

Capítulo

3

Redes Locais Sem Fio: Conceito e Aplicações

Underléa Corrêa, A.R.Pinto, Andres Codas, D. J. Ferreira e Carlos Montez

Departamento de Automação e Sistemas – Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Campus Universitário – Trindade 88040-900 – Florianópolis – SC –Brasil

{underlea, arpinto,montez}@das.ufsc.br, ded@inf.ufsc.br, andrescodas@gmail.com

Abstract

The integration and development of mobile wireless network technologies and the Internet, as well as the notable growth of the hardware and software technology, has been contributed with the popularity of the mobile wireless networks. This course aims at to enclose topics that covers practical and theoretical concepts of the agreement functions in Wireless Local Area Network (infrastructured and ad-hoc networks). It has been treated since questions related with the architecture, stack of communication protocols, technologies of transmission, configuration and development of application, until trends and challenges of research in some of the layers of the OSI model reference.

Resumo

A cada ano, as redes móveis sem fio vêm apresentando uma forte elevação de sua popularidade. A tendência na miniaturização, o aumento da capacidade de processamento e armazenamento dos dispositivos móveis – que reunidos a aplicações capazes de oferecer boa interatividade entre hardware e software – têm contribuído com a popularização das mesmas. Este mini-curso visa abranger tópicos que abordam conceitos teóricos/práticos para o entendimento do funcionamento de uma rede local sem fio (Infra-estruturada e Ad-hoc), tratando desde questões relacionadas a arquitetura, pilha de protocolos de comunicação, tecnologias de transmissão, configurações e desenvolvimento de aplicações, até tendências e desafios de pesquisa encontrados em algumas das camadas do modelo de referência OSI para âmbito de redes sem fio.

1.1. Redes Sem Fio

Imaginar o mundo sem redes sem fio não é mais prática concebível. O desejo da comunicação em qualquer lugar a qualquer hora fez com que as redes sem fio conquistassem um reconhecido espaço no mundo atual apresentando uma série de vantagens. Essas redes buscam primeiramente, num âmbito mais abrangente, ocupar a lacuna que impossibilitava a implementação de redes cabeadas por questões de patrimônio público tombado, bem como pelo auto custo de se estabelecer uma rede fixa temporária. O desenvolvimento da miniaturização de componentes eletro-eletrônicos bem com o da comunicação sem fio pessoal tem impulsionado a popularidade dessas redes. Desde os anos 90 até os atuais dias, tanto usuários de Internet quanto de sistemas celulares passaram da ordem de centenas de milhares para centena de milhões. Para atender a demanda de conectividade e acesso a dados de aplicações multimídia e de tempo real exigidas por usuários, surgem no mercado soluções e uma série de produtos sem fio.

Apesar do amplo desenvolvimento alcançado por essas redes, ainda ficam questões que necessitam de avanço para oferecer garantias de qualidade para o correto funcionamento desses sistemas. Para tal, existem várias áreas de pesquisa dentro da comunidade científica empenhadas no desenvolvimento de soluções que atendam, por exemplo, exigências de tempo real para o sistema de redes móveis sem fio. Assim, vimos através desse trabalho, estudar tendências, vantagens e os principais desafios para o desenvolvimento de soluções que auxiliem na evolução de tal paradigma.

2.1. Taxonomia de Redes Sem Fio

Nos últimos anos, a proliferação de dispositivos computacionais móveis (por exemplo, *laptops*, *handheld*, dispositivos digitais, assistentes digitais pessoais (PDAs) e *wearable computers*) tem revolucionado o mundo da computação. Estamos migrando da era da computação pessoal (PC-*Personal Computer*), isso é um computador por pessoa, para a era da computação ubíqua, no qual usuários individuais utilizam ao mesmo tempo, diversas plataformas eletrônicas na quais informações podem ser acessadas a qualquer hora em qualquer lugar [Mohammad 2003]. A natureza dos dispositivos ubíquos tem elevado o crescimento do uso de tecnologias de redes sem fio, pois fazem dessas uma solução de interconexão mais fácil com ambientes até então inadequados ou então impossíveis de se manter uma comunicação devido à, por exemplo, altos custos e restrições tecnológicas.

O mundo sem fio tem sido significativamente desenvolvido com produtos de redes de Rádio Frequência (RF). O objetivo desses produtos é simplificar e transformar o modo de nos comunicarmos e conduzirmos nossas vidas [Mohammad 2003]. A terceira geração (3G) de redes sem fio está sendo desenvolvida para habilitar interconectividade pessoal de alta velocidade tanto para áreas de ampla cobertura (WWANs – *Wireless Wide Área Network* [IEEE 802.16 2002]), quanto para áreas de menor cobertura destinadas a redes locais e pessoais (i.e., WLANs – *Wireless Local Área Network* [IEEE 802.11 2003], WPANs – *Wireless Personal Área Network* [IEEE 802.15 2003] e WBANs – *Wireless Body Área Network* [Mohamed 2003]) (Figura 2.1).

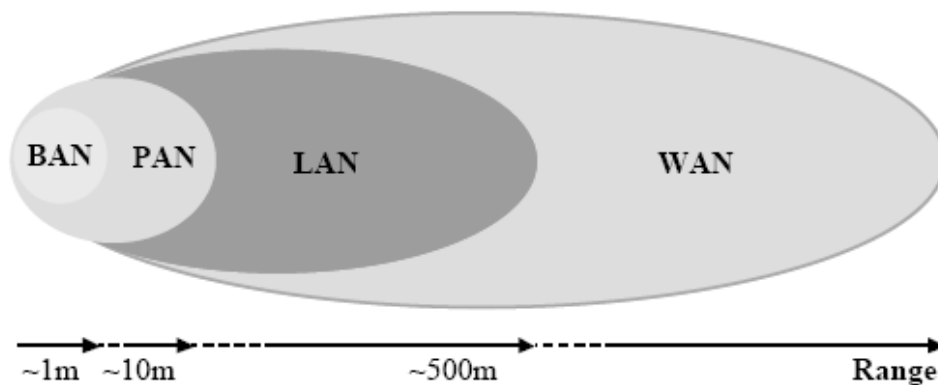


Figura 2.1 – Taxonomia de redes Sem Fio

Fonte: [Mohammad 2003]

2.2. Redes Sem Fio Infra-estruturadas.

As redes infra-estruturadas são aquelas em que o nodo móvel está em contato direto com uma estação de suporte à mobilidade (ESM), também conhecida como ponto de acesso (AP), na rede fixa (Figura 2.2).

O funcionamento deste tipo de rede móvel é semelhante ao da telefonia celular, onde toda a comunicação deve, necessariamente, passar pela central mesmo que os equipamentos móveis estejam a uma distância em que poderiam, eventualmente, comunicar-se diretamente.

Toda a comunicação entre os nodos móveis é feita através de uma estações de suporte à mobilidade. Neste caso, os nodos móveis, mesmo próximos uns dos outros, estão impossibilitados de realizar qualquer tipo de comunicação direta.

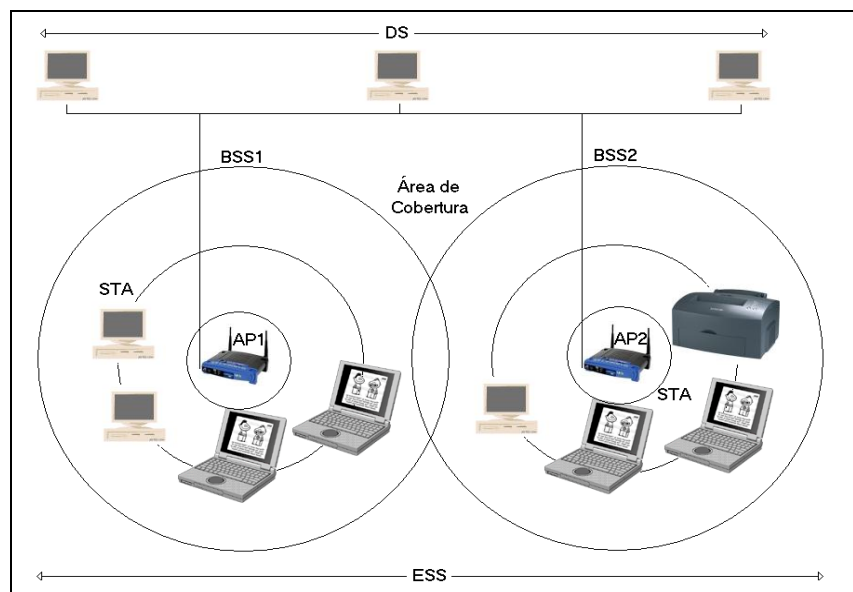


Figura 2.2 – Configuração de rede local infra-estruturada

Uma rede local sem fio pode ser considerada uma extensão de uma rede local cabeada, que converte os pacotes de dados em ondas de rádio e os envia para um ponto de acesso que serve como uma conexão para uma rede local.

Dentre os componentes de uma rede sem fio infra-estruturada temos:

BSS (*Basic Service Set*): corresponde a uma célula de comunicação da rede sem fio;

STA (*Wireless LAN Stations*): são os diversos clientes da rede;

AP(*Access Point*): é o nó que coordena a comunicação entre as STAs dentro da BSS. Funciona como uma ponte de comunicação entre a rede sem fio e a rede convencional.

DS (*Distribution System*) : corresponde ao *backbone* da WLAN, realizando a comunicação entre os APs;

ESS (*Extended Service Set*): conjunto de células BSS cujos APs estão conectados a uma mesma rede convencional. Nestas condições uma STA pode se movimentar de uma célula BSS para outra permanecendo conectada à rede. Este processo é denominado de *roaming*.

A aplicabilidade dessa topologia de rede pode ser empregada em locais onde já existe uma rede local, mas aja a necessidade de oferecer flexibilidade e mobilidade para algumas estações. Um exemplo disso, são os denominados *hotspots*. (redes locais públicas disponíveis como hotéis, restaurantes, bibliotecas, aeroportos, etc.)

2.3. Redes Móveis *Ad-hoc*

As redes móveis *ad hoc* são a fronteira final em uma comunicação sem fio, e o fator chave na evolução desse paradigma [Santini 2005]. Essa abordagem de comunicação permite que os nodos se comuniquem diretamente entre si ou através de múltiplos saltos dentro da rede usando receptores e transmissores sem fio, sem a necessidade de uma infra-estrutura fixa [Campbell 2003]. Essa é a característica mais forte que distingue as redes móveis *ad-hoc* de outras redes sem fio tradicionais tais como redes celulares, ou WLANs onde os dispositivos (e.g. celulares, ou *handhelds e notebooks*) se comunicam através de um ponto de acesso (antenas de rádio fixas/cabeadas) [Santini].

Embora ainda sejam ambientes em evolução dentro da comunicação sem fio, as redes móveis *ad-hoc* apresentam fortes motivações que vêm impulsionando seu desenvolvimento e aplicabilidade. Uma das motivações originais dessas redes foi inicialmente encontrada segundo [Perkins 2001], na necessidade de sobrevivência de militares em campos de batalhas. Essa idéia logo foi estendida para o uso em locais onde a presença de uma infra-estrutura fixa se torna inviável tais como em desertos, florestas virgens, resgate de sobreviventes em desastres terrestres, conferências, e entre outros, em atividades de sensoriamento em locais que colocam em risco a vida de seres humanos.

O termo *ad-hoc* implica que a rede é estabelecida para um serviço especial. Assim, uma rede *ad-hoc* típica é estabelecida por um período de tempo limitado a fim executar uma operação específica. Nessas redes as aplicações podem ser móveis e os ambientes podem mudar dinamicamente. Logo, seus protocolos devem ser auto-configuráveis para assim se ajustarem ao ambiente bem como a mudanças de trajeto, tráfego e missão [Mohapatra 2005]. O que emerge dessa característica é uma arquitetura extremamente flexível a qual implica em novos desafios a serem atendidos e para isso novos requisitos devem ser estabelecidos.

2.3.1. Aplicações de Redes Móveis *Ad-hoc*

O crescente interesse por redes móveis *ad-hoc* é justificado pelas diversas vantagens que essas redes podem proporcionar para certos tipos de aplicações. Uma vez que essas redes podem ser construídas rapidamente sem a necessidade de uma infra-estrutura fixa tornando-as adequadas a situações e locais os quais são impróprios para redes cabeadas. Um outro aspecto que torna redes *ad-hoc* atraentes é o fato de não dependerem de pontos que determinem sua organização e controle, evitando assim que o desempenho da rede seja afetado, caso um nó em particular venha falhar. Muitas são as potenciais aplicações de redes móveis *ad-hoc*, dentre essas citamos algumas a seguir [Corson 1999].

- **Aplicação Militar:** as redes móveis *ad-hoc* tiveram origem dentro de ambientes militares com a função de tornar possível a comunicação entre soldados em campo de batalha, já que tais ambientes impossibilitam a existência de comunicação por meio de uma infra-estrutura fixa;
- **Redes de sensores:** o aumento da popularidade do uso de sensores no meio ambiente permite operar automaticamente e coletar processos, e transmitir informações sobre seu ambiente sem o suporte de uma infra-estrutura;
- **Assistência a desastres:** já que as redes móveis *ad hoc* não necessitam de uma infra-estrutura pré-existente, podem oferecer um método extremamente flexível em operações de resgates ou qualquer outro cenário que requeira estabelecimento de comunicação que seja rapidamente organizada, possibilitando a troca de informações com sobreviventes ou com quem presta auxílio aos sobreviventes, bem como auxiliando em situações de emergência, como policiamento e combate ao fogo;
- **WPAN – *Wireless Personal Area Network*:** é uma rede de área pessoal que permite interconectar os dispositivos centrados em torno de um espaço de trabalho individual de pessoas, cujas conexões são sem fio. Uma rede de área pessoal sem fio tipicamente usa alguma tecnologia que permite uma comunicação dentro de aproximadamente 10 metros, ou seja, uma escala ainda muito curta. Por causa de sua natureza móvel, e não infra-estruturada, uma das primeiras exigências de projeto que deve ser considerada numa rede *ad-hoc* é a auto-configuração de seus trajetos. No nível de aplicação, usuários de redes *ad-hoc* tipicamente se comunicam e trabalham em grupos (e.g. Policiais, Equipes de Bombeiros e Médicos), logo essas aplicações exigem comunicação de grupo eficiente (*multicast*) tanto para dados quanto para tráfego de tempo real [Mohapatra 2005]. Na sessão seguinte abordamos algumas das principais características de redes *ad-hoc* citadas na literatura;
- **Veículos autônomos não tripulados:** algumas das populares aplicações de redes *ad-hoc* requerem componentes robóticos não tripulados. Todos nós numa rede genérica são naturalmente capazes de trabalhar autonomamente. Quando a mobilidade autônoma é também adicionada, há o surgimento de algumas oportunidades interessantes para a combinação do trabalho em rede e o movimento. Um exemplo disso são os veículos aéreos não tripulados (UAVs) os quais podem cooperar na manutenção da interconectividade de uma rede *ad-hoc* amplamente

distribuída na terra apesar dos obstáculos físicos irregularidades da propagação do canal, e *jamming* de inimigos;

- **Conexões com a Internet:** as vantagens encontradas em estender redes sem fio infra-estruturadas a fim de se obter conexões com a Internet vêm popularizando o uso de redes *ad-hoc* em redes domésticas, visto que podem ser estendidas conforme necessário com roteadores portáteis (para garagens, para o carro estacionado na rua, para a casa do vizinho, etc). Esse tipo de redes vem se tornando crescentemente importantes e de fato são promissoras evoluções no caminho de aplicações comerciais [Mohapatra 2005].

2.3.2. Características e Desafios das Redes Móveis *Ad-hoc*

As redes *ad-hoc* representam sistemas distribuídos complexos, que incluem nodos móveis sem fio que podem se organizar livre e dinamicamente de forma arbitrária dentro de uma topologia de rede temporária e caracterizam-se por um sistema autônomo de nodos móveis independentes, que podem operar de modo isolado como mostrado na Figura 2.3. Nas MANETs – *Mobile Ad-hoc Networks*, os nodos podem estar situados em aviões, barcos, caminhões, carros ou até mesmo em pessoas e são equipados com transmissores e receptores usando antenas *omnidirecionais*, que captam sinais de todas as direções (*broadcast*), altamente direcional (*peer-to-peer*), ou uma combinação desses [Campbell 2003]. Por possuírem tecnologia de comunicação sem fio, os dispositivos computacionais móveis são capazes de trocar informações diretamente entre si ou através de múltiplos saltos, sem a necessidade de infra-estrutura de comunicação e devem estar fisicamente habilitados para se comunicarem mutuamente mesmo quando roteadores, estações base ou provedores de serviços de Internet (ISPs – *Internet Services Provider*), não podem ser encontrados [Campbell 2003].

Essas redes herdam problemas tradicionais relacionados à comunicação sem fio e móvel, tais como otimização da largura de banda, controle de energia, e otimização na qualidade de transmissão. Além disso, sua natureza de múltiplos saltos e a possível falta de uma infra-estrutura fixa introduz novos problemas de pesquisa tais como configuração da rede, descoberta de dispositivos, e manutenção da topologia, bem como endereçamento *ad-hoc* e auto-roteamento [Wu 2004].

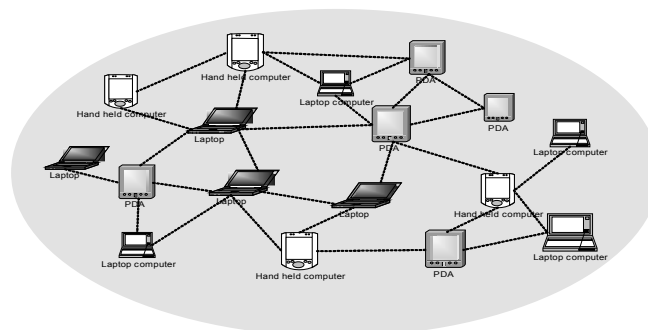


Figura 2.3 - Topologia de uma rede móvel *ad hoc*

A seguir citamos algumas das principais características e desafios apresentados por esse tipo de rede que devem ser levados em consideração tanto em tempo de projeto quanto e na escolha de aplicações para uso de redes *ad-hoc* [Corson 1999].

- **Mobilidade:** a dinâmica da topologia permitindo que os nodos sejam rapidamente reposicionado é uma das principais característica das redes *ad-hoc*. Rápida disposição em áreas com nenhuma infra-estrutura freqüentemente implica na exploração de uma área geográfica por parte dos usuários havendo a necessidade de formação de grupo coordenados sob o pretexto de cumprir uma missão. A mobilidade pode se dar de modo individual e aleatório ou mobilidade de todo grupo movimentando-se ao longo de trajetos pré-planejados [Mohapatra 2005]. O modelo de mobilidade possui impacto direto com a seção de roteamento influenciando o desempenho da rede;
- **Largura de banda limitada:** os enlaces sem fio continuam tendo capacidade significativamente mais baixa do que as redes fixas;
- **Multi-hop:** uma rede *multi-hop* é uma rede cujos trajetos de origem e destino atravessa diversos outros nodos [Mohapatra 2005]. Redes *ad-hoc* freqüentemente exigem múltiplos saltos para negociação de obstáculos, re-uso de spectrum, e conservação de energia;
- **Auto-organização:** nodos numa rede *ad-hoc* devem determinar autonomamente seus próprios parâmetros incluindo endereços, trajetos de comunicação, grupos, posicionamento, controle de potência e energia, etc. Em alguns casos nodos especiais (e.g. Mobile backbone nodes) podem coordenar seus movimentos e distribuí-los dinamicamente numa área geográfica [Mohammad 2003].
- **Restrições de Energia:** a maioria dos nodos em redes *ad-hoc* (e.g laptops, PDAs, sensores e outros) possuem suprimento de energia limitado e nenhuma capacidade para gerar sua própria energia (exemplo placas solares). Por isso, o projeto de protocolos e/ou algoritmos devem levar em consideração essa questão e prover adequado consumo de energia a fim de propiciar longevidade da rede;
- **Escalabilidade:** em algumas aplicações (e.g. grandes fábricas de sensores ambientas, distribuição de campos de batalha, grades de veículos urbanos, etc), a rede *ad-hoc* pode crescer de poucos para milhares de nodos. Para a escalabilidade da rede sem fio “infra-estruturada” é manipulada por uma construção hierárquica – a mobilidade das redes infra-estruturadas pode também ser facilmente controlada usando IP móvel ou técnicas de handoff local. Em contraste, devido a ampla mobilidade, redes *ad-hoc* puras não toleram IP móvel ou uma estrutura hierárquica fixa [Mohapatra 2005].

Assim a mobilidade em redes de larga escala é um dos desafios críticos no projeto de redes *ad-hoc*;

- **Segurança:** os desafios de segurança em redes sem fio são bem conhecidos, visto que nessa rede o meio sem fio pode ser ouvido por intrusos. Muitos trabalhos vem sendo desenvolvidos para os ambientes sem fio porém infra-estruturados e estendidos a redes *ad-hoc*, entretanto, essas redes estão mais vulneráveis a ataques tanto passivos quanto ativos. Devido a complexidade dos protocolos de redes *ad-hoc* esses ataques são bem mais difíceis de se detectar nessas redes do que em redes infra-estruturadas. Ataques passivos são exclusivos das redes *ad-hoc*, e podem ser mais maliciosos do que os ativos [Mohapatra 2005];
- **Redes Heterogêneas:** uma rede *ad-hoc* pode ser tipicamente composta por dispositivos heterogêneos. Um exemplo disso seria onde várias equipes trabalhando juntas num resgate usando equipamentos de diferentes tipos: telefones celulares, laptops, PDAs, Walkie Talkies, e assim por diante. Para garantir o sucesso da comunicação da rede, é fundamental que esses diversos tipos de dispositivos sejam capazes de se comunicarem um com o outro;
- **Redes Relativamente Dispersas:** a adoção do paradigma de trabalho de redes *ad-hoc* é justificado segundo na dispersão geográfica dos nodos que compõe a rede. Visto que, se os nodos da rede estiverem muito próximos um do outro a comunicação *single-hop* seria suficiente e nenhuma comunicação multi-hop entre os nodos seria necessária.
- **Entrega de informação *location-aware*:** usando transmissores de rádio fixo, informações de ciência de posição podem ser entregues para usuários interessados. Exemplos desse tipo de serviço são dados em [Mohapatra 2005] como informações turísticas amostras e eventos *sourrounding*, bem como informações sobre lojas, hotéis e restaurantes localizados em uma determinada área.

Sem dúvidas as redes *ad-hoc* oferecem desafios (ou oportunidades) bem maiores do que os encontrados em redes infra-estruturadas. Grande parte das pesquisas vêem essas redes como uma sub-rede especial de redes sem fio. De fato a tecnologia de rádio *ad-hoc* e a maioria das tecnologias MAC (Medium Access Control) são dirigidas para avanços em redes sem fio infra-estruturadas.

Embora muitos trabalhos venham sendo desenvolvidos para este âmbito, Gerla em [Mohapatra 2005] define que a grande maioria deles está voltado para a área de protocolos de transporte (roteamento, *multicast*, fluxos TCP e *ad-hoc*, etc).

Uma outra importante família de redes *ad-hoc* são as redes de sensores sem fios nos quais podem por sua vez ser vistas como um sub-conjunto de redes *ad-hoc*. Evidentemente que com peculiaridades bem definidas como descreve-se na sessão seguinte.

2.4. Redes de Sensores Sem Fio

Redes de sensores sem fio são um tipo particular de redes *ad-hoc*, os quais os nodos são “sensores inteligentes”, isso é, pequenos dispositivos (com tamanho que pode variar entre Cm^3) equipados com avançadas funcionalidades de sensoriamento (térmico, pressão, acústico, etc.), um pequeno processador e *transceivers* sem fio de curtas distâncias [Santini 2005, Carle 2004].

Quando um grande número de dispositivos colaboram usando comunicação sem fio e um fluxo de dados assimétrico de muitos para um, eles constituem uma rede de sensor sem fio [Carle 2004] (exemplo Figura 2.4).

Nesse tipo de rede, nodos trocam informações sobre um ambiente a fim de construir uma visão global da região monitorada no qual se torna acessível ao usuário externo através de um ou mais nodos *gateways*. Uma das grandes expectativas nessas redes é a ruptura na maneira em que os fenômenos naturais são observados, acreditando-se numa considerável melhora na precisão da informação conduzindo a uma melhor compreensão e previsão de tais fenômenos [Santini 2005].

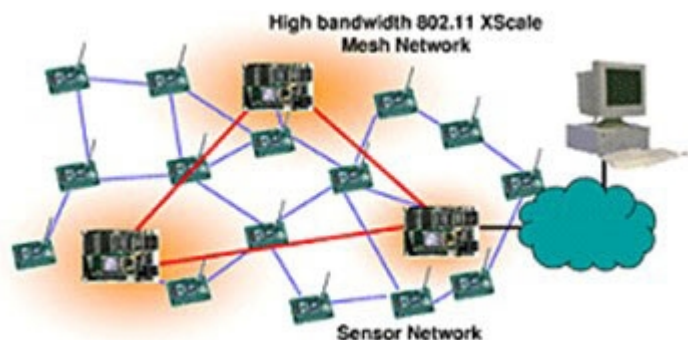


Figura 2.4 – Exemplo de uma arquitetura de redes de sensores sem fio.

2.4.1. Características de Redes de Sensores Sem Fio

Redes de sensores sem fio, embora sejam um tipo de redes *ad-hoc*, possuem características de natureza bem peculiares. Dentre estas uma das características marcantes que diferenciam tais redes das demais redes sem fio tradicionais (por exemplo, Internet e MANETs) é o fato de redes de sensores sem fio serem altamente centradas a dados e orientada a aplicações [Stankovic 2003].

Em redes tradicionais os dados são encaminhados através de um roteador entre dois ou mais nodos com endereçamento IP. Em contraste, redes de sensores sem fio são intrinsecamente uma central de dados [Santini 2005]. Dados de múltiplas fontes relacionados ao mesmo fenômeno físico precisam ser agregados e enviados a um determinado destino na rede onde poderão ser processados e devolvidos a rede com a função de atuação sobre tal fenômeno físico de acordo com a aplicação.

Dentre as muitas características de redes de sensores citamos a seguir algumas das principais:

- **Redes Homogêneas:** diferente das redes *ad-hoc*, uma rede de sensor sem fio é topologicamente composta de nodos com as mesmas características de comunicação

e processamento. Uma parcial exceção dessa regra pode ser encontrada quando diferentes tipos de nodos sensores inteligentes (com mais memória ou com uma faixa de transmissão maior) são usados na mesma rede com a função de aumentar a capacidade do monitoramento e o tempo de vida da rede;

- **Redes com nodos estacionários ou semi-móveis:** a mobilidade dos nodos também é uma característica que diferencia redes *ad hoc* de redes de sensores sem fio. Embora possuam redes de sensores sem fio possuam topologia dinâmica essa é uma característica que se dá mais pela questão de esgotamento de energia do nodos do que pela mobilidade propriamente dita. Embora os nodos nessas redes sejam tipicamente estacionários, encontra-se aplicações que empregam mobilidade. Um exemplo disso são redes de sensores usadas para rastrear movimentos de animais, ou sensores lançados em oceanos;
- **Redes Relativamente Dispersas:** essa é uma característica comum tanto a redes *ad-hoc* quanto a redes de sensores sem fio. Uma rede de sensor é tipicamente formada por nodos que são dispersos numa região geográfica relativamente grande, de modo que a comunicação *single-hop* (único salto) em geral é inviável;
- **Redes com Densidade Populacional:** tipicamente o número de nodos compondo uma rede de sensor sem fio é completamente grande, variando de dezenas para milhares de nodos.

2.4.2. Aplicações para Redes de Sensores Sem Fio

Pesquisas sobre redes de sensores originalmente (como em redes *ad-hoc*) foram motivadas por aplicações militares. Entretanto, a disponibilidade de sensores de baixo custo com tecnologia de comunicação sem fio tem despertado interesse de desenvolvimento de muitas outras potenciais aplicações. Dentre estes cenários de possíveis aplicações, citamos os seguintes [Santini 2005]:

- **Monitoramento da temperatura do oceano para uma melhor previsão de tempo:** sabe-se que a evolução das condições de tempo é fortemente influenciada pela temperatura de grandes massas de água, tais como os oceanos. Entretanto, hoje em dia nossa capacidade de executar uma monitoração de temperatura em larga escala é escassa. As redes de sensores podem ser usadas para essa finalidade. Jogando um grande número de pequenos sensores no mar, a temperatura da água e as correntes do oceano podem ser monitoradas com precisão, ajudando cientistas na tarefa de fornecer uma previsão de tempo mais exata;
- **Deteção de Intrusão:** sensores equipados com câmera podem ser usados para formar uma rede que monitora o acesso restrito de uma região. Se a rede é propriamente distribuída, intrusos podem ser detectados e uma mensagem de alarme rapidamente propagada para o observador externo;

- **Predição de Avalanches:** sensores equipados com dispositivos como GPSs – *Global Positioning Systems*, podem ser usados para monitorar movimentos de grandes massas de neve, permitindo assim uma maior exatidão da predição de avalanches.

2.4.3. Desafios Encontrados em Redes de Sensores Sem Fio

Redes de sensores também apresentam muitos desafios que ainda estão por serem tratados antes de estarem habilitados para serem usadas em larga escala. Os principais desafios encontrados em redes de sensores e relatados na literatura são [Hac 2003]:

- **Conservação de Energia:** se a redução do consumo de energia do nodo é importante em redes *ad-hoc*, isso se torna vital em redes de sensores sem fio [Chong 2003]. De fato, devido ao resumido tamanho dos nodos sua bateria possui energia muito limitada. Apesar disso, espera-se que essas redes sejam capazes de operar por períodos relativamente longos. Visto que a reposição de baterias é normalmente inviável, um dos primeiros objetivos de projeto é usar de modo eficiente a pequena quantidade de energia oferecida;
- **Comunicação de baixa qualidade:** nodos sensores são freqüentemente dispostos em ambientes abertos e hostis, tendo muitas vezes que operar sobre condições de mau tempo. Nessas situações, a qualidade da comunicação de radio pode ser extremamente precária fazendo da coleta de dados uma tarefa que pode se tornar muito difícil. Logo, é essencial que nesses casos os sensores físicos sejam cuidadosamente projetados, e os protocolos para operação de rede devem ser regeneráveis a falhas, nos quais podem ser considerados relativamente eventos promissores;
- **Recursos Computacionais Limitados:** se os recursos nas redes *ad-hoc* são escassos a situação é sempre pior em redes de sensores sem fio. Para tentar solver essa qualidade os protocolos para redes de sensores devem se esforçar para prover requisitos de qualidade de serviço suficiente.
- **Processamento de Dados:** dado um limite de energia e uma qualidade de comunicação relativamente pequena, o dado coletado deve ser localmente comprimido, e agregado com dados similares gerado por seus nodos vizinhos. Dessa forma poucos recursos são relativamente usados para comunicar dados a um observador externo. Já que o observador está freqüentemente interessado em obter dados com diferentes níveis de dependência de exatidão, por exemplo, sobre evento atualmente indo para uma região de monitoramento, o mecanismo de agregação de dados deve ser capaz de prover diferentes níveis de compressão/agregação dirigindo-se ao *trade-off* do consumo de recurso e exatidão dos dados;
- **Falta de aplicações de fácil comercialização:** hoje em dia, diversos fabricantes de *chip* e companhias eletrônicas começaram a produção comercial de nodos sensores. Entretanto é muito mais difícil para estas companhias comercializar as aplicações baseadas em redes do sensor. Vender aplicações, em vez dos sensores relativamente baratos, é muito mais rentável para a indústria. Infelizmente, a maioria das aplicações de redes de sensor os cenários são muito específicos, e uma empresa não teria quase

nenhum lucro desenvolver aplicações para um cenário muito específico, já que os compradores potenciais seriam muito poucos.

3.1. Tecnologias de Transmissão de Redes Sem Fio

Para os sistemas de redes locais sem fio encontram-se quatro tipos de tecnologias de transmissão (Figura 3.1), no entanto essas redes usam basicamente, três tipos de tecnologias para a transmissão da informação. Cada padrão adotou seu tipo específico para transmissão [Santos 2005].

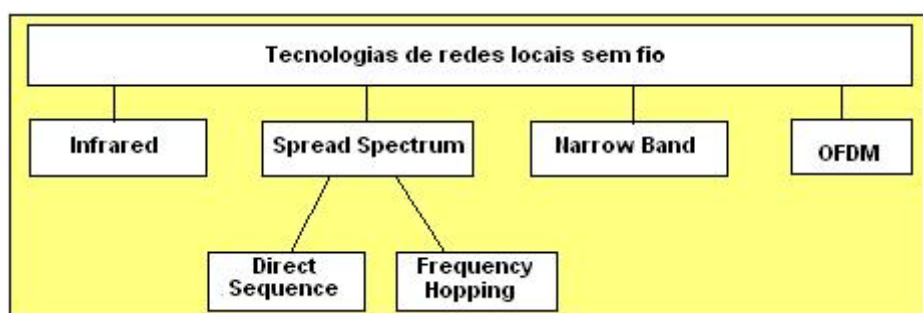


Figura 3.1 – Tecnologias de redes locais sem fio

Fonte [Santos 2005]

Um sistema de rádio em banda estreita (*narrowband*) transmite e recebe informações utilizando apenas o suficiente do espectro de frequência para passar a informação. O receptor de rádio filtra todas as frequências, exceto a determinada pelo sistema. Esse sistema não é adequado para transmissão de dados.

Sistemas infravermelhos trabalham em alta frequência, abaixo da luz visível no espectro eletromagnético, para transportar os dados. O infravermelho, assim como a luz visível, não pode atravessar objetos opacos, limitando seu alcance.

A maioria dos sistemas de redes locais sem fio utilizam a tecnologia *Spread Spectrum* (Espalhamento de Espectro), uma técnica para uso em sistemas de comunicações confiáveis, seguros e de missão crítica. Essa técnica, como o nome diz, utiliza uma banda maior que a necessária para a transmissão dos dados. Ela é utilizada pelos produtos que seguem o padrão 802.11b, 802.11g.

A mais nova técnica de transmissão de dados é o OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. Essa técnica é utilizada pelos padrões 802.11a, 802.11g. Estudaremos estas técnicas com mais detalhes ao longo dessa seção [Santos 2005].

3.2. Rádiofrequência

Sinais de radiofrequência são correntes alternadas de alta frequência que passam através de condutores de cobre e, então, são irradiadas pelo ar através de antenas. As antenas transformam o sinal do cabo em uma onda eletromagnética que se propaga no espaço e vice-versa [Santos 2005].

As ondas de rádio propagam-se, afastando-se da antena em todas as direções. Como analogia, as ondas propagam-se da mesma maneira que ondas na superfície de um lago se propagam, quando nele jogamos uma pedra [Santos 2005].

Rádios transmitem e recebem sinais através de longas distâncias na forma de onda eletromagnética (EM). A Figura acima ilustra as principais propriedades de uma onda senoidal, usada para representar todas as formas de ondas.

3.3. Transmissão por Espalhamento Espectral (*Spread Spectrum*)

Com o uso da banda não-licenciada ISM, os dispositivos passaram a necessitar de uma tecnologia que preserve os vários sinais da interferência uns nos outros. Essa tecnologia é conhecida como *Spread Spectrum*.

A tecnologia *Spread Spectrum* usa uma técnica de codificação para transmissão digital que, ao invés de transmitir o sinal continuamente sobre uma banda de frequência estreita, várias partes são transmitidas separadamente através de um amplo espectro de frequência. O “novo” sinal propagado tem uma densidade menos de potência, mas a mesma potência total. Quando o receptor faz a operação inversa, o sinal é reconstituído com um sinal de banda estreita. O mais importante é que nenhum ruído de banda estreita contamina o sinal principal, que é recebido claramente [Santos 2005].

Um sinal é chamado *Spread Spectrum* quando a largura de banda é maior do que a requerida para enviar a informação, e a potência de pico do sinal é baixa.

Enquanto a transmissão em banda estreita apresenta um alto pico de potência, a transmissão em *Spread Spectrum* apresenta ampla faixa de frequência e um baixo pico de potência.

3.3.1. Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

A técnica *Frequency Hopping Spread Spectrum* foi o padrão rascunho do 802.11 em 1997 que mais foi empregado. A eletrônica usada para suportar a modulação *frequency hopping* era relativamente barata e não requeria alta potência. Inicialmente, a grande vantagem de se utilizar o FH era o grande número de redes coexistentes. Assim, era grande o *throughput* agregado para todas as redes em uma dada área. Com o advento do sistema *direct sequence* de alta taxa de transferência, a vantagem do *throughput* agregado ao FHSS deixou de ser interessante e atualmente não é mais empregada por redes do padrão 802.11 [Santos 2005].

O sistema FHSS modula o sinal de dado em um sinal portador de banda estreita, que salta de frequência em frequência, como uma função do tempo sobre uma ampla banda de frequência. O transmissor e o receptor saltam de uma frequência para outra, de acordo com uma sequência pseudo-aleatória. Essa sequência é uma lista de várias frequências que a portadora irá saltar em um intervalo de tempo específico (conhecido como *dwell time*), antes de repetir o padrão.

O transmissor usa a sequência de salto para selecionar a frequência de transmissão. A portadora irá permanecer em uma certa frequência por um tempo específico (*dwell time*) e, então, usará uma pequena quantidade de tempo (*hop time*) para saltar para a próxima frequência. Quando a lista de frequência tiver terminado, o transmissor repetirá essa sequência [Santos 2005].

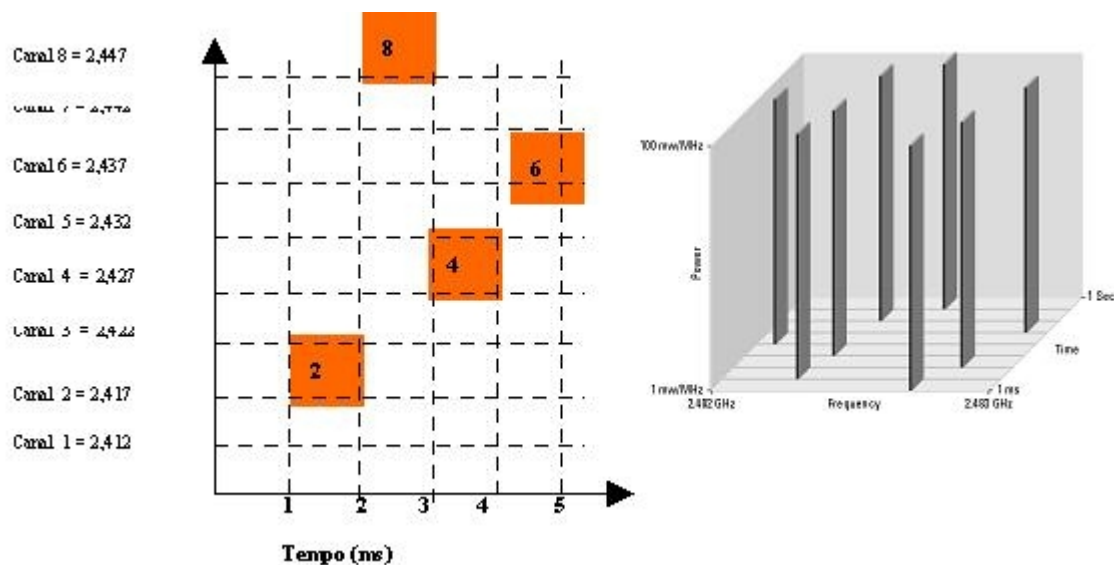


Figura 3.2 – Canais em FHSS – *Frequency Hopping Spread Spectrum*

Fonte [Santos 2005]

Note que na figura 3.2 o eixo y divide a frequência em *slots* e o eixo x mostra os intervalos de tempo. Assim, o tempo está dividido em uma série de *slots*. O padrão de salto controla como os *slots* serão usados. Na Figura 3.2 o padrão é 2, 8, 4, 6. Ambos, transmissor e receptor devem estar sincronizados, de tal forma que o receptor sempre estará ouvindo o transmissor. Durante cada *time slot*, as seqüências de *hopping* devem estar em *slots* de frequência diferentes [Santos 2005].

Toda comunicação de RF requer uma pequena porção do espectro total de RF para transmitir seu sinal. Esses segmentos individuais do espectro são chamados de canais. Para que tenhamos a possibilidade de transmitir múltiplos sinais simultaneamente, diferentes canais são designados para diferentes frequências [Santos 2005].

Os canais são nomeados pela sua frequência pela central, mas eles contêm uma gama de frequência acima e abaixo dessa frequência central. Isso é referenciado como largura de banda do canal.

Na prática, no sistema FHSS, a largura de banda disponível é dividida em um certo número de canais de banda estreita.

Se dois sistemas *frequency hopping* precisam ocupar uma mesma banda, eles podem ser configurados com seqüências de saltos diferentes. Assim, um sinal não irá interferir no outro. A Figura 3.3 vemos que um sistemas está na seqüência 2,8,4,6 e o outro na seqüência 6, 3, 7, 2.

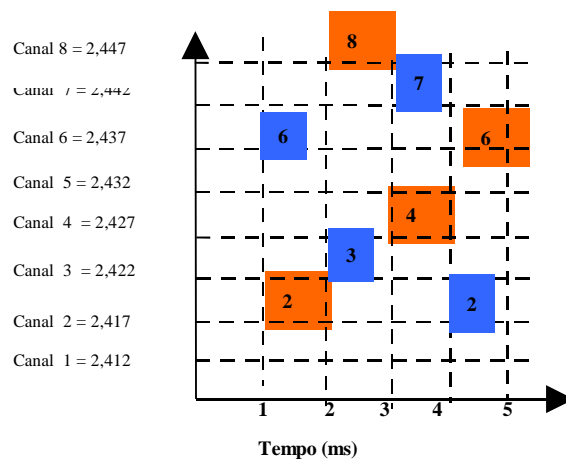


Figura 3.3 – Co-localização possibilita a transmissão de múltiplos sinais simultâneos.

Fonte [Santos 2005]

Como o FHSS é um método no qual transmissor e receptor saltam de uma frequência para outra ao longo de padrões acertados entre ambos, diz-se que o FHSS é resistente à interferência, mas não imune, de banda estreita. Se um sinal qualquer, interferir em um sinal FHSS (Figura 3.4), em uma dada frequência, somente aquela porção do sinal será perdida. O resto do sinal *Spread Spectrum* permanecerá intacto e o dado perdido poderá ser retransmitido[Santos 2005].

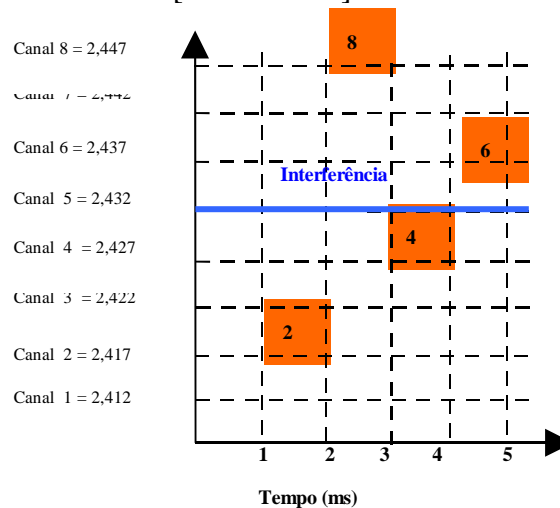


Figura 3.4 – Interferência com FHSS – *Frequency Hopping Spread Spectrum*

3.3.2. *Direct Sequency Spread Spectrum* (DSSS)

O método de modulação *Direct Sequency* é a técnica mais utilizada nos dias de hoje, adotada pelo padrão 802.11b e, também pelo padrão 802.11g, operando em 11 Mbps.

A transmissão de *Direct Sequency Spread Spectrum* – DSSS é uma técnica usada para transmitir um sinal sobre uma ampla banda de frequência.

O sinal de rádio de banda estreita original é processado e, através de uma transformação matemática, sua amplitude é “encontrada” ao longo de uma banda de frequência relativamente maior.

O correlator é um módulo dentro do *transceiver*, que verifica as mudanças do sinal de RF que ocorre em toda a banda de frequência. Ruídos tendem a ter uma forma de pulsos relativamente estreitos, que não produzem efeitos coerentes através da banda de frequência. Conseqüentemente, a função da correlação despreza o ruído ao longo da banda e o sinal original é recuperado. A correlação dá ao DSSS a grande vantagem de proteção contra interferências [Santos 2005].

Para um receptor de banda estreita, o DSSS parecerá um ruído de baixa potência, uma vez que a energia da RF é espalhada ao longo de uma ampla banda, e será rejeitado pela maioria dos receptores de banda estreita [Santos 2005].

O sistema *Direct Sequency Spread Spectrum* – DSSS, é assim chamado porque emprega uma seqüência de codificação de alta velocidade, através do qual a informação básica é enviada para modular a portadora. É gerado um padrão de bits redundantes para cada bit a ser transmitido. O sinal com a informação (símbolo) a ser transmitida é multiplicado por um código digital de alta taxa, o qual espalha a largura de banda antes da transmissão [Santos 2005].

Os bits de código são chamados de *chips code* (ou *backer code*). Quanto maior o número de *chip*, maior será a probabilidade de que o dado seja recuperado. Mesmo se um ou mais bits no *chip* for perdido durante a transmissão, técnicas estatísticas embutidas no rádio poderão recuperar o dado original sem a necessidade do dado original sem a necessidade de retransmissão. Normalmente, de 11 a 20 bits são usados para o *chip*. A seqüência de *chip code* deve ter uma velocidade muito maior que o dado original [Santos 2005].

Devido à multiplicação do símbolo pelo *backer code*, a “taxa de mudança” é aumentada por um fator de 11. Isso significa que a taxa de um ciclo é aumentada de 1 MHz para 11 MHz.

Em termos de *spectrum*, isso significa que, após a modulação de RF, o sinal original de 2 MHz é espalhado por uma largura de banda de 22 MHz.

Essa técnica requer mais potência para transmitir com o mesmo *throughput* que o sistema FHSS. Assim, uma *interface* 2 Mbps em *Direct Sequency* irá drenar mais energia da bateria do que um rádio FHSS transmitindo na mesma velocidade de 2Mbps. A principal vantagem da transmissão *Direct Sequency* está no fato de que ela está mais apta a altas taxas de transferência do que o FHSS [Santos 2005].

Exemplificando a transmissão em DSSS, caso o sistema tenha de transmitir uma seqüência de bits, por exemplo, 1001, basta que o sistema tenha um circuito que irá substituir cada bit a ser transmitido por uma seqüência como mostrada abaixo:

- Para bit 1 : 00110011011
- Para bit 0 : 11001100100

Assim, a informação a ser transmitida será [Santos 2005]:

00110011011	11001100100	11001100100	00110011011
1	0	0	1

Onde cada seqüência representa um bit do sinal base a ser transmitido.

O sinal original pode ser recuperado através da demodulação (embutida no receptor) multiplicado por uma réplica sincronizada do mesmo código e, então, passa pelo processo de “*de-spread*”, quando é recuperada sua forma original.

Diferente do sistema FHSS, que usa seqüência de saltos para definir os canais, no sistema *Direct Sequency* é possível termos 14 canais na banda de 2,4 GHz. Cada canal tem uma banda contínua de 22 MHz de largura, afastado 5 MHz do próximo canal. Assim, o canal 1 inicia em 2,401 GHz e termina em 2,423, o canal 2 inicia em 2,406 GHz e termina em 2,428 GHz, e assim sucessivamente [Santos 2005].

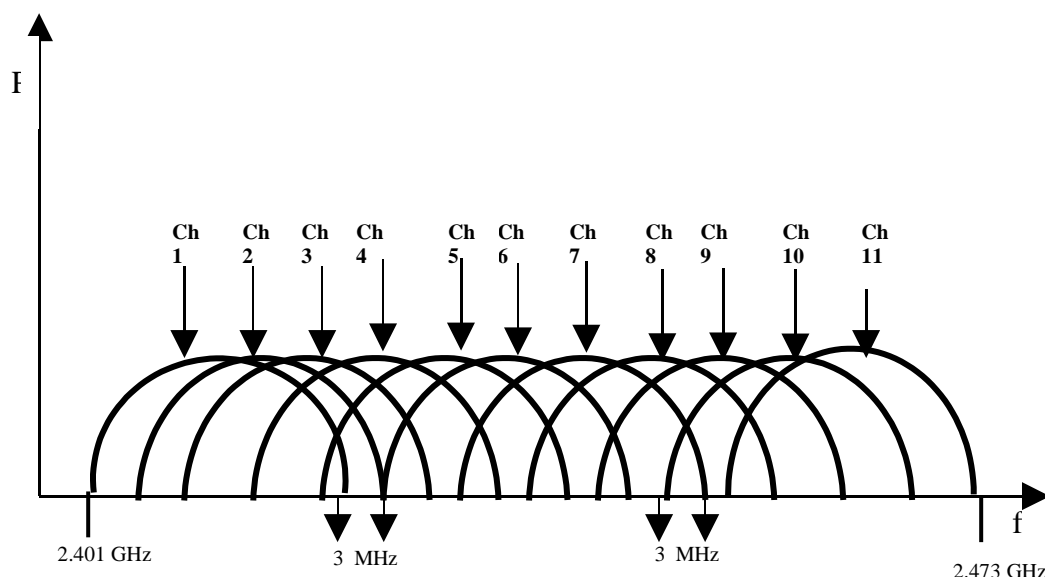


Figura 3.5 – Alocação de Canais em DSSS – *Direct Sequency Spread Spectrum*

Fonte [Santos 2005]

O IEEE 802.11b especifica 11 canais (Figura 3.5) não-licenciados para os Estados Unidos. Podemos verificar que os canais 1 e 2 são sobrepostos por uma quantidade significativa. A sobreposição de canais em uma mesma área de cobertura irá provocar interferência entre os sinais. Sistemas DSSS com canais sobrepostos não poderão estar em uma mesma área de cobertura, pois causarão degradação do sinal de redução da vazão. Como vemos na Figura 3.6, apenas os canais 1 e 2 afastados por cinco números não se sobrepõem (canais 1, 6 e 11) [Santos 2005].

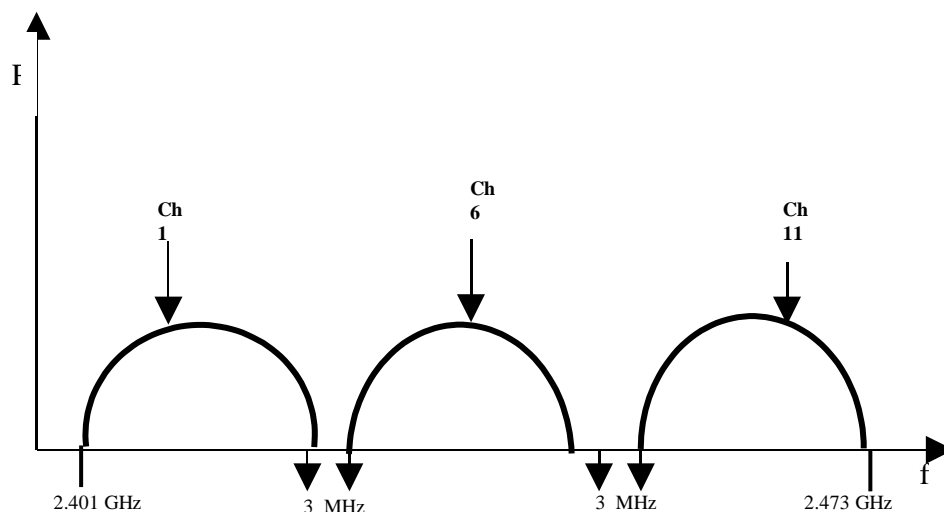


Figura 4.6 - Canais que não se sobrepõem em DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*

Fonte [Santos 2005]

Canais que não se sobrepõem são a melhor escolha quando planejamos o emprego de dois ou mais pontos de acessos adjacentes. Isso irá minimizar a interferência entre cada um dos pontos de acesso os dispositivos sem fio associados a esses. Para emprego de dois pontos de acesso, com o mínimo de intervenção podem ser usados quaisquer pares de canais que estejam separados por 5 ou mais canais no sistema DSSS [Santos 2005].

Quaisquer que sejam os canais que você utilize, assegure-se de verificar que seu vizinho não tenha seu próprio sistema 802.11b que irá afetar a maneira como você irá designar canais para sua rede. Para evitar esse tipo de problema procure um sistema de rede sem fio local que possua a capacidade de designação automática de canais, o qual manterá o funcionamento do sistema com o mínimo de intervenção.

3.3.3. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*

Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM, é uma técnica de comunicação que usa a largura de banda de um canal de frequência, quebrando-a em vários subcanais igualmente espaçados. Cada subcanal é uma subportadora usada para carregar uma porção da informação. Todos os subcanais “lentos” são então multiplexados em um canal combinado “rápido”. Cada subportadora é independente com qualquer outra subportadora [Santos 2005].

O OFDM é uma combinação de modulação e esquemas de múltiplo acesso que segmentam um canal de comunicação, de tal forma que muitos usuários podem compartilhá-lo.

A Multiplexação geralmente refere-se a sinais independentes produzidos por fontes diferentes, compartilhando banda com outros canais. Em OFDM, a multiplexação

é também aplicada a sinais independentes, mas esses sinais são uma sub-série do sinal principal. O sinal é inicialmente dividido em canais independentes, modulado pelo dado e então re-multiplexado para criar a portadora OFDM [Santos 2005].

O OFDM aumenta a vazão usando várias subportadoras em paralelo e multiplexando os dados sobre essa série de subportadoras. Uma analogia com uma carga de transportadora feita por [Santos 2005] descreve como entender essa técnica: pense numa carga que pode viajar em um único caminhão, ou ser dividida em vários caminhões menores. Ambos os métodos transportarão exatamente a mesma carga. Porém, caso aconteça algum problema com o caminhão maior, toda carga sofrerá com esse problema. Já no caso de vários caminhões menores, a chance de ocorrer um problema com todos os pequenos caminhões na mesma viagem é muito pequena. Dessa forma, pelo menos parte da carga chegará ao destino sem problemas [Santos 2005].

Logo esses pequenos caminhões como vistos como sinais, são chamados de sub-portadoras independentes que podem então serem multiplexadas pela técnica OFDM.

4.1. Padrões e Tecnologias de Comunicação

O desenvolvimento da comunicação sem fio remonta do início do século 20. Porém, a comunicação de dados sem fio tem uma história mais recente.

Em 1985, o FCC – *Federal Communication Commission* – órgão americano regulamentador do uso da radiofrequência, tornou possível o desenvolvimento de componentes baseados em rádios LAN – *Local Area Network*, através da autorização do uso público da banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), que opera entre 902 MHz e 5,85 GHz [Santos 2005].

Para atender as diferentes demandas de comunicação de dados sem fio, foram propostos padrões que agregam características técnicas bem peculiares a cada tipo de rede sem fio.

A padronização das redes sem fio para níveis de camada de enlace e física foi dada até então pelo IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers* no qual estabelece três tipos de padrão de rede sem fio onde cada um está constituído por um grupo de trabalho. Dentre esses temos:

- **Grupo de Trabalho IEEE 802.11** [Crow 1997]: Define padrões de rede sem fio local (WLAN), as quais buscam oferecer a usuários móveis experiências de uso semelhante às redes cabeadas. Dependendo das condições de transmissão de um ambiente uma WLAN possui enlaces que variam de 100 a 500 m. O atual padrão usa somente faixas de frequências não licenciadas e em sua especificação original [Crow 1997] provê taxas de transferência de dados de 1 a 2 Mbps. A extensão 802.11b também difundida como *Wi-Fi (Wireless-Fidelity)* oferece taxas adicionais de 5.5 a 11Mbps com faixas de frequência situadas em torno de 2,4 Ghz. Além dessa extensão temos outras duas denominadas por 802.11g, atualmente tão popular quanto o 802.11b, que oferece taxas de até 54 Mbps, e a extensão 802.11a na qual suporta taxas que variam de 6 até 54 Mbps, mas que não tornou-se muito popular

por estar situada na faixa de 5GHz, fazendo com que dispositivos consumam uma maior quantidade de energia.

Tabela 4.1 – Comparação entre os padrões

Padrão IEEE	802.11b	802.11a	802.11g
Velocidade	1,2,5,5 e 11 Mbps	6,9,12,18,24,36,48 e 54 Mbps	6,9,12,18,24,36,48 e 54 Mbps
Frequência	2,4 GHz	5,8 GHz	2,4 GHz
Tecnologia	DSSS	OFDM	DSSS - OFDM
Compatibilidade	802.11g	802.11a	802.11b

- **Grupo de Trabalho IEEE 802.15** [Shaw 2003, IEEE 802.11 2003]: O IEEE 802.15 *Working Group* é uma parte do comitê de padrões do IEEE 802 que desenvolve consenso de padrões de rede sem fio de área pessoal (WPAN- *Wireless Personal Networks*) de curtas distâncias. Esse grupo de trabalho está subdividido em outros 3 grupos, TG1 (*Task Group 1*), TG2 (*Task Group 2*), e TG3 (*Task Group 3*), responsáveis por diferentes tarefas. O TG1 [O IEEE 802.15 2004], foi responsável pelas especificações da camada MAC e camada Física do primeiro padrão definido por IEEE 802.15.1 para dispositivos de rede WPAN e está baseado em grande parte na especificação para redes sem fio pessoal denominada pelo grupo (SIG) *Special Industry Group* BLUETOOTHTM. O padrão IEEE 802.15.1 é completamente compatível com a especificação *Bluetooth* v1.1 que define entre outras especificações para o comunicação de rádio sem fio entre computadores *notebook*, assistentes pessoais digital (PDAs), telefones celulares e outros portáteis além de conectividade com a Internet. Já o TG2 é responsável por desenvolver padrões recomendáveis para facilitar o coexistência de WPANs e WLANs [IEEE 802.15 2003], e por fim o TG3, responsável por esboçar e publicar novos padrões WPAN que suportem altas taxas de transferência de dados (20Mbit/s ou maiores) para soluções de baixo custo dirigida a aplicações multimídia para consumidores de dispositivos portáteis.
- **Grupo de Trabalho IEEE 802.16** [Eklung 2002]: O padrão IEEE 802.16 finalizado em outubro de 2001 e publicado em abril de 2002, define a especificação de interface para redes sem fio de área metropolitana WirelessMANTM. A Conclusão desse padrão anunciou a entrada do acesso de banda larga sem fio, como a mais nova ferramenta na tentativa de ligar casas e empresas ao núcleo de redes de telecomunicações no mundo inteiro[Eklung 2002]. Esse padrão define acesso à rede através de antenas externas comunicando-se com uma estação base de rádio central. O interesse inicial do grupo de trabalho IEEE 802.16 foi na faixa de transmissão de 10 – 66 Ghz. Logo surgiu um projeto de ementa de 2 – 11 Ghz que conduziu a especificação do IEEE 802.16a aprovada em março de 2000. A especificação 802.16a primariamente envolve o desenvolvimento de uma nova especificação da camada física com alto suporte a sub camada MAC. Além disso, esse grupo de trabalho completou o padrão 802.16.2 que recomenda as práticas para coexistência de sistemas fixo de acesso sem fio banda larga dirigido a coexistência de 10-66 Ghz e

expandindo essa recomendação incluindo licenças de banda de 2 -11 Ghz, através da ementa 802.16.2a [Eklung 2002].

Tabela 4.2 – Parâmetros básicos dos padrões de rede sem fio

Parâmetros	802.11 (Wi-Fi)	802.15 (Bluetooth)	802.16a (WiMAX)
Frequência da banda	2.4GHz	2.4GHz	2 - 66GHz
Alcance / cobertura	Até 500 metros	~10 metros	~31 milhas
Taxa de transferência de dados	11 Mbps - 55 Mbps	20Kbps - 55 Mbps	70 Mbps
Número de usuários	Dezenas	Dezenas	Milhares

4.2. Sub-Camada MAC 802.11

Como visto na seção 3, em redes sem fio, os pacotes são transmitidos através de canais de frequência de rádio ou infravermelho.

Um problema típico das redes baseadas em sinal de rádio operando nas bandas e frequências mencionadas na seção 3 é o chamado *desvanecimento de Rayleigh*, que pode ser explicado como segue [Stemmer 2001]. Parte das ondas de rádio são refletidas quando encontram objetos sólidos. Em decorrência desta reflexão, várias cópias de uma mensagem de rádio podem estar em propagação no meio e chegar a estação receptora em instantes de tempo diferentes. Quando as várias cópias do sinal chegam ao receptor após percorrerem distâncias diferentes, elas se somam aleatoriamente, podendo resultar em um sinal muito enfraquecido ou mesmo nulo (se a diferença no comprimento dos caminhos for um múltiplo do comprimento de onda da portadora do sinal, os vários componentes podem cancelar-se mutuamente). O resultado disto é que, no mesmo ambiente, podemos ter ótima recepção em alguns locais e péssima recepção em outros locais a apenas poucos metros de distância. Desta forma, a qualidade da recepção varia muito a medida que uma estação se move no ambiente.

Como várias estações compartilham o mesmo meio, caracterizando uma rede de difusão, é necessário utilizar um método de acesso ao meio que discipline este compartilhamento. Uma primeira abordagem seria utilizar o CSMA, isto é, cada estação escuta o meio e, se estiver livre, envia seu quadro. Isto, no entanto, não é tão simples em redes sem fio em decorrência do alcance do sinal de rádio, como veremos a seguir.

Suponha a situação ilustrada na Figura 4.1, onde quatro estações sem fio estão representadas. Suponha que um sinal oriundo de A pode alcançar B, mas não alcança C em D. Um sinal oriundo de C alcança B e D, mas não A.

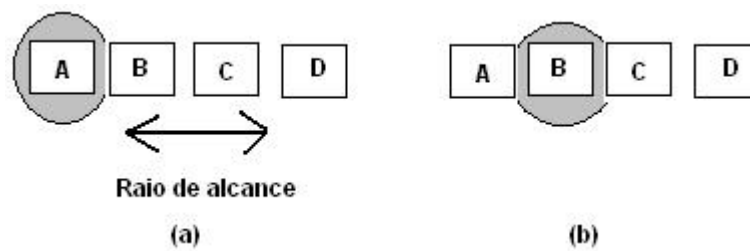


Figura 4.1 – (a) estação A transmitindo; (b) estação B transmitindo

Fonte: [Stemmer 2001]

Suponha agora que A está enviando dados para B. Se C escutar o meio, não irá detectar que A está enviando, pois A está fora do alcance. Logo, C pode tentar enviar um quadro para B ou D, mas como B está no alcance de C, o quadro enviado por A irá colidir com quadro enviado por C a nível do B. O fato de uma estação não poder detectar que o meio não está livre porque o concorrente está fora de alcance é chamada de “problema da estação escondida” (*hidden station problem*). Por outro lado, se B estiver transmitindo um quadro para A, C irá detectar a transmissão (pois B está no seu alcance) e falsamente concluir que não pode transmitir um quadro para D neste momento. No entanto, como os receptores de A e D não estão na área de interferência, uma da outra, nada impede que C envie dados para D enquanto B envia para A; esta situação é conhecida como o “problema da estação exposta” (*exposed station problem*). Em resumo, o que realmente interessa a uma estação pretendendo enviar um quadro em redes sem fio é saber se há ou não atividade na área do receptor [Stemmer 2001].

Para resolver os problemas acima, a norma IEEE 802.11 utiliza em sua subcamada MAC um protocolo de acesso ao meio conhecido como MACA (*Multiple Access with Collision Avoidance*). A idéia básica por trás deste protocolo é fazer com que o emissor de um quadro estimule o receptor a emitir um quadro pequeno que possa ser detectado pelos seus vizinhos antes de mandar os dados em si [Stemmer 2001].

Imagine agora que B quer enviar um quadro para C. Neste método de acesso, a estação B envia para C primeiro um quadro especial denominado RTS (*Request to Send*), contendo o tamanho do quadro de dados que deseja enviar a seguir. C deve responder com um quadro especial chamado CTS (*Clear to Send*), contendo a mesma informação de tamanho. B inicia a transmissão quando recebe o quadro CTS de C, conforme ilustrado na Figura 4.2. Qualquer estação que captar o quadro RTS estará forçosamente próxima de B e deve se manter em silêncio por tempo suficiente para que B receba o CTS. Qualquer estação que captar o CTS estará forçosamente próxima a C e deve também se manter em silêncio por tempo suficiente para que C receba o quadro de dados que B vai enviar a seguir, cujo tamanho pode ser avaliado examinando o quadro CTS. Vejamos como se comportam as demais estações: A escuta o RTS de B mas não o CTS de C, de modo que, desde que não queira mandar dados para B, A pode enviar seus quadros a qualquer outra estação em seu raio de alcance; Por outro lado, D escuta o CTS de C, mas não escuta o RTS de B, o que indica que está próxima a uma estação que vai receber um quadro de dados logo a seguir e portanto deve se manter em silêncio até que este seja recebido [Stemmer 2001].

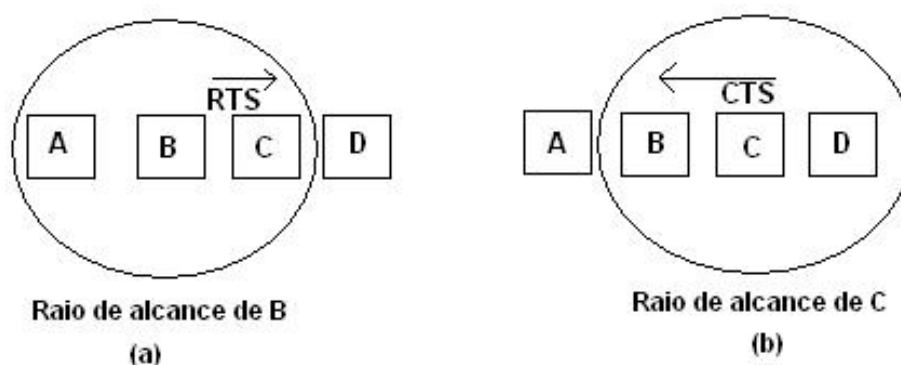


Figura 4.2 – O protocolo MACA

Fonte: [Stemmer 2001]

A pesar destas precauções, colisões podem ocorrer. Por exemplo, A e C podem enviar quadros RTS para B ao mesmo tempo. Estes irão colidir e ser perdidos. No caso de colisão, o emissor do RTS espera um certo tempo pelo CTS e, se não receber nada, tenta novamente mais tarde [Stemmer 2001].

A função de coordenação de acesso ao meio é quem determina qual e quando uma estação pertencente ao BSS (*Basic Service Set*) possui permissão para enviar e receber dados utilizando o meio sem fio. Nesta seção serão apresentados alguns dos principais esquemas baseados em diferenciação de serviços para funções de coordenação de acesso ao meio utilizadas nas redes de área local sem fio 802.11.

O IEEE 802.11 é o padrão recomendado para redes de área local sem fio (WLAN) infra-estruturadas e redes sem infra-estrutura [Wang 2004]. Inicialmente esse padrão utilizava duas funções de controle de acesso ao meio definidas na especificação 802.11b por função de coordenação distribuída (DCF- *Distributed Coordination Function*), e a função de coordenação por ponto (PCF- *Point Coordination Function*). Contudo o IEEE 802.11 pode prover somente serviços de melhor esforço (*Best Effort*) e não oferece suporte a qualidade de serviço, nem mesmo possui um mecanismo que garanta atraso de pacotes e *jitter* para suporte de tempo limitado a serviços multimídia [Wang 2004]. A fim de atender requisitos de qualidade de serviço (QoS – *Quality of Service*) para tráfego de tempo real, o Grupo de Trabalho E do IEEE *Work Group* definiu uma nova especificação oferecendo uma função de coordenação capaz de efetuar diferenciação de serviço para as redes WLAN IEEE 802.11 denominada por IEEE 802.11e, que propõe uma otimização na função de coordenação de acesso ao meio do padrão 802.11b denominada por EDCF (*Enhanced Distributed Coordination Function*). Além dessa, muitas outras funções tem sido propostas pela comunidade científica. Para melhor entendê-las estaremos descrevendo-as de modo mais detalhado nas subseções abaixo.

O DCF (*Distributed Coordination Function*), é o mecanismo de acesso básico do padrão IEEE 802.11. Ele usa o algoritmo CSMA/CA – *Carrier Sense Multiple Access* para mediar o acesso ao meio compartilhado [Lindgren 2003].

4.2.1. Função de Coordenação Distribuída (DCF – *Distributed Coordination Function*)

Antes de um quadro de dados ser encaminhado, a estação ouve o meio. Se esse estiver ocioso por pelo menos um espaço inter-quadros DCF (DIFs – *Distributed Interframe Space*), o quadro é transmitido. Caso contrario, um tempo *backoff* B é escolhido aleatoriamente no intervalo $[0, CW]$, onde CW é a chamada janela de contenção (*Contention Window*). Após o meio ter sido detectado como ocioso por pelo menos um DIFs o contador de *backoff* é incrementado em 1 para cada *time slot* em que o meio permanecer ocioso. Se o meio se tornar ocupado durante o processo *backoff* o contador de *backoff* é pausado, e é reiniciado quando o meio novamente permanecer ocioso por um DIFs. Quando o contador *backoff* alcançar zero, o quadro é transmitido.

Sobre a detecção de uma colisão (na qual é detectado pela ausência de um quadro *Ack* para a estação do quadro de dados emitido) a janela de contenção é duplicada de acordo com (1):

$$CW_i = 2^{k+i-1} - 1 \quad (1)$$

onde i é o número de tentativas, incluindo a tentativa atual, para transmitir o quadro que esta aguardando o momento de ser transmitido, k é uma constante definindo o tamanho mínimo da janela de contenção, $CW_{\min} = 2^k - 1$. Um novo tempo de *backoff* é então escolhido e o procedimento de *backoff* reinicia novamente. Esse mecanismo de *backoff* é também usado após uma transmissão bem sucedida antes de enviar o próximo quadro, onde após tal transmissão a janela de contenção é ajustada para CW_{\min} .

4.2.2. Função de Coordenação por Ponto (PCF – *Point Coordination Function*)

A função de coordenação por ponto (PCF - *Point Coordination Function*) é um mecanismo de acesso ao meio centralizado baseado em eleição na qual requer a presença de uma estação base que atua como ponto coordenador (PC). Se a função PCF é suportada, tanto as funções PCF e DCF coexistem. Nesse caso, o tempo é dividido dentro de super quadros como mostra a Figura 4.3 [Lindgren 2003].

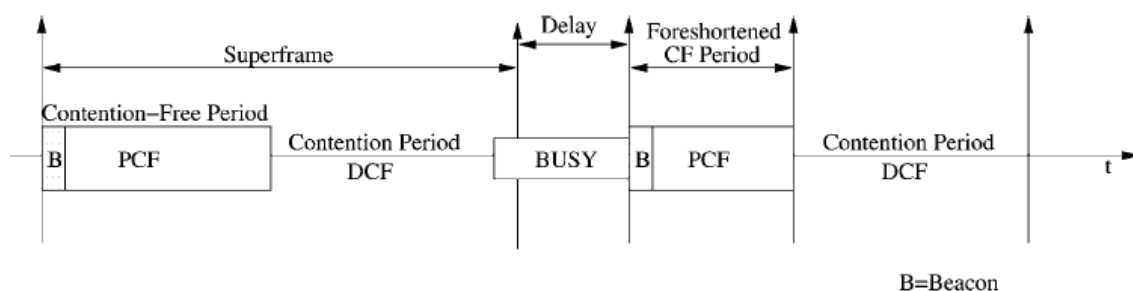


Figura 4.3 – Super quadro do IEEE 802.11

Fonte [Lindgren 2003]

Cada super quadro, consiste de um período de contenção onde o DCF é usado, e um período livre de contenção (CFP – *Contention Frame Period*) onde o PCF é usado. O CFP é iniciado por um quadro especial (um *beacon*) enviado por uma estação base. Já que o *beacon* é enviado usando o método de acesso obrigatório DCF, a estação base tem que disputar pelo meio, e conseqüentemente o CFP pode ter que ser encurtado.

O PC (Ponto Central) mantém uma lista de estações móveis que encaminham pedidos para serem escolhidas a enviar dados. Durante o CFP, ele envia os quadros eleitos/escolhidos para estações quando elas estão livres para acessar o meio. Sobre a recepção de um quadro eleito, a estação envia um pacote de dados, se ela possui algum pacote enfileirado. Para garantir que estações DCF não são capazes de interromper esse modo de operação, o intervalo inter-quadros (IFS – *Interframe Space*) entre quadros de dados PCF são menores que o inter-quadros DIFS usual. Esse espaço é chamado PCF *interframe space* (PIFS). Para evitar inércia das estações que não estão autorizadas a enviar durante o CFP, deve sempre haver espaço para ao menos um quadro de tamanho máximo para enviar durante um período de contenção.

4.2.3. IEEE 802.11e – DCF Otimizado

Como já mencionado anteriormente neste trabalho, o grupo de tarefa *E* do grupo de trabalho IEEE 802.11 propôs uma extensão para o padrão IEEE 802.11, chamado IEEE 802.11e. O objetivo dessa especificação é de melhorar o mecanismo de acesso ao meio do IEEE 802.11 fornecendo um esquema de acesso distribuído que ofereça diferenciação de serviço. Para isso surgiu o EDCF – *Enhanced Distributed Coordination Function* [Benveniste 2001], que é uma extensão do mecanismo de acesso básico DCF, do padrão original. Porém, no EDCF o tráfego pode ser classificado dentro de oito diferentes classes de tráfego, através da modificação da janela de contenção mínima (CW_{min}) e do espaço inter-quadros (IFS – *Interframe Spaces*) usado para transmissão de dados. A escolha de um padrão de janela de contenção menor para uma estação fará com que as estações gerem menores intervalos de *backoff*, dessa forma ganhando prioridade sobre uma estação com um CW_{min} maior na qual gera longos intervalos de *backoff*.

Para ser capaz de promover diferenciação entre estações usando a mesma janela de contenção, diferentes espaços inter quadros (IFS) são usados para diferentes classes de tráfego. Em vez de esperar um DIFS antes de tentar acessar o meio, ou iniciar a decrementar o contador *backoff* como na função DCF padrão, um espaço interquadro chamado AIFS (AIFS – *Arbitration Interframe Space*) é usado. Cada classe de tráfego usa seu próprio AIFS no qual é igual a um DIFS mais um número de *time slot*. (possivelmente zero). Isso significa que um tráfego usando um AIFS extenso (muitos *time slots* extra) terá menor prioridade que o trafego usando AIFS pequenos, já que aguardarão por mais tempo antes de tentar acessar o meio ou iniciar a decrementar o contador *backoff*.

No IEEE 802.11e há também a possibilidade para uso de *packet bursting* (rajada de pacotes) para otimizar o desempenho, e alcançar melhor utilização do meio. O conceito de *packet bursting*, significa que uma vez uma estação tenha obtido o direito de acessar o meio através da contenção usual, a ela pode ser permitido enviar mais do que um quadro sem ter que disputar pelo meio novamente. Assim, após obter acesso ao meio

a estação é autorizada a enviar quantos quadros ela desejar contanto que o tempo de acesso total não exceda um certo limite denominado por (TxOpLimit). Para garantir que nenhuma outra estação interrompa o *packet burst*, o espaço inter quadros usado entre a recepção de um *Ack*, e a transmissão do próximo quadro de dados no *packet burst* é um SIFS (*Short Interframe space*), no qual é o mesmo IFS que é usado entre os quadros de dados e *Acks*. Se ocorrer uma colisão (quadro de *ack* não é recebido), o *packet burst* é finalizado. Já que o *packet bursting* pode aumentar o *jitter*, é recomendado que TxOpLimit escolhido não seja mais longo que o tempo requerido para a transmissão de um quadro de dados de tamanho máximo.

5.1 Aplicações de Redes Sem Fio: Estudos de Caso e Demonstrações Práticas

Nesta etapa demonstraremos dois exemplos práticos de redes sem fio *ad-hoc* sendo um deles mais específico para redes de sensores sem fio.

5.1.1. Configurando uma rede local sem fio em modo *ad-hoc*

Nessa sub-seção será demonstrado que, assim como é possível interligar dois computadores diretamente usando duas placas de redes *Ethernet* e um cabo *cross-over*, sem usar um *hub*, também é possível criar uma rede sem fio entre dois ou mais computadores sem usar um ponto de acesso. Para isso basta configurar ambas as placas para operar em modo *ad-hoc*. Nesse tipo de configuração de rede sem fio a velocidade de transmissão é a mesma, mas o alcance do sinal é bem menor, já que os transmissores e interfaces das antenas não possuem a mesma potência do ponto de acesso.

Um exemplo comum de uso para redes *ad-hoc* é quando você tem em mãos dois *notebooks* com placas de comunicação sem fio. Um deles pode ser ligado ao modem ADSL (com fio) para acessar a Internet e compartilhar a conexão com o segundo usando a placa de comunicação sem fio conforme ilustra Figura 5.1.

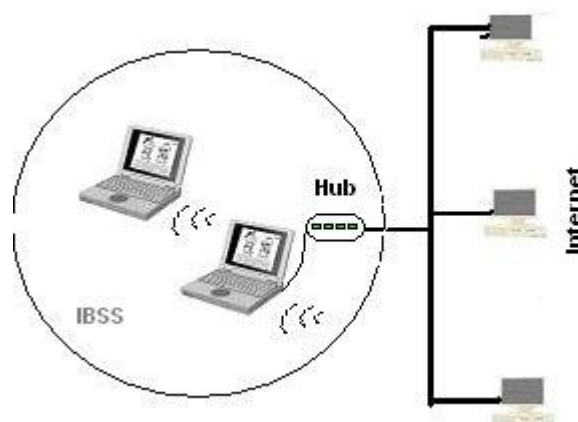


Figura 5.1 – Exemplo de rede *ad-hoc* compartilhando uma conexão de Internet

Para melhor entender como obter a configuração de uma rede sem fio local em modo *ad-hoc* são descritos abaixo uma seqüência de passos utilizando como exemplo o software disponível para placas de redes sem fio do fabricante *Encore*.

O primeiro passo a ser seguido instalar a placa de rede sem fio e executar o *software* de instalação da mesma.

Após instalar a placa de rede sem fio no computador o usuário pode iniciar as configurações que irão prover todas funcionalidades oferecidas pelo *Wireless Monitor Utility* que inclui sete passos de configuração: *status*, *configuration*, *advanced*, *network*, *statistic* e *about*. Conforme tratado a seguir.

Status :

A aba *status* mostra o atual modo do da placa de rede sem fio. Ele pode mostrar onde o dispositivo está conectado, o modo da rede (*ad-hoc* ou infra-estruturada), o canal e a taxa de transmissão e o modo de criptografia usado (veja Figura 5.2).

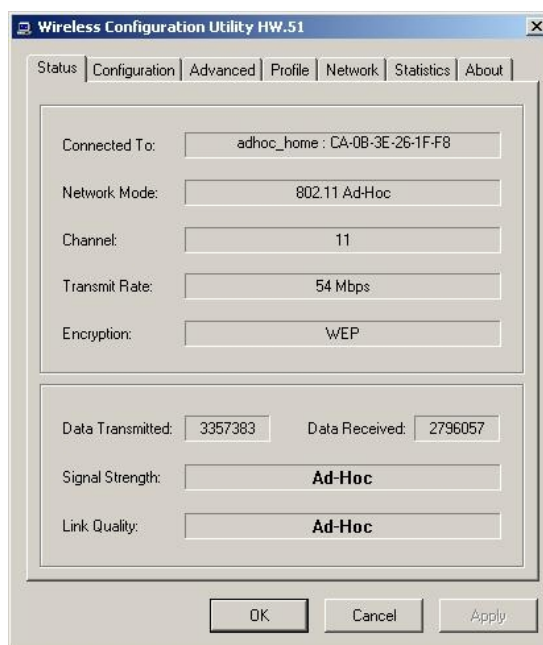


Figura 5.2 – Características que demonstram a atual da configuração do adaptador de rede

Configuration:

Nessa aba de configuração estão as funções que ajudarão na configuração e segurança da rede (Figura 5.3).

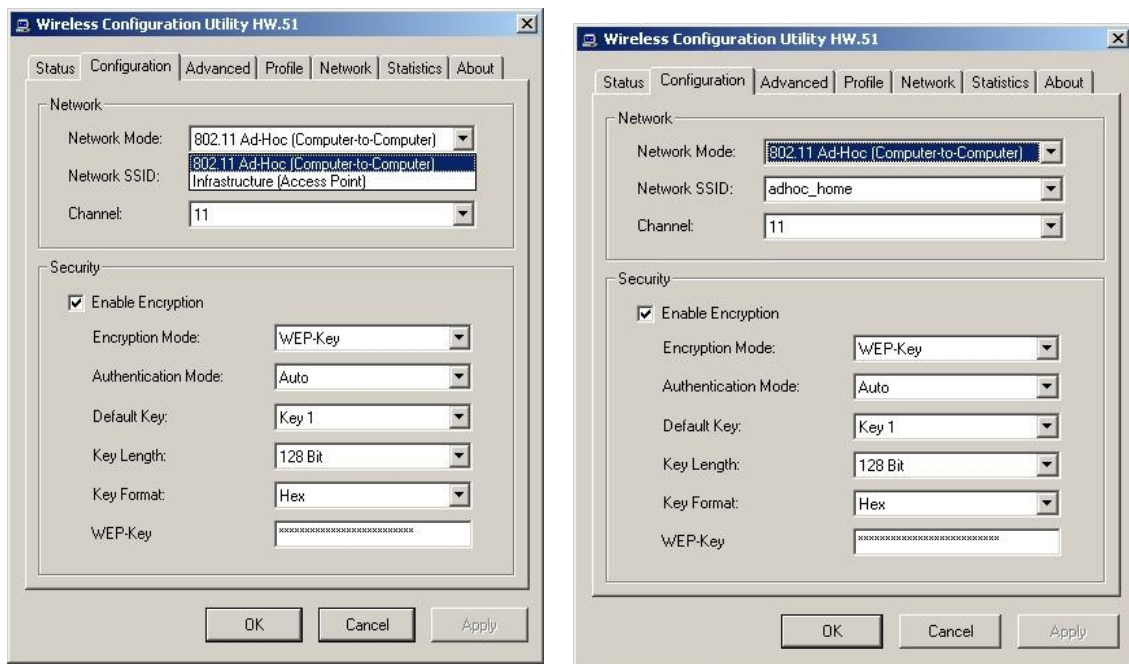


Figura 5.3 – Configurações dos aspectos relacionados à rede e a segurança da rede.

- **Network:** nessa etapa definimos as configurações do modo da rede, o SSID, e o canal de transmissão.
 - **Network Mode:** Se você quiser se conectar a um ponto de acesso, deverá então escolher o modo *Infraestrutura*, caso contrario se você tem mais de uma estação sem fio e deseja apenas conecta-las de modo independente de um ponto central, deve escolher o modo *Ad-Hoc*;
 - **Network SSID:** o SSID diferencia o nome do grupo de rede local sem fio um do outro; assim todos pontos de acessos e todos dispositivos ao qual se deseja conectar em um grupo de rede local específico devem usar o mesmo SSID, caso contrario esse não terá permissão para fazer parte do grupo de dispositivos de tal rede;
 - **Channel:** aqui se encontram as opções de canais de transmissão definidos para uso de comunicação de um rede sem fio. O numero do canal pode ser ajustado somente sobre o modo de operação *ad-hoc*. No modo intra-estruturado o adaptador de rede irá automaticamente detectar o número do canal do ponto de acesso.

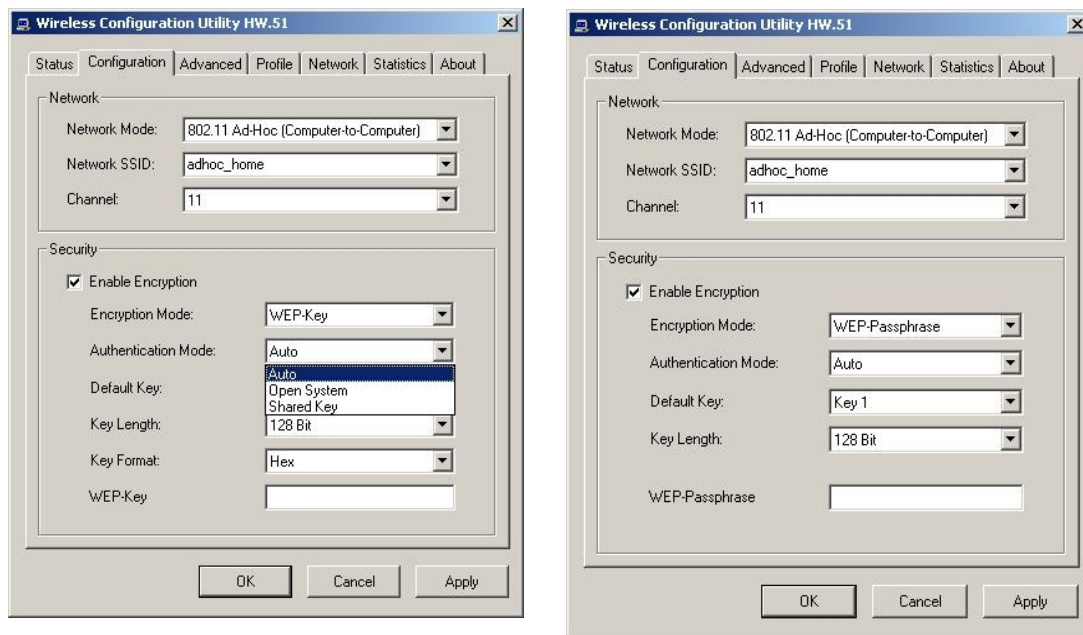


Figura 5.4 – Configuração da chave de criptografia usando o WEP (Wired Equivalent Privacy).

- **Security:** nessa etapa são ajustados os parâmetros de criptografia da rede. Essa função é usada com o intuito de proteger a comunicação sem fio de escutas clandestinas de outros dispositivos que não pertencem à rede.

- **Encryption Mode :** Para esse adaptador existe dois tipos de *encryption*, o WEP (Wired Equivalent Privacy) encryption and WPA-PSK.

Clique sobre o *Enable Encryption* para ativar a segurança do adaptador de rede.

- **WEP-Key:** WEP (Wired Equivalent Privacy) confia em uma chave secreta que é compartilhada entre as estações moveis e a estação base (ponto de acesso). WEP-Passphrase: o Passphrase é o local onde você deverá criar o grupo de chave WEP (Figura 5.4);
- **Authentication Mode:** Open System: com a mesma chave WEP determinada a ser usada entre as estações, a estação não precisa ser autenticada nesse modo de autenticação;
- **Shared Key:** com a mesma chave WEP utilizada entre estações nesse modo de autenticação o algoritmo WEP usará pacotes com criptografia transferindo um teste de desafio no qual será do conhecimento de ambos as estações participantes. Com o intuito de escolher qual o algoritmo de autenticação será usado. Nesse caso é preciso primeiro saber previamente se as estações participantes oferecem suporte a esse algoritmo. É recomendado selecionar a opção “Auto” se você não estiver familiarizado com as configurações;

- **Default Key (Key 1 ~ Key 4):** aqui você pode escolher a chave entre 1 e 4 para ser encriptografada pelas estações na qual você deseja se conectar;
- **Key Length, Key Format and WEP Key:** se você selecionar 64bit no formato Hexadecimal, você deve digitar 10 valores seguindo a faixa (0~F, hexadecimal), ou se escolher 64bit no formato ASCII, você deve digitar 5 valores seguindo a faixa (0~9, A~Z e a-z alfanumérica). Agora, se você selecionar 128bit no formato Hex, você então deverá digitar 13 valores seguindo a faixa (0~9, A~Z, e a~z alfanumérica).

Após todas as configurações dessa etapa terem sido concluídas corretamente, clique sobre o botão *apply* e passe para a próxima fase avançada.

- **WPA-PSK:** o WPA-PSK (*Wi-Fi Protected Access pre-shared key*) é uma versão simples que não suporta o 802.1x e requer um *RADIUS Server* para autenticação mútua. Da mesma forma que no WEP a *passphrase* deve ser a mesma para cada computador que estiver conectado na rede (exemplo, Figura 5.5).

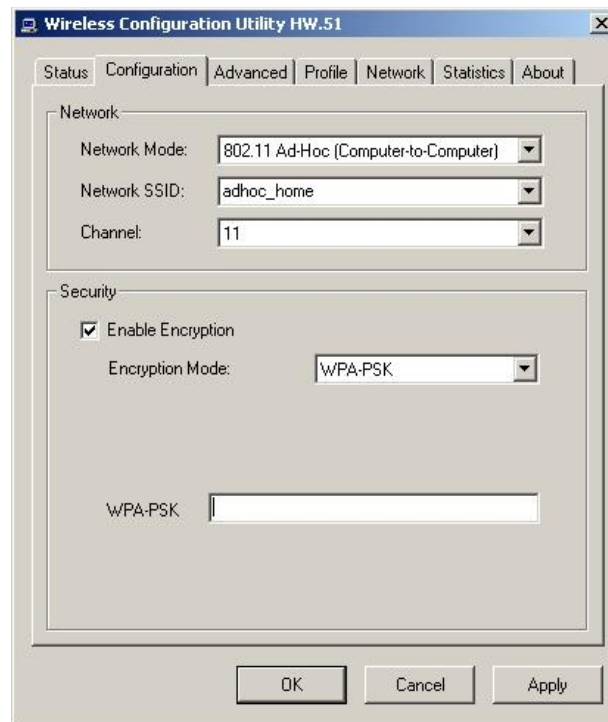


Figura 5.5 – Exemplo de configuração para segurança de rede usando WPA-PSK

Advanced :

As configurações avançadas ajudam você a controlar o adaptador de rede sem fio e ajustá-lo como dispositivo de rede sem fio para um ambiente específico.

Dentre os ajustes encontrados para essa etapa temos:

- **Transmission mode:** você pode escolher um dos padrões de redes locais sem fio IEEE 802.11g ou 802.11b na qual irão determinar qual a taxa de transmissão será usada. Caso você prefira, poderá escolher a opção Auto, que detectará automaticamente o enlace de transferência mais apropriado;
- **Power Saving:** nessa opção você poderá ajustar seu adaptador de rede sem fio definindo o modo de consumo de energia a ser usado, podendo escolher entre *off*, *normal*, ou *maximum*;
- **Transmit Power:** Essa opção poderá ser utilizada para selecionar a potência de transmissão, você pode selecionar a frequência entrada/saída da potência entre: *Minimum*, 12.5%, 25%, 50%, 100% ou *Auto*.

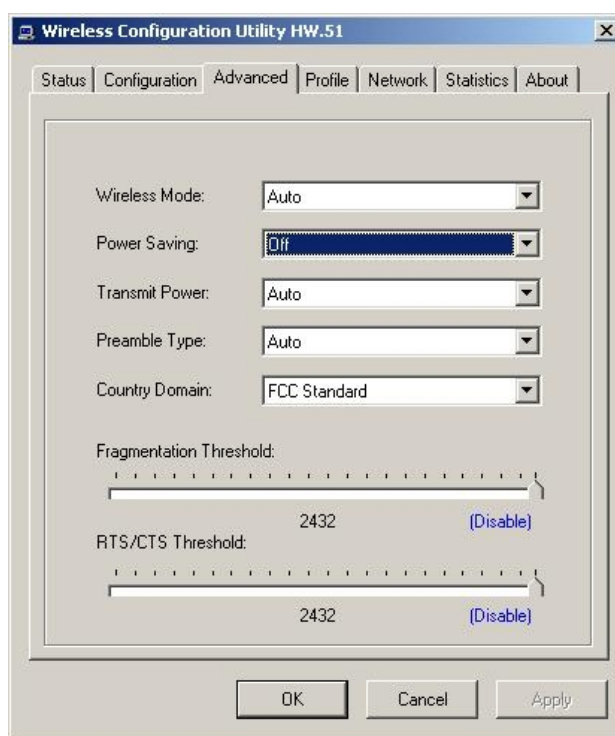


Figura 5.6 – Aba de configurações avançadas do adaptador de rede sem fio.

- **Preamble Type:** o uso de preâmbulo é para limitar o tamanho do pacote de transmissão de dados. É recomendado escolher o preâmbulo pequeno quando a qualidade de enlace não é boa, para assim prevenir o consumo de tempo de re-envio de longos pacotes que são perdidos. A opção *default* é Auto, na qual define longos e curtos preâmbulos;
- **Country Domain:** essa é a definição de canal de domínio de cada país, logo aqui você deve selecionar o país no qual você está usando seu adaptador. Para o nosso caso essa opção deve ser apontado com *FCC-Standard* (Figura 5.6). Nota:

antes de comprar um adaptador de rede sem fio, os fabricantes recomendam verificar se o mesmo possui compatibilidade com os padrões de seu país;

- **Fragment Threshold:** *Fragment Threshold* é um modo no qual a transmissão de pacotes ira ser fragmentada. Escolha uma configuração dentro da faixa de 256 a 2432 bytes. É recomendado fragmentar o pacote quando a qualidade do enlace não é boa, isso deve ser feito para prevenir o consumo de tempo com o re-envio de longos pacotes que são perdidos;
- **RTS/CTS Threshold:** o RTS/CTS Threshold, uma estação inicia o processo enviando um quadro RTS e os outros receptores do RTS respondem com um quadro CTS, a estação deve receber um quadro CTS antes de enviar o quadro de dado. Isso é feito para prevenir a colisão com outras estações que desejarem enviar dados ao mesmo tempo. Nessa opção escolha o juste dentro da faixa de 256 a 2432 bytes. E recomendado limitar pacotes longos para prevenir que as estações não precisem aguardar por muito tempo para transmitir seus pacotes de dados;

Profile:

A seção de perfil permite que você ajuste valores para todos parâmetros selecionando um perfil definido previamente. Digite um nome no campo *name profile* e crie um perfil, clique em salvar e então clique em aplicar, quando o perfil estiver pronto. Você pode clicar em *delete* se o perfil não for muito usado, ativar outros perfis, escolher um nome para o perfil no campo *name profile* e clicar em ativar (veja Figura 5.7).

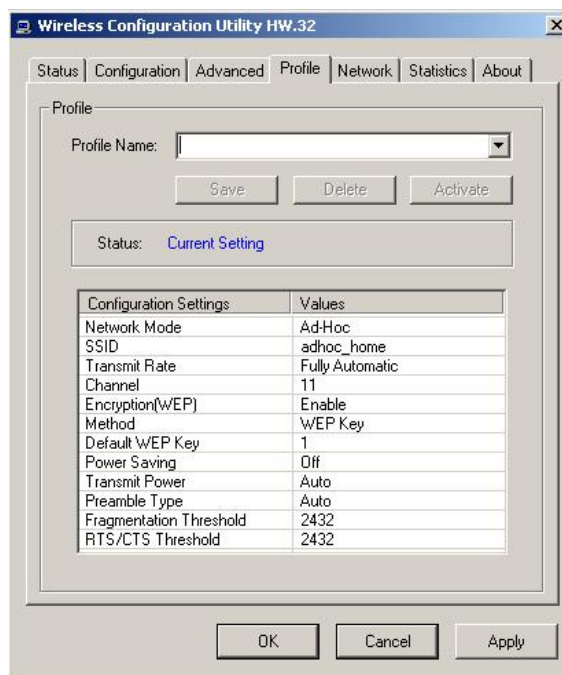


Figura 5.7 – Status do perfil de configuração da rede

Network:

Essa janela mostra todos os dispositivos sem fio ao redor de seu adaptador de rede sem fio. A informação dos dispositivos sem fio inclui o SSID, endereço MAC, canal, sinal, o tipo de segurança e modo da rede. Você pode clicar no botão *rescan* para encontrar novos dispositivos e/ou atualizar o conhecimento de quais dispositivos ainda fazem parte da rede (veja Figura 5.8).

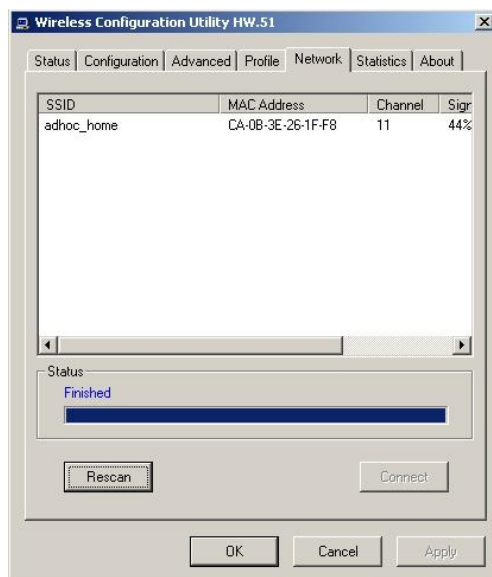


Figura 5.8 – Aba de demonstração de quais dispositivos fazem parte da rede local

Statistics :

A seção de estatística mostra os pacotes que estão sendo transmitidos e recebidos nos adaptador de rede sem fio.

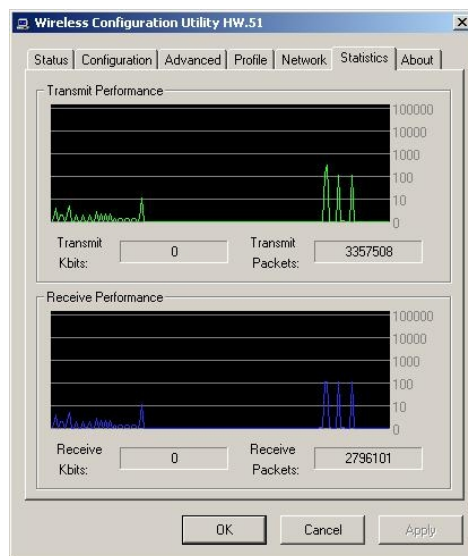


Figura 5.9 – Demonstração estatística dos pacotes que estão sendo transmitidos e recebidos

5.1.2. Redes de Sensores Sem Fio: Instalação e Configuração utilizando Mica Motes

Embora diversas empresas forneçam redes de sensores sem fio, este mini-curso será focado na tecnologia Mica Motes. A CrossBow Inc. [site da Crossbow] fornece diversas soluções e kits de redes sensores sem fio. O MOTE KIT 5x4x (Professional Kit), contém dois tipos de sensores: Mica2 (Figura 5.10) e Mica2Dot (Figura 5.11), além da interface MIB510 necessária tanto para programação dos nodos quanto para coleta de informações.



Figura 5.10 – Nodo Mica2 [site da Crossbow]

O MOTE KIT 5x4x além dos nodos de sensores, placa de programação e placas de sensores, contém o software necessário para desenvolver aplicações com Redes de Sensores sem Fio.

A tecnologia Mica Motes utiliza como sistema operacional o TinyOS [TinyOS 2006]. O TinyOS pode ser instalado em diversas plataformas e disponibiliza o suporte de software para desenvolvimento de aplicações. A linguagem nesC é utilizada para programação dos Mica Motes. NesC é uma extensão da linguagem C para sistemas embarcados, destinada a englobar os conceitos e abstrações do TinyOS.

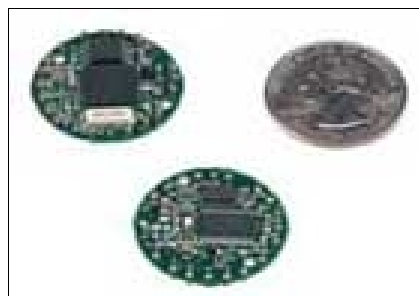


Figura 5.11 – Mica2Dot [Crossbow 2006]

5.1.2.1. Exemplo de Aplicação com Redes de Sensores sem Fio Mica Motes

O TinyOS disponibiliza diversos tutoriais e códigos fonte para desenvolvimento de aplicativo com redes de sensores sem fio. Nesta secção iremos detalhar a configuração

de um aplicativo para coleta de luminosidade do ambiente através da plataforma de hardware Mica2.

A arquitetura do sistema é exemplificada na Figura 5.12. Neste caso, existem 3 aplicativos distintos para que seja possível a coleta e leitura dos dados dos sensores.

A execução do aplicativo de coleta de luminosidade é feita basicamente em 4 passos:

- Sensoriamento dos dados pelos sensores;
- Envio dos dados sensoriais para a MIB510;
- Transmissão dos dados da MIB510 via porta serial para a Estação Base;
- Visualização do gráfico através do Aplicativo Oscilloscope.

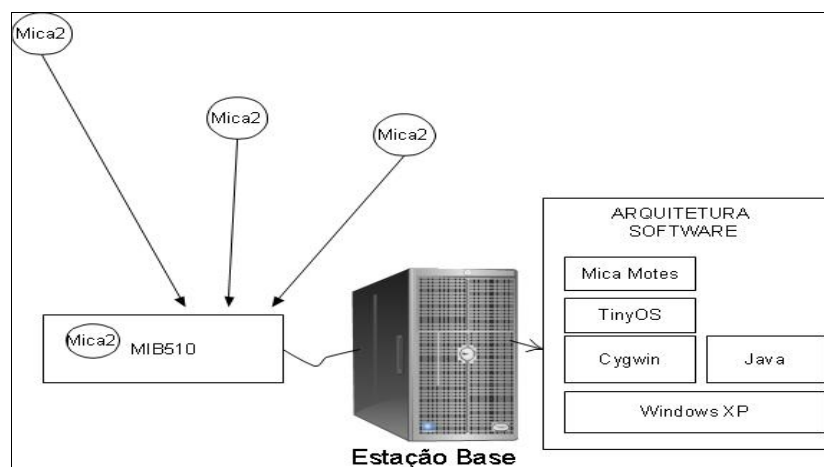


Figura 5.12 – Arquitetura do Sistema

A MIB510 deve possuir um nó Mica2 conectado, para que seja possível a coleta dos dados. O aplicativo presente nos nós sensores sensoria a luminosidade do ambiente e envia os dados para o nó sensor conectado a MIB510. O nó conectado a MIB510 por sua vez, “escuta” o meio e envia via porta serial os dados coletados pelos sensores. O aplicativo Oscilloscope disponibilizado pelo TinyOS recebe os dados enviados pela MIB510 e monta o gráfico conforme Figura 5.13.



Figura 5.13 – Interface Gráfica do Aplicativo Oscilloscope [TinyOS 2006]

Desta forma, através dos aplicativos disponibilizados pelo TinyOS é possível rapidamente desenvolver uma aplicação baseada em redes de sensores sem fio. Seria importante ressaltar, que os dados apresentados no gráfico são chamados de dados cru (*raw data*). Logo, os mesmos devem ser transformados para a unidade em questão (ex: Lux, unidade medida de luminosidade).

6.1. Considerações Finais, Tendências e Desafios

A tecnologia de micro-sensoriamento para redes é a tecnologia chave para o futuro. Em setembro de 1999 [BusinessWeek 1999] apontou as redes de micro-sensores sem fio como uma das 21 tecnologias mais importantes para o século 21 [Chong 2003]. Dispositivos inteligentes baratos com múltiplos sensores *onboard* usando enlaces de redes sem fio e Internet serão empregados em grande quantidade, provendo oportunidades para instrumentação e controle de casas, cidades e ambientes.

Os recentes avanços na computação e na comunicação sem fio têm causado um significativo interesse em pesquisas de redes de sensores. Sensores pequenos e baratos baseados sobre tecnologia de sistemas micro-eletromecânicos (MEMS) [Santini 2005], comunicação sem fio e baratos processadores de baixa potência permitem o emprego de redes *ad-hoc* para várias aplicações.

Microsensores inteligentes podem ser empregados sob a terra, o ar, sobre a água, sob o corpo humano, em veículos, e/ou dentro de construções. Um sistema de redes de sensores pode detectar e rastrear um alvo de interesse, processar informações detectadas e atuar sobre o mesmo controlando o comportamento conforme interesse da rede.

Esta seção apresenta uma revisão de alguns dos pontos chave de pesquisas de redes de sensores. Serão usados exemplos de pesquisa que vem sendo desenvolvidas

com o intuito de auxiliar a evolução das redes de sensores sem fio, retratando o estado da arte apresentado por tais redes. Em particular discutiremos sobre questões envolvendo os desafios de pesquisa residentes na sub-camada MAC, camada de rede e transporte.

Em geral, redes de sensores sem fio apresentam consideráveis problemas técnicos no processamento de dados, restrições de energia, comunicação e gerenciamento dos sensores (muitos desse já identificados na primeira versão das redes de sensores distribuídas).

Por causa da potencial desarmonia, incertezas e dinâmica ambiental, juntamente com limitações de largura de banda e energia, redes de sensores sem fio *ad-hoc* apresentam desafios técnicos adicionais na descoberta da rede, controle e descoberta de rotas, bem como no processamento, consulta e rastreamento de informações.

Assim, além dos desafios tratados na sub-seção 2.4 realça os desafios chave que cruzam as camadas da pilha de comunicação conforme descrito a seguir.

6.1.1 Sub-Camada MAC

Nas redes de sensores sem fio, o desempenho da camada MAC tem sido predominantemente desenvolvido em termos de requisitos de largura de banda, consumo de energia, e suporte a manutenção e conectividade da rede.

Redes de sensores oferecem uma infra-estrutura de comunicação e computação diferente de redes sem fio tradicionais. Essas diferenças originam-se não somente de suas características físicas, mas também de suas típicas aplicações.

Por exemplo, características físicas incluem a organização de redes em larga escala, capacidade computacional limitada e restrições sobre o consumo de energia. Já em se tratando de típicas aplicações inclui-se rastreamento de objetos ou detecção de eventos no qual são raramente enfatizados em redes sem fio tradicionais.

Assim, as maiores exigências para camada MAC em redes de sensores segundo [Stankovic 2003] são:

- **Requisitos Tempo Real ou QoS (*Quality of Service*):** redes de sensores sem fio são freqüentemente estabelecidas em um ambiente físico e exigem interação com esse ambiente. Logo, a correta detecção de eventos, processamento, e entrega da informação são sempre requisitos indispensáveis em uma aplicação de rede de sensor. Como a base da pilha de comunicação, a camada MAC deve suportar garantias de tempo real ou características de QoS [Ni 2004];
- **Descentralização:** a maioria dos algoritmos rodando em redes de sensores precisam ser descentralizados. Isso é, devido tanto a larga escala da rede e a insegurança intrínseca de qualquer nodo na rede. Conseqüentemente, a camada MAC precisa executar algoritmos descentralizados;
- **Consumo de energia consciente:** no projeto de protocolos para redes de sensores, as limitações do consumo de energia precisam ser levadas em consideração. Isso tem duas implicações diretas. Uma é que o protocolo MAC precisa estar atento à quantidade de energia do dispositivo que pode não estar sempre disponível. Para isso

serviços de gerenciamento de energia são desenvolvidos permitindo que os nodos dentro das redes de sensores possam estar num modo de descanso (*sleep*) quando não estão fazendo parte das atividades de sensoramento. A outra implicação também referente a economia de energia é que o protocolo MAC deve evitar excessivas colisões, contínuas escutas ao meio e comunicações de longas distâncias [Kim 2003];

- **Flexibilidade:** redes de sensores são freqüentemente usadas sobre aplicações específicas. Enquanto não há aplicações típicas para redes de sensores, diferentes aplicações ainda exigirão peculiaridades sobre seu padrão de uso da rede. Como resultado, a camada MAC das redes de sensores precisam ser flexíveis o suficiente para acomodar uma variedade de padrões de tráfegos na rede.

6.1.2 Camada de Redes

A literatura de roteamento para redes *ad-hoc* é muito vasta e rica. Embora muitas das idéias de algoritmos de roteamento possam ser modificadas para o roteamento de redes de sensores, elas não são suficientemente significantes e apresentam expressivas diferenças que impedem seu uso direto.

Em particular, redes de sensores sem fio, são muito dinâmicas (durante toda a formação de uma rede dados estão sendo continuamente sensoriados e distribuídos em direção de um nodo sorvedouro responsável pelo processamento de tais informações) e nodos podem sair e entrar na rede regularmente, há alta perda de mensagens e limitações de tempo real [Stankovic 2003]. Tais fatores implicam que soluções nas quais confiam em tabelas de roteamento que contam com estados globais possuem um alto custo e podem apresentar baixa eficiência. Além disso, algumas dessas soluções exigem que muitos estados de cada área da rede seja periodicamente reportado a cada nodo participante. A memória limitada de cada dispositivo numa rede de sensor impede a utilização de soluções que usam tabelas de roteamento muito grandes.

A larga escala e alta densidade de redes de sensores tipicamente proíbe soluções que confiam em mecanismo *flooding*. Também, devido a características de aplicações topológicas de larga escala e centrada a dados das redes de sensores, técnicas de roteamento sem ID são tipicamente usadas. Nessas redes a posição geográfica dos nodos é mais importante do que o ID de um nodo específico. Por exemplo, no rastreamento de um objeto a aplicação somente se preocupa em saber onde o objeto se encontra e não qual o nodo que está relatando o dado [Lu 2002].

Como estamos tratando de redes que possuem fortes restrições computacionais, tais como largura de banda, capacidade de processamento de dados, energia e armazenamento limitado, bem como enlaces de comunicação não são confiáveis devido aos problemas de *fading* exigem que os serviços oferecidos pela camada de redes devem oferecer soluções que atendam tais restrições buscando sempre maximizar o tempo de vida da rede.

6.1.3 Camada de Transporte

Em redes de sensores sem fio existem poucos nodos sorvedouros os quais pacotes são direcionados, e os dados freqüentemente redundantes, correlacionam-se ao mesmo

fenômeno físico. Como resultado, o maior objetivo do transporte de dados não é maximizar a vazão por unidade de largura de banda, mas em vez disso maximizar a vazão por unidade de energia.

Tradicionalmente os protocolos da camada de transporte tais como TCP e UDP permitem multiplexação de diversas portas sobre o mesmo *host* IP. Em contraste, os vizinhos dos nodos de redes de sensores são individualmente inseguros e coletivamente permutáveis. Assim, conexões da camada de transporte são comumente agregadas por um grupo (*cluster*) de nodos dentro de uma mesma conexão virtual alvo. Novas semânticas precisam ser propostas para comunicação com tais grupos de interesse em um alvo dentro da rede, bem como novos mecanismos para controle de congestionamento, ordenação de pacotes, agregação de dados e entrega confiável para tais dados, devem ser propostos [Chong 2003].

Um novo problema é levantado em redes de sensores em função dos alvos de monitoramento obterem características migratórias. É comum em redes de sensores a comunicação ser dirigida para um destino na rede definido por seus atributos e não por um identificador de nodo lógico. A identificação de um nodo na vizinhança de um alvo muda quando o alvo se move. Uma ou mais alvos podem migrar através de nodos sensores em resposta a eventos do ambiente externo. Protocolos da camada de transporte precisam permitir definição de conexões com regiões de interesses usando atributos ambientais, e direcionando a migração desses pontos de interesse em resposta a mudanças ambientais [Chong 2003].

A interação entre gerenciamento de energia e protocolos da camada de transporte oferece fundamentais desafios adicionais em redes de sensores. Protocolos da camada de transporte sobre a Internet, tal como TCP, tem devotado muita atenção para o controle de congestionamento, a presunção básica é que a largura de banda é um recurso escasso. O consumo da largura de banda é absolutamente compartilhado entre todos os recursos na rede. Em contraste, em redes de sensores, a energia é outro recurso escasso. Nodos estão com baixo nível de energia devem ser evitados do mesmo modo que nodos que estão congestionados. Um outro desafio dos protocolos da camada de transporte seria modular as taxas dos emissores para acomodar não somente a limitada largura de banda, mas também as limitações de energia na rede [Hac 2003].

Agradecimentos:

Agradecemos a CAPES, por parcialmente ter financiado esse trabalho.

7.1. Referências

- Benveniste, M., G. Chesson, G.; Hoebe, M.; Siglia, A.; Teunissen, H.; and Wentink, EDCF proposed draft text, IEEE working document 802.11-01/131r1; 2001.
- Business Week, "21 ideas for the 21st century", pp.78-167, Aug.30, 1999.
- Campbell, A. T., Conti M, Giordano S, (2003) "Mobile Ad hoc Network", Kluwer Academic Publishers. Manufactured in the Netherlands. Mobile Network and Application, p. 483-484, 2003.

- Carle, Jean; Simplot-Ryl, David; (2004) "Energy-Efficient Area Monitoring for Sensor Networks"; IEEE Computer Society.
- Chong, Chee-Yee; Kumar, Srikanta P.; (2003) "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges", Proceeding of the IEEE, VOL.91, NO. 8, August 2003.
- Corson, S.; Macker, J.; (1999) "Móbile Ad-hoc Networks (MANETs)", IETF RFC 2501, <http://www.eitf.org/rfc/rfc2501.txt>, jan. 1999.
- Crow, Brian P.; Fujitsu, Widjaja Indra; Kim, Jeong Geun; Sakai, Prescott T.; (1997) "IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks"; IEEE Communications Magazine; Setembro, 1997.
- Crossbow Technology, <http://www.xbow.com/>, acessado em agosto de 2006.
- Eklung, Carl; Marks, Roger B.; Stanwood, Kenneth L.; Wang, Stanley; (2002) "IEEE Standard 802.16: A technical Overview of the WirelessMAN™ Air Interface for Broadband Wireless Access"; In: IEEE Communications Magazine.
- Hac, Anna; Wireless Sensor Networks Design, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, USA; John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2003.
- IEEE 802.15 Work Group, (2003) "Wireless Personal Area Network (WPAN) Specification"; <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.2-2003.pdf>.
- IEEE 802.16-2001, (2002), "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Systems," April. 8, 2002.
- IEEE 802.15 Work Group a; (2003) "Wireless Personal Area Network (WPAN) Specification"; <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.2-2003.pdf>, 2003.
- IEEE 802.15 Work Group b; (2006) "IEEE Approves IEEE 802.15.1 Standard for Wireless Personal Area Networks Adapted from the bluetooth® specification"; <http://standards.ieee.org/announcements/802151app.html>; acessado em março, 2006.
- IEEE 802.15 Work Group c; (2006) "Current IEEE 802.15 Working Group activities"; <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/>; acessado em março 2006.
- Kim, Sooyeon; Son, Sang H.; Stankovic, John A; Li, Shuoqi; Choi, Yanghee; (2003) "SAFE: A Data Dissemination Protocol for Periodic Updates in Sensor Networks"; proceedings of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW'03), 2003.
- Lindgren, Anders; Almquist, Andreas; Schelén, Olov; (2003) "Quality of Service Schemes for IEEE 802.11 Wireless LANs – An Evaluation"; Mobile Networks and Applications 8, 223 – 235.
- Lu, Chenyang; Blum, Brian M.; Abdelzaher, Tarek F.; Stankovic, John A; He, Tian; (2002) "RAP: Real-Time Communication Architecture for Large-Scale Wireless Sensor Networks"; proceedings of the 8th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS 2002); september 2002.

- Mohammad Ilyas, (2003), “The Handbook of Ad hoc Wireless Networks”, In: Florida Atlantic University.
- Mohapatra Prasant; Krishnamurthy, Srikanth V., (2005) “Ad Hoc Networks Technology and Protocols”; eBook ISBN: 0-387-22690-7; ©2005 Springer Science + Business Media, Inc.
- Ni, Qiang; Romdhani, Lamia; Turletti, Thierry; (2004)“A Survey of QoS Enhancements for IEEE 802.11 Wireless LAN”; Journal of Wireless Communications and Mobile Computing; Wiley 2004: Vol 4, Issue 5: pp. 547-466.
- Perkins, C. E, T. J. Watson, (2001)“Ad-hoc Networking ”, 1º ed. United States of America, Addison Wesley, p. 11-27, 2001.
- Santini, Paolo, (2005) The Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Network, Instituto de Informatica e Telemática del CNR, Italy, John Wiley & Sons Ltd, Copyright 2005.
- Stankovic, John A; Abdelzaher, Tarek F.; Lu, Chenyang; Sha, Lui; Hou, Jennifer. C; (2003)“Real-Time Communication and Coordination in Embedded Sensor Networks”; In: proceedings of the IEEE, vol.91, No. 7.
- Santos, Arthur R. Dos, (2005) “*Wireless LAN – Projeto de Redes Locais Sem Fio*”; Editora Instituto On-line Informática Ltda, Belo Horizonte.
- Shaw, Alan c., (2003) “Sistemas e Software de Tempo Real”, trad. Ana M. de Alencar Price, Porto Alegre, Bookman, 2003.
- Stemmer, Marcelo Ricardo, (2001), “Das5331 – Sistemas Distribuídos e Redes de Computadores para Controle e Automação Industrial”; Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Automação e Sistemas, 2001.
- TinyOS, (2006) “TinyOS Community Forum”, <http://www.tinyos.net/>, acessado em agosto de 2006.
- Wang, Xin, Zhang, Qianli, Li, Xing; “Protocol Enhancement for IEEE 802.11e EDCF”; Networks, 2004. (ICON 2004). Proceedings. 12th IEEE International Conference; Vol.1, Page(s):80 - 84 vol.1;16-19 Nov. 2004.
- Wu, Jie; Stojmenovic, Ivan; (2004) “Ad-Hoc Networks”; published by the IEEE Computer Society, 2004.