



Clayton Escouper das Chagas

**Open DVC: Uma Ferramenta para
Simulação e Avaliação de Codificação
Distribuída de Vídeo**

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.

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

Rio de Janeiro

Abril de 2011



Clayton Escouper das Chagas

**Open DVC: Uma Ferramenta para
Simulação e Avaliação de Codificação
Distribuída de Vídeo**

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. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia
Orientador
CETUC - PUC-Rio

Profa. Carla Liberal Pagliari
IME

Prof. Lisandro Lovisolo
UERJ

Prof. Rubens Nascimento Melo
DI-PUC-Rio

Prof. Sérgio Colcher
DI-PUC-Rio

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

Rio de Janeiro, 8 de abril de 2011

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

Clayton Escouper das Chagas

Graduou-se em Engenharia de Telemática e Computação pelo Instituto Militar de Engenharia. Trabalha como engenheiro em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no Centro Tecnológico do Exército. Atualmente ocupa o cargo de adjunto ao Laboratório de Medidas Eletromagnéticas, trabalhando em sistemas de EMC/EMI, medidas e simulações de Seção Reta Radar (RCS).

Ficha Catalográfica

Chagas, Clayton Escouper das

Open DVC: uma ferramenta para simulação e avaliação de codificação distribuída de vídeo / Clayton Escouper das Chagas; orientador: Marco Antonio Grivet Mattoso Maia. – 2011.

158 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Codificação distribuída de vídeo (DVC). 3. Codificação distribuída de fonte (DSC). 4. Teoria da informação. 6. Teorema de Wyner-Ziv. 7. Teorema de Slepian-Wolf. 8. Framework. 9. Orientação a objetos. 10. Ferramentas de simulação e avaliação. I. Maia, Marco Antonio Grivet Mattoso. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Dedico este trabalho a todas as pessoas que estudam com seriedade e dedicação, com o intuito de fazer um Brasil melhor. Só com uma educação de qualidade teremos um futuro digno e faremos um país com condições iguais para todos.

Dedico também esta dissertação, de forma especial, aos meus pais Geraldo e Verônica, professores de ofício e de vida, que sempre lutaram para me dar uma excelente educação, ao meu irmão Jones, à minha irmã Michelli e à minha avó Maria pelo carinho e apoio incondicionais. Por último, mas nem por isso menos importante, à minha querida esposa Tame, pelo amor em todos os momentos e pela paciência mongeana nas horas complicadas.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, sem Ele nada seria possível.

Agradeço a todos os mestres que tive na vida, pois ajudaram na minha caminhada como profissional e principalmente como ser humano, cada um com sua contribuição, seja com uma palavra de incentivo, seja com um carinho num momento difícil, seja com uma excelente aula, mesmo com uma profissão tão desvalorizada e pouco reconhecida no nosso país. Em especial, agradeço ao professor Grivet e à professora Carla, por todos os ensinamentos e apoio diante das dificuldades da vida e da academia.

Agradeço também, a todos os companheiros do Centro Tecnológico do Exército e do Instituto Militar de Engenharia, pois sem o apoio deles não conseguiria atingir este objetivo.

Por último, agradeço ao Exército Brasileiro, muitas vezes injustiçado como instituição, mas que me abriu a porta de todas as oportunidades que tive na vida, desde os meus 16 anos de idade.

Resumo

Chagas, Clayton Escouper das; Maia, Marco Antonio Grivet Mattoso (Advisor). **Open DVC: Uma Ferramenta para Simulação e Avaliação de Codificação Distribuída de Vídeo**. Rio de Janeiro, 2011. 158p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica - Centro de Estudos em Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Codificação Distribuída de Vídeo (*Distributed Video Coding* – DVC) é um paradigma de codificação baseado nos conceitos da Codificação Distribuída de Fontes correlatadas (*Distributed Source Coding* – DSC), que tem como arcabouço a Teoria da Informação desenvolvida por Shannon, para um cenário onde temos uma codificação distribuída dos elementos e uma decodificação conjunta. Implementações com arquiteturas diferentes foram apresentadas ao longo dos últimos anos, mas devido a diversos motivos como a indisponibilidade de documentação detalhada, falta de preocupação dos projetos em relação à engenharia de software, não uniformização e heterogeneidade das tecnologias de implementação, entre outros, o desenvolvimento desta área acabou sendo dificultado pela falta de ferramentas e documentação mais aplicada, impedindo que o pesquisador focasse seus estudos e pesquisas apenas na parte que pretende otimizar ou complementar do projeto. Esse trabalho aplica conceitos e teorias de engenharia de software, orientação a objetos, componentização, frameworks e outros, com o objetivo de projetar, implementar, documentar e testar um framework aberto, incremental e reutilizável para implementação de uma ferramenta para simulação e avaliação de Codificação Distribuída de Vídeo, a qual chamamos de Open DVC, apresentada num ambiente colaborativo de forma que possa ser utilizada para estudos e que as contribuições desenvolvidas futuramente possam ser agregadas ao framework com pouco esforço de codificação.

Palavras-chave

Codificação Distribuída de Vídeo (DVC); Codificação Distribuída de Fonte (DSC); Teoria da Informação; Teorema de Wyner-Ziv; Teorema de Slepian-Wolf; Informação Lateral; Framework; Orientação a Objetos; Ferramentas de Simulação e Avaliação.

Abstract

Chagas, Clayton Escouper das; Maia, Marco Antonio Grivet Mattoso (Orientador). **Open DVC: A Tool for Simulation and Evaluation of Distributed Video Coding**. Rio de Janeiro, 2011. 158p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica - Centro de Estudos em Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Distributed Video Coding (DVC) is a coding paradigm based on the concepts of Distributed Source Coding (DSC), which is based on Information Theory developed by Shannon, for a scenario where we have a distributed encoding of information and a joint decoding. Implementations with different architectures have been presented over the past years, but due to various reasons such as unavailability of detailed documentation, lack of concern of the projects in relation to software engineering, non uniform and heterogeneous implementation technologies, among others, the development of this area ended up being hampered by a lack of tools and documentation more applied, preventing the researcher from focusing his studies and research only on the party to be enhanced or to be extended in the project. This work applies concepts and theories of software engineering, object orientation, components, frameworks and other, in order to design, implement, document and test an open framework, incremental and reusable to implement tools for simulation and evaluation of Distributed Video Coding, which we call Open DVC, submitted in a collaborative environment so that it can be used for studies and the contributions developed in the future can be aggregated to the framework with little coding effort.

Keywords

Distributed Video Coding (DVC); Distributed Source Coding (DSC); Information Theory; Slepian-Wolf Theorem; Wyner-Ziv Theorem; Side Information; Framework; Object Oriented; Simulation and Evaluation Tools.

Sumário

1. Introdução	16
1.1. Mudança no paradigma da codificação de vídeo	16
1.2. Aplicações de Codificação Distribuída de Vídeo	19
1.2.1. Redes de Sensores com Suporte a Vídeo	19
1.2.2. Vídeo Chamada em Serviços Móveis	20
1.2.3. Aquisição Distribuída de Vídeo	21
1.2.4. Rede Sem Fio de Vigilância de Baixa-Potência	22
1.2.5. Câmeras Distribuídas em Veículos e Armas num Campo de Batalha	23
1.3. Proposta da Dissertação	26
1.4. Organização da Dissertação	27
2. Arquiteturas Clássicas de Codificação Distribuída de Vídeo (<i>Distributed Video Coding – DVC</i>) e suas aplicações	29
2.1. Arquitetura DVC da Universidade de Stanford	30
2.2. Arquitetura PRISM, da Universidade de Berkeley	33
2.3. Arquitetura DISCOVER	36
2.4. Conclusões	38
3. Arquitetura Conceitual do <i>Codec</i> Open DVC	39
3.1. Codificação no Open DVC	40
3.2. Decodificação no Open DVC	45
3.3. Conclusões	50
4. Arquitetura Computacional do <i>codec</i> Open DVC	52
4.1. Projeto Orientado a Objetos do Open DVC	55
4.1.1. Diagrama de Pacotes	55
4.1.2. Diagrama de Classes	58
4.2. Configuração do <i>codec</i> Open DVC: Arquivo DVCCConfig.cfg	76
4.3. Interface Humano-Computador da Ferramenta de Simulação	79
4.4. Conclusões	81
5. Experimentos e Resultados	83
5.1. Configurações e condições de execução dos experimentos	84
5.2. Resultados	96
5.3. Conclusões	108

6. Conclusões Finais e Trabalhos Futuros	109
7. Referências bibliográficas	113
Apêndice A – Fundamentos de Codificação de Vídeo	117
Apêndice B – Teoria da Informação e Codificação de Fonte Distribuída	150

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Dispositivos eletrônicos e ubiquidade: acesso a informações através de laptop, <i>smartphones</i> , <i>tablets</i> e outros dispositivos eletrônicos modernos	16
Figura 1.2 – Cadeia de consumo do conteúdo de tv	17
Figura 1.3 – Dispositivos utilizados na nova arquitetura	18
Figura 1.4 – Rede de sensores com suporte de vídeo para monitoração da vida selvagem	20
Figura 1.5 – Cenário de vídeo chamada com transcodificação, utilizando codificação Wyner-Ziv e codificação híbrida	21
Figura 1.6 – Projeto de <i>multi-camera array</i> da Universidade de Stanford	22
Figura 1.7 – Ilustração do cenário de Rede Sem Fio de Vigilância de Baixa-Potência	23
Figura 1.8 – Recursos de combate utilizados como elementos de rede num sistema de Comando e Controle	24
Figura 1.9 – Em (a) foto da viatura de Comando e Controle da empresa BAE Systems utilizado pelo Exército Norte-Americano e em (b) foto de centro de Comando e Control	25
Figura 1.10 – Detalhes do sistema captura de vídeo do projeto francês FELIN	25
Figura 1.11 – Utilização do sistema de vídeo e transmissão/recepção de dados. Em (a) temos o projeto do Exército Francês e em (b) a solução utilizada pelo Exército Australiano	26
Figura 2.1 – <i>Codec</i> DVC – Arquitetura da Universidade de Stanford	31
Figura 2.2 – <i>Codec</i> DVC – Arquitetura PRISM da Universidade de Berkeley	34
Figura 2.3 – <i>Codec</i> DVC – Arquitetura DISCOVER, consórcio de universidades européias	36
Figura 3.1 – Arquitetura Conceitual do <i>Codec</i> Open DVC (vista alto nível dos blocos ou módulos)	40
Figura 3.2 – Arquitetura Conceitual do <i>Codec</i> Open DVC (vista detalhada dos submódulos)	41
Figura 3.3 – Submódulos do bloco de Pré-Processamento no Codificador Open DVC	42
Figura 3.4 – Codificador Open DVC: fluxo do Codificador Wyner-Ziv	43
Figura 3.5 – Decodificador Open DVC: fluxo do Decodificador Wyner-Ziv	47
Figura 3.6 – Os 18 Vetores de Níveis de Quantização da Matriz de Quantização definida para o Open DVC	48
Figura 4.1 – Diagrama de pacotes do <i>codec</i> Open DVC	56
Figura 4.2 – Subsistemas e diagrama de colaboração dos pacotes	57
Figura 4.3 – Ciclo de vida e chamada dos pacotes	57
Figura 4.4 – Diagrama de Classes do <i>codec</i> Open DVC	59
Figura 4.5 – Pacote OpenDVC.appcodecpendvc e sua classe	60
Figura 4.6 – Detalhamento da classe AppCodecOpenDVCF1	60
Figura 4.7 – Pacote OpenDVC.ferramentasdvc e suas classes	61
Figura 4.8 – Detalhamento da classe ManipuladorYUVEncoder	61

Figura 4.9 – Detalhamento da classe ManipuladorQuadros	62
Figura 4.10 – Detalhamento da classe Operacoes	63
Figura 4.11 – Detalhamento da classe ManipuladorBandas	64
Figura 4.12 – Detalhamento da classe Quantizador	65
Figura 4.13 – Detalhamento da classe ManipuladorYUVDecoder	66
Figura 4.14 – Detalhamento da classe ConversorYUV	67
Figura 4.15 – Detalhamento da classe YUVPlayerV1	68
Figura 4.16 – Detalhamento da classe DVCEncoderXPTO no pacote OpenDVC.encoderdvc	69
Figura 4.17 – Detalhamento da classe DVCDecoderXPTO no pacote OpenDVC.decoderdvc	69
Figura 4.18 – Pacote OpenDVC.ldpc e suas classes	70
Figura 4.19 – Detalhamento da classe EncoderLDPC	70
Figura 4.20 – Detalhamento da classe DecoderLDPC	71
Figura 4.21 – Detalhamento da classe Tokenizer	71
Figura 4.22 – Pacote OpenDVC.codecintra e suas classes	72
Figura 4.23 – Detalhamento da classe ManipuladorQuadroBlocos	72
Figura 4.24 – Detalhamento da classe OperacoesIntra	73
Figura 4.25 – Detalhamento da classe Quantizador	73
Figura 4.26 – Detalhamento da classe RLEZigZagHuff	74
Figura 4.27 – Classes <i>CodecIntraMainFull</i> e <i>CodecIntraMainInterpolado</i>	74
Figura 4.28 – Pacote OpenDVC.qualidade e suas classes	75
Figura 4.29 – Conteúdo do arquivo de configuração DVCCConfig.cfg	77
Figura 4.30 – Pacotes funcionais do <i>codec</i> , contidos na biblioteca opendvclib.jar	79
Figura 4.31 – Conteúdo do aplicativo opendvclabv1.jar	80
Figura 4.32 – Conteúdo do aplicativo opendvclabv2.jar, que possui interface gráfica	80
Figura 4.33 – Interface gráfica da ferramenta opendvclabv2.jar	81
Figura 5.1 – Quadros 0, 4 e 9 da sequência <i>Coastguard</i> : água e movimentação dos barcos	85
Figura 5.2 – Quadros 0, 4 e 9 da sequência <i>Foreman: close-up</i> da face com expressões, pouco movimento de cena	85
Figura 5.3 – Quadros 0, 4 e 9 da sequência <i>Hall Monitor</i> : pouca movimentação e variação de cena	86
Figura 5.4 – Quadros 0, 4 e 9 da sequência <i>Soccer</i> : muito movimento e textura	86
Figura 5.5 – Organização dos diretórios para a execução dos experimentos, vista pela interface gráfica	89
Figura 5.6 – Organização interna de um diretório de teste, vista pela linha de comando	89
Figura 5.7 – Arquivo DVCCConfig.cfg com exemplo de conteúdo interno	90
Figura 5.8 – Execução do aplicativo Java da ferramenta Open DVC via linha de comando com as saídas dos resultados iniciais	91
Figura 5.9 – Resultados finais de uma execução da ferramenta Open DVC, PSNR dos últimos quadros	91
Figura 5.10 – Arquivos de saída da execução da ferramenta Open DVC	92
Figura 5.11 – Vista do Virtual Box executando os quatro sistemas operacionais em máquinas virtuais e o Gerenciador de Tarefas mostrando a carga computacional da tarefa	93

Figura 5.12 – Janela gráfica mostrando os quatro sistemas operacionais utilizados nos experimentos	94
Figura 5.13 – Máquina virtual com o <i>Windows 7 Professional Edition</i> de 32 bits utilizado	94
Figura 5.14 – Máquina virtual com o <i>Windows 7 Professional Edition</i> de 64 bits utilizado	95
Figura 5.15 – Máquina virtual com o <i>Linux Ubuntu 10.04</i> de 32 bits utilizado	95
Figura 5.16 – Máquina virtual com o <i>Linux Ubuntu 10.04</i> de 64 bits utilizado	96
Figura 5.17 – PSNR WZ da sequência de vídeo <i>Coastguard</i>	97
Figura 5.18 – PSNR WZ da sequência de vídeo <i>Foreman</i>	97
Figura 5.19 – PSNR WZ da sequência de vídeo <i>Hall Monitor</i>	98
Figura 5.20 – PSNR WZ da sequência de vídeo <i>Soccer</i>	98
Figura 5.21 – PSNR dos 100 primeiros quadros da sequência de vídeo <i>Coastguard</i>	99
Figura 5.22 – PSNR dos 100 primeiros quadros da sequência de vídeo <i>Foreman</i>	99
Figura 5.23 – PSNR dos 100 primeiros quadros da sequência de vídeo <i>Hall Monitor</i>	100
Figura 5.24 – PSNR dos 100 primeiros quadros da sequência de vídeo <i>Soccer</i>	100
Figura 5.25 – Taxa-distorção da sequência de vídeo <i>Coastguard</i>	101
Figura 5.26 – Taxa-distorção da sequência de vídeo <i>Foreman</i>	101
Figura 5.27 – Taxa-distorção da sequência de vídeo <i>Hall Monitor</i>	102
Figura 5.28 – Taxa-distorção da sequência de vídeo <i>Soccer</i>	102
Figura 5.29 – Esforço Computacional: quatro S.O.s na mesma máquina através de máquinas virtuais (codificação e decodificação em segundos)	103
Figura 5.30 – <i>Script</i> disparando os quatro processos de codificação simultaneamente	104
Figura 5.31 – Início da execução simultânea dos quatro processos de codificação: vide no gráfico rampa na carga de quatro dos núcleos	105
Figura 5.32 – Fim da execução simultânea dos quatro processos de codificação: vide no gráfico rampa e descida na carga de quatro dos núcleos	106
Figura 5.33 – Saída das quatro codificações, estimativas temporais	107
Figura 5.34 – Esforço Computacional: as quatro execuções no mesmo Sistema Operacional: equilíbrio de carga computacional (codificação e decodificação em segundos)	107

Lista de tabelas

Tabela 4.1 – Ranking das linguagens de programação mais utilizadas nos últimos vinte e cinco anos	54
Tabela 4.2 – <i>Ranking</i> das linguagens de programação mais utilizadas nos últimos dois anos	55

Lista de siglas, abreviaturas e acrônimos

DSC *Distributed Source Coding* (em inglês), Codificação Distribuída de Fontes (em português)

DVC *Distributed Video Coding* (em inglês), Codificação Distribuída de Vídeo (em português)

Codec aglutinação de *en*coder e *de*coder

IP *Internet Protocol*

Wi-Fi *Wireless Fidelity*

CCD *Charge-Coupled Device*

Pixel Aglutinação de *pic*ture *el*ements

JPEG *Joint Photographic Experts Group*

MPEG *Moving Picture Experts Group*

PAL *Phase Alternating Line*

CD *Compact Disc*

DVD *Digital Video Disc* ou *Digital Versatile Disc*

SVH *Sistema Visual Humano*

RGB *Red, Green e Blue*, modelo de cores

CRT *Cathode Ray Tube*

LCD *Liquid Crystal Display*

ISO *International Organization for Standardization*

ITU *International Telecommunication Union*

CIF *Common Intermediate Format*

WLAN *Wireless Local Area Network*

ATM *Asynchronous Transfer Mode*

ISDN *Integrated Services Digital Network*

MSE *Mean Square Error*

PSNR *Peak Signal-to-Noise Ratio*

LDPC *Low-Density Parity-Check*

PRISM *Power-Efficient, Robust, High-Compression Syndrome-Based Multimedia Coding*

CRC *Cyclic Redundancy Check*

DCT *Discrete Cosine Transform*

KLT *Karhunen-Loève Transform*

AVC *Advanced Video Coding*
MV *Motion Vector*
UML *Unified Modeling Language*
C² *Command and Control*
FELIN *Fantassin à Équipement et Liaisons Intégrés*
COBRA *Combatente Brasileiro do Futuro*
GOP *Group of Pictures*
FPGA *Field-Programmable Gate Array*