



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0504835-4 B1



* B R P I 0 5 0 4 8 3 5 B 1 *

(22) Data do Depósito: 29/11/2005

(45) Data de Concessão: 26/12/2018

(54) Título: ORDEM DE VARREDURA DOS COEFICIENTES ADAPTATIVOS

(51) Int.Cl.: H04N 19/129; H04N 19/13; H04N 19/136; H04N 19/18; H04N 19/60.

(52) CPC: H04N 19/129; H04N 19/13; H04N 19/136; H04N 19/18; H04N 19/60.

(30) Prioridade Unionista: 31/12/2004 US 11/026,650.

(73) Titular(es): MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING, LLC.

(72) Inventor(es): SRIDHAR SRINIVASAN.

(57) Resumo: "ORDEM DE VARREDURA DOS COEFICIENTES ADAPTATIVOS". Um codec de mídias digitais reorganiza uma ordem de varredura dos coeficientes da transformada, de acordo com a estatística local das mídias digitais, de forma que os coeficientes possam ser codificados de modo mais eficiente usando codificação de entropia. A seqüenciação de varredura adaptada é aplicada de forma causal na codificação e decodificação, para evitar a sinalização explícita da ordem de varredura para o decodificador no fluxo de mídias digitais comprimidas. Para eficiência computacional, a ordem de varredura adaptada reorganiza a ordem de varredura, aplicando uma operação de troca condicional em locais de coeficientes ordenados de modo adjacente através de uma única movimentação da ordem de varredura por atualização da análise estatística.

"ORDEM DE VARREDURA DOS COEFICIENTES ADAPTATIVOS"

Área Técnica

A invenção refere-se, de um modo geral, a compressão de mídias digitais (por exemplo, vídeo e imagem) baseadas em transformada de blocos. 5

Antecedentes da Invenção

Panorama da Codificação Baseada em Transformada de Blocos

Codificação por transformada é uma técnica de compressão usada em muitos sistemas compressores de áudio, imagem e vídeo. Imagem e vídeo digitais não-comprimidos são tipicamente representados ou capturados como amostras de cores ou elementos de imagem em locais em um quadro de imagem ou vídeo disposto em uma grade bidimensional (2D). Isto é denominado de representação de domínio espacial da imagem ou vídeo. Por exemplo, um formato típico para imagens consiste de um fluxo de amostras de elementos de imagem colorida de 24 bits, disposto como uma grade. Cada amostra é um número representando componentes coloridos em uma área de pixels na grade dentro de um espaço colorido, tal como RGB, ou YIQ, dentre outros. Vários sistemas de imagem e vídeo podem usar várias resoluções de amostragem de cores, espaciais e de tempo distintas. Da mesma forma, áudio digital é tipicamente representado, como fluxo de sinais de áudio amostrados por tempo. Por exemplo, um formato típico de áudio consiste de um fluxo de amostras de sinal de áudio com amplitude de 16 bits, captadas em intervalos regulares de tempo. 10
15
20
25

Sinais digitais de áudio, imagem e vídeo não-

comprimidos podem consumir considerável capacidade de armazenamento e transmissão. Codificação por transformada reduz o tamanho do áudio, imagens e vídeo digitais, transformando a representação de domínio espacial do sinal em uma representação de domínio da frequência (ou outro domínio da transformada semelhante) e, a seguir, reduzindo a resolução de certos componentes de frequência geralmente menos perceptíveis da representação de domínio da transformada. Isto geralmente produz uma degradação muito menos perceptível do sinal digital, comparado à redução da resolução de cores ou espacial de imagens ou vídeo no domínio espacial, ou de áudio no domínio do tempo.

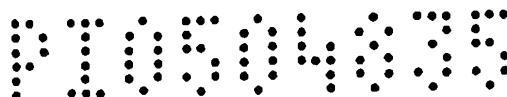
De modo particular, um codec (codificador/ decodificador) típico baseado em transformada de blocos 100 mostrado na Fig. 1 divide os pixels da imagem digital não-comprimida em blocos bidimensionais de tamanho fixo (X_1, \dots, X_n), cada bloco possivelmente se sobrepondo a outros blocos. Uma transformada linear 120-121, que possui análise de frequência espacial, é aplicada a cada bloco, que converte as amostras espaçadas dentro do bloco em um conjunto de coeficientes de frequência (ou transformada) representando geralmente a intensidade do sinal digital nas bandas de frequência correspondentes ao longo do intervalo dos blocos. Para compressão, os coeficientes de transformada podem ser seletivamente codificados 130 (isto é, tendo sua resolução reduzida, tal como por diminuição de bits menos significativos dos valores de coeficientes ou mapeando de outro modo os valores em um número de resolução mais alto definido para uma

56

menor resolução), e além disso codificados por entropia ou comprimento variável 130 em um fluxo de dados comprimidos. Na decodificação, os coeficientes de transformada serão inversamente transformados 170-171 para reconstruir aproximadamente o sinal de imagem/ vídeo original amostrado por cores/ espaço (blocos reconstruídos $\hat{X}_1 \dots \hat{X}_n$).

A transformada de blocos 120-121 pode ser definida como uma operação matemática em um vetor x de tamanho N . De maneira mais freqüente, a operação é uma multiplicação linear produzindo a saída de domínio da transformada $y = Mx$, M sendo a matriz da transformada. Quando os dados de entrada forem arbitrariamente longos, eles são segmentados em vetores de tamanho N , e uma transformada de blocos é aplicada a cada segmento. Para fins da compressão de dados, transformadas de blocos reversíveis são escolhidas. Em outras palavras, a matriz M pode ser invertida. Em dimensões múltiplas (por exemplo, para imagem e vídeo), transformadas de blocos são tipicamente implementadas como operações separáveis. A multiplicação matricial é aplicada separadamente ao longo de cada dimensão dos dados (isto é, linhas e colunas).

Para compressão, os coeficientes da transformada (componentes do vetor y) podem ser seletivamente quantificados (isto é, tendo sua resolução reduzida, tal como por diminuição dos bits menos significativos dos valores de coeficientes ou, de outra forma, mapeando valores em um número de resolução mais alta definido a uma resolução inferior), e também codificados por comprimento variável ou entropia em um fluxo de dados comprimidos.

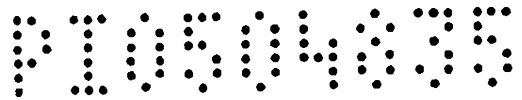


Na decodificação no decodificador 150, o inverso destas operações (decodificação de entropia/ dequantização 160 e transformada inversa de blocos 170-171) é aplicado no lado do decodificador 150, como mostrado na Fig. 1. Durante a reconstrução dos dados, a matriz inversa M^{-1} (transformada inversa 170-171) é aplicada como um multiplicador aos dados de domínio da transformada. Quando aplicado aos dados de domínio da transformada, a transformada inversa praticamente reconstrói a mídia digital original com domínio do tempo ou de domínio espacial.

A transformada usada pode ser simples preditivos/ corretivos do tipo DPCM, ou eles podem ser estruturas mais complicadas, tais como pulsos de ondas ou DCTs (Transformadas Co-seno Discretas). Os padrões normalmente usados JPEG/ MPEG2/ MPEG4, JPEG2000, e Windows Media Video (WMV) usam o DCT, pulso de ondas, e DCT integralizado respectivamente. Além disto, o WMV usa um operador de estabilização sobreposta, que fornece benefício visual e contra distorção da taxa para blocos e quadros internos. Um operador de estabilização sobreposta, em conjunto com a transformada de blocos, tenta simular uma transformada sobreposta do tipo descrito em H. S. Malvar, *Processamento de Sinais com Transformadas Sobrepostas*, Artech House, Boston, MA, 1992.

Padrões de Varredura de Coeficientes

Muitos codecs baseados em transformada de blocos, incluindo JPEG, MPEG2, MPEG4 e WMV, usam uma técnica de codificação por extensão de execução para codificar os coeficientes quantizados correspondentes a um bloco particular.



(Ver, por exemplo, W. B. Pennebaker e J. L. Mitchell, *JPEG: Padrão de Compressão de Imagens Estáticas*, Van Nostrand Reinhold, Nova York, 1993). A codificação por extensão de execução se processa pela varredura de um bloco de coeficientes da transformada quantificada, de acordo com um padrão predefinido. Um exemplo destes é um padrão de varredura em "ziguezague" contínuo mostrado na Fig. 3. Não existe nenhum requisito inerente, para que um padrão de varredura seja contínuo, embora um padrão de varredura similar em ziguezague contínuo seja amplamente usado no JPEG e MPEG2/4.

A técnica de codificação por extensão de execução explora a estatística da transformada subjacente. De modo característico, coeficientes maiores ocorrem na direção do valor "CC" (que é convencionalmente representado no canto esquerdo superior), e os coeficientes menores e menos frequentes ocorrem em maiores distâncias da CC. Por exemplo, é comum que a maioria dos coeficientes de transformada de um bloco de transformada tenham um valor de zero após a quantificação. Muitos padrões de varredura oferecem maior prioridade a coeficientes que têm maior possibilidade de possuir valores diferentes de zero. Em outras palavras, tais coeficientes são previamente explorados no padrão de varredura. Desta maneira, os coeficientes diferentes de zero têm maior possibilidade de serem agrupados entre si, seguidos por um ou mais grupos longos de coeficientes de valor zero. De modo particular, isto acarreta em uma última codificação de execução/ nível mais eficiente, mas outras formas de codificação de entropia também se beneficiam da reordenação.

Um sistema de compressão de vídeo que opta por um conjunto limitado de padrões de varredura estáticos ou pre-determinados, tais como dependendo das dimensões do bloco e de se a imagem se encontra em formato entrelaçado ou pro-gressivo, é descrito por Lin e outros, "Padrões de Varredura para Conteúdo de Vídeo Entrelaçado", Pedido de Patente U.S. N° 10/989.844, depositado em 15/11/2004; e Liang e outros, "Padrões de Varredura para Conteúdo de Vídeo Progressivo", Pedido de Patente U.S. N° 10/989.594, também depositado em 15/11/2004.

Sumário da Invenção

Desafio com Padrões de Varredura de Coeficientes Predeterminados dos Codecs Existentes

Observamos que o padrão de possíveis coeficientes em um bloco de transformada apresenta um certo tipo de dependência de dados locais. Por exemplo, em regiões texturizadas de uma imagem, que podem se estender por diversos blocos nas dimensões horizontal e vertical, os coeficientes ocorrem, conforme previsto. Porém, em regiões da imagem com fortes características verticais ou horizontais, os coeficientes ao longo do eixo geométrico correspondente são mais prováveis. Assim, o padrão de varredura que é ideal (no sentido de reduzir o número de bits usados) para regiões texturizadas nem sempre é ideal para regiões com características lineares.

Além disto, o uso de transformadas sobrepostas afeta ainda mais a condição ideal do padrão de varredura. Quando uma transformada sobreposta é implementada como um

pré-filtro, seguida por uma transformada de blocos, descontinuidades na imagem original são acentuadas pelo pré-filtro. Assim, os coeficientes da transformada apresentam uma maior variância e, além disto, as maiores freqüências ocorrem com uma intensidade maior. Na verdade, é muitas vezes observado que a maior freqüência 2D (que é o coeficiente da transformada que se situa no lado inferior direito do bloco de coeficientes de muitas transformadas) não é mais o menos provável.

10 Existe uma terceira razão para a falta da condição ideal de uma determinada ordem de varredura para uma faixa de blocos de imagem. Ela é baseada na eficiência variável da "previsão CCCA". Previsão CCCA é uma ferramenta de codificação que é usada para minimizar a ocorrência e/ou amplitude dos coeficientes "CCCA", que são CC em qualquer uma das dimensões X ou Y, e CA na outra. Esses são coeficientes se situando ao longo dos eixos geométricos. Para regiões fortemente lineares, os coeficientes CCCA podem ser previstos com um maior grau de confiança, do que para regiões aleatoriamente texturizadas. Assim, a melhor ordem de varredura não é apenas dependente dos dados subjacentes, mas também é influenciada pela qualidade de previsão dos dados subjacentes com seus coeficientes CCCA.

Ordem de Varredura dos Coeficientes Adaptativos

25 Este desafio é enfrentado por uma técnica de ordenamento da varredura de coeficientes adaptativos aqui descrita, que combina com eficiência a ordem de varredura dos coeficientes de blocos com a estatística local da imagem.

63

Implementações descritas nessa técnica são muito eficientes em termos de computação, e possuem uma latência mínima, que é um benefício significativo para os codecs de imagem e vídeo, onde a velocidade é crítica. Além disto, a implementação da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos "aprende" a estatística do que é causalmente encontrado pelo codificador e decodificador; assim, não existe nenhuma sinalização ou utilização de bits adicionais no fluxo de bits comprimidos para enviar informações laterais ao decodificador.

Características e vantagens adicionais da invenção tornar-se-ão obvias a partir da descrição detalhada das modalidades a seguir, que são apresentadas com referência aos desenhos anexos.

15 Breve Descrição dos Desenhos

A Fig. 1 é um diagrama de blocos de um codec convencional baseado em transformada de blocos da técnica anterior.

20 A Fig. 2 é um diagrama de blocos de uma transformada sobreposta de domínio espacial, implementada como operações de pré ou pós-processamento em combinação com o codec baseado em transformada de blocos da Fig. 1, também da técnica anterior.

25 A Fig. 3 é um diagrama ilustrando uma ordem de varredura de coeficientes usando um padrão de varredura em ziguezague contínuo da técnica anterior.

A Fig. 4 é um fluxograma de um codificador baseado em uma transformada sobreposta, utilizando um operador de

sobreposição reversível.

A Fig. 5 é um fluxograma de um decodificador baseado na transformada sobreposta.

A Fig. 6 é um fluxograma de um procedimento para adaptação da ordem de varredura dos coeficientes no codificador da Fig. 4 e decodificador da Fig. 5.

A Fig. 7 é um diagrama ilustrando uma ordem de varredura inicial de coeficientes horizontais para o procedimento da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos da Fig. 6.

A Fig. 8 é um diagrama ilustrando uma ordem de varredura inicial dos coeficientes verticais para o procedimento da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos da Fig. 6.

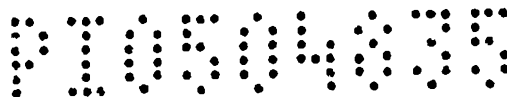
A Fig. 9 é um diagrama ilustrando um exemplo de uma ordem inicializada e de matrizes de totais usadas no procedimento da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos da Fig. 6 para rastrear a incidência de valores diferentes de zero para os coeficientes e ordem de varredura correspondente.

A Fig. 10 é um diagrama ilustrando um exemplo de um caso, onde elementos das matrizes da Fig. 9 são permutados pelo procedimento da Fig. 6 para reorganizar a ordem de varredura dos coeficientes.

A Fig. 11 é um diagrama ilustrando um arranjo resultante de elementos das matrizes da Fig. 9, após a operação de permuta dos elementos mostrada na Fig. 10.

A Fig. 12 é um diagrama ilustrando uma ordem de

65



varredura resultante, correspondente ao arranjo mostrado na Fig. 11 para elementos das matrizes da Fig. 9, após a operação de permuta dos elementos, mostrada na Fig. 10.

A Fig. 13 é um diagrama de blocos de um ambiente de computação adequado para implementar o codec baseado em transformada de blocos, com transformada sobreposta de domínio espacial aperfeiçoada das Figs. 4 e 5.

Descrição Detalhada

A descrição a seguir se refere a um sistema ou codec de compressão de mídias digitais, que utiliza uma técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos. Para fins de ilustração, uma modalidade de um sistema de compressão incorporando a técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos é um sistema de compressão de imagem ou vídeo. De modo alternativo, o operador de sobreposição reversível pode ser também incorporado aos sistemas ou codecs de compressão para outros dados 2D ou mídias digitais. A técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos não requer que o sistema de compressão de mídias digitais codifique os dados de mídias digitais comprimidos em um formato de codificação particular.

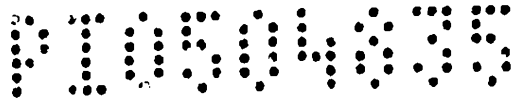
1. Codificador/ Decodificador

As Figs. 4 e 5 são um diagrama geral dos processos empregados em um codificador 400 e decodificador 500 de dados bidimensionais (2D) representativos, baseados em uma transformada sobreposta, e usando a ordem de varredura dos coeficientes adaptativos, descrita em detalhes abaixo. Os diagramas apresentam uma ilustração geral ou simplificada do

66

uso e aplicação desta técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos em um sistema de compressão incorporando o codificador e decodificador de dados 2D. Em codificadores alternativos, onde a técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos é incorporada, processos adicionais ou em menor quantidade, que aqueles ilustrados nesse codificador e decodificador representativo, podem ser usados para a compressão de dados 2D. Por exemplo, alguns codificadores/ decodificadores podem ainda incluir conversão de cores, formatos de cores, codificação escalonável, codificação sem perdas, modos de macrobloco etc.. O sistema de compressão (codificador e decodificador) pode propiciar compressão com e/ou sem perdas dos dados 2D, dependendo da quantização, que pode ser baseada em um parâmetro de quantização variando de sem perdas para com perdas.

O codificador de dados 2D 400 produz um fluxo de bits comprimidos 420, que é uma representação mais compacta (para entrada típica) de dados 2D 410, apresentada como entrada ao codificador. Por exemplo, a entrada de dados 2D pode ser uma imagem, um quadro de uma seqüência de vídeo, ou outros dados tendo duas dimensões. O codificador de dados 2D coloca lado a lado 430 os dados de entrada em macroblocos, que são de 16 x 16 pixels em tamanho nesse codificador representativo. O codificador de dados 2D ainda coloca lado a lado cada macrobloco em 4 x 4 blocos 432. Um operador de "sobreposição de avanço" 440 é aplicado a cada borda entre os blocos, após o que cada bloco de 4 x 4 é transformado, usando-se uma transformada de blocos 450. Essa transformada



de blocos 450 pode ser a transformada 2D reversível, sem es-
cala, descrita por Srinivasan, "Transformada Reversível A-
perfeiçoada para Compressão de Dados 2-D com e sem Perdas",
Pedido de Patente U.S., depositado em 17/12/2004, cuja di-
5 vulgação é aqui incorporada para fins de referência. O ope-
rador de sobreposição pode ser o operador de sobreposição
reversível descrito por Tu e outros, "Operador de Sobreposi-
ção Reversível para a Compressão Eficiente de Dados sem Per-
das", Pedido de Patente U.S., também depositado em
10 17/12/2004, cuja divulgação é aqui incorporada como referên-
cia. De modo alternativo, a transformada de co-seno discreta
ou outras transformadas de blocos, transformadas sobrepostas
e operadores de sobreposição podem ser usados. Subseqüente à
transformada, o coeficiente CC 460 de cada bloco de trans-
15 formada está sujeito a uma cadeia de processamento similar
(colocação lado a lado, sobreposição de avanço, seguida por
transformada de blocos 4 x 4). Os coeficientes de transfor-
mada CC resultantes e os coeficientes de transformada CA são
quantizados 470, codificados por entropia 480 e empacotados
20 490.

O decodificador executa o processo inverso. No la-
do do decodificador, os bits do coeficiente da transformada
são extraídos 510 de seus respectivos pacotes, a partir de
quais os coeficientes são eles próprios decodificados 520 e
25 dequantizados 530. Os coeficientes CC 540 são regenerados
por aplicação de uma transformada inversa, e o plano dos co-
eficientes CC é "inversamente sobreposto" usando um operador
de estabilização adequado, aplicado entre as bordas dos blo-

cos CC. Em seguida, todos os dados são regenerados, por aplicação da transformada inversa 4×4 550 aos coeficientes CC, e os coeficientes CA 542 decodificados do fluxo de bits. Por último, as bordas de bloco nos planos de imagem resultantes são filtradas por sobreposição inversa 560. Isto produz uma saída de dados 2D reconstruída.

2. Ordem de Varredura dos Coeficientes Adaptativos

O codificador 400 (Fig. 4) e o decodificador 500 (Fig. 5) do sistema de compressão de mídias digitais ilustrado utilizam uma técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos, para melhorar ainda mais a eficiência da compressão durante a codificação por entropia dos coeficientes da transformada. Essa ordem de varredura dos coeficientes adaptativos ajusta com eficiência a ordem de varredura dos coeficientes de bloco, de acordo com a estatística local dos dados de mídias digitais, de forma que os coeficientes possam ser codificados de modo mais eficiente através de codificação por entropia 480 (Fig. 4). A implementação ilustrada da técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos evita sinalização ou uso de bits adicionais para envio das informações laterais ao decodificador, pelo uso de um mesmo processo determinante no lado do codificador e do decodificador, para aprender a estatística local, a partir do que é causalmente encontrado, quando os dados da mídia são processados pelo codificador e o decodificador. Além disto, a implementação ilustrada da técnica é eficiente em termos de computação, de modo a impor uma latência mínima na codificação/ decodificação do fluxo das mídias digitais (o

69

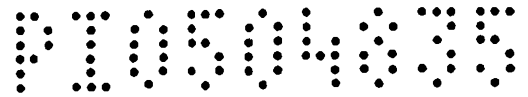
que pode ser benéfico para comunicações ao vivo, e aplicações semelhantes).

A implementação ilustrada a seguir dessa técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos possui as seguintes propriedades:

1. A ordem de varredura é permitida variar entre os dados das mídias digitais (por exemplo, imagem), com a restrição de que a ordem de varredura é alterada ou atualizada somente após seu uso dentro de um bloco.

2. O algoritmo para a adaptação da ordem de varredura é baseado em uma etapa de permuta condicional, pelo qual dois índices de varredura sucessivos são movidos sob certas condições.

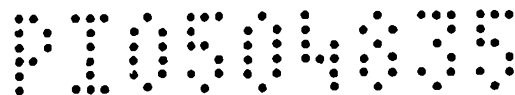
A Fig. 6 mostra um procedimento 600, de acordo com uma implementação da técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos no codificador 400 e decodificador 500. O procedimento 600 inicia na operação 610, através da inicialização da ordem de varredura dos coeficientes (ou ordens, nos casos em que múltiplas ordens de varredura são adaptavelmente variadas, por exemplo, para coeficientes horizontais e verticais) para uma ordenação conhecida, para boa execução ao longo de uma faixa típica de dados. Em algumas implementações da técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos, essa ordenação inicial pode ser diferente em diferentes contextos da ordem de varredura, tais como ordens de varredura de coeficientes para macroblocos apresentando uma orientação predominantemente "horizontal" versus "vertical". Em algumas implementações do procedimento da or-



dem de varredura dos coeficientes adaptativos, a orientação ou contexto de varredura pode ser sinalizado explicitamente a partir do codificador ao decodificador. Em outras implementações, essa orientação pode ser inferida a partir da orientação da sub-banda CC transmitida antes dos coeficientes CA. Por exemplo, a Fig. 7 mostra um exemplo de uma ordem de varredura inicial 700 para um bloco 4 x 4 tendo uma orientação horizontal. A Fig. 8 mostra um exemplo de uma ordem de varredura inicial 800 para um bloco 4 x 4 tendo uma orientação vertical. Nesse exemplo, a ordem de varredura da orientação horizontal 700 é a ordem de varredura inicial também usada para blocos não apresentando nenhuma orientação particular.

41

Como mostrado na Fig. 9, o procedimento ilustrado 600 rastreia a estatística local dos coeficientes de bloco usando duas matrizes 1-dimensionais: uma matriz de Ordem 910 e uma matriz de Totais 920. Um conjunto separado das matrizes é mantido para cada contexto da ordem de varredura. Na implementação ilustrada, essa matriz (denominada "Ordem") contém para suas entradas a varredura inversa, isto é, o índice do coeficiente na ordem de varredura ascendente. O procedimento 600 inicializa essa matriz para a ordem de varredura inicial na operação de inicialização 610. A Fig. 9 ilustra os valores armazenados na matriz de Ordem 910 para a ordem de varredura da orientação vertical inicial do exemplo 800 mostrada na Fig. 8 na inicialização. Nesta ilustração, o coeficiente CC é enviado antes aos coeficientes CA e, assim, não aparece na matriz.



Para cada matriz da Ordem de varredura inversa 910, o procedimento 600 também mantém a matriz denominada "Totais" nesta ilustração, em que o procedimento 600 coloca lado a lado a incidência de ocorrência do respectivo coeficiente. Em uma operação seguinte 620, o procedimento 600 inicializa a matriz de Totais com valores descendentes arbitrários. Por exemplo, essa matriz é ocupada com valores $\{k*N, k*(N-1), k*(N-1), \dots, k\}$ para um certo valor de k . Isto é mostrado na linha inferior da tabela na Fig. 9. O valor k nesse exemplo é escolhido como sendo um número inteiro pequeno, tipicamente entre 2 e 4. Em algumas implementações do procedimento da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos, a escolha de k pode ser baseada no parâmetro de quantização usado na quantização 460 (Fig. 4).

Durante o processo de codificação, o procedimento 600 movimenta os coeficientes do bloco de corrente, de acordo com a ordem de varredura refletida nos elementos da matriz de Ordem 910 (conforme indicado em "para" o laço 630, 680). Nesta movimentação, o procedimento atualiza a incidência da estatística de ocorrência do coeficiente refletido na matriz de Totais 920. De maneira particular, o procedimento 610 nesta implementação ilustrada atualiza a matriz de Totais, de acordo com a incidência de um valor diferente de zero para o respectivo coeficiente. Se o n° elemento da varredura for diferente de zero (isto é, coeficiente da transformada com o índice de Ordem[n] é diferente de zero), então o procedimento 600 incrementa o n° elemento dos Totais em 1 (isto é, Totais[n]: = Totais[n] +1), conforme ilustrado pe-

las operações 640 e 650.

Se, após o incremento, for constatado que $Totais[n] > Totais[n - 1]$, então isto significa que um valor diferente de zero para o coeficiente de corrente ocorreu com maior freqüência do que para o coeficiente anterior até então. Em um evento destes (operação 660), o procedimento aplica uma operação de permuta 670 para a ordem de varredura. Durante a operação de permuta 670, as ordens de varredura e os Totais de n e $n-1$ correspondentes são permutados, conforme mostrado no pseudo-código a seguir:

```

Temp: = Ordem[n]
Ordem[n] = Ordem[n - 1]
Ordem[n{ -1}]: = Temp.
Temp: = Totais[n]
15 Totais[n]: = Totais[n - 1]
Totais[n - 1]: = Temp

```

Como resultado da operação de permuta 670, o coeficiente indexado pela $Ordem[n]$ (antes da permuta) é agora explorado antes do coeficiente indexado pela $Ordem[n-1]$ (antes da permuta). Esta é, na verdade, uma classificação de bolhas dos coeficientes, com base na sua incidência de ocorrência de um valor diferente de zero para o coeficiente.

Por exemplo, a Fig. 10 mostra uma situação, onde $Totais[n] > Totais[n - 1]$. As setas mostram os elementos que precisam ser trocados. A Fig. 11 mostra as matrizes da $Ordem$ e $Totais$ subseqüentes à troca, e a Fig. 12 mostra os índices da ordem de varredura correspondentes no bloco 4×4 .

No procedimento ilustrado da ordem de varredura

43

dos coeficientes adaptativos 600, não existe nenhuma outra troca condicional dos Totais[n - 1] e Totais[n - 2] etc.. Isto significa que existe pelo menos uma transição na matriz da ordem de varredura para cada coeficiente diferente de zero e, assim, o procedimento ilustrado 600 possui uma ordem de complexidade linear no número de coeficientes diferentes de zero. Um coeficiente pode se mover pelo menos em uma posição na ordem de varredura para cada movimentação de bloco dentro do laço 630-680.

10 O procedimento ilustrado 600 não garante a condição ideal em cada estágio, mas em longo prazo pode ser mostrado que a matriz de varredura se aproxima do ideal global para uma distribuição estacionária, baseado na lógica do algoritmo de ordenação.

15 Devido ao fato do processo de adaptação envolver somente o coeficiente de corrente (no laço 630-680) e o elemento de varredura anterior (que pode ser ou não diferente de zero), e ainda devido ao fato da comutação condicional ocorrer após o coeficiente ser codificado/ decodificado para a matriz da transformada, a adaptação é causal. De maneira equivalente, todo o bloco pode ser codificado, usando-se a ordem de varredura de corrente. Em seguida, a ordem de varredura pode ser modificada, com base nos coeficientes diferentes de zero codificados e matriz de Totais. Assim, não
20 existe nenhuma latência adicional introduzida no processo de codificação ou decodificação.

Após a movimentação de todos os coeficientes no bloco de corrente, o procedimento 600 checa se existem blo-

cos adicionais dos dados de mídias digitais (por exemplo, a imagem sendo codificada) a serem codificados/ decodificados na operação 690. O procedimento 600 então termina, quando todos os blocos tiverem sido processados.

5 Em intervalos periódicos, o procedimento 600 restaura a matriz de Totais ao estado de inicialização, a fim de impedir o estouro de capacidade aritmética, e para facilitar a adaptação. Em uma implementação do procedimento da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos em um codec

10 de compressão de imagem, a matriz de Totais é restaurada no início de cada parte de 8 macroblocos (macroblocos são matrizes 16 x 16 de pixels de luminância, e incluem pixels de crominância correspondentes). O valor máximo de qualquer elemento da matriz de Totais é restrito a 8 (macroblocos) x

15 16 (coeficientes de uma certa frequência em um macrobloco) x 3 (planos de cores em um macrobloco) = 384 + valor máximo de inicialização, que é com segurança abaixo de 511. Nove bits são suficientes para a matriz de Totais neste caso. Outros intervalos de reajuste podem ser escolhidos para uma adaptação

20 ção mais ou menos rápida, e intervalos de reajustes podem ser em função do parâmetro de quantização. Por conseguinte, no intervalo de reajuste da matriz de Totais, como ilustrado pela operação 692, o procedimento 600 retorna à operação 620, onde a matriz de Totais é inicializada, antes de pro-

25 cessar um novo bloco de coeficiente.

Em outros intervalos periódicos (menos frequentes), as matrizes de Totais e Ordem são restauradas para os estados de inicialização, a fim de facilitar o acesso alea-

tório a estes locais. Conforme ilustrado na operação 693, o procedimento retorna para a operação de inicialização das matrizes de Totais e Ordem 610 em tais intervalos. Como exemplo, dependendo da implementação do codec, o procedimento pode ser restaurado para o estado de inicialização nos pontos de entrada para partes do fluxo de bits de imagem codificadas de forma independente, ou no início de cada imagem de uma seqüência de vídeo etc..

3. Comparação com Classificação de Bolhas

Classificação de bolhas é um procedimento de computador convencional para a classificação de uma matriz de dados. Um procedimento de classificação de bolhas pode ser descrito, como a seguir. Deixe que uma matriz de N elementos (que pode ser presumida, sem perda de generalidade, como sendo numérica) seja representada por X . $X[i]$ é o i° elemento, com o índice i se estendendo de 1 a N .

A classificação de bolhas se processa por $N - 1$ movimentações da matriz, cada movimentação sendo composta de $N - 1$ operações de permuta condicional. A operação de permuta condicional para uma ordem de classificação ascendente é definida, como a seguir:

Se, para um determinado i entre 2 e N , permutar os elementos de matriz $X[i - 1]$ e $X[i]$, se $X[i - 1] > X[i]$. Durante cada movimentação, a operação de permuta condicional é aplicada para cada índice i , iniciando em 2 e se estendendo na ordem até N .

Ao final das $N - 1$ movimentações, a matriz X é classificada. O mesmo procedimento pode ser usado, com pe-

76

quenas modificações, para classificar alfabeticamente em ordem descendente, ou para gerar índices da ordem de classificação. Na prática, a classificação de bolhas não é usada com muita freqüência, por causa de seu tempo de execução desfavorável.

O procedimento da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos 600 aqui descrito é baseado em uma operação de permuta condicional similar, isto é, a operação de permuta condicional 660, 670. A implementação ilustrada do procedimento da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos 600 difere da classificação de bolhas, em que o procedimento ilustrado 600 segue um programa de atualização mais relaxado. De modo específico, duas diferenças da classificação de bolhas incluem:

1. existe somente uma movimentação da matriz por bloco codificado/ decodificado, e

2. durante cada movimentação, a operação de permuta condicional é aplicada somente aos elementos da matriz correspondentes aos coeficientes diferentes de zero.

Estas diferenças ajudam a assegurar que a complexidade de computação do procedimento 600 seja limitada e se situe dentro das possibilidades de qualquer codec de imagem/vídeo. Ao mesmo tempo, o uso no procedimento 600 da operação de permuta condicional 660, 670 (como em uma classificação de bolhas) possui o benefício de que a condição ideal é mantida em um sentido assintótico, quando a estatística (conforme refletida na matriz de Totais) for estável.

O procedimento da ordem de varredura dos coefici-

entes adaptativos 600 foi constatado resultar em uma economia da taxa de bits, que pode ser tão alta quanto 2%, comparado a um esquema de codificação por entropia, que usa tabelas de varredura fixas. De modo alternativo, esta técnica
5 pode ser usada em conjunto com outros modelos de contexto sofisticado, para optar por uma das diversas tabelas adaptativas, e também com técnicas de codificação aritmética ou biplanares de Huffman, para codificação da extensão de execução de dados. Por exemplo, diferentes modelos de varredura
10 adaptativa podem ser usados com as bandas passa alta e passa baixa.

A técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos pode ser usada para codificar maiores tamanhos de transformada, bem como codificar com múltiplos formatos
15 de transformada (por exemplo, nos blocos de tamanho 4 x 8, 8 x 4 etc.). Da mesma forma, blocos ou macroblocos podem ser explorados de qualquer maneira predeterminada ao longo da imagem. A etapa da permuta condicional pode empregar histerese, ou diferentes regras para benefícios de desempenho, ou
20 para comprometer/ ofuscar os dados para fins de gestão de direitos.

4. Ambiente de Computação

O codec acima descrito utilizando a técnica da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos pode ser executado em qualquer um de uma variedade de dispositivos, onde
25 processamento de sinais de mídia digital seja executado, incluindo dentre outros exemplos, computadores; gravação de imagem ou vídeo, equipamento de transmissão e recepção; vi-

deo *players* portáteis; conferências em vídeo; e etc.. As técnicas de codificação de mídias digitais podem ser implementadas em circuitos de hardware, bem como em software de processamento de mídias digitais rodando em um computador ou em outro ambiente de computação, como mostrado na Fig. 13.

A Fig. 13 ilustra um exemplo geral de um ambiente de computação adequado (1300), onde modalidades descritas podem ser implementadas. O ambiente de computação (1300) não pretende sugerir qualquer limitação, quanto ao escopo de uso ou funcionalidade da invenção, já que a presente invenção pode ser implementada em diversos ambientes de computação para uso geral ou específico.

Com referência à Fig. 13, o ambiente de computação (1300) inclui, pelo menos, uma unidade de processamento (1310) e memória (1320). Na Fig. 13, esta configuração mais básica (1330) está envolta por uma linha tracejada. A unidade de processamento (1310) executa instruções executáveis por computador, e pode ser um processador real ou virtual. Em um sistema de multiprocessamento, unidades de múltiplo processamento executam instruções executáveis por computador para elevar o poder de processamento. A memória (1320) pode ser memória volátil (por exemplo, registros, cache, RAM), memória não-volátil (por exemplo, ROM, EEPROM, memória flash etc.), ou uma combinação das duas. A memória (1320) armazena software (1380) implementando o codificador/ decodificador descrito e o procedimento da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos.

Um ambiente de computação pode ter recursos adi-

49

cionais. Por exemplo, o ambiente de computação (1300) inclui o armazenamento (1340), um ou mais dispositivos de entrada (1350), um ou mais dispositivos de saída (1360), e uma ou mais conexões de comunicação (1370). Um mecanismo de inter-
5 ligação (não mostrado), tal como um barramento, controlador, ou rede, interliga os componentes do ambiente de computação (1300). De modo característico, o software do sistema operacional (não mostrado) fornece um ambiente operacional para outro software rodando no ambiente de computação (1300), e
10 coordena as atividades dos componentes do ambiente de computação (1300).

O armazenamento (1340) pode ser removível ou não removível, e inclui discos magnéticos, fitas magnéticas ou cassetes, CD-ROMs, CD-RWs, DVDs, ou qualquer outra mídia que
15 possa ser usada para armazenar informações e que possa ser acessada dentro do ambiente de computação (1300). O armazenamento (1340) armazena instruções para o software (1380) implementando o codec e o procedimento da ordem de varredura dos coeficientes adaptativos.

20 O(s) dispositivo(s) de entrada (1350) pode(m) ser um dispositivo de entrada por toque, tal como um teclado, mouse, caneta, ou trackball, um dispositivo de entrada por voz, um dispositivo de digitalização, ou outro dispositivo que forneça entrada ao ambiente de computação (1300). Para
25 áudio, o(s) dispositivo(s) de entrada (1350) pode(m) ser uma placa de som ou dispositivo similar que aceite entrada de áudio na forma analógica ou digital, ou um leitor de CD-ROM que forneça amostras de áudio ao ambiente de computação.

O(s) dispositivo(s) de saída (1360) pode(m) ser uma tela, impressora, alto-falante, gravador de CD, ou outro dispositivo que forneça saída a partir do ambiente de computação (1300).

5 A(s) conexão(ões) de comunicação (1370) possibilita(m) comunicação através de uma mídia de comunicação a outra entidade de computação. A mídia de comunicação transmite informações, tais como instruções executáveis por computador, informações comprimidas de áudio ou vídeo, ou outros
10 dados em um sinal de dados modulados. Um sinal de dados modulados é um sinal que possui uma ou mais de suas características definidas ou alteradas de modo a codificar informações no sinal. Para fins de exemplo, e não de limitação, as mídias de comunicação incluem técnicas com ou sem fio implementadas com uma portadora elétrica, ótica, RF, infravermelha, acústica ou outras mais.

As presentes técnicas de processamento de mídias digitais podem ser descritas no contexto geral de mídias legíveis por computador. Mídias legíveis por computador são
20 quaisquer mídias disponíveis que possam ser acessadas dentro de um ambiente de computação. Para fins de exemplo, e não de limitação, com o ambiente de computação (1300), as mídias legíveis por computador incluem a memória (1320), armazenamento (1340), mídias de comunicação, e combinações de qualquer uma das acima.

As presentes técnicas de processamento de mídias digitais podem ser descritas no contexto geral de instruções executáveis por computador, tais como aquelas incluídas nos

módulos de programa, sendo executadas em um ambiente de computação em processador real ou virtual de destino. Em geral, módulos de programa incluem rotinas, programas, bibliotecas, objetos, classes, componentes, estruturas de dados etc., que realizam tarefas específicas ou implementam tipos de dados abstratos específicos. A funcionalidade dos módulos de programa pode se combinada ou desmembrada entre módulos de programa, conforme desejado, em várias modalidades. Instruções executáveis por computador para módulos de programa podem ser executadas dentro de um ambiente de computação local ou distribuído.

Para fins de apresentação, a descrição detalhada usa termos, como "determinar", "gerar", "ajustar", e "aplicar" para descrever operações de computador em um ambiente de computação. Esses termos são abstrações de alto nível para operações realizadas por um computador, e não devem ser confundidos com atos efetuados por um ser humano. As operações de computador reais correspondendo a esses termos variam em função da implementação.

Com vistas às muitas modalidades possíveis, às quais os princípios de nossa invenção podem ser aplicados, nós reivindicamos como nossa invenção todas essas modalidades que possam incidir no escopo e espírito das reivindicações a seguir e seus equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de codificação de dados de imagem digital ou dados de vídeo digital baseado em transformada de blocos compreendendo:

5 analisar a incidência estatística da ocorrência de valores não-zero de coeficientes em locais em um arranjo de blocos;

 adaptar uma ordem de varredura dos coeficientes de acordo com as estatísticas ao:

10 inicializar a ordem de varredura dos coeficientes para uma ordem inicial;

 para coeficientes em um bloco atual dos dados de imagem digital ou dos dados de vídeo digital, atualizar um conjunto de valores representando a incidência estatística da ocorrência de valores não-zero de coeficientes em locais no arranjo de blocos; e

caracterizado pelo fato de que, em um percurso dos locais de acordo com a ordem de varredura uma vez por bloco dos dados de imagem digital ou os dados de vídeo digital, trocar condicionalmente a ordem de varredura dos locais adjacentes na ordem com base em uma comparação dos valores representando a incidência estatística de ocorrência de valores de coeficientes nesses locais; e

25 codificar por entropia os coeficientes na ordem de varredura adaptada.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende:

 realizar a adaptação da ordem de varredura em

uma base causal e determinística, de modo que seja evitada a sinalização explícita da ordem de varredura de coeficiente nos dados de imagem digital codificados ou nos dados de vídeo digital.

5 3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** adaptar a ordem de varredura compreende:

 classificar os locais de acordo com a incidência estatística de ocorrência de valores de coeficientes nos
10 locais no arranjo de blocos; e

 reorganizar a ordem de varredura de acordo com a classificação.

 4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende restaurar
15 periodicamente a estatística da incidência de ocorrência de valores de coeficientes nos locais durante a codificação de blocos dos dados de imagem digital ou dados de vídeo digital.

 5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende:

 reiniciar periodicamente a ordem de varredura para uma ordem inicial.

 6. Codificador de mídia digital para executar o método conforme definindo na reivindicação 1, compreendendo:
25

 uma memória contendo uma estrutura de dados representado a ordem de varredura representativa de uma ordem de varredura de locais em um arranjo de blocos de co-

eficientes da transformada, e estrutura de dados de representação estatística representativa da incidência estatística da ocorrência de um valor não-zero de coeficientes nos locais;

5 um processador programado para:

 adaptar uma ordem de varredura dos coeficientes de acordo com as estatísticas ao:

 inicializar a ordem de varredura dos coeficientes para uma ordem inicial;

10 para coeficientes em um bloco atual dos dados de imagem digital ou dos dados de vídeo digital, atualizar um conjunto de valores representando a incidência estatística da ocorrência de valores de coeficientes em locais no arranjo de blocos; e

15 **caracterizado pelo fato de que**, em um percurso dos locais de acordo com a ordem de varredura uma vez por bloco dos dados de imagem digital ou dos dados de vídeo digital, trocar condicionalmente a ordem de varredura dos locais adjacentes na ordem com base em uma comparação dos valores representando a incidência estatística de ocorrência de valores de coeficientes nesses locais; e

 codificar por entropia os coeficientes na ordem de varredura adaptada.

25 7. Processo de decodificação de dados de imagem digital ou dados de vídeo digital baseado em transformada de blocos compreendendo:

 decodificar por entropia coeficientes para um

bloco atual dos dados de imagem digital ou dos dados de vídeo digital;

arranjar os valores de coeficiente decodificados para o bloco atual dentro de uma disposição de blocos tendo uma pluralidade de locais de acordo com uma ordem de varredura;

analisar a incidência estatística de ocorrência de valor não-zero de coeficientes em locais no arranjo de blocos;

adaptar a ordem de varredura dos coeficientes de acordo com as estatísticas ao:

inicializar a ordem de varredura dos coeficientes para uma ordem inicial;

para coeficientes no bloco atual dos dados de imagem digital ou dos dados de vídeo digital, atualizar um conjunto de valores representando a incidência estatística da ocorrência de valores de coeficientes em locais no arranjo de blocos; e

caracterizado pelo fato de que, em um percurso dos locais de acordo com a ordem de varredura uma vez por bloco dos dados de imagem digital ou os dados de vídeo digital, trocar condicionalmente a ordem de varredura dos locais adjacentes na ordem com base em uma comparação dos valores representando a incidência estatística de ocorrência de valores de coeficientes nesses locais.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende: realizar a adaptação da ordem de varredura em uma base

causal e determinística, de modo que seja evitada a sinalização explícita da ordem de varredura de coeficiente nos dados de imagem digital ou nos dados de vídeo digital.

5 9. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo fato de que** adaptar a ordem de varredura compreende:

 classificar os locais de acordo com a incidência estatística de ocorrência de valores de coeficientes nos
10 locais no arranjo de blocos; e

 reorganizar a ordem de varredura de acordo com a classificação.

 10. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende restaurar
15 periodicamente as estatísticas da incidência de ocorrência de valores de coeficientes nos locais durante a decodificação de blocos dos dados de imagem digital ou dados de vídeo digital.

 11. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende:

 reiniciar periodicamente a ordem de varredura para uma ordem inicial.

 12. Decodificador de mídia digital para executar o método conforme definindo na reivindicação 7, compreendendo:
25

 uma memória contendo uma estrutura de dados representado a ordem de varredura representativa de uma ordem de varredura de locais em um arranjo de blocos de co-

eficientes da transformada, e estrutura de dados de representação estatística representativa da incidência estatística da ocorrência de um valor não-zero de coeficientes nos locais;

5 um processador programado para:

decodificar por entropia os coeficientes para um bloco atual dos dados de imagem digital ou dos dados de vídeo digital;

10 arranjar os valores de coeficiente decodificados para o bloco atual dentro de uma disposição de blocos tendo uma pluralidade de locais de acordo com uma ordem de varredura;

15 analisar a incidência estatística de ocorrência de valor não-zero de coeficientes em locais no arranjo de blocos;

adaptar a ordem de varredura dos coeficientes de acordo com as estatísticas ao:

inicializar a ordem de varredura dos coeficientes para uma ordem inicial;

20 para coeficientes no bloco atual dos dados de imagem digital ou dos dados de vídeo digital, atualizar um conjunto de valores representando a incidência estatística da ocorrência de valores de coeficientes em locais no arranjo de blocos; e

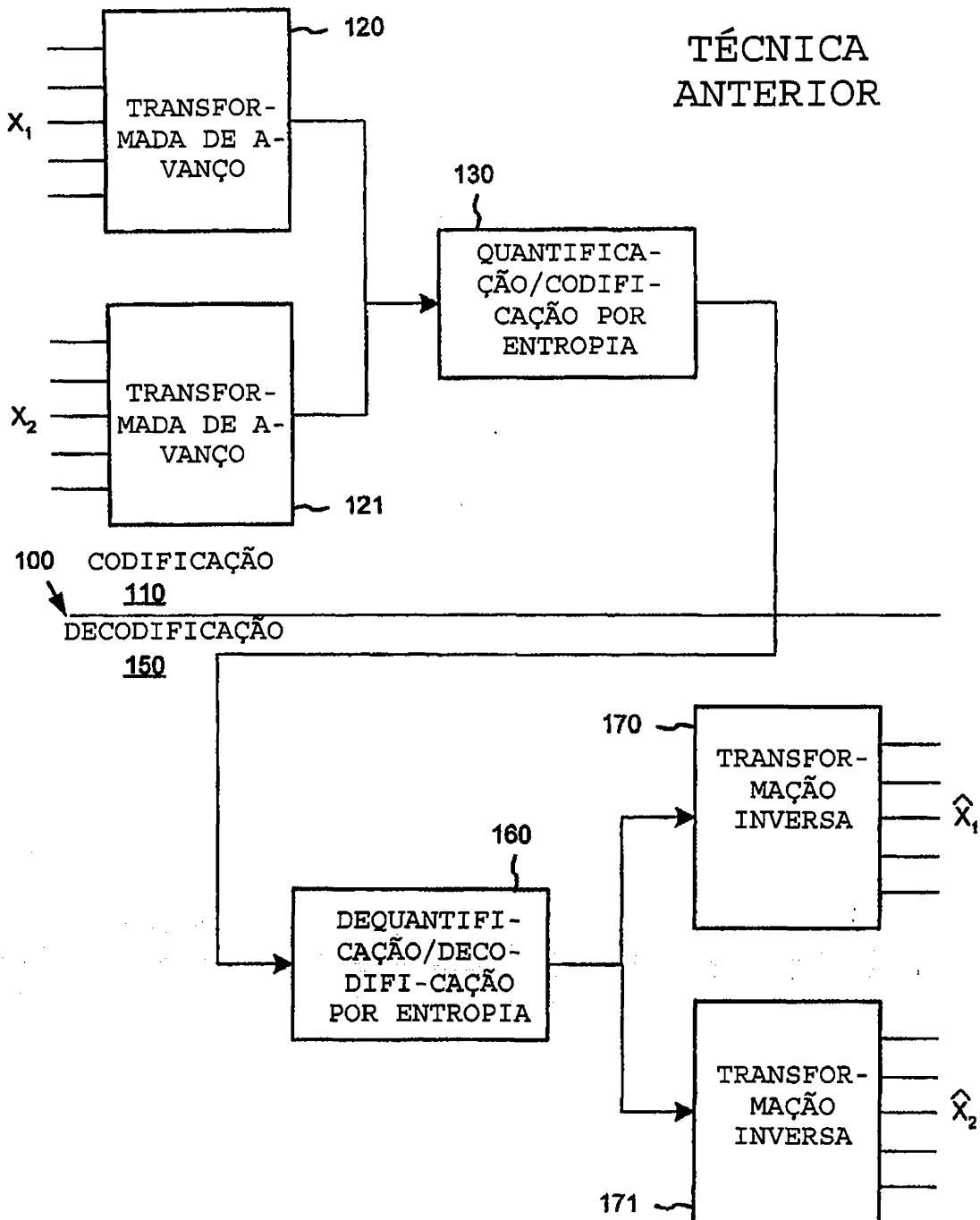
25 **caracterizado pelo fato de que**, em um percurso dos locais de acordo com a ordem de varredura uma vez por bloco dos dados de imagem digital ou os dados de vídeo digital, trocar condicionalmente a ordem de varre-

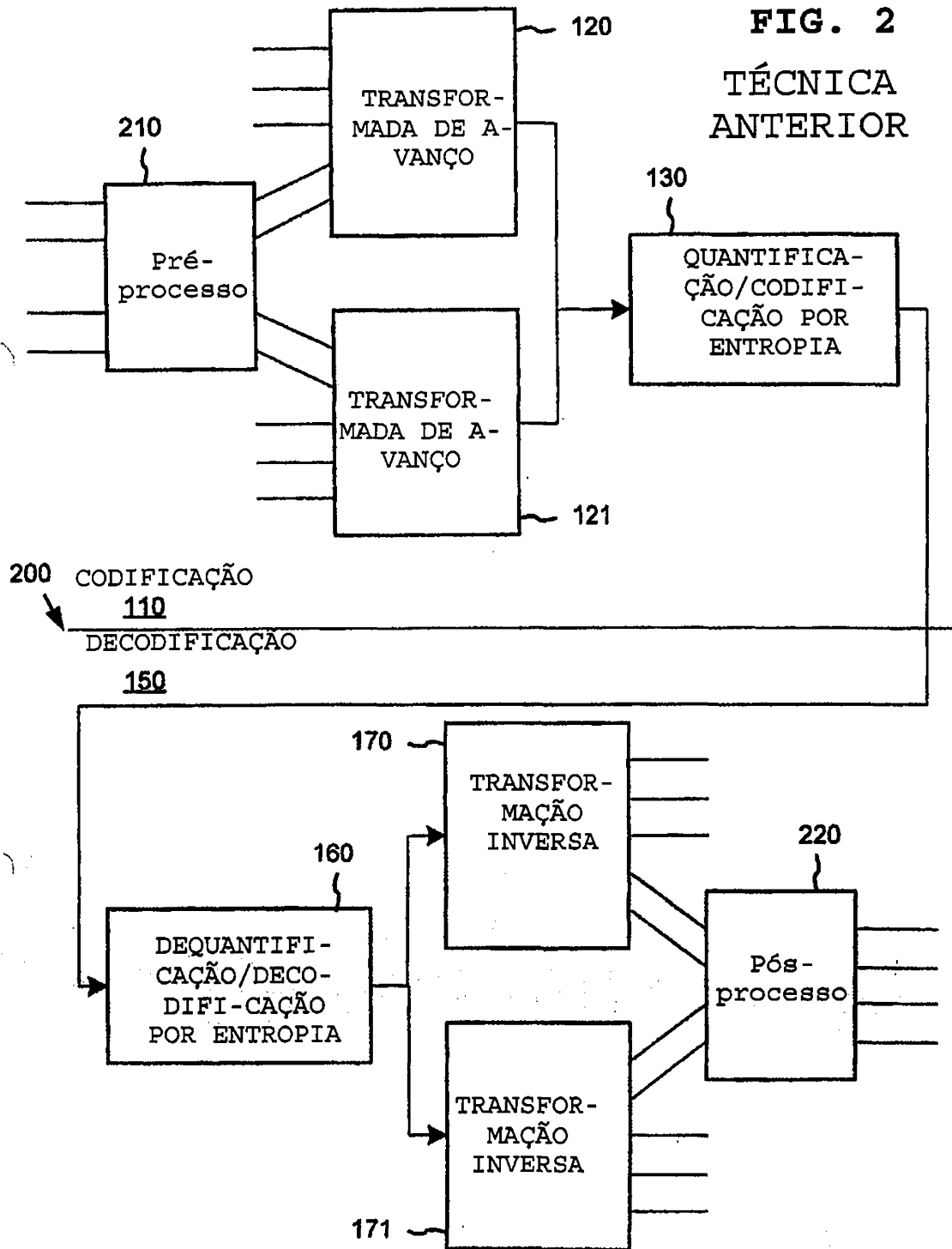
dura dos locais adjacentes na ordem com base em uma comparação dos valores representando a incidência estatística de ocorrência de valores de coeficientes nesses locais.

FIG. 1

TÉCNICA
ANTERIOR

90





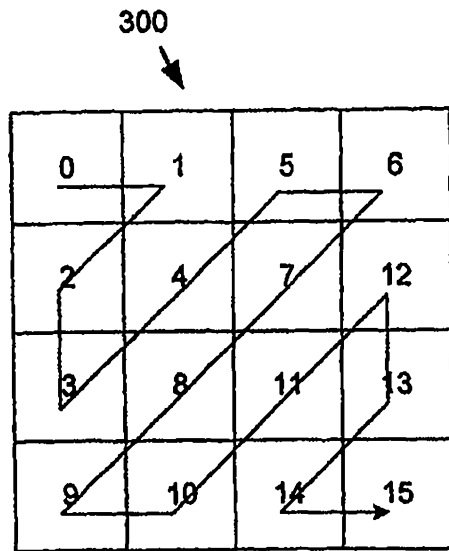
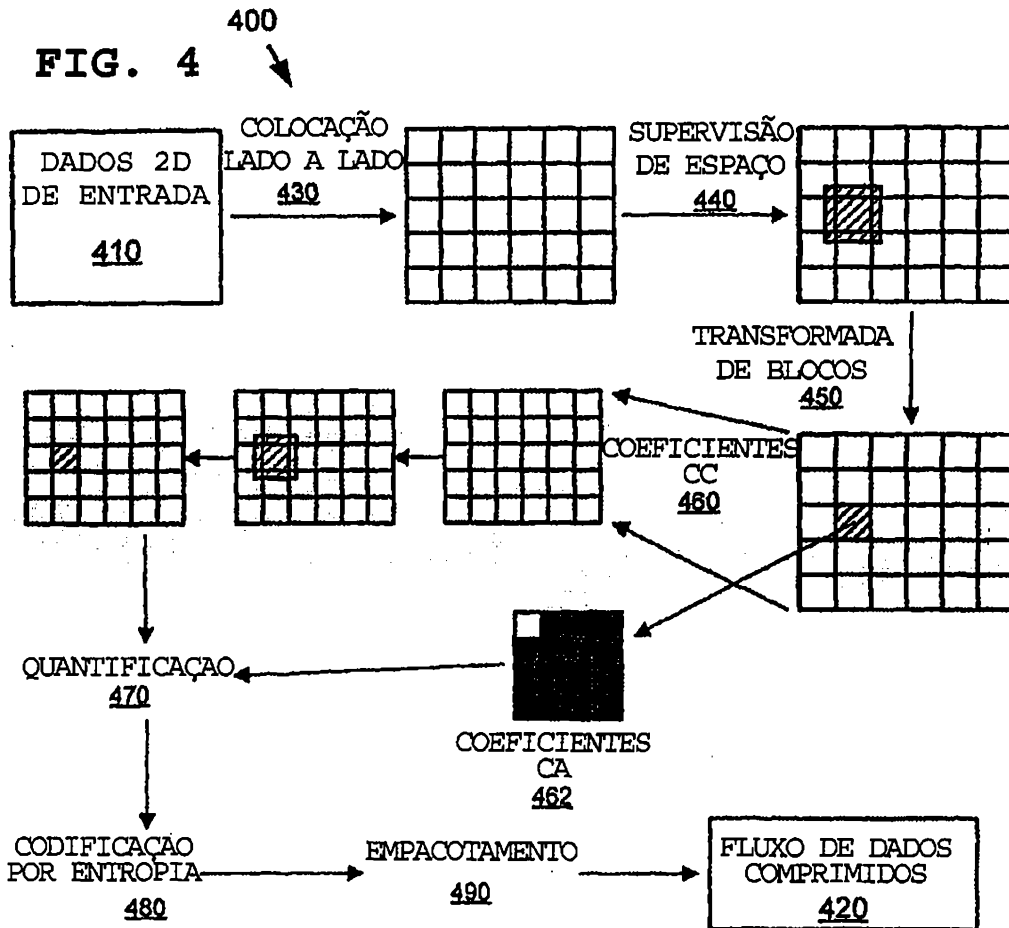


FIG. 3
TÉCNICA ANTERIOR

92



93

FIG. 5

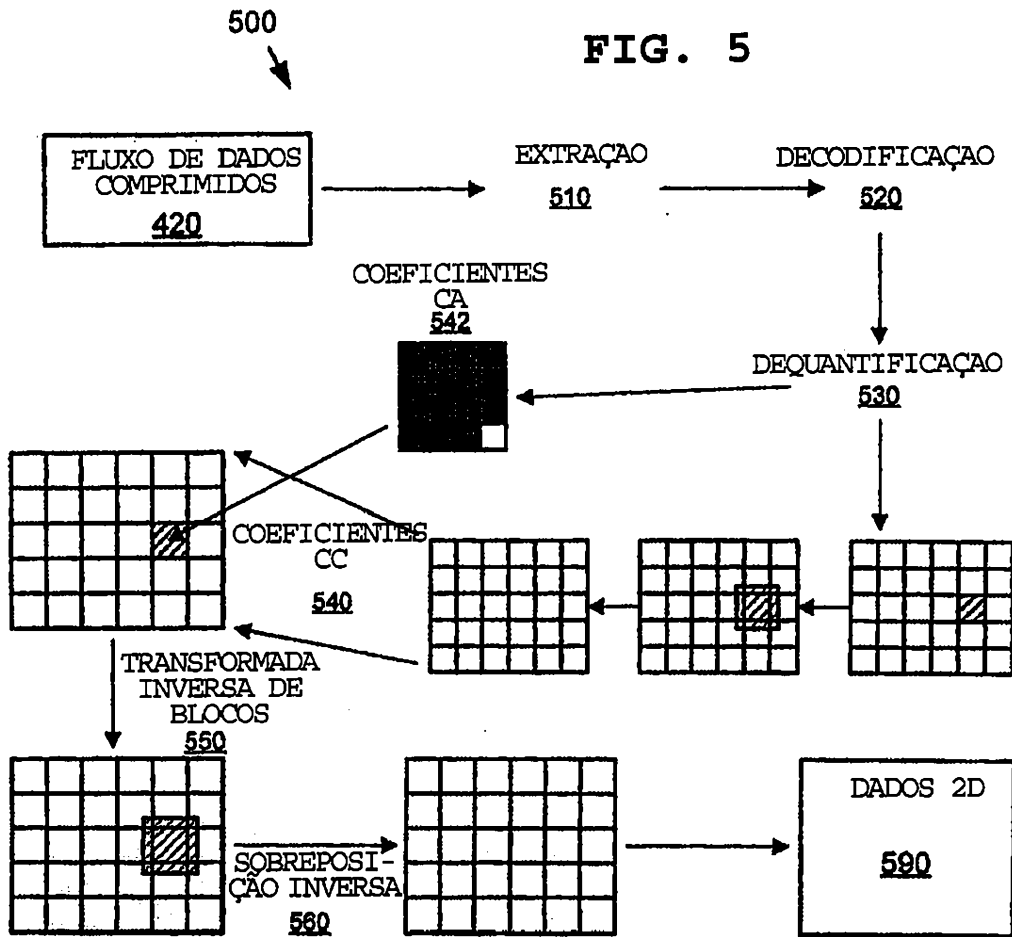
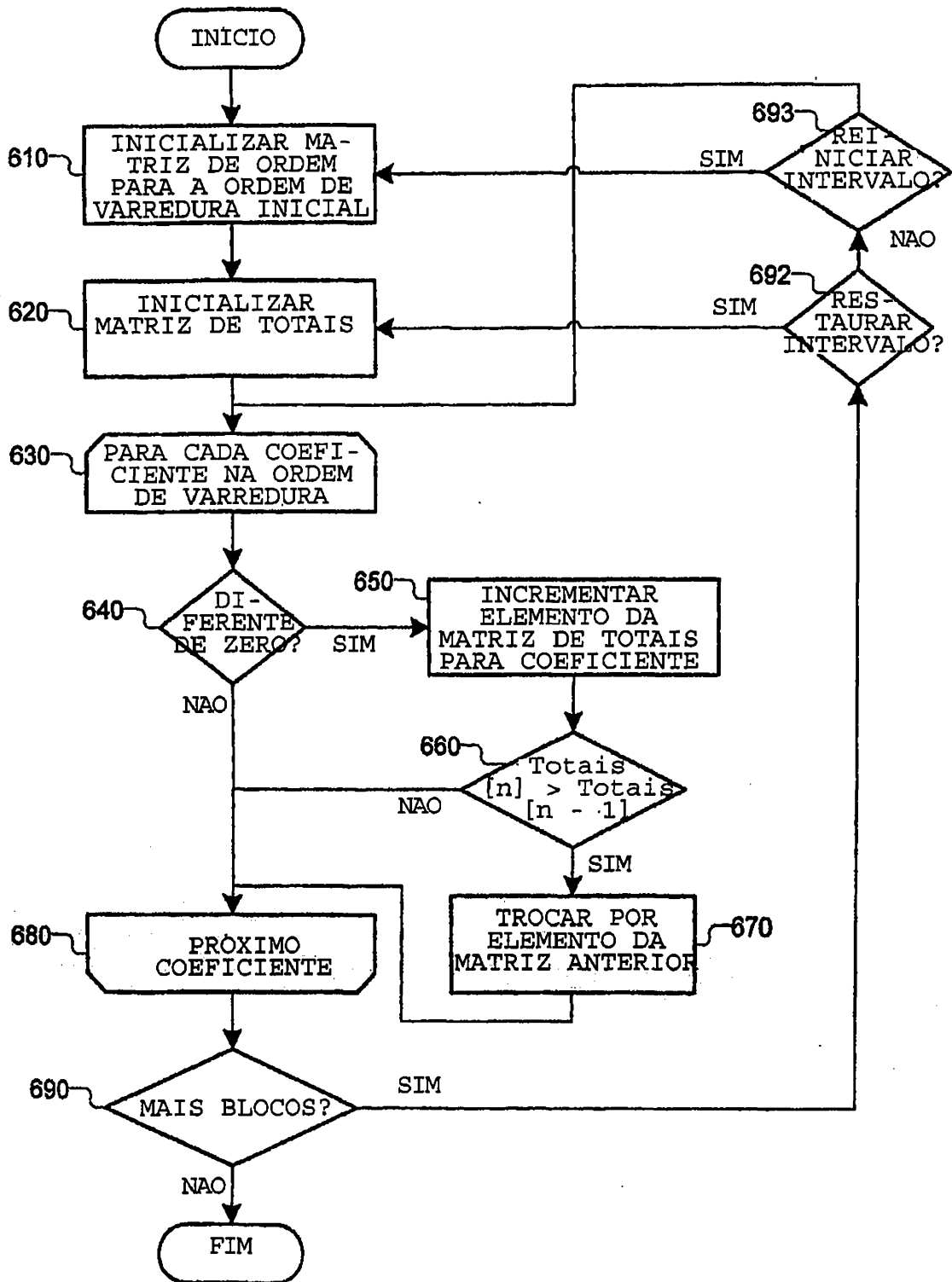


FIG. 6

600



95

FIG. 7

700
↓

0	1	4	8
2	3	6	11
5	7	10	13
9	12	14	15

FIG. 8

800
↓

0	4	8	10
1	3	7	12
2	6	13	15
5	9	14	11

FIG. 9

96

900

910	ORDEM	4	8	5	1	12	9	6	2	13	3	15	7	10	14	11
920	TOTALS	56	52	48	44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	0

FIG. 10

1000

910	ORDEM	4	8	5	1	12	9	6	2	13	3	15	7	10	14	11
920	TOTALS	60	54	55	48	40	40	36	33	28	24	17	16	12	5	3

FIG. 11

1100

910	ORDEM	4	8	5	1	12	9	6	2	13	3	15	7	10	14	11
920	TOTALS	60	55	54	48	40	40	36	33	28	24	17	16	12	5	3

94

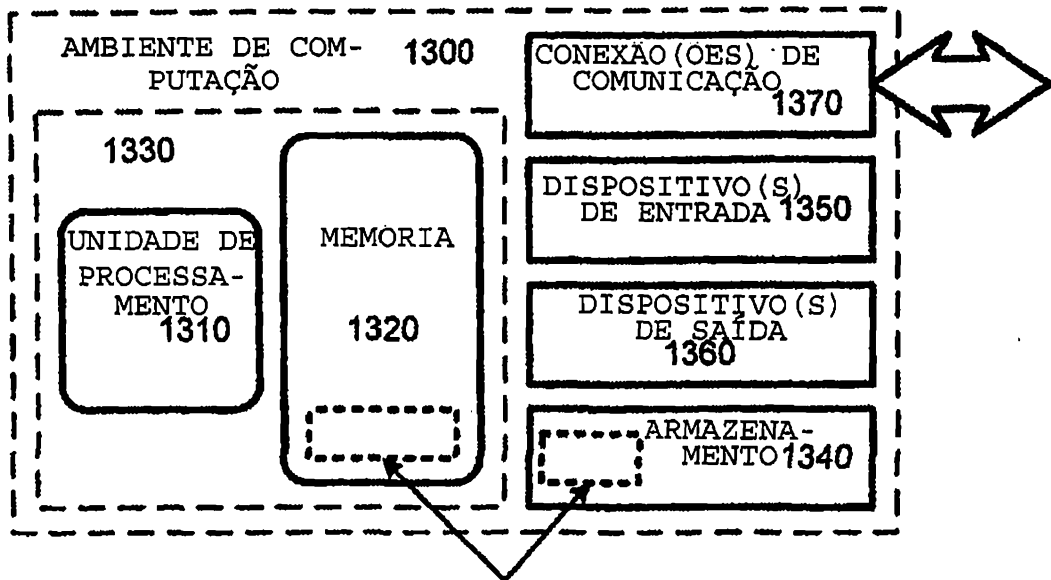
FIG. 12

1200
↓

0	4	8	10
1	2	7	12
3	6	13	15
5	9	14	11

08

FIG. 13



SOFTWARE 1380 IMPLEMENTANDO ORDENAÇÃO DE VARREDURA DOS COEFICIENTES ADAPTATIVOS