

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO
SUDOESTE DA BAHIA**
Ciências da Computação

Um Estudo Comparativo entre tecnologias de
transmissão de dados convencionais e o padrão
WiMAX

Rodrigo José de Macaúbas F. S. Oliveira

Vitória da Conquista
2007

Rodrigo José de Macaúbas F. S. Oliveira

Um Estudo Comparativo entre tecnologias de
transmissão de dados convencionais e o padrão
WiMAX

**Monografia de conclusão de curso
apresentada ao Colegiado de Ciências da
Computação – UESB, como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel
em Ciência da Computação.**

Orientador: Professor. Marco Antônio Ramos.

Vitória da Conquista
2007

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela lição de vida e pela oportunidade que eles me deram de chegar até aqui.

A minha irmã e minha namorada pelo companheirismo, compreensão, incentivo em todos os momentos e por sempre acreditarem que eu ia conseguir.

Aos amigos do CEUMAC, pelo convívio e todas as resenhas passadas em companhia.

A UESB, aos colegas de classe, aos Professores do curso de Ciência da Computação, e em especial a Marco Antônio, orientador deste trabalho.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma, mesmo que indiretamente, para o desenvolvimento deste trabalho.

Nunca subestime a largura de banda de uma caminhonete cheia de fitas “voando” na estrada.

(Tanenbaum)

RESUMO

Neste trabalho será apresentado um estudo comparativo entre tecnologias de transmissão de dados convencionais e o padrão de banda larga sem fio IEEE 802.16. O 802.16 é um padrão da IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). O WiMAX, sigla para Wireless Interoperability for Microwave Access, é uma marca de certificação para produtos que passaram no teste de conformidade e interoperabilidade para o padrão IEEE 802.16. Foi estudado como este padrão funciona, as características e funcionalidades de sua camada de controle de acesso ao meio (MAC) e camada física (PHY) com suas tecnologias e diversas modalidades. Por fim, foi feita uma análise e comparação do padrão IEEE 802.16 para acesso fixo com o IEEE 802.16 para acesso móvel.

Palavras-chave: banda larga, IEEE 802.16, microondas, wireless, WiMAX, transmissão de dados móvel.

ABSTRACT

In this work a comparative study will be presented between conventional data transmission technologies and the standard wireless broadband IEEE 802.16. The 802.16 is a standard of IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). WiMAX, acronym for Wireless Interoperability goes Microwave Access, it is a certification mark for products that approved in the conformity test and interoperabilidade for the IEEE 802.16 standard. It was studied as this pattern it works, the characteristics and functionalities of your medium access control (MAC) and physical (PHY) layer with your technologies and multiples variants. Finally, it was made an analysis and comparison of the IEEE 802.16 standard for fixed access with IEEE 802.16 for mobile access.

Key Word: broadband, IEEE 802.16, microwaves, wirelles, WiMAX, fixed, mobile.

LISTA DE FIGURAS

Ilustração 1: Cabo Par Trançado	14
Ilustração 2: Cabo Coaxial	15
Ilustração 3: Fibra Óptica	16
Ilustração 4: Problema do terminal escondido.	24
Ilustração 5: Estruturas de quadros do 802.11	25
Ilustração 6: Pilha de protocolo do 802.16	30
Ilustração 7: (a) Um quadro genérico. (b) Um quadro de solicitação de largura de banda.	34
Ilustração 8: OFDM e OFDMA	35
Ilustração 9: Uplink em OFDM e OFDMA	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo de padrões IEEE 802.11.	21
Tabela 2: Detalhes da camada física	23
Tabela 3 : WiMAX x WiFi	42

LISTA DE ABREVIATURAS

AAS	Adaptative antenna system
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ATM	Asynchronous transfer mode
CPE	Customer Premises Equipment
CRC	Cyclic redundancy check
CSMA	Carrier Sense Multiple Acces with Collision Avoidance
DCF	Distributed Coordination Function
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FDD	Frequency division duplex or duplexing
FFT	Fast Fourier transform
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum)
HR-DSSS	High Rate Direct Sequence Spread Spectrum
IP	Internet protocol
IrDA	Infrared Developers Association
ISM	industrial, scientist and medical
LAN	Local area network
LED	Diodo Emissor de Luz
LOS	Line-of-sight
MAC	Medium access control layer
NAV	Network Allocation Vector
NLOS	Non-line-of-sight
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing
OFDMA	Orthogonal frequency division multiple access
PCF	Point Coordination Function
PHY	Physical layer
QAM	Quadrature amplitude modulation
QoS	Quality of service
QPSK	Quadrature phase shift keying
SHA	Secure hash algorithm
TCP	Transport control protocol
TDD	Time division duplex or duplexing
VCI	Virtual channel identifier
VPI	Virtual path identifier
VoIP	Vox on IP
WiFi	Wireless Fidelit
WirelessMAN	Wireless metropolitan area network

Sumário

<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	11
<u>CAPÍTULO 2 - TRANSMISSÃO DE DADOS</u>	12
<u>2.1 Meios de Comunicação</u>	13
<u>2.1.1 Meios Guiados</u>	14
<u>2.1.1.1 Par Trançado</u>	14
<u>2.1.1.2 Cabo coaxial</u>	15
<u>2.1.1.3 Fibra Óptica</u>	15
<u>2.1.1.3.1 Tipos de fibra</u>	16
<u>2.1.2 Meios Não Guiados</u>	17
<u>2.1.2.1 Transmissão por rádio</u>	18
<u>2.1.2.2 Microondas</u>	18
<u>2.1.2.3 Infravermelho</u>	19
<u>2.1.2.4 Ondas de luz não guiada</u>	20
<u>CAPÍTULO 3 - PADRÕES DE TRANSMISSÃO DE DADOS SEM FIO</u>	21
<u>3.1 Redes Wi-Fi (802.11)</u>	21
<u>3.1.1 Camada física</u>	21
<u>3.1.2 Subcamada MAC</u>	23
<u>3.1.3 Estruturas de quadros do 802.11</u>	25
<u>3.1.4 Serviços</u>	26
<u>3.2 Redes WiMAX (Padrão IEEE 802.16)</u>	28
<u>3.2.1 Pilha de protocolo</u>	29
<u>3.2.2 A camada física</u>	30
<u>3.2.3 Protocolo da subcamada MAC</u>	32
<u>3.3.4 Estrutura de quadro do 802.16</u>	33
<u>3.3.5 Uma comparação entre perfis 802.16-2004 e 802.16e</u>	34
<u>3.3.5.1 OFDM e OFDMA</u>	35
<u>3.3.5.2 Handoffs e roaming</u>	37
<u>CAPÍTULO 4 - COMPARAÇÃO</u>	39
<u>4.1 WiMAX x Redes de Cabo</u>	39
<u>4.2 WiMAX x WiFi</u>	41
<u>4.3 WiMAX 802.16-2004 ou 802.16e</u>	43
<u>4.3.1 Caminhos de migração para 802.16e</u>	46
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO</u>	48
<u>CAPÍTULO 6 – TRABALHOS FUTUROS</u>	50
<u>CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS</u>	51

Capítulo 1 - Introdução

As pessoas, empresas e instituições estão, a cada dia, mais conectadas em redes, acessando *Internet*, compartilhando recursos, arquivos e informações. Com essa demanda de conectividade, aumenta a necessidade de conexões mais rápidas e seguras, além de mobilidade para acesso a informação.

Uma alternativa para solucionar esse problema é a utilização de redes de banda larga no padrão 802.16 ou WiMAX [1x], pois este padrão define uma rede sem fio de alta velocidade, cujo raio de alcance pode ser de até 50 km, distancia superior as alcançadas por outras redes como por exemplo redes Wi-Fi [2x].

O WiMAX é uma alternativa para as convencionais redes de banda larga utilizadas largamente hoje em dia, como as fornecidas pelas operadoras de telefonia e empresas de televisão a cabo que utilizam de redes de cabo, oferecendo características que a torna mais viável em determinados casos, tais características serão discutidas mais detalhadamente nas seções subseqüentes deste trabalho.

Com o emprego do WiMAX os usuários terão maior flexibilidade de acesso a *Internet*, podendo usar aplicações que necessitam de alta taxa de transferência, como, por exemplo, conferencias de áudio e vídeo, ligações VoIP (Vox on IP), e acessá-las de locais de difícil alcance para redes a cabo, ou fibra óptica, além de poder usar aparelhos móveis como celular ou *laptop*, tudo isso com um custo reduzido [2X].

O objetivo principal deste trabalho é fazer um estudo comparativo entre o WiMAX e tecnologias de transmissão de dados convencionais. Para isso foi feito um estudo sobre transmissão de dados principalmente sem fio. Sendo assim, a contribuição principal deste trabalho foi traçar um paralelo entre a funcionalidade do WiMAX e outras soluções de conexão como Cabo metálico e redes sem fio WiFi, bem como a adequação do padrão à infra-estrutura existente.

O presente trabalho está disposto da seguinte maneira. O capítulo 2 refere-se a uma revisão bibliográfica sobre transmissão de dados, no qual é feito um estudo sobre os meios de comunicação com fio e sem fio. O capítulo 3 apresenta um estudo sobre os padrões WiFi e WiMAX. No capítulo 4 encontra-se uma comparação entre redes cabeadas e WiFi versos o WiMAX. E no capítulo 5

apresenta uma conclusão.

Capítulo 2 - Transmissão de dados

A transmissão de dados tem como finalidade o transporte de símbolos de um ponto a outro. De acordo com o sentido da transmissão existem três modos que são: Simplex, Half-duplex e Full-duplex [3x].

No modo *Simplex* a informação é enviada do emissor até o receptor, ou seja, a informação flui em um único sentido, um exemplo disso seria transmissão de televisão e rádio.

Já no modo *Half-duplex* os dados trafegam em ambos os sentidos, mas somente em um sentido de cada vez, pois o meio de transmissão (canal) é compartilhado, então quando alguém está emitindo sinal no canal o outro está “escutando” e vice-versa. Por exemplo, o dispositivo A poderia transmitir dados que o dispositivo B receberia; em seguida, o sentido da transmissão seria invertido e o dispositivo B transmitiria para o dispositivo A. A operação de troca de sentido de transmissão entre os dispositivos é chamada de *turn-around* e o tempo necessário para os dispositivos chavearem entre as funções de transmissor e receptor é chamado de *turn-around time*.

O modo mais completo de transmissão de dados é o *Full-duplex*, nele a comunicação é verdadeiramente bidirecional, os dados podem ser transmitidos e recebidos simultaneamente em ambos os sentidos. Como por exemplo, num aparelho telefônico no qual você pode falar e ouvir ao mesmo tempo, no entanto, este modo exige que o meio de transmissão possua duas vias independentes. Por exemplo, nos modos *simplex* e *half-duplex*, basta que se tenha uma via de comunicação, já que a transmissão e a recepção não são feitas simultaneamente.

Tecnologicamente, a informação pode ser transmitida de duas maneiras, analógica ou digital.

A transmissão analógica é feita utilizando uma onda portadora a qual pode ter sua frequência ou amplitudes moduladas para transmitir dados. Neste modo de transmissão a representação da informação possui elementos os quais pertencem ao intervalo $]-\infty, +\infty[$, o som e a luz são bons exemplos de sinais analógicos [3x]. Nos sinais analógicos é possível transmitir mais informação em um menor intervalo

de tempo, no entanto corre-se um risco maior de perda de informação, já que os algoritmos de verificação de erros são muito mais complexos de se implementar neste modo de transmissão, e esse é um dos principais motivos de não ser usados meio analógico para transmissão de dados entre computadores [3x]. Devido existência de inúmeras fontes de interferência eletromagnética, o uso de dados analógicos é inviável em sistemas de computadores [3x].

Na transmissão digital a informação é representada utilizando sinais discretos (0s e 1s). Desta maneira, apesar de menos dados trafegarem no meio em um determinado tempo, a necessidade de retransmissão é menor devido aos algoritmos de segurança inerentes a tecnologia. Além disto, é possível a transmissão de metadados junto com a informação, tornando este modelo mais completo e atrativo ao mercado.

Em relação ao meio de transmissão, os dados podem trafegar em formar de pulsos elétricos, ópticos ou ondas de rádio. Seja qual for o meio o sinal transmitido deve ser primeiramente modulado para que trafegue analogicamente pelo meio e em seguida será demodulado pelo receptor para as ações necessárias de verificação da informação recebida[3x].

O aparelho usado na Modulação/Demodulação é chamado de modem(MOdulador e DEModulador), e ele esta presente na maioria das transmissões.

As sessões seguintes tratarão em maior detalhe os meios de comunicação bem como sua funcionalidade e aplicação no mercado.

1 Meios de Comunicação

Comunicação é o processo pelo qual uma informação gerada em um ponto no espaço e no tempo chamado fonte é transferida a outro ponto no espaço e no tempo chamado destino [4x].

O termo "meio de comunicação" refere-se ao instrumento ou a forma de conteúdo utilizados para a realização do processo comunicacional. Adiante será discutida a funcionalidade de alguns destes meios.

1 Meios Guiados

Meio de comunicação guiado refere-se ao fato do canal físico utilizado para interligar os nós de uma rede podem ser guiados, ou direcionados. Nos meios guiados, as ondas são dirigidas ao longo de um meio sólido, tal como um cabo de fibra ótica, ou um par de fios de cobre trançado ou um cabo coaxial.

1 Par Trançado

O cabo de par trançado (Ilustração 1) é um dos meios mais antigos de transmissão de dados e ainda largamente utilizados. Parte pela infra-estrutura já existente e o custo para sua mudança. Outra razão de sua utilização é a segurança contra acesso não autorizado. No par trançado, dois fios são enrolados em espiral de forma a reduzir o ruído e manter constantes as propriedades elétricas do meio através de todo o seu comprimento[5].

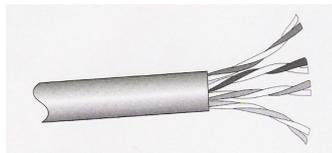


Ilustração 1: Cabo Par Trançado

O par trançado é usado mais frequentemente no sistema telefônico, conectando os aparelhos telefônicos às estações centrais. A banda passante nele é alta levando em consideração o fato de ele ter sido projetado para o tráfego analógico [5x].

Uma métrica importante quando se define que meio de transmissão utilizar é a distancia, pois quanto maior a distancia, maior a perda do sinal. Em geral um par trançado usado em redes locais Ethernet pode chegar a 100 metros por trecho, com taxa de transmissão de 10 Mbps para cabo conhecido como 10BaseT, opera a 100

Mbps em cabo chamado de 100BaseT e a 1000 no cabo 1000BaseT ou Gigabit Ethernet [5x].

Como todo fio, ao passar corrente elétrica, um campo eletromagnético é gerado ao seu redor, esse campo pode interferir no fio ao lado, gerando assim ruído (escorregamento de bit), onde um o bit que está sendo transmitido pode ser erroneamente forçado para seu valor oposto. Com o intuito de minimizar este efeito o par trançado usa uma técnica chamada de cancelamento, essa técnica consiste em transmitir as informações em dois fios, sendo que em um fio usa-se a polaridade invertida [5x]. Passando-se o mesmo dado com polaridade invertida cada um gera um campo eletromagnético de mesma intensidade, mas de sentido contrário. Anulando-se assim os campos eletromagnéticos pelo outro fio. Esses fios são enrolados um no outro, o que aumenta a proteção eletromagnética, daí o nome par trançado.

2 Cabo coaxial

Outro meio de transmissão que foi muito comum, principalmente nos anos 80 e 90, é o cabo coaxial (Ilustração 2). Ele consiste em um fio de cobre esticado na parte central envolvido por um material isolante. Esse por sua vez é coberto por um condutor cilíndrico, normalmente ele é uma malha sólida entrelaçada. O condutor externo é circundado por uma camada plástica protetora.

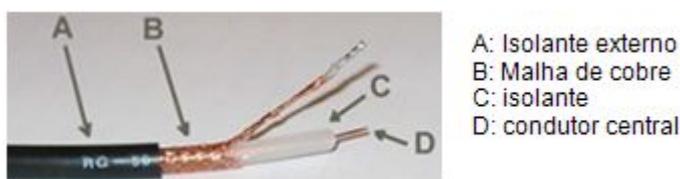


Ilustração 2: Cabo Coaxial

Devido sua construção o cabo coaxial apresenta uma boa imunidade a ruídos e alta largura de banda. Ao contrario do par trançado ele suporta velocidade de vários 10 Mbps, sem a necessidade de retransmissão ou reconstrução do sinal, e sem distorções ou eco. Levando em conta os custos, o cabo coaxial é mais caro e

de difícil instalação, comparado ao par trançado.

3 Fibra Óptica

Uma das mais modernas formas de transmissão de dados é a fibra óptica (Ilustração 3), nela a informação trafega por meio de um feixe de luz, esta apresenta-se na faixa de frequência do infravermelho, que corresponde de 10 a 1000 THz. Esse sinal de luz passa através de um cabo óptico (fibra óptica) [6].

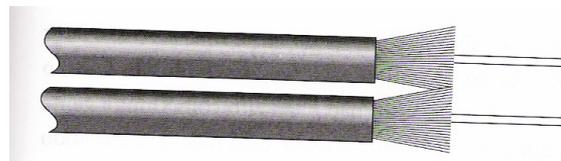


Ilustração 3: Fibra Óptica

Um sistema de transmissão óptico é formado por três componentes principais, são eles: a fonte do sinal luminoso, o meio de transmissão e o detector receptor.

O emissor de luz é normalmente usado um LED (Diodo Emissor de Luz) ou um laser semiconductor. Os LEDs são mais populares e baratos, além de funcionarem melhor em temperatura ambiente. Os lasers são mais eficientes em termos de potência e seu sinal sofre menos distorção na fibra, pois possui maior largura espectral [6].

O detector é composto por um dispositivo fotodetector e é ele o responsável pela detecção e conversão de sinal luminoso em sinal elétrico.

A fibra óptica consiste em um filamento de sílica ou plástico envolvido por uma substância de menor índice de refração. É composta dessa forma para que a luz que for inserida se propague pelo filamento, ricocheteando pelas paredes da fibra

1 Tipos de fibra

Fibra multimodo – nela vários feixes de luz incidindo em ângulos diferentes, podem se propagar e percorrer diferentes caminhos. A atenuação causada pela dispersão e absorção da luz pela fibra é bastante alta quando comparada com as fibras monomodo, o que restringe as aplicações com fibras multimodo com relação à distância e à capacidade de transmissão.

Fibra monomodo – nela o diâmetro da fibra é bem reduzido, assim a fibra age como um guia, e a luz só se propaga em linha reta, sem ricochetear.

Comparando-se fibra óptica com cabos metálicos, observa-se que há varias vantagens, começando pelo fato de que fibra óptica não sofre interferência eletromagnética comum aos meios metálicos. A atenuação do sinal na fibra é bem menor, podendo chegar uma transmissão de sinal a uma distancia de 50 km, sem necessidade de repetidor. Alem de ter um custo reduzido em instalações de longa distancia. Mas não é aconselhada em ligações multipontos, devido a delicada tarefa que é fazer a junção da fibra. Normalmente usa-se fibra para ligações de auto trafego, como por exemplo ligações entre redes, e para terminações usa-se o par trançado.

Com a atual tecnologia de fibra óptica a largura de banda pode ultrapassar 50.000 Gbps (50 Tbps). O limite prático de sinalização é de 10 Gbps devido a incapacidade de conversão entre sinais elétricos e ópticos com velocidade maior, embora já se tenha alcançado em laboratoria a velocidade de 100 Gbps em uma única fibra [6].

2 Meios Não Guiados

Transmissão por meio não guiados baseiam-se nas ondas eletromagnéticas se propagam na atmosfera e no espaço. Geralmente estão sujeitas a uma série de interferências do ambiente, como interferências elétricas, magnéticas, do clima e até mesmo de obstáculos no meio do caminho.

As ondas eletromagnéticas são geradas pela movimentação dos elétrons e podem se propagar livremente pelo espaço. Ao se instalar uma antena em um circuito elétrico, as ondas eletromagnéticas podem ser transmitidas e recebidas com eficiência por um receptor localizado a uma distancia bastante razoável.

No vácuo toda onda eletromagnética viajam com velocidade da luz, que é de aproximadamente 300 000 km/s. Essa velocidade é o limite máximo que se pode alcançar.

A relação entre a frequência, comprimento de onda e constante (velocidade da luz no vácuo) é: $\lambda \cdot f = c$.

Sendo: λ – comprimento de onda

f – frequência

c – constante

A quantidade de dados transportada por uma onda eletromagnética é proporcional a sua largura de banda. Atualmente é possível codificar alguns bits por segundo. Assim, quanto maior a frequência de um sinal, maior a taxa de transferência.

1 Transmissão por rádio

As ondas de rádio são fáceis de serem geradas, basta simplesmente passar uma corrente elétrica por uma antena metálica. Elas percorrem longas distâncias e penetram facilmente em obstáculos como prédios, por estas razões estão cada vez mais tomando uma fatia importante de mercado. As ondas que se propagam em todas as direções são conhecidas por ondas omnidirecionais. Essa característica é utilizada para meios de propagação de informação, como por exemplo, nas transmissões de televisão. Mas pode ser um problema quando o requisito é segurança, pois pessoas não autorizadas podem ter acesso a informações contidas nas transmissões.

Devido às ondas de rádio percorrerem longas distâncias, a interferência entre os usuários pode ser um problema, para evitar isso os governos controlam o licenciamento do uso de transmissão de rádio. Os governos reservam alguns espectros de frequência para a chamada ISM (industrial, scientist and medical) para uso sem licença.

Em tecnologias que utilizam transmissão por rádio como por exemplo o Wi-Fi apresentam taxa de transferência de até 54 Mbps [7], no WiMAX essa taxa é superior a 100 Mbps [8].

2 Microondas

Ondas de rádio com frequência superior a 100 MHz trafegam praticamente em linha reta (direcionais). A energia pode ser concentrada e direcionada usando-se uma antena parabólica, oferecendo assim uma relação sinal/ruído muito mais alta, para isso as antenas do transmissor e receptor devem estar alinhadas.

As microondas são amplamente utilizadas em telefonia de longa distancia, pois oferece alta banda usando, por exemplo, faixa de frequência de 10 GHz para transmissão. O custo de implantação é reduzido: torres com 100m de altura devem ter repetidores a cada 80 km [8].

Dessa forma não se precisa ter o direito sobre o percurso todo, somente algumas torres são suficientes para ligarem grandes distancias. Comparando-se uma rede de fibra óptica ou cabo metálico, que necessitam ter concessão para passar os cabos ou fibra por todo o percurso da rede, além do custo da infra-estrutura de tubos e abertura de canais para passar os cabos ou fibra.

3 Infravermelho

As ondas de infravermelho são usadas na comunicação, em aparelhos como controle remoto de televisão, dvds player, aparelhos estereofônicos, servem também para troca de dados entre celular ou palm e computadores.

Uma característica do infravermelho é de não ter a capacidade de atravessar obstáculos como objetos sólidos, esta característica pode se constituir em uma vantagem, pois um sistema instalado em ambiente fechado não interfere em outro sistema instalado em uma sala adjacente, outra vantagem é a segurança na transmissão de dados, pois o ambiente externo não tem acesso ao tráfego de informação. Por ter características de baixo alcance não é necessário aquisição de licença para utilização do infravermelho.

Os padrões mais usados na transmissão de dados através de luz infravermelho são:

O IEEE 802.11 - além de especificar transmissão de rádio usando, especifica também transmissões infravermelhas usando técnicas de transmissão difusa. A taxa de transferência típica é de 1 Mbps e o alcance máximo desse sistema é de 30 metros. [3]

IrDA (Infrared Developers Association) - O IrDA é um barramento que permite PCs se comunicarem usando luz infravermelha. É comumente encontrado em aparelhos como notebooks, palm, celulares. Esse barramento atualmente possui uma taxa de transferência máxima de 4 Mbps, alcance de 1 metro e abertura com ângulo de 30 graus [3].

4 Ondas de luz não guiada

Ondas de luz não guiadas também podem ser usado para transmissão de dados, pode-se ligar, por exemplo, duas LANs(Local Área Network) existente em prédios próximos, para isso cada prédio tem que ter seu próprio emissor, normalmente usa-se lasers como emissor, bem como seu próprio receptor. O feixe de luz do emissor tem que estar alinhado com o receptor do outro prédio, e vice-versa. Essa tecnologia é similar à infravermelha, só que usando outro comprimento de onda para as transmissões.

Uma desvantagem dos raios laser é a não capacidade de ultrapassar a chuva, nem a neblina, além de poder sofrer interferências causadas por correntes de convecção geradas pelo calor, mas comparando com o infravermelho, ele tem maior alcance.

Capítulo 3 - Padrões de Transmissão de Dados sem Fio

Neste capítulo será feito um estudo sobre o padrão 802.11 para rede local sem fio (*Wireless Lan*) e o padrão 802.16 para rede metropolitana sem fio (*Wireless Man*) ambos padronizados pelo IEEE.

1 Redes Wi-Fi (802.11)

O padrão IEEE 802.11 ou Wi-Fi (Wireless Fidelity) [9] foi projetado com o objetivo de criar redes sem fio confiáveis e de alta velocidade, transmitindo dados por meio de ondas de rádio em frequências que não necessitam de licenciamento.

Há diversos padrões 802.11, entre eles os mais populares são o 802.11b, 802.11a e 802.11g. Todos os três padrões usam o mesmo protocolo de acesso ao meio, CSMA/CA. Todos os três padrões também usam a mesma estrutura de quadro para quadros da camada de enlace. Os três padrões têm a capacidade de reduzir sua taxa de transmissão para alcançar distâncias maiores. Os três padrões apresentam algumas diferenças importantes da camada física, que é mostrada na tabela 1.

Padrão	Faixa de frequência	Taxa de dados
802.11b	2.4-2.485 GHz	Até 11 Mbps
802.11a	5.1-5.8 GHz	Até 54 Mbps
802.11g	2.4-2.485 GHz	Até 54 Mbps

Tabela 1: Resumo de padrões IEEE 802.11.

1 Camada física

O padrão Wi-Fi de 1997 especifica três formas de transmissão na camada física. Um deles usa infravermelho como meio, semelhante aos utilizados pelos

controles remotos de televisão. Os outros dois métodos são o FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)[9] e o DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)[9], que utilizam a banda ISM de 2,4 GHz. Estas técnicas podem alcançar 1 ou 2 Mbps e com baixa potencia [9].

Para conseguir maior largura de banda foram criadas duas outras técnicas, são elas o OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)[9] e o HR-DSSS (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum)[9], que operam com até 54Mbps e 11Mbps respectivamente [9].

Optando por usar infravermelho, a transmissão é difusa e seus sinais não podem atravessar paredes. Há duas velocidades permitidas, de 1 Mbps, que usa codificação onde 4 bits são codificados como uma palavra de 16bits, e 2 Mbps, que utiliza 2 bits codificados para produzir palavra código de 4 bits.

Optando por usar infravermelho, a transmissão é difusa e seus sinais não podem atravessar paredes. Há duas velocidades permitidas, de 1 Mbps, que usa codificação onde 4 bits são codificados como uma palavra de 16bits, e 2 Mbps, que utiliza 2 bits codificados para produzir palavra código de 4 bits.

O FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum – espectro de dispersão de salto de frequência) utiliza 79 canais, cada um com 1 MHz de largura, começando na extremidade baixa da banda ISM de 2,4GHz [9].

Os saltos de frequência no FHSS ocorrem da seguinte forma é gerada uma seqüência de frequências de forma pseudo-aleatória. A mudança de uma frequência para outra é obedece essa seqüência, assim todas as estações que utilizarem mesma semente do gerador de números pseudo-aleatório, estarão sincronizadas. Essa técnica oferece uma segurança contra possíveis intrusos, pois se eles não souberem as seqüências de saltos, não poderão espionar as transmissões. O tempo de um salto de frequência para outro é configurável, mas deve ser menor que 400ms [10].

O DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum – espectro de dispersão direta), opera também a 1 ou 2 Mbps. Os bits são transmitidos como 11 chips, usando-se a seqüência de Barker. Não há matematicamente diferença entre um bit e um chip, mas desenvolvedores de espectro de dispersão tem adotado essa terminologia para indicar que chips são somente uma parte na codificação e processo de transmissão, e não carregam dados.

O padrão 802.11a utiliza OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – multiplexação ortogonal por divisão de frequência) e foi a primeira LAN sem fio de alta velocidade, operando na banda ISM de 5GHz e transmissão de até 54 Mbps. Nesta taxa, 216 bits são codificados em símbolos de 288 bits [9]. O OFDM usa vários subcanais, todos de baixa largura de banda, mas são multiplexados em um rápido canal combinado. Esses canais estão em número de 48 para dados e 4 para sincronização, perfazendo um total de 52 subcanais.

O padrão 802.11b utiliza HR – DSSS (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum – espectro de dispersão de seqüência direta de alta velocidade), é mais lento que o 802.11a, mas possui um alcance cerca de sete vezes maior. Sua taxa de transmissão de dados se adapta durante a operação, para alcançar a velocidade ótima de carga e ruído. Sendo permitido taxas de 1, 2, 5,5 e 11 Mbps.

Vemos mais detalhadamente as características da camada física na tabela 2.

Standar	maximum	Fallback Rates	Channels Provided	Frequenc	Radio Technique
802.11	2 Mbps	1 Mbps	3	2.4 GHz	FHSS or DSSS
802.11b	11 Mbps	5.5 Mbps 2 Mbps 1 Mbps	3	2.4 GHz	DSSS
802.11a	54Mbps	48 Mbps 36 Mbps 24 Mbps 18 Mbps 12 Mbps 9 Mbps 6 Mbps	12	5 GHz	OFDM
802.11g	54 Mbps	same as 802.11a	3	2.4GHz	OFDM

Tabela 2: Detalhes da camada física

2 Subcamada MAC

O protocolo da subcamada MAC do 802.11 é inspirado no acesso aleatório do protocolo de acesso da Ethernet (Ethernet é um padrão que define como os dados serão transmitidos fisicamente através dos cabos da rede). Esse protocolo de acesso aleatório é denominado CSMA(Carrier Sense Multiple Acces) de prevenção

de colisão ou mais sucintamente, CSMA/CA (CSMA with Collision Avoidance) [8]. Este protocolo observa o canal de comunicação antes de transmitir, só fazendo uso do mesmo caso esteja livre. Apesar do 802.11 usar o CSMA, como o Ethernet, os dois protocolos MAC apresentam diferenças importantes, entre essas diferenças está o fato de o 802.11 utilizar prevenção de colisão ao invés da detecção de colisão. Outra diferença é devido ao canal de transmissão do 802.11 tem maior taxa de erros de bits durante a transmissão do que o canal utilizado pelo Ethernet, então usa-se um esquema de reconhecimento/retransmissão da camada de enlace.

No padrão Ethernet quando uma estação que está transmitindo e percebe uma colisão ela aborta a operação e tenta transmitir novamente. Já no Wi-Fi, para implementar a detecção de colisão seria necessário que os equipamentos usados tivessem a capacidade de enviar e receber sinal ao mesmo tempo, o que não ocorre. Outro motivo para não usar essa técnica é que em algumas situações ocorre um problema conhecido como problema *do terminal escondido*, gerando assim colisões.

O *problema do terminal escondido* consiste em algumas estações na mesma célula não estarem dentro do alcance do rádio umas das outras, assim uma estação pode está transmitindo em uma parte de uma célula podem não está sendo percebidas em outro lugar na mesma célula por outra estação. Como pode ser observado na **Ilustração 5**, uma estação C pode está fazendo uma transmissão para uma estação B. Caso uma estação A escute o canal, não ouvirá transmissão e acreditará erradamente que o canal está livre e que ela pode começar a transmitir para estação B, causando assim colisão.

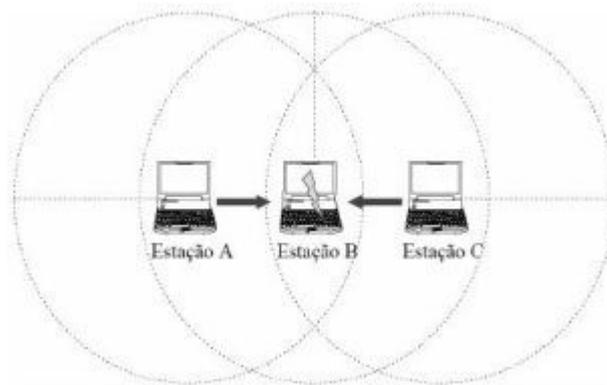


Ilustração 4: Problema do terminal escondido.

Para tentar solucionar esse problema o padrão oferece dois modos de operação. Um modo é o DCF (Distributed Coordination), a outra forma é o PCF(Point Coordination Function) [10].

O DCF é um protocolo de handshaking que funciona da seguinte maneira, quando uma estação A quer transmitir para uma estação B, ela verifica se o canal está ocioso, caso afirmativo, A envia um quadro RTS para B, quando B recebe essa solicitação, ele pode conceder a permissão enviando de volta um quadro CTS. Recebendo o CTS de B, A inicia um timer ACK e começa a enviar os quadros de dados. Se B receber os quadros corretamente ele envia um quadro ACK e conclui a troca de quadros. Caso o timer ACK de A expire antes de B confirmar com um ACK, A reinicia o protocolo e tenta novamente.

Outras estações que estiverem no alcance de A ou B, ao perceberem um quadro RTS ou CTS, podem avaliar por meio destes quadros, que o canal está sendo usado e quanto tempo demorará a transmissão.. Essas estações solicitam uma espécie de canal virtual ocupando elas próprias, esse canal é indicado pela sigla NAV (Network Allocation Vector).

O outro modo permitido é o PCF, no qual a estação-base efetua o polling das outras estações, perguntando se elas têm algum quadro a enviar. Tendo em vista que a ordem de transmissão é totalmente controlada pela estação-base em modo PCF, não ocorre nenhuma colisão. [9]

3 Estruturas de quadros do 802.11

A estrutura de quadros do 802.11 (Ilustração 5) consiste em um cabeçalho MAC, o corpo do quadro e o Check-Sum.

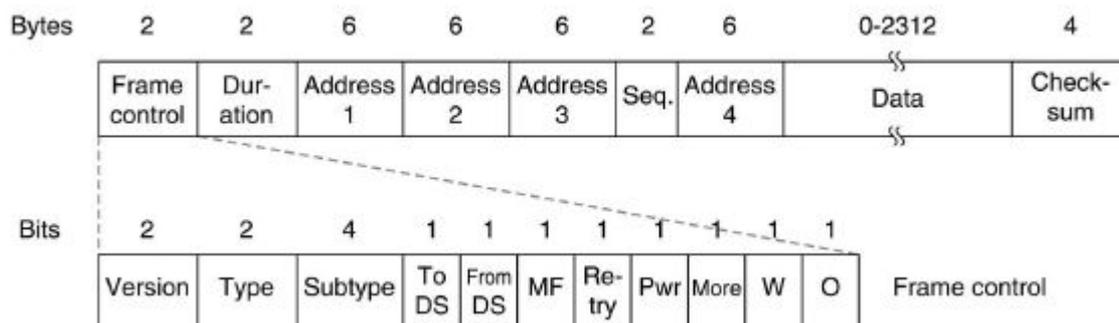


Ilustração 5: Estruturas de quadros do 802.11

O primeiro campo (Frame Control) do quadro é o Controle de Quadro, sendo ele subdividido em 11 subcampos. O subcampo inicial indica a Versão do Protocolo, permite a operação de duas versões do protocolo na mesma célula. Logo em seguida encontramos o campo de Tipo (dados, controle ou gerenciamento) e subtipos (RTS ou CTS). O bit MF serve para identificar se haverá mais fragmentos. O bit repetir indica o pedido de retransmissão de um quadro enviado anteriormente. O bit gerenciador de energia (Pwr) é usado pela estação-base para deixar o receptor em estado de espera, ou tira-lo desse estado.

O segundo campo é o de duração, indica o tempo que a transmissão de quadro irá gastar para ser transmitido. Esse campo é usado para calcular tempo no mecanismo NAV (Network Allocation Vector). O cabeçalho de quadro contém 4 endereços, dois deles para endereçar estação-base de destino e origem, e os outros dois para endereço de estação-base de origem e destino entre células.

O campo seqüência serve para que os quadros sejam numerados, ele é formado por 16 bits, onde os 12 primeiros bits são para numerar subcampos.

O corpo consiste é onde são transportados os dados, possui 2.312 bytes de carga útil, e é seguido pelo campo total de verificação (Check-sum), sendo este ultimo responsável em verificar a integridade dos dados contidos no campo anterior [9].

4 Serviços

Os cinco serviços de distribuição são fornecidos pela estação-base e estão relacionados com a mobilidade das estações, entrada e saída da célula, conexão e desconexão com a estação-base.

O serviço de associação tem como finalidade adicionar uma estação ao grupo, quando uma estação se encontra dentro do alcance do rádio de uma estação-base ela anuncia sua identidade e seus recursos. Entre esses recurso anunciados estão a taxa de dados admitidas, a necessidade de serviços PCF e requisitos de gerenciamento de energia. A estação-base pode aceitar ou rejeitar a nova estação. Caso seja aceita, a nova estação terá que se autenticar.

O serviço de desassociação possibilita a uma estação desassociar-se, interrompendo assim o relacionamento com a estação-base.

O serviço de reassociação tem a ação inversa do de distribuição, ou seja, ao se deslocar de uma célula para outra, uma estação pode usar esse serviço para mudar sua estação-base.

O serviço de distribuição é usado no roteamento dos quadros enviados para estação-base. Se o destino desse quadro for local, ele é enviado normalmente pelo ar, caso contrário, será encaminhado pela rede física conectada.

Finalmente, o serviço de integração, o qual tem como funcionalidade a compatibilização dos formatos de quadro de outros protocolos, ou seja, se um quadro precisar ser enviado por uma rede que não seja 802.11 ou de formato de quadro com endereçamento diferente, esse serviço cuida da conversão do padrão 802.11 para o formato específico da rede de destino.

Os quatro serviços intracélula são usados depois que ocorre a associação.

A autenticação é o serviço de validação da estação ao grupo. Depois que uma estação móvel é associada a uma célula, ou seja, é aceita em uma célula, a estação-base envia um quadro desafio, para que essa estação móvel mostre que conhece a chave secreta atribuída a ela. Isso é feito pela estação móvel, usando uma chave para criptografar o quadro, devolvendo ele a estação-base. Se o resultado da criptografia for correto, ela está registrada na célula.

O serviço de desautenticação tem como finalidade a desvinculação da estação ao grupo.

O serviço de privacidade tem como finalidade a criptografia das informações para que as mesmas não sejam acessadas por outras estações, para tanto o padrão utiliza o algoritmo RC4.

Finalmente o serviço de entrega de dados garante, nas camadas mais altas, a detecção de erros proporcionando certa confiabilidade aos dados [10].

2 Redes WiMAX (Padrão IEEE 802.16)

Recentemente novas tecnologias de rede sem fio estão sendo desenvolvidas pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers – Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica*), em conjunto com a indústria, com foco em interoperabilidade, suporte ao protocolo IP e a altas taxas de transmissão.

Criaram assim o WiMAX Fórum o qual se constitui em uma corporação sem fins lucrativos composta para promover e certificar a compatibilidade e a interoperabilidade entre os produtos sem fio de banda larga, este é composto por fabricantes de equipamentos e componentes de redes.

Uma das tecnologias que foi desenvolvida foi o padrão IEEE 802.16 atualmente é conhecida como *Wimax* ou ainda *Wi-Max*, seu nome provém de *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (Interoperabilidade Mundial para Acesso por Microondas). Trata-se de uma tecnologia para rede sem fio que pode ser considerada como sendo uma versão “turbinada” do *Wi-Fi*. Nasceu da necessidade de ter uma tecnologia sem fio de banda larga com longo alcance e alta

taxa de transmissão. Tecnologia sem fio que permite acesso fácil às comunicações em banda larga, especialmente em áreas rurais, onde instalar conexões de alta velocidade seria difícil ou dispendioso em relação a cabos convencionais ou de fibra ótica.

O IEEE 802.16 encontra-se dividido nos seguintes grupos: 802.16, 802.16a, 802.16c, 802.16d, 802.16e e 802.16f.

Depois de 2 anos de trabalho, o padrão inicial cobrindo sistemas de 10 a 66 GHz foi aprovado para publicação em Dezembro de 1999 e publicado em Abril de 2002 [8].

O padrão 802.16a foi concebido com o intuito de que o 802.16 também operasse nas faixas de frequência de 2 a 11 GHz. Este objetivo foi alcançado com modificações no MAC e especificações adicionais na camada física.

O padrão 802.16c lista perfis detalhados de sistemas que funcionam na frequência de 10 a 66 GHz com objetivo de melhorar a interoperabilidade entre eles.

O padrão 802.16d está obsoleto e o seu grupo de trabalho foi terminado. A emenda criada fornecia perfis detalhados para os sistemas que funcionam na faixa de frequência de 2-11GHz.

Projeto em desenvolvimento, o padrão 802.16e tem como finalidade a construção de uma emenda para o 802.16 com especificações para a camada MAC e física que combinam operações fixas e móveis em bandas licenciadas. Isto dará mobilidade aos usuários do WiMAX.

Também em desenvolvimento o padrão P802.16f tem como objetivo a construção de uma emenda que especifica MIBs (Management Information Base) para o padrão 802.16.

Além dos padrões discutidos acima o WiMAX possui também dois subgrupos o 802.16.2 e o 802.16.2a. O 802.16.2 é um conjunto de práticas e recomendações para a coexistência de sistemas de acesso sem fio de banda larga fixa (Fixed Broadband Wireless Access Systems) cobrindo as faixas de 10 a 66 GHz. Este documento foi publicado em Setembro de 2001 [11]. Já o 802.16.2a é uma emenda para expandir o escopo da faixa de frequência do 802.16.2, incluindo a faixa de 2 a 11 GHz além de melhorar as recomendações envolvendo os sistemas ponto a ponto.

Operando no espectro de frequência de 10 – 66 GHz com linha de visada e

largura de canal de 28 MHz a taxa de transmissão é de 32 – 134 Mbps. Usando espectro de freqüência menor que 11 GHz sem linha de visada e com largura de canal de 20MHz, consegue-se transferência acima de 75 Mbps. Por ultimo usando espectro de freqüência menor que 6 GHz sem linha de visada e suporte a mobilidade, com largura de canal de 5MHz, taxa de transmissão acima de 15 Mbps [12].

No WiMAX, sua camada MAC é estruturada para suportar múltiplas especificações de camada física, cada qual apropriada para um tipo particular de ambiente operacional conforme a faixa de freqüência da aplicação.

1 Pilha de protocolo

A estrutura geral da pilha de protocolo é semelhante ao das outras redes 802, mas tem um número maior de subcamadas.

Logo em cima da camada de transmissão física encontra-se uma camada de convergência para esconder as diferenças entre as tecnologias da camada de enlace de dados.

A camada de enlace é dividida em três subcamadas. A subcamada inferior é responsável pela segurança e privacidade, ela cuida da criptografia e descriptografia, além do gerenciamento de chaves publicas.

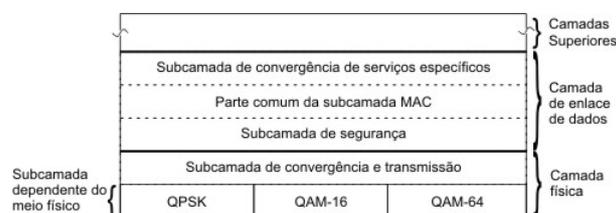


Ilustração 6: Pilha de protocolo do 802.16

Logo em seguida temos a parte comum da subcamada MAC. É neste ponto que se encontram os principais protocolos, como o de gerenciamento de canais. De

acordo com o modelo, é a estação-base que controla o sistema de gerenciamento de canais, programando os canais de downstream e ajudando a gerenciar os canais de upstream. Essa subcamada MAC é totalmente orientada a conexão, assim pode fornecer garantia de qualidade em transmissões de voz e vídeo.

A subcamada de convergência de serviços específicos é equivalente a subcamada de enlace lógico dos outros protocolos 802, ela tem a função de definir a interface com a camada de rede.

2 A camada física

O 802.16 opera na faixa ISM de 10 a 66 GHz. Nessa frequência essas ondas têm um comprimento milimétrico, e tem a propriedade de trafegarem em linha reta semelhante a luz. Devido a isso é possível ter uma torre com várias antenas direcionada para cada setor e cada setor ter seus próprios usuários. Para frequências abaixo de 11 GHz, onde propagações sem linha de visada são esperadas, tem-se três alternativas: WirelessMAN-OFDM(Orthogonal Frequency-division Multiplexing), WirelessMAN-OFDMA(Orthogonal Frequency-Division Multiple Access), e o WirelessMAN-SCa(Single carrier).

Como a intensidade do sinal cai nitidamente com a distância da estação-base, o 802.16 usa três esquemas de modulação diferentes. O assinante mais próximo usa a modulação QAM-64 (Quadrature Amplitude Modulation), com 6 bits/baud. Assinantes localizados a uma distância média, utiliza o QAM-16, com 4 bits/baud. E para assinantes distantes, é usado o QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), com 2 bits/baud.

Por exemplo, para um valor típico de 25 MHz do espectro, o QAM-64 oferece 150 Mbps, o QAM-16 oferece 100 Mbps, e o QPSK oferece 50 Mbps. Em outras palavras, quanto mais distante estiver o assinante em relação à estação-base, mais baixa será a taxa de dados[.] [10].

O 802.16 fornece um modo flexível de alocar a largura de banda. Para isso são usados dois esquemas o FDD(Frequency Division Duplexing – duplexação por divisão de frequência) e TDD(Time Division Duplexing – duplexação por divisão de

tempo). Usando o TDD, a estação-base emite quadros periodicamente. Os primeiros quadros são destinados a downstream, depois há um tempo de proteção e logo em seguida vêm os quadros de upstream. Sempre que necessário pode-se alterar o número de slots de tempo dedicado a cada sentido, assim a banda de cada sentido corresponde ao tráfego realmente usado nesse sentido.

Uma característica da camada física, neste padrão, é capacidade de reunir vários quadros MAC enfileirados, em uma única transmissão física. Dessa forma reduz o número de preâmbulos e cabeçalhos da camada física, aumentando assim a eficiência espectral.

Outra diferença da camada física do 802.16 é a presença da correção de erros, usando nela o algoritmo de Hamming. Na maioria das redes quando um quadro é recebido com erro, ele é descartado e é requisitado uma nova transmissão. No 802.16 é diferente, pois como espera-se que vá ocorrer alta taxa de erro na transmissão, usa-se a correção de erro, para dar a impressão de que o canal de transmissão é melhor do que realmente é, evitando, assim, um certo overhead na rede.

3.2.3 Protocolo da subcamada MAC

A camada de *enlace* é dividida em três subcamadas. A primeira é a subcamada de segurança. Nela está definido que somente a carga útil de cada quadro é criptografado, mantendo assim os dados secretos, mais possibilita que os espões saibam quem na rede está comunicando com quem.

Quando um assinante se conecta a estação-base, ele executa um processo de autenticação mútua usando criptografia RSA de chave pública, usando um certificado X.509. A carga útil de cada quadro é criptografada usando chave simétrica, podendo ser do tipo DES. E a verificação de integridade emprega o SHA-1.

Outra subcamada é a Parte comum da subcamada MAC. Os quadros MAC ocupam um número inteiro de slot de tempo da camada física. Cada quadro é

dividido em subquadros, sendo os dois primeiros subquadros, são os mapas de downstream e upstream. Eles informam o que existe em cada slot de tempo e quais slots de tempo estão livres. Esse mapa também contém informações sobre o sistema, necessárias às estações que queiram se conectar.

No canal de downstream, como a estação base é o único elemento que transmite na direção dos usuários, ela não precisa se preocupar em sincronizar suas transmissões com mais nenhum outro elemento, simplesmente envia os dados. No canal de upstream é mais complicado, pois existem vários assinantes concorrendo pelo acesso a ele.

Todo serviço no 802.16 é orientado a conexão e cada conexão pertence a uma classe. A classe de serviço de taxa de bits constantes é destinada a serviços de voz não compactada. Nesse serviço precisa de disponibilidade de fluxo fixo para enviar e receber dados. Assim aloca-se uma largura de banda automaticamente igual para upstream como para downstream, e não há necessidade de ficar solicitando slots de tempo.

A classe de serviços de taxa de bits variável de tempo real é destinada a serviços como voz e vídeo compactados, ou aplicações de tempo real que necessite de largura variável. Nesse serviço a estação-base faz consulta ao assinante periodicamente, em intervalos de tempo fixos, sobre a quantidade de largura de banda necessária.

Já a classe de serviços de taxa de bits variável de tempo não-real é destinada a transmissão pesada como transferência de arquivos grandes que não precisam ser de tempo real. Nesse serviço a estação-base consulta o assinante sobre a largura de banda, mas essa consulta não é feita em intervalos fixos. Caso um assinante não responda a uma solicitação, depois de k vezes seguidas, a estação-base coloca-o em um grupo de multidifusão.

E finalmente o serviço de melhor esforço destina-se a qualquer outro caso de conexão. Nesse serviço o assinante tem que disputar a largura de banda com os outros assinantes de melhor esforço. Nos mapas de upstream cotem os slots disponíveis para disputa. Se uma solicitação for bem sucedida, ela será notada no próximo mapa downstream, caso contrario terão de tentar novamente, usando o algoritmo de recuo binário exponencial da Ethernet, para evitar colisões.

O 802.16 define duas formas de alocação de largura de banda, uma por

estação, e outra por conexão. Na alocação por estação, é a estação que se encarrega de repartir a largura de banda entre os usuários. No outro caso, a estação-base que administra cada conexão.

3.3.4 Estrutura de quadro do 802.16

Os quadros MAC começam com um cabeçalho genérico. Em seguida vem a carga útil opcional e um Código de verificação CRC (Checagem de Redundância Cíclica) também opcional. A carga útil é opcional em quadros como o de solicitação de slot de tempo. O total de verificação de carga útil também é opcional devido a correção de erro, empregado na camada física, e a não tentativa de retransmitir quadros em aplicação de tempo real.

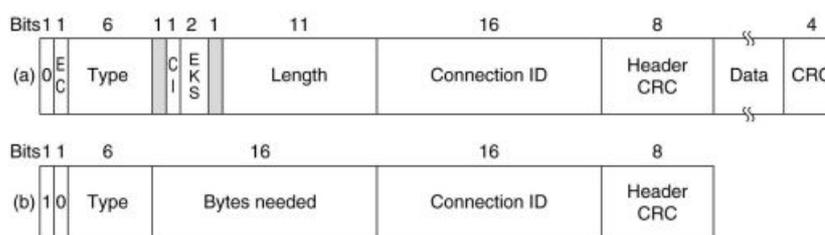


Ilustração 7: (a) Um quadro genérico. (b) Um quadro de solicitação de largura de banda.

O cabeçalho para quadro genérico é iniciado pelo bit 0. Em seguida o bit EC (Encryption Control) informa se a carga útil é criptografada. O campo Tipo identifica o tipo de quadro, informando sobre a presença de fragmentação e compactação. O campo CI (CRC Indicator) indica a presença ou ausência do total de verificação do cabeçalho (CRC de Cabeçalho). O campo EK (Encryption Key Sequence) informa qual chave de criptografia esta sendo usada, caso haja. O campo *Length* contem qual o comprimento completo do quadro, incluindo o tamanho do cabeçalho. O identificador de conexão informa qual conexão esse quadro faz parte. Por fim, o campo CRC de cabeçalho, que é o total de verificação somente do cabeçalho.

O quadro para solicitação de largura de banda se assemelha ao cabeçalho

genérico exceto pelo fato de que ele inicia-se com o bit 1 ao invés de um bit 0 como no cabeçalho genérico, outra diferença está no segundo e terceiro byte que formam um campo de 16 bits, que corresponde a quantidade de largura de banda necessária. O quadro de solicitação de largura de banda não transporta carga útil nem CRC para quadro inteiro.

3.3.5 Uma comparação entre perfis 802.16-2004 e 802.16e

As duas versões de WiMAX refletem a demanda por produtos que são otimizados para acesso fixo ou móvel. As exigências para os dois tipos de acesso variam e são exigidas soluções adequadas diferentes.

Várias características opcionais são suportadas em ambos os perfis 802.16.2004 e 802.16e são provavelmente simplesmente de ser implementado em produtos 802.16e porque postos de serviços móveis adquirem funcionalidade somada. Entre estes, suporte melhorado para MIMO e AAS trará um aumento significativo em processamento e capacidades de NLOS.

3.3.5.1 OFDM e OFDMA

Uma diferença fundamental entre perfis 802.16-2004 e 802.16e é a técnica de multiplexação: o primeiro usa OFDM e o segundo provavelmente usam OFDMA.

Perfil WiMAX baseado em 802.16-2004 é melhor adaptado a aplicações fixas que usam antenas direcionais porque OFDM é inerentemente menos complexo que OFDMA. Como resultado, pode ser desdobrado redes 802.16-2004 mais rapidamente e a um mais baixo custo. Além, certificação de produtos 802.16-2004 do WiMAX Forum estarão disponíveis mais cedo e serão adotado por provedores de serviço o qual planejam distribuir redes no futuro próximo.

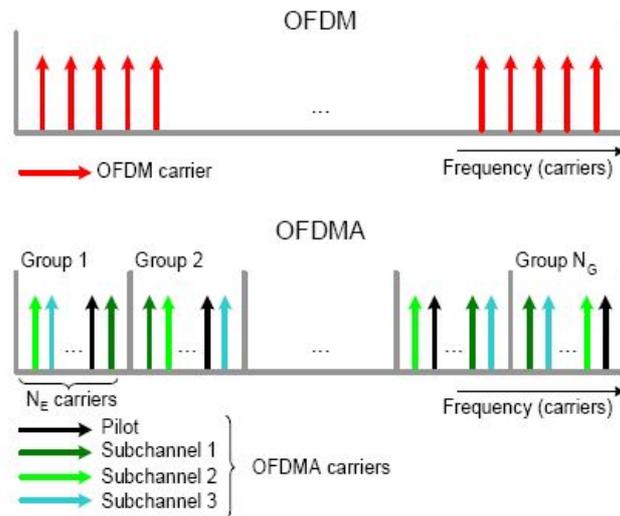


Ilustração 8: OFDM e OFDMA

Em OFDM, todas as portadoras são transmitidas em paralelas com a mesma amplitude. OFDMA divide o espaço de portador em N_G Grupos, cada qual com N_E portadoras, e em N_E sub-canais, cada um com uma portadora por grupo. Em OFDMA com 2048 portadores, para exemplo, isto traduz em $N_E=32$ e $N_G = 48$ no downlink, e $N_E=32$ e $N_G = 53$ no uplink, com as portadoras restantes usadas para faixas de banda e orientação. Codificando, modulação e amplitude usados cada sub-canal baseado em condições de canal para aperfeiçoar o uso de recursos de rede.

OFDMA dá ao perfil 802.16e mais flexibilidade ao controlar diferentes dispositivos do usuário com uma variedade de tipos antenas e formatos. Traz uma redução na interferência para os dispositivos do usuário com antenas omnidirecional e melhorado capacidade de NLOS que são essenciais ao suporte do assinante móvel. Sub-canalização define os sub-canais que podem ser alocados a diferentes assinantes dependendo das condições do canal e suas exigências dos dados (Ilustração 9). Isto dá ao operador mais flexibilidade em controlar a largura de faixa e transmite força, e conduz a um uso mais eficiente dos recursos.

Por exemplo, dentro da mesma slot de tempo mais poder de transmissão pode ser alocado a um usuário com condições de canal menos favoráveis, enquanto abaixando o poder para usuários em melhor localização. Melhoras na cobertura de edifício podem ser alcançada alocando maior poder em sub-canais para assinantes de dispositivos em recinto fechado.

Sub-canalização no uplink traz melhoria adicional no desempenho, na medida que o dá poder de transmitir para dispositivo de usuário severamente limitado. Em OFDM, dispositivos de usuário transmitem usando o espaço inteiro imediatamente de portador (Ilustração 9). OFDMA suporta acesso múltiplo que permite dispositivos de usuário, o qual só transmitir pelo sub-canal alocado por eles. Em OFDMA com 2048 portadores e 32 sub-canais, se somente um sub-canal está alocado a um dispositivo, todo poder de transmissão será concentrado em 1/32 do espectro disponível e pode causar 15 dB de ganho sobre OFDM. Acesso múltiplo é particularmente vantajoso quando canais são usados totalmente.

SOFDMA traz uma vantagem adicional em cima de OFDMA. Ele balanceia o tamanho da Rápida Transformação de Fourier (FFT - Fast Fourier Transform) para direcionar largura de banda com o intuito de manter o espaçamento de portador constante em diferente largura de banda do canal. Constante espaçamento de portadora resulta em uma maior eficiência de espectro em canais largos, e uma redução de custo em canais estreitos.

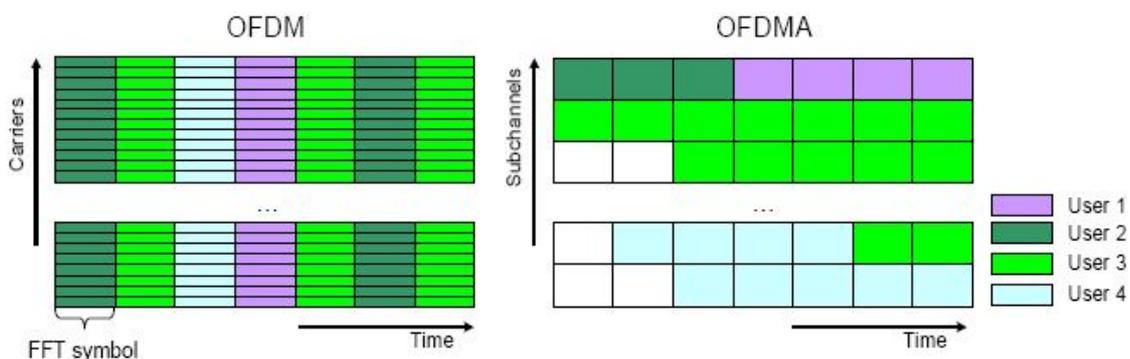


Ilustração 10: Uplink em OFDM e OFDMA

Em OFDM, dispositivos de usuário são designados espaços de tempo para transmissão, mas só um dispositivo de usuário pode transmitir durante um único espaço de tempo. Em OFDMA, sub-canalização permite vários dispositivos de usuário transmitir ao mesmo tempo em cima do sub-canal alocado a eles.

3.3.5.2 Handoffs e roaming

Apoio para handoffs é outra adição crucial na emenda 802.16e para acesso móvel. A habilidade para manter uma conexão enquanto movendo por bordas de cela é uma condição prévia para mobilidade e será incluso como uma exigência no perfil de sistema 802.16e. Enquanto os padrões 802.16-2004 oferecem capacidades de handoff opcionais, suporte para handoffs não é requerido pelo perfil de sistema 802.16-2004.

802.16e WiMAX suporta diferentes tipos de handoff, abrange desde rígido para flexível e isso é escolhido pelo operador. Handoffs rígido usam quebra - forçada no acesso - o dispositivo de usuário é conectado a só uma estação básica em qualquer momento - no qual é menos complexo que handoffs flexível mas tem um latência alta. Handoffs flexível são comparáveis a esses usados em algumas redes celulares e permite o dispositivo de usuário reter a conexão com uma estação básica até que é associado com um novo (aproximação primeiro depois quebra), reduzindo latência assim. Enquanto aplicações movel como Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) ou aposta grandemente em beneficio de baixa latência em handoffs flexível, handoffs rígido tipicamente basta para serviços de dados. QoS e Serviço Acordos Nivelados (SLAs - Service Level Agreements) é mantido durante handoffs.

Capacidades de roaming através de serviços de provedores podem ser implementados em ambos 802.16-2004 e 802.16e WiMAX, mas eles são especialmente valiosos para acesso portátil e móvel. O Foro de WiMAX não espera incluir requisito de roaming nos sistema de perfil 802.16e, como roaming é uma capacidade nivelada mais alta que vai além da extensão do programa de certificação que focaliza no PHY e camadas de MAC. O Grupo Trabalho dos Provedores de Serviço e o Grupo Trabalho de Rede dentro do WiMAX Forum estão trabalhando para identificar requisitos funcionais para roaming e estabelecer uma

plataforma de roaming.

Capítulo 4 - Comparação

Nesse capítulo faremos uma comparação entre o WiMAX e diversos outros tipos de redes.

Inicialmente mostraremos uma comparação entre Redes WiMAX e redes tradicionais baseadas em cabos metálicos.

4.1 WiMAX x Redes de Cabo

Se comparando a infra-estrutura ligada de uma rede PSTN [12] (public switched telephone network) baseada em fios de cobre, é fácil notar que uma infra-estrutura de rede WiMAX é bem mais barata de ser construída do que a anterior. Redes baseadas em WiMAX podem ser construídas por uma fração do custo de uma rede PSTN [13].

O custo com equipamentos para acesso do cliente são mais baixos. Daqui a pouco tempo espera-se que o preço do CPE tenha caído para US\$ 100 (o que já aconteceu com modems ADSL) e então a tecnologia será muito mais competitiva [13].

Uma infra-estrutura de rede WiMAX oferece potencialmente muito mais serviços que uma rede PSTN pode oferecer, gerando maior revenda. Em uma rede WiMAX podemos utilizar serviços de telefonia, de TV por assinatura, acesso a Internet e qualquer aplicação disponibilizada por esta. Por ser um serviço bem mais barato de se montar e operar o WiMAX irá oferecer novas oportunidades de negócio além de permitir a concorrência em áreas antes dominadas por monopólio, como no caso das companhias telefônicas. A combinação de WiMAX com VoIP irá permitir que novas empresas ofereçam serviços de voz concorrendo com as grandes empresas de telefonia [13].

Ainda sobre os custos, as redes sem fio possuem uma grande vantagem sobre as redes cabeadas no que diz respeito à propriedade do meio de transmissão utilizado entre o provedor do serviço e o cliente. Muitas empresas não podem receber um serviço de banda larga por não haver um cabo de fibra ótica que

interligue o provedor e o prédio do cliente e o custo de passar este cabo normalmente é proibitivo. Com o WiMAX os dados atravessam pelo ar, não sendo necessário a utilização de cabos e nem ter propriedade do meio por onde os dados trafegam.

Falando sobre complexidade, se pensarmos em uma rede PSTN, notaremos que ela é bastante complexa. Afinal são vários anos de evolução e adaptação onde novas técnicas são combinadas com técnicas antigas elevando a complexidade do sistema. As redes WiMAX por sua vez não terão que ter compatibilidade com nenhum sistema legado. O WiMAX é novo, portanto sua infra-estrutura é muito mais simples quando comparada a uma rede PSTN[12].

Outro ponto a ser observado é que o WiMAX é baseado em um padrão aberto, o IEEE 802.16, ao contrário dos sistemas fechados utilizados pelas operadoras em suas redes PSTN. Com um padrão aberto, os provedores de serviço podem combinar diversos elementos de sua rede, de fabricantes diferentes, obtendo assim maior flexibilidade em sua infraestrutura.

Um das justificativas para o monopólio de algumas empresas de telefonia ou de TV a cabo é que eles são tipos de mercado de escala e que, algo tão grande, caro e complexo só pode dar certo se houver um esquema de monopólio protegendo-os. Um sistema WiMAX pode ser construído de forma modular, começando pequeno e crescendo de acordo com a demanda. O tamanho reduzido de um sistema WiMAX vai facilitar sua implantação e gerenciamento, abrindo espaço para pequenas empresas oferecerem serviços em cima do WiMAX.

O WiMAX é mais conveniente. Sabemos que as empresas de TV a cabo são conhecidas pelo serviço de vídeo que entregam. As redes PSTN por sua vez são conhecidas pelo serviço de voz oferecido. Hoje em dia existe uma demanda por um serviço de entrega de dados banda larga, tanto para clientes residenciais como comerciais. As empresas de telefonia não conseguem entregar este serviço eficientemente, pois nem todos os lugares possuem a infra-estrutura necessária para suportar este serviço. Os locais que possuem esta infraestrutura rapidamente ficam saturados. O WiMAX pode oferecer de forma eficiente todos os três serviços tratados acima: voz, vídeo e data. Todos através de um único fornecedor, o provedor da rede WiMAX.

Hoje há uma grande necessidade e um grande clamor na área de

telecomunicações por provedores de serviços que ofereçam o trio de voz, vídeo e dados. Atualmente já se fala em uma quádrupla que incluiria também telefonia móvel. Como o serviço IP já é bastante comum e pode ser utilizado para entregar todos estes serviços, só resta existir uma forma eficiente de entregar estes pacotes IP para os usuários finais, eliminando o gargalo que existe na última milha, ou seja, a conexão entre o provedor de serviço e o usuário final. O WiMAX vem justamente para eliminar este gargalo de última milha.

A flexibilidade do WiMAX é outro fator que lhe dá uma grande vantagem sobre outros tipos de redes. O WiMAX abrange usuários fixos e móveis, opera em bandas licenciadas e não licenciadas e disponibiliza serviços com delay fixos e variáveis [3].

Mostrado as vantagens de capacidade, acessibilidade e custo benefício que o WiMAX tem sobre distribuição de serviços de voz, vídeo e dados pelos atuais prestadores de serviços de telefonia e tv a cabo, usando as tecnologias convencionais de transmissão. Faremos a seguir uma comparação entre o WiMAX e o WiFi.

4.2 WiMAX x WiFi

Vamos agora fazer uma comparação entre o WiMAX e o WiFi, levando em consideração algumas características dos dois padrões.

O WiMAX é diferente do WiFi. Eles são projetados para aplicações totalmente diferentes. WiFi é uma tecnologia de rede local projetada para acrescentar mobilidade a LANs de cabo privado. WiMax, por outro lado, foi projetado para comunicar-se com uma rede metropolitana de acesso de banda larga sem fios (BWA).

O acesso WiFi é limitado de 4 a 6 milha de raio (talvez 25 milhas quadradas ou 65 km quadrado de cobertura que é semelhante em alcance de uma zona de telefone celular). Através de antenas LOS mais fortes, a transmissão da estação WiMAX envia dados a computadores habilitados para WiMAX ou roteadores ativos dentro de 30 milhas de raio do transmissor (2,800 milhas quadradas ou 9,300 km

quadrados de cobertura) [14]. A seguir tabela 3, apresenta uma comparação entre o alcance e a taxa de transferência entre WiMAX e WiFi.

Padrão	Máxima Taxa de Dados	Tamanho da Célula	Banda de Frequencia	Técnica de Radio
802.11	11- 54 Mbps	4 – 6 Milhas	2.4 – 5 GHz	FHSS, DSSS, OFDM, HR DSSS
802.16	≤ 150 Mbps	≤ 30 Milhas	2 - 10 e 10 - 66 GHz	QPSK, 16-AQM, 64-QAM, OFDM, OFDMA

Tabela 3 : WiMAX x WiFi

Fazendo uso de uma modulação bastante robusta, o IEEE 802.16 entrega altas taxas de throughput a grandes distâncias e com eficiência espectral tolerante às possíveis reflexões do sinal. A transmissão dos dados se dá em velocidades entre 1 e 70Mbps [14].

A estação base consegue realizar um compromisso entre alcance e throughput realizando uma modulação adaptativa dinâmica, ou seja, caso a estação base possua um usuário a uma distância considerável e o link entre a base e este usuário não seja robusto, a base pode reduzir de uma modulação de maior ordem (64 QAM) para modulações de ordem menores (16 QAM ou QPSK), reduzindo o throughput porém aumentando o alcance possível para o sinal.

Um ponto importante também é que uma conexão WiFi mais rápida pode transmitir até 54 megabits por segundo em condições ótimas [9]. WiMAX pode controlar até 70 megabits por segundo [14]. Até mesmo uma vez que 70 megabits é dividido entre várias dúzia usuários negócios ou algumas centenas usuários domésticos, fornecendo pelo menos o equivalente a taxa de transferência de um *cable-modem* a cada usuário.

Outra diferença entre o WiMAX e o WiFi é a quantidade de usuários por célula. O WiFi utiliza o protocolo CSMA/CA [9], que é basicamente um protocolo Ethernet sem fio, cujo resultado se nota quando aumenta-se o número de usuários, fazendo com que o throughput seja reduzido. O WiMax, por sua vez, foi projetado de forma a possibilitar a utilização de centenas de usuários por canal sem diminuição de throughput.

Para permitir um fácil planejamento das células tanto nos espectros licenciados e sem licença, o 802.16 suporta canais com largura de bandas flexíveis, ou seja, se um determinado operador possui um espectro de 20MHz, ele pode

dividir seu espectro em duas seções de 10MHz ou em 4 seções de 5MHz [14]. O operador pode aumentar o número de usuários aumentando o número de seções de menor largura de banda, bom alcance e bom throughput.

Não esquecendo um critério importante que é a qualidade de serviços, pois o IEEE 802.16 foi projetado para funcionar em várias condições de propagação, incluindo operação com linha de visada e sem linha de visada e possibilita uma performance robusta e confiável mesmo em condições ruins de propagação.

Embora o 802.11 forneça algum suporte para tráfego em tempo real com a utilização do modo PCF, ele não foi projetado para telefonia e uso pesado de multimídia. Ao contrario do 802.16 que dá suporte completo a essas aplicações, porque foi criado para uso residencial e comercial [14].

Devido a essas características presentes no WiMAX e não presentes no WiFi nos leva a ver a sua superioridade em uma grande quantidade de aplicações e possíveis formas de utilização.

Em seguida mostraremos as características dos dois principais perfis de WiMAX para serem usados como critérios na hora de escolher qual perfil usar relacionando com o serviço que for pretendido oferecer e discorrer sobre uma migração de um perfil para outro.

4.3 WiMAX 802.16-2004 ou 802.16e

Desenvolvimentos fixos e móveis têm exigências muito diferentes e objetivo substancialmente diferentes segmentos de mercado, com padrões de diferentes uso e localização, necessidade de processamento, forma de dispositivo usuário, e SLAs. Foram definidos os dois “sabores” de WiMAX são adequadamente definidos para demandas distintas destes dois segmentos de mercado e as exigências variadas de diferentes aplicações.

Em um desenvolvimento fixo com funcionalidade básica, 802.16-2004 e 802.126e oferece desempenho semelhante. Única área com máximo resultado de processamento para ambas as versões de WiMAX está aproximadamente 15 Mbps para um canal de 5 MHz, ou 35 Mbps para um canal de 10 MHz [15]. Estação base em áreas densamente povoadas pode alcançar alguns quilômetros que dependem

de atributos como tipo de CPE (Customer Premises Equipment), faixa de frequência, mobilidade, morfologia e assim por diante. Em redes que tem capacidade limitada, o número de estações básicas instalado depende de demanda de processamento, principalmente abrangência.

Porém, o desempenho das duas versões de WiMAX pode mudar substancialmente para aplicações específicas, porque 802.16-2004 são aperfeiçoados para acesso fixo e 802.16e para acesso móvel, embora também pode ser usado para acesso fixo.

Redes fixas podem beneficiar-se de muitas vantagens oferecidas por produtos certificados pelo Fórum 802.16-2004 WiMAX, como será mostrado adiante.

Em primeiro lugar, o fato de o padrão possuir uma **modulação menos complexa** [15], pois utiliza OFDM a qual é uma técnica de modulação mais simples que é mais bem servida a desenvolvimentos que não requerem apoio por mobilidade.

Ele utiliza **faixas isentas de licença**. Diferente dos serviços móveis que exigem espectro autorizado para oferecer cobertura em áreas largas. Porém, desenvolvimentos fixos usaram com sucesso freqüentemente faixas com isenção de licença em áreas onde níveis de interferência são aceitáveis. Para este argumento, a maioria dos perfis enfoca faixas com isenção de licença que estão baseadas no 802.16-2004.

Por utilizar faixas de espectro mais altas selecionadas para os perfis 802.16-2004 resultam em **processamento mais Alto**. Esta é uma vantagem clara, especialmente ao focar usuários de empreendimento com níveis de tráfego mais altos e com CPEs com antenas ao ar livre.

E ainda tem **melhor tempo de mercado** [13]. Pois a disponibilidade comercial mais cedo dos produtos 802.16-2004 permite os operadores a conhecer a demanda retida para conectividade de banda larga dentro áreas de falta de alcance de serviço, e começar ganhando parte de mercado à frente de competidores.

Por outro lado, alguns operadores podem decidir esperar por perfis 802.16e para vários razões, entre elas citaremos a seguir.

A primeira grande vantagem é ter **Suporte para mobilidade**. Os produtos

802.16e são aperfeiçoados para mobilidade e tem suporte a handoffs a até 120 Km/h [15]. Suporte para economia de energia e modos de repouso para estender a vida da bateria de dispositivos móveis de usuário.

Uma característica importante é a **melhor cobertura em recinto fechado**. A cobertura melhor em recinto fechado alcançada através de sub-canalização e a opção de AAS beneficia aplicações fixas e móveis, porque os usuários estão freqüentemente em lugar fechado ou fora de linha de visão. Porém, enquanto antenas ao ar livre podem compensar para cobertura em recinto fechado limitada em desenvolvimentos fixos, isto não é claramente uma opção para usuários móveis com um laptop ou um PDA.

Para resolver alguns problemas das operadoras o IEEE 802.16e possui **maior flexibilidade administração de recursos de espectro**. Ele conta com sub-canalização que também traz a habilidade de redes inteligentes para alocar recursos necessários a dispositivos de usuário. Efetivamente isto resulta em um uso mais eficiente de espectro, conduzindo para mais alto processamento e melhor cobertura em recinto fechado, e, em alguns casos, abaixa custos estratégicos. Isto é particularmente valioso a operadores com espectro limitado.

Uma característica importante é conseguiu **maior abrangência de tamanho físico dispositivos de usuário**. [13] Assim, contam com CPEs externo e em interno, e são esperados cartões de PCMCIA portáteis dominar o mercado de 802.16-2004, laptop, Cartões PCMCIA, míni cards, modem internos, PDAs, e telefones estarão disponíveis em dispositivos de usuário 802.16e. Esta variedade permite às operadoras estender os serviços delas em segmentos de mercado novos e dar mais liberdade aos assinantes delas. Apesar da posterior introdução de produtos 802.16e, é provável que os preços de CPE delas cairão depressa debaixo CPEs 802.16-2004, como produtos 802.16e são focados a um maior destino de comercialização [15]. Com custos de CPE são tipicamente a variável mais importante dentro o plano de negócio de qualquer operador, a disponibilidade de barato CPEs será um do fatores decisivos de qual versão de WiMAX para adotar.

A escolha entre produtos 802.16-2004 e 802.16e depende em grande parte do tipo de serviços que oferecerão e o modelo empresarial do operador. Em alguns casos a escolha é óbvia. Um operador móvel que constrói uma rede para

complementar uma rede 3G irá diretamente para 802.16e. Provedor de Serviço de Internet Sem fios (WISP - Wireless Internet Service Provider) provendo acesso sem fios para uma comunidade rural escolherá tipicamente o menos complexo, baseados em OFDM, produtos 802.16-2004 WiMAX.

Além, operadoras precisam levar em conta vários outros fatores que podem afetar a escolha entre produtos 802.16-2004 e 802.16e. Veremos ele em seguida.

As empresas podem focar **Mercado-alvo**. Se o operador focar os usuários empresariais e os usuários residenciais principalmente em ambiente de LOS, CPEs com uma antena ao ar livre que tem processamento melhor, e desempenho de LOS pode ser mais satisfatório. Isto pode dirigir o operador para um desenvolvimento 802.16-2004. Se ao invés o operador dirigir-se para um mercado principalmente móvel, CPEs 802.16e de baixo custo pode ser requerido para um plano empresarial viável.

Uma questão importante é sobre o **Espectro**. Enquanto o WiMAX Forum continuar somando novos perfis em resposta a demanda comercial, ele provavelmente terá somente ou perfis 802.16-2004 ou 802.16e em algumas faixas. Na maioria dos casos o operador terá pequena escolha em cima das faixas de espectro que estão disponíveis, e a escolha de “sabores” de WiMAX pode depender da utilização do produto. É possível que serão somados perfis 802.16e em faixas tipicamente reservado para aplicações fixas e nômades, porque 802.16e são menos propensos para interferência de multi-caminho.

Outro problema é a **Regulamentação**. Alguns reguladores designam tipos específicos de serviços que podem ser oferecidos em uma faixa de espectro. Por exemplo, alguns reguladores da Europa limitam espectro de 3.5 GHz para serviços fixos e nômades que podem impedir a adoção de 802.16e, como ele suporta serviços móveis, embora às licenças de espectro não tipicamente designem o uso de uma tecnologia particular.

Nos negócios um dos fatores considerados é a **Linha de Tempo**. Pois a disponibilidade mais cedo de produtos 802.16-2004 na faixa de 3.5 GHz será um fator importante para provedores de serviço que querem desdobrar uma rede de WiMAX depressa [15].

4.3.1 Caminhos de migração para 802.16e

O WiMAX Fórum é comprometido com suportar caminhos de migração a redes que suportem portabilidade e serviços móveis. Operadores que querem mover facilmente e em um custo efetivo de uma rede 802.16-2004 para uma 802.16e terá várias opções disponíveis para isso.

Uma das possibilidades pode ser **Cobertura da rede**. Assim, Em áreas onde um operador quer somar portabilidade e acesso móvel, uma cobertura de rede 802.16e que opera em paralelo com rede 802.16-2004 pode ser desdobrada se suficientes recursos de espectro estiverem disponíveis. Isto permite o operador oferecer acesso fixo e móvel na mesma área, mas requer assinantes com dois CPEs se eles quiserem ter acesso a ambas as redes.

Pode se usar **CPEs Dual-modo**. Dessa forma, operadores que querem trocar para 802.16e podem desdobrar CPEs de dual-modo que suportam ambos 802.16-2004 e 802.16e. Inicialmente o operador vai desdobra estações base 802.16-2004 e CPEs, mas uma vez que produtos 802.16e se tornarem disponíveis, ele começará apresentar CPEs dual-modo. Quando todos os assinantes tiverem um CPEs dual-modo, o operador trocará estações base 802.16-2004 por 802.16e e os CPEs automaticamente trocará para o modo 802.16e [15].

Outra alternativa é **Atualização de Software das estações base**. Esta solução pode ser usada junto com o CPE dual-modo. Neste caso, em vez de substituir a estação base, o operador pode executar um upgrade de software para modo 802.16e.

Por fim o fornecedor pode optar por **Estações base de dual-modo**. Se CPEs suportam só um único modo e os planos do operador é uma mudança gradual para 802.16e, estações base de dual-modo podem ser instaladas. Onde uma cobertura de rede prova não ser o custo-efetivo ou o operador carecer do espectro exigido, estações de dual-modo forneçam um modo para suportar ambos os modos e eventualmente troque completamente para 802.16e quando todos o CPEs fossem atualizados. Alguns provedores planejam oferecer estações base dual-modo que dividiram o canal disponível entre os dois modos, enquanto outros planejam

suportar ambos os modos dentro do mesmo canal, alternando frames 802.16-2004 e 802.16e [13].

Enquanto um caminho de transição é valioso para aqueles que planejam mover para 802.16e, o WiMAX Forum espera que a maioria dos operadores escolham manter a rede 802.16-2004 delas. Operadores cuja mobilidade é uma exigência estão provavelmente distribuindo 802.16e do começando. Operadores com um foco em serviços fixos não ganharão muito trocando para 802.16e, a menos que eles planejem estender o portfolio de serviço delas incluindo portabilidade e mobilidade.

Capítulo 5 - Conclusão

A importância da *Internet* hoje na vida das pessoas e necessidade que as empresas tem de manter-se sempre conectados com seus colaboradores, funcionários e clientes, fazem com que um padrão como o WiMAX, que além de fornecer conectividade com qualidade e velocidade se torne indispensáveis tanto para comunicação entre desktop como também para aparelhos móveis.

Por ser uma tecnologia com custo menor de implantação e manutenção quando comparada a outras formas de comunicação, principalmente as redes PSTN, ser mais simples, menor e mais conveniente, o WiMAX é considerado uma tecnologia de ruptura, que vai modificar as formas de telecomunicações atuais. Mostramos neste trabalho como o WiMAX pode ser aplicado para substituir as redes PSTN, de telefonia celular, de TV a cabo e por satélite e também sistemas de conexão com a Internet. A própria Intel que é uma das empresas mais atuantes do Fórum WiMAX cunhou a seguinte frase sobre o mesmo: “o 802.16 é a coisa mais importante depois da própria Internet”.

Comparando-se o WiMAX com o WiFi percebemos que ele apresenta uma maior distancia de alcance de conexão e maior tamanho de célula, além de possibilitar maior número de usuários conectados simultaneamente. Além disso o WiMAX fornece serviços com melhor qualidade pois tem suporte a aplicações de tempo real, podendo ser usado numa maior gama de aplicações. Tudo isso nos mostra que o WiMAX tem melhor qualidade na maioria das aplicações que concorre com o WiFi.

Conhecer o padrão e suas características é fundamental para maior proveito no desenvolvimento e utilização de soluções para comunicação de dados, som e vídeo. Interessados em fornecer conexão WiMAX vão precisar avaliar as diferenças em desempenho e funcionalidade que WiMAX 802.16-2004 e 802.16e apresentam em tipos diferentes de desenvolvimentos e em mercado-alvo. Em muitos casos, disponibilidade de espectro, exigências reguladoras e a linha de tempo para desenvolvimento também será fatores fundamentais para serem considerados. Tendo uma escolha entre duas opções garante que os operadores acharão uma solução mais acertada para eles.

Tanto para acesso fixo como para móvel percebe-se que o WiMAX tem uma

solução que satisfaz a necessidades dos usuários de banda larga, com qualidade e eficiência superior aos oferecidos por outras tecnologias. Sendo assim o IEEE 802.16 é o padrão melhor qualificado quando se pretende escolher redes de banda larga, principalmente quando se pretende, alta velocidade, trafego de tempo real, mobilidade e necessidade de atender grande quantidade de usuários.

Capítulo 6 – Trabalhos Futuros

Um sugestão para trabalhos futuros seria uma comparação de desempenho utilizando simulação de redes podendo usar ferramentas de software que suporte o padrão WiMAX.

Outro trabalho interessante seria a comparação entre aplicações como Voip ou vídeo conferencia em redes WiMAX e redes WiFi.

Capítulo 7 - Referências

- [1] ERKLUND, K. IEEE Standard 802.16: **A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access**. IEEE Communications Magazine. Jun. 2002. p. 98-107. Disponível em: <http://ieee802.org/16/docs/02/C80216-02_05.pdf>.
- [2] GRABIANOWSKI, E. **How WiMAX Works**. Disponível em: <<http://computer.howstuffworks.com/wimax.htm/printable>>. Acessado em: 30 Jan. 2007.
- [3] TORRES, Gabriel. **Redes de Computadores: Curso Completo**. Axcel Books, 2001.
- [4] WIKIPEDIA. **Telecomunicação**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Telecomunica%C3%A7%C3%A3o>>. Acessado em: 20 Set. 2006.
- [5] NOGUEIRA, Mauro L. B., MELCHIORS, Cristina. **Um Pequeno Estudo Sobre Par Trançado**. Disponível em: <<http://penta2.ufrgs.br/rc952/Cristina/utpatual.html>>
- [6] CAMPOS, André L. G. **Fibras ópticas - uma realidade reconhecida e aprovada**. Disponível em: <http://www.rnp.br/newsgen/0203/fibras_opticas.html>
- [7] JESUS, Sergio, **Transmissão rádio**. Disponível em: <<http://w3.ualg.pt/~sjesus/aulas/fdt/node27.html>>
- [8] ANTONELLO, Gordon, **Wimax: Technical Working Group**. Disponível em: <www.wimaxforum.org/news/events/wimax_day_agenda/Gordon_Member_IEEE_802.16.pdf>. Acessado em: 26 Nov. 2006.
- [9] GAST, Matthew S. **802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide**. O'REILLY.
- [10] TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. 4ª ed. Campus, 2003.
- [11] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE) STANDARDS ASSOCIATION. **802.2.16-2004 IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks**, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. Nova Iorque, EUA. 24 Jun. 2004.
- [12] The International Engineering Consortium. **Competitive Public Switched Telephone Network (PSTN) Wide-Area Network (WAN) Access Using Signaling System 7 (SS7)**. Disponível em: <<http://www.iec.org>>
- [13] PRADO, Eduardo. **Dimensionamento de Redes Wimax**. Disponível em: <www.teleco.com.br>

[14] FINNERAN, M. F. **WiMAX versus WiFi. A comparison of Technologies, Markets and Business Plans.** 1 Jun. 2004.

[15] Senza Fili Consulting, **Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks.** Disponível em:
<<http://www.senzafiliconsulting.com/>>