UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos

Departamento de Ciências da Computação e Estatística

Um Sistema de Compressão de Imagens Digitais

Carlos Fernando Assis Paniago

Orientadora: Prof. Dra. Agma Juci Machado Traina

Dissertação apresentada ao ICMSC-USP como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em "Ciências da Computação e Matemática Computacional".

São Carlos - Março de 1994

RESUMO

Este trabalho apresenta técnicas de compressão de dados com ênfase para aplicações em sensoriamento remoto e medicina. Baseados em tais técnicas desenvolveu-se um sistema modular de compressão de imagens com a preocupação de que pudesse ser executado em múltiplas plataformas computacionais.

ABSTRACT

This work presents data compression techniques for remote sensing and medical applications. Using these techniques a modular compression system was developed for these kinds of images. This system was conceived to run in several different machines.

À memória de Terry Welch.

Dedicatória:

À Vera Lucia Ferracini, minha esposa, Felipe e Carla, meus
filhos.

Agradecimentos

À professora Dra. Agma Juci Machado Traina pela excelente orientação, apoio e paciência no desenvolver desse trabalho.

Aos professores e funcionários do ICMSC, pelo apoio e amizade.

À EMBRAPA pelo apoio total concedido.

Ao Pessoal da EMBRAPA, pela amizade, e apoio em todos os momentos.

Aos colegas do ICMSC, pela paciência e apoio.

À minha família (Vera, Felipe e Carla) pelo apoio e compreensão.

Índice

Índice.....	i
1 - Introdução.....	1
1.1 - Considerações Iniciais.....	1
1.2 - Motivação.....	3
1.2 - Apresentação do Trabalho.....	7
2 - Métodos de Compressão de Dados.....	9
2.1 - Codificação de Shannon-Fano.....	12
2.2 - Codificação de Huffman.....	16
2.3 - Codificação Aritmética.....	20
2.4 - Codificação Usando Dicionários.....	23
2.5 - Codificação LZ77.....	24
2.6 - Codificação LZ78.....	27
2.7 - Joint Photographic Experts Group - JPEG.....	30
2.8 - QuadTrees.....	33
2.9 - Outros Métodos.....	35
2.10 - Comparação Entre Sistemas de Compressão de Dados Existentes.....	36
2.11 - Conclusões.....	39
3 - O Sistema Desenvolvido.....	40
④ 3.1 - O problema do Formato de Imagem.....	40
3.2 - O Sistema de Compressão de Imagens.....	44
3.3 - Compressão de Huffman.....	45

3.4 - Compressão de Truncagem de Bloco - BTC.....	46
3.5 - Compressão Usando DCT.....	49
3.6 - Conclusão.....	56
4 - Conclusões e Linhas de Futuras Pesquisas.....	57
4.1 - Conclusões Gerais.....	57
4.2 - Linhas de Futuras Pesquisas.....	63
5 - Bibliografia.....	65
Apêndice A.....	70
Apêndice B.....	72
Apêndice C.....	74
Apêndice D.....	94
Apêndice E.....	100
Apêndice F.....	107
Apêndice G.....	115

Capítulo 1

1 - Introdução

1.1 - Considerações Iniciais

Este trabalho apresenta as técnicas de compactação de dados, principalmente as voltadas à compressão de imagens de satélites (sensoriamento remoto), com aplicações para a agricultura; e também para imagens médicas, com ênfase em imagens tomográficas obtidas a partir do tomógrafo que utiliza a técnica de Ressonância Magnética (RM) desenvolvido no Instituto de Física e Química de São Carlos - IFQSC [PAN_85]. A partir de tais técnicas define-se um sistema de compactação de dados, direcionando-o a imagens de sensoriamento remoto e imagens médicas.

O sistema desenvolvido leva em conta o tipo dos dados a serem comprimidos (imagens digitais), bem como considerações de portabilidade, dada a característica de que um sistema de compactação aplicado tanto a dados de sensoriamento remoto quanto imagens médicas, deve adequar-se a várias plataformas computacionais. Originalmente o sistema foi desenvolvido num computador IBM PC - clone 486DX usando o Sistema Operacional FreeBSD 0.1 (um sistema compatível com Unix BSD 4.3 da universidade de Berkeley), e foi portado para equipamentos

SUN, com sistema SUNOS 4.1.1, sendo totalmente implementado na linguagem de programação 'C'.

Matematicamente uma imagem digital pode ser definida como uma função bidimensional $A(x,y)$ definida em uma certa região do plano:

$$A:[0,r] \times [0,s] \rightarrow [0,t]$$

Assim a imagem é definida num retângulo $[0,r] \times [0,s]$, e os valores tomados estão contidos no intervalo $[0,t]$. Ao valor $A(x,y)$ no ponto (x,y) dá-se o nome de Nível de cinza [TRA_92].

Imagem do tomógrafo do IFQSC

c81t5.pgm - 256 * 256

1.2 - Motivação

A necessidade de compactar dados deve-se principalmente a dois fatores:

1) Imagens digitais são geralmente representadas por uma grande quantidade de dados. A quantidade de espaço requerido para a armazenagem dessas imagens deve ser minimizado, diminuindo o custo de armazenamento, e permitindo o uso desse meio para acomodar mais imagens. Exemplificando: um exame com 9 planos de imagens tomográficas obtidas no tomógrafo do IFQSC, gera 9 imagens de 256 linhas por 256 colunas com um byte por pixel, o que perfaz 64 Kbytes por imagem e 576 Kbytes por conjunto. Uma banda de imagem de satélite é recortado em 1024 linhas por 1024 colunas por um byte por pixel o que resulta em 1 Mbyte de espaço de armazenamento. É importante notar que estas imagens se repetem ao longo do tempo. Um satélite tem várias bandas e passa várias vezes sobre o mesmo lugar, assim como as imagens tomográficas podem ser repetidas ao longo de dias ou semanas gerando grande quantidade de dados.

2) Muitas vezes, os sistemas que efetuam a coleta dos dados, que serão apresentados como imagens digitais, precisam enviá-las para sistemas que efetuarão sua apresentação. Porém estes últimos sistemas freqüentemente encontram-se em máquinas

distintas das que efetuaram a aquisição. Então surge a necessidade de transferência desses dados usando linhas de comunicação entre equipamentos. Para esta comunicação, quanto menor, ou mais concentrados forem estes dados mais rápida será a transferência, o que aumentaria a performance e também diminuiria os custos.

Hoje existem dois tipos básicos de compactação de informações:

1) compactação sem perda ("lossless"), - que é usada para comprimir arquivos de dados, programas executáveis, banco de dados, etc. Nessa técnica, não se pode perder um único bit da informação previamente comprimida, pois essa perda causaria problemas enormes (por exemplo um programa executável ficaria errado ou um texto correto teria letras trocadas).

2) compactação com perda ("lossy") - que é usada para comprimir imagens e sons, onde a imagem reconstruída após a compactação não é exatamente a mesma de antes dessa, mas a perda de informações é mantida a uma quantidade que permita que o som reconstruído seja inteligível, bem como as imagens sejam (para o olho humano) extremamente parecidas com a imagem original, ou seja o erro imposto deve estar dentro de limites toleráveis pela aplicação.

O enfoque desse trabalho é em técnicas onde as perdas sejam mínimas, pois a perda de informação numa tomografia, pode esconder alguma anormalidade que poderia prejudicar um diagnóstico ou mesmo mascarar anomalias que porventura existam. Mas para o armazenamento destas informações, pode-se perder algumas características, desde que sejam pequenas e imperceptíveis a olho nu. No caso de imagens de satélite, a perda de definição pode resultar em cálculos errôneos de áreas, já que as imagens dos satélites comerciais tem problemas com definições (que são na ordem de 30 x 30 metros ou 10 x 10 metros nos satélites mais modernos), mas para o armazenamento e posterior apresentação destas imagens, a perda controlada pode ser útil, já que as imagens ficam armazenadas em espaço muito reduzido.

Pode-se colocar o início da área de compressão de dados, após os trabalhos de Claude Shannon nos laboratórios Bell, os quais deram origem à teoria da informação como um novo ramo da matemática na década de 40. Assim a compressão de dados surgiu como um ramo dessa teoria da informação, por tratar de eliminar redundâncias contidas nessas informações.

Na década de 50 houveram dois trabalhos, que influenciaram a compactação de dados até a década de 70. O primeiro é o trabalho de Huffman [HUF_52] e o segundo o

trabalho de Shannon depois completado por Fano, e hoje popularmente conhecido como Shannon-Fano [NEL_92].

Em 1977 e 1978 uma dupla de israelenses publicaram dois trabalhos que mudaram o panorama de compressão de dados. Jacob Ziv e Abraham Lempel [ZIV_77] [ZIV_78] descreveram duas técnicas usando dicionários adaptativos que conseguiram novas taxas de compactação de dados. E diversos melhoramentos foram propostos para essas técnicas nas últimas décadas.

1.2 - Apresentação do Trabalho

O presente trabalho apresenta diversos métodos de compactação de dados, bem como uma visão dos sistemas de compactação existentes para diversos sistemas computacionais. Apresenta também o sistema desenvolvido na linguagem 'C' para compressão das imagens digitais de tomografia e de satélites, usando técnicas sem perda de informação e técnicas aonde as perdas são controladas, e finalmente discute os resultados e propõe novas linhas de pesquisa nesta área.

No capítulo 2 apresenta-se os métodos de compressão de dados, explicando o processo de compressão e descrevendo-os na forma de algoritmos e compara os sistemas existentes de compressão de dados, para diversos sistemas.

No capítulo 3, discute-se o problema dos formatos de imagens, bem como apresenta o sistema desenvolvido, discutindo cada implementação.

Finalmente no capítulo 4, mostra as conclusões chegadas com este trabalho, bem como apresenta linhas futuras de pesquisa.

O capítulo 5 apresenta a bibliografia.

O Apêndice A descreve o programa **pgmbin.c**.

O Apêndice B descreve o programa **pgmtm.c**.

O Apêndice C descreve os programas **huf.h**, **chuf.c** e **uhuf.c**.

O Apêndice D descreve os programas **btc.c** e **ubtc.c**.

O Apêndice E descreve os programas **c4c.c** e **c4u.c**.

O Apêndice F descreve os programas **c8c.c** e **c8u.c**.

O Apêndice G descreve o programa **mse.c**.

Capítulo 2

2 - Métodos de Compressão de Dados

Para compactar-se arquivos, normalmente utiliza-se um modelo para ser codificado, ou seja, dadas as cadeias de símbolos de entrada, usando o modelo calcula-se as probabilidades dos símbolos e essas informações são passadas para um codificador que gera a cadeia de saída. Veja o exemplo de um modelo para código de Huffman abaixo.

Figura 1 - modelo de um codificador

Note que nesse caso a probabilidade dos caracteres que compõem a mensagem deve ser conhecida a priori. No caso de transmissão de dados em uma linha de comunicação, ou mesmo da compactação de um arquivo, essa exigência significa que o arquivo de entrada deve ser lido pelo menos duas vezes: a primeira para calcular as probabilidades (ou a frequência com que cada valor aparece) e a segunda para codificar. Outro modelo muito usado hoje é seguindo uma matriz de probabilidades já definida ou definindo-a gradativamente a

medida em que os símbolos são utilizados, como é indicado no modelo abaixo [NEL_92]:

Figura 2 - modelo de compressão adaptativa

Pelo fato das probabilidades dos símbolos serem calculados no decorrer do processo de codificação, tais modelos são chamados de adaptativos. Os modelos de Lempel-Ziv (ver seção 2.5 e 2.6) [ZIV_77] [ZIV_78] são sempre adaptativos. Esta característica facilita sua implementação em compressão, transmissão ou armazenamento de dados. No caso de imagens a existência prévia da matriz de probabilidades dos símbolos (que é a contagem dos valores existentes) pode ser descrita da mesma forma que os dados necessários para fazer o histograma dessa imagem. Neste caso a construção do histograma pode ser feito a priori pois a informação obtida pode ser vista como a matriz de probabilidades.

O Histograma de Intensidades indica para cada nível de cinza da imagem a quantidade de pontos mapeados em tal nível.

Ele contém uma informação global sobre os "objetos" da imagem. Se todos os pontos da imagem são de um mesmo objeto, o histograma mostra a probabilidade condicional $p(z/\text{objeto})$ de um ponto possuir um dado nível de cinza z , sendo que o ponto pertence ao objeto [MAS_89].

2.1 - Codificação de Shannon-Fano

O primeiro código de compressão bem conhecido é devido ao trabalho simultâneo de Claude Shannon dos Laboratórios Bell e de R. M. Fano do M.I.T., essa codificação é conhecida atualmente como Shannon-Fano [NEL_92]. O método de codificação constrói uma árvore binária baseada nas probabilidades de ocorrência dos caracteres, de modo a obter uma codificação que tenha as seguintes propriedades [GAI_93]:

- O número de bits para cada caracter distinto codificado, deve ser único.
- Os códigos de caracteres com maior probabilidade de acontecer, devem ser os menores possíveis.
- Apesar do código ter um número variável de bits, ele deve ser decodificado de apenas uma maneira (não ambigüidade).

Para construir a árvore binária de Shannon-Fano use o seguinte algoritmo [GAI_93]:

- Calcule as probabilidades dos símbolos e os ordene por esse peso.
- Divida a lista em duas partes, de forma que as duas sub-listas restantes sejam proporcionalmente iguais.
- A sub-lista superior é designada arbitrariamente como sendo 0, conseqüentemente a sub-lista inferior será designada com o valor 1.
- Recursivamente aplique as duas regras anteriores para cada uma das sub-listas, até que termine a partição das sub-listas.

Como exemplo, seja a seguinte cadeia de símbolos com suas probabilidades:

A	B	C	D	E
15	7	6	6	5

A árvore binária usada nesse exemplo para a codificação de Shannon-Fano seria:

Ou seja, a codificação para cada símbolo na tabela, seria a seguinte:

A	00
B	01
C	10
D	110
E	111

A fórmula para o conteúdo de informação (*Info.* - na tabela a seguir) para um símbolo dado é o negativo do logaritmo na base dois da probabilidade do símbolo. Para a mensagem acima o número de bits de informação (*Bits Info.*) é calculada multiplicando *Freq. * Info.*, bem como o número total de bits para os símbolos da mensagem (*Bits SF*) é calculado como sendo a *Freq.* vezes o número de bits em *Shannon Fano*, e é mostrada na tabela abaixo:

Símbolo	Shannon Fano	Freq.	Info.	Bits Info.	Bits SF
A	00	15	1,38	20,68	30
B	01	7	2,48	17,35	14
C	10	6	2,70	16,20	12
D	110	6	2,70	16,20	18
E	111	5	2,96	14,82	15
TOTAL		39		82,25	89

Com a codificação de Shannon-Fano conseguiu-se 89 bits, numa mensagem de 82,25 bits (calculado pela fórmula de entropia), e que teria 312 bits usando código ASCII de 8 bits ($8 * 39$).

$$\boxed{\text{Número_de_bits} = -\log_2(\text{probabilidade})}$$

Fórmula da Entropia

2.2 - Codificação de Huffman

A codificação de Huffman é uma técnica de compressão estatística na qual há uma redução do tamanho médio do código usado para representar o alfabeto. O código de Huffman é uma solução ótima, quando todas as probabilidades de ocorrência de uma determinada letra for uma potência de $1/2$ [HUF_52].

A codificação de Huffman cria código de tamanho variável para cada símbolo de entrada, sendo que os símbolos de entrada com maior probabilidade tem um código menor e os de maior probabilidade tem código maior.

Para fazer a árvore binária de codificação e decodificação do código de Huffman, usa-se uma técnica de baixo para cima ("bottom-up"), começando pelas folhas até atingir a raiz da árvore. Primeiramente ordena-se os códigos de entrada usando como peso a probabilidade de cada símbolo (conhecida a priori). Usa-se então o seguinte algoritmo:

- Ordena-se os símbolos por ordem do peso e coloca-os numa lista de nós livres;
- Os dois nós com menor peso são encontrados;
- Um nó pai desses dois nós é criado. O peso dele é a soma dos pesos dos nós filhos;
- O nó pai é adicionado na lista dos nós livres. Os dois filhos são removidos da mesma lista;
- Um dos nós filhos é designado pelo caminho vindo do nó pai a ter o valor de decodificação arbitrado em 0, o outro filho fica com o valor 1;
- Execute os 4 últimos passos, repita-os até que só exista um nó livre. Esse é designado como a raiz da árvore binária.

Se tivéssemos a seguinte cadeia de símbolos com suas probabilidades:

A	B	C	D	E
15	7	6	6	5

A árvore binária usada nesse exemplo para a codificação de Huffman seria:

Percorrendo-se a árvore acima para cada símbolo na tabela, teria-se a seguinte codificação:

Símbolo	Huffman	Freq.	Info.	Bits Info.	Bits Huf.
A	0	15	1,38	20,68	15
B	100	7	2,48	17,35	21
C	101	6	2,70	16,20	18
D	110	6	2,70	16,20	18
E	111	5	2,96	14,82	15
TOTAL		39		82,25	87

Com a codificação de Huffman conseguiu-se 87 bits, numa mensagem de 82,25 bits (calculado pela fórmula de entropia) dois bits a menos que a codificação de Shannon-Fano, vista na seção anterior.

Como pode-se notar, o código de Huffman tem a propriedade de ter um único prefixo, então ele pode ser decodificado sem problemas de ambigüidade no momento da chegada dos dados no decodificador.

Um dos problemas da codificação de Huffman é que para decodificar, a tabela de entrada necessariamente precisa estar disponível, e para isto é necessário transmiti-la junto com os dados, o que aumenta o tamanho do arquivo compactado. Diversas técnicas tem sido usadas para manter essa informação mínima, usando por exemplo, escalonamento para colocar todos os códigos dentro de uma unidade de informação do tamanho de um caracter.

Outro problema é que o arquivo de dados deve ser lido pelo menos duas vezes: uma para calcular as probabilidades; e outra para fazer a codificação. Nesse caso outras técnicas podem ser usadas na codificação de Huffman para evitar esse problema, como por exemplo, construir a tabela interativamente tanto na compressão como na descompressão dos dados, mas lembrando-se que neste caso, usando uma tabela de Huffman adaptativa, o resultado não é igual ao anterior.

2.3 - Codificação Aritmética

Os códigos de Huffman e Shannon-Fano são ótimos, no sentido de ter o melhor rendimento, quando as probabilidades dos símbolos são potências de $1/2$, o que geralmente não é o caso. A técnica conhecida como codificação aritmética não tem essa restrição e consegue então comprimir até o limite da entropia do texto usado [NEL_92].

A melhor forma para representar a codificação aritmética é representando um código por intervalos de números reais de 0 a 1. Com o aumento de caracteres na mensagem o intervalo para representá-lo fica menor, e o número de bits para sua representação aumenta. Sucessivos símbolos na mensagem reduzem esse intervalo de acordo com a probabilidade de cada símbolo. Os símbolos que aparecem muito reduzem menos o intervalo, e portanto adiciona apenas poucos bits na mensagem.

Como exemplo da codificação aritmética, vamos considerar os símbolos X e Y, com probabilidades 0,66 e 0,33 respectivamente. Para codificar examinamos o primeiro símbolo: se ele é X escolhemos a partição inferior, se for Y a partição superior. Para três símbolos, conseguiremos a seguinte tabela.

Código

1	Y	8/9 YY	Detalhe	31/32 (YYY)	.11111
		YX	Muito	15/16 (YYX)	.1111
			Pequeno	14/16 (YXY)	.1110
	2/3	XY	6/8 (YXX)	.110	
	X		16/27	10/16 (XYY)	.1010
			XYX	4/8	.100
	4/9	XXY	3/8	.011	
	XX	8/27			
		XXX	1/4	.01	
	0				

Como pode-se ver o diagrama mostra os códigos em binário obtidos a partir da divisão do intervalo usando as probabilidades de cada caracter. Na prática é necessário também ter um símbolo para finalizar os dados, o qual não é representado nesse exemplo.

A codificação aritmética obtém eficiência de aproximadamente 100% com mensagens longas. O problema com essa técnica é que consome grandes recursos computacionais,

em relação à memória e unidade central de processamento, o que a torna muito lenta nos computadores convencionais.

2.4 - Codificação Usando Dicionários

Uma forma de comprimir texto seria a de ter um dicionário codificado com todas as palavras numeradas sequencialmente e substituir no arquivo texto os nomes pelo número da palavra no dicionário [NEL_89]. O problema para esse contexto, é que tanto o software codificador como o decodificador necessita do mesmo dicionário e esse dicionário não é pequeno. Outro ponto é que esse método é aplicável apenas em arquivos de texto e não em arquivos binários como imagens, códigos executáveis, etc, pois esses arquivos são sequências de bytes, ou instruções de máquina, e estes padrões não estão comumente no dicionário.

2.5 - Codificação LZ77

Em 1977 J. Ziv, e A. Lempel, publicaram um trabalho na IEEE Transactions on Information Theory intitulado "A Universal Algorithm for Sequential Data Compression" que usa um dicionário criado conforme o texto é codificado e conhecido popularmente como LZ77 [ZIV_77] (não é explicado a causa da troca dos nomes dos autores nas referências):

O algoritmo LZ77 usa o texto lido previamente como entrada para um dicionário dinâmico (inicialmente este dicionário contém apenas as letras do código usado, normalmente os caracteres ASCII). Ele troca frases no arquivo de entrada por ponteiros no arquivo de saída, permitindo compressão dos dados. A quantidade de compressão depende do tamanho das frases no dicionário e do tamanho da janela de texto visto previamente.

A estrutura do algoritmo do LZ77 é uma janela de texto, dividida em duas partes. A primeira consiste de um grande bloco de dados de texto recentemente decodificado. A segunda é um registro de caracteres já lidos do arquivo de entrada, mas ainda não codificados no arquivo de saída.

Esse método tem sido codificado usando diversas variações, a mais comum é conhecida por LZSS, descrita por

James Storer e Thomas Szymanski em 1982 [LEL_87]. Nesse caso o compressor mantém uma janela de N caracteres e um registro de caracteres já lidos em que se busca esse registro na janela, de forma a maximizar o número de caracteres encontrados. O algoritmo simplificado é o seguinte:

```
enquanto (registrador_lido não for vazio) {  
    ache_um_ponteiro(posição, tamanho) do maior  
    encontro entre a janela e o registrador_lido;  
    se (tamanho > MÍNIMO_PARA_ENCONTRAR) {  
        escreva_o_par(posição, tamanho);  
        desloque a janela de tamanho caracteres;  
    } senão {  
        escreva_o_primeiro_caractere();  
        desloque a janela de 1 caracter;  
    }  
}
```

A decodificação é também muito simples e rápida: Sempre que encontrar o par (posição, tamanho), vá para a (posição) na janela e copie (tamanho) caracteres para a saída.

Esses algoritmos podem ser simplificados podendo-se usar uma janela módulo N (no sentido matemático de módulo - ou seja, o resto da divisão inteira por N), criando um "buffer"

circular. Variantes desse método podem ainda usar compressão redundante ao LZSS usando um simples código de tamanho variável na saída (LZB) [LEL_87], código de Huffman dinâmico (LZH) [NEL_92], e código de Shannon-Fano (ZIP 1.x) [LEL_87], o que melhora significativamente o resultado do método.

2.6 - Codificação LZ78

O esquema proposto por Ziv & Lempel em 1978, popularmente chamado de LZ78 [ZIV_78], atua da seguinte forma: as frases são colocadas no dicionário, e depois quando uma ocorrência repetida dessa frase for encontrada, escreve-se o índice do dicionário ao invés da frase. Existem diversas variações desse algoritmo baseados nesse princípio e diferindo principalmente na maneira de manejar o dicionário.

O mais conhecido desses compressores é o definido por Terry Welch em 1984 [WEL_84], e popularmente conhecido por LZW. Este compressor é preconizado por seu autor, a ser usado (em hardware ou em software) para melhorar a performance dos controladores de disco e fita. Somente em 1992 apareceram produtos baseados nessa idéia de comprimir todo o disco como o STACKER [STA_92], e o DOS 6.0 [MIC_93].

O algoritmo básico do LZW é colocado a seguir:

```
assinale NULO a p;
enquanto (não terminar) {
    leia_um_caracter C;
    se existe pC no dicionário {
        p = pC;
    }
    senão {
        escreva o código de p;
        adicione ao dicionário pC;
        p = C;
    }
}
```

Para a decodificação o programa lê os caracteres, construindo o dicionário e cada vez que achar o índice no dicionário, substitui pelo seu valor. O notável desse método é que o dicionário não é enviado junto com o texto, mas sim reconstruído.

O algoritmo mais encontrado atualmente é uma variante do LZW chamado de LZC, que é implementado no comando "compress" do Unix [GAI_93]. Nessa variante os ponteiros não tem tamanho fixo, mas começam com 9 bits, e crescem vagarosamente para o tamanho máximo possível (normalmente 16 bits em máquinas Unix), quando todos os ponteiros de um determinado tamanho já foram usados. Mas o dicionário não é congelado quando ele

fica cheio, pois o programa monitora a performance da compressão, e quando essa começa a decrescer, o dicionário é descartado e começa a criação de um novo dicionário. Outros métodos usados mais recentemente, usam algoritmos do tipo LRU (menos usado recentemente) para descartar frases poucos usadas, no lugar de jogar fora o dicionário e começar de novo.

A especificação V42bis do CCITT (Comitê Consultivo Internacional para Telegrafia e Telefonia) para compressão de dados em uma linha de comunicações [BLA_91] usa o algoritmo LZW, que é coberto por uma patente da Unisys, a qual exige uma licença para que os fabricantes de "modems" usem esse algoritmo. Patentes (inclusive conflitantes) é uma constante nesse campo de compressão de dados.

2.7 - Joint Photographic Experts Group - JPEG

Um grupo criado pela CCITT, e pela ISO para padronizar compressão de imagens terminou uma proposta em 1991, e definiu o padrão de compressão de imagens fotográficas [WAL_91]. O JPEG é um padrão para compressão de imagens coloridas ou em níveis de cinza, mas não comprime imagens de dois níveis (preto e branco) que é tratado por outro grupo chamado JBIG - Joint Bi-level Image Experts Group [GAI_93].

Existem diversos parâmetros no processo de compressão do JPEG. Ajustando esses parâmetros, podemos trocar qualidade de imagem reconstruída por tamanho, ou seja, se perdemos qualidade da imagem original, ganhamos mais espaço de armazenamento e se mantivermos qualidade, o ganho de armazenamento não é tão grande.

O JPEG define um algoritmo básico com perdas, mais extensões opcionais para codificação progressiva e hierárquica. Há também um modo de compressão sem perdas que tipicamente consegue razão de compressão de 2:1. A maioria dos softwares e hardwares disponíveis para a proposta do JPEG, usam somente o modelo básico.

Vamos apresentar (sem entrar em detalhes técnicos) a proposta do JPEG básica [GAI_93]:

1 - Transforme a imagem num espaço de cores adequado. Isto é uma operação nula em imagens em níveis de cinza o que é de interesse deste trabalho, mas para imagens coloridas é bom mudar da codificação RGB (vermelho, verde, azul) para um espaço YUV de luminância (Y) e crominância (UV). O componente luminância está agora em níveis de cinza e as duas outras dimensões, relativas a crominância, nos dão informações das cores.

2 - (Opcional) Deixe o nível de luminância inalterado e reduza a dimensão dos outros dois componentes na proporção 2:1 horizontalmente e 2:1 ou 1:1 verticalmente. Nos termos de JPEG isto é definido como amostragem 2h2v ou 2h1v. Essa compressão diminui o tamanho dos arquivos para arquivos coloridos.

3 - Agrupe os valores dos pixels para cada componente em blocos de 8x8. Transforme cada bloco de 8x8 através de uma transformada de cosenos discreta (DCT).

4 - Em cada bloco, divida cada uma das 64 componentes de frequências por um "coeficiente de quantização" (CQ) separado, e arredonde os valores para inteiro. Esse é o passo

fundamental na perda de informação. Um CQ de 1 perde um mínimo de informação, CQ's maiores perdem sucessivamente mais informações.

5 - Codifique os coeficientes reduzidos usando codificação de Huffman ou codificação aritmética. Na prática usa-se a codificação de Huffman, pois a codificação aritmética usada no JPEG é patenteada e é necessário pagar taxas de licença.

6 - Coloque as informações iniciais (cabeçalhos) e grave os resultados. Em um arquivo universal JPEG, todos os parâmetros de compressão estão armazenados nos cabeçalhos. Para aplicações especializadas, é possível a omissão desses parâmetros, mas isto significa que o descompressor tem de conhecer os parâmetros do compressor.

2.8 - QuadTrees

QuadTrees são estruturas de dados que permitem codificar uma informação em forma de imagem [SAM_89].

Uma QuadTree é aplicada em imagens de tamanho múltiplos de 2^n (ou imagens que possam ser colocadas em quadros desse tamanho) e é subdividida em 4 partes iguais chamadas de Noroeste, Nordeste, Sudoeste e Sudeste. Cada uma dessas partes pode por sua vez ser subdividida por quatro partes formando uma estrutura em forma de árvore quaternária.

Exemplo de Subdivisão de uma imagem:

Apesar de ser uma técnica de particionamento e organização de imagens, os QuadTrees normalmente comprimem uma imagem, pois na sua divisão incessante, grupos com valores homogêneos acabam sendo formados.

Outra propriedade das QuadTrees é a de que pode-se perder definição de uma imagem ao cortar-se os últimos níveis da árvore.

2.9 - Outros Métodos

Existem outros métodos de compressão de imagens, como por exemplo a teoria de "wavelet", fractais, etc, que são usadas apenas em situações especiais e não serão tratados nesse trabalho.

2.10 - Comparação Entre Sistemas de Compressão de Dados Existentes

Existem diversos programas para compressão de dados no mercado, para diversas plataformas de trabalho. Apresentaremos os principais produtos para PC/MSDOS, estações de trabalho operando com o sistema Unix, Macintosh e VAX sob VMS, pois esses são os equipamentos usualmente mais usados.

Normalmente esses arquivos comprimidos tem o seu tipo de arquivo terminado por .xxx, onde xxx é o nome escolhido pelo programa compressor. Veja abaixo o significado das siglas dos métodos de compressão. A maior parte destes compressores usa o método LZW ou variações.

Tipo do arquivo	Método	MS/DOS	UNIX	Mac	VAX/VMS
.arc	LZW	pkarc	arc	arcmac	arc
.arj	LZ77+ Huf	arj	unarj	unarj	
.gif	LZW	cshow	xv		
.lha .lhz	LZ77	lha	lharc	lha	lharc
.sit		unsit	unsit	stuffit	
.tar	¹	tarread	tar	tar	tar
.zoo	LZ77	zoo	zoo	zoo	zoo
.F	LZ77+ Huf	pkzip	zip unzip	zip unzip	zip unzip
.Y	LZ78	yabba	yabba	yabba	yabba
.Z	LZW	compress	compress	compress	compress
.z	LZ77+ Huf	gzip	gzip	gzip	gzip

Huf - Código de Huffman.

LZ77 - codificação LZ77.

¹ - Tar não é um método de compressão mas sim um sistema de arquivamentos de dados. Como sistemas como o MSDOS não tem um sistema de arquivamento de dados, normalmente os programas de compactação também manejam os arquivos.

LZ78 - codificação LZ78.

LZW - codificação LZ-Welch.

A maioria desses programas tem implementação já de domínio público, alguns são "shareware", e outros são vendidos comercialmente.

2.11 - Conclusões

A apresentação dos diversos métodos de compressão de dados mostra que esse campo é vasto, e que para cada tipo de arquivo (binário, dados, imagens, etc) existe uma forma de compressão que mostra resultados melhores do que outras técnicas.

Por outro lado é bom lembrar que não pode existir um compressor universal, que comprime todos os arquivos em pelo menos um único bit. É fácil demonstrar por um processo de contagem, que se existisse esse compressor universal, poderíamos ter todos os arquivos mapeados para zero bits.

O algoritmo do JPEG tem restrições na criação e uso do DCT (que por sua natureza perde informações no arredondamento dos valores obtidos), mas é hoje largamente empregado, inclusive com implementações em máquinas dedicadas.

Capítulo 3

3 - O Sistema Desenvolvido

3.1 - O problema do Formato de Imagem

Normalmente as imagens tomográficas geradas no tomógrafo do IFQSC, tem o seguinte formato de arquivo (.pac): os quatro primeiros bytes contém o tamanho do arquivo, definido como sendo dois bytes para o número de colunas e dois bytes para o número de linhas, colocados no arquivo na ordem de byte do computador tipo PC. Os bytes seguintes armazenam a imagem propriamente dita linha por linha. Já as imagens de satélite, tem um formato mais complicado, por exemplo no SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens - desenvolvido pelo Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE), a imagem é dividida em um arquivo de cabeçalho (header) (que contém informações como data da passagem, coordenadas de latitude e longitude, hora da passagem, etc) e outro arquivo que contém somente a imagem, em ordem de linha.

Até há pouco tempo atrás não havia uma preocupação entre os desenvolvedores de aplicativos que produzem imagens, em uniformizar o formato de produção de suas imagens. Assim, cada um apresentava o seu, e quem viesse depois teria de se adaptar ao que já existia. Porém, nem sempre os formatos

previamente fornecidos se adaptavam às necessidades dos novos usuários das imagens.

Atualmente já existe uma tendência em se produzir imagens que estejam de acordo com padrões gráficos e sistemas gráficos grandemente utilizados. Assim, houve a preocupação de construir um módulo de conversão entre formatos de imagens utilizadas nos sistemas .pac e SITIM para formatos mais usados, e para isso escolheu-se uma família de formatos portáteis.

Para ter um formato comum, resolvemos usar a família de formatos definidos por Jeff Poskanzer, chamado de PBM (Portable BitMap format) , PGM (Portable GrayMap format) e PPM (Portable PixMap format). Esse formato é simples, e é definido para ser portátil através de equipamentos e sistemas operacionais diferentes. No nosso caso o formato escolhido é o .PGM (Portable GrayMap format) binário que pode representar arquivos preto e branco com até 256 níveis de cinza (o caso dos dois tipos de imagens trabalhadas).

Definimos então programas para converter do formato inicial para o formato PGM. O formato adotado usa a seguinte definição:

Os primeiros bytes tem de ser a cadeia "P5", depois de espaços (podem ser brancos, tabs ou novas-linhas - \n).

Pode-se ter linhas de comentário começado por '#' no primeiro caracter da linha (até o caracter nova-linha no fim).

Tem-se a dimensão da imagem como dois inteiros ASCII separados por espaços. O primeiro é a largura, ou o número de colunas, (y) e o segundo a quantidade de linhas (x).

Finalmente tem-se o máximo nível de cinza que aparece na imagem (de 1 a 255). Esse valor tem depois dele um espaço, que é normalmente o caracter nova-linha (\n).

Após a informação do máximo nível de cinza seguem-se os dados (em bytes) na ordem das linhas, ou seja, a primeira linha (todas as colunas) segue-se a segunda linha (todas as colunas), etc. até o fim.

```
P5
# imagem adquirida no tomografo do IFQSC
256 256
255
(bytes da imagem linha por linha)
```

Exemplo de um arquivo .pgm

Foram feitos 2 programas "**pgmbin**" (listagem no apêndice A) e "**pgmtm**" (listagem no apêndice B) para converter arquivos para o formato PGM binário.

O programa **pgmbin** transforma uma imagem pura (linhas e colunas armazenados diretamente) em uma imagem .pgm usando a seguinte sintaxe (veja o apêndice A a definição destes parâmetros):

```
pgmbin    imagem.img imagem.pgm y x "comentário"
```

Já o programa **pgmtm** transforma a imagem do formato (.pac) do tomógrafo do IFQSC para .pgm. O comentário é fixo: "imagem adquirida pelo tomografo do IFQSC" e a sintaxe para a chamada é:

```
pgmtm imagem.pac imagem.pgm
```

3.2 - O Sistema de Compressão de Imagens

Foram desenvolvidos 4 programas para compressão de imagens, além de usar o software de domínio público "xv" para visualizar os arquivos de imagens, bem como para verificar sua compressão usando o algoritmo LZW (que pode ser codificado nos arquivos tipo .TIFF) e JPEG (que é definido pelo consórcio de desenvolvimento do padrão).

A idéia é usar esses codificadores como filtro, ou seja, os dados são recebidos pela entrada padrão e a saída também é padrão (usa-se redirecionamento para ler arquivos), isso permite usar linhas de montagem para esses programas.

3.3 - Compressão de Huffman

O primeiro programa `chuf.c` (ver apêndice C) implementa o código de Huffman. Seu programa para descomprimir chama-se `uhuf.c`. (ver apêndice C) O formato do arquivo de saída é definido pela cadeia `tp0` como os primeiros caracteres, e todo o resto do arquivo `.PGM` é comprimido. A taxa de compressão conseguida nos exemplos testados é de aproximadamente 2:1, ou seja de cada 2 caracteres de entrada é gerado 1 caracter de saída.

Este método apesar de não ser dos mais eficientes em termos de taxa de compressão, comprime os arquivos sem perda. Neste caso como a matriz de probabilidades de ocorrência dos caracteres é conhecida a priori, este método comprime próximo da entropia da imagem.

3.4 - Compressão de Truncagem de Bloco - BTC

Esta técnica chamada de compressão de truncagem de bloco (BTC - Block Truncation Compression) é baseado em [KRU_92], e comprime imagens na proporção de 4:1 (exceto o cabeçalho) com perdas na imagem. A idéia central deste método é usar blocos de 4 por 4 pixels e manter o primeiro e o segundo momento do bloco. O primeiro momento é a média e o segundo momento é a média dos quadrados deste mesmo bloco. É implementada por um compactador **btc.c** (ver apêndice D) e um descompactador **ubtc.c** (ver apêndice D).

Deve-se calcular para cada bloco as seguintes equações:

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p_i \\ m_2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p_i^2 \\ d &= \sqrt{\frac{q}{n-q}} \\ \sigma &= \sqrt{m_2 - m_1} \\ a &= m_1 - d\sigma \\ b &= m_1 + \frac{\sigma}{d} \end{aligned}$$

Onde m_1 é a média, m_2 é a média dos quadrados, p_i são os elementos do bloco a serem analisados, n é o número de elementos no bloco ($16 = 4 * 4$) e q é o número de pixels no bloco que é maior que a média.

Após o cálculo destes elementos, calcula-se a e b , que serão colocados como resultado no arquivo de saída, seguido de 16 bits (2 bytes) dizendo que elemento é maior ou igual a média (com valor 1) ou menor que a média (com valor 0). Estes quatro bytes são gravados no arquivo de saída para cada bloco, o que perfaz a compressão de 16:4 ou seja 4:1.

Na descompressão lê-se os 4 bytes do bloco e analisa-se o mapa de bits. Para cada bit 1 coloca-se o valor de b e para os bits 0 o valor de a .

Apesar de ser uma compressão com perdas, a imagem gerada após a descompressão é bastante similar a original dependendo da imagem. Em alguns casos as bordas da imagem ficam serrilhadas, quando comparadas as imagens originais.

O formato desta imagem é definida a seguir:

Na primeira linha o cabeçalho **tP1**; copia então as duas linhas seguintes do formato .pgm (os comentários e a definição de

colunas e linhas); a seguir vem os dados (4 bytes para cada bloco de 4*4 bytes).

tP1

imagem adquirida no tomografo do IFQSC

256 256

(bytes da imagem compactadas por BTC, bloco a bloco)

3.5 - Compressão Usando DCT

Uma técnica muito usada atualmente é a de usar o DCT (Discrete Cosine Transform), ou seja, transformada discreta dos cossenos. Isto deve-se ao fato que uma imagem transformada por DCT consegue ótima compressão e a transformada inversa, leva a uma imagem bastante próxima à original.

O método definido em JPEG usa DCT para conseguir comprimir uma imagem.

Vamos usar um método aproximado do JPEG, para conseguir imagens compactadas com fator de 4:1 fixo. Os programas **c4c.c** (ver apêndice E) e **c8c.c** (ver apêndice F) baseados nos programas desenvolvidos em [EMB_91], são usados para comprimir e os programas **c4u.c** (ver apêndice E) e **c8u.c** (ver apêndice F) para descomprimir os arquivos de imagens.

A implementação baseia-se em usar blocos (4 por 4 em **c4c.c** e 8 por 8 em **c8c.c**) para comprimir a imagem. Para calcular DCT, usamos as seguintes fórmulas:

$$F[u,v] = \frac{1}{N^2} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} f[m,n] \cos\left(\frac{(2m+1)u\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2n+1)v\pi}{2N}\right)$$

$$\hat{f}[m,n] = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} c[u]c[v] \cos\left(\frac{(2m+1)u\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2n+1)v\pi}{2N}\right)$$

onde:

u, v são variáveis discretas de frequência (0, 1, 2, ..., $N-1$).

$f[m,n]$ imagem $N*N$ pixels (0, 1, 2, ..., $N-1$).

$F[u,v]$ é o resultado do DCT.

Na função inversa **f chapéu**, as variáveis são:

m, n índices dos pixels resultantes (0, 1, 2, ..., $N-1$).

$F[u,v]$ é a DCT ($N*N$) para obter o resultado inverso.

$c[k]$ é definido como 1 se $k=0$, 2 se $k=1, 2, 3, \dots, N-1$.

Para cada bloco na imagem (4*4 se em **c4c** e 8*8 se em **c8c**), calcula-se a matriz DCT. Ela tem uma propriedade interessante, que é possuir muitos zeros nos elementos inferiores a diagonal secundária. Portanto precisa-se armazenar apenas os elementos superiores a diagonal secundária da matriz. Além disto os elementos na diagonal

superior são mais relevantes na reconstrução da imagem do que os elementos diagonais inferiores [EMB_91].

No caso do **c4c.c**, calcula-se a matriz cosenos (note-se que esta matriz pode ser calculada a priori). Usa-se o fato de que as equações acima podem ser representadas por:

$$DCT\{A\} = \frac{CAC^T}{N^2}$$

$$c[u,n] = \cos\left(\frac{(2n+1)u\pi}{2N}\right)$$

Após os cálculos a matriz DCT 4*4 é armazenada com menos bits para cada componente. Veja o mapa de bits usado nesta matriz:

8	3	3	2
3	3	2	0
3	3	0	0
2	0	0	0

Ou seja guarda-se o primeiro byte intacto [0,0] e depois grava-se três bytes compostos de 3, 3, e 2 bits cada um (ou 8 bits), usando os seguintes índices: [0,1], [0,2] e [0,3] no segundo byte, [1,0], [2,0] e [3,0] no terceiro byte, e [1,1], [2,1] e [1,2] no último byte. O restante da matriz é considerada zero. Para usar 3 bits os resultados são

normalizados para o intervalo $[-4, -3, \dots, 3]$ e os de 2 bits para o intervalo $[-2, -1, 0, 1]$.

um Byte dividido em tres campos de 3, 3, e 2 bits

Para o decodificador **c4u.c**, usa-se o processo inverso: ler a matriz de DCT armazenada, perfazendo o contrario em relação ao armazenamento, e multiplica pela matriz de cosenos transposta e cosenos, para obter o bloco, próximo ao original.

Apesar deste método conseguir compressão na ordem de 4:1 o resultado das imagens de satélite e de tomografia compactados, visualmente (ao nível de olho nu) não difere significativamente). Mas ao ampliarmos a imagem verifica-se efeitos de serrilhamento em alguns pontos.

No caso do `c8c.c` a matriz número de bits muda para:

8	8	4	4	4	4	4	4
8	8	4	4	4	4	0	0
4	4	4	4	0	0	0	0
4	4	4	4	0	0	0	0
4	4	0	0	0	0	0	0
4	4	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0

Ou seja armazena-se ou bytes inteiros ou meio bytes. Mas alguns valores são escalados (divididos por um valor) antes de ser convertido para o arquivo de saída. A matriz de escalonamento é:

1	1	3	3	2	2	1	1
1	1	2	1	1	1	0	0
3	2	2	1	0	0	0	0
3	1	1	1	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0

Aonde divide-se cada elemento da matriz original por esta matriz definida acima, exceto no caso dos zeros, aonde o resultado é zerado na matriz original. Na descompressão (**c8u.c**) ao ler os dados baseados na matriz de bits, faz-se a multiplicação elemento a elemento com a matriz acima, antes de multiplicar pela matriz de cosenos transposta e cosenos.

O arquivo de saída é similar ao do BTC, só que na primeira linha a cadeia para o programa **c4c.c** é **tp2** e a cadeia para o programa **c8c.c** é **tp3**.

```
tp2
# imagem adquirida no tomografo do IFQSC
256 256
(bytes da imagem compactadas por c4c, bloco a bloco)
```

Formato do arquivo gerado pelo **c4c.c**

tp3

imagem adquirida no tomografo do IFQSC

128 128

(bytes da imagem compactadas por c8c, bloco a bloco)

Formato do arquivo gerado pelo **c8c.c**

3.6 - Conclusão

O sistema de compressão de imagens desenvolvido é subdividido em 4 módulos de compressão, 4 módulos de descompressão, 2 módulos de mudança de formato e 1 módulo de teste do erro quadrado médio. Cada um dos módulos de compressão e descompressão implementa uma técnica de compactação apresentada no capítulo 2. É importante frisar que esses módulos podem ser agrupados e utilizados em outros sistemas de processamento de dados, dependendo das necessidades apresentadas.

Capítulo 4

4 - Conclusões e Linhas de Futuras Pesquisas

4.1 - Conclusões Gerais

Os objetivos deste trabalho foram alcançados plenamente no desenvolvimento de um sistema modular de compressão de imagens, onde buscou-se a portabilidade, para que as imagens de sensoriamento remoto e médicas fossem comprimidas em diversas plataformas computacionais.

Várias técnicas de compressão de dados foram avaliadas, sendo que as principais foram implementadas como módulos do sistema de compressão de imagens. Através do MSE (Mean Squared Error) pode-se medir o grau de deterioração de uma imagem original, em comparação com a imagem comprimida e reconstruída (descomprimida) (ver apêndice G).

O MSE é definido por:

$$MSE = \frac{1}{N * M} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (p_{ij} - q_{ij})^2$$

Onde:

P_{ij} e Q_{ij} são os valores da imagem original e da imagem reconstruída no ponto (i, j) .

N e M definem a dimensão da imagem.

Para conseguir altas taxas de compressão (de 4:1 ou mais) é necessário recorrer a técnicas de compressão com perdas de imagens. Apesar destas imagens reconstruídas não serem exatamente iguais às imagens originais, normalmente para o olho humano esta diferença é imperceptível. Há diversas pesquisas na área de compressão de dados a fim de diminuir a quantidade de operações necessárias para cálculo de DCT, que é a base de um dos principais métodos de compressão atual.

Um padrão que emerge como de "facto" nessa área é o JPEG, que nas suas implementações permite compressões com perda controlada de resolução (um número de 100% a 0%), onde 100% são as perdas decorrentes apenas de arredondamento de valores e 0% perda total. 75% é muito usado, onde perde-se 25% de qualidade, mas ganha-se em torno de 4:1 em compactação. Taxas como 50% já começam a apresentar mesmo a olho nu diferenças da imagem original, mas todavia consegue-

se taxas de mais de 6:1. Essa perda pode ser tolerada em algumas aplicações, como por exemplo sequências de animação.

Apresentamos a tabela abaixo com dados das imagens testadas para o nosso sistema, bem como das constantes no software **xv**.

Imagem	pgm	btc	c4c c8c	huf	jpg 75%	tif (LZW)
b5bsb	262205	65594	65594	173031	32964	179311
c81t1	65595	16440	16440	37064	7364	37627
c81t2	65595	16440	16440	42339	11200	45123
c81t3	65595	16440	16440	43362	12600	47363
c81t4	65595	16440	16440	44087	12567	48061
c81t5	65595	16440	16440	43091	11682	46651
c81t6	65595	16440	16440	42523	12018	46077
c81t7	65595	16440	16440	39859	10812	42783
c81t8	65595	16440	16440	37234	10178	39571
c81t9	65595	16440	16440	31189	10209	33651
c82s1	65595	16440	16440	38853	8910	38455
c82s2	65595	16440	16440	38825	6595	38209
c82s3	65595	16440	16440	46474	12039	49951
c82s4	65595	16440	16440	45904	12117	49499
c82s5	65595	16440	16440	45129	11215	48691
c82s6	65595	16440	16440	44784	12904	49889
c82s7	65595	16440	16440	43772	12269	48677
c82s8	65595	16440	16440	46211	12309	50857
c82s9	65595	16440	16440	40854	10106	43975
cps5	262205	65594	65594	211127	51322	254595
jor256s	65595	16440	16440	54400	12983	59007
pan	4147	1073	1073	2946	1145	2558

onde:

Imagem é o nome da imagem; b5bsb e cps5 são imagens de sensoreamento remoto de 512*512 pixels; pan é uma foto digitalizada de 64*64; c81t[1-9] são imagens obtidas pelo tomógrafo do IFQSC sendo sequências de cortes transversais de uma cabeça humana de 256*256; c82s[1-9] e jor256s são sequências de cortes sagitais de uma cabeça humana. As imagens c81t[1-9] e c82s[1-9] são de um mesmo paciente.

pgm é o tamanho em bytes da imagem no formato .pgm, ou seja o tamanho original da imagem antes de comprimir.

btc é o tamanho da imagem comprimida usando o método BTC;

c4c é o tamanho da imagem comprimida usando o DCT de 4*4 (c4c.c);

c8c é o tamanho da imagem comprimida usando o DCT de 8*8 (c8c.c);

huf é o tamanho da imagem comprimida usando o programa huf.c;

jpg é o tamanho do arquivo comprimido pelo método JPEG usando o programa de domínio público **xv** e ganho de 75%;

tif é o tamanho do arquivo comprimido usando LZW dentro do formato .tif, usando o software **xv**.

4.2 - Linhas de Futuras Pesquisas

Futuros trabalhos nessa área podem ser feitos na área de aquisição de vídeo, que usa outro padrão de compressão para imagens em movimento conhecido como MPEG (Motion Picture Expert Group), apesar de já haver vídeos comerciais que usam o JPEG como padrão para comprimir cada imagem.

Na área das imagens tomográficas desenvolvidos no IFQSC, pode-se aplicar o JPEG (existe uma versão de domínio público do JPEG que vem junto com o software xv) ou DCT nas imagens antes dela ser transformada do domínio da frequência para o domínio do espaço.

Outra sugestão é a de que os arquivos gerados no tomógrafo do IFQSC, já venham em algum formato conhecido. Proponho o pgm binário (usado neste trabalho), e na linha de comentário, deste formato seja colocado informações sobre o paciente, ou um índice que permita acessar os dados do paciente, bem como data e horário da tomografia, ou outras informações usuais aos exames tomográficos.

A utilização do sistema de compressão de imagens é fundamental como suporte ao sistema de armazenamento e classificação de imagens de tomografia, atualmente em desenvolvimento neste instituto (ICMSC).

A alteração deste sistema de compressão de imagens para trabalhar com imagens de 3D poderá também ser realizada, para permitir o armazenamento destas imagens nos sistemas de visualização tridimensional sendo desenvolvidos neste instituto.

5 - Bibliografia

[BAR_88] - Barnsley, M. F.; Sloan, A. D.: *A Better Way to Compress Images*, Byte, Janeiro de 1988, pp. 215-223.

[BEN_91] - Bender, Paul E.; Wolf, Jack K.: *New Asymptotic Bounds and Improvements on the Lempel-Ziv Data Compression Algorithm*, IEEE Transactions on Inf. Theory, Vol. 37, No. 3, Maio de 1991, pp. 721-729.

[BLA_91] - Black, Uyless: *The V Series Recommendations*, McGraw-Hill Inc, 1991.

[BRI_91] - Bridges, John: *Diferencial Image Compression*, Dr. Dobbs Journal, Fevereiro de 1991, pp. 38-51.

[DEE_94] - Deel, Ernie F.: *Adaptative Block Coding*, Dr. Dobbs Journal, Março de 1994, pp. 127-130.

[EMB_91] - Embree, Paul M. & Kimble, Bruce: *C Language Algorithms for Digital Signal Processing*, Prentice Hall, 1991

Ⓜ[GAI_93] - Gailly, Jean-loup: *comp.compression Frequently Asked Questions*, Internet compression-faq/part[1-3], 9 Fevereiro de 1993.

[HEL_91] - Held, Gilbert: *Data Compression*, John Wiley & Sons LTD, 1991, 3a. Ed.

Ø [HUF_52] - Huffman, David: *A Method for the Construction of Minimum Redundancy Codes*, Proceedings of the I.R.E., Vol. 40, No. 9, Setembro de 1952, pp. 1098-1101

[JOH_93] - Johnson, Eric F & Reichard, Kevin: *Professional Graphics Programming in the X Window System*, Mis:Press, 1993

[LAN_93] - Lane, Tom: *JPEG image compression: Frequently Asked Questions*, Internet jpeg-faq, 6 Fevereiro de 1993.

[LEL_87] - Lelewer, D. A.; Hirschberg, D. S. *Data Compression*, ACM Computing Surveys, Vol. 19, No. 3, Setembro de 1987, pp. 261-296.

[KRU_92] - Kruger, Anton: *Block truncation compression*, Dr. Dobbs Journal, Abril de 1992, pp. 48-52.

⊛ [MAS_89] - Mascarenhas, N.D.A.; Velasco, R.D.: *Processamento Digital de Imagens*, IV Escola Brasileiro Argentina de Informática, Janeiro de 1989.

[MIC 93] - Microsoft MS-DOS 6 User's guide, 1993.

[NEL_89] - Nelson, Mark: *LZW Data Compression*, Dr. Dobbs Journal, Vol. 14, No. 10, Outubro de 1989, pp. 29-37.

[NEL_91] - Nelson, Mark: *DDJ Data Compression Contest Results*, Dr. Dobb's Journal, Novembro de 1991, pp. 62-64.

④[NEL_92] - Nelson, Mark: *The Data Compression Book*, M & T Books, 1992.

[PAN_85] - Panepucci, H; Donoso, J. P.; Tannus, A; Beckmann, N.; Bonagamba, T: *Novas imagens do Corpo*, Ciência Hoje, Vol. 20, Número 4, Setembro/Outubro 1985, pp. 45-56.

[PEC_82] - Pechura, Michael: *File Archival Techniques Using Data Compression*, Communications of ACM, Vol. 25, Número 9, Setembro de 1982, pp. 605-609.

[RUB_76] - Rubin, Frank: *Experiments in Text File Compression*, Communications of ACM, Vol. 19, no. 11, Novembro de 1976, pp. 617-623.

[SAM_89] - Samet, Hanan: *Applications of Spatial Data Structures*, Addison-Wesley Pub. Co., 1989.

[SAM_90] - Samet, Hanan: *The Design and Analysis of Spatial Data Structures*, Addison-Wesley Pub. Co., 1989.

[STA_92] - Stac Eletronics: *Stacker 2.0 - User's guide*, 1993

[THO_91] - Thomas, Kas: *Entropy*, Dr. Dobb's Journal, Fevereiro de 1991, pp. 32-34, 110.

[TRA_92] - Traina, Agma J. M.: *Processamento digital de imagens*, notas didáticas do ICMSC/USP - Computação Gráfica, 1992.

[WAL_91] - Wallace, Gregory K.: *The JPEG still Picture Compression Standard*, Vol. 34, No. 4, abril de 1991, pp.31-44.

[WEL_84] - Welch, Terry: *A technique for High Performance Data Compression*, IEEE Computer, Vol. 17, No. 6, Junho de 1984, pp. 8-19.

[WEG_92] - Wegner, Tim: *Image Lab*, Waite Group Press, 1992

X[ZIV_77] - Ziv, J.; Lempel, A.: *A Universal Algorithm for sequential Data Compression*, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 23, No. 3, Maio de 1977, pp. 337-343.

[ZIV_78] - Ziv, J.; Lempel, A.: *A Compression of Individual Sequences via Variable-Rate Coding*, IEEE Transactions on

Information Theory, Vol. 24, No. 5, Setembro de 1978, pp.530-536.

Apêndice A

Listagem do programa pgmbin.c:

```
#include <stdio.h>

/*
 * Programa para converter arquivos sem formato (binario)
 * para o formato PGM - Portable Graymap.
 * Ja o arquivo PGM comeca com P5, depois pode ter comentarios
 * comecados por # e a seguir o y e x deles, bem como o
 * nivel de cinza (ate 255).
 * a seguir vem os bytes em pixels em ordem de linha.
 */
* Autor: Carlos paniago
* data de ultima alteracao: Sat Feb 26 12:20:04 EST 1994
*/

main(argc, argv)
int argc;
char *argv[];
{
    FILE *fin, *fou;
    char buf[1024];
    int x, y, z;
    int c, i, j;

    if (argc != 6) {
        fprintf(stderr, "Usage: %s file_bin file_pgm colunas ");
        fprintf(stderr, "linhas comentario\n", argv[0]);
        exit(1);
    }

    if ((fin = fopen(argv[1], "r")) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Arquivo <%s> binario, deve existir\n", argv[1]);
        exit(2);
    }

    if ((fou = fopen(argv[2], "w")) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Arquivo <%s> nao pode ser criado\n", argv[2]);
        exit(2);
    }

    y = atoi(argv[3]);
    x = atoi(argv[4]);

    if (argv[5][0] == '#')
        strcpy(buf, argv[5]);
}
```

```
else
    strcpy(buf+1, argv[5]);
buf[0] = '#';

z = 255;

fprintf(fou,"P5\n%s\n%d %d\n%d\n", buf, y, x, z);
while ((c = getc(fin)) != EOF)
    putc(c, fou);

fclose(fin);
fclose(fou);
)
```

Para usá-lo:

pgmbin arquivo.img arquivo.pgm y x "comentário"

onde ***arquivo.img*** é o nome do arquivo no formato de imagem puro, ou seja, apenas linhas de uma imagem, para entrada (o arquivo a ser convertido) e ***arquivo.pgm*** é o arquivo de saída (em formato pgm). Os valores de ***y*** e ***x*** são o número de colunas e linhas da imagem e ***"comentário"*** é o comentário a ser colocado na imagem.

Apêndice B

Listagem de pgmtm.c:

```
#include <stdio.h>

/*
 * Programa para converter arquivos do formato do tomografo do IFQSC
 * para o formato PGM - Portable Graymap.
 * O arquivo do IFQSC tem nos dois primeiros bytes em ordem do PC
 * o tamanho do arquivo (x) e os proximos dois bytes com y.
 * Ja o arquivo PGM comeca com P5, depois pode ter comentarios
 * comecados por # e a seguir o x e y deles, bem como o
 * nivel de cinza (ate 255).
 * a seguir vem os bytes em pixels em ordem de linha.
 *
 * Autor: Carlos paniago
 * data de ultima alteracao: Wed Feb  2 10:05:48 WDT 1994
 */

main(argc, argv)
int argc;
char *argv[];
{
    FILE *fin, *fou;
    int x, y, z;
    int c, i, j;

    if (argc != 3) {
        fprintf(stderr, "Usage: %s file_tomo file_pgm\n", argv[0]);
        exit(1);
    }

    if ((fin = fopen(argv[1], "r")) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Arquivo <%s> gerado no tomografo, deve existir\n",
            argv[1]);
        exit(2);
    }

    if ((fou = fopen(argv[2], "w")) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Arquivo <%s> nao pode ser criado\n", argv[2]);
        exit(2);
    }

    i = getc(fin);
    j = getc(fin);
    y = i * 255 + j; (0)
```

```
i = getc(fin);  
j = getc(fin);  
x = i * 255 + j; (n)  
  
z = 255;  
  
fprintf(fou,"P5\n");  
fprintf(fou,"#Imagem adquirida no tomografo do IFQSC\n");  
fprintf(fou,"%d %d\n", y, x);  
fprintf(fou,"%d\n", z);  
while ((c = getc(fin)) != EOF)  
    putc(c, fou);  
  
fclose(fin);  
fclose(fou);  
}
```

Para usá-lo:

pgmtm arquivo.pac arquivo.pgm

onde **arquivo.pac** é o nome do arquivo no formato de imagem do tomógrafo do IFQSC (o arquivo a ser convertido) e **arquivo.pgm** é o arquivo de saída (em formato pgm).

Apêndice C

Listagem do programa huf.h:

```
#ifndef _HUF_H
#define _HUF_H

typedef struct arquivo_bit {
    FILE *arquivo;
    unsigned char mascara;    /* aponta para posicao dentro do bit */
    unsigned char tipo;       /* 0 entrada 1 saida */
#define ENTRADA 0
#define SAIDA 1

    int caracter;             /* guarda o caracter de saida */
} ARQUIVO_BIT;

/* operacoes no arquivo de bits */
ARQUIVO_BIT *AbreArquivoBit(char *name, int tipo);
void FechaArquivoBit(ARQUIVO_BIT *arquivo_bit);
void SaidaBit(ARQUIVO_BIT *arquivo_bit, int bit);
void SaidaBits(ARQUIVO_BIT *arquivo_bit,
               unsigned long codigo, int contagem);
int EntradaBit(ARQUIVO_BIT *arquivo_bit);
void ArquivoImprimeBinario(FILE *arquivo, unsigned int codigo,
                           int bits);

/*
 * A estrutura NO define um no na arvore de decodificacao de Huffman
 * em "contador" tem a frequencia da letra (ja ajustada para um byte)
 * em filho_0 esta o ponteiro (indice) para o no que coloca zero,
enquanto
 * o filho_1 o lado que coloca um. O "salva_contador" salva o contador
quando
 * promovemos (juntamos) dois nos de uma arvore. Funciona como uma
 * indicacao que aquele membro ja foi usado.
 */
typedef struct no_da_arvore {
    unsigned int contador;
    unsigned int salva_contador;
    int filho_0;
    int filho_1;
} NO;

/*
 * Para codificar a arvore de Huffman, andamos em todos os membros dessa
```

```
* arvore e fazemos uma estrutura aonde esta o codigo de huffman e o seu
* tamanho.
*/
typedef struct codigo {
    unsigned int codigo;
    int bits_no_codigo;
} CODIGO;

/*
* o simbolo EOS e' usado para terminar a cadeia de caracteres
* e e' usado o primeiro caracter acima dos 255 caracteres ASCII
*/
#define EOS 256          /* Fim do stream (End Of Stream) */

void ComprimeArquivo(FILE *entrada, ARQUIVO_BIT *saida, int argc, char
*argv[]);
void ExpandeArquivo(ARQUIVO_BIT *entrada, FILE *saida, int argc, char
*argv[]);

void fim_com_uso(char *nome_do_programa);
void imprime_razao(char *entrada, char *saida);
long tamanho_do_arquivo(char *nome);
void contar_os_bytes(FILE *entrada, unsigned long *contador_longo);
void escalar_bytes(unsigned long *contador_longo, NO *nos);
int construir_arvore(NO *nos);
void converter_arvore_para_codigo(NO *nos, CODIGO *codigos,
    unsigned int vai_ser_codigo, int bits, int no);
void escrever_hist(ARQUIVO_BIT *saida, NO *nos);
void ler_hist(ARQUIVO_BIT *entrada, NO *nos);
void imprimir_modelo(NO *nos, CODIGO *codigos);
void comprimir_dados(FILE *entrada, ARQUIVO_BIT *saida, CODIGO *codigos);
void expandir_dados(ARQUIVO_BIT *entrada, FILE *saida, NO *nos, int
no_raiz);
void imprimir_caracter(int c);
void erro_fatal(char *fmt, ...);

#endif /* _HUF_H */
```

Listagem do programa chuf.c:

```
/*
 *   chuf infile outfile [options]
 *
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include "huf.h"

char *nome = { "Huffman" } ;
char *Usage = {
"Arquivo.pgm Arquivo.huf [-d]\n\n\t-d escrever o modelo usado\n" };

int main(argc, argv)
int argc;
char *argv[];
{
    ARQUIVO_BIT *saida;
    FILE *entrada;

    if (argc < 3)
        fim_com_uso(argv[0]);
    entrada = fopen(argv[1], "rb");
    if (entrada == NULL)
        erro_fatal("Erro abrindo %s para entrada", argv[1]);
    saida = AbreArquivoBit(argv[2], SAIDA);
    if (saida == NULL)
        erro_fatal("Erro abrindo %s para saida", argv[2]);
    printf("\nComprimindo %s para %s\n", argv[1], argv[2]);
    printf("Usando %s\n", nome);
    ComprimeArquivo(entrada, saida, argc - 3, argv + 3);
    FechaArquivoBit(saida);
    fclose(entrada);
    imprime_razao(argv[1], argv[2]);
    return(0);
}

/*
 * Rotina para imprimir mensagem de uso se o programa for
 * chamado sem parametros. Principalmente para
 * sistemas tipo MS-DOS
 */
void fim_com_uso(nome_do_programa)
char *nome_do_programa;
{
    char *nome_final;
```

```
char *extensao;

nome_final = strrchr(nome_do_programa, '\\');
if (nome_final == NULL)
    nome_final = strrchr(nome_do_programa, '/');
if (nome_final == NULL)
    nome_final = strrchr(nome_do_programa, ':');
if (nome_final != NULL)
    nome_final++;
else
    nome_final = nome_do_programa;
extensao = strrchr(nome_final, '.');
if (extensao != NULL)
    *extensao = '\\0';
printf("\nUso:  %s %s\n", nome_final, Usage);
exit(0);
}

/*
 * Rotina para saber o tamanho de um arquivo que ja se
 * encontra fechado. Note-se que no unix a funcao stat
 * e fstat tem essa informacao, mas em sistemas como
 * MS-DOS essa informacao nao e' disponivel la.
 */
#ifdef SEEK_END
#define SEEK_END 2
#endif

long tamanho_do_arquivo(nome)
char *nome;
{
    long tamanho;
    FILE *arquivo;

    arquivo = fopen(nome, "r");
    if (arquivo == NULL)
        return(0L);
    fseek(arquivo, 0L, SEEK_END);
    tamanho = ftell(arquivo);
    fclose(arquivo);
    return(tamanho);
}

/*
 * Rotina para imprimir a taxa de compressao do arquivo
 * de entrada e de saida.
 */
void imprime_razao(entrada, saida)
char *entrada;
char *saida;
{
    long tamanho_entrada;
```

```
long tamanho_saida;
int razao;

tamanho_entrada = tamanho_do_arquivo(entrada);
if (tamanho_entrada == 0)
    tamanho_entrada = 1;
tamanho_saida = tamanho_do_arquivo(saida);
razao = 100 - (int) (tamanho_saida * 100L / tamanho_entrada);
printf("\nEntrada em bytes: %10ld", tamanho_entrada);
printf("\nSaida em bytes:   %10ld\n", tamanho_saida);
if (tamanho_saida == 0)
    tamanho_saida = 1;
printf("Razao de compressao: %d%%\n", razao);
}

/*
 * Comeco da compressao. Essa rotina e' chamado pelo progama
 * principal ele olha para um argumento "-d". Se esse
 * argumento esta presente entao imprime o modelo.
 *
 * Essa rotina e' super direta. e' so le-la para entende-la
 */

unsigned long contador[256];
NO nos[514];
CODIGO codigos[257];
int no_raiz;

void ComprimeArquivo(entrada, saida, argc, argv)
FILE *entrada;
ARQUIVO_BIT *saida;
int argc;
char *argv[];
{
    contar_os_bytes(entrada, contador);
    escalar_bytes(contador, nos);
    escrever_hist(saida, nos);
    no_raiz = construir_arvore(nos);
    converter_arvore_para_codigo(nos, codigos, 0, 0, no_raiz);
    if (argc > 0 && strcmp(argv[0], "-d") == 0)
        imprimir_modelo(nos, codigos);
    comprimir_dados(entrada, saida, codigos);
}

/*
 * rotina para escrever o histograma (256 bytes) no
 * comeco do arquivo de saida
 */
void escrever_hist(saida, nos)
```

```
ARQUIVO_BIT *saida;
NO *nos;
{
    int i;

    fputs("tP0\n", saida->arquivo);    /* numero magico MAGIC */
    for (i = 0; i < 256; ++i) {
        if (putc(nos[i].contador, saida->arquivo) == EOF)
            erro_fatal("Erro escrevendo byte no histograma", "");
    }
}

/*
 * Rotina que conta a frequencia de cada byte no arquivo
 * de entrada. ela marca a posicao do arquivo de entrada
 * em que comecou e volta para essa marca apos a contagem.
 */

void contar_os_bytes(entrada, contador)
FILE *entrada;
unsigned long *contador;
{
    long lembra_entrada;
    int c;

    lembra_entrada = ftell(entrada);
    while ((c = getc(entrada)) != EOF)
        ++contador[c];
    fseek(entrada, lembra_entrada, SEEK_SET);
}

/*
 * Rotina para escalar a contagem (frequencia ou histograma)
 * para 8 bits de forma que os codigos de huffman so podem
 * ir ate 16 bits (um short) e coloco nos NOS iniciais.
 * Tem de ser cuidadoso com os zeros que nao geram codigos
 * huffman e todos diferentes de zero que geram codigos.
 */
void escalar_bytes(contador, nos)
unsigned long *contador;
NO *nos;
{
    unsigned long maximo;
    int i;

    maximo = 0;
    for (i = 0; i < 256; i++)
        if (contador[i] > maximo)
            maximo = contador[i];
    if (maximo == 0) {
        contador[0] = 1;
    }
}
```

```

    maximo = 1;
}
maximo = maximo / 255;
maximo = maximo + 1;
for (i = 0 ; i < 256 ; i++) {
    nos[i].contador = (unsigned int) (contador[i] / maximo);
    if (nos[i].contador == 0 && contador[i] != 0)
        nos[i].contador = 1;
}
nos[EOS].contador = 1;
}

/*
 * Contruir a arvore de Huffman e' simples: todos os nos
 * ativos sao vistoriados para achar os dois com minimos
 * pesos. Esses dois sao adicionados no peso de um novo
 * no, e os antigos sao colocados como inativos. e faz
 * esses dois nos como o filho_0 e o filho_1 do novo no.
 * Esse processo continua ate que so tenha um no ativo.
 * Esse e' o no raiz e * deve ser retornado na funcao.
 *
 * o no 513 e' usado como um no com valor maximo.
 * Ele comeca sendo o min_1 e min_2. Depois de vistoriar
 * todos os nos ativos, posso dizer que so tem um
 * no ativo se min_1 for 513.
 */

int construir_arvore(nos)
NO *nos;
{
    int proximo_livre;
    int i;
    int min_1;
    int min_2;

    nos[513].contador = 0xffff;
    for (proximo_livre = EOS + 1 ; ; ++proximo_livre) {
        min_1 = 513;
        min_2 = 513;
        for (i = 0 ; i < proximo_livre ; ++i)
            if (nos[i].contador != 0) {
                if (nos[i].contador < nos[min_1].contador) {
                    min_2 = min_1;
                    min_1 = i;
                } else if (nos[i].contador < nos[min_2].contador)
                    min_2 = i;
            }
        if (min_2 == 513)
            break;
        nos[proximo_livre].contador = nos[min_1].contador
            + nos[min_2].contador;
    }
}

```

```

    nos[min_1].salva_contador = nos[min_1].contador;
    nos[min_1].contador = 0;
    nos[min_2].salva_contador = nos[min_2].contador;
    nos[min_2].contador = 0;
    nos[proximo_livre].filho_0 = min_1;
    nos[proximo_livre].filho_1 = min_2;
}
--proximo_livre;
nos[proximo_livre].salva_contador =
    nos[proximo_livre].contador;
return(proximo_livre);
}

/*
 * Rotina recursiva para percorrer todos os caminhos
 * da arvore de Huffman e gerar o codigo de Huffman
 * na estrutura CODIGO. Isso e' usado para a codificacao.
 */

void converter_arvore_para_codigo(nos, codigos, vai_ser_codigo, bits, no)
NO *nos;
CODIGO *codigos;
unsigned int vai_ser_codigo;
int bits;
int no;
{
    if (no <= EOS) { /* condicao de termino. achei um caracter */
        codigos[no].codigo = vai_ser_codigo;
        codigos[no].bits_no_codigo = bits;
        return;
    }
    vai_ser_codigo <<= 1; /* rode o vai_ser_codigo 1 bit a esquerda */
    ++bits; /* meca a profundidade desse codigo */
    converter_arvore_para_codigo(nos, codigos, vai_ser_codigo, bits,
        nos[no].filho_0); /* recursividade para a esquerda (0 bit) */
    converter_arvore_para_codigo(nos, codigos, vai_ser_codigo | 1, bits,
        nos[no].filho_1); /* recursividade para adireita (1 bit) */
}

/*
 * se a opcao -d for dada na linha de comando, essa rotina e' chamada
 * para imprimir o modelo.
 */
void imprimir_modelo(nos, codigos)
NO *nos;
CODIGO *codigos;
{
    int i;

    for (i = 0 ; i < 513 ; i++) {
        if (nos[i].salva_contador != 0) {
            printf("no=");
            imprimir_caracter(i);
        }
    }
}

```



```
printf("  contador=%3d", nos[i].salva_contador);
printf("  filho_0=");
imprimir_caracter(nos[i].filho_0);
printf("  filho_1=");
imprimir_caracter(nos[i].filho_1);
if (codigos && i <= EOS) {
    printf("  Huffman codigo=");
    ArquivoImprimeBinario(stdout, codigos[i].codigo,
        codigos[i].bits_no_codigo);
}
printf("\n");
}
}
}

/*
 * a rotina imprimir_modelo usa essa funcao para imprimir caracteres.
 * a ideia e' se for um caracter ASCII imprima-o entre plicas ' '
 * caso contrario imprima o vaor decimal dele.
 */
void imprimir_caracter(c)
int c;
{
    if (c >= 0x20 && c < 127)
        printf("' %c'", c);
    else
        printf("%3d", c);
}

/*
 * Para comprimir os dados, leia os dados do arquivo de saida
 * e mande escrever o seu codigo huffman. Repita ate o
 * fim, quando entao escreve o caracter EOS para terminar.
 */

void comprimir_dados(entrada, saida, codigos)
FILE *entrada;
ARQUIVO_BIT *saida;
CODIGO *codigos;
{
    int c;

    while ((c = getc(entrada)) != EOF)
        SaidaBits(saida, (unsigned long) codigos[c].codigo,
            codigos[c].bits_no_codigo);
    SaidaBits(saida, (unsigned long) codigos[EOS].codigo,
        codigos[EOS].bits_no_codigo);
}

/*
 * rotina para abrir um arquivo de bits. Tipo e' ENTRADA ou SAIDA.
 */
```

```
*/

ARQUIVO_BIT *AbreArquivoBit(nome, tipo)
char *nome;
int tipo;
{
    ARQUIVO_BIT *arquivo_bit;

    arquivo_bit = (ARQUIVO_BIT *) calloc(1, sizeof(ARQUIVO_BIT));
    if (arquivo_bit == NULL)
        return(arquivo_bit);
    arquivo_bit->tipo = (unsigned char) tipo;
    if (tipo)
        arquivo_bit->arquivo = fopen(nome, "wb");
    else
        arquivo_bit->arquivo = fopen(nome, "rb");
    arquivo_bit->caracter = 0;
    arquivo_bit->mascara = 0x80;
    return(arquivo_bit);
}

/*
 * fecha arquivo de bit. Se for arquivo de saida, verifique
 * se deve escrever os ultimos bits do ultimo byte.
 */

void FechaArquivoBit(arquivo_bit)
ARQUIVO_BIT *arquivo_bit;
{
    if (arquivo_bit->tipo) {
        if (arquivo_bit->mascara != 0x80)
            if (putc(arquivo_bit->caracter, arquivo_bit->arquivo) !=
                arquivo_bit->caracter)
                erro_fatal("Erro Fatal em FechaArquivoBit!", "");
    }
    fclose(arquivo_bit->arquivo);
    free((char *) arquivo_bit);
}

/*
 * escreve um bit no arquivo de bits.
 */

void SaidaBit(arquivo_bit, bit)
ARQUIVO_BIT *arquivo_bit;
int bit;
{
    if (bit)
        arquivo_bit->caracter |= arquivo_bit->mascara;
    arquivo_bit->mascara >>= 1;
    if (arquivo_bit->mascara == 0) { /* realmente tem de escrever */
        if (putc(arquivo_bit->caracter, arquivo_bit->arquivo) !=
```

```
        arquivo_bit->caracter)
    erro_fatal("Erro Fatal em SaidaBit!", "");
    arquivo_bit->caracter = 0;
    arquivo_bit->mascara = 0x80;
}
}

/*
 * escreve varios bits no arquivo de bits.
 */
void SaidaBits(arquivo_bit, codigo, contagem)
ARQUIVO_BIT *arquivo_bit;
unsigned long codigo;
int contagem;
{
    unsigned long mascara;

    mascara = 1L << (contagem - 1);
    while (mascara != 0) {
        if (mascara & codigo)
            arquivo_bit->caracter |= arquivo_bit->mascara;
        arquivo_bit->mascara >>= 1;
        if (arquivo_bit->mascara == 0) {
            if (putc(arquivo_bit->caracter, arquivo_bit->arquivo) !=
                arquivo_bit->caracter)
                erro_fatal("Erro fatal em SaidaBits!", "");
            arquivo_bit->caracter = 0;
            arquivo_bit->mascara = 0x80;
        }
        mascara >>= 1;
    }
}

/*
 * imprime bits caracteres doe codigo em ASCII.
 */
void ArquivoImprimeBinario(arquivo, codigo, bits)
FILE *arquivo;
unsigned int codigo;
int bits;
{
    unsigned int mascara;

    mascara = 1 << (bits - 1);
    while (mascara != 0) {
        if (codigo & mascara)
            fputc('1', arquivo);
        else
            fputc('0', arquivo);
        mascara >>= 1;
    }
}
```

```
}

/*
 * rotina de erro fatal.
 */
void erro_fatal(fmt, dado)
char * fmt;
char *dado;
{
    fprintf(stderr, "Erro fatal: ");
    fprintf(stderr, fmt, dado);
    fprintf(stderr, "\n");
    exit(-1);
}
```

Para usá-lo:

chuf arquivo.pgm arquivo.huf [-d]

onde *arquivo.pgm* é o nome do arquivo no formato .pgm para entrada (o arquivo a ser comprimido) e *arquivo.huf* é o arquivo de saída (em formato de código de Huffman). A opção *-d* é opcional e imprime a árvore do código de Huffman.

Listagem do programa uhuf.c:

```
/*
 * uhuf infile outfile [options]
 *
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#ifdef __386BSD__
#include <stdarg.h>
#else
#include <varargs.h>
#endif
#include <string.h>
#include "huf.h"

char *nome = {"Descomprimir Huffman"};
char *Usage = {
    "Arquivo.pgm Arquivo.huf [-d]\n\n-d escrevera o modelo usado\n" };

int main(argc, argv)
int argc;
char *argv[];
{
    FILE *saida;
    ARQUIVO_BIT *entrada;

    if (argc < 3)
        fim_com_uso(argv[0]);
    entrada = AbreArquivoBit(argv[1], ENTRADA);
    if (entrada == NULL)
        erro_fatal("Erro abrindo %s para entrada", argv[1]);
    saida = fopen(argv[2], "wb");
    if (saida == NULL)
        erro_fatal("Erro abrindo %s para saida", argv[2]);
    printf("\nExpandindo %s para %s\n", argv[1], argv[2]);
    printf("Usando %s\n", nome);
    ExpandeArquivo(entrada, saida, argc - 3, argv + 3);
    FechaArquivoBit(entrada);
    fclose(saida);
    return(0);
}

/*
 * Rotina para imprimir mensagem de uso se o programa for chamado
 * sem parametros. Principalmente para sistemas tipo MS-DOS
 */
void fim_com_uso(nome_do_programa)
char *nome_do_programa;
```

```
{
    char *nome_final;
    char *extensao;

    nome_final = strrchr(nome_do_programa, '\\');
    if (nome_final == NULL)
        nome_final = strrchr(nome_do_programa, '/');
    if (nome_final == NULL)
        nome_final = strrchr(nome_do_programa, ':');
    if (nome_final != NULL)
        nome_final++;
    else
        nome_final = nome_do_programa;
    extensao = strrchr(nome_final, '.');
    if (extensao != NULL)
        *extensao = '\\0';
    printf("\nUso:  %s %s\n", nome_final, Usage);
    exit(0);
}

/*
 * Rotina para saber o tamanho de um arquivo que ja se
 * encontra fechado. Note-se que no unix a funcao stat
 * e fstat tem essa informacao, mas em sistemas como
 * MS-DOS essa informacao nao e' disponivel la.
 */

#ifdef SEEK_END
#define SEEK_END 2
#endif

long tamanho_do_arquivo(nome)
char *nome;
{
    long tamanho;
    FILE *arquivo;

    arquivo = fopen(nome, "r");
    if (arquivo == NULL)
        return(0L);
    fseek(arquivo, 0L, SEEK_END);
    tamanho = ftell(arquivo);
    fclose(arquivo);
    return(tamanho);
}

/*
 * Comeco da compressao. Essa rotina e' chamado pelo
 * programa principal ele olha para um argumento
 * "-d". Se esse argumento esta presente * entao
 * imprime o modelo.
 */
```

```
*
* Essa rotina e' super direta. e' so le-la para entende-la
*/

NO nos[514];
int no_raiz;

void ExpandeArquivo(entrada, saida, argc, argv )
ARQUIVO_BIT *entrada;
FILE *saida;
int argc;
char *argv[];
{
    ler_hist(entrada, nos);
    no_raiz = construir_arvore(nos);
    if ( argc > 0 && strcmp( argv[ 0 ], "-d" ) == 0)
        imprimir_modelo(nos, 0);
    expandir_dados(entrada, saida, nos, no_raiz);
}

/*
* rotina para ler o histograma (256 bytes) no comeco do
* arquivo de entrada
*/

void ler_hist(entrada, nos)
ARQUIVO_BIT *entrada;
NO *nos;
{
    int i;
    char buf[128];

    fgets(buf, 128, entrada->arquivo);    /* numero magico MAGIC */
    if (strcmp(buf, "tP0\n") != 0) {
        erro_fatal("Arquivo nao foi compactado usando huffman", "");
    }
    for (i = 0; i<256; ++i) {
        if ((nos[i].contador = getc(entrada->arquivo)) == EOF)
            erro_fatal("Erro lendo byte no histograma", "");
    }
    nos[EOS].contador = 1;
}

/*
* Contruir a arvore de Huffman e' simples: todos os nos
* ativos sao vistoriados para achar os dois com minimos
* pesos. Esses dois sao adicionados * no peso de um novo
* no, e os antigos sao colocados como inativos. e faz esses
* dois nos como o filho_0 e o filho_1 do novo no. Esse
* processo continua ate que so tenha um no ativo. Esse e'
* o no raiz e deve ser retornado na funcao.
*/
```

```
*
* o no 513 e' usado como um no com valor maximo. Ele
* comeca sendo o min_1 e min_2. Depois de vistoriar todos
* os nos ativos, posso dizer que so tem um
* no ativo se min_1 for 513.
*/

int construir_arvore(nos)
NO *nos;
{
    int proximo_livre;
    int i;
    int min_1;
    int min_2;

    nos[513].contador = 0xffff;
    for (proximo_livre = EOS + 1 ; ; ++proximo_livre) {
        min_1 = 513;
        min_2 = 513;
        for (i = 0 ; i < proximo_livre ; ++i)
            if (nos[i].contador != 0) {
                if (nos[i].contador < nos[min_1].contador) {
                    min_2 = min_1;
                    min_1 = i;
                } else if (nos[i].contador < nos[min_2].contador)
                    min_2 = i;
            }
        if (min_2 == 513)
            break;
        nos[proximo_livre].contador = nos[min_1].contador
            + nos[min_2].contador;
        nos[min_1].salva_contador = nos[min_1].contador;
        nos[min_1].contador = 0;
        nos[min_2].salva_contador = nos[min_2].contador;
        nos[min_2].contador = 0;
        nos[proximo_livre].filho_0 = min_1;
        nos[proximo_livre].filho_1 = min_2;
    }
    --proximo_livre;
    nos[proximo_livre].salva_contador = nos[proximo_livre].contador;
    return(proximo_livre);
}

/*
* se a opcao -d for dada na linha de comando, essa
* rotina e' chamada para imprimir o modelo.
*/

void imprimir_modelo(nos, codigos)
NO *nos;
CODIGO *codigos;
{
```



```
int i;

for (i = 0 ; i < 513 ; i++) {
    if (nos[i].salva_contador != 0) {
        printf("no=");
        imprimir_caracter(i);
        printf("  contador=%3d", nos[i].salva_contador);
        printf("  filho_0=");
        imprimir_caracter(nos[i].filho_0);
        printf("  filho_1=");
        imprimir_caracter(nos[i].filho_1);
        if (codigos && i <= EOS) {
            printf("  Huffman codigo=");
            ArquivoImprimeBinario(stdout, codigos[i].codigo,
                                   codigos[i].bits_no_codigo);
        }
        printf("\n");
    }
}

/*
 * a rotina imprimir_modelo usa essa funcao para
 * imprimir caracteres. a ideia e' se for um
 * caracter ASCII imprima-o entre plicas ' '
 * caso contrario imprima o vaor decimal dele.
 */

void imprimir_caracter(c)
int c;
{
    if (c >= 0x20 && c < 127)
        printf("'%c'", c);
    else
        printf("%3d", c);
}

/*
 * Para expandir os dados comprimidos e' um pouco mais
 * dificil que a fase de compressao. Cada simbolo
 * decodificado a arvore tem de ser percorrida
 * começando no no raiz lendo um bit e decidindo
 * se vai para filho_0 ou filho_1. Quando a arvore
 * chegar num simbolo folha esse simbolo e' emitido.
 * O processo termina quando achar o caracter EOS.
 */

void expandir_dados(entrada, saida, nos, no_raiz )
ARQUIVO_BIT *entrada;
FILE *saida;
NO *nos;
int no_raiz;
```

```
{
    int no;

    for (;;) {
        no = no_raiz;
        do {
            if (EntradaBit(entrada))
                no = nos[no].filho_1;
            else
                no = nos[no].filho_0;
        } while (no > EOS);
        if (no == EOS)
            break;
        if ((putc(no, saida)) == EOF)
            erro_fatal( "Erro tentando escrever byte na saida" , "");
    }
}

/*
 * rotina para abrir um arquivo de bits. Tipo e' ENTRADA ou SAIDA.
 */

ARQUIVO_BIT *AbreArquivoBit(nome, tipo)
char *nome;
int tipo;
{
    ARQUIVO_BIT *arquivo_bit;

    arquivo_bit = (ARQUIVO_BIT *) calloc(1, sizeof(ARQUIVO_BIT));
    if (arquivo_bit == NULL)
        return(arquivo_bit);
    arquivo_bit->tipo = (unsigned char) tipo;
    if (tipo)
        arquivo_bit->arquivo = fopen(nome, "wb");
    else
        arquivo_bit->arquivo = fopen(nome, "rb");
    arquivo_bit->caracter = 0;
    arquivo_bit->mascara = 0x80;
    return(arquivo_bit);
}

/*
 * fecha arquivo de bit. Se for arquivo de saida, verifique
 * se deve escrever * os ultimos bits do ultimo byte.
 */

void FechaArquivoBit(arquivo_bit)
ARQUIVO_BIT *arquivo_bit;
{
    if (arquivo_bit->tipo) {
```

```
    if (arquivo_bit-> mascara != 0x80)
        if (putc(arquivo_bit->caracter, arquivo_bit->arquivo) !=
            arquivo_bit->caracter)
            erro_fatal("Erro Fatal em FechaArquivoBit!", "");
    }
    fclose(arquivo_bit->arquivo);
    free((char *) arquivo_bit);
}

/*
 * le um bit no arquivo de bits.
 */

int EntradaBit(arquivo_bit)
ARQUIVO_BIT *arquivo_bit;
{
    int value;

    if (arquivo_bit-> mascara == 0x80) {
        arquivo_bit->caracter = getc(arquivo_bit->arquivo);
        if (arquivo_bit->caracter == EOF)
            erro_fatal("Erro fatal em EntradaBit!", "");
    }
    value = arquivo_bit->caracter & arquivo_bit-> mascara;
    arquivo_bit-> mascara >>= 1;
    if (arquivo_bit-> mascara == 0)
        arquivo_bit-> mascara = 0x80;
    return(value ? 1 : 0);
}

/*
 * imprime bits caracteres doe codigo em ASCII.
 */

void ArquivoImprimeBinario(arquivo, codigo, bits)
FILE *arquivo;
unsigned int codigo;
int bits;
{
    unsigned int mascara;

    mascara = 1 << (bits - 1);
    while (mascara != 0) {
        if (codigo & mascara)
            fputc('1', arquivo);
        else
            fputc('0', arquivo);
        mascara >>= 1;
    }
}
```

```
/*
 * rotina de erro fatal.
 */

void erro_fatal(fmt, dado)
char * fmt;
char *dado;
{
    fprintf(stderr, "Erro fatal: ");
    fprintf(stderr, fmt, dado);
    fprintf(stderr, "\n");
    exit(-1);
}
```

Para usá-lo:

uhuf arquivo.huf arquivo.pgm [-d]

onde ***arquivo.huf*** é o nome do arquivo no formato Huffman para entrada (o arquivo a ser descomprimido) e ***arquivo.pgm*** é o arquivo de saída (em formato pgm). A opção ***-d*** é opcional e imprime a árvore do código de Huffman.

Apêndice D

Listagem de btc.c:

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

/*
 * BTC - Block Truncation Compression este programa usa blocos
 * de 4x4 para calcular estatisticas basicas, e sai um
 * arquivo contendo 2 parametros e um mapa de bits (2 bytes)
 */

typedef unsigned char byte;

#define N 4

byte **img;

main(argc, argv)
int argc;
char *argv[];
{
    int n, i, j, k, l;
    int x, y;
    int q;
    double xx;
    double m1,m2,sigma;
    double aa,bb;
    double d;
    char buf[1024];
    byte a, b, media;
    byte code;

    /* ler a matriz de entrada */
    fgets(buf, 512, stdin);
    if (buf[0] != 'P' || buf[1] != '5') {
        printf("Arquivo de entrada nao esta no formato PGM\n");
        exit(1);
    }
    printf("tP3\n");
    fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
    fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
    sscanf(buf, "%d %d", &y, &x);
    fgets(buf, 512, stdin);

    /* criar a matriz de dados img */
```

```
if ((img = (byte **) calloc(sizeof(byte *), x)) == NULL) {
    fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para *img\n");
    exit(2);
}

/* ler a imagem original */
for (i = 0; i < x; ++i) {
    /* alocar a matriz e ler-la */
    if ((img[i] = (byte *) calloc(sizeof(byte), y)) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para img\n");
        exit(2);
    }
    for (j=0; j<y; ++j) {
        img[i][j] = getchar();
    }
}

for (i=0; i<x; i+=N) {
    for (j=0; j<y; j+=N) {
        /* calcular media, desvio padrao, e "sigma". */
        m1 = m2 = 0.0;
        for (n=0; n<N; ++n) {
            for (k=0; k<N; ++k) {
                xx = (double) img[i+n][j+k];
                m1 = m1 + xx;
                m2 = m2 + (xx * xx);
            }
        }
        m1 = m1/16.0;
        m2 = m2/16.0;
        sigma = sqrt(m2 - m1*m1);

        /*
         * conta "q", o numero de pixels >= "media" ,
         * entao calcule a e b
         */
        q = 0;
        for (n=0; n<N; ++n) {
            for (k=0; k<N; ++k) {
                if ((double)img[i+n][j+k] >= m1) q++;
            }
        }
        if (q == 16) {
            media = (byte) (m1+0.5);
            a = b = media;          /* todos os pixels sao iguais */
        }
        else {
            d = sqrt((double)q / (16.0-q));
            aa = m1 - sigma*d;
            bb = m1 + sigma/d;
            if (aa < 0.0) aa = 0.0;
            if (bb > 255.0) bb = 255.0;
        }
    }
}
```

```
    media = (byte) (m1+0.5);
    a = (byte) (aa+0.5);
    b = (byte) (bb+0.5);
}
code = 0;                                /* clear bits */
l = 0;
for (n=0; n<N; ++n) {
    for (k=0; k<N; ++k) {
        if (img[i+n][j+k] >= media)
            code = code | (1<<l);
        ++l;
    }
}
putchar(a);
putchar(b);
putchar(code & 0xff);    /* LSB primeiro */
putchar(code >> 8);     /* MSB depois */
}
}

return 0;
}
```

Para usar o programa `btc`:

```
btc <arquivo.pgm >arquivo.btc
```

Onde `arquivo.pgm` é o arquivo formato `.pgm` a ser comprimido e `arquivo.btc` é o arquivo comprimido usando BTC.

Listagem do programa ubtc.c:

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

/*
 * BTC - Block Truncation Compression este programa usa
 * blocos de 4x4 para calcular estatisticas basicas, e
 * sai um arquivo contendo 2 parametros e um
 * mapa de bits (2 bytes)
 */

typedef unsigned char byte;

#define N 4

byte **img;

main(argc, argv)
int argc;
char *argv[];
{
    int n, i, j, k, l;
    int x, y;
    int q, max;
    double xx;
    double m1,m2,sigma;
    double aa,bb;
    double d;
    char buf[1024];
    byte a, b, media;
    unsigned int code;

    /* ler a matriz de entrada */
    fgets(buf, 512, stdin);
    if (buf[0] != 't' || buf[1] != 'P' || buf[2] != '3') {
        fprintf(stderr, "arquivo nao e' tipo tP3\n");
        exit(1);
    }
    printf("P5\n");
    fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
    fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
    sscanf(buf, "%d %d", &y, &x);

    /* criar a matriz de dados img */
    if ((img = (byte **) calloc(sizeof(byte *), x)) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para *img\n");
        exit(2);
    }
}
```



```
}

for (i = 0; i < x; ++i) {
    /* alocar a matriz */
    if ((img[i] = (byte *) calloc(sizeof(byte), y)) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para img\n");
        exit(2);
    }
}

max = 0;
for (i=0; i<x; i+=N) {
    for (j=0; j<y; j+=N) {
        a = getchar();
        b = getchar();
        code = getchar(); /* LSB primeiro */
        code = getchar() << 8 | code; /* MSB depois */
        l = 0;
        for (n=0; n<N; ++n) {
            for (k=0; k<N; ++k) {
                if (code & (1 << l))
                    img[i+n][j+k] = b;
                else
                    img[i+n][j+k] = a;
                if (img[i+n][j+k] > max) max = img[i+n][j+k];
                ++l;
            }
        }
    }
}

/* gravar a imagem de volta */
printf("%d\n", max);
for (i = 0; i < x; ++i) {
    for (j=0; j<y; ++j) {
        putchar(img[i][j]);
    }
}

return 0;
}
```

Para usar o descompressor `ubtc`:

`ubtc <artquivo.btc >arquivo.pgm`

Onde `arquivo.btc` é o arquivo já comprimido pelo programa `btc`. `Arquivo.pgm` é o arquivo saída formato `.pgm`.

Apêndice E

Listagem de c4c.c:

```
#include <stdio.h>
#include <malloc.h>
#include <math.h>

#define ROUND(x) ((int) (((x) < 0)? (x) - 0.5 : (x) + 0.5))
#define N 4

double c[N][N] = {
    1.00000, 1.00000, 1.00000, 1.00000,
    0.92388, 0.38268, -0.38268, -0.92388,
    0.70711, -0.70711, -0.70711, 0.70711,
    0.38268, -0.92388, 0.92388, -0.38268
};

double c1[N][N]; matriz C1
double ct[N][N]; /* C transposta */ matriz C+
double aux[N][N]; matriz aux
typedef unsigned char byte;

int dct[N][N]; matriz DCT

byte **img;
byte out[4]; matriz Matriz Renda

byte pack(a, b, c)
int a, b, c;
{
    byte x;

    if (a > 3) a = 3;
    if (a < -4) a = -4;
    if (b > 3) b = 3;
    if (b < -4) b = -4;
    if (c > 1) c = 1;
    if (c < -2) c = -2;
    x = ((byte) (((a & 0x07) << 5) |
        ((b & 0x07) << 2) | c & 0x03));
    return x;
}

main()
{
    int n, i, j, u, m, k;
    int x, y;
    double xx;
    byte buf[1024];
```

```

/* ler a matriz de entrada */
fgets(buf, 512, stdin);
if (buf[0] != 'P' || buf[1] != '5') {
    fprintf(stderr, "Arquivo de entrada nao esta no formato PGM\n");
    exit(1);
}

printf("tP1\n");
fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
sscanf(buf, "%d %d", &y, &x);
fgets(buf, 512, stdin);

/* criar a matriz de dados img */
if ((img = (byte **) calloc(sizeof(byte *), x)) == NULL) {
    fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para *img\n");
    exit(2);
}

for (i = 0; i < x; ++i) {
    /* alocar a matriz e le-la */
    if ((img[i] = (byte *) calloc(sizeof(byte), y)) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para img\n");
        exit(2);
    }
    for (j=0; j<y; ++j) {
        img[i][j] = getchar(); o mesmo vale
    }
}

/* divide por N */
for (i=0; i<N; ++i) {
    for (j=0; j<N; ++j) {
        c1[i][j] = c[i][j] / ((double) N);
    }
}

/* cria CTransposta */
for (i=0; i<N; ++i) {
    for (j=0; j<N; ++j) {
        ct[i][j] = c1[j][i];
    }
}

for (i=0; i<x; i+=N) {
    for (j=0; j<y; j+=N) {
        /* multiplica matriz f * ct */
        for (u=0; u<N; ++u) {
            for (m=0; m<N; ++m) {
                xx = 0.0;
                for (k=0; k<N; ++k) {
                    xx += (((double) img[i+u][j+k]) *

```

```

        ct[k][m]);
    }
    aux[u][m] = xx;
}
}
/* multiplica matriz c1 * aux */
for (u=0; u<N; ++u) {
    for(m=0; m<N; ++m) {
        xx = 0.0;
        for (k=0; k<N; ++k) {
            xx += (c1[u][k] * aux[k][m]);
        }
        dct[u][m] = ROUND(xx);
    }
}
out[0] = (byte) dct[0][0];
out[1] = pack(dct[0][1], dct[0][2], dct[0][3]);
out[2] = pack(dct[1][0], dct[2][0], dct[3][0]);
out[3] = pack(dct[1][2], dct[2][1], dct[1][1]);
putchar(out[0]);
putchar(out[1]);
putchar(out[2]);
putchar(out[3]);
}
}
}

```

Para usar o programa **c4c**:

```
c4c <arquivo.pgm >arquivo.c4c
```

Onde **arquivo.pgm** é o arquivo formato .pgm a ser comprimido e **arquivo.c4c** é o arquivo comprimido usando DCT 4*4.

Listagem do programa c4u.c:

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

#define ROUND(x) ((int) (((x) < 0)? (x) - 0.5 : (x) + 0.5))
#define N 4

double c[N][N] = {
    1.00000, 1.00000, 1.00000, 1.00000,
    0.92388, 0.38268, -0.38268, -0.92388,
    0.70711, -0.70711, -0.70711, 0.70711,
    0.38268, -0.92388, 0.92388, -0.38268
};

double c2[N][N];
double ct2[N][N]; /* C transposta */
double aux[N][N];
typedef unsigned char byte;

int dct[N][N];

byte **img;
byte in[4];

int unpack1(a)
byte a;
{
    int b;
    b = (a >> 5) & 0x07; /* apenas os 3 ultimos bits */
    if (b > 3) b = b - 8;
    return (b);
}

int unpack2(a)
byte a;
{
    int b;
    b = (a >> 2) & 0x07;
    if (b > 3) b = b - 8;
    return (b);
}

int unpack3(a)
byte a;
{
    int b;
    b = a & 0x03; /* apenas os 2 primeiros bits */
    if (b > 1) b = b - 4;
    return (b);
}
```

```
}

main()
{
    int n, i, j, u, m, k;
    int x, y;
    int max;
    double xx;
    byte buf[1024];
    byte nn;

    /* ler a matriz de entrada */
    fgets(buf, 512, stdin);
    if (buf[0] != 't' || buf[1] != 'P' || buf[2] != '1') {
        fprintf(stderr, "Arquivo de entrada nao esta no formato tP1\n");
        exit(1);
    }
    printf("P5\n");
    fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
    fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
    sscanf(buf, "%d %d", &y, &x);

    /* criar a matriz de dados img */
    if ((img = (byte **) calloc(sizeof(byte *), x)) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para *img\n");
        exit(2);
    }
    for (i=0; i<x; ++i) {
        /* alocar a matriz e le-la */
        if ((img[i] = (byte *) calloc(sizeof(byte), y)) == NULL) {
            fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para img\n");
            exit(2);
        }
    }

    max = 0;
    /* divide por N */
    for (i=0; i<N; ++i) {
        for (j=0; j<N; ++j) {
            if (i > 0)
                c2[i][j] = 2.0 * c[i][j];
            else
                c2[i][j] = c[i][j];
        }
    }

    /* cria CTransposta */
    for (i=0; i<N; ++i) {
        for (j=0; j<N; ++j) {
            ct2[i][j] = c2[j][i];
            dct[i][j] = 0;
        }
    }
}
```

```
}
for (i=0; i<x; i+=N) {
  for (j=0; j<y; j+=N) {
    /* pegar matriz NxN da matriz imagem */
    in[0] = getchar();
    in[1] = getchar();
    in[2] = getchar();
    in[3] = getchar();
    /* criar matriz de dct a partir dos dados lidos */
    dct[0][0] = in[0];
    dct[0][1] = unpack1(in[1]);
    dct[0][2] = unpack2(in[1]);
    dct[0][3] = unpack3(in[1]);
    dct[1][0] = unpack1(in[2]);
    dct[2][0] = unpack2(in[2]);
    dct[3][0] = unpack3(in[2]);
    dct[1][2] = unpack1(in[3]);
    dct[2][1] = unpack2(in[3]);
    dct[1][1] = unpack3(in[3]);
    /* inversa do dct */
    /* multiplica matriz dct * c2 */
    for (u=0; u<N; ++u) {
      for(m=0; m<N; ++m) {
        xx = 0.0;
        for (k=0; k<N; ++k) {
          xx += (((double) dct[u][k]) *
                c2[k][m]);
        }
        aux[u][m] = xx;
      }
    }
    /* multiplica matriz ct2 * aux */
    for (u=0; u<N; ++u) {
      for(m=0; m<N; ++m) {
        xx = 0.0;
        for (k=0; k<N; ++k) {
          xx += (ct2[u][k] * aux[k][m]);
        }
        if (xx < 0.0) xx = 0.0;
        if (xx > 255.0) xx = 255.0;
        nn = ROUND(xx);
        img[i+u][j+m] = nn;
        if (nn > max) max = nn;
      }
    }
  }
}
printf("%d\n", max);
for (i=0; i<x; ++i) {
  for (j=0; j<y; ++j) {
    putchar(img[i][j]);
  }
}
```


}

}

Para usar o descompressor **c4u**:

c4u <artquivo.c4c >arquivo.pgm

Onde **arquivo.c4c** é o arquivo já comprimido pelo programa **c4c**. **Arquivo.pgm** é o arquivo saída formato .pgm.

Apêndice F

Listagem de c8c.c:

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

#define ROUND(x) ((int) (((x) < 0)? (x) - 0.5 : (x) + 0.5))
#define N      8

double c[N][N] = {
    1.00000,  1.00000,  1.00000,  1.00000,  1.00000,
    1.00000,  1.00000,  1.00000,  1.00000,  1.00000,
    0.98079,  0.83147,  0.55557,  0.19509, -0.19509,
    -0.55557, -0.83147, -0.98079,
    0.92388,  0.38268, -0.38268, -0.92388, -0.92388,
    -0.38268,  0.38268,  0.92388,
    0.83147, -0.19509, -0.98079, -0.55557,  0.55557,
    0.98079,  0.19509, -0.83147,
    0.70711, -0.70711, -0.70711,  0.70711,  0.70711,
    -0.70711, -0.70711,  0.70711,
    0.55557, -0.98079,  0.19509,  0.83147, -0.83147,
    -0.19509,  0.98079, -0.55557,
    0.38268, -0.92388,  0.92388, -0.38268, -0.38268,
    0.92388, -0.92388,  0.38268,
    0.19509, -0.55557,  0.83147, -0.98079,  0.98079,
    -0.83147,  0.55557, -0.19509
};

double c1[N][N];
double ct[N][N]; /* C transposta */
double aux[N][N];
typedef unsigned char byte;

int dct[N][N];

byte **img;
byte out[N*N];

byte pack(a, b)
int a, b;
{
    byte x;

    if (a > 7) a = 7;
    if (a < -8) a = -8;
    if (b > 7) b = 7;
    if (b < -8) b = -8;
    x = ((byte) (((a & 0x0f) << 4) | (b & 0x0f)));
    return x;
}
```

```
}

main()
{
    int n, i, j, u, m, k;
    int x, y;
    double xx;
    byte buf[1024];

    /* ler a matriz de entrada */
    fgets(buf, 512, stdin);
    if (buf[0] != 'P' || buf[1] != '5') {
        fprintf(stderr, "Arquivo de entrada nao esta no formato PGM\n");
        exit(1);
    }
    printf("tP2\n");
    fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
    fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
    sscanf(buf, "%d %d", &y, &x);
    fgets(buf, 512, stdin);

    /* criar a matriz de dados img */
    if ((img = (byte **) calloc(sizeof(byte *), x)) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para *img\n");
        exit(2);
    }

    for (i = 0; i < x; ++i) {
        /* alocar a matriz e le-la */
        if ((img[i] = (byte *) calloc(sizeof(byte), y)) == NULL) {
            fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para img\n");
            exit(2);
        }
        for (j=0; j < y; ++j) {
            img[i][j] = getchar();
        }
    }

    /* divide por N */
    for (i=0; i < N; ++i) {
        for (j=0; j < N; ++j) {
            cl[i][j] = c[i][j] / ((double) N);
        }
    }

    /* cria CTransposta */
    for (i=0; i < N; ++i) {
        for (j=0; j < N; ++j) {
            ct[i][j] = cl[j][i];
        }
    }
}
```

```

for (i=0; i<x; i+=N) {
  for (j=0; j<y; j+=N) {
    /* multiplica matriz f * ct */
    for (u=0; u<N; ++u) {
      for(m=0; m<N; ++m) {
        xx = 0.0;
        for (k=0; k<N; ++k) {
          xx += (((double) img[i+u][j+k]) *
                ct[k][m]);
        }
        aux[u][m] = xx;
      }
    }
    /* multiplica matriz c1 * aux */
    for (u=0; u<N; ++u) {
      for(m=0; m<N; ++m) {
        xx = 0.0;
        for (k=0; k<N; ++k) {
          xx += (c1[u][k] * aux[k][m]);
        }
        dct[u][m] = ROUND(xx);
      }
    }
    out[0] = (byte)  dct[0][0];
    out[1] = (byte)  dct[0][1];
    out[2] = pack(dct[0][2]/3, dct[0][3]/3);
    out[3] = pack(dct[0][4]/2, dct[0][5]/2);
    out[4] = pack(dct[0][6],  dct[0][7]);
    out[5] = (byte)  dct[1][0];
    out[6] = (byte)  dct[1][1];
    out[7] = pack(dct[1][2]/2, dct[1][3]);
    out[8] = pack(dct[1][4],  dct[1][5]);
    out[9] = pack(dct[2][0]/3, dct[2][1]/2);
    out[10] = pack(dct[2][2]/2, dct[2][3]);
    out[11] = pack(dct[3][0]/3, dct[3][1]);
    out[12] = pack(dct[3][2],  dct[3][3]);
    out[13] = pack(dct[4][0]/2, dct[4][1]);
    out[14] = pack(dct[5][0]/2, dct[5][1]);
    out[15] = pack(dct[6][0],  dct[7][0]);
    for (n=0; n<16;++n)
      putchar(out[n]);
  }
}

```

Para usar o programa **c8c**:

c8c <arquivo.pgm >arquivo.c8c

Onde **arquivo.pgm** é o arquivo formato .pgm a ser comprimido e **arquivo.c8c** é o arquivo comprimido usando DCT 8*8.

Listagem do programa c8u.c:

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

#define ROUND(x) ((int) (((x) < 0)? (x) - 0.5 : (x) + 0.5))
#define N      8

double c[N][N] = {
    1.00000, 1.00000, 1.00000, 1.00000, 1.00000,
        1.00000, 1.00000, 1.00000,
    0.98079, 0.83147, 0.55557, 0.19509, -0.19509,
        -0.55557, -0.83147, -0.98079,
    0.92388, 0.38268, -0.38268, -0.92388, -0.92388,
        -0.38268, 0.38268, 0.92388,
    0.83147, -0.19509, -0.98079, -0.55557, 0.55557,
        0.98079, 0.19509, -0.83147,
    0.70711, -0.70711, -0.70711, 0.70711, 0.70711,
        -0.70711, -0.70711, 0.70711,
    0.55557, -0.98079, 0.19509, 0.83147, -0.83147,
        -0.19509, 0.98079, -0.55557,
    0.38268, -0.92388, 0.92388, -0.38268, -0.38268,
        0.92388, -0.92388, 0.38268,
    0.19509, -0.55557, 0.83147, -0.98079, 0.98079,
        -0.83147, 0.55557, -0.19509
};

double c2[N][N];
double ct2[N][N]; /* C transposta */
double aux[N][N];
typedef unsigned char byte;

int dct[N][N];

byte **img;
byte in[16];

int unpack(a)
byte a;
{
    int b;
    b = a & 0x0f;
    if (b > 7) b = b - 16;
    return (b);
}

main()
{
    int n, i, j, u, m, k;
    int x, y;
```

```
int max;
double xx;
byte buf[1024];
byte nn;

/* ler a matriz de entrada */
fgets(buf, 512, stdin);
if (buf[0] != 't' || buf[1] != 'P' || buf[2] != '2') {
    printf("Arquivo de entrada nao esta no formato tP2\n");
    exit(1);
}
printf("P5\n");
fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
fgets(buf, 512, stdin);    printf("%s", buf);
sscanf(buf, "%d %d", &y, &x);

/* criar a matriz de dados img */
if ((img = (byte **) calloc(sizeof(byte *), x)) == NULL) {
    fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para *img\n");
    exit(2);
}

for (i=0; i<x; ++i) {
    /* alocar a matriz e le-la */
    if ((img[i] = (byte *) calloc(sizeof(byte), y)) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Nao consegui alocar memoria para img\n");
        exit(2);
    }
}

max = 0;
/* divide por N */
for (i=0; i<N; ++i) {
    for (j=0; j<N; ++j) {
        if (i > 0)
            c2[i][j] = 2.0 * c[i][j];
        else
            c2[i][j] = c[i][j];
    }
}

/* cria CTransposta */
for (i=0; i<N; ++i) {
    for (j=0; j<N; ++j) {
        ct2[i][j] = c2[j][i];
        dct[i][j] = 0;
    }
}

for (i=0; i<x; i+=N) {
```

```

for (j=0; j<y; j+=N) {
    /* pegar matriz NxN da matriz imagem */
    for (n=0; n<16;++n)
        in[n] = getchar();
    /* criar matriz de dct a partir dos dados lidos */
    dct[0][0] = in[0];
    dct[0][1] = (char) in[1];
    dct[0][2] = 3 * unpack(in[2] >> 4);
    dct[0][3] = 3 * unpack(in[2]);
    dct[0][4] = 2 * unpack(in[3]>>4);
    dct[0][5] = 2 * unpack(in[3]);
    dct[0][6] = unpack(in[4]>>4);
    dct[0][7] = unpack(in[4]);

    dct[1][0] = (char) in[5];
    dct[1][1] = (char) in[6];

    dct[1][2] = 2 * unpack(in[7]>>4);
    dct[1][3] = unpack(in[7]);
    dct[1][4] = unpack(in[8]>>4);
    dct[1][5] = unpack(in[8]);

    dct[2][0] = 3 * unpack(in[9] >> 4);
    dct[2][1] = 2 * unpack(in[9]);
    dct[2][2] = 2 * unpack(in[10] >> 4);
    dct[2][3] = unpack(in[10]);

    dct[3][0] = 3 * unpack(in[11]>>4);
    dct[3][1] = unpack(in[11]);
    dct[3][2] = unpack(in[12]>>4);
    dct[3][3] = unpack(in[12]);

    dct[4][0] = 2 * unpack(in[13] >> 4);
    dct[4][1] = unpack(in[13]);
    dct[5][0] = 2 * unpack(in[14]>>4);
    dct[5][1] = unpack(in[14]);
    dct[6][0] = unpack(in[15]>>4);
    dct[7][0] = unpack(in[15]);
    /* inversa do dct */
    /* multiplica matriz dct * c2 */
    for (u=0; u<N; ++u) {
        for (m=0; m<N; ++m) {
            xx = 0.0;
            for (k=0; k<N; ++k) {
                xx += (((double) dct[u][k]) *
                    c2[k][m]);
            }
            aux[u][m] = xx;
        }
    }
    /* multiplica matriz ct2 * aux */
    for (u=0; u<N; ++u) {

```



```
for(m=0; m<N; ++m) {
    xx = 0.0;
    for (k=0; k<N; ++k) {
        xx += (ct2[u][k] * aux[k][m]);
    }
    if (xx < 0.0) xx = 0.0;
    if (xx > 255.0) xx = 255.0;
    nn = ROUND(xx);
    img[i+u][j+m] = nn;
    if (nn > max) max = nn;
}
}
}
}
/* gravar o nivel de cinza e os dados da matriz */
printf("%d\n", max);
for (i=0; i<x; ++i) {
    for (j=0; j<y; ++j) {
        putchar(img[i][j]);
    }
}
}
```

Para usar o descompressor **c8u**:

```
c8u <artquivo.c8c >arquivo.pgm
```

Onde **arquivo.c8c** é o arquivo já comprimido pelo programa **c8c**. **Arquivo.pgm** é o arquivo saída formato .pgm.

Apêndice G

Listagem de mse.c:

```
#include <stdio.h>

/*
 * Programa para calcular o desvio entre duas imagens.
 * O desvio e' * definido como sendo a soma dos quadrados
 * da diferenca de duas imagens dividido por N*M.
 *
 * Autor: Carlos paniago
 */

main(argc, argv)
int argc;
char *argv[];
{
    FILE *fin, *fin2;
    int b, c, d, i, j, n;
    int x, y, x1, y1;
    double mse;
    char buf[512];

    if (argc != 3) {
        fprintf(stderr, "Usage: %s arquivo1 arquivo2\n", argv[0]);
        exit(1);
    }

    if ((fin = fopen(argv[1], "r")) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Arquivo <%s> deve existir\n", argv[1]);
        exit(2);
    }

    if ((fin2 = fopen(argv[2], "r")) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Arquivo <%s> deve existir\n", argv[2]);
        exit(2);
    }

    fgets(buf, 512, fin); /* ler P5 */
    if (buf[0] != 'P' || buf[1] != '5') {
        fprintf(stderr, "Arquivo de entrada nao esta no formato PGM\n");
        exit(1);
    }

    fgets(buf, 512, fin); /* ler comentario */
    fgets(buf, 512, fin); /* ler y x */
    sscanf(buf, "%d %d", &y, &x);
    fgets(buf, 512, fin); /* ler maxz */
}
```

```
fgets(buf, 512, fin2); /* ler P5 */
if (buf[0] != 'P' || buf[1] != '5') {
    fprintf(stderr, "Arquivo de entrada nao esta no formato PGM\n");
    exit(1);
}
fgets(buf, 512, fin2); /* ler comentario
fgets(buf, 512, fin2); /* ler y x */
sscanf(buf, "%d %d", &y1, &x1);
fgets(buf, 512, fin2); /* ler maxz */

if (x != x1) {
    fprintf(stderr, "Arquivo %s -> %d linhas. %s -> %d linhas\n",
        argv[1], x, argv[2], x1);
    exit(1);
}

if (y != y1) {
    fprintf(stderr, "Arquivo %s -> %d colunas. %s -> %d colunas\n",
        argv[1], y, argv[2], y1);
    exit(1);
}

mse = 0.0;
n = 0;
while ((c = getc(fin)) != EOF) {
    d = getc(fin2);
    b = (c - d);
    mse += ((double) b*b);
    ++n;
}
mse /= ((double) n);
printf("MSE dos arquivos %s - %s = %.3f\n",
    argv[1], argv[2], mse);

fclose(fin);
fclose(fin2);
}
```

Para usar o programa **mse**:

mse arquivo1.pgm arquivo2.pgm

Onde ***arquivo1.pgm*** é o arquivo formato ***.pgm*** a ser comparado com a ***arquivo2.pgm*** o Resultado é impresso dizendo o nome dos arquivos e o valor do MSE.