

Talles Alexandre Camilo

**Simulação e Desempenho de Serviço
Integrado de Voz e Dados em Sistemas
Celulares Utilizando o Padrão
GSM/HSCSD**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Rio de Janeiro
Agosto de 2002



Talles Alexandre Camilo

**Simulação e Desempenho de Serviço
Integrado de Voz e Dados em Sistemas
Celulares Utilizando o Padrão
GSM/HSCSD**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio

Orientador: Prof. José Roberto Boisson de Marca

Rio de Janeiro
Agosto de 2002

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Talles Alexandre Camilo

Graduou-se em Ciência da Computação pela UCG (Universidade Católica de Goiás) em 1999.

Camilo, Talles Alexandre

Simulação e desempenho de serviço integrado de voz e dados em sistemas celulares utilizando o padrão GSM/HSCSD / Talles Alexandre Camilo; orientador: José Roberto Boisson de Marca. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2002.

[18], 154 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. GSM. 3. HSCSD. 4. Esquemas de alocação de canais. 5. Ferramenta de simulação. 6. Transmissão de dados. 7. Eficiência espectral. 8. Gerenciamento de recursos rádio. 9. Serviço móvel pessoal (SMP). 10. Modelo de propagação. 11. Modelo de mobilidade. 12. Modelo de tráfego de voz e dados. 13. Controle de potência. 14. Estratégias de Handover. I. Marca, José Roberto Boisson de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3



TALLES ALEXANDRE CAMILO

**Simulação e Desempenho de Serviço
Integrado de Voz e Dados em Sistemas
Celulares Utilizando o Padrão
GSM/HSCSD**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Roberto Boisson de Marca

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Gláucio Lima Siqueira

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Ney Augusto Dumont

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 29 de agosto de 2002

Aos meus pais, Joiza e Vilmar,
aos meus irmãos Tatyana, Tacyo e Taynan
e as minhas sobrinhas Taíza e Izabela.

Agradecimentos

Aos meus pais, Joiza e Vilmar, pelo carinho e amor incondicionais, pela educação e pelo sustento dados durante todo este tempo.

Aos meus irmãos Tatyana, Tacyo e Taynan, pelo apoio e compreensão ao longo dessa difícil jornada.

Ao meu orientador, Prof. José Roberto Boisson de Marca, pela orientação, confiança, amizade e, acima de tudo, pela credibilidade depositada em mim na realização deste trabalho.

À CAPES, pelo fomento da bolsa durante a realização do trabalho.

À PUC-Rio, e em especial ao corpo docente do CETUC, pela contribuição dada para o meu aprendizado profissional na Área de Telecomunicações.

Ao aluno de Iniciação Científica Rafael Santos, pelas contribuições e sugestões dadas durante a implementação da ferramenta de simulação, que foram determinantes para o sucesso deste trabalho.

A todos os meus colegas do CETUC: Ricardo Mendes, Ildelano Silva, Débora Oliveira, Rodrigo Carvalho, Cláudia Quevedo, Leonardo Cruz, Flávia Freitas, Leonardo Brega, Carlos Alexandre, Felipe Mathias, Marcelo Marçal, Marcus Vinícius Lazzari, Luis Resende, Rodrigo Silva, André Luiz Silva, Renato Dummont e André Marques, pela amizade, cooperação e cumplicidade de todas as horas.

Em especial, ao José Antônio Seiblit, à Thelma Virgínia Rodrigues e ao Tiago Travassos Vieira Vinhoza, pelas várias horas de estudos e ensinamentos gastos comigo durante o decurso dos créditos do mestrado. Vocês se tornaram um “porto seguro” de conhecimento para mim, transmitindo-o sem cobrar nada, sempre com muita disposição e satisfação. Muito do conhecimento que tive de adquirir para ultrapassar mais esta etapa de minha vida, devo a vocês. Por isto, o meu sincero “Muito Obrigado!”.

Resumo

Camilo, Talles Alexandre; Marca, José Roberto Boisson de (Orientador). **Simulação e Desempenho de Serviço Integrado de Voz e Dados em Sistemas Celulares Utilizando o Padrão GSM/HSCSD**. Rio de Janeiro, 2002, 180 páginas. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Com o crescimento da utilização das redes celulares para a transmissão de dados, as operadoras de telefonia móvel estão enfrentando um aumento dramático na utilização do recurso rádio para suprir esta nova necessidade. Com isto, estão sendo obrigadas a migrarem para novas tecnologias que propiciem uma alta eficiência espectral, permitindo assim uma melhor utilização do espectro disponível.

Este trabalho descreve uma ferramenta de simulação desenvolvida para analisar o gerenciamento dos recursos de rádio, além de propor um novo algoritmo de alocação de canais de dados para sistemas móveis pessoais, permitindo a transmissão de voz e dados sobre a mesma interface aérea.

É sabido que é extremamente difícil levar em conta todos os parâmetros que devem ser considerados em um sistema móvel real. Procurou-se então adotar os mais conhecidos modelos de propagação, de mobilidade e de tráfego de voz e de dados disponíveis na literatura, de forma a tentar aproximar a ferramenta de simulação o máximo possível do caso real.

A contribuição deste trabalho é oferecer uma ferramenta de simulação para as redes GSM/HSCSD que permita a otimização da eficiência no uso do espectro disponível para transmissão. Esta ferramenta possibilita ao usuário, além de analisar a capacidade do sistema, o controle de potência e estratégias de handover, avaliar novos algoritmos de alocação de canal para o tráfego de voz e dados em conjunto.

Ao final desta dissertação serão apresentados os resultados obtidos com a utilização de um novo algoritmo de alocação de canais para o tráfego de dados,

além de realizar algumas outras simulações buscando maximizar a eficiência espectral do sistema utilizando deste novo algoritmo.

Palavras-chave

GSM; HSCSD; Esquemas de Alocação de Canais; Ferramenta de Simulação; Transmissão de Dados; Eficiência Espectral; Gerenciamento de Recursos Rádio; Serviço Móvel Pessoal (SMP); Modelo de Propagação; Modelo de Mobilidade; Modelo de Tráfego de Voz e Dados; Controle de Potência; Estratégias de Handover.

Abstract

Camilo, Talles Alexandre; Marca, José Roberto Boisson de (Advisor). **Simulation and Performance of Integrated Data and Speech Service in Celular Systems Using GSM/HSCSD**. Rio de Janeiro, 2002, 180 pages. MSc. Dissertation – Department of Electrical Engineering, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Due to the increasing use of cellular networks for data transmission, mobile telephone operators are facing a dramatic raise in using radio resources to supply their demand. As a result, they are being forced to migrate to new technologies that provide high spectral efficiency, allowing an optimized use of available spectrum.

This work describes the development of an advanced tool to analyze the operator management of radio transmission for personal mobile systems. The model was built considering well-known propagation, mobility, voice and data traffic for transmission assumptions, in order to approximate the developed tool to the real world mobile systems.

The simulation tool is suited for GSM/HSCSD networks allowing engineers to optimize the efficient use of the available spectrum. It also permits the evaluation of system capacity as well as the analysis of power control and handover strategies. Another application exploited in this work is the investigation of resource allocation algorithms.

A new algorithm for resource allocation in integrated voice and data environments was proposed and its performance was evaluated using the simulation tool.

Keywords

GSM; HSCSD; Channel Allocation Schemes; Simulation tool; Data Transmission; Espectral Efficiency; Radio Resource Management; Personal Communications Services (PCS); Propagation Model; Mobility Model; Data and Speech Traffic Models; Power Control; Handover Schemes.

Índice

1.INTRODUÇÃO.....	19
2.O SISTEMA GSM	24
2.1.UM BREVE HISTÓRICO.....	24
2.2.ORGANIZAÇÃO DOS TRABALHOS DE PADRONIZAÇÃO	28
2.3.CARACTERÍSTICAS DA COBERTURA CELULAR PARA O SISTEMA GSM.....	32
2.4.ARQUITETURA GSM.....	35
2.5.A INTERFACE AÉREA (UM).....	40
3.HSCSD (HIGH SPEED CIRCUIT SWITCHED DATA).....	43
3.1.ARQUITETURA HSCSD.....	44
3.2.TRSMISSÃO DE DADOS EM CHAMADAS TRANSPARENTES.....	46
3.3.TRSMISSÃO DE DADOS EM CHAMADAS NÃO-TRANSPARENTES	47
3.4.PROCEDIMENTOS PARA O ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS HSCSD	47
3.4.1. <i>Estabelecimento da Chamada Originada pelo Terminal Móvel</i>	48
3.4.2. <i>Estabelecimento da Chamada Terminada no Terminal Móvel</i>	50
3.4.3. <i>Incremento ou Decremento de Recursos Comandados pela Indicação de Modificação da Taxa do Usuário (UIMI)</i>	51
3.5.PROCEDIMENTOS PARA O HANDOVER DE CHAMADAS HSCSD.....	52
3.5.1. <i>Incremento e Decremento de Recursos e Troca de Configurações</i>	53
3.6.ESQUEMAS DE ALOCAÇÃO DE CANAIS.....	54
4.MODELOS ADOTADOS PARA O SIMULADOR	57
4.1.MODELO DE TRÁFEGO PARA VOZ	57
4.2.MODELO DE TRÁFEGO PARA DADOS.....	58
4.3.MODELO DE MOBILIDADE.....	59
4.4.MODELO DE PROPAGAÇÃO	64
4.4.1. <i>O Modelo de Okumura</i>	64

4.4.2. O Modelo de Hata.....	65
4.4.3. O Modelo de Walfisch-Bertoni	66
4.4.4. O Modelo de Walfisch-Ikegami (COST-Walfisch-Ikegami)	67

5.A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO 71

5.1. VISÃO GERAL DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO	71
5.1.1. Criação da Estrutura do Sistema.....	72
5.1.2. Originação das Chamadas de Voz.....	93
5.1.3. Originação das Chamadas de Dados	97
5.1.4. Determinação das Células Associadas.....	98
5.1.5. Alocação de Canais	100
5.1.6. Verificação da Duração das Chamadas.....	103
5.1.7. Mobilidade	104
5.1.8. Controle de Potência	104
5.1.9. Procedimento de Handover	107
5.1.10. Verificação de Ocorrência de Terminação Forçada.....	109

6.RESULTADOS 110

6.1. SIMULAÇÕES UTILIZANDO PARETO COMO MODELO PARA A GERAÇÃO DE PACOTES	114
6.1.1. Simulações de Tráfego de Voz e Dados em Conjunto, Utilizando os Algoritmos 1 e 2 propostos em [13]	114
6.1.2. Proposta de Novos Esquemas de Alocação de Canais para o Tráfego de Dados e Voz sobre uma mesma Interface Aérea.....	121
6.2. SIMULAÇÕES DE TRÁFEGO DE VOZ E DADOS SOBRE A MESMA INTERFACE AÉREA, UTILIZANDO-SE DE TAMANHO DE PACOTES FIXOS EM 100 KBYTES	129
6.3. SIMULAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE DADOS UTILIZANDO-SE DA CONFIGURAÇÃO MÁXIMA DE 3 SLOTS POR CHAMADA DE DADOS.....	138
6.4. ESTRATÉGIAS PARA MAXIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA ESPECTRAL	141

7.CONCLUSÕES 157

REFERÊNCIAS..... 160

GLOSSÁRIO..... 164

Índice de Figuras

Figura 1 - Configuração Celular com Fator de Reuso 7, Setorização Tripla e Interferência Co-Canal.....	33
Figura 2 - Configuração Celular com Fator de Reuso 4, Setorização Tripla e Interferência Co-Canal.....	33
Figura 3 - Arquitetura de Rede GSM.....	37
Figura 4 - Arquitetura da Rede Necessária para a Operação do HSCSD [10]	44
Figura 5 - Operação com 2 <i>slots</i> consecutivos	45
Figura 6 - Estabelecimento da Chamada Originada pelo Terminal Móvel	49
Figura 7 - Estabelecimento da Chamada Terminada no Terminal Móvel.....	50
Figura 8 - Procedimento de Incremento e Decremento de Recursos Durante uma Chamada HSCSD	51
Figura 9 - Procedimento de Handover.....	52
Figura 10 - Incremento e Decremento de Recursos Durante o <i>Handover</i>	53
Figura 11 - Fluxograma do Esquema de Alocação de Canais Padronizada pela ETSI.....	54
Figura 12 - Fluxograma do Esquema de Alocação de Canais proposto por [13] para usuários flexíveis	55
Figura 13 - Fluxograma do Esquema de Alocação de Canais proposto por [13] para usuários não-flexíveis	56
Figura 14 - Unidade Fundamental do Modelo Manhattan Grid	61
Figura 15 - Regiões de Decisão para a Mudança de Direção do Usuário Pedestre e Veicular.....	63
Figura 16 – Geometria do Percorso do Sinal Proposto pelo Modelo de <i>Walfisch-Bertoni</i>	67
Figura 17 - Ângulo entre o terminal móvel e o sinal do enlace direto.....	68
Figura 18 - Modelo de Sistema Celular com Fator de Reuso 7	73
Figura 19 - Modelo de Sistema Celular com Fator de Reuso 4.....	73
Figura 20 - Estrutura Celular	74
Figura 21 – Determinação da Quantidade de Clusters para o Fator de Reuso 7	75
Figura 22 – Determinação da Quantidade de Clusters para o Fator de Reuso 4	75

Figura 23 - Parâmetros Individuais para as Estações Rádio-Base.....	77
Figura 24 - Modelo de Mobilidade	79
Figura 25 - Parâmetros por Bloco, com Transmissão de Dados por Tempo	81
Figura 26 - Parâmetros por Bloco, com Transmissão de Dados por Tamanho de Dados	82
Figura 27 - Ambiente de Simulação (somente células reais).....	83
Figura 28 - Parâmetros Sistêmicos	86
Figura 29 - Ambiente de Simulação Completo (Células Reais e Virtuais)	86
Figura 30 – Resultados da Simulação em Tempo Real	91
Figura 31 - Alocação de Canais.....	91
Figura 32 - Informações sobre o Usuário	93
Figura 33 - Deslocamento dos Usuários Móveis no Sistema	93
Figura 34 - Fluxograma do Processo de Originação de Chamadas	95
Figura 35 - Identificação dos 7 Setores Próximos ao Terminal Móvel	99
Figura 36 - Procedimento de Alocação do Canal para uma Chamada de Voz.....	101
Figura 37– Procedimento de Alocação de Canais para Chamadas de Dados de Usuários não-Flexíveis	102
Figura 38 - Procedimento de Alocação de Canais para Chamadas de Dados de Usuários Flexíveis.....	102
Figura 39 - Limiares Estabelecidos para o Controle de Potência	105
Figura 40 - Tráfego Médio Gerado pelas Chamadas de Voz no Sistema (em <i>Erlangs</i>)	115
Figura 41 - Número Médio de Chamadas de Voz e Dados por Setor no Sistema....	116
Figura 42 – Probabilidade Bloqueio Média de Chamadas de Voz e de Dados, por Setor	117
Figura 43 - Probabilidade de Falha de <i>Handover</i> Média para Chamadas de Voz e Dados - por Setor	118
Figura 44 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para Chamadas de Voz e Dados - por Setor	119
Figura 45 - Duração Média das Chamadas de Dados.....	119
Figura 46 –Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema	120
Figura 47 - Número Médio de Canais Alocados para Dados – por Setor.....	121
Figura 48 – Probabilidade de Bloqueio Média para Chamadas de Voz – por Setor	123

Figura 49 – Probabilidade de Bloqueio Média para Chamadas de Dados – por Setor	123
Figura 50 – Número Médio de Chamadas de Voz - por Setor.....	124
Figura 51 – Número Médio de Chamadas de Dados - por Setor.....	124
Figura 52 - Probabilidade de Falha de <i>Handover</i> Média para Chamadas de Voz - por Setor.....	125
Figura 53 - Probabilidade de Falha de <i>Handover</i> Média para Chamadas de Dados - por Setor	126
Figura 54 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para Chamadas de Voz - por Setor.....	126
Figura 55 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para Chamadas de Dados - por Setor	127
Figura 56 - Duração Média das Chamadas de Dados - por Setor.....	127
Figura 57 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema	128
Figura 58 - Número Médio de Canais Alocados para Dados – por Setor.....	128
Figura 59 - Tráfego Médio de Chamadas de Voz Comportados no Sistema (em <i>Erlangs</i>)	130
Figura 60 - Número Médio de Chamadas de Voz - por Setor	130
Figura 61 - Número Médio de Chamadas de Dados - por Setor.....	131
Figura 62 - Duração Média das Chamadas de Dados - por Setor.....	132
Figura 63 - Probabilidade de Bloqueio Média das Chamadas de Dados - por Setor	133
Figura 64 - Probabilidade de Bloqueio Média para Chamadas de Voz - por Setor..	134
Figura 65 - Probabilidade de Falha de <i>Handover</i> Média para Chamadas de Voz - por Setor.....	134
Figura 66 - Probabilidade de Falha de <i>Handover</i> Média para Chamadas de Dados - por Setor	135
Figura 67 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para Chamadas de Voz - por Setor.....	136
Figura 68 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para Chamadas de Dados - por Setor	136
Figura 69 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema	137
Figura 70 - Número Médio de Canais Alocados para Dados – por Setor.....	137
Figura 71 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema	139
Figura 72 - Duração Média das Chamadas de Dados - por Setor.....	139

Figura 73 – Número Médio de Canais Alocados para Dados – por Setor	140
Figura 74 - Número Médio de Chamadas de Voz por Setor - <i>Algoritmo 3 -Opção 1</i>	142
Figura 75 - Número Médio de Chamadas de Dados, por Setor - <i>Algoritmo 3 - Opção 1</i>	143
Figura 76 - Número Médio de Chamadas de Voz - <i>Algoritmo 3 -Opção 2</i>	143
Figura 77 - Número Médio de Chamadas de Dados - <i>Algoritmo 3 -Opção 2</i>	144
Figura 78 - Número Médio de Chamadas de Voz - <i>Algoritmo 1</i>	144
Figura 79 - Número Médio de Chamadas de Dados - <i>Algoritmo 1</i>	145
Figura 80 - Número Médio de Chamadas de Voz - <i>Algoritmo 2</i>	145
Figura 81 - Número Médio de Chamadas de Dados - <i>Algoritmo 2</i>	146
Figura 82 - Probabilidade de Terminação Forçada para as Chamadas de Voz - <i>Algoritmo 3 -Opção 1</i>	148
Figura 83 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Dados - <i>Algoritmo 3 -Opção 1</i>	148
Figura 84 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Voz - <i>Algoritmo 3 -Opção 2</i>	149
Figura 85 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Dados - <i>Algoritmo 3 -Opção 2</i>	149
Figura 86 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Voz - <i>Algoritmo 1</i>	150
Figura 87 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Dados - <i>Algoritmo 1</i>	150
Figura 88 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Voz - <i>Algoritmo 2</i>	151
Figura 89 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para chamadas de Dados. <i>Algoritmo 2</i>	151
Figura 90 – Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema - <i>Algoritmo 3 - Opção 1</i>	152
Figura 91 – Número Médio de Canais Alocados para Dados - <i>Algoritmo 3 -Opção 1</i>	153
Figura 92 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema - <i>Algoritmo 3 - Opção 2</i>	153

Figura 93 – Número Médio de Canais Alocados para Dados - <i>Algoritmo 3 -Opção</i> 2	154
Figura 94 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema - <i>Algoritmo 1</i>	154
Figura 95 – Número Médio de Canais Alocados para Dados - <i>Algoritmo 1</i>	155
Figura 96 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema - <i>Algoritmo 2</i>	155
Figura 97 – Número Médio de Canais Alocados para Dados – <i>Algoritmo 2</i>	156

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Sistemas Celulares Disponíveis até o Ano de 1992 [1].....	26
Tabela 2 - Marcos do Projeto GSM [1]	28
Tabela 3 - Serviços Determinados para a Fase 2 do GSM [3].....	30
Tabela 4 - Serviços Determinados para a Fase 1 do GSM [3].....	31
Tabela 5 – Comportamento das regiões de atração com relação a escolha do tipo de bloco e da zona temporal	62
Tabela 6 - Configurações de Fator de Reuso e Quantidade de Células Reais e Virtuais.....	72
Tabela 7 – Parâmetros para Simulação de Diferentes Tipos de Tráfego de Dados [24].....	82
Tabela 8 - Classes e Potências para Terminais Móveis GSM	106
Tabela 9 - Níveis de Potência para Terminais Móveis GSM1800	106