

# Análise de Desempenho da Rede GSM-GPRS

G. H. S. Carvalho e J.C.W.A. Costa

UFPA—Universidade Federal do Pará – Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação - DEEC  
Av. Augusto Corrêa nº 01 – CP:8619, CEP: 66075-900 Belém/PA, BRASIL

**Resumo** ¾ A tecnologia para a transmissão de dados *General Packet Radio Service* (GPRS) é integrada a rede GSM para o uso mais eficiente do espectro de frequência na prestação do serviço de Internet. Entretanto, algumas questões relacionadas ao desempenho do sistema surgem quando se integram essas redes, uma vez que elas compartilham os mesmos recursos da interface aérea. Um modelo analítico baseado na fila M/M/c/c foi desenvolvido neste trabalho para análise dessa rede integrada. O modelo se baseia na preempção dos serviços de voz sob os serviços de Internet para fornecer medidas que informam a disponibilidade dos recursos de rádio e com isso a capacidade de transmissão da rede GPRS para cada perfil de oferta de tráfego de voz na rede GSM.

**Palavras-chaves** ¾ Desempenho de Redes, Redes GSM, Redes GPRS, Fila M/M/c/c

## I. INTRODUÇÃO

Entre as principais limitações apresentadas pelo GSM para a prestação de serviços de Internet estão a alocação de canal por toda a duração da chamada, a conexão indireta com a Internet, e uma baixa taxa de transmissão, limitada a alguns kbits/s, resultando em uma tarifação baseada no tempo de uso do canal e na perda de 50% da capacidade de rádio durante uma aplicação de dados. Como proposta para solução desses problemas, foi criada uma nova tecnologia baseada em comutação por pacote para a prestação do serviço de Internet para a rede GSM, o *General Packet Radio Service* (GPRS) a qual também pode ser usada com o IS-136 [1][2].

Quando integrado na rede GSM, o GPRS compartilha o mesmo recurso de rádio. Então uma questão é levantada, qual o impacto do GPRS na rede GSM? Ou de forma mais específica, qual o impacto da reserva de canais físicos para o GPRS para a prestação do serviço de Internet? Este trabalho apresenta medidas de desempenho baseadas em um modelo analítico, capazes de responder a essas perguntas e ainda outras como os números médios de canais alocados sob demanda e de canais alocados para o GPRS, as capacidades médias máximas e sob demanda de transmissão de dados da rede GSM-GPRS. O modelo utilizado constitui uma fila M/M/c/c representando a interface aérea dessa rede integrada GSM-GPRS uma vez que ela é considerada o ponto crítico do sistema.

Este artigo é organizado como segue. No item II, é feita uma breve introdução da tecnologia GPRS e das informações relevantes dessa tecnologia para o desenvolvimento deste trabalho. No item III, descrevem-se os modelos de sistema e

de tráfego e ainda são derivadas as medidas destinadas à análise de desempenho da rede integrada GSM-GPRS. No item IV, são apresentados e analisados os resultados usando as medidas de desempenho descritas na seção anterior, e no item V são feitas as conclusões finais a respeito das medidas de desempenho apresentadas neste trabalho.

## II. GENERAL PACKET RADIO SERVICE (GPRS)

O GPRS é a solução para serviços de dados e Internet para as redes GSM. Ele fornece um serviço por comutação de pacote, o que significa que os recursos de rádio somente são usados no momento em que há a transferência de dados sob a interface aérea. Dentre os benefícios obtidos pelo uso do GPRS estão a conexão direta com a Internet, tarifação baseada no volume da informação, tempo de conexão “imediato”, capacidade de até 171 Kbits/s e uso eficiente do espectro de frequência. Para a rede GPRS se integrar a GSM é necessário o uso de uma nova classe de nós de redes conhecida como GSN (*GPRS Support Nodes*). Os GSNs são responsáveis pela entrega e pelo roteamento de pacotes de dados entre as estações móveis e as redes de dados externas. O *Serving GSN* (SGSN), é responsável pela entrega dos pacotes de dados de e para as estações móveis dentro de sua área de serviço, entre suas funções estão: roteamento e transferência de pacote, gerenciamento, autenticação e funções de bilhetagem. O outro nó de suporte é o *Gateway GSN* (GGSN), que é responsável pelo interfaceamento entre a rede GPRS e a rede de dados externa. Ele também executa tarefas como roteamento e transferência de pacotes e bilhetagem [1][2]. Pertencentes a rede GSM, tem-se ainda a estação móvel do usuário, UM. A *Base Transceiver Station* (BTS) atuando como uma interface entre a rede integrada e o usuário. A *Base Station Controller* (BSC), que monitora e controla várias BTS. A interface Abis, que conecta a BTS a BSC. Esse enlace possui a capacidade de 16 kbits/s [1][3]. A fig. 1 mostra a estrutura da rede integrada GSM-GPRS.

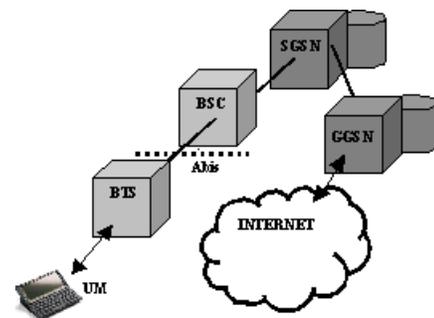


Fig. 1. Estrutura da rede GPRS

O GPRS fornece serviços ponto-a-ponto (PTP), ponto-a-multiponto, SMS e serviços não padronizados [2]. No contexto deste trabalho, o ponto mais interessante dentro da arquitetura GSM-GPRS é a interface aérea (camada física), uma vez que este trabalho é baseado na análise do uso dos recursos de rádio disponíveis na rede. Na interface aérea é feita uma combinação de FDMA-TDMA para o múltiplo acesso. Duas bandas de frequência de 25 MHz são utilizadas, uma para o *uplink* e outra para o *downlink*. Cada banda é dividida em 124 canais de frequência. Cada canal desses é dividido em oito *time slots* que formam um quadro TDMA de duração 4,613 ms. Dessa forma, a duração de cada *time slot* é 576,9µs. A recorrência de um *time slot* define um canal físico. O canal físico destinado ao tráfego GPRS é chamado de *Packet Data Channel* (PDCH) [1].

A alocação de um canal físico para o GSM é diferente da alocação do PDCH. Como o GSM é uma tecnologia de comutação de circuito, o canal é permanentemente alocado durante todo o tempo da chamada. Por outro lado, sendo o GPRS uma tecnologia de comutação de pacote, o PDCH é alocado somente quando pacotes estão sendo enviados ou recebidos, o que otimiza o uso dos recursos de rádio [1][4]. Essa estratégia torna o uso do espectro de rádio mais eficiente pois ela adapta o uso desses recursos a característica de tráfego em rajada encontrada no tráfego de pacotes. Assim, é permitido que o mesmo PDCH seja compartilhado com outros usuários, o que é chamado multiplexagem estatística [1]. O número de PDCH alocado, depende da demanda de tráfego na célula. Além disso, os canais físicos GSM disponíveis, podem ser alocados ao GPRS, como PDCH sob demanda, para aumentar a qualidade de serviço prestada. Entretanto, eles são desalocados quando uma chamada de voz GSM é solicitada, devido a prioridade desse serviço GSM sob os serviços GPRS [1][3][4].

Quatro esquemas de codificação podem ser usados no GPRS para garantir a integridade dos dados transmitidos, são eles: CS-1, CS-2, CS-3 e CS-4. Para evitar o redimensionamento da interface Abis (ver fig.1) é aconselhável o uso da codificação CS-2 que permite taxas de 13,4 kbits/s. Assim, quando os oito *time slots* estão sendo usados, obtém-se uma taxa de 107,2 kbits/s. Na prática, devido a multiplexagem estatística a razão de bits disponível para o usuário é bem menor. A CS-3 permite taxas de 15,6 kbits/s, entretanto com todo o *overhead* essa taxa excede o valor de 16 kbits/s que é a capacidade dessa interface como citado anteriormente [1][3].

### III. ANÁLISE DE TRÁFEGO

#### A. MODELO DE SISTEMA

Cada BTS da rede integrada GSM-GPRS recebe um grupo de  $N$  canais físicos, onde  $N_{GPRS}$  são alocados exclusivamente como PDCH, e o restante,  $N_{GSM} = N - N_{GPRS}$ , são alocados para o GSM, ou ainda, como canais sob demanda para o GPRS, conforme citado anteriormente. O sistema possui ainda um *buffer*, que armazena os pacotes IP quando todos os canais físicos estão ocupados. A análise do comportamento

desses pacotes IP e seu impacto no sistema não foi considerada nesta fase do trabalho.

1) *PREEMPÇÃO DAS CHAMADAS GSM*: Preempção é a prioridade atribuída a uma entidade que permite com que ela entre no serviço imediatamente ao chegar no sistema [6]. Por esse motivo, as chamadas GSM são imediatamente atendidas, fazendo com que os serviços pertencentes ao domínio de comutação de pacote sejam transparentes para elas [3][4].

#### B. MODELO DE TRÁFEGO

O modelo considerado neste trabalho, constitui a interface aérea de uma célula de uma rede integrada GSM-GPRS, na qual as chamadas de voz são encaminhadas para o domínio de comutação por circuito, enquanto os pacotes de dados são encaminhados para o domínio de comutação por pacote. Como em outros modelos [7], as chamadas de voz são geradas na célula de acordo com processos de Poisson independentes, com razão média de chegada de  $I_{GSM}$ . O processo de chegada da chamada GPRS também constitui um processo de Poisson com razão média de chegada de  $I_{GPRS}$ . Esses dois eventos são mutuamente independentes. O tempo médio de duração de uma chamada GSM  $T_{GSM}$  é uma variável aleatória distribuída exponencialmente com valor médio igual a  $1/m_{GSM}$  onde  $m_{GSM}$  é a razão de partida de uma chamada de voz GSM [4][5].

#### C. MEDIDAS DE DESEMPENHO

Devido a preempção das chamadas de voz GSM, o comportamento do sistema para serviços de voz pode ser modelado por uma fila M/M/c/c, onde  $c = N_{GSM}$ . Assim, probabilidade de bloqueio  $P_B$  desse serviço será dada pela fórmula de Erlang B. O Tráfego escoado de voz  $T_{RAF}$ , que reflete o uso dos canais físicos para uma dada oferta de tráfego, é dado pelo número médio de chamadas nessa fila. Assim,  $T_{RAF}$ , será [4][7]:

$$T_{RAF} = E[n] = \sum_{n=1}^{N_{GSM}} n \cdot p(n), \quad (1)$$

onde  $p(n)$  é a probabilidade do estado de equilíbrio desse sistema de fila, dada por [6]:

$$p(n) = \frac{\left(\frac{I_{GSM}}{m_{GSM}}\right)^n}{\sum_{i=0}^{N_{GSM}} \left(\frac{I_{GSM}}{m_{GSM}}\right)^i}, \quad (0 \leq n \leq N_{GSM}). \quad (2)$$

O número médio de canais que pode ser alocados sob demanda  $N_{CSD}$  para o GPRS, é dado pelo número de canais físicos GSM que não estão sendo usados. Assim,  $N_{CSD}$ :

$$N_{CSD} = N_{GSM} - \sum_{n=1}^{N_{GSM}} n.p(n) , \quad (3)$$

$$N_{CSD} = N_{GSM} - T_{RAF} . \quad (4)$$

Por outro lado, o número médio de canais alocados para o GPRS,  $N_{CAG}$ , é dado por todos os canais físicos possíveis destinados ao escoamento do tráfego GPRS, ou seja, canais dedicados mais canais sob demanda. Assim,  $N_{CAG}$ :

$$N_{CAG} = N_{GPRS} + N_{CSD} \quad (5)$$

$$N_{CAG} = N - T_{RAF} . \quad (6)$$

Usando as medidas (4) e (6) é possível calcular duas medidas de extrema importância para a análise de desempenho da rede integrada GSM-GPRS. A primeira delas é a capacidade média máxima de transmissão de pacotes  $C_{MAX}$  sob determinada quantidade de tráfego de voz. Essa medida é dada pelo produto do  $N_{CAG}$  pela taxa de dados da codificação usada, que, no caso deste trabalho, é 13,4 kbits/s. Assim,  $C_{MAX}$  é dado por:

$$C_{MAX} = 13,4.N_{CAG} \text{ (kbits/s)} . \quad (7)$$

A segunda medida é a capacidade média de transmissão sob demanda  $C_{MAXD}$ . Tal como (7), essa medida é dada por:

$$C_{MAXD} = 13,4.N_{CSD} \text{ (kbits/s)} . \quad (8)$$

#### IV. RESULTADOS

A tabela I mostra os parâmetros usados para a análise da rede integrada GSM-GPRS. Os parâmetros são agrupados em dois modelos, o da rede integrada GSM-GPRS e o de tráfego.

TABELA I - PARÂMETROS USADOS PARA A SIMULAÇÃO

MODELO	PARÂMETROS	VALOR
MODELO DA REDE INTEGRADA GSM-GPRS	Número de canais físicos ( $N$ )	20
	Número de PDCH ( $N_{GPRS}$ )	(0,1,2,4)
	Razão de transferência de um PDCH (CS-2)	13,4 kbits/s
MODELO DE TRÁFEGO	Porcentagem de usuário GSM	95%
	Porcentagem de usuário GPRS	5%
	Tempo médio de duração de uma chamada GSM $T_{GSM}$	2 min
	Razão de chegada da rede $I = I_{GSM} + I_{GPRS}$	0.0 – 0.56 cham/s

Para a simulação da rede integrada são usadas quatro configurações da rede, são elas: 0-PDCH, 1-PDCH, 2-PDCH e 4-PDCH. Dessa forma, pode-se avaliar qual o impacto da reserva de um determinado número de canais físicos para o GPRS. Como já mencionado a codificação usada é a CS-2. A razão de chegada de chamadas é variada de forma a se

observar qual o impacto do aumento de tráfego na rede. A percentagem de usuários GSM é de 95%, enquanto os usuários GPRS são apenas 5% [4]. O tempo de duração de uma chamada é 2 min [3][8]. O número de canais físicos totais para a rede integrada GSM-GPRS é de 20.

A fig. 2 mostra o gráfico a probabilidade de bloqueio traçado segundo a fórmula de Erlang B. Verifica-se nessa figura que após aproximadamente 0.3 cham/s a probabilidade de bloqueio de voz é praticamente a mesma para todas as quatro configurações da rede, ou seja, 0-PDCH, 1-PDCH, 2-PDCH e 4-PDCH. Isso significa que a reserva de um determinado número de PDCH não tem um impacto considerável no desempenho da rede integrada após um determinado valor de tráfego oferecido.

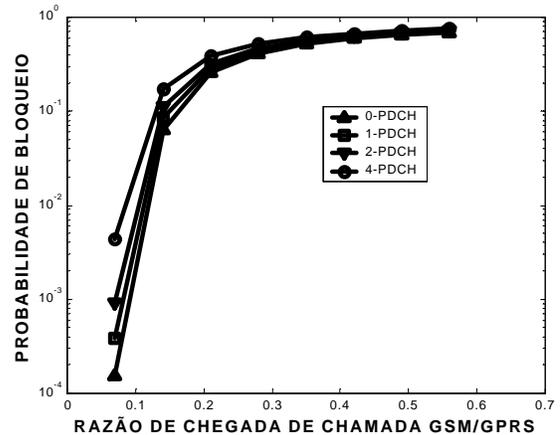


Fig. 2. Probabilidade de bloqueio.

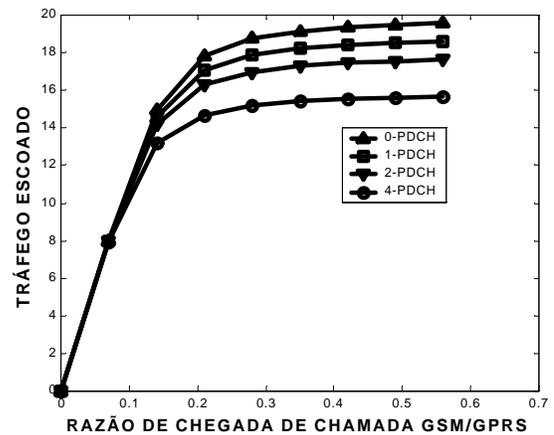


Fig. 3. Tráfego escoado.

Na fig. 3, nota-se que conforme o tráfego de voz na rede aumenta, maior é o uso dos canais físicos nas quatro configurações da rede, sendo a configuração da rede com 0-PDCH aquela que mais escoar o tráfego oferecido. Esse aumento do tráfego de voz na rede GSM faz com que um número menor de canais sob demanda seja disponível para o serviço de Internet no GPRS, devido a preempção do serviço de voz sob os outros serviços GPRS. Assim, como mostra a

fig. 4, o número médio de canais alocados sob demanda para o GPRS se aproxima de zero para as quatro configurações da rede, quando o tráfego oferecido se aproxima da carga máxima de 0,56 cham/s. Então, para altos valores de tráfego, os únicos canais realmente disponíveis para o serviço de Internet sob a rede GPRS são os canais reservados, como é mostrado na fig. 5. Dessa forma, o emprego de canais físicos permanentemente alocados como PDCH é de fundamental importância para a prestação de serviço de Internet sob a rede GPRS.

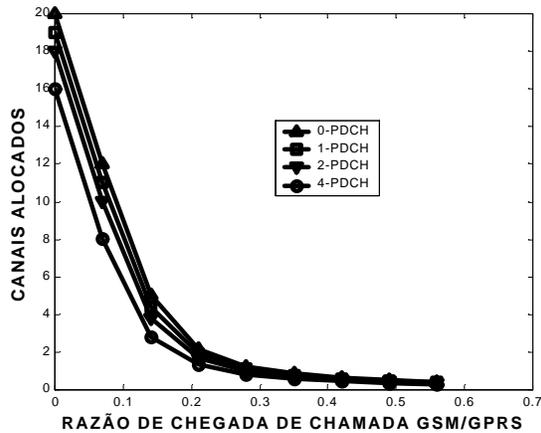


Fig. 4. Número médio de canais alocados sob demanda para o GPRS.

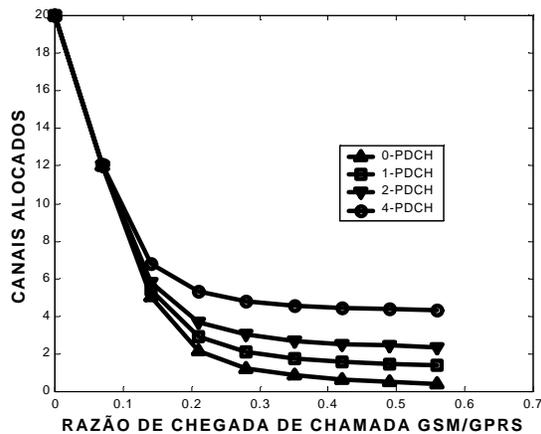


Fig. 5. Número médio de canais alocados para o GPRS.

As fig. 6 e fig. 7 respectivamente, reforçam a análise anterior mostrando que a capacidade de transmissão da rede somente é garantida com o emprego de canais permanentemente alocados como PDCH. Na fig. 6, observa-se que para 0,56 cham/s a rede consegue oferecer com a reserva de canais, para as configurações de 4-PDCH, 2-PDCH, 1-PDCH, taxas médias máximas iguais a 57,85 kbits/s, 31,77 kbits/s, 18,75 kbits/s, respectivamente. Por outro lado, na configuração de 0-PDCH a taxa alcançada é de 5,74 kbits/s, o que mostra que somente a reserva de canais físicos dedicados como PDCH, consegue garantir uma

determinada capacidade de transmissão para os clientes GPRS.

Nessa mesma oferta de tráfego, como se nota na fig.7, as capacidades médias de transmissão sob demanda são de 4,25 kbits/s, 4,97 kbits/s, 5,35 kbits/s e 5,74 kbits/s para as configurações de 4-PDCH, 2-PDCH, 1-PDCH e 0-PDCH, respectivamente, o que mostra que a rede não conseguirá prestar o serviço de Internet com determinada QoS.

Embora uma análise do comportamento dos pacotes IP fosse necessária para determinar exatamente o seu impacto na rede, os gráficos da fig. 6 e fig. 7, mostram o limiar disponível de capacidade de transmissão da rede integrada sob determinada oferta de serviço de voz, que ainda é o serviço que governa o comportamento da rede [7].

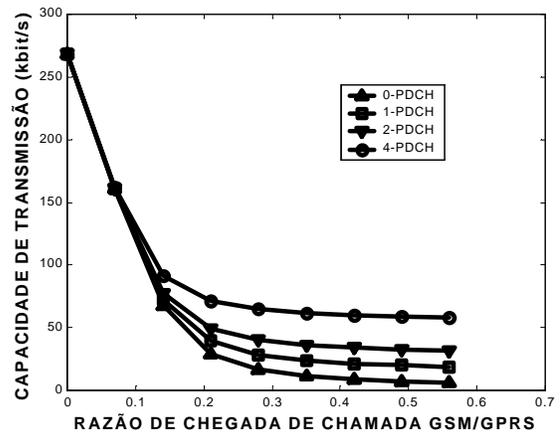


Fig. 6. Capacidade média máxima de transmissão de pacotes.

TABELA II - VALORES DE CAPACIDADES MÉDIAS DE TRANSMISSÃO

CONFIGURAÇÃO	$C_{MAX}$ (kbits/s)	$C_{MAXD}$ (kbits/s)
0-PDCH	11,46	11,46
1-PDCH	23,89	10,49
2-PDCH	36,39	9,59
4-PDCH	61,56	7,96

A tabela II mostra os valores da capacidade média máxima e sob demanda de transmissão para o valor de tráfego oferecido GSM/GPRS igual a 0,35 cham/s. Considerando-se 15 usuários GPRS na rede integrada, e um perfil de QoS que necessite em média 3,5 kbits/s por usuário, então somente a configuração 4-PDCH conseguiria atender essa especificação alcançando aproximadamente 4,0 kbits/s, quando o tráfego oferecido alcançar 0,35 cham/s, pois para essa oferta de tráfego, o valor da capacidade média máxima é 61,56 kbits/s, como mostra a tabela II. As demais configurações degradariam a QoS.

Na tabela II, ainda nesse valor de oferta de tráfego, a capacidade de transmissão sob demanda é de 11,46 kbits/s para a configuração 0-PDCH, que é a configuração que apresenta maior capacidade média de transmissão sob demanda. Isso resulta em 0,76 kbits/s em média por usuário, o que mostra que somente a reserva de PDCH pode garantir a prestação com qualidade dos serviços de Internet.

Dessa forma, as medidas apresentadas neste trabalho são importantes para projetistas de redes que visam analisar a disponibilidade de recursos destinados a transmissão de dados sob a rede, para então dimensioná-los de acordo com a capacidade disponível para o escoamento do tráfego Internet sob a rede integrada.

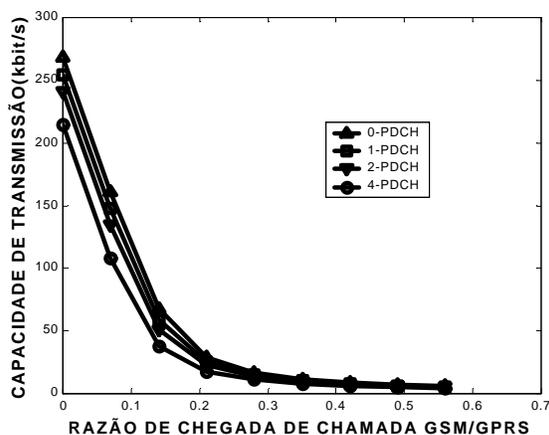


Fig. 7. Capacidade média de transmissão sob demanda

## V. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentadas medidas para a análise de desempenho da rede integrada GSM-GPRS baseadas na preempção do serviço de voz pela rede GSM sob o serviço de Internet pela rede GPRS. Através dos resultados mostrados, foi possível observar que canais físicos dedicados como PDCH garantem a prestação de serviço Internet pela rede GPRS com qualidade, mesmo com uma grande oferta de tráfego, sem comprometer significativamente o serviço de voz sob a rede GSM. Assim, com essas medidas o projetista de uma rede GSM-GPRS, pode estimar qual é a quantidade de PDCH necessária para o emprego do serviço Internet.

O modelo apresentado fornece também a informação da quantidade de recurso de rádio disponível e com isso a capacidade de transmissão que a rede pode fornecer para usuários GPRS, o que é de fundamental importância durante o desenvolvimento de um projeto de implantação de uma rede integrada GSM-GPRS.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento do projeto e ao PPGEE pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. Bettstetter, H. J. Vogel and J. Eberspacher, "GSM Phase 2+. General Packet Radio Services GPRS: architecture, protocols and air interface", *IEEE Communications Surveys*, Third Quarter 1999, vol. 2 no. 3.
- [2] P. Chengyuan, "General Packet Radio Services (GPRS)".
- [3] H. Gudding, "Capacity Analysis of GPRS, white paper", Norwegian University of Science and Technology, Department of Telematic, 2000
- [4] C. Lindemann and A. Thümmler, "Performance Analysis of the General Packet Radio Service", University of Dortmund, Department of Computer Science, Germany, 2001.

- [5] M. Rajaratnam and F. Takawira, "A single Cell model for the performance analysis of the radio layer in the GSM phase 2+ (GPRS) Networks under voice and data traffic", University of Natal, South Africa, 2001.
- [6] D. Gross and C. M. Harris, "Fundamentals of Queueing Theory", John Wiley & Sons, 1974.
- [7] I. Katzela and M. Naghshineh, "Channel Assignment Schemes for Celular Mobile Telecommunications Systems: A Comprehensive Survey", *IEEE Personal Communications*, June 1999.
- [8] M. Mahdavi and R. Tafazolli, "Analysis of integrated voice and data for GPRS", *3G mobile communications technologies, conference publication*, No 471, 2000.