Realce no domínio da DCT

2.1 Introdução

Neste capítulo será apresentada uma nova proposta de realce no domínio da Transformada Cosseno Discreta (DCT), visando realçar um grande número de detalhes da imagem e evitar a amplificação de ruídos que estejam eventualmente contaminando a imagem. Também será mostrada uma estratégia que visa melhorar a qualidade visual da imagem resultante do Alpha-rooting.

É importante que seja considerado sobre qual tipo de transformada o método de realce será desenvolvido. A alternativa natural é a transformada cosseno discreta bidimensional (2D-DCT), pois é a que tem sido mais amplamente utilizada em processamento de imagens [4]-[7] e [12] devido à sua simplicidade na implementação dos algoritmos e por realizar excelente compactação de energia para proveito dos sistemas de compressão. Grande parte dos padrões de compressão como o JPEG, por exemplo, usam esta transformada [4].

Exemplos recentes de métodos de realce baseados em DCT foram propostos em [4],[6] e [7]. Essas técnicas são baseadas em medidas de contraste no domínio da DCT. Entretanto, a utilização da medida de contraste proposta em [6] resultou em um esquema que requer um menor custo computacional que os apresentados em [4] e [7].

Em aplicações de realce de imagens comprimidas, técnicas de realce que usam uma medida de contraste no domínio da DCT podem ser empregadas diretamente no estágio de descompressão. Isso traz a vantagem de não afetar a compressibilidade da imagem original. Em [4] o método de realce que utiliza uma medida de contraste no domínio da DCT foi comparado com os tradicionais Alpha-rooting, que também opera no domínio da transformada, e com o equalização de histogramas local e o global [13]. Foi verificado que a imagem obtida pelo Alpha-rooting não retém tantos detalhes quanto a processada pelo esquema que usa medida de contraste, e é mais escura que a original quando vista no monitor. Já a equalização de histogramas local artificialmente enfatiza detalhes locais. Por esta razão, a equalização de histogramas global foi considerada mais apropriada que a local para ser comparada com o método que usa medida de contraste. Foi mostrado em [4] que o método que usa medida de contraste apresenta qualidade visual superior a essas técnicas tradicionais.

Será proposto aqui um algoritmo de realce no domínio da DCT, que realiza uma estratégia semelhante à que foi apresentada em [6]. Os métodos de realce nesse domínio buscam dar mais ênfase aos coeficientes DCT de altas freqüências espaciais. Conseqüentemente, são realçados aqueles detalhes da imagem que eram pouco visíveis. Baseando-se neste princípio, e buscando obter uma melhor resposta visual, nossa proposta consiste em modificar a expressão do método proposto em [6], que relaciona os coeficientes realçados com os não realçados. O objetivo principal é amplificar um maior número de coeficientes de altas freqüências espaciais, que são responsáveis pelos detalhes da imagem, sem introduzir modificações significativas nas contribuições de baixas freqüências e sem realçar eventuais ruídos presentes na imagem. Adicionalmente será mostrada uma proposta de melhoria do Alpha-rooting, que consiste em não aplicar o algoritmo de realce ao coeficiente DC, já que foi observado que a modificação deste coeficiente altera a claridade global da imagem.

Este capítulo está organizado da seguinte forma: na Seção 2.2 é descrito resumidamente os fundamentos da transformada DCT, o funcionamento do método Alpha-rooting e uma proposta de melhoria dessa técnica, na Seção 2.3 é mostrado o princípio do método que utiliza medidas de contraste no domínio da DCT, na Seção 2.4 é apresentada a técnica proposta, a Seção 2.5 contém os resultados de simulação, e a Seção 2.6 as principais conclusões desta pesquisa.

2.2 Realce no domínio da DCT usando o Alpha-rooting

Em diversos esquemas de processamento de imagens, a imagem é dividida em blocos de 8×8 pixels, e a transformada DCT é aplicada a cada bloco. Este

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{00} & d_{01} & d_{02} & d_{03} & d_{04} & d_{05} & d_{06} & d_{07} \\ d_{10} & d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} & d_{17} \\ d_{20} & d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} & d_{25} & d_{26} & d_{27} \\ d_{30} & d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} & d_{35} & d_{36} & d_{37} \\ d_{40} & d_{41} & d_{42} & d_{43} & d_{44} & d_{45} & d_{46} & d_{47} \\ d_{50} & d_{51} & d_{52} & d_{53} & d_{54} & d_{55} & d_{56} & d_{57} \\ d_{60} & d_{61} & d_{62} & d_{63} & d_{64} & d_{65} & d_{66} & d_{67} \\ d_{70} & d_{71} & d_{72} & d_{73} & d_{74} & d_{75} & d_{76} & d_{77} \end{bmatrix}$$
(1)

onde os coeficientes com valores de i,j próximos de zero, correspondem às componentes de baixas freqüências, que representam nuances da imagem. Coeficientes com valores de i,j elevados, correspondem as componentes de altas freqüências, que são responsáveis por detalhes da imagem. O ruído também está mais concentrado nas componentes com maiores valores para i,j. O coeficiente d_{00} representa o nível DC. Os coeficientes da transformada são expressos por

$$d_{i,j} = \frac{c(i)c(j)}{4} \sum_{k=0}^{7} \sum_{l=0}^{7} x_{k,l} \cos\left(\frac{(2k+1)i\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2l+1)j\pi}{16}\right)$$
(2)

onde $c(i) = 1/\sqrt{2}$, se i = 0, e c(i) = 1, caso contrário, e

$$x_{k,l} = \sum_{i=0}^{7} \sum_{j=0}^{7} \frac{c(i)c(j)}{4} d_{i,j} \cos\left(\frac{(2k+1)i\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2l+1)j\pi}{16}\right)$$
(3)

é a transformada inversa.

Uma técnica de realce, denominada Alpha-rooting, foi apresentada em 1972, e consiste em aplicar a expressão

$$\mathbf{d'}_{i,j} = \mathbf{d}_{i,j} \left| \mathbf{d}_{i,j} \right|^{\alpha - 1} \tag{4}$$

a cada coeficiente DCT da imagem não realçada, onde $|d_{i,j}|$ representa a magnitude do coeficiente na posição (i,j). Em (4) o fator, ou ganho, que é aplicado a $d_{i,j}$ é mais elevado para pequenos valores de magnitude como visto na Figura 1 (a). Ou seja, este algoritmo amplifica as contribuições que estão mais inexpressivas, as quais são responsáveis pela observação de detalhes, e atenua mais os coeficientes de maiores magnitudes a partir de 1 como mostrado na Figura 1 (b). Foi percebido em [4], que a imagem processada por este método parece mais escurecida que a original não realçada.



Figura 1-Gráficos de ganho *versus* magnitude para 4 valores de α : (a) menores magnitudes; (b) maiores magnitudes

Como alterações do coeficiente d_{00} correspondem a variações na claridade global da imagem e este coeficiente não contribui com nenhum detalhe da imagem, uma estratégia que propomos aqui para eliminar este efeito de escurecimento sem penalizar o realce de detalhes é não aplicar a expressão do Alpha-rooting a este coeficiente. A Figura 2 apresenta o uso desta estratégia em comparação com o Alpha-rooting tradicional sendo usada uma baixa intensidade de realce como em [4] para uma imagem de tamanho 256 × 256, resultante da combinação das imagens *clock*¹ e *moon*² em tons de cinza [12]. Claramente o uso desta estratégia elimina o efeito de escurecimento e não piora a observação de detalhes como pode ser visto na Figura 2 (c).





Figura 2-Imagens realçadas na DCT sem compressão (*clock* e *moon*): (a) imagem original; (b) Alpha-rooting tradicional (α = 0.90); (c) Alpha-rooting proposto (α = 0.90)

¹http://sipi.usc.edu/database/

²Nós agradecemos à NASA Dryden Research Aircraft Photo Archive pelo uso desta imagem

2.3 Realce usando medida de contraste no domínio da DCT

Os coeficientes DCT que possuem o mesmo valor para a soma dos índices de freqüências espaciais (i + j = n) da matriz 8 × 8 de coeficientes, definem uma banda da matriz DCT. Em (5) estão assinaladas duas bandas (n = 1, n = 4).

$$\mathbf{E}_{1} \qquad \mathbf{E}_{4}$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{00} & d_{01} & d_{02} & d_{03} & d_{04} & d_{05} & d_{06} & d_{07} \\ d_{10} & d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} & d_{17} \\ d_{20} & d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} & d_{25} & d_{26} & d_{27} \\ d_{30} & d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} & d_{35} & d_{36} & d_{37} \\ d_{40} & d_{41} & d_{42} & d_{43} & d_{44} & d_{45} & d_{46} & d_{47} \\ d_{50} & d_{51} & d_{52} & d_{53} & d_{54} & d_{55} & d_{56} & d_{57} \\ d_{60} & d_{61} & d_{62} & d_{63} & d_{64} & d_{65} & d_{66} & d_{67} \\ d_{70} & d_{71} & d_{72} & d_{73} & d_{74} & d_{75} & d_{76} & d_{77} \end{bmatrix}$$

$$(5)$$

Este conceito foi utilizado em [6] para definir uma medida de contraste para a nésima banda da matriz. Esta medida é dada por

$$\mathbf{c}_{\mathrm{n}} = \frac{\mathrm{En}}{\mathrm{En} - 1} \tag{6}$$

onde n é um número compreendido entre 1 e 14, e E_n é a média dos módulos dos coeficientes em cada banda que pode ser expresso como

$$E_n = \frac{\sum_{i+j=n} |d_{i,j}|}{Nn}$$
(7)

onde N_n é igual a n + 1 para valores de n inferiores a 8, e vale 14 - n + 1 caso contrário. Em [6], o contraste realçado $\overline{c_n}$ é obtido multiplicando-se c_n por um fator constante λ , ou seja,

$$\mathbf{c}_{\mathrm{n}} = \lambda \, \mathbf{c}_{\mathrm{n}} \tag{8}$$

onde o fator constante ou ganho λ pode ser escolhido subjetivamente para cada imagem de acordo com a intensidade de realce que se deseja aplicar. Para $\lambda > 1$ a imagem é realçada, e para $0 < \lambda < 1$ a imagem é suavizada. Usando a definição de contraste, a equação (8) pode ser reescrita como se segue:

$$\frac{En}{\overline{En}-1} = \frac{\lambda En}{En-1}$$
(9)

Passando o termo \overline{E}_{n-1} para o segundo membro dessa equação e expandindo sucessivamente, chega-se a uma expressão recursiva para \overline{E}_n como mostrado a seguir:

$$\overline{E}_{n} = \frac{\lambda En}{En-1} \quad \overline{E}_{n-1} =$$

$$= \frac{\lambda En}{En-1} \quad \frac{\lambda En-1}{En-2} \quad \overline{E}_{n-2} = \lambda^{2} \frac{En}{En-2} \quad \overline{E}_{n-2} = \cdots \lambda^{n} \frac{En}{E0} \quad \overline{E}_{0} = \lambda^{n} E_{n}$$
(10)

onde $E_0 = \overline{E}_0$, uma vez que o coeficiente d_{00} não é alterado.

Utilizando as expressões (7) e (10), pode ser mostrado [6] que os coeficientes DCT realçados $\overline{d}_{i,j}$ são dados por

$$\overline{\mathbf{d}}_{i,j} = \lambda^{i+j} \, \mathbf{d}_{i,j}. \tag{11}$$

O coeficiente d_{00} não deve ser alterado de modo que artefatos de blocagem sejam menos percebidos quando o método for aplicado a imagens comprimidas.

2.4 O método proposto

Nesta seção será apresentada uma nova proposta de ajuste dos coeficientes DCT com o objetivo de melhorar a qualidade visual da imagem degradada tornando visíveis um maior número de detalhes. Esta proposta consiste em substituir λ por uma função que depende das freqüências espaciais. Isso permitirá uma relação mais estreita entre o método de realce e a sensibilidade humana ao contraste que é dependente das freqüências espaciais. Portanto, espera-se que a nova técnica tenha mais habilidade em realçar as imagens do que a que usa a constante λ .

Para λ constante, a expressão (8) pode ser interpretada como uma transformação linear de c_n em c_n . Observando (8) e (11), conclui-se que uma redistribuição linear no domínio do contraste corresponde a uma redistribuição linear no domínio da DCT dada por (11). Nossa proposta consiste em substituir a constante λ em (11) por uma função $\lambda(i,j)$. A motivação é criar uma nova distribuição para os coeficientes DCT, de modo que um maior número de componentes de altas freqüências espaciais, que são responsáveis pelos detalhes da imagem, sejam realçados. Uma outra consideração importante a ser levada em conta é que quando a imagem está contaminada por ruído, este se concentra nas componentes de mais elevadas freqüências espaciais. Portanto, os valores da função proposta não deverão ser elevados nestas freqüências espaciais. Caso contrário, eles realçarão eventuais ruídos presentes nas imagens. Os ganhos aplicados aos coeficientes DCT devem ser tais que amplifiquem o maior número possível de componentes responsáveis pelos detalhes da imagem e não modifiquem de forma acentuada as componentes de baixas freqüências. É importante ressaltar que em imagens comprimidas utilizando DCT em blocos, a severa amplificação das componentes de baixas freqüências torna visíveis artefatos de blocagem provocados por descontinuidades entre pixels de blocos adjacentes. Estes efeitos são originados durante o processo de quantização utilizado na compressão da imagem. A blocagem está associada principalmente à quantização dos coeficientes DCT de baixas freqüências.

Propõe-se aqui a seguinte expressão para o fator de controle do realce

$$\lambda(i,j) = 1 + \frac{a}{i+j} \tag{12}$$

onde *a* é um parâmetro que ajusta a intensidade do realce e é escolhido pelo usuário. Substituindo o fator constante λ em (11) por (12) obtém-se

$$\overline{\mathbf{d}}_{i,j} = \lambda^{i+j}(i,j) \, \mathbf{d}_{i,j}. \tag{13}$$

A constante unitária em (12) assegura que para qualquer valor de *a* positivo todos os termos $d_{i,j}$ em (13) sejam realçados. A expressão (13) só é aplicada nos coeficientes de altas freqüências espaciais. A razão disso é que como os coeficientes de baixas freqüências espaciais são mais responsáveis por artefatos de blocagem, eles não devem ser muito amplificados para que não ocorra o realce destes efeitos. Por esta razão propõe-se a seguinte expressão para modificar os coeficientes de baixas freqüências

$$\mathbf{v}(\mathbf{i},\mathbf{j}) = (1/4) \left[(1 + a/4)^4 - 1 \right] (\mathbf{i} + \mathbf{j}) + 1 \tag{14}$$

isto é,

$$d_{i,j} = v(i,j) d_{i,j}.$$
 (15)

A função (14) é utilizada apenas nas quatro primeiras bandas, ou seja de n = 1 a n = 4. Foi observado experimentalmente que se o valor máximo de n for inferior a quatro percebe-se um aumento do efeito de blocagem. Por outro lado, se aplicarmos (14) para n maior do que quatro observa-se uma piora na qualidade do realce. Pela mesma razão considerada no método apresentado em [6], o coeficiente d₀₀ não deve ser alterado. Note que a função (14) é uma reta que possui valor 1 em n = (i + j) = 0. Por razão de continuidade, a função expressa por $\lambda^{i+j}(i,j)$, com $\lambda(i,j)$ dado por (12), deve ser $(1 + a/4)^4$ em n = i + j = 4, que é o valor de v(i,j) em n = 4.

Para mostrar o comportamento do ganho em cada banda e também observar como variam os parâmetros de ajuste do realce de ambos os métodos, plotamos alguns gráficos de ganho aplicado aos coeficientes DCT *versus* n, onde n é o índice que indica as bandas. Os gráficos podem ser vistos na Figura 3. Nesta figura, o gráfico (a) representa o ganho usado em (11) para $\lambda = 1.0, 1.1, 1.2, 1.3$ (de baixo para cima). O gráfico (b) é o ganho em (13) para a = 1.5, 2.0, 2.5, 3.0(de baixo para cima). Observando esta figura, pode-se esperar que pequenas variações do parâmetro λ , usado no método proposto em [6], produzirão imagens com grandes mudanças em termos de aparência visual, enquanto que variações maiores no parâmetro de nosso método resultarão em variações visuais menos bruscas. Isto porque na nova proposta o ganho cresce mais lentamente com variações do parâmetro do método.



Figura 3-Gráficos de ganho versus n: (a) método proposto em [6]; (b) nova proposta

Os coeficientes DCT de altas freqüências espaciais (bandas mais altas) são responsáveis pelos detalhes da imagem e por grande parte do ruído. Pode-se observar da Figura 3 que os gráficos correspondentes a qualquer dos métodos descritos anteriormente produzem maior ênfase em coeficientes de altas freqüências. No caso do método apresentado em [6] esse procedimento é mais seletivo no sentido de que aplica ganhos elevados a poucos coeficientes de mais altas freqüências espaciais. Já o método proposto não permite que estes coeficientes de mais altas freqüências espaciais sejam severamente amplificados. Esta estratégia evita problemas com realce de ruído e de artefatos indesejados. Isso elimina a necessidade do uso de técnicas de extração de ruído, que aumentariam a complexidade do sistema de processamento da imagem em termos de esforço computacional, ou requereriam no mínimo, de mais um parâmetro de ajuste. Este parâmetro de ajuste controlaria o grau de extração de ruído. Ou seja, o sistema de processamento da imagem seria composto de um algoritmo de extração de ruído e de um algoritmo de realce. O uso da nova proposta permite que o sistema de processamento seja formado apenas pelo algoritmo de realce. Além disso, técnicas de extração de ruído, de maneira indesejável, tendem a extrair não apenas o ruído, mas também uma fração dos detalhes importantes da imagem. Por outro lado, o novo método simplesmente destaca os detalhes da imagem. Também pode ser observado que a nova proposta realça um número maior de componentes de alta freqüência, possibilitando que mais detalhes sejam percebidos na imagem realçada.

2.5 Resultados de simulação

Os resultados experimentais foram obtidos aplicando-se as técnicas de realce aos blocos de tamanho 8×8 de coeficientes DCT no domínio da transformada. Quando foi usada compressão, os algoritmos de realce foram aplicados no estágio de descompressão utilizando um codec JPEG. Foi aplicada a transformada DCT inversa para a obtenção das imagens reconstruídas e realçadas. A escolha dos parâmetros e a análise da qualidade das imagens processadas foram feitas de forma subjetiva. Estas novas propostas foram comparadas com o método apresentado em [6] e com o equalização de histogramas global.

As Figuras 4 a 19 mostram os resultados das simulações obtidos para imagens que apresentam baixo contraste e possuem um número de detalhes que são originalmente (sem realce) pouco visíveis. Foi adicionado ruído gaussiano branco de baixa intensidade às imagens originais não comprimidas, para que seja possível observar o comportamento dos métodos na presença de ruído.

2.5.1

Realce no domínio da compressão

A Figura 4 a seguir, apresenta o uso das técnicas de realce para uma imagem de tamanho 256×256 , resultante da combinação das imagens *clock* e *moon* em tons de cinza [12], na situação em que está sendo usada uma baixa compressão.

Na Figura 4, a imagem (a) é a descomprimida onde foi usada baixa taxa de compressão, (b) é a realçada com equalização de histogramas global, (c) é a realçada usando o Alpha-rooting proposto com $\alpha = 0.75$, (d) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.2$, (e) é a realçada usando o novo método proposto com a = 2.0, e (f) é a realçada pela técnica apresentada em [6] com $\lambda = 1.4$.

A Figura 5 apresenta mais um exemplo do uso das técnicas de realce na situação em que está sendo usada uma baixa compressão. A imagem é *cameraman*³ de tamanho 256 × 256 em tons de cinza. Na Figura 5, a imagem (a) é a descomprimida, (b) é a realçada com equalização de histogramas global, (c) é a realçada com o Alpha-rooting proposto com $\alpha = 0.70$, (d) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.2$, (e) é a realçada usando o novo método proposto com a = 2.4, e (f) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.4$, ou seja, sendo aplicado mais realce que na imagem da Figura 5 (d).

A Figura 6 mostra mais um resultado do uso das técnicas de realce na situação em que está sendo usada uma baixa compressão. A imagem é *pentagon*⁴ de tamanho 200 × 200 em tons de cinza. Na Figura 6, a imagem (a) é a descomprimida, (b) é a realçada com equalização de histogramas global, (c) é a realçada com o Alpha-rooting proposto com $\alpha = 0.73$, (d) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.2$, (e) é a realçada usando o novo método proposto com a = 2.3, e (f) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.4$, ou seja, sendo aplicado mais realce que na imagem da Figura 6 (d).

³Nós agradecemos à Georgia Institute of Technology pelo uso desta imagem adquirida de sua database on-line ⁴http://sipi.usc.edu/database/



Figura 4-Imagens simuladas na DCT com baixa compressão (*clock* e *moon*): (a) imagem descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce

Comparando a imagem (d) das Figuras 4, 5 e 6, que usa o esquema descrito em [6], com a processada pelo novo método proposto, pode ser visto que a última explicita mais detalhes e apresenta uma qualidade visual superior. Os números na imagem do relógio, os detalhes dos prédios na imagem *cameraman*, e do prédio na imagem do Pentágono na imagem *pentagon*, por exemplo, estão mais visíveis nas imagens resultantes da nova proposta. O mesmo também pode ser

claramente visto nas imagens do quadro e do livro na Figura 4. Além disso, as bordas estão mais bem definidas nas imagens obtidas com o novo método. Percebe-se também um forte realce de contraste na imagem processada com a nova técnica. Afim de determinar se o método proposto em [6] é capaz de melhorar a visibilidade de detalhes aumentando-se o valor de λ , foram realizados vários testes. Foi verificado em todos eles que a qualidade visual da imagem diminui severamente, devido à amplificação de ruído. Além disso, a visibilidade de detalhes não é melhorada. Isto pode ser visto na imagem (f) das Figuras 4, 5 e 6. Pode ser observado que o ruído começa a degradar de forma acentuada a qualidade da imagem devido a um pequeno aumento da intensidade do realce. Podem ser percebidos pontos escuros em todas as imagens e distorções nos números do relógio, no homem operando a câmera e no prédio do Pentágono, por exemplo. Isso mostra que o ruído está degradando a qualidade visual da imagem e piorando a observação de detalhes. Para valores baixos de λ , os detalhes são suavemente realçados e a qualidade da imagem é moderada. Em contrapartida, o novo esquema de realce proposto tende a melhorar a observação de detalhes.

Quando λ atinge valores mais elevados no método apresentado em [6], uma pequena variação deste parâmetro resulta em uma grande amplificação de ruído. Isto confirma o que era esperado pela análise dos gráficos da Figura 3. Por outro lado, o método proposto apresenta um melhor realce de detalhes antes que o ruído seja amplificado devido a um acréscimo no fator de realce. A imagem obtida com a equalização de histogramas global apresenta regiões muito claras e outras muito escuras, degradando a qualidade visual da imagem. Estas regiões não existem em nenhuma das outras imagens e atrapalham a observação de detalhes. Também pode ser observado que a aparência visual da imagem resultante da nova proposta é melhor que a da equalização de histogramas global. A técnica Alpharooting proposta realça os detalhes da imagem descomprimida e não a escurece. Mas este método não pode melhorar tanto a observação de detalhes quanto as outras abordagens no domínio da transformada DCT. Por outro lado, a qualidade visual da sua imagem resultante, tal como a das técnicas no domínio da transformada, é melhor que a da equalização de histogramas global.



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321221/CA

Figura 5-Imagens simuladas na DCT com baixa compressão (*cameraman*): (a) imagem descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce







Figura 6-Imagens simuladas na DCT com baixa compressão (*pentagon*): (a) imagem descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce

Uma outra forma de verificar os efeitos dos métodos de realce é observar o histograma de cada imagem. Os histogramas das Figuras 7, 8 e 9 se referem aos resultados apresentados nas Figuras 4, 5 e 6, respectivamente.



Figura 7-Histogramas das imagens simuladas na DCT com baixa compressão (*clock* e *moon*): (a) descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce



Figura 8-Histogramas das imagens simuladas na DCT com baixa compressão (*cameraman*): (a) descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce



Figura 9-Histogramas das imagens simuladas na DCT com baixa compressão (*pentagon*): (a) descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce

Pode-se observar que o método de equalização de histogramas alargou severamente a distribuição dos níveis de cinza presentes na imagem descomprimida. Ocorreu, portanto, uma deformação acentuada na distribuição dos níveis de cinza da imagem descomprimida. Isso resulta da dificuldade do método na determinação das regiões da imagem mais adequadas para se aplicar o realce. O resultado é a criação de regiões muito claras e outras muito escuras na imagem realçada. O Alpha-rooting proposto mudou pouco a distribuição dos níveis de cinza da imagem descomprimida como visto nas Figuras 7, 8 e 9 (c). Houve um pequeno alargamento no sentido do preto e no sentido do branco, evidenciando a

ocorrência do realce. Como o alargamento foi pequeno, e o formato do histograma praticamente se manteve, percebe-se que a imagem foi suavemente realçada. O comportamento do histograma resultante da aplicação do método apresentado em [6], que usa medida de contraste, é semelhante ao obtido pelo Alpha-rooting proposto. Por outro lado, o do primeiro é um pouco mais estendido mostrando que a imagem resultante é levemente mais realcada. A nova proposta alarga mais que a técnica tradicional baseada em medidas de contraste a distribuição dos níveis de cinza, no histograma, no sentido do branco e do preto. Também procura manter a forma do histograma da imagem descomprimida. Portanto, observa-se que a imagem foi mais realçada que no caso anterior. O último histograma, referente às Figuras 7, 8 e 9 (f), apresentou um alargamento excessivo nos dois sentidos dos níveis de cinza. O formato original da distribuição foi muito modificado, mas não tanto quanto no caso da equalização de histogramas. Esta grande modificação na distribuição mostra que não houve melhoria na qualidade visual da imagem, e que distorções, como a amplificação de ruído, estão presentes na imagem processada pelo método. A observação da següência de histogramas claramente confirma o que pode ser visto pelas imagens das Figuras 4, 5 e 6.

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam os resultados das técnicas de realce na situação em que está sendo usada uma compressão elevada. Esta aplicação tem a finalidade de mostrar como as distorções provenientes da compressão, como por exemplo a blocagem, afetam as imagens após a aplicação do realce. Na Figura 10, a imagem (*clock* e *moon*) (a) é a descomprimida, (b) é a realçada com equalização de histogramas global, (c) é a realçada com o Alpha-rooting proposto com $\alpha = 0.75$, (d) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.2$, (e) é a realçada usando o novo método proposto com a = 2.0, e (f) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.2$, (e) é a realçada usando o movo método proposto com a = 2.0, e (f) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.4$, ou seja, sendo aplicado mais realce do que na imagem da Figura 10 (d).

A Figura 11 (*cameraman*) mostra um outro exemplo de aplicação dos métodos de realce na situação em que está sendo usada uma elevada compressão. Nessa Figura, a imagem (a) é a descomprimida, (b) é a realçada com equalização de histogramas global, (c) é a realçada usando o Alpha-rooting proposto com $\alpha = 0.70$, (d) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.2$, (e) é a realçada usando o novo método proposto com a = 2.4, e (f) é a realçada pelo

método apresentado em [6] com λ = 1.4, ou seja, sendo aplicado mais realce que na imagem da Figura 11 (d).

Um outro exemplo de aplicação dos métodos de realce na situação em que está sendo usada uma elevada compressão está mostrado na Figura 12 (imagem *pentagon*). Nesta figura, a imagem (a) é a descomprimida, (b) é a realçada com equalização de histogramas global, (c) é a realçada com o Alpha-rooting proposto com $\alpha = 0.73$, (d) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.2$, (e) é a realçada usando o novo método proposto com a = 2.3, e (f) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.4$, ou seja, sendo aplicado mais realce que na imagem da Figura 12 (d).

Pode ser visto nas Figuras 10, 11 e 12, que a imagem obtida pela nova proposta (e) é mais realçada que a imagem obtida pelo método apresentado em [6] (d). Quando se procura melhorar a qualidade visual do método tradicional baseado em medidas de contraste, aumentando a intensidade do realce, observa-se pelas Figuras 10, 11 e 12 (f), que não ocorre melhoria significativa na observação de detalhes. O ruído amplificado piora muito a visualização de detalhes na imagem processada pela técnica apresentada em [6]. Por outro lado, os efeitos de blocagem provocados pela compressão distorcem um pouco mais a imagem processada com a nova proposta que a obtida com a técnica apresentada em [6]. Porém a observação de detalhes continua sendo maior na imagem resultante da aplicação da técnica proposta do que na resultante do método apresentado em [6]. A equalização de histogramas realçou muito os efeitos de blocagem, e formou regiões muito claras e outras muito escuras. Além disso, pela imagem obtida com a nova proposta podem ser percebidos mais detalhes que na imagem resultante da equalização de histogramas. A imagem do Alpha-rooting proposto apresenta uma melhor qualidade visual que a do equalização de histogramas global e não melhora mais a observação de detalhes que a nova proposta e a técnica baseada em medidas de contraste.







Figura 10-Imagens simuladas na DCT com elevada compressão (*clock* e *moon*): (a) imagem descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto [6] com mais realce sendo aplicado ($\lambda = 1.4$)



Figura 11-Imagens simuladas na DCT com elevada compressão (*cameraman*): (a) imagem descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto [6] com mais realce sendo aplicado ($\lambda = 1.4$)







Figura 12-Imagens simuladas na DCT com elevada compressão (*pentagon*): (a) imagem descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto [6] com mais realce sendo aplicado (λ = 1.4)

Os histogramas das imagens apresentadas nas Figuras 10, 11 e 12 são mostrados nas Figuras 13, 14 e 15, respectivamente.



Figura 13-Histogramas das imagens simuladas na DCT com elevada compressão (*clock* e *moon*): (a) descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce



Figura 14-Histogramas das imagens simuladas na DCT com elevada compressão (*cameraman*): (a) descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce



Figura 15-Histogramas das imagens simuladas na DCT com elevada compressão (*pentagon*): (a) descomprimida; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce

A equalização de histogramas deformou muito a distribuição dos níveis de cinza da imagem descomprimida. A aplicação da técnica formou regiões muito claras e outras muito escuras na imagem. Já a distribuição dos níveis de cinza da imagem descomprimida foi pouco modificada pelo método tradicional que usa medida de contraste e pelo Alpha-rooting proposto, como visto nas Figuras 13, 14 e 15 (c) e (d). Houve um pequeno alargamento no sentido do preto e no sentido do branco, mostrando a ocorrência do realce. Como foi pequeno o alargamento e o formato do histograma praticamente se manteve, percebe-se que a imagem foi suavemente realçada. O histograma da técnica baseada em medidas de contraste é

ligeiramente mais largo que o do Alpha-rooting proposto, mostrando que a última técnica realça um pouco menos a imagem. A nova proposta alarga mais que o método tradicional, que usa medidas de contraste, a distribuição dos níveis de cinza, no histograma, no sentido do branco e do preto. Também procura manter a forma do histograma da imagem descomprimida. Portanto, observa-se que a imagem foi mais realçada que no caso anterior. O último histograma teve um alargamento um pouco menor que o da nova proposta mostrando que a imagem foi menos realçada. Não é possível perceber com clareza a influência dos efeitos de blocagem nos histogramas das imagems, visto que o formato dos histogramas não é muito modificado quando a imagem possui muitos destes efeitos.

2.5.2

Realce de imagens não comprimidas

É interessante também investigar o comportamento dos métodos quando não é aplicada compressão à imagem. As Figuras 16, 17 e 18 ilustram esta situação.

A Figura 16 mostra a aplicação das técnicas de realce para a imagem (*clock* e *moon*) onde a imagem (a) é a original, (b) é a realçada com equalização de histogramas global, (c) é a realçada usando o Alpha-rooting proposto com $\alpha = 0.77$, (d) é a realçada com o método apresentado em [6] com $\lambda = 1.2$, (e) é a realçada pelo novo método proposto com a = 1.9, e (f) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.4$.

Na Figura 17 está sendo apresentado o resultado da aplicação dos algoritmos de realce para a imagem (*cameraman*). A imagem (a) é a original, (b) é a realçada com equalização de histogramas global, (c) é a realçada com o Alpharooting proposto com $\alpha = 0.73$, (d) é a realçada com o método apresentado em [6] com $\lambda = 1.2$, (e) é a realçada pelo novo método proposto com a = 2.2, e (f) é a realçada pelo método apresentado em [6] com $\lambda = 1.4$.

Mais um exemplo de aplicação dos métodos de realce na situação em que não está sendo usada compressão está mostrado na Figura 18 (imagem *pentagon*). Nesta figura, a imagem (a) é a original, (b) é a realçada com equalização de histogramas global, (c) é a realçada com o Alpha-rooting proposto com $\alpha = 0.74$,



Figura 16-Realce de imagens sem compressão (*clock* e *moon*) no domínio da DCT: (a) imagem original; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce

(e)

(f)



Figura 17-Imagens simuladas na DCT sem compressão (*cameraman*): (a) imagem original; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce



Figura 18-Imagens simuladas na DCT sem compressão (*pentagon*): (a) imagem original; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce

Pelas Figuras 16, 17 e 18, pode-se observar também neste caso que, quando comparada com a imagem original, a imagem processada pela nova proposta explicita mais detalhes e reforça mais os contornos que a imagem obtida com o método proposto em [6]. Além disso, possui um contraste mais forte, e apresenta uma qualidade visual superior. Para valores elevados de λ foi verificado experimentalmente que a qualidade visual da imagem do método proposto em [6] piora enormemente devido à amplificação de ruído. Além disso, a observação de detalhes não é tão eficiente. Isto pode ser observado nas Figuras 16, 17 e 18 (f). Nestas figuras, o ruído começa a afetar severamente a qualidade da imagem por um pequeno aumento, em relação às Figuras 16, 17 e 18 (d), na intensidade de realce aplicada à imagem. Para valores baixos de λ os detalhes são suavemente realçados e a qualidade da imagem é moderada. Em contrapartida, o novo algoritmo de realce proposto tende a melhorar a observação de detalhes. O Alpharooting proposto realça menos a imagem que as outras técnicas que usam transformadas. As regiões claras e escuras na imagem resultante da aplicação da equalização de histogramas atrapalha a observação de detalhes. As imagens obtidas com as técnicas no domínio da transformada são melhores em qualidade que as obtidas com a equalização de histogramas.

Nas Figuras 19, 20 e 21 estão representados os histogramas associados às imagens das Figuras 16, 17 e 18.



Figura 19-Histogramas das imagens simuladas na DCT sem compressão (*clock* e *moon*): (a) original; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce



Figura 20-Histogramas das imagens simuladas na DCT sem compressão (*cameraman*): (a) original; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce



Figura 21-Histogramas das imagens simuladas na DCT sem compressão (*pentagon*): (a) original; (b) eq. de hist. global; (c) Alpha-rooting proposto; (d) usando o método proposto em [6]; (e) usando a nova proposta; (f) usando o método proposto em [6] com mais realce

A equalização de histogramas alargou severamente a distribuição dos níveis de cinza presentes na imagem original. Ocorreu uma deformação severa na distribuição dos níveis de cinza da imagem original. O método criou regiões muito claras e outras muito escuras na imagem realçada. O método tradicional que usa medida de contraste e o Alpha-rooting proposto mudaram suavemente a distribuição dos tons de cinza da imagem original. Houve um pequeno alargamento nos dois sentidos dos níveis de cinza, evidenciando a ocorrência do realce. Como foi pequeno o alargamento e o formato do histograma praticamente se manteve, percebe-se que a imagem foi suavemente realçada. O Alpha-rooting

proposto alargou o histograma um pouco menos que o método que usa medidas de contraste, mostrando que a imagem foi um pouco menos realçada. A nova proposta alarga mais que a técnica tradicional baseada em medidas de contraste a distribuição dos níveis de cinza no sentido do preto e do branco, e procura manter a forma do histograma da imagem original. Portanto, observa-se que a imagem foi mais realçada que no método anterior. Os últimos histogramas, referentes às Figuras 16, 17 e 18 (f), tiveram um grande alargamento nos dois sentidos dos níveis de cinza. O formato original da distribuição foi muito modificado, porém não tanto quanto no caso da equalização de histogramas. Esta grande modificação mostra que não houve melhoria na qualidade visual, e que distorções, como por exemplo ruído amplificado, estão presentes na imagem processada.

2.6 Conclusão

Neste capítulo foi desenvolvido um algoritmo de realce no domínio da transformada DCT que explicita um grande número de detalhes e melhora a qualidade visual de imagens comprimidas e não comprimidas, contaminadas por ruído aditivo. Isto foi possível através de uma nova distribuição para os coeficientes DCT em cada faixa de freqüências. Os resultados mostraram que a melhoria da qualidade visual foi atingida, sem qualquer percepção significativa de ruído. Adicionalmente foi apresentada uma proposta baseada no princípio de funcionamento do tradicional Alpha-rooting, que não modifica o coeficiente DCT responsável pelo nível DC. Esta estratégia eliminou o efeito da imagem realçada pelo Alpha-rooting parecer mais escura que a não realçada, sem piorar a observação de detalhes. Em particular, foram apresentados resultados para diversas imagens em tons de cinza comprimidas e também sem compressão. Testes experimentais com outras imagens corroboraram estas conclusões.