somente encaminha os pacotes recebidos de nós geradores com os quais ocorra casamento de Prefixo, como descrito na Seção 3.1. Entretanto, o Prefixo de um nó, após ter sido criado, persiste inalterado durante todo o tempo de sua permanência na rede. No pior

caso, o Prefixo escolhido pode ser tal que não ocorra casamento com nenhum outro nó presente na rede, assim este nó nunca irá encaminhar os pacotes recebidos e nem seus pacotes serão encaminhados pelos outros nós.

Para evitar o isolamento propomos o uso de temporizadores com o objetivo de reter por um curto espaço de tempo os pacotes que não seriam encaminhados na expectativa de que ocorra o casamento de Prefixos com outros vizinhos que então encaminharão os pacotes. Durante este tempo, caso o nó receba outra cópia do pacote retido, ele o descarta e cancela o temporizador. Caso o tempo aguardado pelo temporizador termine, o pacote é encaminhado mesmo não havendo casamento de Prefixos.

Entretanto, esse tempo aguardado pelo temporizador deve ser longo o suficiente para que outros nós na rede possam encaminhar o pacote. Assumindo que os nós sejam capazes de receber os pacotes de seus vizinhos devido ao meio de comunicação sem fio compartilhado, o temporizador deve aguardar um tempo superior ao de um nó enviar um pacote, este ser encaminhado e voltar ao nó – tempo que denominamos como FT (*Forwarding Time*) – pois dessa forma pode-se garantir que o tempo de espera seja suficiente para que o pacote possa ser encaminhado por algum vizinho que tenha casamento de prefixo, se for o caso.

O tempo de espera do temporizador é um valor escolhido no intervalo $[2 * FT, 2 * FT + \Delta T]$, onde esse ΔT é um valor aleatório para evitar que dois nós vizinhos não encaminhadores escolham tempos iguais e ocorra colisão. Em nossa avaliação o valor ΔT está compreendido entre $[0, 500]ms$. Escolhemos $2 * FT$ para o limite inferior do intervalo para permitir que outros nós na rede encaminhem o pacote por terem casamento de Prefixos.

O tempo FT é medido através do recebimento dos pacotes enviados pelos dispositivos. Como existe uma memória com os últimos pacotes recebidos, sempre que o nó receber um mesmo pacote encaminhado anteriormente, ele calculará o novo valor de FT .

4.2. Inundação Localizada

A Radnet depende da densidade de nós para poder utilizar diversos caminhos durante o encaminhamento de pacotes. Porém, em cenários com alta densidade de dispositivos com Prefixos semelhantes, os pacotes gerados irão ser encaminhados por todos os nós ao seu redor causando uma inundação localizada. Esta inundação irá degradar a rede, aumentando a interferência e colisões devido à grande quantidade de pacotes trocados.

Propomos alterar a função de casamento para usar uma probabilidade calculada dinamicamente quando o casamento de prefixo ocorrer. A Equação 1 descreve a função que determina esta probabilidade, resultante do fator de encaminhamento no intervalo entre 0 e 1.

$$P(E_T) = \begin{cases} 1 & F_E(T) \geq 1, \\ F_E(T) & F_E(T) < 1 \end{cases} \quad (1)$$

O fator de encaminhamento ($F_E(T)$), definido na Equação 2, se baseia na quantidade de pacotes encaminhados durante o último evento de encaminhamento. Este fator agrega o histórico de encaminhamentos ocorridos na rede e possui valor inicial 1.

$$F_E(T) = \begin{cases} 1 & T = 0, \\ (1 - \alpha) * F_E(T - 1) + \alpha * F_{ED}(T - 1) & T > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Esse fator representa a importância do nó encaminhar os pacotes no tempo T baseado na informação de pacotes encaminhados em $T - 1$. Quando $T = 0$ esse fator tem valor 1, pois não existe previsão de pacotes encaminhados no momento em que o nó entra na rede. Com o passar do tempo, os nós irão receber os pacotes encaminhados e ter noção da quantidade existente de vizinhos encaminhadores ($N_{VE}(T)$) ao redor no tempo T . Quanto maior for este fator, maior será a necessidade do nó encaminhar o pacote.

A quantidade de nós encaminhadores desejados N_{ED} é uma constante que define o mínimo esperado de nós que devem encaminhar um pacote. Relacionando N_{ED} e $N_{VE}(T)$ temos outro fator chamado de fator de encaminhamento desejado ($F_{ED}(T)$). Este fator é a razão entre N_{ED} e $N_{VE}(T)$ como mostra a Equação 3, para $N_{VE}(T)$ maior que zero.

$$F_{ED}(T) = \begin{cases} N_{ED} & N_{VE}(T) = 0, \\ N_{ED}/N_{VE}(T) & N_{VE}(T) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Baseado no trabalho anterior [Dutra et al. 2012] usamos o parâmetro de 4 vizinhos como sendo a quantidade de nós encaminhadores desejados (N_{ED}). Já o parâmetro α em $F_E(T)$ determina o quanto do valor calculado de $F_{ED}(T)$ deve ser agregado ao fator de encaminhamento. Em nossas avaliações utilizamos $\alpha = 0.1$.

5. Avaliação

Utilizamos o simulador de redes NS-3 para avaliar as soluções acima para isolamento de nós e inundação localizada devido ao uso do Prefixo Ativo em um ambiente de maior escala e variando os parâmetros do ambiente. Mostramos também a viabilidade do desenvolvimento de aplicações de monitoramento utilizando a Radnet como mecanismo de comunicação e o seu bom desempenho na troca de pacotes.

Foram elaborados três tipos de cenários: em *Linha*, em *Grade* e *Aleatório*. Estes cenários são baseados em um método típico de avaliação de redes móveis ad hoc encontrado na literatura. Porém, alguns parâmetros de simulação foram alterados para serem os mais realistas como, por exemplo, o raio de alcance de transmissão com valor de 100 metros de acordo com a especificação Wifi para ambientes abertos e sem obstáculos certificada pela Wi-Fi AllianceTM. Os parâmetros de simulação estão na Tabela 2. Os cenários estáticos (*Linha* e *Grade*) são casos extremos para a Radnet, pois ela foi proposta com o intuito de explorar a mobilidade dos dispositivos na rede e se beneficiar dos diversos caminhos que possam existir.

O cenário em *Linha* consiste em posicionar estaticamente N nós linearmente obtendo um grau de vizinhança média em cada nó de dois vizinhos, onde cada um está a 100 metros de seus vizinhos da esquerda e da direita. O primeiro nó na linha é o publicador e o último é o assinante das mensagens enviadas.

O cenário em *Grade* é uma extensão do cenário em *Linha* para duas dimensões com o objetivo de obter um grau de vizinhança médio de quatro vizinhos por nó. Com

Tabela 2. Parâmetros NS-3

Descrição	Valor
Número de Nós	100 e 1000
Protocolo MAC	AdhocWifiMac
Modelo rádio (phymode)	WifiNetDevice
Modelo de atraso de propagação	ConstantSpeedPropagationDelayModel
Modelo de perda de propagação	LogDistancePropagationLossModel
Modela para taxa de erro	NistErrorRateModel
Taxa de Transmissão	6 Mbps
Alcance do Rádio	100m
Tráfego	Constante Bit Rate (CBR)
Tamanho do Pacote	512 byte
Seleção de nós fontes	Aleatório
Taxa de envio de pacotes	2 pacotes/seg
Tempo de simulação	10.000seg

N nós simulados, estes são posicionados em linhas e colunas a uma distância de 100 metros de seus vizinhos da esquerda e da direita, de cima e de baixo – onde cada linha contém \sqrt{N} nós. O primeiro nó da primeira linha é o publicador de eventos na avaliação, enquanto que o último nó da última linha é o assinante.

No cenário *Aleatório* os nós são dispostos aleatoriamente em uma área quadrada cujo lado varia de 500, 750 e 1000 metros. A mobilidade utilizada foi a *RandomWalk2D* disponibilizado pelo simulador NS-3 com os parâmetros de velocidade entre 2 e 4m/s e a direção do movimento alterado a cada 5 segundos.

Os três cenários *Aleatório*(500), *Aleatório*(750) e *Aleatório*(1000) foram avaliados com 100 nós na rede. Supondo os nós dispostos uniformemente no cenário, temos que a quantidade média de vizinhos de cada nó será 12, 8 e 4, respectivamente. O cenário *Aleatório*(1000) foi executado, também, com 1000 nós para prover um cenário extremamente denso, onde cada nó tem em torno de 20 vizinhos.

Não avaliamos *middlewares* ou *frameworks* Pub/Sub devido ao fato da Radnet ser um protocolo a nível de rede, logo comparamos o mesmo com o protocolo AODV [Perkins and Royer 1999], um representante dos protocolos clássicos para redes sem fio. O AODV foi escolhido por ser proposto para redes com mobilidade e por estar disponível no simulador NS-3. Configuramos o AODV para não usar *Hello messages* que são mensagens trocadas de tempos em tempos para que um nó tenha conhecimento de seus vizinhos. Desabilitar esta opção reduz o *overhead* de mensagens do protocolo. Avaliamos a Radnet original sem os algoritmos propostos para evitar o isolamento e a redução da inundação localizada e avaliamos a Radnet com os algoritmos desenvolvidos neste trabalho como alternativas de solução dos problemas da Radnet original.

Em cada experimento coletamos: as mensagens únicas enviadas (M_{UE}) ou seja, as mensagens geradas pelo publicador de eventos; as mensagens aceitas (M_A) que são as mensagens recebidas pelo assinante e repassadas pela aplicação; também, o total de mensagens recebidas (M_T) que é a soma de todas as mensagens recebidas por todos os

nós na rede; e o tempo de entrega em milissegundos (Latência - L) definido pelo tempo médio que uma mensagem única M_{UE} leva para chegar aos assinantes.

Calculamos a Taxa de isolamento (T_I), Equação 4, para avaliar o percentual dos experimentos em que as mensagens enviadas pelo nó fonte não conseguiram atingir o nó destino.

$$T_I = \frac{\sum_{i=1}^K M_{Ai}}{\sum_{i=1}^K M_{UEi}}, \text{ para K experimentos} \quad (4)$$

Realizamos os experimentos em uma rede com 10, 100 e 1000 nós distribuídos de acordo com o cenário avaliado. No caso da avaliação do protocolo AODV, o nó fonte dos pacotes conhece o endereço IP do nó destinatário. No caso da avaliação das Radnets, o nó origem publica eventos com o interesse I e o nó destinatário é o único assinante deste interesse.

Para a avaliação das Radnets (todas as versões), os nós formam seu Prefixo Ativo (PA) composto de 8 campos com 8 possibilidades, o que provê 65% de probabilidade de casamento entre prefixos. O nó ao ser adicionado à rede, cria o seu prefixo aleatoriamente. O interesse é definido pela aplicação simulada utilizada para enviar as mensagens na rede.

Apresentamos três conjuntos de resultados onde o nó fonte enviou 100 mensagens de 512 bytes cada e avaliamos a taxa de isolamento T_I , tempo de entrega em milissegundos (denominado latência L) e o total de mensagens recebidas M_T . Os experimentos foram realizados com os seguintes protocolos: o protocolo AODV, a Radnet original (denominado Radnet_O), a Radnet com o algoritmo para evitar o isolamento (denominado Radnet_I) e a Radnet com ambos os algoritmos (evitar o isolamento e reduzir a inundação localizada) denominada Radnet₊. No caso da Radnet₊, realizamos os experimentos com 100 e 1000 nós, pois apenas em cenários com maior quantidade de nós é possível avaliar o algoritmo proposto em ação. Nas avaliações, cada cenário foi executado 50 vezes e as figuras apresentam valores médios com nível de confiança de 95% e erro inferior a 8%.

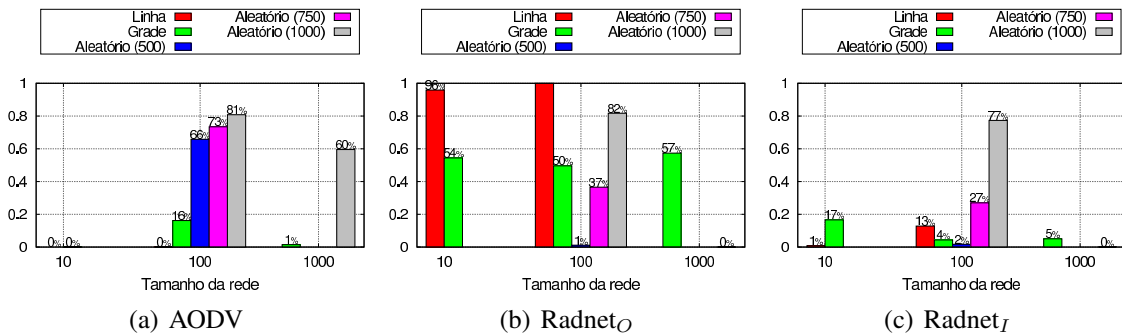


Figura 2. T_I : Taxa de isolamento (%)

A Figura 2(a) apresenta os resultados obtidos para a taxa de isolamento do AODV. Observamos que ele tem dificuldades em encontrar rotas nos cenários móveis aleatórios e com isolamento dos nós entre 66% e 81%. Já nos cenários estáticos, *Linha* e *Grid*, o

isolamento foi menor que 16%. O AODV apresenta esse comportamento devido ao seu mecanismo de busca de rotas. Em cenários estáticos após descobrir uma rota esta passa a ser válida durante toda a troca de mensagens. No entanto nos cenários aleatórios e com mobilidade, as rotas passam a ser dinâmicas o que dificulta a troca de mensagens entre os dispositivos, pois as rotas descobertas deixam de existir forçando o AODV a reiniciar o processo de descoberta de rotas.

A Radnet_O foi proposta para cenários dinâmicos e densos. Como mostra os resultados obtidos para a taxa de isolamento 2(b), a Radnet_O não conseguiu realizar a comunicação no cenário em *Linha* no qual existe apenas um caminho entre os nós. O resultado foi aproximadamente 50% de isolamento no cenário em *Grid*. Nos cenários aleatórios sua taxa de isolamento foi relativamente menor de acordo com a densidade de nós na rede, ou seja quanto maior for a densidade, menor o isolamento. O cenário *Aleatório*(1000) com 1000 nós foi o com maior densidade e onde a Radnet_O obteve o melhor resultado com nenhum caso de isolamento na rede.

Com as propostas apresentadas neste trabalho observamos a melhora da Radnet nos cenários estáticos como pode ser observado na Figura 2(c). Conseguimos reduzir o isolamento de 98% para menos de 17% nos cenários estáticos. Além disso, houve melhoras nos casos com mobilidade, com redução de 37% para 27% e de 82% para 77% nos cenários *Aleatório*(750) e *Aleatório*(1000) com 100 nós. Os resultados da taxa de isolamento para a Radnet₊ foi o mesmo que a Radnet_I, dado que ambos usam o mesmo algoritmo para evitar o isolamento.

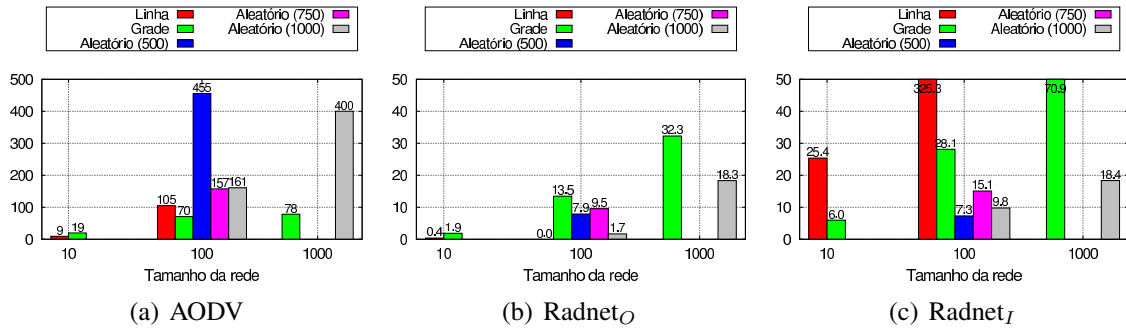


Figura 3. L: Latência (ms)

Em relação ao tempo de entrega (Latência) a Radnet_O obteve tempos menores que o AODV devido ao mecanismo de entrega dos pacotes. O AODV descobre a rota primeiro e depois envia o pacote, enquanto que a Radnet não busca caminhos e envia o pacote de uma vez, reduzindo o tempo de entrega por não gastar tempo buscando caminhos na rede. Isso pode ser observado nos resultados mostrados nas Figuras 3(a) e 3(b). Os resultados apresentados no gráfico para latência da Radnet_O cujos valores são diferentes de zero são para os experimentos onde não houve isolamento, pois nos cenários estáticos a Radnet_O teve alta taxa de isolamento como apresentado anteriormente. Observa-se que a latência para entrega dos pacotes na Radnet_O é bem inferior, em alguns casos chega ser uma ordem de grandeza menor que o AODV – nos casos *Aleatório*(500) e *Aleatório*(1000).

Para a versão Radnet_I verificamos que a latência para os casos onde havia uma alta taxa de isolamento – cenários *Linha* e *Grade* – esta versão obteve um grande aumento

devido ao novo mecanismo introduzido. Este mecanismo consiste em reter o pacote e aguardar que outros nós o encaminhe caso não haja casamento de prefixo. Porém, reter o pacote causa o aumento no tempo de entrega, como podemos ver na Figura 3(c). Nos cenários aleatórios este aumento não ocorreu devido ao fato de ser menor a possibilidade da ocorrência do isolamento. Os resultados foram semelhantes para a Radnet₊, dado que apenas o algoritmo para evitar o isolamento tem impacto no tempo de entrega. Mais avaliações são necessárias para conseguir tempos de entrega menores e paralelamente anular o isolamento.

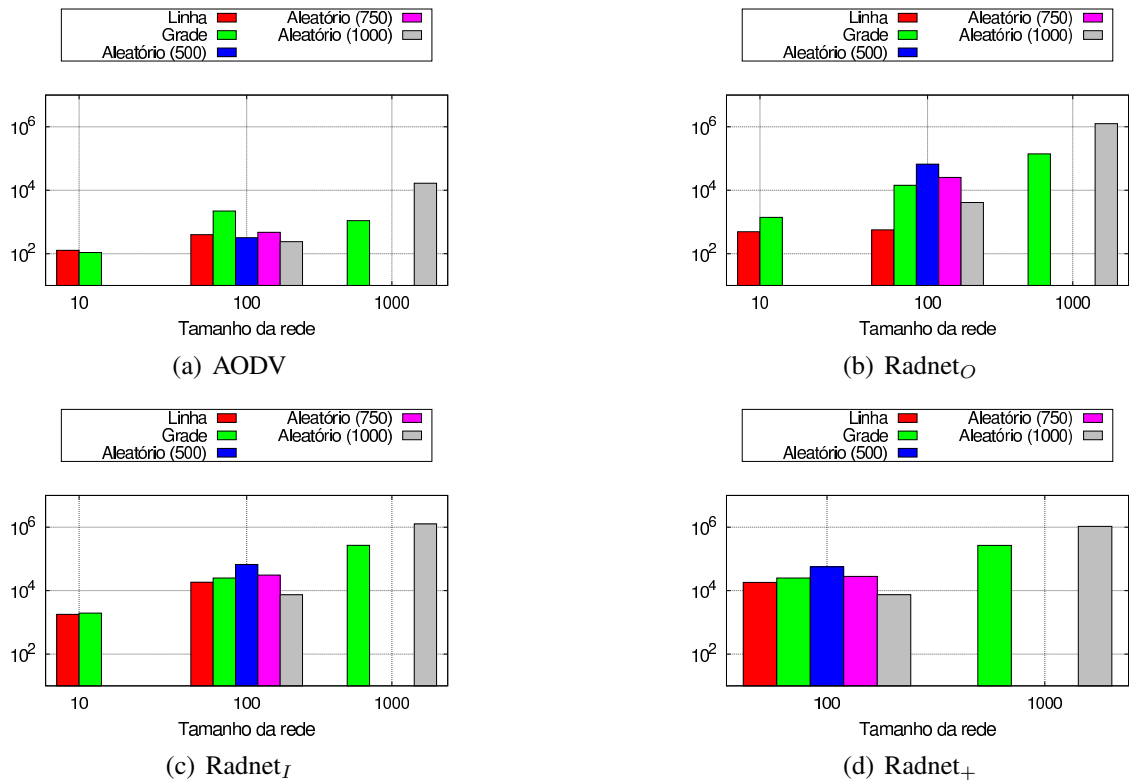


Figura 4. M_T : Mensagens totais recebidas

O total de mensagens recebidas é maior na Radnet em comparação com o AODV, isso se deve ao fato de a Radnet tentar usar os diversos caminhos na rede. Além disso, o AODV envia seus pacotes direcionados, ou seja, mesmo que outros nós estejam na vizinhança de um nó apenas o destino do pacote o recebe. No caso da Radnet, todos os vizinhos recebem o pacote para avaliar seu prefixo, logo a quantidade de mensagens contabilizadas se torna bem maior.

O total de mensagens obtidas para a Radnet_O (Figura 4(b)) foi bem inferior aos obtidos nas avaliações da Radnet_I e Radnet₊ em todos os cenários, como pode ser visto nas Figuras 4(c) e 4(d). Este aumento de mensagens ocorre devido ao fato de haver menos isolamento dos nós e com isso mais mensagens são trocadas na rede para que haja uma melhor entrega dos pacotes. Entretanto, ao comparar a quantidade de mensagens entre as avaliações da Radnet_I e Radnet₊ houve uma redução de 15% e 9% nos cenários *Aleatório*(500) e *Aleatório*(750) com 100 nós na rede. No cenário extremamente denso *Aleatório*(1000) com 1000 nós, a redução de mensagens foi de 16%. Mais avaliações são

necessárias para que seja possível reduzir ainda mais a quantidade de mensagens trocadas.

6. Conclusão

Redes centradas em conteúdo representam um novo paradigma arquitetural para a Internet e adaptações têm sido propostas para redes ad hocs. Neste sentido, avançamos a pesquisa do protocolo para as redes ad hocs centradas em interesse ou Radnets. Em particular, avaliamos soluções para duas situações adversas que o protocolo Radnet pode causar: inundação de pacotes e isolamento de nós, dependendo da densidade de nós em uma região. Os resultados obtidos mostraram que o isolamento pode ser evitado mas aumentando o tempo de entrega embora reduzindo a quantidade de pacotes trocados.

Estes algoritmos propostos para solucionar os problemas inerentes da Radnet ainda necessitam de mais estudos e avaliações com o intuito de reduzir ainda mais a quantidade de pacotes trocados e o tempo de entrega de pacotes.

Além do bom desempenho da Radnet comparativamente ao do protocolo AODV, mostramos também que o mecanismo de prefixos ativos das Radnets atende às características de desacoplamento espacial e assincronia das MANETs permitindo o desenvolvimento simples e eficiente de aplicações distribuídas P2P usando o modelo Pub/Sub. Novas avaliações necessitam ser feitas, como por exemplo, comparar com o protocolo OLSR.

As adaptações propostas para a Radnet serão avaliadas em cenários práticos com aplicações P2P usando o modelo Pub/Sub para monitoramento de sinistros em laboratórios do Centro de Tecnologia da UFRJ em trabalhos futuros. Tal cenário será composto por diversos dispositivos com sensores (umidade, temperatura, gases tóxicos, chama) que poderão ser consultados através de interesses especificados para cada sensor em uma Radnet. Esta rede está em implantação.

Os projetos referentes a Radnet podem ser acessados através do link: <https://github.com/hmoraes/radnet>.

Referências

- Amadeo, M. and Molinaro, A. (2011). Chanet: A content-centric architecture for IEEE 802.11 manets. In *Network of the Future (NOF), 2011 International Conference on the*, pages 122–127.
- Bjurefors, F., Gunningberg, P., Nordström, E., and Rohner, C. (2010). Interest dissemination in a searchable data-centric opportunistic network. In *Wireless Conference (EW), 2010 European*, pages 889–895.
- Caporuscio, M., Carzaniga, A., and Wolf, A. (2003). Design and evaluation of a support service for mobile, wireless publish/subscribe applications. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, 29(12):1059–1071.
- Dutra, R. C., Moraes, H. F., and Amorim, C. L. (2011). Active prefixes for mobile ad-hoc networks. Technical report, ES-739/11 – (PESC/COPPE/UFRJ).
- Dutra, R. C., Moraes, H. F., and Amorim, C. L. (2012). Interest-centric mobile ad hoc networks. In *Network Computing and Applications (NCA), 2012 11th IEEE International Symposium on*, pages 130–138.

- Dutra, R. C., Moraes, H. F., Amorim, C. L., and Granja, R. (2010). REPI: Rede de comunicação endereçada por interesses. In *WP2P 2010: Anais do VI Workshop de Redes Dinâmicas e Sistemas P2P . Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC2010)*.
- Haas, Z. J., Halpern, J. Y., and Li, L. (2006). Gossip-based ad hoc routing. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 14(3):479–491.
- Huang, Y. and Garcia-Molina, H. (2004). Publish/subscribe in a mobile environment. *Wirel. Netw.*, 10(6):643–652.
- Intanagonwiwat, C., Govindan, R., and Estrin, D. (2000). Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks. In *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, MobiCom '00*, pages 56–67, New York, NY, USA. ACM.
- Jacobson, V., Mosko, M., Smetters, D., and Garcia-Luna-Aceves, J. J. (2007). Content-centric networking: Whitepaper describing future assurable global networks. Response to DARPA RFI SN07-12.
- Jacobson, V., Smetters, D. K., Thornton, J. D., Plass, M. F., Briggs, N. H., and Braynard, R. L. (2009). Networking named content. In *Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies, CoNEXT '09*, pages 1–12, New York, NY, USA. ACM.
- Meisel, M., Pappas, V., and Zhang, L. (2010a). Ad hoc networking via named data. In *Proceedings of the fifth ACM international workshop on Mobility in the evolving internet architecture, MobiArch '10*, pages 3–8, New York, NY, USA. ACM.
- Meisel, M., Pappas, V., and Zhang, L. (2010b). Listen first, broadcast later: Topology-agnostic forwarding under high dynamics. Technical Report 100021, UCLA Computer Science Department.
- Moraes, H., Benitez, N., Dutra, R., and Amorim, C. (2012). On developing interest-centric applications for ad hoc networks. In *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2012 IEEE International Symposium on a*, pages 1–3.
- Nordström, E., Gunningberg, P., and Rohner, C. (2009). A search-based network architecture for mobile devices. *Department of Information Technology, Uppsala University, Tech. Rep*, 3.
- Oliveira, L. B., Siqueira, I. G., and Loureiro, A. A. F. (2005). On the performance of ad hoc routing protocols under a peer-to-peer application. *J. Parallel Distrib. Comput.*, 65(11):1337–1347.
- Perkins, C. and Royer, E. (1999). Ad-hoc on-demand distance vector routing. In *Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA '99. Second IEEE Workshop on*, pages 90–100.
- Yoo, S., Son, J. H., and Kim, M. H. (2009). A scalable publish/subscribe system for large mobile ad hoc networks. *Journal of Systems and Software*, 82(7):1152–1162.
- Yu, Y.-T., Dilmaghani, R., Calo, S., Sanadidi, M., and Gerla, M. (2013). Interest propagation in named data manets. In *Computing, Networking and Communications (ICNC), 2013 International Conference on*, pages 1118–1122.