

Francisco Alberto Sandoval Noreña

**Novos Receptores com Posto Reduzido e suas
Aplicações em Sistemas Baseados em
DS-CDMA**

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
Fevereiro de 2013

Francisco Alberto Sandoval Noreña

**Novos Receptores com Posto Reduzido e suas
Aplicações em Sistemas Baseados em
DS-CDMA**

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. César Augusto Medina Sotomayor

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. José Mauro Pedro Fortes

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Ernesto Leite Pinto

Instituto Militar de Engenharia (IME)

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 07 de Fevereiro de 2013

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

Francisco Alberto Sandoval Noreña

Graduou-se em Engenharia em Eletrônica e Telecomunicações na *Universidad Técnica Particular de Loja* UTPL (Loja, Equador).

Ficha Catalográfica

Sandoval Noreña, Francisco Alberto

Novos Receptores com Posto Reduzido e suas Aplicações em Sistemas Baseados em DS-CDMA / Francisco Alberto Sandoval Noreña; orientador: Raimundo Sampaio Neto. - 2013.

81 f: il. (color.) ; 30,0 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2013.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia Elétrica – Tese. 2. Detecção de Sinais;. 3. Processamento com Posto Reduzido;. 4. Interpolação/Decimação;. 5. DS-CDMA;. 6. UWB.. I. Sampaio Neto, Raimundo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

A papá, mamá, José y María.
A Glenda

Agradecimientos

A Dios.

A Lubín, Fabiola, José y María, querida familia, por su apoyo incondicional, su fortaleza y cariño.

A Glenda, por ser parte de esta lucha, por su comprensión, sacrificio, amor, por ser soporte en todo momento.

Un agradecimiento especial al Profesor Raimundo por su dedicación, paciencia, y acompañamiento durante este proceso. Sus consejos e guías han permitido encontrar los caminos adecuados. Y más aún, gracias por su amistad.

A la CAPES, FAPERJ, y la PUC-Rio por el apoyo económico.

A Byron, quien permitió el inicio de este proceso y acompañó gran parte del mismo. Gratitud por la amistad.

A César por la ayuda en los momentos necesarios.

A todos los compañeros del CETUC.

A mi *familia* y amigos en Loja.

Resumo

Sandoval Noreña, Francisco Alberto; Sampaio Neto, Raimundo. **Novos Receptores com Posto Reduzido e suas Aplicações em Sistemas Baseados em DS-CDMA**. Rio de Janeiro, 2013. 81p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O número de coeficientes dos filtros de detecção adaptativos usados nos receptores em sistemas CDMA é igual ao ganho de processamento usado no sistema. Assim, quando o valor deste ganho é grande os filtros adaptativos apresentam problemas de convergência lenta além de grande complexidade computacional. Problema similar ocorre na estimação/detecção de sinais em sistemas UWB uma vez que o grande número de percursos do canal, faz com que as quantidades a serem estimadas tenham um elevado número de elementos, requerendo com o uso de técnicas convencionais o processamento de conjuntos com um número bastante elevado de amostras, com consequente aumento significativo de custo computacional total do receptor. Esta dissertação enfoca uma técnica de processamento com redução de posto promovida por meio de dois estágios iniciais, o estágio de interpolação e o estágio de decimação, na qual, dado o padrão de decimação escolhido, os coeficientes do filtro interpolador são otimizados de forma independente do filtro de detecção. Dois algoritmos foram desenvolvidos para o dimensionamento do filtro interpolador, o primeiro é baseado na maximização da razão sinal desejado-ruído na saída do estágio de redução de posto, e o segundo maximiza a razão sinal desejado-ruído mais interferência na saída do estágio de redução de posto. Os métodos de posto reduzido examinados reduzem a dimensão do vetor de observação de acordo com o fator de decimação escolhido, redução esta bastante relevante, por exemplo para esquemas de equalização/detecção que têm custo computacional quadrático com a dimensão do vetor de observação como os receptores MMSE-RLS implementados nas aplicações.

Palavras-chave

Detecção de Sinais; Processamento com Posto Reduzido; Interpolação/Decimação; DS-CDMA; UWB.

Abstract

Sandoval Noreña, Francisco Alberto; Sampaio Neto, Raimundo (Advisor). **New Reduced-Rank Receivers with Applications in DS-CDMA Based Systems**. Rio de Janeiro, 2013. 81p. MSc. Dissertation — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The number of coefficients of the adaptive detection filters used in CDMA receivers is usually larger than the processing gain used in the system. Thus, when the value of this gain is high the adaptive filters suffer from slow convergence and high computational complexity. A similar problem occurs with the estimation/signal detection in UWB systems. The large number of channel paths common in such systems causes the quantities to be estimated to have a large number of elements, which requires, with conventional techniques, the processing of sets with large number of samples, thus resulting in a significant increase in the total computational cost of the receiver. This work focuses on a reduced-rank technique that is implemented through two phases, interpolation and decimation, in which given the decimation pattern chosen, the coefficients of the interpolator filter are optimized independently of the detection filter. Two algorithms are developed for the design of the interpolator filter. The first one is based on the maximization of the desired signal to noise ratio at the output of the reduced rank stage and the second considers the maximization of the desired signal to noise-plus-interference ratio at the output of the reduced rank stage. In general, the proposed reduced rank methods reduce the size of the observation vector according to the value set to the so called decimation factor. This reduction can have a significant impact on the complexity of equalization/detection algorithms that, for instance, have a quadratic increase of the computational cost with the size of the observation vector, as the RLS receivers implemented in the considered applications.

Keywords

Detection of Signals; Reduced-Rank; Interpolation/Decimation; DS-CDMA; UWB.

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Objetivos	16
1.2	Contribuições da Pesquisa	16
1.3	Organização do Texto	16
1.4	Notação Adotada	17
1.5	Lista de Abreviações	17
2	Posto Reduzido	19
2.1	Processamento de Posto Reduzido	19
2.2	Dimensionamento do Posto Reduzido	21
2.2.1	Esquema A: Maximizar a Razão Sinal-Ruído na saída do Estágio de Redução de Posto	22
2.2.2	Esquema B: Maximizar a razão sinal-ruído mais interferência na saída do estágio de redução de posto	25
3	Aplicação dos Algoritmos de Posto Reduzido em um Sistema DS-CDMA	29
3.1	Modelo de Sinais para Sistemas DS-CDMA	29
3.1.1	Modelo Síncrono para o Enlace Reverso	29
3.1.2	Modelo Síncrono para o Enlace Direto	35
3.1.3	Receptor DS-CDMA com Posto Reduzido Interpolado	35
3.2	Análise de Desempenho do Sistema DS-CDMA	36
3.2.1	Cálculo das Estimativas	37
3.2.2	Resultados Numéricos	38
3.2.3	Complexidade Computacional dos Algoritmos	45
3.3	Considerações Finais	48
4	Aplicação dos Algoritmos de Posto Reduzido em um Sistema UWB	51
4.1	Modelo do Sistema UWB	51
4.1.1	Modulação	51
4.1.2	Transmissão de Sistema UWB com Apenas um Usuário	53
4.1.3	Modelo de Recepção	53
4.1.4	Estimação Assistida do Código Efetivo (Assinatura efetiva)	56
4.1.5	Modelo do Sistema com Múltiplo Acesso	56
4.1.6	Modelo de Sistema com Estágio de Redução do Posto	57
4.2	Resultados Numéricos	60
4.2.1	Resultados para Detecção com Filtro Casado	61
4.2.2	Resultados para Detecção MMSE	66
4.3	Considerações Finais	70
5	Conclusões	71
A	Método das Componentes Principais (PC)	75
B	Método das Potencias: Algoritmo Recursivo, Maior Autovalor	76

B.1	Demo: Maior Autovalor	76
B.2	Demo: Menor Autovalor	77
C	Estimativa da Complexidade Computacional dos Algoritmos	79

Lista de figuras

2.1	Diagrama do Posto Reduzido	19
3.1	Enlace Reverso	30
3.2	Diagrama em blocos do enlace reverso de um sistema DS-CDMA	30
3.3	Representação da ISI.	31
3.4	Estrutura do receptor com banco de filtros casados às assinaturas efetivas	32
3.5	MMSE	33
3.6	Diagrama em blocos para enlace direto de um sistema DS-CDMA	35
3.7	Diagrama em blocos para enlace reverso de um sistema DS-CDMA com posto reduzido	36
3.8	Diagrama em blocos para enlace reverso de um sistema DS-CDMA	36
3.9	Comparação das curvas do SNIR versus L_v para sistemas com 8 usuários em cenário <i>uplink</i> e equalizador MMSE	40
3.10	Comparação das curvas do SNIR _D para sistemas com 8 usuários em cenário <i>uplink</i> .	41
3.11	Comparação das curvas do SNIR versus D para sistemas com 8 usuários em cenário <i>uplink</i> e equalizador MMSE, L_v e F variável	42
3.12	Comparação das curvas do SNIR para sistemas com 8 usuários em cenário <i>uplink</i> e equalizador MMSE.	43
3.13	Comparação das curvas do SNIR para sistemas com 8 usuários em cenário <i>downlink</i> e equalizador MMSE.	43
3.14	Comparação das curvas do SNIR para sistemas com 8 usuários em cenário <i>uplink</i> e equalizador MMSE.	44
3.15	Comparação das curvas do SNIR para sistemas com 8 usuários em cenário <i>downlink</i> e equalizador MMSE.	44
3.16	Taxa de erro de bit (BER) versus $\frac{E_b}{N_0}$ para sistema DS-CDMA num cenário <i>uplink</i>	45
3.17	Taxa de erro de bit (BER) versus $\frac{E_b}{N_0}$ para sistema DS-CDMA num cenário <i>downlink</i>	46
3.18	Taxa de erro de bit (BER) versus $\frac{E_b}{N_0}$ para sistema DS-CDMA num cenário <i>uplink</i>	46
3.19	Taxa de erro de bit (BER) versus $\frac{E_b}{N_0}$ para sistema DS-CDMA num cenário <i>downlink</i>	47
3.20	Complexidade Computacional dos Algoritmos <i>full-rank</i> , o método de posto reduzido das componentes principais (PC), as técnicas de posto reduzido interpolados propostas, o Esquema A (INT-A) e o Esquema B (INT-B).	49
4.1	Estrutura do Símbolo UWB	52
4.2	Constelação na Base de Sinais $\{f_0(t), f_1(t)\}$	54
4.3	Implementação do Receptor Ótimo	55

4.4	Implementação do Receptor Sub-Ótimo	56
4.5	Diagrama de Recepção incorporando estágio de redução de posto.	58
4.6	Comparação das curvas do $SNIR_D$ para sistemas com 16 usuários.	61
4.7	Comparação das curvas do SNIR para sistemas com 1 usuário e Filtro Casado	63
4.8	Comparação das curvas do BER para sistemas com 1 usuário e Filtro Casado.	64
4.9	Comparação das curvas do SNIR para sistemas com 16 usuário e Filtro Casado com códigos de <i>time-hopping</i> ortogonais	65
4.10	Comparação das curvas do SNIR para sistemas com 16 usuário e Filtro Casado com códigos de <i>time-hopping</i> não-ortogonais	65
4.11	Comparação das curvas do BER para sistemas com 16 usuário e Filtro Casado com códigos de <i>time-hopping</i> ortogonais	66
4.12	Comparação das curvas do BER para sistemas com 16 usuário e Filtro Casado com códigos de <i>time-hopping</i> não-ortogonais	67
4.13	Comparação das curvas do SNIR para sistemas com 16 usuário e equalizador MMSE-RLS com códigos de <i>time-hopping</i> ortogonais	68
4.14	Comparação das curvas do SNIR para sistemas com 16 usuário e equalizador MMSE-RLS com códigos de <i>time-hopping</i> não-ortogonais	68
4.15	Comparação das curvas do BER para sistemas com 16 usuários e equalizador MMSE-RLS com códigos de <i>time-hopping</i> ortogonais	69
4.16	Comparação das curvas do BER para sistemas com 16 usuários e equalizador MMSE-RLS com códigos de <i>time-hopping</i> não-ortogonais	69
A.1	Diagrama em blocos do método PC	75

Lista de tabelas

3.1	Complexidade Computacional dos Algoritmos	48
C.1	Operações requeridas para a matriz $\mathcal{G}^{(i)}$, <i>full-rank</i>	79
C.2	Operações requeridas para a matriz $\hat{\mathbf{P}}^{(i)}$, <i>full-rank</i>	80
C.3	Complexidade Computacional dos Algoritmos	81

Um cara vai ver o psiquiatra e diz: “Doutor, meu irmão está louco. Ele acha que é uma galinha. O que eu faço?” O psiquiatra responde: “É melhor interná-lo”. E o homem diz: “Não posso ... eu preciso dos ovos.”

Phil Stutz e Barry Michels