

CLAUDIO JOSÉ BORDIN JÚNIOR

**MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA EQUALIZAÇÃO DE CANAIS DE
COMUNICAÇÃO**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia.

São Paulo
2006

CLAUDIO JOSÉ BORDIN JÚNIOR

**MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA EQUALIZAÇÃO DE CANAIS DE
COMUNICAÇÃO**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração:
Sistemas Eletrônicos

Orientador:
Prof. Dr. Luiz Antonio Baccalá

São Paulo
2006

Bordin Jr., Claudio José

Métodos Estatísticos para Equalização de Canais de Comunicação.
São Paulo, 2006. 132p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle.

1. Equalização Cega 2. Estimação Bayesiana 3. Filtros de Partículas
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle II. t

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Antonio Baccalá, pela constante ajuda e estímulo, indispensáveis para a realização deste trabalho.

À minha família, pelo apoio e compreensão.

Aos Professores Oswaldo Luiz do Valle Costa e Marcelo Gomes da Silva Bruno pela participação na banca examinadora de qualificação.

À FAPESP, pelo apoio financeiro¹.

A todos os demais que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

¹Este trabalho contou com o apoio financeiro da FAPESP sob a forma de bolsa de doutoramento (processo 02/11457-7).

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Formulação do Problema	2
1.2	Equalização Bayesiana	4
1.3	Organização do texto	5
1.4	Principais Contribuições	6
1.5	Publicações	7
2	Filtros de Partículas	8
2.1	Introdução	8
2.2	Degenerescência e Reamostragem	11
2.3	Escolha da função de importância	14
2.4	Algoritmo SIR	16
2.5	Filtros de Partículas para Modelos com Parâmetros Desconhecidos . .	19
2.6	Exemplos de aplicação de filtros de partículas	23
3	Filtro de Partículas para Equalização Cega	29
3.1	Modelo de sinal, hipóteses e objetivos	29
3.2	Filtro de Partículas Rao-Blackwellizado	30
3.3	Métodos para a resolução do problema da ambigüidade de fase	33
3.4	Métodos de Evolução Artificial de Parâmetros	36
3.5	Simulações	38
3.6	Comentários	50
4	Equalização e Decodificação Conjuntas empregando Filtros de Partículas	53
4.1	Equalização e Decodificação Conjuntas: Fundamentos	54
4.2	Equalização e Decodificação Conjuntas: Códigos de Bloco	55
4.3	Equalização e Decodificação conjunta: Códigos Convolucionais	61
4.4	Simulações	63
4.5	Comentários	73
5	Conclusões	76
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	78

A	Equalização de Canais de Ordem Desconhecida e Variantes no Tempo Empregando Filtros de Partículas	86
A.1	Equalização Cega de Canais de Ordem Desconhecida	86
A.2	Equalização de Canais Variantes no Tempo	94
B	Equalização Cega empregando o Algoritmo EM	99
B.1	O algoritmo EM	99
B.2	Equalização Cega empregando o algoritmo EM	101
B.3	Algoritmo Melhorado	105
B.4	Comentários	106
C	Estimação através de Métodos MCMC	109
C.1	Métodos MCMC e Cadeias de Markov - Definições Básicas	109
C.2	Algoritmo de Metropolis-Hastings	111
C.3	Amostrador de Gibbs	112
C.4	Equalização Cega empregando o Amostrador de Gibbs	113
C.5	Comentários	119
D	Densidades empregadas pelos Filtros de Partículas Rao-Blackwellizados	121
E	Amostragem Seqüencial - Fundamentos	125
E.1	Aproximação de uma densidade de probabilidade por medidas discretas	125
E.2	Amostragem por importância	126
E.3	Amostragem Seqüencial	127
F	O Algoritmo BCJR	129

Lista de Figuras

2.1	Gráfico de uma realização de $X_{0:n}$ gerado pelo modelo dado em (2.42) e de suas estimativas através de um filtro de Kalman (KF) e de um filtro de partículas (PF).	26
2.2	Gráfico de uma realização de $X_{0:n}$ gerado pelo modelo dado em (2.54) e de suas estimativas através de um filtro de Kalman estendido (EKF) e de um filtro de partículas (PF).	28
3.1	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes dos algoritmos para equalização cega baseados em filtros de partículas descritos neste capítulo, num sistema BPSK (empregando $N = 100$ partículas) e do equalizador ótimo MAP (BCJR), em função da relação sinal-ruído (SNR). Os algoritmos estocásticos e baseados em evolução artificial (EA) empregam codificação diferencial.	42
3.2	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes dos algoritmos para equalização cega baseados em filtros de partículas descritos neste capítulo, num sistema BPSK (empregando $N = 300$ partículas) e do equalizador ótimo MAP (BCJR), em função da relação sinal-ruído (SNR).	42
3.3	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes dos algoritmos para equalização cega baseados em filtros de partículas descritos neste capítulo, num sistema BPSK (empregando $N = 500$ partículas) e do equalizador ótimo MAP (BCJR), em função da relação sinal-ruído (SNR).	43
3.4	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes do equalizador ótimo MAP (BCJR) e dos algoritmos para equalização cega baseados em filtros de partículas descritos neste capítulo, num sistema BPSK, empregando $N = 300$ partículas e suavização (com atraso de 5 amostras), em função da relação sinal-ruído (SNR).	43
3.5	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes do equalizador ótimo MAP (BCJR) e dos algoritmos para equalização cega baseados em filtros de partículas descritos neste capítulo, num sistema BPSK, empregando $N = 300$ partículas e suavização (com atraso de 10 amostras), em função da relação sinal-ruído (SNR).	44

3.6	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes do equalizador ótimo MAP (BCJR), do algoritmo determinístico (utilizando $N = 100$ partículas) e dos algoritmos para equalização cega baseados em evolução artificial ($P = 1$), num sistema BPSK com codificação diferencial, em função da relação sinal-ruído (SNR) e do número de partículas N	44
3.7	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes do equalizador ótimo MAP (BCJR), do algoritmo determinístico (utilizando $N = 100$ partículas) e dos algoritmos para equalização cega baseados em evolução artificial ($P = 5$), num sistema BPSK com codificação diferencial, em função da relação sinal-ruído (SNR) e do número de partículas N	45
3.8	Efeito da escolha da variância δ^2 do núcleo de transição $p(h_n h_{n-1})$ sobre o desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes dos algoritmos para equalização cega baseados em evolução artificial ($P = 1$), utilizando $N = 1000$ partículas e suavização (com atraso de 10 amostras) em função da relação sinal-ruído (SNR), comparado com o desempenho do equalizador ótimo MAP (BCJR).	45
3.9	Efeito da escolha da variância δ^2 do núcleo de transição $p(h_n h_{n-1})$ sobre o desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes dos algoritmos para equalização cega baseados em evolução artificial ($P = 5$), utilizando $N = 1000$ partículas e suavização (com atraso de 10 amostras) em função da relação sinal-ruído (SNR), comparado com o desempenho do equalizador ótimo MAP (BCJR).	46
3.10	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes do equalizador ótimo MAP (BCJR) e do algoritmo para equalização cega baseado no filtro de partículas estocástico empregando a função de importância ótima, num sistema BPSK com codificação diferencial, em função da relação sinal-ruído (SNR), do limiar de reamostragem e do número de partículas empregado.	46
3.11	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes do equalizador ótimo MAP (BCJR) e do algoritmo para equalização cega baseado no filtros de partículas estocástico empregando a função de importância <i>a priori</i> , num sistema BPSK com codificação diferencial, em função da relação sinal-ruído (SNR), do limiar de reamostragem e do número de partículas empregado.	47
3.12	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes do equalizador ótimo MAP (BCJR) e de algoritmos para equalização cega baseados em filtros de partículas estocásticos (utilizando $N = 300$ partículas e suavização (10 amostras)), empregando a função de importância ótima e <i>a priori</i> , num sistema BPSK com codificação diferencial, em função da relação sinal-ruído (SNR) e do limiar de reamostragem.	47

3.13	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes do equalizador ótimo MAP (BCJR) e do algoritmo para equalização cega baseado em evolução artificial, num sistema BPSK com codificação diferencial sob ruído de envoltória Weibull (real, com $\alpha = 1, 1$), em função da relação sinal-ruído (SNR). As linhas cheias mostram os resultados para $N = 500$ partículas, enquanto as linhas tracejadas, resultados para $N = 1000$ partículas.	49
3.14	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes do equalizador ótimo MAP (BCJR) e do algoritmo para equalização cega baseado em evolução artificial, num sistema BPSK com codificação diferencial sob ruído de envoltória Weibull (real, com $\alpha = 1, 1$), em função da relação sinal-ruído (SNR), empregando suavização (10 amostras). As linhas cheias mostram os resultados para $N = 500$ partículas, enquanto as linhas tracejadas, resultados para $N = 1000$ partículas.	50
3.15	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes do equalizador ótimo MAP (BCJR) e do algoritmo para equalização cega baseado em evolução artificial, num sistema QPSK com codificação diferencial (Gray) sob ruído de envoltória Weibull (complexo, com $\alpha = 1, 1$), em função da relação sinal-ruído (SNR). As linhas cheias mostram os resultados para $N = 500$ partículas, enquanto as linhas tracejadas, resultados para $N = 1000$ partículas.	51
3.16	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes do equalizador ótimo MAP (BCJR) e do algoritmo para equalização cega baseado em evolução artificial, num sistema QPSK com codificação diferencial (Gray) sob ruído de envoltória Weibull (complexo, com $\alpha = 1, 1$), em função da relação sinal-ruído (SNR), empregando suavização (10 amostras). As linhas cheias mostram os resultados para $N = 500$ partículas, enquanto as linhas tracejadas, resultados para $N = 1000$ partículas.	52
4.1	Modelo de sinal adotado neste capítulo.	54
4.2	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes de algoritmos para equalização e decodificação conjunta empregando o filtro de partículas estocástico com função de importância ótima (STO) e o filtro determinístico (DET), e de um esquema treinado (MAP) descrito no texto, em função da SNR e do atraso de suavização d , para um sistema empregando o código de blocos B_1 descrito na Tab. 4.2. . . .	59
4.3	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes de algoritmos para equalização e decodificação conjunta empregando o filtro de partículas estocástico com função de importância ótima (STO) e o filtro determinístico (DET), e de um esquema treinado (MAP) descrito no texto, em função da SNR e do atraso de suavização d , para um sistema empregando o código de blocos B_2 descrito na Tab. 4.2. . . .	60

4.4	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes de diversos algoritmos para equalização e decodificação conjunta em função da relação sinal-ruído (SNR) e do limiar para reamostragem para um sistema empregando o código convolucional (5, 7, 2). (A) Desempenho dos algoritmos empregando reamostragem multinomial, comparado com os esquemas alternativos descritos no texto. (B) O mesmo para reamostragem residual. (C) O mesmo para reamostragem sistemática. (D) Resultados dos últimos 3 experimentos com limiar igual à 0,2 e do filtro determinístico.	65
4.5	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes de diversos algoritmos para equalização e decodificação conjunta em função da relação sinal-ruído (SNR) e do limiar para reamostragem para um sistema empregando o código convolucional (17, 12, 04). (A) Desempenho dos algoritmos empregando reamostragem multinomial, comparado com os esquemas alternativos descritos no texto. (B) O mesmo para reamostragem residual. (C) O mesmo para reamostragem sistemática. (D) Resultados dos últimos 3 experimentos com limiar igual à 0,2 e do filtro determinístico.	66
4.6	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes de diversos algoritmos para equalização e decodificação conjunta em função da relação sinal-ruído (SNR) e do limiar para reamostragem para um sistema empregando o código convolucional (63, 44, 17). (A) Desempenho dos algoritmos empregando reamostragem multinomial, comparado com os esquemas alternativos descritos no texto. (B) O mesmo para reamostragem residual. (C) O mesmo para reamostragem sistemática. (D) Resultados dos últimos 3 experimentos com limiar igual à 0,2 e do filtro determinístico.	67
4.7	Sistema de comunicação empregando codificação diferencial em cascata com um codificador convolucional.	68
4.8	Desempenho médio ao longo de 250 realizações independentes de diversos algoritmos para equalização e decodificação conjunta em função da relação sinal-ruído (SNR) e do limiar para reamostragem para um sistema empregando o código convolucional (5, 7). (A) Desempenho dos algoritmos empregando reamostragem multinomial, comparado com os esquemas alternativos descritos no texto. (B) O mesmo para reamostragem residual. (C) O mesmo para reamostragem sistemática. (D) Resultados dos últimos 3 experimentos com limiar igual à 0,2 e do filtro determinístico.	69

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

