

PADRÃO IEEE 802.16J: UMA ABORDAGEM GERAL

Einar César Santos, Paulo Roberto Guardieiro Dr.

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia-MG,
einar@iftm.edu.br, prguardieiro@ufu.br

Resumo – Este artigo apresenta um estudo baseado em um levantamento bibliográfico sobre o padrão IEEE 802.16j, revelando suas principais características e abordando aspectos importantes, como qualidade de serviço (QoS) e outros que compõem as principais características a serem observadas em redes WiMAX e encontram-se, atualmente, em amplo estudo nas comunidades acadêmicas. Este artigo fornece uma visão sucinta da especificação IEEE 802.16j e suas principais funcionalidades: estrutura do quadro, procedimento de entrada de estações à rede, alocação de largura de banda, QoS, gerenciamento das estações móveis, segurança, entre outras.

Palavras-Chave - IEEE 802.16j, multihop relay, QoS, scheduling, WiMAX.

IEEE 802.16J: A GENERAL APPROACH

Abstract - This paper presents a study based on a bibliographic survey on the IEEE 802.16j standard, revealing its main features and addressing important aspects such as quality of service (QoS) and others that make up the main characteristics to be observed in WiMAX networks and are currently in wide study in academic community. This paper provides a succinct overview of the IEEE 802.16j standard and its main features: frame structure, procedure to the stations network entry, bandwidth allocation, QoS, management of mobile stations, security, and others.

Keywords - IEEE 802.16j, multihop relay, QoS, scheduling, WiMAX.

I. INTRODUÇÃO

O padrão IEEE 802.16 (WiMAX) define um tipo de especificação para redes metropolitanas de acesso em banda larga sem fio. Foi criado em 2001 e publicado em abril de 2002.

A especificação IEEE 802.16j foi finalizada em 2009 pelo IEEE 802.16 Working Group visando atender requisitos definidos pelo IMT-Advanced, conhecido como 4G, uma recomendação elaborada pela ITU – International Telecommunication Union, contendo uma série de

especificações com a finalidade de atender as necessidades de redes acesso em banda larga sem fio até o presente momento.

O IEEE 802.16j é um melhoramento da especificação IEEE 802.16e. Permite utilização de *Relay Stations* (RSs) possibilitando a transmissão de dados sem linha de visada (NLOS – *Non-Line of Sight*) da antena da BS com as estações assinantes.

Redes IEEE 802.16j são popularmente conhecidas como redes WiMAX *Multihop Relay* (MR), fornecem interoperabilidade com o padrão antecessor e retransmissão de quadros através da RS, sendo esta última característica uma das formas de se melhorar a vazão geral e aumentar a área de cobertura da rede.

O conhecimento sobre o padrão IEEE 802.16j é importante para compreensão, avaliação e comparação das demais especificações da família IEEE 802.16, bem como na utilização dos recursos de retransmissão de sinal e aumento da área de cobertura que o padrão oferece.

O objetivo desse artigo é fornecer, sem a intenção de esgotar o assunto, uma visão geral do padrão IEEE 802.16j, seus fundamentos, características e aspectos técnicos. Mais adiante, ao longo de cada fundamento abordado, são citadas algumas propostas baseadas no levantamento bibliográfico realizado, após a conceituação de cada aspecto, com a intenção de apresentar o estado da arte do padrão em questão.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a sessão II apresenta a arquitetura usual de redes IEEE 802.16j, desde a topologia, estrutura do quadro e as camadas definidas pelo padrão; a sessão III apresenta os procedimentos envolvidos para entrada de dispositivos, controle de tráfego, alocação de largura de banda, garantia de QoS e técnicas de escalonamento e CAC adotadas; a sessão IV faz as devidas conclusões sobre o artigo.

II. ARQUITETURA

A. Topologia e Modos de Operação

A topologia básica definida pelo padrão IEEE 802.16j é constituída de uma estação base (BS) responsável pelo gerenciamento da rede e provisão de acesso à *Internet* através de um *backhaul*, uma ou mais estações *relay* (RS) e uma ou mais estações assinantes, podendo ser móveis ou fixas (MS e SS, respectivamente). Para melhor compreensão, serão consideradas neste artigo apenas as estações assinantes móveis (MS).

Além de gerenciar a rede e prover acesso à rede externa, a BS é responsável pela alocação de largura de banda, controle de tráfego, policiamento, CAC (*Call Admission Control*), autenticação e segurança.



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

No aspecto de controle de tráfego ou escalonamento, a BS pode operar em dois modos: centralizado ou distribuído. No modo centralizado, a BS é responsável por todo o procedimento de classificação e priorização do tráfego, atendendo requisitos de qualidade de serviço (QoS) previamente definidos através das classes de serviço, que serão detalhadas mais adiante. No modo distribuído, a BS delega parte de suas operações de gerenciamento para a(s) RS(s), que auxiliam o processo. Este modo é recomendado para redes de topologias maiores devido à complexidade em seu gerenciamento e também à existência de um ou mais *backhalls*, que são *links* para redes externas, normalmente conectados à BS.

Tratando-se do aspecto de transmissão de sinal, a BS pode operar no modo PMP e MR. No modo PMP, as MSs conectam-se diretamente à BS e, neste caso, não há RS e a rede trabalha em interoperabilidade com o padrão IEEE 802.16e.

No modo MR, as RSs funcionam como retransmissoras do sinal gerado pela BS ou MS e podem operar em dois modos de retransmissão de quadros: modo transparente (T-RS) e não-transparente (NT-RS) [8].

O modo T-RS possibilita que as RSs repassem as informações gerenciadas pela BS às MSs envolvidas em uma conexão e vice-versa, servindo como um mecanismo de melhoramento da vazão geral. Neste modo não há mais de dois “saltos”, isso significa que um quadro é transmitido apenas duas vezes (BS → RS → MS) entre os nós da rede. Outra característica do modo T-RS é que as MSs devem estar dentro do raio de cobertura de sinal da BS para estabelecerem comunicação. Estações T-RS operam em conjunto com a BS apenas no modo centralizado.

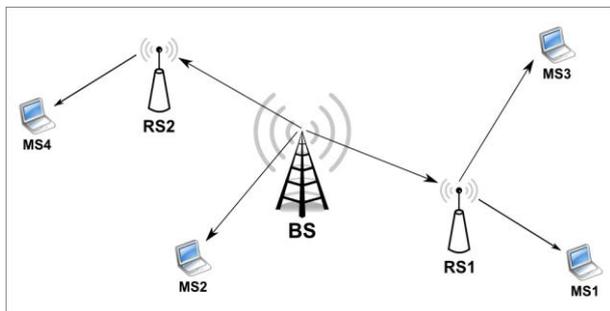


Fig. 1. Modelo de topologia de uma rede IEEE 802.16j.

No modo NT-RS, as RSs possuem a capacidade de gerenciar as MSs e negociarem com a BS as regras para acesso à rede e controle de tráfego, possibilitando um controle descentralizado da rede em termos de rota e controle de tráfego. Há a possibilidade de dois ou mais “saltos”, permitindo que um quadro possa ser retransmitido por várias RSs até alcançar seu destino final. Estações desse tipo podem operar no modo centralizado ou distribuído.

A mobilidade das RSs é uma característica importante a ser considerada, apesar de não ser um esquema convencionalmente utilizado, podendo auxiliar em casos específicos.

B. Camada PHY e Estrutura do Quadro

O IEEE 802.16j define duas camadas do modelo OSI: PHY e MAC. A camada PHY utiliza modulação OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). Nesta técnica de transmissão o domínio da frequência é dividido em subcanais e cada subcanal é dividido em pequenos trechos no domínio do tempo (conhecidos como símbolo OFDMA) recebendo um subconjunto de dados de um usuário individual alocados neste espaço, considerado como subportadora, uma fração do quadro OFDMA.

O OFDMA utiliza FFT (*Fast Fourier Transform*) e possibilita utilização de até 2048 subportadoras dependendo da modulação utilizada, que pode mudar em função da frequência adotada (de 2 a 11 GHz) e também da condição do canal (meio físico).

O quadro OFDMA, constituído de subportadoras, é a unidade de informação utilizada na camada MAC. Ele emprega papel fundamental na alocação de largura de banda e, no modo PMP, é dividido em dois subquadros: DL (*Downlink*) e UL (*Uplink*).

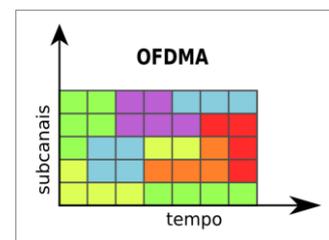


Fig. 2. Exemplo de alocação de *slots* na transmissão OFDMA.

O subquadro DL é utilizado para comunicação da BS com a MS, enquanto o subquadro UL é utilizado para comunicação da MS com a BS.

O DL possui cabeçalho de controle do quadro (FCH), um campo para gerenciamento das mensagens do quadro DL (DL-MAP) onde há o identificador de conexão (CID – *Connection Identifier*), um campo para gerenciamento de mensagens do quadro UL (UL-MAP) e fragmentos individuais de dados das estações organizadas em *bursts*, que são pequenas unidades de informação alocadas no subquadro DL, neste caso conhecido como *DL-Burst*, sendo destinadas especificamente para cada estação conectada à BS.

Os campos DL-MAP e UL-MAP servem como indicadores da estrutura atual do subquadro DL e UL, respectivamente, apontando o destino e a origem do subquadro correspondente.

Há um tempo de guarda (TTG – *Time To Guard*) definido entre um subquadro DL e UL. O subquadro UL possui campos *UL-Burst* e um campo para *ranging*.

Diferentemente do modo PMP, o modo MR modifica a estrutura do quadro de maneira a possibilitar retransmissões. Neste caso os subquadros são subdivididos em zonas nos modos T-RS e NT-RS, classificados em quatro novos tipos específicos de subquadros: *DL access*, *DL relay*, *UL access* e *UL relay*. Zonas *access* são utilizadas exclusivamente na comunicação entre o emissor e o receptor (BS e MS, não necessariamente nesta ordem), enquanto zonas *relay* são utilizadas na comunicação entre as RSs envolvidas na conexão e o emissor/receptor, dependendo da direção do subquadro. A quantidade de zonas utilizadas nos subquadros

está condicionada ao modo de operação, se T-RS ou NT-RS, e do caminho escolhido para transmissão, o qual definirá a quantidade de RSs envolvidas na conexão, no caso de uma rede NT-RS.

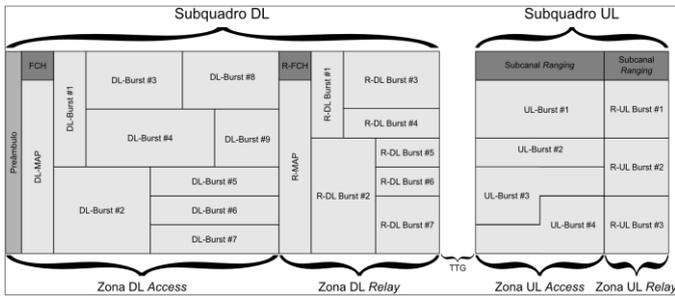


Fig. 3. Estrutura do quadro no modo NT-RS.

Para informações sobre a estrutura da zona *relay*, defina-se um campo R-MAP, que contém informação do emissor e receptor subsequente, permitindo desta forma a retransmissão adequada do quadro. Este campo pode ser ajustado pela BS ou RS no procedimento de gerenciamento e escolha da rota da conexão.

Realizou-se uma comparação de desempenho entre diferentes estruturas de quadro e cenários em [1] e [12]. Uma vez que a estrutura do quadro é diferenciada para os modos T-RS e NT-RS, estes também possuem *performance* diferenciada e importantes particularidades a serem analisadas.

Em [2] o autor desenvolve algumas fórmulas com o objetivo de estabelecer um esquema de alocação de símbolos OFDMA para os subquadros de acordo com o cenário encontrado na rede, permitindo assim maior flexibilidade na transmissão dos quadros.

C. Camada MAC

A camada MAC, é responsável pelo acesso ao canal, gerenciamento das conexões, aplicação de QoS, ordenação e encaminhamento dos quadros, supressão de cabeçalhos, autenticação, criptografia, entre outras tarefas. No padrão IEEE 802.16j, a camada MAC é subdividida em três camadas: CS (*Convergence Sublayer*), CPS (*Common Part Sublayer*) e SS (*Security Sublayer*).

A CS oferece uma interface de acesso à camada superior bem como realiza os mecanismos de classificação e compressão dos quadros, quando necessário. Realiza também a tarefa de transformação, mapeamento do quadro em *Service Data Units* (SDUs) a serem encaminhados para a CPS e classificação com os identificadores de fluxo de serviço (SFID – *Service Flow Identifier*) apropriados.

A CPS provê acesso ao sistema, estabelecimento e manutenção da conexão. Ela recebe os quadros classificados e seus respectivos identificadores de conexão (CIDs), depois aplica QoS, realizando o controle de tráfego adequado e transmitindo à PHY, podendo haver intermédio da subcamada SS, quando utilizada. A CPS também realiza duplexação por divisão de tempo (TDD – *Time Division Duplex*), rotina de inicialização e entrada na rede, enquadramento dos bits dos dados da transmissão, alocação de largura de banda, controle de admissão de chamadas (CAC), escalonamento de pacotes, estabelecimento e manutenção da conexão.

A subcamada SS implementa criptografia, autenticação de acesso e troca de chaves de criptografia, possibilitando que o sistema mantenha-se livres de ataques externos. Sua utilização é opcional.

O autor de [14] propõe uma técnica para auxiliar o roteamento dos quadros implementando uma camada extra, acima da CS, responsável pelo procedimento de criação das rotas e intermediação com a camada de transporte.

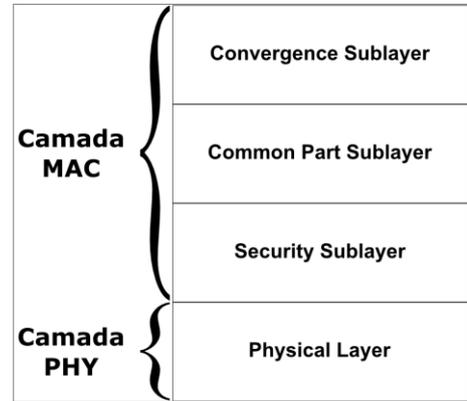


Fig. 4. Camadas e subcamadas definidas pelo IEEE 802.16j.

III. DINÂMICA DA REDE

A. Procedimento de Entrada à Rede

A rotina de entrada à rede é diferenciada para as MSs e RSs, dependendo também dos modos de operação e escalonamento adotados. Após a procura por sinal e sincronização, os parâmetros dos quadros DL e UL são obtidos e a partir de então é realizado o procedimento de busca e seleção de uma estação superordenada (BS ou RS, em caso de modo MR) na rede, conhecido como *ranging*. Cada quadro *ranging* transmitido pelo emissor contém um código identificador, auxiliando o reconhecimento do tipo da estação pelos receptores do sinal.

O *ranging* poderá ser realizado em duas etapas: inicial e periódica. A primeira etapa é realizada com a finalidade de registrar a estação à rede ou recuperar a perda de sincronização do sinal. Nesta etapa são feitos os ajustes de parâmetros relativos à transmissão do sinal. Após esse procedimento, são negociadas as capacidades básicas com a BS [10]. O *ranging* periódico tem a finalidade de sinalizar a existência de atividade de estações, monitorar a qualidade do sinal bem como o tipo de modulação utilizada e manter a qualidade de serviço na rede das estações RS ou MS. Ele é realizado aproveitando-se os campos *UL-Burst* utilizados na transmissão com a BS, após o procedimento regular de entrada.

Após a negociação com a BS ou estação superordenada, se for o caso, deverá ser realizada a autenticação e troca de chaves de criptografia.

Se a estação que estiver entrando à rede for uma RS, esta deverá encaminhar à BS ou estação superordenada informações sobre estações RS vizinhas, como potência do sinal e índices de préambulo. Essas informações servirão para mapeamento da rede, definição da rota mais adequada a

ser adotada por um tráfego específico, controle e ajustes de sinal com a finalidade de se evitar interferências.

Finalmente, concluídas todas as etapas acima descritas, a estação é registrada à rede e a conexão é estabelecida.

No trabalho desenvolvido em [2] o autor propõe dois novos procedimentos de entrada à rede para lidar com estações assinantes distantes da BS ou em situações onde o sinal é bloqueado e a BS não consegue estabelecer conexão direta com a MS.

B. Controle de tráfego e QoS

O controle de tráfego possui fundamental importância para redes IEEE 802.16j. Ele é realizado através de regras de escalonamento e CAC pré-estabelecidas, de responsabilidade do fabricante, executadas na camada MAC das estações envolvidas a fim de definir prioridades nas conexões e assegurar parâmetros QoS adequados, obedecendo alguns critérios de classificação.

As conexões são classificadas de acordo com diversos tipos de regras e critérios, que variam deste o endereço de origem e destino do quadro até a obrigatoriedade de referência da conexão a um único CID.

Após a classificação de uma conexão, esta é associada a um fluxo de serviço (SF – *Service Flow*), que pode ser de três tipos: provisionado, admitido e ativo. Todos indicam o estado atual de um SF com relação a uma determinada conexão.

Encerrado o procedimento de associação à um SF, este é agrupado, juntamente com outros SFs, a um dos cinco tipos de classe de serviço QoS, ou serviços de escalonamento, sendo estes:

- **UGS (*Unsolicited Grant Service*)**: ideal para fluxos de tráfego com tamanho fixo no campo de dados dos pacotes e que devem ser transmitidos em intervalos de tempo periódicos. Exemplo de aplicações com essas características: VoIP;

- **rtPS (*Real-Time Polling Service*)**: classe atribuída a tráfego com tamanho variável no campo de dados dos pacotes, mas que devem ser transmitidos em intervalos periódicos. Ex.: Vídeo no formato MPEG;

- **nrtPS (*Non-Real-Time Polling Service*)**: tráfegos com esta classificação requerem uma taxa mínima de largura de banda reservada, entretanto, sua transmissão não precisa ser realizada periodicamente, apenas com uma certa regularidade, havendo tolerância a atrasos. Ex.: FTP;

- **ertPS (*Extended Real-Time Polling Service*)**: é uma classe de serviço introduzida no padrão IEEE 802.16e-2005, sendo similar ao rtPS, com a diferença que o rtPS é adequado para aplicações MPEG com compressão, enquanto o ertPS é adequado para aplicações VoIP com supressão de silêncio;

- **BE (*Best Effort*)**: pacotes pertencentes a esta classe de serviço não possuem qualquer garantia de largura de banda e atraso mínimo. Ex.: HTTP.

As classes QoS são encaminhadas para o escalonador após o agrupamento dos fluxos de serviço. Neste ponto realiza-se o procedimento para alocação de largura de banda e priorização de conexões.

Outros elementos são igualmente importantes para manutenção de QoS na rede, como: vazão, atraso médio e *jitter*.

Algumas classes QoS foram ordenadas de acordo com níveis de prioridade na rede no trabalho desenvolvido em [5]. Esta ação foi realizada com a finalidade de estabelecer regras de escalonamento em conjunto com o mecanismo CAC desenvolvido pelo autor.

C. Alocação de Largura de Banda

A alocação de largura de banda é realizada com base nas informações do quadro. Isso faz com que a camada PHY não exerça o papel principal no processo de alocação de largura de banda, ainda que disponha de recursos para tal. No processo, após o procedimento de entrada à rede, a MS solicita largura de banda para a BS que analisará os requisitos QoS, o número de CIDs e outros critérios de acordo com o algoritmo de escalonamento implementado. Após análise dessas informações, só então a BS determina a largura de banda adequada para conexão da MS à rede.

O procedimento de requisição de largura de banda poderá ser realizado de forma incremental ou agregada. Na forma incremental a BS aloca largura de banda de acordo com a percepção da quantidade necessária para a conexão. Já na forma agregada a BS realiza a alocação de largura de banda de acordo com a quantidade solicitada pela MS, previamente informada no quadro [5]. A alocação de largura de banda incremental é obrigatória para redes NT-RS.

As estações solicitam largura de banda através de dois mecanismos, conhecidos como ARQ (*Automatic Repeat Request*) e HARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*). Ambos utilizam quadros ACK (*Acknowledged*) e NACK (*Not Acknowledged*), que tem por objetivo confirmar ou não o recebimento de uma solicitação. Os mecanismos consistem basicamente em transmitir o sinal, aguardar resposta do receptor durante um determinado período de tempo (*timeout*) e retransmiti-lo caso um quadro NACK seja recebido ou o tempo tenha expirado. O HARQ diferencia-se do ARQ pelo fato de combinar retransmissões subsequentes com transmissões anteriormente enviadas com erro ou não recebidas, de maneira a melhorar a confiabilidade.

Existem três tipos de mecanismos ARQ definidos no IEEE 802.16j: *end-to-end*, *two links* e *hop-by-hop*. No *end-to-end*, o processo é definido diretamente entre a BS e a MS, independente das RSs envolvidas ou não na conexão, servindo neste caso apenas como intermediadores. O modo *two links* estabelece dois processos: um para *link* de acesso e outro para *relay*. Em *hop-by-hop*, cada salto da rede possui um processo ARQ individual.

Independente da largura de banda total do canal, a BS poderá reservar uma pequena fração para acesso individual ou de um grupo específico de MSs, de acordo com a necessidade da rede.

Em [11] são propostos dois algoritmos de alocação de largura de banda. O primeiro observa as classes de serviço da conexão e a ordem de chegada dos quadros, enquanto o segundo define três tipos de classificação para os usuários do canal, onde cada classificação possui uma prioridade específica. Ambos os algoritmos são combinados e permitem sete formas diferentes de se ordenar o tráfego em termos de largura de banda alocada.

TABELA I

Formas de alocação de largura de banda e mecanismos ARQ usados em modos de rede do padrão IEEE 802.16j

	Alocação de Largura de Banda			
	Modo de operação ARQ			Forma de Alocação
	End-to-end	Two Links	Hop-by-hop	
T-RS Centralizado	X	-	-	Incremental/Agregada
NT-RS Centralizado	X	X	X	Incremental
NT-RS Distribuído	-	X	X	Incremental

D. Escalonamento e CAC

Escalonamento define o processo adotado para definição de prioridades no compartilhamento dos recursos da rede, observando regras pré-determinadas através das classes de serviço QoS.

Um algoritmo de escalonamento deve ser simples, flexível, capaz de atender a todas as conexões conduzidas no processo, mantendo justiça no acesso, protegendo recursos alocados nas conexões, permitindo também mobilidade, entre outras características [6] [10].

Especialmente no caso de redes IEEE 802.16j, o algoritmo de escalonamento deve observar o tipo da rede (T-RS ou NT-RS), a forma de roteamento de tráfego, o modo de escalonamento adotado, a quantidade de conexões a serem estabelecidas e os problemas envolvidos, como falhas na transmissão ou recepção do sinal, entre outros.

TABELA II

Tabela comparativa dos aspectos do padrão IEEE 802.16j nas propostas apresentadas

	Modo de Transmissão	Rotina de entrada à rede	Mudança na estrutura do quadro	Uso de classes QoS	Alocação de largura de banda	Escalonamento	CAC
[1] [13]	T-RS e NT-RS	-	X	X	X	Centralizado e Distribuído	-
[2]	T-RS e NT-RS	X	X	-	X	Centralizado e Distribuído	-
[5]	NT-RS	X	-	X	X	Distribuído	X
[9]	T-RS	X	-	-	X	-	-
[11]	Indiferente	-	-	X	X	-	-
[14]	NT-RS	X	-	UGS, apenas	-	Distribuído	-
[15]	T-RS	-	-	X	-	Centralizado	-
[16]	T-RS e NT-RS	-	-	BE, apenas	-	Centralizado e Distribuído	-
[17]	NT-RS	-	-	-	X	Centralizado	-
[20]	T-RS e NT-RS	-	X	-	-	-	-

As técnicas implementadas em um algoritmo de escalonamento devem atender as características básicas desejáveis a um escalonador e também definir sua arquitetura, ou seja, as camadas onde ele será implementado, os critérios adotados e outros pontos a serem observados.

Em [3], o autor apresenta técnicas de escalonamento em diferentes modos e enumera alguns pontos-chaves e desafios a serem considerados nas formas propostas.

Levando-se em consideração a forma de roteamento e operação da rede, se T-RS ou NT-RS, e o modo de escalonamento adotado, podemos visualizar quatro possíveis cenários a serem adotados:

a) **Escalonamento e roteamento centralizados:** neste caso a BS estará responsável não somente pelo gerenciamento dos recursos, mas também na definição das rotas das conexões, caso a rede adotada seja NT-RS;

b) **Escalonamento centralizado e roteamento distribuído:** a BS é responsável pela alocação de recursos, buscando manter uma regra livre de colisões, entretanto, desconhece a rota empregada na conexão, sendo de responsabilidade da MS, em conjunto com a(s) RS(s), encontrar o melhor caminho para acesso;

c) **Escalonamento e roteamento distribuídos:** neste cenário a BS preocupa-se apenas em gerenciar os recursos das RSs e MSs dentro de seu raio de sinal, delegando às RSs vizinhas responsabilidade para gerenciamento de recursos de estações fora de sua área de alcance. As RSs, por sua vez, podem operar em conjunto com as MSs, negociando os recursos necessários para transmissão dos dados, bem como as rotas das conexões;

d) **Escalonamento e roteamento híbridos:** aqui os algoritmos de escalonamento e roteamento podem ser implementados ora de maneira centralizada, ora distribuída, de acordo com a necessidade encontrada e a forma mais conveniente.

CAC estabelece o mecanismo responsável em gerenciar conexões de entrada e saída da rede, possibilitando o policiamento da rede, o *handoff* ou *handover* (procedimento de transição de uma MS em movimento que, ao sair da área de cobertura de uma BS, entrando em outra, mantém o estabelecimento da conexão e, praticamente, as mesmas quantidades de recursos e QoS alocados), a alocação adequada de recursos e outras características também observadas pelo algoritmo de escalonamento.

O CAC é implementado na CPS e executado durante o procedimento de entrada à rede, na maioria dos casos, realizado no *ranging* inicial. Ele atende a critérios específicos, normalmente adotados em conjunto com um algoritmo de escalonamento, levando em consideração classes de serviço QoS para as conexões aguardando o procedimento de entrada.

Após o procedimento convencional de entrada à rede, o CAC observará as regras para acesso e, com base nas informações obtidas, decidirá simplesmente se aceitará ou não a conexão. Essa tarefa auxilia o escalonador e simplifica o processo de utilização de largura de banda do canal, tornando-o mais eficaz.

A utilização de CAC e algoritmos de escalonamento reduz a quantidade de interferências no sinal, diminui a probabilidade de quedas nas conexões em andamento, dando preferência às conexões pré-existentes em detrimento de novas conexões, entre inúmeras contribuições.

Em [5], o mecanismo CAC desenvolvido é capaz de verificar as classes de serviço do tráfego e, após o recebimento da chamada, realizar degradação de largura de banda dos fluxos de serviço das classes similares, observando os parâmetros mínimos aceitáveis para cada uma delas.

IV. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado o padrão IEEE 802.16j e suas principais características, tanto em termos estruturais como dinâmicos.

Foram citados alguns estudos que abordam mecanismos de entrada à rede, alocação de largura de banda, escalonamento e CAC. Tais mecanismos também tiveram seus conceitos e fundamentos apresentados e comparados.

Também foi apresentada uma visão geral do padrão, de forma concisa, esclarecendo um pouco mais sobre o tema e ampliando o conhecimento do assunto para acadêmicos e entusiastas da área.

Como contribuição futura, sugere-se uma proposta de escalonamento para o padrão considerando o modo NT-RS distribuído.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Taha, P. Kolomitro, H. Hassanein, and N. A. Ali, "Evaluating frame structure design in WiMAX relay networks," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2011.
- [2] B. Kwon, Y. Chang, and J. a Copeland, "A network entry protocol and an OFDMA symbol allocation scheme for non-transparent relay stations in IEEE 802.16j MMR networks," *MILCOM 2008 - 2008 IEEE Military Communications Conference*, Nov. 2008, pp. 1-6.
- [3] D. Ghosh, A. Gupta & P. Mohapatra. "Scheduling in multihop WiMAX networks". *ACM SigMobile Computing and Communications Review*, 2008.
- [4] D. S. Kumar, "Technical Issues in IEEE 802.16j Mobile Multi-hop Relay Networks," *European Journal of Scientific Research*, Vol.65 No.4, pp. 507-533 2011.
- [5] E. Kiliç. "Quality of Service Aware Dynamic Admission Control in IEEE 802.16j Non-Transparent Relay Networks". 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado) - *Computer Engineering, Department Of Computer Engineering*, Middle East Technical University, Ankara - Turquia, 2010.
- [6] I. C. Msadaa, D. Câmara, and F. Filali, "Scheduling and CAC in IEEE 802.16 Fixed BWNs: A Comprehensive Survey and Taxonomy," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 12, 2010, p. 459-487.
- [7] IEEE, "IEEE standard for local and metropolitan area networks part 16: Air interface for broadband wireless access systems," *IEEE Std 802.16-2009 (Revision of IEEE Std 802.16-2004)*, May 2009.
- [8] IEEE, "IEEE standard for local and metropolitan area networks part 16: Air interface for broadband wireless access systems, amendment 1: multihop relay specification", *IEEE Std 802.16j-2009 (Amendment of IEEE Std 802.16-2009)*, June 2009.
- [9] K. Chu and T. Huang, "A Novel Bandwidth Request Mechanism for IEEE 802.16j Networks," *Tamkang Journal of Science and Engineering*, vol. 13, no. 1, pp. 71-78, 2010.
- [10] LTE, LTE-Advanced and WiMAX: Towards IMT-Advanced Networks, First Edition. Abd-Elhamid M. Taha, Najah Abu Ali and Hossam S. Hassanein. 2012 *John Wiley & Sons, Ltd*. Published 2012 by John Wiley & Sons, Ltd.
- [11] N. Kumar, K. N. B. Murthy, and A. M. Lagare, "User Oriented Network Aware Bandwidth Allocation in WiMAX," *International Journal on Recent Trends in Engineering & Technology*, vol. 5, no. 1, 2011.
- [12] N. Worravit, "Coverage and Throughput Improvement in Multihop Relaying in WiMAX Network", 2010, 97 f. *Department of Communication Signal and Theory - Universidad Rey Juan Carlos - Madri, Espanha*.
- [13] P. Kolomitro, A. Taha, and H. S. Hassanein, "A Performance Comparison of Frame Structures in WiMAX Relay Networks," *6th IEEE International Workshop on Performance and Management of Wireless and Mobile Networks*, pp. 769-776, 2010.
- [14] R. Tekdogan. "Improving Throughput by Traffic Aware Routing in IEEE 802.16j Non-Transparent Networks". 2010. 87 f. Tese (Mestrado) - *Department Of Computer Engineering, Middle East Technical University, Ankara - Turquia*, 2010.
- [15] V. Genc, S. Murphy and J. Murphy, "Performance Analysis of Transparent Relays in 802.16j MMR Networks". *WiOPT 2008. 6th International Symposium on*, pp. 273-281.
- [16] S. Kumar, "Throughput Enhancement in IEEE 802.16j Mobile Multi-hop Relay (MMR) Networks," *Computer Engineering and Intelligent Systems*, vol. 2, no. 4, pp. 46-54, 2011.
- [17] S. Wang, H. Yin, S. Sheu, and C. Chang, "Efficient Data Forwarding Schemes for IEEE 802.16j Multi-hop Relay Networks," *2009 IEEE Mobile WiMAX Symposium*, Jul. 2009, pp. 24-29.
- [18] V. Genc, S. Murphy, Y. Yu, and J. Murphy, "IEEE 802.16j relay-based wireless access networks: an overview," *IEEE Wireless Communications*, vol. 15, pp. 56-63, October 2008.
- [19] V. M. Okuda, V. C. Zhu, and V. D. Viorel, "Multihop Relay Extension for WiMAX Networks — Overview and Benefits of IEEE 802.16j Standard," *Fujitsu Scientific & Technical Journal*, vol. 302, 2008, pp. 292-302.
- [20] Z. Tao, A. Li, K. H. Teo, and J. Zhang, "Frame Structure Design for IEEE 802.16j Mobile Multihop Relay (MMR) Networks," *IEEE GLOBECOM 2007-2007 IEEE Global Telecommunications Conference*, pp. 4301-4306, Nov. 2007.