

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Ciências - Campus Bauru

DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

MÉTODOS DE COMPRESSÃO DE IMAGEM

BAURU

2018

HUGO CICARELLI

MÉTODOS DE COMPRESSÃO DE IMAGEM

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Ciência da Computação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências, Campus Bauru.

Orientador: Prof. Dra. Simone das Graças Domingues Prado

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Ciências

Ciência da Computação

BAURU

2018

Hugo Cicarelli

Métodos de Compressão de Imagem/ Hugo Cicarelli. – Bauru, 2018-
31 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dra. Simone das Graças Domingues Prado

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências
Ciência da Computação, 2018.

1. Image Compression 2. Lossless 3. Lossy 4. Open Source I. Prof. Dra. Simone das Graças Domingues Prado. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". III. Faculdade de Ciências. IV. Métodos Compressão de Imagem

Hugo Cicarelli

Métodos de Compressão de Imagem

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Ciência da Computação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências, Campus Bauru.

Banca Examinadora

**Prof. Dra. Simone das Graças
Domingues Prado**
Orientador

**Profa Dra Andrea Carla Gonçalves
Vianna**

Prof Associado José Remo Ferreira Brega

Bauru 2018

*Agradeço a todos acontecimentos que me trouxeram aonde cheguei e me moldaram na pessoa
que me tornei*

Agradecimentos

Quando penso na palavra agradecimentos, me aparecem vários rostos e nomes na cabeça. Isso de fato não é ao acaso, já que foram 8 anos de Unesp, 4 de TCC e muita torcida para esse momento.

Como é de costume, não poderia deixar de citar primeiro minha família, sem a qual eu não estaria aqui (literalmente). Meus pais sempre sonharam com esse momento e, claro, minha irmã a qual sempre foi meu modelo de vida, sempre me ajudando nas horas de aperto e me apertando nas horas que eu dava uma afroxada. Eternamente grato por esses seres.

Uma pessoa que devo muito também é alguém muito especial pra mim, que tornou o sentimento de lar bem real e a qual não fazia parte da minha vida há uns 2 anos. Provavelmente o maior ganho que Bauru me deu, que vou levar pra vida pois sei que sempre posso contar com ela e ela comigo. Seu nome é Mariana Saiani e com certeza grande parte desse projeto ter sido concluído se deve a ela, que sempre acreditou em mim mesmo quando eu desistia de mim mesmo. Não tenho palavras pra descrever o que ela significa pra mim, muito obrigado, nenezão.

Outros nomes que valem menção são dos meus dois irmão que encontrei nessa cidade. Cainã e Mário Sérgio, vou carregar vocês pra sempre em meu coração. Bem como as mulheres mais especiais que a vida me deu: Bárbara, Laisla, Bia Pistola, vocês são meus mundos. Claro que vale mencionar a belíssima Priscila Beal, que é a alma de todo esse projeto. Obrigado pelas conversas noturnas, das quais surgiu a ideia de criar algo para sanar um problema constante na vida de uma fotógrafa

Válido também lembrar não só de alguém, mas eles formam a extensão da minha casa e merecem ser lembrados. Gaiola, vocês sabem o quanto significam pra mim! Tateana, Mateus, Arthur, vocês são minhas bóias nesse mar que é a vida.

Isabela Gouvêia é um nome razoavelmente novo, mas, como a própria mesma disse, nos conhecemos a tão pouco tempo e parece que já fazem anos. Obrigado pelas companhias durante horas de TCC, apenas existindo do meu lado. E, claro, por me alimentar durante esse período também.

Então é assim que a liberdade morre... com um estrondoso aplauso! - Star Wars

Resumo

Nos últimos anos, o número do uso de mídias digitais aumentou exponencialmente, fazendo com que velocidade de conexão com a Internet e capacidade de armazenamento se tornassem um problema constante. Com isso, a teoria e aplicação de compressão de dados para esses tipos de arquivos se tornou mais significativa. Em Ciência da Computação, compressão de dados se dá ao processo de codificar os dados utilizando uma quantidade menor de bits. Nesse estudo, iremos abordar algumas técnicas de compressão aplicadas a arquivos de imagens e será desenvolvida uma aplicação utilizando um dos métodos estudados.

Palavras-chave: compressão de imagem, compactação, otimização, seo, jpeg, png, huffman.

Abstract

In the last years, the number of digital medias has increased exponetially in such a way that Internet's connection speed and storage capacity become a real problem. With that, the theory and application of data compression for these type of data became more significant. In Computer Science, data compression it's the process of encoding the information using fewer bits. On this study, we will approach some techniques of compression, with emphasis in image files, and will be developed an application using one of the studied techniques.

Keywords: image compression, otimization, seo, lossy, lossless, huffman.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Codificador e Decodificado de Imagens	16
Figura 2 – Primeira etapa de codificação de Huggman.	19
Figura 3 – Amostras utilizadas pela predição JPEG sem perda	22
Figura 4 – Imagem 8x8 pixels	27
Figura 5 – beezu.jpg, dimensão 1280x1280, 240KB	28
Figura 6 – Representação da Árvore de Huffman da Figura 5	29

Lista de tabelas

Tabela 1 – Segunda etapa da codificação de Huggman	20
Tabela 2 – Valores de predição para o método JPEG sem perda	22
Tabela 3 – Valores de intensidade de pixels	27

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problema	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivos Gerais	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1	Métodos de Compressão de Imagem Sem Perda	16
3.1.1	Performance	17
3.1.2	Métodos de Codificação	18
3.1.2.1	Linearização	18
3.1.2.2	Codificação de Huffman	19
3.1.2.3	Codificação por LZW	19
3.1.2.4	Codificação por Código de Tons Corridos (RLE)	20
3.1.3	Métodos de Domínio Espacial	21
3.1.3.1	Compressão de Tamanho de Bloco Variável	21
3.1.3.2	Abordagem residual + Lossy	21
3.1.4	Métodos de Domínio de Frequência	23
3.1.4.1	Transformada S+P	23
3.1.4.2	Transformada de Wavelet	23
4	METODOLOGIA	25
4.1	Métodos e Etapas	25
4.2	Materiais Utilizados	25
4.2.1	Ambiente de desenvolvimento	25
4.2.2	Github	25
4.2.3	Codeigniter	25
4.2.4	TinyPNG	26
5	DESENVOLVIMENTO	27
5.1	Utilizando Métodos <i>LossLess</i>	27
5.1.1	Codificação de Huffman	27
5.1.1.1	Construir a Árvore de Huffman	28
5.1.1.2	Reconstruir a Imagem Utilizando a Árvore de Huffman	29
5.1.1.3	Resultados e Comparações	29

6	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS	31

1 Introdução

Compressão de imagem permite reduzir seu tamanho em disco, buscando a menor perda de qualidade possível. A busca por isso se dá, nos dias de hoje, não somente pelo fator de utilização de espaço em disco, como também para facilitar acesso a navegação de sites e também sua rapidez. Quanto menor for o tamanho de um arquivo de imagem, menos dados serão requisitados, consumindo menores dados de tráfego. Esse último caso é um ponto importante, pois o crescimento de acesso a websites e aplicativos em dispositivos móveis tem crescido bastante nos últimos anos. De acordo com o site Statista.com (<https://www.statista.com/topics/779/mobile-internet/> - acessado em 27/05/2018), em 2018, o tráfego de internet acessado por celulares foi de 51.2% em todo o globo. Tendo isso em mente, ao acessar um site contendo uma imagem em seu tamanho original, pode-se levar um tempo 5 vezes maior do que ao comprimi-la.

O tópico sobre compressão de imagens tem ganhado grande destaque por conta de performance, como também no quesito de armazenamento em disco. Para sanar a necessidade de falta de espaço em disco surgiram novas tecnologias, que é o caso dos Serviços em Nuvem. Esses Serviços permitem que sejam alocados recursos computacionais, cobrando um valor em cima do que se é realmente utilizado. Embora isso sane em parte o problema de armazenamento, ainda se é investido tecnologias e tempo para otimizar arquivos de imagens, pois reflete em um maior número de imagens em um servidor na nuvem pelo mesmo preço.

1.1 Problema

Como comentado, a busca por esse tópico se dá por basicamente dois motivos: acessos mais rápidos à sites na Internet, como também menor utilização de espaço em disco.

Embora que nos dias atuais, HD's apresentam uma capacidade de armazenamento acima dos Terabytes, isso não é suficiente ainda assim. Embora que, de acordo com ?? (??), 1 TB seja equivalente a 782.177 disquetes ou, 1.498 CD's, nos dias atuais, com a grande quantidade de consumo e armazenamento de dados, seria questão de dias até que o espaço fosse totalmente preenchido. A existência de Ambientes na Nuvem, que são sistemas remotos os quais se é possível alocar recursos computacionais a medida que se é necessário, ainda assim é desvantajoso não aproveitar totalmente o potencial de arquivos otimizados, pois se é cobrado pelo valor dos recursos utilizados.

Outro problema abordado é o fato de que arquivos de imagens consomem uma grande parte da banda, ao se carregar um site na Internet. Acessos por celulares nem sempre são feitos através de redes de internet WiFi, sendo muitas das vezes sendo acessados pela rua

através de redes 3G/4G. Isso se torna um problema no consumo de dados, ao fazer requisição para arquivos muito grandes, além da demora para ser mostrada uma imagem, muitas vezes renderizadas em dimensões muito menor que a original.

Existem métodos, os quais iremos abordar, que tratam a otimização buscando sempre a menor perda de qualidade, ou dimensões da imagem. Seu uso irá variar com o que o usuário final busca.

2 Objetivos

2.1 Objetivos Gerais

Têm-se como objetivo final a criação de um aplicativo de Compressão de Imagens, o qual irá oferecer para o usuário o melhor cenário para o que se deseja, seja qualidade da imagem ou redimensionando-a.

2.2 Objetivos Específicos

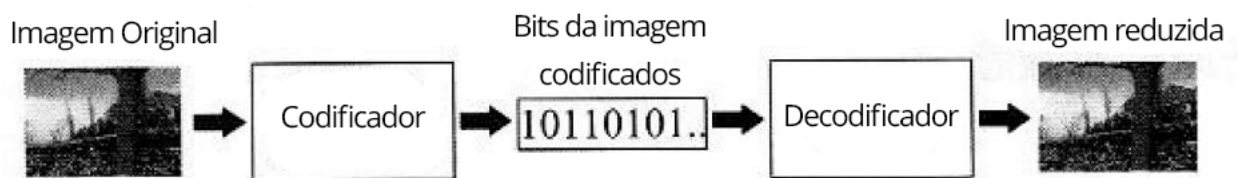
- a) Aprender metodologias de compressão de imagem;
- b) Aprender algoritmos que permitem implementar as metodologias apresentadas;
- c) Melhorar habilidades com a linguagem PHP;

3 Fundamentação Teórica

Em Ciência da Computação, compressão de dados é o processo de codificar as mesmas informações usando um número menor de bits, sem que haja distorção dos dados originais. Em se tratando de compressão de imagens, pode-se alcançar Esse processo é útil, pois reduz o consumo de recursos computacionais, como espaço em disco, ou utilização de banda de internet.

Considere as imagens abaixo.

Figura 1 – Codificador e Decodificado de Imagens



Quando o sistema recebe a imagem original, ele manda para um codificador que converte a imagem original para um fluxo de bits. Um decodificador então recebe esse fluxo de bits e o transforma novamente na imagem. Caso o fluxo de bits final seja menor que o original, chamamos esse processo de Compressão de Imagem.

RAO; PATRICK; YIPK diz que durante a compressão de uma imagem, pode-se ter perda de dados durante o processo. Por essa razão, o decodificador não consegue reconstruir a imagem perfeitamente para seu estado inicial. Esse tipo de compressão é chamado de *Lossy*, e esse processo é irreversível. O processo no qual a imagem pode retornar ao seu estado inicial é chamado de *Lossless*, o qual é possível reduzir o tamanho em disco, sem ter perda de dados durante o processo, sendo esse um processo reversível.

3.1 Métodos de Compressão de Imagem Sem Perda

São os chamados tipos de compressão *Lossless*. Neles, como dito anteriormente, é possível restaurar todos os dados originais da Imagem ao descompacta-la. Esse tipo de compressão é geralmente usado para arquivos de imagem de extensão GIF, formato usado na internet o qual são permitidas animação de imagens e utilização de transparência.

De acordo com VEMURI et al. define que compressão de imagens do tipo *Lossless*, também conhecidas como Compressão de Imagem Sem Perda, podem ser alcançadas através de Métodos de Codificação, Domínio Espacial, Domínio de Frequência, os quais são baseados em Transformadas, são uma combinação desses métodos.

Métodos de codificação são diretamente aplicados a imagens de formato RAW, o qual é o formato mais puro de uma imagem, normalmente sendo gerado a partir de câmeras profissionais. Esse formato acumula todos os dados necessários da imagem, como abertura da câmera, tipo da câmera, ISO utilizada, entre outras informações. O método de codificação trata a imagem como uma sequência de números discretos. Métodos comuns dessa incluem aritmética, Huffman, Lempel-Ziv Welch e Run-Length.

Métodos de domínio espacial são uma combinação de algoritmos de domínio espacial e métodos de codificação. Eles não somente operam diretamente nos tons de cinza, que são tons atribuídos a um pixel sendo 0 equivalente a branco e 100 equivalente a preto, como também tentam eliminar a redundância espacial. Essa redundância consiste na semelhança de pixels adjacentes de uma imagem. Suponhamos o seguinte exemplo: uma imagem de um avião passando no céu sem nuvens, na qual a informação relevante a ser transmitida é o avião, e o fundo é a parte da imagem azul cujo conteúdo da imagem é praticamente uniforme.

Na compressão de domínios de frequência, a imagem é representada usando uma base apropriada, com o objetivo de se obter um coeficiente de matriz pequeno. Transformada do Cosseno Discreto (DCT) e Transformada Wavelet são exemplos de compressão de domínio de frequência.

3.1.1 Performance

Performance em algoritmos do tipo *Lossless* pode ser especificados em termos de complexidade e eficiência.

A complexidade de um algoritmo de compressão de imagem é medida pelo número de operações aritméticas necessárias para realizar ambos processos de codificação e decodificação. Esse é um fator importante para aplicações que envolvem compressão online, onde a velocidade é crucial.

Eficiência de compressão é medida pela proporção de compressão ou pela taxa de bits. Proporção de compressão é o número de bits por pixel de uma imagem comprimida. Por exemplo, se uma imagem de dimensões 256x256 de 8 bits por pixel, é necessários $256 * 256 * 8 \text{ bits} = 65.536 \text{ bytes}$ quando armazenada em sua forma original. Se a imagem otimizada possuir 32.768 bytes, então a proporção de compressão será $65536 / 32768 = 2$. Como a imagem possui dimensão de $256 \times 256 = 65.536 \text{ pixels}$, o arquivo comprimido precisa de $32768 * 8 / 65536 = 4 \text{ bits}$, o qual será a taxa de bits necessária. A proporção de compressão portanto está associada a taxa de bits necessária. Sendo CR a proporção de compressão, BR a taxa de bits e v o número de bits por pixel de uma imagem não otimizada, temos a seguinte fórmula:

$$CR = b/BR$$

3.1.2 Métodos de Codificação

Nessa seção, serão abordados alguns algoritmos de codificação, bem como a explicação do método.

Para casos de codificação na qual uma imagem em duas dimensões será comprimida, existe a necessidade de convertê-la para uma sequência de uma dimensão. Para esse processo, chamamos de Linearização.

3.1.2.1 Linearização

A linearização não afeta a frequência da codificação, sendo esse método aplicado para alguns casos. Como Huffman depende somente da frequência dos diferentes tons de cinza, o método não é afetado pela linearização. Agora métodos como Liv-Zempel dependem da ordem dos tons de cinza, sendo então afetados por métodos de linearização.

Imagens possuem o que é chamado de redundância local, o que causa uma certa região da imagem a exibir uma coerência ou correlação, resultando em uma suavidade entre os pixels. Alguns métodos de linearização são mais efetivos que outros em se tratando de preservar essa região e, por isso, são esperados terem melhor desempenho quando combinadas com métodos de codificação que se utilizam dessas regiões de redundância.

Abaixo está uma lista dos métodos de linearização mais utilizados, segundo VEMURI et al.:

- a) Verificação orientada por linha (*Row-Major Scan*): a imagem é verificada linha por linha, sentido cima-esquerda para baixo-direita;
- b) Verificação orientada por coluna (*Column-Major Scan*): a imagem é verificada coluna por coluna, com sentido cima-esquerda para baixo-direita;
- c) Verificação orientada por diagonal (*Diagonal Scan*): a imagem é verificada em diagonais, começando do canto inferior esquerdo para o canto superior direito;
- d) Verificação em formato de cobra (*Snake-like row-major Scan*): é uma variação da verificação orientada por linhas e orientada por colunas. Nela, ao chegar no final de uma linha, segue para a linha de baixo continuando na mesma coluna;
- e) Verificação em espiral (*Spiral Scan*): nesse método,;
- f) Verificação de Peano-Hilbert (*Peano-Hilbert Scan*): essa verificação requer que a imagem seja

$$2^k * 2^k$$

. Quando k é ímpar, o caminho percorrido começa no pixel mais a esquerda da primeira linha e termina no pixel mais a esquerda da última linha. Quando k é par, o caminho começa no pixel mais a esquerda da primeira linha e termina no pixel mais a direita da última linha.;

Segundo o autor, embora que nenhum método de linearização forneça a melhor compressão, a verificação de Peano-Hilbert geralmente traz o melhor resultado.

3.1.2.2 Codificação de Huffman

Nesse método, a redundância de codificação é eliminada com base numa codificação que produz um código de tamanho variável, atribuindo os códigos de tamanhos menores aos níveis de cinza mais prováveis de ocorrer.

Esse método possui duas etapas:

- a) Cria-se uma série de reduções dos símbolos através da junção dos dois de menores probabilidades a cada iteração.
- b) Codificam-se todos os símbolos que foram reduzidos, começando com o de maior probabilidade que será associado ao menor código e voltando para os originais.

?? dá o seguinte exemplo: imagem de tamanho 10x10 e 6 tons de cinza (a1, a2, a3, a4, a5, a6), tendo as seguintes probabilidades de ocorrência: 5/8 de a1, 3/32 de a2 e a3, 1/32 de a6 e a4, e 1/8 de a5.

Figura 2 – Primeira etapa de codificação de Huffman.

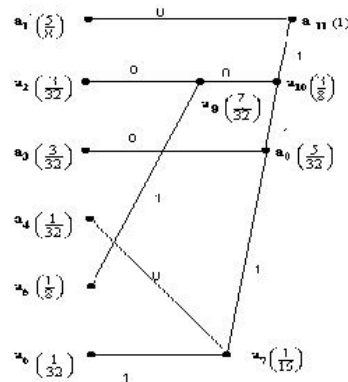


Tabela referente a segunda etapa da codificação de Huffman para as probabilidades das palavras mostradas na figura anterior.

Para transmitir essa informação, obtem-se uma taxa média de bits/informação seguindo a seguinte fórmula:

$$(5/8) * 1 + (3/32) * 3 + (3/32) * 3 + (4/32) * 3 + (1/32) * 4 + (1/32) * 4 = 1,813$$

3.1.2.3 Codificação por LZW

Lempel, Ziv e Welch propuseram um método de codificação adaptável que não requer que todos que irão ser comprimidos, estejam disponíveis desde o começo. Essa técnica gera

Tabela 1 – Segunda etapa da codificação de Huggman

Informação	Probabilidade	Código
a1	$5/8 = 20/32$	0
a10	$3/8 = 12/32$	1
a9	$7/32$	10
a8	$5/32$	11
a5	$1/8 = 4/32$	101
a2	$3/32$	100
a3	$3/32$	110
a7	$2/32$	111
a4	$1/32$	1110
a6	$1/32$	1111

o código conforme o vai examinando, do começo ao fim. Na codificação por Huffman, um código de tamanho variável é construído para cada símbolo no código fonte. Na codificação Lampel-zev, códigos de tamanho fixo são construídos a medida que o processo vai rodando, para cada sequência de símbolos de tamanho variável.

Suponhamos que os símbolos que ocorrem em um código seja a , b , e c , e que a cadeia de caracteres *ababcabc* está para ser comprimida. Primeiro, iniciamos o dicionário para essa tradução no qual apenas um símbolo seja possível. Como o código do dicionário é dado pela posição, a seria 0, b seria 1 e c seria 2. Ao ler a cadeia de caracteres *ababcabc*, temos o primeiro sendo a . Seu código 0 seria parte do arquivo comprimido em conjunto com o prefixo e a próxima entrada. Nesse caso, seria ab e o código seria 3. A parte que restou para compressão agora seria *babcabc*. Novamente pegamos a cadeia de maior prefix que sobrou, sendo b nesse caso. Seu código é 1, somando com o próximo prefixo que é a , temos o código 4. Como agora temos no dicionário os caracteres a e b , a próxima sequência que pegaremos da cadeia restante, *ababcabc* será ab . O código dela é 3, somando com o código do próximo caracter c , temos o valor 5. Como próxima sequência encontrada é c , com código 2 e temos ca entrando no dicionário. A cadeia restante então é *abc*, a qual está no dicionário, com valor 5. Com isso, foi possível chegar na codificação da cadeia *ababcabc*, a qual é 01325.

O método de compressão gzip, utilizado por sistemas Unix, utiliza uma combinação dos métodos de Huffman e LZW.

3.1.2.4 Codificação por Código de Tons Corridos (RLE)

Nesse método, o código fonte é dividido em segmentos de símbolos idênticos. Cada segmento é separado por um símbolo e o número de ocorrências.

Para elucidar, suponha a cadeia *aaaabaaabb*. Ela é codificada como $(a, 4)$, $(b, 1)$, $(a, 3)$, $(b, 3)$. Esse método de codificação funciona bem para cadeias que possuem segmentos grandes, como imagens com fundos uniformes, porém esse método não é tão eficaz quando as

cadeias possuem muitos segmentos curtos

3.1.3 Métodos de Domínio Espacial

HANSAN et al. diz que os algoritmos de domínio espacial envolvem métodos para reduzir o número de bits que representam a informação contida na imagem operando diretamente em seu formato mais cru, o qual contém maior número de informações. Tais métodos geralmente envolvem duas etapas. O primeiro estágio envolve o uso de técnicas como segmentação de imagem, amostras e interpolarização. Essa etapa é seguida por uma aproveitada eficientemente as codificações produzidas pela primeira etapa.

Na primeira etapa, técnicas de segmentação de imagem incluem métodos de partição da imagem em formatos regulares, tais como retângulos, os quais ocupam menor armazenamento para codificar o formato devido a simplicidade, mas também podem assumir formatos irregulares, sendo esses últimos possuem um maior armazenamento devido a complexidade dos formatos resultantes do algoritmo de segmentação. Formatos mais simples necessitam de poucos bits para codificar a forma, mas possuem a restrição na representação, tendo um maior número de formas mais simples para representar a imagem total.

Muitos algoritmos dessa técnica são usadas nos métodos de compressão *Lossy*.

3.1.3.1 Compressão de Tamanho de Bloco Variável

RANGANATHAN; S.G.; NAMUDURI desenvolveu um algoritmo de compressão de imagens sem perda o qual explora redundâncias locais e globais da imagem. O algoritmo separa a imagem em blocos de tamanho variável e os codifica baseado nas propriedades que os pixels exibem no conjunto de cada bloco. Essa codificação é alcançada através do método de codificação por tons corridos (RLE) quando todos os pixels contidos no mesmo bloco possuem a mesma variação de tons de cinza, explorando assim a redundância local da imagem. Esse algoritmo explora a redundância global ao verificar se na região presente, existem blocos idênticos na região vizinha.

3.1.3.2 Abordagem residual + *Lossy*

O conceito desse método se dá de maneira que uma imagem já comprimida por métodos *Lossy*, de maneira que a imagem em si não seria possível ser reconstruída com todos os dados originais, é enviada seguida de resíduos da imagem original. Desse modo, é possível reconstruí-la ao seu estado original.

Uma maneira de transmitir dados do tipo *Lossy* é através do resultado final de um algoritmo *Lossy*. Os resíduos da imagem original podem ser obtidos através de linearização, ou mesmo através de uma sequência de métodos efetivos de compressão, como Huffman

Tabela 2 – Valores de predição para o método JPEG sem perda

Valor selecionado	Equação de predição
0	sem predição
1	$P_x = a$
2	$P_x = b$
3	$P_x = c$
4	$P_x = a + b - c$
5	$P_x = a + (b - c)/2$
6	$P_x = b + (a - c)/2$
7	$P_x = (a + b)/2$

citado anteriormente. Esse resíduo é basicamente a diferença da imagem original e a imagem reconstruída a partir da imagem comprimida.

A vantagem desse método é que utiliza de métodos *Lossy*, os quais possibilitam uma taxa alta de compressão.

Um exemplo desse método seria o conceito da compressão JPEG. Embora JPEG seja um tipo de compressão com perda, seu conceito foi capaz de basear algoritmos *Lossless*. O conceito especifica dois métodos de codificação para operações *lossless*:

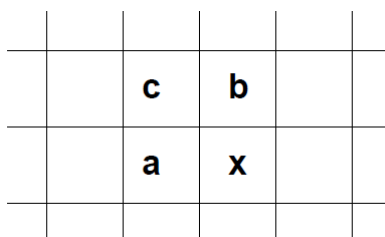
- a) Método de codificação de Huffman
- b) Método com codificação aritmética

Essa abordagem JPEG utiliza de técnicas de código preditivo e é totalmente independente de codificação utilizando transformadas, sendo que aplica codificação diferencial de forma a gerar os resíduos, sendo então codificados usando ou a técnica de Huffman ou codificação aritmética. Os resíduos são formado utilizando pixels previamente codificados na coluna atual ou então na coluna anterior. O residual x de um pixel é definido como sendo

$$R = P_x - x$$

onde P_x é o valor previsto e pode ser qualquer valor definido na Tabela 2, onde os valores a , b e c são pixels vizinhos ao pixel que está sendo analisado, como mostra Figura 3.

Figura 3 – Amostras utilizadas pela predição JPEG sem perda



3.1.4 Métodos de Domínio de Frequência

Métodos desse tipo apresentam algoritmos de transformadas que exploram as informações da frequência espacial contidas na imagem. Para compactação do tipo *lossless*, o tipo mais popular de métodos com base em transformadas é o de transformadas sequenciais. Embora esse método seja eficiente, KUDUVALLI; RANGAYYAN mostram que esse método não é tão eficiente quanto o método de codificação por predição.

3.1.4.1 Transformada S+P

Esse tipo de transformada foi desenvolvida para sanar o ponto fraco da transformada sequencial, onde *P* é a sigla para predição. Esse tipo de transformada requer apenas adição de inteiros e operações de deslocamento de bit. Por usar escalas e truncamentos, é possível representar a imagem mantendo o número de bits baixo.

3.1.4.2 Transformada de Wavelet

Esse tipo de transformada geralmente é usada para técnicas do tipo *lossy*, porém pode ser utilizada para técnicas *lossless*. Uma maneira de calcular uma transformada de Wavelet é através de uma reescrita da transformada sequencial usando o método de levantamento.

Nesse método, são reescritas as equações da transformada sequencial da seguinte forma:

$$d[n] = c[2n + 1] - c[2n]$$

$$l[n] = c[2n] + (d[n]/2)$$

Essas equações são idênticas à transformada sequencial pois:

$$c[2n] + (d[n]/2) = c[2n] + (c[2n + 1]/2 - c[2n]/2)$$

A transformada inversa pode ser escrita como

$$c[2n] = l[n] - (d[n]/2)$$

$$c[2n + 1] = d[n] + c[2n]$$

Após algumas manipulações algébricas é possível verificar que é semelhante a transformada sequencial inversa.

Em geral, o conceito de levantamento de uma transformada consiste em separar uma sequência de entrada em amostras indexadas pares e ímpares seguida por uma repetição alternada da aplicação de levantamento e passos de levantamento duplo. Os passos de levantamento envolvem aplicar um filtro para as amostras ímpares e subtraindo o resultado das amostras

pares. O passo de levantamento duplo realiza o oposto, aplicando um filtro para as amostras pares e subtraindo o resultado das amostras ímpares.

A implementação da técnica de levantamente em transformadas Wavelet tem inúmeras vantagens se comparadas a transformada de Wavelet tradicional, sendo uma delas a de consumir menos recursos.

4 Metodologia

4.1 Métodos e Etapas

Para o desenvolvimento do projeto foi realizado o levantamento de tecnologias atualmente existentes que pudessem proporcionar o desenvolvimento da ferramenta. Por ter se planejado em ser uma aplicação Web, foi levado em consideração tecnologias para tal.

Com as tecnologias definidas, reuniu-se uma base teórica referentes à compressão de imagens, buscando ver novos métodos e quais seriam aplicados no desenvolvimento, bem como diferenciando diversos métodos já existentes com seus pontos positivos e negativos.

A última etapa do processo foi a de desenvolvimento da aplicação.

4.2 Materiais Utilizados

4.2.1 Ambiente de desenvolvimento

Para desenvolvimento do projeto foi utilizado o Sistema Operacional Windows 10, tendo em vista que o Servidor o qual a aplicação seria hospedada seria um ambiente Linux, distribuição Ubuntu.

4.2.2 Github

O Github é ao mesmo tempo um servidor de armazenamento de código e uma rede social onde pode-se submeter modificações, fazer cópias e acompanhar modificações de códigos de outras pessoas. A rede foi essencial para o desenvolvimento deste projeto por armazenar vários sub-módulos e disponibilizar código-fonte para consulta.

4.2.3 Codeigniter

Codeigniter é um framework MVC para a linguagem PHP. Frameworks facilitam o desenvolvimento pois garantem uma aplicação estruturada, preparada para fácil manutenção e atualização. Além disso, são mais rápidos pois permite que códigos e bibliotecas sejam reaproveitadas, de modo que o programador foca apenas no desenvolvimento do módulo pretendido.

Um framework MVC possui a estrutura Model-View-Controller, na qual o *Controller* realiza as funções principais e fica encarregado dos dados que são mostrados na *View* e os dados que são salvos no Banco de Dados através do *Model*.

4.2.4 TinyPNG

TinyPNG é um aplicativo online semelhante à proposta desse projeto. Nele, é possível otimizar imagens de graça, com limite de 500 imagens/mês em uma conta gratuita. Esse aplicativo online foi utilizado para comparar o resultado da aplicação final.

5 Desenvolvimento

5.1 Utilizando Métodos *Lossless*

Para o método sem perda escolhido foi a Codificação de Huffman, por ser uma técnica simples e fácil de aplicar. A técnica, como descrita no Capítulo 2, se baseia em remover a redundância de bits ao analisar diferentes características ou especificações.

5.1.1 Codificação de Huffman

O primeiro passo nessa técnica é de reduzir a imagem original em um histograma ordenado, onde a probabilidade de ocorrência de um certo valor de intensidade de um pixel é igual a

$$PP = NP/T$$

onde PP é a probabilidade de ocorrência, NP é o número de pixels de mesma intensidade e T o número total de pixels contidos na imagem original.

Histograma é a representação gráfica em colunas ou em barras de um conjunto de dados previamente tabulado e dividido em classes uniformes ou não uniformes.

Dada a seguinte imagem:

Figura 4 – Imagem 8x8 pixels



Ao se fazer seu histograma, temos:

Tabela 3 – Valores de intensidade de pixels

128	75	72	105	149	169	127	100
122	84	83	84	146	138	142	139
118	98	89	94	136	96	143	188
122	106	79	115	148	102	127	167
127	115	106	94	115	124	103	155
125	115	130	140	170	174	115	136
127	110	122	163	175	140	119	87
146	114	127	140	131	142	153	93

A imagem contém 46 valores de intensidade distintos, portanto terá 46 símbolos únicos no dicionário de Huffman.

O método de Huffman pode ser separado da seguinte forma:

- a) Construir a Árvore de Huffman
- b) Voltar todo o processo até que chegue ao nó inicial, atribuindo 0 ou 1 para cada nó intermediário, até que chegue ao nó da base.

5.1.1.1 Construir a Árvore de Huffman

A figura 5 foi utilizada para testes durante o desenvolvimento.

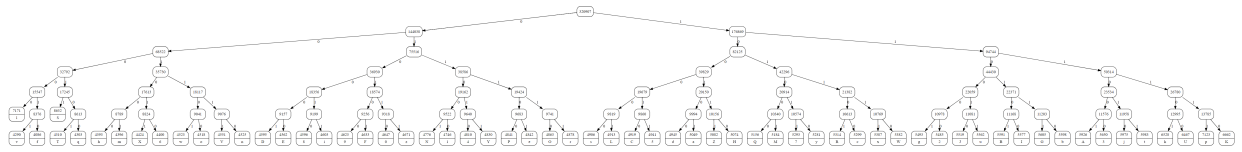
Figura 5 – beezu.jpg, dimensão 1280x1280, 240KB



Para isso, precisamos primeiramente transformar a cadeia de caracteres da imagem em um vetor de caracteres. Tendo cada caracter num vetor, é feita uma contagem da frequência de cada caracter.

A partir disso é possível construir uma Árvore de Huffman. Isso é feito ao percorrer o *array* de frequências, inserindo cada caracter como um nó na Árvore de Huffman partindo pelos dois símbolos de menor frequência, que então são somados em símbolos auxiliares, sendo estes símbolos realocados no conjunto de símbolos. Tendo contruído a Árvore, percorremos ela, atribuindo valores binários para cada aresta.

Figura 6 – Representação da Árvore de Huffman da Figura 5



5.1.1.2 Reconstruir a Imagem Utilizando a Árvore de Huffman

Começando do nó inicial, atribuímos a 0 para a esquerda e 1 para os nós da direita. Como estamos adicionando os nós recém formados ao *array* de frequência

5.1.1.3 Resultados e Comparações

Pelos testes realizados, já foi possível notar uma diferença no tamanho da cadeia de caracteres gerada pela imagem. A imagem original, sua cadeia de caracteres possui um tamanho de 328864, enquanto que sua versão otimizada 197636.

6 Conclusão

Tendo-se em mente os métodos estudados de compressão sem perda, o método de Huffman foi escolhido por ter sua aplicação simples e fácil, e um ponto importante foi a falta de patente, tornando a utilização desse método em aplicações comerciais sem nenhum custo.

A partir do desenvolvimento e dos testes, foi possível ver que o método de Huffman é um método de fácil aplicação, porém ele por si só não é ótimo, visto que a mesma imagem utilizada otimizada pela ferramenta online TinyPNG, obteve melhor resultado na compressão. Como apontado durante a fase de pesquisa, é possível combinar esse método em questão com outros, buscando obter resultados melhores. Além de que, utilizando este método, o foco era testar metodologias *lossless*, as quais não sofrem perda de bits, podendo retornar para seu estado inicial.

Embora o algoritmo desse método seja ótimo para codificação símbolo a símbolo com uma distribuição de probabilidade conhecida, quando este caso não ocorre, não se torna tão vantajoso assim. Esse método pode ser utilizado em conjunto com outros, para garantir um melhor desempenho. Ferramentas de compactação, como o GZIP, se utilizam disso para realizar as compressões em sistemas Linux.

Durante o desenvolvimento, foram encontradas dificuldades durante o processo, principalmente para retornar ao estado de uma imagem, decodificando os resultados da Árvore de Huffman.

Atualmente, a busca por maior compressão de itens estáticos, como imagens, tem aumentado e muito. Com esse fator, o número de ferramentas disponíveis para tal tem aumentado também, porém a taxa de compressão é variada, sempre tendo uma busca pelo que melhor se adapta ao desejado. Ferramentas como TinyPNG, utilizada durante a fase de testes e comparação, ou Cloudinary, aplicação online a qual permite hospedagem de imagens e arquivos estáticos bem como sua otimização tanto na qualidade, como também usando métodos de recorte o qual também diminui seu espaço em disco, são amplamente usadas no dia a dia, tanto de aplicações mais gerais, como também de sites e blogs pela internet.

Referências

HANSAN, M. et al. *Spatial Domain Lossless Image Compression Technique by Reducing Overhead Bits and Run Length Coding*. [S.l.]: International Journal of Computer Science and Information Technologies, 2012. ISBN 09759646. Citado na página 21.

KUDUVALLI, G.; RANGAYYAN, R. Performance analysis of reversible image compression techniques for high-resolution digital teleradiology. In: *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*. Ano 5. [s.n.]. p. 34 – 43. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123736246500059>>. Citado na página 23.

RANGANATHAN, N.; S.G., R.; NAMUDURI, K. A lossless image compression algorithm using variable block size segmentation. In: *IEEE Transactions on Medical Imaging*. Vol 11. [s.n.], 1992. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/158947/authors#authors>>. Citado na página 21.

RAO, V.; PATRICK, C.; YIPK, R. Capítulo 3 - processos de compressão. In: *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*. Ano 5. [s.n.]. p. 34 – 43. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123736246500059>>. Citado na página 16.

VEMURI, B. C. et al. *Lossless Image Compression*. <https://www.researchgate.net/profile/Sartaj_Sahni/publication/2555508_Lossless_Image_Compression/links/54340d4a0cf2bf1f27b3d4.pdf>. [Acessado em 18 de Agosto de 2018]. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 18.