

Avaliação de Desempenho do Escalonador DBQUS na Rede Integrada EPON-WiMAX

Mariana Piquet Dias e Nelson Luis Saldanha da Fonseca

¹ Instituto de Computação - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Caixa Postal 6176 - 13084971 - Campinas-SP - Brasil.

mariana@lrc.ic.unicamp.br, nfonseca@ic.unicamp.br

Abstract. *The integration of WiMAX networks with EPON networks combine the large availability of bandwidth in optical access networks with the mobility provided by wireless technologies. In this integration, a WiMAX scheduler needs to take into account the variability of the channel capacity provided by the EPON scheduler. This paper evaluates the performance of the Deficit Based QoS Uplink Scheduler (DBQUS) mechanism, a standard-compliant WiMAX uplink scheduler designed to the ONU-BS, under different EPON service cycle so that the effects of EPON service cycle in the integrated network can be analyzed. The evaluation is conducted using integrated simulators for the WiMAX and for the EPON components. Results show that the proposed scheduler is able to provide QoS to the subscriber stations under different EPON service cycles.*

Resumo. *A integração de redes WiMAX com redes EPON combina a grande quantidade de banda disponível em redes de acesso óptica com a mobilidade das tecnologias de rede sem fio. Nesta integração, um escalonador de banda WiMAX precisa levar em consideração a variabilidade da banda fornecida pelo escalonador EPON. Este trabalho avalia o desempenho do mecanismo Deficit Based QoS Uplink Scheduler (DBQUS), um escalonador WiMAX uplink compatível com o padrão desenvolvido para a ONU-BS, sob diferentes tempos de ciclo EPON para analisar o efeito do tempo de ciclo na rede integrada. Experimentos foram realizados utilizando simuladores para a rede WiMAX e para a rede EPON. Resultados mostram que o escalonador proposto é apto a garantir qualidade de serviço para as estações cliente WiMAX sob diferentes tempos de ciclo EPON.*

1. Introdução

A integração de redes de acesso óptico e sem fio promove o aumento da área de cobertura das redes de acesso em banda larga. Neste contexto, as tecnologias de rede de acesso em banda larga *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) [Cicconetti et al. 2006] e *Ethernet Passive optical Network* (EPON) [Mcgarry et al. 2008] tem se destacado e vem sendo implantadas com sucesso em vários países. Ambas tecnologias podem ser facilmente integradas já que a maioria das estações base (BS) WiMAX vem com uma porta Ethernet que pode ser conectada à uma unidade de rede óptica (ONU) na rede EPON. A integração destas redes permite a alocação de banda e escalonamento de forma integrada, o que contribui para um melhor fornecimento de qualidade de serviço (QoS) e uma melhora na vazão da rede. Além disso, a integração pode ajudar a reduzir significativamente o projeto da rede e os custos operacionais.

WiMAX é uma tecnologia de rede de acesso em banda larga que provê qualidade de serviço (QoS), ampla cobertura, baixo custo de infraestrutura e alta velocidade. Por outro lado, EPON é uma tecnologia de rede de acesso óptica sem elementos ativos que provê grande quantidade de banda para os usuários da rede.

Estas duas tecnologias tem várias semelhanças. Elas podem operar no modo ponto para multi-ponto e adotam o mecanismo de *polling* como protocolo para concessão de banda. Ambos EPON e WiMAX empregam o mecanismo de requisição/concessão para alocação de banda. Na rede EPON, as ONUs enviam requisições de banda para o terminal de rede óptico (OLT) enquanto que em redes WiMAX, as estações cliente (SSs) enviam requisições de banda para a BS.

Diferentes arquiteturas para a integração entre redes EPON e WiMAX foram propostas [Shen et al. 2007]. Na arquitetura híbrida, a BS WiMAX é um cliente da rede EPON e está conectada a uma ONU da rede EPON, chamada ONU-BS. Na rede EPON, o OLT distribui a banda disponível entre as ONUs de forma cíclica; a cada rodada de concessão de banda, o protocolo EPON decide a quantidade de banda que cada ONU receberá. Além disso, a banda concedida para a ONU-BS deve ser distribuída entre as SSs da rede WiMAX.

Na rede integrada, a banda recebida pela BS muda a cada rodada do ciclo de concessão de banda EPON. Assim, o escalonador WiMAX localizado na ONU-BS deve levar em consideração a variabilidade da banda quando provê oportunidades de transmissão para as SSs. É possível que a BS receba menos banda numa rodada do que o necessário para suportar os requerimentos de QoS das conexões. Desta forma, um escalonador WiMAX precisa ser definido para lidar com tal variabilidade de banda para manter o suporte a QoS para as conexões das SSs. Além disso, o ciclo de concessão de banda destas duas redes pode ser diferente, o que impõe um grande desafio para prover QoS para as SSs da rede WiMAX.

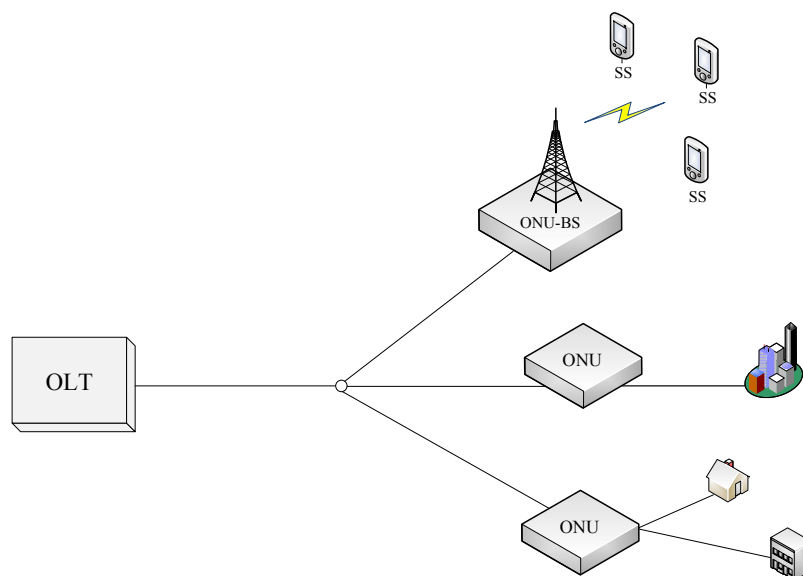


Figura 1. Rede Integrada EPON-WiMAX.

Trabalhos de integração de redes EPON com redes WiMAX existentes [Hwang et al. 2009] [Yang et al. 2009] [Yan et al. 2008] [Tang et al. 2009] [Luo et al. 2007] [Alsolami et al. 2009] propõe mudanças ou até novos protocolos de concessão de banda para a parte EPON da rede, o que dificulta a implantação da rede integrada.

O protocolo de escalonamento de banda para redes WiMAX, *Deficit-Based QoS Uplink Scheduler* (DBQUS) [Dias and da Fonseca 2011] proposto para lidar com a variabilidade da banda fornecida pela rede EPON na rede integrada, é um protocolo que distribui largura de banda para as SSs WiMAX de forma eficaz provendo qualidade de serviço para conexões da rede WiMAX. O escalonador DBQUS tem a vantagem de ser independente do protocolo EPON adotado na rede integrada, facilitando a implantação de redes EPON-WiMAX já que não são necessárias mudanças na rede EPON.

Um dos aspectos importantes que deve ser levado em consideração em tecnologias de rede EPON é o tempo de ciclo de cada conjunto de concessão de banda, o qual determina o intervalo máximo entre concessões de banda. Este fator pode impactar o desempenho da rede EPON porque o tempo de ciclo é diretamente proporcional a vazão e ao atraso da rede. Desta forma, quanto maior o tempo de ciclo da rede, maior a vazão atingida e maior o atraso. Além disto, a variação do tempo de ciclo pode gerar uma falta de sincronia na rede integrada, pois a rede WIMAX pode possuir *slots* de tamanho variado.

Este trabalho avalia o mecanismo DBQUS numa rede EPON-WiMAX integrada com o objetivo de verificar sua capacidade em prover QoS para os clientes da rede WiMAX considerando diferentes tempos de ciclo da rede EPON. Analisa-se o impacto na provisão de QoS na rede integrada. O desempenho do escalonador DBQUS é avaliado utilizando-se um módulo WiMAX no simulador NS-3 integrado a um simulador EPON considerando diferentes tempos de ciclo EPON.

Resultados de simulação mostram que o escalonador DBQUS é capaz de prover os requisitos de QoS das conexões WiMAX. Além disso, o escalonador é robusto frente a diferentes ciclos de concessão de banda destas duas redes.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 mostra os trabalhos relacionados. A Seção 3 introduz a operação da rede integrada EPON-WiMAX. A Seção 4 descreve como é provida a qualidade de serviço em redes WiMAX. A Seção 5 apresenta o mecanismo de escalonamento DBQUS. A Seção 6 apresenta detalhes de como os experimentos de simulação foram realizados. A Seção 7 analisa os resultados obtidos com as simulações. A Seção 8 delinea as conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Vários mecanismos de escalonamento tem sido propostos para redes integradas EPON-WiMAX. Em [Hwang et al. 2009], os autores propuseram o mecanismo *QoS-based Dynamic Bandwidth Allocation* (QDBA) junto com o esquema *Prediction-based Fair Excessive Bandwidth Allocation* (PFEB) para melhorar o desempenho do sistema em redes EPON. No QDBA, cada ONU manipula três filas com diferentes prioridades e classifica os tráfegos WiMAX em três filas de prioridade mapeando os mesmos em filas ONUs.

O esquema de alocação de banda em [Yang et al. 2009] considera uma rede integrada com serviço diferenciado fim-a-fim. Este esquema de QoS provê requisitos de

largura de banda na ONU-BS. Os autores também avaliaram a rede integrada investigando o efeito do ciclo EPON e a duração do *frame* WiMAX sob diferentes quantidades de SSs.

Um mecanismo de escalonamento para a rede integrada EPON-WiMAX é proposto em [Luo et al. 2007], mas o tamanho da fila da ONU não é considerado.

Em [Alsolami et al. 2009], um esquema de escalonamento em dois níveis foi proposto para a rede integrada EPON-WiMAX, que leva em consideração o tamanho da fila e o atraso de *head-of-line*-HoL (cabeça da fila). Utiliza-se o esquema *proportional fairness* para as transmissões das SSs através do canal WiMAX e um mecanismo centralizado no OLT para as transmissões *uplink* na EPON que se conecta a múltiplas WiMAX-ONUs.

Nenhum desses mecanismos de alocação de banda provê os requisitos de todos os tipos de fluxos de serviço definidos no padrão WiMAX. O escalonador proposto no presente trabalho é para a ONU-BS e tem a vantagem de ser independente do protocolo EPON adotado. Isto facilita a implantação das redes EPON-WiMAX.

3. Rede integrada EPON-WiMAX

Na rede integrada EPON-WiMAX [Shen et al. 2007], a BS da rede WiMAX é um cliente da rede EPON e está conectado a uma ONU da EPON (Figura 1). Na rede EPON, o OLT distribui a banda disponível entre as ONUs de forma cíclica usando o protocolo *Interleaved Pooling with Adaptive Cycle Time* (IPACT) [Kramer et al. 2002]. A cada rodada do ciclo de concessão de banda, o protocolo EPON decide a quantidade de banda que cada ONU receberá. No protocolo IPACT, o OLT concede intervalos de tempo para cada ONU no modo *round-robin*. A duração do intervalo de tempo alocado é determinado pela mensagem de requisição enviada pelas ONUs.

Além disso, a largura de banda concedida para a ONU-BS deve ser distribuída entre as SSs da rede WiMAX. A rede integrada, a largura de banda recebida pela BS pode mudar a cada rodada do ciclo de concessão de banda da EPON. Assim, o escalonador WiMAX localizado na ONU-BS deve levar em consideração esta variação para prover oportunidades de transmissão para as SSs. É possível que a BS receba menos banda do que o necessário para suportar os requisitos de QoS destas conexões.

O padrão IEEE 802.17 especifica que o protocolo *Multipoint Control Protocol* (MPCP) [McGarry et al. 2008] deve ser usado para realizar requisição e concessão de banda entre o OLT e as ONUs. No MPCP, as ONUs enviam mensagens REPORT para o OLT para solicitar a banda necessária para transmitir a carga acumulada de pacotes. O OLT envia mensagens GATE para as ONUs para informar a banda concedida a cada rodada do ciclo de concessão de banda. Na rede WiMAX, há um mecanismo de sinalização para informar a troca de mensagens entre a BS e SSs, este mecanismo permite que as SSs solicitem banda para a BS, que é fornecida sob demanda.

Quando uma SS tem carga acumulada, ela envia uma requisição de banda para a BS. A BS gerencia a alocação de banda para as SSs utilizando o esquema de *poll/request/grant* e aloca intervalos de tempo para as SSs baseado nas requisições de banda bem como no QoS das conexões solicitantes (Figura 2).

Além disso, o ciclo de concessão de banda na rede EPON pode ser diferente do ciclo da rede WiMAX. O escalonador WiMAX deve ajustar a banda concedida para as SSs, para que os requisitos de QoS destas conexões sejam fornecidos.

A Figura 2 ilustra o fluxo das mensagens de controle para requisição e concessão de banda na rede integrada. A ONU-BS requisita banda baseado no protocolo MPCP utilizando mensagens REPORT a cada ciclo EPON e recebe mensagens GATE para concessão de banda. A banda fornecida para a ONU-BS é então distribuída para as SSs de acordo com o DBQUS. Na rede WiMAX, um mecanismo similar é usado. Cada SS requisita banda e recebe a notificação da banda alocada pelo DBQUS em um ciclo.

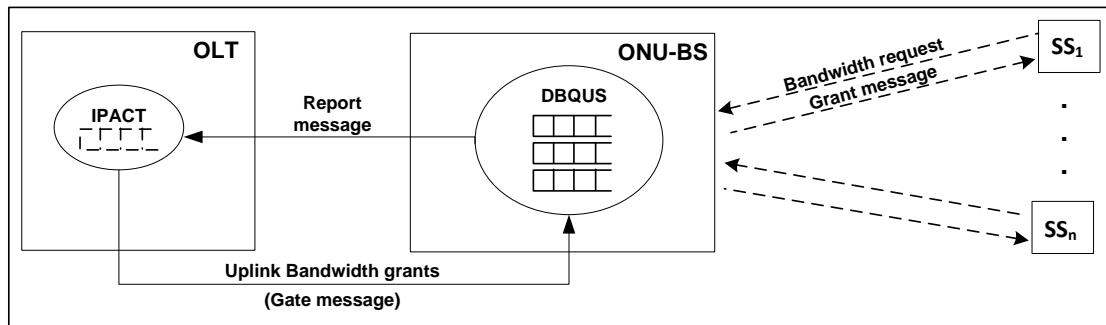


Figura 2. Fluxo da requisição e concessão de banda na rede integrada.

4. QoS em redes WiMAX

A provisão de QoS em redes WiMAX é facilitada pelo uso de conexões e fluxos de serviço. Cada conexão no canal *uplink* de uma SS para a BS é mapeado para um fluxo de serviço. Os cinco fluxos de serviço são: UGS (*Unsolicited Grant Service*), ertPS (*extended real-time Polling Service*), rtPS (*real-time Polling Service*), nrtPS (*non-real-time Polling Service*) and BE (*Best Effort*) [Cicconetti et al. 2006]. Cada fluxo de serviço está associado a um conjunto de parâmetros de QoS [IEEE Standard 802.16-2005, Part 16 2005].

Cada classe de serviço é associada a um conjunto de parâmetros de QoS [IEEE Standard 802.16-2005, Part 16 2005]. O requisito latência máxima (*maximum latency*) especifica a latência máxima entre a recepção do pacote pela SS e o envio do pacote para a sua interface de rede. O requisito de taxa mínima (*minimum reserved traffic rate*) especifica a taxa mínima para os fluxos de serviço rtPS, ertPS. O escalonador *uplink* deve ser capaz de satisfazer pelo menos os requisitos mínimos de cada requisição de banda feita pelos fluxos de serviço. O requisito de taxa máxima (*maximum sustained traffic rate*) define a informação da taxa de pico para os fluxos de serviço UGS, ertPS e rtPS. O requisito de rajada máxima (*maximum traffic burst*) define o tamanho máximo da rajada que será acomodada por este serviço. O requisito de intervalo de concessão não solicitado (*unsolicited grant interval*) especifica o intervalo entre sucessivas oportunidades de transmissão para os fluxos de serviço UGS e ertPS.

5. Escalonador DBQUS

Esta seção introduz um novo mecanismo de escalonamento *uplink* para redes EPON-WiMAX. O escalonador DBQUS é baseado no mecanismo *Migration-based Scheduler for QoS Provisioning* (MBQoS) proposto em [Borin and Fonseca 2009], que não leva em consideração a variabilidade da largura de banda do canal. O MBQoS é um escalonador

baseado em filas de prioridade que escalona as requisições das classes de serviço com maior prioridade e, caso haja *slots* disponíveis, escalona as requisições das classes demais baixa prioridade, afim de garantir QoS. O MBQoS pressupõe que sempre haverá banda suficiente para atender as requisições dos fluxos de mais alta prioridade.

O escalonador DBQUS busca atender as requisições de banda das conexões priorizando os fluxos de serviço, de acordo com seus requisitos de QoS, quando há largura de banda disponível, e compensando na próxima oportunidade as conexões ainda não atendidas, caso não haja largura de banda suficiente. O escalonador guarda a informação da quantidade de banda que faltou para atender o requisito mínimo (*deficitMinimum*) de cada conexão. Desta forma, o mecanismo atende estes déficits, assim que possível, guardando a prioridade de cada classe de serviço. Esta compensação é realizada para as conexões, de acordo com a ordem decrescente de prioridade.

O escalonador proposto utiliza três filas com diferentes prioridades: baixa, intermediária e alta. A fila de baixa prioridade armazena requisições de banda de fluxos BE. A fila intermediária armazena requisições de banda enviadas por conexões rtPS e nrtPS. Requisições desta fila podem migrar para a fila de alta prioridade para que seus requisitos de QoS sejam garantidos. A fila de alta prioridade armazena *grants* periódicos e requisições *unicast* que devem ser escalonadas no *frame* seguinte. A BS executa o escalonador *uplink* a cada *frame* e envia informações de escalonamento para as SSs através de mensagens UL-MAP¹.

Cada vez que o escalonador é executado, calcula-se um valor de prioridade para cada requisição na fila intermediária, considerando o *deficitMinimum* de cada conexão. Assim, o escalonador tenta suprir déficits gerados pela falta de largura de banda. Após migrar as requisições com *deficitMinimum* positivo, o mesmo calcula o valor de prioridade para as requisições restantes na fila intermediária, utilizando o requisito de taxa mínima, requisições *backlogged* (número de *bytes* requisitados por uma conexão) e taxa de tráfego recebidos na janela corrente. Valores baixos de prioridade são atribuídos para requisições de conexões que já tenham recebido o requisito de taxa mínima na janela corrente. Para as requisições restantes, quanto menor a taxa recebida pela conexão, maior é o valor de prioridade atribuído.

Uma vez que todas as alocações de banda necessárias para uma única SS foram realizadas em um *grant* no UL-MAP, o DBQUS garante que a soma da banda alocada para uma única conexão é menor ou igual ao requisito do tamanho máximo da rajada. Além disso, o escalonador não aloca banda para uma conexão se resultar na violação do requisito de taxa máxima. Da mesma forma como no escalonador [Borin and Fonseca 2009], um *dual leaky bucket* é usado para o policiamento dos requisitos de tamanho máximo da rajada e taxa máxima.

O Algoritmo DBQUS (Algoritmo 1) descreve o esquema do escalonador proposto neste trabalho. Após inserir *grants* periódicos na fila de alta prioridade, o algoritmo verifica quais conexões rtPS e nrtPS devem migrar da fila intermediária para a fila de alta prioridade (linhas 2, 3 e 4). Na linha 5, o escalonador distribui os recursos de banda não alocados dentre conexões BE. Por fim, todas as requisições na fila de alta prioridade são

¹O UL-MAP é um campo do *subframe downlink* que especifica o identificador do canal *uplink*, o instante inicial do *subframe uplink* e as oportunidades de transmissão (*grants*) alocadas para as SSs.

Algoritmo 1 DBQUS

- 1: *checkGrants*
 - 2: *checkMinimumBandwidth(deficitMin)*
 - 3: *checkDeadline*
 - 4: *checkMinimumBandwidth(deficit)*
 - 5: *distributeFreeResources*
 - 6: Escalona as requisições da fila de alta prioridade começando pela cabeça da fila
-

servidas. No Algoritmo 2, os procedimentos do DBQUS são detalhados. Nos parágrafos seguintes, serão descritos os procedimentos do Algoritmo 1, além disto, serão feitas referências ao Algoritmo 2.

O procedimento *checkGrants* migra *grants* periódicos de fluxos de alta prioridade, UGS e ertPS. Primeiramente, verifica-se se há algum fluxo UGS com *deficitMinimum* positivo, ou seja, se alguma requisição anterior deixou de ser atendida. Estas possuem a maior prioridade no algoritmo e são inseridas na fila de alta prioridade enquanto há banda disponível (linhas 2-4). Em seguida, enquanto há banda disponível, são atendidos os *grants* periódicos UGS que devem ser concedidos no próximo *frame* (linha 5). Depois disto, o mesmo processo é repetido para fluxos ertPS, priorizando primeiramente os que têm *deficitMinimum* positivo (linhas 6-9).

O procedimento *checkMinimumBandwidth (deficitMinimum)* tenta atender os fluxos rtPS e nrtPS que estão com *deficitMinimum* positivo. Primeiramente, calcula-se um valor de prioridade para cada requisição na fila intermediária. Neste caso, a prioridade é o valor do *deficitMinimum*. Em seguida, ele ordena a fila intermediária, de acordo com os valores de prioridade atribuídos para as requisições, primeiramente as requisições com *deficitMinimum* maior (linhas 19-34). No último passo, o escalonador tenta migrar as requisições para a fila de alta prioridade, utilizando o procedimento *migrateBWRequest* seguindo a ordem de prioridade estabelecida (linhas 35-38).

No procedimento *checkDeadline*, o escalonador tenta migrar requisições rtPS da fila intermediária para a fila de alta prioridade, utilizando o procedimento *migrateBWRequest* se há banda disponível. Requisições rtPS com *deadline* que expira após o *frame* seguinte e que não tenham recebido o requisito de taxa mínima, na janela corrente, são migradas para a fila de alta prioridade (linhas 14-17).

O procedimento *checkMinimumBandwidth (deficit)* é semelhante ao procedimento *checkMinimumBandwidth (deficitMinimum)*, modificando-se apenas a forma de calcular a prioridade de cada requisição (linhas 24-30). Neste instante, nenhuma requisição possui *deficitMinimum*, assim, as requisições podem ser ordenadas através do deficit existente para alcançar o requisito de taxa mínima (linhas 19-38).

O procedimento *distributeFreeResources* distribui os *slots* não utilizados pelos serviços de mais alta prioridade para as conexões BE, migrando as requisições da fila de baixa prioridade para a fila de alta prioridade (linhas 40-43).

O procedimento *migrateBWRequest* é uma função auxiliar que verifica se a quantidade de banda solicitada pela requisição em migração está disponível no *subframe uplink*. Sempre que a banda disponível for menor do que a banda solicitada, a mesma será alocada e a solicitação da alocação de banda restante será realizada futuramente (li-

Algoritmo 2 Procedimentos

```

1: checkGrants
2: for cada conexão UGS  $u$  do
3:   if availableBW > 0 and deficitMinimum[ $u$ ] > 0 then
4:     MigrateBWRequest( $u$ );
5:   Insert the UGS grants while availableBW > 0
6: for cada conexão ertPS  $e$  do
7:   if availableBW > 0 and deficitMinimum[ $e$ ] > 0 then
8:     MigrateBWRequest( $e$ );
9:   Insert the ertPS grants while availableBW > 0
10: checkDeadline
11: for cada requisição  $i$  na fila intermediária do
12:   if availableBW = 0 then
13:     break;
14:   if service[CID] = rtPS then
15:     frame[ $i$ ] =  $\lfloor (\text{deadline}[i] - \text{currentTime}) / \text{frameDuration} \rfloor$ ;
16:     if frame[ $i$ ] = 3 e TwndTR[CID] < minTR[CID] then
17:       MigrateBWRequest( $i$ );
18: checkMinimumBandwidth (priority type)
19: for cada requisição do tipo rtPS ou nrtPS do
20:   backlogged_tmp[CID] = backlogged[CID];
21:   TwndTR_tmp[CID] = TwndTR[CID];
22:   bucket2_tmp[CID] = bucket2[CID];
23: for cada requisição  $i$  na fila intermediária do
24:   if minTR[CID] ≤ TwndTR_tmp[CID] or bucket2_tmp[CID] = 0 then
25:     priority[ $i$ ] = 0;
26:   else
27:     if priorityType = deficit then
28:       priority[ $i$ ] = backlogged_tmp[CID] - (TwndTR_tmp[CID] - minTR[CID]);
29:     else
30:       priority[ $i$ ] = minTR[CID] - TwndTR_tmp[CID];
31:       TwndTR_tmp[CID] = TwndTR_tmp[CID] + BR[ $i$ ];
32:       bucket2_tmp[CID] = bucket2_tmp[CID] + BR[ $i$ ];
33:       backlogged_tmp[CID] = backlogged_tmp[CID] - BR[ $i$ ];
34:   Ordene a fila intermediária em ordem não-decrescente de prioridade;
35: for cada requisição  $i$  na fila intermediária do
36:   if availableBW = 0 or (priorityType = 'deficitMin' and priority[ $i$ ] ≤ 0) then
37:     break;
38:   MigrateBWRequest( $i$ );
39: DistributeFreeResources
40: for cada requisição  $i$  na fila de baixa prioridade do
41:   if availableBW = 0 then
42:     break;
43:   MigrateBWRequest( $i$ );
44: MigrateBWRequest(i)
45: if BR[ $i$ ] > availableBW then
46:   grantSize = availableBW;
47: else
48:   grantSize = BR[ $i$ ];
49: if grantSize > bucket2[CID] then
50:   grantSize = bucket2[CID];
51: if 0 < grantSize < BR[ $i$ ] then
52:   crie uma nova requisição  $j$  para a conexão CID com BR[ $j$ ] = BR[ $i$ ] - grantSize;
53:   insira a requisição  $j$  no final da fila intermediária;
54: BR[ $i$ ] = grantSize;
55: Mova a requisição  $i$  para a fila de maior prioridade;
56: TwndTR[CID] = TwndTR[CID] + grantSize;
57: bucket2[CID] = bucket2[CID] - grantSize;
58: backlogged[CID] = backlogged[CID] - grantSize;
59: availableBW = availableBW - grantSize;

```

nhas 45-48). A alocação de parte da banda requisitada também será adiada caso resulte em violação do valor do requisito do tamanho máximo da rajada (linhas 49 e 50). Após a definição da banda que pode ser alocada para a requisição (*grantSize*), e caso esse valor seja menor do que a banda solicitada pela requisição, cria-se uma nova requisição com tamanho igual a quantidade de banda que não será migrada e esta requisição é inserida no final da fila intermediária (linhas 51-53). Atualiza-se, então, a banda solicitada pela *i*-ésima requisição, para *grantSize* e esta é migrada para a fila de alta prioridade.

6. Descrição dos Experimentos de Simulação

A eficácia do DBQUS foi avaliada através de simulações utilizando o módulo WiMAX do *Network Simulator (NS-3)* [Farooq and Turetletti 2009]. O módulo EPON foi desenvolvido em Java. A duração de cada simulação é de 1200 segundos. O intervalo de confiança de 95% foi obtido pelo método de replicação independente.

A rede simulada consiste de 15 ONUs, 1 ONU-BS e um conjunto de 25 SSs. A capacidade da ONU-BS é de 30Mbps e o canal EPON é 1Gbps. Cada SS possui apenas um fluxo de serviço. Os experimentos utilizaram diferentes tipos de tráfego: voz, voz com supressão de silêncio, vídeo e FTP, que foram associados com os serviços UGS, ertPS, rtPS e nrtPS, respectivamente.

O tráfego foi gerado na rede WiMAX da seguinte maneira. O modelo de voz utilizado foi um modelo exponencial “on/off”. A duração média dos períodos “on” e “off” são iguais a 1.2s e 1.8s, respectivamente. Durante o período “on”, pacotes com 66 bytes foram gerados a cada 20ms. O modelo de voz com supressão de silêncio utilizado foi o *Enhanced Variable Rate Codec (EVRC)* [3GPP2 C.S0014-0], com pacotes gerados a cada 20ms empregando taxa 1 (171 bits/packet), Rate 1/2 (80 bits/packet), Rate 1/4 (40 bits/packet) ou Rate 1/8 (16 bits/packet). Tráfego de vídeo foi gerado com traces reais de vídeo [Fitzek and Reisslein 2001]. Tráfego FTP foi gerado usando distribuição exponencial com média de 512 KBytes.

Para gerar o tráfego das ONUs, fontes CBR geram pacotes com 24 bytes a cada 125 μ s bem como fontes pareto ON-OFF. O tempo de geração entre rajadas é exponencialmente distribuído e a duração da rajada é feita com distribuição de Pareto e tamanho dos pacotes são de 594 e 1518 bytes [Kramer and Mukherjee 2002].

O requisito *unsolicited grant interval* para os serviços UGS e ertPS é de 20ms. O requisito de latência máxima do serviço rtPS é de 300ms e o requisito de taxa mínima varia de acordo com a taxa média do vídeo transmitido. O serviço nrtPS tem requisito de taxa mínima de 200 Kbps e taxa máxima de 800 Kbps.

7. Resultados Numéricos

Esta seção avalia a robustez do escalonador proposto. O objetivo destes experimentos é avaliar a habilidade do DBQUS em prover os requisitos de QoS das conexões SSs sob a banda variável fornecida pelo escalonador EPON. Além disso, avalia-se a capacidade do mecanismo DBQUS em prover QoS quando há diferença entre o ciclo de concessão de banda da rede EPON e o ciclo de concessão da rede WiMAX.

O cenário de simulação inclui uma ONU-BS e 25 SSs em intervalos de 5 unidades (uma SS para cada tipo de serviço). A Tabela 1 mostra os parâmetros de simulação utilizados.

Tabela 1. Parâmetros de Simulação

Número de ONUs	15
Número de ONU-BS	1
Número de SSs	25
Taxa máxima rede WiMAX	30Mbps
Taxa máxima rede EPON	1Gbps
Tamanho da fila EPON	10Mbyte
Tamanho do <i>frame</i> WiMAX	5ms
Tempo do ciclo EPON	2ms e 10ms

Os gráficos 3 (a) e 3 (b) mostram o desempenho do escalonador DBQUS da rede WiMAX na rede integrada, considerando-se diferentes configurações do tempo de ciclo da rede EPON: 2ms, 5ms e 10ms.

Como esperado, a vazão decresce conforme o número de SSs aumenta, tendo uma queda mais acentuada na rede com 20 SSs. Além disso, quanto maior o tempo de ciclo EPON, maior a vazão atingida pelas SSs dada a redução do overhead para concessão da banda solicitada pelas SSs.

A Figura 3 (a) mostra a vazão média por SS para cada tempo de ciclo, nela pode-se observar a relação existente entre o número de SSs e a vazão, bem como a relação entre o tempo de ciclo e a vazão. Nota-se que quanto maior o número de SSs menor é a vazão média, porém maior é a vazão total no escalonador WiMAX. Nota-se, também, que ao se aproximar do limite de 15 SSs, há a diminuição da vazão média, pois a rede aproxima-se do estado de saturação. Por outro lado, nota-se que quanto maior o tempo de ciclo, maior é a vazão da rede em todos os cenários. Isto ocorre pois a diminuição no tempo de ciclo implica num maior número de mensagens de controle trocadas entre a rede EPON e WiMAX, o que diminui a largura de banda disponível para o tráfego real de dados e, conseqüentemente na diminuição da vazão.

A Figura 3 (b) exhibe o atraso médio das SSs para cada tempo de ciclo. Neste caso, pode-se observar que o aumento no tempo de ciclo gera um aumento no atraso das SSs. Isto se deve ao fato do aumento do tempo de ciclo fazer com que as SSs esperem mais até a próxima oportunidade de transmissão. Nota-se que, a partir de 20 SSs, o aumento no atraso ocorre mais acentuadamente quando a rede aproxima-se do estado de saturação.

É possível perceber o *tradeoff* entre vazão e o atraso médio em relação ao tempo de ciclo da rede EPON. Quanto maior o tempo de ciclo, maior a vazão e conseqüentemente maior o atraso.

A Figura 4 (a) mostra a vazão das conexões UGS, ertPS, nrtPS e rtPS para tempo de ciclo EPON 2ms. A vazão das conexões UGS e ertPS não foi alterada, já que pertencem a classes de mais alta prioridade mostrando que *grants* periódicos são fornecidos em intervalos constantes. Respeitando o requisito de QoS, a vazão das conexões nrtPS ficou acima do requisito de taxa mínima (200Kbps) e abaixo do requisito de taxa máxima (800 Kbps) desta classe de serviço. Conforme o número de conexões aumenta, a vazão alcançada por estas conexões diminui dado que há mais conexões disputando o mesmo recurso, porém o requisito de taxa mínima mantém-se, garantindo QoS para esta classe

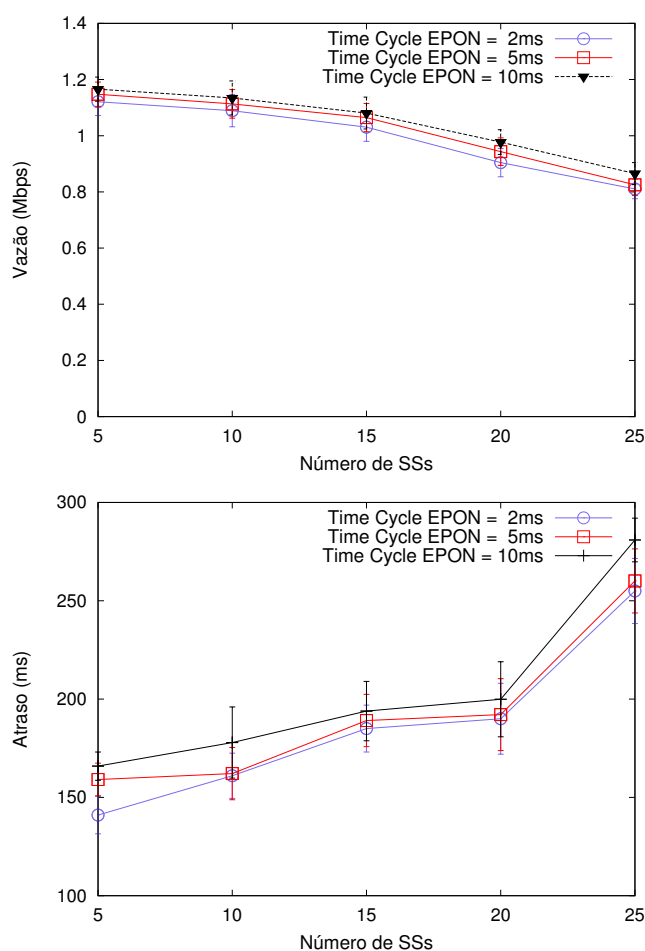


Figura 3. (a) Vazão das SSs sob diferentes tempos de ciclo EPON. (b) Latência das SSs sob diferentes tempos de ciclo EPON.

de serviço. A taxa mínima de 150Kbps das conexões rtPS também é suportada. Apesar da variabilidade da largura de banda e do número de conexões, os requisitos de vazão são atingidos.

Na Figura 4 (b), a latência das conexões UGS, ertPS e rtPS para o tempo de ciclo de 2ms é mostrada. A latência do fluxo UGS não foi afetada, mesmo com a variabilidade da largura de banda do canal devido ao fato de que o escalonador forneceu *grants* periódicos para estas conexões garantindo os intervalos constantes requeridos por estes serviços. O atraso para conexões ertPS é quase constante, mas aumenta suavemente quando a carga do tráfego na rede aumenta. Além disso, o valor do atraso das conexões rtPS estão abaixo do valor da latência máxima de 300ms. É importante notar que o DBQUS foi capaz de prover valores de atraso abaixo do limite requerido quando a carga da rede aumenta.

Para o tempo de ciclo EPON de 10ms (Figure 5 (a)), a vazão do rtPS e nrtPS é maior do que na Figura 4 (a) conforme esperado. O DBQUS garantiu os requisitos para os serviços UGS, ertPS, rtPS and nrtPS. Mesmo com o aumento do atraso (Figure 5 (b)), o DBQUS garantiu os requisitos de QoS. A latência das conexões UGS aumentou suavemente mas se mantiveram abaixo do limite do requisito de QoS, igualmente para

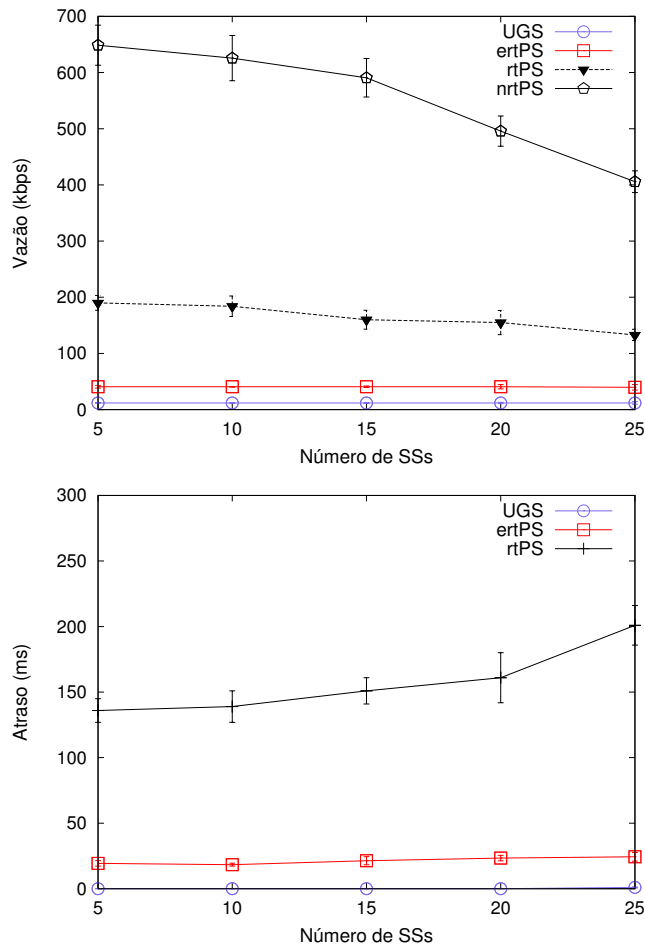


Figura 4. (a) Vazão média das SSs sob tempo de ciclo 2ms. (b) Atraso médio das SSs sob tempo de ciclo 2ms.

ertPS. Para ambas classes de serviço, a latência aumentou quando a carga do tráfego da rede aumenta. Além disso, o atraso das conexão rtPS também estão abaixo do valor de latência máxima de 300ms.

8. Conclusão

Neste trabalho, o desempenho do escalonador de banda WiMAX, DBQUS, para redes integradas EPON-WiMAX foi avaliado combinando a duração do *frame* WiMAX constante com diferentes tempos de ciclo EPON para analisar os efeitos do tempo de ciclo EPON na rede WiMAX com diferentes quantidades de SSs WiMAX na rede integrada com o objetivo de avaliar a capacidade do DBQUS em prover os requerimentos de qualidade de serviço das SSs WiMAX.

Resultados de simulação realizados na ferramenta NS-3 em conjunto com um módulo para a rede EPON mostram que o mecanismo DBQUS é capaz de prover QoS para as SSs WiMAX sob diferentes tempos de ciclo EPON. O DBQUS foi eficiente em distribuir largura de banda entre as SSs WiMAX respeitando os requisitos de QoS.

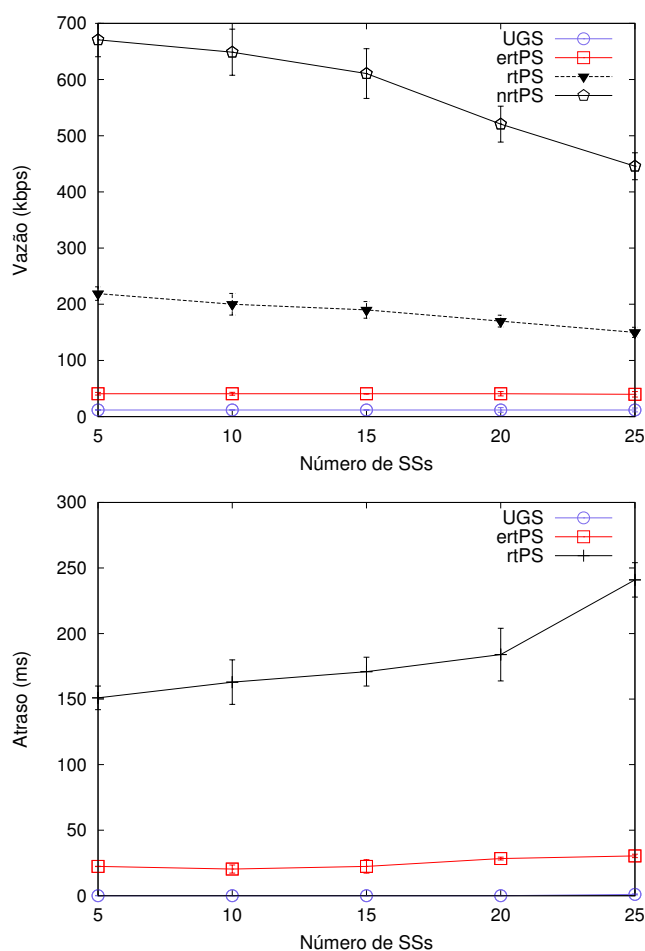


Figura 5. (a) Vazão média das SSs sob tempo de ciclo 10ms. (b) Atraso médio das SSs sob tempo de ciclo 10ms.

Referências

- 3GPP2 C.S0014-0. Enhanced Variable Rate Codec (EVRC).
- Alsolami, Jaber, F., Ho, and Pin-Han (2009). A novel two-level hierarchical scheduling scheme for integrated wimax and epon. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 3:46–60.
- Borin, J. F. and Fonseca, N. L. S. (2009). Uplink scheduler and admission control for the ieee 802.16 standard. *Globecom*.
- Cicconetti, C., Lenzi, L., Mingozzi, E., and Eklund, C. (2006). Quality of service support in ieee 802.16 networks. *Network, IEEE*, 20(2):50–55.
- Dias, M. and da Fonseca, N. L. S. (2011). Performance evaluation of a scheduler for the onu-bs of integrated epon-wimax networks. In *IEEE 3rd Latin-American Conference on Communications*, pages 1–6.
- Farooq, J. and Turetletti, T. (2009). An IEEE 802.16 WiMAX Module for the NS-3 Simulator. *Proceedings of the Second International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*.

- Fitzek, F. H. and Reisslein, M. (2001). Mpeg-4 and h.263 video traces for network performance evaluation. *IEEE Network*, 15(6):40–54.
- Hwang, I.-S., Lee, J.-Y., Huang, C.-W., and Shyu, Z.-D. (2009). Advanced dynamic bandwidth allocation and scheduling scheme for the integrated architecture of epon and wimax. *Mobile Data Management, IEEE International Conference on*, 0:655–660.
- IEEE Standard 802.16-2005, Part 16 (2005). IEEE Standard for Local and metropolitan area network Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems.
- Kramer, G. and Mukherjee, B. (2002). Supporting differentiated classes of service in ethernet passive optical networks. *journal of Optical Networking*, 01.
- Kramer, G., Mukherjee, B., and Pesavento, G. (2002). Ipact: a dynamic protocol for an ethernet pon (epon). *Communications Magazine, IEEE*, 40(2):74–80.
- Luo, Y., Yin, S., Wang, T., Suemura, Y., Nakamura, S., Ansari, N., and Cvijetic, M. (2007). Qos-aware scheduling over hybrid optical wireless networks. In *Optical Fiber Communication and the National Fiber Optic Engineers Conference, 2007. OFC/NFOEC 2007. Conference on*, pages 1–7.
- McGarry, M., Reisslein, M., and Maier, M. (2008). Ethernet passive optical network architectures and dynamic bandwidth allocation algorithms. *Communications Surveys and Tutorials, IEEE*, 10:46–60.
- Shen, G., Tucker, R., and Chae, C.-J. (2007). Fixed mobile convergence architectures for broadband access: Integration of epon and wimax. *Communications Magazine, IEEE*, 45(8):44–50.
- Tang, T., Shou, G., Hu, Y., and Guo, Z. (2009). Performance analysis of bandwidth allocation of convergence of wimax and epon. *Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing, International Conference on*, 1:662–665.
- Yan, Y., Yu, H., Wang, H., and Dittmann, L. (2008). Integration of epon and wimax networks: uplink scheduler design. Number 1 in 7. SPIE.
- Yang, K., Ou, S., K., G., and Chen, H.-H. (2009). Convergence of ethernet pon and ieee 802.16 broadband access networks and its qos-aware dynamic bandwidth allocation scheme. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 27(2):101–116.