



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

(21) BR 102015003660-4 A2

(22) Data do Depósito: 20/02/2015

(43) Data da Publicação: 23/08/2016



\* B R 1 0 2 0 1 5 0 0 3 6 6 0 4 \*

(54) **Título:** CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO

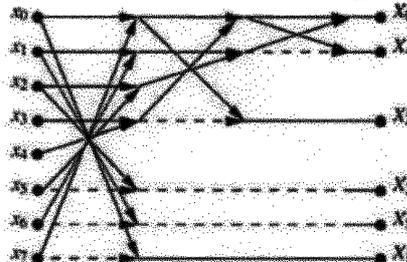
(51) **Int. Cl.:** H04N 19/00; H04N 19/625; G06T 9/00

(52) **CPC:** H04N 19/00; H04N 19/625; G06T 9/00; G06T 9/007

(73) **Titular(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE

(72) **Inventor(es):** RENATO JOSÉ DE SOBRAL CINTRA, VÍTOR DE ANDRADE COUTINHO

(57) **Resumo:** CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO se aplica a compressão de dados digitais com alto grau de correlação, e compreende a substituição do bloco da OCT por uma transformada de baixa complexidade computacional e excelente capacidade de compactação de energia e se caracteriza pela compressão de imagem ser executada sem operação aritmética de ponto flutuante e é baseado em transformada de bloco, onde vetor de dados que podem ser modelados como processo markoviano de primeira ordem é usualmente descorrelacionado através da Transformada Discreta do Cosseno (OCT), entretanto, tal ferramenta apresenta algumas desvantagens, como necessidade de aritmética de ponto flutuantes, propagação de erro por conta de truncamento e possui quantidade elevada de operações aritméticas, conseqüentemente, este método usual apresenta limitações para determinadas aplicações de baixo consumo energético.



## CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO

[001] A presente invenção se aplica a compressão de dados digitais com alto grau de correlação. O método é baseado em transformada de bloco. Vetor de dados que podem ser modelados como processo markoviano de primeira ordem é usualmente descorrelacionado através da Transformada Discreta do Cosseno (DCT). Entretanto, tal ferramenta apresenta algumas desvantagens, como necessidade de aritmética de ponto flutuantes, propagação de erro por conta de truncamento e possui quantidade elevada de operações aritméticas. Consequentemente, este método usual apresenta limitações para determinadas aplicações de baixo consumo energético. A presente invenção se baseia na substituição do bloco da DCT por uma nova transformada de baixa complexidade computacional e excelente capacidade de compactação de energia.

[002] Na vasta maioria dos casos existentes, vetores que carregam dados digitais são correlacionados, o que significa que há redundância na informação contida no vetor. Para armazenamento e transmissão mais eficientes são utilizadas técnicas de descorrelação de dados. Neste contexto, a Transformada de Karhunen-Loeve (KLT) é estatisticamente ótima e descorrelaciona completamente um dado vetor de entrada. Entretanto, a matriz de transformação da KLT depende da natureza estatística dos dados de entrada [1]. Dessa forma, não existe um circuito esquemático único para computar a KLT.

[003] Sinais que podem ser modelados como processo markoviano de primeira ordem são descorrelacionados de forma eficiente pela DCT [2]. De fato, a DCT representa uma aproximação assintótica para a KLT para sinais desse tipo com alta correlação. Além disso, a matriz de transformação da DCT não

depende do sinal de entrada, o que possibilita o cálculo computacional através de algoritmos rápidos.

[004] A DCT de uma dimensão (1D-DCT) de um vetor  $x = [x_0 \ x_1 \ \dots \ x_{N-1}]$  é dada pelo vetor  $X = [X_0 \ X_1 \ \dots \ X_{N-1}]^T$  definido pela seguinte expressão matricial:  $X = C \cdot x$ ,

em que  $C$  é a matriz de transformação da DCT de comprimento  $N$ , definida por

$$[C]_{k,n} = \sqrt{\frac{2}{N}} c_k \cos \left[ \frac{k(2n+1)\pi}{2N} \right],$$

$$k, n = 0, 1, \dots, N-1,$$

$$c_k = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{se } k = 0, \\ 1, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

[005] No contexto de compressão de imagens, é considerada transformada de duas dimensões. Imagens naturais podem ser classificadas como processo de Markov de primeira ordem. Consequentemente, padrões de codificação de imagem estática e dinâmica, com o JPEG [3], MPEG [4], H.261 [5], H.263 [6], HEVC [7, 8], utilizam a DCT na etapa da transformada de bloco. Em particular, a 2D-DCT de comprimento  $N = 8$  é largamente utilizada.

[006] A 2D-DCT de duas dimensões (2D-DCT) de uma matriz  $B$  de dimensão  $N \times N$  é definida pela expressão  $X = C \cdot B \cdot C^T$ .

[007] A 2D-DCT dada em (2) pode ser computada por meio da 1D-DCT dada em (1) computando inicialmente  $N$  1D-DCT's das linhas da matriz  $B$ , resultando em uma matriz intermediária. Em seguida, é computada  $N$  ID-DCT's das colunas desta matriz intermediária. Portanto, algoritmos para o cômputo da

ID-DCT podem ser empregados para computar a 2D-DCT, sendo necessárias  $2N$  utilizações do algoritmo de uma dimensão.

[008] Uma imagem é representada como uma matriz de pixels, em que cada elemento da matriz carrega um valor inteiro para cada uma das cores vermelha, verde e azul (RGB). Através da representação usual de 8 bits, esses valores variam entre 0 a 255. Em escala de cinza, é considerado apenas um valor para cada elemento da matriz.

[009] Em codificadores do tipo JPEG, a imagem é subdividida em matrizes menores (blocos). Cada bloco  $B$  é então submetido a uma 2D-DCT dada pela expressão (2). Para o tipo de imagens considerado, a DCT tem a capacidade de concentrar a maior parte da energia nos coeficientes de mais baixa frequência. Dessa forma, a maior parte da informação contida no bloco  $B$  é concentrada no canto superior esquerdo do bloco  $X$ .

[010] Em seguida, os blocos  $X$  são submetidos à etapa de quantização, resultando na matriz quantizada  $Y$ . Esta etapa consiste em divisão termo a termo pelos elementos da matriz de quantização  $Q$  e subsequente arredondamento. A etapa de quantização é representada matematicamente por

$$y_{k,n} = \text{round} \left( \frac{x_{k,n}}{q_{k,n}} \right),$$

em que  $y_{k,n}$ ,  $x_{k,n}$  e  $q_{k,n}$  são as entradas das matrizes  $Y$ ,  $X$  e  $Q$ , respectivamente. A operação  $\text{round}(\cdot)$  representa arredondamento. Os elementos da matriz de quantização são projetados de modo a provocar uma maior atenuação nos coeficientes de alta frequência, uma vez que concentram

menos energia. Dessa forma, coeficientes de maior frequência tem maiores chances de serem zerados.

[011] Em seguida, cada bloco quantizado é submetido ao processo de codificação. Nesta etapa, os coeficientes quantizados são reorganizados de acordo com o esquema zig-zag [1] e subsequentemente submetidos a um codificador de entropia, usualmente o código de Huffman [1, 3]. Ao fim desta etapa para todos os blocos, a imagem está em seu formato comprimido.

[012] O cálculo da DCT representa uma etapa fundamental para a compressão de dados e vários circuitos esquemáticos com base em algoritmos rápidos foram propostos desde que a DCT foi introduzida [9-12].

[013] Com o crescente aumento de aplicações que requerem grande velocidade de transmissão e processamento massivo de dados, aproximações de transformadas foram propostas com o objetivo de reduzir drasticamente a complexidade computacional e o consumo energético.

[014] Recentemente, vários circuitos baseados em transformadas aproximadas foram propostos e patenteados, apresentando resultados significativos [22-25] em velocidade e qualidade.

[015] Uma forma alternativa de reduzir a complexidade computacional da DCT é utilizar a abordagem pruning em transformadas. Esta abordagem consiste em podar as transformadas, ou seja, eliminar alguns componentes do vetor de entrada e/ou saída que são menos relevantes de acordo com algum critério. Dessa forma, as operações aritméticas envolvendo tais componentes são evitadas. No pedido de patente, descrito neste relatório, é mencionado o termo "podar" para se referir a esta técnica. As transformadas resultantes serão denominadas "transformadas podadas". Originalmente a técnica foi

proposta para o caso da Transformada Discreta de Fourier (DFT) [26] e posteriormente para a DCT [27]. Para o caso da DCT, apenas os coeficientes de frequência mais baixa são mantidos, uma vez que concentram maior parte da energia. No caso da DCT de duas dimensões, os coeficientes do canto superior esquerdo da matriz são preservados. Apesar de ser uma técnica já bastante explorada para o caso da DCT exata, há apenas um trabalho na literatura que explora essa abordagem para uma aproximação para a DCT [28] e, nenhum circuito esquemático rápido foi revelado utilizando esta abordagem.

[016] A invenção proposta em [22] sugere transformadas com elementos pertencentes ao conjunto dos inteiros diádicos [29]. Apesar de reduzir a complexidade computacional em relação a DCT exata, ainda há a necessidade de multiplicações não triviais. A presente invenção sugere transformadas para codificação baseadas em matrizes retangulares podadas com elementos do conjunto  $\{0,1\}$ .

[017] O esquema apresentado em [23] também faz uso de racionais diádicos para propor transformadas escalonadas aproximadas para a DCT, diferindo da presente invenção.

[018] A invenção proposta em [24] é baseado em aproximação escalonada para a DCT. Tal invento possui coeficientes inteiros e difere da presente invenção, que se baseia em transformadas com matrizes retangulares e coeficientes unitários, não necessitando de operações de multiplicações.

[019] A invenção proposta em [25] apresenta um esquema de compactação através de uma aproximação para a DCT com base no circuito esquemático de Loeffler [11], onde os coeficientes são racionais diádicos. A

presente invenção difere deste por propor uma série de circuitos esquemáticos baseados em transformadas retangulares com coeficientes unitários.

[020] A esquema apresentado em [30] é aplicada em conversão Digital-Analógico de elementos do espectro da DCT, computados previamente. A presente invenção difere desta por se tratar de um esquema para compactação de dados baseados em aproximações para o espectro da DCT.

[021] O esquema proposto em [31] é aplicado em codificação de sinais de vídeo, oferecendo suporte para a gravação. Entretanto, a etapa da transformada de bloco não é alterada. O presente invento difere deste por propor novos circuitos esquemáticos para o cômputo da transformada de bloco.

[022] A invenção apresentada em [32] propões modificação no codificador de entropia para com pressão de vídeo, mantendo a transformada de bloco inalterada. Por propor modificações na etapa da transformada de bloco e quantização, a presente invenção difere desta última.

[023] O esquema apresentado em [33] propões um sistema de predição de coeficientes da DCT baseado em macro-blocos. Tal invenção opera com aritmética de ponto flutuante, diferindo da presente invenção em que aritmética de ponto fixo sem necessidade de operações de multiplicações é empregada.

[024] A invenção proposta em [34] propõe um novo bloco de codificação para compressão de vídeo, mas não altera a etapa da transformada de bloco. Por manter o cálculo da DCT exata, tal invenção difere da apresentada neste documento, em que são proposta s aproximações podadas para a DCT.

[025] O esquema apresentado em [35] propõe um a forma de processar e armazenar através do cômputo da DCT baseado em aritmética de ponto flutuante. A presente invenção difere desta por propor transformadas alternativas

para a etapa da transformada de bloco em que aritmética de ponto fixo é empregada.

[026] A invenção dada em [36] propões um novo bloco de codificação, mas não altera a etapa de transformada de bloco. A presente invenção sugere novos circuitos esquemáticos rápidos para a transformada de bloco, mas mantém o método usual para a etapa de codificação.

[027] O método proposto em [37] se baseia na substituição do bloco do codificador de entropia, não alterando o bloco da DCT. A presente invenção difere desta por propor novo esquema baseado na substituição da DCT por aproximações podadas, não alterando a etapa da codificação.

[028] A invenção apresentada em [38] apresenta um esquema de rádio portátil cujo processamento de sinais de entrada é baseado na DCT utilizando aritmética de ponto flutuante. A presente invenção difere deste por utilizar aritmética de ponto fixo.

[029] O invento proposto em [39] apresenta um esquema de compressão de imagem baseado em sub-amostragem de imagem. Entretanto, a etapa da DCT não é modificada. Dessa forma, a presente invenção difere desta por modificar a etapa da transformada de bloco substituindo o circuito que computa a DCT através de aritmética de ponto fixo por circuitos que utilizam aritmética de ponto fixo e não necessitam de operações de multiplicações.

[030] A invenção apresentada em [40] propões uma método de compressão de imagem em que diferentes qualidades são apresentadas para uma mesma imagem. Entretanto, a etapa da transformada de bloco é mantida inalterada. Tal invenção difere do presente método uma vez que neste último

são propostos novos circuitos esquemáticos para a etapa da transformada de bloco.

[031] A invenção proposta em [41] propõe um método para compressão de imagem em que a etapa da DCT é combinada com a etapa da quantização. Entretanto, é utilizada aritmética de ponto flutuante. A presente invenção difere desta última por apresentar esquemas que utilizam aritmética de ponto fixo para o cômputo da transformada de bloco.

[032] A invenção apresentada em [42] propõe um esquema de decodificação JPEG para aplicações em que a imagem exibida é de tamanho menor que a imagem original. O método é baseado em reduzir o tamanho da imagem no domínio da DCT quantizada. Sendo assim, o custo computacional para a dequantização e DCT inversa é reduzido. O invento não apresenta modificação no bloco da DCT direta. Tal esquema difere da presente invenção, em que os blocos de transformada direta e inversa são substituídos por transformadas de baixo custo computacional.

[033] A invenção apresentada em [43] propõe um sistema de compressão de dados digitais baseado em Spatial-Domain Lapped Transforms (SDLT). A invenção utiliza transformada com aritmética de ponto flutuante, diferindo do presente método em que aritmética de ponto fixo sem necessidade de multiplicações é empregada.

[034] O esquema apresentado em [44] propõe um sistema de compressão de imagem onde certas porções da imagem são mais comprimidas que outras. Entretanto, o invento utiliza o cômputo da DCT exata na etapa da transformada e bloco, utilizando aritmética de ponto flutuante. A presente invenção propõe

circuitos esquemáticos rápidos na etapa da transformada de bloco que utilizam aritmética de ponto fixo e não necessitam de operações de multiplicação.

[035] A invenção proposta em [45] sugere um esquema de compressão de imagem que processa em paralelo diferentes partes da imagem no caso de imagens não coloridas ou em paralelo diferentes elementos de cor, no caso de imagem colorida. Entretanto, a etapa de uma transformada de bloco é feita baseada na DCT exata. A presente invenção difere desta por apresentar novos métodos que utilizam aritmética de ponto fixo para o computo da transformada de bloco.

[036] O esquema apresentado em [46] propõe um sistema de compressão de imagens em que são utilizadas diferentes matrizes de quantização para os dados Y, Cb e Cr da imagem. Entretanto, a etapa da transformada de bloco é mantida inalterada, sendo utilizada aritmética de ponto flutuante para o computo da DCT. A presente invenção difere desta por propor circuitos esquemáticos rápidos na etapa da transformada de bloco que utilizam aritmética de ponto fixo e não necessitam de operações de multiplicação.

[037] A invenção proposta em [47] apresenta um esquema de compressão de imagem em que componentes de frequência menor que um determinado threshold são eliminadas. Entretanto, não há modificação na etapa de transformada de bloco, sendo computada a DCT exata fazendo uso de aritmética de ponto flutuante. A presente invenção difere desta por propor novos circuitos esquemáticos rápidos baseados em aproximações retangulares para a DCT, onde aritmética de ponto fixo é utilizada e operações de multiplicação são desnecessárias.

[038] O esquema apresentado em [48] propõe um sistema de compressão de imagem onde a etapa de quantização é modificada, mantendo a compatibilidade com o esquema JPEG. Entretanto, a etapa de transformada de bloco é feita baseada na DCT exata. A presente invenção difere desta por apresentar novos métodos que utilizam aritmética de ponto fixo para o computo da transformada de bloco.

[039] O invento apresentado em [49] propõe um método para ajuste de brilho e contrastes para vídeos comprimidos com base na DCT. Entretanto, não é proposto novo circuito esquemático para o cômputo da DCT, sendo utilizada aritmética de ponto flutuante. A presente invenção propõe circuitos esquemáticos rápidos na etapa da transformada de bloco que utilizam aritmética de ponto fixo e não necessitam de operações de multiplicação.

[040] O invento apresentado em [50] propõe um esquema de compressão de imagem em que uma classificação do tipo da imagem a ser comprimida é realizada. Os parâmetros da tabela de quantização e de sub-amostragem são então definidos pelo tipo de documento. Entretanto, é utilizado circuito esquemático rápido para a DCT exata, fazendo uso de aritmética de ponto flutuante. A presente invenção difere desta por apresentar novos métodos que utilizam aritmética de ponto fixo para o computo da transformada de bloco.

[041] A invenção, descrita neste relatório, trata de um conjunto de esquemas para a compressão de imagens estáticas ou dinâmicas com baixo custo computacional e excelente capacidade de codificação. O método se baseia em podar a transformada aproximada proposta em [21]. Tal transformada possui a menor complexidade aritmética da literatura, com apenas 14 adições e não necessita de operações com ponto flutuantes. Conseqüentemente, os métodos

podados propostos aqui herdam essa característica e possuem complexidade aritmética ainda menor. Os bloco da transformadas direta e inversa no esquema de compactação e descompactação de imagem, usualmente implementado pela DCT e IDCT respectivamente, são substituído por algum dos métodos propostos nesta invenção. O bloco de quantização também é modificado de modo a explorar a baixa complexidade aritmética da transformação e suas versões podadas. A invenção se trata de esquemas de codificação de imagem cujo bloco de transformada 2-D direta e inversa são baseadas em transformadas retangulares podadas e possuem menor complexidade computacional que os métodos já existentes.

[042] As figuras em anexo e a descrição detalhada que segue são meramente apresentadas a título de exemplo, pois o dito objeto pode ser concebido por outras soluções conhecidas. Portanto, detalhes estruturais e funcionais específicos aqui divulgados não devem ser interpretados como uma limitação, mas apenas como uma base para as reivindicações; atua como uma base representativa para o ensino de um perito na arte de empregar e colocar em prática o desenvolvimento do objeto descrito neste relatório, com base na metodologia doravante detalhada.

[043] A Figura 1 apresenta esquema geral de compressão de imagem através de divisão em blocos, transformada de bloco, quantização e codificação.

[044] A Figura 2 apresenta esquema geral de descompressão de imagem.

[045] A Figura 3 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz  $T(7)$ .

[046] A Figura 4 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz T(6).

[047] A Figura 5 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz T(5) .

[048] A Figura 6 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz T(4) .

[049] A Figura 7 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz T(3) •

[050] A Figura 8 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz T(2).

[051] A Figura 9 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz T(7).

[052] A Figura 10 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz T(6) .

[053] A Figura 11 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz T(5).

[054] A Figura 12 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz T(4).

[054] A Figura 13 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz T(3).

[055] A Figura 14 apresenta diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para a matriz T(2).

[056] O método proposto se baseia em podar a transformada ortogonal proposta em [21], denominada de modified RDCT (MRDCT). As transformadas resultantes apresentam complexidades computacionais muito baixas, mantendo

performances de compressão competitivas, conforme apresentado na Tabela I. No método proposto, todos os blocos descritos nas Figuras 1 e 2 são mantidos, com exceção dos blocos de transformação 2-D e de quantização na Figura 1 e os blocos de transformação inversa 2-D e dequantização na Figura 2. Estes são substituídos por métodos descritos a seguir.

[057] Seja a matriz de transformação T proposta em [21], dada por

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} t_{1,1} & t_{1,2} & \dots & t_{1,8} \\ t_{2,1} & t_{2,2} & \dots & t_{2,8} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{8,1} & t_{8,2} & \dots & t_{8,8} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

a transformação corresponde a uma aproximação para a DCT dada por

$$c = D \cdot T$$

[058] De acordo com a teoria desenvolvida em [1], a matriz diagonal D não influencia na complexidade aritmética no contexto de compressão de imagens, uma vez que os elementos podem ser incorporados na matriz Q na etapa de quantização. Dessa forma, uma nova matriz de quantização  $Q^*$  é utilizada, cujos elementos  $q_{k,n}$  são dados por

$$q_{k,n}^* = \frac{q_{k,n}}{k_{Dk,n}},$$

em que  $k_{Dk,n}$  são as entradas da matriz:  $KD = \text{diag}(D) \times \text{diag}(D)$ , a operação "x" representa o produto de Kronecker e  $\text{diag}(\bullet)$  retorna um vetor coluna com os elementos da diagonal do argumento.

[059] Definindo uma transformação podada baseada na transformação  $T$ , as matrizes retangulares são definidas por

$$\mathbf{T}_{(K)} = \begin{bmatrix} t_{1,1} & t_{1,2} & \dots & t_{1,8} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{K,1} & t_{K,2} & \dots & t_{K,8} \end{bmatrix},$$

$$1 < K < 8,$$

[060] A aproximação podada para a DCT é dada por  $C(K) = D(K) \cdot T(K)$ .

[061] Sendo assim, o conjunto de novas matrizes de transformação obtidas é mostrado na Tabela 2. A transformação direta de uma dimensão é dada por  $X = C(K) \cdot x$ . A transformação de duas dimensões a serem aplicadas aos blocos da imagem utilizando as novas matrizes é representada matematicamente por  $\mathbf{X}_{(K)} = \hat{\mathbf{C}}_{(K)} \cdot \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{C}}_{(K)}^T$ , de forma análoga ao caso da DCT, a transformação de duas dimensões pode ser aplicada através da transformação de uma dimensão. Sendo assim,  $N$  transformações são aplicadas as linhas da matriz  $B$ , gerando uma matriz intermediária. Entretanto, devido ao fato da transformação ter dimensão  $N \times K$ , a matriz intermediária possui também a mesma dimensão. Conseqüentemente, em seguida são realizadas apenas  $K$  transformações nas colunas resultantes da matriz intermediária.

[062] Portanto, são necessárias apenas  $N + K$  aplicações do algoritmo de uma dimensão, em contraste com o caso não podado, em que são necessárias  $2N$  utilizações. Esse fato reduz torna as transformações propostas ainda mais

econômicas quando considerado o caso 2D. As complexidades aditivas para os casos 1-D e 2-D são mostradas na Tabela I.

[063] A matriz transformada  $X(K)$  tem dimensão  $K \times K$  e possui os  $K^2$  coeficientes da parte superior e esquerda da transformação não podada. Dessa forma, há apenas tal quantidade de coeficientes para serem submetidos à etapa de quantização. Portanto apenas os  $K^2$  coeficientes da matriz modificada  $Q^*$  são necessários para etapa de quantização, reduzindo a memória física necessária para esta etapa. A nova etapa de quantização é feita forma semelhante à Eq. (3) utilizando a matriz quadrada definida a seguir

$$Q_{(K)}^* = \begin{bmatrix} q_{1,1}^* & q_{1,2}^* & \cdots & q_{1,K}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{K,1}^* & q_{K,2}^* & \cdots & q_{K,K}^* \end{bmatrix}$$

$$1 < K < 8,$$

[064] Os circuitos esquemáticos rápidos que implementam as transformadas podadas propostas  $T(7)$ ,  $T(6)$ ,  $T(5) \cdot T(4)$ ,  $T(3)$  e  $T(2)$  são mostrados nas Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8, respectivamente.

[065] A matriz transformada  $X(K)$  possui os  $K^2$  coeficientes que retém maior quantidade de energia da transformação original não-podada. Então, a transformação inversa pode ser feita utilizando a matriz não podada  $C$  da seguinte forma:

$$\hat{B} = \hat{C}^T \cdot \begin{bmatrix} X_{(K)} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}_{8 \times 8} \cdot \hat{C},$$

[066] Dessa forma, a matriz "B" é uma aproximação para a matriz  $B$ . Entretanto, considerando a posição dos elementos nulos e o fato de que  $C(K)$  é

construída considerando as primeiras  $K$  linhas de  $C$ , a expressão (6) para a transformação inversa é equivalente à seguinte expressão:  $\hat{B} = \hat{C}_{(K)}^T \cdot X_{(K)} \cdot \hat{C}_{(K)}$ , em que  $C(K)$  é a matriz de dimensão  $K \times 8$  proposta, adicionalmente, verifica-se que a matriz  $C(K)$  é a pseudo-inversa generalizada de Moore-Penrose da matriz  $C(K)$  [51, p. 363]. Uma vez que matriz diagonal  $D(K)$  pode ser incorporada na etapa de quantização conforme descrito anteriormente.

[067] Considera-se como transformação inversa as matrizes  $TT(K)$ . Os circuitos esquemáticos rápidos para  $TT(7)$ ,  $TT(6)$ ,  $TT(5)$ ,  $TT(4)$ ,  $TT(3)$  e  $TT(2)$  são mostrados nas Figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14, respectivamente.

[068] A invenção se dá pela aplicação dos pares de circuitos esquemáticos que computam  $T(K)$  e  $TT(K)$  nas etapas de transformação 2-D direta na Figura 1 e transformação 2-D inversa na Figura 2, respectivamente. Ambas etapas de quantização e dequantização utilizam matrizes de quantização alterada de acordo com as expressões (4) e (5).

[069] Simulações dos sistemas de compressão e descompressão de imagem das Figuras 1 e 2 foram aplicadas a 50 imagens de um banco público de imagens [52]. As imagens recuperadas foram comparadas com os originais através dos valores da relação de sinal-ruído de pico (PSNR) [53, p.9] e similaridade estrutural (SSIM) [54]. Os valores médios de PSNR e SSIM e as complexidades aditivas de 1-D e 2-D para cada valor de  $K$  são mostrados na Tabela 1, abaixo.

$K$	PSNR	SSIM	Add (1-D)	Add (2-D)
2	24.29	0.55	8	80
3	25.26	0.65	9	99
4	26.37	0.72	10	120
5	26.77	0.76	11	143
6	29.58	0.83	12	168
7	30.29	0.84	13	195

[070] A tabela 2, abaixo, mostra aproximações MRDCT podadas:

$K$	$T_{(K)}$	$D_{(K)}$
2	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\text{diag} \left( \frac{1}{\sqrt{8}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$
3	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\text{diag} \left( \frac{1}{\sqrt{8}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{2} \right)$
4	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\text{diag} \left( \frac{1}{\sqrt{8}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{2}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$
5	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\text{diag} \left( \frac{1}{\sqrt{8}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{2}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{8}} \right)$
6	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\text{diag} \left( \frac{1}{\sqrt{8}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{2}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{8}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$
7	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\text{diag} \left( \frac{1}{\sqrt{8}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{2}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{8}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{2} \right)$

[071] Referências Bibliográficas

[072] V. Britanak, P. Yip, and K. R. Rao. Discrete Cosine and Sine Transforms. Academic Press, 2007.

[073] K. R. Rao and P. Yip. The Ten Transformations (ITU) Data Compression Handbook. CRC Press LLC.

[074] G.K. Wallace. The JPEG still picture compression standard. IEEE Transactions on Consumer Electronics. 38(1):xvii-xxxiv, 1992.

[075] International Organisation for Standardisation. Generic coding of moving pictures and associated audio information- Part 2: Video. ISO/IEC JTC 1/SC29/WG 11 - coding of moving pictures and audio. ISO. 1994.

[076] International Telecommunication Union. ITU-T recommendation H.261 version I: Video codec for audiovisual services at up to 64 kbits. Technical report, ITU-T, 1990.

[077] International Telecommunication Union. ITU-T recommendation H.263 version I: Video coding for low bit rate communication. Technical report. ITU-T, 1995.

[078] International Telecommunication Union. High efficiency video coding: Recommendation ITU-T H.265. Technical report, ITU-T Series H: Audiovisual and Multimedia Systems. 2013.

[079] M. T. Pourazad, C. Doutre, M. Azinu, and P. Nasiopoulos. HEVC: The new gold standard for video compression: How does HEVC compare with H.264/AVC? IEEE Consumer Electronics Magazine, 1(3):36-46, July 2012.

[080] W. H. Chen, C. Smith, and S. Fralick. A fast computational algorithm for the discrete cosine transform. IEEE Transactions on Communications, 25(9):1004-1009, September 1977.

[081] B. G. Lee. A new algorithm for computing the discrete cosine transform. IEEE Transactions

[082] Acoustics, Speech and Signal Processing, ASSP-32: 1243-1245, December 1984.

[083] Loeffler, A. Ligtenberg, and George S. Moschytz. Practical fast 1-D DCT algorithms with 11 multiplications. ICASSP International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2:988-991, 1989.

[084] Ephraim Feig and Shmuel Winograd. Fast algorithms for the discrete cosine transform. *IEEE transactions on Signal Processing*, 40(9):2174-2193, 1992.

[085] K. Lengwehasatit and A. Ottega. Scalable variable complexity approximate forward DCT. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(11):1236-1248. November 2004.

[086] S. Bouguezel, M. O. Ahmad, and M. N. S. Swamy. Low-complexity 8 x 8 transform for image compression. *Electronics Letters*, 44(21):1249-1250, September 2008.

[087] S. Bouguezel, M. O. Ahmad, and M.N. S. Swamy. A fast 8x 8 transform for image compression. In 2009 International Conference on Microelectronics (ICM), pages 74-77, December 2009.

[088] S. Bouguezel, M. O. Ahmad, and M. N. S. Swamy. A novel transform for image compression. In 53rd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (NIWSCAS), pages 509-512, August 2010.

[089] S. Bouguezel, M. O. Ahmad, and M. N. S. Swamy. A low-complexity parametric transform for image compression. In Proceedings of the 2011 IEEE International Symposium on Circuit and System, 2011.

[090] S. Bouguezel, M. O. Ahmad, and M. N. S. Swamy. Binary discrete cosine and Hartley transforms. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 60(4):989-1002, 2013.

[091] T. I. Haweel. A new square wave transform based on the DCT. *Signal Processing*, 82::2309-2319, 2001.

[092] R. J. Cintra and F. M. Bayer. A DCT approximation for image compression. *IEEE Signal Processing Letters*, 18(10):579-582, October 2011.

[093] M. Bayer and R.J. Cintra. DCT-like transform for image compression requires 14 additions only. *Electronics Letters*, 48(15):919-921, 19 2012.

[094] Sridhar Srinivasan. Transformada reversível para compactação de dados bidimensionais com perdas e sem perdas, 2006. BR PI 0506084-2 A.

[095] A. S. Ludwin, H. Garudadri, and H. Chung. Projeto de transformada com interfaces escalonadas e não escalonadas, 2011.

[096] R.L.Joshi, M. Karczewicz, and Y. Reznik. 16-point transform for media data coding, May 18. 2012. WO Patent App. PCT/US2010/039,692.

[097] S.J.F.N.A. Ruan ; B. Heyne, J. GÖTZE. and C.C.F.N. Sun. Method and circuit for performing a circular based integer discrete cosine transformation (dct), particularly for signal processing, October 3 1 2007. EP Patent App. EP20,060,008,407.

[098] J. Markel. FFT pruning. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 19:305-311. 1971.

[099] Z. Wang. Pruning the fast discrete cosine transform. *IEEE Transactions on Communications*. 39(5):640-643, May 1991.

[100] N. Kouadria, N. Ooghmane, O. Messadeg, and S. Harize. Low complexity DCT for image compression in wireless visual sensor networks. *Electronics Letters*, 49(24): 1531-1532, 2013.

[101] R. L. Graham, O. E. Knuth, and O. Patashnik. *Concrete Mathematics*. Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

[102] E. Keehr, S. Wang, and S. Bazarjani. Filtering applicable to digital to analog converter systems, January 8 2004. WO Patent App. PCT/US2003/020,403.

[103] T. Oda. Processo e aparelho para codificação de imagens e suporte de gravação de imagens , 1999.

[104] C. Christopoulos. Processo e sistema de transmissão, em particular para uso em transmissão de imagem progressiva, transmissor, receptor e sistema para codificação de imagens imóveis e/ou sequenciais de vídeo, 1999.

[105] R. O. Eifrig, X. Chen, and A. Luthra. Predição de coeficiente DC e AC para vídeo digital entrelaçado intra-macrobloco, 1999.

[106] Jiangoong Luo, Fehmi Chebil, and Asad Islam . Image processing of dct-based video sequences in compressed domain, June 27 2008. 9564/DELNP/2007 A.

[107] Y. Nakayama. Image compressing apparatus and image reading apparatus including the same, image processing apparatus including image compressing apparatus and image forming apparatus including the same, image compression processing method , computer program thereof and recording medium , December 20 2007. US Patent App. 1J/8 I 2,385.

[108] Dennis S. Bernstein. Matrix Mathematics: Theory, Facts, and Formulas. Princeton University Press, 2009.

[109] USC-SIPI Image Database.

[110] V. Bhaskaran and K. Konstantinides. Image and Video Compression Standards. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997.

[111] z. Wang, A. C. Bovik. H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. IEEE Transactions on image Processing, 13(4):600-612, April 2004.

## REIVINDICAÇÕES

1. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO caracterizado pela compressão de imagem ser executado sem operação aritmética de ponto flutuante que utilize qualquer uma das matrizes  $T_{(K)} - T_{(7)}$ ,  $T_{(6)}$ ,  $T_{(5)}$ ,  $T_{(4)}$ ,  $T_{(3)}$  e  $T_{(2)}$ , no bloco de Transformação 2-D no esquema geral de compressão de imagem através de divisão em blocos, transformada de bloco, quantização e codificação.

2. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por utilizar qualquer uma das matrizes  $T_{(K)}^T$  no bloco de Transformação 2-D inversa no esquema geral de descompressão de imagem.

3. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por utilizar no bloco de Transformação 2-D no esquema geral de compressão de imagem através de divisão em blocos, transformada de bloco, quantização e codificação, para qualquer um dos circuitos diagrama de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para as matrizes  $T_{(K)} - T_{(7)}$ ,  $T_{(6)}$ ,  $T_{(5)}$ ,  $T_{(4)}$ ,  $T_{(3)}$  e  $T_{(2)}$ .

4. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por utilizar no bloco de Transformação 2-D inversa no esquema geral de compressão de imagem através de divisão em blocos, transformada de bloco, quantização e codificação, para qualquer um dos circuitos  $T_{(7)}^T$ ,  $T_{(6)}^T$ ,  $T_{(5)}^T$ ,  $T_{(4)}^T$ ,  $T_{(3)}^T$  e  $T_{(2)}^T$ .

5. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por substituir os elementos do bloco de quantização no esquema geral de compressão de imagem através de divisão em blocos, transformada de bloco, quantização e codificação, por elementos da matriz  $Q_{(K)}^*$ , definidos a partir de  $T_{(K)}$ .

6. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por substituir os elementos do bloco de quantização no esquema geral de descompressão de imagem, por elementos da matriz  $Q_{(K)}^*$ , definidos a partir de  $T_{(K)}$ .

7. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por aplicar o esquema geral de compressão de imagem através de divisão em blocos, transformada de bloco, quantização e codificação em cada um *dos frames* utilizando qualquer uma das matrizes  $T_{(K)}$  no bloco de Transformação 2-D inversa no esquema geral de descompressão de imagem.

8. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por aplicar esquema geral de descompressão de imagem em cada um *dos frames* utilizando qualquer uma das matrizes  $T_{(K)}^T$  no bloco de Transformação 2-D inversa.

9. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO, de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado por aplicar esquema geral de compressão de imagem através de divisão em blocos, transformada de bloco, quantização e codificação, a *cada frame* e que utilize, no bloco de Transformação 2-D, qualquer um dos circuitos exibidos nos diagramas de fluxo do circuito esquemático rápido proposto para as matrizes  $T_{(K)}$  -  $T_{(7)}$ ,  $T_{(6)}$ ,  $T_{(5)}$ ,  $T_{(4)}$ ,  $T_{(3)}$  e  $T_{(2)}$ .

10. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por aplicar esquema geral de descompressão de imagem a cada frame e que utilize no bloco de Transformação 2-D inversa qualquer um dos circuitos  $T_{(7)}^T$ ,  $T_{(6)}^T$ ,  $T_{(5)}^T$ ,  $T_{(4)}^T$ ,  $T_{(3)}^T$  e  $T_{(2)}^T$ ;

11. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por aplicar esquema geral de compressão de imagem através de divisão em blocos, transformada de bloco, quantização e codificação, a *cada frame* e que substitua os elementos do bloco de quantização pelos elementos do bloco de quantização no esquema geral de descompressão de imagem, por elementos da matriz  $Q_{(K)}^*$ , definidos a partir de  $T_{(K)}$ .

12. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por aplicar esquema geral de descompressão de imagem em cada um *dos frames* e que substitua os elementos do bloco de dequantização pelos elementos do bloco de quantização no esquema geral de descompressão de imagem, por elementos da matriz  $Q_{(K)}^*$ , definidos a

partir de  $T_{(K)}$ .

13. CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO caracterizado por rede de sensores visuais sem fio utilizar sistema de compressão e/ou descompressão de imagem conforme descrito nas reivindicações 1 a 6.



Fig. 1

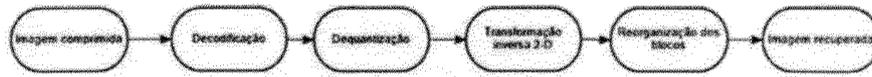


Fig. 2

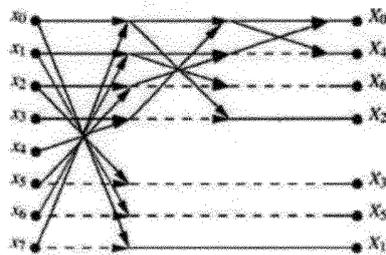


Fig. 3

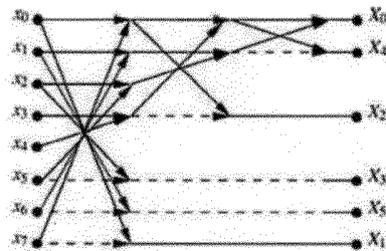


Fig. 4

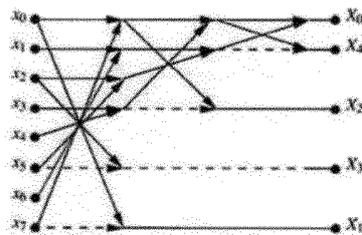


Fig. 5

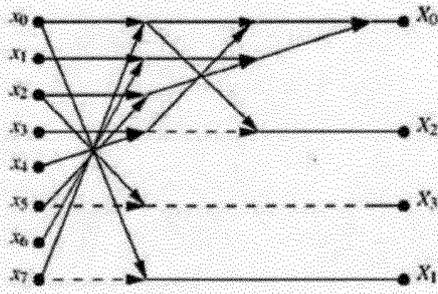


Fig. 6

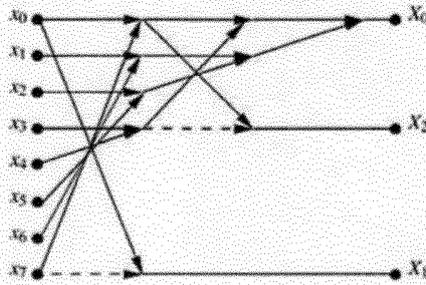


Fig. 7

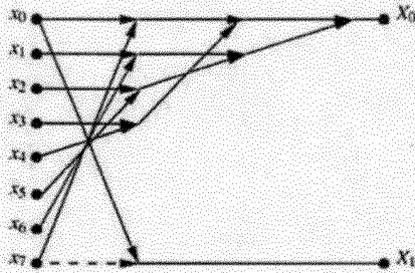


Fig. 8

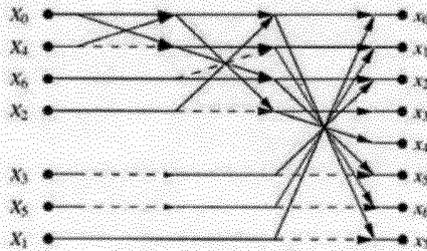


Fig. 9

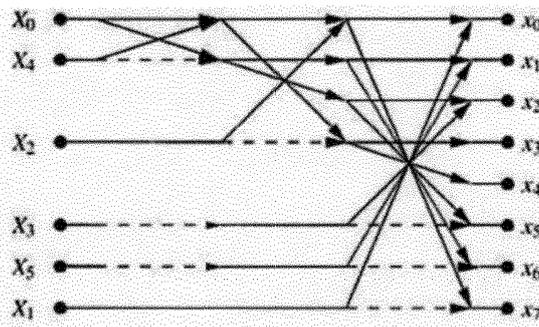


Fig. 10

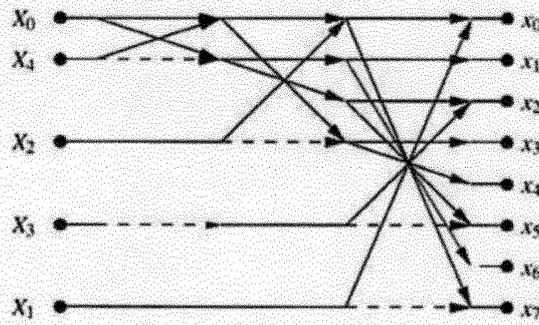


Fig. 11

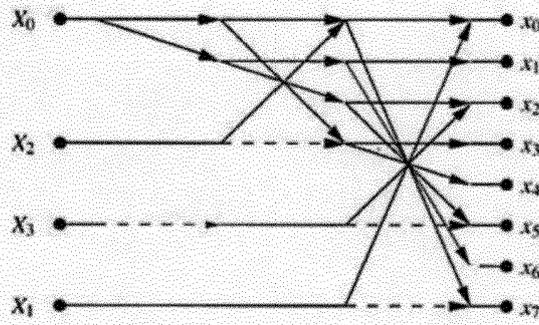


Fig. 12

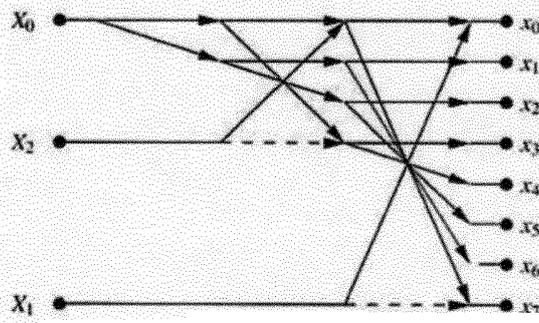


Fig. 13

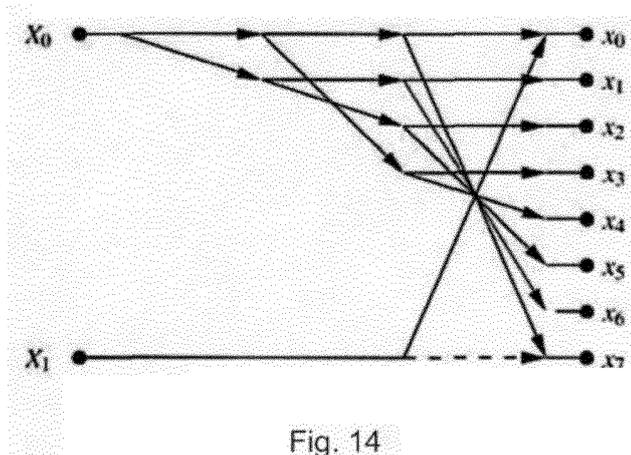


Fig. 14

## RESUMO

CONJUNTO DE MÉTODOS DE BAIXO CONSUMO PARA COMPRESSÃO DE IMAGEM E VÍDEO se aplica a compressão de dados digitais com alto grau de correlação, e compreende a substituição do bloco da DCT por uma transformada de baixa complexidade computacional e excelente capacidade de compactação de energia e se caracteriza pela compressão de imagem ser executada sem operação aritmética de ponto flutuante e é baseado em transformada de bloco, onde vetor de dados que podem ser modelados como processo markoviano de primeira ordem é usualmente descorrelacionado através da Transformada Discreta do Cosseno (DCT), entretanto, tal ferramenta apresenta algumas desvantagens, como necessidade de aritmética de ponto flutuantes, propagação de erro por conta de truncamento e possui quantidade elevada de operações aritméticas, conseqüentemente, este método usual apresenta limitações para determinadas aplicações de baixo consumo energético.