

Uma Análise do *Overhead* dos Mapas em Redes Metropolitanas Sem Fio Baseadas em OFDMA

Cristiano Bonato Both^{1,2}, Rafael Kunst^{1,2},
Lisandro Zambenedetti Granville¹, Juergen Rochol¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Porto Alegre – RS – Brasil

²Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)
Santa Cruz do Sul – RS – Brasil

{cbboth, rkunst, granville, juergen}@inf.ufrgs.br

Abstract. *The main techniques applied to provide quality of service guarantees in metropolitan area networks are OFDMA and MCS. OFDMA organizes the information within a bidimensional frame considering the time and frequency domains while MCS defines the level of robustness of a transmission. The localization of the data within the frame are defined in map messages transmitted in each frame. Thus, the main contribution this paper is to present a deep analysis of the overhead generated by these map messages. This analysis presents the behavior of the network in several scenarios that consider variations in the amount of data transmitted and in the quantity of mobile stations. Furthermore, we consider the variability of the wireless channel.*

Resumo. *As principais técnicas utilizadas para prover garantias de qualidade de serviço em redes sem fio metropolitanas são OFDMA e MCS. A técnica OFDMA organiza as informações nos domínios tempo e frequência, formando um quadro bidimensional, enquanto a técnica MCS define o nível de robustez da transmissão. Nesse contexto, para os dados serem dispostos no quadro, deve-se utilizar informações de mapas que indicam a localização destes dados. Assim, a principal contribuição deste artigo é apresentar uma profunda análise relativa ao overhead causado pelos mapas no quadro OFDMA. Essa análise apresenta o comportamento da rede em diversos cenários, variando a quantidade de dados transmitidos e a quantidade de estações móveis, bem como considerando a diversidade do meio sem fio.*

1. Introdução

As futuras tecnologias de redes de informação deverão prover infraestrutura de acesso de banda larga em diversos contextos, como para as cidades inteligentes e para a "Internet das coisas" [Andreini et al. 2010]. Esse acesso de banda larga deverá suportar mobilidade e altas taxas de transmissão a um baixo custo de implementação. Além disso, essas redes devem oferecer garantias de qualidade aos diferentes tipos de serviços multimídia, para que dessa forma as aplicações possam oferecer qualidade de experiência (QoE - *Quality of Experience*) aos seus usuários [Bernardo et al. 2009]. Atualmente, as opções de redes que atendem esses requisitos são as tecnologias sem fio locais, como WiFi (IEEE 802.11), redes metropolitanas WiMAX (IEEE 802.16), sistemas celulares de

terceira geração (3G) e o seu sucessor tecnológico conhecido como LTE (*Long Term Evolution*). Dentre essas opções, tanto WiMAX, quanto LTE são considerados precursores das futuras redes de quarta geração (4G) [Mosyagin 2010].

As redes sem fio com abrangência metropolitana, ou futuras redes 4G, têm como característica comum no nível físico a utilização das técnicas OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) e MCS (*Modulation and Coding Scheme*). A técnica de multiplexação OFDMA atua nos domínios de tempo e de frequência, permitindo que múltiplos usuários compartilhem o acesso ao canal de Rádio Frequência (RF) simultaneamente [Ben-Shimol et al. 2006]. Esse compartilhamento é possível através da designação de um conjunto de subcanais para cada usuário, possibilitando uma maior eficiência no uso da largura de banda do canal. Por sua vez, a técnica MCS indica o tipo de modulação e a razão de codificação utilizada para minimizar os efeitos da variabilidade do canal de RF em transmissões metropolitanas sem fio. Sendo assim, a camada MAC (*Medium Access Control*) deve ser projetada para suportar essas características. Por exemplo, o quadro OFDMA é representado como uma matriz bidimensional, na qual os eixos x e y representam os domínios de tempo e frequência, respectivamente.

A camada MAC das redes metropolitanas sem fio, que utilizam o quadro OFDMA, deve possuir no mínimo três componentes, projetados como parte de uma arquitetura para garantir Qualidade de Serviço (QoS) às aplicações. Esses componentes são chamados de Controle de Admissão de Conexão (CAC), escalonador e alocador. O aceite ou rejeição de uma conexão, considerando os recursos disponíveis na rede, como por exemplo largura de banda, é de responsabilidade do CAC [Msadaa et al. 2010]. A classificação do tráfego dos usuários em ordem prioritária, de acordo com as garantias de QoS, é realizada pelo escalonador [So-In et al. 2009b], enquanto a organização desses tráfegos em um quadro bidimensional é realizada pelo alocador [Cicconetti et al. 2010]. Entretanto, esses componentes não podem ser projetados considerando somente o tráfego dos usuários, pois é preciso adicionar informações de mapas que indicam a disposição dos dados dentro do quadro OFDMA [Sekercioglu et al. 2009]. Essas informações são chamadas de *overhead*, pois apesar de utilizarem espaço no quadro não são dados úteis para os usuários.

A literatura atual sobre redes metropolitanas sem fio, que consideram o quadro OFDMA, possui uma grande quantidade de trabalhos que apresentam algoritmos de CAC [Msadaa et al. 2010] [Bashar e Ding 2009], de escalonamento [Wang et al. 2008] [So-In et al. 2009b] e de alocação [Cicconetti et al. 2010] [Cohen e Katzir 2009]. Entretanto, nenhum destes trabalhos considera o *overhead* causada pelos mapas em duas transmissões, *downlink* (DL) e *uplink* (UL), isto é, sobrecarga total da tecnologia. Os trabalhos que abordam essas informações consideram o *overhead* com valores fixos [Cicconetti et al. 2010] [So-In et al. 2009a], ou ainda, somente o *overhead* dos mapas DL ou UL são consideradas. Nesse contexto, a principal contribuição deste trabalho é realizar uma profunda análise relativa ao *overhead* causado pelos mapas no quadro OFDMA. Essa análise objetiva apresentar o comportamento da rede em diversos cenários, variando a quantidade de dados transmitidos e a quantidade de conexões ativas na rede, bem como considerando a variabilidade do meio sem fio, tanto em transmissões DL, quanto UL. Os resultados apresentados são fundamentais para o desenvolvimento de componentes de CAC, escalonamento e alocação para o projeto de arquiteturas que provem QoS para redes sem fio metropolitanas.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2, descreve-se a fundamentação teórica sobre as características das redes metropolitanas sem fio, além disso, são apresentados os trabalhos relacionados sobre o *overhead* causado pelos mapas no quadro OFDMA. Na Seção 3, é apresentada a implementação do simulador que considera a diversidade das redes metropolitanas sem fio e os componentes da camada MAC. Na Seção 4, são discutidos os resultados obtidos e, finalmente, na Seção 5, apresenta-se conclusões e aponta-se direções para futuras investigações.

2. Fundamentação Teórica

As redes metropolitanas sem fio possuem funcionalidades semelhantes as redes sem fio convencionais. Entretanto, operam em grandes áreas de cobertura, com altas taxas de transmissão (tipicamente superiores a 100 Mbit/s), provendo garantias de QoS para diferentes tipos de tráfego de usuários e suporte a mobilidade com altas velocidades, por exemplo 120 Km/h. Nesta seção são descritas as principais fundamentações teóricas relativas as características dessas redes, bem como os trabalhos relacionados.

2.1. Características das Redes Metropolitanas Sem Fio

Uma das principais técnicas utilizadas em redes metropolitanas sem fio é a multiplexação de canal OFDMA. A principal característica dessa técnica é o suporte a múltiplos usuários em um mesmo símbolo OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*). Tal característica é obtida através da divisão do canal sem fio em subcanais que são formados por conjuntos de subportadoras. Esse processo de multiplexação é conhecido como subcanalização ou zonas de permutação. As tecnologias WiMAX e LTE especificam alguns métodos de subcanalização, mas apenas o método PUSC (*Partially Used Subchannelization*) é de implementação obrigatória.

O processo de subcanalização torna complexo o mecanismo de alocação de banda, pois as alocações devem ser realizadas considerando os domínios de tempo (símbolos OFDM) e de frequência (subcanais), utilizando uma unidade de alocação mínima chamada *slot* [Camargo et al. 2009]. Por exemplo, nas redes WiMAX, em uma transmissão DL cada *slot* é composto por 2 símbolos OFDM e 1 subcanal, sendo que cada subcanal utiliza 28 subportadoras de dados. Já na transmissão UL, cada *slot* é formado por 3 símbolos OFDM que utilizam 24 subportadoras de dados [So-In et al. 2009a]. O tipo de subcanalização utilizado determina a estrutura do quadro OFDMA, que pode ser observada na Figura 1.

O quadro OFDMA pode ser representado como uma matriz bidimensional, na qual os eixos x e y representam os domínios de tempo e frequência, respectivamente. A construção dos subquadros deve considerar, principalmente, as características de acesso ao meio. No subquadro DL apenas a BS (*Base Station*) transmite informações para todas as MSs (*Mobile Station*), iniciando com um preâmbulo de sincronização que é transmitido em todos os subcanais, tendo a duração de 1 símbolo. No segundo símbolo inicia a transmissão do FCH (*Frame Control Header*), utilizando 4 subcanais, como pode ser observado na Figura 1. O FCH contém informações sobre a localização e duração da mensagem DL-MAP. Esse mapa possui estruturas de dados chamadas de IEs (*Information Element*) que carregam informações sobre a localização, duração, quantidade de conexões e configuração MCS das rajadas DL. Uma configuração MCS indica o tipo de modulação

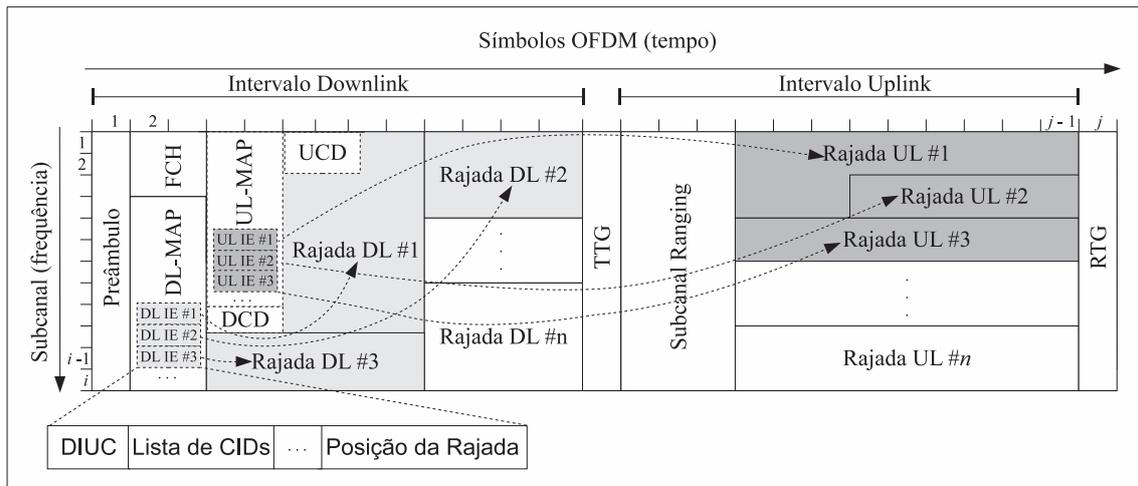


Figura 1. Estrutura do quadro OFDMA

e a razão de codificação utilizada na transmissão de uma determinada rajada de dados. Em outras palavras, o agrupamento das conexões com o mesmo MCS em um quadro OFDMA forma uma rajada DL. Além disso, informações sobre o canal de RF são transmitidas na mensagem chamada DCD (*Downlink Channel Descriptor*).

Já, no subquadro UL, o meio de transmissão é compartilhado por todas as MSs que desejam transmitir informações para a BS. Por isso, o acesso das MSs ao subquadro UL precisa ser coordenado pela BS, através de um mecanismo de concessão de oportunidades de transmissão. Quando um subquadro UL é alocado, a primeira rajada DL do quadro OFDMA deve conter um mapa chamado UL-MAP e um descritor do canal denominado UCD (*Uplink Channel Descriptor*). Esse mapa contém informações referentes às rajadas UL, seguindo uma estrutura semelhante a do DL-MAP. Cada rajada UL é formada por informações enviadas por apenas uma MS. Essas informações podem conter dados e nesse caso a rajada UL representa uma oportunidade de transmissão de dados concedida a uma determinada MS. Por outro lado, essa informação pode ser uma requisição de banda e dessa forma a rajada UL representa uma oportunidade de requisição de banda concedida para uma determinada MS. Além das rajadas, um subquadro UL contém um canal de *Ranging*, que é um período compartilhado entre todas as MSs, utilizado para o envio de requisições de banda, como no exemplo da Figura 1.

Quando não houver informação suficiente para preencher completamente os subquadros DL ou UL, os mesmos serão preenchidos com *padding*. Além disso, entre os subquadros DL e UL existe um TTG (*Transmit/Receive Transition Gap*) alocado para permitir que a BS alterne do modo de transmissão para o de recepção. No final do subquadro UL, é alocado um RTG (*Receive/Transmit Transition Gap*) para que a BS retorne ao modo de transmissão.

As informações contidas nos mapas são fundamentais para a disposição dos dados dos usuários no quadro OFDMA. Entretanto, devido a estrutura do quadro ser bidimensional, essas informações, chamadas de *overhead* neste trabalho, devem ser consideradas para o projeto dos algoritmos de CAC, escalonamento e alocação das futuras redes metropolitanas sem fio. Por exemplo, na Tabela 1 são apresentados os tamanhos dos mapas

para o quadro OFDMA discutido na Figura 1 da tecnologia WiMAX. Essa tabela resume as informações contidas no padrão IEEE 802.16 [IEEE 2009].

Tabela 1. Overhead of the OFDMA Frame

Mapas	Fixa (bits)	Variável (bits)
FCH	96	-
DCD	24	$24.N_{R-DL}$
UCD	48	$24.N_{R-UL}$
DL-MAP	104	$(12.DL_{IE}) + (48.N_C)$
UL-MAP	64	$(20.UL_{IE}) + (32.N_B)$
		$(40.N_A)$
		$(10.N_D)$

Os mapas formados por IEs podem ser divididos em duas partes: fixa e variável, com exceção do FCH que possui tamanho fixo de 96 bits. Os descritores de canal DCD e UCD são relacionados com o número de rajadas de dados, N_{R-DL} e N_{R-UL} , respectivamente. Ou seja, a cada nova rajada de dados alocada no quadro OFDMA, 24 bits de *overhead* são adicionados. Já, o tamanho do mapa DL-MAP está associado a quantidade de IEs no DL (DL_{IE}) e a quantidade de conexões (N_C) em cada rajada. Sendo assim, a medida que o número de conexões com o mesmo MCS aumenta, o tamanho do DL-MAP é acrescido em 48 bits. Por fim, o tamanho das informações do UL-MAP está relacionado a quantidade de IEs no UL (UL_{IE}) e com o tipo de informação transmitida, podendo ser requisições de banda CDMA (*Code Division Multiple Access*), representadas neste artigo como N_B , informações sobre alocações CDMA, definidas como N_A ou dados (bits) enviados das MSs para a BS, indicada por N_D . Neste contexto, onde o aumento das informações dos mapas possui uma grande variabilidade, é fundamental analisar o *overhead* das informações dos mapas para projetos de algoritmos de CAC, escalonamento e alocação. A seguir, são descritos alguns trabalhos que apresentam estudos parciais sobre a análise do *overhead* dos mapas em redes metropolitanas sem fio baseadas no quadro OFDMA.

2.2. Trabalhos Relacionados

Os três principais componentes em uma arquitetura para garantir QoS em redes metropolitanas sem fio baseadas em OFDMA são normalmente projetados sem considerar o *overhead*. Msadaa, Câmara e Filali [Msadaa et al. 2010] apresentam um levantamento completo sobre o estado da arte no que diz respeito aos componentes de CAC e escalonamento, analisando diversos trabalhos que não consideram o *overhead* em suas propostas. Já, Cohen e Katzir [Cohen e Katzir 2009] exploram a integração entre os componentes escalonador e alocador, sem considerar a alocação dos mapas no quadro OFDMA.

Por sua vez, a abordagem típica apresentada nos trabalhos relacionados ao cálculo do *overhead* não considera os três componentes. Por exemplo, Jin *et. al.* [Jin et al. 2008] estudam o *overhead* considerando somente transmissões DL utilizando o método de multiplexação OFDMA, sem considerar uma arquitetura de QoS. Por outro lado, Tykhomyrov *et. al.* [Tykhomyrov et al. 2010] propõem uma otimização nos mapas,

a fim de reduzir o *overhead*. Para isso, é apresentado um comparativo entre o *overhead* DL com e sem a utilização de compressão do cabeçalho. Os resultados mostram que a utilização de compressão não representa ganhos significativos em termos de vazão, pois segundo o padrão IEEE 802.16 [IEEE 2009], que especificada as redes WiMAX, a compressão é aplicada somente na parte fixa do *overhead*. Sendo assim, neste trabalho, os estudos apresentados não consideram o emprego de compressão nos cabeçalhos dos mapas.

O fato dos trabalhos relacionados não considerarem o cálculo do *overhead* no projeto dos três componentes utilizados para provimento de QoS pode causar alguns problemas no funcionamento da arquitetura, os quais são investigados neste trabalho. Por exemplo, caso o componente CAC não considere a existência do *overhead*, a quantidade de recursos, isto é, largura de banda disponível pode ser superestimado, uma vez que o *overhead* não é descontado do total de recursos. Por outro lado, se o *overhead* for desconsiderado no escalonador, este tende a sobrecarregar o alocador, enviando mais dados do que o alocador é capaz de organizar no quadro. Por consequência, se o alocador não contabilizar o *overhead*, o cálculo do espaço disponível para alocação de dados no quadro pode ser superestimado. Sendo assim, neste trabalho são considerados os três principais componentes de uma arquitetura para provimento de QoS em redes metropolitanas sem fio para o cálculo do *overhead*.

3. Infraestrutura para Análise do *Overhead* dos Mapas

Com o objetivo de analisar o *overhead* dos mapas do quadro OFDMA para redes metropolitanas sem fio, desenvolveu-se um simulador composto de dois módulos. O primeiro módulo, descrito na Subseção 3.1, tem como objetivo representar a diversidade do canal de RF. Já, o segundo módulo, apresentado na Subseção 3.2, possui os componentes da camada MAC, que consideram as técnicas de multiplexação OFDMA e MCS.

3.1. Modelo de Canal de RF

O modelo do canal de RF utilizado no simulador foi projetado através de uma cadeia de Markov de tempo discreto, composta por oito estados. Cada estado representa uma configuração MCS, isto é, considera um canal de RF com uma determinada modulação e taxa de codificação. A informação de qual MSC está sendo utilizado em uma transmissão é fundamental para o cálculo do *overhead* do quadro OFDMA. Os estados são divididos em dois grupos: (i) o conjunto de estados 1-4 é utilizado em canais com uma condição de transmissão ruim, enquanto (ii) os estados 5-8 são usados em casos que o canal apresenta uma boa condição de transmissão. A representação gráfica da cadeia de Markov proposta e os MCSs correspondentes a cada estado da cadeia são apresentados na Figura 2.

Cada estado da cadeia de Markov tem probabilidades de transição associadas. Na concepção do modelo de simulação, as probabilidades de transição entre os estados da cadeia de Markov são parâmetros que podem ser definidos de acordo com o cenário de simulação pretendido. Esses parâmetros são informados considerando probabilidades de transição para os estados da cadeia. Outro parâmetro importante que deve ser informado é a espera entre avaliações da necessidade de transição entre os estado do canal, que é definida em número de quadros.

Durante a simulação da condição do canal, existem três possibilidades em termos de transições: (i) a permanência no mesmo estado, quando o canal mantém a mesma

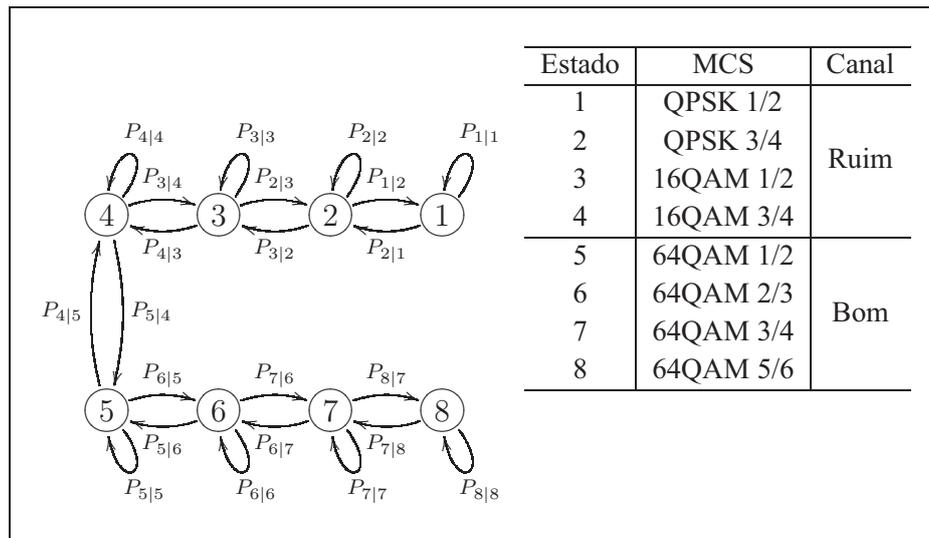


Figura 2. Modelo do Canal de RF

condição de transmissão, (ii) aumento de um nível de robustez, quando a condição do canal atual é pior do que na última transmissão, ou (iii) reduzir um nível de robustez, se a condição do canal é melhor do que na última transmissão. Por exemplo, se o MCS atual é de 16 QAM 3/4 e uma condição pior de canal é detectada, na próxima transmissão será aplicada a configuração 16 QAM 1/2. Caso contrário, considerando que a condição atual do canal é melhor do que na última transmissão, deve ser usado 64 QAM 1/2. Existem duas exceções que ocorrem quando o MCS mais e menos robusto são utilizados. No primeiro caso, não é possível aumentar a robustez, enquanto no segundo, é impossível reduzir a robustez.

O modelo do canal de RF descrito nesta seção é utilizado na simulação dos três principais componentes para garantir QoS nas tecnologias para redes metropolitanas sem fio. A seguir são apresentados esses componentes que fazem parte da camada MAC de uma BS.

3.2. Componentes da Camada MAC

Os componentes da camada MAC da arquitetura para garantir QoS devem trabalhar de forma interligada para garantir o bom funcionamento da rede metropolitana sem fio. Sendo assim, na simulação considerou-se a interligação entre esses componentes, conforme ilustrado na Figura 3. O primeiro componente da arquitetura é o CAC, com a finalidade de definir quais conexões serão aceitas e quais serão negadas, através da análise da quantidade de recursos disponíveis para garantir a QoS para as aplicações. Na literatura, existem diversos tipos de CAC, sendo que o escolhido para a simulação foi o CAC baseado em análise da largura de banda disponível, por ser a abordagem mais comumente empregada [Msadaa et al. 2010].

O segundo componente considerado na simulação da arquitetura é o escalonador. O objetivo deste componente é selecionar qual fila deve ser atendida, de acordo com os requisitos de QoS de cada tipo de tráfego dos usuários. Neste trabalho, é simulado o algoritmo *Proportional Fair* (PF) [Potter e Zukerman 2001], que associa uma prioridade a cada fila, a fim de definir qual fila deve ser atendida. A primeira fila a ser atendida

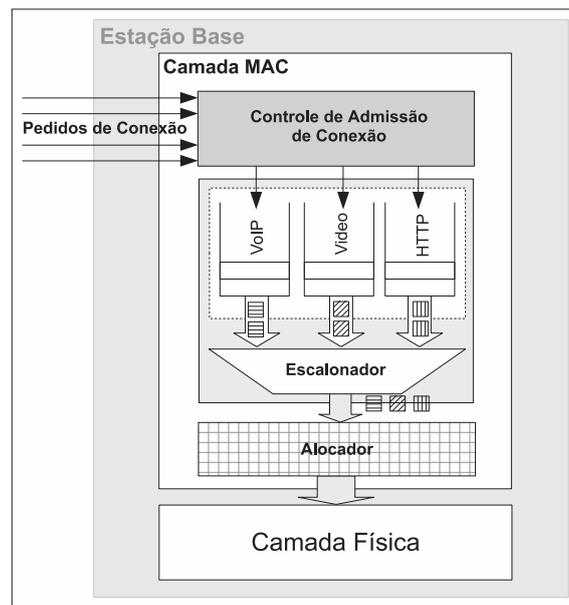


Figura 3. Componentes da Camada MAC

é sempre a de maior prioridade, a qual é servida até que todos os quadros armazenados nela sejam atendidos. Após, a próxima fila na ordem de prioridade é servida. A cada quadro servido em uma fila de menor prioridade, a fila de mais alta prioridade é verificada novamente para garantir que caso exista um novo quadro, esse seja atendido considerando o critério de priorização. Neste trabalho, o algoritmo PF é utilizado para priorizar a fila de voz sobre IP (VoIP) em relação as filas de video e HTTP. Isto se justifica porque uma rede metropolitana sem fio pode atender a tráfego de sistemas celulares e, portanto, a priorização do tráfego de voz é fundamental.

O terceiro componente simulado é o alocador, que é responsável por organizar o tráfego dos usuários no quadro OFDMA. O alocador simulado neste trabalho foi o *Recursive Tiles and Stripes* (RTS), por se mostrar a proposta mais eficiente dentre as atualmente publicadas [Ciconetti et al. 2010]. O funcionamento deste alocador é organizado em duas fases. A primeira fase, chamada de *Tiles* consiste na tentativa de organização vertical dos dados dentro do quadro OFDMA. Por outro lado, a segunda fase, conhecida como *Stripes* busca alocar horizontalmente os dados no quadro. Uma quantidade parametrizável de iterações é realizada e a melhor solução é selecionada, isto é, a solução que for capaz de alocar a maior quantidade de dados dentro do quadro OFDMA. Nesse algoritmo é apresentada a necessidade de uma função ϕ que calcula o *overhead* causado pelos mapas. Entretanto, a implementação dessa função não é especificada no algoritmo RTS.

Sendo assim, neste trabalho, é proposto o Algoritmo 1 que tem a finalidade de calcular o valor da função ϕ . Este algoritmo recebe como parâmetros os conjuntos de rajadas DL e UL, bem como os conjuntos de alocações CDMA, de requisições de banda, de conexões atendidas e de rajadas de dados UL. Além disso, define-se uma função, chamada de γ neste trabalho, que calcula o *overhead* fixo do quadro, de acordo com as informações apresentadas na Tabela 1. O resultado obtido através da aplicação da função γ é somado ao *overhead* variável, calculado pelo algoritmo proposto, a fim de obter o

overhead total, que corresponde ao valor de ϕ .

Algoritmo 1 Algoritmo para cálculo da função ϕ

Parâmetros: $R - DL = \{R - DL_1, R - DL_2, \dots, R - DL_n\}$: conjunto de rajadas DL

Parâmetros: $R - UL = \{R - UL_1, R - UL_2, \dots, R - UL_n\}$: conjunto de rajadas UL

Parâmetros: $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$: conjunto de alocações CDMA

Parâmetros: $B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$: conjunto de requisições de banda

Parâmetros: $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$: conjunto de conexões em um quadro

Parâmetros: $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$: conjunto das rajadas de dados UL

Parâmetros: $DL_{IE} = \{D_{IE_1}, D_{IE_2}, \dots, D_{IE_n}\}$: conjunto de *IEs* no subquadro DL

Parâmetros: $UL_{IE} = \{U_{IE_1}, U_{IE_2}, \dots, U_{IE_n}\}$: conjunto de *IEs* no subquadro UL

1: $N_{R-DL} = |R - DL|$

2: $N_{R-UL} = |R - UL|$

3: $N_A = |A|$

4: $N_B = |B|$

5: $N_C = |C|$

6: $N_D = |D|$

7: $N_{DL_{IE}} = |DL_{IE}|$

8: $N_{UL_{IE}} = |UL_{IE}|$

9: γ é somatório do tamanho fixo dos Mapas, conforme Tabela 1

10: $\phi = \gamma$

11: **para todo** novo quadro a ser transmitido **faça**

12: **para** i de 1 ate N_{R-DL} passo 1 **faça**

13: $\phi + = 24$ //cálculo do *overhead* do DCD

14: $\phi + = 12 \cdot N_{DL_{IE}} + 48 \cdot N_C$ //cálculo do *overhead* do DL-MAP

15: **fim para**

16: **para** i de 1 ate N_{R-UL} passo 1 **faça**

17: $\phi + = 24$ //cálculo do *overhead* do UCD

18: $\phi + = 20 \cdot N_{UL_{IE}} + (40 \cdot N_A + 32 \cdot N_B + 10 \cdot N_D)$ //cálculo do *overhead* do UL-MAP

19: **fim para**

20: **fim para**

O valor retornado pela função ϕ é disponibilizado aos três componentes que compõem a arquitetura para provimento de QoS em redes metropolitanas sem fio. Com isso, é possível que o projeto desses componentes considere informações acuradas sobre o *overhead*, permitindo um melhor funcionamento da rede como um todo. Na próxima seção é apresentada uma análise profunda do impacto causado pelo *overhead* gerado pelos mapas.

4. Resultados

O cálculo do *overhead* considerando os componentes da camada MAC da arquitetura para provimento de QoS em redes metropolitanas sem fio é analisado através de simulações, implementadas usando a linguagem de programação Labview e Matlab integradas. Os parâmetros utilizados nas simulações são apresentados na Tabela 4 e refletem as configurações recomendadas pelo documento que descreve a metodologia de avaliação das redes WiMAX [WiMAX Forum 2008]. Este documento possui uma estrutura que

permite simular o comportamento de sistemas celulares, como por exemplo a tecnologia LTE.

Tabela 2. Parâmetros de Simulação

Parâmetro	Valor
Largura de banda	10 MHz
Subportadoras total	1024
Subportadoras de dados por subcanal DL	28
Subportadoras de dados por subcanal UL	24
Duração do quadro	5 ms
Dimensão do subquadro DL (Subcanais x Símbolos)	14 x 30 <i>slots</i>
Dimensão do subquadro UL (Subcanais x Símbolos)	6 x 15 <i>slots</i>
Intervalo de confiança	95%

A primeira análise realizada neste trabalho refere-se a quantidade global de *overhead* no quadro OFDMA. O *overhead* apresentado no gráfico é causado pelos mapas e descritores de canais gerados devido a transmissões DL e UL. Entretanto, como os mapas e descritores de canal estão localizados no subquadro DL, a análise do *overhead* em relação a quantidade de dados alocados deve ser realizada considerando somente este subquadro. Neste contexto, o eixo y da Figura 4 representa a capacidade normalizada do subquadro DL, em relação a um subquadro DL contendo 420 slots de capacidade, em um quadro de 5 ms. Por sua vez, no eixo x da figura é apresentado o número de conexões ativas na rede, ou seja, a quantidade de conexões aceitas pelo mecanismo de CAC.

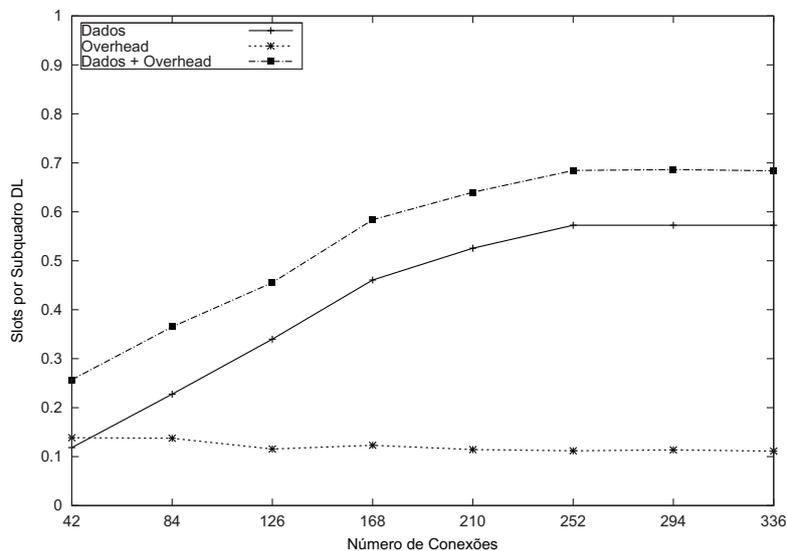


Figura 4. Overhead Global

Na Figura 4 pode-se observar que o *overhead* global utiliza em média 13% da capacidade do subquadro DL. Esse comportamento é independente da quantidade de conexões aceitas pelo algoritmo de CAC na BS. Isto se justifica porque o *overhead* é causado pela quantidade de conexões, quantidade de rajadas e pedidos de requisições UL em um quadro OFDMA e não em relação ao número total de conexões aceitas pela BS. Pode-se

perceber também que quando há poucas conexões na rede, por exemplo, 84, a quantidade de tráfego dos usuários é menor que a quantidade de *overhead*, devido a baixa demanda por transmissões de dados por parte das MSs. Já, a partir de 252 conexões, o desempenho do algoritmo de alocação RTS não permite arranjar todos os dados no subquadro OFDMA, conforme apresentado por Cicconetti *et al.* [Cicconetti et al. 2010]. Nessas duas situações existe um espaço do subquadro OFDMA que não é utilizado para alocação de dados e *overhead*, o qual é preenchido com *padding*. Quando existem poucas conexões, *padding* é adicionado devido a existência de pouco tráfego de usuários. Por outro lado, quando existem muitas conexões, a inserção de *padding* se deve à ineficiência do algoritmo de alocação.

A segunda análise apresentada neste trabalho é referente ao comportamento do *overhead* gerado por transmissões DL e UL. Na Figura 5 é analisado o número de conexões em relação a capacidade normalizada do subquadro DL, sendo possível observar que o *overhead* UL utiliza em média cerca de 10% do subquadro, enquanto o *overhead* DL ocupa aproximadamente 3% da capacidade. A redução do *overhead* DL é justificada, devido a transmissão DL poder associar um conjunto de conexões a uma mesma rajada, o que não é possível em transmissões ou requisições UL, por causa do compartilhamento de acesso ao meio entre as MSs. Sendo assim, nas transmissões UL cada conexão será associada a uma rajada.

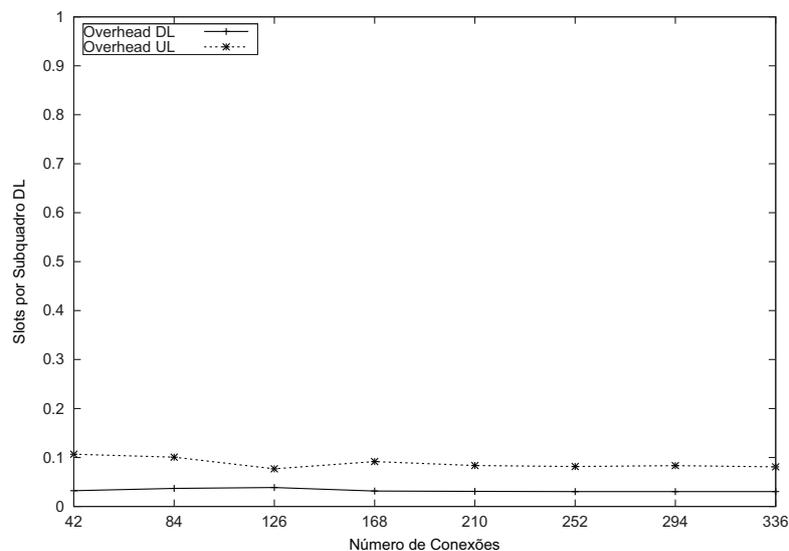


Figura 5. Overhead causado pelos Mapas

O objetivo da Figura 6 é aprofundar a análise do *overhead* UL, através dos tipos de mensagens que o compõe. É interessante ressaltar que o *overhead* dos dados UL é transmitido no subquadro DL, enquanto o *overhead* das requisições UL é transmitido no subquadro UL. Assim, a Figura 6 apresenta o percentual do *overhead* de dados UL considerando a capacidade do subquadro DL igual a 420 slots. Por outro lado, o percentual do *overhead* de requisições UL é calculado considerando a capacidade do subquadro UL de 90 slots. O *overhead* de dados UL é de aproximadamente de 8% da capacidade do subquadro DL, pois esse depende da quantidade de rajadas que são associadas com um conjunto de conexões e MCSs. Já, o *overhead* das requisições UL apresenta um

crescimento até 126 conexões e depois se mantém em aproximadamente 54%. Esse comportamento se justifica, uma vez que até 126 conexões, o subquadro UL possui espaço disponível para as requisições de banda UL e após essa quantidade de conexões ocorre um saturamento no subquadro UL. Maiores detalhes sobre o impacto causado por essa sobrecarga nas requisições de banda no subquadro UL podem ser observados no trabalho de Camargo *et al.* [Camargo et al. 2009].

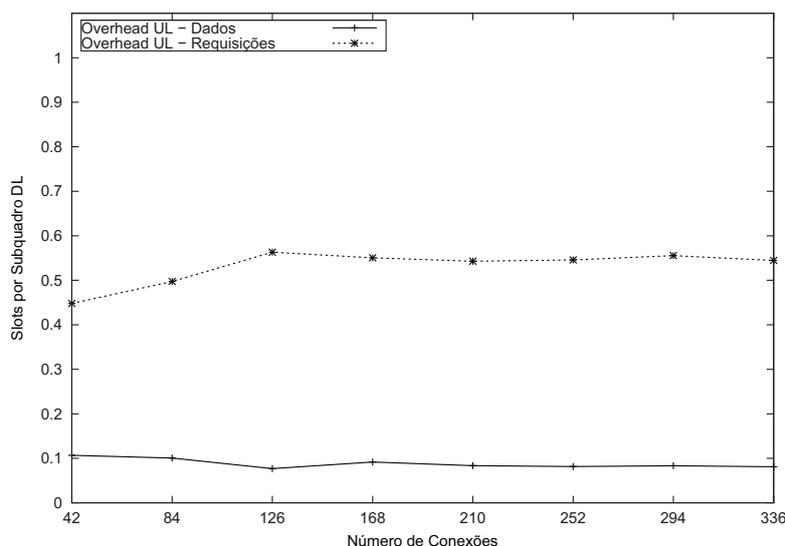


Figura 6. Análise do Overhead UL

A última análise realizada neste trabalho refere-se ao *overhead* causado pelos descritores de canais. Por isso, na Figura 7 são mostrados dois gráficos que se complementam a fim de analisar separadamente o *overhead* causado pelo DCD e UCD. Sendo assim, na Figura 7 (a) é analisado o número de conexões em relação a capacidade do subquadro DL em *slots*, enquanto na Figura 7 (b) o eixo y refere-se à quantidade média de MCS por subquadro. Na Figura 7 (a) pode-se perceber que a capacidade do subquadro DL ocupada pelos descritores de canal é inferior a 3 *slots*. Por esse motivo é apresentado o valor absoluto, uma vez que essa quantidade de *slots* torna-se insignificante percentualmente se comparada aos 420 *slots* disponíveis.

Na Figura 7 (a) percebe-se que o *overhead* causado pelo UCD é superior ao gerado pelo DCD. Isto é justificado através da análise da Figura 7 (b), pois a quantidade média de MCS no subquadro UL é superior a do subquadro DL. Analisando os dois gráficos conjuntamente, percebe-se que existe uma relação diretamente proporcional entre a quantidade de MCSs e o tamanho dos descritores. Além disso, pode-se concluir que a quantidade de *overhead* DL é influenciada exclusivamente pela quantidade de MCSs que não pode superar 8 diferentes configurações de modulação e codificação, visto que uma rajada deve comportar todas as conexões com o mesmo MCS. Por outro lado, no subquadro UL, cada rajada é associada a uma conexão com seu respectivo MCS e, por isso, uma quantidade maior de *overhead* é observada no UCD em comparação do DCD.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste artigo, foi realizada uma profunda análise do *overhead* global em uma arquitetura para provimento de QoS em redes metropolitanas sem fio baseada no quadro

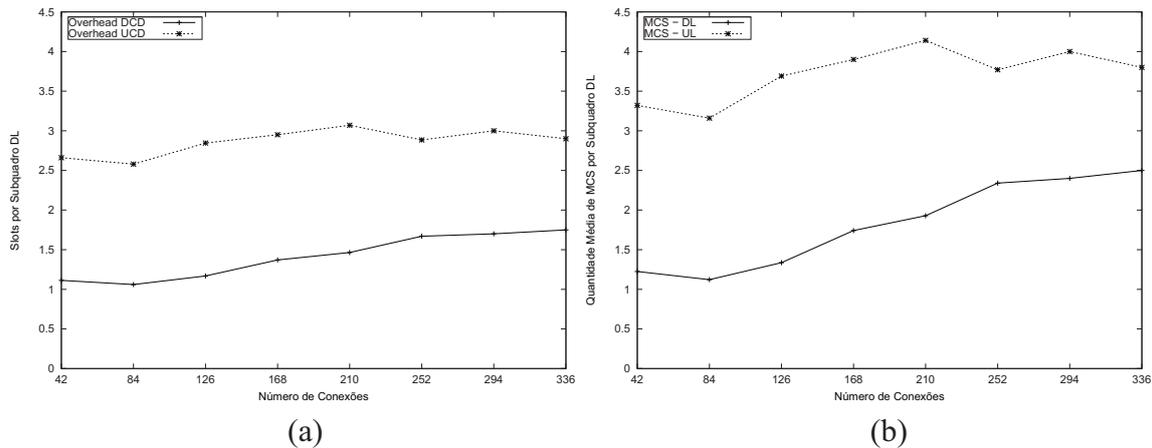


Figura 7. *Overhead* causado pelos descritores

OFDMA. A maior contribuição do trabalho foi a definição da forma de cálculo do tamanho dos mapas e descritores de canal, bem como a sua variabilidade considerando as condições do meio sem fio, o número de conexões ativas e a quantidade de transmissões DL e UL. Essa contribuição é fundamental para apoiar o desenvolvimento de projeto dos três principais componentes da camada MAC, que são: CAC, escalonador e alocador.

Os resultados mostram o *overhead* global de uma rede metropolitana sem fio considerando o quadro OFDMA. Além da visão global, que afeta o desempenho dos componentes da camada MAC, foi realizado um estudo detalhado das causas do *overhead*. Por exemplo, foi detalhada a composição do *overhead* DL e UL, através da análise do comportamento dos mapas e descritores de canal. Com os resultados obtidos pode-se concluir que os projetos de componentes para a camada MAC de redes metropolitanas sem fio não podem desconsiderar o efeito causado pelo *overhead* no desempenho dos componentes.

Direções para futuras investigações devem envolver variações na configuração da rede metropolitana sem fio, como alteração no tamanho do quadro, número de subportadoras e largura de banda do canal sem fio. Além disso, é possível explorar as futuras técnicas de multiplexação do canal de RF.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e à Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) pelo apoio financeiro.

Referências

- Andreini, F., Crisciani, F., Cicconetti, C., and Mambrini, R. (2010). Context-aware location in the internet of things. In *IEEE Globecom - Workshop on Network of the Future*, pages 300–304.
- Bashar, S. and Ding, Z. (2009). Admission control and resource allocation in a heterogeneous OFDMA wireless network. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 8(8):4200–4210.

- Ben-Shimol, Y., Kitroser, I., and Dinitz, Y. (2006). Two-dimensional mapping for wireless OFDMA systems. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 52(3):388–396.
- Bernardo, V., Sousa, B., and Curado, M. (2009). Voip over wimax: Quality of experience evaluation. In *IEEE Symposium Computers and Communications*, pages 42–47.
- Camargo, E., Both, C., Kunst, R., Granville, L., and Rochol, J. (2009). Uma arquitetura de escalonamento hierárquica para transmissões uplink em redes WiMAX baseadas em OFDMA. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pages 525–538.
- Cicconetti, C., Lenzini, L., Lodi, A., Martello, S., Mingozzi, E., and Monaci, M. (2010). Efficient two-dimensional data allocation in IEEE 802.16 OFDMA. In *IEEE INFOCOM - Conference on Computer Communications*, page 1.
- Cohen, R. and Katzir, L. (2009). Computational analysis and efficient algorithms for Micro and Macro OFDMA downlink scheduling. *IEEE Transactions on Networking*.
- IEEE (2009). IEEE standard for local and metropolitan area networks, part 16 - air interface for broadband wireless access systems.
- Jin, X., Zhou, J., Hu, J., Shi, J., Sun, Y., and Dutkiewicz, E. (2008). An efficient downlink data mapping algorithm for IEEE802.16e OFDMA systems. In *IEEE GLOBECOM - Global Communications Conference*.
- Mosyagin, J. (2010). Using 4G wireless technology in the car. In *12th International Conference on Transparent Optical Networks*, page 1.
- Msadaa, I. C., Câmara, D., and Filali, F. (2010). Scheduling and CAC in IEEE 802.16 fixed BWNs: A comprehensive survey and taxonomy. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 12(4):459–487.
- Potter, P. G. and Zukerman, M. (2001). Analysis of a discrete multipriority queueing system involving a central shared processor serving many local queues. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 9(2):194–202.
- Sekercioglu, Y. A., Ivanovich, M., and Yegin, A. (2009). A survey of MAC based QoS implementations for WiMAX networks. *Computer Networks*, 53(14):2517–2536.
- So-In, C., Jain, R., and Tamimi, A.-K. (2009a). Capacity evaluation for IEEE 802.16e mobile WiMAX. *Journal of Computer Systems, Networks, and Communications*, 2010(1):1–12.
- So-In, C., Jain, R., and Tamimi, A.-K. (2009b). Scheduling in IEEE 802.16e mobile WiMAX networks: Key issues and a survey. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 27(2):156–171.
- Tykhomyrov, V., Sayenko, A., Puchko, O., and Hamalainen, T. (2010). Decreasing the map overhead in the IEEE802.16 OFDMA systems. In *European Wireless Conference*.
- Wang, F., Ghosh, A., Sankaran, C., Fleming, P. J., Hsieh, F., and Benes, S. J. (2008). Mobile WiMAX systems: Performance and evolution. *IEEE Communications Magazine*, 46(10):41–49.
- WiMAX Forum (2008). WiMAX system evaluation methodology v 2.1.