

Compressão de imagens de satélite (embarcado e solo)

Barbara Maximino da Fonseca Reis
Henrique Niwa
Vander Luis de Souza Freitas

Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada
Laboratórios Associados de Computação - LAC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Agenda

- 1 **Introdução**
- 2 **Compressão de dados**
- 3 **Sistemas embarcados**
- 4 **Técnicas de compressão**
- 5 **Experimentos com imagens do CBERS-4**
- 6 **Lepton**

Introdução

A expressão *compressão de dados* refere-se ao processo de reduzir o volume de dados necessários para representar dada quantidade de informações (GONZALEZ; WOODS, 2010)

Introdução

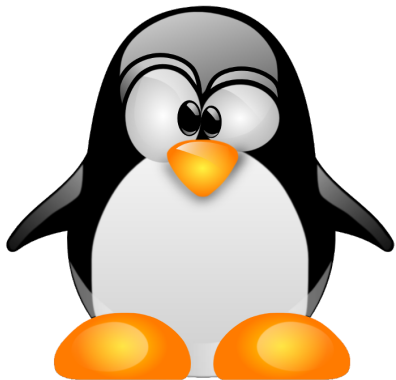
- Geração massiva de dados vs Capacidade de transmissão
- Limitação de espaço de armazenamento
- Taxa de transmissão de dados do CBERS-4: aprox. 320 Mbit/s (CBERS, 2016).
- Compressão em missões espaciais tornou-se realidade nos anos 80.
- Espera-se que a taxa de aquisição de dados seja compatível com a capacidade de armazenamento e envio

Redundância de dados

- Redundância de codificação (ou estatística)
- Redundância espacial e temporal
- Informações irrelevantes

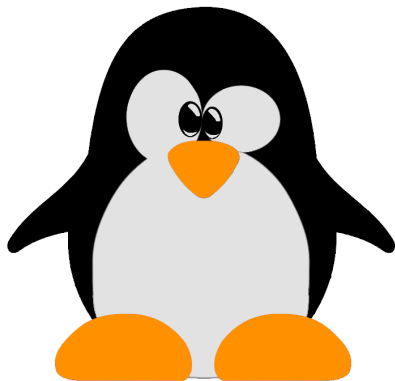
Redundância de dados

- Redundância de codificação (ou estatística)
- Redundância espacial e temporal
- Informações irrelevantes

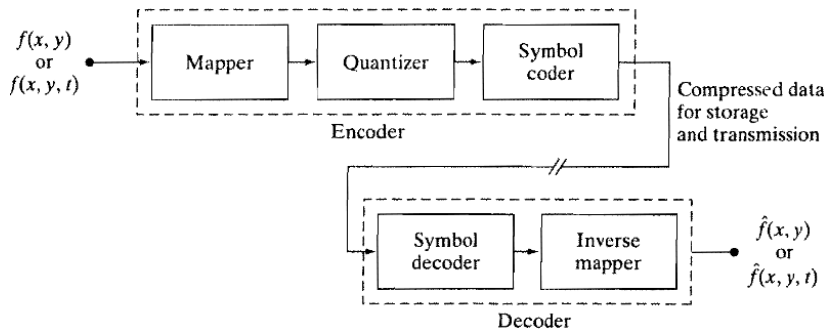


Redundância de dados

- Redundância de codificação (ou estatística)
- Redundância espacial e temporal
- Informações irrelevantes



Compressão de dados



(GONZALEZ; WOODS, 2010)

Métricas

- Critérios de fidelidade objetivos
 - MSE
 - PSNR
 - ...
- Critérios de fidelidade subjetivos
 - muito pior
 - pior
 - ligeiramente pior
 - igual
 - ligeiramente melhor
 - melhor
 - muito melhor

Métricas

Redundância relativa de dados

$$R = 1 - \frac{1}{CR}$$

CR a taxa de compressão, definida por

$$CR = \frac{b}{b'}$$

b e b' indiquem o número de bits da imagem original, e da imagem comprimida

Métricas

Erro médio quadrático (MSE)

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (\hat{f}(x, y) - f(x, y))^2$$

$$e_{ms} = \left[\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2 \right]^{1/2}$$

Métricas

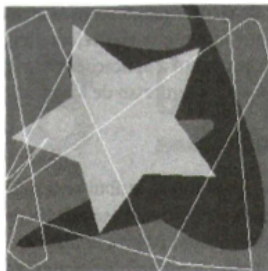
Relação sinal-ruído (PSNR), mensurada em dB:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(2^B - 1)^2}{(MSE + 1/12)}$$

sendo B a faixa dinâmica em bits da imagem original.

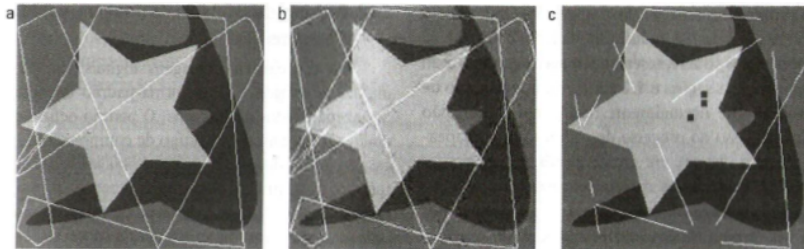
Métricas

Critérios de fidelidade objetivos vs subjetivos:



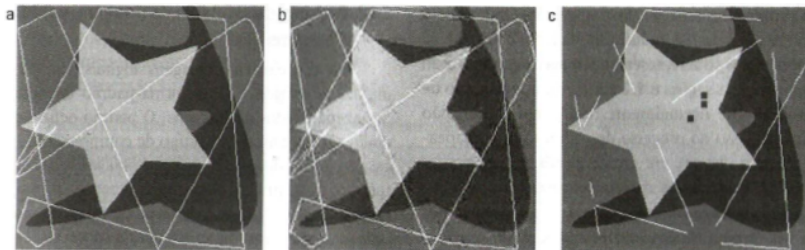
Métricas

Crítérios de fidelidade objetivos vs subjetivos:



Métricas

Crítérios de fidelidade objetivos vs subjetivos:



$$e_{rms} = 5,17 \quad 15,67 \quad 14,17$$

Sistemas embarcados

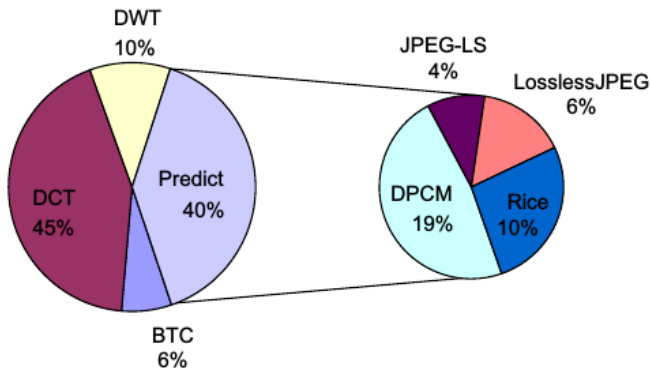
Compressão em sistemas embarcados

Dilema atual das missões espaciais: **“largura de banda vs volume de dados”**

- Primeira missão espacial com um sistema de compressão embarcado: SPOT-1 (1986).
- Até 2009 haviam mais de 40 satélites com algum método de compressão embarcado (YU; VLADIMIROVA; SWEETING, 2009).

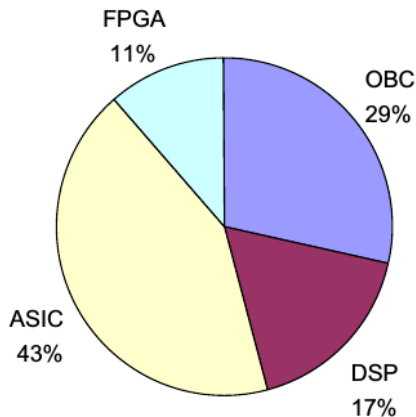
Satellites	Compression algorithms	Theoretical basis	Implementations	Applications
PoSAT-1 (SSTL-Portugal1993)	AMPBTC	BTC	T800 transputer	EO
Tsinghua-1 (SSTL-THU2000)	AMPBTC	BTC	T805 transputer	EO
TiungSAT (SSTL-Malaysia2000)	Improved AMPBTC	BTC	T805 transputer	EO
SPOT-1 (CNES1986)	Fixed-rate DPCM	DPCM	n/a	EO
SPOT-2 (CNES1990)				
SPOT-3 (CNES1993)				
SPOT-4 (CNES1998)				
IKONOS (USGeoEye1999)	ADPCM Kodak	DPCM	ASIC-Kodak BWCP	EO
QuickBird (US DigitalGlobe2001)	ADPCM Kodak	DPCM	ASIC-Kodak BWCP	EO
WorldView-1 (US DigitalGlobe2007)	ADPCM Kodak	DPCM	ASIC-Kodak	EO
STEREO (NASA2006)	RICE and a lossy wavelet (H-compress)	RICE and DWT	OBC-RAD6000	Sun Expl
MTI (US DOE2000)	CCSDS-LDC	RICE	ASIC-USES chips	EO
Mars Odyssey (NASA2001)	CCSDS-LDC fast lossless predictive compressor or slower lossy DCT compressor	RICE DPCM or DCT	ASIC-USES chips OBC	Mars Expl
EO-1 (NASA2000)	CCSDS-LDC	RICE	ASIC-USES chips	EO
PICARD (CNES2009)	CCSDS-LDC	RICE	DSP	Sun Expl
FedSAT (Australia2002)	Adaptive JPEG-LS	JPEG-LS	FPGA-Xilinx XQR4062XL	EO
Chang'E-1 (China2007)	Differential Predictive+ Bit Plane	DPCM	FPGA	Moon Expl
Phobos (SovietUnion1988)	DCT+scalar quantizer+ fixed length coding	DCT	OBC-Z80	Mars Expl
Clementine (NASA1994)	DCT+Quantizer+ZigZag+ RLE+Huffman (very close to JPEG)	DCT	ASIC-CNES ICM	Moon Expl
Mars94/96 Probe (Russia)				Mars Expl
Cassini Probe (NASA/ESA1997)				Saturn Expl
ETS-7 (JAXA1997)				Science Demo
Lunar A (JAXA2010)				Moon Expl
Nozomi (JAXA1998)				Mars Expl
FUVIS SMEX (NASA)				Science Demo
SPOT-5 (CNES2002)	DCT (with rate controlled)	DCT	n/a	EO
TRACE (NASA1998)	JPEG-baseline	DCT	OBC (a custom computer of AMD2910 bit-slice architecture)	Sun Expl
Proba-2 (ESA2009)	JPEG-baseline and LZW	DCT	OBC	EO
MicroLabSat (JAXA2002)	JPEG-baseline and Lossless JPEG	DCT Lossless JPEG	OBC-64 bit RISC	Science Demo
SUNSAT (SouthAfrica1999)	JPEG-baseline	DCT	DSP-DSP56L002	EO
TEAMSAT (ESA1997)	JPEG-baseline	DCT	DSP-TCS21020	Science Demo

Distribuição das técnicas:



(YU; VLADIMIROVA; SWEETING, 2009)

Implementações onboard:



(YU; VLADIMIROVA; SWEETING, 2009)

Técnicas de compressão

Técnicas de compressão

- Três arquiteturas tradicionais: Predição, DCT (Transformada do cosseno discreta) e DWT (Transformada Wavelet Discreta).

Técnicas de compressão - Huffman

- Compressão sem perda (HUFFMAN, 1952)

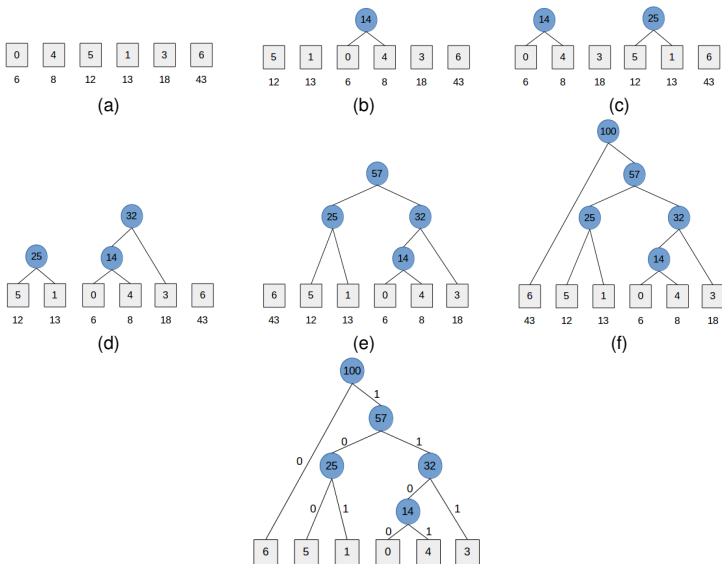
6	3	6	1	5	5	1	6	6	6
6	0	3	3	1	6	6	4	4	4
6	1	6	6	6	6	1	0	4	4
6	4	6	5	6	6	3	3	3	3
5	5	6	6	1	6	5	1	1	3
6	6	6	0	6	5	6	1	1	3
3	3	3	6	6	6	6	3	3	5
3	5	5	3	4	6	6	6	0	6
1	4	5	3	6	1	6	6	0	6
0	5	1	3	6	6	6	6	6	6

(a)

Nível	Probabilidade de ocorrência
0	0,06
1	0,13
3	0,18
4	0,08
5	0,12
6	0,43

(b)

Técnicas de compressão - Huffman



Técnicas de compressão - Huffman

Tabela de codificação de tamanho variável:

Nível	Probabilidade de ocorrência	Codificação
6	0,43	0
3	0,18	111
1	0,13	101
5	0,12	100
4	0,08	1101
0	0,06	1100

Técnicas de compressão - Huffman

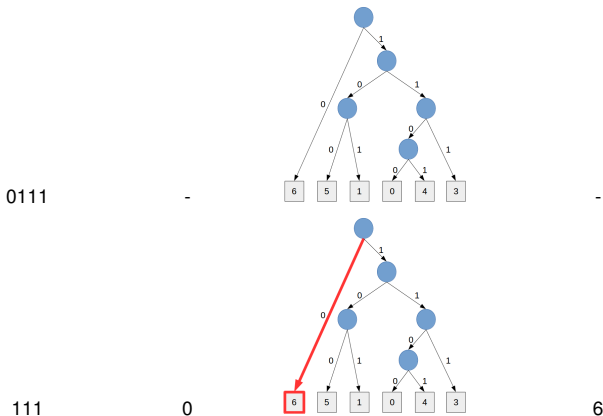
Arquivo comprimido:

0	111	0	101	100	100	101	0	0	0
0	1100	111	111	101	0	0	1101	1101	1101
0	101	0	0	0	0	101	1100	1101	1101
0	1101	0	100	0	0	111	111	111	111
100	100	0	0	101	0	100	101	101	111
0	0	0	1100	0	100	0	101	101	111
111	111	111	0	0	0	0	111	111	100
111	100	100	111	1101	0	0	0	1100	0
101	1101	100	111	0	101	0	0	1100	0
1100	100	101	111	0	0	0	0	0	0

Codificação fixa de 3 bits necessita de 300 bits para representar a imagem. A codificação de Huffman precisa de apenas 218 bits (CR = 1,3761).

Técnicas de compressão - Huffman - Decodificação

Arquivo comprimido Fluxo de bits Percurso na árvore binária Arquivo decodificado



BTC

Técnica com perda, que visa preservar \bar{x} e σ .

Codificação:

245	239	245	239
245	244	244	245
245	240	235	235
245	249	235	239

$$\bar{x} = 241$$

$$\sigma = 4,39$$

1	0	1	0
1	1	1	1
1	0	0	0
1	1	0	0

BTC

Decodificação:

1	0	1	0
1	1	1	1
1	0	0	0
1	1	0	0

$$H = \bar{x} + \sigma \sqrt{\frac{p}{q}} = 245$$

$$L = \bar{x} - \sigma \sqrt{\frac{q}{p}} = 236$$

245	236	245	236
245	245	245	245
245	236	236	236
245	245	236	236

Técnicas de compressão - DPCM

- Modulação por codificação de pulso diferencial (DPCM): desenvolvida por C. C. Cutler (1952).
- Técnica de compressão com perda.
- Distorções típicas: ruído granular (flutuação aleatória em áreas planas), suavização de bordas (FARIA; FONSECA; COSTA, 2012).

Técnicas de compressão - DPCM

Suponha um sinal formado pelas amostras:

6,2 9,7 13,2 5,9 8 7,2 4,2 1,8

Calcula-se as diferenças para geração da nova sequência:

6,2 3,5 3,5 -7,3 2,1 -0,6 -3,2 -2,4

Aplica-se a quantização. Adotando-se os valores possíveis -6 -4 -2 0 2 4 6, obtém-se a nova representação da sequência:

6 4 4 -6 2 0 -4 -2

a qual deverá ser codificada.

Técnicas de compressão - DPCM

Decodificação da seq.

6 4 4 -6 2 0 -4 -2

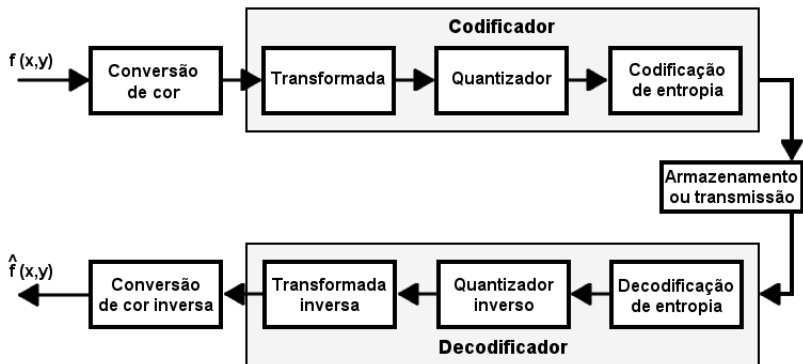
Resultado:

6 10 14 8 10 6 4 -2

Técnicas de compressão - JPEG-XR

- Mais leve computacionalmente, e ocupa menos espaço em disco que o JPEG2000
- Transformada de cores para um formato luma-dominante (YCbCr)
- Transformada LBT (*lifting-based reversible hierarchical lapped biorthogonal transform*) - similar à DCT.
- Operações da transformada são baseadas em operações com valores inteiros, e não realiza divisões
- O processo de quantização é aplicado por parâmetros de quantização (QP)

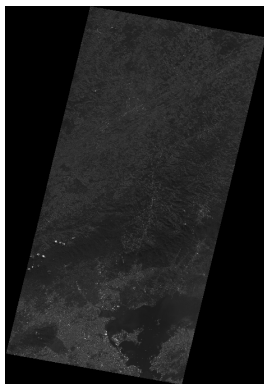
Técnicas de compressão - JPEG-XR



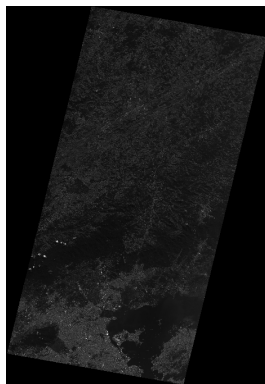
Adaptado de Jadhav e Jadhav (2012).

Experimentos com imagens do CBERS-4

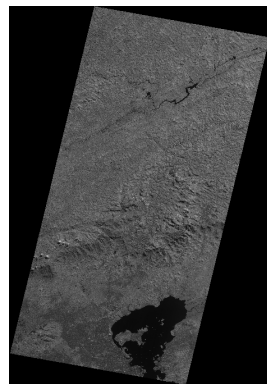
Experimentos com imagens do CBERS-4 - PAN



(a) Banda 2

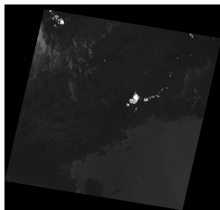


(b) Banda 3

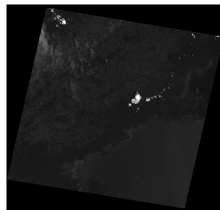


(c) Banda 4

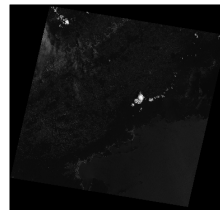
Experimentos com imagens do CBERS-4 - MUX



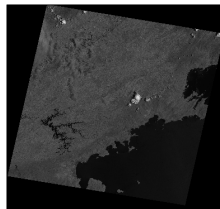
(a) Banda 5



(b) Banda 6

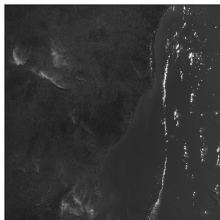


(c) Banda 7

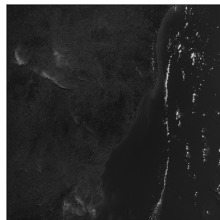


(d) Banda 8

Experimentos com imagens do CBERS-4 - WFI



(a) Banda 13



(b) Banda 14



(c) Banda 15



(d) Banda 16

Experimentos com imagens do CBERS-4 - Huffman

Aplicando o algoritmo de Huffman, implementado por Jones e Davis (2016):

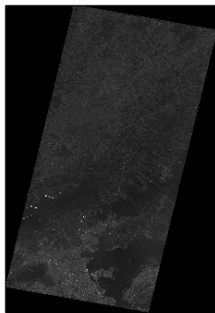
Experimento	Tempo [s]		Tamanho da imagem [Mb]		Razão de compressão
	Compressão	Descompressão	Original	Comprimida	
1 - banda 2	93	526	112,7	63,3	1,78
1 - banda 3	79	562	112,7	64,4	1,75
1 - banda 4	99	621	112,7	74,5	1,51
2 - banda 5	29	216	51,8	27,0	1,91
2 - banda 6	29	218	51,8	27,4	1,89
2 - banda 7	33	233	51,8	27,0	1,91
2 - banda 8	37	281	51,8	33,4	1,55
3 - banda 13	79	655	128,0	75,1	1,70
3 - banda 14	113	625	128,0	72,2	1,77
3 - banda 15	118	732	128,0	78,3	1,63
3 - banda 16	123	704	128,0	82,5	1,55

Experimentos com imagens do CBERS-4 - DPCM

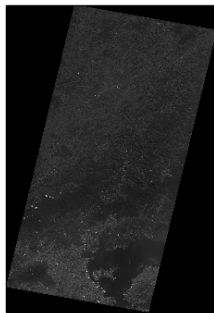
Algoritmo DPCM, implementado por Sonnemann (2016):

Experimento	Tempo [s]		Tamanho da imagem [Mb]		Razão de compressão	MSE
	Compressão	Descompressão	Original	Comprimida		
1 - banda 2	870	93	112,7	30,9	3,64	9974,49
1 - banda 3	856	90	112,7	31,0	3,63	10871,71
1 - banda 4	761	89	112,7	38,1	2,95	14779,16
2 - banda 5	356	27	51,8	12,0	4,31	5068,08
2 - banda 6	339	27	51,8	13,2	3,92	5238,91
2 - banda 7	324	26	51,8	13,3	3,89	5430,08
2 - banda 8	362	26	51,8	16,7	3,10	5430,08

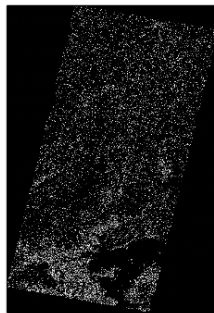
Experimentos com imagens do CBERS-4 - DPCM - PAN(B2)



(a) Imagem original



(b) Imagem descomprimida



(c) Diferença

Experimentos com imagens do CBERS-4 - JPEG-XR sem perda

JPEG-XR sem perda (QP=1), utilizando os comandos JxrEncApp e JxrDecApp do Linux:

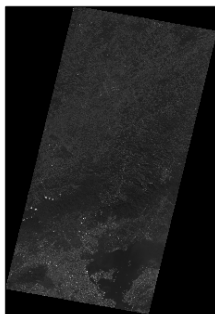
Experimento	Tempo [s]		Tamanho da imagem [Mb]		Razão de compressão
	Compressão	Descompressão	Original	Comprimida	
1 - banda 2	5	4	112,7	35,9	3,13
1 - banda 3	5	4	112,7	36,1	3,12
1 - banda 4	5	4	112,7	46,4	2,42
2 - banda 5	1	1	51,8	14,4	3,59
2 - banda 6	1	1	51,8	15,2	3,40
2 - banda 7	1	1	51,8	15,5	3,34
2 - banda 8	1	1	51,8	18,4	2,81
3 - banda 13	2	2	128,0	35,7	3,58
3 - banda 14	2	2	128,0	35,4	3,61
3 - banda 15	2	2	128,0	39,1	3,27
3 - banda 16	2	2	128,0	36,9	3,46

Experimentos com imagens do CBERS-4 - JPEG-XR com perda

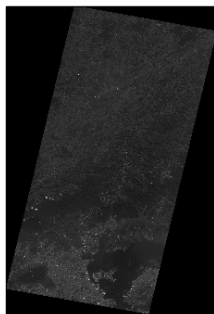
JPEG-XR com perda (QP=5), utilizando os comandos JxrEncApp e JxrDecApp do Linux:

Experimento	Tempo [s]		Tamanho da imagem [Mb]		Razão de compressão	MSE
	Compressão	Descompressão	Original	Comprimida		
1 - banda 2	4	3	112,7	24,6	4,58	7634,85
1 - banda 3	4	3	112,7	24,4	4,61	7577,14
1 - banda 4	4	3	112,7	37,0	3,04	7743,19
2 - banda 5	1	1	51,8	8,4	6,16	5333,24
2 - banda 6	1	1	51,8	9,4	5,51	5325,24
2 - banda 7	1	1	51,8	9,8	5,28	5371,63
2 - banda 8	1	1	51,8	13,5	3,83	5434,42
3 - banda 13	2	2	128,0	31,8	4,02	4221,99
3 - banda 14	2	2	128,0	31,3	4,08	4220,63
3 - banda 15	2	2	128,0	35,4	3,61	4231,31
3 - banda 16	2	2	128,0	33,0	3,87	4226,08

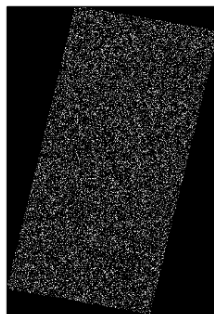
Experimentos com imagens do CBERS-4 - JPEG-XR com perda - PAN(B2)



(a) Imagem original



(b) Imagem descomprimida



(c) Diferença

Lepton

Lepton - Aplicações e especificações



About ▾ Standards ▾ Innovation ▾ News & Events ▾ Membership ▾ Resources ▾

OGC® Standards and Supporting Documents

OGC(R) standards are technical documents that detail interfaces or encodings. Software developers use these documents to build open interfaces and encodings into their products and services. These standards are the main "products" of the Open Geospatial Consortium and have been developed by the membership to address specific interoperability challenges. Ideally, when OGC standards are implemented in products or online services by two different software engineers working independently, the resulting components plug and play, that is, they work together without further debugging.

OGC standards and supporting documents are available to the public at no cost.

OGC Web Services (OWS) are OGC standards created for use in World Wide Web applications.

Any Schemas (xsd, xsl, etc) that support an approved (that is, approved by the OGC membership) OGC standard can be found in the official [OGC Schema Repository](#).

All adopted OGC Implementation Standards can be found in this list: [OGC Implementation Standards List](#). Many specifications are in the process of being advanced toward adoption by the OGC membership as official OGC standards. See the [OGC Candidate Standard Tracking page](#).

OGC Abstract Specification

The OGC Technical Committee (TC) has developed an architecture in support of its vision of geospatial technology and data interoperability called the [OGC Abstract Specification](#). The Abstract Specification provides the conceptual foundation for most OGC standard development activities. OGC standards are built and referenced against the Abstract Specification, thus enabling interoperability between different brands and different kinds of spatial processing systems. The Abstract Specification provides a reference model for the development of OGC standards.

OGC® Standards

- [ARML2.0](#)
- [Cat: ebRIM App Profile: Earth Observation Products](#)
- [Catalogue Service](#)
- [CityGML](#)
- [Coordinate Transformation](#)
- [Filter Encoding](#)
- [GML in JPEG 2000](#)
- [GeoAPI](#)
- [GeoPackage](#)
- [GeoSparql](#)
- [Geography Markup Language](#)
- [Geospatial eXtensible Access Control Markup Language \(GeoXACML\)](#)
- [IndoorGML](#)
- [KML](#)
- [Location Services \(OpenLS\)](#)
- [Moving Features](#)
- [NetCDF](#)
- [Observations and Measurements](#)
- [Open GeoSMS](#)
- [OpenMI](#)
- [OpenSearch Geo](#)
- [Ordering Services Framework for Earth Observation Products](#)
- [OWS Context](#)
- [PUCK](#)

O Open Geospatial Consortium (OGC) é a principal organização responsável por padrões de dados e serviços geoespaciais. São dezenas de padrões.

Lepton - Aplicações e especificações

1. Dados

- ▶ **Web Mapping Service - WMS**: protocolo HTTP para publicação de camadas como gráficos (PNG, JPEG)
- ▶ **Web Feature Service - WFS**: protocolo HTTP para publicação de feições (consulta e atualização) (GML)
- ▶ **Web Coverage Service - WCS**: protocolo HTTP para publicação de coverages (raster multi-bandas) (GeoTiff)

2. Metadados

- ▶ **Catalog Services for the Web - CS-W**: define interfaces web para descoberta de dados

3. Processamento

- ▶ **Web Processing Service - WPS**: define uma interface para compartilhar algoritmos de processamento espacial

Web Map Tile Service (WMTS)

Especificação da OGC que diz como devem ser servidos arquivos de imagem georeferenciadas. Uma melhoria poderia ser a inclusão de novos formatos de imagens mais eficientes, como o Lepton.

Lepton - Implementação

- Recente e de código aberto: Julho de 2016.
- Testada e segura: 4 bilhões de imagens, sem perda alguma.
- Implementada em C++ moderno (-std=c++0x and -std=c++11 work).
- Necessário g++-4.8
- Linux e Windows.
- Arquiteturas: i386 (-m32) e amd64 (-m64)
- Utiliza extensões vetoriais SSE4.1 para aumento da velocidade de compressão

Lepton

Catálogo do INPE

www.dgi.inpe.br/CDSR/

English

INPE Image Catalog [Register](#) [Log In](#) [Log Out](#) [Cart](#) [History](#) [Help](#)

Close

S22.29.00 O44.49.00

Basic Parameters

Satellite: CBERS 2

Instrument:

Time Interval: Seasonal

From: 20/05/1973 To: 08/09/2018

Maximum Cloud Cover: Q1: Q2: Q3: Q4:

Quick Lock: Small Big

Passage Mosaic

Date: or Path:

Execute

Country: City: State:

Execute

Path: From To Row: From To

Execute

By Region

North: 10 West: 40 East: 30

South: 40

Execute

Map Interface

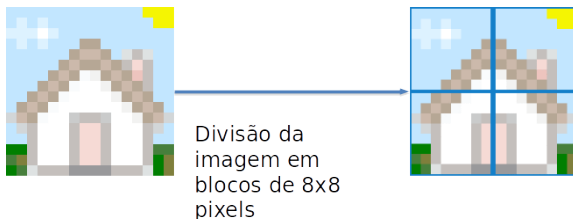
Lat: 23.176 Lon: 45.887

Navigate

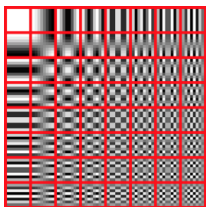
Lepton

Sumário e exemplo:

- 1 Divisão da imagem em blocos de 8x8 pixels
- 2 Transformada discreta de cosseno (valores em frequências)
- 3 Percorrer a matriz em zigzag, enfileirando valores não nulos
- 4 Codificar valores em formato Lepton
- 5 Aplicar codificação/compressão aritmética VP8

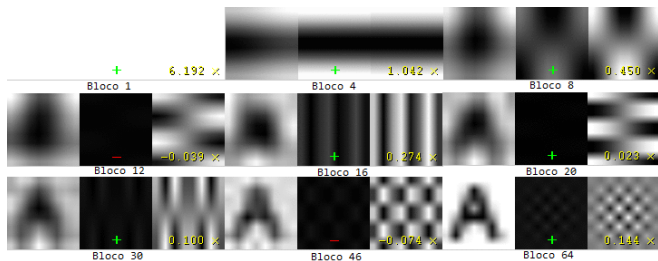


Lepton



Transformada discreta de cosseno:

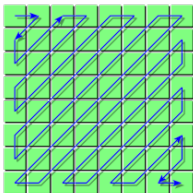
- 1 Matriz de 8x8 pixels depois de passar pela DCT
- 2 O primeiro bloco indica o brilho da matriz
- 3 Os outros 63 são os detalhes da imagem.



A adição um a um dos 64 blocos, revertendo a transformada, produz uma imagem da matriz.

Lepton

Matriz em zigzag e codificação de valores



Após a transformada, a matriz é percorrida em forma de zigzag, enfileirando os valores não nulos para codificação e compressão

$$-45 = 1111110 + 0 + 001101$$

$$45 = 1111110 + 1 + 101101$$

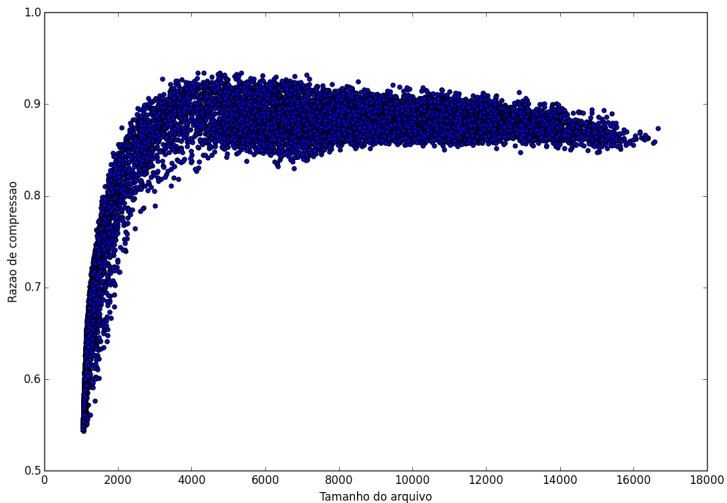
$$46 = 1111110 + 1 + 101110$$

$$-46 = 1111110 + 0 + 001110$$



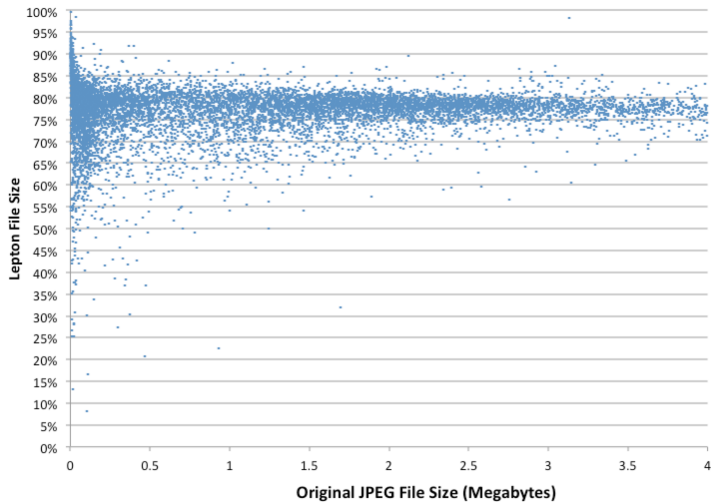
Lepton

Resultados com o catalogo do INPE (24.000 imagens):

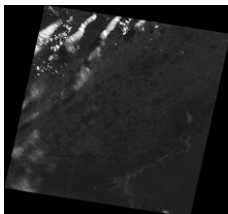


Lepton

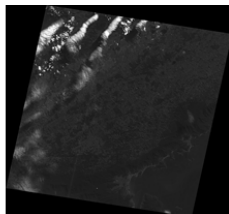
Resultados obtidos pelo Dropbox:



Lepton - Experimento com uma imagem do CBERS-2 (B2)



TIF



JPEG

- Tamanho do TIF: 42.848 Kb
- Tamanho do JPEG: 11.195 Kb
- Tamanho do Lepton: 8.850 Kb

Resultados:

- Razão de compressão (TIF \rightarrow JPEG): 3,83
- Razão de compressão (JPEG \rightarrow Lepton): 1,26
- Razão de compressão (TIF \rightarrow JPEG \rightarrow Lepton): 4,84


Referências I

 CBERS. *CBERS - Satelite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres*. 2016.

Disponível em: <<http://www.cbears.inpe.br/>>. 4

 CUTLER, C. C. *Differential Quantization for Television Signals*. 1952.

30

 FARIA, L. N.; FONSECA, L. M. G.; COSTA, M. H. M. Performance evaluation of data compression systems applied to satellite imagery. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, v. 2012, 2012.

30

 GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Processamento Digital de Imagens*. 3. ed. Sao Paulo, Brasil: Pearson Education, Inc, 2010. ISBN 9788576054016.

3, 8

 HUFFMAN, D. A. A method for the construction of minimum-redundancy codes. *Proceedings of the IRE*, v. 40, n. 9, p. 1098–1101, 1952.

23

 JADHAV, S. S.; JADHAV, S. K. Jpeg xr an image coding standard. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, v. 4, n. 2, 2012. Disponível em: <<http://www.ijcee.org/papers/465-N088.pdf>>.

34

Referências II

 JONES, N.; DAVIS, J. *Huffman Coding*. 2016. Disponível em: <<https://github.com/nrjones8/Huffman-Compression>>.

39

 SONNEMANN, M.-P. *DPCM analyzed*. 2016. Disponível em: <<http://abrightersun.de/blog/dpcm-analyzed.html>>.

40

 YU, G.; VLADIMIROVA, T.; SWEETING, M. N. Image compression systems on board satellites. *Acta Astronautica*, v. 64, n. 9-10, p. 988–1005, 2009. ISSN 0094-5765. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576508004062>>.

17, 19, 20

Obrigado!