

Marcelo Corrêa Ramos

Variações sobre Códigos LT

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Weiler Alves Finamore

Rio de Janeiro
Agosto de 2010



Marcelo Corrêa Ramos

Variações sobre Códigos LT

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Weiler Alves Finamore

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica — PUC-Rio

Prof. Raimundo Sampaio Neto

Departamento de Engenharia Elétrica — PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

Departamento de Engenharia Elétrica — PUC-Rio

Prof. Sueli Irene Rodrigues Costa

Departamento de Matemática — UNICAMP

Prof. Valdemar Cardoso da Rocha Júnior

Departamento de Eletrônica e Sistemas — UFPE

Prof. Sérgio Lima Netto

Departamento de Eng. Eletrônica e de Computação — UFRJ

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 20 de Agosto de 2010

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. Na mesma instituição, obteve o título de Mestre em Engenharia Elétrica em Agosto de 2004. Trabalhou como pesquisador no Grupo de Pesquisa em Telecomunicações Sem Fio (GTEL), da Universidade Federal do Ceará. Em Agosto de 2005 iniciou, na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, o seu doutorado na área de Sistemas de Telecomunicações.

Ficha Catalográfica

Ramos, Marcelo Corrêa

Variações sobre Códigos LT / Marcelo Corrêa Ramos; orientador: Weiler Alves Finamore. — Rio de Janeiro : PUC–Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2010.

v., 70 f: il. ; 29,7 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Tese. 2. Códigos LT. 3. Códigos LT Sistemáticos Alongados. 4. Fontanas Digitais. 5. Canal BEC. I. Finamore, Weiler Alves. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Dedico esta tese a Rejane (mãe), Thico (irmão) e Odete (avó).

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Weiler Finamore, por toda a paciência e pelos inúmeros ensinamentos nesses anos de trabalho em conjunto.

Aos que fazem parte do CETUC, funcionários, colegas e professores, por me proporcionarem um ótimo ambiente de trabalho.

Ao CNPq e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao Franklin, por ter iniciado este trabalho e por ter me fornecido todas as informações das quais precisei para a continuidade do mesmo.

A todos os meus amigos e amigas, por todos os momentos de alegria que passamos juntos (ou a distância) durante esses anos.

Às cidades do Rio de Janeiro e de Recife, por serem minhas casas.

À Fabi, por ser a minha parzinha e por ter me proporcionado a força necessária na reta final desta tese.

À minha mãe Rejane, por tudo.

E à minha família, pelo incentivo e amor que me deu durante todos esses anos em que estive distante.

Resumo

Ramos, Marcelo Corrêa; Finamore, Weiler Alves. **Variações sobre Códigos LT**. Rio de Janeiro, 2010. 70p. Tese de Doutorado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A construção de novos códigos através de modificações (alongamento, punccionamento, etc.) de um código conhecido é uma prática comum quando se lida com códigos clássicos. Nesta tese é mostrado que bons códigos podem ser obtidos com algumas dessas técnicas, aparentemente não eficazes aos códigos fontanais. Os Códigos LT (*Luby Transform*) Sistemáticos Alongados são apresentados e, a partir de simulações realizadas em programa desenvolvido para essa finalidade, mostra-se um melhor desempenho em relação aos seus códigos-mãe correspondentes, sob uma mesma condição de redundância. A técnica de alongamento pode ser bastante útil, minimizando a necessidade de se trabalhar com blocos de informação grandes, caracterizada nos códigos fontanais e, por consequência, nos códigos LT.

Palavras-chave

Códigos LT. Códigos LT Sistemáticos Alongados. Fontanas Digitais. Canal BEC.

Abstract

Ramos, Marcelo Corrêa; Finamore, Weiler Alves. **LT Codes Variations**. Rio de Janeiro, 2010. 70p. Doctoral Thesis — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Construction of new codes by modifying (extending, puncturing, etc) a known code is a common practice when dealing with classical codes. We have shown in this thesis that good codes can be obtained with these techniques, apparently not effective for fountain codes. Lengthened Systematic Luby Transform Codes have being demonstrated, through simulation, to perform better when compared to the mother codes, under the same redundancy condition. Lengthening might be a useful technique which alleviates the need for large frame requirements posed by the fountain codes.

Keywords

LT Codes. Lengthened Systematic LT Codes. Digital Fountains. Binary Erasure Channel (BEC).

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Histórico dos Códigos LT	13
1.2	Trabalhos Relacionados aos Códigos LT	15
1.3	Proposta da tese	17
1.4	Estrutura da Tese	17
2	Códigos LT	19
2.1	Codificação	21
2.2	Decodificação	25
2.3	Distribuições de Graus para Projeto de um Código LT	28
2.4	Códigos LT Sistemáticos	35
2.5	Códigos LT Bidimensionais	38
3	Variações Propostas Sobre os Códigos LT	42
3.1	Variações Sobre os Códigos LT Bidimensionais	42
3.2	Variações Sobre os Códigos LT Convencionais	43
4	Resultados	48
4.1	Códigos LT Bidimensionais	48
4.2	Códigos LT Convencionais	56
5	Conclusões	65
	Referências Bibliográficas	68

Lista de figuras

1.1	Sistema de comunicação codificado.	14
1.2	Representação de um canal BEC (<i>Binary Erasure Channel</i>).	15
2.1	Grafo \mathcal{G} resultante da codificação da Tabela 2.1.	24
2.2	A distribuição Sóliton Robusta (DSR) para o caso $k = 10000$, $c = 0.2$ e $\delta = 0.1$.	31
2.3	A distribuição Sóliton Robusta Melhorada (DSRM) para o caso $k = 10000$, $c = 0.2$ e $\delta = 0.1$.	33
2.4	A distribuição Sóliton Robusta Melhorada Truncada (DSRMT) para o caso $k = 10000$, $c = 0.2$, $\delta = 0.1$ e $\gamma = 6$.	35
2.5	Desempenho das distribuições Sóliton Robusta (DSR), Sóliton Robusta Melhorada (DSRM) e Sóliton Robusta Melhorada Truncada (DSRMT), com $k = 1000$, $c = 0.03$, $\rho = 0.1$, $\gamma = 6$ e $\epsilon = 30\%$.	36
2.6	Grafo \mathcal{G}_{sist} resultante da codificação da Tabela 2.2.	38
2.7	Diagrama em blocos de um sistema de comunicações fazendo uso de um código Raptor.	39
2.8	Reagrupamento bidimensional dos símbolos de entrada \mathbf{u} .	39
2.9	Processo de codificação LT bidimensional.	40
3.1	Sistema de transmissão utilizando dois códigos SLT concatenados de forma serial (SLT_{CONC}).	44
3.2	Processo de decodificação utilizando dois códigos SLT concatenados de forma serial com uma iteração extra ($SLT_{CONC-ITER}$).	45
3.3	Sistema de transmissão utilizando um código SLTA.	46
4.1	Comparação da TAS entre esquemas SLT-nSLT para diversas matrizes LT, com $\epsilon_H = 0.05$ e $\epsilon_V = 0.24$.	50
4.2	Comparação da TAS entre esquemas SLT-nSLT para diversas matrizes LT, com $\epsilon_H = 0.05$ e $\epsilon_V = 0.24$.	51
4.3	Comparação do <i>overhead</i> total requerido entre esquemas SLT-nSLT com diversas combinações de ϵ_H e ϵ_V . Matriz LT: (1000×500) .	52
4.4	Comparação da TAS entre os esquemas nSLT, SLT e SLT-nSLT com diversas variações das distribuições de graus (DG) para $\epsilon = 0.30$, sendo $\epsilon_H = 0.05$ e $\epsilon_V = 0.24$. Matrizes LT: (1000×1000) , SLT-nSLT e (1×1000) , nSLT e SLT.	53
4.5	Comparação da TAS entre as configurações SLT-nSLT e SLT-SLT com diversas combinações de ϵ_H e ϵ_V . Matriz LT: (1000×500) .	54
4.6	Comparação do <i>overhead</i> total requerido entre os esquemas SLT e SLT-SLT com diversas combinações de ϵ_H e ϵ_V . Matrizes LT: (1000×1000) , SLT-SLT e (1×1000) , SLT.	55
4.7	Comparação da TAS entre esquemas SLT, SLT_{CONC} e $SLT_{CONC-ITER}$ com $\epsilon_{CONC} = 0.20$ ou 0.40 . $k = 500$.	56
4.8	Comparação da TAS entre esquemas $SLT_{CONC-ITER}$, $SLT_{CONC-ITER}^1$ e $SLT_{CONC-ITER}^2$ com $\epsilon_{CONC} = 0.10$ ou 0.20 . $k = 1000$.	58

- 4.9 Comparação da TAS entre um esquema SLT e esquemas SLTA com diversas combinações de η e ϵ' . $\epsilon = 0.11$, $\epsilon_{SLTA} \approx 0.11$ e $k = 500$. 59
- 4.10 Comparação da TF entre um esquema SLT e esquemas SLTA com diversas combinações de η e ϵ' . $\epsilon = 0.11$, $\epsilon_{SLTA} \approx 0.11$ e $k = 500$. 59
- 4.11 Comparação do *overhead* total requerido entre um esquema SLT e esquemas SLTA com diversas combinações de η e ϵ' . $\epsilon = 0.11$, $\epsilon_{SLTA} \approx 0.11$ e $k = 500$. 60
- 4.12 Comparação da TAS entre um esquema SLT e esquemas SLTA com diversas combinações de η e ϵ' . $\epsilon = 0.32$, $\epsilon_{SLTA} \approx 0.32$ e $k = 500$. 61
- 4.13 Comparação da TF entre um esquema SLT e esquemas SLTA com diversas combinações de η e ϵ' . $\epsilon = 0.32$, $\epsilon_{SLTA} \approx 0.32$ e $k = 500$. 62
- 4.14 Comparação da TAS entre um esquema SLT com $\epsilon = 32\%$ e esquemas SLTA com $\eta = 10\%$ e $\epsilon' = 10, 19$ e 28% . $k = 500$. 63
- 4.15 Comparação da TF entre um esquema SLT com $\epsilon = 32\%$ e esquemas SLTA com $\eta = 10\%$ e $\epsilon' = 10, 19$ e 28% . $k = 500$. 63
- 4.16 Comparação do *overhead* total requerido entre um esquema SLT com $\epsilon = 32\%$ e esquemas SLTA com $\eta = 10\%$ e $\epsilon' = 10, 19$ e 28% . $k = 500$. 64

Lista de tabelas

2.1	Processo de codificação (\oplus denota a operação XOR).	23
2.2	Processo de codificação LT sistemática.	37
4.1	Valores de γ em função de k .	49
4.2	Parâmetros utilizados nas Figuras 4.9, 4.10 e 4.11 para $k = 500$.	58
4.3	Parâmetros utilizados nas Figuras 4.12 e 4.13 para $k = 500$.	61

A sorrir, eu pretendo levar a vida.

Cartola e Elton Medeiros, *O Sol Nascerá.*