

Integração Adaptativa dos Módulos Escalonador e Alocador de Dados em Redes WiMAX Baseadas em OFDMA

Jorge Tautz, Rafael Kunst, Cristiano Bonato Both

¹Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)
Santa Cruz do Sul – RS – Brasil

{jorge.lestat, rkunst, cbboth}@unisc.br

Abstract. *IEEE 802.16e technology is an alternative for traditional wired networks. Through this technology it is possible to offer Internet access with quality of service for users of wireless network. The main aspects to provide quality of service are the scheduling and allocation data techniques. However, current researches do not focus in approaches for the integration of Scheduler and Allocator modules, that form the scheduling downlink component. In this sense, we propose an algorithm to integrate these two modules. The integration is evaluated considering Scheduler module traditional scheduling algorithms, while for Allocator module is used an specific allocation algorithm.*

Resumo. *A tecnologia IEEE 802.16e é uma alternativa às tradicionais redes cabeadas, principalmente para o fornecimento de acesso à Internet com qualidade de serviço, através das técnicas de escalonamento e alocação de dados. Entretanto, as pesquisas atuais não focam em propostas para a integração dos módulos Escalonador e Alocador, que constituem o componente de escalonamento downlink. Sendo assim, neste artigo é proposto um algoritmo para integrar esses dois módulos. Para avaliar o desempenho da integração são considerados, para o módulo Escalonador, algoritmos de escalonamento tradicionais, enquanto para o módulo Alocador é utilizado um algoritmo de alocação de dados específico.*

1. Introdução

A tecnologia WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) foi proposta como uma alternativa às redes cabeadas, principalmente para ambientes metropolitanos sem fio [Sekercioglu et al. 2009]. As redes WiMAX seguem o padrão IEEE 802.16 [IEEE 2005] e na prática os termos são referenciados como sinônimos. O padrão IEEE 802.16 define uma rede sem fio orientada à conexão, que garante qualidade de serviço (*Quality of Service* - QoS) às aplicações. A extensão IEEE 802.16e, referenciada frequentemente como WiMAX móvel, definiu novas características, com o principal objetivo de aumentar o suporte à QoS para estações móveis. Entre as mais importantes características, destaca-se a obrigatoriedade no uso da técnica de transmissão OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), a qual permite que múltiplos usuários compartilhem o acesso ao canal de Rádio Frequência (RF) simultaneamente, possibilitando uma maior eficiência no uso da largura de banda do canal [Wang et al. 2008a]. Entretanto, a melhor utilização da largura de banda irá depender de como será realizado o escalonamento e a alocação dos dados, tanto nas transmissões *downlink* (da estação base para estação móvel), quanto *uplink* (da estação móvel para a estação base).

O objetivo deste trabalho é propor um algoritmo para prover a integração entre os módulos *Escalonador* e *Alocador* de dados em redes WiMAX baseadas em OFDMA. Essa integração é fundamental para que os dados escalonados, de acordo com os requisitos de QoS, possam ser enviados para o *Alocador* respeitando a capacidade de transmissão dos subcanais de RF. Essa capacidade varia em relação as alterações nas condições do meio sem fio. Esses módulos, que são independentes, devem trabalhar em sincronia, para garantir o funcionamento e a eficiência das redes WiMAX. O desempenho do algoritmo de integração proposto é analisado através da implementação dos algoritmos de escalonamento EDF, FIFO e WFQ de forma conjunta, que foram escolhidos por serem tradicionais e possuírem bom desempenho [Camargo et al. 2009]. Além disso, a fim de analisar o desempenho do *Alocador*, o algoritmo de alocação de dados RTS (*Recursive Tiles and Stripes*) [Ciconetti et al. 2010] foi escolhido, pois demonstrou ser o mais eficiente no estado atual das pesquisas.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2, descreve-se a fundamentação teórica sobre as características das redes WiMAX necessárias para o escalonamento *downlink*, além de se discutir trabalhos relacionados sobre escalonamento e alocação de dados na tecnologia IEEE 802.16e. Na Seção 3, é apresentada a integração dos módulos *Escalonador* e *Alocador* de dados para transmissões *downlink*. Na Seção 4, discute-se os resultados obtidos em relação aos trabalhos relacionados. Finalmente, na Seção 5, apresenta-se conclusões e aponta-se direções para futuras investigações.

2. Fundamentação Teórica

As redes WiMAX foram projetadas para garantir QoS em redes sem fio de longa distância. Nesse contexto, um dos principais componentes para garantir QoS é o escalonamento *downlink*, localizado na estação base. Neste componente, os dados são chamados de *Packet Data Unit* (PDU). Após, os dados já escalonados, devem ser alocados em subcanais de RF, considerando as condições do meio físico. Durante a alocação, os dados são chamados de rajadas. As características do padrão IEEE 802.16e necessárias para o entendimento dos módulos *Escalonador* e *Alocador* de dados são descritas a seguir.

Para o bom funcionamento do componente de escalonamento é necessário considerar, principalmente, três definições do padrão IEEE 802.16e: (i) classes de serviços, (ii) técnica de multiplexação do canal de RF e (iii) esquema de Modulação e Codificação Adaptativa (*Adaptive Modulation and Coding* - AMC). A primeira definição importante para o escalonamento em redes WiMAX é a utilização de cinco classes de serviço: *Unsolicited Grant Services* (UGS), *extended real-time Polling Service* (ertPS), *real-time Polling Service* (rtPS), *non-real time Polling Service* (nrtPS) e *Best Effort* (BE). Essas classes utilizam diferentes parâmetros de tráfego, respeitando os requisitos de QoS, que devem ser considerados pelo módulo *Escalonador*.

A segunda definição é referente ao uso da técnica de multiplexação de canal OFDMA, que possui como principal característica o suporte a múltiplos usuários em um mesmo símbolo OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*). Tal característica é obtida pela divisão do canal sem fio em subcanais formados por conjuntos de subportadoras. Esse processo de multiplexação é conhecido como subcanalização, e torna o módulo *Alocador* de dados mais flexível, porque as alocações passam a ser realizadas nos domínios tempo (símbolos OFDMA) e frequência (subcanais), utilizando uma uni-

dade de alocação mínima chamada de *slot*. Na transmissão *downlink*, ou DL PUSC, cada *slot* é composto por 2 símbolos OFDMA e 1 subcanal, sendo que cada subcanal utiliza 24 subportadoras de dados.

A terceira definição do padrão IEEE 802.16e que deve ser considerada pelo componente de escalonamento é o mecanismo AMC. Esse mecanismo permite adaptar a modulação e a taxa de codificação de um ou mais PDUs, de acordo com as condições do meio físico. A modulação e a codificação são atribuídas aos PDUs, que após esse procedimento passam a receber o nome de rajadas, pois tornam-se dados modulados e com códigos de redundância adicionados. Sete esquemas AMC são definidos pelo padrão, com o objetivo de prover uma relação entre robustez e taxa de transmissão de dados. Assim, é possível variar o AMC de acordo com o SINR (*Signal to Interference and Noise Ratio*) e relacionar com a quantidade de bits de dados úteis, transmitidos por símbolo de modulação para cada rajada. Essa definição é importante para o módulo *Alocador* de dados, pois esse módulo deve organizar as diferentes rajadas em um subquadro OFDMA. Os trabalhos relacionados sobre as diferentes técnicas de alocação das rajadas *downlink* são apresentadas na próxima subseção.

Nos últimos anos, com algumas exceções, como as pesquisas de Cohen e Katzir [Cohen e Katzir 2008] [Cohen e Katzir 2009], os trabalhos que investigam os problemas relacionados aos módulos *Escalonador* e *Alocador* de dados em transmissões *downlink* para redes WiMAX seguiram pesquisas independentes. As pesquisas sobre o módulo *Escalonador* direcionaram-se a garantir QoS de acordo com os requisitos das aplicações, utilizando variações dos algoritmos de escalonamento tradicionais de forma conjunta, como, por exemplo, EDF (*Earliest Deadline First*), FIFO (*First In First Out*) e WFQ (*Weighted Fair Queuing*) [So-In et al. 2009]. Por outro lado, as pesquisas sobre o módulo *Alocador* em transmissões OFDMA têm recebido atenção a fim de encontrar o melhor algoritmo para a organização dos dados em subcanais de RF considerando diferentes usuários [Cicconetti et al. 2010] [Choi et al. 2009] [Wang et al. 2008b] [Bacicollo et al. 2007]. Entretanto, no estágio atual das pesquisas, não se tem conhecimento de trabalhos que investigam a integração dos módulos *Escalonador* e *Alocador* considerando a implementação de algoritmos de escalonamento tradicionais.

Os trabalhos relacionados mostram a importância de se considerar tanto o escalonamento quanto a alocação dos dados para o projeto de um componente de escalonamento. Entretanto, a abordagem mais comum encontrada na literatura atual é o tratamento dessas pesquisas de forma independente. O módulo *Integrador* apresentado na próxima seção permite a utilização de algoritmos tradicionalmente empregados para o escalonamento e o algoritmo RTS utilizado para a alocação de dados.

3. Integração dos Módulos Escalonador e Alocador

Esse trabalho propõe a integração dos módulos que constituem um componente de escalonamento *downlink* para redes WiMAX baseadas em OFDMA. Neste trabalho, o componente de escalonamento é composto por três módulos: (i) *Escalonador*, (ii) *Integrador* e (iii) *Alocador*. Esses módulos são apresentados na Figura 1 e detalhados nas próximas Subseções.

¹Packet Error Rate

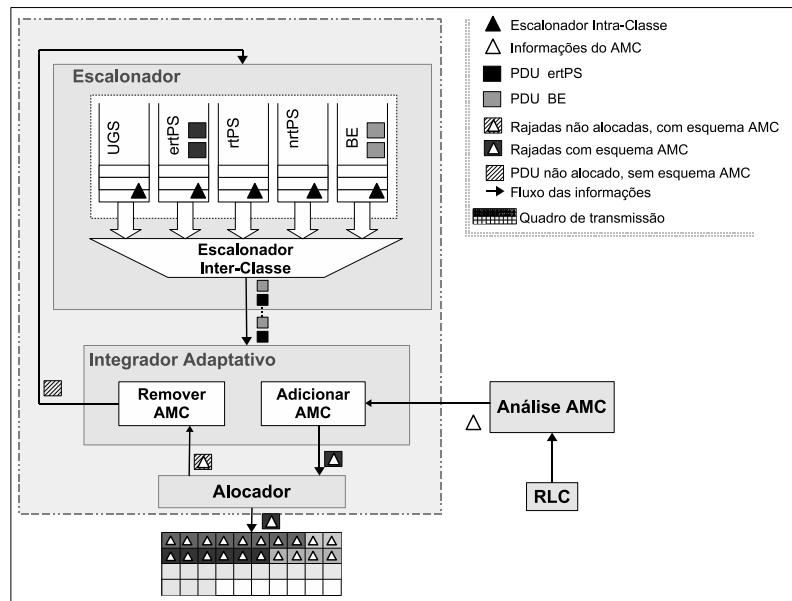


Figura 1. Integração dos Módulos de Escalonamento e Alocação

3.1. Módulo Escalonador

O primeiro módulo do componente de escalonamento é o *Escalonador* de dados. Esse módulo é dividido em dois níveis: (i) escalonamento intra-classe e (ii) escalonamento inter-classe. Conforme representado na Figura 1, o escalonamento intra-classe é o primeiro a ser inicializado e considera os PDUs que estão nas filas de cada classe de serviço. A função desse nível de escalonamento é organizar os PDUs em cada fila, a fim de garantir os requisitos de QoS das aplicações. O segundo nível, conhecido como escalonamento inter-classe, consiste em definir em qual ordem as classes de serviço devem ser atendidas. Nesse nível, são priorizados tipos de aplicação, de acordo com os critérios de QoS definidos para as redes WiMAX.

Em ambos os níveis, podem ser implementados algoritmos tradicionais para o escalonamento de dados, como por exemplo, EDF, FIFO e WFQ. Após esses dois níveis, os PDUs são entregues ao módulo *Integrador*, o qual será responsável por prover uma interface entre os módulos *Escalonador* e *Alocador* de dados. Detalhes da arquitetura e da implementação do módulo *Integrador* são apresentados a seguir.

3.2. Módulo Integrador

O módulo *Integrador* deve definir a quantidade de rajadas que deve ser encaminhada para o *Alocador*. Com a finalidade de propor uma solução para essa necessidade, este trabalho apresenta um algoritmo chamado de *Integrador Adaptativo*. Esse algoritmo recebe do módulo *Escalonador* um conjunto de PDUs P , os quais devem ser alocados, preferencialmente, no próximo subquadro OFDMA a ser transmitido. O conjunto P é recebido ordenado, de acordo com a prioridade de atendimento dos PDUs. O algoritmo proposto parte da premissa de que há uma função AMC que é responsável por adicionar ou remover um esquema AMC ao PDU. Além disso, essa função é responsável por monitorar as condições do meio físico.

O funcionamento do algoritmo *Integrador Adaptativo* consiste em três fases. Na

primeira fase, o crescimento das rajadas enviadas para o módulo *Alocador* é exponencial, enquanto um limite pré-definido não seja atingido. A segunda fase é iniciada, assim que esse limite for alcançado. Nesse caso, o crescimento é relacionado ao primeiro PDU do conjunto P , até que o *Alocador* informe que rajadas não foram alocadas. Quando essa situação ocorre, é iniciada a terceira fase. Então, o limite deve ser reduzido à metade da quantidade de rajadas enviadas para o *Alocador* e o processo é reinicializado. A implementação do algoritmo *Integrador Adaptativo* foi projetada para que na primeira fase o envio de rajadas para o *Alocador* tenha um crescimento rápido, devido a baixa probabilidade de existir rajadas não alocadas. Já na segunda fase, o crescimento deve ser mais lento, pois a probabilidade do módulo *Integrador* receber uma informação de rajadas não alocadas é maior. Por fim, na terceira fase o módulo *Alocador* não conseguiu organizar todas as rajadas no subquadro OFDMA e uma redução deve ser aplicada pelo *Integrador Adaptativo*.

3.3. Módulo Alocador

O módulo *Alocador* é responsável por organizar as rajadas recebidas do módulo *Integrador*, de acordo com a estrutura do subquadro OFDMA. Entretanto, é necessário um algoritmo que realize a interface entre esses dois módulos. O referido algoritmo recebe como entrada um conjunto A , composto por rajadas que devem ser alocadas no subquadro OFDMA e posteriormente transmitidas para as MSs. Esse conjunto de rajadas é processado com base em duas premissas: (i) há uma função Δ_{RF} que monitora a banda disponível no canal de RF e (ii) há um algoritmo *Aloc* para alocação dessas rajadas.

Respeitadas as duas premissas, o algoritmo *Interface Alocador* inicialmente verifica se há espaço disponível no subquadro utilizando a função Δ_{RF} . Se existir espaço disponível, a função *Aloc* é inicializada, recebendo o conjunto A como parâmetro. O retorno da função *Aloc* é um subconjunto A contendo apenas as rajadas de dados que não foram alocadas no subquadro OFDMA. Essa informação é analisada e retornada para o módulo *Integrador*.

4. Resultados

O desempenho do algoritmo proposto e o componente de escalonamento *downlink* são analisados através de simulações, implementadas no ambiente de programação Labview. Como estudo de caso, considera-se dois tipos de MSs, o primeiro tipo transmite dados com requisitos de tempo real, usando a classe ertPS. Já o segundo tipo, realiza transmissão de dados usando a classe BE. Atualmente, esses dois tipos de MSs são os mais comuns em rede WiMAX com tráfego *downlink* voltadas para sistemas celulares. As classes de serviço ertPS e BE representam, respectivamente, tráfegos com e sem requisitos de QoS e foram implementadas seguindo a especificação sugerida pelo WiMAX Fórum [WiMAX Forum 2008]. Todas as simulações consideram quadros de 10ms, transmitidos em um canal com largura de banda igual a 3,5MHz. É garantido intervalo de confiança de 95% nos resultados.

O primeiro aspecto considerado para análise de desempenho do algoritmo proposto foi o percentual de PDUs VoIP descartados devido ao atraso máximo de atendimento, em relação ao número de conexões *downlink* ativas na rede, como pode ser verificado na Figura 2. Os algoritmos de escalonamento utilizados no nível intra-classe do

módulo *Escalonador* foram EDF para a fila de tráfego VoIP e FIFO para a fila de tráfego FTP. Já, o algoritmo utilizado no nível inter-classe foi o WFQ, com diferentes níveis de priorização do tráfego VoIP em relação ao tráfego FTP. Percebe-se que o percentual de PDUs descartados é proporcional ao crescimento de conexões *downlink* ativas na rede. Em redes WiMAX com 40 conexões simultâneas, o percentual de descarte do tráfego VoIP varia de 4% a 13%. Entretanto, em situações com mais de 40 conexões simultâneas, a quantidade de descartes torna-se mais acentuada.

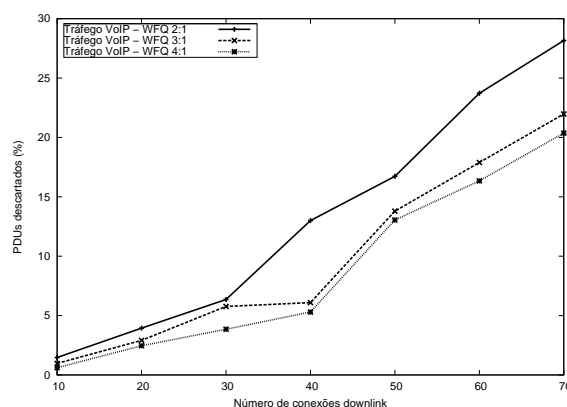


Figura 2. Percentual de PDUs descartados

Outra análise que pode ser realizada observando a Figura 2 é a proporção entre a priorização do tráfego VoIP em relação ao tráfego FTP. A proporção 4:1, isso é, situação na qual foram atendidos 4 PDUs VoIP em proporção a cada PDU de tráfego FTP, teve a menor quantidade de descartes. Sendo assim, a proporção 4:1 foi utilizada para as análises subsequentes.

Outra investigação realizada refere-se ao percentual de rajadas não alocadas comparando as classes de serviço ertPS e BE. A comparação foi realizada levando em conta também a quantidade de conexões ativas, uma vez que isso afeta a carga de trabalho relacionada aos módulos *Escalonador* e *Alocador*. O comportamento da rede nessa situação é apresentado na Figura 3. Pode-se observar que a quantidade de rajadas não alocadas na classe de serviço ertPS é sempre menor do que na classe BE. Em termos percentuais, percebe-se uma diferença que varia entre 5% e 7%, com tendência de crescimento à medida que se aumenta o número de conexões ativas na rede. Esse comportamento é explicado pela priorização no escalonamento inter-classe dos tráfegos da classe de serviço ertPS, que no cenário analisado foi de 4:1 em relação ao tráfego BE. Além disso, o módulo *Alocador* foi configurado para priorizar tráfego ertPS em situações nas quais era necessário não alocar PDUs.

A última investigação realizada diz respeito à comparação do desempenho dos módulos *Escalonador* e *Alocador*. A Figura 4 apresenta a relação entre PDUs descartados e rajadas não alocadas, considerando três quantidades distintas de conexões *downlink*. Nas simulações realizadas, o módulo *Integrador* foi configurado para relacionar cada PDU a uma específica rajada, com isso pode-se analisar a relação entre esses dois comportamentos. Inicialmente, analisando-se o gráfico da Figura 4, pode-se perceber que a quantidade de PDUs descartados foi maior que a quantidade de rajadas não alocadas. Esse comportamento é justificado devido aos PDUs serem descartados na fila ertPS do

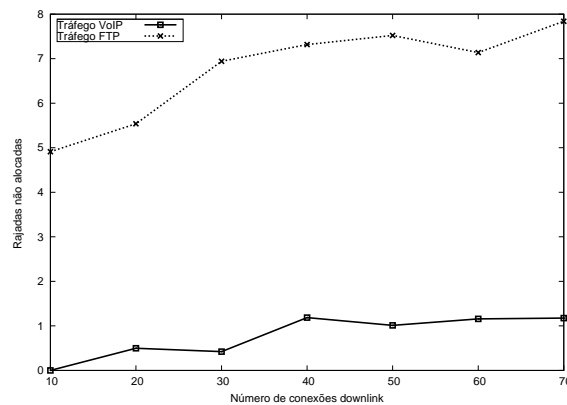


Figura 3. Percentual de rajadas alocadas

módulo *Escalonador*. Além disso, os descartes dos PDUs que não foram alocados na primeira tentativa de transmissão afetam o comportamento observado. Outra análise interessante que pode ser realizada através desse gráfico é que a quantidade de rajadas não alocadas se manteve praticamente constante com o aumento das conexões VoIP e FTP, devido a eficiência dos algoritmos de integração e alocação. Entretanto, os descartes de PDUs possuem uma relação diretamente proporcional à quantidade de conexões *downlink* ativas na rede.

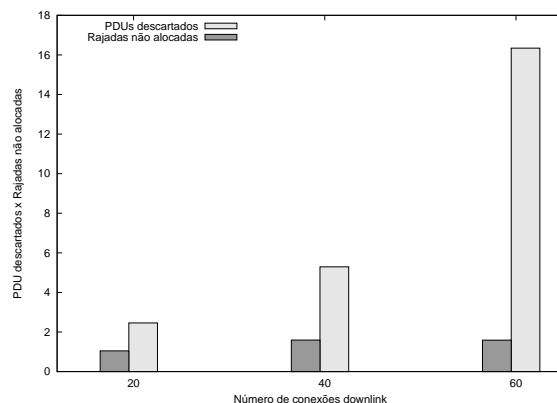


Figura 4. Relação entre PDUs descartados e rajadas não alocadas

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste artigo foi proposto um algoritmo de integração entre os módulos *Escalonador* e *Alocador* que constituem o componente de escalonamento *downlink* para redes WiMAX baseadas em transmissões OFDMA. O desempenho do algoritmo proposto foi analisado considerando as seguintes métricas: percentual de PDUs descartados, percentual de rajadas de dados alocados e a relação entre rajadas de dados não alocados e PDUs descartados, que retornaram do módulo *Alocador* para o módulo *Escalonador*. Os resultados foram adquiridos utilizando as classes de serviços ertPS e BE, com os tráfegos VoIP e FTP, respectivamente.

Direções para futuras investigações devem envolver a análise de desempenho do algoritmo de integração proposto, considerando as classes de serviço que não foram abor-

dadas neste trabalho. Outra característica importante que pode ser investigada são os componentes de escalonamento *downlink* e *uplink* integrados na BS. Finalmente, sugere-se a definição de um mecanismo de controle de admissão que leve em conta a alocação de dados em um quadro OFDMA, com o objetivo de evitar sobrecarga na rede.

Referências

- Baciovola, A., Cicconetti, C., Erta, A., Lenzini, L., and Mingozzi, E. (2007). A downlink data region allocation algorithm for IEEE 802.16e OFDMA. In *Anais 6º International Conference on Information, Communications & Signal*, pages 1–5.
- Ben-Shimol, Y., Kitroser, I., and Dinitz, Y. (2006). Two-dimensional mapping for wireless OFDMA systems. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 52(3):388–396.
- Camargo, E. G., Both, C. B., Kunst, R., Granville, L. Z., and Rochol, J. (2009). Uma arquitetura de escalonamento hierárquica para transmissões uplink em redes WiMAX baseadas em OFDMA. In *Anais SBRC 2009 - Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*.
- Choi, K. W., Jeon, W. S., and Jeong, D. G. (2009). Resource allocation in OFDMA wireless communications systems supporting multimedia services. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 17(3):926–935.
- 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 *Anais IEEE INFOCOM - Conference on Computer Communications (Aguardando Publicação)*.
- Cohen, R. and Katzir, L. (2008). Computational analysis and efficient algorithms for Micro and Macro OFDMA scheduling. In *Anais IEEE INFOCOM - Conference on Computer Communications*, pages 511–519.
- Cohen, R. and Katzir, L. (2009). Computational analysis and efficient algorithms for Micro and Macro OFDMA downlink scheduling. *IEEE/ACM Transactions on Networking*.
- IEEE (2005). IEEE standard for local and metropolitan area networks - part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems - IEEE std. 802.16-2005.
- 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. (2009). Scheduling in IEEE 802.16e mobile WiMAX networks: Key issues and a survey. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 27(2):156–171.
- Wang, F., Ghosh, A., Sankaran, C., Fleming, P. J., Hsieh, F., and Benes, S. J. (2008a). Mobile WiMAX systems: Performance and evolution. *IEEE Communications Magazine*, 46(10):41–49.
- Wang, T., Feng, H., and Hu, B. (2008b). Two-dimensional resource allocation for OFDMA system. In *Anais IEEE ICC - International Communications Workshops*, pages 1–5.
- WiMAX Forum (2008). WiMAX system evaluation methodology v 2.1.