

REPI: Rede de comunicação Endereçada Por Interesses

Renato C. Dutra, Rodrigo S. Granja, Heberte F. Moraes, Claudio L. Amorim

Laboratório de Computação Paralela – COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Caixa Postal – 68.511 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

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

Resumo. *O problema de roteamento de mensagens em redes sem fio ad hoc é abordado, utilizando uma estrutura de mensagem composta de prefixo e payload. O prefixo contém informações (Interesses) do usuário, permitindo o encaminhamento das mensagens pelo casamento de interesses, no lugar do endereçamento fim-a-fim. Para avaliar esse original modelo de comunicação, implementamos uma rede endereçada por interesses (REPI) sobreposta a uma rede ad hoc com 20 nós. Resultados de uma avaliação preliminar confirmaram a viabilidade do uso da REPI em redes ad hoc, cujas taxa e custo de entrega de mensagens foram equivalentes aos do algoritmo “Gossip” usando até 75% de probabilidade, com a vantagem de utilizar informação útil como endereçamento da mensagem.*

Abstract. *The problem of message routing in ad hoc wireless networks is addressed using a message structure composed of prefix and payload. The prefix contains information (Interests) of the user, allowing routing of messages by matching of interests, instead of end-to-end addressing for routing. To evaluate this original communication model, we implemented an overlay network addressed by interests (REPI) in a 20-node ad hoc network. Results of a preliminary assessment confirmed the feasibility of using REPI in ad hoc networks, whose rate and cost of delivering messages were equivalent to the Gossip algorithm using up to 75% of probability, with the advantage of using useful information as addressing of the message.*

1. Introdução

Rede sem fio ad hoc vem sendo objeto de pesquisa nos últimos anos devido à sua aplicabilidade, particularmente em situações onde a infraestrutura disponível de rede tenha se deteriorado. Um exemplo expressivo de uso das redes ad hoc está em um ambiente aonde um desastre natural ocorreu. Nesse ambiente, os equipamentos de comunicação (inclusive os celulares) podem utilizar comunicação multihop beneficiando-se da localidade dos equipamentos, do envio das informações locais para processamento remoto, do armazenamento dos dados para futuro treinamento, da descentralização e, principalmente, do envolvimento das pessoas nas regiões críticas [Rao et al. 2007].

Porém, o envio de mensagens em redes sem fio ad hoc é um desafio devido à dificuldade de identificação dos nós e ao custo de manutenção do roteamento. O uso de identificação única em redes sem fio, especificamente para solucionar problemas de roteamento em redes ad hoc, é uma questão de pesquisa ainda em aberto [Intanagonwiwat

et al. 2000, Spyropoulos et al. 2008]. O custo de manutenção do roteamento é alto quando ocorre o emprego de *overlay networks* Par-a-Par (P2P) por meio de *spanning trees* [Carzaniga e Hall 2006], devido à sobreposição de uma rede “cabeada” em uma rede sem fio ad hoc. Uma possível solução para os dois problemas, são as tabelas *hash* distribuídas P2P, usadas para a identificação dos nós e a manutenção das *spanning trees* dinâmicas, ainda utilizando P2P [Zahn e Schiller 2006, Heer et al. 2006]. A solução de interpretar redes sem fio ad hoc como redes P2P é antiga [Sohrabi et al. 2000], e procura unir a dinâmica de associação dos pares P2P à dinâmica das redes sem infraestrutura, com dezenas ou milhares de nós, possuindo características de multihopping, auto-organização, economia de energia e escalabilidade.

Por outro lado, a crescente aplicabilidade de modelos de comunicação distribuída baseados na arquitetura P2P simplifica a cooperação entre os usuários, basicamente pela redução da carga de comunicação no servidor central e pela delegação da administração dos conteúdos.

Embora o uso de soluções de redes cabeadas aplicadas a redes sem fio ad hoc seja promissor, as características distintas destas têm estimulado a pesquisa e desenvolvimento de novos mecanismos e técnicas que as explorem efetivamente, evitando adaptações diretas de soluções de redes cabeadas. Nesses casos, geralmente, não há a preocupação de o escopo das aplicações ser o mesmo de redes cabeadas, permitindo, inclusive, o desenvolvimento de novas e originais aplicações.

Com esse intuito, propusemos e avaliamos um novo modelo de comunicação para redes ad hoc [Dutra e Amorim 2010], implementado por meio de uma Rede Endereçada Por Interesses (REPI), visando uma solução eficaz para a identificação dos nós e a manutenção do roteamento de mensagens.¹

Uma possível aplicação da REPI é no caso de ocorrência de um desastre natural em uma dada região, onde exista a necessidade de localidade, agilidade, armazenamento da informação centrada na pessoa, empregando eficientemente o endereçamento por interesses. A população local poderia ser encontrada pela localização dos celulares nesta rede endereçada por interesses. Os interesses poderiam ser definidos tais como: médicos, bombeiros, policiais e voluntários. Nestes canais de interesse, os profissionais poderiam comunicar-se em uma rede distribuída, sem necessitar de centralização, promovendo uma intervenção rápida na região.

A REPI possui três propriedades distintas. A primeira é a rede ser endereçada por termos, ou seja, a estrutura da mensagem é composta apenas de termos, sem o uso de outras formas ou campos de identificação. A segunda propriedade é a rede formar-se somente quando uma entidade enviar mensagens através de uma ação pró-ativa, ou seja, a rede se materializa para uma entidade quando ela enviar uma mensagem. A terceira propriedade é a ausência de endereçamento convencional fim-a-fim permitindo à rede ser volátil e independente do roteamento clássico para difusão de mensagens.

Para uma avaliação preliminar da REPI, foram executados experimentos em uma implementação REPI em uma rede ad hoc com 20 nós, variando os parâmetros: número de nós transmissores, intervalo de tempo no envio das mensagens e número de campos

¹Por simplicidade, doravante usaremos REPI para denominar também o protocolo de rede e o algoritmo de roteamento, indiscriminadamente.

na parte B do prefixo. Foram também medidos os valores de porcentagem de mensagens entregues nos nós com interesse, custo de envio destas mensagens, número de nós colaboradores e número de saltos por onde as mensagens passaram da fonte ao(s) destino(s). Em uma avaliação preliminar, a REPI alcançou uma taxa de entrega de mensagens e custo associado equivalentes aos do algoritmo de referência *Gossip* para redes ad hoc usando probabilidade de 75%; ainda, com a vantagem da REPI utilizar informação útil para endereçamento.

A principal contribuição deste trabalho reside na comprovação da viabilidade da REPI como rede ad hoc baseada em endereçamento por interesses. Outras contribuições importantes incluem: uma nova métrica para medir colaboração em redes ad hoc, devido ao uso dos interesses implicarem na colaboração entre os nós; ampliação do conceito de encaminhamento probabilístico de mensagens, pelo uso de vários campos no prefixo; experimentos e medidas em um cenário realista utilizando 20 nós, com envio de 1000 mensagens por cada nó e 20 repetições em cada experimento.

O ótimo desempenho da REPI foi confirmado em um cenário real, onde uma aplicação de mensagens instantâneas baseada na REPI foi utilizada no Laboratório de Computação Paralela por seis alunos e três pesquisadores com interesses fixos (Projeto, Tráfego, Alimentação, Seminário) e interesses momentâneos. A monitoração da capacidade da rede foi realizada através da ferramenta SAMCRA [Granja et al. 2010], pelo intervalo de uma semana.

Além desta introdução, este artigo está organizado como segue. Na Seção 2, revisamos os trabalhos relacionados, e na Seção 3, descrevemos a REPI. Na Seção 4, os resultados de uma avaliação experimental preliminar da REPI são discutidos. Na Seção 5, apresentamos as conclusões e na Seção 6, delineamos os trabalhos em andamento.

2. Trabalhos Relacionados

A proposta da REPI foi construída sobre trabalhos anteriores com vários focos de pesquisa descritos a seguir, tais como, a colaboração entre usuários, o encaminhamento de mensagens pelos interesses dos usuários, a rede ser orientada ao usuário e o endereçamento por termos.

Em redes ad hoc, Kortuem et al. 1999 propõem a colaboração baseada no uso do perfil do usuário, a troca de informação do perfil e a possibilidade de pessoas desconhecidas se encontrarem. Porém, os encontros são físicos, o usuário é identificado e precisa se locomover para se encontrar, não existe o uso do multihop e a mensagem é convencional, de acordo com o protocolo utilizado (por exemplo, TCP/IP). Rantanen et al. 2004 utilizam o encaminhamento de mensagens de contexto em redes ad hoc, contudo os equipamentos são identificados, as mensagens são convencionais e o GPS é utilizado para localização. Borcea et al. 2007 propõem o conceito da rede ser orientada ao usuário, entretanto é um experimento voltado para o reconhecimento de padrões em redes sociais, utilizando mecanismos convencionais.

Awad et al. 2009 propõem o esquema de endereçamento virtual para roteamento em WSN *Virtual Cord Protocol*, onde DHTs associam dados com nós com específicos endereços. Neste caso, os nós são identificados, e exige o conhecimento de vizinhança relativa. Cheng et al. 2008 propõem o *Rainbow* utilizando gerenciamento de conteúdo no

nível do protocolo MAC por meio de um mecanismo chamado *innovation reporting*, com o qual o nó verifica se o dado será enviado caso seja recente e novo. As duas propostas diferem da nossa pelo uso de identificação e de redes sobrepostas.

Popescu e Liu 2006 modelam a comunicação de interesses em um vetor multi-dimensional, porém o trabalho se detém na análise matemática do problema ontológico. Ventresque et al. 2008 discutem o problema de ontologia inerente à WEB semântica, e propõem um mapeamento dos termos.

Spyropoulos et al. 2008 propõem uma técnica chamada *spray-and-wait* para *Disruption Tolerant Networks* (DTN), utilizando o mecanismo *Store-carry-forward* e negociação no envio da mensagem para o vizinho, garantindo entrega neste trecho do encaminhamento. A abordagem adotada em nosso caso é, também, diferente da adotada em redes DTN por não utilizar armazenamento, nem confirmação de entrega.

A REPI tem outras vantagens potenciais sobre as implementações existentes, que utilizam apenas probabilidade, e sobre as implementações que utilizam roteamento por meio de redes sobrepostas, como no caso das redes baseadas em conteúdo. No primeiro caso, a principal vantagem é o uso da informação como parâmetro de decisão para roteamento, diferente de usar uma semente aleatória como faz o *Gossip*, por permitir que o encaminhamento seja realizado pelo interesse do usuário. No segundo caso, nós não utilizamos endereçamento convencional e, portanto, eliminamos a necessidade de identificação dos nós e o *overhead* de manutenção do roteamento na rede.

3. Rede de Endereçamento por Interesses

Como visto, em uma região de ocorrência de um desastre natural, é fundamental a comunicação ágil e determinada por interesses momentâneos, formando grupos de socorro rapidamente e permitindo que as pessoas se manifestem, enviando mensagens atualizadas da situação local.

O uso da mensagem contendo interesses permite formação de grupos, encaminhamento e endereçamento, deslocando a decisão de encaminhamento da rede (dos equipamentos) para os usuários.

Uma REPI é constituída, basicamente, por mensagens contendo interesses em um prefixo, o equivalente ao cabeçalho em uma mensagem padrão, como apresentado na Figura 1. Este prefixo foi dividido em duas partes: a primeira parte, chamada B, contém dados biométricos dos usuários, seguindo uma distribuição normal multivariada; a segunda parte, chamada Y, assume que os interesses dos usuários obedecem a uma distribuição Zipf [Li 1992].

Desta forma podemos expressar o prefixo analiticamente de acordo com a Equação 1:

$$P = (B, Y) = (B_1, B_2, B_3 \dots B_k; Y_1, Y_2, Y_3 \dots Y_m) \forall k, m \in \mathbb{N}^* \quad (1)$$

Onde, para a parte B de um prefixo real com valores a, b, c, d, e , e para a parte Y, com valor y , de acordo com a Equação 2:

$$P = (B, Y) = (a, b, c, d, e; y) \quad (2)$$

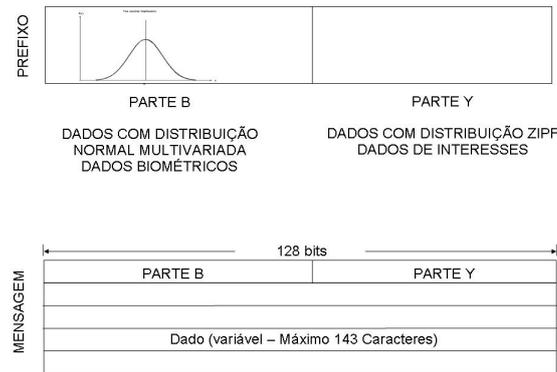


Figura 1. Prefixo e mensagem endereçada por interesses.

A parte B (a, b, c, d, e), dados biométricos, é utilizada para encaminhamento da mensagem, usando estes dados como critério de escolha de encaminhamento pelo nó por meio de um filtro de casamento. A parte Y (y), dados de interesses, é utilizada para endereçamento da mensagem. A parte B permite a colaboração entre os nós para encaminhamento, pois um nó, mesmo sem interesse y , poderá encaminhar mensagens provenientes de nós com interesse y . As partes B e Y podem ser utilizadas para identificação única da mensagem, devido à pequena probabilidade de casamento de todos os campos entre nós distintos.

Como um exemplo de encaminhamento considere a tabela 1. O nó origem n_1 envia mensagem para Defesa Civil (nós n_3 e n_5). Sendo nv os vizinhos² no raio de alcance para cada nó, o nó n_2 encaminha a mensagem recebida de n_1 por haver casamento no campo *Cabelo* = *castanho* (V - verdadeiro). O nó n_3 encaminha a mensagem recebida de n_2 porque *Idade* = 28, ainda, n_3 é endereço da mensagem por *Interesse* = *DefesaCivil*. O nó n_4 , apesar de ser vizinho de n_3 , possui casamento dos campos falso (F) e, portanto, descarta a mensagem, enquanto n_5 recebe a mensagem de n_3 , por ter interesse na mensagem (*interesse* = *DefesaCivil*).

Tabela 1. Tabela de encaminhamento

n	nv	B					Y	Origem	Enc.	End.
		Cabelo	Olho	Sexo	Peso	Idade	Interesse			
1	2	castanho	castanho	M	75	25	Defesa Civil	V		
2	3	castanho	verde	F	65	28			V	F
3	4,5	louro	castanho	M	70	28	Defesa Civil		V	V
4		castanho	azul	F	65	27			F	F
5		preto	azul	M	80	40	Defesa Civil		F	V

De acordo com o casamento do conteúdo da parte B e da parte Y das mensagens que chegam a um nó qualquer e seus prefixos, pode-se obter: (1) $B = 1$ significa o casamento dos campos B do prefixo da mensagem com os campos B do prefixo do nó que

²No contexto deste trabalho, nós vizinhos são aqueles que estão dentro do raio de alcance de potência emitida por um nó

recebe a mensagem; (2) $B = 0$ significa nenhum casamento dos campos B dos prefixos; (3) $Y = 1$ significa o casamento dos campos Y do prefixo da mensagem com os campos B do prefixo do nó que recebe a mensagem; e (4) $Y = 0$ significa nenhum casamento dos campos B dos prefixos. É possível definir, então, 4 tipos de nós nesta implementação da REPI:

- $B = 1$ e $Y = 1$ - Nós colaboradores e, receptores ou transmissores;
- $B = 0$ e $Y = 1$ - Nós receptores ou transmissores;
- $B = 1$ e $Y = 0$ - Nós colaboradores;
- $B = 0$ e $Y = 0$ - Nós não participantes da REPI.

A parte B da mensagem é uma expansão da classe de algoritmos probabilísticos de encaminhamento de mensagem da qual fazem parte os algoritmos do tipo *Gossip*, onde a escolha de encaminhamento é obtida por probabilidade de diversas formas, por exemplo, na escolha do vizinho que encaminhará a mensagem. No caso da REPI, os nós contêm dados com determinada probabilidade e estes dados podem ser definidos na fabricação dos equipamentos ou definidos pelo usuário. A escolha de qual vizinho irá encaminhar a mensagem é definida sob demanda baseado nestes dados. Esta escolha difere da do *Gossip* devido ao encaminhamento ocorrer na chegada da mensagem em um nó, o qual decide se encaminha ou não a mensagem de acordo com um filtro de casamento. Esta diferença, no caso da REPI, aumenta o número de mensagens na rede, possibilitando por um lado, mais caminhos de envio da mensagem e conseqüentemente uma maior taxa de entrega. e por outro lado, aumenta o custo de envio da mensagem.

Quanto à segunda parte do prefixo, esta é responsável pelo endereçamento de duas formas distintas: a primeira, pela possibilidade do usuário digitar qualquer sequência de caracteres, como uma senha. A mensagem somente será mostrada para o equipamento que contenha tal senha. Esta decisão não impede que outros usuários possam “escutar” o canal de comunicação e descobrir o conteúdo das mensagens, e também requer o uso de um dicionário, para reduzir ou eliminar problemas inerentes ao casamento dos termos. Entretanto, é possível utilizar o mecanismo de chave pública/privada para garantir a segurança da informação contida no payload, evitando que os equipamentos que encaminhem a mensagem tenham acesso ao conteúdo.

A segunda forma de endereçamento é devido à probabilidade de escolha ao acaso das mesmas palavras por usuários diferentes seguir a distribuição Zipf [Li 1992], o que torna a probabilidade de casamento entre as palavras, em prefixos de diferentes usuários, muito pequena caso o filtro de casamento seja restrito. Esta propriedade pode identificar unicamente um usuário.

Resumindo, as principais funcionalidades da REPI são:

- Fazer broadcast de mensagens contendo interesses;
- Decidir o encaminhamento das mensagens sob demanda, utilizando um filtro de casamento;
- Formar grupos de interesses sob demanda;
- Endereçar as mensagens por interesses.

Praticamente, o usuário pode inserir seus dados biométricos no prefixo. Para uma amostra grande, estas variáveis possuem uma distribuição de probabilidade normal, porém, para formação de grupos e encaminhamento da mensagem o uso de variáveis

quaisquer com distribuição de probabilidade normal terá o mesmo efeito. Obviamente, para uma amostra pequena esta aproximação não é válida, e o sistema poderá inserir automaticamente dados garantindo a distribuição.

Na atual implementação da REPI, o equipamento utiliza somente a parte B do prefixo para encaminhamento. Porém, a parte Y também poderia ser utilizada. Ainda, qualquer distribuição de probabilidade pode ser utilizada para a formação do prefixo, tanto da parte B quanto da parte Y.

4. Avaliação Experimental

Nesta Seção, nós apresentamos a avaliação experimental preliminar da REPI, utilizando uma rede ad hoc de 20 nós (equipamentos TmoteSky [Polastre 2005]) distribuídos de acordo com a Figura 2, em um ambiente fechado, comunicando-se por ZigBee com a programação do protocolo REPI utilizando o sistema operacional TinyOS.

4.1. Experimentos e Resultados

O tamanho de mensagem usado foi de 116 Bytes com 41 Bytes para o prefixo e 73 Bytes para payload. De acordo com o experimento, a parte B do prefixo variou de um a cinco campos, cada campo com distribuição de probabilidade normal, selecionados automaticamente para cada usuário. Na parte Y, os interesses foram selecionados automaticamente de um dicionário de palavras. Para isolar o funcionamento do algoritmo nos nós da sobrecarga da instrumentação, esta foi desviada pela rede cabeada para o Sistema de Automação, Monitoração e Configuração de Redes Ad hoc (SAMCRA) para não haver interferência com a comunicação sem fio, assim como, não houve processamento local dos resultados [Granja et al. 2010].

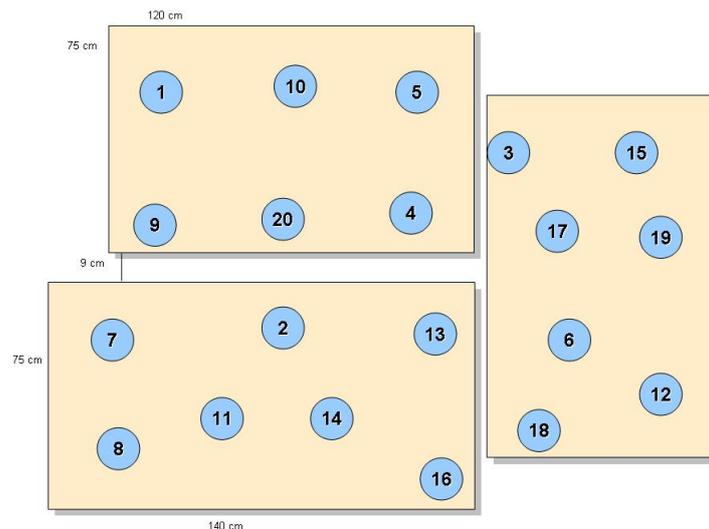


Figura 2. Distribuição dos vinte nós para os experimentos n^o 1, n^o 2 e n^o 3.

O desempenho da REPI foi comparado com os dos algoritmos *Flooding* e *Gossip*, utilizando as métricas: (1) Taxa de Entrega de Mensagens (TEM), que mede o número de mensagens com interesse y que foram entregues ao nó com interesse em y ; (2) Custo de

Entrega de Mensagens (CEM), definida como o número de mensagens com interesse y dividido pelo número de mensagens totais encaminhadas; (3) Taxa de Perda de Mensagens (TPM), que mede o número de mensagens perdidas; e a nova métrica (4) Número de Nós Colaboradores (NC), igual ao número de nós sem interesse em y que encaminharam a mensagem dos transmissores aos receptores. NC determina quantos nós sem interesse numa mensagem de interesses ($Y = 0$) participaram no seu encaminhamento ($B = 1$), avaliando a colaboração.

Três experimentos representativos foram realizados para avaliar a REPI, executados 20 vezes. O experimento nº 1, avalia os efeitos da distribuição de rádio-frequência (RF) dos nós na conectividade, no multihop e na contenção. Neste experimento, um nó transmite 1000 mensagens e a taxa de entrega de cada nó e as conexões com um salto são armazenadas. O experimento nº 2, avalia a contenção pelo protocolo ZigBee. Neste caso, variando o número de nós transmitindo 100 mensagens em intervalos de tempo variados, a taxa de perda de mensagens é armazenada. O experimento nº 3, mede o custo do protocolo REPI e a Taxa de Entrega de Mensagens (TEM) para os nós com interesse, avaliando o impacto da colaboração dos nós sem interesse na entrega das mensagens, para os destinos. Para isso, variou-se o número de nós transmitindo 1000 mensagens no intervalo de tempo de contenção mínima, medindo-se a TEM e o CEM.

No experimento nº 1, apresentado na Figura 3, o nó 4 transmitiu 1000 mensagens em intervalo de 2 a 4 segundos, aleatoriamente, para todos os outros nós. O número de campos na parte B do prefixo foi constante e igual a 5, com distribuição normal multivariada, e todos os nós tinham o mesmo interesse armazenado na parte Y. O percentual de mensagens recebidas pelos nós, diretamente ou por multihop, com número de saltos médio de 3 é apresentado em cada nó. Pode-se notar que a média e desvio padrão da TEM foi de $93,55 \pm 1,38$.

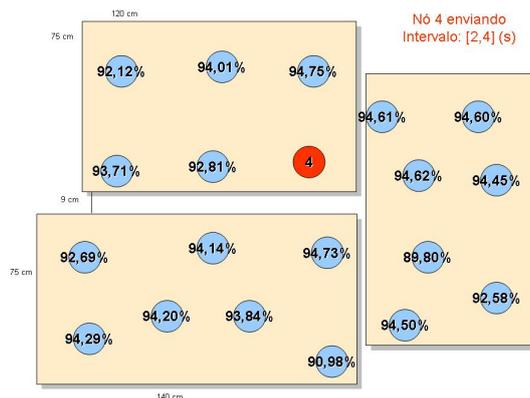


Figura 3. Taxa de Entrega de Mensagens (TEM) por nó para o experimento nº 1.

Ainda nesse experimento, foram medidos os percentuais de mensagens entregues em um salto, com o objetivo de avaliar a distribuição de RF em função da distância relativa entre o nó 4 e os nós restantes, como ilustrada pelo grafo de conectividade da Figura 4.

Na Figura 4 são identificadas três regiões distintas de acordo com a probabilidade de entrega de mensagem em um salto: (1) região hachurada diagonal, com ocorrência de

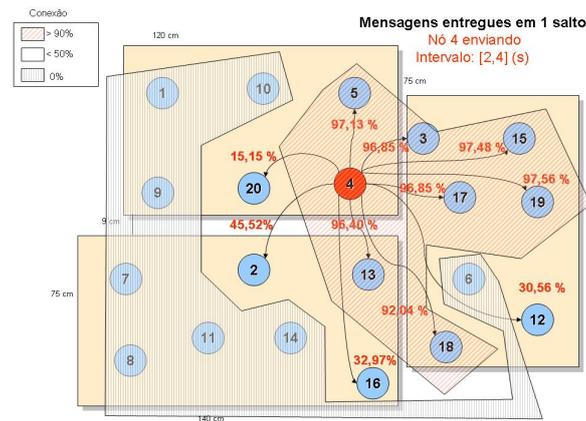


Figura 4. Grafo de conectividade para os experimentos nº 1, nº 2 e nº 3.

mais de 90% de conexões; (2) região sem hachurado, com ocorrência de menos de 50% de conexões, indicando instabilidade; e (3) região em hachurado vertical, com nenhuma ocorrência de conexões. Observa-se que o nó 6 não recebeu mensagens do nó 4, embora próximos fisicamente, enquanto que o nó 12, mais distante, recebeu mensagens do nó 4.

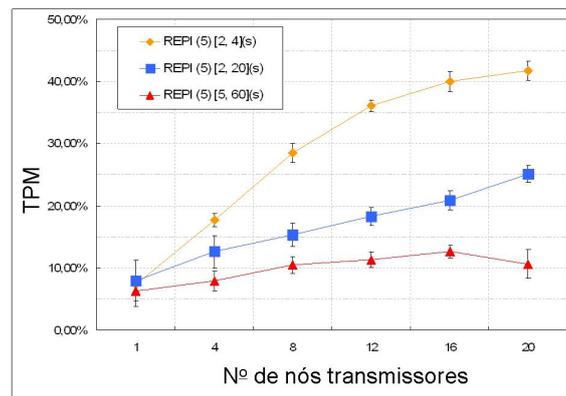


Figura 5. Taxa de Perda de Mensagens (TPM) x Variação do Número de nós transmissores

No experimento nº 2, a TPM foi medida, variando o número de nós transmitindo. O intervalo de tempo entre o envio das mensagens variou em três intervalos: [2, 4]; [2, 20]; [5, 60] (s), com cinco campos no prefixo. Os resultados são mostrados na Figura 5. Com o intervalo de [2, 4](s) foi obtida uma taxa de perda crescente com o aumento do número de nós transmissores, em torno de 10% para um nó transmitindo e 42% para os 20 nós. Por outro lado, com um intervalo de [5, 60](s) a taxa de perda de mensagens se manteve constante e aproximadamente igual a 10%.

No experimento nº 3, cuja topologia é apresentada na Figura 6, foram avaliados o CEM e a TEM, com 5 nós transmissores, (1, 7, 8, 9, 11), e 5 nós receptores, (3, 5, 12, 15, 19), sendo os outros nós, colaboradores ou não participantes. O intervalo entre as mensagens foi de [2, 4] (s).

Os valores de CEM e TEM, apresentados na Figura 7, foram medidos para REPI,

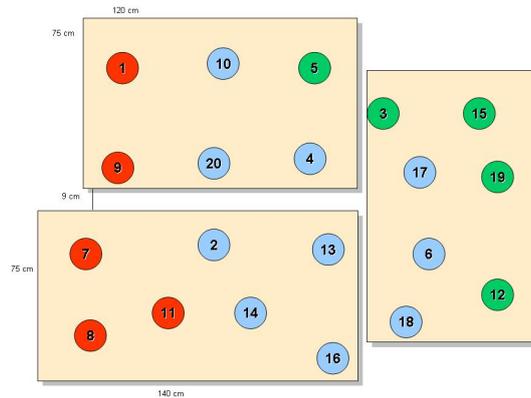


Figura 6. Topologia do experimento n^o 3 (nós 1, 7, 8, 9, 11 transmissores de mensagens com interesse y e nós 3, 5, 12, 15, 19 com interesse y).

variando o número de campos na parte B do prefixo entre (1, 2, 4, 5, 6, 8) (REPI(1), REPI(2), etc.), *Flooding*, REPI⁻, para quatro campos na parte B do prefixo, sem colaboração, e *Gossip*, com probabilidades de encaminhamento de mensagem em 25%, 50%, 75% e 85%³.

Nota-se que os valores de CEM e TEM para REPI, com qualquer variação de campos na parte B do prefixo, são melhores que os do *Flooding*. Comparando-se $TEM_{Gossip(75\%)}$, igual a 75, 65%, com $TEM_{REPI(5)}$, igual a 76, 88%, verifica-se que ambos os valores são praticamente iguais. Quanto ao $CEM_{Gossip(75\%)}$, igual a 12, 14, comparado ao $CEM_{REPI(5)}$, igual a 13, 70, verifica-se que $CEM_{REPI(5)}$ é 10, 48% maior. Para a REPI⁻, a TEM é igual a 33, 88% e o CEM é igual a 7, 49.

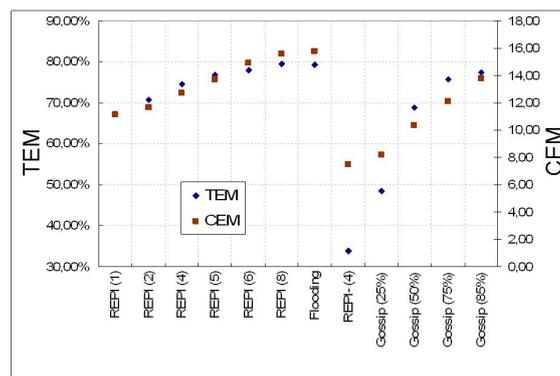


Figura 7. Comparação dos protocolos REPI, *Flooding*, REPI⁻ e *Gossip*.

No experimento n^o 3 também foi avaliada a colaboração, apresentada na Figura 8. O número de nós colaboradores é, para um campo, 13, 6, para 2 campos, 14, 7, enquanto para 4, 5, 6 e 8 campos, estável em 14, 9.

Ainda, no experimento n^o 3, foi avaliado o número de saltos para a variação de

³o valor de probabilidade em que o Gossip atende quase todos os nós em qualquer execução fica no intervalo de [60%, 80%] [Haas et al. 2006].

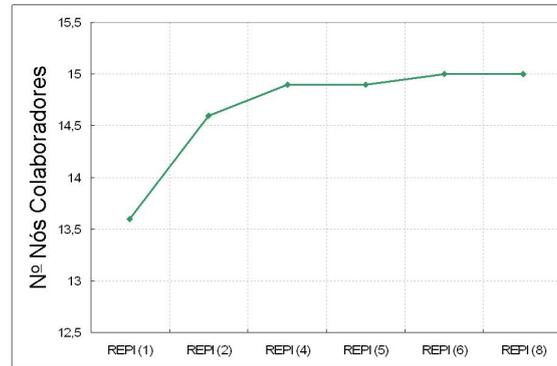


Figura 8. Colaboração na REPI x número de campos B do prefixo.

campos na parte B do prefixo da REPI, *Flooding*, REPI⁻ e *Gossip* (25%, 50%, 75% e 85%), apresentado na Figura 9. Observa-se que o número de saltos para todas as mensagens na rede possui valor médio 3, para a REPI com os campos B do prefixo variando de 1 a 8, enquanto que o número de saltos para as mensagens entregues aos nós com interesses possui valor médio 2, 4 para a mesma variação de campos. Os mesmos valores foram encontrados para o *Flooding* e para o *Gossip* 75% e 85%, enquanto o número de saltos para o *Gossip* 25% foi igual a 2, 5 e para 50% foi igual a 2, 75. Nota-se que para quatro campos sem colaboração, os valores são iguais a 2, 1 para total de mensagens na rede e 1, 9 para mensagens entregues, mas com TEMs inferiores.

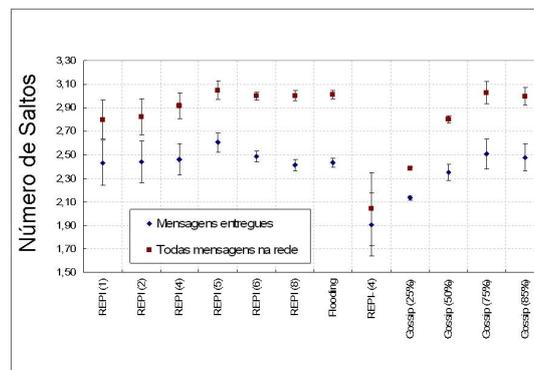


Figura 9. Número médio de saltos no experimento nº 3.

4.2. Discussão dos Resultados

De acordo com o experimento nº 1, a taxa de entrega de mensagens (TEM) da REPI, com somente um nó enviando e todos os outros nós com interesse na mensagem, foi alta e igual a $93,55 \pm 1,38\%$. Dado que em um sistema se comunicando por ZigBee a taxa de perda é de 10%, os altos valores encontrados são significativos.

Também, os resultados mostraram três regiões distintas em RF, obrigando à ocorrência de multihop para envio da mensagem, e que o número de saltos, considerando somente a RF, deveria ser no máximo 3. Notou-se ainda, a imprevisibilidade da

comunicação por RF, na medida em que a comunicação com vizinhos próximos pode ser preterida pelos mais distantes, devido à distribuição das ondas eletromagnéticas em um ambiente fechado.

O aumento no intervalo de envio ocasiona uma menor perda de mensagens, devida à diminuição da contenção gerada pelas mensagens trafegando na rede. Este intervalo é mais realista pelo tempo de digitação e envio da mensagem por um usuário. Porém, se houver um número grande de usuários, a contenção no protocolo ZigBee deve ser considerada. Como esta limitação depende apenas do protocolo, equipamentos utilizando protocolos mais eficientes podem se beneficiar da REPI. Por exemplo, em um ambiente de desastre natural, um canal de emergência (SOS), pode ser configurado automaticamente e a mensagem enviada em intervalos de $[5, 60](s)$.

Com relação à TEM e ao CEM, REPI com 5 campos é comparável ao *Gossip* 75%. Porém, a REPI tem potencial para melhorar com o aumento do número de nós. Ainda, o uso de informação dos interesses pelas aplicações, em muitos casos, é mais interessante do que a pura probabilidade do *Gossip*. A colaboração pode ser alta utilizando-se filtro de casamento com “pelo menos um”, interesse coincidente, o que permitirá alta probabilidade de casamento, conseqüentemente, um maior número de nós encaminhando as mensagens. Para poucos nós, não há necessidade de muitos campos na parte B do prefixo, porém, é necessário considerar o tipo de filtro de casamento implementado. Pelos resultados muito baixos de TEM da REPI⁻, vê-se que a REPI depende da colaboração para alcançar TEM com valores próximos aos do *Gossip*.

A colaboração foi alta, igual a 13,6 para um campo na parte B do prefixo, aumentando para 14,7 com 2 campos, e se estabilizando em 14,9 para 4,5, 6 e 8 campos. Para um total de 20 nós, sendo cinco transmissores e cinco receptores, nota-se que para se alcançar 15 nós colaboradores, os próprios nós transmissores foram colaboradores uns dos outros. Pode-se observar ainda, que 4 campos na parte B do prefixo é suficiente para atender 20 nós, utilizando o filtro de “pelo menos um”. Para avaliar o impacto do aumento de campos na parte B do prefixo na REPI, é necessário incluir mais nós, aumentando a densidade de nós na rede. Por outro lado, avaliar outras possibilidades de casamento no filtro pode tornar a colaboração mais eficiente, p.ex., tornando o filtro de casamento adaptável ao fluxo de mensagens em cada nó.

Ainda, as mensagens entregues aos nós com interesses possuem um atraso menor do que as mensagens totais na rede. Pode-se esperar que com o aumento do número de nós na rede este atraso aumente, mas seja menor do que o atraso médio das mensagens totais na rede. Na REPI, as conexões ocorrem quando as mensagens são enviadas. Não existe um mecanismo de *store-carry-forward*. Se não existir nó com a parte B do prefixo com pelo menos um campo casando, ou não existir vizinho, a mensagem é descartada ou perdida, devido a não haver mecanismo de confirmação entre os nós vizinhos. Naturalmente, o modelo permite o armazenamento das mensagens nos equipamentos, proporcionando o envio das mensagens quando ocorrer um encontro oportuno entre nós que estejam fora da área de cobertura um do outro, tornando a REPI uma DTN.

5. Conclusões

Nós mostramos a viabilidade do uso de interesses dos usuários como endereçamento de mensagens em uma rede ad hoc, e que o desempenho do endereçamento por interesses se

igual a aos alcançados pelo algoritmo *Gossip*, com a vantagem de se utilizar informação útil como cabeçalho da mensagem. A Rede de comunicação Endereçada por Interesses (REPI) pode ser utilizada em ambientes onde não há infra-estrutura de telecomunicações ou, essa foi atingida (p.ex., desastre natural), permitindo a formação de grupos de interesses e o encaminhamento e endereçamento de mensagens, com foco no usuário. Existem limitações intrínsecas às redes ad hoc, como segurança, garantia de entrega, e limitações específicas da REPI, como o projeto do prefixo, o uso de melhores distribuições para representar os dados B e Y, mas que podem ser contornadas pelas aplicações, de acordo com as necessidades do ambiente de utilização.

6. Trabalhos Futuros

A REPI, por ser uma nova e promissora rede ad hoc, há necessidade de aplicá-la e avaliá-la em um número maior de nós, verificando sua escalabilidade, bem como a mobilidade. Essas duas características de redes ad hoc serão avaliadas por meio de simuladores tradicionais (p.ex., NS-3 ou Glomosim). O uso da rede REPI em redes cabeadas, alterando o modelo dos nós P2P tradicional, está em desenvolvimento.

7. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelas Agências: FINEP, CNPq, CAPES.

Referências

- Awad, A., Shi, L., German, R., e Dressler, F. (2009). Advantages of virtual addressing for efficient and failure tolerant routing. In *Sensor Networks, IEEE/IFIP WONS 2009, Snowbird, UT*, pages 111–118.
- Borcea, C., Gupta, A., Kalra, A., Jones, Q., e Iftode, L. (2007). The mobisoc middleware for mobile social computing: challenges, design, and early experiences. In *MOBILWARE '08: Proceedings of the 1st international conference on MOBILE Wireless MiddleWARE, Operating Systems, and Applications*, pages 1–8, ICST, Brussels, Belgium. ICST.
- Carzaniga, A. e Hall, C. P. (2006). Content-based communication: a research agenda. In *SEM '06: Proceedings of the 6th international workshop on Software engineering and middleware*, pages 2–8, New York, NY, USA. ACM.
- Cheng, C., Kung, H. T., kwan Lin, C., yung Su, C., e Vlah, D. (2008). Rainbow: A wireless medium access control using network coding for multi-hop content distribution. In *Proc. MILCOM 08, San Diego, CA*.
- Dutra, R. C. e Amorim, C. L. (2010). Modelo de comunicação endereçada por interesses. Technical report, Relatório Técnico ES 733 / PESC - COPPE - UFRJ.
- Granja, R. S., Dutra, R. C., Moraes, H. F., e Amorim, C. L. (2010). Samcra: Um sistema para avaliação experimental de redes ad hoc. submetido à Seção de Ferramentas - XXVIII SBRC - SBC.
- Haas, Z. J., Halpern, J. Y., e Li, L. (2006). Gossip-based ad hoc routing. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 14(3):479–491.

- Heer, T., Gotz, S., Rieche, S., e Wehrle, K. (2006). Adapting distributed hash tables for mobile ad hoc networks. In *PERCOMW '06: Proceedings of the 4th annual IEEE international conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, page 173, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Intanagonwiwat, C., Govindan, R., e Estrin, D. (2000). Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks. In *MobiCom '00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 56–67, New York, NY, USA. ACM.
- Kortuem, G., Segall, Z., e Thompson, T. G. C. (1999). Close encounters: Supporting mobile collaboration through interchange of user profiles. In *HUC '99: Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, pages 171–185, London, UK. Springer-Verlag.
- Li, W. (1992). Random texts exhibit zipf's-law-like word frequency distribution. In *Proceedings of IEEE Transactions on Information Theory*, volume 38(6), pages 1842–1845.
- Polastre, J. (2005). Tmotesky. Technical report, MotelIV.
- Popescu, G. V. e Liu, Z. (2006). Network overlays for efficient control of large scale dynamic groups. In *DS-RT '06: Proceedings of the 10th IEEE international symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications*, pages 135–142, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Rantanen, M., Oulasvirta, A., Blom, J., Tiitta, S., e Mäntylä, M. (2004). Inforadar: group and public messaging in the mobile context. In *NordiCHI '04: Proceedings of the third Nordic conference on Human-computer interaction*, pages 131–140, New York, NY, USA. ACM.
- Rao, R. R., Eisenberg, J., e Schmitt, T. (2007). *Improving Disaster Management: The Role of IT in Mitigation, Preparedness, Response, and Recovery*. The National Academies Press.
- Sohrabi, K., J., G., Ailawadhi, V., e Pottie, G. J. (2000). Protocols for selforganization of a wireless sensor network. *IEEE Personal Communications*, 7:16–27.
- Spyropoulos, T., Psounis, K., e Raghavendra, C. S. (2008). Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 16(1):77–90.
- Ventresque, A., Cazalens, S., Lamarre, P., e Valduriez, P. (2008). Improving interoperability using query interpretation in semantic vector spaces. In Hauswirth, M., Koubarakis, M., e Bechhofer, S., editors, *Proceedings of the 5th European Semantic Web Conference*, LNCS, Berlin, Heidelberg. Springer Verlag.
- Zahn, T. e Schiller, J. (2006). DHT-based unicast for mobile ad hoc networks. In *PERCOMW '06: Proceedings of the 4th annual IEEE international conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, page 179, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.