Um estudo comparativo entre os padrões JPEG E JPEG 2000

Fabrício O. Damasceno e Wagner F. de Barros
Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais
[fod; wbarros]@dcc.ufmg.br

Resumo

Com o avanço do uso de aplicações multimídia, surge a necessidade de se utilizar técnicas de compactação de imagens, a fim de se obter uma economia do espaço necessário para o armazenamento com a menor perda possível da qualidade. Muitas formas de compactação de imagens surgiram ao longo do tempo, onde algumas delas foram padronizadas e se tornaram largamente utilizadas, podemos ressaltar o JPEG.

Este artigo propõe um estudo comparativo entre os padrões JPEG 2000 e JPEG, expondo os seus funcionamentos e as suas principais características.

Palavras-chaves: JPEG, JPEG 2000, compactação de imagens.

1. Introdução

Os computadores modernos fazem uso de imagens extensivamente. Muitas aplicações provem uma interface gráfica com o usuário (GUI) que torna mais fácil o uso de programas e a interpretação dos resultados apresentados. Desta forma, as imagens são importantes, entretanto tendem a ser grandes, uma vez que, o hardware moderno pode exibir um número elevado de cores, sendo comum termos um pixel representado internamente como um número de 24 bits. Onde as percentagens de vermelho, verde e azul (RGB) ocupam 8 bits cada.

Como cada pixel possui tamanho igual a 24 bits podemos representar aproximadamente 16,78 milhões de cores (2^{24}). Por exemplo, uma imagem na resolução de 512x512 pixels ocupa 786432 bytes ($\cong$ 0,7MBytes) e na resolução de 1024x1024 torna-se quatro vezes maior, requerendo 3145728 bytes ($\cong$ 3MBytes) [3].

Com base nisso observamos que a compressão de imagens é importante. Sendo uma característica interessante na compressão de imagens a possibilidade de perdas, observando que uma imagem existe para que seja vista por uma pessoa e o olho humano não é sensível a algumas perdas na imagem.

Existem várias técnicas para a compactação de imagens, que possibilitam a compactação com alguma ou sem perda.

Desde meados dos anos 80 o padrão de compactação de imagens JPEG[1] vem sendo utilizado largamente principalmente na Internet. Este padrão foi elaborado pela ISO/ITU[2]. Onde em 1997 iniciou-se o desenvolvimento de um novo padrão com o intuito de criar uma nova forma de compactar imagens estáticas, este novo padrão foi denominado de JPEG 2000.

2. Artigos relacionados

Durante o estudo comparativo entre os padrões de compactação de imagens JPEG e JPEG 2000 serão utilizados três artigos, “JPEG 2000: Worth the Wait?” [2], “The JPEG 2000 Still Image Compression Standard” [4] e “The JPEG Still Picture Compression Standard” [5].

O artigo “JPEG 2000: Worth the Wait?” [2] discute a história do JPEG 2000 as tecnologias contidas no padrão de compactação e como estas tecnologias estão associadas para alcançar características desejáveis em um sistema de compactação moderno.

O artigo “The JPEG 2000 Still Image Compression Standard” [4] apresenta a estrutura do padrão JPEG 2000 e efetua comparações com outros padrões existentes. O artigo tem a intenção de servir como um tutorial para o padrão JPEG 2000. Possui

[1] Joint Photografic Expert Group
[2] International Organization for Standardization / International Telecommunications Union

também a definição da arquitetura do padrão, com a descrição das principais características. Finalizando o artigo apresenta resultados comparativos e apresenta todas as partes do padrão.

O artigo "The JPEG Still Picture Compression Standard" [5] apresenta visão geral sobre o padrão JPEG, focalizando com detalhe nos processos utilizados para compactar.

3. Descrição dos padrões JPEG e JPEG 2000

Nos tópicos a seguir faremos uma descrição sucinta dos dois padrões relacionados neste artigo, o JPEG e o JPEG 2000.

3.1. JPEG [5]

Este padrão de compactação de imagens foi desenvolvido de forma especial para a compressão de fotografias. A principal característica do algoritmo utilizado está nas altas taxas de compressão que consegue, sem degradação de qualidade perceptível.

No fim da década de 70 e início da década de 80 um grupo de trabalho da ISO trabalhou na padronização de compressão e descompressão de imagens. Em junho de 1987, dez técnicas diferentes para imagens coloridas e para imagens de tons de cinza foram apresentadas. Estas técnicas foram comparadas e analisadas, sendo que três delas foram levadas mais adiante. Uma transformação adaptável da técnica de codificação baseada no *DCT*[3] alcançou o melhor resultado e, então, foi adotado para JPEG, que é um mecanismo padrão de compressão de imagem, elaborado pelo comitê Joint Photographic Experts Group, daí o nome JPEG.

Rapidamente o padrão foi difundido e melhorado de forma que, ao final da década de 80, já começaram a ser comercializados coprocessadores gráficos em estações Unix e MacIntoch capazes de comprimir imagens em até 95%, sem perda de qualidade visível. Em 1992 se tornou um Padrão ISO Internacional (IS).

JPEG é um padrão de compactação de imagens, não sendo, portanto um padrão de representação de imagens. Isso se dá pelo fato do JPEG não especificar características da imagem, tais como o aspecto dos pixels, espaçamento de cores ou intercalação de linhas do bitmap.

JPEG foi desenvolvido como um método de compactação para imagens com tonalidades contínuas, sendo que as principais características da compactação em JPEG são as seguintes:

- Possui altas taxas de compactação, principalmente no caso em que a qualidade da imagem é classificada de muito boa para excelente;
- Permite a utilização de muitos parâmetros, possibilitando que usuários avançados alcancem a compactação desejada sem interferir na qualidade;
- Obtém bons resultados com qualquer tipo de imagens de tonalidade contínua, indiferentemente da dimensão, espaçamento de cores, aspecto dos pixels ou outras características da imagem;
- Utiliza um sofisticado, mas não muito complexo método de compressão, permitindo a implementação de software e hardware em muitas plataformas;
- Disponibiliza muitos modos de operação:
  - Modo seqüencial: cada componente da imagem (cor) é comprimida em um único "scan" da esquerda para a direita e de cima para baixo;
  - Modo progressivo: a imagem é comprimida em múltiplos blocos (conhecidos como "scans") para serem vistos de um detalhe grosso para fino;
  - Modo sem perda (lossless): importante quando o usuário decide que nenhum pixel será perdido (possui uma taxa de compactação baixa comparada com o modo com perda);
  - Modo hierárquico: a imagem é compactada em múltiplas resoluções, permitindo que blocos de baixa resolução sejam exibidos sem ter que descompactar os blocos seguintes de alta resolução.

[3] Discrete Cosine Transform, ou Transformada Discreta do Cosseno

Para efetuar a compactação de uma imagem utilizando o padrão JPEG, devemos seguir as seguintes etapas:

- Inicialmente as imagens coloridas são transformadas do espaço de cores RGB para o YCbCr[4], que é uma transformação linear simples. Esta fase é opcional e não é utilizada para imagens em preto e branco;
- As imagens coloridas são sub-amostradas criando pixels com baixa resolução em relação aos originais. Esta etapa é utilizada apenas quando ocorre a compressão hierárquica, sendo ignorada para imagens em preto e branco;
- Os pixels de cada componente de cor são organizados em grupos de 8x8 pixels chamados unidade de dados. Se o número de linhas e/ou colunas da imagem não são múltiplos de oito, as linhas inferiores ou as colunas da direita são duplicadas o quanto for necessário;
- A DTC (equação 1) é então aplicada em cada unidade de dado para criar um mapa 8x8 com a freqüência dos componentes. Eles representam os valores médios dos pixels e mudanças sucessivas de alta freqüência no grupo. Esta etapa prepara a imagem para etapa crucial de perda de informação. Os cálculos realizados durante a DTC envolvem alguma perda de informação devido a precisão limitada dos computadores, sendo assim, mesmo sem o passo de perda de informação (passo seguinte) ocorre alguma perda na qualidade da imagem, o que normalmente é pequena;

$$B(k_1,k_2) = \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} 4 \cdot A(i,j) \cdot \cos\left[\frac{\pi \cdot k_1}{2 \cdot N_1} \cdot (2 \cdot i + 1)\right] \cdot \cos\left[\frac{\pi \cdot k_2}{2 \cdot N_2} \cdot (2 \cdot j + 1)\right]$$

equação 1

- Cada um dos 64 componentes de freqüência em uma unidade de dados é dividido por um número separador denominado QC[5], e arredondado para um inteiro. É nesta etapa que a informação é irreparavelmente perdida. Valores altos de QC causam uma perda maior, assim os componentes com alta freqüência tipicamente possuem QCs maiores. Cada um dos 64 QCs podem ser, em princípio, especificados pelo usuário, mas na prática as maioria das implementações utilizam o padrão sugerido na definição do JPEG (tabela 1 e tabela 2).

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

tabela 1 - Luminescência

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

tabela 2 - Crominância

- Os 64 quantificados coeficientes de freqüência (que agora são inteiros) são compactados usando uma combinação dos algoritmos de compactação RLE e Huffman. Uma variação de compactação aritmética conhecida por QM pode ser facilmente usado no lugar do algoritmo de compactação Huffman.
- O último passo adiciona os cabeçalhos para todos os parâmetros JPEG utilizados e escreve o resultado. O arquivo compactado pode estar em um dos três formatos:
  - Formato de intercâmbio: contém todas as tabelas necessárias para o descompactador;
  - Formato abreviado para dados da imagem compactada: não contém ou contém apenas algumas tabelas necessárias para o descompactador. Utilizado quando o mesmo par compactador/descompactador é utilizado;
  - Formato abreviado para dados da tabela-especificação: contém apenas as tabelas sem possuir a imagem. Faz sentido quando muitas imagens forem compactadas utilizando o mesmo grupo de tabelas e o mesmo compactador.

[4] Luminescência / Crominância
[5] Quantization Coefficient

O descompactador JPEG executa os passos inversos, pois JPEG é um método de compactação simétrico.

3.2. JPEG 2000 [4]

O padrão JPEG tem sido usado por mais de uma década. Ele nos tem oferecido valiosas ferramentas durante todos esses anos, mas será que ele está acompanhando os avanços dos requisitos atuais? Imagens digitais nos dias de hoje, são extremamente requisitadas, não somente do ponto de vista da qualidade, mas também do aspecto do espaço gasto.

Com a contínua expansão da multimídia e das aplicações de internet, a necessidade por novas tecnologias usadas tem crescido bastante. No verão de 1994, Ahmad Zandi estava tentando desenvolver um estado da arte em um sistema de compressão de imagens médicas, sem perdas de informações, que resultou em uma reinvenção de uma transformada wavelet sem perda [2]. A habilidade de ter um método extremamente bom para compressão sem perdas e, excelente na compressão com perdas, acabou intrigando alguns pesquisadores na RSV[6] que começaram a pensar a respeito de outras características que poderiam ser extraídas do mesmo sistema.

Em março de 1997, uma nova chamada por contribuições foi lançada para o desenvolvimento de um novo padrão para compressão de imagens, o padrão JPEG 2000. O padrão JPEG 2000 representa avanços na tecnologia de compressão de imagens onde o sistema de codificação é otimizado não somente no que diz respeito à eficiência, mas também na capacidade de modificar o tamanho da imagem e na interoperabilidade em redes e ambientes móveis.

O JPEG 2000 foi projetado a fim de cobrir as limitações do padrão JPEG original e prover imagens de alta qualidade e tamanhos bastante reduzidos. Em adição, JPEG 2000 inclui novas características e funcionalidades para aplicações cliente/servidor de aplicativos de imagens e dispositivos de recursos para redes sem-fio.

[6] Ricoh Silicon Valley

Dentre as características deste novo padrão podemos citar:

- Performance superior na compressão com perda;
- Transmissão progressiva por resolução;
- Transmissão progressiva por precisão de pixels;
- Suporte para imagens maiores que 64MB;
- Acesso aleatório para fluxo-de-código para Regiões-de-Interesse (ROI);
- Adicionou o padrão de vídeo Motion-JPEG 2000;
- Autenticação de Imagens.

JPEG 2000 se refere a todas as partes do padrão, como listadas abaixo:

- Parte 1, Core coding system;
- Parte 2, Extensões (adiciona mais características e sofisticações ao core);
- Parte 3, Motion-JPEG 2000;
- Parte 4, Adaptação;
- Parte 5, Referência do software (Implementações em Java e em C);
- Parte 6, Composta pelo formato do arquivo da imagem;
- Parte 7, Abandonada;
- Parte 8, JPSEC (aspectos de segurança);
- Parte 9, JPIP (protocolos interativos e API);
- Parte 10, JP3D (imagens volumétricas);
- Parte 11, JPWL (aplicações sem-fio).

A seguir nós vamos nos restringir somente à Parte I do padrão, que define o sistema principal. JPEG 2000 é baseado na transformada discreta de pequenas ondas (DWT[7]), quantização escalar, modelagem do contexto, codificação aritmética etc. A DWT são funções matemáticas que dividem os dados em diferentes componentes de freqüência, e então examina cada componente, é relativa a pares e pode ser executada com um filtro reversível, que provê base para compactação sem perda, ou um filtro não reversível, útil para alta compressão, mas com perdas de informações.

A quantização é o processo pelo qual os coeficientes da DWT são reduzidos em precisão. Esta operação é efetuada com perda de informação da imagem original a menos que o passo da quantização seja efetuado sobre

[7] Discret Wavelets Transform

coeficientes inteiros. No processo de quantização as sub-bandas são divididas em blocos, tipicamente de 64x64, e codificadas por entropia usando modelagem de contexto e aritmética codificada do plano-de-bits. O dado codificado é organizado em uma camada, que são níveis de qualidade, usando uma taxa de alocação de "post-compression" e sai para o fluxo de códigos em pacotes. O fluxo de códigos gerado é passado por um parser e pode ser uma resolução, posição ou componente progressiva, ou qualquer combinação destes citados. JPEG 2000 também suporta erro-de-ressalto, arbitrariamente formando regiões de interesse, acesso aleatório, imagens multicomponentes, cores paletizadas etc.

4. Comparação entre os padrões

Nesta seção iremos discutir as distorções causadas pela compressão de imagens com perda de informações utilizando os formatos JPEG e JPEG 2000, de forma a deixar claro as vantagens e desvantagens da utilização de ambos os métodos com relação às características evidentes deixadas por cada um dos métodos.

A seguir listamos as evidências que iremos avaliar:

- Formação de blocos;
- Distorção de cores;
- Distorção de arestas;
- Formação de borrões.

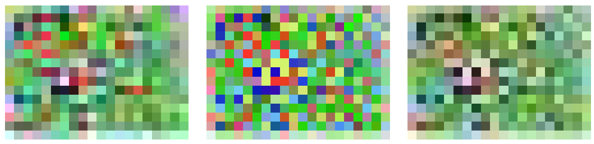
4.1. Formação de Blocos:

Sabemos que o padrão JPEG inicialmente quebra toda a imagem em blocos 8x8 para somente depois efetuar a compressão. Isto causa um bem conhecido artefato em imagens comprimidas - pequenos blocos quadrados por toda a imagem. A transformada wavelet no JPEG 2000, por outro lado, não está limitada a blocos de tamanhos fixos. Embora JPEG 2000 suporte tal formato, isto é raramente usado, evitando que tal problema ocorra.

JPEG 2000 0.5 bits/pixel Taxa de compressão 1:48 | Original | JPEG 0.5 bits/pixel Taxa de compressão 1:48

4.2. Distorção de cores:

Como os olhos humanos não são tão sensíveis a cor quanto ao brilho, muitos dos detalhes de informações de cor (crominância) são ignorados, enquanto a luminescência é mantida. Isto significa que a cor da imagem é particionada em uma imagem de brilho e duas imagens de cor. A imagem, de brilho (luma) é armazenada na resolução original, enquanto que as duas imagens de cor (chroma) são armazenadas em baixa resolução. Dessa forma, as imagens compactadas são vistas levemente desbotadas, com menos cor brilhante. Este problema se apresenta pior no JPEG que no JPEG 2000: mas atenção - as imagens abaixo estão com taxas de compactação diferentes.



JPEG 2000 | Original | JPEG

4.3. Distorção de arestas:

Tanto JPEG 2000 quanto JPEG operam em um domínio espectral, tentando representar a imagem como uma soma de ondas de oscilação suaves. O domínio espectral é apropriado para capturar gradientes de cor relativamente suaves, mas não particularmente apropriado para capturar arestas. Então, ao invés de capturar uma aresta como tal, ambos os métodos tentam ajustar uma função de onda a ela, como a imagem abaixo ilustra:

JPEG 2000 | Original

As figuras abaixo ilustram a quebra de uma outra forma de captura de arestas no JPEG 2000. Os efeitos principais são pequenos distúrbios horizontais e verticais na imagem. O JPEG "lossy" sofre de um problema similar, piorado pelo problema da formação de blocos.

JPEG 2000 0.5 bits/pixel Taxa de compressão 1:48 | Original | JPEG 0.5 bits/pixel Taxa de compressão 1:48

4.4. Formação de Borrões:

Este efeito ocorre quando a imagem compactada é mostrada muito mais lisa (aplainada) que a original. As imagens foram armazenadas a aproximadamente 2 bits por pixel, uma taxa de compressão quatro vezes mais fraca que a acima. Note que JPEG 2000 não funciona muito bem - ele é talvez pior que o JPEG.

JPEG 2000 2.0 bits/pixel Taxa de compressão 1:12 | Original | JPEG 2.0 bits/pixel Taxa de compressão 1:12

5. Conclusões

Embora JPEG 2000 resolva alguns dos problemas do padrão JPEG a baixas taxas, tais como eliminar completamente a formação de blocos, ele introduz completamente os problemas de formação de borrões e distorção das arestas. JPEG 2000 é mais apropriado para imagens que não incluem texturas. A taxas superiores, não há diferenças visíveis entre JPEG e JPEG 2000 como formação de borrões que são menos salientes que a formação de blocos e a distorção das arestas no padrão JPEG.

JPEG 2000 introduz muitas novas características, tais como codificar regiões-de-interesse, mas elas não são universalmente úteis. Entretanto, seu modo progressivo parece ser bom, características para ressaltar erros são raramente úteis com comunicações digitais confiáveis.

Note que na realidade as imagens não são examinadas ampliadas, como foi visto neste artigo, então as taxas de compressão podem ser maiores do que as que recomendamos. Em geral também não é conhecida a resolução em que a imagem será vista, bem como a distância do observador à tela.

6. Bibliografia

[1] M. Charrier, D.S. Cruz snd M. Larsson, "JPEG 2000, the Next Millennium Compression Standard for Still Images," IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, vol. 1, pp. 131-132, June 1999.

[2] M. J. Gormish, "JPEG 2000: Worth the Wait?," 42nd MidWest Symposium on Circuits and Systems, Las Cruces, NM, August 1999.

[3] D. Salomon, "Data Compression: The Complete Reference", 2nd Edition, ISBN 0-387-95045-1, Springer-Verlag New York, 2000.

[4] A. Skodras, C. Chriostopoulos and T. Ebrahimi, "The JPEG 2000 Still Image Compression Standard," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 18, pp. 36-58, September 2001.

[5] G.K. Wallace, "The JPEG Still Picture Compression Standard," IEEE Transsactions on Consumer Electronics, vol. 38, pp. xviii-xxxiv, Febuary 1992.