

Fraudes Digitais - Análise de Pixels

Carlos Alberto Goldani¹, Daniel Weber², Evandro Della Vecchia Pereira^{3,4}
 carlos@goldani.com, dnlweber@gmail.com, evandro-pereira@igp.rs.gov.br

¹Volume Digital - Tecnologia e Segurança da Informação Ltda

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul

³Secretaria de Segurança Pública/RS - Instituto-Geral de Perícias - Seção de Informática Forense

⁴Universidade do Vale dos Sinos – Curso de Segurança da Informação

Resumo - O acesso das pessoas a um notável conjunto de imagens visuais em notícias de jornais, reportagens em revistas, propagandas institucionais e publicações de experimentos científicos é uma das principais características nos dias atuais. Embora historicamente associada à veracidade de informações (“ver para crer”), a credibilidade em registros fotográficos está sendo rapidamente corroída pela evolução de técnicas de manipulação utilizando recursos da tecnologia digital. Os danos causados a pessoas e instituições por imagens alteradas e as possíveis dúvidas sobre a integridade de provas em tribunais oportunizam uma nova especialização na forense digital, a busca por indícios e evidências de fraudes em fotografias digitais.

Palavras Chave - imagens digitais, pixels, manipulação de imagens.

I. Introdução

Alguns fatos históricos marcaram o ano de 1969. Pelé fez o seu milésimo gol, os astronautas da Apollo 11 pousaram na lua, o festival de Woodstock reuniu mais de 500 mil participantes e os pesquisadores George Smith e William Boyle do *Bell Labs*¹ inventaram o CCD². Embora este tenha sido um dos eventos menos noticiados na época, a criação do primeiro dispositivo de carga acoplada marca o início da era da imagem digital. A troca do filme tradicional por sensores eletrônicos oportunizou o desenvolvimento da fotografia digital, que hoje está presente em câmeras comerciais, aparelhos de telefonia celular e equipa o moderno telescópio espacial Hubble.

II. Formação da Imagem Digital

O sensor CCD é o “filme” de uma câmera digital e consiste em um arranjo bidimensional de elementos fotoelétricos que são excitados quando expostos à luz. Como a quantidade de carga é proporcional à intensidade da luz, o padrão elétrico do CCD é uma representação muito aproximada da luminosidade que incide no sensor. O CCD reproduz a intensidade da luz, porém não é sensível a comprimentos de onda que

caracterizam as cores (Figura 1), então para separar os componentes de uma imagem colorida, uma matriz de filtros de cores (CFA)³ é sobreposta ao CCD (Figura 2). Com o CFA, cada elemento do CCD registra uma porção limitada de comprimentos de onda, correspondente às cores básicas RGB: vermelha (*Red*), verde (*Green*) ou azul (*Blue*).

O padrão de cargas elétricas do CCD é transferido para a memória da câmera, onde é representado como um arranjo de elementos da imagem, chamados pixels⁴. Uma câmera de seis megapixels corresponde a um sensor com seis milhões de elementos e uma imagem digital de seis milhões de pixels. Na maioria das câmeras comerciais um número entre zero e 255 é associado a cada pixel, onde zero corresponde à ausência total de carga e 255 a máxima carga registrada no CCD, permitindo a amostragem de 256 valores de intensidade distintos.

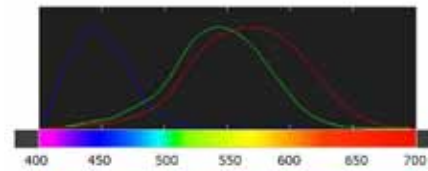


Figura 1. Espectro de Cores (Comprimento de Onda em nm)



Figura 2. Sensores CCD e Filtros CFA

¹ Bell Telephone Laboratories ou Bell Labs, originalmente o braço de pesquisa e de desenvolvimento AT&T dos Estados Unidos, desenvolveu uma série de tecnologias consideradas revolucionárias incluindo transistores, LEDs, lasers, a linguagem de programação C e o sistema operacional Unix..

² Charge Coupled Device, sensor para captação de imagens formado por um circuito integrado contendo uma matriz de capacitores interligados (acoplados).

³ Color Filter Array, matriz de micro janelas (filtros) nas cores básicas do RGB.

⁴ Contração dos termos Elementos da Figura (do inglês, *Picture Elements*).

Em uma imagem colorida de alta resolução cada pixel é representado por três números correspondentes à intensidade das cores RGB. O filtro de cores limita a amostragem de um sensor a uma única cor e inicialmente cada pixel representa exclusivamente intensidades do vermelho, verde ou azul. Para obter uma resolução completa da imagem, a câmera realiza um processo de interpolação com os pixels adjacentes para criar os valores das cores faltantes (Figura 2). A combinação dos três valores é suficiente para reproduzir mais de 16,7 milhões de cores onde, por exemplo, vermelho é representado pelos valores [255,0,0], verde por [0,255,0], azul por [0,0,255], amarelo (vermelho + verde) por [255,255,0], vermelho escuro por [128,0,0], preto por [0,0,0] e branco por [255,255,255].

Os três valores são suficientes para representar milhões de cores porque a câmera digital codifica os comprimentos de onda de um modo muito semelhante à percepção do olho humano. Na retina do olho encontram-se dois tipos de células fotossensíveis, os cones e os bastonetes. A imagem capturada pelos cones é mais nítida e mais rica em detalhes. Existem três tipos de cones: um que se excita com luz vermelha, outro com luz verde e o terceiro com luz azul. Os bastonetes não têm poder de resolução visual tão bom, mas são mais sensíveis em condições de pouca luminosidade. Os filtros CFA são semelhantes aos cones do olho humano que seletivamente absorvem as cores básicas do espectro [03].

III. Formatos de Imagens Digitais

Uma imagem digital em uma câmera ou na memória de um computador pode ser armazenada em vários formatos. O mais básico, RAW⁵, registra os valores dos pixels amostrados pelo CCD antes da interpolação do CFA. Este formato permite o aproveitamento eficiente de memória porque armazena um único número para cada pixel, entretanto requer que um software de edição realize a interpolação CFA para a imagem ficar legível. Os outros formatos são divididos em duas categorias; com perdas ou sem perdas. Formatos sem perdas, como o TIF⁶, PNG⁷ e BMP⁸ armazenam todos os valores RGB das imagens e permitem reproduções de alta qualidade. Em contrapartida, utilizam muito espaço em disco. O formato GIF⁹, com perdas, reduz o tamanho do arquivo limitando o número de cores de uma imagem de 16,7 milhões para umas poucas centenas. O JPEG¹⁰, talvez o formato com perdas mais utilizado, obtém compressão dos arquivos removendo cores e

informações de frequência espacial (detalhes da imagem). Os formatos com perdas reduzem o espaço necessário para armazenar a imagem degradando a sua qualidade [03].

IV. Qualidade da Imagem Digital

Os fabricantes de câmeras normalmente utilizam o número de pixels como indicador de qualidade, entretanto vários outros fatores contribuem para a formação de uma imagem digital, incluindo as lentes, sensor CCD, filtro CFA, algoritmo de interpolação e nível de compressão. Lentes defeituosas podem resultar em aberrações cromáticas (canais de cores desalinhados) ou distorções geométricas (linhas retas como curvas), sensores CCD inadequados aumentam os níveis de ruído e granulação da imagem, filtros CFA e algoritmos de interpolação de baixa qualidade conduzem a perdas significantes de detalhes e cores. Estas degradações podem ser desprezíveis ou percebidas visualmente e podem ser significativas quando a imagem é redimensionada.

Nas câmeras digitais de última geração estes obstáculos estão sendo rapidamente eliminados e os resultados obtidos rivalizam com os das melhores câmeras que usam filmes fotográficos. Câmeras digitais de seis a oito megapixels têm resolução suficiente para permitir a impressão de fotos de 20x25 cm utilizando 300 pontos por polegada (dpi), ou seja, com qualidade igual ou superior às imagens obtidas com filmes tradicionais [03].

V. Processamento da Imagem Digital

Antes da revolução digital era necessário talento e horas em salas escuras para aprimorar ou manipular imagens. Com o advento da imagem digital, estas alterações podem ser realizadas em menor tempo e com maior eficiência em um computador com software apropriado. Algumas manipulações básicas de imagens envolvem o remapeamento sistemático de valores de pixels utilizando uma tabela de busca (LUT¹¹). Este remapeamento é representado graficamente na Figura 3, que mostra como a LUT pode ser utilizada para, entre outras funções, alterar o brilho de uma imagem. O eixo horizontal corresponde ao valor original da intensidade (entre 0 e 255) e o eixo vertical corresponde aos valores remapeados da intensidade (também entre 0 e 255). Deslizando a LUT para baixo, por exemplo, todos os pixels com valores entre zero e 80 são mapeados para zero enquanto os pixels remanescentes são linearmente mapeados para valores entre um e 175 (resultando no escurecimento da imagem).

O processo funcional consiste em utilizar um pixel cujo valor é entre zero e 255, localizar no eixo horizontal, traçar uma linha vertical até a intersecção com a LUT e a partir deste ponto traçar uma linha horizontal até o eixo vertical para amostrar o novo valor do pixel (Figura 3b). O processo repetido para cada pixel resulta em uma mudança uniforme na aparência da imagem.

⁵ Representação exata dos valores amostrados pelo sensor na captura de uma imagem, sem nenhum tratamento.

⁶ Tagged Image File Format, formato de imagens criado originalmente pela Aldus para uso no processo de impressão PostScript. A empresa posteriormente foi absorvida pela Adobe Systems.

⁷ Portable Network Graphics é um formato de imagens criado em 1996 como alternativa aberta ao formato GIF que inclui algoritmos patenteados.

⁸ Windows Bitmap (BMP) é um formato de gráficos por mapa de bits desenvolvido pela Microsoft.

⁹ Graphics Interchange Format é um formato de imagem de mapa de bits desenvolvido para uso na Web para imagens estáticas ou animações.

¹⁰ Joint Photographic Experts Group, método de compressão de imagem desenvolvido em conjunto por grupos de trabalho da ISO/IEC/JTC1 e ITU-U (antigo CCITT).

¹¹ LookUp Table, define uma técnica utilizada para criar novos valores para os pixels de uma imagem.

A Figura 3b também mostra o histograma de intensidade depois do ajuste de brilho. O eixo horizontal corresponde ao valor da intensidade, entre zero e 255, e o eixo vertical indica o número de pixels que tem o valor especificado. O escurecimento de uma imagem corresponde a um deslocamento para a esquerda do histograma, de modo análogo, aumentar o brilho corresponde a um deslocamento para a direita do histograma. Como mostra a Figura 3c o incremento do contraste pode ser obtido aumentando a inclinação da LUT e, conseqüentemente diminuir a inclinação da LUT implica em reduzir o contraste. É importante notar que alterações no brilho ou contraste podem saturar pixels onde uma gama de valores colapsa para zero ou 255. Quando isto acontece, as operações são irreversíveis porque a referência aos valores originais é perdida. A saturação pode ser observada no histograma da Figura 3d onde são amostrados exclusivamente valores: preto (zero) e branco (255).

O contraste da imagem também pode ser aumentado ou reduzido através de uma LUT não linear e a mais comum é chamada de correção *gamma*, onde cada valor de pixel é dividido por 255, elevado ao quadrado e remultiplicado por 255. A correção *gamma* concentra os valores dos pixels nas áreas mais sensíveis ao olho humano. Vários tipos de correção *gamma* são realizados automaticamente por câmeras digitais e em monitores utilizados para visualizar imagens digitais. Diferente das modificações realizadas por brilho e contraste, a correção *gamma* não satura pixels [02].

Por último, a Figura 3d mostra o resultado da quantização da imagem em dois valores (também conhecido como limiar). A LUT correspondente é uma função degrau que colapsa todos os valores de intensidade a zero ou 255. Além das manipulações básicas de intensidade, filtros digitais podem remover ou intensificar informações em uma imagem. Vários pacotes de edição de software executam estas operações LUT e filtragens em conjunto com várias outras manipulações sofisticadas: correção de olhos vermelhos, objetos e pessoas podem ser removidos ou adicionados, várias imagens podem ser compostas para criar um conjunto contínuo, e muitas outras.

VI. Forense Digital

Os danos causados a pessoas e instituições por imagens alteradas e as possíveis dúvidas sobre a integridade de provas em tribunais criaram uma nova especialização na forense, a busca por indícios e evidências de fraudes em fotografias digitais. A marca d'água foi proposta à já algum tempo como um meio pelo qual uma imagem pudesse ser autenticada, porém este processo exige sua implementação nos equipamentos de captura (câmeras e filmadoras). As marcas d'água fornecem informações úteis sobre a história e integridade da imagem, mas devem estar presentes antes de ocorrer algum tipo de adulteração, o que limita sua aplicação a ambientes controlados como jornais e revistas de grande circulação, sistemas militares e câmeras de vigilância. Praticamente a totalidade das fotografias publicadas em jornais e revistas sofre algum processo de transformação (recorte, ajuste de brilho e contraste, etc.) e, nestes casos, a fotografia

original com a marca d'água pode ser usada se houver algum questionamento relativo à sua veracidade.

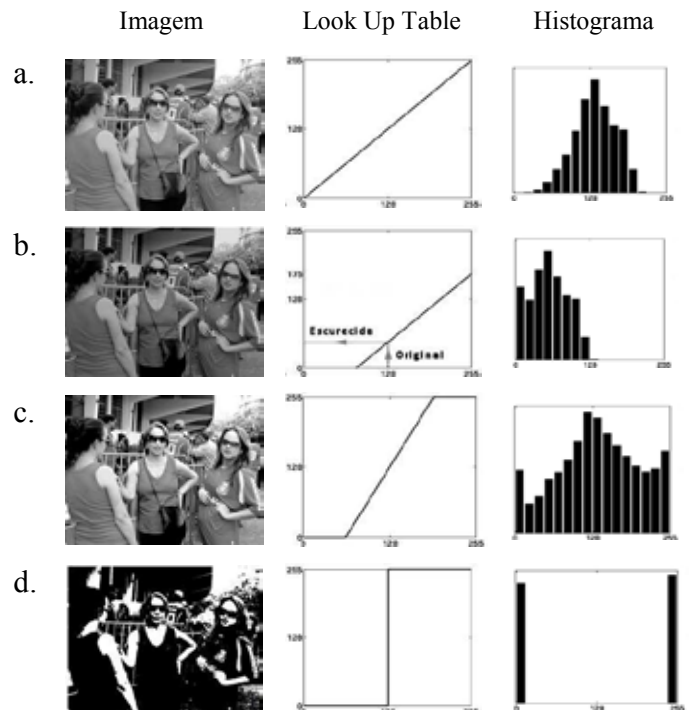


Figura 3: Mostra (a) uma figura original em escala de cinza que foi (b) escurecida, (c) aumentado o contraste e (d) quantizada em dois valores (branco e preto). A segunda coluna mostra a LUT (*LookUp Table*) que especifica a transformação e na terceira coluna os histogramas de intensidade.

Existem técnicas passivas que podem ser aplicadas em análises forenses que operam sem a necessidade de “assinaturas” digitais ou outra dependência de equipamentos de captura. Estas técnicas trabalham com a hipótese que as fraudes podem eventualmente não apresentar sinais visuais que imagens foram alteradas, mas que sempre modificam as características estatísticas do registro digital. O conjunto de características forenses que identifica a manipulação de imagens pode ser agrupado em cinco categorias:

1. Análise de pixels, que detecta anomalias estatísticas introduzidas por componentes básicos da imagem;
2. Formato, que utiliza correlações estatísticas introduzidas por um esquema específico de compressão com perdas;
3. Modelo da câmera, que explorara as características exclusivas produzidas por lentes, sensores e processamento pós-captura;
4. Características físicas, que analisa anomalias em interações tridimensionais entre objetos, luz incidente e a câmera;
5. Geometria dos componentes da imagem, que trabalha com medidas dos objetos e a sua posição relativa à câmera.

VII. Análise de Pixels

O sistema legal de autenticação utiliza com frequência características exclusivas como a identificação por DNA¹², impressões digitais, comparações odontológicas (arcada dentária), entomologia (estado de larvas, presença de insetos) e análises geológicas (composição do solo). Na atividade forense tradicional todos os tipos de evidências físicas são verificados, no ambiente digital a ênfase de análise é o pixel, o elemento básico de formação de uma imagem. Existem quatro técnicas para detectar diferentes tipos de fraudes relacionadas direta ou indiretamente com a análise de correlações de pixels resultantes de uma forma específica de adulteração de imagens.

Clonagem

A clonagem (copiar e colar), onde porções de uma imagem são utilizadas para ocultar uma pessoa ou objeto em uma cena, é uma das formas mais comuns de manipulação e, quando é bem feita, dificulta a sua detecção visual. Como as regiões clonadas podem ser de qualquer tamanho e forma, é praticamente impossível analisar todas as possibilidades por meios computacionais.

As alterações em imagens baseadas em clonagem introduzem uma correlação entre o segmento original copiado e a parte colada, que pode ser utilizada como base para identificar com sucesso este tipo de fraude. Os segmentos para identificação da manipulação podem não ser idênticos porque as imagens são normalmente armazenadas em formatos de compressão com perdas (JPEG) e existe ainda a possibilidade de utilização de ferramentas de retoques. Desta forma, um algoritmo de detecção eficiente deve seguir as seguintes especificações:

1. Permitir a detecção de uma correspondência aproximada de pequenos segmentos imagem;
2. Deve trabalhar com um tempo de processamento razoável, mesmo que o custo seja a introdução de falsos positivos (ou seja, identificar como fraudes áreas originais semelhantes);
3. O componente forjado é uma estrutura lógica e não uma coleção de pequenas manchas ou pixels individuais.

Dois algoritmos foram desenvolvidos para detectar regiões clonadas, um que identifica a coincidência exata de representações digitais de partes da imagem e outro é baseado em padrões de bits semelhantes. Os autores do primeiro aplicam uma função de transformação discreta de cossenos (DCT¹³) em blocos da imagem. [06] As regiões duplicadas são identificadas classificando lexicamente os valores obtidos e

agrupando blocos semelhantes com a mesma orientação espacial. O segundo processo utiliza um componente principal de análise (PCA¹⁴) para representar pequenos blocos de tamanho fixo e reduzir o tamanho da representação da imagem. [01] Assim como no método anterior, as partes clonadas são localizadas pela classificação e agrupamento de valores semelhantes. Ambas as representações, DCT e PCA, são utilizadas para reduzir a complexidade dos processos computacionais e garantir que a detecção da clonagem é eficiente em ambientes onde a imagem está sujeita a pequenas variações em função da adição de ruídos ou perdas por compressão.

Rearranjo

A maioria das câmeras digitais utiliza um sensor único em conjunto com um arranjo de filtros (CFA) e realiza um processo de interpolação para obter uma imagem RGB. Esta interpolação introduz correlações específicas que são descontinuadas quando uma imagem é manipulada. Algoritmos podem quantizar as correlações introduzidas pelo procedimento de interpolação e descrever como a sua descontinuidade pode detectar partes da imagem alteradas. A eficácia deste procedimento permite identificar fraudes em fotografias armazenadas em processos com ou sem perda, interpolados por diferentes algoritmos CFA.

Para criar uma composição convincente, frequentemente é necessário redimensionar, girar, esticar ou estreitar porções de uma imagem. Por exemplo, na Figura 4 a imagem da pessoa que migrou para o topo da pirâmide foi reduzida para criar uma sensação de profundidade e manter a simetria. O processo de redimensionamento da imagem introduz uma correlação periódica entre os pixels vizinhos, que não ocorre naturalmente, e a sua presença pode detectar especificamente esta manipulação.

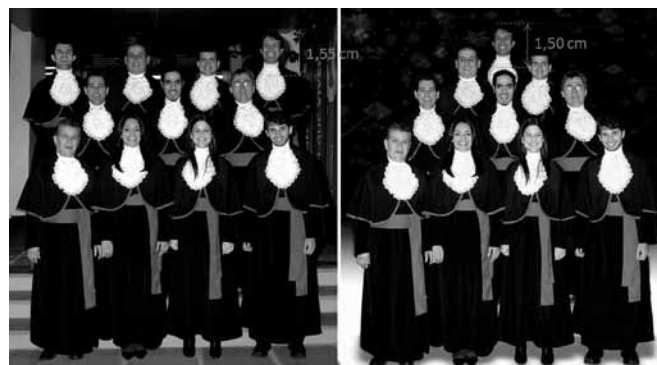


Figura 4: A imagem da direita foi criada a partir da original na esquerda para excluir um dos participantes. Nesta manipulação foram utilizados procedimentos de clonagem (fundo) e rearranjo (a pessoa localizada na direita da fila de cima migrou para o topo) para criar uma imagem simétrica.

¹² Acrônimo de *deoxyribonucleic acid*, termo inglês que define um composto orgânico cujas moléculas contêm as instruções genéticas que coordenam o desenvolvimento e funcionamento de todos os seres vivos. O acrônimo correspondente em português é ADN, de ácido desoxirribonucleico.

¹³ Discrete Cosine Transform expressa uma sequência finita de valores em termos de uma soma de cossenos oscilando em diferentes frequências.

¹⁴ Principal Components Analysis é um método que reduz a dimensão de um conjunto de dados realizando a análise da covariância entre fatores.

O processo de duplicação do tamanho é um exemplo didático da formação de correlações entre pontos de uma imagem manipulada. A interpolação necessária para obter a duplicação é obtida utilizando a função $x(t)$ com tamanho m representando os pixels da imagem original para obter uma função $y(t)$, com tamanho $2m$ (o exemplo utiliza, por simplificação, uma função unidimensional).

Os valores ímpares da função $y(t)$ reproduzem os valores da função original:

$$y(2i-1) = x(i) \text{ para } i=1, \dots, m$$

Os valores pares são a média dos valores dos pixels adjacentes da figura original:

$$y(2i) = 0,5x(i) + 0,5x(i+1)$$

Como cada valor de pixel da figura original pode ser encontrado na imagem redimensionada, os pixels interpolados podem ser expressos unicamente em termos da figura duplicada:

$$y(2i) = 0,5y(2i-1) + 0,5y(2i+1)$$

Ou seja, em toda a figura redimensionada, os valores dos pixels obedecem à mesma combinação linear dos pixels adjacentes e, neste caso simples, caracteriza uma evidência que a imagem foi manipulada. Esta característica não é limitada à duplicação de imagens e cada tipo de rearranjo (redimensionar, esticar, estreitar, alongar, achatar, girar, etc.) insere correlações periódicas semelhantes.

Combinação

Uma forma comum de manipulação de fotografias é a combinação digital de partes de dois ou mais originais em uma única imagem. Quando este trabalho é realizado com cuidado, as bordas entre as regiões combinadas podem ser imperceptíveis visualmente, mas corrompem as relações entre os valores estatísticos da imagem, que podem ser utilizados para detectar a fraude.

Estatísticas

Uma imagem em tons de cinza com pixels representados por **8 bits** e tamanho $n \times n$ pode comportar $256^{n \times n}$ valores diferentes. Considerando-se $n=10$ pixels, existe um número possível de 10^{240} imagens diferentes (mais que o número estimado de átomos para o universo). É extremamente improvável que todo este número absurdo de possibilidades tenha condições de representar imagens com algum significado e isto sugere que fotografias contenham propriedades estatísticas específicas. Trabalhos desenvolvidos pela equipe do Dr. Hany Farid no Dartmouth College [04] e por cientistas da Universidade de Uludag na Turquia [07] exploram regularidades estatísticas (leis estatísticas e probabilidades para a previsão de eventos) de imagens naturais para identificar vários tipos de manipulações.

VIII. Formatos de Imagens

A primeira regra de qualquer trabalho investigativo é preservar a evidência e, de acordo com esta premissa, os esquemas de compressão de imagens com perdas podem ser considerados os piores inimigos de uma análise forense. O irônico, entretanto, é que as propriedades exclusivas de uma compressão com perdas podem ser exploradas para identificar manipulações em imagens digitais.

A maioria das câmeras utiliza o formato JPEG para guardar fotografias porque este esquema de compressão (com perdas) permite alguma flexibilidade em relação à economia de espaço para armazenamento. Os fornecedores configuram seus produtos para obter um balanço entre qualidade e taxas de compressão de acordo com suas especificações ou conveniências comerciais. Estas características podem ser utilizadas pela forense digital para individualizar um fabricante/modelo.

A compressão mais comum do JPEG para uma imagem RGB é realizada de acordo com o seguinte procedimento:

1. A imagem RGB é convertida para o espaço YUV¹⁵ (luminância/crominância);
2. As matrizes de crominância (U e V) são reduzidas na taxa de 2:1;
3. A matriz de luminância não é reduzida porque o olho humano é mais sensível às tonalidades de cinza que às tonalidades das cores;
4. Cada canal é particionado em blocos de 8x8 pixels;
5. Os valores são centrados no valor médio (convertidos de [0, 255] para [-128, 127]);
6. Cada bloco é convertido para o espaço de frequências usando uma DCT bidimensional;
7. Dependendo da frequência, cada coeficiente DCT (c) é reduzido por um fator q (c/q).

A complementação deste processo encerra a primeira fase do JPEG. A compressão final é especificada como uma tabela de quantização de 192 valores – um conjunto de 8x8 associado a cada frequência, para cada um dos três canais (Y, U e V). Para taxas de compressão reduzidas estes valores tendem para 1 e aumentam para taxas mais altas. Com algumas variações, a sequência descrita é utilizada pelos codificadores JPEG de câmeras digitais e softwares de edição de imagens [05]. A primeira fonte de variação destes codificadores é a escolha da tabela de quantização e, desta forma, uma assinatura digital da fonte de origem está associada a cada imagem JPEG. Esta assinatura pode, por exemplo, identificar um software de edição. A tabela de quantização pode ser extraída ou estimada a partir de um arquivo JPEG como descrevem os estudos de Zhigang Fan e Ricardo de Queiroz [10].

Importante notar que as tabelas de quantização podem mudar em função das opções de maior ou menor qualidade e

¹⁵ A luminância (Y) é uma escala de representação numérica do cinza, enquanto a crominância são duas escalas numéricas, U (tonalidade) e V (saturação) que juntas representam as cores. A escala de luminância por convenção utiliza valores entre 16 (preto absoluto) e 235 (branco absoluto) e a escala de crominância contém valores que variam entre 16 e 240;

que equipamentos de fabricantes distintos podem ter tabelas semelhantes. Apesar disto, estas características habilitam um tipo de balística digital onde a fonte de uma imagem pode ser confirmada ou negada.

Dupla Compressão

Uma imagem digital alterada exige que, pelo menos, a original seja carregada por um software, editada e o resultado salvo. Como a maioria das imagens é armazenada em JPEG, é lícito imaginar que tanto o original como o resultado da alteração, estejam neste formato. Ou seja, o arquivo alterado é, na melhor hipótese, comprimido duas vezes. Devido à perda de qualidade da imagem na compressão JPEG, a duplicidade do procedimento introduz características de processo (*artifacts*) específicas, que não estão presentes em imagens comprimidas uma única vez (assumindo que a fotografia não tenha sido recortada ou redimensionada antes da segunda compressão). A presença destas características de processo pode ser utilizada como evidência que a imagem, de alguma forma, foi manipulada. A dupla compressão do JPEG não prova necessariamente que houve uma adulteração maliciosa porque é possível, inadvertidamente, salvar uma imagem depois de visualizar com um software de edição.

A seção anterior descreveu que o coeficiente DCT c é o modo inicial como a compressão é realizada, descrita como:

$$q_a(c) = [c/a],$$

onde a identifica a etapa da quantização (um valor inteiro positivo). O processo inverso (dequantização) retorna os valores quantizados para os seus limites originais:

$$q_a^{-1}(c) = [ac].$$

Como na quantização alguns valores são perdidos¹⁶, o processo não é totalmente reversível e o resultado da dequantização pode ser diferente do original (características do processo).

A dupla quantização resultante da dupla compressão é expressa por:

$$q_{ab}(c) = [[c/b][b/a]]$$

onde a e b são etapas do processo.

A dupla quantização pode ser representada como uma sequência de três etapas:

1. Quantização da etapa b ;
2. Dequantização da etapa b ;
3. Quantização da etapa a .

A dupla quantização duplica as características de processo (*artifacts*) e cria descontinuidades que podem ser reconhecidas por um software de análise de pixels.

Compressão JPEG

A base da compressão JPEG, como foi descrito nas seções anteriores, é realizada com a transformação DCT em blocos de 8x8 pixels. Como cada bloco 8x8 é individualmente transformado e quantizado, as características do processo aparecem nas bordas de blocos adjacentes (Figura 5) na forma de descontinuidades (*edges*) verticais e horizontais. Quando a imagem é manipulada, estas características são perturbadas.

Em função dos resultados de processo (*artifacts*), as diferenças entre valores de pixels tendem a ser menores dentro dos blocos em relação às bordas. Quando uma imagem é recortada e recomprimida, novos blocos de resultados de processo podem ser introduzidos e não estão necessariamente alinhados com as bordas originais [09]. As diferenças de valor entre pixels devido aos resultados do processo aparecem em conjuntos de 4 pixels internos ao bloco 8x8 JPEG ou que sobrepõem-se entre blocos JPEG. Um histograma destas diferenças pode ser computado para todos os blocos 8x8 não sobrepostos e oferecer como resultado uma matriz 8x8 de “resultados de processo” citada na literatura técnica como BAM¹⁷. Em imagens não comprimidas os valores desta matriz são randômicos enquanto para imagens comprimidas existe um padrão específico. Quando uma imagem é recortada e recomprimida este padrão é destruído.

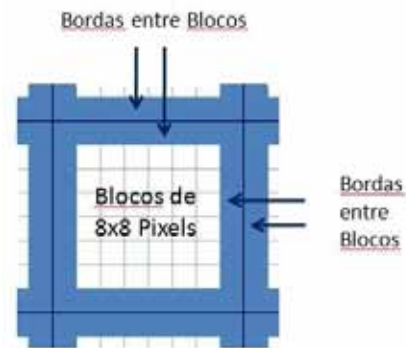


Figura 5: Bordas entre blocos adjacentes onde aparecem as características de processo na compressão JPEG

Em um estudo intitulado “*Detecting digital image forgeries by measuring inconsistencies of blocking artifact*” [08] os autores descrevem como detectar manipulações a partir de inconsistências dos resultados de processo em matrizes BAM. Escolhendo uma região da imagem presumivelmente autêntica, o nível de quantização é inicialmente estimado para cada uma das 64 frequências DCT. Inconsistências entre os coeficientes DCT “D” e a quantização estimada “Q” são computadas por:

$$B = \sum_{k=1}^{64} D(k) - Q(k) \text{ arredondado por } \left(\frac{D(k)}{Q(k)} \right)$$

Variações de B através da imagem são utilizadas para detectar regiões manipuladas.

¹⁶ Na DCT os valores são arredondados para conjuntos de números mais comuns e, no processo inverso, os valores originais podem ser perdidos.

¹⁷ Blocking Artifact Matrix, criada a partir da análise dos resultados de processos (*artifacts*) durante a compressão de uma imagem.

IX. Conclusões

Com a abundância e qualidade da oferta de software gráfico, atualmente a manipulação de imagens digitais é fácil, rápida e difícil de ser detectada. Os casos de fraudes fotográficas estão em escala crescente e, com os recursos existentes, o que aparece (ou não) em uma fotografia é irrelevante. Ver não significa mais crer. Em um ambiente onde todos podem ter uma máquina fotográfica digital e o Photoshop¹⁸ é muito fácil de usar, o desenvolvimento de técnicas eficientes para identificação de fraudes digitais é uma necessidade urgente para o sistema judicial, uma área onde uma fotografia alterada pode incriminar um inocente, libertar um culpado ou simplesmente causar confusão.

As técnicas que permitem a manipulação de fotografias crescem com a mesma intensidade dos esforços para inibir esta prática. Se as técnicas de identificação de fraudes são públicas e têm ampla divulgação, as que facilitam alterações em fotos digitais podem não ser discutidas em fóruns técnicos, artigos publicados ou convenções de pesquisadores. O esforço realizado para identificar manipulações visa aumentar o custo das fraudes em imagens digitais e, conseqüentemente, torná-las inacessíveis para a maioria das pessoas.

Pelos resultados que apresenta, a análise estatística de pixels, que detecta anomalias introduzidas nos componentes básicos das imagens por processos de manipulação de registros digitais, é um dos processos mais promissores para a identificação de fraudes. Toda a manipulação de uma imagem digital cria um padrão específico que pode identificar, de forma inequívoca, que o registro original foi alterado.

Uma imagem modificada por computador, em uma visão realista, tem um padrão estatístico de pixels totalmente diferente das fotografias criadas em uma câmera. A análise criteriosa destes padrões identifica, com alto grau de confiabilidade, se uma foto sofreu alterações ou não.

Referências:

- [01] A.C. Popescu e H. Farid, "Exposing digital forgeries by detecting duplicated image regions", Dept. Comput. Sci., Dartmouth College, Tech. Rep. TR2004-515, 2004.
- [02] CGSD - Gamma Correction Explained
http://www.cgsd.com/papers/gamma_intro.html, 2009.
- [03] Digital Camera Sensors
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials.htm>, 2009.
- [04] H. Farid e S. Lyu, "Higher-order wavelet statistics and their application to digital forensics," em Proc. IEEE Workshop on Statistical Analysis in Computer, 2003.
- [05] ITU-T Recommendations
T.81: Information technology - Digital compression and coding of continuous-tone still images - Requirements and guidelines

- [06] J. Fridrich, D. Soukal e J. Lukás, "Detection of copy move forgery in digital images," em Proc. Digital Forensic Research Workshop, Agosto de 2003.
- [07] S. Bayram, I. Avcibas, B. Sankur, e N. Memon, "Image manipulation detection with binary similarity measures" em Proc. European Signal Processing Conf., Turquia, 2005.
- [08] S. Ye, Q. Sun, and E. C. Chang, "Detecting digital image forgeries by measuring inconsistencies of blocking artifact" em Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia and Expo, Beijing, China, 2007, pp. 12-15.
- [09] W. Luo, Z. Qu, J. Huang, and G. Qiu, "A novel method for detecting cropped and recompressed image block," em Proc. IEEE Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing, Honolulu, HI, 2007, pp. 217-220.
- [10] Z. Fan e R. Queiroz, "Identification of bitmap compression history: JPEG detection and quantizer estimation," IEEE Trans. Image Process., vol. 12, 2003.

Sobre os Autores:

Carlos Alberto Goldani

Formação acadêmica em Engenharia Eletrotécnica (UFRGS) e em Segurança da Informação (Unisinos). Atua como profissional na área de informática a mais de três décadas e nos últimos onze anos especificamente em segurança da informação. Diretor de TI da Volume Digital - Tecnologia e Segurança da Informação Ltda (Porto Alegre, RS). Consultor internacional para a instalação de Autoridades Certificadoras e em procedimentos de segurança baseados Criptografia de Chaves Públicas.

Evandro Della Vecchia Pereira

Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Bacharel em Ciência da Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS. Perito Criminal (área Computação Científica) no Instituto Geral de Perícias - Secretaria de Segurança Pública do Estado do Rio Grande do Sul. Professor de ensino superior na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). Instrutor em cursos de Formação de Delegados e Cursos de Crimes Cibernéticos na Academia de Polícia do Estado do Rio Grande do Sul e Cursos de Formação de Peritos no Instituto Geral de Perícias/RS. Publicações na área de redes de computadores e segurança da informação, incluindo o mini-curso "Forense Computacional: fundamentos, tecnologias e desafios atuais" no SBSeg 2007.

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2539523750445675>

Daniel Weber

Graduado em Segurança da Informação pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Coordenador da Equipe de Software no Projetos em Áudio e Vídeo (PRAV) na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Participação no projeto e desenvolvimento do software para Videoconferência em EAD (Ensino a Distância - UFRGS), análise e adequação do Sistema de IVA de videoconferência para as demandas internas (INMETRO e RNP) e dos testes de codificadores de vídeo H.262 e H.264 no projeto do Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD).

¹⁸ Photoshop é um editor desenvolvido pela Adobe Systems para imagens bidimensionais do tipo "raster" (matrizes de pixels) e inclui algumas capacidades de edição típicas dos editores vetoriais