

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Carlos Mario Correa Torres

**Transmissão de Imagem Através de Canal
Ruidoso Usando Códigos LT**

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. Weiler Alves Finamore

Rio de Janeiro
Setembro de 2009



Carlos Mario Correa Torres

**Transmissão de Imagem Através de Canal
Ruidoso Usando Códigos LT**

Dissertação de Mestrado 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. Weiler Alves Finamore
Orientador

Centro de Estudos de Telecomunicações– PUC-Rio

Prof. Eduardo Antonio Barros da Silva
UFRJ

Prof. José Mauro Pedro Fortes
Centro de Estudos de Telecomunicações– PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Grivet M. Maia
Centro de Estudos de Telecomunicações– PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 11 de setembro de 2009

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

Carlos Mario Correa Torres

Graduou-se em Engenharia de Controle na Universidade Nacional de Colombia (Medellín, Colombia).

Ficha Catalográfica

Correa Torres, Carlos Mario

Transmissão de Imagens Através de Canal Ruidoso Usando Códigos LT / Carlos Mario Correa Torres; orientador: Weiler Alves Finamore. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2009.

v., 85 f: il. ; 29,7 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Tese. 2. Códigos Fontanais. 3. Códigos LT. 4. Compressão de Imagen. 5. SPIHT. 6. Transformada Wavelet. 7. Códigos Corretores de Erro. I. Alves Finamore, Weiler. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

A minha família, que sempre foi a minha motivação para melhorar.

A meu Orientador Weiler Finamore pelo apoio, amizade, paciência e orientação acertada desde o começo deste desafio.

A CAPES e A PUC-Rio, pelos auxílios, fundamentais para lograr meu desejo de crescimento profissional nesta etapa de minha vida.

A meus professores do CETUC, particularmente a Jose Mauro Portes, João Célio Brandão e Marco Antonio Grivet, pela formação acadêmica.

Ao pessoal do CETUC em especial ao Franklin Paiba, Davi Guedes, Mauro Lustosa, Tiago Vinhoza, Rodrigo Moraes, por sua amizade e apoio neste processo.

A aqueles amigos que acreditaram em mim desde longe, a meus amigos do brasil que fizeram que a permanência neste pais fora maravilhosa.

Resumo

Correa Torres, Carlos Mario; Alves Finamore, Weiler. **Transmissão de Imagens Através de Canal Ruidoso Usando Códigos LT**. Rio de Janeiro, 2009. 85p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Para transmissão da informação de maneira confiável, em canais com apagamento, foram criados os códigos LT (*Luby Transform*), uma das principais classes de códigos fontanais. Estes códigos não têm uma taxa fixa, em outras palavras, eles têm taxa versátil. Esta dissertação aborda o estudo da transmissão de imagens através de canal ruidoso, AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), com o uso de Códigos LT.

Investigou-se o desempenho usando uma modulação BPSK, dois esquemas foram testados: Um esquema para canal que inclui apagamento (BESC) e um outro que foi proposto usando um código Hamming em série com um código LT. O esquema LT-Hamming apresentou um ganho de código maior que o esquema BESC e o código convolucional de semelhantes características.

Foi testado o esquema LT-Hamming para diferentes tipos de imagens em um canal AWGN usando a técnica SPIHT para a compressão das imagens. Para obter uma medida objetiva da qualidade da imagem recuperada foi usado o parâmetro PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) e foram apresentadas algumas imagens com o objetivo de analisar sua qualidade através de uma inspeção visual. Dado que o código LT é versátil para o que diz respeito à taxa de código, foi proposto um método para atribuir diferentes níveis de proteção da informação codificada, UEP (*Unequal Error Protection*).

Palavras-chave

Códigos Fontanais. Códigos LT. Compressão de Imagem. SPIHT. Transformada Wavelet. Códigos Corretores de Erro.

Abstract

Torres, Carlos Mario Correa; Finamore, Weiler Alves (Advisor). **Image Transmission Through Noisy Channels With Lt Codes**. Rio de Janeiro, 2009. 85p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

To transfer reliably information in erasure channels, LT (*Luby Transform*) codes were created, they are part of the main class of fountain codes, this codes don't have fixed rate, in other words, they have a versatile code rate. This thesis addresses to the study of images transmission through noisy channel, AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) using LT codes.

We investigated the performance using a BPSK modulation, two schemes were tested: A scheme of channel that includes deletion (BESC) and another that was proposed, using a Hamming code in series with a LT code. The LT-Hamming scheme present a gain code larger than BESC scheme and convolutional codes of similar characteristics.

Was tested LT-Hamming scheme for different types of images on AWGN channel using the SPIHT technique for images compression. To obtain an objective measure of image quality was used the PSNR (*Peak Signal Noise Ratio*) and some images were presented in order to analyze its quality through visual inspection. given that LT code is a versatile for what concern the code rate it was proposed a method to assign different protection levels to the coded information, UEP (*Unequal Error Protection*).

Keywords

Fountain Codes. LT Codes. SPIHT. Rateless Codes. Erasure Channels. AWGN Channel.

Sumário

Sumário das notações	13
1 Introdução	14
1.1 Motivação	14
2 Compressão	16
2.1 Compressão de Imagens	16
2.2 SPIHT	18
2.2.1 Transmissão progressiva de imagens	18
2.2.2 Transmitindo os valores dos coeficientes	19
2.2.3 Classificando os conjuntos particionados	20
2.2.4 Orientação espacial da árvore	21
2.3 Algoritmo de codificação SPIHT	23
2.4 Exemplo	24
2.4.1 Inicialização	24
2.4.2 Ordenação	25
2.4.3 Refinamento	25
2.5 Resumo	30
3 Codificação para Canal	31
3.1 Códigos Fontanais	32
3.1.1 Fontana Linear Aleatória	32
3.2 Código LT	34
3.2.1 Codificação LT	35
3.2.2 Codificador LT como um código em grafo	36
3.2.3 Decodificação	37
3.2.4 Distribuição de graus	38
3.2.5 Distribuição de graus Sóliton Robusta	40
3.2.6 Distribuição de graus Sóliton Robusta Melhorada	41
3.3 Resumo	44
4 Transmissão Através de Canal Ruidoso	45
4.1 Modelos de Canais	45
4.2 Canal de Tempo Discreto	46
4.3 Modelo de canais com apagamentos	47
4.3.1 Canal BEC	47
4.4 Modulação BPSK	48
4.5 Modelo de canal usado	50
4.5.1 Sistemas de comunicação BPSK com código LT	51
4.6 Codificação LT em um canal BESC	53
4.7 Usando um código Hamming para detecção de erro	60
4.8 Resumo	61
5 Testes em Imagens	63

5.1	UEP usando codificação LT	70
5.2	Resumo	75
6	Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros	76
6.1	Conclusões	76
6.2	Sugestões para trabalhos futuros	78
	Referências Bibliográficas	79
A	Codificação em bloco	81
A.1	Código em bloco lineares	81
A.2	Códigos Hamming	84

Lista de figuras

2.1	Diagrama em Blocos de um Sistema de comunicações para Transmissão de Imagens.	16
2.2	Lena 256×256 comprimida com SPIHT logo de que o <i>bitstream</i> atravessa um canal AWGN com $E_b/N_o = 6dB$ a imagem é descomprimida, na imagem da direita os erros ocorrem no início do bitstream.	17
2.3	Representação binária de coeficientes em ordem de magnitude .	20
2.4	Orientação espacial da árvore.	22
2.5	Esquema de Inicialização	26
2.6	Esquema da Primeira classificação	26
2.7	Esquema de segunda classificação	27
2.8	Esquema do refinamento	27
2.9	Esquema da terceira classificação	28
2.10	Esquema logo da terceira classificação	28
2.11	Desempenho do Algoritmo SPIHT.	29
3.1	Matriz geradora de um código linear.	33
3.2	Grafo resultante da codificação.	38
3.3	Processo de decodificação.	39
3.4	A distribuição Sóliton Robusta para o caso $k = 10^4$, $c = 0.2$ e $\delta = 0.1$.	41
3.5	A distribuição Sóliton Robusta Melhorada para o caso $k = 10000$, $c = 0.2$ e $\delta = 0.1$	42
3.6	Histograma normalizado de símbolos requeridos para uma decodificação com sucesso para Sóliton Robusta para o caso $k = 1000$, $c = 0.2$ e $\delta = 0.1$	43
3.7	Histograma normalizado de símbolos requeridos para uma decodificação com sucesso para Sóliton Robusta Melhorada para o caso $k = 1000$, $c = 0.2$ e $\delta = 0.1$	43
3.8	CDF baseada nos histogramas das Figuras 3.6 e 3.7	44
4.1	Modelo de um canal contínuo aditivo.	45
4.2	Canal BSC.	46
4.3	Canal BEC.	48
4.4	Filtro casado ao receptor.	49
4.5	Desempenho da modulação BPSK sem código	51
4.6	Zona de apagamento para $\theta = 0(a)$, e para $\theta \neq 0 (b)$.	52
4.7	Canal BESC.	53
4.8	Diagrama de blocos do sistema de comunicação proposto	53
4.9	SER (<i>Symbol Error Rate</i>) e SErR (<i>Symbol Erasure Rate</i>) versus E_b/N_0 (dB), para canal BESC derivado de BPSK, $\theta = 0.2$.	54
4.10	SER(<i>Symbol Error Rate</i>) e SErR (<i>Symbol Erasure Rate</i>) versus E_b/N_0 (dB), para canal BESC derivado de BPSK, $\theta = 0.5$.	54
4.11	SER(<i>Symbol Error Rate</i>) e SErR (<i>Symbol Erasure Rate</i>) versus E_b/N_0 (dB), para canal BESC derivado de BPSK, $\theta = 0.7$.	55

4.12	Falha na decodificação e erro .	56
4.13	Histograma normalizado de símbolos requeridos para decodificação com sucesso, usando $\theta = 0.2$ com taxa de apagamento de 8%, $k = 1000$.	57
4.14	Histograma normalizado de símbolos requeridos para decodificação com sucesso, usando $\theta = 0.5$ com taxa de apagamento de 20%, $k = 1000$.	57
4.15	Desempenho código LT em BPSK, com $\theta = 0.2$, $R = 1/2$	58
4.16	Desempenho código LT em BPSK, $\theta = 0.5$, $R = 1/2$	58
4.17	Desempenho código LT em BPSK, $\theta = 0.7$, $R = 1/2$	59
4.18	Esquema de proteção com detecção de erros.	60
4.19	Desempenho código LT-Hamming	61
5.1	Esquema de proteção com detecção de erros LT Hamming.	63
5.2	Lena Original 512×512 .	64
5.3	Lena 512×512 com erro catastrófico logo de atravessar um canal AWGN com $E_b/N_0 = 6dB$, sem controle de erro, com compressão de 0.1 bpp, $PSNR = 1,25dB$.	64
5.4	Lena 512×512 logo de atravessar um canal AWGN com $E_b/N_0 = 6dB$, sem controle de erro, com compressão de 0.1 bpp, $PSNR = 19,03dB$.	65
5.5	Imagem Lena Obtida depois de atravessar um canal AWGN com $E_b/N_0 = 6dB$ usando para controle de erro LT-Hamming, com compressão de 0.1 bpp, $PSNR = 29.8139$.	65
5.6	Lena 512×512 com erro catastrófico logo de atravessar um canal AWGN com $E_b/N_0 = 6dB$, sem controle de erro, com compressão de 0.5 bpp, $PSNR = 0,95dB$.	66
5.7	Lena Original 512×512 logo de atravessar um canal AWGN com $E_b/N_0 = 6dB$, sem controle de erro com compressão de 0.5 bpp, $PSNR = 19,08dB$.	66
5.8	Imagem Lena Obtida depois de atravessar um canal AWGN com $E_b/N_0 = 6dB$ usando para controle de erro LT-Hamming, com compressão de 0.5 bpp, $PSNR = 36.7851dB$.	67
5.9	Prédio original 512×512	67
5.10	Imagem Prédio 512×512 logo de atravessar um canal AWGN com $E_b/N_0 = 6dB$ com compressão de 0.1 bpp sem controle de erro $PSNR=15,42$ dB	68
5.11	Imagem Prédio com compressão de 0.1 bpp e obtida depois de atravessar um canal AWGN com $E_b/N_0 = 6dB$, usando para controle de erro LT-Hamming, $PSNR = 24.8235$	68
5.12	Imagem Prédio 512×512 logo de atravessar um canal AWGN com $E_b/N_0 = 6dB$ com compressão de 0.5 bpp sem controle de erro $PSNR=13,40$ dB	69
5.13	Imagem Prédio com compressão de 0.5 bpp e obtida depois de atravessar um canal AWGN com $E_b/N_0 = 6dB$, usando para controle de erro LT-Hamming, $PSNR = 32.2189$	69
5.14	Frutas original	71

- 5.15 Imagem frutas Obtida depois de atravessar um canal AWGN com $E_b/\mathcal{N}_0 = 6\text{dB}$ com compressão de 0.1 bpp, usando uma divisão do *bitstream* em 10 blocos com Overhead igual para cada bloco: $0v=[0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5]$, $PSNR = 28,2161$ 71
- 5.16 Imagem frutas Obtida depois de atravessar um canal AWGN com $E_b/\mathcal{N}_0 = 4\text{dB}$ com compressão de 0.1 bpp usando uma divisão na codificação do *bitstream* em 10 blocos com Overhead igual para cada bloco: $0v=[0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5\ 0.5]$, $PSNR = 24,3191$ 72
- 5.17 Imagem frutas Obtida depois de atravessar um canal AWGN com $E_b/\mathcal{N}_0 = 4\text{dB}$ com compressão de 0.1 bpp e UEP usando uma divisão na codificação do *bitstream* de 10 blocos com Overhead diferenciado para cada bloco: $0v=[0.6\ 0.6\ 0.6\ 0.6\ 0.6\ 0.6\ 0.6\ 0.6\ 0.2\ 0.1]$, $PSNR = 27,3201$ 72
- 5.18 Desempenho dos esquemas LT-Hamming com UEP e LT-Hamming sem UEP para imagem a frutas, comprimindo com SPIHT a uma taxa de 0.1 bpp. 73
- 5.19 PUC Original 74
- 5.20 Imagem PUC comprimida com SPIHT 0.5 bpp e recuperada depois de passar por um canal AWGN com $E_b/\mathcal{N}_0 = 6\text{dB}$, usando LT-Hamming para controle de erro, $PSNR = 21,55\ \text{dB}$. 74

Lista de tabelas

3.1 Processo de codificação.

37

Sumário das notações

k	Número de símbolos de entrada
n	Número de símbolos codificados
R	Taxa do código
c	Parâmetro da distribuição Sóliton Robusta
δ	Limite superior da probabilidade de falha na decodificação de códigos LT
β	Constante de normalização
P_a	Probabilidade de apagamento do canal BEC
θ	Zona de apagamento