



Marcelo Corrêa Ramos

**Desempenho da Modulação Adaptativa em Enlaces
WCDMA/HSDPA em Presença de Multipercursos**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: João Célio B. Brandão

Rio de Janeiro, Agosto de 2004



Marcelo Corrêa Ramos

Desempenho da Modulação Adaptativa em Enlaces WCDMA/HSDPA em Presença de Multipercursos

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

Prof. João Célio Barros Brandão

Orientador
CETUC / PUC - Rio

Prof. Raimundo Sampaio Neto

CETUC / PUC - Rio

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

CETUC / PUC - Rio

André Noll Barreto

Claro

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de Agosto de 2004

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

Marcelo Corrêa Ramos

Graduou-se em Engenharia Eletrônica na Universidade de Pernambuco em janeiro de 2001. Especializou-se em Sistemas de Telecomunicações na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em julho de 2002. Em fevereiro de 2002 iniciou, na mesma instituição, o seu mestrado na área de sistemas de comunicações móveis celulares.

Ficha Catalográfica

Ramos, Corrêa Marcelo

Desempenho da Modulação Adaptativa em Enlaces WCDMA/HSDPA em Presença de Multipercursos / Marcelo Corrêa Ramos; orientador: João Célio Barros Brandão. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2004.

106 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.Telefonia celular. 3.Modulação digital. 4.UMTS. 5.HSDPA. 6.Modulação Adaptativa. 7.Multipercursos. I. Brandão, João Célio Barros. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica.

CDD: 621.3

Dedico este trabalho à minha mãe Rejane e aos meus avós Manuel (em memória)
e Lourdes (em memória).

Agradecimentos

Ao Prof. João Célio, por toda a orientação, paciência, apoio e também por ter sido minha porta de entrada no CETUC.

Ao Prof. Grivet, pelo seu bom humor diário e por ter disponibilizado a estrutura do Laboratório de Redes do CETUC e ao Prof. Ney, pelo apoio e amizade.

À CAPES pelo fornecimento de bolsa de fomento, sem a qual seria impossível a realização deste trabalho.

Ao Rodrigo, que iniciou este trabalho e ao Robson por toda a ajuda e paciência.

Aos amigos que fiz no CETUC, em especial a Janaína, Luiz Henrique, Eduardo, Sérgio, Brod, Luis Eduardo, Renato, Kiuza, Márcio, Tiago, Fred, Marcelle, Cris, Miguel, Daniel e Gustavo.

Aos amigos Gerardo, Micheline, Renata, Andressa, Carlson, Pizza, Moacir, Kita, Matheus, Tati, Pablo, Julio, Belmiro, Clarissa, Carol, Diogo e tia Fátima que, em algum momento, “trouxeram” o Recife para Rio de Janeiro, às amigas Roberta e Dani, de Belo Horizonte e aos demais amigos de Recife, em especial a Cynara, Charlana, Praga e Giba pelas palavras de incentivo.

À toda minha família, especialmente à minha mãe Rejane, meu irmão Thiago, meu pai Antônio e minha avó Odete por todo o amor, apoio e pela confiança depositada em mim.

E a Roberta, cujo carinho e dedicação me serviram de combustível em toda essa jornada.

A todos vocês: VALEU!

Resumo

Corrêa Ramos, Marcelo. **Desempenho da Modulação Adaptativa em Enlaces WCDMA/HSDPA em Presença de Multipercursos**. Rio de Janeiro, 2004. 106p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho é um estudo sobre um enlace do sistema HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), um subsistema do padrão UMTS/WCDMA, desenvolvido para a transmissão de dados em alta velocidade no enlace de descida. Para atingir altas taxas de transmissão, é prevista a utilização, neste sistema, de diversas técnicas avançadas de processamento de sinais, entre elas a modulação adaptativa. O princípio desta técnica é escolher, para cada quadro de bits transmitido, a modulação mais adequada às condições do canal. Através de simulação, o desempenho da modulação adaptativa em enlaces HSDPA foi avaliado em [4], considerando um canal com desvanecimento plano. Estendendo este trabalho, foram introduzidos novos módulos no simulador, de forma a considerar um canal com multipercursos e a utilização de um receptor Rake. A estimação do canal, utilizada na adaptação, é implementada através da análise do sinal recebido e combinado no receptor Rake. O desempenho do enlace foi avaliado em presença de duplo percurso, para diversas situações, através da taxa de erro de pacote e da vazão obtida na transmissão, procurando-se investigar a influência de parâmetros do sistema e da interferência entre os dois percursos nesse desempenho.

Palavras-chave

WCDMA, UMTS, HSDPA, Multipercursos, Modulação Adaptativa

Abstract

Corrêa Ramos, Marcelo. **Performance of Adaptive Modulation in WCDMA/HSDPA links in Presence of Multipath**. Rio de Janeiro, 2004. 106p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work is a study about the performance of a HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) which is a subsystem of UMTS/WCDMA designed for high-speed data transmission in the downlink. In order to achieve high bit rates, the use of advanced signal processing techniques, including adaptive modulation, is specified. This technique consists of choosing, for each transmitted frame, the most efficient modulation according to the channel condition. The performance of adaptive modulation in HSDPA links in a flat fading channel has been evaluated in [4] through simulation. In the present work, new simulation modules have been developed to consider multipath and a Rake receiver. The channel estimation used in the link adaptation is obtained from the received and combined signal at Rake receiver. The link level performance has been evaluated in a double path channel for different situations through packet error rate and throughput. The influence of system parameters and path interference on the performance has been investigated.

Key-words

WCDMA, UMTS, HSDPA, Multipath, Adaptive Modulation

Sumário

1 Introdução	14
2 WCDMA	21
2.1. Características Principais	21
2.1.1. Diferenças entre WCDMA e as Interfaces Aéreas da 2G	23
2.2. Arquitetura do Sistema	25
2.3. Camada Física	26
2.3.1. Canais de Transporte e Canais Físicos	26
2.3.2. Modulação e Espalhamento no Enlace de Descida	29
2.3.3. Estrutura do Quadro no Enlace de Descida	36
3 HSDPA	38
3.1. Evolução do WCDMA para o HSDPA	38
3.2. Arquitetura do Sistema com o HSDPA	40
3.3. Estrutura da Camada Física do HSDPA	41
3.3.1. HS-PDSCH	42
3.3.2. HS-PSCCH	44
3.3.3. HS-DPCCH (Enlace de Subida)	46
4 Modelagem do Sistema de Transmissão Digital	47
4.1. Modelagem do Transmissor	47
4.2. Caracterização do Canal e Modelagem do Receptor	50
4.2.1. Determinação da Potência do Sinal de Entrada do Receptor	53
4.2.2. Determinação da Potência do Sinal de Entrada a partir das Amostras na Saída do Filtro	54
4.2.3. Relação entre E_b/N_0 e a Variável de Decisão	56
4.3. Interferência de Multipercursos e Receptor Rake	58
4.3.1. Modelagem do Receptor na Presença de Multipercursos	59
4.3.2. Receptor Rake	61

5 Modulação Adaptativa do Sistema HSDPA em Presença de Multipercursos	65
5.1. Modulação Adaptativa	65
5.1.1. Critérios de Adaptação	69
5.2. Modelo da Simulação	75
5.2.1. Descrição do Simulador	75
5.2.2. Validação do Simulador	77
6 Resultados	83
6.1. Influência dos Códigos de Espalhamento e de <i>Scrambling</i>	84
6.2. A Influência do Segundo Raio no Desempenho	87
6.3. Impacto de Alguns Aspectos da Implementação	92
6.3.1. Método de Adaptação	93
6.3.2. Método de Combinação no Receptor Rake	94
6.3.3. Atraso na Realimentação da Informação	95
6.3.4. Tamanho do Quadro	97
7 Conclusão	98
Apêndice A – Caracterização do Filtro	101
Apêndice B – Determinação do E_b/N_0 “instantâneo”	103
Referências Bibliográficas	104

Lista de figuras

Figura 1 – Arquitetura do sistema UMTS/WCDMA	25
Figura 2 – Interface entre as altas camadas e a camada física	27
Figura 3 – Mapeamento dos canais de transporte com os canais físicos	28
Figura 4 – Relação entre espalhamento e <i>scrambling</i>	30
Figura 5 – Modulação e espalhamento no enlace de descida	31
Figura 6 – Combinação dos canais físicos no enlace de descida	31
Figura 7 – Árvore de geração dos códigos OVSF	32
Figura 8 – Método de geração dos códigos de canalização	33
Figura 9 – Configuração do gerador do código de <i>scrambling</i> do enlace de descida	35
Figura 10 - Estrutura do quadro do DPDCH/DPCCH, no enlace de descida	37
Figura 11 – Grupo de códigos reservados para o HS-PDSCH	42
Figura 12 – Compartilhamento do HS-PDSCH por multiplexação de códigos e de tempo	43
Figura 13 – Relação de tempo entre HS-PDSCH e HS-PSCCH	45
Figura 14 – Cosseno levantado: (a) no domínio do tempo; (b) no domínio da frequência	49
Figura 15 – Esquema simplificado do receptor	52
Figura 16 – Esquema do receptor com amostragem e multiplicação dos códigos	57
Figura 17 – Receptor Rake com L braços	62
Figura 18 – Eficiência espectral para várias modulações em função da razão sinal-ruído	68
Figura 19 – Vazão teórica para as diferentes modulações	71
Figura 20 – Esquema do braço 1 do receptor Rake na presença de multipercursos	73
Figura 21 – Representação de um sistema de transmissão digital no enlace de descida com adaptação de enlace	76
Figura 22 – Probabilidades de erro para o QPSK com potência do segundo raio igual à do raio principal	78
Figura 23 – Probabilidades de erro para o QPSK com potência do segundo raio	

3dB abaixo da potência do raio principal	79
Figura 24 – Probabilidades de erro para o 16-QAM com potência do segundo raio igual à do raio principal	80
Figura 25 – Probabilidades de erro para o 16-QAM com potência do segundo raio 3dB abaixo da potência do raio principal	80
Figura 26 – Probabilidades de erro simuladas para QPSK e 16-QAM, variando a potência do segundo raio	81
Figura 27 – Probabilidades de erro para o QPSK com potência do segundo raio 3dB abaixo da potência do raio principal e $SINR = -7dB$	82
Figura 28 – Probabilidades de erro para o 16-QAM com potência do segundo raio 3dB abaixo da potência do raio principal e $SINR = -3dB$	82
Figura 29 – Comparação entre diferentes códigos de <i>scrambling</i> , para 3km/h	84
Figura 30 – Comparação entre diferentes códigos de <i>scrambling</i> , para 120km/h	85
Figura 31 – Comparação, para 3km/h, entre os Casos 1 e 2, para diferentes códigos de <i>scrambling</i>	86
Figura 32 – Vazão x $SINR$ para potência do segundo raio 3dB abaixo da potência do raio principal	87
Figura 33 – Vazão x $SINR$ para potência do segundo raio 6dB abaixo da potência do raio principal	88
Figura 34 – Vazão x $SINR$ para potência do segundo raio 10dB abaixo da potência do raio principal	88
Figura 35 – Vazão x $SINR$ para 3km/h, variando a potência do segundo raio	89
Figura 36 – PER x $SINR$ para potência do segundo raio 6dB abaixo da potência do raio principal	90
Figura 37 – Influência do uso do receptor Rake para 3km/h	91
Figura 38 – Influência do uso do receptor Rake para 120km/h	91
Figura 39 – Frequência das modulações para 3km/h (sem o uso do Rake)	92
Figura 40 – Comparação entre diferentes métodos de adaptação para 120km/h	93
Figura 41 – Comparação entre MRC e EGC para 3km/h e potência do segundo raio 3dB abaixo da potência do raio principal	94
Figura 42 – Comparação entre MRC e EGC para 120km/h e potência do segundo raio 3dB abaixo da potência do raio principal	95
Figura 43 – Efeito do atraso na realimentação do sistema para 3km/h	96

Figura 44 – Efeito do atraso na realimentação do sistema para 120km/h	96
Figura 45 – Influência do tamanho do quadro para 3km/h	97

Lista de tabelas

Tabela 1 – Principais diferenças entre as interfaces aéreas do WCDMA e do GSM	23
Tabela 2 – Principais diferenças entre as interfaces aéreas do WCDMA e do IS-95	24
Tabela 3 – Funcionalidades dos códigos utilizados no enlace de descida	36
Tabela 4 – Diferenças entre HS-PDSCH e PDSCH	44
Tabela 5 – Amplitudes e períodos associados às modulações	48
Tabela 6 – Taxa de transmissão para diferentes modulações	71
Tabela 7 – Limiares de adaptação para vazão máxima	72
Tabela 8 – Parâmetros obtidos analiticamente x obtidos por simulação	78