

Renegociação Dinâmica de Largura de Banda para Chamadas Pós-Admitidas em Redes Celulares Comutadas a Pacotes

Hermes Irineu Del Mo-
nego
LASD – CEFET/PR
Curitiba-PR - Brasil
hermes@cpgei.cefetpr.br

Eliane Lucia Bodanese
ELEC – QMUL/UK
London – Reino Unido
elia-
ne.bodanese@elec.qmul.ac.uk

Luiz Nacamura Jr
LASD – CEFET/PR
Curitiba-PR – Brasil
nacamura@dainf.cefetpr.br

Richard Demo Souza
LASD – CEFET/PR
Curitiba-PR - Brasil
richard@cpgei.cefetpr.br

Resumo: Apresentamos uma estratégia de alocação dinâmica de largura de banda através de renegociação. Esta estratégia consiste em aproveitar os recursos subutilizados pelos fluxos na rede, alocando-os para fluxos que necessitem de maior largura de banda. Estas aplicações, que não são sensíveis ao atraso, podem ser admitidas pelo CAC (Controle de Admissão de Chamadas) com largura de banda inferior, isto é, com o valor de largura de banda disponível no momento de sua admissão. Resultados de simulação comprovam a funcionalidade do método proposto.

Palavras-Chave — Alocação de Recursos, Renegociação dinâmica, Largura de Banda, QoS.

Abstract: In this paper, we present a dynamic bandwidth allocation strategy based on renegotiation. This strategy consists in exploring unused resources in the network and allocating them to non delay sensitive flows whose request for bandwidth was greater than the one allocated to them at admission time. Simulation results show the effectiveness of the proposed scheme.

Index Terms— Resource Allocation, Dynamic Renegotiation, Bandwidth, QoS.

I - INTRODUÇÃO

Pesquisas direcionadas para a provisão de Qualidade de Serviço (QoS) em redes celulares comutadas a pacotes, tais como GPRS, EDGE e UMTS [1], continuam avançando. Estas pesquisas são realizadas com o intuito de prover qualidade de serviço fim a fim privilegiando o tráfego em tempo real, onde a sensibilidade ao atraso é relevante [2].

Baseado nessa demanda, em [4] é apresentada uma estratégia de renegociação de QoS a partir de um paradigma de controle de admissão de chamadas orientada a prioridade para serviços multimídias em sistemas UMTS. Em [5] é proposto um conjunto de escalonadores como forma de garantir um valor mínimo de largura de banda para as aplicações. O restante da largura de banda não utilizada é distribuído entre os fluxos ativos. Já em [6] é introduzido um sistema de renegociação para tráfego VBR durante a execução da chamada. Um esquema de alocação de recurso é apresentado em [7], o qual garante QoS para as aplicações em tempo real, sem prejuízo para as aplicações não tempo real. Mecanismos similares são também apresentados em [8-12]. Diferentes estratégias de CAC (Controle de Admissão de Chamadas) são apresentadas em [13-16] com o objetivo de regular o tráfego na rede e promover QoS em redes sem fio.

Neste artigo apresentamos um mecanismo que visa permitir a renegociação de largura de banda para chamadas

pós-admitidas. O modelo proposto em [16] é utilizado como mecanismo de CAC e escalonamento. Tal mecanismo é implementado privilegiando tráfego em tempo real, deixando em segundo plano tráfegos menos prioritários como e-mail, ftp e www. Com base neste princípio, o esquema de renegociação proposto faz uso de recursos eventualmente subutilizados pelas aplicações mais prioritárias. Outra possibilidade de aumento da largura de banda é quando o fluxo de dados de uma aplicação termina. Neste caso, os recursos são alocados para as aplicações com menor prioridade e que foram aceitas no CAC com largura de banda menor do que a solicitada.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção II é apresentada a estrutura do sistema GSM/GPRS/EDGE utilizado como referência neste trabalho. O esquema de renegociação proposto é apresentado na Seção III. A implementação do modelo e a simulação de dois cenários hipotéticos, onde demonstram a funcionalidade do sistema de renegociação são apresentados nas seções IV e V, respectivamente. A Seção VI discute a implantação do sistema de renegociação no modelo de referência EDGE. A Seção VII conclui o artigo.

II - MODELO DO SISTEMA

Considerado como um subsistema dentro do padrão GSM, o GPRS introduziu a comutação a pacotes nas redes GSM. A tecnologia EDGE, por sua vez, foi introduzida nas redes GSM/GPRS para aumentar as taxas de dados no enlace de rádio, podendo ser usada para transmitir voz e dados através da comutação por pacotes ou por circuitos [17].

A estrutura de uma rede GPRS é ilustrada na Figura 1. O subsistema sem fio GSM/GPRS (base da tecnologia EDGE) consiste de várias estações móveis (MS) que podem acessar a rede de comunicação via estação base (BS) através de um enlace sem fio. O núcleo da rede GPRS utiliza os nós GSN (*GPRS Support Nodes*) para suportar o roteamento de pacotes.:

1. O GGSN (*GPRS Gateway Support Node*) atua como uma interface lógica para as redes de pacotes externas.
2. O SGSN (*Serving GPRS Support Node*) é responsável pela entrega dos pacotes para a MS através de uma ou mais BS de uma área de cobertura.

O perfil de QoS do GPRS é definido em termos das seguintes classes [2]: *conversational*, *streaming*, *interactive*, e *background*. As classes de QoS estabelecem as características fundamentais dos serviços, sendo que a principal diferenciação entre elas se dá pela sensibilidade ou não ao atraso [2]. As

classes *conversational* e *streaming* estão associadas ao tráfego em tempo real e, portanto, são sensíveis ao atraso, ao contrário das classes *interactive* e *background* que são mais sensíveis a perda de informação e muito menos ao atraso. Uma das propostas apresentadas na literatura para prover QoS em redes GPRS/EDGE consiste em garantir o desempenho desejado para as quatro classes. O protocolo suporta a reserva de largura de banda por sessão para classes de tráfego *streaming* e prioriza a reserva por demanda para classes de tráfego *interactive* e *conversational*. No sistema, o protocolo de CAC busca maximizar o número de fontes de tráfego por sessão sobre o meio sem fio mantendo a garantia dos requisitos de QoS.

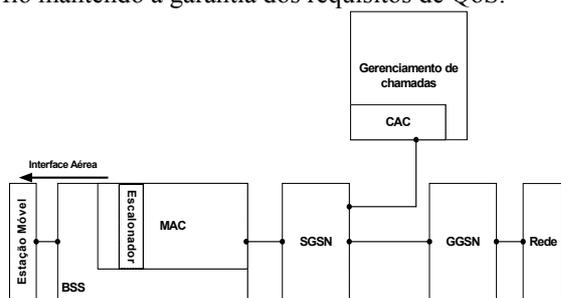


Figura 1 Modelo de sistema celular comutado a pacotes.

O esquema de admissão pode ser estático ou dinâmico [18]. No sistema estático é designada uma prioridade de acesso mais alta para os pedidos de *handoff* através do estabelecimento de um limite de capacidade maior em relação a novas chamadas. No esquema de alocação dinâmica é proposta a adaptação do número de canais disponíveis para *handoff* de acordo com a estimativa corrente da taxa de chegada de pedidos de *handoff*. Uma outra abordagem dinâmica consiste em estender o esquema para controlar múltiplas classes de tráfego. Este trabalho propõe uma extensão desta última abordagem e consiste em renegociar a largura de banda de aplicações já admitidas em cada uma das classes, sem considerar os *handoffs*. Esta renegociação é feita com base no valor médio da largura de banda efetivamente utilizada por cada fluxo de dados, e na largura de banda liberada pelo término de outros fluxos.

III - ESQUEMA DE RENEGOCIAÇÃO

O mecanismo de CAC proposto em [16] é utilizado como base deste trabalho, e consiste em associar diferentes prioridades às classes de QoS. As aplicações que compõem a classe *conversational*, associadas à prioridade 1 (máxima), só são admitidas se no momento da solicitação existir largura de banda suficiente para atender a demanda. A prioridade 2 (intermediária) é associada às aplicações da classe *streaming* e apresenta o mesmo comportamento da classe anterior. A prioridade 3 (menor prioridade) está associada às aplicações das classes *interactive* e *background*. As aplicações com esta prioridade podem ser aceitas com largura de banda menor do que a solicitada. Caso isto ocorra, a largura de banda alocada permanece constante independente da disponibilidade de largura de banda futura no sistema. Outra limitação deste mecanismo de CAC é que mesmo que as aplicações com prioridade 1 e 2 não utilizem a largura de banda admitida o recurso ocioso não pode ser utilizado por outras aplicações.

O mecanismo de renegociação proposto tem como objetivo permitir que aplicações de prioridade 3 possam utilizar, temporariamente, mais largura de banda do que a admitida pelo mecanismo de CAC. Esta possibilidade pode ser decorrente do fato das aplicações com prioridade 1 ou 2 não estarem utilizando o total de largura de banda reservada, ou decorrente do término de uma aplicação. Caso uma chamada associada à aplicação de prioridade 1 ou 2 chegue e o sistema não possua largura de banda suficiente para admitir a chamada, e existam aplicações com prioridade 3 utilizando largura de banda suplementar à admitida, o mecanismo de renegociação reduz a largura de banda destas aplicações para a largura de banda inicialmente alocada. Em síntese, o mecanismo de renegociação consiste em aumentar a largura de banda das aplicações de prioridade 3 quando existe sobra de recursos no sistema, e reduzir a largura de banda destas aplicações (prioridade 3) quando da chegada de aplicações associadas às prioridades 1 e 2. Neste último caso, ocorre o que denominamos *renegociação por demanda de prioridade*. O outro tipo de renegociação, denominada de *renegociação pela média ou pelo final de fluxo* ocorre, respectivamente, quando a média da largura de banda utilizada pelas aplicações de prioridade 1 ou 2 é inferior à admitida ou quando uma aplicação termina.

A- Renegociação pela Média da Utilização da Largura de Banda

A função de renegociação pela média da utilização da largura de banda calcula a subutilização da largura de banda atribuída ao fluxo admitido. Se de alguma forma a largura de banda que está sendo utilizada for menor que a atribuída, então a renegociação iniciar-se-á propondo o uso desta sobra para fluxos com menor prioridade.

O cálculo da utilização média da banda é feito da seguinte forma. Amostras dos fluxos são medidas pela função de monitoração. A quantidade de bytes de cada fluxo é acumulada durante um intervalo de tempo Δt . Em cada Δt obtém-se um valor parcial médio dividindo a quantidade de bytes transmitidos pelo período Δt ¹. Desse modo, a n -ésima amostra da largura de banda média é calculada pela expressão:

$$\overline{Bm}_n = \frac{\sum_{p=1}^P Psize_{p_n}}{\Delta t_n} \quad (1),$$

onde $Psize_p$ é o tamanho do pacote, Δt é a duração de cada amostra e P é o número de pacotes. Sendo assim, para obtermos a largura de banda média total sendo utilizada tem-se:

$$\overline{Bm}_t = \frac{\overline{Bm}_1 + \overline{Bm}_2 + \overline{Bm}_3 + \dots + \overline{Bm}_N}{N} \quad (2),$$

onde N é o número de amostras.

¹ Na realidade calculamos a taxa de transmissão média, e não a largura de banda. Entretanto, neste artigo usamos os termos taxa de transmissão e largura de banda de forma equivalente.

Seguindo a distribuição normal, pode-se dizer que o cálculo desta média torna-se confiável quando número de amostras é superior a 30, isto é, $N > 30$ [20]. O desvio padrão das amostras pode ser determinado através da raiz quadrada da variância:

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (\overline{Bm_n} - \overline{Bm_t})^2}{N-1}} \quad (3)$$

Para se determinar a estimativa final da largura de banda total sendo usada, B_t , utiliza-se intervalos de confiança. Como o desvio padrão calculado é apenas da amostra e não da população total, podemos recorrer à distribuição t de *student* [20], para afirmar com uma alta confiabilidade que a largura de banda total sendo utilizada está dentro do intervalo:

$$\left[\overline{Bm_t} - t_{N-1} \frac{\sigma_p}{\sqrt{N}}; \overline{Bm_t} + t_{N-1} \frac{\sigma_p}{\sqrt{N}} \right] \quad (4)$$

onde, t_{N-1} é a constante t de *student* para $N-1$ amostras.

Como uma medida conservadora, utilizou-se o valor limite superior de (4) como a estimativa para B_t . Diante disso, pode-se determinar a diferença entre o valor admitido pelo CAC (B_{wCAC}) e a estimativa da largura de banda sendo utilizada:

$$B_\Delta = B_{wCAC} - B_t \quad (5)$$

onde B_Δ corresponde ao valor de largura de banda subutilizada que poderá ser renegociado.

B- Renegociação pelo Término do Fluxo

A renegociação pelo término do fluxo consiste em alocar largura de banda para um fluxo menos prioritário quando um determinado fluxo é finalizado. A largura de banda liberada pode então ser adicionada a todo fluxo alocado em que a largura de banda é menor do que a largura de banda admitida.

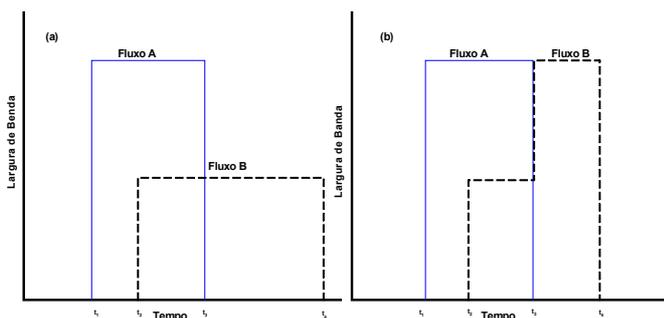


Figura 2: (a) Disposição sem renegociação (b) Disposição com renegociação.

A Figura 2-(a) demonstra um exemplo da disposição dos fluxos sem a renegociação. Neste caso, embora o fluxo A tenha terminado, o fluxo B permanece com a mesma largura de banda. Já a funcionalidade associada à renegociação é mostrada na Figura 2-(b). Observe que quando o fluxo A termina a função de renegociação é invocada e o fluxo B é aumentado até o limite solicitado. Neste caso, o fluxo B permanece constante até o final com sua largura de banda máxima.

IV - SIMULAÇÃO DO MODELO DE RENEGOCIAÇÃO

O modelo de renegociação foi implementado no NS-2 [21]. Foram definidos dois cenários hipotéticos com o objetivo de verificar o comportamento do fluxo das aplicações com e sem o mecanismo de renegociação proposto. No primeiro cenário são gerados fluxos de ftp, voz, telnet e e-mail. O segundo cenário, mais complexo, envolve fluxos de vídeo, música, e-mail, telnet e www. A Tabela 1 apresenta as classes de QoS associadas a cada uma destas aplicações.

Tabela 1: Associação das classes de QoS com as aplicações.

Classe de QoS	Prioridade	Aplicação
<i>Conversational</i>	1	telnet, voz
<i>Streaming</i>	2	música, vídeo
<i>Interactive</i>	3	ftp, www
<i>Background</i>	3	e-mail

Na simulação utilizamos as fontes do próprio NS-2 para os tráfegos associados às aplicações telnet, ftp, música e voz. Para as aplicações de vídeo e www foram utilizados os *traces* disponíveis, respectivamente, em [22] e [23]. Para o tráfego de e-mail foram utilizados os *traces* disponíveis em [24] e [25]. A duração média de cada serviço foi baseada em [2],[9],[19],[25] e [26]. A Tabela 2 apresenta um resumo dos parâmetros utilizados na simulação do modelo.

Tabela 2: Parâmetros da simulação.

Aplicação	Largura de banda	Duração média das chamadas (min-max)	Tempo de interchegada
Telnet	1,11 Kbps	3 minutos (30s - max)	Exponencial
Voz	4-25 Kbps	3 minutos (60s - max)	Constante
Música	5-128 Kbps	3 minutos (60s - max)	Constante
Vídeo	20-384 Kbps	6 minutos (100s - Max)	24 quadros por segundo
Ftp	< 384 Kbps	2 minutos (30s - max)	Exponencial
E-mail	4,4 Kbps	30 segundos (10s - 120s)	Exponencial
www	-		Exponencial

V - RESULTADOS E ANÁLISE DA SIMULAÇÃO

Um dos valores que deve ser definido para a simulação é a largura de banda solicitada ao mecanismo de CAC por aplicação. A Tabela 3 apresenta os valores de largura de banda solicitada ao CAC para cada tipo de aplicação considerando os limites estabelecidos na Tabela 2. Este valor indica, por exemplo, que em uma chamada ftp a largura de banda solicitada é de 85 Kps. Como o ftp é uma aplicação de prioridade 3, a largura de banda alocada pode ser inferior a este valor. No caso de aplicações com prioridade 1 ou 2, como é o caso do telnet, a largura de banda solicitada é de 1,1 Kbps e a chamada somente

pode ser admitida no sistema se este valor de largura de banda estiver disponível.

Tabela 3: Largura de banda solicitada ao CAC para cada aplicação do cenário 1.

	Aplicações			
	telnet	voz	ftp	e-mail
Banda solicitada (Kbps)	1,11	21,3	85	4,4

A Figura 3 ilustra o resultado da simulação do comportamento dos fluxos das aplicações considerando apenas o modelo de CAC proposto em [16] e o primeiro cenário de simulação. A análise da Figura 3 permite verificar que embora as aplicações de ftp1 e ftp2 solicitem a mesma largura de banda (85 Kbps), a segunda (ftp2) recebe apenas um parcela, pois não existem recursos suficientes (largura de banda) no sistema para alocar o total solicitado. Os fluxos das aplicações de telnet e voz, por serem de alta prioridade, são admitidos com os valores máximos solicitados, respectivamente 1,11 e 21,3 Kbps. O fluxo de e-mail, embora de baixa prioridade, é admitido com o valor máximo solicitado de 4,4 Kbps pois, no momento da chamada, existem recursos suficientes no sistema (o fluxo de voz de 21,3 Kbps encerrou no instante 120s). Note que durante toda simulação o fluxo das aplicações permanece inalterado.

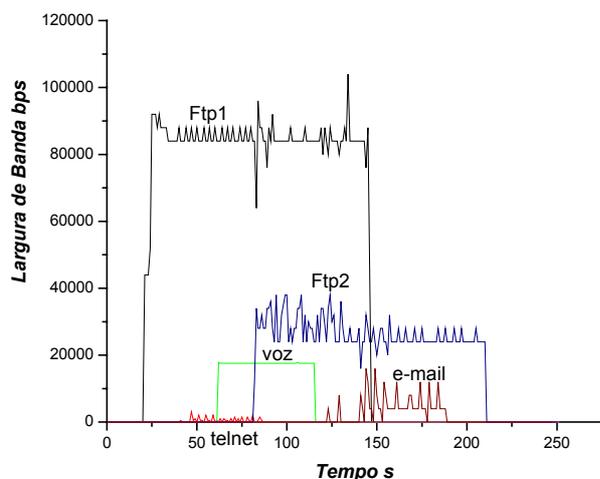


Figura 3: Cenário 1: combinação de fluxos de e-mail, ftp, voz e telnet sem renegociação.

A Figura 4 ilustra o mesmo cenário, porém com o mecanismo de renegociação implementado. Neste caso, os fluxos das aplicações ativas já admitidas são monitorados e o mecanismo de renegociação é acionado no sentido de executar a renegociação *por demanda de prioridade* e pela *média ou final de fluxo*. Note que a aplicação de ftp2 é inicialmente admitida com largura de banda igual a anterior, porém no instante (a) já utiliza uma largura de banda superior ao caso de sem renegociação. No instante (b) a largura de banda é novamente incrementada devido ao aproveitamento da largura de banda liberada pela aplicação de telnet (renegociação pelo final de fluxo). No instante (c) a função de renegociação é novamente

acionada após o final do fluxo de voz aumentando mais uma vez a largura de banda disponível. Finalmente, no instante (d), após o final da aplicação ftp1, a função de renegociação aloca a largura máxima para a aplicação ftp2.

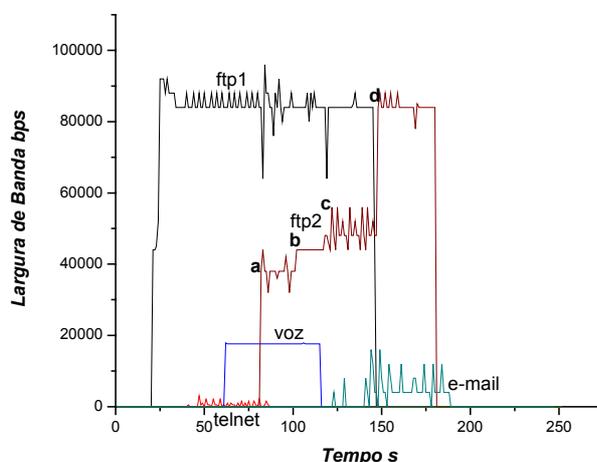


Figura 4: Cenário 1: combinação de fluxos de e-mail, ftp, voz e telnet com renegociação.

A análise dos resultados permite verificar que, para uma taxa solicitada de 85 Kbps pela aplicação ftp2, inicialmente foi alocado apenas 32 Kbps e sucessivamente este valor evoluiu para 38, 44, 56 e 85 Kbps nos estágios (a), (b), (c) e (d). A relação entre a largura de banda alocada e a solicitada (85 Kbps) evoluiu de 44,7% para 100%. O aumento percentual entre a largura de banda alocada com renegociação em relação à sem renegociação, que inicialmente era de 18,7% no estágio (a), passou a 165% no último estágio.

Tabela 4: Análise numérica do tráfego de ftp2.

	Estágio			
	A	b	c	d
Banda alocada (Kbps)	38	44	56	85
Banda alocada em relação à solicitada (85 Kbps)	44,7%	51,7%	65,8%	100%
Aumento em relação à banda sem renegociação (32 Kbps)	18,7%	37,5%	75%	165%

O segundo cenário de simulação é composto por fluxos de vídeo, música, www, telnet e e-mail. Os valores da largura de banda solicitada ao CAC são listados na Tabela 5. A Figura 5 ilustra o resultado da simulação sem renegociação, enquanto que o resultado com o mecanismo de renegociação já implementado é mostrado na Figura 6. Observe que no estágio (f) ocorreu uma redução da largura de banda alocada ao fluxo de www devido à admissão de um tráfego de música. Entretanto, após o final do mesmo tráfego uma parte é recuperada pelo tráfego www (estágio (g)), enquanto que a outra é utilizada pelo tráfego de e-mail que chegou durante a execução da aplicação de música. Este aumento de tráfego e posterior redução indica que ocorreu uma renegociação por demanda de prioridade.

Tabela 5: Largura de banda solicitada ao CAC para cada aplicação do cenário 2.

Banda solicitada (Kbps)	Aplicações				
	e-mail	música	telnet	www	vídeo
	4,4	21,3	1,11	65	85

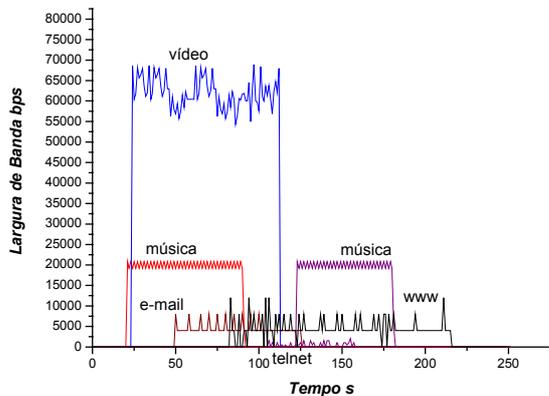


Figura 5: Cenário 2: combinação de fluxos de e-mail, música, telnet, vídeo e www sem renegociação.

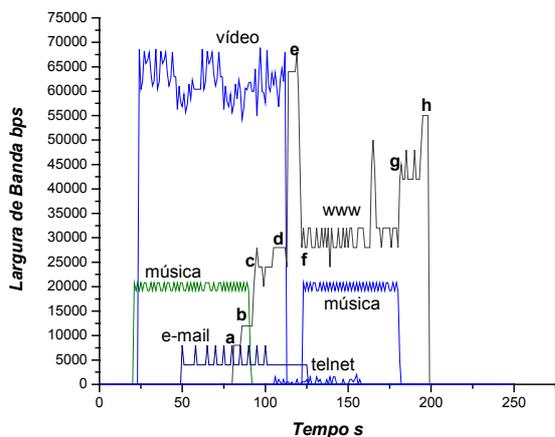


Figura 6: Cenário 2: combinação de fluxos de e-mail, música, telnet, vídeo e www com renegociação.

Tomando como referência o fluxo www, a chamada foi admitida com uma taxa de 8 Kbps, a qual foi progressivamente aumentada até o limite máximo de 65 Kbps. A Tabela 6 ilustra a variação percentual para o fluxo www nos estágios marcados na Figura 6. Observe que no estágio (e) a largura de banda alocada atingiu o seu valor máximo, porém após a admissão do tráfego de música a taxa foi reduzida para 45 Kbps e posteriormente aumentou para 55 Kbps. Como a largura de banda inicial é pequena (8 Kbps) existe uma grande variação percentual da banda alocada quando o mecanismo de renegociação está ativo em relação ao caso sem renegociação. Este resultado indica que o mecanismo proposto apresenta um bom reaproveitamento de largura de banda em sistemas com alta carga, onde as aplicações de prioridade 3 são em geral aceitas

com baixa largura de banda. Nesta situação, o sistema de renegociação aumenta a largura de banda à medida que as aplicações de prioridades maiores vão terminando, e o mesmo mecanismo reduz a largura de banda à medida que aplicações de prioridades maiores vão chegando.

Tabela 6: Análise numérica do tráfego www.

Estágio	Banda alocada	Banda alocada em relação à solicitada (65 Kbps)	Aumento em relação à banda sem renegociação (8 Kbps)
a	8 Kbps	12,3 %	0
b	12 Kbps	18,46 %	50 %
c	24 Kbps	36,92 %	200 %
d	28 Kbps	43,07 %	250 %
e	65 Kbps	100 %	712,5 %
f	28 Kbps	43,07 %	250 %
g	45 Kbps	69,23 %	462,5 %
h	55 Kbps	84,61 %	587,5 %

VI – ARQUITETURA DO ESQUEMA DE RENEGOCIAÇÃO EM UMA REDE GPRS/EDGE

A arquitetura de uma rede GPRS/EDGE tradicional foi apresentada na Figura 1. O esquema de renegociação proposto pode ser implementado nesta rede através da incorporação da função de renegociação no sistema gerenciador de chamadas. Este módulo coleta as informações da utilização de largura de banda na camada MAC e renegocia com o SGSN as alterações da largura de banda das aplicações ativas. A coleta de informações dos fluxos de dados de cada uma das aplicações na camada MAC é feita por uma função de monitoramento. Os dados coletados são, então, transferidos para a função de renegociação. A arquitetura da rede GPRS/EDGE incorporando os módulos de renegociação é apresentada na Figura 7.

VII – COMENTÁRIOS FINAIS

Este artigo apresentou um mecanismo de renegociação que pode ser agregado aos módulos de controle de admissão de chamadas em uma rede GPRS/EDGE. O mecanismo aproveita os recursos subutilizados pelos fluxos na rede, alocando-os para fluxos que necessitem de maior largura de banda, mas sempre privilegiando fluxos de maior prioridade.

O modelo analítico do sistema de renegociação foi implementado no NS-2. Dois cenários hipotéticos foram simulados para mostrar a funcionalidade do mecanismo de renegociação. Os resultados foram analisados utilizando um sistema sem renegociação como referência, e mostram que o esquema proposto pode proporcionar ganhos para os fluxos de prioridade mais baixa. Por fim, mostramos como o módulo de renegociação pode ser incorporado a uma rede EDGE.

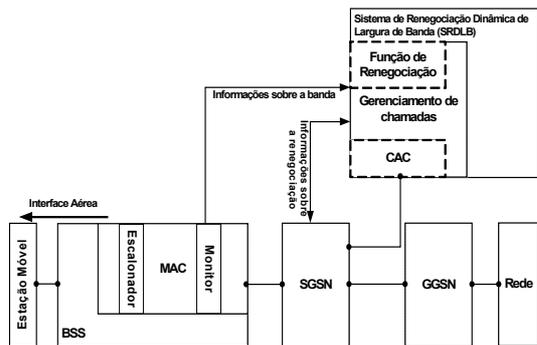


Figura 7: Modelo de sistema celular comutado a pacotes com a inserção do esquema de renegociação.

REFERÊNCIAS

- [1] T. Halonen, J. Romero, J. Melero. *GSM, GPRS, and EDGE Performance Evolution Towards 3G/UMTS*. John Wiley & Sons, 2nd Edition, 2003.
- [2] 3GPP TS 23.107 "UMTS Universal Mobile Telecommunications System, Quality of Service," v. 5.7.0, pp. 1-41. Available: www.etsi.org.
- [3] S. Dixit, Y. Guo, Z. Antoniou, "Resource management and quality of service in third-generation wireless networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, n. 2, pp. 125–33, Feb. 2001.
- [4] F. Y. Li and N. Stol, "A priority-oriented call admission control paradigm with QoS renegotiation for multimedia services in UMTS," *IEEE VTC'01 Spring*, vol. 3, n. 53, pp. 6-9 May 2001.
- [5] T. Yoshimura, M.R. Jeong, N. Imai, H. Morikawa, T. Aoyama, "Minimum bandwidth guaranteed scheduling for wireless and mobile network service," *APCC/OECC'99*, vol. 1, n. 5, pp. 521–524, Oct. 1999.
- [6] D.J. Reininger, R. Dipankar, J. Y. Hui, "Bandwidth renegotiation for VBR video over ATM networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 14, n. 6, pp. 1076–1086, Aug. 1996.
- [7] A. Armstrong and A. Hac, "A new resource allocation scheme for QoS provisioning in microcellular networks," *IEEE ICC'98*, vol. 3, pp. 1685–1689, June 1998.
- [8] S. Kim and P.K. Varshney, "An adaptive bandwidth algorithm for QoS sensitive multimedia cellular networks," *IEEE VTC'02 Fall*, Sep. 2002.
- [9] C. Oliveira, J.B. Kim, T. Suda, "An adaptive bandwidth reservation scheme for high speed multimedia wireless networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, n. 6, pp. 858-874, Aug. 1998.
- [10] C. Xiang and F. Yuguang, "An adaptive bandwidth reservation scheme in multimedia wireless networks," *IEEE GLOBECOM '03*, vol. 5 pp. 2830–2834, Dec. 2003.
- [11] S. Choi, I. Han, D. Ho Cho, "Resource allocation scheme for supporting high data-rate service in an integrated CDMA system," *IEEE ICC'01*, vol. 6, pp. 1733 – 1737, June 2001.
- [12] J. Jiang and T. Lai, "Bandwidth management providing guaranteed call dropping rates for multimedia mobile networks," *IEEE ICME'00*, vol. 2, pp. 963–966, Aug. 2000.
- [13] C. Ho Chang, K. IL Myung, J. K. Sung, "Call admission control using the moving pattern of mobile user for mobile multimedia networks," *IEEE LCN'02*, Nov. 2002.
- [14] J. Jianping and L. Ten-Hwang, "Call admission control vs. bandwidth reservation: reducing handoff call dropping rate and providing bandwidth efficiency in mobile networks," *IEEE ICPP'00*, pp. 21-24, Aug. 2000.
- [15] A. Arregui and J. Dunlop, "Distributed call admission control in partially loaded TDMA systems," *IEEE VTC' 98*, vol. 2, pp. 1361 – 1365, May 1998.
- [16] A. C. B. Kochem and E. L. Bodanese, "A quality of service management scheme over GPRS," *IEEE SoutheastCon, 2003*, pp. 74–80, April 2003.
- [17] "EDGE - Introduction of high-speed data in GSM/GPRS/networks" *White Paper* available in www.ericsson.com.
- [18] O. Yu and S. Khanvilkar, "Dynamic adaptive QoS provisioning over GPRS wireless mobile links," *IEEE ICC'02*, vol. 2, pp. 1100–104, May 2002.
- [19] "Traffic Model for IEEE 802.20 MBWA System Simulations" available in www.ieee.org.
- [20] D. M. Levine, M. L. Berenson, D. Stephan. *Statistics for Managers using Microsoft Excel*, 2nd Ed, Prentice Hall Inc., USA 1999.
- [21] The Network Simulator ns-2, "Documentation. UC Berkeley," available: www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html.
- [22] Trace Files. Available: <http://trace.eas.asu.edu/TRACE/ltvt.htm>.
- [23] Traffic Archive, Available: <http://ita.ee.lbl.gov/html/contrib/NA-SA-http.html>.
- [24] Q. Pang, A. Bigloo, V. C. M. Leung, et al. "Service Scheduling for General Packet Radio Service Classes," *IEEE WNC'99*, vol. 3, pp. 1229-1233, Sep. 1999.
- [25] D. Staehle et al. Source Traffic Modeling of Wireless Applications, Available: www3.informatik.uni-wuerzburg.de/TR/tr261.pdf.
- [26] D. Staehle et al. QoS of Internet Access with GPRS, Research Report, January 2002. Available: <http://www3.informatik.uni-wuerzburg.de/TR/tr283.pdf>.