

Controle de Admissão em Redes IEEE 802.16

Juliana Freitag Borin, Nelson L. S. da Fonseca

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Caixa Postal 6176 – 13084-971 – Campinas – SP – Brasil

{juliana,nfonseca}@ic.unicamp.br

Abstract. *This paper introduces admission control policies for the IEEE 802.16 standard which aim to reach three main goals: restrict the number of simultaneous connections in the system so that the resources available to the scheduler are sufficient to guarantee the QoS requirements of each connection, support the service provider expectations by maximizing the revenue, and maximize the users satisfaction by granting them additional resources. The proposed policies are evaluated through simulation experiments.*

Resumo. *Este artigo propõe políticas de controle de admissão para o padrão IEEE 802.16 que visam atingir três objetivos principais: restringir o número de conexões simultaneamente presentes na rede para que o escalonador tenha recursos suficientes para atender os requisitos de QoS de cada conexão, atender as expectativas do provedor de serviço através da maximização do lucro e maximizar a satisfação dos usuários através da disponibilização de recursos adicionais. As políticas propostas são avaliadas através de experimentos de simulação.*

1. Introdução

A arquitetura de Qualidade de Serviço (QoS) definida pelo padrão IEEE 802.16 [IEEE Std. 2004] e sua extensão, IEEE 802.16e [IEEE Std. 2005], incluem cinco tipos de serviço, para priorização e diferenciação do tráfego, e mecanismos de escalonamento e controle de admissão. No entanto, as políticas que devem ser usadas na implementação desses mecanismos não são especificadas.

Este artigo propõe políticas para o mecanismo de controle de admissão para o padrão IEEE 802.16. O mecanismo de controle de admissão restringe o número de usuários simultaneamente presentes na rede, de forma a evitar a saturação do enlace sem fio e, conseqüentemente, a violação dos requisitos de QoS.

As políticas de controle de admissão propostas visam atingir três objetivos principais: 1) restringir o número de conexões simultaneamente presentes na rede para que o escalonador tenha recursos suficientes para atender os requisitos de QoS de cada fluxo de serviço, 2) atender as expectativas do provedor de serviço através da maximização do lucro e 3) maximizar a satisfação dos usuários através da disponibilização de recursos extras, além do combinado no contrato de admissão.

A primeira política de controle de admissão apresentada é a mais simples, pois atende apenas o primeiro dentre os três objetivos mencionados. Ela foi proposta pelos autores em [Borin e Fonseca 2009]. A estratégia de decisão sobre a admissão de novas conexões consiste em garantir que o somatório dos requisitos de taxa mínima de todas

as conexões aceitas na rede seja menor do que a capacidade do enlace sem fio. Essa estratégia garante que, mesmo em situações de alta carga na rede, o escalonador terá a sua disposição recursos suficientes para satisfazer os requisitos mínimos de QoS de cada conexão aceita.

A segunda e a terceira políticas de controle de admissão atendem ao primeiro e ao segundo objetivos. A segunda política resolve o problema de admissão de novas conexões e maximização do lucro de forma ótima, utilizando programação linear inteira. A terceira política fornece uma solução de implementação mais simples, pois utiliza uma técnica gulosa para a resolver o mesmo problema.

A quarta e a quinta políticas de controle de admissão atendem os três objetivos. A quarta política decide sobre a admissão de novas conexões, ao mesmo tempo em que tenta maximizar o lucro e a satisfação dos usuários, de maneira ótima, utilizando programação inteira mista, enquanto a quinta política fornece uma solução menos complexa através do uso de uma técnica gulosa.

A maioria das soluções de controle de admissão disponíveis na literatura utiliza o requisito de taxa mínima das conexões na tomada de decisões [Chen *et alli* 2005, Wang *et alli* 2007a, Wang *et alli* 2007b, Jakkakorpi e Sayenko 2009], entretanto, os recursos que devem ser reservados para garantir a QoS solicitada pela nova conexão ultrapassam o valor de taxa mínima requisitado e variam de acordo com o tipo de serviço solicitado. A política proposta em [Borin e Fonseca 2009] bem como as políticas propostas neste artigo diferem das políticas existentes pois consideram a sobrecarga gerada pelo tipo de serviço solicitado (p. ex., a sobrecarga imposta pelo mecanismo de requisição de banda). Essa estratégia garante uma estimativa mais precisa da quantidade de recursos que devem ser reservados a cada nova admissão.

Além disso, as políticas propostas neste artigo permitem maximização do lucro e da satisfação dos usuários, que são elementos igualmente importantes para o sucesso das redes WiMAX. Rong *et alli* (2008) também propõem uma política para maximização do lucro, da utilidade e da justiça, porém, os autores supõem que todas as conexões associadas a um mesmo tipo de serviço têm o mesmo requisito de taxa mínima, o que não está de acordo com o padrão. As políticas propostas neste artigo não fazem tal suposição.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. As Seções 2 a 6 introduzem as soluções propostas para o mecanismo de controle de admissão. A Seção 7 descreve o cenário utilizado nos experimentos de simulação utilizados para avaliar o desempenho das políticas propostas. A Seção 8 discute os resultados obtidos. A Seção 9 conclui o artigo.

2. Controle de Admissão baseado na Taxa Mínima

Para que se tenha um texto auto-contido, esta seção apresenta a política proposta pelos autores em [Borin e Fonseca 2009]. Esta política utiliza o requisito de taxa mínima para decidir quais conexões devem ser aceitas. Uma vez que esse requisito possa ser garantido para a nova conexão bem como para as conexões previamente admitidas, a conexão é aceita. Uma nova conexão é aceita sempre que a seguinte condição é satisfeita:

$$(C_{reserved} + TR_{ij} \leq C) \quad (1)$$

TR_{ij} representa a taxa que deve ser garantida para a nova conexão j associada ao tipo de serviço i ; $C_{reserved}$ representa a capacidade reservada para as conexões já admitidas na rede e é igual a $\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n TR_{ij}^1$; e C é a capacidade disponível para o escalonador, ou seja, a quantidade de banda que o escalonador pode alocar para transmissão de dados e mensagens de requisição de banda através de *grants unicast*.

Embora esta seja uma condição de admissão bastante simples, ela atende às especificações do padrão IEEE 802.16 com a vantagem de ser facilmente implementada na estação base. A condição proposta garante recursos suficientes para o escalonador atender o requisito de taxa mínima das conexões UGS², rtPS, ertPS e nrtPS bem como a latência máxima das conexões de tempo real cujo tráfego não ultrapassa essa taxa.

A principal diferença entre o esquema proposto e outros esquemas de controle de admissão propostos para o padrão IEEE 802.16 está no cálculo do parâmetro TR_{ij} utilizado na Equação 1. Ao enviar um pedido de admissão, a conexão fornece, entre outros parâmetros, o requisito de taxa mínima ($minTR_{ij}$), entretanto, se considerarmos a sobrecarga gerada pelo tipo de serviço solicitado (por exemplo, com o envio de requisições de banda), essa taxa não será suficiente para atender as necessidades da conexão. Assim sendo, ao invés de considerar apenas a taxa mínima, o parâmetro TR_{ij} inclui também uma estimativa da sobrecarga gerada pelo tipo de serviço associado à conexão.

Conexões UGS (*Unsolicited Grant Service*) e ertPS (*extended real time Polling Service*) recebem *grants* em intervalos definidos pelo parâmetro *unsolicited grant interval* (*ugi*). O tamanho do *grant* para conexões UGS é fixo e definido de acordo com o requisito de taxa máxima da conexão (que é igual ao requisito de taxa mínima para esse serviço). Para conexões ertPS, embora o tamanho dos *grants* varie de acordo com a quantidade de banda requisitada, o tamanho mínimo a ser garantido deve basear-se no requisito de taxa mínima. Desse modo, para ambos os tipos de serviço, a BS deve garantir a alocação de *grants* periódicos com tamanho igual ao valor fornecido pela seguinte equação:

$$grantSize_{ij} = minTR_{ij} * ugi_{ij} \quad (2)$$

A Equação 2 fornece o tamanho dos *grants* em bytes, entretanto, os *grants* são dados em número de *slots*, obtido a partir do cálculo do menor inteiro maior ou igual a $grantSize_{ij}/slotSize$. Esta normalização pode resultar em desperdício de banda quando $grantSize_{ij}$ não é um múltiplo do número de bytes que pode ser transmitido em um *slot* (*slotSize*). A taxa real utilizada por uma conexão UGS (ertPS) pode, conseqüentemente, ser maior do que a taxa máxima (taxa mínima) requisitada. Para contabilizar esta sobrecarga, o valor do parâmetro TR_{ij} para conexões UGS e ertPS é calculado da seguinte forma:

$$TR_{ij} = \frac{\lceil \frac{grantSize_{ij}}{slotSize} \rceil * slotSize}{ugi_{ij} + tj_{ij}} \quad (3)$$

Na Equação 3, $\lceil \frac{grantSize_{ij}}{slotSize} \rceil$ fornece o tamanho de um *grant* em número de *slots*. Os *grants* devem ser fornecidos em intervalos de duração ugi_{ij} com *jitter* máximo tj_{ij} (definido pelo parâmetro *tolerated jitter*). Multiplicando-se o número de *slots* em um

¹ i varia de 1 à 4, pois apenas os serviços UGS, rtPS, ertPS e nrtPS passam pelo controle de admissão.

²No caso do serviço UGS, o padrão estabelece que se deve garantir o requisito de taxa máxima e que o requisito de taxa mínima, quando definido, deve ser igual ao valor da taxa máxima. Dessa forma, sempre que nos referirmos à taxa mínima do serviço UGS, estamos supondo que ela é igual à taxa máxima.

grant pelo tamanho de um *slot* em número de bytes e dividindo este valor pela soma $ug_{ij} + tj_{ij}$, obtém-se a taxa mínima que deve ser garantida para conexões UGS e ertPS.

Além da taxa mínima, conexões rtPS (*real-time Polling Service*) e nrtPS (*non-real-time Polling Service*) precisam de *grants* periódicos para o envio de requisição de banda. Assim sendo, a taxa que deve ser garantida para estas conexões é igual a soma do requisito de taxa mínima ($minTR_{ij}$) com a taxa usada pelo mecanismo de requisição de banda, conforme apresentado na Equação 4.

$$TR_{ij} = minTR_{ij} + \frac{upSlots * slotSize}{upi_{ij}} \quad (4)$$

onde $upSlots$ representa o número de *slots* usados para o envio de uma mensagem de requisição de banda e upi_{ij} é o valor fornecido pelo parâmetro *unsolicited polling interval*. Conexões nrtPS não definem o parâmetro upi_{ij} , entretanto, o padrão IEEE 802.16 estabelece que este intervalo deve ser da ordem de 1 segundo e pode ser definido pela BS.

Conexões BE são sempre aceitas dado que este serviço não tem requisitos de QoS.

3. Controle de Admissão Ótimo para Maximização do Lucro

A segunda política de controle de admissão proposta neste artigo estende a política apresentada na Seção 2 com o objetivo de maximizar o lucro obtido pelo provedor. Da mesma forma que a política anterior, antes de admitir uma nova conexão, o controle de admissão verifica se é possível satisfazer o requisito de taxa mínima desta nova conexão sem prejudicar as conexões já admitidas na rede. A sobrecarga gerada por cada tipo de serviço é igualmente considerada.

Para maximizar o lucro, o controlador de admissão deve coletar requisições durante intervalos de tempo, para, então, decidir quais conexões devem ser aceitas. Uma política de admissão ótima deve encontrar uma combinação de conexões que, a longo prazo, forneça o maior lucro possível respeitando a capacidade da rede. Esse problema pode ser mapeado para o problema clássico da mochila, no qual a capacidade da rede é a mochila e a quantidade de banda requisitada por cada conexão representa o tamanho de cada objeto. A modelagem deste problema de otimização é apresentada a seguir.

$$\max \sum_{i=1}^4 \sum_{j=m_i+1}^{n_i} x_{ij} r_i minTR_{ij}$$

Sujeito a:

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \{1, 2, 3, 4\} \quad \forall j \in \{m_i + 1, \dots, n_i\} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=m_i+1}^{n_i} TR_{ij} \leq C_{available} \quad (2)$$

onde:

- n_i : número total de conexões associadas ao serviço i (conexões admitidas + conexões solicitantes);
- m_i : número de conexões admitidas e ainda ativas na rede associadas ao serviço i ;
- $minTR_{ij}$: requisito de taxa mínima da conexão j associada ao serviço i ;
- TR_{ij} : taxa que deve ser reservada para a conexão j associada ao serviço i e que é calculada através da Equação 3 para os serviços UGS e ertPS e através da Equação 4 para os serviços rtPS e nrtPS;
- r_i : lucro associado ao serviço i ;

- x_{ij} : variável que receberá valor 1 caso a conexão j associada ao serviço i deva ser admitida e valor 0 caso contrário;
- $C_{available}$: $C - \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^{m_i} TR_{ij}$, onde C é a capacidade de que o escalonador dispõe para alocação de *grants* para transmissão de dados e requisição de banda.

Na formulação do problema, i varia entre 1 e 4, pois apenas conexões UGS, rtPS, ertPS e nrtPS estão sujeitas ao controle de admissão. A função de lucro $r_i * minTR_{ij}$ indica que quanto maior o valor da taxa mínima requisitada pela conexão, maior é o preço que o usuário deverá pagar e, conseqüentemente, maior o lucro obtido com sua admissão. Esta função garante maior justiça no preço pago por usuários de um mesmo tipo de serviço, dado que o valor cobrado é proporcional a taxa mínima requisitada. A restrição 2 garante que a soma das taxas que devem ser alocadas (TR_{ij}) para todas as conexões aceitas é menor do que a capacidade disponível.

4. Controle de Admissão Guloso para Maximização do Lucro

A terceira política de controle de admissão utiliza uma técnica gulosa para a maximização do lucro. Assim como no controle de admissão ótimo apresentado na Seção 3, neste mecanismo o controlador de admissão realiza a admissão de novas conexões em intervalos de tempo pré-definidos. As conexões são admitidas seguindo a ordem decrescente dos valores de lucro associados as conexões e respeitando a capacidade da rede em atender o requisito de taxa mínima de cada conexão.

O Algoritmo *GreedyMaxRevenueCAC* apresenta os passos realizados a cada intervalo de admissão para decidir quais conexões serão aceitas. Durante um intervalo de admissão, as requisições para o estabelecimento de novas conexões são armazenadas em um *buffer*. No primeiro passo, o algoritmo calcula um valor de lucro para cada nova conexão utilizando a função de lucro $r_i * minTR_{ij}$. Em seguida, as requisições para o estabelecimento de novas conexões são ordenadas seguindo a ordem decrescente dos valores de lucro calculados. Nos passos seguintes, o algoritmo utiliza a Equação 1 para decidir quais conexões serão aceitas, começando pelo primeiro elemento do *buffer* ordenado.

ALGORITMO GREEDYMAXREVENUECAC

1. **para** cada conexão j armazenada no *buffer* **faça**
 2. $revenue_{ij} \leftarrow r_i * minTR_{ij}$
 3. ordene o *buffer* seguindo a ordem decrescente dos valores de $revenue_{ij}$
 4. **para** cada conexão j armazenada no *buffer* **faça**
 5. **se** tipo de serviço de j for UGS ou ertPS **então**
 6. calcule TR_{ij} usando a equação 3
 7. **senão** calcule TR_{ij} usando a equação 4
 8. **se** $(C_{reserved} + TR_{ij} \leq C)$ **então**
 9. aceite a conexão j
 10. $C_{reserved} \leftarrow C_{reserved} + TR_{ij}$
 11. **senão** rejeite a conexão j
-

5. Controle de Admissão Ótimo para Maximização do Lucro e da Utilidade

O quarto mecanismo de controle de admissão proposto neste artigo tem como objetivos maximizar o lucro e a utilidade da rede. Sob o ponto de vista do usuário, a melhor

política de admissão é aquela que lhe permite atingir as maiores taxas de transmissão. Dessa forma, nesta política, além do valor de lucro r_i , cada serviço i está associado a um valor u_i que reflete um ganho de utilidade ou, em outras palavras, a satisfação do cliente. O valor u_i é multiplicado por $extraTR_{ij}$ que indica o quanto de taxa extra ao requisito de taxa mínima, será alocado para a conexão j . $extraTR_{ij}$ deve ser menor ou igual a diferença entre os requisitos de taxa máxima e taxa mínima da conexão para que o requisito de taxa máxima não seja violado. Assim sendo, quanto maior o somatório dos valores de $u_i * extraTR_{ij}$ de todas as conexões admitidas, maior será o ganho de utilidade e, conseqüentemente, maior será a satisfação dos usuários. A formulação deste problema de maximização é apresentada a seguir.

$$max \sum_{i=1}^4 \sum_{j=m_i+1}^{n_i} x_{ij} r_i minTR_{ij} + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^{n_i} u_i extraTR_{ij}$$

Sujeito a:

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \{1, 2, 3, 4\} \quad \forall j \in \{m_i + 1, \dots, n_i\} \quad (1)$$

$$0 \leq extraTR_{ij} \leq maxTR_{ij} - minTR_{ij} \quad \forall i \in \{1, 2, 3, 4\} \text{ e } \forall j \in \{1, \dots, m_i\} \quad (2)$$

$$0 \leq extraTR_{ij} \leq (maxTR_{ij} - minTR_{ij})x_{ij} \quad \forall i \in \{1, 2, 3, 4\} \text{ e } \forall j \in \{m_i + 1, \dots, n_i\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^{n_i} (TR_{ij} + extraTR_{ij}) \leq C \quad (4)$$

onde

- n_i : número total de conexões associadas ao serviço i (conexões admitidas + conexões solicitantes);
- m_i : número de conexões admitidas e ainda ativas associadas ao serviço i ;
- $minTR_{ij}$: requisito de taxa mínima da conexão j associada ao serviço i ;
- $maxTR_{ij}$: requisito de taxa máxima da conexão j associada ao serviço i ;
- TR_{ij} : taxa mínima que deve ser reservada para a conexão j associada ao serviço i e que é calculada através da Equação 3 para os serviços UGS e ertPS e através da Equação 4 para os serviços rtPS e nrtPS;
- $extraTR_{ij}$: variável que indicará a taxa extra, além da mínima, que será alocada para a conexão j associada ao serviço i ;
- r_i : lucro associado ao serviço i ;
- u_i : ganho em utilidade associado ao serviço i ;
- x_{ij} : variável que receberá valor 1 caso a conexão j associada ao serviço i deva ser admitida e valor 0 caso contrário;
- C : capacidade de que o escalonador dispõe para alocação de *grants* para transmissão de dados e requisição de banda.

Na formulação apresentada, a restrição 2 garante que o valor de taxa extra ($extraTR_{ij}$) que será alocada para as conexões previamente aceitas na rede não viola o requisito de taxa máxima. Esse valor será atualizado a cada rodada de admissão, de forma a se adaptar às mudanças causadas pela entrada e saída de conexões da rede. A restrição 3 garante que o valor de taxa extra alocado para as novas conexões aceitas não viola o requisito de taxa máxima, bem como que o valor de $extraTR_{ij}$ seja igual a zero para conexões rejeitadas. É importante observar que o algoritmo nunca aloca taxa extra para conexões UGS dado que esse tipo de serviço tem mesmo valor para os requisitos de

taxa mínima e taxa máxima. A restrição 4 garante que o somatório das taxas que devem ser reservadas para cada conexão (TR_{ij}) e das taxas extras alocadas ($extraTR_{ij}$) é menor ou igual a capacidade de que o escalonador dispõe para alocação de *grants*.

6. Controle de Admissão Guloso para Maximização do Lucro e da Utilidade

O mecanismo de controle de admissão proposto nesta seção utiliza a técnica gulosa para maximizar o lucro e a utilidade da rede. Assim como na solução proposta na Seção 5, este mecanismo decide quais conexões poderão entrar na rede bem como a quantidade de taxa extra que será alocada para cada conexão.

Intuitivamente, para que se admita, de maneira gulosa, o conjunto de novas conexões que maximize o lucro e a utilidade, deve-se escolher aquelas que fornecem maior valor para a soma $r_i * minTR_{ij} + u_i * extraTR_{ij}$, entretanto, essa abordagem pode não retornar o melhor conjunto, quando a quantidade de recursos requisitada pelas novas conexões for maior do que a capacidade disponível. Note que as conexões que fornecem maior valor para a soma $r_i * minTR_{ij} + u_i * extraTR_{ij}$ são, normalmente, aquelas que têm maiores requisitos de taxa mínima ($minTR_{ij}$) e que podem receber maior taxa extra ($extraTR_{ij} \leq maxTR_{ij} - minTR_{ij}$). Ao se admitir uma conexão j com essas características, por um lado, tem-se na rede uma conexão que fornece alto valor de lucro e utilidade, mas, por outro lado, conexões que exigem menos recursos terão que ser rejeitadas. Embora individualmente essas conexões rejeitadas forneçam menores valores de lucro e utilidade, se agregadas, elas podem trazer maior ganho para a rede.

Desse modo, esta política utiliza os conceitos de custo e benefício para tomar as decisões de admissão. O benefício trazido por uma nova conexão é igual a soma do lucro com a utilidade ($r_i * minTR_{ij} + u_i * extraTR_{ij}$) alcançada na sua admissão. O custo imposto pela admissão de uma conexão é igual a taxa que deverá ser alocada, ou seja, $TR_{ij} + extraTR_{ij}$. Serão admitidas as conexões que oferecerem maior ganho para a rede, sendo que o ganho é igual a razão entre o benefício e o custo.

Para conexões já admitidas, utiliza-se o mesmo raciocínio para decidir o quanto de taxa extra deve-se alocar para maximizar a utilidade. Neste caso, o benefício de se alocar taxa extra para uma conexão é igual a $u_i * extraTR_{ij}$, enquanto o custo é igual a $extraTR_{ij}$. Se o ganho obtido ao se alocar taxa extra para uma conexão já ativa na rede for maior do que o ganho alcançado com a admissão de uma nova conexão, a nova conexão será rejeitada e a conexão ativa receberá taxa extra.

O Algoritmo *GreedyMaxRevenueUtilityCAC* apresenta os passos realizados a cada intervalo de admissão. O algoritmo calcula, inicialmente, o ganho fornecido por cada nova conexão com valor de TR_{ij} menor do que a capacidade disponível e por cada conexão ativa não associada ao serviço UGS. Conexões novas que requerem taxa maior do que a capacidade disponível são rejeitadas, enquanto conexões ativas associadas ao serviço UGS são desconsideradas dado que possuem requisito de taxa máxima igual ao requisito de taxa mínima e, portanto, não recebem taxa extra. O cálculo do ganho baseia-se no benefício e no custo oferecido por cada conexão, conforme explicado anteriormente. Para a taxa extra ($extraTR_{ij}$), utiliza-se o valor máximo que poderia ser alocado para a conexão. Para uma nova conexão esse valor é igual ao mínimo entre a capacidade disponível após sua admissão ($C_{available} - TR_{ij}$) e a diferença entre os requisitos de taxa máxima e taxa mínima ($maxTR_{ij} - minTR_{ij}$). Para uma conexão já ativa na rede, o valor

máximo para $extraTR_{ij}$ é igual ao mínimo entre a capacidade disponível e a diferença entre os requisitos de taxa máxima e taxa mínima.

Calculados os valores de ganho ($reward_{ij}$) para cada conexão, o algoritmo escolhe as conexões que oferecem maior ganho para admitir, no caso de novas conexões, ou para alocar banda extra, caso seja uma conexão ativa na rede. Sempre que uma conexão é escolhida, a capacidade disponível é atualizada subtraindo-se, respectivamente, $TR_{ij} + extraTR_{ij}$ ou $extraTR_{ij}$ para conexões novas e ativas. Quando a conexão que oferece maior ganho não puder ser admitida, calcula-se novo valor de ganho para as conexões com base no valor de $C_{available}$ atualizado. O processo termina quando a capacidade disponível for igual a zero ou quando o controle de admissão tiver finalizado suas decisões.

ALGORITMO GREEDYMAXREVENUEUTILITYCAC

1. insira no vetor $reward_array$ as conexões novas e as conexões ativas
 2. **para** cada conexão j armazenada no vetor $reward_array$ **faça**
 3. **se** j é uma nova conexão **então**
 4. **se** $TR_{ij} > C_{available}$ **então**
 5. rejeite a conexão j e a exclua do vetor $reward_array$
 6. **senão**
 7. $extraTR_{ij} \leftarrow \min(C_{available} - TR_{ij}, maxTR_{ij} - minTR_{ij})$
 8. $benefit \leftarrow r_i * minTR_{ij} + u_i * extraTR_{ij}$
 9. $cost \leftarrow TR_{ij} + extraTR_{ij}$
 10. $reward_{ij} \leftarrow benefit \div custo$
 11. **se** j é uma conexão ativa **então**
 12. **se** j é uma conexão UGS **então**
 13. $extraTR_{ij} \leftarrow 0$
 14. exclua j do vetor $reward_array$
 15. **senão**
 16. $extraTR_{ij} \leftarrow \min(C_{available}, maxTR_{ij} - minTR_{ij})$
 17. $benefit \leftarrow u_i * extraTR_{ij}$
 18. $cost \leftarrow extraTR_{ij}$
 19. $reward_{ij} \leftarrow benefit \div custo$
 20. **enquanto** $C_{available} > 0$ e $reward_array \neq \emptyset$ **faça**
 21. busque no vetor $reward_array$ a conexão j com maior valor para $reward_{ij}$
 22. **se** j é uma nova conexão **então**
 23. **se** $TR_{ij} + extraTR_{ij} \leq C_{available}$ **então**
 24. aceite a conexão j com banda extra igual a $extraTR_{ij}$
 25. $C_{available} \leftarrow C_{available} - (TR_{ij} + extraTR_{ij})$
 26. exclua j do vetor $reward_array$
 27. **senão** volte para o passo 2
 28. **senão**
 29. **se** $extraTR_{ij} \leq C_{available}$ **então**
 30. configure a taxa extra de j para $extraTR_{ij}$
 31. $C_{available} \leftarrow C_{available} - extraTR_{ij}$
 32. exclua j do vetor $reward_array$
 33. **senão** volte para o passo 2
-

7. Descrição do Cenário de Simulação

A avaliação do desempenho das políticas de controle de admissão propostas foi realizada através de experimentos de simulação, utilizando um módulo para simulação de redes WiMAX [Borin e Fonseca 2008] desenvolvido para a ferramenta ns-2 [ns 2002].

O cenário de simulação consiste em um conjunto de SSs uniformemente distribuídas ao redor de uma BS. Os experimentos utilizam tráfego de voz, voz com supressão de silêncio, vídeo, FTP e WEB que são servidos, respectivamente, pelos serviços UGS, ertPS, rtPS, nrtPS e BE.

O tempo de vida das conexões UGS, ertPS, rtPS e nrtPS é determinado por uma distribuição exponencial com média de 600 s para o tráfego de vídeo e 300 s para os demais tipos de tráfego. Da mesma forma, a taxa de chegada das conexões segue uma distribuição exponencial com médias que variam entre 2 s e 60 s para cada tipo de serviço. Desse modo, na situação de menor carga, chega em média 1 conexão de cada tipo de serviço por minuto, enquanto na situação de maior carga chegam em média 30 conexões de cada tipo de serviço por minuto. O número de conexões BE é fixo e igual a 20, dado que esse serviço não passa pelo processo de controle de admissão.

Para as políticas de controle de admissão que maximizam o lucro, a taxa de lucro associada a cada tipo de serviço é de 4 para o serviço UGS, 3 para o serviço rtPS, 2 para o serviço ertPS e 1 para o serviço nrtPS. Para as políticas de controle de admissão que maximizam a utilidade, os mesmos valores são usados para a taxa de utilidade fornecida por cada tipo de serviço, com exceção do serviço UGS que tem valor de utilidade 0, pois não recebe taxa extra.

Para cada valor de taxa de chegada de conexões testado, foram executadas 10 replicações com sementes diferentes, para gerar o intervalo de confiança de 95%. Cada simulação teve duração de 3.600s. Os resultados apresentados na Seção 8 mostram a média obtida e o intervalo de confiança de 95%.

8. Avaliação dos Resultados

A política de controle de admissão que se baseia no requisito de taxa mínima das conexões, introduzida na Seção 2, será referenciada nesta seção como CA Simples. A política de controle de admissão, proposta na Seção 3, que tem o objetivo de maximizar o lucro da rede de maneira ótima será referenciada pelo termo CA Ótimo Max. Lucro, enquanto a política que tem o mesmo objetivo, mas usa a técnica gulosa, introduzida na Seção 4, será chamada CA Guloso Max. Lucro. A política ótima (Seção 5) e a política gulosa (Seção 6) para maximização do lucro e da utilidade serão referenciadas, respectivamente, pelos termos CA Ótimo Max. Lucro e Utilidade e CA Guloso Max. Lucro e Utilidade.

O resultados apresentados a seguir têm o objetivo de avaliar a taxa de bloqueio e o lucro obtido com cada uma das políticas de controle de admissão introduzidas neste artigo bem como a utilidade fornecida pelas políticas CA Ótimo Max. Lucro e Utilidade e CA Guloso Max. Lucro e Utilidade.

A Figura 1 apresenta a taxa de bloqueio dos serviços UGS, ertPS, rtPS e nrtPS para cada uma das políticas de controle de admissão propostas.

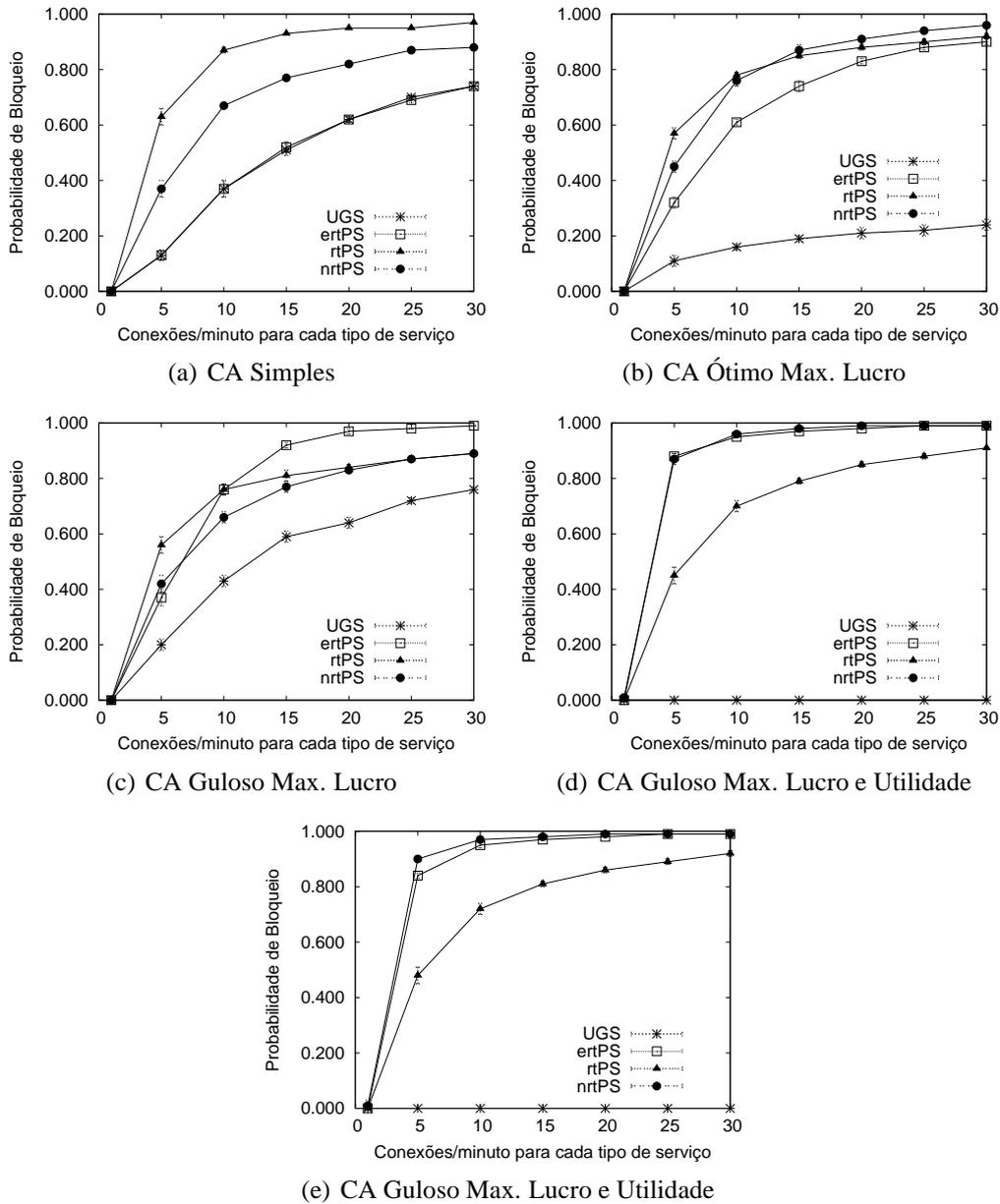


Figura 1. Probabilidade de Bloqueio

Com a política de controle de admissão CA Simples, os serviços UGS e ertPS têm valores de probabilidade de bloqueio idênticos em todos os cenários simulados, como mostra a Figura 1(a). Os valores de probabilidade de bloqueio para esses dois tipos de serviço são mais baixos do que para os serviços rtPS e nrtPS, pois essa política tende a privilegiar conexões com menores valores para o requisito de taxa mínima, dado que esse é o único parâmetro considerado na admissão. O serviço rtPS apresenta os maiores valores de probabilidade de bloqueio por ser o serviço com requisito mais alto de taxa mínima.

As políticas CA Ótimo Max. Lucro e CA Guloso Max. Lucro fornecem menor probabilidade de bloqueio para o serviço UGS, cujas conexões retornam altos valores de lucro exigindo baixas taxas de transmissão. No entanto, como mostram as Figuras 1(b) e

1(c), a política CA Ótimo Max. Lucro aceita mais conexões UGS do que a política CA Guloso Max. Lucro. No cenário de mais alta carga na rede, a política CA Ótimo Max. Lucro chega a aceitar até três vezes mais conexões UGS. Da mesma forma, na política ótima são aceitas até 10% mais conexões ertPS do que na política gulosa. No entanto, o fato da política CA Guloso Max. Lucro admitir um menor número de conexões UGS e ertPS, faz com que ele seja capaz de admitir um maior número de conexões rtPS e nrtPS. Essas diferenças influenciam os resultados de lucro obtidos com ambas as políticas, como será explicado mais adiante.

As Figuras 1(d) e 1(e) mostram que as políticas CA Ótimo Max. Lucro e Utilidade e CA Guloso Max. Lucro e Utilidade têm resultados de probabilidade de bloqueio muito semelhantes em todos os cenários simulados. Em ambos os casos, todas as conexões UGS são admitidas para qualquer que seja a carga na rede e os serviços ertPS e nrtPS têm valores de probabilidade bloqueio muito próximos e maiores do que os valores de probabilidade de bloqueio do serviço rtPS. Em comparação com as outras três políticas de controle de admissão, as políticas CA Ótimo Max. Lucro e Utilidade e CA Guloso Max. Lucro e Utilidade bloqueiam um número maior de conexões ertPS e nrtPS e um número semelhante de conexões rtPS e, dessa maneira, conseguem admitir mais conexões UGS, resultando em maiores valores de lucro do que as políticas que maximizam apenas o lucro, como será mostrado a seguir.

Estes resultados mostram como políticas com diferentes objetivos podem afetar usuários de diferentes tipos de serviço. Quando a rede está sobrecarregada, o provedor de serviços pode desejar manter um balanço nas taxas de bloqueio, mesmo que, como consequência, reduza-se o lucro. Esse balanço pode ser alcançado estendendo-se as políticas propostas para que minimizem a diferença entre os valores de taxa de bloqueio dos diferentes tipos de serviço.

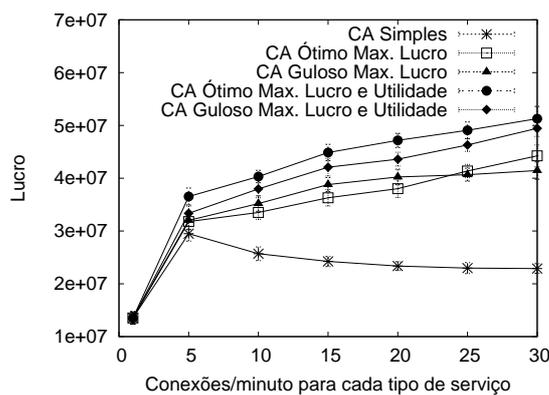


Figura 2. Lucro

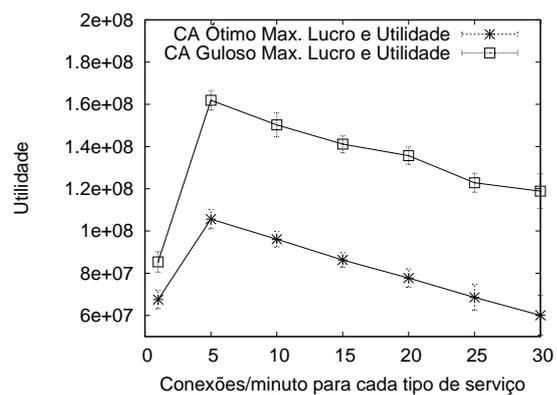


Figura 3. Utilidade

A Figura 2 apresenta o valor do lucro acumulado em cada uma das situações de carga testadas para as cinco políticas de controle de admissão. Embora a política CA Simples não tente maximizar o lucro, mediu-se os valores de lucro fornecidos por ela, utilizando-se a mesma função de lucro ($r_i * \min TR_{ij}$) considerada pelas outras quatro políticas para cada conexão admitida.

A política CA Simples fornece os menores valores de lucro e, pelo fato de considerar apenas a taxa mínima das conexões na admissão, esses valores tendem a se estabilizar

conforme a rede fica sobrecarregada. A queda nos valores de lucro, observada no cenário no qual a taxa de chegada de conexões é de 10 conexões/minuto para cada tipo de serviço, deve-se ao alto número de conexões rtPS bloqueadas neste cenário. As conexões rtPS são capazes de fornecer altas taxas de lucro por requisitarem altas taxas de transmissão e a política CA Simples é a que apresenta os maiores valores de probabilidade de bloqueio para este tipo de serviço.

As políticas CA Ótimo Max. Lucro e CA Guloso Max. Lucro fornecem valores próximos de lucro. Nos cenários nos quais a taxa de chegada para cada tipo de serviço é de 10, 15 e 20 conexões por minuto, a política CA Guloso Max. Lucro fornece lucro ligeiramente maior do que a política ótima. Isso acontece porque as políticas dão soluções locais, cada uma delas baseada na entrada da rodada atual de admissão, dessa forma, decisões diferentes tomadas pelas políticas gulosa e ótima em um instante t , podem fazer com que no instante $t + x$ a política gulosa consiga um melhor resultado do que a política ótima. Para os cenários nos quais a taxa de chegada para cada tipo de serviço é maior do que 20 conexões por minuto, os valores de lucro estabilizam para a política gulosa e continuam aumentando para a política ótima.

Da mesma forma, a política CA Guloso Max. Lucro e Utilidade provê valores de lucro próximos àqueles fornecidos pela política CA Ótimo Max. Lucro e Utilidade. No entanto, em todos os cenários, a política ótima fornece lucro um pouco maior do que a política que utiliza a técnica gulosa.

As políticas que maximizam lucro e utilidade apresentam melhor desempenho em termos de lucro do que as políticas que maximizam apenas lucro. Os resultados de probabilidade de bloqueio mostram que as quatro políticas tomam decisões de admissão diferentes em um mesmo cenário. Apesar de, intuitivamente, esperar-se que as políticas que maximizam apenas lucro forneçam os maiores valores de lucro, a Figura 2 mostra que, a longo prazo, as decisões tomadas pelas políticas que maximizam lucro e utilidade provêm os melhores resultados.

A Figura 3 mostra o ganho de utilidade obtido com as políticas CA Ótimo Max. Lucro e Utilidade e CA Guloso Max. Lucro e Utilidade. Os valores apresentados na figura representam a média do ganho de utilidade acumulado em cada execução de simulação, sendo que o ganho fornecido por cada conexão para a qual o controle de admissão reserva taxa extra é dado pela função $u_i * extraTR_{ij}$. Em todos os cenários simulados, a política gulosa forneceu maior ganho de utilidade do que a política ótima. Em contrapartida, conforme mostrado na Figura 2, a política ótima permite que o provedor obtenha maiores valores de lucro. Para ambas as políticas, o ganho de utilidade reduz com o aumento da taxa de chegada de conexões. Isso acontece porque, quando a rede está sobrecarregada, o ganho obtido com a admissão de novas conexões UGS é maior do que o ganho obtido com a alocação de taxa extra para uma conexão admitida. Uma nova conexão UGS fornece um ganho de 4 unidades para cada 1 Kbps, enquanto a alocação de taxa extra para uma conexão rtPS, que é o serviço que oferece o maior ganho de utilidade, fornece um ganho de 3 unidades para cada 1 Kbps. Esse fato se reflete nos resultados de probabilidade de bloqueio do serviço UGS quando se utilizam as políticas CA Ótimo Max. Lucro e Utilidade e CA Guloso Max. Lucro e Utilidade. Caso o provedor de serviço tenha interesse em obter maior ganho de utilidade, ainda que sacrificando o lucro, ele pode aumentar as taxas de ganho de utilidade fornecidas por cada tipo de serviço.

Embora não apresentado neste artigo por limitação de espaço, as políticas propostas foram testadas em conjunto com o escalonador *uplink* proposto em [Borin e Fonseca 2009] para avaliar se seriam capazes de auxiliar o mecanismo de escalonamento na provisão de QoS. Resultados de simulação mostram que as políticas propostas evitam a saturação do canal sem fio de forma que os recursos disponíveis sejam suficientes para o escalonador garantir os requisitos de QoS de cada conexão admitida.

Resultados de latência foram derivados para as conexões UGS e ertPS para verificar se elas recebiam *grants* periódicos conforme especificado pelo padrão, e para conexões rtPS para verificar se o requisito de latência máxima seria violado. Além disso, resultados de vazão foram derivados para conexões rtPS e nrtPS para verificar se o requisito de taxa mínima era respeitado.

Os resultados de latência e vazão foram similares para todas as políticas propostas, indicando que, em termos de provisão de QoS, o provedor de serviços poderia utilizar a política de admissão CA Simples que é a de implementação mais simples. Caso o provedor também queira maximizar o lucro e a utilidade, a política CA Guloso Max. Lucro e Utilidade é uma opção atrativa, pois é mais fácil de implementar do que a política CA Ótimo Max. Lucro e Utilidade, além de fornecer resultados próximos do ótimo.

As políticas propostas fornecem modelos que atendem as necessidades de cada um dos tipos de serviço definidos no padrão IEEE 802.16 sendo, portanto, compatível com as especificações do padrão, diferente da maioria das propostas disponíveis na literatura. Adicionalmente, os modelos propostos introduzem formas de se maximizar lucro e utilidade, que são fatores importantes para o sucesso dessas redes. Embora não considerada nesse trabalho, a mobilidade pode ser facilmente introduzida nos modelos propostos, por exemplo, considerando que parte da capacidade do canal é reservada para conexões em *handoff*. Desse modo, durante o processo de admissão, a capacidade disponível seria igual a capacidade total menos a soma da capacidade reservada para as conexões existentes com a capacidade reservada para conexões em *handoff*. Para as políticas que maximizam utilidade, seria possível, ainda, estabelecer diferentes taxas de ganho para conexões novas e conexões em *handoff*, dado que o bloqueio de uma conexão em andamento costuma trazer maior insatisfação para um usuário do que o bloqueio de uma nova conexão.

9. Conclusão

Este artigo introduziu cinco novas políticas de controle de admissão para o padrão IEEE 802.16. Estas políticas restringem o número de conexões simultaneamente presentes na rede para que o escalonador tenha recursos suficientes para atender os requisitos de QoS de cada conexão, ao mesmo tempo em que atendem as expectativas do provedor de serviço, através da maximização do lucro, e dos usuários, através da disponibilização de recursos extras, além do combinado no contrato de admissão.

Dentre as políticas de controle de admissão propostas, as políticas que maximizam lucro e utilidade fornecem melhores resultados de lucro do que aquelas que maximizam apenas o lucro, com a vantagem de também maximizarem a satisfação do usuário. Nas políticas que não maximizam utilidade, quando há sobra de recursos, o escalonador faz o compartilhamento desses recursos sem levar em conta ganhos de utilidade.

Referências

- IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*. IEEE Std802.16-2004, 2004.
- IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*. Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, 2005.
- 3rd Generation Partnership Project 2 3GPP2 (1999). *Enhanced Variable Rate Codec (EVRC)*. 3GPP2 C. S0014-0, Versão 1.0.
- Brady, P. (1969). *A model for generating On-Off speech patterns in Two-Way conversations*. Bell System Technical Journal, vol. 48, pg. 2445-2472.
- Barford, P. e Crovella, M. (1998). *Generating representative web workloads for network and server performance evaluation*. Anais do ACM SIGMETRICS Conference, pg. 151-160.
- Borin, J. F., e Fonseca, N. L. S. (2008). *Simulator for WiMAX networks*. Simulation Modeling Practice and Theory, vol. 16, no. 7, pg. 817-833.
- Borin, J. F. e Fonseca, N. L. S. (2009). *Uplink Scheduler and Admission Control for the IEEE 802.16 standard*. Anais do IEEE Globecom, pg. 1-5.
- Chen, J., Jiao, W., Wang, H. (2005). *A Service Flow Management Strategy for IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Systems in TDD Mode*. Anais do IEEE International Conference on Communications, pg. 3422-3426.
- Jakkakorpi, J. e Sayenko, A. (2009). *Measurement-Based Connection Admission Control Methods for Real-Time Services in IEEE 802.16e* Anais do CTRQ'09, pg. 37-41.
- Rong, B. et alli (2008). *Call Admission Control Optimization in WiMAX Networks*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 57, no. 4, pg. 2509-2522.
- Seeling, P., Reisslein, M. e Kulapala, B. (2004). *Network Performance Evaluation Using Frame Size and Quality Traces of Single-Layer and Two-Layer Video: A Tutorial*. IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 6, no. 2, pg. 58-78.
- The Network Simulator - ns-2*. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2002.
- Wang, L., Liu, F., Ju, Y., e Ruangchaijatupon, N. (2007a). *Admission control for non-preprovisioned service flow in wireless metropolitan area networks*. Anais do Fourth European Conference on Universal Multiservice Networks, pg. 243-249.
- Wang, H., He, B., e Agrawal, D. P. (2007b). *Above packet layer level admission control and bandwidth allocation for IEEE 802.16 wireless MAN*. Simulation Modeling Practice and Theory, vol. 15, no. 14, pg. 266-382.