



Fabian David Backx

**Detecção Multiusuário Ótima por Grupos
em Sistemas DS/CDMA M-PSK com
Codificação Convolutacional**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Raimundo Sampaio Neto

Rio de Janeiro
Julho de 2004



Fabian David Backx

**Detecção Multiusuário Ótima por Grupos
em Sistemas DS/CDMA M-PSK com
Codificação Convolutacional**

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. Raimundo Sampaio Neto

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. João Célio Barros Brandão

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. José Mauro Pedro Fortes

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 02 de Julho de 2004

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

Fabian David Backx

Graduou-se em Engenharia de Telecomunicações na UFF (Universidade Federal Fluminense) em 2002.

Ficha Catalográfica

David Backx, Fabian

Detecção Multiusuário Ótima por Grupos em Sistemas DS/CDMA M-PSK com Codificação Convolucional/ Fabian David Backx; orientador: Raimundo Sampaio Neto. — Rio de Janeiro : PUC–Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2004.

103 f.: il. ; 30cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Detecção multiusuário. 3. Códigos convolucionais. I. Sampaio Neto, Raimundo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Aos meus pais, Janine e Arago.

Agradecimentos

Ao professor Raimundo, pela orientação e ajuda na elaboração deste trabalho.

Aos professores José Mauro, Weiler e Abraham, pelo aprendizado proporcionado.

Aos demais professores do CETUC e do Departamento de Engenharia Elétrica que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional.

À minha família pela confiança em mim depositada.

A todos os meus amigos.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo auxílio financeiro concedido.

Resumo

David Backx, Fabian; Sampaio Neto, Raimundo. **Detecção Multiusuário Ótima por Grupos em Sistemas DS/CDMA M-PSK com Codificação Convolutacional**. Rio de Janeiro, 2004. 103p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho propõe um receptor multiusuário híbrido para utilização em um sistema DS/CDMA com modulação M-PSK e codificação convolutacional. O receptor proposto é composto por um receptor decorrelator ao final do qual é realizada uma decodificação convolutacional por grupos. Resultados de desempenho obtidos por simulações para grupos de dois usuários são apresentados e comparados com o desempenho do receptor convencional, formado por um banco de filtros casados, e com o desempenho do receptor decorrelator já proposto na literatura.

Palavras-chave

Detecção Multiusuário, Detecção por grupos, Códigos convolucionais, Processamento por Percurso Sobrevivente

Abstract

David Backx, Fabian; Sampaio Neto, Raimundo. **Optimum Group Multiuser Detection in DS/CDMA M-PSK Systems with Convolutional Coding**. Rio de Janeiro, 2004. 103p. MSc. Dissertation — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work proposes a hybrid multiuser receiver for a DS/CDMA system employing M-PSK modulation and convolutional coding. The proposed receiver is composed by a decorrelator receiver followed by a group convolutional decoder. Performance results obtained by simulation for groups of two users are presented and compared to the performance of a conventional receiver, composed of a bank of matched filters, and to the decorrelator receiver itself.

Keywords

Multiuser Detection, Group detection, Convolutional codes, Per Survivor Processing

Conteúdo

1	Introdução	14
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivo	15
1.3	Organização do Texto	16
2	Recepção DS/CDMA Convencional	17
2.1	Introdução	17
2.2	Modelo de Comunicação	18
2.2.1	Transmissão de sinais DS/CDMA	19
2.2.2	Canal de Comunicação	20
2.2.3	Recepção Síncrona de Sinais DS/CDMA	22
2.3	Receptor Convencional	27
2.3.1	Banco de Filtros Casados	27
2.3.2	Banco de Decisores	30
2.3.3	Análise Qualitativa do Desempenho do Receptor Con- vencional	30
3	Detecção Multiusuário	33
3.1	Introdução	33
3.2	Receptores Multiusuário	34
3.3	Receptor Ótimo	34
3.3.1	Receptor Ótimo Original	35
3.3.2	Receptor Ótimo para Sistemas com Codificação Convolu- cional	37
3.4	Receptor Decorrelator	38
3.4.1	Receptor Decorrelator Original	38
3.4.2	Receptor Decorrelator para Sistemas com Codificação Con- volucional	41
3.5	Outros Receptores Multiusuário	42
3.5.1	Receptor MMSE	42
3.5.2	Receptores Canceladores de Interferência Subtrativos	42
4	Detecção Multiusuário com Estágio Decorrelator e Detecção Ótima por Grupos	44
4.1	Introdução	44
4.2	Estrutura do Receptor Proposto	46
4.2.1	Banco de Filtros Casados	47
4.2.2	Estágio Decorrelator	48
4.2.3	Estágio de Agrupamento	48
4.2.4	Estágio de Detecção Ótima por Grupos	49
4.3	Resultados	52
4.3.1	Considerações Iniciais	52
4.3.2	Banco de Filtros Casados	54

4.3.3	Estágio Decorrelator	57
4.3.4	Estágio de Agrupamento	59
4.3.5	Estágio de Detecção Ótima por Grupos	60
5	Desempenho de Receptores Multiusuário com Detecção Ótima por Grupos	69
5.1	Introdução	69
5.2	Resultados de Simulações	70
5.2.1	Sistema DS/CDMA QPSK com 6 usuários ativos em canal AWGN	71
5.2.2	Sistema DS/CDMA QPSK com 6 usuários ativos em presença de desvanecimento Rayleigh	75
6	Desempenho de Receptores Multiusuário com Detecção e Estimção de Canal por Grupos	83
6.1	Introdução	83
6.2	Estimção Conjunta por Grupos	84
6.3	Resultados de Simulações	85
6.3.1	Dimensionando o parâmetro do LMS	86
6.3.2	Desempenho com implementação PSP	88
7	Conclusão	100
8	Referências Bibliográficas	102

Lista de Figuras

2.1	Modelo do sistema de comunicação	18
2.2	Modelo do transmissor M-PSK DS/CDMA	19
2.3	Equivalente passa-baixa do canal de múltiplo acesso	23
2.4	Equivalente passa-baixa do receptor M-PSK DS/CDMA síncrono	23
2.5	Esquema básico do Receptor Convencional	27
2.6	Receptor Convencional	29
3.1	Estrutura do Receptor Ótimo	36
3.2	Estrutura do Receptor Decorrelator	40
3.3	Princípio de funcionamento dos Canceladores de Interferência Subtrativos	43
4.1	Estrutura do Receptor Proposto	47
4.2	Estrutura do Codificador Convolutacional (2,1,2) utilizado	52
4.3	Desempenho médio do sistema sem codificação, na saída do banco de filtros casados, para diferentes valores de ρ .	55
4.4	Desempenho médio do sistema com codificação convolutacional e <i>hard-decision</i> , na saída do banco de filtros casados, para diferentes valores de ρ .	56
4.5	Desempenho médio do sistema com codificação convolutacional e <i>soft-decision</i> , na saída do banco de filtros casados, para diferentes valores de ρ .	57
4.6	Desempenho médio do sistema sem codificação, na saída do estágio decorrelator, para diferentes valores de ρ .	59
4.7	Desempenho médio do sistema com codificação convolutacional e <i>hard-decision</i> , na saída do estágio decorrelator, para diferentes valores de ρ .	60
4.8	Desempenho médio do sistema com codificação convolutacional e <i>soft-decision</i> , na saída do estágio decorrelator, para diferentes valores de ρ .	61
4.9	Codificador convolutacional (4,2,2) equivalente associado à supertreliza utilizada no estágio de detecção ótima por grupos de dois usuários.	61
4.10	Desempenho médio do sistema sem codificação, na saída do estágio de detecção ótima por grupos, para diferentes valores de ρ .	62
4.11	Desempenho médio do sistema com codificação convolutacional e <i>hard-decision</i> , na saída do estágio de detecção ótima por grupos, para diferentes valores de ρ .	63
4.12	Desempenho médio do sistema com codificação convolutacional e <i>soft-decision</i> , na saída do estágio de detecção ótima por grupos, para diferentes valores de ρ .	64

4.13 Desempenho médio: do sistema não codificado, do sistema com codificação convolucional e <i>hard-decision</i> , do sistema com codificação convolucional e <i>soft-decision</i> , na saída de cada um dos estágios que compõem o receptor proposto, para $\rho = 0.15$.	65
4.14 Desempenho médio: do sistema não codificado, do sistema com codificação convolucional e <i>hard-decision</i> , do sistema com codificação convolucional e <i>soft-decision</i> , na saída de cada um dos estágios que compõem o receptor proposto, para $\rho = 0.30$.	66
4.15 Desempenho médio: do sistema não codificado, do sistema com codificação convolucional e <i>hard-decision</i> , do sistema com codificação convolucional e <i>soft-decision</i> , na saída de cada um dos estágios que compõem o receptor proposto, para $\rho = 0.60$.	67
4.16 Desempenho médio: do sistema não codificado, do sistema com codificação convolucional e <i>hard-decision</i> , do sistema com codificação convolucional e <i>soft-decision</i> , na saída de cada um dos estágios que compõem o receptor proposto, para $\rho = 0.80$.	68
5.1 Codificador convolucional (2,1,2) utilizado por cada um dos os seis usuários.	71
5.2 Codificador convolucional (4,2,2) equivalente associado à supertreliza utilizada no estágio de detecção ótima por grupos de dois usuários.	72
5.3 Desempenho na saída do estágio convencional (banco de filtros casados - bfc), por usuário, para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal AWGN.	73
5.4 Desempenho na saída do estágio decorrelator (dec), por usuário, para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal AWGN.	74
5.5 Desempenho na saída do estágio de detecção ótima por grupos de dois usuários, por usuário, para agrupamento [(1,5),(2,3),(4,6)], para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal AWGN.	75
5.6 Desempenho do pior usuário de cada estágio, para agrupamento [(1,5),(2,3),(4,6)], para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal AWGN.	76
5.7 Desempenho médio na saída dos estágios convencional, decorrelator e detecção ótima por grupos de dois usuários (grupos (1,5),(2,3) e (4,6)), para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal AWGN.	77
5.8 Desempenho na saída do estágio convencional (banco de filtros casados - bfc), por usuário, para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal com desvanecimento Rayleigh (módulo e fase).	78

5.9	Desempenho na saída do estágio decorrelator (dec), por usuário, para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal com desvanecimento Rayleigh (módulo e fase).	79
5.10	Desempenho na saída do estágio de detecção ótima por grupos de dois usuários, por usuário, para agrupamento [(1,5),(2,3),(4,6)], para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal com desvanecimento Rayleigh (módulo e fase).	80
5.11	Desempenho do pior usuário de cada estágio, para agrupamento [(1,5),(2,3),(4,6)], para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal com desvanecimento Rayleigh (módulo e fase).	81
5.12	Desempenho médio na saída dos estágios convencional, decorrelator e detecção ótima por grupos de dois usuários (grupos (1,5),(2,3) e (4,6)), para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal com desvanecimento Rayleigh (módulo e fase).	82
6.1	Erro médio quadrático para estimativa da amplitude complexa do canal versus número de símbolos da seqüência de treinamento, usuário 1, LMS simples. $f_d T = 0.001$	87
6.2	Erro médio quadrático para estimativa da amplitude complexa do canal versus número de símbolos da seqüência de treinamento, usuário 4, LMS simples. $f_d T = 0.001$	88
6.3	Erro médio quadrático para estimativa da amplitude complexa do canal versus número de símbolos da seqüência de treinamento, usuário 1, LMS conjunto. $f_d T = 0.001$	89
6.4	Erro médio quadrático para estimativa da amplitude complexa do canal versus número de símbolos da seqüência de treinamento, usuário 4, LMS conjunto. $f_d T = 0.001$	89
6.5	Desempenho médio na saída dos estágios decorrelator e detecção ótima por grupos, grupo (1,5), para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal com desvanecimento Rayleigh (módulo e fase), gênio e PSP, $f_d T = 0.001$.	91
6.6	Desempenho médio na saída dos estágios decorrelator e detecção ótima por grupos, grupo (4,6), para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal com desvanecimento Rayleigh (módulo e fase), gênio e PSP, $f_d T = 0.001$.	92
6.7	Desempenho médio na saída dos estágios decorrelator e detecção ótima por grupos, grupo (1,5), para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal com desvanecimento Rayleigh (módulo e fase), gênio e PSP, $f_d T = 0.010$.	93

6.8	Desempenho médio na saída dos estágios decorrelator e detecção ótima por grupos, grupo (4,6), para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal com desvanecimento Rayleigh (módulo e fase), gênio e PSP, $f_d T = 0.010$.	94
6.9	Desempenho médio na saída dos estágios decorrelator e detecção ótima por grupos, grupo (1,5), para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal com desvanecimento Rayleigh (módulo e fase), gênio e PSP, $f_d T = 0.015$.	95
6.10	Desempenho médio na saída dos estágios decorrelator e detecção ótima por grupos, grupo (4,6), para sistema DS/CDMA QPSK síncrono com codificação convolucional, canal com desvanecimento Rayleigh (módulo e fase), gênio e PSP, $f_d T = 0.015$.	96
6.11	Erro médio quadrático das estimações simples e conjunta versus número de símbolos recebidos, para os 6 usuários. $E_B/N_0 = 2dB$, $f_d T = 0.001$.	97
6.12	Erro médio quadrático das estimações simples e conjunta versus número de símbolos recebidos, para os 6 usuários. $E_B/N_0 = 2dB$, $f_d T = 0.010$.	97
6.13	Erro médio quadrático das estimações simples e conjunta versus número de símbolos recebidos, para os 6 usuários. $E_B/N_0 = 2dB$, $f_d T = 0.015$.	98
6.14	Erro médio quadrático das estimações simples e conjunta versus número de símbolos recebidos, para os 6 usuários. $E_B/N_0 = 8dB$, $f_d T = 0.001$.	98
6.15	Erro médio quadrático das estimações simples e conjunta versus número de símbolos recebidos, para os 6 usuários. $E_B/N_0 = 8dB$, $f_d T = 0.010$.	99
6.16	Erro médio quadrático das estimações simples e conjunta versus número de símbolos recebidos, para os 6 usuários. $E_B/N_0 = 8dB$, $f_d T = 0.015$.	99