

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Núcleo de Computação Eletrônica

Paulo Pompei de Lima e Silva Junior

**QUALIDADE DE SERVIÇO EM
REDES PADRÃO IEEE 802.16**

Rio de Janeiro

2007

Paulo Pompei de Lima e Silva Junior

**QUALIDADE DE SERVIÇO EM REDES
PADRÃO IEEE 802.16**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Orientador:

Prof. Moacyr Henrique, M.Sc., COPPE/UFRJ, Brasil

Rio de Janeiro

2007

Paulo Pompei de Lima e Silva Junior

**QUALIDADE DE SERVIÇO EM REDES
PADRÃO IEEE 802.16**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada em dezembro de 2007.



Prof. Moacyr Henrique, M.Sc., COPPE/UFRJ, Brasil

Dedico este trabalho a minha mãe Gessi, minha principal incentivadora e a todas aquelas pessoas que de alguma forma sentiram com a minha ausência, durante sua realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela oportunidade. Aos meus pais, irmão e parentes, pela compreensão durante minha ausência. Aos amigos que conquistei no MOT-CN. Aos professores, e toda a equipe do NCE, pelo desempenho e dedicação. A todos vocês muito obrigado!

RESUMO

JUNIOR, Paulo Pompei de Lima e Silva. **QUALIDADE DE SERVIÇO EM REDES PADRÃO IEEE 802.16**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

Este trabalho analisa o padrão IEEE 802.16, fazendo uma abordagem do seu funcionamento, com especial atenção a subcamada MAC e ao suporte à Qualidade de Serviço oferecido.

ABSTRACT

JUNIOR, Paulo Pompei de Lima e Silva. **QUALIDADE DE SERVIÇO EM REDES PADRÃO IEEE 802.16**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

This work analyzes the standard IEEE 802.16, making a boarding of its functioning, with special attention at the sublayer MAC and the support to the Quality of Service offered.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Arquitetura de uma rede 802.16 (fonte [13])	19
Figura 2.2: Pilha de Protocolos do 802.16 (fonte [10]).....	20
Figura 3.1: Múltiplos caminhos de um sinal transmitido	22
Figura 3.2: Exemplo de alocação de banda no FDD (fonte [1]).....	23
Figura 3.3: Estrutura de um quadro TDD (fonte [1])	24
Figura 4.1: Pilha de Protocolos do IEEE 802.16 (fonte [1]).....	27
Figura 4.2: Quadro MAC (fonte [1])	33
Figura 4.3: Cabeçalho MAC genérico (fonte [1])	34
Figura 4.4: Cabeçalho para requisição de largura de banda (fonte [1])	35
Figura 5.1: Arquitetura de QoS no 802.16 (fonte [8])	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Interfaces Aéreas (fonte [1])	21
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AES	Advanced encryption algorithm
ATM	<i>Asynchronous transfer mode</i>
BE	Best effort
BR	Bandwidth request
BS	Base station
BWA	Broadband wireless access
CBR	Constant bit rate
CID	Conection identifier
CRC	Ciclic redundant
CS	Convergence sublayer
DES	Data encryption standard
DHCP	<i>Dynamic host configuration protocol</i>
DL	Downlink
DL-MAP	Downlink map
DSL	Digital subscriber line
EC	Encryption control
FDD	Frequency division duplex
FFT	<i>Fast fourier transform</i>
GFR	<i>Guaranteed frame rate</i>
GPC	Grant per connection
GPSS	Grant per ss
HCS	<i>Header check sequence</i>
HT	Header type
IEEE	<i>Institute of eletrical and eletronics engineers</i>
IP	Internet protocol
LOS	Line of sight
MAC	Medium access control
NLOS	Non line of sight
nrtPS	Non-real-time polling service
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
OFDMA	Orthogonal frequency-division multiplexing access
PDU	Protocol data unit
PHY	Physical layer
PKM	Key management protocol
PMP	Point-to-multipoint
PPP	Point-to-point protocol
QoS	Quality of service
rtPS	Real-time polling service
SA	Security association
SAP	Service access point
SDU	Service data unit
SFID	Service flow identifier
SNMP	Simple network management protocol
SS	Subscriber station
TDD	Time division duplex or duplexing
TDMA	Time division multiple access

TFTP	Trivial file transfer protocol
UCD	Uplink channel descriptor
UGS	Unsolicited grant service
UL	Uplink
UL-MAP	Uplink map
VBR	Variable bit rate
WLAN	Wireless local area network
WMAN	Wireless metropolitan area network
ARQ	Automatic repeat request
QAM	Quadrature amplitude modulation
QPSK	Quadrature phase-shift keying
UPS	Uplink packet scheduling

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 O PADRÃO IEEE 802.16	16
2.1 A ARQUITETURA DO PADRÃO 802.16.....	18
2.2 MODELO DE REFERÊNCIA DO PADRÃO 802.16.....	19
3 A CAMADA FÍSICA DO PADRÃO 802.16.....	21
3.1 TÉCNICAS DE DUPLEXAÇÃO	23
3.1.1 Duplexação por divisão de frequência (FDD)	23
3.1.2 Duplexação por divisão de tempo (TDD).....	23
3.2 INTERFACES FÍSICAS	24
3.2.1 Especificação WirelessMAN-SC.....	24
3.2.2 Especificação WirelessMAN-SCa.....	25
3.2.3 Especificação WirelessMAN-OFDM	25
3.2.4 Especificação WirelessMAN-OFDMA.....	25
3.2.5 Especificação WirelessHUMAN	26
4 A SUBCAMADA MAC DO PADRÃO 802.16.....	27
4.1 TOPOLOGIA PONTO-MULTI-PONTO (PMP) E <i>MESH</i>	27
4.2 FUNÇÃO DA SUBCAMADA DE CONVERGÊNCIA (CS)	30
4.3 FUNCIONAMENTO DA PARTE COMUM DA CAMADA MAC.....	31
4.3.1 Quadro MAC	33
4.3.2 Cabeçalho MAC.....	33
4.3.3 Construção e transmissão do quadro MAC	35
4.3.4 Suporte à retransmissão (Automatic Repeat Request)	37
4.3.5 Agendamento.....	38
4.3.6 Mecanismo de requisição e alocação de banda	38
4.3.7 Resolução de contenções.....	39
4.3.8 Entrada na rede e inicialização	39
4.3.9 Ranging.....	41
4.4 SUBCAMADA DE SEGURANÇA	42
5 QOS NO PADRÃO 802.16	43
5.1 FLUXOS E CLASSES DE SERVIÇO	43
5.2 TEORIA DE OPERAÇÃO	45
6 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Originalmente desenvolvidas para conectar computadores em ambientes com abrangência de rede local, as redes sem fio tiveram um crescimento acentuado em uso e popularidade, que pode ser comprovado pelo aumento do número de serviços de hotspots oferecidos e aplicações, tanto domésticas quanto empresariais.

No tocante aos padrões estabelecidos para redes sem fio, o mais popular é o IEEE 802.11 (*Wireless Local Area Network - WLAN*). Também conhecido como Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), foi projetado para implementar pequenas redes locais, permitindo conectar computadores e dispositivos compatíveis que estejam dentro da sua área de alcance. Em suas variantes o IEEE 802.11 procura atender à demanda por aumento de segurança e velocidade.

No contexto das redes sem fio metropolitana, o padrão IEEE 802.16 [1] – foco deste trabalho - impulsiona a comunicação sem fio para um ambiente externo mais agressivo, onde distâncias maiores devem ser alcançadas.

Criado a partir de 2002, o padrão IEEE 802.16, conhecido de forma mais popular como Wimax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), especifica o nível físico e a subcamada MAC de uma interface para sistemas de acesso banda larga sem fio. Após algumas variantes, em 2005 surge o padrão IEEE 802.16e que inclui uma série de avanços em relação ao padrão original, entre eles a mobilidade e melhoria do suporte à qualidade de serviço (QoS).

Uma das diferenças marcantes em relação a outras tecnologias sem fio é o fato do padrão 802.16 ser concebido para atender a um grande número de usuários com qualidade de serviço, permitindo a mobilidade dos mesmos. A capacidade de

transmissão e alcance nessas redes são superiores até mesmo às redes de telefonia celular, com um custo de implementação bastante inferior [13].

Segundo Tanenbaum [10], o principal motivador para uso das redes 802.16 é o fator econômico. Com ela é possível oferecer serviços de voz e internet de alta velocidade, sem depender da infra-estrutura de cabeamento pré-existente, e sem arcar com os custos altíssimos de uma nova estrutura de cabeamento.

Outros motivadores para o uso do padrão 802.16 baseiam-se em características intrínsecas do padrão, tais como:

- Padronização dos equipamentos e suas funcionalidades, permitindo a interoperabilidade das Estações Rádio Base de diversos fornecedores;
- Mecanismos de segurança e autenticação com protocolos do tipo DES e AES para troca de chaves e transmissão de informações, garantindo a robustez necessária para viabilizar aplicações que requerem alto grau de privacidade, integridade e autenticidade;
- Possibilidade de implementar mecanismos de reserva de banda para serviços específicos, garantindo requisitos de QoS fim-a-fim, sendo certamente uma das grandes vantagens da tecnologia, permitindo a convergência de serviços de voz, dados e imagens.

O objetivo deste trabalho é apresentar os aspectos referentes à qualidade de serviço em redes IEEE 802.16. São descritas a arquitetura de suporte à QoS especificada pelo padrão IEEE 802.16, assim como os mecanismos necessários para manutenção e garantia da qualidade de serviço.

Por uma questão de limitação de escopo, este trabalho tratará apenas dos aspectos de QoS. Não serão abordados, a fundo, os diversos tipos de camadas físicas.

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. Na seção 2, o conceito básico do padrão 802.16 é apresentado. Na seção 3, serão abordados os tipos de meio físicos possíveis de implementação em uma rede 802.16. Na seção 4, uma abordagem da subcamada MAC introduzirá o conceito de QoS, que será visto mais detalhadamente na seção 5.

2 O PADRÃO IEEE 802.16

Em 1999 um grupo formado por membros do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) deu início ao desenvolvimento de um padrão formal de rede sem fio de banda larga que cobrisse uma área metropolitana, impulsionados pelo rápido crescimento da demanda, tanto comercial quanto residencial, de acesso em alta velocidade à Internet.

Desde seu lançamento, em 2002, o padrão 802.16 continua em desenvolvimento, através de grupos de trabalho que têm como objetivo prover melhorias no seu desempenho. Assim sendo, sofreu várias alterações, dando origem a emendas apresentadas a seguir [11]:

- 802.16.2 - especifica um conjunto de “Melhores Práticas” para implementar o WIMAX em diversos cenários práticos do mundo real. Foi atualizada em 2004 com a versão 802.16.2-2.
- 802.16a - publicada em janeiro de 2003, especifica a operação em frequências compreendidas entre 2 e 11 GHz sem a necessidade de visada direta, um fator até então limitante das redes sem fio e que representava um entrave à adoção do padrão, principalmente em áreas urbanas. Existe um interesse comercial maior nesta faixa de frequência pela possibilidade de se prover o acesso à última milha (*last-mile*) em substituição às atuais redes cabeadas.[4];
- 802.16c - publicada em 2002, especifica um conjunto de perfis que garantem a interoperabilidade entre fabricantes quando em operação nas frequências entre 10 e 66 GHz;

- 802.16-2004 - em 2004, foi lançada uma nova versão do 802.16, incorporando as emendas 802.16a e 802.16c;
- 802.16e - publicada em 2005, especifica o padrão de 2002 com revisões e incorpora a mobilidade em velocidades veiculares e apenas nas faixas licenciadas entre 2 e 6 GHz.

O padrão 802.16 especifica uma interface sem fio para acesso banda larga (*Broadband Wireless Access – BWA*) fixo ou móvel, oferecendo uma alternativa às redes cabeadas como fibra ótica e links DSL. Nesse padrão é descrito o protocolo de controle de acesso ao meio (MAC), com suporte a diferentes camadas físicas (PHY), baseado nos espectros de frequência utilizados.

De maneira geral, o padrão 802.16 refere-se a uma rede sem fio, de alcance metropolitano (*Wireless Metropolitan Area Network – WMAN*), que permite atingir distâncias entre 3 e 10 km e taxa de dados de até 40 Mbps por canal [6]. Opera na faixa de frequência compreendida entre 10 e 66 GHz com visada direta (*Line of Sight – LOS*) ou, opcionalmente, ponto-multiponto e mesh¹ em frequências abaixo de 11 GHz sem a necessidade de visada direta (*Non Line of Sight – NLOS*).

Características marcantes facilitam a adoção do 802.16 como padrão para redes metropolitanas sem fio. Entre elas podemos destacar alta escalabilidade, rápida instalação e baixo custo de manutenção e upgrade, além da facilidade de se

¹ *Mesh*: Arquitetura na qual uma estação assinante (SS) se conecta a uma ou mais estações de assinantes intermediárias até alcançar uma Estação Base (BS).

prover serviço de acesso banda larga em locais onde os meios tradicionais cabeados são inexistentes.

2.1 A ARQUITETURA DO PADRÃO 802.16

Uma rede 802.16 é composta por pelo menos uma estação base (*Base Station* – BS) e uma ou mais estações assinantes (*Subscriber Station* – SS) – Figura 2.1.

Uma BS é o nó central e a ela se conectam as SS localizadas a diferentes distâncias ao redor da BS. Uma única BS pode conectar milhares de SS.

É também função da BS conectar-se a outras redes, como por exemplo o *backbone* das operadoras de telefonia ou outras redes baseadas em circuitos ou pacotes, possibilitando uma extensão dos serviços oferecidos aos usuários. A estação-base pode ter várias antenas, cada uma apontando para um setor diferente do terreno em forma de círculo. Cada setor tem seus próprios usuários e é bastante independente dos setores adjacentes.

Na rede 802.16 o tráfego do BS para a SS é considerado *downlink* (DL), enquanto que o sentido inverso, da SS para a BS é considerado *uplink* (UL). No DL os dados são transmitidos por difusão, enquanto no UL o meio é compartilhado entre as SSs, através de múltiplo acesso.

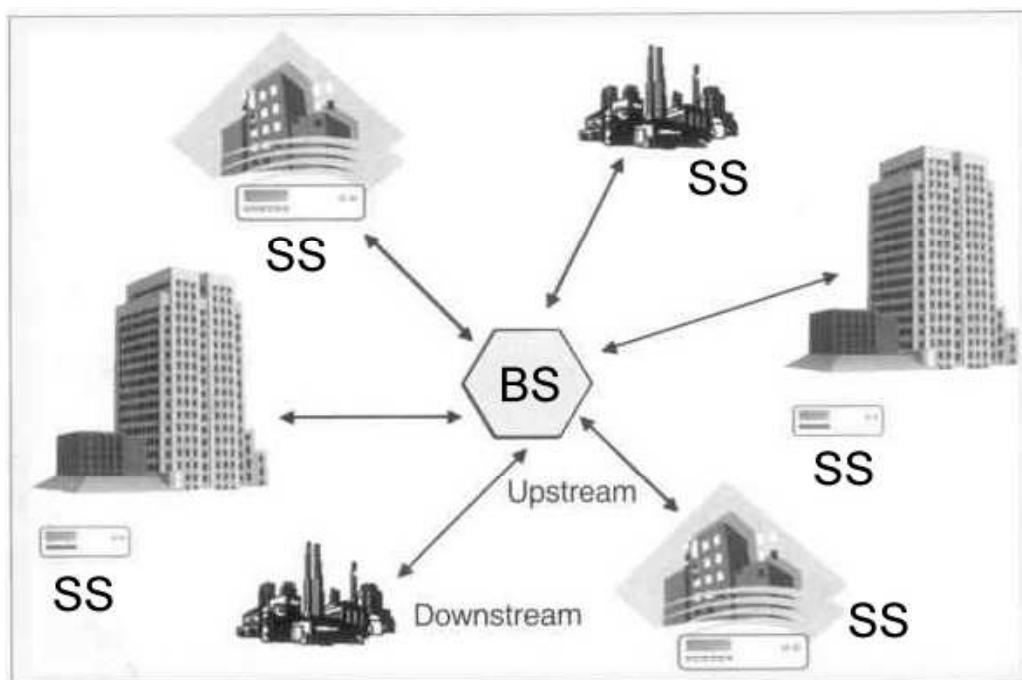


Figura 2.1: Arquitetura de uma rede 802.16 (fonte [13])

2.2 MODELO DE REFERÊNCIA DO PADRÃO 802.16

A pilha de protocolos do 802.16, apresentada na figura 2.2, é composta pela camada de controle de acesso ao meio (MAC) e pela camada física (PHY). A camada MAC é formada por três subcamadas que são:

- Subcamada de convergência de serviços específicos (*convergence sublayer* – CS), que provê o mapeamento dos dados recebidos através do ponto de acesso de serviço (CS SAP), definindo desta forma a interface para a camada de rede;
- Parte comum da camada MAC, que é responsável pela alocação de banda, estabelecimento e manutenção da conexão, gerenciamento de canais e por fornecer garantias de QoS;

- Subcamada de segurança, que é responsável pela privacidade e segurança da rede, através de criptografia, gerenciamento de chaves e autenticação.

A camada física (PHY) inclui múltiplas especificações, cada uma apropriada a um espectro específico da frequência e aplicação e uma camada de convergência, a fim de ocultar as diferentes tecnologias da camada de enlace de dados [10].

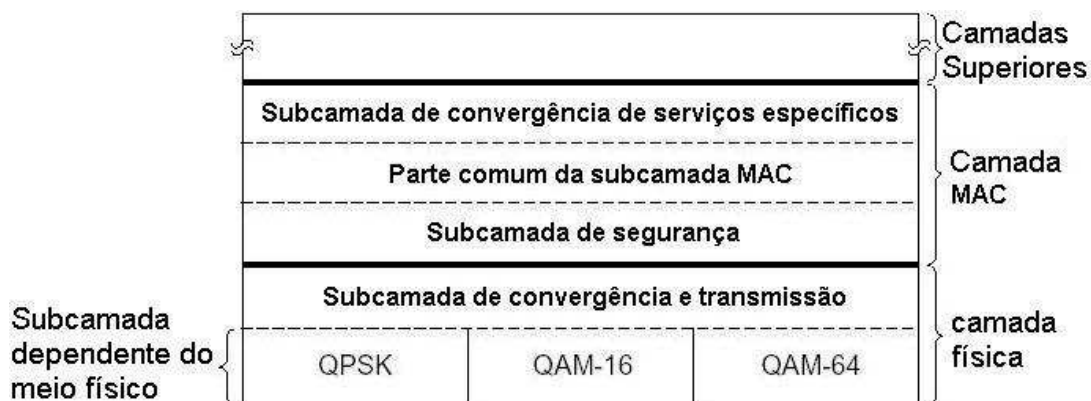


Figura 2.2: Pilha de Protocolos do 802.16 (fonte [10]).

3 A CAMADA FÍSICA DO PADRÃO 802.16

O padrão 802.16 define cinco tipos de implementações possíveis para a camada física de acordo com a faixa de frequência a ser utilizada, conforme mostrado na tabela 1. Destas cinco, apenas uma – WirelessMAN-SC - é aplicável à faixa de frequência compreendida entre 10-66 GHz. As quatro implementações restantes (WirelessMAN-SCa, WirelessMAN-OFDM, WirelessMAN-OFDMA e WirelessHUMAN [5]) são aplicáveis às frequências compreendidas entre 2-11GHz.

Com exceção da interface WirelessHUMAN, todas as outras interfaces físicas possuem a flexibilidade de dois esquemas para alocação de banda: a duplexação por divisão de tempo (Time Division Duplex - TDD) e a duplexação por divisão de frequência (Frequency Division Duplex - FDD), ambos explicados na próxima seção.

Tabela 3.1: Interfaces Aéreas (fonte [1])

Designação	Aplicação	Modo de Duplexação
WirelessMAN-SC™	10-66GHz	TDD / FDD
WirelessMAN-Sca™	Bandas licenciadas abaixo de 11 GHz	TDD / FDD
WirelessMAN-OFDM™	Bandas licenciadas abaixo de 11 GHz	TDD / FDD
WirelessMAN-OFDMA	Bandas licenciadas abaixo de 11 GHz	TDD / FDD
WirelessHUMAN™	Bandas não licenciadas abaixo de 11 GHz	TDD

Na definição da camada PHY para operação entre 10-66 GHz, a linha de visada é uma necessidade em função das microondas trafegarem em linha reta [3]. Dessa forma, a modulação em portadora simples (*Single Carrier Modulation*) foi a escolha utilizada para se compor a especificação da interface WirelessMAN-SC.

Nas frequências abaixo de 11GHz, a linha de visada não é necessária porém essa característica introduz um problema conhecido como múltiplos caminhos, onde o sinal gerado na transmissão pode chegar ao receptor refletido de diversas maneiras conforme visto na figura 3.1. A capacidade de suportar ambiente sem visada direta requer da camada física funcionalidades adicionais como: suporte a gerenciamento avançado de energia, suporte a migração/coexistência e múltiplas antenas.

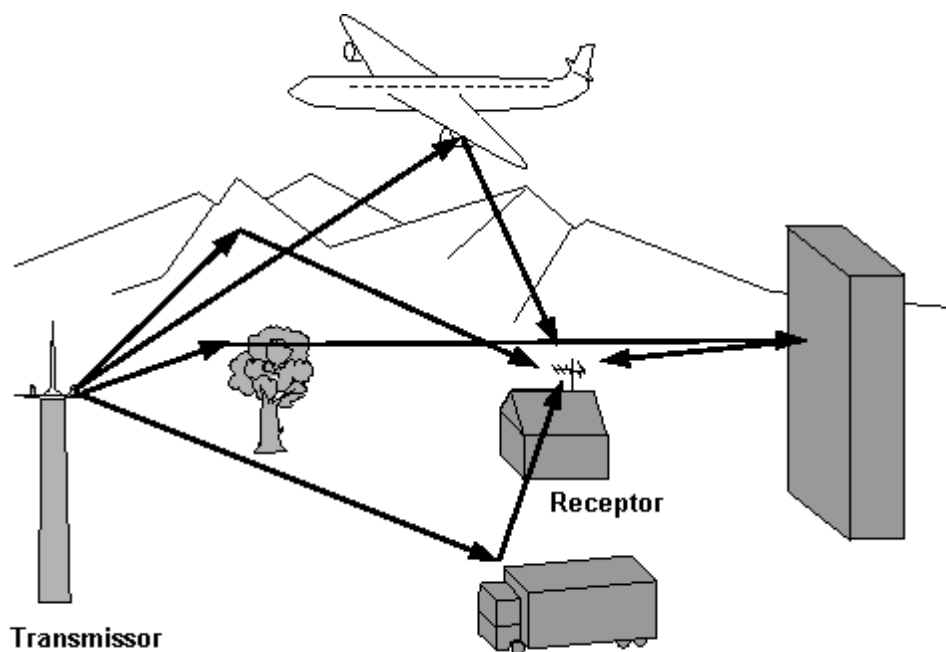


Figura 3.1: Múltiplos caminhos de um sinal transmitido

3.1 TÉCNICAS DE DUPLEXAÇÃO

3.1.1 Duplexação por divisão de frequência (FDD)

Na *duplexação por divisão de frequência* (FDD), os canais de *UL* e o *DL* estão em frequências separadas. A capacidade do canal de *UL* de ser transmitido em rajadas facilita o uso de diferentes tipos de modulação, e permite que *SSs half-duplex* e *full-duplex* operem simultaneamente.

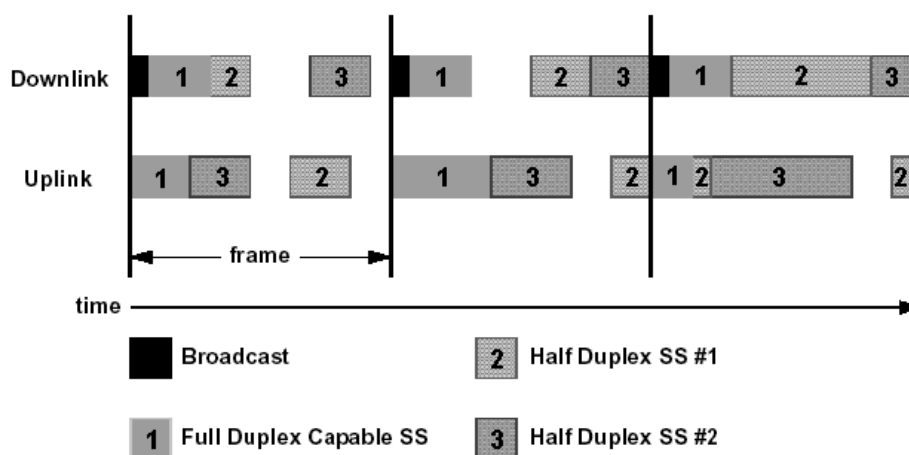


Figura 3.2: Exemplo de alocação de banda no FDD (fonte [1])

3.1.2 Duplexação por divisão de tempo (TDD)

Na *duplexação por divisão de tempo* (TDD), os canais *DL* e *UL* compartilham a mesma frequência, mas em tempos diferentes, como mostra a figura 3.3. Um quadro TDD possui duração fixa e contém um subquadro de *DL* e um de *UL*. O quadro TDD é adaptativo, isto significa que a capacidade alocada para *DL* e *UL* irá variar de acordo com a necessidade.

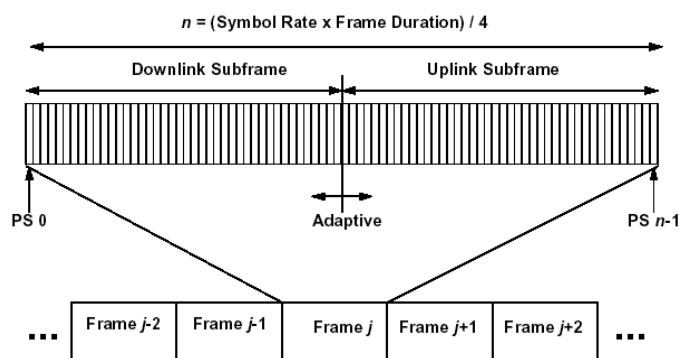


Figura 3.3: Estrutura de um quadro TDD (fonte [1])

3.2 INTERFACES FÍSICAS

A seguir, as diferentes interfaces físicas adotadas no padrão 802.16 serão apresentadas de forma resumida.

3.2.1 Especificação WirelessMAN-SC

Projetado para operação nas frequências compreendidas entre 10-66 GHz, permite uma utilização flexível do espectro através do uso do FDD e TDD. Em ambos os casos é utilizado um formato de transmissão em rajada, baseado em portadora simples (*Single-Carrier*) através de quadros que suportam perfis adaptativos no qual os parâmetros de transmissão, que incluem o esquema de codificação e modulação, podem ser ajustados a cada SS num esquema quadro-a-quadro. No uso do FDD, são suportadas SSs *full-duplex* e *half-duplex*.

Em relação à modulação, como a intensidade do sinal na banda milimétrica diminui com a distância da estação-base, temos também uma diminuição da relação sinal/ruído. Por essa razão são empregados três esquemas de modulação diferentes, dependendo da distância a que a estação do assinante se encontra em relação à estação-base (conhecido como modulação adaptativa). Para assinantes

próximos é usado o QAM-64 com 6 bits/ baud. No caso de assinantes situados a uma distância média é usado o QAM-16 com 4 bits/ baud. Para assinantes distantes é usado o QPSK com 2 bits/ baud. Por exemplo, para um valor típico de 25 Mhz de 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 o assinante estiver em relação à estação-base, mais baixa será a taxa de dados [10].

3.2.2 Especificação WirelessMAN-SCa

A especificação de camada física WirelessMAN-SCa é baseada em portadora simples e foi desenvolvida para operação em ambientes NLOS, nas frequências abaixo de 11 GHz.

3.2.3 Especificação WirelessMAN-OFDM

A especificação de camada física WirelessMAN-OFDM é baseada em modulação OFDM (*Orthogonal frequency division multiplexing*) e foi desenvolvida para operação em frequências abaixo de 11 GHz, em ambientes sem visada direta. Utiliza 256 pontos de transformação ou subportadoras (FFT - *fast fourier transform*) e TDMA como método de acesso.

3.2.4 Especificação WirelessMAN-OFDMA

A especificação de camada física WirelessMAN-OFDMA (*Orthogonal frequency division multiplexing access*) é baseada em modulação OFDM e foi desenvolvida para operação em frequências abaixo de 11 GHz, em ambientes sem visada direta. A diferença dessa especificação em relação a anterior é que, nessa, são utilizados 2048 pontos de transformação ou subportadoras (FFT) e o método de

acesso, diferente do WirelessMAN-OFDM, consiste em endereçar um conjunto de subportadoras para cada receptor.

3.2.5 Especificação WirelessHUMAN

Baseado em OFDM, esta especificação de camada física tem o objetivo de explorar a faixa de frequência compreendida entre 5-6 GHz. Na verdade o grupo de trabalho responsável por esta especificação propõe uma modificação da camada de acesso ao meio do 802.16, com a utilização do mecanismo OFDM do 802.11a e padrões similares [5].

4 A SUBCAMADA MAC DO PADRÃO 802.16

A subcamada MAC do 802.16, conforme já mencionado, encontra-se dividida em 3 partes (figura 4.1): uma camada de convergência, a parte comum da camada MAC e uma camada de segurança.

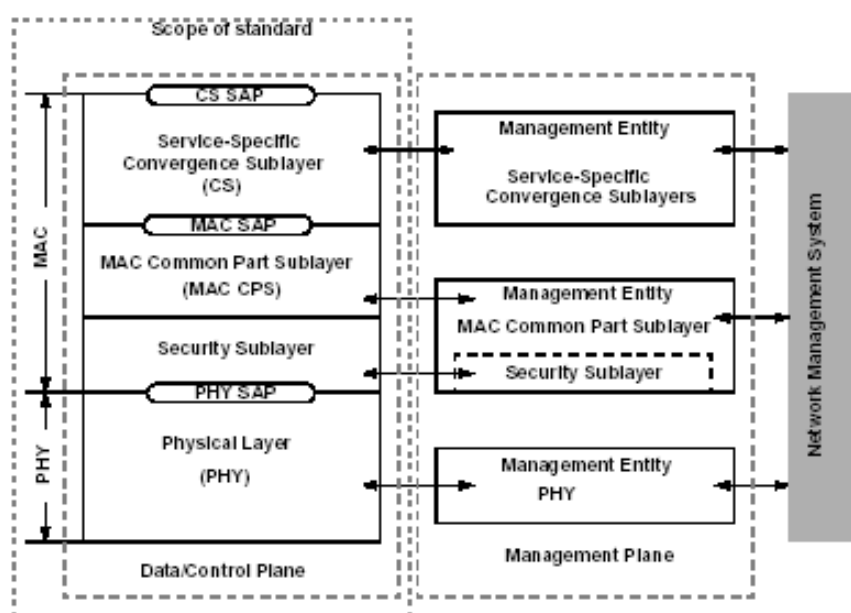


Figura 4.1: Pilha de Protocolos do IEEE 802.16 (fonte [1]).

Para garantir seu correto funcionamento a subcamada MAC implementa diversos métodos que estão associados às topologias permitidas. O padrão 802.16 permite a utilização das topologias ponto-multi-ponto (PMP) e Mesh, descritas a seguir, como meio compartilhado wireless.

4.1 TOPOLOGIA PONTO-MULTI-PONTO (PMP) E MESH

A topologia ponto-multiponto permite apenas a comunicação entre a estação base e as estações assinantes. Ou seja, toda comunicação de uma estação de assinante passa sempre pela estação base. A princípio, a camada MAC do 802.16

foi designada somente para suportar conexões ponto-multiponto, através de uma BS que manipula setores independentes de uma mesma antena.

Dada uma frequência e um setor de antena, todas as estações situadas neste setor recebem a mesma transmissão ou parte desta. A BS é a única a transmitir no canal DL, onde os dados para as SSs são transmitidos em broadcast. Nos casos em que o mapa de downlink (DL-MAP) não especifica qual porção do quadro transmitido pertence a uma SS em particular, todas as SSs recebem este quadro, checam o identificador de conexão e retêm apenas aquelas PDUs endereçadas a elas.

O Canal UL é compartilhado pelas SSs usando perfis de demanda que, dependendo da classe de serviço utilizada, podem garantir à SS contínuos direitos de transmissão, ou então o direito de transmissão será garantido pela BS após receber uma requisição do usuário.

Em cada setor os usuários respeitam o protocolo de transmissão, que controla a contenção entre eles e habilita o serviço para ser dividido entre os requerimentos de banda e atrasos necessários para cada uma de suas aplicações. Isto é possível através de agendamento de tráfego de uplink. Quando uma SS se conecta a uma BS, ela negocia sua necessidade de tráfego no momento do estabelecimento da conexão. Esse agendamento é utilizado pela BS para alocar o canal de uplink para cada SS. Os tipos de serviço de agendamento definidos no 802.16 são baseados em garantias de bandas não solicitadas, procedimentos de polling e contenção que permitem uma otimização da performance através de diferentes associações destas técnicas.

O MAC no 802.16 é orientado à conexão, o que significa dizer que até mesmo os serviços sem conexão das camadas superiores precisam ser mapeados em uma conexão previamente estabelecida, com o propósito de associar os fluxos de serviços aos vários níveis de QoS.

Opcionalmente à PMP, poderá ser utilizada a topologia conhecida como *Mesh*. A diferença fundamental entre PMP e *Mesh* é que na primeira o tráfego ocorre apenas entre BS e SSs, já na segunda, o tráfego pode ser roteado através de outras SSs e pode ocorrer diretamente entre SSs. Em uma rede *mesh*, o sistema que tem o acesso direto à rede pública ou à rede fora da *mesh* é conhecido como *mesh BS*. Todos os outros são conhecidos como *mesh SSs* ou nós. Neste contexto, o *uplink* e o *downlink* são definidos em relação à *mesh BS*, como acontece na PMP.

Convém ressaltar que, em uma topologia *mesh*, nem mesmo a *mesh BS* pode transmitir sem coordenar sua transmissão com os outros nós (*mesh SSs*). Neste caso podem ser utilizados dois tipos de agendamento: distribuído e centralizado.

Usando agendamento distribuído todas as estações, incluindo a *mesh BS*, precisam coordenar suas transmissões com seus vizinhos localizados a até dois saltos de distância (*Hops*), além de divulgar seu agendamento (incluindo recursos disponíveis, requisições e garantias) para todos os seus vizinhos. Opcionalmente, o agendamento pode ser estabelecido diretamente entre dois nós, através de requisições e garantias não coordenadas.

Usando o agendamento centralizado os recursos são garantidos de forma controlada. A *mesh BS* precisa reunir as requisições de recursos de todas as *mesh SS* dentro de um raio de ação (geralmente um *hop*), para poder determinar a

quantidade de recursos garantidos para cada *link* na rede, tanto no *downlink* quanto no *uplink*. Posteriormente, estas garantias são informadas a todas as *mesh* SS dentro do raio de ação. As mensagens de garantia não possuem o agendamento atual, tendo cada nó que computá-lo usando um algoritmo pré-determinado e os parâmetros informados pela *mesh* BS.

4.2 FUNÇÃO DA SUBCAMADA DE CONVERGÊNCIA (CS)

A subcamada de convergência de serviços específicos atua no 802.16 como um mecanismo que garante a compatibilidade entre os diferentes tipos de redes encontradas nos núcleos das redes públicas de dados e o padrão.

O 802.16 define dois tipos de subcamada de convergência: de convergência ATM, definida para os serviços ATM; de convergência de pacotes, definida para mapear os serviços específicos das redes baseadas em pacotes como as redes IPv4, IPv6 e Ethernet.

Na subcamada de convergência de serviços específicos, ocorre a classificação, que é o mecanismo através do qual a MAC SDU é mapeada em uma conexão particular para transmissão entre camadas MAC do transmissor e receptor. Este processo de mapeamento cria as associações com os fluxos de serviço característicos desta conexão, facilitando a entrega das MAC SDUs com as respectivas características de QoS.

Também é função desta subcamada habilitar e preservar a QoS, além de habilitar a alocação de banda. Além destas funções básicas, podem ser realizadas

funções para otimizar o uso do canal, como a reconstrução e a supressão do cabeçalho de payload.

4.3 FUNCIONAMENTO DA PARTE COMUM DA CAMADA MAC

No 802.16 o protocolo da camada MAC foi desenvolvido para proporcionar acesso banda larga sem fio. Em outras palavras, na camada MAC foram especificados algoritmos de acesso e alocação de banda que suportam centenas de terminais fornecendo serviços variados como voz sobre IP, tráfego em tempo real, conectividade IP entre outros. Para suportar essa variedade de serviços a subcamada MAC precisa acomodar tráfego contínuo e em rajada, bem como manter o nível de QoS de cada um destes tráfegos. Para garantir a manutenção destes níveis de QoS foi especificado na subcamada MAC do 802.16 uma grande variedade de tipos de serviços análogos às classes de serviço ATM [7], bem como novas categorias como o GFR (*Guaranteed Frame Rate* – Taxa de quadros garantida).

Algumas características de funcionamento da subcamada MAC estão associadas à topologias implementada. Independente daquela utilizada, cada SS possui um endereço MAC padrão de 48 bits que serve principalmente como um identificador do equipamento. Por outro lado, as conexões são identificadas por endereçamentos de 16 bits chamados CID (Connection Identifier).

Na topologia PMP, durante o processo de inicialização de uma SS, três pares de conexões de gerência (uplink e downlink) devem ser estabelecidos entre SS e BS, sendo a última opcional: conexão básica, conexão primária de gerência e

conexão secundária de gerência. Estas conexões refletem os três requerimentos de QoS usados por diferentes níveis de gerenciamento.

A conexão básica é usada para enviar mensagens curtas de gerência urgentes entre SS e BS, bem como as de controle do link de rádio. A conexão primária é usada para enviar mensagens longas de gerência não tão urgentes e que toleram atrasos maiores, como as usadas para autenticação e *setup* da conexão. A conexão secundária de gerência, utilizada apenas por SSs gerenciáveis, é usada para enviar mensagens padrão de gerenciamento como as informações de DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), TFTP (Trivial File Transfer Protocol) e SNMP (Simple Network Management Protocol).

Além dessas conexões de gerenciamento, para cada SS são alocadas conexões de transporte para os serviços contratados. Estas conexões de transporte são unidirecionais para facilitar os parâmetros de tráfego e QoS de uplink e downlink. Além destas, a camada MAC reserva outras conexões com propósitos variados: uma conexão para o acesso inicial baseado em contenção, outra reservada para broadcast e sinalização para solicitação de banda pela SS, além de conexões reservadas para multicast.

Na topologia mesh uma SS candidata quando autorizada a entrar na rede recebe, através do cabeçalho mesh, um identificador de 16 bits equivalente ao CID mas que neste contexto recebe o nome de NodeID. Este endereço será utilizado para a identificação da SS durante sua operação.

Para acessar nós vizinhos serão utilizados identificadores de link de 8 bits. Cada nó determina um ID para cada link que estabelecer com seus vizinhos no momento da conexão.

4.3.1 Quadro MAC

No 802.16 um quadro MAC – figura 4.2 – é composto por um cabeçalho genérico de tamanho fixo, um campo de carga (payload) opcional e um campo de verificação (CRC). O campo de carga pode conter subcabeçalhos e MAC SDUs, ou parte destas, além de possuir tamanho variável, o que facilita o encapsulamento de vários tipos de tráfegos das camadas superiores sem precisar conhecer o padrão de bit ou o formato das mesmas.



Figura 4.2: Quadro MAC (fonte [1])

4.3.2 Cabeçalho MAC

São definidos dois tipos de cabeçalho MAC, um genérico que inicia cada quadro contendo mensagens de gerenciamento ou dados – figura 4.3 – e um de requisição de aumento da largura de banda – figura 4.4. Quem define esta diferença é o bit de tipo de cabeçalho (HT), que pode assumir o valor 0 para cabeçalhos genéricos e 1 para cabeçalhos de requisição de banda.

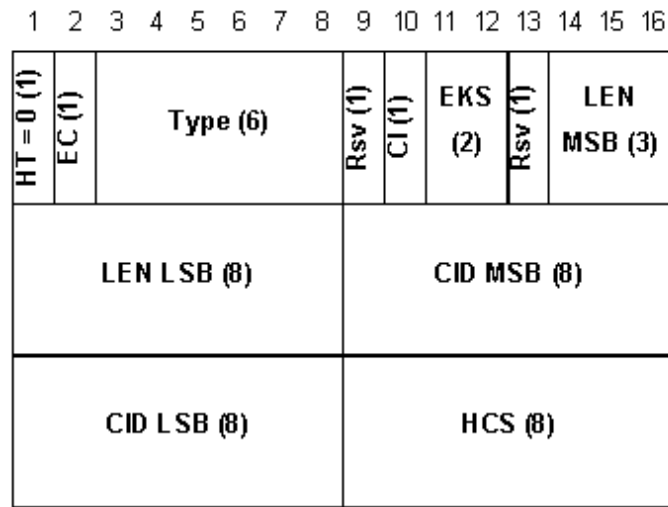


Figura 4.3: Cabeçalho MAC genérico (fonte [1])

Os principais campos que formam o cabeçalho genérico são descritos a seguir.

- HT – *Header Type* – especifica o tipo de cabeçalho (0 = Cabeçalho genérico)
- EC - *Encryption Control* - Controle de criptografia (0 = Carga útil não criptografada / 1 = Carga útil criptografada).
- *Type* - Tipo - Indica a presença de subcabeçalho ou tipos especiais de campo de carga útil (*Mesh subheader, ARQ Feedback Payload, Extended Type, Fragmentation subheader, Packing subheader, FAST-FEEDBACK Allocation subheader*).
- HCS - *Header Check Sequence* - Campo com 8 bits de comprimento que possui a seqüência de checagem de erro do cabeçalho.

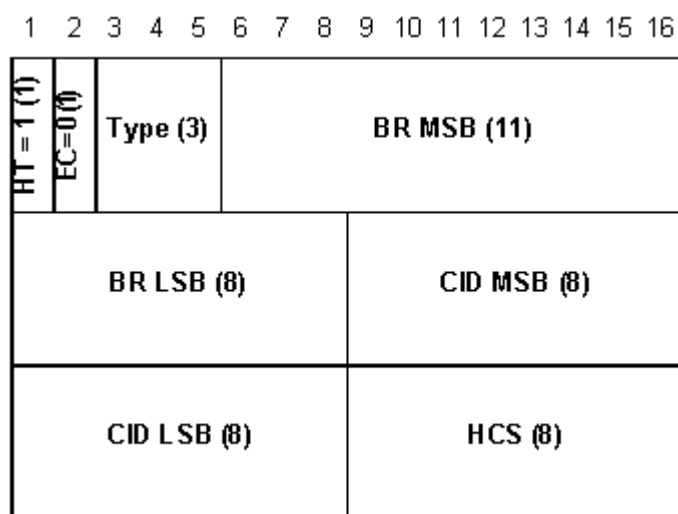


Figura 4.4: Cabeçalho para requisição de largura de banda (fonte [1])

O quadro de requisição de banda é formado apenas pelo cabeçalho, não possuindo campo de carga útil. Seus principais campos são:

- HT – Header Type – especifica o tipo de cabeçalho (1 = Cabeçalho de requisição de largura de Banda)
- EC - Encryption Control - Controle de criptografia (0 = Carga útil não criptografada / 1 = Carga útil criptografada); Quando HT = 1, EC = 0.
- BR - Bandwidth Request - Requisição de largura de banda - campo com tamanho de 19 bits que informa o número de bytes solicitado pela SS como aumento de banda.
- Type - Tipo - Indica o tipo de cabeçalho de requisição de banda.

4.3.3 Construção e transmissão do quadro MAC

Durante a construção de um MAC PDU, uma ou mais MAC SDUs podem ser encapsuladas utilizando-se critérios como fragmentação, empacotamento e criptografia no campo de carga útil. No decorrer deste processo, de acordo com a

necessidade, são atribuídos aos quadros os subcabeçalhos de fragmentação e empacotamento. Da mesma forma, usando-se concatenação, múltiplos MAC PDUs podem ser agregados em uma única transmissão.

Havendo criptografia esta é realizada antes de se aplicar o cabeçalho genérico da camada MAC e o campo de CRC. Quando transmitindo uma MAC PDU em uma conexão que é mapeada em uma associação de segurança (Security Association – SA), o transmissor irá realizar a criptografia e autenticação dos dados contidos no campo de carga útil da MAC PDU como especificado pela SA. O cabeçalho genérico da camada MAC não pode ser criptografado, pois este contém toda a informação necessária para descriptografar o PDU na estação receptora. Dois bits do cabeçalho contêm a chave de seqüência numérica que, associada a uma SA, possui tempo útil limitado e é constantemente atualizado pela BS.

O procedimento de fragmentação ocorre quando uma MAC SDU é dividida em duas ou mais MAC PDUs de forma a otimizar, ou melhor, permitir um uso eficiente da banda passante para atender os critérios de QoS de um fluxo de serviço. Este pode ser iniciado tanto pela BS no downlink quanto pela SS no uplink e só poderá ser realizado se tiver sido definido no momento de estabelecimento de conexão. Dependendo do tipo da conexão estabelecida (ARQ-enabled ou Non-ARQ connection) poderão ser implementados procedimentos de fragmentação diferentes. As características do mecanismo ARQ são apresentadas na próxima subseção.

O procedimento de empacotamento também irá variar de acordo com a característica da conexão estabelecida (ARQ-enabled ou Non-ARQ connection) e somente ocorrerá se o empacotamento estiver habilitado para a conexão em

questão. Basicamente empacotar significa reunir vários MAC SDUs em um único MAC PDU e faz uso de um atributo da conexão que indica se esta transporta quadros de tamanho fixo ou variável.

Após a construção do MAC PDU, dois ou mais quadros podem ser concatenados em uma única transmissão tanto no sentido de downlink quanto no uplink. Como cada PDU é identificada por um único CID, a camada MAC do nó receptor é capaz de remontar de forma correta a MAC SDU correspondente antes de apresentá-la a camada superior. Em uma mesma transmissão podem ser concatenados os MAC PDUs de requisição de banda, de mensagens de gerenciamento e de dados dos usuários.

Um fluxo de serviço pode requerer que cada MAC PDU transportando dados possua uma verificação. Neste caso para cada PDU com o campo Header Type = 0 precisa ter um CRC adicionado no final do campo de carga útil. Este CRC garantirá a integridade do cabeçalho genérico bem como do campo de carga, devendo, caso haja criptografia, ser calculado somente após este procedimento.

4.3.4 Suporte à retransmissão (Automatic Repeat Request)

O mecanismo ARQ é uma parte do MAC cuja implementação é opcional e permite o controle de erros na transmissão. Quando implementado, pode ser habilitado em um esquema por conexão, em que deve ser negociado e especificado durante o estabelecimento da mesma. Uma conexão não pode possuir tráfego ARQ (ARQ-enabled) e Não-ARQ (Non-ARQ) misturados.

Nas conexões ARQ-enabled ter a fragmentação habilitada é opcional. Quando habilitada permite ao transmissor particionar cada SDU em pedaços de

tamanho definido pelo valor do tamanho do bloco ARQ. Mesmo que a fragmentação não esteja habilitada, a conexão deverá ser gerenciada como se estivesse. Neste caso independente do tamanho do bloco negociado, cada fragmento formado para transmissão deverá conter todos os blocos de dados associados com a SDU.

4.3.5 Agendamento

Define a prioridade de transmissão de MAC SDUs através das conexões existentes. Cada conexão se encaixa em uma única classe de agendamento e esta possui um conjunto de parâmetros de QoS que quantifica aspectos do seu comportamento. Quatro classes de serviço são suportadas, como veremos no capítulo 5.

4.3.6 Mecanismo de requisição e alocação de banda

A requisição é o processo pelo qual uma SS indica à uma BS que ela precisa de alocação de banda. Quando uma SS precisa solicitar banda numa conexão com agendamento *Best Effort* ela envia uma requisição a BS com a sua necessidade imediata. Vários são os métodos através dos quais uma SS pode negociar com a BS a sua necessidade de banda, entre eles:

- **Requisição** - Uma requisição pode vir como um pedido isolado através de um MAC PDU com cabeçalho de requisição de banda ou através de piggyback. Podem ser incrementais ou agregadas. Requisições agregadas substituem a informação de banda necessária para a conexão, enquanto que as incrementais acrescentam a banda necessária à já existente. Requisições via piggyback são sempre incrementais. A natureza de auto-correção do protocolo de requisição/concessão obriga que as SSs estejam periodicamente enviando requisições de banda

agregadas. O período se dá em função das classes de serviço e da qualidade dos enlaces.

- Polling – É o processo pelo qual uma BS aloca banda para uma SS especificamente para que ela possa fazer suas requisições de banda. Estas alocações podem ser por SS ou por grupos de SSs.

- Concessões - Podem ser de dois tipos, Grant Per Connection (GPC) ou Grant Per SS (GPSS). No GPC a banda é concedida para uma conexão específica, enquanto o GPSS ela é concedida para a SS, que decide como melhor utilizá-la.

4.3.7 Resolução de contenções

A BS controla a alocação de banda no uplink através das mensagens de UL-MAP, e determina quais minislots estão sujeitos a colisão. Colisões podem acontecer durante a fase de inicialização e nos intervalos de requisição de banda. Uma vez que uma SS pode ter vários fluxos de tráfego de uplink, cada qual com o seu CID, as decisões para contornar uma colisão são feitas por CID ou por classe de serviço. O método obrigatório para a resolução de contenções é baseado no truncated binary exponential backoff. A BS controla o tamanho das janelas de backoff [9].

4.3.8 Entrada na rede e inicialização

As redes 802.16 precisam dar suporte ao procedimentos de entrada na rede e registro de uma nova SS ou nó. Estes procedimentos variam de acordo com a topologia empregada.

Em uma arquitetura PMP o procedimento de entrada na rede e inicialização segue as seguintes etapas:

- a) Procura pelo canal de downlink e sincronização com a BS;
- b) Obtenção dos parâmetros de transmissão (através de mensagens Uplink Channel Descriptor - UCD);
- c) Execução do procedimento de ranging (ver próxima subseção);
- d) Negociação das capacidades de transmissão;
- e) Autorização da SS e troca de chave de segurança;
- f) Registro da SS;
- g) Estabelecimento da Conectividade IP;
- h) Sincronização de data e hora (time-stamp);
- i) Transferência de parâmetros operacionais;
- j) Estabelecimento das conexões.

Nem todas as etapas acima são realizadas pelas SS, pois algumas são apenas para aquelas que informam através de mensagem Registration Request (REG-REQ) que são gerenciáveis (itens g, h e i).

Em uma rede Mesh o modo de inicialização do nó e o procedimento de entrada na rede são, em alguns aspectos, diferentes do modo PMP. Para entrar em uma rede Mesh um nó precisa obedecer aos seguintes procedimentos.

- a) Procura por uma rede ativa e estabelecimento de sincronização;
- b) Obtenção dos parâmetros da rede (através de mensagens Mesh Network Configuration – MSH-NCFG)
- c) Abertura do Sponsor Channel ;
- d) Autorização do Nó;
- e) Registro;
- f) Estabelecimento da Conectividade IP;
- g) Sincronização de data e hora (time-stamp);
- h) Transferência de parâmetros operacionais;

4.3.9 Ranging

Ranging pode ser definido como um conjunto de processos através dos quais a SS e a BS mantém a qualidade do link RF entre si. Processos distintos são usados para gerenciar uplink e downlink. Também alguns processos são dependentes da camada física utilizada. A principal idéia por trás do ajuste adaptativo está na troca do perfil de transmissão (burst profile) em função do estado do enlace. Inicialmente, a BS faz um broadcast dos perfis escolhidos para o downlink e uplink. Os perfis são escolhidos em função das características dos equipamentos e outros fatores que por ventura venham a degradar a qualidade do sinal [9].

4.4 SUBCAMADA DE SEGURANÇA

É a subcamada responsável por fornecer privacidade aos assinantes da rede, através da encriptação das conexões entre a SS e a BS. Ela provê também uma forte proteção contra roubo de serviços. A BS protege contra acessos não autorizados aos serviços de transporte de dados forçando a encriptação dos serviços de fluxo através da rede. Nessa subcamada são empregados: um protocolo de encapsulamento para encriptação dos pacotes de dados (este protocolo também define as criptografias suportadas); o pareamento dos dados encriptados; algoritmos de autenticação e regras de aplicação destes algoritmos no MAC PDU payload. Também é utilizado um protocolo de gerenciamento de chaves (Key Management Protocol - PKM). Este protocolo é utilizado pela SS para: obter autorização e tráfego dos dados da chave da BS; re-autorização periódica e atualização de chave. O PKM utiliza certificação digital X.509, algoritmo de encriptação RSA de chave pública e fortes algoritmos de encriptação para atuar na troca de chaves entre a SS e a BS. Este protocolo foi criado através do conceito de security association (SA), que é um conjunto de métodos de criptografia e dados da chave associados. A SA contém as informações sobre quais algoritmos devem ser utilizados, qual chave utilizar, entre outras.

5 QOS NO PADRÃO 802.16

O padrão 802.16 e seu protocolo MAC, foram propostos para suportar garantias de QoS para vários tipos de aplicações [2]. Para isso, definem vários conceitos relacionados à qualidade de serviço (QoS), entre eles o mecanismo de sinalização para troca de informação entre a BS e a SS, o agendamento uplink para o fluxo de serviço UGS, o estabelecimento dinâmico de serviços e um modelo de ativação por fases. Entre estes conceitos não estão especificados o agendamento para os serviços rtPS, nrtPS e BE, nem tampouco o processo de controle de admissão e policiamento do tráfego [12].

5.1 FLUXOS E CLASSES DE SERVIÇO

Fluxo de serviço é um serviço da camada MAC que provê transporte unidirecional de pacotes, tanto no uplink para pacotes transmitidos pela SS quanto no downlink para pacotes transmitidos pela BS. Um fluxo de serviço é caracterizado por um conjunto de parâmetros de QoS, tais como latência, atraso e garantia de vazão. De forma a padronizar a operação entre SS e BS estes atributos incluem detalhes de como a SS solicita alocação de banda de uplink e o comportamento esperado pelo agendador de uplink da BS.

Fluxos de serviço existem tanto na direção do uplink quanto no downlink e podem existir mesmo sem atualmente estarem ativados para transportar tráfego. Todos os fluxos de serviço possuem um SFID (Service Flow ID) de 32 bits, que funciona como sua principal identificação na rede. Todo fluxo de serviço possui pelo menos uma SFID e uma direção associadas. Fluxos de serviço admitidos e ativos possuem também um CID de 16 bits.

O principal mecanismo para se prover QoS é associar pacotes que atravessam a camada MAC em fluxos de serviços identificados pelo CID.

A camada MAC define mecanismos de sinalização de QoS e funções para controlar a transmissão de dados entre a BS e as SSs. Dentro desse contexto, o padrão define quatro classes de serviços de agendamento associados a fluxos de tráfego, cada um com diferentes requisitos de QoS:

- Unsolicited Grant Service (UGS) – para tráfego em tempo real com fluxo de taxa constante (CBR - pacotes de tamanho fixo), tais como voz sobre IP sem supressão de silêncio. Estas aplicações requerem uma constante alocação de banda.
- Real Time Polling Service (rtPS) – para tráfego em tempo real com fluxo de taxa variável (VBR - pacotes de tamanho variável), tal como vídeo MPEG e teleconferência. Estas aplicações possuem requisitos específicos de banda, bem como, um atraso máximo tolerável.
- Non-Real-Time Polling Service (nrtPS): este serviço é para fluxos sem requisitos de tempo real, mas que necessitam melhores condições do que os serviços de melhor esforço, como, por exemplo, transferência de arquivo - FTP. Estas aplicações são insensíveis ao atraso no tempo e requerem um mínimo de alocação de banda.
- Best Effort Service (BE): este serviço se destina a tráfego de melhor esforço, onde não existe garantia de QoS, tais como HTTP. As aplicações recebem banda disponível após a alocação dos três fluxos anteriores.

5.2 TEORIA DE OPERAÇÃO

Os requisitos de QoS do 802.16 incluem: uma função de configuração e registro, para pré-configurar os fluxos de serviço e parâmetros de tráfego de uma SS; uma função de sinalização para dinamicamente estabelecer fluxos de serviços e parâmetros de tráfego com QoS; a utilização do agendamento MAC e dos parâmetros de tráfego para fluxos de serviços no uplink; a utilização de parâmetros de tráfego para fluxos de serviços no downlink; e o agrupamento das propriedades dos fluxos de serviços nas chamadas classes de serviços, desta forma permitindo que as camadas superiores e aplicações externas possam requisitar fluxos de serviços com os parâmetros de QoS desejados de uma maneira globalmente consistente.

O propósito principal das características de QoS apontadas no 802.16, é definir ordenamento de transmissão e agendamento na interface aérea. Todavia essas características precisam, às vezes, trabalhar em conjunto com os mecanismos por trás da interface aérea, de forma a prover QoS fim-a-fim ou policiar o comportamento das SSs.

O mecanismo de sinalização para troca de informações entre a BS e a SS prevê que o tamanho atual da fila de transmissão seja incluído no BW-Request, para representar a demanda atual por banda de transmissão, por todos os fluxos de serviço com exceção do UGS. Fazem parte deste mecanismo a configuração de conexão e o UL-MAP.

A Figura 5.1 exibe a arquitetura de QoS existente no 802.16. O módulo de escalonamento de pacotes do UL (Uplink Packet Scheduling - UPS) encontra-se na

BS e controla todas as transmissões de pacotes no UL. Como o protocolo é orientado à conexão, a aplicação deve estabelecer uma conexão entre a BS e o fluxo de serviço associado (UGS, rtPS, nrtPS ou BE). A BS identifica as conexões com um CID único para cada uma. O 802.16 define o processo de sinalização para o estabelecimento de uma conexão (Connection Request, Response) entre SS e BS, mas não especifica o processo de controle de admissão [8].

Todos os pacotes da camada de aplicação em uma SS são classificados de acordo com o CID e encaminhados para uma fila apropriada. A SS recupera o pacote na fila e transmite-o na rede no segmento de tempo determinado na UL-MAP enviada pela BS. A UL-MAP é definida pelo módulo UPS baseada nas mensagens BW-Request que reportam o tamanho atual da fila de cada conexão na SS.

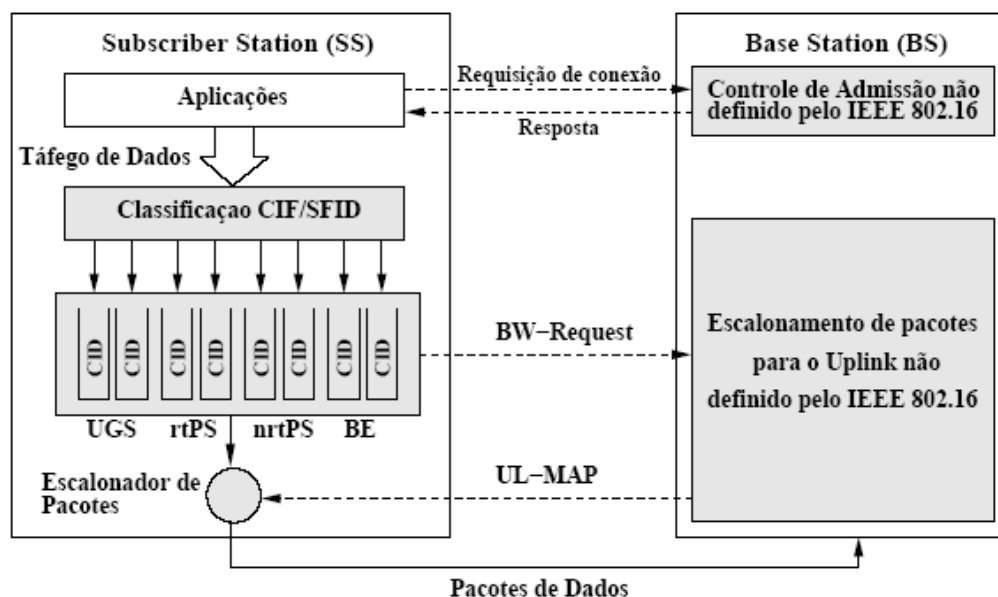


Figura 5.1: Arquitetura de QoS no 802.16 (fonte [8])

O 802.16 é baseado em uma arquitetura totalmente centralizada, onde a estação base tem o controle do acesso ao meio entre as estações sem fio. O 802.16

suporta múltiplas conexões que são completamente caracterizadas por vários parâmetros de QoS. Além disso, o 802.16 fornece uma classificação dos pacotes que permite mapear as conexões entre várias aplicações e interfaces distintas, como por exemplo, Ethernet, ATM, IP etc. O IEEE 802.16 já nasceu com a habilidade de suportar diferentes níveis de serviços para tipos distintos de tráfego, incorporada naturalmente na camada MAC. Porém, o padrão define apenas uma arquitetura capaz de suportar QoS e não especifica uma solução completa para fornecer garantias ao serviço oferecido.

6 CONCLUSÃO

Ao mesmo tempo em que o padrão IEEE 802.16 suporta mecanismos para prover QoS, ele não inclui uma solução completa para fornecer garantias às várias aplicações e não define como agendar eficientemente o tráfego para satisfazer tais requisitos.

Em geral, aplicações multimídias são altamente sensíveis ao atraso fim-a-fim na transmissão de pacotes (delay) e variações neste atraso (jitter), mas podem tolerar algum nível de perda de dados. Por outro lado, aplicações tradicionais não são afetadas pelo atraso dos pacotes, mas a integridade dos dados transmitidos é de extrema importância. Por isso a existência de algum mecanismo que trate estas diferentes necessidades nas transmissões em redes de computadores é imprescindível.

O agendamento de pacotes desempenha um papel crucial em sistemas que fornecem garantias de qualidade de serviço [7]. Por este motivo pesquisas vêm sendo realizadas para definir mecanismos de agendamento de tráfego que possam atender ao padrão, como por exemplo em [2] e [12].

Conclui-se desta forma que o padrão 802.16 foi desenvolvido para permitir que vários fabricantes produzam equipamentos interoperáveis, todavia ele permite diferenciações entre eles. Basicamente o padrão provê a estação base com um conjunto de ferramentas para implementar um agendamento eficiente, permitindo otimizações para os diversos tipos de tráfegos. Explorar bem o potencial deste mecanismo de agendamento se tornará o grande diferencial de cada fabricante.

REFERÊNCIAS

- [1] **“Air interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems”**. IEEE Standards 802.16, 2004.
- [2] CHU, GuoSong; WANG, Deng; MEI, Shuliang. **A QoS Architecture for the MAC Protocol of IEEE 802.16 BWA System**. Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions, IEEE 2002 International Conference. Vol 1, p. 435-439, jul. 2002.
- [3] EKLUND, Carl et al. **IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access**.
- [4] GONÇALVES, Iran Lima. **Perspectiva de mercado para a tecnologia Wimax**. Revista RTI – Redes, Telecom e Instalações, São Paulo, n. 73, p.56-63, jun.2006.
- [5] <http://standards.ieee.org/announcements/wirelesshuman.html>, Acessado em jan. 2006
- [6] <http://www.wimaxforum.org/documentos/faq>, Acessado em out. 2007
- [7] J. Kurose and K. Ross, **Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet**, 1st ed. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2001.
- [8] JUNIOR, Paulo D. M. **Modelagem e análise de um protocolo de acesso alternativo para o padrão IEEE 802.16 de redes metropolitanas sem fio**. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 86 p., abr. 2005.
- [9] NAVES, Sanzio Guilherme et al. **WiMAX - IEEE 802.16: Estudo da Tecnologia e Requisitos para Modelamento e Simulação**. In: Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica (Incitel), Santa Rita do Sapucaí, 2005.
- [10] TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. Tradução por Vandenberg D. de Souza. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. Tradução de: Computer networks, 4th ed.
- [11] Vaughan-Nichols, Steven J. **Achieving wireless broadband with WiMax**. Computer, Vol.37, n. 6, p. 10-13, jun. 2004
- [12] WONGTHAVARAWAT, Kitti; GANZ, Aura. **IEEE 802.16 based last mile broadband wireless military networks with quality of service support**. Military Communications Conference, 2003. MILCOM 2003. IEEE. Vol 2, p. 779-784, out. 2003.
- [13] ZUCCHI, W. L. **O que é a tecnologia WiMax e qual a sua relação com as redes locais compatíveis com o padrão IEEE 802.11?**. Revista RTI – Redes, Telecom e Instalações, São Paulo, n. 60, p.108-111, mai. 2005.