

**LOCALIZAÇÃO DE RECURSOS EM REDES DE
EMERGÊNCIA TOLERANTES A ATRASOS E
DESCONEXÕES**

ANDRÉ MARQUES POERSCH

**LOCALIZAÇÃO DE RECURSOS EM REDES DE
EMERGÊNCIA TOLERANTES A ATRASOS E
DESCONEXÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

ORIENTADOR: JOSÉ MARCOS SILVA NOGUEIRA

Belo Horizonte
Fevereiro de 2010

© 2010, André Marques Poersch.
Todos os direitos reservados.

Poersch, André Marques
P745l Localização de recursos em redes de emergência
tolerantes a atrasos e desconexões / André Marques
Poersch. — Belo Horizonte, 2010
xviii, 58 f. : il. ; 29cm

Dissertação (mestrado) — Universidade Federal de
Minas Gerais

Orientador: José Marcos Silva Nogueira

1. Redes de Emergência - Teses. 2. DTN - Teses.
3. Localização de Recursos - Teses.
I. Título. II. Orientador

CDU 519.6*22(043)



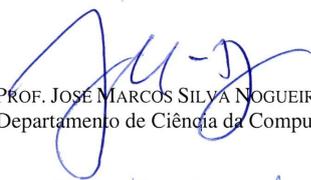
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

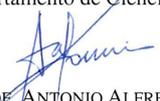
Localização de recursos em redes de emergência tolerantes a atrasos e desconexões

ANDRÉ MARQUES POERSCH

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:


PROF. JOSÉ MARCOS SILVA NOGUEIRA - Orientador
Departamento de Ciência da Computação - UFMG


PROF. LUIZ HENRIQUE ANDRADE CORRÊA
Departamento de Ciência da Computação - UFLA


PROF. ANTONIO ALFREDO FERREIRA LOUREIRO
Departamento de Ciência da Computação - UFMG


DR. DANIEL FERNANDES MACEDO
Bolsista de Pós-Doutorado - DCC-UFMG

Belo Horizonte, 24 de fevereiro de 2010.

Agradecimentos

Agradeço ao meu pai e minha mãe por me ajudar e incentivar em tudo. À minha irmã pelo apoio. A todos que foram meus professores, em especial ao meu orientador José Marcos por todo apoio e ajuda durante o mestrado. Aos meus amigos que me ajudaram diretamente ou indiretamente na realização deste trabalho, principalmente aos do laboratório ATM. Agradeço ao CNPQ por me permitir dedicar exclusivamente ao mestrado. E a Deus por sua presença e ajuda em todo o processo.

Resumo

Em cenários de emergência, como desastres naturais, redes de comunicação de dados podem ser utilizadas para auxiliar na comunicação e na coordenação dos esforços para minimizar as perdas decorrentes do desastre. Um problema nessas situações é que a infraestrutura de rede pode ter sido destruída pelo desastre ou não estar disponível para as equipes de resgate.

Uma solução para o problema são as redes móveis ad hoc, formadas por dispositivos com interface de comunicação sem fio, trazidos por estas equipes. Estas redes são chamadas de redes de emergência e podem ser muito dinâmicas quanto à sua conectividade, os seus nós podem ter grande mobilidade e a sua área de cobertura pode ser grande.

Em uma rede formada espontaneamente, uma das funcionalidades importantes é a localização de recursos, tanto computacionais quanto recursos físicos próprios de um ambiente de emergência. Para uma rede como a considerada neste trabalho, esta funcionalidade deve ser tolerante a atrasos e desconexões.

Esta dissertação propõe uma solução de localização de recursos, que utiliza a arquitetura de redes tolerantes a atrasos e desconexões (Disruption/Delay Tolerant Network - DTN). É realizado um estudo sobre diferentes mecanismos para disseminação de mensagens, buscando reduzir o uso de recursos da rede. A solução proposta é validada através de simulação e da implementação de um protótipo.

Os resultados alcançados demonstram que é possível economizar os recursos da rede, mantendo uma alta taxa de descoberta de recursos, utilizando algoritmos diferentes do Epidêmico e descobrindo mais recursos que uma busca somente nos nós conectados da rede.

Palavras-chave: Redes de Emergência, DTN, Localização de Recursos, MANET.

Abstract

In emergency scenarios such as natural disasters, communication networks can be used to assist in the communication and coordination efforts to minimize losses from the disaster. A problem in these situations is that the network infrastructure may have been destroyed by the disaster or not be available to first responders.

A solution to this problem are mobile ad hoc networks formed by devices brought by these teams. These networks are called emergency networks and can be very dynamic as to its connectivity, have great mobility and have a large coverage area.

In a network formed spontaneously, one important feature is resource location, both computational and physical resources related to a emergency situation. For a network as the ones considered in this work this functionality should be delay and disconnection tolerant.

This work proposes a solution to resource location, using delay-disruption tolerant network architecture(DTN). A study is made on different message dissemination mechanisms, aiming to reduce network resource usage. The proposed solution is validated through simulation and a prototype implementation.

The results show that it is possible to save network resources, while maintaining a high discovery rate, using different algorithms aside from the Epidemic algorithm, finding more resources than a search only on the network connected nodes.

Keywords: Emergency Networks, DTN, Resource Location, MANET.

Lista de Figuras

2.1	Modelo de rede de emergência	9
2.2	Modelo de mobilidade	11
3.1	Arquitetura do DTN	17
3.2	Troca de mensagens do algoritmo Epidêmico	19
4.1	Modos de funcionamento do SLP	23
4.2	Funcionalidades e dispositivos UPnP	24
5.1	Arquitetura do sistema de busca de recursos	31
5.2	Mensagens do sistema de busca de recursos	34
6.1	Simulação Epidêmico e Epidêmico com volta	40
6.2	Probabilidade de descoberta de recursos, modelo de mobilidade de emergência, variando a porcentagem de nós com recurso na rede	41
6.3	Mensagens Repassadas, modelo de mobilidade de emergência, variando a porcentagem de nós com recurso na rede	42
6.4	Atraso, modelo de mobilidade de emergência, variando a porcentagem de nós com recurso na rede	42
6.5	Simulação 25 nós, modelo de mobilidade Random Waypoint	43
6.6	Probabilidade descoberta de recursos, variando o número de nós da rede	44
6.7	Mensagens Repassadas, variando o número de nós da rede	44
6.8	Atraso, variando o número de nós da rede	45
6.9	Descoberta de recursos, variando o tempo de vida das mensagens (TTL) em minutos	45
6.10	Mensagens Repassadas, variando o tempo de vida das mensagens (TTL) em minutos	46
6.11	Atraso, variando o tempo de vida das mensagens (TTL) em minutos	46
6.12	Diagrama da rede dos experimentos	48

6.13	Movimentação dos nós no experimento	49
6.14	Aplicação sendo executada em dois N810	50
6.15	Equipamentos utilizados nos experimentos	51

Lista de Tabelas

5.1	Exemplos de consultas	33
6.1	Parâmetros de simulação	38
6.2	Parâmetros utilizados nas simulações para os modelos de mobilidade	39
6.3	Consultas realizadas	49
6.4	Respostas esperadas	50

Sumário

Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Abstract	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
1 Introdução	1
1.1 Motivação	2
1.2 O problema	3
1.3 Objetivos	3
1.4 Contribuições	4
1.5 Organização do trabalho	4
2 Redes de emergência	7
2.1 Modelo de rede de emergência	8
2.2 Mobilidade em redes de emergência	10
2.3 Trabalhos relacionados a redes de emergência	11
2.4 Conclusão	12
3 Redes tolerantes a atrasos e desconexões(DTN)	15
3.1 Arquitetura DTN	17
3.2 Roteamento em DTN	18
3.3 Conclusão	20
4 Localização de recursos	21
4.1 Sistemas de localização de recursos	22

4.2	Conclusão	26
5	Solução para localização de recursos	27
5.1	Localização de recursos em redes de emergência	28
5.2	Arquitetura	30
5.3	Funcionamento	32
5.3.1	Tipos de mensagens	33
5.4	Mecanismos de disseminação de consultas, respostas e anúncios	34
5.5	Conclusão	36
6	Validação do sistema	37
6.1	Simulação	38
6.2	Resultados e análise	39
6.2.1	Epidêmico com Volta versus Epidêmico	40
6.2.2	Variação da quantidade de recursos	40
6.2.3	Escalabilidade	43
6.2.4	Variação do tempo de vida	45
6.3	Avaliação do protótipo	46
6.3.1	Implementação	47
6.3.2	Experimentos	47
6.4	Conclusão	51
7	Conclusão	53
7.1	Trabalhos Futuros	53
	Referências Bibliográficas	55

Capítulo 1

Introdução

Desastres são situações que rompem o funcionamento normal da sociedade e economia de uma região e que podem ter origens naturais, tecnológicas ou humanas. Nesses ambientes que se tornam caóticos, agentes de várias organizações tentam coordenar esforços de resposta e prestar socorro às vítimas. Tais agentes são denominados respondedores. Um grande desafio nessas situações é a comunicação, principalmente quando estão envolvidas mais de uma organização nas atividades de socorro [Manoj & Baker, 2007]. A coordenação de pessoas e equipes em locais de desastre pode ser melhorada com o uso de redes de comunicação sem fio, que oferecem transmissão tanto de voz como de dados.

O primeiro desafio tecnológico após a ocorrência de um desastre é estabelecer uma rede de comunicação para os primeiros respondedores e os gerentes da operação. As infraestruturas de redes com fio ou sem fio podem ter sido destruídas ou não existir em locais remotos. Portanto, a rede deve ser formada com equipamentos trazidos para a área afetada, formando redes ad-hoc móveis (Mobile Ad hoc NETWORK - MANET). Estas são redes autônomas, auto organizáveis, nas quais os nós podem se mover aleatoriamente, o que leva a alterações nas topologias das redes [Gerla, 2005]. Tipicamente elas são dinâmicas em termos de conectividade e de recursos de rede disponíveis, bem como os dispositivos utilizados pelos usuários podem ser muito heterogêneos.

Em uma rede formada espontaneamente e em que nós podem entrar e sair da rede a qualquer momento, uma funcionalidade muito importante é a localização de recursos. Através dela, é possível descobrir ou localizar recursos oferecidos pelos nós da rede a partir de propriedades descritas em requisições. A descoberta de recursos é fundamental para uma boa utilização dos recursos compartilhados na rede.

Uma rede em um ambiente de desastre pode ser dinâmica quanto à sua conectividade, os seus nós podem ter grande mobilidade e a sua área de cobertura também

pode ser muito grande. Pode haver variações nos sinais de rádio devido a interferência e a obstáculos tais como prédios, veículos ou árvores. Os nós estão sujeitos a falhas e têm recursos limitados de rádio e bateria.

Características como baixa densidade de nós, conectividade intermitente, altas taxas de erros de comunicação, alta latência, limitações de banda e de energia dos nós propiciam a criação de cenários desafiadores conhecidos como *Challenged Networks* [Fall, 2003]. Nessas condições os serviços desenvolvidos para redes tradicionais não apresentam um bom desempenho, pois assumem a existência de um caminho fim-a-fim, atrasos razoáveis e também baixas perdas de pacotes.

Para permitir a comunicação nesses casos, são propostas diversas soluções seguindo o conceito de redes tolerantes a atrasos e desconexões (*Delay-Disruption Tolerant Networks*, DTN). Entretanto para a utilização de DTN, as aplicações devem permitir a comunicação assíncrona, necessitando de protocolos específicos.

O problema de roteamento em redes MANETs tradicionais é o de encontrar o melhor caminho fim-a-fim disponível. Já em redes DTNs um caminho fim-a-fim pode nunca existir e o roteamento ocorrer ao longo do tempo com as mensagens sendo armazenadas nos nós intermediários da rede até eventualmente serem entregues.

Esse trabalho considera uma MANET utilizando uma tecnologia de rede sem fio como o Wi-Fi (IEEE 802.11), na qual os agentes que trabalham no resgate carregam dispositivos como *PDA*s que possuem interface de rede sem fio. Nem todos os agentes possuem dispositivos, em alguns casos somente alguns agentes os possuem, como por exemplo, os líderes das equipes. Também podem ser instalados pontos de acesso fixos na área do desastre para prover acesso aos respondedores e gerentes da operação. Todos os nós possuem a camada agregação (*bundle*) implementada [Scott & Burleigh, 2007] e podem ou não ter disponíveis um protocolo de roteamento multi-salto para MANETs, como o OLSR [Clausen & Jacquet, 2003] ou AODV [Perkins et al., 2003].

1.1 Motivação

Redes de dados podem ajudar em situações de emergência [Manoj & Baker, 2007; Arisoylu et al., 2005; Löffler et al., 2006] provendo uma melhor comunicação e auxiliando na coordenação dos trabalhos. Como as redes de comunicação existentes no local podem ter sido destruídas, não existirem ou as equipes não terem acesso à infraestrutura de comunicação, uma boa solução para prover a comunicação são as redes MANETs, formadas por dispositivos levados pelos respondedores.

Como a rede é formada espontaneamente, uma das funcionalidades importantes é

a localização de recursos, pois é necessário descobrir quais dispositivos estão disponíveis e quais recursos eles podem oferecer.

Os requisitos do sistema de recurso para rede de emergência diferem dos demais principalmente quanto à variedade dos recursos e à necessidade ao suporte de desconexões da rede. Um sistema de localização de recursos que atenda a esses requisitos é necessário e pode ser utilizado em diversas aplicações, que podem auxiliar de várias maneiras às equipes que trabalham na emergência.

1.2 O problema

O problema abordado neste trabalho é o da localização de recursos em redes de emergência. Através dessa funcionalidade é possível descobrir ou localizar recursos oferecidos pelos nós da rede a partir de propriedades descritas em requisições.

A grande dificuldade para realização da descoberta de recursos são as limitações impostas pela rede, que tornam difícil a entrega das mensagens. Pode não haver um caminho fim-a-fim, para que as mensagens sejam transmitidas, entre o nó que procura um recurso e o que possui. Mesmo nestas condições o recurso pode ser descoberto, caso sejam utilizadas formas adequadas de disseminar as mensagens.

Também é um requisito que sejam realizadas o mínimo de cópias e transmissões mensagens, visando economizar recursos de rede, para não atrapalhar o funcionamento de outras aplicações que estejam sendo utilizadas e até mesmo permitir uma maior taxa de descoberta de recursos, caso a banda de transmissão e espaço de armazenamento da rede sejam escassos. Além disso, há a preocupação em reduzir o número de mensagens transmitidas, quando os dispositivos que formam a rede têm limitações de energia (uso de baterias).

Os tipos de recursos permitidos pelo sistema de localização devem ser variados, não somente serviços computacionais, como o de impressão e armazenamento de arquivos. Permitir que recursos físicos, como ferramentas, medicamentos, dispositivos e serviços tolerantes a atrasos e desconexões sejam anunciados, possibilita que várias aplicações utilizem a funcionalidade de localização e que os recursos da rede sejam melhor compartilhados.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo propor uma solução para o problema da localização de recursos físicos e lógicos em redes de emergência, a qual suporte interrupções e

tenha flexibilidade para permitir diversos tipos de recursos de uma rede de emergência. Soluções existentes para busca de recursos/serviços não são adequadas para o tipo de rede citado anteriormente, pois foram desenvolvidas para redes em que se espera um caminho fim-a-fim na maior parte do tempo, bem como atrasos razoáveis.

1.4 Contribuições

Esta dissertação apresenta um sistema de localização de recursos que leva em consideração as particularidades de uma rede de emergência. É feito um estudo sobre soluções existentes na literatura de localização de recursos, de redes de emergência e de roteamento de mensagens em DTNs. As principais contribuições deste trabalho são:

- A criação de uma solução para o problema de localização de recursos, utilizando várias estratégias de disseminação, as quais possibilitam a entrega de mensagens mesmo com as restrições da rede. Também foram feitas otimizações para diminuir o número de mensagens geradas e aumentar a probabilidade de descoberta de recursos.
- Para a validação, a solução é implementada em um simulador de redes DTN, juntamente com um modelo de mobilidade para redes de emergência. Simulações foram realizadas e os resultados analisados. Foi implementado um protótipo da solução, que funciona em dispositivos móveis, para validar o seu funcionamento em dispositivos reais.

Os resultados alcançados demonstram que é possível economizar recursos da rede, mantendo uma alta descoberta de recursos, utilizando algoritmos diferentes do algoritmo de roteamento Epidêmico e descobrindo mais recursos que uma busca somente nos nós conectados da rede.

1.5 Organização do trabalho

O texto da dissertação está organizado em sete capítulos. Nos próximos três capítulos do texto são estudados conceitos importantes para a solução do problema de localização de recursos em redes de emergência. No Capítulo 2 é discutido o que são redes de emergência. São apresentados os principais conceitos sobre o assunto, um modelo de rede que pode ser utilizado em situações de emergência e alguns trabalhos que demonstram como a tecnologia pode ajudar na comunicação e coordenação das equipes que trabalham para minimizar os danos de um desastre. Também é apresentado um

modelo de mobilidade para redes de emergência, utilizado na validação da solução proposta neste trabalho.

No Capítulo 3 são introduzidos os conceitos sobre redes tolerantes a atrasos e desconexões. São apresentados os principais motivos da necessidade da arquitetura DTN, diferente da utilizada na Internet atualmente e os benefícios que ela pode oferecer para os tipos de rede para a qual ela foi projetada. São apresentados também os pontos mais importantes da arquitetura DTN e o seu funcionamento.

No capítulo 4 são apresentadas as principais soluções de localização de recursos da literatura, tanto para redes tradicionais como o SLP, o Jini e o UPnP, quanto para rede MANETs, como o GSD e o Allia.

O Capítulo 5 trata da solução proposta para localização de recursos em redes de emergência. É apresentada uma solução distribuída e tolerante a atrasos e desconexões para o problema, a sua arquitetura e o seu funcionamento. São discutidos os requisitos importantes para a solução e como as mensagens do sistema podem ser disseminadas na rede, de forma a obter um bom desempenho sem utilizar muitos recursos de rede.

A validação da solução proposta é apresentada no Capítulo 6. São realizadas simulações para verificar a viabilidade e desempenho da solução e os resultados obtidos são analisados. Também é implementado um protótipo do sistema e o seu funcionamento é verificado através de testes utilizando dispositivos móveis e computadores interligados por uma rede sem fio ad-hoc.

Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões gerais do trabalho, os trabalhos futuros e melhorias que podem ser realizadas na solução de localização de recursos.

Capítulo 2

Redes de emergência

Cenários de emergência são situações ocasionadas por desastres naturais, tecnológicos ou humanos nas quais é interrompido o funcionamento normal da sociedade e de sua economia em grande escala. Nesses cenários, agentes de várias organizações tentam coordenar esforços de resposta e prestar socorro às vítimas para reduzir os danos causados pelo desastre. Os agentes em cenários de emergência, denominados respondedores, podem ser bombeiros, médicos, policiais, agentes da defesa civil entre outros.

Um grande desafio nessas situações é a comunicação, principalmente quando estão envolvidas mais de uma organização nas atividades de socorro [Manoj & Baker, 2007]. Usualmente a comunicação ocorre somente utilizando voz, mas a coordenação de pessoas e equipes em locais de desastre pode ser melhorada com o uso de redes de comunicação sem fio, que oferecem transmissão tanto de voz como de dados.

O trabalho de coordenação e a atuação em uma região visando minimizar os danos físicos e sociais de um desastre é o gerenciamento de emergência [Schmitt et al., 2007]. Os esforços podem ser divididos em quatro fases, classificadas de acordo com o tempo em relação ao acontecimento do desastre. Em cada uma delas o uso da tecnologia pode ajudar na realização das atividades. Essas fases são:

Preparação: Ocorre meses ou dias antes do desastre. São os esforços com intuito de minimizar os efeitos de um desastre, como a construção de prédios mais resistentes, adequação das construções já existentes, treinamento das equipes e medidas de contenção do fenômeno. A tecnologia pode ser utilizada, por exemplo, para modelar alguns fenômenos naturais e realizar simulações para prever qual intensidade e locais que o fenômeno vai atingir, como na previsão do tempo. Podem ser feitos cadastros dos recursos disponíveis como água, medicamentos e alimentos para uma melhor distribuição. Também pode ser realizado o treinamento dos

agentes para a utilização dos recursos tecnológicos.

Prontidão: Ocorre momentos antes e durante a ocorrência do fenômeno. São executadas ações para melhorar a capacidade de resposta, como o posicionamento das equipes e equipamentos e a criação de planos de ação. Nessa fase podem ser utilizadas redes de sensores sem fio, os nós sensores podem ser espalhados pela região em crise para a monitoração do fenômeno. Os sensores podem alertar sobre perigos para as equipes já posicionadas na região e informar sobre a evolução do fenômeno.

Resposta: Esforços efetuados imediatamente após o acontecimento do fenômeno, com objetivo de conter e minimizar as perdas materiais e humanas. A coordenação deve ser forte e eficiente, pois é o momento mais crítico, quando as tarefas executadas rapidamente podem significar mais vidas salvas. Esta fase é o foco deste trabalho e a que tem maior carência de tecnologia atualmente. Tradicionalmente a comunicação entre as equipes é feita através de rádio por voz. Este tipo de comunicação é restrito, pois tem limitações ao transmitir vários tipos de dados, como por exemplo, informações em mapas ou fotos. A integração de voz e dados pode estender a habilidade dos integrantes das equipes de processarem informações como mapas, localizações e recursos disponíveis na rede. As redes ad hoc criadas através de dispositivos carregados pelos respondedores podem suprir a falta de infra-estrutura de comunicação provendo tanto comunicação de voz quanto de dados.

Restabelecimento: São ações realizadas para normalizar a região afetada, como reconstrução das casas, ruas, restabelecimento do fornecimento de energia e de comunicação. Esta fase pode ter duração de semanas a anos. Após o desastre, a infra-estrutura de comunicação da região afetada pode estar danificada por diversos fatores, como a destruição dos equipamentos. Podem ser criadas redes sem fio temporárias para prover comunicação, até que a rede normal seja restabelecida.

2.1 Modelo de rede de emergência

Este trabalho considera uma MANET utilizando uma tecnologia de rede sem fio como o Wi-Fi (IEEE 802.11), na qual os agentes que trabalham no resgate carregam dispositivos com interface de rede sem fio, como *PDA*s, *smartphones* ou *tablets*.

Podem ser instalados pontos de acesso fixos na área do desastre para prover acesso de rede aos respondedores e gerentes da operação. Todos os nós possuem a camada

agregação (*bundle*) implementada [Scott & Burleigh, 2007] e podem ter disponíveis um protocolo de roteamento multi-salto para MANETs, como o OLSR [Clausen & Jacquet, 2003] ou AODV [Perkins et al., 2003]. Os principais componentes da rede estão ilustrados na Figura 2.1 e são descritos a seguir:

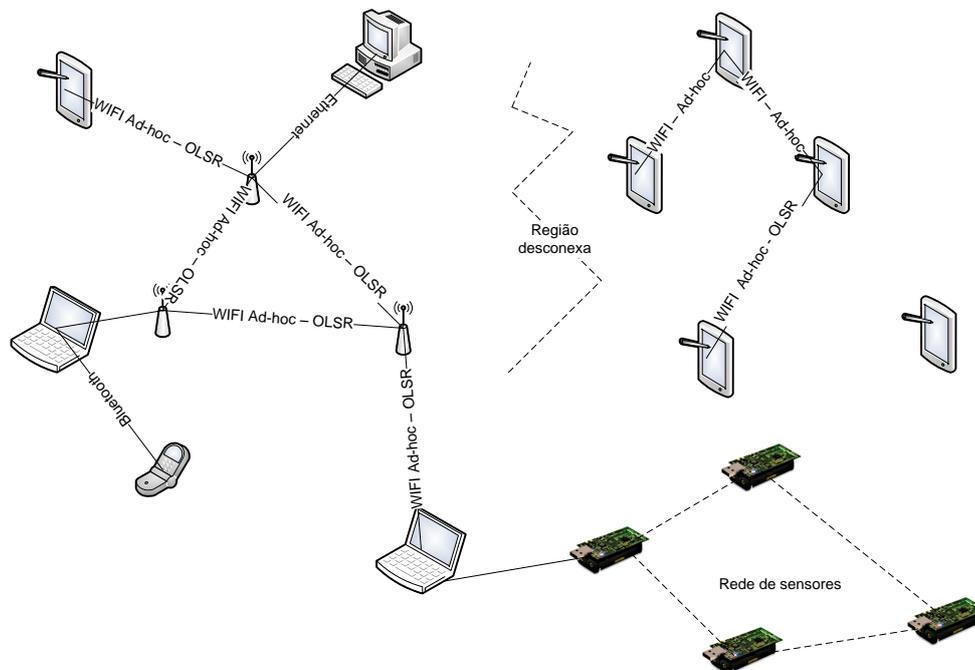


Figura 2.1. Modelo de rede de emergência

Dispositivos: PDAs, telefones celulares, tablets, notebooks, computadores pessoais e sensores sem fio. Os dispositivos devem ter conectividade de rede sem fio ou estarem conectados a pontos de acesso que oferecem ligação com o restante da rede.

Tecnologias de rede: É considerado que a principal tecnologia de rede utilizada é o Wi-Fi (IEEE 802.11 abgn) no modo ad-hoc. Alguns dispositivos como celulares podem participar da rede utilizando Bluetooth. O acesso à Internet não é necessário para que o sistema de localização de recursos funcione e pode não estar presente devido a diversos fatores, como a destruição da infraestrutura no local. O acesso à Internet pode ser provido por diversas tecnologias, como 3G ou por satélite para alguns nós da rede, que podem compartilhar esse acesso. As redes de sensores geralmente utilizam tecnologias proprietárias ou tecnologias com ZigBee

[Alliance, 2005] e o acesso a suas informações é feito por um computador estação base, que se conecta a rede através de Wi-Fi, por exemplo.

Protocolos: É considerada uma rede TCP/IP, para o roteamento multissalto, um protocolo como o OLSR [Clausen & Jacquet, 2003] ou AODV [Perkins et al., 2003] deve ser utilizado. A implementação da camada de agregação (*bundle*) deve estar presente nos nós que utilizarão o sistema de localização de recursos.

2.2 Mobilidade em redes de emergência

Nas redes de emergência o movimento dos nós não é randômico e o uso de modelos como o Random Waypoint [Broch et al., 1998], Random Direction Mobility Model ou o Reference Point Group Mobility Model [Camp et al., 2002] não são apropriados para as simulações.

No modelo Random Waypoint, inicialmente é escolhido aleatoriamente um ponto na área de simulação para onde o nó irá se mover; então é selecionada uma velocidade, seguindo uma distribuição uniforme; o nó se move em direção do ponto até chegar nele; e ao chegar no ponto, opcionalmente, espera por um tempo aleatório e volta a executar o passo um.

Foi desenvolvido um modelo de mobilidade para redes de emergência, inspirado em [Nelson et al., 2007]. Neste modelo os nós da rede possuem papéis que determinam sua mobilidade, como em [Nelson et al., 2007], mas não é utilizado um modelo gravitacional em que os eventos exercem forças que causam movimentos dos nós da rede. É utilizado o modelo Random Waypoint modificado, em que algumas regiões da área de simulação têm maior probabilidade de serem escolhidas para serem visitadas que outras.

No modelo de mobilidade de emergência, alguns pontos da área da simulação são definidos como focos do desastre (representado pelo círculo cinza na Figura 2.2), que são regiões de interesse, tais como os locais onde devem ser realizados resgate, busca, focos de incêndio etc. Os nós da rede tem papéis como os de respondedores, que podem ser bombeiros, médicos e outras pessoas envolvidas nas atividades da emergência. A movimentação dos nós ocorre de acordo com seu papel:

- Respondedores: se movimentam utilizando o Random Waypoint, mas com uma probabilidade P de ir para a área circular de raio R de um dos focos do desastre. Eles podem ser policiais, bombeiros ou médicos, por exemplo. A velocidade de movimentação é de uma pessoa andando, no máximo, de uma pessoa correndo.

- Ambulâncias e veículos similares: Alguns nós se movimentam entre os focos de desastre e o centro de controle ou hospital, simulando assim a movimentação de ambulâncias. A sua velocidade é compatível com a de um carro movimentando em uma cidade.
- Viaturas: nós que se movimentam entre os focos de desastres, simulando a movimentação de viaturas, que fazem patrulha, transportam materiais e pessoas.

Não é considerada a movimentação dos civis ou vítimas, pois eles não são nós da rede. A rede é formada apenas pela equipe de emergência. É considerado que existe um mecanismo de segurança que garanta que somente os participantes da equipe de resposta a emergência tenham acesso à rede.

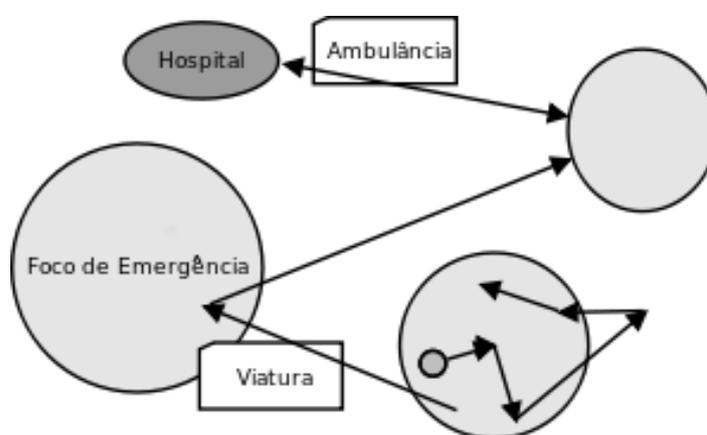


Figura 2.2. Modelo de mobilidade

2.3 Trabalhos relacionados a redes de emergência

Alguns trabalhos na literatura demonstram como a tecnologia pode ser utilizada em situações de emergência. Em [Manoj & Baker, 2007] é discutida a dificuldade da comunicação em ambiente de crise e como a troca de informação é necessária nestes cenários. São identificados desafios sociais, organizacionais e tecnológicos existentes nesses ambientes e que redes ad-hoc podem ser uma solução para a comunicação.

O Sahana [Careem et al., 2007] é um sistema Web de código livre que visa ajudar na fase de restabelecimento após um desastre. Ele é uma ferramenta de colaboração que auxilia em vários problemas de coordenação que ocorrem após e durante um desastre, como encontrar pessoas desaparecidas, gerenciar a ajuda e os voluntários e acompanhar a situação de acampamentos para desabrigados. O sistema foi utilizado no Tsunami da Ásia em 2004 e também no terremoto do Haiti no início de 2010.

WIISARD é um sistema desenvolvido para auxiliar o tratamento médico e resgate em ataques terroristas ou acidentes que produzam áreas de perigo de contaminação [Arisoylu et al., 2005]. A infra-estrutura de rede é construída com roteadores 802.11, que são interligados utilizando Wireless Distribution System(WDS). O protocolo utilizado no WDS é Spanning Tree Protocol. São utilizados na rede *PDA*s, tablets, Tags Wi-Fi e monitor de sinais vitais todos conectados através de Wi-Fi. A aplicação permite a triagem e coordenação de transporte das vítimas, localização dos respondedores e vítimas na área afetada, bem como monitoração dos sinais vitais das vítimas.

SHARE é um projeto europeu que visa desenvolver tecnologias para fornecer serviços multimídia, de comunicação e de informação durante grandes operações de resgate [Löffler et al., 2006]. O sistema permite utilizar *PDA*s, notebooks e tablet PCs para a comunicação por áudio, vídeo, texto e a exibição de mapas. A infraestrutura de rede utilizada pode ser com a tecnologia WIMAX, 3G ou Wi-Fi ad hoc. O sistema proposto não é tolerante a atrasos e desconexões.

Em [Kanchanasut et al., 2007] é mostrada a construção de uma rede Wi-Fi *mesh* para uso em resposta a desastre. Para tanto são utilizados roteadores *mesh* móveis nas áreas do desastre e várias equipes podem ser conectadas através de link de satélites. Nessa arquitetura o centro de controle fica distante da área onde a equipe está e o acesso é feito pela Internet. Para roteamento da rede *mesh* é utilizado o protocolo Optimized Link State Routing(OSLR) [Clausen & Jacquet, 2003] e todos os equipamentos participantes (*notebooks*, *PDA* e roteadores) são capazes de repassar as mensagens pela rede. A aplicação utilizada é um sistema de colaboração multimídia, que provê serviços de mensagens instantâneas, ligações de vídeo e áudio. O software desenvolvido trabalha de uma maneira par-a-par, utilizando um sistema de *hashing* distribuído(DHT).

MIDAS Data Share é um sistema que permite compartilhar informações para aplicações ad-hoc móveis de resgate e emergência [Plagemann et al., 2007]. As informações são armazenadas de forma distribuída entre os participantes da rede e replicadas para aumentar a disponibilidade em um ambiente dinâmico como as MANETs.

Na pesquisa realizada para esta dissertação não foram encontrados trabalhos que tratassem da localização de recursos em redes de emergência.

2.4 Conclusão

Redes de dados podem ajudar em cenários de emergência, principalmente na comunicação. Neste capítulo foram discutidas as fases de uma situação de emergência e como a tecnologia pode ajudar em cada uma delas. Normalmente, a comunicação entre as

equipes de resgate é através de rádio (voz). Como em desastres a infraestrutura de comunicação pode ser afetada, as MANETs podem prover uma solução para comunicação de dados nesse ambiente, melhorando assim a comunicação e o gerenciamento nessas situações. Essas redes podem ser compostas por vários dispositivos, como *PDA*s e *smartphones*.

A funcionalidade de localização de recursos pode ser de grande utilidade em uma rede de emergência. Como a rede é formada espontaneamente pelos equipamentos trazidos por várias equipes é importante conhecer quais recursos estão disponíveis e que serviços podem ser utilizados. Através do sistema, aplicações podem disponibilizar recursos para outros participantes da rede, permitindo uma melhor colaboração.

É discutido um modelo de como pode ser uma rede de emergência, com seus componentes e formas de interligá-los na Seção 2.2. É apresentado um modelo de mobilidade que leva em conta as características da rede de emergência e cada um dos tipos de nós possui uma movimentação diferente. Os agentes ou respondedores se movimentam com uma probabilidade grande de ir para um dos focos de desastres, as ambulâncias se movimentam entre os focos de desastre e os hospitais e as viaturas se movimentam entre os focos de desastre.

Por fim são discutidos alguns trabalhos sobre redes de emergência, que demonstram como a tecnologia pode auxiliar em desastres e como redes de emergência podem ser úteis.

Capítulo 3

Redes tolerantes a atrasos e desconexões(DTN)

Uma rede em um ambiente de desastre pode ser muito dinâmica quanto à sua conectividade, os seus nós podem ter grande mobilidade e a sua área de cobertura também pode ser muito grande. Pode haver variações nos sinais de rádio devido a interferência e a obstáculos tais como prédios, veículos ou árvores. Os nós estão sujeitos a falhas e têm recursos limitados de rádio e bateria.

Características como baixa densidade de nós, conectividade intermitente, altas taxas de erros de comunicação, alta latência, limitações de banda e de energia dos nós propiciam a criação de cenários desafiadores conhecidos como *Challenged Networks* [Fall, 2003].

Nessas condições os serviços desenvolvidos para redes tradicionais não apresentam um bom desempenho, pois assumem certas condições para seu funcionamento, relacionadas a arquitetura da Internet. Dentre essas condições podem ser citadas:

- Um caminho fim a fim entre fonte e o destino durante toda a comunicação.
- A existência de somente uma pequena perda de dados fim-a-fim.
- O atraso do canal de comunicação entre a fonte e o destino é razoável.
- O uso de somente uma rota oferece uma performance aceitável.

Para permitir a comunicação nesses casos, são propostas diversas soluções seguindo a arquitetura de redes tolerantes a atrasos e desconexões (*Delay-Disruption Tolerant Networks*, DTN). A arquitetura de redes DTN [Cerf et al., 2007] foi planejada de forma que essas condições possam ser relaxadas. Os princípios do *design* da arquitetura DTN podem ser sumarizados em: o uso de mensagens de tamanho variável,

normalmente grande, para permitir que a rede possa fazer a escolha de bons caminhos e agendamento de transmissão; uma sintaxe de nomes que permita vários esquemas de nomes e interoperabilidade; o armazenamento de dados dentro da rede, para suportar operação no modo armazenar-carregar-repassar, assim suportando grandes atrasos na rede e não requerendo um caminho fim a fim no momento da transmissão.

Entretanto para a utilização de DTN, as aplicações devem permitir a comunicação assíncrona, necessitando de protocolos específicos. As aplicações além de utilizarem a camada de agregação da arquitetura DTN, devem buscar no seu projeto:

- Minimizar o número de interações fim-a-fim: como o atraso de ida e volta pode ser muito grande, é melhor que uma operação possa ser realizada no mínimo de passos possíveis. Por exemplo, em uma aplicação de correio eletrônico, em uma mesma mensagem da aplicação poderia ser enviada: uma mensagem de email, a requisição da lista de mensagens disponíveis e o pedido para copiar as cinco primeiras mensagens da caixa de entrada.
- Lidar com reinícios depois de falhas, pois as suas requisições ainda podem estar pendentes na rede e serem entregues ou recebidas.
- Informar a importância e o tempo de vida dos dados a serem entregues. Dessa forma a rede pode dar prioridade a dados mais importantes e descartar o que pode ter perdido o valor depois que certo tempo se passou.

O problema de roteamento em redes MANETs tradicionais é o de encontrar o melhor caminho fim-a-fim disponível. Já em redes DTNs um caminho fim-a-fim pode nunca existir e o roteamento ocorrer ao longo do tempo com as mensagens sendo armazenadas nos nós intermediários da rede até eventualmente serem entregues.

Há diversos protocolos de roteamento para DTNs que definem o repasse da mensagem. Esses variam a forma do repasse de mensagem de acordo com as necessidades da aplicação e a mobilidade da rede. Por exemplo, em uma rede formada por satélites e dispositivos em planetas, a mobilidade é previsível e essa informação pode ser utilizada no roteamento. Em redes de emergência não é possível prever a localização dos nós, assim, outras técnicas devem ser utilizadas.

A mobilidade dos nós da rede é um dos fatores que define o tipo de contato entre os nós. Contato pode ser definido como uma oportunidade favorável para troca de dados entre os nós. Os algoritmos para roteamento devem ser planejados de acordo com o tipo de contato dos nós da rede.

Os contatos são classificados em cinco tipos [Cerf et al., 2007]: *persistentes*, aqueles sempre disponíveis como uma conexão a cabo com a internet; *sob demanda*, contatos

que necessitam de uma ação para se tornarem disponíveis, como uma conexão discada a Internet; *programados*, são contatos que tem horários conhecidos para acontecer, como por exemplo, um contato com um satélite em órbita da terra; *previsíveis*, que são contatos que podem ser previstos a partir de um histórico, como por exemplo, o contato entre um ônibus e uma estação; e os *oportunistas* que não podem ser previstos e ocorrem ao acaso entre os nós. As redes de emergência têm como característica os contatos oportunistas. Todos os tipos de contatos são suscetíveis a falhas, alguns muito mais, como os oportunistas.

3.1 Arquitetura DTN

O principal ponto da arquitetura DTN é a camada de agregação (*bundle layer*). Essa camada faz a comutação de mensagens formando uma rede sobreposta, situada acima da camada de transporte. Um dispositivo que implementa a camada de agregação é chamado nó DTN. Dentre as funcionalidades da camada de agregação estão o armazenamento persistente de mensagem para permitir a comunicação com interrupções; o encaminhamento salto-a-salto com transferência da responsabilidade de entrega e também a confirmação opcional fim-a-fim.

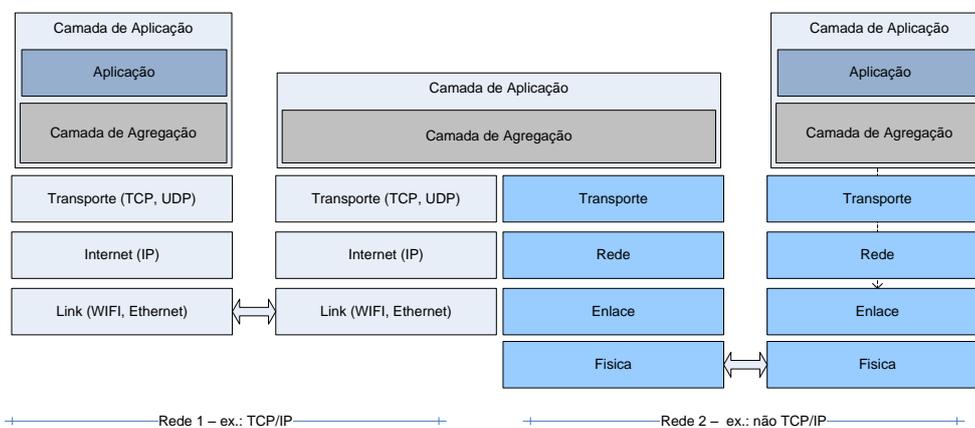


Figura 3.1. Arquitetura do DTN

As aplicações das DTNs enviam mensagens de tamanhos variados para a camada de agregação (Figura 3.1). As mensagens são transformadas pela camada de agregação em uma ou mais unidades denominados agregados (*bundles*), que são armazenados e encaminhados pelos nós DTN.

Os agregados DTN são endereçados a um ponto final DTN (*DTN endpoint*), que é formado por um conjunto de nós DTN. O identificador de ponto final DTN (*EID*

- *Endpoint Identifier*) é o nome utilizado para identificar esses pontos finais os quais são formados seguindo o esquema de URIs (Uniform Resource Identifier)[Berners-Lee et al., 2005]. Um URI é uma cadeia de caracteres usada para identificar um recurso, que permite grande flexibilidade na identificação e a utilização de esquemas que especificam como são formados os identificadores. Os EIDs, como dito anteriormente, podem estar associados a mais de um nó DTN e a interpretação da URI que especifica se a mensagem é de *unicast*, *multicast* ou *broadcast*.

A vinculação (*binding*) do EID com o destinatário não ocorre necessariamente no emissor da mensagem como nas redes TCP/IP (ex: resolução de nome DNS). A localização do destinatário pode ocorrer após a mensagem ser enviada pelo emissor. Essa decisão de projeto é importante, pois em uma DTN uma vinculação feita no momento do envio da mensagem pode não ser válida no momento da entrega ou mesmo ser impossível.

A camada de agregação oferece outras funcionalidades como o envio por custódia, mensagens administrativas e classes de prioridade que são explicadas em [Cerf et al., 2007]

3.2 Roteamento em DTN

Redes DTN necessitam de algoritmos de roteamento diferentes dos utilizados em redes tradicionais. Esses algoritmos serão utilizados como base para a disseminação das mensagens do sistema de localização de recursos. A maioria dos algoritmos de roteamento para DTN utiliza um número indeterminado de cópias da mensagem como o Epidêmico [Vahdat & Becker, 2000] e o Prophet [Lindgren et al., 2003]; outros já utilizam um número de cópias fixos como o Spray and Wait [Spyropoulos et al., 2005] e EBR [Nelson et al., 2009].

Em [Vahdat & Becker, 2000] é apresentado o algoritmo Epidêmico que distribui a mensagem para o maior número de nós possíveis, como em uma epidemia. Quando dois nós se encontram, eles trocam suas listas de mensagens (Figura 3.2) e cada um faz a transmissão de todas as mensagens que o seu par não possui. O algoritmo Epidêmico possui a menor latência e a maior taxa de entrega possível em um ambiente ideal, sem restrições de recurso de banda e *buffer*. O grande problema do algoritmo Epidêmico é o alto gasto dos recursos da rede, devido ao grande número de mensagens repassadas. Em cenários em que o *buffer* de mensagem dos nós da rede e a banda de transmissão são limitados, o algoritmo Epidêmico pode ter menores taxas de entrega e maior latência que os outros algoritmos.

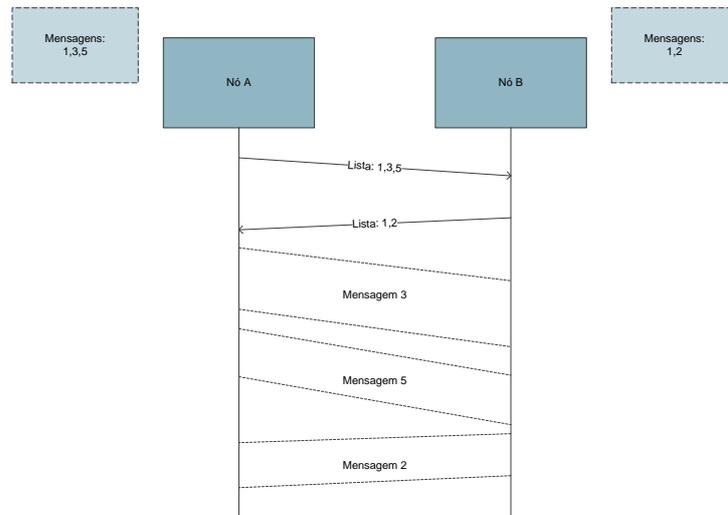


Figura 3.2. Troca de mensagens do algoritmo Epidêmico

O Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity (PRoPHET) [Lindgren et al., 2003] é um algoritmo de roteamento probabilístico para redes com conectividade intermitente que supõe a não aleatoriedade de movimento dos nós da rede para melhorar a entrega das mensagens. O seu funcionamento é similar ao Epidêmico, mas ele utiliza uma métrica previsibilidade de entrega para fazer o encaminhamento seletivo das mensagens.

Um dos algoritmos mais simples para DTNs é o Direct Transmission [Spyropoulos et al., 2004], no qual é mantida somente uma cópia da mensagem na rede e um nó A encaminha uma mensagem para um nó B apenas se B for o destino da mensagem. Dessa forma o algoritmo depende da mobilidade do nó para que haja a entrega da mensagem.

O algoritmo Spray and Wait [Spyropoulos et al., 2005] busca combinar os benefícios do Epidêmico com os do Direct Transmission, reduzindo a sobrecarga na transmissão baseada em *flooding* mas mantendo um baixo atraso e alta taxa de entrega. O roteamento é realizado em duas fases: a fase de *spray*, onde são espalhadas L cópias das mensagens para os nós vizinhos e a fase de *wait* que ocorre após as L cópias serem espalhadas, onde a entrega ocorre como no Direct Transmission. Este esquema não requer o uso de qualquer informação da rede e obtêm resultados bons principalmente em cenários com grande mobilidade. Em [Spyropoulos et al., 2008] é proposta uma modificação do Spray and Wait, o Spray and Focus. Nele a fase de *wait* é trocada pela de *focus*, em que a mensagem é repassada se o nó atender a uma função de utilidade. Assim o Spray and Focus também utiliza um número fixo de cópias de mensagens e

consegue ter um desempenho melhor que o Spray and Wait em cenários onde existem grupos de nós com baixa mobilidade. Outra melhoria para o Spray and Wait é o Encounter-Based Router (EBR) [Nelson et al., 2009]. Nele na fase de *spray*, os nós que possuem maior movimentação recebem um número maior de cópias que os outros. É utilizada uma métrica baseada na taxa de encontro dos nós, pois um nó que encontra mais nós tende a ser um nó com maior mobilidade.

Em [Mota et al., 2009] é apresentado um algoritmo de roteamento para redes em cenários de emergência. É assumido que os nós da rede se movimentam em grupo e é proposto um algoritmo hierárquico, em que o nó líder no grupo faz o repasse de mensagens entre nós de grupos diferentes. Este algoritmo não é utilizado para a solução proposta neste trabalho, pois não é considerado que os nós possuem uma movimentação em grupos.

3.3 Conclusão

Nesse capítulo foram discutidos os principais conceitos sobre redes tolerantes a atrasos e desconexões (DTN), a arquitetura DTN e alguns algoritmos de roteamento para contatos oportunistas que serão utilizados como base para a disseminação de mensagens do sistema de localização de recursos.

A arquitetura DTN pode ser utilizada em redes de emergência devido às características consideradas para esse tipo de rede: uma rede móvel, sujeita a problemas de interferência e a falhas nos dispositivos, com recursos limitados de banda e de energia. Essas características levam à formação de redes desconexas e sujeitas a grande atrasos, o que torna ruim o desempenho dos protocolos da Internet (TCP/IP), ou até impossível a comunicação em alguns casos.

Entre os algoritmos de roteamento para DTN, o que oferece melhor desempenho em um ambiente ótimo (sem limites de banda e *buffer*) é o Epidêmico, mas utilizando um número muito grande de cópias da mensagem e de mensagens repassadas. Existem outros algoritmos como o Spray and Wait, que utilizam um número de cópias menor, obtendo resultados piores que o Epidêmico em alguns casos, mas obtendo resultados melhores quando há limitações de banda e *buffer*.

Capítulo 4

Localização de recursos

Sistemas de localização de recursos foram desenvolvidos para permitir que recursos (dispositivos, serviços) da rede sejam localizados ou descobertos a partir de propriedades descritas em requisições. Esses sistemas têm como objetivo diminuir a sobrecarga administrativa dos usuários permitindo que esses recursos sejam utilizados de forma mais simples ou automatizada.

Em ambientes empresariais, esses sistemas têm grande utilidade pois normalmente é gasto muito tempo procurando por recursos como impressoras, *scanners*, serviços de armazenamento de arquivos, conectando e configurando esses recursos. Geralmente essa configuração requer habilidades especiais, portanto os sistemas de localização de recursos aumentam a usabilidade da rede [Zhu et al., 2005]. Esses ambientes empresariais são bastante estáveis e os recursos ficam dentro do escopo da empresa, geralmente possuindo um administrador de sistemas e são protegidos contra acesso não autorizado.

Ultimamente o número de dispositivos computacionais presentes no nosso dia a dia vem aumentando, como PDAs, celulares, *tablets*, impressoras e também as funcionalidades que eles oferecem. Esses dispositivos estão se tornando capazes de se interconectarem diretamente e a tendência é que essa conexão seja feita de forma sem fio. Esses cenários requerem que os dispositivos interajam sem que haja o conhecimento prévio do ambiente em que estão e também dos recursos disponíveis. Portanto os sistemas de localização de recursos são ainda mais necessários, principalmente quando desejamos que haja o mínimo de esforço do usuário para a operação da rede. Esses ambientes trazem desafios diferentes aos dos empresariais principalmente quanto à limitação dos dispositivos que formam a rede e a sua mobilidade.

Em redes de emergência também há a necessidade de localização de recursos, tanto computacionais como os próprios desse tipo de rede, discutidos com mais pro-

fundidade do Capítulo 2. Os requisitos do sistema de recurso para rede de emergência diferem dos demais principalmente quanto à variedade dos recursos e à necessidade ao suporte de desconexões da rede.

Neste capítulo apresentamos as principais soluções para localização de recursos, usualmente chamados na literatura por descoberta de serviços ou localização de serviços, passando pelos sistemas para redes tradicionais e também pelos específicos para redes MANETs.

4.1 Sistemas de localização de recursos

Existem vários trabalhos na área de rede de computadores sobre descoberta de recursos, mais usualmente chamados de descoberta de serviços. As arquiteturas de localização de recursos são definidas, principalmente, pela existência ou não de um diretório. Diretório é uma entidade que armazena e gerencia informações dos recursos disponíveis na rede. Os sistemas podem adotar uma abordagem centralizada, utilizando diretórios, ou distribuída, na qual cada dispositivo é responsável por manter as informações sobre os recursos que disponibiliza ou conhece.

As soluções de localização de recursos discutidas a seguir oferecem suporte a redes tradicionais, cabeadas ou sem fio, em ambientes domésticos ou empresariais como o SLP [Guttman, 1999], o Jini [Arnold et al., 1999], o UPnP [UPnP, 2009] e o Bonjour [Apple, 2009]. Também serão discutidas soluções desenvolvidas especialmente para MANETs como o Bluetooth SDP, que oferece suporte somente a redes de um salto e os sistemas para redes multi-salto como o GSD [Chakraborty et al., 2002], o Allia [Ratsimor et al., 2004] e Konark [Helal et al., 2003] que levam em consideração um ambiente mais dinâmico e espontâneo.

Para redes IP, uma das principais soluções é o Service Location Protocol (SLP) [Guttman, 1999], um padrão da Internet Engineering Task Force para descoberta de serviços. O SLP possui três tipos de agentes para executar suas funções: *agentes de usuário* que fazem a descoberta de serviços para o usuário; *agentes de serviço*, que anunciam a localização de serviços e seus atributos para os serviços; e os *agentes de diretório* que agregam informação de vários serviços em um diretório.

O SLP possui diferentes modos de operação, podendo funcionar de forma centralizada ou distribuída, como exibido na Figura 4.1. Quando há presença de um agente de diretório, ele trabalha de forma centralizada, coletando todos os serviços anunciados pelos agentes de serviço. Os agentes de usuário requisitam os serviços por *unicast* para o agente de diretório. Se não existe um agente de diretório, os agentes de usuário fazem

multicast repetidamente de suas requisições na rede e os agentes de serviço respondem por *unicast* para os agentes de usuário. Os agentes de diretório fazem anúncio de sua presença na rede por *multicast*, ou podem ser configurados nos agentes de usuário e serviço.

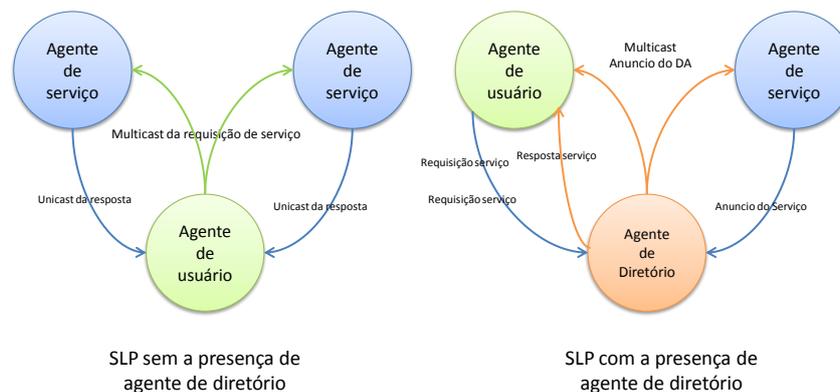


Figura 4.1. Modos de funcionamento do SLP

Serviços são anunciados usando as suas respectivas URLs, as quais contêm as informações necessárias para conectar ao serviço. Cada serviço pode ter vários atributos, que são representados por pares de atributo-valor. Existem *templates* de serviço, que contêm os atributos, valores padrões e significados para diversos tipos de serviços, garantido assim interoperabilidade entre sistemas.

Jini é uma arquitetura orientada a serviços, que especifica como os serviços podem ser localizados e invocados com base na tecnologia Java [Arnold et al., 1999]. Cada dispositivo participante do sistema deve executar uma máquina virtual Java, ou deve estar associado a um dispositivo que execute uma. O componente central da arquitetura Jini são os *LookUp Servers* (LUS), responsáveis por armazenar serviços anunciados por provedores de serviços e responder às requisições dos clientes, agindo como diretórios. Objetos de serviços no Jini são *proxies* escritos em Java que servem de interface entre os clientes e os serviços. Quando uma consulta por algum serviço é satisfeita, o cliente que realizou a consulta recebe estes objetos que geralmente são *remote method invocation (RMI) stubs*. As consultas podem ser por tipo de serviço e também por outros atributos.

Inicialmente os serviços e os clientes enviam uma mensagem de pré-descoberta utilizando *multicast* para localizar os LUSs os quais também podem realizar *multicast* para anunciar sua presença na rede. A partir da descoberta do LUSs a comunicação entre os clientes, serviços e LUSs é feita por *unicast*. O mecanismo de descoberta de serviços do Jini é ativo (os clientes enviam requisições pelos serviços aos LUSs), mas os

clientes podem se cadastrar em um serviço de notificação junto aos LUSs para receber informações sobre disponibilidades de serviços.

Outra solução é o Universal Plug and Play (UPnP) [UPnP, 2009], suportado pela Microsoft, que utiliza o protocolo Simple Service Discovery Protocol (SSDP). Quando um serviço se une a rede, ele envia em *multicast* uma mensagem de anúncio. Entre outras informações, essa mensagem contém uma URL do serviço. Quando um nó da rede quer informações sobre um serviço, ele entra em contato com o nó que provê o serviço através dessa URL ou faz uma requisição em *multicast* pelo serviço. O UPnP é projetado para redes TCP/IP e utiliza tecnologias para a Web, como XML, SOAP (Simple Object Access Protocol) e HTTP. Atualmente vários dispositivos tem suporte ao UPnP, como roteadores de rede sem fio, celulares e reprodutores de música e vem se tornando um padrão utilizado em redes domésticas. A Figura 4.2 mostra algumas das funcionalidades e dispositivos suportado pelo UPnP. No cenário, o computador pode descobrir a impressora multifuncional e seus serviços, controlar as configurações do roteador Wi-Fi; o celular utilizar o *display* para exibir fotos; e todos os dispositivos podem obter endereço e resolver nomes através do UPnP.

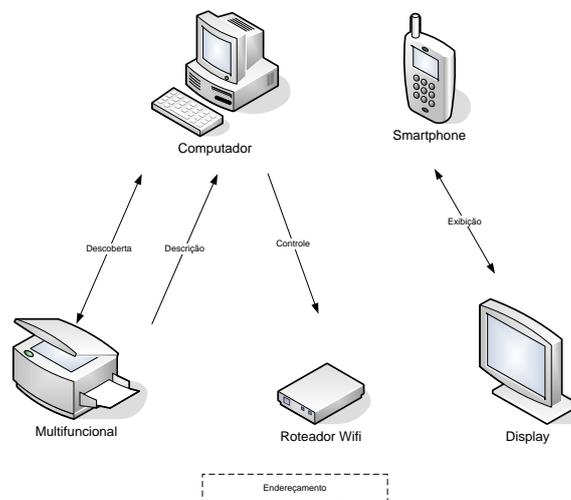


Figura 4.2. Funcionalidades e dispositivos UPnP

Outra solução bastante focada em redes domésticas é o Bonjour [Apple, 2009], uma implementação da Apple do protocolo ZeroConf [Steinberg & Cheshire, 2005] de configuração automática e descoberta de serviços. Além da descoberta de serviços e dispositivos, o protocolo oferece configuração automática de IP sem a ajuda de um servidor DHCP e também resolução de nomes. O protocolo descoberta de serviço do Bonjour é baseado no serviço de nomes de domínio *multicast* com a extensão de desco-

berta de serviços (MDNS-SD). O protocolo MDNS-SD funciona enviando uma requisição de DNS em *multicast* (especificada em [Cheshire & Krochmal, 2008]) e os provedores do serviço respondem as requisições usando registros DNS.

Bluetooth Service Discovery Protocol [Bluetooth, 2004] é um sistema de descoberta de serviços que faz parte do padrão Bluetooth, portanto bastante comum nos dispositivos utilizados atualmente. A descoberta de serviço é feita somente em um salto, o que torna o sistema bastante limitado, pois somente é possível descobrir os nós vizinhos da rede e seus serviços. Cada serviço é descrito como um conjunto de pares valor-atributo armazenados no próprio nó e não existe diretório de serviços. Através do protocolo é possível pesquisar por um serviço específico ou obter todos os serviços de um dispositivo.

O Group-based Service Discovery (GSD) [Chakraborty et al., 2002] é um sistema distribuído de descoberta de recurso, em que há o encaminhamento seletivo de mensagens, sem a necessidade de utilizar um servidor de registro e de consultas. Não há a utilização de um diretório e os nós da rede são responsáveis por anunciar os seus próprios recursos. Para a descrição dos serviços é utilizada uma ontologia que define grupos de serviço usados para fazer o encaminhamento seletivo de mensagens.

Em [Ratsimor et al., 2004] é apresentado um arcabouço para descoberta distribuída de serviços em MANETs guiado por políticas. Cada nó no sistema tem políticas, que refletem as preferências do usuário, configurações da aplicação e recursos que o nó possui. Cada nó possui um catálogo com os serviços locais e outro onde armazena serviços de sua vizinhança. Cada nó anuncia por difusão seus serviços de acordo com sua política para os nós de sua vizinhança. O conjunto formado pelos nós os quais os serviços estão armazenados no cache local, são ditos a *alliance* do nó. Quando um nó busca por um serviço, ele primeiro tenta encontrá-lo localmente, caso não o encontre, busca-o em seu cache local que contém os serviços de sua *alliance*. Não o encontrando, faz uma difusão de sua requisição para outras *alliances*. O framework Allia é altamente configurável através de políticas que podem, por exemplo, configurar a frequência de anúncio dos serviços, o tempo de vida das mensagens e os algoritmos para encaminhamento das mensagens.

Konark [Helal et al., 2003] é um sistema de localização e entrega de serviços desenvolvido para MANETs. Ele assume conectividade IP na rede e utiliza uma linguagem de descrição XML para representação dos serviços. Os serviços são armazenados em uma árvore de acordo com sua classificação descrita no XML e podem ser anunciados aos vizinhos e também pode ocorrer a busca por *muticast* de um serviço. O sistema inclui um servidor HTTP para a entrega de serviços utilizando SOAP.

Os trabalhos [Chakraborty et al., 2002; Ratsimor et al., 2004; Helal et al., 2003]

foram criados para MANETs, para serem utilizados em ambientes espontâneos, mas somente conseguem descobrir os serviços dos nós conectados da rede. Em uma rede de emergência como a considerada nesse trabalho, há a necessidade de descoberta de serviços e de recursos próprios de uma rede de emergência. Também são comuns desconexões da rede, portanto, nenhuma das soluções citadas é adequada.

4.2 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados os principais conceitos sobre localização de recursos e alguns trabalhos importantes sobre esse tema, tanto para redes mais tradicionais como as domésticas e empresariais, como para rede MANETs. O número de diferentes sistemas para a localização de recursos demonstra a importância do tema e principalmente para ambientes automatizados, esses sistemas podem ser essenciais.

Os sistemas apresentados não são adequados para uma rede de emergência tolerante a atrasos e desconexões como a considerada neste trabalho, devido principalmente às desconexões da rede. Soluções como o Jini e o SLP utilizando agente de diretório, necessitam de um nó especial na rede para ser o diretório de serviços. Esse nó pode ser um ponto de falha único, se tornar inalcançável para maioria dos nós da rede e ainda necessita estar sempre presente para haver a localização de serviços.

O UPnP, Bonjour e SLP sem agente de diretório, fazem suas requisições por *multicast* UDP, alcançando somente os nós da rede conectados do momento da requisição. Mesmo os sistemas desenvolvidos para MANETs com múltiplos saltos não adotam um sistema para que as requisições possam chegar aos nós não conectados da rede.

Outro requisito não atendido para redes de emergência é o de suporte a recursos próprios dessa rede, como por exemplo, medicamentos e equipamentos. Os sistemas são focados somente em serviços computacionais que os nós da rede podem disponibilizar. Serviços disponibilizados através da arquitetura DTN também não seriam descobertos no caso de não haver conectividade fim-a-fim.

Capítulo 5

Solução para localização de recursos

Neste capítulo é proposto um sistema de localização de recursos para redes de emergência, descrevendo o modelo de rede e de movimentação considerado, a arquitetura do sistema e os mecanismos utilizados para disseminar as mensagens.

Uma das principais decisões no projeto de um sistema de localização de recursos é a da definição do responsável em armazenar os recursos e suas propriedades. Uma possibilidade é ter um repositório ou diretório centralizado que cuida de todos os recursos presentes na rede. Assim todos os nós que tenham algum recurso devem registrar seus recursos nesse repositório e todos os nós que procuram um recurso devem consultar esse repositório. Essa abordagem é mais adequada para redes tradicionais com fio, onde é possível assumir que um nó vai estar na maior parte do tempo presente, alcançável e disponível para realizar essas tarefas. Esse nó geralmente possui maiores capacidades de hardware e é mais resistente a falhas. Em uma rede muito dinâmica, como as redes de emergência, essa condição na maioria das vezes não é satisfeita.

Outra abordagem seria a utilização de múltiplos diretórios. Pode haver um algoritmo de eleição de líder para a escolha de qual nó disponível será o diretório e uma forma de sincronização entre os diretórios para que os recursos de toda a rede possam ser descobertos. Mas em uma rede muito dinâmica, como a considerada, os nós diretórios podem se mover tornando-se indisponíveis, levando a uma nova eleição de líder, ao registro dos recursos no novo líder e a um processo de sincronização entre os diretórios. Esse processo pode ser muito custoso caso ocorra muitas vezes. A sincronização entre os diretórios também pode ser inviável caso um não possa alcançar o outro, assim como o envio de consultas e respostas. Portanto essa abordagem também não é viável para uma rede como a considerada nesse trabalho.

A solução escolhida para o problema da localização de recursos em redes de emergência é uma abordagem distribuída e par-a-par. Cada nó da rede mantém um repositório local onde armazena os recursos oferecidos por esse nó. Esse nó então é responsável por responder às consultas que sejam atendidas pelos recursos oferecidos pelo nó.

Para amenizar o problema das frequentes desconexões, longos atrasos e falhas na rede, permitindo que recursos sejam descobertos mesmo que o nó fornecedor do recurso não esteja disponível, o sistema de recurso utiliza a arquitetura de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (DTN) juntamente com mecanismos de disseminação de mensagens apropriados. A arquitetura DTN também possui funcionalidades como a utilização de dispositivos e redes heterogêneas.

5.1 Localização de recursos em redes de emergência

Em cenários de emergência, como por exemplo um vazamento de produtos tóxicos, uma enchente em uma área da cidade, um terremoto ou até mesmo um ataque terrorista, equipes, que podem ser de várias organizações, vão ao local da emergência para prestar socorro e minimizar os danos causados pelo desastre. Alguns participantes do resgate provêm recursos para auxiliar os outros participantes.

Recurso é qualquer tipo de suplemento, serviço, suporte ou ajuda que um componente em um ambiente de rede pode oferecer. Para este trabalho também são considerados recursos não computacionais próprios de um ambiente de emergência como ferramentas, medicamentos, máquinas veículos e também serviços como o de VoIP/video, serviço de localização etc. Um recurso neste trabalho é considerado de forma bem ampla, assim como em [Berners-Lee et al., 2005].

Localização de recursos é a habilidade de localizar recursos que satisfaçam um conjunto de requisitos especificados por uma consulta. Como os principais requisitos de um sistema para busca de recursos em redes de emergência, temos:

Suporte a diversos tipos de recursos: esses recursos podem ser físicos ou lógicos, computacionais ou recursos próprios de uma rede de emergência. Podem ser serviços tradicionais como o compartilhamento de arquivos para disponibilizar documentos e mapas para os respondedores. Também podem ser serviços DTN, como email através de DTN, ou *push-to-talk* [Islam, 2009], ou até serviços web

tolerantes a atrasos e desconexões [Ott & Kutscher, 2006]. Os dispositivos e agentes podem ser anunciados no sistema para mostrar sua disponibilidade.

Tolerância a desconexões entre nós da rede: o tipo rede de emergência considerada nesse trabalho é uma rede de cenários desafiadores ou CHANTS (*Challenge Networks*), como discutido nos capítulos 3 e 2, necessitando de uma arquitetura de rede e aplicações tolerantes a atrasos e desconexões.

Baixo consumo de energia: a maioria dos dispositivos que formam a rede (*PDA's, smartphones, tablets, notebooks*) são portáteis e funcionam com auxílio de baterias e a energia pode ser um problema caso o tempo de uso necessário seja grande. Portanto o sistema deve consumir pouca energia, visando um tempo maior de funcionamento da rede.

Baixo consumo de banda a aplicação deve consumir pouca banda da rede, com objetivo de não atrapalhar outras aplicações que podem estar funcionando simultaneamente.

Baixo uso de armazenamento da rede: o armazenamento é crítico em redes DTN, pois as mensagens são mantidas nos nós intermediários para um repasse posterior. Os dispositivos, como PDAs, podem ter pouco espaço para armazenamento e mesmo as mensagens de um sistema de localização de recurso sendo pequenas, essa limitação deve ser levada em conta.

Descoberta: os recursos disponíveis na rede que satisfaçam a requisição do usuário devem ser descobertos pelo sistema, dentro das limitações impostas pela rede. Se um nó nunca se comunicar com nenhum outro da rede, os recursos fornecidos por esse nó não serão descobertos.

Baixo atraso: quanto menor o tempo entre a requisição e a resposta melhor, pois em um cenário de emergência, decisões e ações devem ser tomadas com agilidade para diminuir os danos causados pelo desastre.

Resiliência a falhas: o sistema deve funcionar mesmo frente a falhas em vários nós da rede, que podem ser causadas devido a danos físicos, problemas de software ou falta de energia, por exemplo.

Segurança: um aspecto importante em um sistema para uma emergência, pois pode haver interessados em que o resgate não ocorra bem (ataques terroristas, interesses políticos). Também não deve ocorrer o vazamento de informações confidenciais. É considerado que a segurança é provida por camadas inferiores da rede,

como a própria camada de agregação [Scott & Burleigh, 2007; S. Symington, 2009] forneçam mecanismos de segurança, garantido o acesso somente às pessoas autorizadas, a confidencialidade, autenticidade e integridade das mensagens do sistema de localização de recurso.

O termo localização de serviço é mais comum na literatura mas consideramos recurso que é mais amplo e inclui serviço. Não é considerado que todos os nós da rede possuem um sistema de posicionamento como o GPS.

No sistema de localização de recursos para redes de emergência, um nó da rede pode ser um computador em um veículo, como um carro de bombeiro. Esse nó da rede então disponibiliza os recursos:

- Carro de bombeiro
- Membros da equipe
- Equipamentos dentro do carro

Também pode ser considerado um nó da rede um PDA que uma pessoa carrega. Essa pessoa pode ser um médico e disponibilizar os serviços de médico e os medicamentos que carrega.

5.2 Arquitetura

O sistema de localização de recursos proposto para essas redes de emergência é distribuído e funciona sobre a camada de agregação (*bundle*) da arquitetura DTN [Scott & Burleigh, 2007]. Um nó que provê um recurso deve mantê-lo cadastrado localmente e responder a consultas por esse recurso. Uma arquitetura centralizada em que há um servidor que faz o papel de um diretório de recursos não é utilizada, pois esse nó poderia ser um ponto de falha único e, além disso, o nó central poderia ficar desconectado da rede grande parte do tempo. Também haveria a necessidade de existir um nó especial na rede que sempre deveria estar presente para a descoberta de recursos.

A arquitetura proposta para o sistema de busca de recurso está representada na Figura 5.1. Cada um de seus componentes é descrito a seguir:

Gerente de recursos: principal componente do sistema, que permite a busca e o anúncio de recursos para a aplicação. No sistema são armazenados os recursos locais e também é mantido um cache de recursos, com os recursos que são recebidos por outros nós.

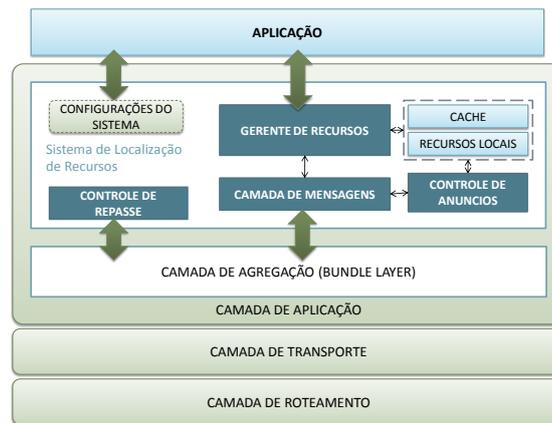


Figura 5.1. Arquitetura do sistema de busca de recursos

Configurações do sistema: Os componentes do sistema funcionam de acordo com as configurações do sistema, as quais podem ser modificadas pelo usuário ou aplicação, para alterar o repasse das mensagens, o uso do cache de recursos ou se há anúncio dos recursos, por exemplo.

Controle de anúncio: Componente responsável pelo anúncio proativo de recursos.

Controle de repasse: O componente de controle de repasse é responsável por interagir com a camada de agregação para controlar como é feito o repasse de mensagens do sistema.

Camada de mensagens: Componente responsável por fazer interface com a camada de agregação, codificando, enviando, recebendo e encaminhando as mensagens para os outros componentes do sistema. As mensagens de consulta de recurso e de resposta criadas pelo gerente de recurso são passadas a camada de agregação pela camada de mensagens, assim como as mensagens de anúncio de recursos criadas pelo controle de anúncio.

O sistema proposto trata da descoberta de recurso e não da invocação de serviços/recursos. Um recurso pode ter uma URL pela qual um serviço pode ser invocado, como no SLP [Guttman, 1999], mas um recurso pode ter somente um identificador e para o recurso ser utilizado pode ser necessário contatar o responsável por ele. Também não são tratados neste trabalho mecanismos de seleção de recursos.

5.3 Funcionamento

Um nó do sistema de localização de recursos atua como um cliente e um servidor ao mesmo tempo. Um nó “Cliente” é aquele que está buscando por algum recurso que pode ser oferecido por algum nó da rede. Um nó “Servidor” é aquele que disponibiliza os seus recursos para os outros nós da rede.

Os recursos são registrados no sistema de localização de recursos por uma aplicação. Cada recurso tem obrigatoriamente um identificador. Esse identificador é um Uniform Resource Identifier (URI) [Berners-Lee et al., 2005], que é composto por um conjunto de caracteres e fornece uma grande flexibilidade na formação dos nomes. Esse URI pode ser um localizador para requisitar um recurso na rede ou para utilizar um serviço disponível através da rede. Ele também pode ser um identificador utilizado para obter o recurso de outra forma, sem utilizar a rede.

Cada recurso pode possuir propriedades representadas por pares de atributo-valor, como utilizado no SLP [Guttman, 1999]. Esse formato pode ser modificado, com poucas alterações no sistema, para um esquema mais complexo e que ofereça mais flexibilidade. Uma representação por XML como utilizada em [Helal et al., 2003] e [Chakraborty et al., 2002] pode ser bastante flexível e pode permitir que consultas sejam realizadas de forma semântica. Pode ser definida e utilizada na representação dos recursos uma ontologia para situações de emergência para permitir uma melhor interoperabilidade entre os participantes da rede que utilizam o sistema.

Um recurso também possui um tempo de vida (TTL) que é o tempo esperado que um recurso vai estar disponível na rede depois de uma resposta por uma requisição ser enviada. Esse tempo deve ser especificado pela aplicação no momento do registro e é utilizado nas respostas das requisições, no anúncio proativo de recursos e também para manutenção do cache de recursos em outros nós.

Os recursos são localizados na rede através de consultas, formadas por uma *string*. Quando a aplicação realiza uma consulta, os recursos são pesquisados no repositório local de recursos, no cache local e enviada uma mensagem para rede com a consulta, que é disseminada conforme descrito na Seção 5.4 e processada em cada um dos outros nós que a receberem.

As consultas utilizam um mecanismo simples de correspondência com os recursos. Podem ser utilizados os operadores de AND e OR e o caractere curinga * para uma consulta em *substring*. A consulta por propriedade dos recursos utiliza o operador “=”, na forma <propriedade> = <valor>. Um esquema mais elaborado pode ser adotado, assim como o de representação dos recursos sem grandes modificações no sistema, pois não é foco do deste trabalho esta definição. Alguns exemplos de consultas na Tabela

5.1.

Tabela 5.1. Exemplos de consultas

médico AND especialidade=cirurgião
pda AND gps=true AND rede=wifi
impressora OR *printer* OR ipp:*

Ao receber uma consulta, os nós da rede pesquisam em seu repositório local de recursos e no seu *cache*. Caso a consulta possa ser atendida, é criada uma mensagem de resposta com os recursos que atendem a consulta, que é enviada ao nó que realizou a consulta. A consulta permanece ativa em cada nó que a recebe pelo seu tempo de vida. Cada vez que há mudanças no cache de recursos ou nos recursos locais, é verificado novamente se as consultas ativas podem ser atendidas. Esse comportamento é importante para garantir uma melhor descoberta de recursos e necessário para um bom funcionamento do anúncio proativo de recursos, explicado na Seção 5.4.

Ao receber a resposta, o sistema repassa a resposta para a aplicação e insere os recursos recebidos em seu cache. Um recurso permanece no cache até que seu tempo de vida expire, ou caso o cache se torne cheio, quando então há o descarte do recurso menos recente inserido.

Com o uso de cache muitas mensagens repetidas podem surgir na rede, pois a mensagem de consulta pode alcançar o nó que oferece o recurso e todos os que tem o recurso em sua cache. Para diminuir o número de mensagens duplicadas, as mensagens são identificadas com o ID da consulta mais a URI dos recursos da resposta. Caso o nó receba uma mensagem m com um mesmo identificador, ele a descarta.

5.3.1 Tipos de mensagens

Três tipos de mensagens são definidas para o protocolo de localização de recursos. Todas têm em comum um cabeçalho que possui a versão do protocolo e o tipo da mensagem. A mensagem de consulta é utilizada para enviar as consultas por recursos aos outros nós da rede e seu formato é o mostrado na Figura 5.2. A mensagem é formada pelo identificador da consulta, que deve ser único para um mesmo nó cliente, o seu tempo de vida em segundos e a *string* com a consulta.

A mensagem de resposta é formada pelo identificador da consulta à qual a resposta se refere e os recursos que satisfazem a consulta. A representação do recurso, também na Figura 5.2, possui os campos: o nó da rede que disponibiliza o recurso, o tempo de vida do recurso, a sua URI e o conjunto de propriedades do recurso. A mensagem

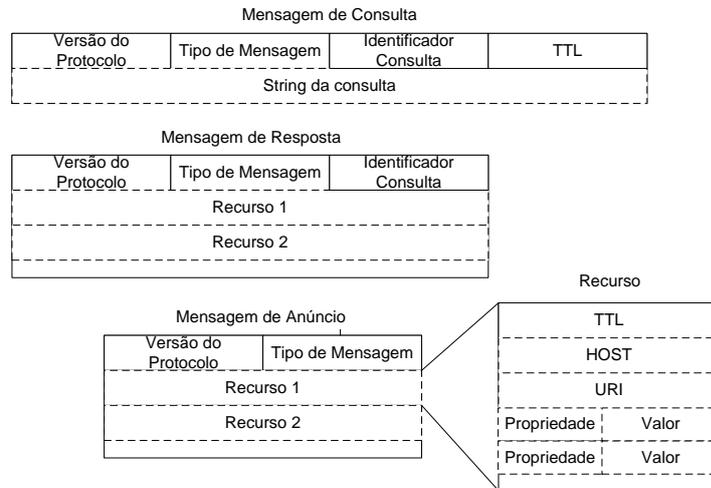


Figura 5.2. Mensagens do sistema de busca de recursos

de anúncio de recurso é semelhante à de resposta, mas não possui o identificador da consulta.

5.4 Mecanismos de disseminação de consultas, respostas e anúncios

O grande desafio da descoberta de serviço nesses cenários de emergência citados anteriormente é como disseminar as mensagens de requisição e de resposta de recursos, já que a rede possui mobilidade imprevisível e é desconexa em grande parte do tempo. Além disso, podem haver restrições de banda, armazenamento e energia e por isso o protocolo deve consumir o mínimo de recursos possíveis.

O primeiro mecanismo estudado para disseminação das mensagens foi o algoritmo Epidêmico [Vahdat & Becker, 2000], tanto para as consultas como para as respostas. O algoritmo Epidêmico entrega as mensagens para todos os nós que encontra, disseminando as mensagens para o maior número de nós possíveis. Dessa forma consome muitos recursos da rede e no pior caso são transmitidas $O(n)$ mensagens na fase de consulta e $O(n^2)$ na fase de resposta. Há um uso muito grande de recursos principalmente na fase de resposta em que a mensagem é direcionada a somente um nó. Então é proposta uma otimização em que resposta da consulta percorre o mesmo caminho utilizado pela consulta. Para isso, os identificadores dos nós por onde a consulta percorreu são armazenados nas mensagens de consulta e resposta.

A segunda estratégia é a utilização de um protocolo que consome menos recursos da rede, o Spray and Wait [Spyropoulos et al., 2005]. Na fase de consulta são transmitidas no pior caso um número constante C de mensagens e na fase de resposta no pior caso $O(n)$ mensagens. O problema dessa abordagem é que somente C nós da rede recebem a consulta, o que pode comprometer muito o número de recursos descobertos. Para conseguir uma maior taxa de entrega, foi utilizado também um anúncio proativo de recursos. Assim, após a fase de spray das mensagens de consulta se um nó encontra o outro, eles trocam os seus recursos, obtendo uma melhor taxa de entrega de mensagens.

O anúncio proativo de recursos é feito enviando os recursos que o nó da rede possui, periodicamente e quando um novo vizinho se aproxima. Ao receber a mensagem de anúncio de recursos o nó armazena esses recursos em seu cache e também verifica se há uma consulta ainda não respondida armazenada no nó que pode ser atendida por esse recurso. Se alguma consulta puder ser atendida, então o nó envia uma mensagem de resposta.

Também foi utilizado Spray and Wait sem limite de número de mensagens na fase de consulta e com o número fixo de cópias na fase de resposta, como descrito no Algoritmo 1. Bons resultados podem ser alcançados dessa forma, pois a consulta se espalha no maior número de nó possíveis tendo um comportamento igual do Epidêmico e na resposta utiliza o Spray and Wait que consegue uma taxa de entrega alta com um custo menor.

Algoritmo 1: Spray and Wait sem limites de cópias na consulta

```

Mensagem  $m$  a ser repassada
 $hc \leftarrow$  hosts conectados que não possuem  $m$ 
foreach  $host$  in  $hc$  do
  if  $host$  é destino final de  $m$  then
    envia  $m$  para  $host$ 
  return
end
if  $m.cópias \geq 2$  or  $m$  é consulta then
   $mc \leftarrow$  copia de  $m$ 
   $mc.cpias \leftarrow \lceil m.cpia/2 \rceil$ 
   $m.cpias \leftarrow \lfloor m.cpia/2 \rfloor$ 
  envia  $mc$  para  $host$ 
end
end

```

5.5 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada a solução proposta para localização de recursos em redes de emergência. Foram definidos os principais pontos bem como os requisitos do sistema. A solução proposta é distribuída e tolerante a atrasos e desconexões, funcionando sobre a arquitetura DTN.

O funcionamento do sistema é explicado em detalhes, são definidas as mensagens utilizadas e como aplicações podem interagir com o sistema. Foram propostos mecanismos para a disseminação de mensagens, com objetivo de proporcionar uma alta descoberta de recursos, utilizando um número pequeno de repasse de mensagens e que funcionem em redes com desconexões frequentes.

No próximo capítulo serão mostrados os resultados de desempenho da solução de localização de recursos proposta para rede de emergência. Esses resultados demonstram que a solução proposta consegue atender os requisitos discutidos nesse capítulo, possibilitando a localização de recursos mesmo com as dificuldades impostas pela rede. As estratégias para disseminação de mensagens buscam economizar os recursos como banda e espaço de armazenamento dos nós da rede. O requisito de segurança não foi avaliado, mas é considerado que as camadas inferiores da rede, como a de agregação, possa prover essa funcionalidade.

Capítulo 6

Validação do sistema

Neste capítulo a solução proposta para a localização de recursos é validada quanto ao seu funcionamento e ao seu desempenho. O desempenho da solução deve ser avaliado principalmente quanto ao uso de recursos de rede (quantas mensagens são transmitidas), ao tempo gasto para atender as requisições realizadas pelo usuário e quanto à descoberta de recursos, ou seja, se é feita uma consulta por um recurso existente na rede e ela foi respondida.

A técnica escolhida para validação foi a simulação, devido à grande complexidade que seria a realização de experimentos reais. Para os experimentos reais seriam necessários um grande número de dispositivos móveis com rede sem fio, muitos colaboradores para carregar os dispositivos e se movimentar, um grande esforço para a configuração dos experimentos e realização de repetições, além da dificuldade de coletar os resultados obtidos.

O simulador escolhido foi o The ONE [Keränen et al., 2009], escrito em Java e desenvolvido especificamente para simulação de redes DTN. Este utiliza um modelo de comunicação tolerante a interrupções, com o paradigma armazenar-carregar-repassar mensagens, podendo mantê-las em um *buffer* caso o nó não tenha conexão direta com o destino. O simulador NS2 não foi utilizado, pois não foi encontrada uma implementação da arquitetura DTN para ele. Portanto consideramos o simulador The ONE mais apropriado para este trabalho, além de ser mais simples e fácil de utilizar.

Também foi implementado um protótipo para verificar o funcionamento da solução em dispositivos móveis e PCs.

6.1 Simulação

O sistema de localização de recursos foi implementado no simulador The ONE. As simulações e os resultados são apresentados nesta seção. As métricas escolhidas para as simulações foram:

- Probabilidade de descoberta de recurso: dado que um recurso R existe na rede, a probabilidade de descoberta de R é igual ao $\frac{\text{numeroConsultasRespondidas}}{\text{numeroConsultas}}$
- Número de mensagens repassadas: a quantidade de vezes que uma mensagem é repassada entre os nós da rede. Essa métrica contabiliza as várias cópias que podem ser criadas e transmitidas pelos algoritmos para DTN. Pode ser considerada indiretamente como o quanto de recursos será consumido na rede, como a banda disponível e a energia dos dispositivos.
- Atraso médio: média do tempo entre a criação de uma consulta por um recurso e o recebimento das respostas.

Espera-se de um bom protocolo um baixo número de mensagens, mas que mesmo assim consiga descobrir um recurso na rede caso exista. Um baixo número de mensagens é importante, pois os equipamentos podem ter restrições de energia, de espaço de armazenamento para guardar as mensagens e também de banda disponível na rede.

Tabela 6.1. Parâmetros de simulação

Número de nós	25, 50, 75
Tempo de simulação	3600s (1 hora)
Área de Simulação	2000mx2000m
Raio de transmissão	100m
Buffer de mensagens	10MB
Velocidade de transmissão	2Mbps
TTL (Tempo de vida)	10 min
Requisições médias	1 a cada 20s

Os resultados das simulações são apresentados com nível de confiança de 95%. Cada teste foi executado quinze vezes, alterando a semente geradora do modelo de mobilidade. Os parâmetros utilizados no simulador são os apresentados na Tabela 6.1. Os valores de área de simulação foram escolhidos para representar a área de uma emergência e os do rádio foram escolhidos para simular os de dispositivos móveis que utilizam Wi-Fi. O tempo entre as requisições por recursos é gerado seguindo uma distribuição exponencial. Os experimentos são realizados utilizando o modelo de

mobilidade de emergência e também o modelo de mobilidade Random Waypoint, neste caso para verificar o desempenho da solução em um cenário mais genérico.

O cenário simulado pode representar uma emergência como um terremoto, por exemplo. A área escolhida representa uma região de uma cidade, os focos de desastre são locais onde onde houve o desabamento de construções, como prédios residenciais, onde existem várias vítimas para serem encontradas e resgatadas. As ambulâncias carregam essas vítimas até um hospital, e as viaturas procuram por vítimas e fazem patrulha.

Os parâmetros utilizados nos modelos de mobilidade Random Waypoint, e no modelo de mobilidade de emergência (apresentado no Capítulo 2) são os da Tabela 6.2. No modelo de emergência os nós se movimentam como no Random Waypoint, mas com probabilidades maiores de ir para certas regiões de acordo com seu papel na rede. Um dos papéis é o de agentes, que se movimentam com uma probabilidade de 90% de escolherem um ponto dentro de um foco de desastre. Já as ambulâncias se movimentam somente entre um centro de controle ou hospital e um dos focos de desastre. As viaturas se movimentam entre focos de desastre.

Tabela 6.2. Parâmetros utilizados nas simulações para os modelos de mobilidade

Random Waypoint	
Velocidade	0,5 m/s - 1,5 m/s
Tempo de espera	0s - 120s
Mobilidade de emergência	
Tempo de espera	0s - 120s
Número de agentes	80%
Velocidade agentes	0,5 m/s - 1,5 m/s
Número de ambulâncias	10%
Velocidade ambulâncias	10 m/s - 20 m/s
Número de viaturas	10%
Velocidade viaturas	10 m/s - 20 m/s
Número de focos de desastre	3
Número de centro de controles	1

6.2 Resultados e análise

Nos gráficos são apresentados resultados para simulação do sistema de localização de recursos utilizando os mecanismos de disseminação de mensagem descritos na Seção 5.4. As curvas nos gráficos representam os mecanismos de disseminação de mensagem.

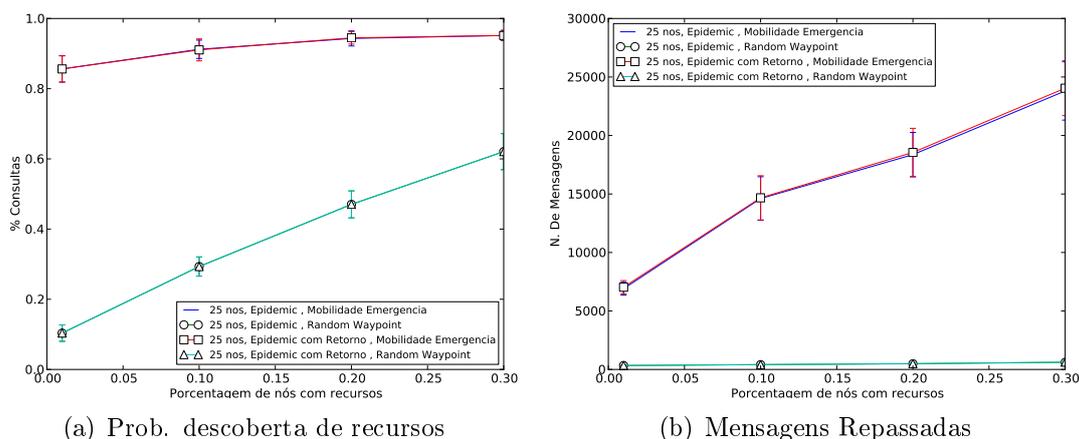


Figura 6.1. Simulação Epidêmico e Epidêmico com volta

É variada a porcentagem dos nós capazes de responder as consultas com os valores de 1%, 10%, 20% e 30%.

Para comparar os algoritmos tolerantes a atrasos e desconexões com soluções que fazem a busca somente quando há um caminho fim a fim, foi realizada a busca em profundidade no grafo da rede no momento da consulta. Assim somente os recursos que estão na parte conectada do grafo no momento da consulta serão descobertos. Os resultados para essa busca são exibidos nos gráficos de probabilidade de entrega.

6.2.1 Epidêmico com Volta versus Epidêmico

Inicialmente foi avaliado se o algoritmo Epidêmico para a consulta, com a volta da resposta pelo caminho da consulta, oferece um desempenho melhor que o Epidêmico simples. A Figura 6.1 mostra os resultados, variando a porcentagem de nós da rede capazes de responder a uma consulta.

Na Figura 6.1(a) é utilizada a métrica probabilidade de descoberta de recursos e na Figura 6.1(b) o número de mensagens repassadas. As curvas para o Epidêmico e o Epidêmico com volta pelo caminho de ida se sobrepõem. Isso pode ser explicado porque na maioria das vezes o caminho utilizado na ida não existe mais na resposta, assim a mensagem é transmitida pelo algoritmo Epidêmico. Portanto, nas próximas simulações somente o algoritmo Epidêmico simples será utilizado.

6.2.2 Variação da quantidade de recursos

Na Figura 6.2 são apresentados os resultados para a métrica probabilidade de descoberta de recursos com modelo de mobilidade de emergência com 25 nós. Foram

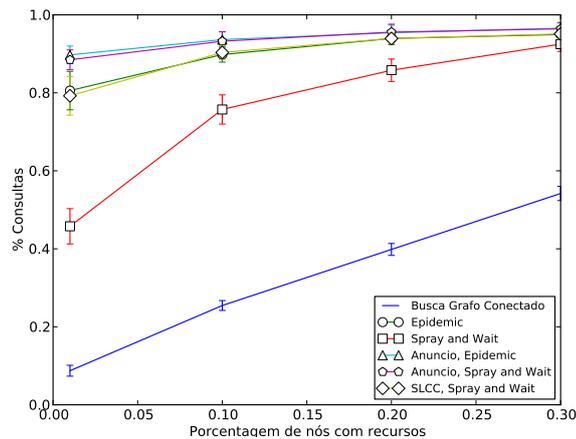


Figura 6.2. Probabilidade de descoberta de recursos, modelo de mobilidade de emergência, variando a porcentagem de nós com recurso na rede

utilizados os algoritmos Epidêmico e o Spray and Wait, com e sem o anúncio de recursos de um salto e o algoritmo Spray and Wait sem limite de números de cópias na consulta (SLCC Spray and Wait).

Como esperado, a probabilidade de resposta aumenta de acordo com o número de recursos na rede com todos os algoritmos. O algoritmo Spray and Wait sem anúncio de recursos tem desempenho bastante inferior aos demais, devido principalmente ao número limitado de nós que a consulta alcança. Os demais têm comportamento similar quanto à descoberta de recursos. O Spray and Wait com anúncio proativo de recursos consegue bons resultados, pois na fase de espera, uma consulta pode ser atendida quando o nó recebe uma mensagem de anúncio.

Já a busca por recursos somente na parte conectada do grafo consegue uma probabilidade muito baixa de descoberta. Mesmo com 30% de nós com recurso na rede o Spray and Wait, que tem a pior probabilidade de descoberta entre os algoritmos DTN, é 71% melhor que a busca no grafo conectado. Portanto, as soluções tolerantes a atrasos e desconexões são realmente necessárias e têm um desempenho melhor quanto a descoberta de recursos nos cenários considerados.

O gráfico da Figura 6.3 mostra o número de mensagens repassadas que pode ser considerado indiretamente como o quanto de recursos serão consumidos na rede, muito importante em situações em que o consumo de energia é crítico. Como esperado, o algoritmo Epidêmico é o que mais gera mensagens, principalmente quando utilizado juntamente com o anúncio proativo de recursos. O algoritmo Spray and Wait chega a gerar 11,4 vezes menos mensagens que o algoritmo Epidêmico, mas tem uma descoberta menor de recursos. Mesmo assim o seu uso pode ser interessante em cenários em que o consumo de energia é crítico, ou há restrições de armazenamento e banda. O Spray

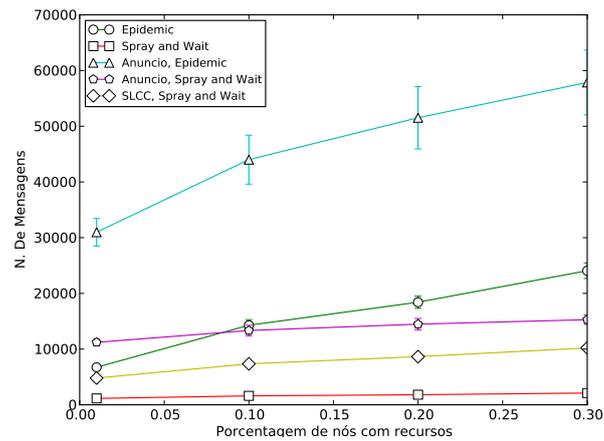


Figura 6.3. Mensagens Repassadas, modelo de mobilidade de emergência, variando a porcentagem de nós com recurso na rede

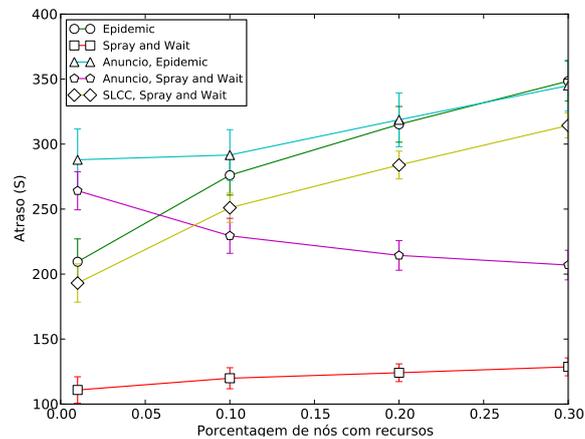


Figura 6.4. Atraso, modelo de mobilidade de emergência, variando a porcentagem de nós com recurso na rede

and Wait com anúncio proativo tem desempenho intermediário, com maior parte das mensagens gasta pelo anúncio proativo. O segundo menor número de mensagens é do Spray and Wait sem limite de cópias na consulta, apresentando um consumo de mensagens menor que as estratégias epidêmicas e mantendo uma boa descoberta de serviço.

A Figura 6.4 apresenta os resultados para o tempo médio que um nó que efetuou uma consulta leva para receber as respostas. Nota-se que o Spray and Wait tem alguns dos menores atrasos, o que pode ser explicado porque a mensagem de consulta somente é espalhada para os nós mais próximos e também porque as mensagens que teriam maior atraso nem chegam ao nó que fez a consulta antes do tempo de vida da mensagem expirar. As estratégias que utilizam o Spray and Wait obtiveram os melhores resultados.

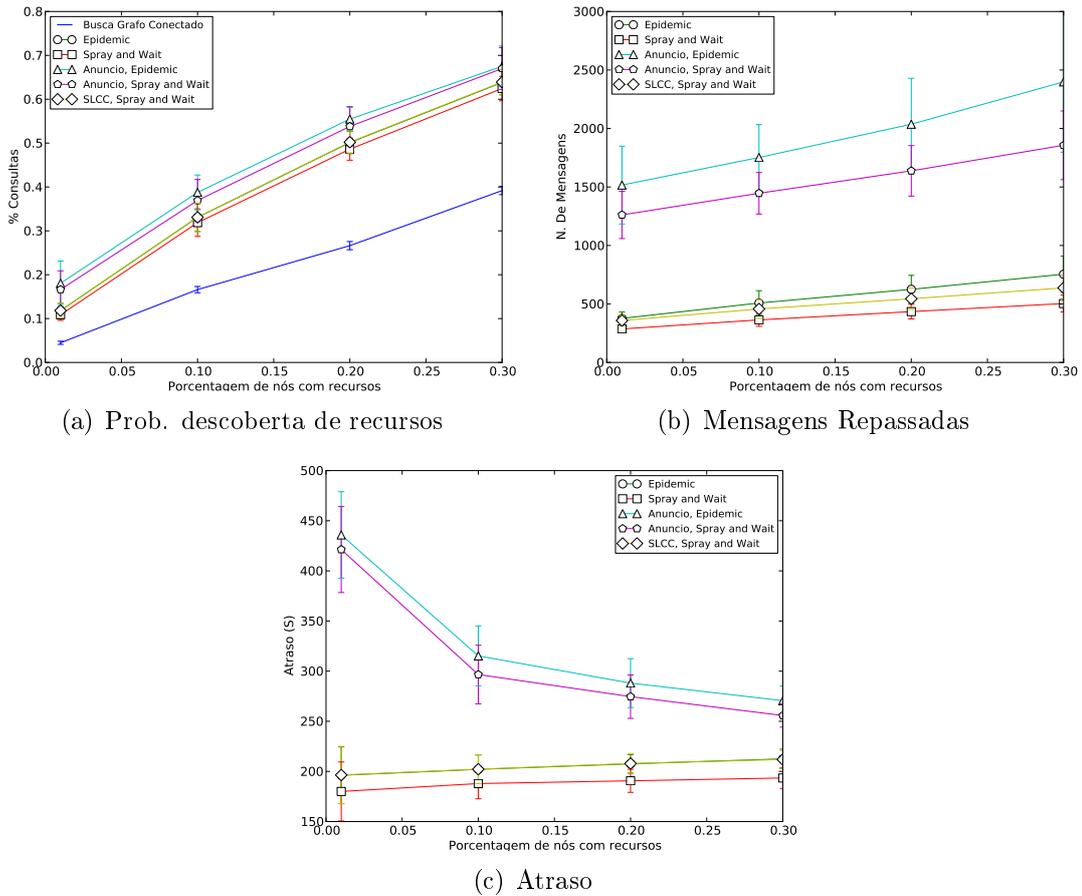


Figura 6.5. Simulação 25 nós, modelo de mobilidade Random Waypoint

A Figura 6.5 apresenta os resultados utilizando o modelo de mobilidade Random Waypoint. Nota-se uma grande diferença nos resultados com a alteração do modelo de mobilidade, principalmente quanto à probabilidade de descoberta de recursos quando há menos recursos na rede. Há também um número menor de mensagens repassadas. A principal diferença entre os resultados é devida ao menor número de encontro dos nós, pois o Random Waypoint é um modelo mais artificial, que não possui pontos de interesses e os nós tendem a ficar mais espalhados na área de simulação.

6.2.3 Escalabilidade

Nas Figuras 6.6, 6.7 e 6.8 são apresentados os resultados das simulações para verificar a escalabilidade dos algoritmos de disseminação. A porcentagem de nós com recurso na rede foi fixada em 10% e a quantidade de nós da rede foi variada entre 25, 50 e 75. Há o aumento da descoberta de recurso com o aumento dos nós, exceto quando o Spray and Wait é utilizado, pois com uma maior quantidade de nós e um número fixo

de mensagens distribuídas menos nós são cobertos pelas mensagens.

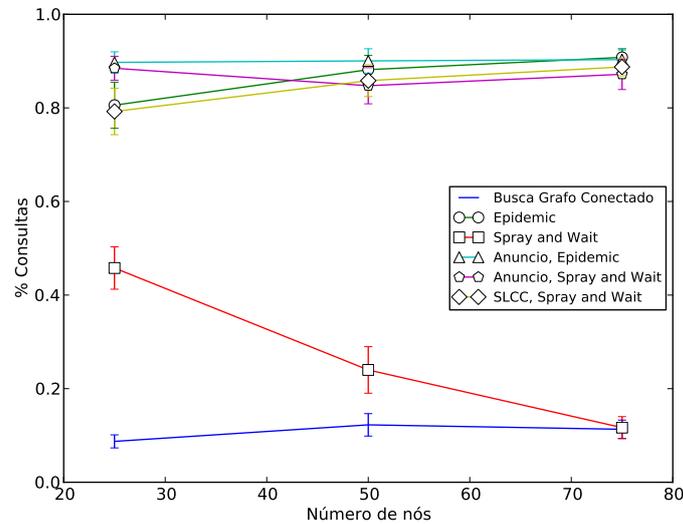


Figura 6.6. Probabilidade descoberta de recursos, variando o número de nós da rede

O algoritmo Epidêmico com anúncio de recursos é o que mais consome recursos da rede com o aumento dos nós (Figura 6.7), seguido pelo Spray and Wait com anúncio também. O atraso médio para obter as resposta tende a diminuir, a medida que a rede fica mais densa (Figura 6.8).

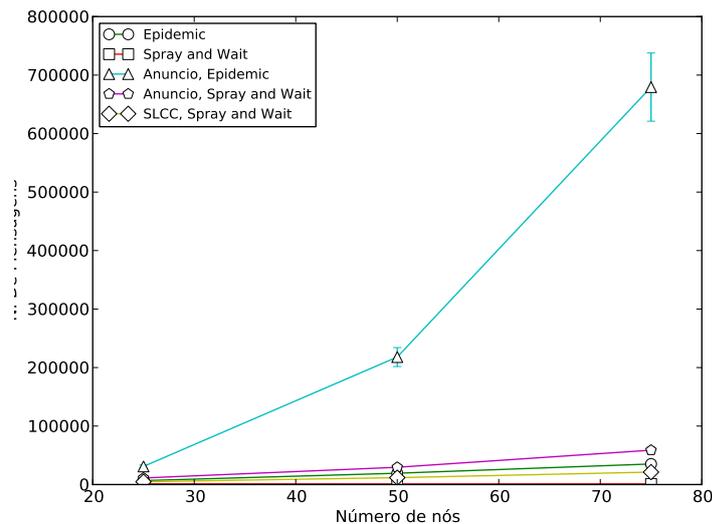


Figura 6.7. Mensagens Repassadas, variando o número de nós da rede

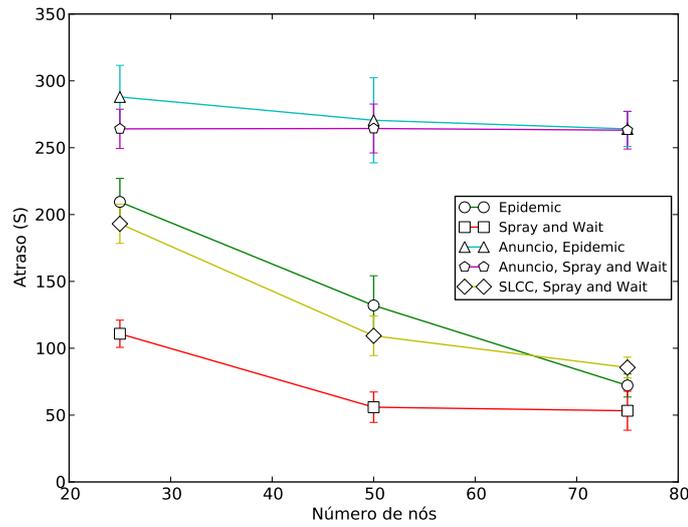


Figura 6.8. Atraso, variando o número de nós da rede

6.2.4 Variação do tempo de vida

As simulações das Figuras 6.9, 6.10 e 6.11 tem como objetivo verificar o comportamento do sistema quando o tempo de vida das mensagens (TTL) é variado. Para tanto foram utilizados os algoritmos Epidêmico e Spray and Way nos modelos de mobilidade Random Waypoint e de emergência. A porcentagem de nós com recurso na rede foi fixada em 10%. O algoritmo Epidêmico é mais sensível ao TTL das mensagens, tendo o desempenho inferior ao Spray and Wait em casos que ele é muito baixo. Em três casos a descoberta de recursos começa se estabilizar quando o TTL é de 10 minutos.

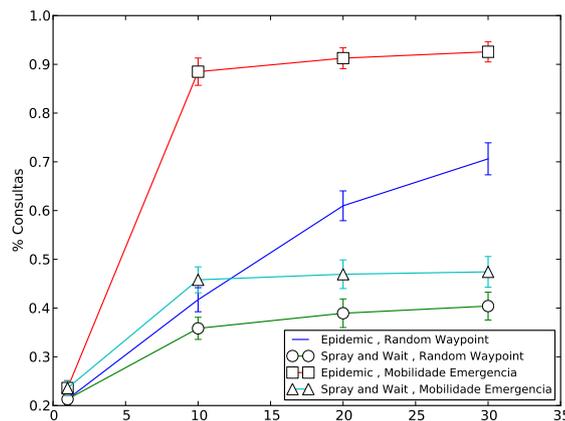


Figura 6.9. Descoberta de recursos, variando o tempo de vida das mensagens (TTL) em minutos

O número de mensagens repassadas aumenta muito com o TTL para o algoritmo Epidêmico, principalmente no modelo de mobilidade de emergência em que os nós têm

mais contatos uns com os outros. Algumas consultas podem ter restrições de tempo para serem atendidas e um valor de TTL grande consome muito mais recursos da rede, como demonstram os resultados das simulações. Portanto a aplicação, para diminuir o uso de recursos da rede, pode usar um valor de TTL pequeno para esses tipos de requisições. O atraso médio para obter as respostas tende a aumentar com um maior TTL, pois menos mensagens são descartadas e um maior número de mensagens são entregues (Figura 6.11).

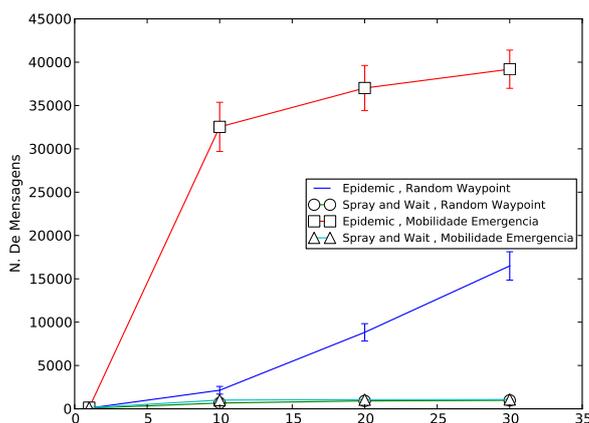


Figura 6.10. Mensagens Repassadas, variando o tempo de vida das mensagens (TTL) em minutos

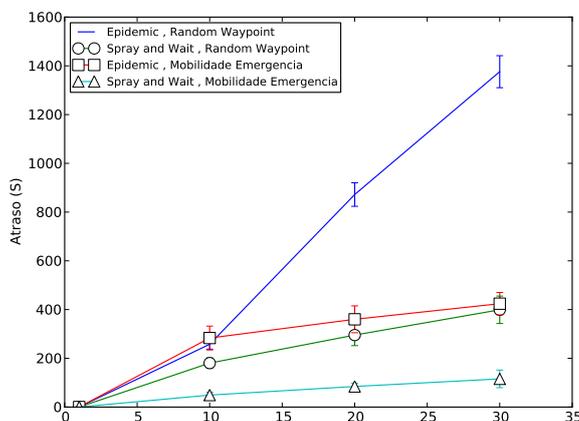


Figura 6.11. Atraso, variando o tempo de vida das mensagens (TTL) em minutos

6.3 Avaliação do protótipo

Com o objetivo de verificar o funcionamento real da solução, foi implementado um protótipo do sistema de localização de recursos e uma aplicação que utiliza os seus

serviços. A implementação visa principalmente investigar a viabilidade do uso em dispositivos móveis e o seu funcionamento em pequena escala.

Os experimentos foram planejados para testar a descoberta de recursos em uma rede conectada e quando há desconexão e movimentação dos nós. Também foi observado o tempo gasto para realizar uma consulta por um recurso na rede.

6.3.1 Implementação

O sistema foi desenvolvido com a linguagem Python [Foundation, 2010] e é multiplataforma. O dispositivo móvel escolhido para os testes foi o Nokia N810, um *internet tablet* (dispositivo pequeno próprio para realizar tarefas relacionadas à Internet). Este, possui conectividade de rede através de Wi-Fi (IEEE 802.11g) e Bluetooth, sistema de localização por GPS, entrada de texto através da tela e teclado. O seu sistema operacional é o TabletOS 2008, baseado em Linux e a implementação do Python é a PyMaemo [Nokia, 2010], baseada na versão 2.5 do Python.

Também foi criada uma aplicação que utiliza o serviço de localização de recursos. Ela permite inserir, modificar, excluir recursos; realizar buscas e visualizar os resultados; modificar parâmetros do sistema de localização de recursos. A aplicação também foi desenvolvida em Python com interface gráfica utilizando o Gtk(PyGtk e Hildon).

Para a comunicação DTN, foi utilizada a implementação de referência do protocolo Bundle, disponibilizada pelo DTNRG [DTNRG, 2010]. Esta foi desenvolvida em C++ e TCL e permite utilizar vários algoritmos de roteamento e também a comunicação entre os nós vizinhos através de TCP, UDP, Bluetooth etc. A interface entre o sistema e a camada *Bundle* utiliza uma API semelhante a de sockets, com *bindings* para a linguagem Python.

6.3.2 Experimentos

Os experimentos foram realizados utilizando dois N810, um ponto de acesso Wi-Fi com dois rádios (IEEE 802.11a e IEEE 802.11b) interligado à uma rede local onde se encontra um PC. O protocolo *Bundle* foi instalado e configurado nos dois N810 e no PC. Os N810 e os pontos de acesso foram configurados para se comunicarem através do modo ad hoc do Wi-Fi. Podem ser utilizados mais pontos de acesso para cobrir uma maior área com a rede, os pontos de acesso podem comunicar entre si através da interface IEEE 802.11a e o roteamento de múltiplos saltos pode ser feito utilizando o protocolo OLSR [Clausen & Jacquet, 2003] que foi configurado e instalado no ponto de acesso. A Figura 6.12 mostra a rede utilizada nos experimentos. Não foi utilizado cache

de recursos nos experimentos e o algoritmo de disseminação de mensagens utilizado foi o algoritmo Epidêmico, pois com somente três nós na rede, os outros algoritmos teriam funcionamento semelhante.

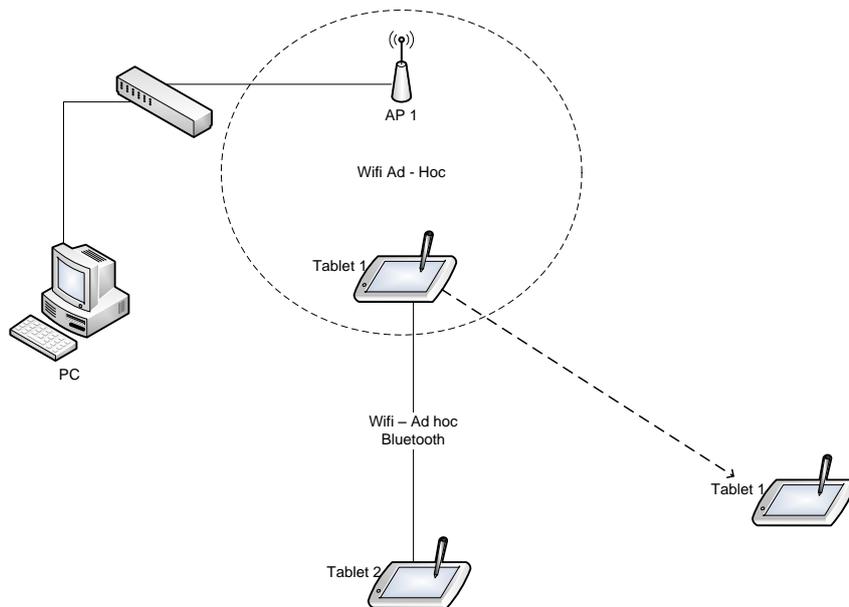


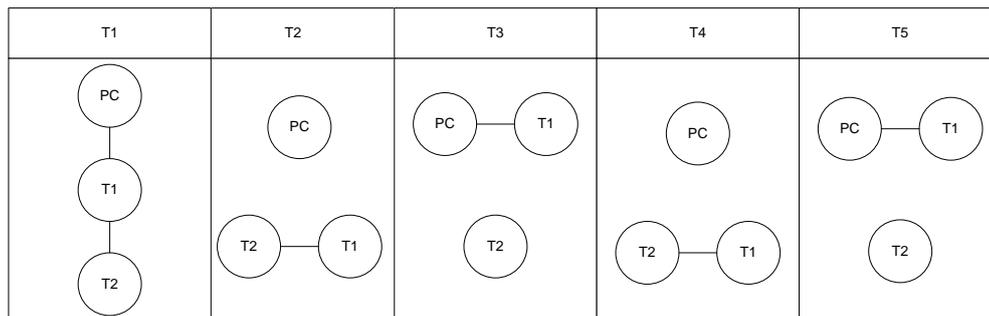
Figura 6.12. Diagrama da rede dos experimentos

O primeiro experimento tem como objetivo testar a descoberta de um recursos na rede, tanto em uma situação onde todos os equipamentos tem um caminho entre si e quando não há esse caminho. Foi cadastrado um recurso em cada um dos dispositivos e realizadas consultas de forma a testar o repasse por múltiplos saltos e a entrega de mensagens quando não há conexão. Na Tabela 6.3 são exibidos os recursos cadastrados em cada dispositivo e as consultas realizadas em dois momentos, referentes a duas topologias de rede. Os recursos estão representados por letras maiúsculas na tabela, e as consultas por um recurso X por uma letra maiúscula seguida de um número (ex: X_1).

A movimentação dos nós no experimento ocorre em cinco etapas, iniciando na topologia t_1 onde os equipamentos estão dispostos como na Figura 6.12. A partir desse os nós se movimentam e mudam a topologia da rede. As consultas por recursos ocorrem nas topologias t_1 e t_2 e as consultas devem ser respondidas o mais rápido o possível. A seguir e na Figura 6.13 é descrita a movimentação dos nós:

Tabela 6.3. Consultas realizadas

	Recursos	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
Centro de Controle	A	B_1, C_1	B_2, C_3			
Tablet 1	B	C_2	C_4			
Tablet 2	C	A_1	A_2			

**Figura 6.13.** Movimentação dos nós no experimento

- t_1 Todos componentes conectados, posicionados conforme a Figura 6.12. Existe um caminho disponível entre todos os nós e as consultas devem ser todas atendidas.
- t_2 O Tablet 1 se afasta do ponto de acesso, perdendo conexão com esse e permanecendo conectado somente com o Tablet 2.
- t_3 Tablet 1 se aproxima do ponto de acesso, tornando-se conectado ao centro de controle e desconectado do Tablet 2.
- t_4 Tablet 1 se aproxima do Tablet 2 e os dois tablets se tornam conectados entre si e desconectado do PC.
- t_5 Tablet 1 se aproxima do ponto de acesso, se conectando novamente ao PC.

As respostas esperadas para as consultas estão na Tabela 6.4. Quando não há conexão entre os nós as consultas e respostas devem ser armazenadas e carregadas pelos nós até que cheguem ao seu destino final, ou seu tempo de vida acabe.

No segundo experimento foram realizadas 15 buscas por um recursos, em uma topologia com um caminho de um salto e em outra com um caminho de dois saltos entre o nó que faz a busca e o que possui o recurso, medindo o tempo necessário para receber a resposta.

Tabela 6.4. Respostas esperadas

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
Centro de Controle	B_1, C_1		B_2		C_3
Tablet 1	C_2	C_4			
Tablet 2	A_1				

Nos experimentos realizados as consultas foram realizadas e as respostas recebidas como esperado. O experimento demonstrou que o protótipo funciona mesmo com interrupções na conectividade da rede e que as consultas e respostas são armazenadas e carregadas até que cheguem ao seu destino final ou seu tempo de vida acabe.

A Figura 6.14 mostra a aplicação executada nos tablets N810, com três consultas por recursos realizadas e respondidas. Na Figura 6.15 estão os equipamentos utilizados no experimento.

**Figura 6.14.** Aplicação sendo executada em dois N810

Os experimentos para medir o tempo necessário para realizar uma consulta e obter a resposta com um e dois saltos na rede tiveram como resultado os valores médios de 315 ms e 367ms. A utilização do sistema de localização de recursos mostrou-se viável em dispositivos móveis reais.

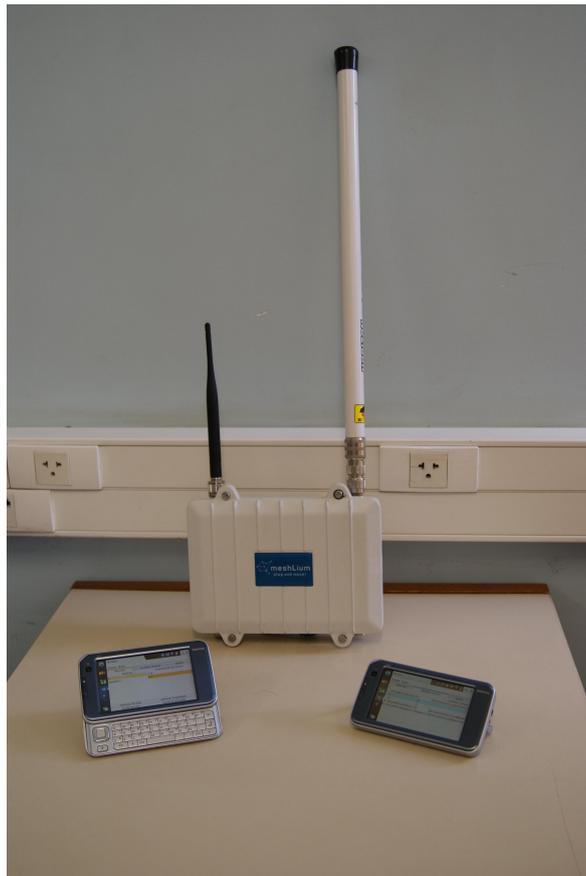


Figura 6.15. Equipamentos utilizados nos experimentos

6.4 Conclusão

Para a validação do sistema proposto, foram realizadas simulações utilizando o simulador de rede DTN The ONE. Também foi implementado um protótipo para verificar o funcionamento do sistema de localização de recursos. Os experimentos comparam o desempenho dos mecanismos de disseminação de mensagem, apresentados no Capítulo 5.

Os experimentos foram realizados utilizando dois modelos de mobilidade, o modelo de mobilidade de emergência, definido no Capítulo 2 e o modelo Random Waypoint, para verificar o funcionamento da solução em um cenário mais geral.

Foram realizados experimentos para verificar o comportamento dos algoritmos, quanto à variação do número de recursos na rede. Como esperado, a probabilidade de resposta aumenta de acordo com o número de recursos. O Spray and Wait teve a pior descoberta de recursos, principalmente quando há poucos recursos, mas com o uso do anúncio proativo, os resultados do Spray and Wait são comparáveis ao do Epidêmico, utilizando menos recursos da rede.

A comparação entre a busca em profundidade no grafo da rede no momento da consulta com os outros algoritmos demonstrou que as estratégias de disseminação consideradas tem desempenho de descoberta melhor que uma estratégia que funcione somente quando há um caminho fim a fim.

A descoberta de recursos com o modelo de mobilidade Random Waypoint é pior que no modelo de emergência devido aos nós ficarem mais espalhados na área, existindo menos oportunidade para que os nós se comuniquem.

Os experimentos para verificar a escalabilidade demonstram que o algoritmo Epidêmico é o que mais consome recursos com o aumento do número de nós.

Os testes com a variação do TTL demonstram que é possível diminuir o tempo de vida das mensagens, para diminuir o uso de recursos da rede, de acordo com as necessidades da aplicação.

Capítulo 7

Conclusão

Esta dissertação apresentou um estudo sobre localização de recursos em redes de emergência tolerantes a atrasos e desconexões e uma solução proposta para o problema.

Foram discutidos os principais conceitos sobre redes DTN, localização de recursos e redes de emergência. Um modelo de rede e de mobilidade foi definido para este tipo de rede, que foi considerado na concepção da solução para localização de recursos e utilizado nas simulações para a validação.

A solução apresentada para o problema é distribuída e tolerante a atrasos e desconexões. Sua arquitetura e o seu funcionamento são definidas e os requisitos importantes para a solução são discutidos. Foram estudadas diversas maneiras de disseminar mensagens na rede, utilizando algoritmos de roteamento para DTN com algumas modificações, sempre buscando menores gastos de recursos da rede, sem prejuízo de descoberta de recursos.

As soluções foram implementadas no simulador de redes DTN The ONE. Os resultados demonstram que os mecanismos de disseminação de mensagens tolerantes a atrasos e desconexões apresentaram desempenho melhor que mecanismos que requerem um caminho fim-a-fim. Também é possível utilizar algoritmos como o Spray and Wait com anúncio de recursos que oferecem uma descoberta semelhante ou até melhor que estratégias simples de inundação da rede como o algoritmo Epidêmico.

7.1 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros pretendemos realizar algumas melhorias no sistema de localização de recursos. Uma delas é a utilização de mecanismos para limitar o número de mensagens de consultas e respostas na rede. Para tanto é necessário realizar um estudo sobre algumas estratégias que podem ser adotadas. Uma estratégia é o descarte das

mensagens após um determinado número de saltos, dessa forma restringindo a consulta aos nós mais próximos na rede, mas diminuindo a descoberta de recursos. Também podem ser feitas consultas que somente uma resposta seja necessária. Então após um nó repassar uma resposta para esta consulta, ele não repassa mais mensagens dessa consulta para outros nós e nem outras respostas dessa consulta que podem ter sido enviada por outros nós.

Também pode ser implementado a seleção de recursos, tanto no nó que a realiza a consulta quanto na rede. Para essa funcionalidade, é necessário que sejam adotadas políticas que especifiquem uma forma de comparação entre recurso, ou que a linguagem utilizada para a consulta permita essa comparação. Dessa forma consultas como “o bombeiro mais próximo” poderiam ser realizadas, e um nó da rede após repassar uma mensagem de resposta com uma menor de distância, poderia descartar as próximas mensagens com valores maiores.

Podem ser testados outros algoritmos de roteamento DTN para a disseminação de mensagens. Alguns algoritmos podem ser adaptados, como o EBR [Nelson et al., 2009], que funciona como o Spray and Wait, mas faz uma escolha probabilística para quem repassar a mensagem, baseada numa métrica que leva em conta a taxa de encontro dos nós. Essa métrica poderia ser substituída por uma que levasse em consideração quais nós possuem mais recursos ou que tiveram contatos com nós que tenham muitos recursos, aumentando a probabilidade que um maior número de mensagens sejam repassadas para os nós que tenham mais recursos.

O sistema também pode ser avaliado quanto ao consumo de energia, e não somente quanto ao número de mensagens transmitidas.

Referências Bibliográficas

- Alliance, Z. (2005). Zigbee specification. <http://www.zigbee.org/>.
- Apple (2009). Bonjour. <http://developer.apple.com/networking/bonjour/>.
- Arisoylu, M.; Mishra, R.; Rao, R. & Lenert, L. (2005). 802.11 wireless infrastructure to enhance medical response to disasters. *AMIA Annual Symposium Proceedings*, 2005.
- Arnold, K.; Scheifler, R.; Waldo, J.; O'Sullivan, B. & Wollrath, A. (1999). *Jini Specification*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA.
- Berners-Lee, T.; Fielding, R. & Masinter, L. (2005). Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax. RFC 3986 (Standard).
- Bluetooth, S. (2004). Specification of the Bluetooth system. <http://www.bluetooth.com>.
- Broch, J.; Maltz, D.; Johnson, D.; Hu, Y. & Jetcheva, J. (1998). A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols. In *Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pp. 85--97. ACM New York, NY, USA.
- Camp, T.; Boleng, J. & Davies, V. (2002). A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research. *Wireless Communications & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, 2(5):483--502.
- Careem, M.; De Silva, C.; De Silva, R.; Raschid, L. & Weerawarana, S. (2007). Demonstration of sahana: free and open source disaster management. In *dg.o '07: Proceedings of the 8th annual international conference on Digital government research*, pp. 266--267. Digital Government Society of North America.

- Cerf, V.; Burleigh, S.; Hooke, A.; Torgerson, L.; Durst, R.; Scott, K.; Fall, K. & Weiss, H. (2007). Delay-Tolerant Networking Architecture. RFC 4838 (Informational).
- Chakraborty, D.; Joshi, A.; Yesha, Y. & Finin, T. (2002). GSD: a novel group-based service discovery protocol for MANETS. In *Mobile and Wireless Communications Network, 2002. 4th International Workshop on*, pp. 140–144.
- Cheshire, S. & Krochmal, M. (2008). DNS-Based Service Discovery. <http://files.dnssd.org/draft-cheshire-dnsextdns-sd.txt>.
- Clausen, T. & Jacquet, P. (2003). Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). RFC 3626 (Experimental).
- DTNRG (2010). Delay tolerant networking research group. <http://www.dtnrg.org/>.
- Fall, K. (2003). A delay-tolerant network architecture for challenged internets. In *SIGCOMM '03: Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pp. 27--34, New York, NY, USA. ACM.
- Foundation, P. S. (2010). Python programming language. <http://www.python.org/>.
- Gerla, M. (2005). From battlefields to urban grids: New research challenges in ad hoc wireless networks. *Pervasive and Mobile Computing*, 1(1):77–93.
- Guttman, E. (1999). Service location protocol: automatic discovery of ip network services. *Internet Computing, IEEE*, 3(4):71–80.
- Helal, S.; Desai, N.; Verma, V. & Lee, C. (2003). Konark - a service discovery and delivery protocol for ad-hoc networks. In *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE*, volume 3, pp. 2107–2113 vol.3.
- Islam, M. (2009). DT-Talkie: Interactive Voice Messaging for Heterogeneous Groups in Delay-Tolerant Networks. In *Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV*.
- Kanchanasut, K.; Tunpan, A.; Awal, M. A.; Wongsardsakul, T.; Das, D. & Tsuchimoto, Y. (2007). Building a long-distance multimedia wireless mesh network for collaborative disaster emergency responses. *Internet Education and Research Laboratory, Asian Institute of Technology Thailand, April*.

- Keränen, A.; Ott, J. & Kärkkäinen, T. (2009). The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. In *SIMUTools '09: Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*, New York, NY, USA. ICST.
- Lindgren, A.; Doria, A. & Schelén, O. (2003). Probabilistic routing in intermittently connected networks. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 7(3):19--20.
- Löffler, J.; Schon, J. & Köhler, J. (2006). SHARE: supporting large-scale rescue operations with communication and information services over mobile networks. In *MobiMedia '06: Proceedings of the 2nd international conference on Mobile multimedia communications*, pp. 1--6, New York, NY, USA. ACM.
- Manoj, B. S. & Baker, A. H. (2007). Communication challenges in emergency response. *Communications of the ACM*, 50(3):51--53.
- Mota, V.; Silva, T. H. & Nogueira., J. M. S. (2009). Introduzindo tolerancia a interrupções em redes ad hoc móveis para cenários de emergência. In *27o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*.
- Nelson, S. C.; Bakht, M.; Kravets, R. & Harris, III, A. F. (2009). Encounter: based routing in dtns. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 13(1):56--59.
- Nelson, S. C.; Harris, III, A. F. & Kravets, R. (2007). Event-driven, role-based mobility in disaster recovery networks. In *CHANTS '07: Proceedings of the second ACM workshop on Challenged networks*, pp. 27--34, New York, NY, USA. ACM.
- Nokia (2010). PyMaemo: Python for Maemo. <http://pymaemo.garage.maemo.org/>.
- Ott, J. & Kutscher, D. (2006). Bundling the Web: HTTP over DTN. In *WNEPT 2006 Workshop on Networking in Public Transport, QShine Conference*.
- Perkins, C.; Belding-Royer, E. & Das, S. (2003). RFC3561: Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. *Internet RFCs*.
- Plagemann, T.; Munthe-Kaas, E.; Skjelsvik, K. S.; Puzar, M.; Goebel, V.; Johansen, U.; Gorman, J. & Marin, S. P. (2007). A data sharing facility for mobile ad-hoc emergency and rescue applications. In *ICDCSW '07: Proceedings of the 27th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, p. 85, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Ratsimor, O.; Chakraborty, D.; Joshi, A.; Finin, T. & Yesha, Y. (2004). Service discovery in agent-based pervasive computing environments. *Mob. Netw. Appl.*, 9(6):679-692.

- S. Symington, S. Farrell, H. W. (2009). Bundle security protocol specification. Internet-Draft, <http://tools.ietf.org/html/draft-irtf-dtnrg-bundle-security-12>.
- Schmitt, T.; Council, N. R.; Rao, R. R. & Eisenberg, J. (2007). *Improving Disaster Management: The Role of IT in Mitigation, Preparedness, Response, and Recovery*. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Scott, K. & Burleigh, S. (2007). Bundle Protocol Specification. RFC 5050 (Experimental).
- Spyropoulos, T.; Psounis, K. & Raghavendra, C. (2004). Single-copy routing in intermittently connected mobile networks. In *Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2004. IEEE SECON 2004. First Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, pp. 235–244.
- Spyropoulos, T.; Psounis, K. & Raghavendra, C. S. (2005). Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In *WDTN '05: Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*, pp. 252--259, New York, NY, USA. ACM.
- Spyropoulos, T.; Psounis, K. & Raghavendra, C. S. (2008). Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 16(1):77--90.
- Steinberg, D. & Cheshire, S. (2005). *Zero Configuration Networking: The Definitive Guide*. O'Reilly Media, Inc.
- UPnP, F. (2009). UPnP White Paper. <http://upnp.org/resources/default.asp>.
- Vahdat, A. & Becker, D. (2000). Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. Technical report, Duke University.
- Zhu, F.; Mutka, M. W. & Ni, L. M. (2005). Service discovery in pervasive computing environments. *IEEE Pervasive Computing*, 4:81–90.