

Efraina Gladys Cutipa Arapa

*Universidade Estadual de Campinas
FEEC/Unicamp
egcutipa@decom.feec.unicamp.br*

Yuzo Iano

*Universidade Estadual de Campinas
FEEC/Unicamp
yuzo@decom.fee.unicamp.br*

Rangel Arthur

*Universidade Estadual de Campinas
FT/Unicamp
rangel@ft.unicamp.br*

Anhanguera Educacional Ltda.

Correspondência/Contato
Alameda Maria Tereza, 4266
Valinhos, São Paulo
CEP 13.278-181
rc.ipade@aesapar.com

Coordenação
Instituto de Pesquisas Aplicadas e
Desenvolvimento Educacional - IPADE

Artigo Original
Recebido em: 29/11/2011
Avaliado em: 07/12/2011

Publicação: 5 de setembro de 2012

MÉTODOS DE CODIFICAÇÃO ROI PARA COMPRESSÃO DE IMAGENS DICOM

RESUMO

O armazenamento e a transmissão de grandes quantidades de imagens médicas são um campo ativo de pesquisa. Dispositivos de imagem continuam gerando grandes quantidades de dados por paciente, e isso requer armazenamento de longo prazo e transmissão eficiente. Esquemas de compressão atuais produzem taxas de compressão elevadas se a perda de qualidade é aceitável. No entanto, na área médica não se pode suportar eventuais perdas em regiões importantes devido à necessidade de diagnóstico. Com o crescente interesse nas áreas de telemedicina e informática para a saúde, uma abordagem que permita uma alta taxa de compressão e codificação de regiões de interesse (Region Of Interest - ROI) com boa qualidade torna-se desejável. Neste artigo alguns métodos de codificação ROI para compressão de imagem digital e comunicação em medicina (Digital Imaging and Communication in Medicine - DICOM) são apresentados. DICOM é um padrão para gestão, armazenamento, impressão e transmissão de informações de imagens médicas através de sistema de comunicação e arquivamento de imagem (Picture Archiving and Communication Systems).

Palavras-Chave: compressão de imagem; imagem médica; imagem digital; comunicação em medicina; região de interesse; arquivamento de imagens; sistemas de comunicação; MaxShift; BbBShift; MSBShift.

ABSTRACT

The storage and transmission of large amounts of medical images is an active field research. Imaging devices continue to generate large amounts of data per patient, which require long-term storage and efficient transmission. Current compression schemes produce high compression rates if loss of quality is affordable. However, medicine cannot afford any losses in diagnostically important regions. With the growing interest in the areas of telemedicine and health informatics, an approach that brings a high compression rate and coding of region of interest ROI with good quality is thus necessary. In this paper some methods of ROI coding for compression of digital imaging and communication in medicine DICOM are presented. The standard DICOM is appropriate for handling, storing, printing and transmitting information of medical imaging through of picture archiving communication system PACS.

Keywords: image compression, medical image, digital image, communication in medicine, region of interest, picture archiving, communication systems, MaxShift, BbBShift, MSBShift.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da evolução recente das técnicas de compressão de imagens médicas (KOLL, 2006), os dispositivos de imagem continuam gerando elevada quantidade de dados por paciente, podendo-se, muitas vezes, chegar a 500 MBytes (ALCOCER, 1996). O processamento de imagens biomédicas é mais difícil do que o processamento de imagens normais, uma vez que as imagens biomédicas são muitas vezes difusas e apresentam ruído.

Como analisar e processar imagens biomédicas de forma rápida e com precisão é um problema ainda sem solução e tem sido um importante campo de pesquisa. Uma das linhas de pesquisa recentes envolve as chamadas regiões de interesse ROI (CHRISTOPOULOS, 2000), que representam regiões consideradas importantes da imagem. O processo de compressão de imagens usando ROI (STROM, 1997) está ilustrado no diagrama de blocos da Figura 1.

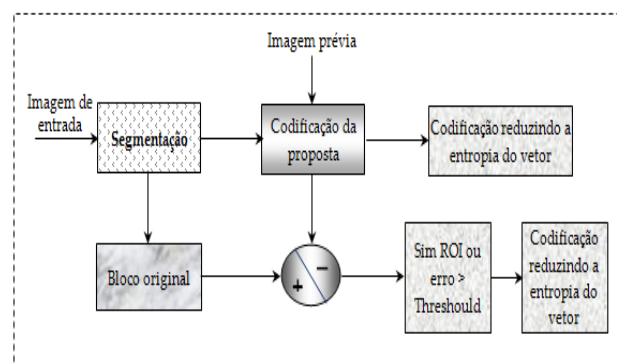


Figura 1. Diagrama de fluxo para compressão de ROI.

Na Figura 1, inicialmente uma imagem de entrada é segmentada. Uma vez que a ROI da imagem seja segmentada, um esquema de compressão é usado para codificação. Logo, a imagem é comprimida pela codificação de movimento compensado. Assume-se que a fatia inicial é comprimida sem perda. Então, o seguinte algoritmo é aplicado para cada bloco:

- O MSE entre o bloco da imagem original e o bloco de movimento estimado é encontrado.
- Se MSE é inferior ao limiar maior (*high threshold*) e o bloco não contém nenhuma ROI, ou MSE é inferior ao limiar menor e o bloco contém uma ROI, então só os vetores de movimento são usados para esse bloco.
- Caso contrário, se o bloco contém uma ROI e MSE é maior que o limiar menor ou o bloco não contém uma ROI, mas o MSE é maior que o limiar maior, então a codificação sem perda adicional do bloco é requerida.

As regiões de interesse em imagens médicas sempre são as regiões em foco, como a localização de um tumor calcificado. A utilização de ROIs pode aperfeiçoar o processamento, descartando dados irrelevantes e facilitando a transmissão via os PACS (SAMEI, 2004). Busca-se, assim, preservar a qualidade diagnóstica em regiões críticas, permitindo uma codificação com perdas nas regiões não importantes. Na codificação ROI permite-se o uso de múltiplas regiões de interesse, com pesos arbitrários, descrevendo o grau de importância para cada ROI, incluindo o fundo. Este artigo visa comparar os diferentes métodos de codificação ROI aplicados em imagens (KANG, 1999; PARK, 2002) médicas.

1.1. Metodologia

Trata-se de um trabalho de pesquisa e análise. Foram consultados cerca de 170 artigos, os quais estão estritamente relacionados com a compressão de imagens médicas. Os artigos estudados abrangem os anos desde 1998 até início de 2011. Os artigos de maior interesse foram cerca de 30 artigos que estão relacionados na referência bibliográfica deste trabalho. A seleção dos artigos levou em conta aspectos pertinentes ao uso da transformada *wavelet* ou da codificação ROI. Além disso, observou-se que poucos artigos (cerca de 3 artigos), baseiam-se no padrão DICOM que é um padrão internacional para compartilhamento de informações de imagens médicas.

1.2. Objetivos

Fazer um estudo e análise das principais técnicas de compressão de imagens médicas para propor um modelo fazendo uso da codificação ROI e WT no formato padrão DICOM para uma futura aplicação. Assim, deve-se facilitar o compartilhamento de informação de imagens médicas via PACS.

Incorporar a codificação ROI dentro das técnicas de compressão de imagens médicas visando uma transmissão progressiva. Isso permite reconstruir uma imagem com uma boa qualidade.

2. IMAGEM MÉDICA E IMAGENS DICOM

As imagens médicas podem ser definidas como:

“Todas as imagens usadas para um diagnóstico e tratamento de pacientes na atividade médica”. A Figura 2 mostra as modalidades das imagens médicas.

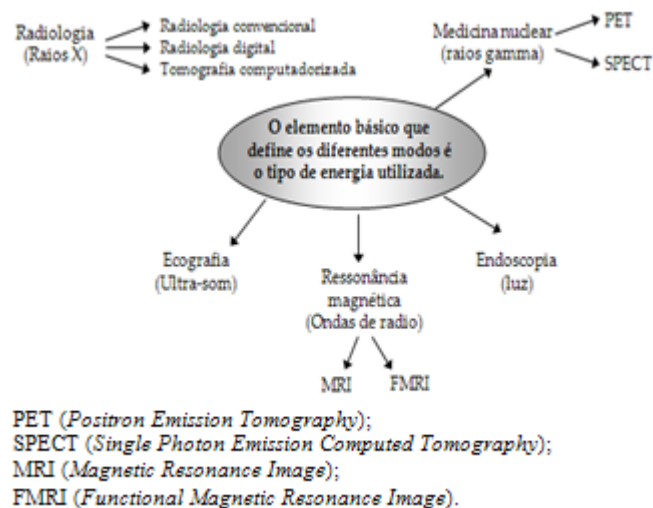


Figura 2. Classes de imagens médicas.

Cada modalidade de imagem médica (DOUGHERTY, 2009) possui quantidades e resolução de imagens definidas para o estudo particular de um paciente. Isso afeta diretamente o volume de dados e as taxas de transferência necessárias para a transmissão de imagens, tendo efeito sobre o tipo de comunicação a ser utilizado. As imagens médicas são na sua maioria imagens em escala de cinza, com região diagnosticamente importante no meio da imagem, e o fundo da imagem é geralmente cinza escuro uniforme. No entanto, as imagens médicas têm altas exigências de armazenamento. Devido ao limite de largura de banda da rede e da capacidade de armazenamento, as imagens devem ser comprimidas antes de serem transmitidas e armazenadas.

2.1. Imagens DICOM

As imagens DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) (DICOM, 1993), que serão abordadas neste trabalho, diferem de outros formatos de dados quando agrupa determinados conjuntos de dados referentes ao paciente. Um objeto de dados (RENET, 1997) DICOM consiste de uma série de atributos, contendo itens como nome do paciente, identificador do paciente, sexo e também outros atributos (MILDENBERGER, 2002). Esses últimos contêm dados, tais como: pixels da imagem, número de imagem, tipo de imagem, bits alocados, bits armazenados, amostras por pixel, número de linhas e colunas, representação do pixel e interpretação fotométrica.

3. CODIFICAÇÃO ROI

As regiões de interesse ROI, em aplicações médicas, são úteis quando partes da imagem são de importância diagnóstica maior do que outras. Nesse caso, essas regiões precisam

ser codificadas com uma maior qualidade do que no fundo (JPEG2000). Durante a transmissão de imagens médicas, essas regiões são transmitidas em primeiro lugar ou com uma prioridade maior.

Nos métodos de codificação ROI baseados na transformação, os coeficientes associados com a ROI são transferidos antes daqueles associados com o fundo. Portanto, quando uma imagem é codificada com ênfase em ROI, é necessário identificar os coeficientes requeridos para a reconstrução da ROI. A Figura 3 mostra a seleção de ROI e a imagem de fundo de um TAC (Tomografia Assistida por Computador).

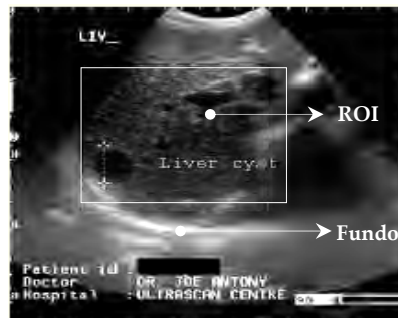


Figura 3. Imagem onde se seleciona uma ROI e a região de fundo (BG).

Certas características específicas da imagem, como a uniformidade da textura, cor, intensidade, geralmente caracterizam-se como ROI. Identificar e extrair com precisão a ROI é muito importante antes da codificação e compressão dos dados da imagem para uma transmissão eficiente ou armazenamento.

A Figura 4 mostra o fluxo da codificação ROI, e procede-se como segue:

- Primeiro se inicia a codificação dos coeficientes da transformada *wavelet* (WT) (BURRUS, 1998; FARIA, 1997; FONSECA, 2004) iniciar $n = N$, quando a magnitude máxima dos coeficientes WT é maior ou igual a 2^N e inferior a 2^{N+1} .
- Uma vez que a ROI está disponível para o codificador, prossegue-se com o terceiro passo; caso contrário, volta-se ao primeiro passo.
- Criar uma máscara ROI (LIU, 2004) e a máscara PROI (*Parent of ROI mask*) da ROI. Inicia-se a codificação da ROI com $n = Q$ até $n = R$ (supor que depois de completar a codificação de plano *bit* $n = Q$, o codificador identifica a ROI). R é um parâmetro definido pelo usuário que controla a importância relativa da ROI em comparação com o resto da imagem.
- Inicia-se a codificação da ROI com $n = Q$ até $n = R$ (supor que depois de completar a codificação de plano *bit* $n = Q$, o codificador identifica a ROI). R é um parâmetro definido pelo usuário que controla a importância relativa da ROI em comparação com o resto da imagem.
- Repita o passo 4 para os coeficientes que ainda não foram testadas a partir de $n = Q$ até $n = R$, ou seja, que não estão incluídos na ROI.
- Retomar a codificação dos coeficientes globais WT de $n = R-1$ como no passo 1 até a compressão de *bits* que atinja um valor pré-definido.

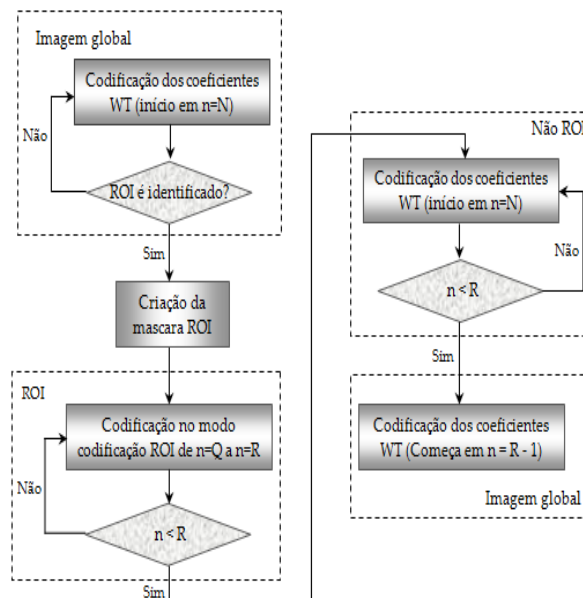


Figura 4. Diagrama de codificação ROI.

4. TÉCNICAS DE COMPRESSÃO DE IMAGENS MÉDICAS DICOM

De forma geral, os dados médicos estão disponíveis em diferentes formas, tais como imagens em 2D (MRI, CT, raios-X), imagens 3D volumétricas e seqüências de vídeo. Nesta seção, serão apresentadas técnicas de compressão que são utilizadas exclusivamente para imagens médicas 2D explorando as características únicas de imagens DICOM.

4.1. Compressão *wavelet* baseada em regiões para imagens médicas

A codificação de regiões de forma arbitrária dentro de uma imagem, em níveis diferentes de qualidade, pode ajudar a desenvolver métodos de compressão de imagens médicas.

Geralmente, em métodos de compressão baseados em regiões, toda a imagem é transformada, usando-se, por exemplo, uma transformada *wavelet*. Nesse caso, os coeficientes associados à região de interesse são codificados com maior precisão do que no resto da imagem.

Deve-se inicialmente, segmentar a imagem em regiões importantes (automaticamente ou manualmente). A codificação dos coeficientes relacionados à ROI pode ser realizada até que certa taxa de *bits* de compressão correspondente a toda a imagem tenha sido atingida (JARVI, 1999). Alternativamente, essa codificação também pode ser realizada antes da informação associada ao fundo (ATSUMI, 1998), como é feita nos métodos de codificação baseados no padrão JPEG2000 (o método *MaxShift* e o método de escalonamento geral) (ASKËLOF, 2000; RABBANI, 2002).

O crescente interesse em manipular objetos visuais em imagens digitais ou de vídeo levou a uma nova técnica de codificação *wavelet* baseada em regiões ou objetos. Essa técnica descreve as imagens em termos de contornos arbitrários e amostras de imagem dentro do contorno, codificando-os separadamente (BLACK, 2000; MINAMI, 2001). Além disso, essa nova técnica aplica uma transformação *wavelet* adaptativa para as amostras de imagem dentro do objeto de interesse ao invés de toda a imagem, assim como fazem os métodos baseados no padrão JPEG2000 (CHRISTOPOULOS, 2000; RABBANI, 2002).

Assim, a informação em forma do objeto é codificada (com ou sem perdas), antes dos *pixels* do objeto. De acordo com a técnica utilizada para se codificar a informação, os métodos de codificação baseados em objetos são classificados em técnicas de blocos ou contorno. No primeiro caso, uma imagem binária na forma do objeto é codificada da mesma forma que no método de codificação de imagem convencional. No segundo caso, a codificação de informação é realizada ao longo da borda ou contorno do objeto. Com isso, as técnicas de contorno baseadas em um código de cadeia (FREEMAN, 1991) são as mais utilizadas para a codificação sem perdas de informação.

Nesse método, em vez de codificar a posição absoluta de cada ponto de contorno, codifica-se a posição relativa entre dois pontos consecutivos. Portanto, o ponto inicial no objeto contorno e as ligações necessárias a esse ponto para descrever o contorno do objeto são suficientes para reconstruir a forma do objeto.

4.2. Codificação ROI MaxShift em JPEG2000

Na codificação ROI MaxShift, adotada no padrão JPEG2000 (JPEG2000; TAUBMAN, 2002), a imagem inteira é transformada e somente os coeficientes associados com a região de interesse são escalonados, por meio de um determinado número de bits (chamado de valor de escala s), conforme mostra a Figura 5c.

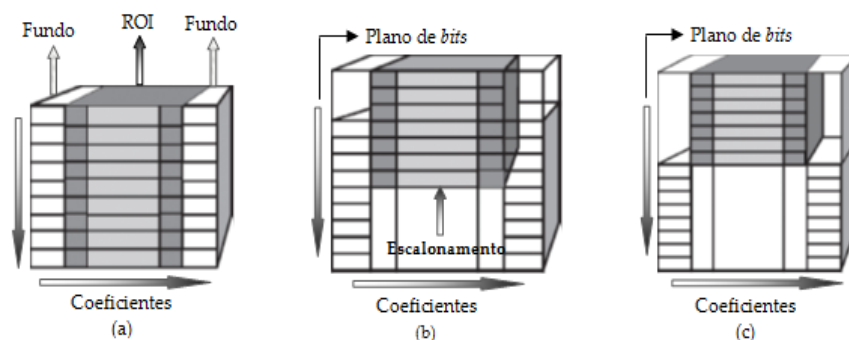


Figura 5. a) Compressão da imagem completa, b) Método baseado na escala geral ROI, c) Método MaxShift.

Os planos de *bits* dos coeficientes são codificados um a um de forma que a ROI tenha maior fidelidade que o resto da imagem. Para codificação sem perda da região de

interesse, é necessário codificar esses coeficientes que participam da reconstrução dos valores da amostra da imagem dentro da ROI.

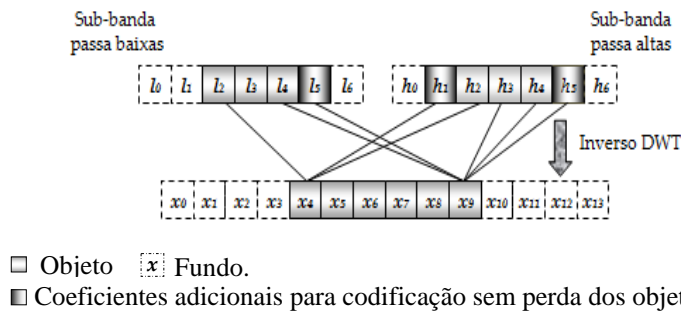


Figura 6. Transformada *wavelet* inversa com o filtro *wavelet* reversível 5/3.

A Figura 6 mostra um exemplo em uma dimensão de filtragem correspondente a sub-bandas passa altas e passa baixas usando o filtro *wavelet* reversível 5/3 (SKODRAS, 2000) para reconstruir as amostras da imagem. Tem-se:

$$x_{2n} = l_n - \left\lfloor \frac{h_{n-1} + h_n + 2}{4} \right\rfloor \tag{1}$$

$$x_{2n+1} = h_n - \left\lfloor \frac{l_n + l_{n+1}}{2} \right\rfloor \tag{2}$$

Considerando a transformada *wavelet* inversa, os coeficientes l_5 , h_1 e h_5 , como os coeficientes dentro do objeto são necessários para reconstruir as amostras de x_4 a x_9 , onde x_i , l_i e h_i representam valores de uma imagem amostra. Os coeficientes adicionais dependem do comprimento do filtro e da profundidade de decomposição *wavelet*.

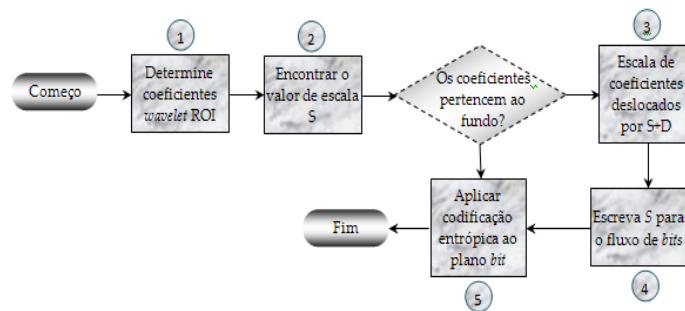


Figura 7. Fluxograma do processo de codificação ROI *MaxShift*. 1) O conjunto de coeficientes *wavelet* que pertence a ROI é determinado. 2) O valor de escala (s) e a magnitude do maior coeficiente de *wavelet* não na ROI, ou seja, contida no fundo, são calculados. 3) Os coeficientes de fundo são deslocados para baixo por s . 4) O valor de s é adicionado ao fluxo de *bits*. 5) A codificação de entropia bit-plano é aplicada.

Uma das vantagens desse método é que não há a necessidade de se transmitir as informações de forma e enviar o valor escalonado s , porque o decodificador pode identificar os coeficientes *wavelet* escalonados comparando cada coeficiente com o limiar

2s (*threshold de 2s*). O diagrama da Figura 7, mostra o fluxograma do processo de codificação ROI *MaxShift*.

4.3. Codificação ROI baseada em escalonamento

O princípio do método geral baseado em escala (CHRISTOPOULOS, 2000; SKODRAS, 2000) é escalar (*shift*). Os coeficientes são transformados de modo que os bits associados com a ROI sejam colocados no maior plano de bits em relação aos bits associados ao fundo, como na Figura 8. Então, durante o processo de codificação incorporado, os planos de bits ROI mais significativos são colocados no fluxo de bits antes que qualquer plano bit do fundo da imagem. Assim, a ROI será decodificada, ou refinada, antes que o resto da imagem. Independentemente da escala, a decodificação completa dos resultados de fluxo de bits permite uma reconstrução de toda a imagem com uma fidelidade aceitável (grau 4 ou 5).

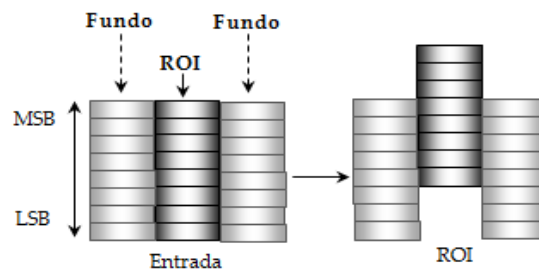


Figura 8. Método baseado na escala geral ROI.

Se o fluxo de *bits* é truncado, ou o processo de codificação termina antes, a imagem inteira é totalmente codificada, então a ROI terá uma maior qualidade do que o resto da imagem.

O algoritmo resume-se em 5 passos:

- 1) Calcula-se a transformada *wavelet*.
- 2) Se uma ROI é escolhida, deriva-se uma máscara (máscara ROI), indicando o conjunto de coeficientes que é necessário para a reconstrução da ROI, conforme mostrado na Figura 8.
- 3) Quantizam-se os coeficientes *wavelet*. Após a quantização, os coeficientes são armazenados em uma representação de magnitude e sinal.
- 4) Reduzem-se os coeficientes escalonados fora da ROI por um valor de escala especificado. Codifica-se a entropia dos coeficientes resultantes progressivamente com os primeiros planos de *bits* mais significativos.

4.4. Codificação baseada em objetos com formato de transformada *wavelet* adaptativa

Abordagens baseadas em objetos estão sendo estudadas como um novo paradigma de codificação de vídeo (MINAMI, 2001), onde somente as amostras de imagem dentro de um objeto são transformadas. Nesse caso, é usada uma transformada *wavelet* discreta adaptativa (LI, 2000), onde a informação do objeto é adicionalmente enviada para o decodificador e os coeficientes resultantes são codificados.

A Figura 9 ilustra que os coeficientes escalonados dentro da ROI não envolvem escala de pixels de fundo adjacente, de modo que não há efeitos indesejáveis no fundo ou na ROI. A codificação baseada em objetos de uma imagem requer a aplicação de uma transformada *wavelet* bidimensional a uma região com forma arbitrária e devem-se codificar eficientemente os coeficientes *wavelet* resultantes. Uma região bidimensional com forma arbitrária é composta de várias linhas e colunas de comprimentos variados.

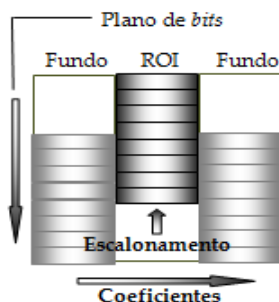


Figura 9. Codificação baseada em objeto com transformada *wavelet* adaptativa. Os coeficientes *wavelet* em torno a ROI que são necessários para a reconstrução das amostras da imagem dentro da ROI são marcados com cinza.

Assim, para regiões de forma arbitrária, várias transformadas *wavelet* unidimensionais de diferentes comprimentos devem ser representadas. A Figura 10 mostra um exemplo de transformada *wavelet* discreta adaptativa para transformar uma única linha de pixels, na qual somente as amostras são transformadas e ambas as bordas do segmento são estendidas pela extensão simétrica. Note-se que, em uma transformada *wavelet* adaptativa, os pixels do objeto e o fundo, nunca são misturados por filtragem e que o número de coeficientes transformados resultantes é exatamente o mesmo número de pixels na região.

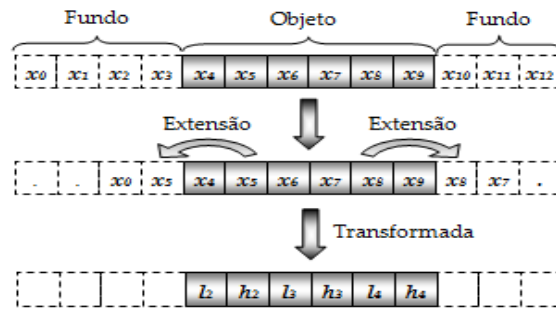


Figura 10. Transformada *wavelet* adaptativa unidimensional com extensão simétrica.

4.5. Codificação OBSPiHT (Object Based Set Partitioning In Hierarchical Trees)

O método SPIHT (Set Partitioning In Hierarchical Trees) foi adaptado para a codificação de regiões em forma arbitrária dentro de uma imagem de acordo com sua importância ou relevância de diagnóstico. Essa adaptação baseada em objeto de SPIHT, chamado OBSPiHT, aplica-se a uma transformação *wavelet* de forma adaptativa apenas aos pixels pertencentes à região de interesse, em vez de toda a imagem. Assim, OBSPiHT usa um método de código de cadeia para transmitir a informação da ROI. Finalmente, OBSPiHT progressivamente codifica somente os coeficientes *wavelet* associados a essa região.

4.6. Codificação BbBShift (Bitplane by Bitplane Shift)

Ao invés de transferir todos os planos de bits de uma só vez usando o mesmo valor escalar s como em MaxShift, BbBShift os deslocamentos são feitos em uma base de plano de bits por plano de bits. Uma ilustração do método BbBShift é mostrado na Figura 11. Dois parâmetros, S_1 e S_2 , são utilizados em BbBShift (WANG, 2002). A soma de S_1 e S_2 deve ser igual ao maior número do plano de bits de qualquer coeficiente da ROI. Esse método indexa o plano de bits superior 1, ao próximo plano de bits superior como 2, e assim por diante. O algoritmo codificador é o seguinte:

1. Para qualquer plano de bits b de um coeficiente ROI:
 - Se $b \leq s_1$, nenhuma mudança;
 - Se $s_1 < b \leq s_1 + s_2$, transferi-lo para baixo para o plano de bits $s_1 + 2(b - s_1)$.
2. Para qualquer plano de bits b de um coeficiente de BG:
 - Se $b \leq s_1$, transferi-lo para baixo para o plano de bits $s_1 + 2b - 1$;
 - Se $b > s_1$, transferi-lo para baixo do plano de bits $s_1 + s_2 + b$.

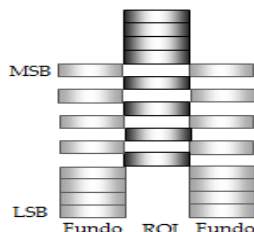


Figura 11. Método BbBShift com $s_1 = 4$ e $s_2 = 5$ (Os planos são representados pelas barras cinza).

O esquema do decodificador é o seguinte:

- 1) Identificar se é um coeficiente de ROI ou um coeficiente de BG. Isso pode ser feito analisando o *bit* mais significativo (MSB) do nível de plano de *bits*. O conjunto de ROI associado a planos de *bits* é dado por:

$$B_{ROI} = \{b \mid b \leq s_1 \text{ ou } b = s_1 + 2k, k = 1, 2, \dots, s_2\}$$
- 2) Se o coeficiente *wavelet* MSB está no plano de *bits* $b \in B_{ROI}$, então é um coeficiente de ROI. Caso contrário, é um coeficiente de BG. Os planos de *bits* são, então, deslocados de volta para seus níveis originais, invertendo o plano de *bits* do esquema deslocado no codificador.

4.7. Codificação MSBShift (Most Significant Bit-Plane Shift)

Esse método (LIU, 2003) remove todos os planos de *bits* sobrepostos entre a ROI e os coeficientes de BG, e relativamente modifica o tamanho do passo de quantização dos coeficientes. Isso reduz a qualidade da ROI final. Pode-se isolar certo número de planos de *bits* dos *bits* ROI nos planos de *bits* mais significativos para ajustar a importância entre a ROI e o BG.

É necessário transferir parte dos planos de *bits* mais significativos dos coeficientes da ROI em vez de mudar todos os planos de *bits* dos coeficientes da ROI como é feito nos métodos padrões. No método *MSBShift*, a complexidade é menor do que no método genérico baseado em escala. A eficiência de codificação é maior quando o mesmo valor de escala é utilizado. Se o ponto de codificação sem perdas é atingido, a taxa de *bits* produzido pelo método *MSBShift* não é maior do que no método *MaxShift* porque o método *BSMShift* codifica menos ou, no máximo, o mesmo número de planos de *bits*.

5. RESULTADOS

Nas seções anteriores, foram apresentadas a codificação ROI *MaxShift*, codificação ROI baseado em escalonamento, codificação baseada em objetos com transformada *wavelet* adaptativa, conjunto de particionamento em árvores hierárquicas baseado em objetos OBSPIHT, mudança de plano de bits por plano de bits *BbBShift*, e o método do plano de

bits mais significativo MSBShift. As características gerais dessas abordagens são resumidas nos quadros a seguir.

Codificação ROI MaxShift (Maximum Shift)
<ul style="list-style-type: none"> - Alta taxa de compressão com boa qualidade na ROI. - Usa maiores valores de escala e reduz a eficiência de compressão através da introdução de mais planos de <i>bits</i>. - A codificação ROI é possível sem o requerimento do fornecimento de informação e sem a necessidade do cálculo da máscara ROI. - Processo de decodificação simples sem necessidade da geração da máscara ROI. - Necessita de coeficientes adicionais para decodificar o objeto. - Suporta codificação ROI arbitrária. - Aplicado a imagens de nefrostograma (ANASTASSOPOULOS, 2002).

Codificação OBSPIHT (Object-Based Set Partitioning In Hierarchical Trees)
<ul style="list-style-type: none"> - Eficiência de compressão ao utilizar método baseado em regiões em comparação a SPIHT original. - Permite a compressão de várias regiões. - O fluxo de bits pode ser truncado. - Alta qualidade de compressão na região do torax. - Não precisa de coeficientes adicionais para decodificar o objeto. - Suporta codificação ROI arbitrária. - Aplicado a imagens de mamografia (PENEDO, 2003), (ISLAM, 1999).

Codificação ROI baseado em escalonamento
<ul style="list-style-type: none"> - Permite ROIs. - O valor do deslocamento é registrado no cabeçalho do fluxo de código para cada ROI. - Bom controle sobre a importância entre ROI e BG. - A codificação de ROI aumenta significativamente a complexidade e reduz a eficiência de codificação. - A forma da ROI é restrita (retângulo e elipse). Essa restrição pode limitar a aplicação real da codificação ROI e a eficiência da compressão. - Requer um complexo processo de geração da máscara ROI. - Necessita de coeficientes adicionais para decodificar o objeto. - Suporta codificação ROI arbitrária (ISSO, 2000). - Aplicado a imagens de nefrostograma (ANASTASSOPOULOS, 2002).

Codificação MSBShift (Most significant bit-plane shift)
<ul style="list-style-type: none"> - Ajuste flexível de qualidade de compressão na ROI e no BG (<i>Background</i>). - Codificação de múltiplas ROIs. - A complexidade é menor do que no método geral baseado em escala. - A eficiência de codificação é maior.

Codificação BbBShift (Bitplane-by-Bitplane Shift)

- Eficiência de compressão.
- Suporta codificação arbitrária ROI.
- Não suporta codificação ROI múltipla.
- A operação de codificação é feita usando o algoritmo “*baseline*” de JPEG2000 (TAUBMAN, 2002).
- Usando acesso aleatório a dados codificados, a região de interesse pode ser decodificada progressivamente.

Codificação baseada em objetos com formato da transformada *wavelet* adaptativa

- Aplicada a imagens estáticas, onde o objeto ou objetos são fixos em forma e posição.
- Permite codificação sem precisão a qual não afeta os *pixels* fora do objeto.
- Os *pixels* do objeto e fundo não são misturados por filtragem.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A codificação ROI é uma área de pesquisa muito importante e promissora que pode beneficiar muitos aplicativos de computação médica. Este artigo fornece uma visão geral das técnicas de codificação aplicadas à imagens DICOM. A codificação ROI preserva a qualidade da imagem e ajuda na compressão de imagem médicas, permitindo abordar questões relativas à manipulação de imagens e transmissão em sistemas de telemedicina.

Assim, a codificação ROI é considerada muito importante nos PACS (Picture Archiving Communication Systems) (BARDRAM, 2003; ATKINSON, 2005) bem como nos dispositivos móveis e portáteis, que têm um poder limitado de computação, permitindo apoio aos médicos. Os resultados apresentados por pesquisadores até agora são promissores, mas é necessário adaptar alguns algoritmos existentes, a fim de diminuir a complexidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento à pesquisa CAPES RH-TVD e CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALCOCER, P.; FURUIR, S.; MELO, C. A DICOM graphic user interface for PC's: towards a hierarchical system for dynamic digital angiographic image storage and visualization. **RBE - Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Engenharia Biomédica**, Rio de Janeiro, v.12, p.191-201, 1996.
- ASKËLOF, J.; CHRISTOPOULOS, C.; LARSON, M. Efficient methods for encoding regions of interest in the upcoming JPEG2000 still image coding standard. **IEEE Signal Process Lett.**, v.7, p.247-249, 2000.

- ATSUMI, E.; FARVADIN, N. **Proc. IEEE Int. Image Processing Conf.**, p. 87-91, 1998.
- ANASTASSOPOULOS, G.; SKODRAS, A. **JPEG2000 ROI coding in medical imaging applications**. Apresentado na 2nd IASTED Int. Conf. Visualization, Imaging and Image Processing (VIIP2002), Malaga, Espanha, set. 2002.
- ATKINSON, C.; KAPLAN, B.; LARSON, K.; MARTINS, H.M.G.; LUNDELL, J.; HARRIS, M. **Ubiquitous Computing for Health and Medicine**, Designing Ubiquitous Information Environments: Socio-technical Issues and Challenges, London: Kluwer Academic Publishers, p.355-358, 2005.
- BURRUS, C.; GOPINATH, R.; GUO, H. **Introduction to Wavelets and the Wavelet Transform: A Primer**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1998.
- BLACK, N.; MILLAR, R.; KUNT, M.; ZILIANI, F. **Advances in Imaging and Electron Physics**, p.1-54, 2000.
- BARDRAM, J.E. Hospitals of the future – ubiquitous computing support for medical work in hospital, **The 2nd international workshop on ubiquitous computing for pervasive healthcare applications** – UbiHealth 2003, Seattle, Washington, USA, 2003.
- CHRISTOPOULOS, C. **JPEG2000 verification model 7.0** (technical description). ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 WGINI684, 25 abr. 2000.
- DOUGHERTY, G. **Digital Image Processing for Medical Application**. Cambridge University Press, 2009.
- DICOM. Digital Imaging and Communications in Medicine, NEMA Publications, “DICOM strategic document”. 1993. Disponível em: <<http://medical.nema.org/dicom/geninfo/Strategy.pdf>>.
- FARIA, R. *Wavelets e as artes multirresolucionárias*. 1997. Disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/~regis/wlets.html>>.
- FONSECA, M.S. **Um estudo sobre a influência das famílias *wavelets* na compressão de imagens**. 2004. 152 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Fluminense, Niterói, 2004.
- FREEMAN, H. **IRE Trans. Electron. Comput.**, v.10, p. 260-268, 1991.
- ISLAM, A.; PEARLMAN, W.A. An embedded and efficient low-complexity hierarchical image coder. **Proc. SPIE**, v. 3653, p. 294-305, dez. 1999.
- ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 (ITU-T SG8), **JPEG 2000. Part II: Final Committee Draft**, dez. 2000.
- JPEG 2000 Part I: Final Draft International Standard (ISO/IEC FDIS15444-1)**, ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1855, ago. 2000.
- JARVI, A.; LEHTINEN, J.; NEVALAINEN, O. Signal Processing. **Image Communication**, v.14, n.9, p.683-696, 1999.
- JPEG2000. Image Coding System**, ISO/IEC JTC1/ SC29/WG10 15444-1, 2000.
- KANG, E.; CHOI, H.; KO, S. Progressive region of interest coding using an improved embedded zerotree *wavelet* coding. **Proc. IEEE Region 10 Technical Conf. (TENCON)**, v.1, p.609-612, 1999.
- KOLL, D.A.; SHULMAN, H. An overview of digital compression of medical images: can we use lossy image compression in radiology? **Canadian Association of Radiology Journal**, v.57, n.4, p.211-217, 2006.
- LIU, C.; XIA, T.; LI, H. ROI and FOI algorithms for *wavelet*-based video compression. **Proc. 5th Pacific Rim Conf. Multimedia**, Tokyo, p.241, nov. 2004.
- LI, S.; LI, W. **IEEE Trans. Circuits. Syst. Video Techn.**, v.10, p.725-743, 2000.
- LIU, L.; FAN, G. A new method for JPEG2000 region of interest image coding: most significant bitplanes shift. **IEEE Signal Processing**, v.10, n.2, p.35-39, 2003.
- MILDENBERGER, P.; EICHELBERG, M.; MARTIN, E. Introduction to the DICOM standard. **European Radiology**, v. 12, n. 4, p. 920-927, abr. 2002.

MINAMI, G.; XIONG, Z.; WANG, A.; MEHROTRA, S. **IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.**, v.11, p.1063-1068, 2001.

PARK, K.; PARK, H. "Region-of-interest coding based on set partitioning in hierarchical trees," **IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.**, v.12, p.106-113, fev. 2002.

PENEDO, M.; PEARLMAN, W.A.; TAHOUCES, P.G.; SOUTO, M.; VIDAL, J.J. Region-based *wavelet* coding methods for digital mammography. **IEEE Trans. Med. Imag.**, v. 22, p.1288-1296, out. 2003.

REVET, B. **DICOM Cook Book for Implementations in Modalities**. Nederland: Philips Medical Systems, 1997.

RABBANI, M.; JOSHI, R. Signal Process. **Image Comm.**, v.17, p. 3-48, 2002.

STROM, J.; COSMAN, P. Medical Image Compression with Lossless Regions of Interest. **Signal Processing**, v.59, n.2, jun. 1997.

SAMEI, E.; SEIBERT, J.A.; ANDRIOLE, K. et al., AAPM/RSNA tutorial on equipment selection: PACS equipment overview general guidelines for purchasing and acceptance testing of PACS equipment. **Radiographics**, v.24, p.313-334, 2004.

SKODRAS, A.; CHRISTOPOULOS, C.; EBRAHIMI, T. The JPEG2000 still image coding systems: An overview. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, v.46, n.4, p.1103-1127, 2000.

TAUBMAN, D.; MARCELLIN, M.W. **JPEG2000: Image Fundamentals, Standards and Practice** (Kluwer Academic Publishers), 2002.

_____. **JPEG2000 Image Compression Fundamentals, Standards and Practice** (Kluwer Academic Publishers, 2002).

WANG, Z.; BOVIK, A.C. Bitplane-by-Bitplane Shift (BbBShift): A suggestion for JPEG2000 region of interest coding. **IEEE signal Processing Letters**, v.9, n.5, p.160-162, 2002.

Efraina Gladys Cutipa Arapa

Eng. Informática e de Sistemas Unsaac-Perú. Mestrada na Universidade Estadual de Campinas na Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Departamento de Comunicações. Área de Processamento de Imagens.

Yuzo Iano

Graduou-se e obteve o grau de doutor da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), 1986. Professor Titular MS-6 do Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp (Decom/Feec/Unicamp). Área de Telecomunicações e Processamento de Imagens.

Rangel Arthur

Recebeu o grau de Engenheiro Eletricista da Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Ilha Solteira, 1999. Graus de Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica em 2002 e 2007, respectivamente, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Professor da Faculdade de Tecnologia/Unicamp. Área de Telecomunicações.