

Estudo de Protocolos de Roteamento em Redes Ad Hoc

Guilherme Venícius Brignoni

Florianópolis, Julho de 2005

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA
CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO**

Estudo de Protocolos de Roteamento em Redes Ad Hoc

Autor
Guilherme Venícius Brignoni

Banca Examinadora
Prof. Carlos Becker Westphall, Dr. (Orientador)
Fernando Augusto da Silva Cruz
Carla Merkle Westphall
Jean Everson Martina

Florianópolis, 08 de Julho de 2005

“Perdi a comodidade da ignorância”

(Michael Allred)

AGRADECIMENTOS

Quero aqui, deixar meus agradecimentos a todas as pessoas que me ajudaram nesta longa jornada, que me incentivaram nos momentos em que eu pensava em desistir, que me deram apoio nos momentos de fraqueza, que me deram clareza nos momentos de dúvida, e que acima de tudo estavam ao meu lado sempre, nas alegrias (que foram muitas), e nas tristezas.

Dessa forma, venho agradecer ao Prof. Doutor Carlos Becker Westphall, por ter me orientado neste trabalho, e também a todos os professores que me auxiliaram ao longo desta jornada acadêmica.

Agradeço a turma CCO/012, embora alguns colegas tenham ficado para trás nas matérias, foi uma turma fantástica, onde fiz acima de tudo amigos para toda vida. Nas festas, nos churrascos, nas noites de estudo em véspera de provas, na copa do mundo, foram muitos momentos felizes, e por isso quero deixar aqui minha gratidão a eles.

Quero agradecer também em especial, ao pessoal que mora ou que moraram comigo, tornaram-se minha família aqui, e tenho a certeza que este laço se manterá ao longo dos anos.

Falando em família, devo o que sou a eles: a minha mãe Lucinda, ao meu pai Plínio e ao meus irmãos Giovani e Leonardo, e ao mais novo membro o Otávio, que me transformou em um tio babão! Valeu Janine.

Para finalizar, o agradecimento mais importante: a Deus, por todas as coisas boas que proporcionou na minha vida, pela minha família, pelos meus amigos, pelas lições que a cada dia recebo, inclusive pelas dificuldades que passei, pois eram nelas que se mensuravam o real valor das coisas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos Gerais	14
1.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Justificativa	15
2 REDES SEM FIO (WIRELESS)	16
2.1 Histórico	16
2.2 Tipos de Redes	17
2.3 Topologias	18
2.3.1 Redes Infra-Estruturadas	18
2.3.2 Redes Ad Hoc	18
2.4 Padrões da Indústria	19
2.4.1 IEEE 802.11	19
2.4.1.1 IEEE 802.11b	21
2.4.1.2 IEEE 802.11g	21
2.4.1.3 IEEE 802.11a	22
2.4.1.4 IEEE 802.11d	22
2.4.1.5 IEEE 802.11e	22
2.4.1.6 IEEE 802.11f	23
2.4.1.7 IEEE 802.11h	23
2.4.1.8 IEEE 802.11i	23
2.4.2 HiperLAN/2	24
2.4.3 Bluetooth	24

2.5 Como Funcionam as WLANS	26
2.6 Tecnologias Empregadas	27
2.6.1 Sistemas Narrowband	27
2.6.2 Sistemas Spread Spectrum	27
2.6.1 Sistemas Infrared	28
3 REDES AD HOC	29
3.1 O quê são redes Ad Hoc	29
3.2 Histórico	30
3.3 Aplicação	30
3.4 Vantagens e Desvantagens	31
3.4.1 Vantagens	31
3.4.2 Desvantagens	32
3.5 Classificação	33
4 ALGORITMOS DE ROTEAMENTO	34
4.1 Características desejáveis de um algoritmo de roteamento	35
4.2 Considerações sobre roteamento em redes Ad Hoc (MANETs)	36
4.3 Propriedades esperadas dos algoritmos de roteamento em redes Ad Hoc	36
4.4 Filosofia do Roteamento	38
4.5 Tipos de Algoritmos de Roteamento	39
4.5.1 Algoritmos Reativos	40
4.5.1.1 Dynamic Source Routing	40
4.5.1.2 Temporally – Ordered Routing Algorithm	42
4.5.1.3 Associativity – Based Routing	43
4.5.1.4 Location-Aided Routing	44
4.5.1.5 Routing on-demand acyclic multi-path	45
4.5.2 Algoritmos Pró-ativos	46
4.5.2.1 Destination-Sequenced Distance-Vector Routing	46
4.5.2.2 Optimised link state routing (OLSR)	47
4.5.2.3 Global State Routing	47
4.5.2.4 Clusterhead Gateway Switch Routing	49
4.5.2.5 Source-tree adaptive routing	49
4.5.3 Algoritmos Híbrido	50

4.5.3.1 Zone Routing Protocol	50
4.5.3.2 Zone-based hierarchical link state	51
4.5.3.3 Scalable Location Update Routing Protocol	53
4.5.3.4 Distributed spanning trees based routing protocol	54
4.5.3.5 Distributed dynamic routing (DDR)	55
5 ANÁLISE	57
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	61
GLOSSÁRIO	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXO A	69

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Rede wireless, integrada a uma rede física	18
FIGURA 2 - Rede wireless, isolada	19
FIGURA 3 – Camadas do padrão IEEE 802.11	20
FIGURA 4 - Rede Wireless LAN típica [SAJS]	27
FIGURA 5 – Overhead dos três tipos de Algoritmos	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Tipos de Redes Wireless	17
TABELA 2 - Complexidade dos Algoritmos Link Sate e Distance Vector	38
TABELA 3 - Protocolos de Roteamento	39
TABELA 4 - Comparação das propriedades entre os principais protocolos	58

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade fazer um estudo da tecnologia de redes Wireless, abordando algumas características, topologias, vantagens e desvantagens das mesmas.

Dará ênfase para a topologia de redes Ad Hoc, onde será feita também, uma análise dos diferentes protocolos usados para roteamento de dados.

Palavras Chaves: Wireless, Ad Hoc, Protocolos, Roteamento;

ABSTRACT

This work wants to make a research about wireless network technology, abording some characteristhics, topologys, advantages and disadvantages about it.

It will emphasize for Ad Hoc topology network, where also will be done, a analisys of the different protocol used for data delivery.

Key Words: Wireless, Ad hoc, Protocol, Delivery.

1 INTRODUÇÃO

Recentemente, vem sendo observado um grande crescimento nas áreas de comunicação celular, redes locais sem-fio e serviços via satélite.

Tal crescimento proporcionará num futuro bem próximo, um maior acesso às informações, acessos esses sendo feitos através de dispositivos portáteis conectados entre si, ou a um dispositivo fixo, via rede sem fio.

A tecnologia de redes Wireless vem ganhando espaço no mercado e tornando-se promessa para o futuro na transmissão de dados. Todo esse sucesso, decorre da grande mobilidade, flexibilidade e facilidade de instalação que tais redes proporcionam.

Tais características são ainda mais evidentes na topologia Ad Hoc, uma vez que todos os nós móveis podem se comunicar diretamente entre si. Esta vantagem é dada pelos poderosos protocolos desenvolvidos para efetuar o roteamento de dados, num ambiente onde não há a necessidade de estações de suporte a mobilidade.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho visa fazer um estudo dos diversos protocolos de roteamento aplicados a redes ad hoc, apresentando conceitos bases sobre redes sem fio, como topologias e padrões de industria, dando uma maior ênfase no tópico relacionado a roteamento, onde é feito um apanhado geral sobre conceitos relacionados a roteamento e daí sim, feito um estudo dos algoritmos utilizados em redes ad hoc.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho incluem:

- Uma maior compreensão sobre a tecnologia wireless;
- Um estudo teórico sobre os principais algoritmos utilizados no mercado para desenvolvimento de protocolos em redes de topologia móvel;
- Um estudo aprofundado sobre os principais protocolos de roteamento em redes ad hoc, apresentando vantagens e desvantagens de cada um, bem como sua forma de funcionamento.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com o rápido desenvolvimento tecnológico, os equipamentos necessários para montar uma rede sem fio, estão tornando-se acessíveis a custos mais reduzidos, fazendo com que as redes wireless, a cada dia que passa, adquiram grandes fatias no mercado consumidor.

Com a popularização deste tipo de rede, decorrentes também, da flexibilidade e rápida instalação, surgiu uma maior preocupação com a estabilidade, segurança e velocidade dessas redes, e é nos protocolos de roteamento que se encontram todo o segredo para a otimização destas características, tornando assim, a chave para o sucesso ou fracasso desta nova tecnologia.

2 REDES SEM FIO (WIRELESS)

2.1 HISTÓRICO

O sucesso que as redes sem fio vem obtendo hoje em dia é o resultado de décadas e mais décadas de pesquisas tecnológicas na área de comunicação de dados, e sendo assim alguns fatos, que auxiliaram a tomada desse rumo, podem ser citados ao longo dos anos:

- Anos 30: Modulação em Amplitude (AM), Modulação em Freqüência (FM);
- Anos 50: Primeiros sistemas de paging;
- Anos 60: Primeiros aparelhos de celulares portáteis;
- Anos 70: ALOHA – 1º sistema de computadores a utilizar radiodifusão. AT&T lança o sistema celular da 1a geração AMPS. 1a rede celular no mundo é lançada no Japão;
- Anos 80: 2ª geração de celulares;
- Anos 90: Padrões TDMA e CDMA. Sistema GSM. IEEE 802.11 publica o padrão das redes sem fio.

As primeiras redes sem fio tinham um conjunto de problemas: eram muito caras, eram lentas, tinham uma série de problemas de interferências e eram baseadas em tecnologias proprietárias. Dois eventos acontecerão para levar as redes sem fio para o topo:

- Os problemas técnicos de incompatibilidade e gerenciamento do espectro foram resolvidos;

A tendência da sociedade a ter mais mobilidade, e com isso as redes sem fio tornaram-se importantes, principalmente para o uso de notebooks e computadores de mão;

Antes de 1998, instalar uma rede sem fio significava uso de uma ou mais soluções proprietárias. As conexões eram feitas através de redes pouco confiáveis, com baixas taxas de transmissão e a com um mínimo de segurança. O resultado do esforço de padronização levou a criação dos padrões HiperLAN/2, IEEE 802.11b e Bluetooth. Esse esforço de especificação assegurou que todos os equipamentos pudessem se comunicar utilizando os mesmos protocolos e interfaces de comunicação.

No esforço de resolver os problemas de incompatibilidade das WLANs, a WECA tem planos para certificar todas as versões do IEEE 802.11 para os equipamentos do mercado, removendo todas as barreiras de dúvidas do mercado. Todos equipamentos certificados deverão levar o selo de Wireless Fidelity (Wi-Fi). [FEM]

2.2 TIPOS DE REDES

Nesta categoria de redes (wireless), existem vários tipos que são: Redes Locais sem Fio ou WLAN (Wireless Local Area Network), Redes Metropolitanas sem Fio ou WMAN (Wireless Metropolitan Area Network), Redes de Longa Distância sem Fio ou WWAN (Wireless Wide Area Network) e o novo conceito de Redes Pessoais Sem Fio ou WPAN (Wireless Personal Area Network).

	WLANs	LAN-LAN	WWANs	WMANs	WPANs
Área Coberta	Prédios ou Campos	Prédio-Prédio	Além das Metropolitanas	Área Metropolitana	Distâncias curtas
Função	Extensão ou alternativa para LAN (com cabo)	Alternativa para conexão com cabo	Extensão de LAN	Extensão de LAN (com cabo)	Ponto – Ponto Alternativa p/ cabo
Vazão	1 – 10 Mbps	2 – 10 Mbps	1 – 32 Kbps	10 – 100 Kbps	0.1- 4Mbps

TABELA 1 - Tipos de Redes Wireless

2.3 TOPOLOGIAS

As WLANs suportam dois modos de operação: infra-estrutura e ad hoc (peer-to-peer).

2.3.1 Redes Infra-Estruturadas

As redes infra-estruturadas são compostas de *Hosts Móveis* (HM) ligados diretamente a uma Estação de Suporte à Mobilidade (ESM). A ESM normalmente está ligada a um componente fixo de uma rede como, por exemplo, a rede telefônica. Toda a comunicação é feita via ESM, mesmo que os telefones estejam a uma distância em que poderiam se comunicar diretamente.[GASS]

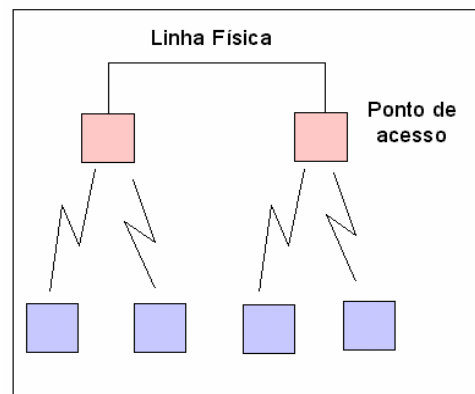


FIGURA 1 — Rede wireless, integrada a uma rede física

2.3.2 Rede Ad Hoc

Em uma rede Ad hoc (referidas pelo IETF como MANET – Mobile Ad hoc Network), os móveis podem trocar informações diretas entre si. Tal rede pode ser usada, por exemplo, numa situação real em um campo de batalha, onde redes fixas podem não estar facilmente disponíveis (seja por não existirem ou ainda por não poderem ser instaladas em tempo hábil), dificultando a realização de operações que requeiram mobilidade. Um dos problemas fundamentais nesta rede é determinar e manter as rotas, já que a topologia da rede é altamente mutável.[GASS]

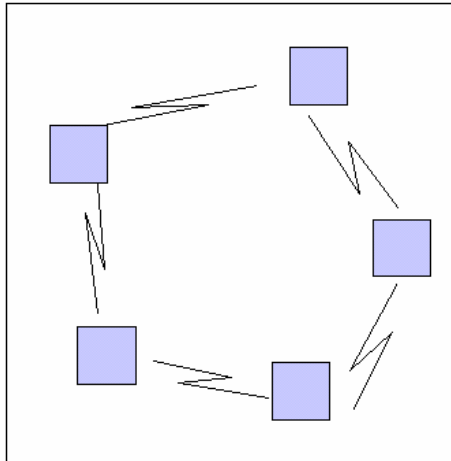


FIGURA 2 – Rede wireless, isolada

2.4 PADRÕES DA INDÚSTRIA

Basicamente existem três padrões: o IEEE 802.11, HiperLAN/2 e Bluetooth. Tais padrões asseguraram que todos os equipamentos pudessem se comunicar utilizando os mesmos protocolos e interfaces de comunicação.

2.4.1 IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 , é responsável pela definição do padrão para as redes locais sem fio WLANs. Este padrão especifica três camadas físicas (PHY) e apenas uma subcamada MAC (Media Access Control). Como apresentado abaixo, o *draft* provê duas especificações de camadas físicas com opção para rádio, operando na faixa de 2.400 a 2.483,5 mHz (dependendo da regulamentação de cada país), e uma especificação com opção para infravermelho.

- ***Frequency Hopping Spread Spectrum Radio PHY:***

Esta camada fornece operação 1 Mbps, com 2 Mbps opcional. A versão de 1 Mbps utiliza 2 níveis da modulação GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*), e a de 2 Mbps utiliza 4 níveis da mesma modulação;

- **Direct Sequence Spread Spectrum Radio PHY:**

Esta camada provê operação em ambas as velocidades (1 e 2 Mbps). A versão de 1 Mbps utiliza da modulação DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*), enquanto que a de 2 Mbps usa modulação QDBPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*);

- **Infrared PHY:**

Esta camada fornece operação 1 Mbps, com 2 Mbps opcional. A versão de 1 Mbps usa modulação 16-PPM (*Pulse Position Modulation* com 16 posições), e a versão de 2 Mbps utiliza modulação 4-PPM.

No lado da estação, a subcamada MAC fornece os seguintes serviços: autenticação, desautenticação, privacidade e transmissão da MADU (*MAC Sublayer Data Unit*), e, no lado do sistema de distribuição: associação, desassociação, distribuição, integração e reassociação. [SAJS]

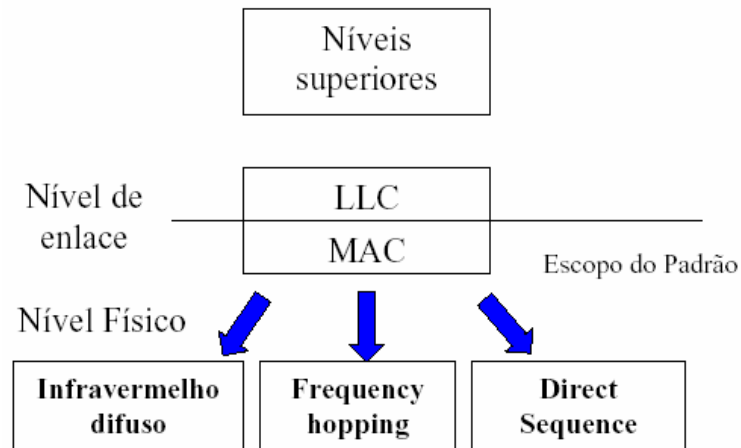


FIGURA 3 – camadas do padrão IEEE 802.11

Algumas variantes do padrão IEEE 802.11:

2.4.1.1 IEEE 802.11b

O IEEE 802.11b é especificado para operar em 2,4-GHz utilizando a banda ISM (Industrial, Scientific and Medical band). Os canais de rádio frequência usam a modulação DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), permitindo altas taxas de velocidade em distâncias de até 50 metros em escritórios. O padrão permite taxas de transferência de até 11-Mbps, que são até cinco vezes maiores do que a especificação original do IEEE 802.11 e próxima ao padrão Ethernet.

Tipicamente, o padrão IEEE 802.11b é utilizado em pequenos escritórios, em hospitais, em depósitos e em chão de fábrica. Seu principal uso deverá ser em grandes campi para prover conectividade em salas de conferências, áreas de trabalhos, e qualquer outro ambiente inconveniente ou perigoso para se instalar cabos. No curto prazo, em qualquer ambiente onde exista a necessidade de mobilidade será aceitável a instalação de rede sem fios.

2.4.1.2 IEEE 802.11g

O IEEE 802.11g prevê a especificação do MAC (Medium Access Control) e da camada física (PHY). A camada física será uma extensão do IEEE 802.11b com uma taxa de transmissão de 54-Mbps usando a modulação OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). A especificação IEEE 802.11g é compatível com a especificação IEEE 802.11b.

Usando um protocolo estendido, o 802.11g permite o uso misto da rede. Esta característica de uso misto permite que equipamentos que usam o 802.11b operando em 11-Mbps possam compartilhar a mesma rede com os novos equipamentos operando em 54-Mbps. Isso permitirá a migração sem impacto das redes de 11-Mbps para as redes de 54-Mbps.

2.4.1.3 IEEE 802.11a

O IEEE 802.11a é o equivalente Fast-Ethernet do padrão IEEE 802.11b. Ela especifica uma rede cinco vezes mais rápida do que o 802.11b.

O IEEE 802.11a é desenhada para operar numa banda de frequência de 5-GHz-UNII (Unlicensed National Information Infrastructure). A potência máxima especificada é de 50Mw para produtos operando em 5,15-GHz até 5,25-GHz, 250Mw para produtos operando em 5,25-GHz até 5,35-GHz e de 800Mw para 5,725-GHz até 5,82-GHz (tipicamente para aplicações em áreas abertas). Diferente dos padrões IEEE 802.11b/g, o IEEE 802.11a não usa o padrão DSSS. Ao contrário, utiliza o OFDM que opera mais facilmente em ambientes de escritórios.

2.4.1.4 IEEE 802.11d

O padrão IEEE 802.11d foi desenvolvido para áreas fora dos chamados cinco grandes domínios regulatórios (EUA, Canadá, Europa, Japão e Austrália). O 802.11d tem um frame estendido que inclui campos com informações dos países, parâmetros de frequência e tabelas com parâmetros.

2.4.1.5 IEEE 802.11e

O Task Group criado para desenvolver o padrão 802.11e inicialmente tinha o objetivo de desenvolver os aspectos de segurança e qualidade de serviço (QoS) para a sub-camada MAC. Mais tarde as questões de segurança foram atribuídas ao Task Group 802.11i, ficando o 802.11e responsável por desenvolver os aspectos de QoS. O QoS deve ser adicionado as redes WLANs para permitir o uso VoIP. Também será requerido para o ambiente doméstico, onde deverá suportar voz, vídeo e dados.

2.4.1.6 IEEE 802.11f

O padrão IEEE 802.11 especifica a subcamada MAC e a camada física para as WLANs e define os princípios básicos da arquitetura da rede, incluído os conceitos de access points e dos sistemas distribuídos.

O IEEE 802.11f está definindo as recomendações práticas, mais que os padrões. Estas recomendações descrevem os serviços dos access points (SAP), as primitivas, o conjunto de funções e os protocolos que deverão ser compartilhados pelos múltiplos fornecedores para operarem em rede.

2.4.1.7 IEEE 802.11h

Na Europa, os radares e satélites usam a banda de 5-GHz, a mesma utilizada pelo padrão IEEE 802.11a. Isto significa que podem existir interferências com radares e satélites. O padrão 802.11h adiciona uma função de seleção dinâmica de frequência (DFS – Dynamic Frequency Selection) e um controle de potência de transmissão (TPC – Transmit Power Control) para o padrão 802.11a.

2.4.1.8 IEEE 802.11i

O Task Group IEEE 802.11i foi criado para melhorar as funções de segurança do protocolo 802.11 MAC, que agora é conhecido como Enhanced Security Network (ESN). O esforço do ESN é unificar todos os esforços para melhorar a segurança das WLANs. Sua visão é consiste em avaliar os seguintes protocolos:

- Wired Equivalent Protocol (WEP)
- Temporal Key Integrity Protocol (TKIP)
- Advanced Encryption Standard (AES)
- IEEE 802.1x para autenticação e criptografia.

Percebendo que o algoritmo RC4 não é robusto o suficiente para as futuras necessidades, o grupo de trabalho 802.11i está trabalhando na integração do AES dentro da subcamada MAC. O AES segue o padrão do DES (Data Encryption Standard). Como o DES o AES usa criptografia por blocos. Diferente do DES, o AES pode exceder as chaves de 1024 bits, reduzindo as possibilidades de ataques.

2.4.2 HiperLAN/2

Desenvolvido pelo Instituto Europeu de Padrões de Telecomunicações (ETSI – European Telecommunications Standards Institute), o HiperLAN/2 é uma especificação de wireless LAN para operar até 54-Mbps, que pode ser utilizada em várias redes, incluindo as redes 3G, redes ATM e redes baseadas em IP. O padrão prevê o uso de dados, voz e vídeo. A especificação inclui o QoS, fundamental para o transporte em redes determinísticas.

Similar ao 802.11a o HiperLAN/2 opera em 5-GHz utilizando a modulação OFDM. Sua subcamada MAC é diferente do padrão 802.11a.

2.4.3 Bluetooth

Diferentemente dos objetivos das WLANs que são desenhadas para serem extensão das redes locais, o Bluetooth tem o objetivo de substituir os cabos que conectam os periféricos das estações de trabalho. O Bluetooth prevê as seguintes funcionalidades:

- Ponto de acesso para voz e dados;
- Redes pessoais;
- Substituição de cabos entre a estação de trabalho e os periféricos;

A topologia de rede suporta até sete conexões simultâneas dentro de uma piconet, com uma taxa de transmissão de 1-Mbps. Seus canais assíncronos podem suportar:

- Um link assimétrico com um downlink de 721-Kbps e um uplink de 56-Kbps;
- Um link simétrico com 432,6-Kbps em ambas as direções.

Esta diferença de velocidade é devida ao overhead do protocolo. A potência de transmissão é de até 0,1 Watts permitindo uma distância de até 10 metros. Usa a banda de frequência ISM de 2,4-GHz, a mesma utilizada pelo padrão IEEE 802.11b/g.

O Bluetooth usa a modulação FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). O hopping rate é de 1600 hops por segundo através dos 79 canais em operação normal. Existem quatro hops de reserva usados para o setup das conexões.

O Bluetooth define dois níveis de potência – um baixo que cobre a área pessoal dentro de uma sala, e uma alta que pode cobrir uma área maior, tal como uma casa. A topologia da rede permite conectar rádios para serem mestres ou escravos.

Para prevenir conflitos, cada rádio usa um único padrão de hopping. Todos os equipamentos de uma piconet usam o mesmo hop. Até 10 piconets podem-se operar sem impacto.

Similar a outros protocolos, a criptografia é utilizada para proteger as transmissões entre os equipamentos na rede. A criptografia é baseada no algoritmo Secure And Fast Encryption Routine – SAFER. Este algoritmo é desenhado para ser implementado em software e apresenta um baixo esforço computacional.

Os aspectos de segurança do Bluetooth devem ser melhorados para oferecer mais robustez nas transmissões de dados entre os equipamentos da rede. [FEM]

2.5 COMO FUNCIONAM AS WLANS

Através da utilização de portadoras de rádio ou infravermelho, as WLANs estabelecem a comunicação de dados entre os pontos da rede. Os dados são modulados na portadora de rádio e transmitidos através de ondas eletromagnéticas.

Múltiplas portadoras de rádio podem coexistir num mesmo meio, sem que uma interfira na outra. Para extrair os dados, o receptor sintoniza numa frequência específica e rejeita as outras portadoras de frequências diferentes.

Num ambiente típico, como o mostrado na Figura 4, o dispositivo transceptor (transmissor/receptor) ou ponto de acesso (*access point*) é conectado a uma rede local Ethernet convencional (com fio). Os pontos de acesso não apenas fornecem a comunicação com a rede convencional, como também intermediam o tráfego com os pontos de acesso vizinhos, num esquema de micro células com *roaming* semelhante a um sistema de telefonia celular.

Um grupo de empresas está coordenando o desenvolvimento do protocolo IAPP (Inter-Access Point Protocol), cujo objetivo é garantir a interoperabilidade entre fabricantes fornecendo suporte a *roaming* através das células. O protocolo IAPP define como os pontos de acesso se comunicarão através do *backbone* da rede, controlando os dados de várias estações móveis. [SAJS]

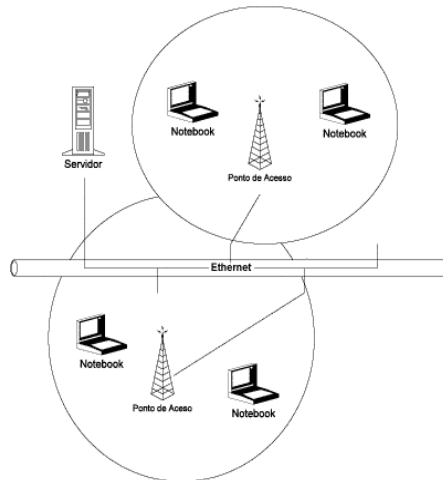


FIGURA 4 – Rede Wireless LAN típica [SAJS]

2.6 TECNOLOGIAS EMPREGADAS

Há várias tecnologias envolvidas nas redes locais sem fio e cada uma tem suas particularidades, suas limitações e suas vantagens. A seguir, são apresentadas algumas das mais empregadas.

2.6.1 Sistemas *Narrowband*:

Os sistemas *narrowband* (banda estreita) operam numa frequência de rádio específica, mantendo o sinal de rádio o mais estreito possível o suficiente para passar as informações. O *crosstalk* indesejável entre os vários canais de comunicação pode ser evitado coordenando cuidadosamente os diferentes usuários nos diferentes canais de frequência.

2.6.2 Sistemas *Spread Spectrum*:

São os mais utilizados atualmente. Utilizam a técnica de espalhamento espectral com sinais de rádio frequência de banda larga, provendo maior segurança, integridade e confiabilidade, em troca de um maior consumo de banda. Há dois tipos de tecnologias *spread spectrum*: a FHSS, *Frequency-Hopping Spreap Spectrum* e a DSSS, *Direct-Sequence Spread Spectrum*.

A FHSS usa uma portadora de faixa estreita que muda a frequência em um código conhecido pelo transmissor e pelo receptor que, quando devidamente sincronizados, o efeito é a manutenção de um único canal lógico.

A DSSS gera um *bit-code* (também chamado de *chip* ou *chipping code*) redundante para cada bit transmitido. Quanto maior o *chip* maior será a probabilidade de recuperação da informação original. Contudo, uma maior banda é requerida. Mesmo que um ou mais bits no *chip* sejam danificados durante a transmissão, técnicas estatísticas embutidas no rádio são capazes de recuperar os dados originais sem a necessidade de retransmissão.

2.6.3 Sistemas Infrared:

Para transmitir dados os sistemas infravermelhos utilizam frequências muito altas, um pouco abaixo da luz visível no espectro eletromagnético. Iguamente à luz, o sinal infravermelho não pode penetrar em objetos opacos. Assim as transmissões por infravermelho ou são diretas ou difusas.

Os sistemas infravermelhos diretos de baixo custo fornecem uma distância muito limitada (em torno de 1,5 metro). São comumente utilizados em PAN (*Personal Area Network*) como, por exemplo, os *palm pilots*, e ocasionalmente são utilizados em WLANs. [SAJS]

3 REDES AD HOC

3.1 O QUÊ SÃO REDES AD HOC

Uma rede ad hoc, é uma rede que não existe uma topologia predeterminada, e nem controle centralizado. Redes ad hoc não requerem uma infra-estrutura tal como backbone, ou pontos de acesso configurados antecipadamente. Os nós ou nodos numa rede ad hoc se comunicam sem conexão física entre eles criando uma rede “on the fly”, na qual alguns dos dispositivos da rede fazem parte da rede de fato apenas durante a duração da sessão de comunicação, ou, no caso de dispositivos móveis ou portáteis, por enquanto que estão a uma certa proximidade do restante da rede. [JSTD]

Os nós de uma rede ad hoc podem se mover arbitrariamente. Deste modo, a topologia da rede muda freqüentemente e de forma imprevisível. Associado a isto, limitações de banda passante e de energia das baterias dos nós tornam o roteamento, principalmente o multiponto, em redes ad hoc um desafio. A conectividade entre os nós móveis muda constantemente, requerendo uma permanente adaptação e reconfiguração de rotas.

Tais redes, com nós móveis, recebem o nome de MANET (*Mobile Ad hoc Network*), e através delas é possível também, ter acesso a computadores na rede fixa, dependendo do tipo de infra-estrutura disponível. Se existir um canal de comunicação entre as duas redes pode-se assumir que a rede fixa será capaz de rotear mensagens para a rede móvel usando um protocolo como o IP móvel.[CP96]

3.2 HISTÓRICO

O conceito de uma rede ad hoc data do início da década de 70, quando a U.S DARPA (United States Defense Advanced Research Projects Agency) iniciou o projeto PRNET (Packet Radio Network), para explorar o uso de redes de pacote de rádio num ambiente tático para comunicação de dados. Mais tarde, em 1983, a DARPA lançou o programa SURAN (Survivable Adaptive Network) para expandir a tecnologia desenvolvida no projeto PRNET para suportar grandes redes, e para desenvolver protocolos de rede adaptativos os quais pudessem adaptar-se às rápidas mudanças de condições em um ambiente tático. O último da série dos programas iniciados pela DARPA para satisfazer os requisitos de defesa para sistemas de informações robustos e rapidamente expansíveis foi o GloMo (Global Mobile Information Systems), que teve início em 1994. Enquanto as comunicações táticas militares permaneciam a principal aplicação das redes ad hoc, havia um número crescente de aplicações não militares, tais como conferência e busca e salvamento.[JSTD]

3.3 APLICAÇÃO

A utilização de uma rede ad hoc está associada a cenários onde existam uma necessidade de se instalar rapidamente uma rede. Normalmente, são cenários onde não há uma infra-estrutura de rede previamente instalada. Algumas das aplicações imaginadas são citadas a seguir:

PDA's, laptops, e outros dispositivos portáteis: A redução no tamanho dos equipamentos eletrônicos com o passar dos anos permitiu o desenvolvimento de vários tipos de dispositivos de computação portátil. Muitos desses dispositivos podem ter a possibilidade de acesso a algum tipo de conexão em rede, normalmente uma rede local ou acesso a internet. A atual tecnologia exige que os dispositivos portáteis estejam dentro do raio de alcance de algum tipo de hub sem fio. Isso reduz drasticamente a abrangência e mobilidade do sistema. Se os dispositivos ad hoc fossem equipados com uma estrutura ad hoc e a densidade desses dispositivos

fosse boa o bastante, isso permitiria aos usuários terem algum tipo de conexão em rede em qualquer instância.

Sensor Arrays: Ao passo que a implantação de sensores no meio-ambiente vem se tornando mais e mais comum, redes ad hoc se tornarão bastante úteis. Sensores conectados a simples processadores podem facilmente ser implantados em um ambiente. Um sistema de rede dinâmico, como é o das redes ad hoc, permitirá a adição e integração de novos sensores no sistema. Uma vez que cada sensor funciona como um hub, o raio de alcance do sistema é tremendamente elevado pois eles não necessitam estar centralizados ao redor de algum tipo de estação central. Aliado a isso e utilizando protocolos eficiência energética ajudará a aumentar o tempo de vida dos equipamentos no campo.

Militar: Atualmente, equipamentos militares comumente contêm algum tipo de computador. As redes ad hoc permitiriam aos militares aproveitarem uma tecnologia de rede local para manter uma rede de informações entre os soldados, veículos e quartel general.

Aplicações emergenciais: Uma vez que as redes ad hoc não necessitam de uma infra-estrutura preexistente, elas se tornam bastantes úteis em situações de emergência, como busca e salvamento, policiamento e combate ao fogo. Em casos como esses, a rede pode ser configurada no ar.[JSTD]

3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Ao comparar-se as redes Ad Hoc com as redes infra-estruturadas e com as redes fixas notam-se muitas vantagens e algumas desvantagens:

3.4.1 Vantagens

a) Flexibilidade e rápida instalação, uma vez que as redes ad hoc podem ser estabelecidas dinamicamente em locais onde não haja previamente uma infra-estrutura de rede instalada;

b) tolerância à falhas: a permanente adaptação e reconfiguração das rotas em redes ad hoc permitem que perdas de conectividade entre os nós possam ser facilmente resolvidas desde que uma nova rota possa ser estabelecida;

c) conectividade: dois nós móveis podem se comunicar diretamente desde de que cada nó esteja dentro da área de alcance do outro. Em redes infra-estruturadas ou em redes fixas, mesmo que dois nós estejam próximos, é necessário que a comunicação passe pela estação de suporte à mobilidade (no caso de redes infra-estruturadas) ou, no caso de redes fixas, haver uma ligação por meio de cabo entre os dois nós;

d) mobilidade: esta é uma vantagem primordial com relação às redes fixas. [CD99]

3.4.2 Desvantagens

a) Implementação. A mobilidade dos nós e uma topologia de rede dinâmica contribuem diretamente para tornar a construção de algoritmos de roteamento um dos principais desafios em redes ad hoc;

b) Alcance limitado dos diversos nós da rede. Isso torna necessário o roteamento das mensagens através de vários hops, o que é relativamente complicado, uma vez que os nós se movem pela rede.

c) O meio sem fio no qual essas redes operam apresenta uma série de complicações, tais como fading e multipath.

d) Perda de pacotes não são causadas apenas por erros de transmissão, como também podem ser causadas pela mobilidade dos terminais.

e) O tempo de vida das baterias dos dispositivos portáteis é um problema de grande importância.

f) Um outro grande problema é a segurança. Uma vez que as redes são distribuídas, torna-se relativamente fácil para os usuários da rede ter acesso a informações alheias.[JSTD]

3.5 CLASSIFICAÇÃO

Redes ad hoc podem ser classificadas utilizando-se vários parâmetros:

Uma maneira é classifica-las como redes simétricas ou assimétricas. Redes simétricas são aquelas as quais todos os nós na rede têm iguais capacidades e dividem responsabilidades similares, ao passo que nas redes assimétricas, as capacidades de diferentes nós, tais como raio de transmissão, capacidade de processamento, velocidade de movimento etc., e suas responsabilidades como a habilidade para efetuar roteamento etc., variam de nó para nó.

As redes ad hoc também podem ser classificadas ao considerar o tipo de tráfego que se espera que os nós transmitam. O tráfego pode ser de dados normais, ou dados em tempo real para aplicações multimídia, como som e vídeo. Os esquemas e protocolos usados nas diferentes camadas nos nós são tipicamente modelados para adaptar-se ao tráfego que está sendo transmitido.

Os métodos de roteamento empregados nas várias redes podem ser diferentes. De modo geral, a classificação do tipo de roteamento pode ser unicast, multicast ou geocast.

Os métodos de endereçamento podem variar. Métodos de endereçamento podem ser baseados no host, baseados no conteúdo ou até mesmo baseados na capacidade.

Há também outras métricas, como por exemplo, taxa de transmissão e requisitos de segurança, que podem ser usados métodos sobre os quais as redes ad hoc podem ser classificadas.[JSTD]

4 ALGORITMOS DE ROTEAMENTO

A principal função da camada de redes é rotear pacotes de uma máquina origem para uma ou mais máquinas destino. Um algoritmo de roteamento é a parte do software da camada de redes responsável pela decisão sobre a linha de saída a ser usada na transmissão do pacote de entrada.[TANE96]

Com este propósito, alguns (ou todos) nós da rede funcionam como roteadores, recebendo e processando pacotes. Os roteadores tomam decisões com base nas informações que possuem da rede para encaminhar os pacotes para seus respectivos destinos.

Para atingir esse objetivo, os roteadores trocam informação entre si, na tentativa de obter um conhecimento parcial ou total da rede, e dessa forma selecionar a melhor rota. Esse processo de troca, continua até que todas as informações relevantes tenham sido obtidas, então atinge-se um estado de equilíbrio, e com isso dizemos que a rede convergiu.

Porém este equilíbrio não é uma situação constante, pois nós ou enlaces podem deixar de funcionar. Os mecanismos de roteamento devem restabelecer este equilíbrio, encontrando uma nova rota para a transmissão da informação. Na prática, isto depende do protocolo de roteamento implementado nos nós, sendo desejável que o algoritmo de roteamento utilizado seja simples, evitando *overhead* de processamento.

4.1 CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS DE UM ALGORITMO DE ROTEAMENTO

As características desejadas de um algoritmo de roteamento são as seguintes [TANE96]:

Funcionamento correto: escolher de forma correta a melhor rota para o pacote;

Simplicidade: o algoritmo deve oferecer os serviços com a quantidade mínima de processamento possível;

Robustez: o algoritmo deve sempre chegar a uma resposta aceitável e funcionar corretamente por anos sem que ocorram falhas no sistema;

Escalabilidade: o algoritmo deve prever e continuar funcionando bem, apesar do aumento do número de nós da rede;

Convergência para a rota ótima: como as rotas podem mudar rapidamente, o algoritmo deve escolher, o mais depressa possível, a rota ótima;

Aceitação de parâmetros QoS (Quality of Service): para alguns tipos de tráfego, o suporte a parâmetros de QoS como perda de pacotes e atraso máximo é imprescindível, principalmente em redes militares;

Adaptabilidade: inerente à rede Ad hoc, o algoritmo deve ser capaz de trabalhar com mudanças freqüentes na topologia;

Independência da tecnologia de rede: deseja-se que o algoritmo funcione na maior variedade de computadores e meios físicos;

“Fairness” (justiça ou eqüitatividade): todos os móveis devem conseguir ter acesso aos recursos providos pela rede.

4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE ROTEAMENTO EM REDES AD HOC (MANETS)

Protocolos de roteamento tradicionais, como o *Routing Information Protocol* – RIP (baseado em Vetor de Distância) e o *Open Shortest Path First* – OSPF (baseado em Estado do Enlace), funcionam bem nas redes cabeadas que apresentam uma topologia estática, ou seja, que se alteram muito lentamente. No entanto eles têm problemas para convergir em MANETs com topologias que mudam dinamicamente.

Porém essa topologia dinâmica das redes Ad hoc, não é o único empecilho para o roteamento. Um outro problema, é a existência de enlaces assimétricos (enlaces que não possuem as mesmas características em ambas as direções). Isto faz com que a recepção de um sinal não forneça informação nenhuma sobre a qualidade da conexão no sentido inverso, tornando as informações de roteamento obtidas em um sentido, inúteis para o sentido inverso.

Outro fator importante é que diferentemente das redes cabeadas que possuem apenas uma pequena, e controlada, redundância, não se pode controlar a redundância nas redes Ad Hoc, pois a topologia é um fator determinante. Por fim, nas MANETs os enlaces dependem das características de transmissão, podendo uma transmissão interferir na outra.

4.3 PROPRIEDADES ESPERADAS DOS ALGORITMOS DE ROTEAMENTO EM UMA REDE AD HOC

Além das características apresentadas no item 3.6.1, que são fundamentais para o roteamento de pacotes, existem ainda algumas propriedades que devem ser levadas em conta quando tratamos da qualidade dos protocolos de roteamento em uma rede Ad hoc, tais como [IETF99]:

Operação distribuída: propriedade essencial para o roteamento em uma rede Ad hoc para evitar a centralização que leva à vulnerabilidade;

Protocolos livres de loops: o algoritmo de roteamento deve evitar a formação de *loops*, mesmo que seja por curtos intervalos. Soluções do tipo ad hoc como TTL (*Time-to-Live*) devem ser evitadas, pois abordagens mais estruturadas podem levar a um melhor desempenho;

Operação baseada na demanda: o algoritmo de roteamento deve ser adaptável às condições de tráfego, ou seja, as rotas são criadas somente quando um nó fonte deseja estabelecer uma comunicação. Se isto for feito de forma inteligente, os recursos de energia e largura de banda serão utilizados de forma mais eficiente. Neste caso o preço pago é o tempo de descoberta de uma rota;

Operação pró-ativa: em alguns momentos, a latência adicionada pela operação baseada na demanda poderá ser inaceitável, por isso, se os recursos de energia e largura de banda permitirem, operações pró-ativas (onde rotas são previamente armazenadas em tabelas de roteamento) serão recomendadas;

Segurança: se as camadas de rede e de enlace não garantirem segurança, por isso, os protocolos de roteamento MANET estarão vulneráveis a muitas formas de ataques. É necessário então, que haja mecanismos para inibir modificações nas operações dos protocolos;

Operação nos períodos de inatividade do nó: como resultado da conservação de energia ou de alguma outra inatividade, os nós devem parar de transmitir e/ou receber dados por um período arbitrário de tempo, sem que isto resulte em maiores conseqüências;

Suporte a enlaces unidirecionais: tipicamente, uma rede Ad hoc assume enlaces bidirecionais e muitos algoritmos são incapazes de funcionar corretamente sobre enlaces unidirecionais. Entretanto, enlaces unidirecionais podem ocorrer em redes sem fio.

Os algoritmos de roteamento para uma rede Ad hoc foram baseados nos principais algoritmos de roteamento, como por exemplo, o *link state* e o *distance vector* [TANE96].

A tabela a seguir mostra as respectivas complexidades desses dois algoritmos [CHEN98]:

Protocolo	Complexidade Computacional	Complexidade de Memória	Complexidade de dados	Complexidade de pacotes	Convergência no Tempo
Link State	$O(N^2)$	$O(N^2)$	$O(E /I)$	$O(N)$	$O(D)$
Distance Vector	$O(N)$	$O(N)$	$O(N)/I$	$O(1)$	$O(N \cdot I)$

N = número de nós na rede; **I** = intervalo da atualização no roteamento;
D = distância máxima de um hop (diâmetro da rede).

TABELA 2 - Complexidade dos Algoritmos Link State e Distance Vector

As definições a seguir são apresentadas considerando-se que as complexidades computacionais, de memória e de tempo são corriqueiras e bem conhecidas [GARE79].

Complexidade de dados: tamanho agregado do pacote de controle trocado por um nó em cada *slot* de tempo.

Complexidade de pacotes: número médio de roteamento de pacotes trocados por um nó em cada *slot* de tempo.

4.4 FILOSOFIA DO ROTEAMENTO

Roteamento Flat: todos os nós são “iguais” e o roteamento dos pacotes é feito baseado em conexões ponto-a-ponto, restringidas somente pelas condições de propagação.

Roteamento hierárquico: em um roteamento hierárquico existem ao menos duas camadas; uma camada mais baixa, nós próximos geograficamente criam redes ponto-a-ponto. Em cada uma destas redes, ao menos um nodo é designado para

servir como “gateway” para a camada mais alta. Estes nós “gateway” criam a camada mais alta da rede, o qual usualmente requer maior poder de transmissão/recepção.

4.5 TIPOS DE ALGORITMO DE ROTEAMENTO

Nesta seção serão apresentados os principais algoritmos de roteamento para uma rede Ad hoc.

Três classes de algoritmos são consideradas, segundo ao critério de construção de rotas: Pró-Ativos, Reativos, Híbridos.

Protocolos de Roteamento Ad Hoc								
Pro-Ativos		Reativos				Híbridos/Outros		
DSDV (Flat)	WRP(Flat)	AODV	DSR	LRM	ABR	CEDAR	STARA	ZRP
CGSR (hierar)				TORA	SSR	ZHLS		
					SSA	SLURP		
GSR		ROAM				DST		
STAR (LS)		RDMAR				DDR		
DREAM (Flat)		LAR				FSR (descendente do GSR)		
MMWN (Hierárquico)		ARA						
HSR (Hierárquico)		FORP						
OLSR (LS – Flat)		CBRP						
TBRPF (LS – Flat)								

TABELA 3 - Protocolos de Roteamento

4.5.1 Algoritmos Reativos

Nos algoritmos reativos a rota é determinada sob demanda, ou seja, quando uma rota é requerida, ele inicia algum procedimento de descobrimento de rota. Desta forma, o processo é iniciado por um pacote necessitando encaminhamento. Uma vez que a rota é descoberta, utiliza-se algum procedimento de manutenção de rota para que ela continue ativa. Como a chegada de um pacote necessitando de encaminhamento é algo aleatório, estes protocolos não trocam mensagens a intervalos regulares, o que economiza banda passante e energia. Porém, estes algoritmos apresentam um maior atraso no encaminhamento da mensagem.

4.5.1.1 Dynamic Source Routing

O DSR [JOHN96] é um algoritmo do tipo *Source Routing*, isto é, o nó de origem determina qual a rota que o pacote deve seguir pela rede. Não são enviadas mensagens periódicas para troca de informações de roteamento, acarretando economia de banda e de energia de bateria. O DSR considera ainda que a velocidade dos nós é moderada se comparada com a velocidade de transmissão e que o diâmetro da rede é pequeno.

Semelhante ao DSR, o Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV), descrito em [PERK98], é reativo e permite *multicasting*, porém não suporta *links* unidirecionais.

O processo de funcionamento do DSR ocorre da seguinte forma: o nó origem cria uma rota completa do pacote que seguirá pela rede e o envia para o primeiro nó indicado na lista. Essa criação de rotas é feita por meio de um protocolo de descobrimento de rotas, a ser descrito em breve. Cada nó mantém um *cache* com as rotas que aprende e, quando receber um determinado pacote, verifica se ele possui uma rota para o destino. Se existir, a origem usa esta rota para enviar os pacotes. Caso contrário, a origem usa o protocolo de descobrimento de rotas para encontrar uma rota para o destino. Cada rota armazenada no *cache* possui um tempo de vida, e após a expiração deste período, esta rota é retirada do *cache*. Quando ocorre um

erro no roteamento, mudança de posição ou desligamento do nó, os nós utilizam o protocolo de descobrimento de rotas para a rede voltar a um estado de equilíbrio.

O protocolo de descobrimento de rotas funciona assim: o nó origem envia por *broadcast* [TANE96] para seus vizinhos um pacote de requisição de rota contendo o endereço de origem, o destino da comunicação e o registro de rotas. Cada nó, ao receber este pacote, verifica se há em seu *cache* uma rota para o nó destino. Se existir, envia para o nó origem um pacote de resposta de rota contendo uma lista com a seqüência de todos os nós até o destino; se não existir, os nós inserem seu endereço no registro de rota e repassam o pacote também por *broadcast* para seus vizinhos. Este procedimento se repete até que o pacote chegue ao destino ou até que algum nó tenha uma rota para ele. Quando isto acontece é enviado um pacote de resposta de conexão utilizando o caminho que está armazenado no registro de rota, necessitando para isso de *links* bidirecionais.

Desta forma, supondo que não houve falhas de comunicação, o nó origem passará a conter todas as rotas para os possíveis destinos.

Como a topologia nestas redes é altamente dinâmica, o algoritmo contém um mecanismo para manutenção de rotas. Cada nó pode monitorar os pacotes de confirmação de outros nós ou ouvir todas as comunicações que passam por ele (modo promíscuo). Desta maneira, cada nó pode determinar se houve algum problema com os vizinhos e enviar um pacote de erro de rota para o nó origem. Este, então, deve escolher outra rota que esteja em seu *cache* ou iniciar uma nova requisição de rotas.

Quanto as vantagens do DSR, podemos citar o fato dele ser um algoritmo do tipo *source routing*, permitindo uma economia de banda maior, pois não precisa que as informações dos nós sejam atualizadas continuamente.

Contudo a utilização do *flooding* [TANE96] e problemas de escalabilidade, são algumas das deficiências típicas deste algoritmo. Outro aspecto negativo ocorre quando o DSR é aplicado em *links* unidirecionais. Neste modelo, as interfaces trabalham em modo promíscuo, o que pode acarretar problemas de segurança.

4.5.1.2 Temporally – Ordered Routing Algorithm

O objetivo do TORA [PARK98] é minimizar o impacto das mudanças topológicas da rede nas atualizações das tabelas de rotas, mesmo que isto talvez acarrete a escolha de uma rota que não seja ótima. Isso é feito restringindo a mensagem a um pequeno grupo de nós que estejam perto de onde ocorreu a mudança.

Cada nó mantém informações referentes apenas a seu vizinho e o algoritmo pode prover múltiplos caminhos para um mesmo destino.

Quanto ao funcionamento, o TORA pode ser dividido em três funções básicas: criação, manutenção e deleção de rotas.

A **criação de rotas** requer o estabelecimento de linhas iniciadas na origem até o destino. Esta criação é feita através de um grafo acíclico até o destino, garantindo um roteamento livre de *loops*. Quando um nó necessita de uma rota, ele transmite o pacote de requisição com o endereço de destino. O pacote se propaga pela rede até chegar ao destino ou a qualquer nó que conheça uma rota até ele. Este nó então, envia à origem uma resposta contendo a sua altura (isto é, o número de *hops*) em relação ao destino. No caminho até a origem, cada nó por onde o pacote passa ajusta sua altura a um valor maior do que o do vizinho. Isto é feito para criar *links* direcionados da origem até o nó que respondeu, configurando assim uma rota.

Quando um nó descobre uma rota inválida, ele realiza uma **manutenção de rota** que ajusta a sua altura, de modo que seja a maior em relação aos seus vizinhos e transmite uma requisição de rota. No momento que receber a resposta, o nó terá o valor de sua altura.

A **deleção** ocorre quando um nó detecta que houve uma fragmentação na rede, mandando um pacote de desobstrução para retirar as rotas inválidas.

Apesar de o TORA ser um algoritmo robusto [PAR198], ele obteve o pior desempenho entre os algoritmos analisados em redes que continham mais de trinta nós, sendo incapaz de gerenciar o tráfego gerado pelo protocolo.

4.5.1.3 Associativity – Based Routing

Em [ROYE99], é descrita uma nova métrica para uma rede *Ad hoc* chamada de grau de associatividade, que define que as rotas devem ser calculadas de acordo com o grau que um nó tem com os outros.

Todos os nós geram *beacons* (pacotes de controle) de tempos em tempos, que são transmitidos pela rede. Cada vez que um nó ouvir um *beacon* incrementa o contador de associatividade do nó que gerou o sinal.

O processo de funcionamento do ABR também se divide em três partes: descobrimento, reconstrução e deleção de rotas.

Quando uma rota é requisitada, é acionada a fase de **descobrimento de rotas**, onde o nó faz um *broadcast* da requisição para os nós vizinhos. Ao receber esta requisição, o nó verifica se é o destino, se não for, inclui no pacote, o seu endereço, o valor de sua associatividade com seus vizinhos e os parâmetros QoS e depois o reenvia por *broadcast* para os seu vizinhos. O nó sucessor apaga todas as informações de associatividade do nó anterior deixando as dele e o caminho percorrido. Sendo assim, quando o pacote chegar ao destino, poderá escolher a melhor rota examinando a associatividade dos nós.

A fase de **reconstrução das rotas** consiste em um descobrimento de rotas parcial ou em uma atualização de rotas válidas ou ainda em um novo descobrimento de rotas, dependendo da forma como os nós pertencentes à rota se moveram.

A fase de **deleção de rotas** é realizada quando uma requisição de rotas não é mais necessária. Com isto, esta informação é enviada por *broadcast* para todos os nós da rota. Os nós atualizam suas tabelas retirando a rota.

Uma das vantagens do ABR é a introdução de conceitos como associatividade e recuperação de rotas, além de poder lidar com parâmetros QoS, o que é muito importante. Porém, por ser um algoritmo *on-demand*, ele herda os problemas dessa classe.

O tempo de espera, é outra desvantagem desse algoritmo, visto que ele precisa fazer a obtenção de mais de uma rota até o destino, para que dessa forma, se possa escolher a melhor.

4.5.1.4 Location-Aided Routing

O LAR utiliza o GPS (*Global Positioning System*) para descobrir uma rota para um determinado destino, por isso, torna-se possível restringir a área a ser pesquisada.

Este algoritmo sugere um conceito similar ao de Áreas de Localização [RAPP96] existente a partir da segunda geração das redes de comunicação móvel celular (por exemplo, o GSM).

Usando um *flooding* puro na rede, o LAR envia a requisição de informações sobre a localização do nó. O destino ao receber a informação, retorna ao nó origem sua localização.

Em [KO98], são propostas duas variações para o LAR. A primeira variação (LAR1) usa uma zona de requisição em formato retangular que pode conter o destino. Cada nó ao receber um pacote, verifica se está dentro da zona de requisição. Se estiver, envia novamente a mensagem para seus vizinhos; caso contrário, ignora os pacotes.

A segunda variação (LAR2) considera que uma mensagem possui duas informações usadas na escolha de uma zona: as coordenadas do nó e uma estimativa de qual a distância que o nó pode estar desta coordenada. As informações são usadas pelos nós intermediários para determinar a possível zona onde o móvel destino pode se encontrar. Cada nó ao receber uma mensagem,

verifica se está mais próximo do nó do que seu vizinho; caso esteja, faz um *broadcast* para seus vizinhos, senão ignora o pacote.

Com a utilização do GPS, o LAR apresenta uma nova e importante característica que é o roteamento baseado em informações geográficas do nó. A maior desvantagem deste algoritmo, é o uso de *flooding* na fase inicial.

4.5.1.5 Routing on-demand acyclic multi-path

O protocolo de roteamento Routing on-demand acyclic multi-path (ROAM), usa coordenação internodal com directed acyclic subgraphs, que são derivados da distância dos roteadores até o destino. Essa operação é denominada “diffusing computation”. A vantagem desse protocolo é que ele elimina o problema de search-to-infinity (busca infinita) presente em alguns dos protocolos de roteamento on-demand para parar as buscas em flood quando o destino requisitado não está mais ao alcance.

Outra vantagem é que cada roteador mantém entradas (em uma tabela de rota) para destinos que escoam pacotes de dados através deles (ou seja, o roteador é um nodo que completa/ou conecta um roteador ao destino). Isso reduz uma significativa quantia de espaço de armazenamento e largura de banda necessários para manter uma tabela de roteamento atualizada.

O ROAM inova também, quanto a distância entre um roteador e o destino. Quando ela muda por mais do que um threshold (limiar) definido, ele transmite mensagens de atualização para seus nós vizinhos, como descrito anteriormente. Ainda que isso apresente o benefício de aumentar a conectividade da rede, nas redes altamente dinâmicas isso pode impedir que os nós entrem no modo sleep (espera) para conservar energia.

4.5.2 Algoritmos Pró-ativos

O algoritmo tenta avaliar continuamente as rotas de modo que quando um pacote necessitar de encaminhamento a rota já seja conhecida e possa ser utilizada imediatamente. Neste caso, os nós mantêm uma ou mais tabelas com informações referentes à rede e respondem a mudanças na sua topologia propagando atualizações de modo a manter a consistência da rede. Estas atualizações são iniciadas por mecanismos de temporização, o que faz com que haja sempre um número constante de transmissões em andamento, mesmo quando a rede esteja em equilíbrio;

4.5.2.1 Destination-Sequenced Distance-Vector Routing

O DSDV é um protocolo pró-ativo baseado no mecanismo clássico de roteamento Bellman-Ford, com a eliminação de loops. Ele fornece um único trajeto a um destino, que seja selecionado usando o algoritmo o mais curto do roteamento do trajeto do vetor da distância.

O funcionamento do DSDV é baseado em uma tabela contida em cada nó e esta armazena todos os possíveis destinos dentro da rede, e o número de saltos até cada um deles. Cada entrada nesta tabela é marcada com um número de seqüência determinado pelo nó destino. Este número tem a função de distinguir rotas velhas de rotas novas, evitando a formação de loops.

A manutenção da tabela é feita através do envio de mensagens periódicas por cada nó, informando às alterações que ocorreram em suas tabelas devidas as mudanças na topologia da rede. Para realizar essa atualização o protocolo dispõe de dois tipos de pacotes, *full dump*, no qual todas as informações de roteamento são transmitidas, e os *pacotes incremental*, que apenas completa a informação enviada no último *full dump*. Cada broadcast de novas rotas incluem o endereço do destino, o número de saltos até o destino, o número de seqüência da informação original sobre o destino e um número de seqüência para o broadcast. Utiliza-se sempre a rota com o número de seqüência mais recente, no caso de duas atualizações terem o mesmo número de seqüência, utiliza-se a rota com menor métrica.

4.5.2.2 Optimised link state routing (OLSR)

Segundo Amorin (op. cit.) o Optimised link state routing (OLSR) é um protocolo de roteamento ponto-a-ponto baseado no tradicional algoritmo link-state. Nessa estratégia, cada nodo mantém informação de topologia sobre a rede através de trocas periódicas de mensagens de link-state. A inovação do OLSR é que ele minimiza o tamanho de cada mensagem de controle e o número de nós retransmitindo durante cada atualização de rota através da utilização de uma estratégia de multipoint replaying (MPR). Para isso, durante cada atualização de topologia, cada nodo na rede seleciona um conjunto de nós vizinhos para retransmitir seus pacotes. Esse conjunto de nós é chamado de multipoint relays daquele nó. Qualquer nodo que não está no conjunto lê e processa cada pacote, mas não o retransmite. Para selecionar os MPRs, cada nodo transmite periodicamente uma lista dos seus vizinhos a um hop (salto) de distância utilizando mensagens hello. A partir da lista de nós nas mensagens hello, cada nodo seleciona um subconjunto vizinhos a um hop (salto) de distância, o que cobre todos os vizinhos a dois hops (saltos) de distância. Cada nodo determina uma rota ótima (em termos de hops) para cada destino conhecido, utilizando sua informação de topologia (a partir das tabelas de topologia e de vizinhança), e armazenando essa informação em uma tabela de roteamento. Portanto, rotas para todos os destinos são imediatamente disponibilizadas quando a transmissão de dados começa.

4.5.2.3 Global State Routing

O GSR [CHEN98] é um algoritmo de roteamento baseado no *Link State* [TANE96], isto é, o nó de origem envia informações de sua tabela de roteamento para todos os nós, necessitando para isso de mecanismos sofisticados e eficientes para controlar o tráfego gerado. Assim, o GSR consegue manter uma visão global da rede podendo fazer precisos cálculos de rotas.

Além disto o GSR apresenta algumas características importantes que são: utilização de técnicas para diminuir o tamanho das tabelas de roteamento e a sua

capacidade de manipular parâmetros de QoS, que ainda não é muito explorado por outros algoritmos de roteamento.

No GSR quando um nó detecta uma mudança de topologia causada pelo mal funcionamento ou o desligamento de um nó, esta informação é mantida em uma tabela de topologia, onde já devem estar armazenadas informações de alterações recebidas pelos seus vizinhos. Estas informações são preparadas e disseminadas periodicamente, apenas para os seus vizinhos, e com isto, ao contrário do *Link State*, não realiza *flooding* das informações de roteamento. Além desta tabela, cada nó possui também uma lista de vizinhos, uma tabela de próximo nó e uma tabela de distâncias, e no estado inicial, a lista de vizinhos e a tabela de topologia ficam vazias, sendo necessário atribuir valores de inicialização para as tabelas internas, e com isto, poderão ouvir o meio para reconhecer seus vizinhos.

Para realizar redução do tamanho das mensagens de atualização o GSR utiliza duas técnicas que são: *Fresh Update* e *Fisheye*.

- *Fresh Update*: nesta técnica somente as informações consideradas úteis aos vizinhos serão disseminadas, isto é, se o seu vizinho contém uma informação mais recente, não faz sentido enviar sua informação para ele. Para a realização desta técnica é necessário que cada nó contenha um Vetor de Seqüência de Números (VSN) onde, além de armazenar todos os destinos que estão na tabela, indica a idade de cada informação enviada. Com isto, o nó destino compara seu VSN com os valores recebidos dos vizinhos e se a entrada for mais antiga, a mensagem de atualização é removida.

- *Fisheye*: nesta técnica o objetivo é manter um volume alto de informações sobre os nós mais próximos e diminuir o detalhe das informações dos nós mais distantes.

Com o GSR, pode-se diminuir o volume e o tamanho dos pacotes que contém informações de roteamento, levando à redução do consumo de energia e de largura de banda. Adicionalmente, suporta parâmetros de QoS.

4.5.2.4 Clusterhead Gateway Switch Routing

O CGSR é um protocolo que, ao invés de utilizar uma rede organizada de forma plana, utiliza uma rede de nós agrupados em clusters, com vários esquemas heurísticos de roteamento.

Este protocolo utiliza-se de um algoritmo distribuído dentro do grupo para eleger um nó *clusterhead*. Mudanças freqüentes do nó *clusterhead* podem comprometer seriamente a performance do protocolo, o que faz com que o algoritmo de agrupamento *Least Cluster Change* (LCC) seja utilizado. Este algoritmo faz com que só sejam mudados os *clusterheads* quando dois deles se encontram ou quando um nó perde contato com todos os *clusterheads*. O CGSR utiliza o DSDV como esquema de roteamento base, acrescido de um esquema hierárquico de roteamento *clusterhead-to-gateway*, no qual todo o tráfego para fora do grupo é roteado até o *clusterhead* e dele para outro *clusterhead* através de um *gateway*.

Cada nó possui duas tabelas, a Tabela de Membros de Grupo e a Tabela de Roteamento. Consultando as duas, o nó escolhe qual o *clusterhead* mais próximo, e através da Tabela de Roteamento identifica como enviar o pacote até o *clusterhead*.

4.5.2.5 Source-tree adaptive routing

O protocolo Source-tree adaptive routing (STAR) é baseado no algoritmo link state. Cada roteador mantém uma árvore-fonte, que é um conjunto de links contendo os caminhos preferidos para os destinos.

Através do uso de uma least overhead routing approach (LORA – abordagem de roteamento overhead mínimo), para troca de informação de roteamento, obtém-se uma redução significativa dos *overhead* de roteamento disseminada na rede.

Este protocolo também sustenta uma optimum routing approach (ORA – abordagem de roteamento ótimo) se for necessário. Essa abordagem eliminou o processo periódico de atualização presente no algoritmo Link State tornando a disseminação de atualização condicional.

Como resultado, atualizações Link State são trocadas apenas quando certos eventos ocorrem. Portanto, o STAR irá escalar bem em grandes redes desde que tenha reduzido significativamente o consumo da largura de banda pelas atualizações de roteamento e ao mesmo tempo a latência, através do uso de rotas pré-determinadas.

Contudo, esse protocolo pode possuir memória significativa e processamento de overheads em redes grandes e altamente móveis, porque cada nodo deverá manter um grafo da topologia parcial da rede (determinado a partir da árvore-fonte reportada por seus vizinhos), o qual pode variar freqüentemente enquanto os vizinhos continuam relatando informações de diferentes árvores-fonte.

4.5.3 Algoritmo Híbrido

Os dois tipos de algoritmos descritos acima funcionam bem para poucos nós, em certas condições de mobilidade. Para redes maiores, uma solução possível é a organização da rede em grupos (clusters) e a utilização de algoritmos diferentes para o roteamento dentro e entre os grupos. A hipótese por trás disso é que se os grupos forem bem divididos apenas poucos nós sairão do grupo, e as alterações de topologias dentro de um grupo podem ser passadas apenas para os membros do próprio grupo, sendo transparente para nós que não pertencem ao grupo. Estes nós não pertencentes ao grupo necessitam saber apenas como chegar ao grupo, geralmente através de um nó, chamado *clusterhead*, por onde passam todos os dados que entram ou saem do grupo. É importante ressaltar que com esta organização atualizações entre grupos são muito menos freqüentes que as dentro dos grupos.

4.5.3.1 Zone Routing Protocol

O protocolo ZRP [HASS98] é um híbrido entre reativo e pró-ativo e é definido baseado em zonas de roteamento. É requerido que dentro de sua zona o nó conheça as informações de roteamento, utilizando algoritmos pró-ativos. Isto permite

que as informações de roteamento sejam propagadas apenas localmente. Quando as informações são inter-zonas o algoritmo utilizado é do tipo *on-demand*.

A zona é definida baseada em cada nó e inclui os nós que estão a uma distância mínima de *hops* do nó em questão. Na maioria das vezes a distância é um número pré-definido que é denominado como raio da zona. Se o destino estiver dentro da zona do nó que disparou o procedimento, então o pacote é imediatamente enviado, pois o nó já conhece o caminho, senão, ele envia o pacote através de *multicast* para todos os nós que estão na borda da zona de roteamento, perguntando se conhecem uma rota para o destino. Se conhecerem, os nós mandam uma resposta afirmativa e a conexão é fechada. Caso não conheçam, eles enviam a mensagem para os nós da borda de sua zona. Este procedimento segue até que uma confirmação chegue ou que o número de *hops* chegue até o máximo.

Como o ZRP é um híbrido entre algoritmos reativos e pró-ativos, ele pode retirar vantagens das duas abordagens. O roteamento pode ocorrer rapidamente em nós que estão na mesma zona, pois os caminhos já são previamente conhecidos. Além disso, o algoritmo apresenta boa escalabilidade, as mudanças na topologia são rapidamente detectadas e as tabelas de roteamento são pequenas.

A desvantagem nas intra-zonas é que como o protocolo de roteamento não é especificado, várias zonas podem ter protocolos diferentes. Outra desvantagem se deve quando ocorrem informações inter-zonas, pois o algoritmo usado é do tipo *on-demand*. Neste caso, o principal problema é o atraso decorrente da espera pela resposta de requisição de rotas.

4.5.3.2 Zone-based hierarchical link state

O protocolo de roteamento Zone-based hierarchical link state (ZHLS), utiliza estrutura hierárquica. Nele, a rede é dividida em zonas não-sobrepostas (non-overlapping), e cada nodo tem um ID de nodo e um ID de zona que é calculado com o uso do GPS.

A topologia hierárquica é composta de dois níveis: a topologia de nível de nodo e a topologia de nível de zona. No ZHLS, o gerenciamento de localização foi simplificado. Isso porque nenhum cluster-head ou location manager é utilizado para coordenar a transmissão de dados, fazendo com que não exista overhead de processamento associado à seleção de cluster-head ou Location Manager em comparação ao HSR, ao MMWN e aos protocolos CGSR.

Com isso, um ponto único de falha e picos de excesso de tráfego podem ser evitados. Outra vantagem do ZHLS é que, em comparação aos protocolos reativos puros como o DSR e o AODV, ele reduziu os overheads de comunicação.

No ZHLS, quando uma rota para um destino remoto é requisitada (ou seja, o destino está em outra zona), o nodo fonte transmite um pedido de localização de nível de zona para todas as outras zonas, gerando overhead significativamente mais baixo do que na abordagem de flooding nos protocolos reativos.

O ZHLS destaca-se também por possuir o caminho de roteamento adaptável à topologia variante, já que apenas o ID de nodo e o ID de zona do destino são requeridos para o roteamento. Isso significa que nenhuma busca de localização adicional é requisitada desde que o destino não migre para outra zona. Entretanto, em protocolos reativos qualquer quebra de link intermediário invalidaria a rota e poderia iniciar outro procedimento de descoberta de rota.

A desvantagem deste protocolo é que todos os nós precisam ter um mapa de zona estática pré-programado para poder funcionar. Isso pode ser impossível em aplicações onde os limites geográficos da rede são dinâmicos. No entanto, ele é altamente adaptável a topologias dinâmicas e gera bem menos overhead do que os protocolos reativos puros, o que significa que ele pode escalar bem em grandes redes.

4.5.3.3 Scalable Location Update Routing Protocol (SLURP)

No Scalable location update routing protocol (SLURP), Bem como no ZLHS, os nós também são organizados em um número de zonas não-sobrepostas.

Entretanto, o SLURP ainda reduz o custo de manutenção da informação de roteamento através da eliminação da descoberta de rota global. Isso é obtido através da designação de uma home region para cada nodo na rede.

A home region, é uma zona ou região específica, que é determinada utilizando-se uma função de mapeamento estático, $f(\text{ID do nó}) \rightarrow \text{ID da região}$, onde f é uma função many-to-one que é estática e conhecida por todos os nós. Um exemplo de uma função que pode executar o mapeamento de zona estático é $f(\text{ID do nó}) = g(\text{ID do nó}) \bmod K$ [34], onde $g(\text{ID do nó})$ é uma random number generating function (função de geração de número aleatório) que usa o ID de nodo como entrada e dá como saída um número alto, e k é o número total de home regions na rede. Então, uma vez que o Id de nodo de cada nodo é constante (ou seja, um endereço MAC), a função irá calcular sempre a mesma home region.

Portanto, todos os nós podem determinar a home region utilizando esta função, desde que possuam seu ID de nó. Cada nodo mantém sua localização atual (zona atual) com a home region através de envio por unicasting de uma mensagem de atualização de localização em direção à home region.

Dessa forma, assim que o pacote de atualização de localização atinge a home region, ele é transmitido por broadcast para todos os nós na home region. Conseqüentemente, para determinar a localização atual de qualquer nó, cada nodo pode enviar por unicast um pacote de descoberta de localização para a home region dos nós requisitados (ou a área ao redor da home region) com o intuito de encontrar sua localização atual. Uma vez que a localização é encontrada, a fonte pode começar a enviar dados em direção ao destino utilizando most forward with fixed radius (MFR) geographical forwarding algorithm. Quando um pacote de dados atinge a região onde se encontra o destino, então o roteamento de fonte (nesse protocolo

DSR é utilizado como um protocolo de roteamento de fonte), é utilizado para levar o pacote de dados até o destino.

A desvantagem do SLURP é que ele também se apoia em um mapa estático de zona pré-programado (da mesma forma que o ZHLS).

4.5.3.4 Distributed spanning trees based routing protocol (DST)

Como mencionado anteriormente, no Distributed spanning trees based routing protocol (DST) os nós na rede estão agrupados em um número de árvores. Cada árvore tem dois tipos de nós: nodo de rota e nodo interno. O nodo raiz controla a estrutura da árvore e a possibilidade de que ele se misture a outra árvore, e o resto dos nós em cada árvore são os nós regulares. Cada nodo pode estar em três estados diferentes: router, merge e configure, dependendo do tipo de tarefa que ele está tentando executar.

Para determinar a rota, o DST propões duas estratégias de roteamento diferentes: hybrid tree-flooding (HTF) e distributed spanning tree shuttling (DST). Na HTF, os pacotes de controle são enviados para todos os vizinhos e pontes adjacentes na árvore spanning, onde cada pacote é mantido por um período de tempo chamado holding time. A idéia do holding time é que, como a conectividade aumenta e a rede torna-se mais estável, ele pode ser útil para o buffer e pacotes de rota quando a conectividade aumenta com o passar do tempo. No DST, os pacotes de controle são disseminados a partir da fonte e retransmitidos por broadcast ao longo das bordas da árvore. Quando um controle atinge o nível de um nodo folha, ele é enviado de volta pela árvore até que alcance uma certa altura denominada *shuttling level*. Quando o *shuttling level* é atingido, o pacote controle pode ser enviado novamente descendo pela árvore ou pelas pontes adjacentes. A principal desvantagem do algoritmo DST é que ele se apoia no nodo raiz para configurar a árvore, criando um único ponto de falha. Além disso, o *holding time* usado para o *buffer* dos pacotes pode introduzir atrasos extras na rede.

4.5.3.5 Distributed dynamic routing (DDR)

O Distributed dynamic routing DDR é também um protocolo de roteamento baseado em árvore. [CD99] Entretanto, ao contrário do DST, nos DDR as árvores não requerem um nodo raiz. Nessa estratégia, as árvores são construídas utilizando periódicas mensagens de beaconing (sinalização) que são trocadas apenas entre os nós vizinhos. As árvores na rede formam uma floresta que é conectada como um todo via nós gateway (ou seja, nós que estão em uma gama de transmissão mas pertencem a árvores diferentes). Cada árvore na floresta é formada por uma zona que é designada por um ID de zona, através da execução de um algoritmo de nomeação de zona (zone naming algorithm). Além disso, uma vez que cada nodo pode pertencer a uma única zona apenas (ou árvore), então a rede pode ser também vista como diversas zonas não-sobrepostas. O algoritmo DDR consiste em seis fases: eleição do vizinho preferido, construção da floresta, clustering intra-zona (intra-árvore), clustering inter-zona (inter-árvore), nomeação da zona e particionamento da zona. Cada uma dessas fases é executada baseada na informação recebida nas mensagens de beaconing (sinalização).

Durante a fase de inicialização, cada nodo começa na fase da eleição do vizinho preferido. O vizinho preferido de um nodo é o nodo que possui o maior número de vizinhos. Após isto, uma floresta é construída através da conexão de cada nodo ao vizinho preferido. A seguir, o algoritmo de intra-tree clustering é inicializado para determinar a estrutura da zona (ou da árvore) e para construir a tabela de roteamento intra-zona. Isso é então seguido pela execução do algoritmo inter-tree para determinar a conectividade com as zonas vizinhas. Cada zona é então nomeada zona através da execução de um algoritmo de nomeação de zona (zone naming algorithm) e a rede é particionada em diversas zonas não-sobrepostas. Para determinar rotas, protocolos de roteamento híbrido ad hoc (HARP) trabalham em cima do DDR. Os HARP usam as tabelas de roteamento intra-zona e inter-zona criadas pelo DDR para determinar um caminho estável entre a fonte e o destino.

Segundo Câmara, a vantagem do DDR é que, ao contrário do ZHLS, ele não se apoia em um mapa estático da zona para executar roteamento e ele não requer um nodo raiz ou um clusterhead para coordenar dados e controlar transmissão de pacotes entre diferentes nós e zonas. Entretanto, os nós que foram selecionados como vizinhos preferidos podem tornar-se picos de excesso de performance. Isso porque eles transmitiriam mais roteamentos e pacotes de dados do que todos os outros modelos, ou seja, esses nós requereriam mais recarregamento na medida em que teriam menos sleep time do que os outros nós. Além disso, se um nodo é o vizinho preferido para muitos de seus vizinhos, muitos nós podem querer se comunicar com ele. Isso significa que a contenção de canais aumentaria em torno do vizinho preferido, o que resultaria em atrasos maiores experienciados por todos os nós vizinhos antes que eles possam reservar o meio. Em redes com alto tráfego, isto pode resultar em redução significativa da taxa de transferência, devido aos pacotes entregues quando os buffers tornam-se cheios.

5 ANÁLISE

Em uma análise aos protocolos pró-ativos por estrutura plana, na sua grande maioria, não tem uma boa escalabilidade, isto decorre devido ao alto consumo de largura de banda na rede para efetuar seus procedimentos de atualizações.

Em um cenário de pior caso (*worst-case scenario*), geralmente em estágios iniciais da rede quando um nó torna-se ativo, e desconhece o ambiente ao seu redor, os protocolos reativos (*on demand*) possuem, na sua maioria, o mesmo custo. Isto decorre, pelo fato de possuírem procedimentos de manutenção e descoberta de rotas semelhantes.

Todavia são os protocolos de roteamento híbridos que possuem o maior potencial de escalabilidade, tanto em relação aos reativos quanto aos pró-ativos puros. Isso porque eles tentam minimizar o número de nós retransmitindo por broadcast através da definição de uma estrutura (ou algum tipo de backbone), que permite aos nós trabalharem juntos organizando como o roteamento será executado. Através desse trabalho conjunto, os melhores ou mais adequados nós podem ser utilizados para executar descoberta de rotas.

Dentre dos protocolos pró-ativos com estrutura plana, o OLSR é o que pode escalar melhor. Esse aumento em escalabilidade é obtido pela redução do número de nós retransmitindo por broadcast, através do uso de multipoint relaying, que elege apenas um número de nós vizinhos para retransmitir a mensagem por broadcast. Contudo, são os protocolos pró-ativos de roteamento global por estrutura hierárquica, que escalarão melhor, já que eles introduziram na rede uma estrutura que controla a quantidade de overhead transmitido. Isso é feito permitindo-se que apenas os nós selecionados, como um clusterhead, possam retransmitir informação de controle por broadcast. Uma desvantagem associada a todos os protocolos hierárquicos é o gerenciamento de mobilidade. O gerenciamento de mobilidade

introduz overheads desnecessários na rede (como overheads extras de processamento para a formação e manutenção de cluster).

Abaixo, um quadro comparativo entre os principais protocolos, referentes a algumas propriedades de roteamento:

Propriedades	Algoritmos de Roteamento para uma rede Ad hoc					
	DSR	TORA	ABR	LAR	GSR	ZRP
<i>Flooding puro</i>			X	X		
<i>Flooding controlado</i>	X	X				X
<i>Uso de GPS</i>				X		
<i>Suporte a QoS</i>			X		X	
<i>Protocolos livre de loops</i>	X	x	X		X	X
<i>Múltiplas Rotas</i>	X			X	X	
<i>Necessidade de Seqüenciamento de mensagem</i>		X				
<i>Utilização do Distance Vector</i>		X	X			x
<i>Utilização do Link State</i>			X		X	x
<i>Possibilidade de CBR (Continuous Bit Rate)</i>	X	X	X		X	
<i>Usa datagrama</i>				X		X

X = possui a característica x = possui parcialmente a característica

TABELA 4 - Comparação das propriedades entre os principais protocolos

Nos protocolos reativos, o protocolo DSR é o que toma maior vantagem dentro do cenário de pior caso. Neste protocolo, quando uma rota para um destino expirou no *cache* de rotas, o protocolo inicia uma *network wide flooding search* para encontrar uma rota alternativa. Isso não é o caso para o LAR, onde a história da rota é utilizada para controlar o procedimento de descoberta da rota através da localização de pedidos de rota (route request) para uma região calculada.

Obviamente, isso é mais vantajoso em grandes redes, uma vez que mais largura de banda está disponível para transmissão de dados.

Outro método que os protocolos reativos utilizam para minimizar o número de pacotes de controle é o de selecionar rotas com base em sua estabilidade. No ABR os nós destino selecionam rotas com base na estabilidade delas. Este protocolo também permite que a seleção de rotas do caminho mais curto seja utilizada durante a seleção de rota para o destino (mas apenas após a seleção por estabilidade), o que significa que atrasos menores podem ser experienciados durante a transmissão de dados.

Esses protocolos podem executar melhor do que os protocolos de roteamento puramente baseados em seleção do caminho mais curto, tais como o DSR. Entretanto, eles podem enfrentar problemas de escalabilidade em grandes redes, já que cada pacote é obrigado a carregar o endereço completo de destino. Isso acontece porque a probabilidade de que um nodo em uma rota selecionada torne-se inválido vai aumentar por $O(a \cdot n)$, onde “a” é a probabilidade da falha da rota em um nodo e “n” é o número de nós na rota. Portanto, esses protocolos são convenientes apenas para redes de tamanho pequeno a médio. A redução no overhead de controle pode ser obtida através da introdução de uma estrutura hierárquica na rede.

Nos híbridos, o protocolo que se utiliza melhor das características desta técnica, é o ZHLS, pois nele, apenas os nós conduzem os pacotes de descoberta de rotas na inter-zona aos nós gateway. Essa colaboração entre nós pode também ajudar a manter informação de roteamento muito mais longa. Por exemplo, no SLURP, os nós no interior de cada região (ou zona) trabalham juntos para manter informação de localização sobre os nós que são designados para aquela região (ou seja, sua *home region*). Isso pode potencialmente eliminar a necessidade de flooding, uma vez que os nós sabem exatamente onde procurar por um destino todas as vezes. Outra inovação dos protocolos de roteamento híbridos é que eles tentam eliminar pontos únicos de falha e nós com obstáculos na rede. Isso é obtido

permitindo-se que qualquer número de nós execute roteamento ou remessa de dados se o caminho preferido deixa de ser disponibilizado.

Podemos ver na figura 3, a seguir, uma comparação em termos de *overhead* dos três tipos de algoritmos citados em função da mobilidade dos nós.

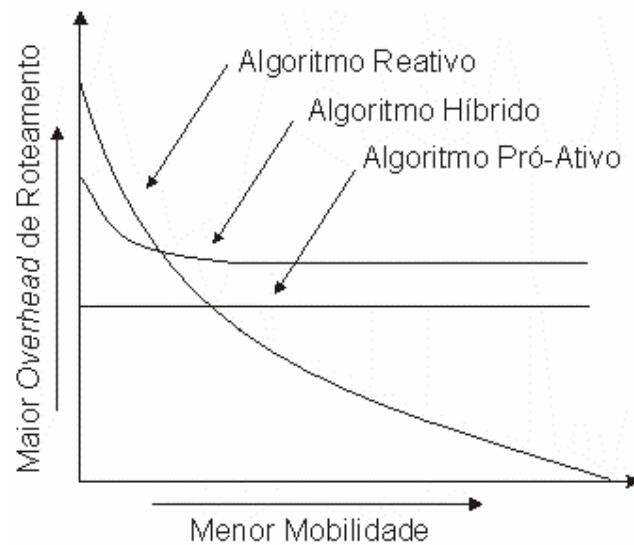


FIGURA 5 – Overhead dos três tipos de Algoritmos

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

A tecnologia de Wireless tem evoluído muito nos últimos anos, porém suas limitação ainda são grandes para a utilização em massa, seja em custo, seja em velocidade/qualidade.

Porém é uma tecnologia promissora que tem bastante a evoluir e padronizar. Seu uso, até o momento, se restringe em situações onde a necessidade compensa o custo e os riscos de segurança e de transmissão, visto que existe uma dificuldade para se estabelecer conexões com QoS, decorrentes das suas características de mobilidade, restrições de energia e alta variabilidade da qualidade do enlace de comunicação.

Numa de suas topologias, as redes Ad Hoc, tornou-se uma boa opção para redes locais devido sua grande flexibilidade.

Neste trabalho, abordou-se as principais características dessas redes, qualidades e defeitos, aplicações práticas, dando ênfase a questão de roteamento, apresentando os problemas, vantagens e defeitos de alguns dos algoritmos de roteamento desenvolvidos especificamente para elas.

Nota-se que não existe especificamente um algoritmo ideal, mas sim um adequado para cada caso, dependendo principalmente do estado em que a rede se encontra.

Para trabalhos futuros poderia-se simular/montar, uma rede ad hoc, e testar estes protocolos, coletando os dados, e com isso montar uma análise em cima dos resultados obtidos.

Além disso poderia ser criada condições adversas nessa rede, como desligamento de nodos, e dessa forma, checar o comportamento de tais protocolos perante essas dificuldades.

GLOSSÁRIO

802.11: Refere-se a um conjunto de especificações desenvolvidas pelo IEEE para tecnologias de redes sem fio.

Acces Point: Do inglês, ponto de acesso. Ponto de Acesso que distribui uma banda de conexão wireless em um ambiente.

Ad-Hoc: Sistema de Conexão Wireless Peer-to-Peer. Conhecida também em rede cabeadas como Ponto-a-Ponto. Oferece comunicação entre poucos aparelhos que não necessitem de uma gestão de rede ou router.

AES: Advanced Encryption Standard, tecnologia que permite a utilização de chaves de segurança de 128, 192 e 256-bits.

Broadcast: Mensagens encaminhadas para todos os dispositivos de uma rede. Broadcasts existem em Nível 2.

Bluetooth: Conexão via Rádio Frequencia com alcance de 10m, utilizados para conexões em uma PAN, tal como interconectar PDAs, celulares, etc.

CDMA: Do inglês *Code Division Multiple Access*, acesso múltiplo por divisão de código. Tecnologia celular digital de segunda geração criada no início dos anos 90. Concorre com os padrões GSM e TDMA.

DFS: Dynamic Frequency Selection, tecnologia que permite a escolha automática de canal, minimizando a interferência em outros sistemas operando na mesma banda.

Firewall: Software para gerenciamento de entrada e saída de informações pela Rede.

Fast Ethernet: Um padrão de rede IEEE para transmissão de dados a 100 Mbps. Veja também 100BASE-TX.

Gateway: Dispositivo que possibilita a interconexão e transferência de informações entre redes de diferentes protocolos. Na Internet, o gateway é um nó da rede que atua como ponto de conexão com outra rede. Normalmente um gateway está associado a um router (que determina qual o encaminhamento do pacote de dados recebido) e um switch (que fornece o caminho atual de entrada e saída do gateway para o pacote).

HiperLan : Sigla de *High Performance Radio Local Area Network*. É um conjunto de padrões desenvolvido pelo *European Telecommunications Standards Institute*. Usado principalmente na Europa, a HiperLAN é similar ao 802.11.

Hot Spots: Pontos de Acesso Público, que utilizam um Acces Point para fornecer a distribuição de sinal.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers. (Instituto dos engenheiros elétricos e eletrônicos).

Infraestrutura: Sistema de Conexão Wireless baseado em acesso de vários clientes a um ponto de acesso, que gerencia as informações da rede com toda a política de diretrizes e segurança Cabível.

Infrared: Conexão que utiliza raios infravermelhos para transmissão de dados. Apesar de barata, é uma conexão bem lenta. Encontrado comumente em controles remotos, PDAs ,etc.

LAN: Local Area NetWork. Área de Rede Local.

MAC adress: Endereço Físico de um componente de rede (Router , Access Point , Placa de rede) que é único e imutável.

Multicast: Um pacote, ou transmissão, destinados para muitos clientes.

OFDM: *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, é uma tecnologia de modulação que transmite simultaneamente em várias frequências (canais), resultando numa transmissão mais veloz e com menos problemas de interferência e distorção. O OFDM é utilizado nos padrões 802.11g e 802.11a.

PAN: *Personal Area Network*. Área de Rede Pessoal. Prove acesso aos aparelhos próximos ao utilizador como celulares, PDAs, notebooks entre outros.

Piconet: Micro-redes de até 8 dispositivos. É um termo utilizado na tecnologia Bluetooth, onde os dispositivos que estão próximos uns dos outros automaticamente estabelecem contato entre si, formando pequenas redes.

Router: Ponto de acesso (Access Point), que além de fazer a distribuição do sinal em um ambiente, é responsável pela roteamento as informações em uma rede e divulgação de IPs. Também conhecido como Roteador.

TDMA: Do inglês *Time Division Multiple Access*, acesso múltiplo por divisão de tempo. Padrão tecnológico do sistema digital de telefonia celular, capaz de propiciar até três conversações simultâneas, utilizando-se de um mesmo recurso (circuito eletrônico) na estação rádio base. Concorre com os padrões GSM e CDMA.

TKIP: Temporal Key Integrity Protocol , Protocolo de Chave integra temporária.

TPC: *Transmit Power Control*, a tecnologia TPC permite que o rádio ajuste a potência do sinal de acordo com a distância do receptor;

Unicast: Pacote destinado para somente um endereço.

WEP: *Wired Equivalent Privacy*, algoritmo utilizado em redes sem fio *Wi-Fi* que tem como objetivo proteger os dados de pessoas não autorizadas que possam, eventualmente, estar monitorando ou interceptando o tráfego de dados. O WEP é uma das formas mais simples de proteger o tráfego de dados numa rede *Wi-Fi* e sua encriptação de até 128 bits pode ser facilmente "quebrada" por *hackers* mal-intencionados utilizando softwares para monitorar e estudar o tráfego de rede.

Wi-Max: Padrão conhecido como 802.16, provendo acessos às WMANs, proporcionando uma velocidade de aproximadamente 280Mbps e com uma cobertura nominal de 50 Km. Trabalha junto com o padrão 802.11 em uma frequência de 2-11Ghz.

WLAN: *Wireless Local Area Network*. Área de Rede Local Sem Fio. Rede interna para uso, na maioria das vezes, doméstico. Conhecida também como Rede local.

WMAN: *Wireless Metropolitan Area Network*. Área de Rede Metropolitana sem fio. Rede externa de uso público em acesso as grandes metrópoles e centros urbanos.

WAN: *Wide Area Network*. Área de Rede Ampla. Rede Para utilização em prédios corporativos e interligações não próximas fisicamente, mas não tão distantes como a WMAN.

Wireless: Conexão sem fio, que utiliza o ar como meio de transporte de informações. Tais quais, *InfraRed, Bluetooth, Wi-Fi, Wi-Max* e Rádio Frequência.

Wi-Fi: Conexão sem fio, também conhecida como 802.11, que trabalha em frequências de rádios para transportar dados. Velocidade, cobertura nominal e frequência variam de acordo com o padrão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[FEM] FAGUNDES, Eduardo Mayer. **Fundamentos de Wireless LAN**. Artigo disponível em: http://www.efagundes.com/Artigos/Wireless_LAN.htm; Acesso em 30 de outubro de 2004.

[SAJS] SILVA, Adailton J. S.. **As Tecnologias de Redes Wireless**. Boletim bimestral sobre tecnologia de redes produzido e publicado pela RNP Rede Nacional de Ensino e Pesquisa; Volume 2, número 5; 15 de maio de 1998.

[GASS] GONDIM, Paulo R. de Lira; AMORIM, Glauco F.; SANTOS, Myrna C. M. dos; SOBRAL, André L. A.; **Roteamento em Redes de Comunicação sem fio “Ad Hoc”**; Instituto Militar de Engenharia; Departamento de Engenharia de Sistemas.

[JSTD] JÚNIOR, Simith T. D.; **Análise de Tráfego de Dados em Redes Bluetooth**; Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pernambuco Graduação em Ciência da Computação Centro de Informática; Junho de 2001.

[CP96] C. Perkins. **IP Mobility Support**. Request For Comments 2002, October 1996.

[CD99] CAMARA, Daniel; **Redes Ad Hoc**. 1999. Disponível em: <http://www.gta.ufri.br/~apaulo/seminarios/adhoc-e-bluetooth/adhoc.html> ; Acesso em 31 de outubro de 2004.

[IETF99] Internet Engineering Task Force. <http://www.ietf.org/>;

[CHEN98] CHEN, Tsu-Wei e Gerla, Mário. **Global State Routing: A new routing scheme for ad hoc wireless networks**. In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'98), Atlanta, June 1998.

- [GARE79] Garey & Johnson. **Computational Complexity**, 1979.
- [HASS98] Hass, J. Z. e Pearlman, M.R. **The zone routing protocol (ZRP) for Ad hoc networks**. Internet Draft August 1998.
- [JOHN96] JOHNSON, D., Maltz, D. A. e Broch, J. **The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks**. Internet Draft, March 1998.
- [PARK98] Park, Vicent D. e Corson, M.S. **Temporally-ordered routing algorithm (TORA) version 1 functional specification**. Internet Draft, August 1998.
- [PAR198] Park, Vicent D. e Corson, M.S. **A performance comparison of the temporally-ordered routing algorithm and ideal link-state routing**. In Proceedings of IEEE Symposium on Computers and Communication '98, Athens, Greece, June 1998.
- [PERK98] Perkins, C. E. e Royer, E. M. **Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing**. Internet Draft, August 1998.
- [RAPP96] Rappaport, Theodore, S. **Wireless Communications – Principles and Practices**. Ed. Prentice Hall PTR, New Jersey, 1996
- [ROYE99] Elizabeth M. Royer e Chai-Keong Toh. **A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless network**. IEEE Personal Communications, April 1999.
- [TANE96] Tanenbaum, Andrew S., **Computer Networks**. Third Edition – Prentice Hall PTR, Ney Jersey, 1996.
- [KO98] Ko, Young-Bae e Vaidya, Nitin H. **Location Aided Routing (LAR) in mobile ad hoc networks**. In Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pages 66-75, Dallas, Texas, USA, October 1998.

ANEXO A

Estudo de Protocolos de Roteamento em Redes Ad Hoc

Guilherme Venícius Brignoni

Ciência da Computação, 2005/1
Departamento de Informática e Estatística
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil, 88040-900

guiven@inf.ufsc.br

RESUMO

Este artigo tem por finalidade fazer um estudo da tecnologia de redes Wireless, abordando algumas características, topologias, vantagens e desvantagens das mesmas.

Dará ênfase para a topologia de redes Ad Hoc, onde será feita também, uma análise dos diferentes protocolos usados para roteamento de dados.

Palavras Chaves: Wireless, Ad Hoc, Protocolos, Roteamento;

ABSTRACT

This article wants to make a research about wireless network technology, abording some characteristhics, topologys, advantages and disadvantages about it.

It will emphasize for Ad Hoc topology network, where also will be done, a analisys of the different protocol used for data delivery.

Key Words: Wireless, Ad hoc, Protocol, Delivery.

Introdução

Um grande desenvolvimento tecnológico vem sendo observado nas áreas de comunicação celular, redes locais sem-fio e serviços via satélite.

Com isso as redes wireless vem ganhando espaço no mercado e tornando-se promessa para o futuro na transmissão de dados. Todo esse sucesso, decorre da grande mobilidade, flexibilidade e facilidade de instalação que tais redes proporcionam.

A topologia ad hoc, deixa evidentes tais características, decorrente principalmente dos poderosos protocolos de roteamento desenvolvidos para efetuar a comunicação entre nós móveis.

Redes sem fio (wireless)

O sucesso de tais redes decorre de décadas e mais décadas de pesquisa tecnológica na área de comunicação de dados.

As primeiras redes sem fio tinham um conjunto de problemas: eram muito caras, eram lentas, tinham uma série de problemas de

interferências e eram baseadas em tecnologias proprietárias.

Somente depois de resolvido os problemas de compatibilidade e gerenciamento de espectros, bem como a incessante busca pela mobilidade, é que as redes sem fio ganharam importância no mercado.

Existem vários tipos de redes podemos citar as: WLANs, LAN-LAN, WWANs, WMANs e WPANs.

Quanto a topologia, podem ser infra-estruturadas, com necessidades de estação de suporte à mobilidade (ESM), e Ad Hoc, onde essa necessidade deixa de existir uma vez que os nós móveis podem trocar informações diretas entre si.

São basicamente três os padrões de indústria para as redes sem fio: o IEEE 802.11, HiperLAN/2 e Bluetooth.

O padrão IEEE 802.11, é responsável pela definição do padrão para as redes locais sem fio WLANs. Este padrão especifica três camadas físicas (PHY) e apenas uma subcamada MAC (Media Access Control).

Já o padrão HiperLAN/2 é uma especificação de wireless LAN para operar até 54-Mbps, que pode ser utilizada em várias redes, incluindo as redes 3G, redes ATM e redes baseadas em IP.

Por sua vez, o Bluetooth tem o objetivo de substituir os cabos que conectam os periféricos das estações de trabalho.

Dentre as tecnologias empregadas nas redes wireless, destacam-se as de sistemas *Narrowband*, sistemas *Spread Spectrum*, e as de Sistemas *Infrared*. [SAJS]

Redes Ad Hoc

Uma rede ad hoc, é uma rede que não existe uma topologia predeterminada, e nem controle centralizado. Redes ad hoc não requerem uma infra-estrutura tal como backbone, ou pontos de acesso configurados antecipadamente. [JSTD]

Os nós de uma rede ad hoc podem se mover arbitrariamente. Deste modo, a topologia da rede muda freqüentemente e de forma

imprevisível. Associado a isto, limitações de banda passante e de energia das baterias dos nós tornam o roteamento, principalmente o multiponto, em redes ad hoc um desafio. A conectividade entre os nós móveis muda constantemente, requerendo uma permanente adaptação e reconfiguração de rotas.

A utilização de uma rede ad hoc está associada a cenários onde existam uma necessidade de se instalar rapidamente uma rede. Normalmente, são cenários onde não há uma infra-estrutura de rede previamente instalada.

As vantagens das redes ad hoc, se encontram na flexibilidade, rápida instalação, tolerância a falhas, conectividade e na mobilidade. Como desvantagens podemos citar a dificuldade de implementação dos algoritmos de roteamento, alcance limitado dos diversos nós na rede, fading e multipath, perdas de pacotes, e energia limitada pelas baterias dos dispositivos portáteis.

Podem ser classificadas de acordo com vários parâmetros: segundo a capacidade de cada nó, de

acordo com o tráfego, tipos de roteamento e métodos de endereçamento.[JSTD]

Algoritmos de Roteamentos

A principal função da camada de redes é rotear pacotes de uma máquina origem para uma ou mais máquinas destino. Um algoritmo de roteamento é a parte do software da camada de redes responsável pela decisão sobre a linha de saída a ser usada na transmissão do pacote de entrada.[TANE96]

Funcionamento correto, simplicidade, robustez, escalabilidade, convergência para uma rota ótima, aceitação de parâmetros QoS, Adaptabilidade, independência da tecnologia de redes e “Fairness” (justiça ou equitatividade), são todas características desejáveis para um algoritmo de roteamento.

Em um algoritmo de roteamento Ad Hoc, espera-se características como: operação distribuída, protocolos livres de loops, operação baseada na demanda, operação pró-ativa, segurança, operação nos períodos de

inatividade do nó e suporte a enlaces unidirecionais. [TANE96].

Dentro da filosofia de roteamentos podemos destacar dois tipos, o roteamento flat, onde todos os nós são “iguais” e o roteamento dos pacotes é feito baseado em conexões ponto-a-ponto, e o roteamento hierárquico, onde existe ao menos duas camadas.

Nos algoritmos de roteamento, três classes são consideradas, segundo ao critério de construção de rotas: Pró-Ativos, Reativos, Híbridos.

Os Algoritmos pró-ativos tentam avaliar continuamente as rotas de modo que quando um pacote necessitar de encaminhamento a rota já seja conhecida e possa ser utilizada imediatamente. Neste caso, os nós mantêm uma ou mais tabelas com informações referentes à rede e respondem a mudanças na sua topologia propagando atualizações de modo a manter a consistência da rede. Alguns protocolos que utilizam os algoritmos pró-ativos: Destination - Sequenced Distance - Vector, Routing, Optimised link state routing,

Global State Routing, Clusterhead Gateway Switch Routing, entre outros.

Nos algoritmos reativos a rota é determinada sob demanda, ou seja, quando uma rota é requerida, ele inicia algum procedimento de descobrimento de rota. Desta forma, o processo é iniciado por um pacote necessitando encaminhamento. Uma vez que a rota é descoberta, utiliza-se algum procedimento de manutenção de rota para que ela continue ativa. Protocolos como Dynamic Source Routing, Temporally – Ordered Routing Algorithm, Associativity – Based Routing, Location – Aided Routing, entre outros, utilizam este tipo de algoritmo.

Para redes maiores, os algoritmos híbridos apresentam maior eficiência, visto que pode-se organizar a rede em grupos (clusters) e utilizar algoritmos diferentes para o roteamento dentro e entre os grupos. A hipótese por trás disso é que se os grupos forem bem divididos apenas poucos nós sairão do grupo, e as alterações de topologias dentro de um grupo podem ser passadas apenas para os membros do próprio grupo, sendo transparente para nós que não

pertencem ao grupo. Estes nós não pertencentes ao grupo necessitam saber apenas como chegar ao grupo, geralmente através de um nó, chamado *clusterhead*, por onde passam todos os dados que entram ou saem do grupo. Exemplos de protocolos que utilizam tais algoritmos: Zone Routing Protocol, Zone-based hierarchical link state, Scalable Location Update Routing Protocol, entre outros.

Análise

Em uma análise aos protocolos pró-ativos por estrutura plana, na sua grande maioria, não tem uma boa escalabilidade, isto decorre devido ao alto consumo de largura de banda na rede para efetuar seus procedimentos de atualizações.

Em um cenário de pior caso (*worst-case scenario*), geralmente em estágios iniciais da rede quando um nó torna-se ativo, e desconhece o ambiente ao seu redor, os protocolos reativos (*on demand*) possuem, na sua maioria, o mesmo custo.

Isto decorre, pelo fato de possuírem procedimentos de manutenção e descoberta de rotas semelhantes.

Todavia são os protocolos de roteamento híbridos que possuem o maior potencial de escalabilidade, tanto em relação aos reativos quanto aos pró-ativos puros. Isso porque eles tentam minimizar o número de nós retransmitindo por broadcast através da definição de uma estrutura (ou algum tipo de backbone), que permite aos nós trabalharem juntos organizando como o roteamento será executado.

Considerações Finais

A tecnologia de Wireless tem evoluído muito nos últimos anos, porém suas limitação ainda são grandes para a utilização em massa, seja em custo, seja em velocidade/qualidade.

Porém é uma tecnologia promissora que tem bastante a evoluir e padronizar.

Numa de suas topologias, as redes Ad Hoc, tornou-se uma boa opção para redes locais devido sua grande flexibilidade.

Neste artigo, abordou-se as principais características dessas redes, qualidades e defeitos, aplicações práticas, dando ênfase a questão de roteamento, apresentando os problemas, vantagens e defeitos de alguns dos algoritmos de roteamento desenvolvidos especificamente para elas.

Referências Bibliográficas

- [SAJS] SILVA, Adailton J. S.. **As Tecnologias de Redes Wireless**. Boletim bimestral sobre tecnologia de redes produzido e publicado pela RNP Rede Nacional de Ensino e Pesquisa; Volume 2, número 5; 15 de maio de 1998.
- [TANE96] Tanenbaum, Andrew S., **Computer Networks**. Third Edition – Prentice Hall PTR, Ney Jersey, 1996.
- [JSTD] JÚNIOR, Simith T. D.; **Análise de Tráfego de Dados em Redes**

Bluetooth; Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pernambuco Graduação em Ciência da Computação Centro de Informática; Junho de 2001.

[CD99] CAMARA, Daniel; **Redes Ad Hoc**. 1999. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/~apaulo/seminarios/adhoc-e-bluetooth/adhoc.html>; Acesso em 31 de outubro de 2004.