

**Luís Eduardo Antunes de
Resende**

**Desenvolvimento de uma
ferramenta de análise de
desempenho para o padrão
de TV Digital ISDB-T**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Elétrica – Centro de
Estudos em Telecomunicações**

Rio de Janeiro
Julho de 2004



Luís Eduardo Antunes de Resende

**Desenvolvimento de uma ferramenta de
análise de desempenho para o padrão de
TV Digital ISDB-T**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Weiler Alves Finamore

Rio de Janeiro
Julho de 2004



Luís Eduardo Antunes de Resende

**Desenvolvimento de uma ferramenta de
análise de desempenho para o padrão de
TV Digital ISDB-T**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica – Centro de Estudos em Telecomunicações do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Weiler Alves Finamore

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações – PUC

Prof. Eduardo Parente Ribeiro

UFPr

Prof. Raimundo Sampaio Neto

Centro de Estudos em Telecomunicações – PUC–Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico

PUC

Rio de Janeiro, 9 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.

Luís Eduardo Antunes de Resende

Graduou-se em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicação pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Ficha Catalográfica

Resende, Luís Eduardo Antunes de

Desenvolvimento de uma ferramenta de análise de desempenho para o padrão de TV Digital ISDB-T/ Luís Eduardo Antunes de Resende; orientador: Weiler Alves Finamore. — Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2004.

v., 106 f: il. ; 29,7 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. TV Digital. 3. ISDB-T. 4. OFDM. I. Finamore, Weiler Alves. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Professor Weiler A. Finamore, pela oportunidade, apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

Ao corpo docente do CETUC, pelo aprendizado proporcionado.

À CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos.

Agradeço de forma especial aos meus pais, que mais uma vez foram fundamentais na minha vida, aos meus irmãos e à Raquel, que estiveram ao meu lado nesta empreitada.

Agradeço ainda à Thelma pela confiança depositada, ao Márcio e Tiago por todos os ensinamentos trocados e contribuições que proporcionaram o sucesso deste trabalho, e a todos os outros amigos que fiz no CETUC, que me proporcionaram não apenas momentos de aprendizagem, mas momentos de companheirismo que espero que se perpetuem.

Resumo

Resende, Luís Eduardo Antunes de; Finamore, Weiler Alves. **Desenvolvimento de uma ferramenta de análise de desempenho para o padrão de TV Digital ISDB-T**. Rio de Janeiro, 2004. 106p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

TV Digital é um dos assuntos mais discutidos na atualidade, devido ao grau de influência que ela exerce sobre toda população, pelas inovações propostas que conseqüentemente trarão novas e interessantes facilidades aos espectadores, e pela corrida tecnológica que ela está desenvolvendo.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta de análise de desempenho do padrão de TV Digital japonês ISDB-T. Através dela é possível identificar as características positivas e negativas do sistema, fazer uma análise mais detalhada do padrão e identificar os benefícios que esta nova tecnologia trás para os telespectadores. Ainda, o desempenho da transmissão é avaliado através dos resultados gerados pela ferramenta, sob forma de gráficos, que servem como método comparativo entre as diversas configurações possíveis no sistema. Estas comparações permitem a identificação da configuração ótima para cada tipo do canal.

Palavras-chave

TV Digital, ISDB-T, OFDM.

Abstract

Resende, Luís Eduardo Antunes de; Finamore, Weiler Alves. **D.** Rio de Janeiro, 2004. 106p. MSc. Dissertation — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Digital TV is one of the most discussed subjects nowadays, due to the influence they exert in population, the services offered by innovations and the technological race developed.

A tool which has been developed to assess the quality of ISDB-T system through the simulation will be discussed in this work. This tool enables us to test the data transmission performance of all ISDB-T system configurations. Situations simulated involve AWGN channel and, to evaluate one of the most disturbing interferences on television signal, AWGN plus multipath channel is also under consideration. The results are shown in graphics, which allow comparisons among all possible configurations and to know the performance of this system.

Keywords

Digital TV, ISDB-T, OFDM.

Conteúdo

1	Introdução	13
2	TV Digital	16
2.1	Interatividade	17
2.2	Dimensionamento da faixa de frequência	21
2.3	Degradação do sinal no canal de comunicação	22
2.4	SCM versus MCM	23
2.5	O padrão americano	26
2.6	O padrão chinês	27
2.7	O padrão europeu	28
2.8	O padrão japonês	29
3	Aspectos de transmissão	30
3.1	O OFDM	30
3.2	A transmissão no ISDB-T	37
3.3	A transmissão hierárquica	39
4	ISDB-T	44
4.1	O processo de transmissão	50
4.2	A codificação de canal	50
4.3	Modulação	57
5	Descrição da ferramenta de simulação	77
5.1	A estrutura	78
5.2	O canal de comunicações	81
5.3	A recepção	84
6	Resultados	88
6.1	Avaliações e resultados da ferramenta de simulação	88
6.2	Sugestão para trabalhos futuros	95
6.3	Conclusão	96
A	O canal TMCC	99
A.1	Composição do canal TMCC	99

Lista de Tabelas

2.1	Resumo dos parâmetros dos sistemas com portadora única	25
2.2	Resumo dos parâmetros do sistema DVB-T	25
2.3	Resumo dos parâmetros do sistema ISDB-T	25
3.1	Limitantes do espectro de transmissão da TV Digital	39
4.1	Número de portadoras do sistema	45
4.2	Parâmetros do segmento OFDM	47
4.3	Parâmetros do sinal transmitido	48
4.4	Taxa de dados para um segmento.	49
4.5	Taxa de dados do sistema, composto pelos 13 segmentos.	49
4.6	Tamanhos do Frame Multiplex segundo modo e tamanho do IG	52
4.7	Valores em TSP requeridos para ajuste de atraso, devido ação do entrelaçador de byte, onde N representa o número de segmentos utilizados pela camada	55
4.8	O codificador convolucional de taxa 1/2 e $k=7$	57
4.9	Valores requeridos para ajuste de atraso.	59
4.10	Valores requeridos para normalização dos símbolos	64
4.11	Valores requeridos para ajuste de atraso pelo efeito do entrelaçador	67
4.12	Posição dos canais TMCC e AC para Modo 1 e modulação diferencial	70
4.13	Posição dos canais TMCC e AC para Modo 2 e modulação diferencial	71
4.14	Posição dos canais TMCC e AC para Modo 3 e modulação diferencial	72
4.15	Posição dos canais TMCC e AC para Modo 1 e modulação síncrona	73
4.16	Posição dos canais TMCC e AC para Modo 2 e modulação síncrona	73
4.17	Posição dos canais TMCC e AC para Modo 3 e modulação síncrona	74
4.18	Valores iniciais para o circuito gerador da seqüência PRBS	74
4.19	Valor de W_i e amplitude do sinal	75
4.20	Capacidade de transmissão dos canais AC1 e AC2 para Modo 1 e IG = 8	76
A.1	Composição do canal TMCC	99
A.2	Exemplo seqüência de sinal de sincronismo quadro a quadro.	100
A.3	Informação TMCC	101
A.4	Conteúdo das informações de parâmetro de transmissão	101
A.5	Identificação do tipo de sistema	102
A.6	Indicador de mudança de parâmetros de transmissão	102

A.7	Indicador de controle do início de recepção	103
A.8	Indicador de transmissão hierárquica	103
A.9	Indicador do tipo de modulação de cada camada	104
A.10	Indicador da taxa do codificador convolucional de cada camada	104
A.11	Indicador do tamanho do entrelaçamento utilizado em cada camada	105
A.12	Indicador do número de segmentos que compõe cada camada	105

Lista de Figuras

2.1	Modelo teórico em blocos de um transmissor de TV Digital genérico.	16
2.2	Cenário 1 para canal de retorno da interatividade para receptores fixos.	19
2.3	Cenário 2 para canal de retorno da interatividade para receptores fixos.	20
2.4	Cenário 3 para canal de retorno da interatividade para receptores móveis.	20
2.5	Cenário 2 para canal de retorno da interatividade para receptores móveis	21
2.6	Comparação das bandas dos sistemas SCM e MCM	24
2.7	Diagrama em blocos básico do ATSC.	26
2.8	Diagrama em blocos básico do DVB-T.	28
3.1	Diagrama em blocos de um sistema OFDM baseado na FFT	33
3.2	Espectro de freqüências do sistema OFDM	34
3.3	O modulador OFDM	34
3.4	Inserção do intervalo de guarda	35
3.5	Máscara do espectro de transmissão.	38
3.6	Exemplo de configuração de banda para transmissão hierárquica	39
4.1	Diagrama em blocos básico do ISDB-T.	44
4.2	Alocação da banda para transmissão completa e parcial	46
4.3	Disposição das portadoras e segmentos na banda de freqüência	46
4.4	Exemplo de distribuição de camadas dentro da banda de freqüência	46
4.5	Diagrama em blocos da codificação de canal	51
4.6	Exemplo do fluxo de transporte remultiplexado (Modo 1, IG = 1/8).	52
4.7	TSP do MPEG2 e TSP protegido pelo código RS.	53
4.8	Diagrama em blocos do registrador de deslocamento formador da Seqüência de Bits Pseudo-Aleatória	54
4.9	Diagrama em blocos do entrelaçador de byte	56
4.10	Diagrama do codificador convolucional de taxa 1/2 e k = 7.	57
4.11	Diagrama em blocos do processo de modulação	58
4.12	Esquema do bloco mapeador	59
4.13	Constelação DQPSK	60
4.14	Entrelaçamento de bits e mapeamento DQPSK	60
4.15	Entrelaçamento do mapeamento QPSK	61
4.16	Constelação QPSK	61
4.17	Entrelaçamento do mapeamento QAM-16	62
4.18	Constelação QAM-16	62

4.19 Entrelaçamento do mapeamento QAM-64	63
4.20 Constelação QAM-64	63
4.21 Configuração de um segmento para Modo 1	64
4.22 Configuração de um segmento para Modo 2	65
4.23 Configuração de um segmento para Modo 3	65
4.24 Diagrama esquemático do entrelaçador no tempo	66
4.25 Comparação de dois segmentos sem e com entrelaçamento($l=8$).	67
4.26 Diagrama esquemático do entrelaçador na frequência	68
4.27 Comparação entre segmentos, um entrelaçado no tempo e outro no tempo e frequência.	68
4.28 Configuração de um segmento para modulação diferencial em Modo 1	70
4.29 Configuração de um segmento para modulação síncrona em Modo 1	73
4.30 Circuito gerador da seqüência pseudo-aleatória, formadora do sinal SP	75
5.1 Estrutura da ferramenta de simulação do padrão ISDB-T.	78
5.2 Comparação das curvas teóricas e simuladas de BER x E_B/N_0 para esquemas de modulação.	81
5.3 O multipercurso	82
5.4 Comparação do desempenho dos canais AWGN e AWGN + multipercurso.	84
5.5 Estrutura de um receptor do padrão ISDB-T.	85
6.1 Diagrama em blocos apontando os pontos de coleta de informações	89
6.2 Comparação das curvas de BER x E_B/N_0 para modulação QPSK com diferentes taxas de codificação convolucional.	90
6.3 Comparação das curvas de BER x E_B/N_0 para modulação QAM16 com diferentes taxas de codificação convolucional.	91
6.4 Comparação das curvas de BER x E_B/N_0 para modulação QAM64 com diferentes taxas de codificação convolucional.	92
6.5 Comparação das curvas de BER x E_B/N_0 para modulação todas as diferentes modulações.	93
6.6 Taxa de dados para 1 e 13 segmentos, com as diferentes taxas do codificador convolucional	94
6.7 Figura em branco e imagem Lena corrompidas pelo canal de comunicações.	95

Abreviaturas e Siglas

AC	-	Auxiliary Channel
ADTB	-	Advanced Digital Television Broadcasting
ATSC	-	Advanced Television System Committee
AWGN	-	Additive Gaussian White noise
BER	-	Bit Error Rate
BPSK	-	Binary Phase Shift Keying
COFDM	-	Coded Ortogonal Frequency Division Multiplex
CP	-	Continual Pilot
DQPSK	-	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DTTB	-	Digital Television Terrestrial Broadcasting
DVB-T	-	Digital Video Broadcasting Terrestrial
FDM	-	Frequency Division Multiplex
FEC	-	Forward Error Correction
FFT	-	Fast Fourier Transformer
HDTV	-	High Definition Television
ISDB-T	-	Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial
IG	-	Intervalo de Guarda'
ISI	-	Intersymbolic Interference
LDTV	-	Low Definition Television
MPEG	-	Moving Picture Experts Group
OFDM	-	Ortogonal Frequency Division Multiplex
OQAM	-	Offset Quadrature Amplitude Modulation
PRBS	-	Pseudo Random Binary Sequence
QAM	-	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	-	Quadrature Phase Shift Keying
RS	-	Reed Solomon
SDTV	-	Standard Definition Television
SP	-	Scattered Pilot
TMCC	-	Transmission and Multiplexing Configuration Control
TSP	-	Transport Stream Packet
UMTS	-	Universal mobile Telecommunications Service
VSB	-	Vestigial Side Band