



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0505190-8 B1



(22) Data do Depósito: 28/11/2005

(45) Data de Concessão: 08/10/2019

(54) Título: MÉTODO DE CODIFICAR UMA IMAGEM DE MÍDIA DIGITAL, MÉTODO DE DECODIFICAR DADOS DE FIGURAS A PARTIR DE UM FLUXO DE BITS COMPACTADO, DISPOSITIVO CODIFICADOR DE FIGURAS E DISPOSITIVO DECODIFICADOR DE FIGURAS

(51) Int.Cl.: H04N 19/122; H04N 19/119; H04N 19/80; H04N 19/86.

(52) CPC: H04N 19/122; H04N 19/119; H04N 19/80; H04N 19/86.

(30) Prioridade Unionista: 17/12/2004 US 11/015.148.

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

(72) Inventor(es): CHENGJIE TU; HENRIQUE SARMENTO MALVAR; SRIDHAR SRINIVASAN.

(57) Resumo: "OPERADOR DE SUPERPOSIÇÃO REVERSÍVEL PARA COMPACTAÇÃO EFICIENTE DE DADOS SEM PERDAS". Uma transformada superposta eficiente é realizada utilizando pré e pós-filtros (ou operadores de superposição reversíveis) que são estruturados de matrizes de componente de determinante de unidade. Os pré e pós filtros são realizados como uma sucessão de transformadas rotacionais planares e transformadas em escala planares determinantes. As transformadas em escala planares podem ser implementadas utilizando cisalhamentos planares ou etapas de levantamento. Ademais, as rotações planares e cisalhamentos planares possuem uma implementação como operações reversíveis/sem perdas, tendo como um resultado, um operador de superposição reversível.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
**“MÉTODO DE CODIFICAR UMA IMAGEM DE MÍDIA DIGITAL,
MÉTODO DE DECODIFICAR DADOS DE FIGURAS A PARTIR DE
UM FLUXO DE BITS COMPACTADO, DISPOSITIVO CODIFICADOR
DE FIGURAS E DISPOSITIVO DECODIFICADOR DE FIGURAS”.**

CAMPO DA TÉCNICA

[1] A invenção refere-se geralmente a compactação de meio digital (por exemplo, vídeo e imagem) utilizando transformadas superpostas.

ANTECEDENTES

Transformadas Superpostas

[2] A *transformada superposta* é uma técnica de processamento de sinal eficaz que é usada em compactação de dados. Ver, por exemplo, H.S. Malvar, *Signal Processing with Lapped Transforms*, Boston, M.S. Artech House, 1992. Entretanto, até esta data, as transformadas superpostas eficientes com fase linear não foram nem formuladas nem aplicadas para compactação de dados sem perdas (reversível).

[3] Como discutido em mais detalhe abaixo, é conhecido que uma transformada superposta pode ser formulada como um pré-filtro seguido por uma transformada de dados (e é inversa como a transformada de dados inversa seguida por um pós-filtro). Ver, por exemplo, H.S. Malvar, “A pre-and pos-filtering technique for the reduction of blocking effects”, in *Proc, Picture Coding Symposium*, Stockholm, Jun, 1987, e T.D. Tran, J. Liang e C. Tu, “Lapped” Transform via Time-Domain Pre-and Post-Filtering”, *IEEE Trans, on Signal Processing*, vol.51, 6, Junho de 2003. Uma transformada de dados sem perdas pode ser usada nesta formulação para obter uma boa medida de reversibilidade. Até agora, acredita-se que somente uma certa variedade restrita de pré e pós filtros poderia ser selecionada para reversibilida-

de. Este conjunto restrito é muito limitado em seu desempenho de compactação (proporção versus distorção, ou R-D). Em um artigo recente (W. Daí and T. Tran, “Regularity-constrained pre-and post-filtering for block DCT-based systems”, *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol.51, pp: 2568-2581, Oct, 2003), uma construção onde a maioria dos elementos é reversível e onde possui boas propriedades de compactação foi apresentada.

[4] Em compactação de áudio, muitas construções para transformadas superpostas reversíveis foram introduzidas. Ver, por exemplo, R. Geiger, J. Herre, J. Koller e K. Brandenburg, “IntMDCT-A link between perceptual and lossless áudio coding”, in *Proc. IEEE Int. Conf on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Orlando, FL, Maio de 2002, e J. Li, “Reversible FFT and MDCT via matrix lifting” in *Proc. IEEE Int. Conf, on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Montreal, Canada, Maio de 2004. Entretanto, estas construções são aplicáveis somente na transformada superposta modulada (MLT), também conhecidas como Transformada Cosseno Discreta Modificada (MDCT), cujas funções de base são ortogonais e não são simétricas (ou seja, as funções de base não são fase linear). Estas transformadas não são aplicáveis em aplicativos de compactação de dados onde as funções de fase linear (simétricas) são requeridas, tal como em compactação de imagem digital.

[5] Para compactação de figura (imagem), uma das transformadas mais bem executadas em termos de desempenho de R-D é a transformada bi-ortogonal superposta (LBT). Ver, H.S. Malvar, “Biorthogonal and nonuniform lapped transforms coding with reduced blocking and ringing artifacts”, *IEEE Trans, on Signal Processing*, vol. 46, pp. 1043-1053, Abril de 1998. Diferentemente de MLT, as funções de base de LBT são simétricas, e não são exatamente ortogonais (na LBT, as funções de base de análise são ortogonais às funções de ba-

se de síntese, portanto o termo bi-ortogonal). LBTs foram usadas de forma bem sucedida em aplicativos de compactação de imagem, porém estas ainda não foram usadas em compactação de imagem sem perdas, pois as construções reversíveis não eram conhecidas.

Visão Geral de Codificação baseada em Transformada de Bloco

[6] A codificação de transformada é uma técnica de compactação usada em muitos sistemas de compactação de áudio, imagem e vídeo. A imagem e vídeo digital descompactada é tipicamente representada e capturada como amostras de elementos de imagem ou cores em locais em uma estrutura de imagem ou vídeo disposta em uma grade bidimensional (2D). Isto é referido como uma representação de domínio espacial da imagem ou vídeo. Por exemplo, um formato típico para imagens consiste em um fluxo de amostras de elemento de imagem em cor de 24 bits dispostas como uma grade. Cada amostra é um número que representa componentes em cor em um local de pixel na grade dentro de um espaço de cor, tal como RGB, ou YIQ, entre outros. Vários sistemas de imagem e vídeo podem usar várias resoluções de tempo e espaço e cores diferentes de amostragem. Similarmente, o áudio digital é tipicamente representado como fluxo de sinal de áudio em amostra de tempo. Por exemplo, um formato de áudio típico consiste em um fluxo de amostras de amplitude de 16 bits de um sinal de áudio tomado em intervalos de tempo regulares.

[7] Os sinais de áudio, imagem e vídeo digitais podem consumir capacidade de armazenamento e transmissão consideráveis. A codificação de transformada reduz o tamanho de áudio, imagens e vídeo digitais ao transformar a representação de domínio espacial do sinal em uma representação de domínio de frequência (ou outro domínio de transformação), e então reduz a resolução de componentes de frequência geralmente menos perceptíveis da representação de domínio de transformada. Esta geralmente produz degradação bem menos

perceptível do domínio espacial, ou de áudio no domínio de tempo.

[8] Mais especificamente, uma transformada de bloco típica baseada em codec 100 mostrada na Figura 1 divide os pixels da imagem digital descompactada em blocos bidimensionais de tamanho fixo (X_1, \dots, X_n) sendo que cada bloco possivelmente se superpõe com outros blocos. Uma transformada linear 120-121 que realiza a análise de frequência especial é aplicada em cada bloco, que converte as amostras de espaço dentro do bloco em um conjunto de coeficientes de frequência (ou transformada) que geralmente representa a resistência do sinal digital em faixas de frequência correspondentes sobre o intervalo de bloco. Para compactação, os coeficientes de transformada podem ser seletivamente quantizados 130 (ou seja, reduzidos em resolução, tal como ao dispensar bits menos significativos dos valores de coeficiente ou de outra maneira valores de mapeamento em um conjunto de número de resolução maior até uma resolução inferior) e também entropia ou comprimento variável codificado 130 dentro de um fluxo de dados compactado. Em decodificação, os coeficientes de transformada irão transformar inversamente 170-171 para quase reconstruir o sinal de vídeo/imagem em amostra espacial/cor original (blocos reconstruídos X_1, \dots, X_o).

[9] A transformada de bloco 120-121 pode ser definida como uma operação matemática sobre um vetor x de tamanho N . Muitas vezes, a operação é uma multiplicação linear que produz a saída de domínio de transformada $y = M x$, M que é a matriz de transformada. Quando os dados de entrada forem arbitrariamente extensos, os mesmos são segmentados em vetores de tamanho N e uma transformada de bloco é aplicada em cada segmento. Para o propósito de compactação de dados, as transformadas de bloco reversíveis são selecionadas. Em outras palavras, a matriz M é invertível. Em múltiplas dimensões (por exemplo, para imagem e vídeo), as transformadas de

bloco são tipicamente implementadas como operações separáveis. A multiplicação de matriz é aplicada separadamente ao longo de cada dimensão dos dados (ou seja, tanto linhas como colunas).

[10] Para compactação, os coeficientes de transformada (componentes de vetor) podem ser seletivamente quantizados (ou seja, reduzidos em resolução, tal como ao dispensar bits menos significativos dos valores de coeficiente ou de outra maneira valores de mapeamento em um conjunto de número de resolução maior para uma resolução inferior), e também entropia ou comprimento variável codificado dentro de um fluxo de dados compactados.

[11] Em decodificação no decodificador 150, o inverso destas operações (dequantização/decodificação de entropia 160 e transformada inversa de bloco 170-171) é aplicado sobre o lado de decodificador 150, como mostrado na Figura 1. Ao mesmo tempo em que reconstrói os dados, a matriz inversa M^{-1} (transformada inversão 170-171) é aplicada como um multiplicador para os dados de domínio de transformada. Quando aplicada nos dados de domínio de transformada, a transformada inversa quase reconstrói o meio digital de domínio de tempo ou de domínio espacial original.

[12] Em muitas aplicações de codificação baseadas em transformada de bloco, a transformada é desejavelmente reversível para sustentar tanto compactação com perdas como sem perdas dependendo do fator de quantização. Sem quantização (geralmente representada como um fator de quantização de 1) por exemplo, um codec que utiliza uma transformada reversível pode reproduzir exatamente os dados de entrada em decodificação. Entretanto, a exigência de reversibilidade nestas aplicações compele a seleção de transformadas sobre a qual o codec pode ser desenhado.

[13] Muitos sistemas de compactação de imagem e vídeo, tais como MPEG e Windows Media, entre outros, utilizam transformadas

baseadas na Transformada Discreta do Co-seno (DCT). A DCT é conhecida para possuir propriedades de compactação de energia favoráveis que resultam em compactação de dados quase ótima. Nestes sistemas de compactação, a DCT inversa (IDCT) é empregada nos enlaces de reconstrução tanto em codificador como decodificador do sistema de compactação para reconstruir blocos de imagem individuais. A DCT é descrita por N. Ahmed, T. Natarajan, e K.R. Rao, "Discrete Cosine Transform", *IEEE Transactions on Computers*, C-23 (Janeiro de 1974), pp. 90-93. Uma implementação exemplificativa da IDCT é descrita em "IEEE Standard Specification for the Implementations of 8x8 Inverse Discrete Cosine Transform", *IEEE Std, 1180-1990*, 6 de dezembro de 1990.

[14] Ao mesmo tempo em que compacta uma imagem parada (ou um quadro intra codificado em uma sequência de vídeo), os padrões mais comuns tais como MPEG-2, MPEG-4 e Windows Media dividem a imagem em lados (tile) quadrados e aplicam uma transformada de bloco em cada lado de imagem. Os coeficientes de transformada em uma dada partição (comumente conhecida como bloco) são influenciados somente pelos componentes de dados em linha dentro do bloco. As operações irreversíveis ou com perdas sobre o lado de codificador, tal como quantização, fazem com que os artefatos apareçam na imagem decodificada. Estes artefatos são independentes através de blocos e produzem um efeito visualmente incômodo conhecido como o efeito de bloqueio. Também para dados de áudio, quando os blocos não-superpostos forem independentemente codificados por transformada, os erros de quantização produzirão descontinuidades no sinal nos limites de bloco mediante reconstrução do sinal de áudio no decodificador. Para áudio, um efeito de clique periódico é ouvido.

[15] Diversas técnicas são usadas para combater o efeito de bloqueio – as mais populares entre estas são o filtro de desbloqueio

que suaviza os limites de borda de bloco interno, e a extrapolação espacial que codifica diferenças entre os dados de entrada de linha e uma predição de bordas de bloco adjacentes. Estas técnicas não são sem falhas. Por exemplo, a abordagem de filtro de desbloqueio é “enlace aberto”, ou seja, o processo de transformada anterior não leva em consideração o fato que o desbloqueio será realizado antes da reconstrução sobre o lado de decodificador. Além disso, ambas as técnicas são computacionalmente dispendiosas.

[16] Para minimizar o efeito de bloqueio, correlações de bloco cruzado podem ser utilizadas. Uma maneira de realizar a correlação de bloco cruzado é por meio da utilização de uma transformada superposta como descrito em H. Malvar, “Signal Processing with Lapped Transforms”, Artech House, Norwood MA, 1992. Uma transformada superposta é uma transformada que introduz faixas, além de elementos de dados no bloco atual, poucos elementos adjacentes em blocos próximos. Também, sobre o lado de reconstrução a transformada inversa influencia todos os pontos de dados no bloco atual bem como poucos pontos de dados em blocos adjacentes.

[17] Para o caso de dados bidimensionais (2D), a transformada em 2D superposta é uma função do bloco atual, juntamente com elementos de seleção de blocos para a esquerda, topo, direita, fundo e possivelmente topo-esquerda, topo-direita, fundo-esquerda e fundo-direita. O número de pontos de dados em blocos adjacentes que é usado para computar a transformada atual é referido como a superposição.

Visão Geral da Transformada Superposta de Domínio Espacial

[18] A transformada superposta pode ser implementada no domínio de transformada, como uma etapa que incorpora quantidades de domínio de transformada após uma transformada de bloco convencional. De outra maneira, a mesma pode ser implementada no domínio

espacial por meio de uma etapa de pré-processamento que é aplicada em pixels dentro da faixa de superposição. Estas duas implementações são matematicamente relacionadas e, portanto, equivalentes.

[19] A Figura 2 mostra um exemplo de uma transformada superposta de domínio espacial convencional. No exemplo mostrado, a superposição é 2 pixels, e cada dois pixels dos dois blocos adjacentes mostrados são pré-processados na etapa de pré-processamento 210. Duas saídas pré-processadas são enviadas para cada bloco para codificação baseada em transformada de bloco por codec 100 como na Figura 1. Um inverso da etapa de pré-processamento é aplicado na etapa de pós-processamento 220 após a decodificação. Com uma seleção criteriosa de pré-processamento e transformada de bloco, uma grande faixa de transformadas superpostas pode ser realizada.

[20] Uma vantagem chave da realização de domínio espacial da transformada superposta é que um codec baseado em transformada de bloco existente pode ser retro-ajustado com uma etapa de pré e pós-processamento para derivar os benefícios da transformada superposta, ou seja, efeito de bloco reduzido e melhor compactação, utilizando uma estrutura de codec existente. O pré-processamento 210 e pós-processamento podem ser representados como uma multiplicação de matriz como mostrado na Figura 3. Convencionalmente, as matrizes de pré-processamento e pós-processamento (P_i) multiplicadas juntas igual à matriz identidade I .

Definições

[21] Em geral, o *comprimento* N de uma transformada é o número de coeficientes de transformada em um certo bloco de transformada.

[22] O *suporte* K de uma transformada é o número de pontos de dados de entrada que influencia os coeficientes do bloco de transformada. Também, é o número de pontos de dados de saída que são in-

fluenciados por cada coeficiente de transformada, pelo processo de transformação inverso.

[23] Para transformadas de bloco típicas tal como a transformada discreta de co-seno (DCT), o comprimento e suporte são idênticos. Entretanto, as transformadas superpostas (LTs) são uma classe importante de transformadas na qual o suporte K é maior do que o comprimento N . A anotação $K \times N$ é usada para indicar o suporte e comprimento de uma transformada superposta. (As transformadas para tal $K < N$ são expansivas e, portanto, não usadas em compactação de dados).

[24] Como um exemplo 300, uma LT 6x4 310 mostrada na Figura 3 é uma transformada com seis entradas e quatro saídas. Visto que a transformada é invertível, duas das entradas são compartilhadas com blocos de transformada adjacentes. A transformada superposta inversa (ILT) 320 produz seis saídas a partir de suas quatro entradas. Os pontos de dados de saída próximos ao limite de bloco (neste caso um ponto em cada extremidade de bloco) são reconstruídos ao somar as respostas correspondentes de dois blocos de transformada inversa adjacentes.

Restrições em Transformadas Superpostas Usadas em Sistemas de Compactação

[25] No sentido matemático, as transformadas superpostas são estruturas invertíveis, onde se considera os sinais de entrada e saída, bem como resultados de computação intermediários, como elementos reais. Se a precisão infinita puder ser obtida, os dados de entrada poderiam ser perfeitamente recuperados de seus coeficientes de transformada superposta. Entretanto, a precisão infinita não é possível na prática; para compactação sem perdas de dados, a exigência é desenhar uma transformada que opere sobre inteiro ou aritmética de precisão fixa, ainda reconstrói perfeitamente os dados dada a representa-

ção de inteiro de coeficientes de transformada. Esta é uma condição mais vigorosa do que a capacidade de inversão matemática, e tal transformada é referida aqui como uma transformada “sem perdas”. Ademais, requer-se que a transformada sem perdas seja eficiente para compactação de dados (tanto sem perdas como com perdas) também. Esta eficiência pode ser medida pela entropia dos dados transformados; quanto menor for a entropia, mais dados transformados podem ser compactados por técnicas de codificação de entropia padrão, tal como codificação aritmética baseada em contexto ou codificação de comprimento de execução adaptativa.

SUMÁRIO

[26] Várias Realizações são descritas aqui de uma transformada superposta eficiente que é reversível em aritmética de inteiro, e podem ser usadas como a base de um sistema de compactação/descompactação de dados sem perdas e eficiente.

[27] Pode ser mostrado que desenhos de transformada sem perdas eficiente (ou seja, aqueles com entropia mínima dos dados de transformada) requerem que a matriz de transformada possua determinante unitário (ou seja, a determinante da matriz de transformada é ± 1). Na seguinte descrição, presume-se que a transformada pode ser representada como uma multiplicação de matriz, embora se reconheça que pode haver fenômeno não-linear menor como arredondamento de dados. Desta maneira, quando se refere a determinante, os aspectos de truncamento ou arredondamento não são considerados.

[28] A transformada superposta eficiente é realizada utilizando pré e pós-filtros que são referidos aqui como “operadores de superposição”. Esta realização é reversível, porém muito eficiente de R-D. Entre outras aplicações, estes novos operadores de superposição permitem a implementação de LBTs reversíveis, que podem ser usadas para compactação de imagem sem perdas. Os pré e pós-filtros são ope-

rações reversíveis. Ademais, os operadores de superposição descritos incluem simplificações para eficiência computacional.

[29] Uma realização das operações de pré e pós-filtragem é uma sucessão de transformadas rotacionais planares e transformadas em escala planar determinantes. Ademais, as rotações planares e cisalhamentos planares possuem uma implementação como operações reversíveis/sem perdas, dando como um resultado, um operador de superposição reversível.

[30] Uma aplicação exemplificativa é uma transformada superposta unidimensional 8x4 obtida utilizando aproximações computacionalmente eficientes dos operadores de superposição reversíveis.

[31] As características e vantagens adicionais da invenção tornar-se-ão óbvias a partir da seguinte descrição detalhada de modalidades que prosseguem com referência aos desenhos em anexo.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[32] A Figura 1 é um diagrama em bloco de uma compactação/descompactação baseada em transformada de bloco convencional na técnica anterior.

[33] A Figura 2 é um diagrama em bloco de uma transformada superposta de domínio espacial implementada como operações de pré e pós-processamento em combinação com a compactação/descompactação baseada em transformada de bloco da Figura 1, também na técnica anterior.

[34] A Figura 3 é um diagrama em bloco que ilustra uma transformada superposta e par de transformada superposta inversa sobre dados unidimensionais.

[35] A Figura 4 é um fluxograma de um codificador baseado em uma transformada superposta que utiliza um operador de superposição reversível.

[36] A Figura 5 é um fluxograma de um decodificador baseado

na transformada superposta.

[37] A Figura 6 é um diagrama em bloco que ilustra uma transformada superposta e par de transformada superposta inversa sobre dados unidimensionais que utilizam operações de pré e pós-filtragem (ou operador de superposição reversível) em conjunto com uma transformada de bloco.

[38] A Figura 7 é um gráfico de fluxo de sinal que ilustra uma estrutura de um (pré ou pós) filtro de fase linear para uso como o operador de superposição reversível na transformada superposta da Figura 6.

[39] A Figura 8 é um gráfico de fluxo de sinal de escala sem perdas como quatro etapas de levantamento para uso no operador de superposição reversível.

[40] A Figura 9 é um gráfico de fluxo de sinal de escala sem perdas como cinco etapas de levantamento para uso no operador de superposição reversível.

[41] A Figura 10 é um gráfico de fluxo de sinal de uma cascata de escala de 2 pontos aplicada em uma matriz de dimensão maior para realizar a escala de determinante unitário sem perdas.

[42] A Figura 11 é um gráfico de fluxo de sinal de um operador de superposição reversível (ou pré ou pós filtragem) que possui a estrutura mostrada na Figura 7 e utiliza a escala de determinante unitário sem perdas da Figura 10.

[43] A Figura 12 é um fluxograma da operação do operador de superposição reversível da Figura 11.

[44] A Figura 13 é um gráfico de fluxo de sinal que ilustra um exemplo de uma implementação de transformada superposta reversível que utiliza o operador de superposição reversível da Figura 11.

[45] A Figura 14 é um gráfico de resposta de impulso do coeficiente CD da transformada superposta exemplificativa da Figura 13.

[46] A Figura 15 é um diagrama em bloco de um ambiente computacional adequável para implementar a compactação/descompactação baseada em transformada de bloco com a transformada superposta de domínio espacial aperfeiçoada das Figuras 4 e 5.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[47] A seguinte descrição se refere a um sistema de compactação de meio digital ou compactação/descompactação, que utiliza um operador de superposição reversível para uma transformada superposta. Para propósitos de ilustração, uma modalidade de um sistema de compactação que incorpora o operador de superposição reversível é um sistema de compactação de imagem ou vídeo. Alternativamente, o operador de superposição reversível também pode ser incorporado dentro de sistemas de compactação ou compactações/descompactações para outros dados em 2D. O operador de superposição reversível não requer que o sistema de compactação de meio digital codifique os dados de meio digital compactados em um formato de codificação particular.

Codificador/Decodificador

[48] As Figuras 4 e 5 são um diagrama generalizado dos processos empregados em um codificador de dados bidimensional (2D) representativo 400 e decodificador 500 baseado em uma transformada superposta que utiliza o operador de superposição reversível. Os diagramas apresentam uma ilustração generalizada ou simplificada do uso e aplicação deste operador de superposição reversível em um sistema de compactação que incorpora o codificador e decodificador de dados em 2D. Em codificadores alternativos baseados em seu operador de superposição reversível, mais ou menos os processos que aqueles ilustrados neste codificador e decodificador representativos podem ser usados para a compactação de dados em 2D. Por exemplo, alguns codificadores/decodificadores também podem incluir con-

versão de cor, formatos em cor, codificação escalável, codificação sem perdas, modos de macrobloco, etc. O sistema de compactação (codificador e decodificador) pode proporcionar compactação sem perdas e/ou com perdas dos dados em 2D, dependendo da quantização que pode ser baseada em um parâmetro de quantização que varia a partir de sem perdas até com perdas.

[49] O codificador de dados em 2D 400 produz um fluxo de bits compactado 400 que é uma representação mais compacta (para entrada típica) de dados em 2D 410 apresentados como entrada no codificador. Por exemplo, a entrada de dados em 2D pode ser uma imagem, um quadro de uma sequência de vídeo, ou outros dados que possuem duas dimensões. O codificador de dados em 2D 430 preenche lado a lado os dados de entrada dentro de macroblocos, que possuem 16x16 pixels de tamanho neste codificador representativo. O codificador de dados em 2D preenche lado a lado adicionalmente cada macrobloco dentro de blocos 4x4. Um operador de “superposição de avanço” 440 é aplicado a cada borda entre blocos, após cada bloco 4x4 ser transformado utilizando uma transformação de bloco 450. Esta transformação de bloco 450 pode ser a transformação em 2D em escala livre, reversível descrita por Srinivasan, Pedido de Patente U.S. intitulado, “Improved Reversible Transform For Lossy and Lossless 2-D Data Compression”, depositado concorrentemente com este, cuja descrição está incorporada por meio deste à guisa de referência. Alternativamente, a transformada discreta de co-seno ou outras transformadas de bloco podem ser usadas com o operador de superposição reversível descrito aqui. Subsequente à transformação, o coeficiente DC 460 de cada bloco de transformação 4x4 é submetido a uma cadeia de processamento similar (preenchimento lado a lado, superposição de avanço, seguida por transformação de bloco 4x4). Os coeficientes de transformada DC e os coeficientes de transformada AC são quantiza-

das 470, codificado por entropia 480 e empacotadas 490.

[50] O decodificador realiza o processo inverso. Sobre o lado de decodificador, os bits de coeficiente de transformada são extraídos 510 de seus respectivos pacotes, a partir dos quais os próprios coeficientes serão decodificados 520 e dequantizados 530. Os coeficientes DC 540 são re-gerados ao aplicar uma transformada inversa, e o plano de coeficientes DC é “superposto de forma inversa” utilizando um operador de aplainamento adequável aplicado através das bordas de bloco DC. Subsequentemente, todos os dados são re-gerados ao aplicar a transformada inversa 4x4 550 aos coeficientes DC, e os coeficientes AC 542 decodificados a partir do fluxo de bits. Por fim, as bordas de bloco nos planos de imagem resultante são filtradas de forma superposta inversa. Estas produzem uma saída de dados reconstruída em 2D.

Transformada Superposta Realizada Utilizando Operadores de Superposição

[51] Mais geralmente, o operador de superposição 440 e transformada de bloco 450 do codificador 400 (Figura 4) são um exemplo de uma grande classe de transformadas superpostas 600 que pode ser fatorada dentro de uma operação de filtragem 610, seguida por uma transformada de dados de bloco 620 como ilustrado na Figura 6. A Figura 6 ilustra um exemplo generalizado de tais transformadas superpostas fatoradas. Neste caso ilustrado, a transformada superposta 6x4 310 mostrada na Figura 3 é fatorada dentro de etapas de operação de pré-filtragem 610 e transformada de bloco 620. A operação de pré-filtragem 610 e transformada de bloco 620 são uniformemente escalonadas sobre os pontos de dados. Neste exemplo de transformada superposta 6x4 ilustrado, cada pré-filtro é uma transformação de 2 comprimentos dos pontos de dados que estendem os blocos adjacentes. Sobre o lado de decodificação, um pós-filtro 640 é aplicado após a

transformada de bloco inversa 630 através de limites de bloco. Também, para o caso de $K \times N$ geral, o pré-filtro é aplicado aos pontos de dados $(K-N)/2$ de cada bloco adjacentes até um limite de bloco.

[52] Para capacidade de inversão, o pré-filtro 610 e pós-filtro 640 são inversos um do outro. Para realizar uma transformada superposta sem perdas, entretanto, esta condição não é suficiente. Isto restringe adicionalmente as pré e pós-filtragens 610, 640 a serem transformadas sem perdas também, além da transformada (núcleo) de bloco 620 que será realizada de maneira sem perdas. O DCT pode ser realizado de maneira sem perdas utilizando métodos baseados em escada, treliça ou levantamento, entre outros. *Ver, por exemplo*, A.A.M.L. Bruekens e A.W.M. van den Enden, “New networks for perfect inversion and perfect reconstruction”, *IEEE J Selected Areas Communications*, vol. 10, nº 1, 1992, e Daubechies e W. Sweldens, “Factoring wavelet transform into lifting steps”, *J. Fourier Anal. Appl.*, vol. 4, pp. 247-269, 1998. Uma transformada bidimensional de escala livre reversível também é descrita por Srinivasan, Pedido de Patente U.S. intitulada, “Improved Reversible Transform for Lossy and Lossless 2-D Data Compression”, depositado concorrentemente com este e incorporado aqui à guisa de referência. As aproximações reversíveis baseadas em levantamento para o DCT em uma dimensão também são conhecidas. *Ver, por exemplo*, J. Liang e T.D. Tran, “Fast multiplierless approximations of the DCT with the lifting scheme”, *IEEE Trans. Signal Processing*, vol.49, pp. 3032-3044, Dez.2001.

[53] A capacidade de inversão eficiente requer adicionalmente que ambas as etapas, a saber, pré/pós-filtragem e a transformada de bloco, possui determinante unitário.

Operador de Superposição Reversível

[54] Um operador de superposição reversível eficiente para uso como o pré-filtro 610 (Figura 6) de transformada superposta sem per-

das 600 no qual o codificador 400/decodificador 500 (Figuras 4 e 5) está baseado pode ser realizado como um pré-filtro de fase linear, que é fatorado dentro da estrutura 700 mostrada na Figura 7. Um inverso deste pré-filtro (ou seja, o pós-filtro 640) também possui a mesma estrutura, porém com coeficientes diferentes.

[55] Esta estrutura de filtro de fase linear 700 possui múltiplos componentes ortogonais, incluindo uma rede Hadamard 710 de passagem em sua entrada e saída. As setas internas na rede Hadamard ilustrada 710 indicam a negação neste diagrama. A estrutura 700 inclui adicionalmente matrizes ortogonais U_1 , U_2 , V_1 e V_2 . Estes componentes podem ser implementados de maneira sem perdas ao utilizar métodos baseados em treliça/levantamento.

[56] Ademais, a estrutura 700 possui os fatores em escala não-zero s_1 através de s_M . A restrição de determinante unitário indica que $\prod_i s_i = \pm 1$. Quando todos os fatores em escala forem ± 1 , as pré/pós-filtragens podem ser realizadas como uma transformada sem perdas onde as matrizes de componente U_1 , U_2 , V_1 , e V_2 são implementadas como etapas de treliça/levantamento sem perdas. Entretanto, quando todos os fatores em escala não forem ± 1 , a realização sem perdas permanece um desafio que é enviado como discutido de forma mais completa abaixo:

[57] Com esta estrutura de pré-filtro linear 700, o problema de realizar um par de pré/pós-filtragem é reduzido até as três etapas seguintes:

[58] Decompor o filtro F na seguinte forma, para matrizes ortogonais U_1 , U_2 , V_1 e V_2 :

$$F = \begin{pmatrix} 1 & J \\ J/2 & -1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 & 0 \\ 0 & V_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 & & \\ & S_2 & \\ & & \ddots \\ & & & S_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_2 & 0 \\ 0 & V_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/2 & J \\ J/2 & -1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

onde I é a matriz identidade e $J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \ddots & \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

[59] Derivar as realizações sem perdas para U1, U2, V1 e V2; e

[60] Derivar uma realização sem perdas para a matriz em escala.

[61] Até a etapa 1, as primeira e última matrizes sobre o lado direito, que definem 2 transformadas de Hadamard de ponto, incorporam o fator de $\frac{1}{2}$ em alguns termos para fazer estas etapas possuindo determinante unitário. O restante é re-disposto até uma forma diagonal de bloco com dois blocos, cada metade das dimensões lineares de F . A decomposição de valor singular ou SVD de cada bloco proporciona as matrizes ortogonais U1, U2, V1 e V2, bem como as escalas.

[62] As realizações sem perdas das matrizes de componente podem ser divididas na Etapa 2 utilizando técnicas baseadas em levantamento padrão, tais como aquelas descritas por A. A. A. M. L. Bruekens e A. W. M. van den Enden, "*IEEE J. Selected Areas Communications*", vol.10, nº 1, 1992.

[63] A realização sem perdas da matriz em escala na Etapa 3 é dirigida como se segue. Para simplicidade, adota-se que tenha um certo componente com 2 entradas e 2 saídas que é (a) sem perdas e (b) realiza escalonamento por s ($0 < s < 1$) para o primeiro componente e por $1/s$ para o segundo componente (outros casos podem ser obtidos ao inverter o sinal de um ou ambos sinais de saída). Em outras palavras, dá-se a relação de entrada-saída por

$$y = \begin{pmatrix} s & 0 \\ 0 & 1/s \end{pmatrix}$$

(2)

[64] A determinante da matriz de transformação em equação (2)

é $s/s=1$. Esta matriz pode ser realizada em procedimento de quatro etapas de levantamento 800 ou procedimento de cinco etapas de levantamento 900 como mostrado nas Figuras 8 e 9. Normalmente se aproxima todas as etapas de levantamento na forma de $y=(a,x+r)>>b$, onde x é a entrada e y é a saída, e a , b , e r são inteiros e r é usado para arredondar o controle de erro, para obter uma implementação de inteiro menos divisão. A transformada definida por equação (2) é referida aqui como a *transformada em escala de determinante unitário*, abreviada como a *transformada em escala*.

[65] De forma interessante, a transformada em escala é estritamente relacionada com a operação de cisalhamento, como definido abaixo:

$$y = \begin{pmatrix} a & b \\ b & a \end{pmatrix} x$$

(3)

[66] Sob a restrição $a^2-b^2=1$ ($a>0$, $b\geq 0$), a operação de cisalhamento possui determinante unitário e pode ser realizada com três etapas de levantamento:

$$\begin{pmatrix} a & b \\ b & a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{\frac{a-1}{a+1}} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ b & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{\frac{a-1}{a+1}} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(4)

Portanto,

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} a+b & 0 \\ 0 & 1-b \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 1/2 \\ -1 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/2 & -1/2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{a-1}{a+1}} + 1 \right) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2b & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{a-1}{a+1}} - 1 \right) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5) \end{aligned}$$

[67] Aqui os fatores em escala $\frac{1}{2}$ e 2 nas matrizes que ensanduicham a matriz de cisalhamento são distribuídos até as etapas de

levantamento de cisalhamento, e a última etapa de levantamento da primeira matriz é combinada com a primeira etapa de levantamento de cisalhamento enquanto a primeira etapa de levantamento da última matriz é combinada com a primeira etapa de levantamento de cisalhamento. A realização em cinco etapas como procedimento 900 da transformada em escala mostrada na Figura 9 é baseada na equação (5). As simplificações na estrutura podem ser possíveis ao cancelar as operações inversas, onde possível, entre os 3 grupos em equação (1), isto é as redes de Hadamard, as matrizes ortogonais, e as operações em escala (que podem ser sucessivamente decompostas em operações de Hadamard e cisalhamento).

[68] Mais particularmente, a matriz de transformada eficaz da realização de quatro etapas de levantamento de escala sem perdas como procedimento 800 é $T = \begin{pmatrix} c^{-2} & 0 \\ 0 & c^2 \end{pmatrix}$, onde $c^2 = 1 - s^2$. Por outro lado, a matriz de transformada eficaz da realização de cinco etapas de levantamento em procedimento 900 é $T = \begin{pmatrix} \frac{1+s}{c} & 0 \\ 0 & \frac{1-s}{c} \end{pmatrix}$, onde $c^2 = 1 - s^2$.

[69] Embora o procedimento em escala 800 mostrado na Figura 8 possua uma etapa de levantamento a menos do que a da Figura 9, o procedimento mais recente 900 possui somente três etapas de levantamento não-triviais conforme opostas a quatro no formador. Pela razão estabelecida no parágrafo acima, a primeira ou última etapa de levantamento trivial na Figura 9 pode ser incorporada com as etapas de transformada anteriores ou subsequentes (por exemplo, com a rede Hadamard 710 em qualquer extremidade da Figura 7) sob certas condições (por exemplo, quando U_1 , U_2 e V_1 forem identidades).

[70] O procedimento em escala pode ser facilmente estendido até matrizes maiores. Isto é ilustrado na Figura 10, onde fatores em escala M possivelmente diferentes s_1 através de s_M são aplicados nas

trajetórias de dados M como uma cascata 1000 de transformadas em escala. Para se obter isto de maneira reversível, as transformadas em escala reversíveis $M-1$ são necessárias em geral.

[71] Um caso especial útil é quando os fatores em escala M s_1 através de s_M podem ser agrupados dentro de grupos $M/2$ de forma $(s, 1/s)$. Neste caso, somente as transformadas em escala reversíveis $M/2$ são necessárias. Um exemplo é $s_1=s_2=\dots=s_{M/2}=s$ e $s_{M/2+1}=s_{M/2+2}=\dots=s_M=1/s$. Uma maneira preferida de agrupamento é manter a simetria através do eixo geométrico central, em outras palavras cada grupo representa as escalas dos coeficientes s_1 e s_{M+1-1} . Se M for ímpar, um fator em escala não agrupado é 1, correspondente à trajetória de dados ao longo do eixo geométrico.

[72] Sobre os limites de sinal onde os pré/pós-filtros precisam se estender para fora do sinal, uma solução é estender o sinal simetricamente e então aplicar os pré/pós-filtros. Esta não é uma operação sem perdas em geral devido à representação em escala. Outra solução é ignorar a pré/pós-filtragem sobre limites. Não há diferença notável entre as duas soluções em termos de desempenho de R-D bem como qualidade perceptiva (por exemplo, se usadas para compactação de imagem/vídeo).

[73] Retornando agora à Figura 11, o operador de superposição reversível que possui a propriedade eficiente de R-D (ou seja, determinante unitário) é então realizado como uma estrutura de pré-filtro de fase linear 700 (Figura 7) que inclui redes de Hadamard de determinante unitário reversíveis 710, as rotações ortogonais reversíveis 1110 (para matrizes de componente U_1 , U_2 , V_1 e V_2), e escalonamento determinante unitário reversível 1120 (por exemplo, utilizando os procedimentos de etapa de levantamento 800, 900 ou cascata 1100). O pós-filtro é análogo ao pré-filtro e é construído utilizando a mesma construção, embora com etapas de levantamento inversas na ordem inversa.

Isto é ilustrado na Figura 7, onde o número de valores de dados M no bloco é geralmente qualquer número natural. Embora a ilustração sirva ainda para M estimado, os valores ímpares também são possíveis ao notar que trata-se da própria transformada de “Hadamard de 1 ponto” dos valores de dados centrais. Este procedimento pode ser generalizado para dados dimensionais superiores.

[74] Em suma, a operação do operador de superposição reversível é ilustrada na Figura 12. Em uma primeira etapa 1210, os dados de meio digital em 2 dimensões de entrada são preenchidos lado a lado (tiled) dentro de blocos (como também mostrado para o codificador 400 na Figura 4). O operador de superposição reversível aplicar uma rede Hadamard 710 através de lados adjacentes na etapa 1220. O operador então aplica rotações reversíveis para somas e diferenças na etapa 1230, seguido pelo operador em escala reversível na etapa 1240. Isto é seguido por outra rotação de bloco reversível (etapa 1250), e rede de Hadamard inversa (etapa 1260).

[75] Com referência agora à Figura 13, as representações de matriz das rotações de bloco reversíveis e operadores em escala dependem do operador superposto desejado que utiliza, por exemplo, a aritmética descrita na equação (1). A Figura 13 mostra um exemplo de uma pós-filtragem que possui a estrutura 700 mostrada nas Figuras 7 e 11, que é procedida por uma transformada de bloco reversível (transformada de Hadamard de 4 pontos neste caso). A função de transferência do pós-filtro é:

$$T = \begin{pmatrix} 0,9885 & 0,1553 & -0,1553 & 0,2183 \\ -0,1499 & 0,9885 & 0,2183 & 0,1499 \\ 0,1502 & 0,2167 & 0,9884 & 0,1502 \\ 0,2167 & -0,1556 & 0,1556 & 0,9884 \end{pmatrix} \quad (6)$$

[76] O componente passa-baixa do Hadamard produz a resposta de impulso mostrada no gráfico na Figura 14.

Ambiente Computacional

[77] A codificação e decodificação descrita acima baseada em uma transformada superposta que utiliza um operador de superposição reversível pode ser realizada sobre qualquer variedade de dispositivos onde o processamento de sinal de meio digital é realizado, incluindo entre outros exemplos, computadores, gravação de imagem e vídeo, transmissão e recepção de equipamento, reprodutores de vídeo portáteis, conferência de vídeo e etc. As técnicas de codificação de meio digital podem ser implementadas em conjunto de circuitos de hardware, bem como em software de processamento de meio digital que executa dentro de um computador ou outro ambiente computacional, tal como mostrado na Figura 15.

[78] A Figura 15 ilustra um exemplo generalizado de um ambiente de computação adequável (1500) onde as modalidades descritas podem ser implementadas. O ambiente computacional (1500) não pretende sugerir qualquer limitação no escopo de uso ou funcionalidade da invenção, visto que a presente invenção pode ser implementada em diversos ambientes de computação de propósito geral ou propósito especial.

[79] Com referência à Figura 15, o ambiente de computação (1500) inclui pelo menos uma unidade de processamento (1510) e memória (1520). Na Figura 15, esta configuração mais básica (1530) é incluída dentro de uma linha pontilhada. A unidade de processamento (1510) executa instruções executáveis de computador e pode ser um processador real ou virtual. Em um sistema de multi-processamento, as unidades de processamento múltiplo executam instruções executáveis de computador para aumentar a potência de processamento. A memória (1520) pode ser memória volátil (por exemplo, registradores, cache, RAM), memória não-volátil (por exemplo, ROM, EEPROM, memória flash, etc), ou alguma combinação das duas. A memória (1520) armazena o software (1580) que implementa o codifica-

dor/decodificador e transformada descritos.

[80] Um ambiente de computação pode possuir características adicionais. Por exemplo, o ambiente de computação (1500) inclui armazenamento (1540), um ou mais dispositivos de entrada (1550), um ou mais dispositivos de saída (1560), e uma ou mais conexões de comunicação (1570). Um mecanismo de interconexão (não mostrado) tal como um barramento, controlador, ou rede interconecta os componentes do ambiente de computação (1500). Tipicamente, o software de sistema operacional (não mostrado) proporciona um ambiente operacional para outro software que é executado no ambiente de computação (1500), e coordena as atividades dos componentes do ambiente de computação (1500).

[81] O armazenamento (1540) pode ser removível ou não-removível, e inclui discos magnéticos, fitas ou cassetes magnéticos, CD-ROMs, CD-RWs, DVDs, ou qualquer outro meio que pode ser usado para armazenar informações e que pode ser acessado dentro do ambiente de computação (1500). O armazenamento (1540) armazena instruções para o software (1580) que implementa a codificação/decodificação baseada em uma transformada superposta que utiliza o operador de superposição reversível.

[82] O(s) dispositivo(s) de entrada (1550) pode(m) ser um dispositivo de entrada por toque tal como um teclado, mouse, caneta, ou bola de comando (trackball), um dispositivo de entrada de voz, um dispositivo de varredura, ou outro dispositivo que proporciona entrada para o ambiente de computação (1500). Para áudio, o(s) dispositivo(s) de entrada (1550) pode(m) ser uma placa de som ou dispositivo similar que aceita entrada de áudio de forma analógica ou digital, ou um leitor de CD-ROM que proporciona amostras de áudio para o ambiente de computação. O(s) dispositivo(s) de saída (1560) pode(m) ser um vídeo, impressora, auto-falante, gravador de CD, ou outro dispositivo

que proporciona saída do ambiente de computação (1500).

[83] A(s) conexão(ões) de comunicação (1570) permitem a comunicação sobre um meio de comunicação para outra entidade de computação. O meio de comunicação transporta informações tais como instruções executáveis de computador, informações de áudio ou vídeo compactadas, ou outros dados em um sinal de dados modulado. Um sinal de dados modulado é um sinal que possui uma ou mais de suas características ajustadas ou alteradas de tal maneira para codificar informações no sinal. À guisa de exemplo, e sem caráter limitativo, o meio de comunicação inclui técnicas com fio e sem fio implementadas com uma portadora elétrica, óptica, RF, infravermelho, acústica, ou outra.

[84] As técnicas de processamento de meio digital neste podem ser descritas no contexto geral de meio legível de computador. O meio legível de computador é qualquer meio disponível que pode ser acessado dentro de um ambiente de computação. À guisa de exemplo, e sem caráter limitativo, com o ambiente de computação (1500), o meio legível de computador inclui memória (1520), armazenamento (1540), meio de comunicação, e combinações de qualquer um destes acima.

[85] As técnicas de processamento de meio digital neste podem ser descritas no contexto geral de instruções executáveis de computador, tais como aquelas incluídas nos módulos de programa, que são executadas em um ambiente de computação sobre um processador real ou virtual de destino. Geralmente, os módulos de programa incluem rotinas, programas, bibliotecas, objetos, classes, componentes, dados, estruturas, etc, que realizam tarefas particulares ou implementam tipos de dados abstratos particulares. A funcionalidade dos módulos de programa pode ser combinada ou dividida entre módulos de programa como desejado em várias modalidades. As instruções executáveis de computador para módulos de programa podem ser execu-

tadas dentro de um ambiente de computação local ou distribuído.

[86] Devido à apresentação, a descrição detalhada utiliza termos tipo “determinar”, “gerar”, “ajustar”, e “aplicar” para descrever operações de computador em um ambiente de computação. Estes termos são abstrações de alto nível para operações realizadas por um computador, e não devem ser confundidos com atos realizados por um ser humano. As operações de computador reais que correspondem a estes termos variam dependendo da implementação.

Variações e Extensões do Operador de Superposição Reversível

[87] Várias modificações e extensões do operador de superposição reversível descritas acima podem ser feitas. Embora as descrições apresentadas acima sirvam para dados em uma dimensão, o mesmo procedimento pode ser aplicado separadamente, ou não-separadamente a múltiplas dimensões de dados.

[88] As rotações ortogonais na implementação de operador de superposição reversível descritas acima podem ser substituídas por aproximações destas, ou por outras transformadas que podem não ser ortogonais.

[89] Ademais, embora o foco principal na descrição acima seja sobre a recuperação sem perdas de dados de entrada, a mesma transformada pode ser usada para compactação de dados com perdas também. Neste caso, a perda pode ocorrer tanto no processo de quantização, como devido a uma implementação de precisão/aproximada limitada tanto de pré-filtro como pós-filtro, ou devido a outras imprecisões, ou uma combinação de múltiplos fatores.

[90] O operador de superposição reversível descrito aqui pode ser aplicado para domínios fora de compactação de dados. A transformada superposta que utiliza o operador de superposição reversível pode por si só ser expansiva.

[91] O operador de superposição reversível pode ser aplicado,

em forma apropriadamente modificada, para implementar bancos de filtro de múltiplas proporções, wavelets, transformadas superpostas com suporte que transpõe mais de 2 larguras de bloco ($K > 2N$).

[92] O operador de superposição reversível pode ser aplicado de maneira espacialmente variada, onde a extensão e formato de filtro de superposição podem variar através da extensão espacial dos dados.

[93] Em vista das muitas modalidades possíveis nas quais os princípios desta invenção podem ser aplicados, reivindica-se como esta invenção que todas as modalidades estejam dentro do escopo e espírito das concretizações seguintes e equivalentes a esta.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de codificar uma imagem de mídia digital, o método compreendendo as etapas de:

preencher lado a lado a imagem em blocos;

aplicar um operador de superposição reversível através de pelo menos alguns limites entre blocos, sendo que o operador de superposição reversível possui determinante unitário; e

aplicar uma transformada de bloco reversível aos blocos,

caracterizado pelo fato de que a aplicação do operador de superposição reversível compreende aplicar uma rede de Hadamard (710) reversível, aplicar um bloco de rotação reversível (1110), aplicar um operador de escalonamento reversível (1120), aplicar um outro bloco de rotação reversível (1110), e aplicar uma rede de Hadamard (710) reversível inversa;

em que o operador de superposição reversível é criado a partir de matrizes ortogonais U_1 , U_2 , V_1 e V_2 , que correspondem a uma estrutura de filtro de fase linear (700), em que o componente que corresponde a U_2 recebe entradas s_i a partir de U_1 , o componente que corresponde a V_2 recebe entradas s_j a partir de V_1 , e o componente V_1 recebe as entradas negadas de U_1 , em que criar o operador de superposição reversível inclui prover um filtro F decomposto,

$$F = \begin{pmatrix} 1 & J \\ J/2 & -1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 & 0 \\ 0 & V_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 & & \\ & S_2 & \\ & & \ddots \\ & & & S_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_2 & 0 \\ 0 & V_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/2 & J \\ J/2 & -1 \end{pmatrix}$$

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \ddots & \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

em que I é a matriz identidade, e ainda inclui derivar realizações sem perdas para U_1 , U_2 , V_1 e V_2 e derivar uma realização

sem perdas para a matriz de entradas;

em que derivar realizações sem perdas U1, U2, V1 e V2 inclui fazer etapas nas matrizes possuindo determinante unitário com base em um fator de 0,5;

em que derivar uma realização sem perdas das matrizes componentes é com base em etapas de levantamento; e

em que derivar a realização sem perdas da matriz de entradas compreende realizar a matriz em uma pluralidade de etapas de levantamento, em que a matriz de entradas é reformulada para compreender uma matriz de cisalhamento, em que fatores de escala nas matrizes de entrada são distribuídos para etapas de levantamento da matriz de cisalhamento, em que a última etapa de levantamento da primeira matriz é combinada com a primeira etapa de levantamento de cisalhamento e a primeira etapa de levantamento da última matriz é combinada com a primeira etapa de levantamento de cisalhamento, e em que as operações inversas são canceladas a partir da expressão resultante.

2. Método de decodificar dados de figuras a partir de um fluxo de bits compactado, o método compreendendo as etapas de:

receber o fluxo de bits compactado;

descompactar coeficientes de transformada para blocos dos dados de figura a partir do fluxo de bits compactado;

aplicar uma inversa de uma transformada de bloco reversível aos coeficientes de transformada descompactados para os blocos; e

após aplicar a inversa da transformada de bloco reversível, aplicar uma inversa de um operador de superposição reversível através de pelo menos alguns dos limites entre os blocos, o operador de superposição reversível possuindo determinante unitário,

caracterizado pelo fato de que a aplicação da inversa do

operador de superposição reversível compreende aplicar uma rede de Hadamard (710) inversa reversível, aplicar um bloco de rotação reversível inverso, aplicar um operador de escalonamento reversível inverso, aplicar um outro bloco de rotação reversível inverso, e aplicar uma rede de Hadamard (710) reversível inversa, em que o operador de superposição reversível é criado a partir de matrizes ortogonais U1, U2, V1 e V2, que correspondem a uma estrutura de filtro de fase linear (700), em que o componente que corresponde a U2 recebe entradas s_i a partir de U1, o componente que corresponde a V2 recebe entradas s_j a partir de V1, e o componente V1 recebe as entradas negadas de U1, em que criar o operador de superposição reversível inclui prover um filtro F decomposto,

$$F = \begin{pmatrix} 1 & J \\ J/2 & -1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 & 0 \\ 0 & V_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 & & \\ & S_2 & \\ & & \ddots \\ & & & S_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_2 & 0 \\ 0 & V_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/2 & J \\ J/2 & -1 \end{pmatrix}$$

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & & \ddots \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

em que I é a matriz identidade, e ainda inclui derivar realizações sem perdas para U1, U2, V1 e V2 e derivar uma realização sem perdas para a matriz de entradas;

em que derivar realizações sem perdas U1, U2, V1 e V2 inclui fazer etapas nas matrizes possuindo determinante unitário com base em um fator de 0,5;

em que derivar uma realização sem perdas das matrizes componentes é com base em etapas de levantamento; e

em que derivar a realização sem perdas da matriz de entradas compreende realizar a matriz em uma pluralidade de etapas de levantamento, em que a matriz de entradas é reformulada para com-

preender uma matriz de cisalhamento, em que fatores de escala nas matrizes de entrada são distribuídos para etapas de levantamento da matriz de cisalhamento, em que a última etapa de levantamento da primeira matriz é combinada com a primeira etapa de levantamento de cisalhamento e a primeira etapa de levantamento da última matriz é combinada com a primeira etapa de levantamento de cisalhamento, e em que as operações inversas são canceladas a partir da expressão resultante.

3. Dispositivo codificador de figuras, compreendendo:

um buffer de armazenamento de dados para armazenar os dados de figuras a serem codificados;

um processador programado para:

preencher lado a lado a imagem em blocos;

aplicar um operador de superposição reversível através de pelo menos alguns limites entre blocos, sendo que o operador de superposição reversível possui determinante unitário; e

aplicar uma transformada de bloco reversível aos blocos após a aplicação do operador de superposição reversível,

caracterizado pelo fato de que a fim de aplicar o operador de superposição reversível, o processador é programado para aplicar uma rede de Hadamard (710) reversível, aplicar um bloco de rotação reversível (1110), aplicar um operador de escalonamento reversível (1120), aplicar um outro bloco de rotação reversível (1110), e aplicar uma rede de Hadamard (710) reversível inversa;

em que o operador de superposição reversível é criado a partir de matrizes ortogonais U_1 , U_2 , V_1 e V_2 , que correspondem a uma estrutura de filtro de fase linear (700), em que o componente que corresponde a U_2 recebe entradas s_j a partir de U_1 , o componente que corresponde a V_2 recebe entradas s_j a partir de V_1 , e o componente V_1 recebe as entradas negadas de U_1 , em que criar o operador

de superposição reversível inclui prover um filtro F decomposto,

$$F = \begin{pmatrix} 1 & J \\ J/2 & -1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 & 0 \\ 0 & V_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 & & \\ & S_2 & \\ & & \ddots \\ & & & S_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_2 & 0 \\ 0 & V_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/2 & J \\ J/2 & -1 \end{pmatrix}$$

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \ddots & \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

em que I é a matriz identidade, e ainda inclui derivar realizações sem perdas para U_1 , U_2 , V_1 e V_2 e derivar uma realização sem perdas para a matriz de entradas;

em que derivar realizações sem perdas U_1 , U_2 , V_1 e V_2 inclui fazer etapas nas matrizes possuindo determinante unitário com base em um fator de 0,5;

em que derivar uma realização sem perdas das matrizes componentes é com base em etapas de levantamento; e

em que derivar a realização sem perdas da matriz de entradas compreende realizar a matriz em uma pluralidade de etapas de levantamento, em que a matriz de entradas é reformulada para compreender uma matriz de cisalhamento, em que fatores de escala nas matrizes de entrada são distribuídos para etapas de levantamento da matriz de cisalhamento, em que a última etapa de levantamento da primeira matriz é combinada com a primeira etapa de levantamento de cisalhamento e a primeira etapa de levantamento da última matriz é combinada com a primeira etapa de levantamento de cisalhamento, e em que as operações inversas são canceladas a partir da expressão resultante.

4. Dispositivo decodificador de figuras, compreendendo:

um buffer de armazenamento de dados para armazenar os dados de figuras a serem decodificados;

um processador programado para:

receber um fluxo de bits compactado;

descompactar coeficientes de transformada dispostos como blocos dos dados de figura a partir do fluxo de bits compactado;

aplicar uma inversa de uma transformada de bloco reversível aos coeficientes de transformada descompactados para os blocos;
e

após aplicar a inversa da transformada de bloco reversível, aplicar uma inversa de um operador de superposição reversível através de pelo menos alguns dos limites entre os blocos, o operador de superposição reversível possuindo determinante unitário,

caracterizado pelo fato de que a aplicação da inversa do operador de superposição reversível compreende aplicar uma rede de Hadamard (710) inversa reversível, aplicar um bloco de rotação reversível inverso, aplicar um operador de escalonamento reversível inverso, aplicar um outro bloco de rotação reversível inverso, e aplicar uma rede de Hadamard (710) reversível inversa, em que o operador de superposição reversível é criado a partir de matrizes ortogonais U1, U2, V1 e V2, que correspondem a uma estrutura de filtro de fase linear (700), em que o componente que corresponde a U2 recebe entradas s_i a partir de U1, o componente que corresponde a V2 recebe entradas s_j a partir de V1, e o componente V1 recebe as entradas negadas de U1, em que criar o operador de superposição reversível inclui prover um filtro F decomposto,

$$F = \begin{pmatrix} 1 & J \\ J/2 & -1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 & 0 \\ 0 & V_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 & & \\ & S_2 & \\ & & \ddots \\ & & & S_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_2 & 0 \\ 0 & V_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/2 & J \\ J/2 & -1 \end{pmatrix}$$

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & & \ddots \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

em que I é a matriz identidade, e ainda inclui derivar realizações sem perdas para $U1$, $U2$, $V1$ e $V2$ e derivar uma realização sem perdas para a matriz de entradas;

em que derivar realizações sem perdas $U1$, $U2$, $V1$ e $V2$ inclui fazer etapas nas matrizes possuindo determinante unitário com base em um fator de 0,5;

em que derivar uma realização sem perdas das matrizes componentes é com base em etapas de levantamento; e

em que derivar a realização sem perdas da matriz de entradas compreende realizar a matriz em uma pluralidade de etapas de levantamento, em que a matriz de entradas é reformulada para compreender uma matriz de cisalhamento, em que fatores de escala nas matrizes de entrada são distribuídos para etapas de levantamento da matriz de cisalhamento, em que a última etapa de levantamento da primeira matriz é combinada com a primeira etapa de levantamento de cisalhamento e a primeira etapa de levantamento da última matriz é combinada com a primeira etapa de levantamento de cisalhamento, e em que as operações inversas são canceladas a partir da expressão resultante.

FIGURA 1
TÉCNICA ANTERIOR

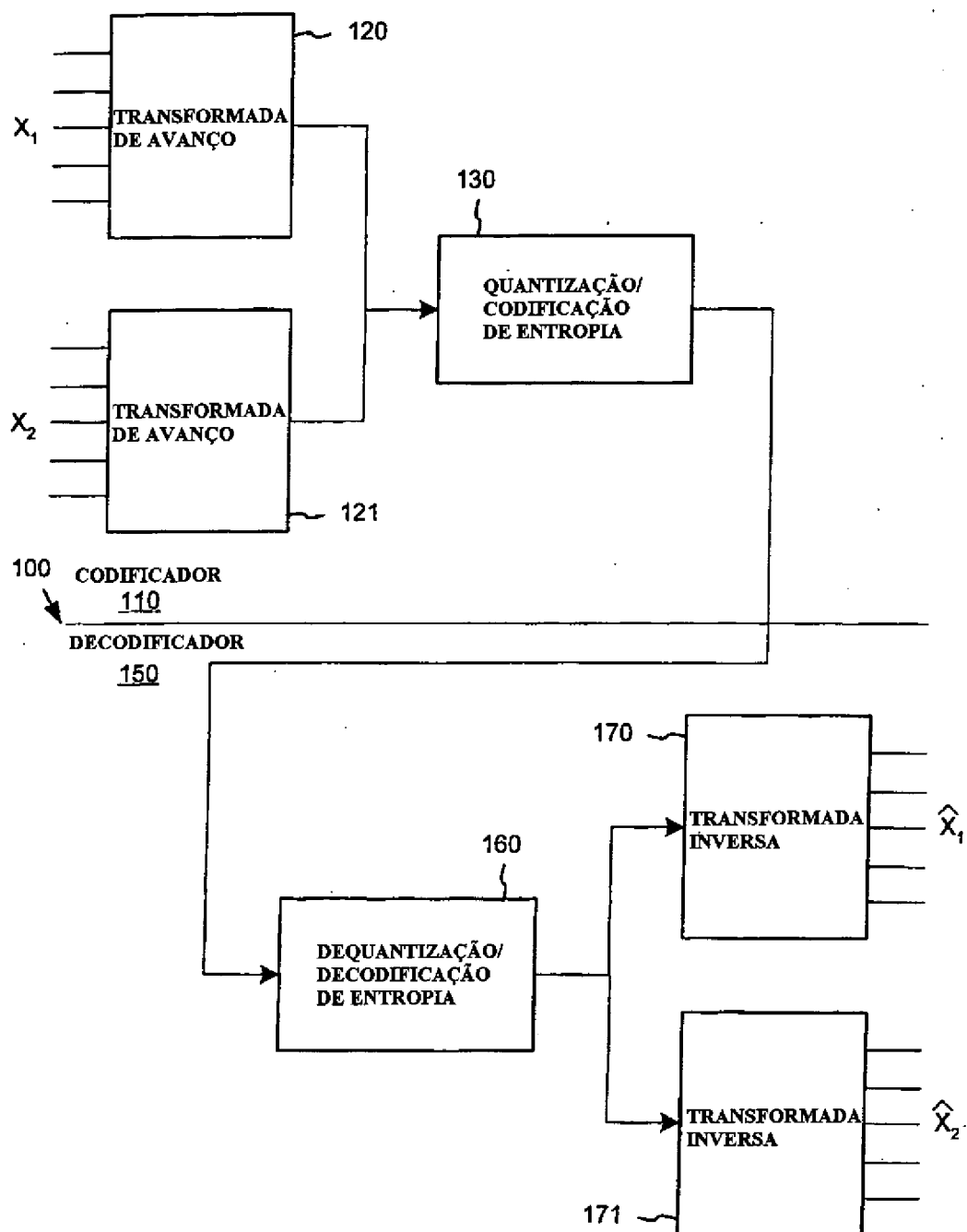


FIGURA 2
TÉCNICA ANTERIOR

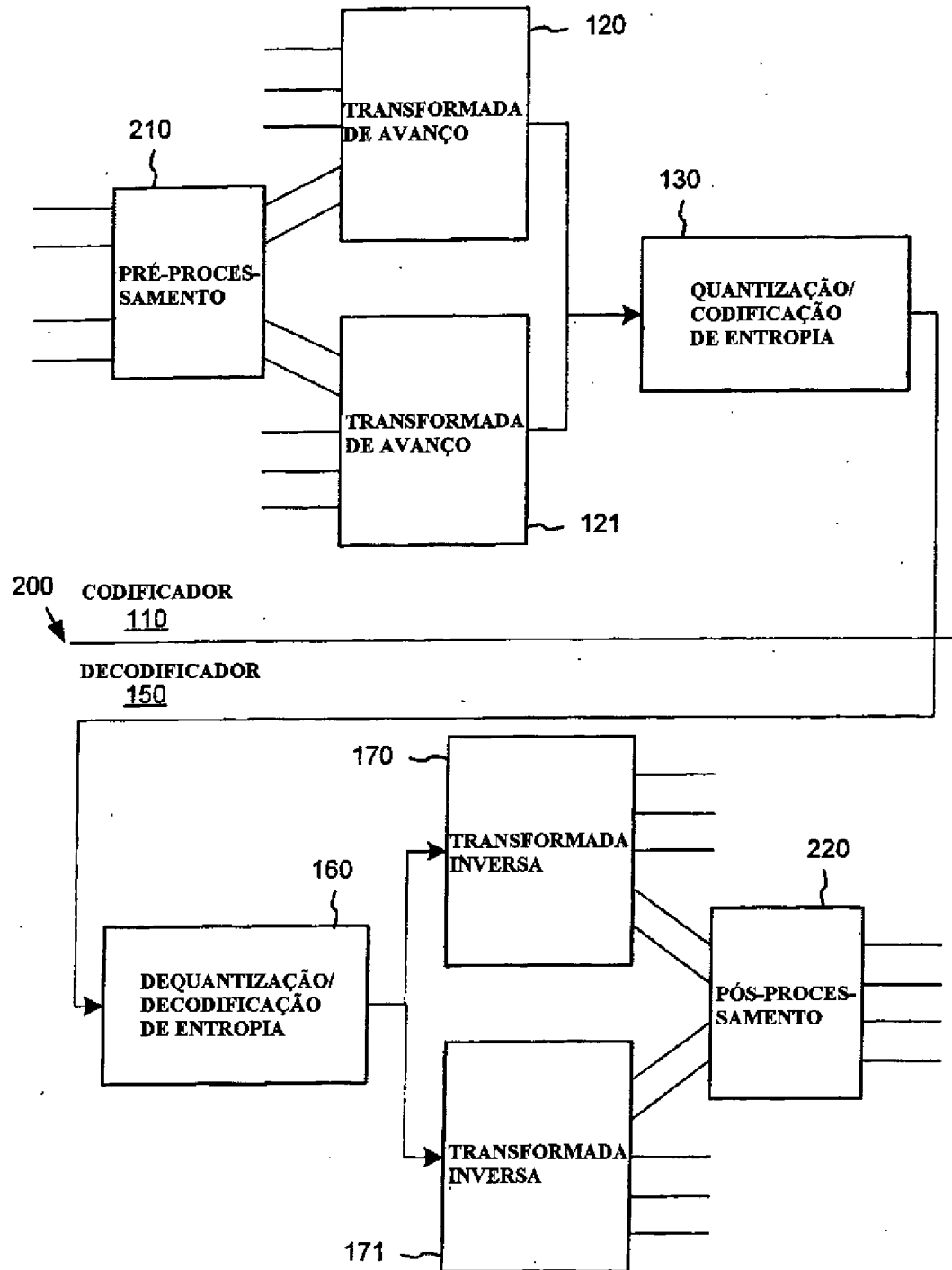


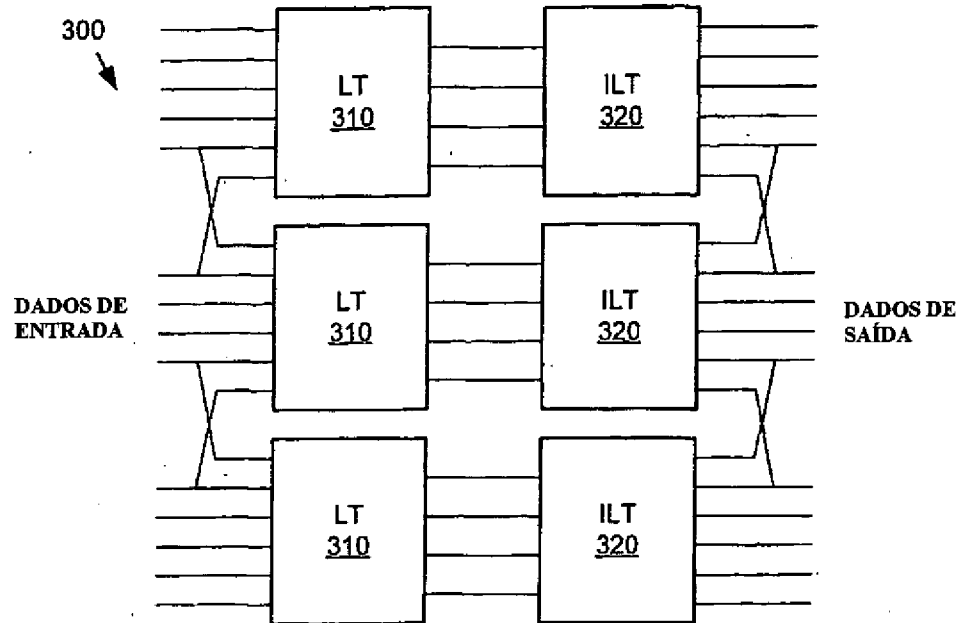
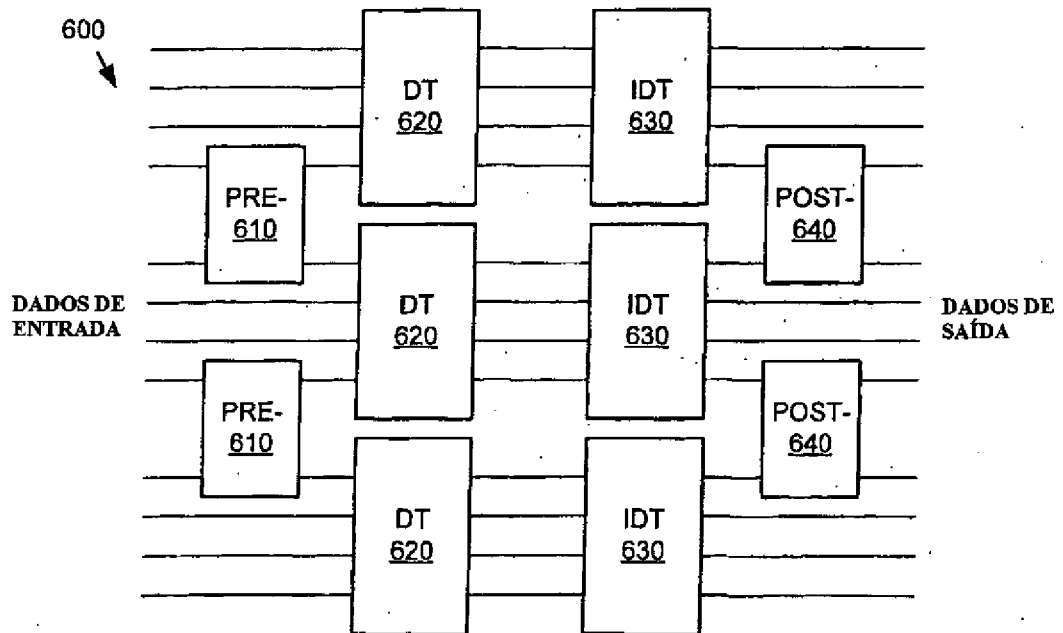
FIGURA 3**FIGURA 6**

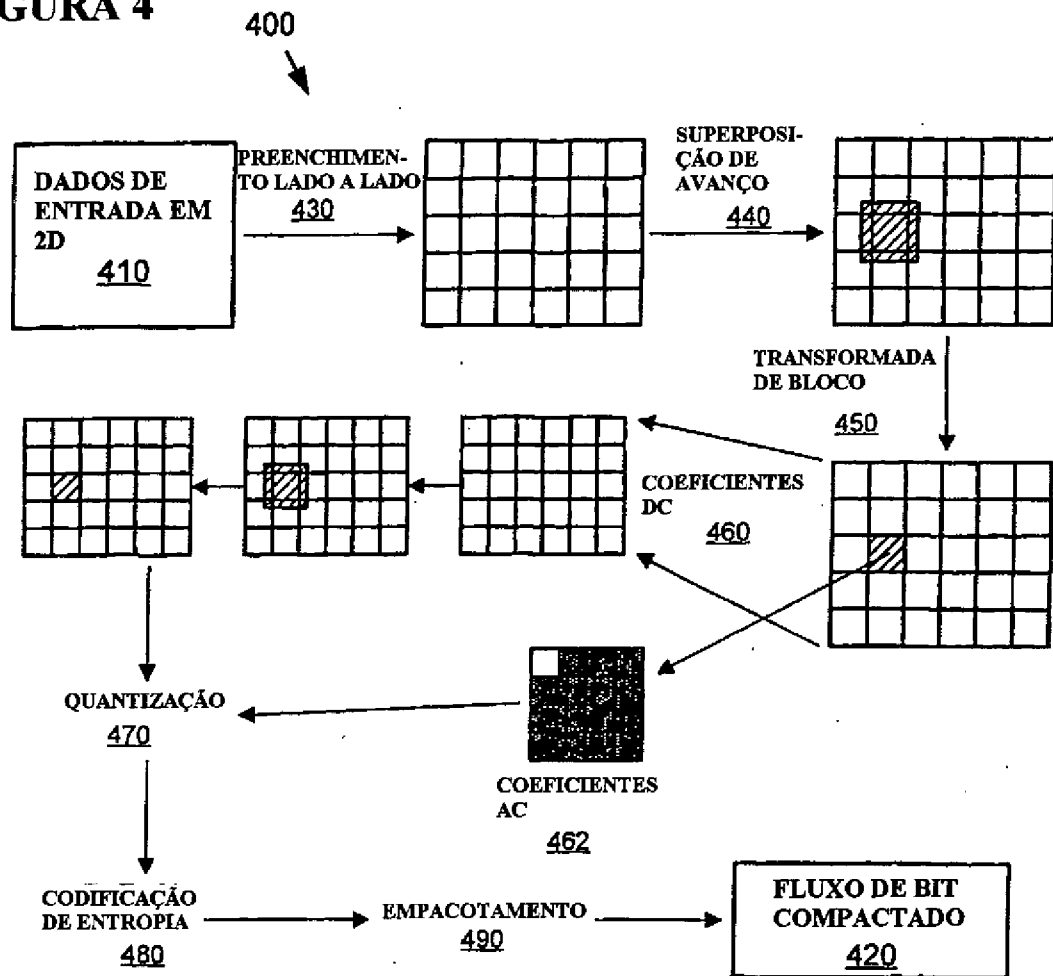
FIGURA 4

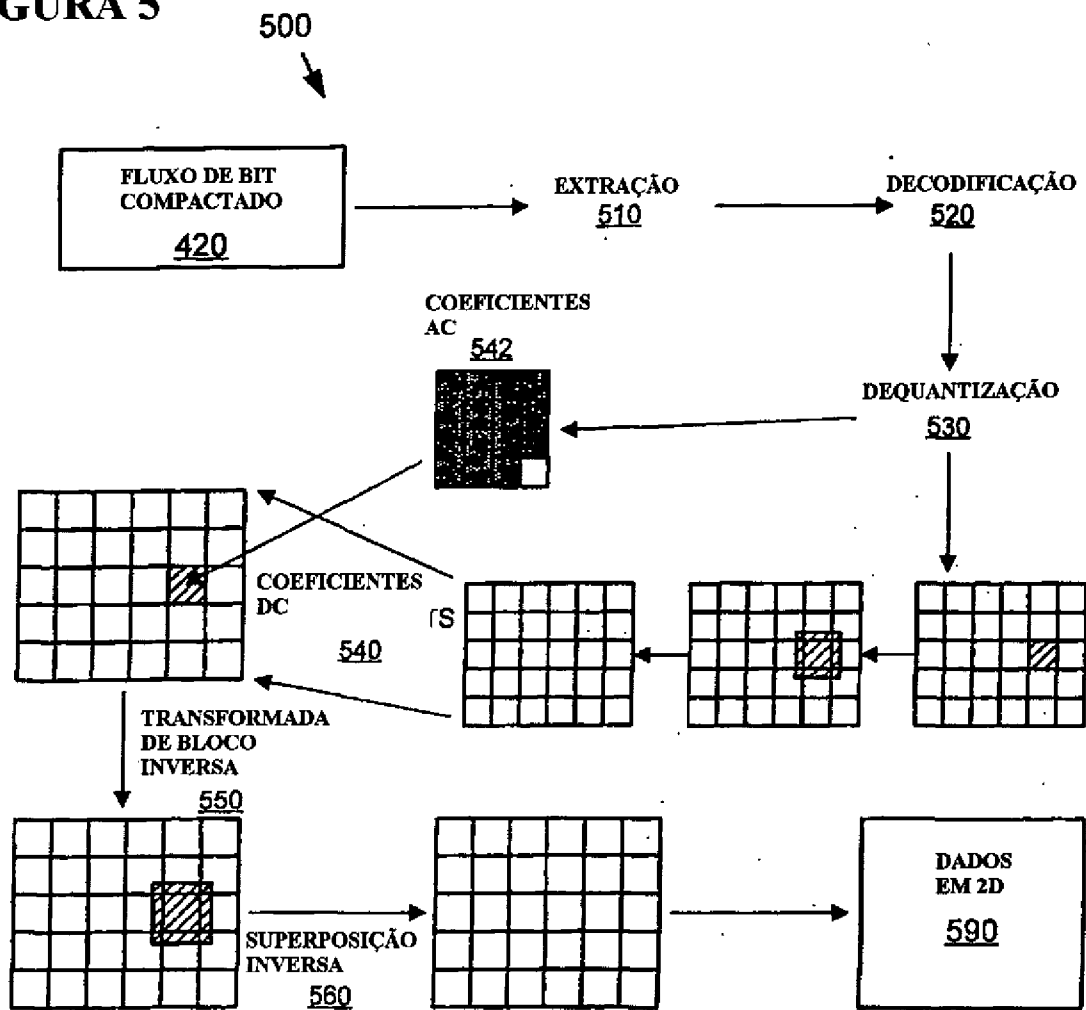
FIGURA 5

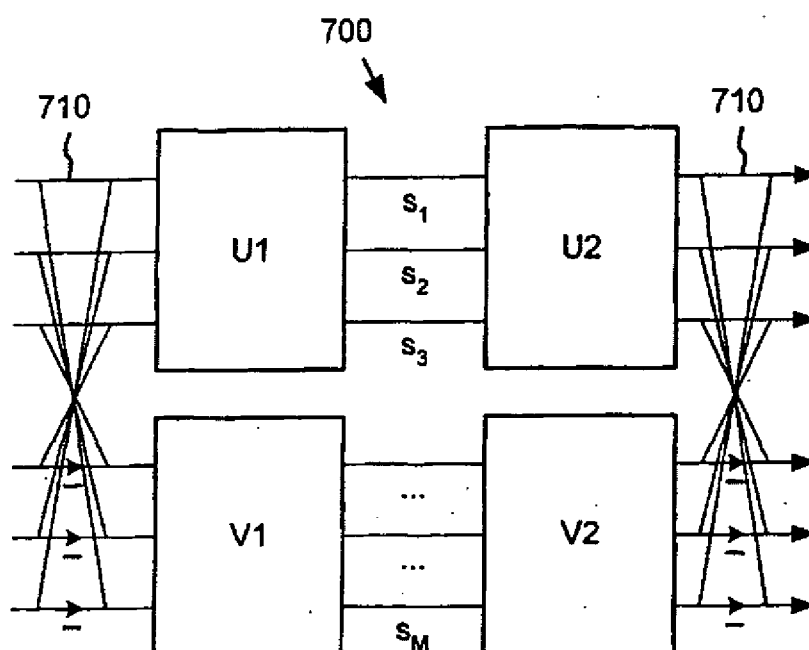
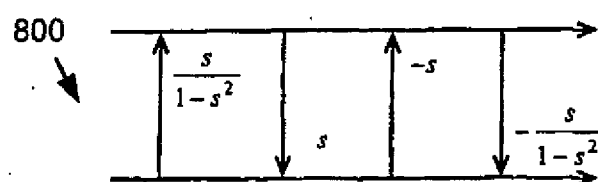
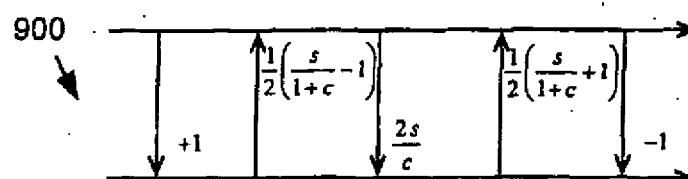
FIGURA 7**FIGURA 8****FIGURA 9**

FIGURA 10

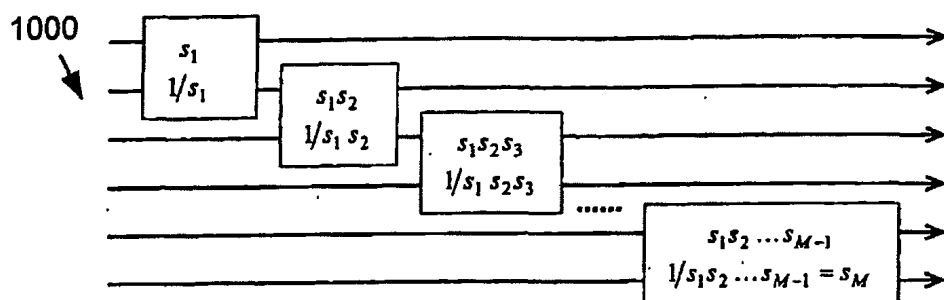


FIGURA 11

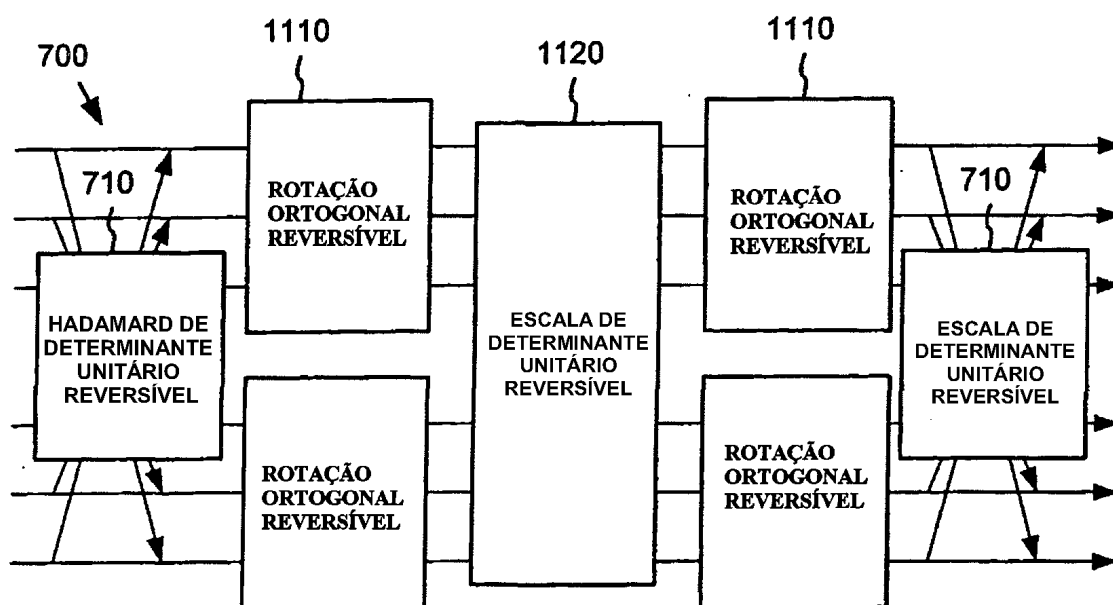


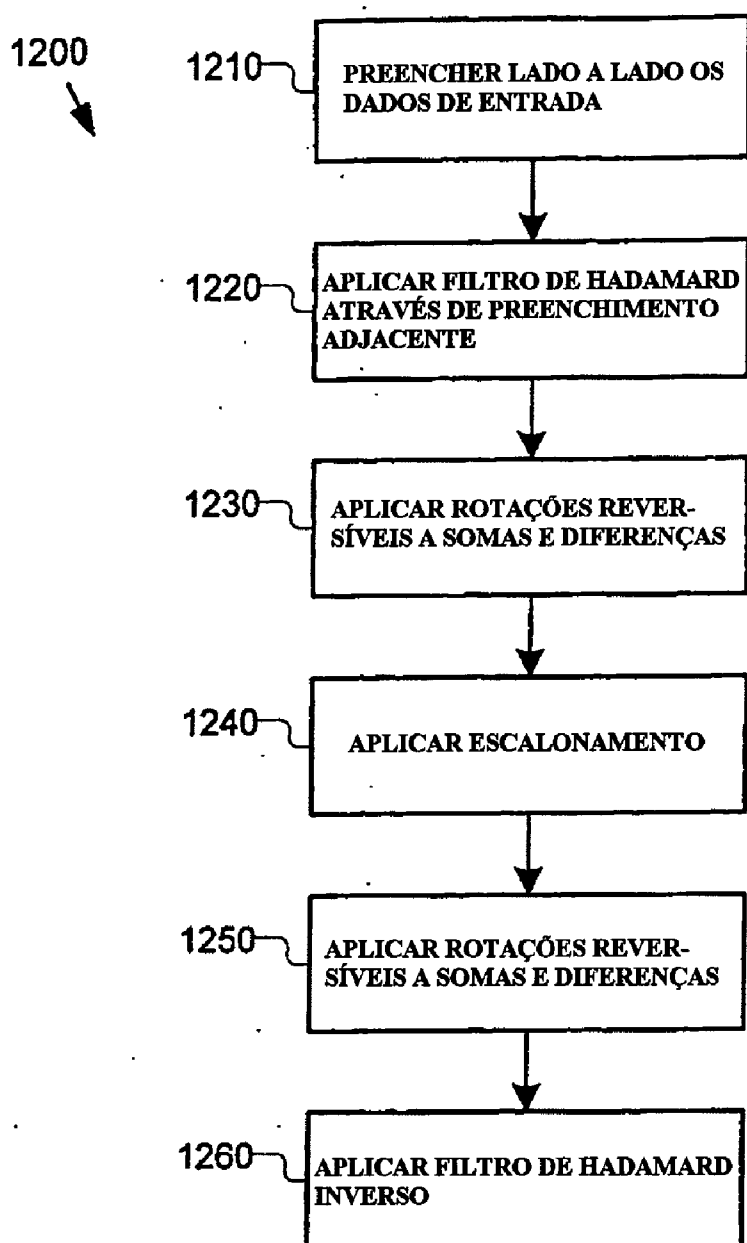
FIGURA 12

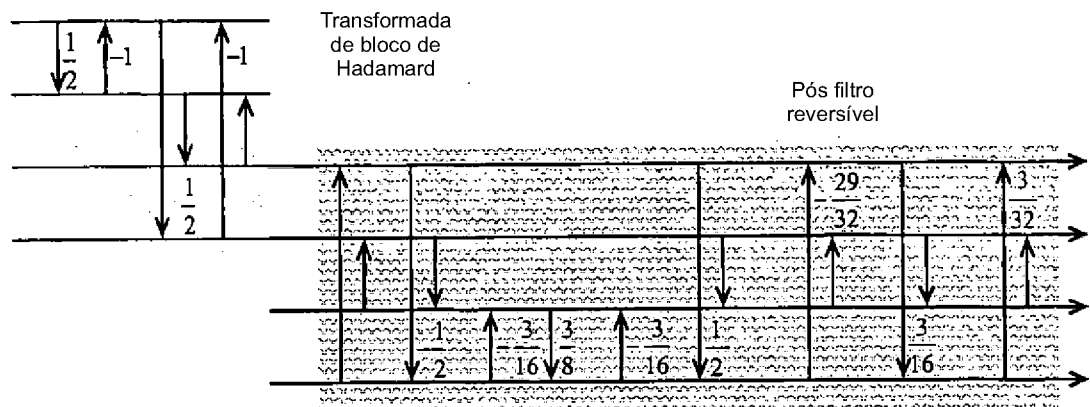
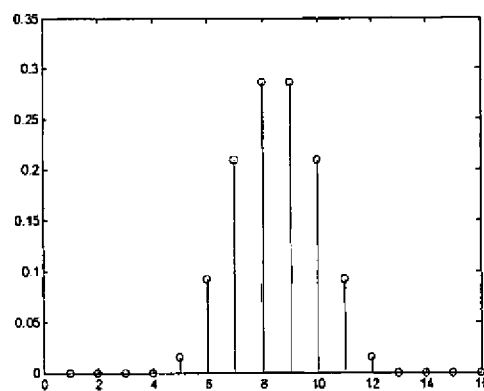
FIGURA 131300
↓**FIGURA 14**1400
↓

FIGURA 15