

INF01046 - Fundamentos de processamento de imagens

Aula 25 - Compressão de imagens

Horacio E. Fortunato

Instituto de Informática
Universidade Federal de Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS

hefortunato@inf.ufrgs.br

Link do curso: <http://www.inf.ufrgs.br/~hefortunato/cursos/INF01046>

2º semestre de 2009

Adaptado de slides do Prof. Manuel Menezes de Oliveira Neto (INF-UFRGS)



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Processamento Digital de Imagens - Nesta disciplina

Sensores e Aquisição de imagens



- Sistema visual Humano
- Modalidade de Imagens
- Câmeras Digitais

Processamento para a interpretação humana



- Realce de Imagens:
 - Processamento de histograma
 - Filtragem espacial
 - Filtragem no domínio da frequência
- Restauração de Imagens:
 - Remoção de ruído
 - Remoção de borramento
- Espaços de Cores
- Imagens em Alta Faixa Dinâmica

Percepção por máquina



- Detecção de linhas e bordas
- Limiarização
- Segmentação

Armazenamento e Comunicação



- Compressão de imagens



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Tipos de Redundância

- De Codificação
 - Decorre da representação ineficiente para os valores de pixels
 - Ex.: Uso de representação com 8 bits para imagem com 16 tons
- Interpixel
 - Valores de pixels vizinhos costumam apresentar forte correlação
- Psico-visual
 - Diferentes níveis de informação presentes em uma imagem têm importâncias diferentes para o sistema visual humano
- Interframe
 - De modo geral, existe forte coerência entre quadros vizinhos em um vídeo



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Critério de Fidelidade

- Mede a diferença entre a imagem original (f) e a imagem descomprimida (f')
- Exemplo de critério objetivo: root-mean-square (RMS) error
 - Para uma imagem com dimensões $M \times N$

$$\varepsilon = \left[\frac{1}{MN} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} [f'(x, y) - f(x, y)]^2 \right]^{0.5}$$

- O valor de ε não necessariamente correlaciona com a percepção visual humana
 - Critérios subjetivos baseados na percepção humana são preferíveis nestes casos



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Compressão sem Perdas

- Codificação preditiva sem perdas
- Run Length Encoding
- Codificação Estatística
Ex.: Codificação de Huffman



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Codificação preditiva sem perdas

- Representa uma imagem em termos das diferenças de tons entre cada pixel e um valor 'previsto'
- O valor previsto é calculado normalmente com o uma combinação linear dos pixel anteriores
- Pequenas diferenças são representadas usando poucos bits



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Run Length Encoding

- Representa grupos de pixels vizinhos (em uma mesma linha) com valores de tons idênticos como uma dupla (n, i)
 - n representa o número de ocorrências consecutivas de pixels com intensidade i
 - Ex.: A sequência $\{ 32, 32, 32, 32, 32 \}$ é representada por $(5, 32)$
- Principal aplicação prática
 - Compressão de imagens binárias para transmissão por fax
- Não deve ser utilizado para imagens ruidosas com muitas texturas
 - Muitas seqüências de comprimento 1



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Codificação Estatística

- Elimina a redundância na codificação de imagens
- Se utiliza de conceitos de Teoria da Informação
- Substitui os valores de pixels por "codewords" de tamanhos variáveis
- A quantidade de informação comunicada por um pixel (tom na imagem) é inversamente proporcional à sua frequência
- Uma codificação ótima utiliza menos bits para os tons mais frequentes e mais bits para os menos frequentes



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Teoria da informação Entropia da fonte

Dado o histograma normalizado de uma imagem com N pixels:

$$P(a_j) = \frac{n_j}{N} \quad k=0,1,2,\dots,L-1$$

A quantidade H (entropia da fonte) mede o número de bits por pixel necessários para codificar a imagem:

$$H = - \sum_{j=1}^L P(a_j) \log_2(P(a_j))$$

H é o limite inferior que um algoritmo de codificação estatístico baseado unicamente na informação do histograma pode alcançar.

Algoritmos que explorem outro tipo de redundância ou até mesmo informação estatística de probabilidades conjuntas (de mais de um pixel por vez), podem utilizar menos bits.



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Código de Huffman

- Baseado na entropia da fonte
- Codifica com menos bits os símbolos mais prováveis
- Supõe-se que a sequência a ser comprimida seja constituída por símbolos
$$S = \{s_1, \dots, s_N\}, N > 1$$
- É conhecida a frequência f_i de cada símbolo S_i
- Nenhum código pode ser prefixo de algum outro
- Os códigos em questão são representados como em uma árvore binária de prefixo
 - Cada símbolo S_i está associado a uma folha da árvore
 - Os códigos dos símbolos são seqüências binárias



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Código de Huffman

Ch	Frequência (f)
A	0,20
B	0,27
C	0,11
D	0,07
E	0,20
F	0,13
G	0,01
H	0,01



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

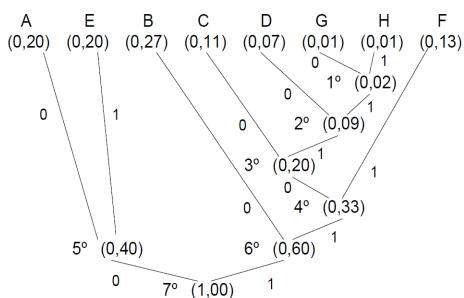
Construção da árvore de Huffman

- Inicia com a definição de n subárvores, com um único nó cada, contendo o símbolo S_i .
- A frequência de cada nó é igual a frequência do símbolo a ela correspondente
- O passo geral, iterativamente, realiza:
 - Seleciona os dois nós T' e T'' de menor frequência
 - Funde os dois nós em uma única árvore, criando um novo nó T , cujos filhos esquerdo e direito são as raízes das subárvores T' e T'' .
 - $f(T) = f(T') + f(T'')$
- O algoritmo termina quando restar apenas uma subárvore



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Construção da árvore de Huffman



Código de Huffman

Ch	Frequência (f)	Código	Comprimento (l)	$l * f$
A	0,20	00	2	0,40
B	0,27	10	2	0,54
C	0,11	1100	4	0,44
D	0,07	11010	5	0,35
E	0,20	01	2	0,40
F	0,13	111	3	0,39
G	0,01	110110	6	0,06
H	0,01	110111	6	0,06

Nro. médio de bits por caracter = 2,64

Compressão JPEG

- Padrão de compressão definido pelo Joint Photographic Experts Group (JPEG)
- Define 3 sistemas de codificação:
 - (1) independent coding system - para compressão sem perdas Comumente utilizado em conjunto com o padrão DICOM para imagens médicas
 - (2) extended coding system - para altas taxas de compressão, alta precisão ou aplicações que utilizem reconstrução incremental
 - (3) lossy baseline coding system - adequado para a maioria das aplicações de compressão e baseado na DCT

DICOM

- Digital Imaging and Communications in Medicine
- Conjunto de padrões para manipulação, armazenamento, impressão e transmissão de informações em imagens médicas (e.g., CT, MRI, ultrassom)
- Criado pela National Electrical Manufacturers Association (NEMA)
- Permite a integração entre equipamentos e software produzidos por diferentes fornecedores
- O formato DICOM contém um cabeçalho seguido dos dados propriamente ditos
 - Cabeçalho: identificação do paciente, tipo de exame, dimensões da imagem, etc.



Exemplo de MRI

Compressão JPEG Loosy baseline coding system

- Explora redundância inter pixel
- Usa codificação por meio de transformada
- Cria uma representação no domínio frequência e descarta alguns dos coeficientes de altas frequências

- Baseado na Transformada Discreta do Cosseno
 - Para uma imagem com dimensões NxN

$$T(u, v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \left(\alpha(u) \alpha(v) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right] \right)$$

$$\alpha(k) = \begin{cases} \sqrt{1/N} & \text{para } k = 0 \\ \sqrt{2/N} & \text{para } k = 1, 2, \dots, N-1 \end{cases} \quad k = u, v$$

Compressão JPEG Loosy baseline coding system

- Inversa da Transformada Discreta do Cosseno
- Para uma imagem com dimensões NxN

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} T(u, v) \left(\alpha(u) \alpha(v) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right] \right)$$

O Algoritmo JPEG

- Força a ocorrência de redundância para então eliminá-la
- Quebra a imagem original em pequenos blocos

Compressão JPEG imagem em tons de cinza com 8 bits

Divida a imagem em blocos de 8 x 8 pixels
para cada bloco de pixels faça

subtraia 128 do valor do tom de cada pixel;
calcule a DCT do bloco;
quantize os coeficientes da DCT;

coloque os coeficientes quantizados em um array 1D;
aplique compressão delta ao primeiro coeficiente dos blocos (frequência zero);

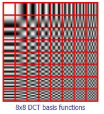
comprima as sequências de zeros utilizando codificação run length;

aplique codificação de Huffman ao resultado;
retorne os coeficientes codificados para o bloco;

fim faça

Semelhante à transformada de Fourier, a DCT projeta cada bloco de pixels em um conjunto de funções de base.

Assim, cada bloco de 8x8 pixels é tratado como uma combinação linear das funções mostradas na imagem acima.



O Algoritmo JPEG

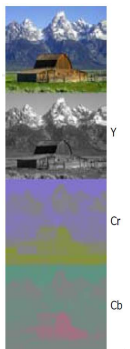
- Exemplo de imagem mostrando compressão progressiva ao longo de suas colunas



Imagem modificada por Ilmari Karonen a partir de fotografia de André Karwath

Compressão JPEG imagem colorida

- Converte a imagem de RGB para YCbCr
 - Y (luminância) representa o brilho do pixel
 - Cb e Cr juntos representam a cromaticidade
- O olho humano é mais sensível à variações de luminância do que de cromaticidade
- Redução em Cb e Cr (chroma subsampling)
 - 4:4:4 (sem redução)
 - 4:2:2 (redução de 2x na horizontal)
 - 4:2:0 (redução de 2x na horizontal e na vertical)
- Os canais Y, Cb e Cr são processados independentemente, mas de modo análogo



Quantização de Coeficientes

- A DCT produz coeficientes (números) reais
 - Ocuparia mais espaço que armazenar os próprios pixels
- A quantização dos coeficientes é obtida por meio de

$$T'(u,v) = \text{round} \left(\frac{T(u,v)}{Q(u,v)} \right)$$

- u e v são os parâmetros da frequência espacial e variam de 0 a 7

$$Q = \begin{bmatrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 24 & 40 & 51 & 61 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 26 & 58 & 60 & 55 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 40 & 57 & 69 & 56 \\ 14 & 17 & 22 & 29 & 51 & 87 & 80 & 62 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 68 & 109 & 103 & 77 \\ 24 & 35 & 55 & 64 & 81 & 104 & 113 & 92 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 99 \end{bmatrix}$$

Exemplo de uma típica
tabela de quantização
de luminância

Uma tabela diferente é
usada para quantização
da cromaticidade

Quantização de Coeficientes

- É através da quantização que ocorrem as perdas!
- Justificativa para o uso de quantização:
 - O olho humano é sensível à variações de brilho, mas não consegue determinar exatamente a magnitude de tais variações
 - Variações com diferentes magnitudes (dentro de certos limites) tendem a ser percebidas de modo semelhante

Tabelas de Quantização

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
40	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

- Os valores contidos na tabela Q podem ser escalados
- Aumentando-se os valores de Q, aumenta-se o número de coeficientes $T(u,v)$ iguais a zero
- Reduzindo-se os valores de Q, tem-se o efeito oposto
- A taxa de compressão em arquivos JPEG é controlada pelo escalamento da tabela de quantização
- Parâmetro de qualidade usado em implementações JPEG
- Maior qualidade -> menos coeficientes $T(u,v)$ iguais a zero



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

O Algoritmo JPEG

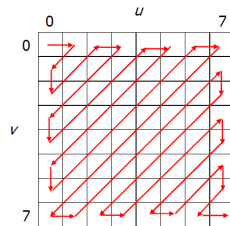
- Em áreas relativamente homogêneas da imagem (bloco)
- Vários dos coeficientes da DCT serão suficientemente pequenos para serem zerados pelo processo de quantização
- Em regiões de transições bruscas (altas frequências)
- Poucos coeficientes da DCT serão zerados pela quantização
- O algoritmo JPEG introduz borrimento apenas nas áreas da imagem em donde ele é menos perceptível



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

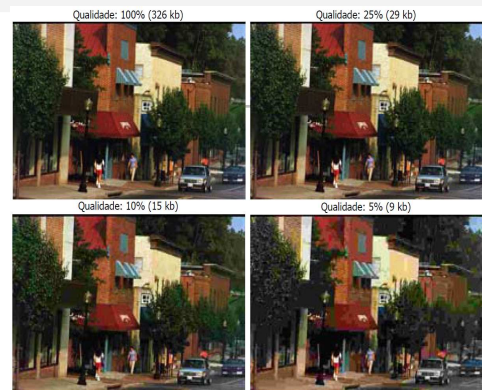
Ordenamento dos Coeficientes

- Após a quantização, os coeficientes são colocados em um array 1D por ordem de frequência
- Uso de Delta Encoding para o primeiro elemento de cada bloco (entre blocos)
- Run length encoding para comprimir sequencias de zeros
- Huffman para aumentar a compressão
- Descompressão é obtida invertendo todo o processo



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Exemplos



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Processamento Digital de Imagens - Tarefas

Tarefas Novas:

- Leia o Capítulo 8 (aula 25) do livro Gonzalez, R. & Woods 2da Ed. (em Inglês)
- Faça os exercícios do Capítulo 8 (aula 25) do livro Gonzalez, R. & Woods 2da Ed. (em Inglês)

Nota Importante: No livro Gonzalez, R. & Woods em português os capítulos possuem número diferente

Livro Gonzalez, R. & Woods 2ª Ed. (em Inglês):
Gonzalez, R. & Woods, R. Digital Image Processing 2ª Ed. Prentice Hall, 2002.
 Link do curso: <http://www.inf.ufrgs.br/~hefortunato/cursos/INF01046>



Horacio E. Fortunato (UFRGS)