



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

(21) BR 102015017870-0 A2

(22) Data do Depósito: 27/07/2015

(43) Data da Publicação: 07/11/2017



(54) **Título:** MÉTODO PARA COMPUTAÇÃO DO ESPECTRO DA DCT PARA SINAIS ACUMULADOS E/OU DE MÉDIA NULA

(51) **Int. Cl.:** G10L 19/00; G10L 19/02

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

(72) **Inventor(es):** RENATO JOSÉ DE SOBRAL CINTRA; DIEGO FELIPE GOMES COELHO

(57) **Resumo:** MÉTODO PARA COMPUTAÇÃO DO ESPECTRO DA OCT PARA SINAIS ACUMULADOS E/OU DE MÉDIA NULA O

Método revela um esquema para o cálculo dos coeficientes da DCT que pode ser usado em diversos cenários, quer seja em implementação em hardware ou software, e se baseia na fórmula de soma por partes, em que o esquema produzido é capaz de superar métodos convencionais existentes para sinais de entrada em formato comumente encontrado em sistemas de processamento de imagens, reconhecimento de faces e extração de características, e em particular, se torna útil em situações em que o sinal de entrada possui média nula por ser pertinente ao contexto de detecção de característica, por exemplo, em que o nível DC pode não ser relevante, e se torna útil em situações em que o sinal de entrada é nativamente acumulado, e o esquema proposto pode ser útil em problemas de reconhecimento de face, em que os métodos usualmente adotados exigem o dado na forma integrada.

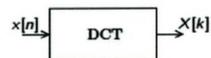


Fig. 1

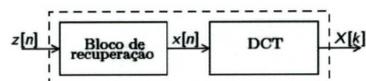
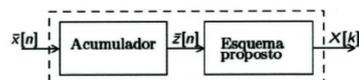


Fig. 2



MÉTODO PARA COMPUTAÇÃO DO ESPECTRO DA DCT PARA SINAIS ACUMULADOS E/OU DE MÉDIA NULA

[001] A presente invenção trata sobre um esquema de processamento de sinais em que é necessário aplicar a transformada discreta do cosseno de comprimento 8 (DCT). A presente invenção descreve um sistema de processamento de sinais que é capaz de prover o espectro da DCT para o sinal de entrada já integrado, sem a necessidade de bloco de diferenciação. Aplicações de sistemas com essa característica são encontrados em situações em que o sinal seja naturalmente somado, ou que outros passos do sistema completo exija a soma acumulada de um dado sinal intermediário. Isso acontece em aplicações de extração de característica [1], filtragem de imagens integrais [2] e detecção de faces [3]. A invenção se baseia na construção de um esquema de cálculo da DCT que remove a necessidade do bloco de diferenciação.

Antecedente da Invenção

[002] A DCT é uma aproximação assintótica para a expansão de Karhunen-Loève, ou como é chamada, a transformada de Karhunen-Loève (KLT), para sinais de Markov estacionários de primeira ordem altamente correlacionados [4]. Um típico exemplo de sinais que se encaixam nesta classificação são as imagens [4]. Em contextos estatísticos, a KLT é conhecida como análise de componente principal (PCA) [5], com larga aplicação na descorrelação de dados, redução de dimensionalidade e processamento de imagens [6, 7, 8, 9, 10].

[003] A DCT tem sido aplicada em vários contextos práticos: redução de ruído [11], métodos de marca d'água [12], técnicas de compressão de

imagem/vídeo [4], e detecção harmônica [4], para citar apenas alguns. Além disso, o recente aumento da demanda de processamento de imagem / vídeo para eletrônicos de consumo [13] e grande manipulação de dados [14] enfatiza a necessidade de computação rápida e eficiente da DCT [15]. Como consequência, a DCT é adotada em vários sistemas de imagem e codificação de vídeo [16], tal como JPEG [17], MPEG-1 [17], H.264 [18], e HEVC [19]. Com o objetivo de minimizar o custo computacional do cálculo da DCT, uma quantidade de esquemas para o cálculo eficiente da DCT têm sido propostos, incluindo o esquema da DCT de Chen [20], método Lee [21], a arquitetura de Loeffler [22], esquema da DCT-2D de Feig-Winograd DCT [23], e o esquema de Arai da DCT [24].

[004] De modo geral, um sistema que faz uso do cômputo do espectro da DCT tem a arquitetura apresentada na Figura 1. Contudo, em algumas aplicações [2, 3], o sinal de entrada está acumulado no tempo. Em tais situações, é necessária a introdução do bloco de pré-processamento, em que o sinal acumulado no tempo é submetido a um bloco de recuperação do sinal original. Após o bloco de recuperação do sinal original, este é aplicado ao bloco de que implementa o cálculo da DCT. Este cenário é demonstrado na Figura 2. Em sistemas práticos, qualquer um dos métodos em [20, 21, 22, 23] pode ser usado. Em se tratando de sequências de comprimento 8, os métodos e esquemas em [20, 21, 22] são particularmente úteis.

[005] A invenção descrita em [27] propõe um método para controle da carga computacional executada com o cálculo dos coeficientes da DCT em

codificação de imagens. A invenção descrita em [27] difere da presente invenção por não abordar a forma como a DCT é computada. No trabalho em [27], a DCT pode ser implementada com métodos usuais em [22, 21, 24]. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[006] A invenção descrita em [28] propõe um método para transcodificação de imagens no domínio da DCT. A invenção descrita em [28] difere da presente invenção por não abordar a forma como a DCT é computada. No trabalho em [28], a DCT pode ser implementada com métodos usuais em [22, 21, 24]. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[007] A invenção descrita em [29] propõe um método para controle da carga computacional executada com o cálculo dos coeficientes da DCT em codificação de imagens. A invenção descrita em [29] difere da presente invenção por não abordar a forma como a DCT é computada. No trabalho em [29], a DCT pode ser implementada com métodos usuais em [22, 21, 24]. A presente invenção propõe um novo método para o cômputo da DCT para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[008] A invenção descrita em [30] propõe um método de cálculo dos coeficientes da DCT de uma imagem de tamanho arbitrário baseado no cálculo da DCT de blocos locais de tamanhos variáveis e de comprimentos potência de 2. A invenção descrita em [30] difere da presente invenção por não abordar como a DCT dos blocos locais deve ser implementada. No trabalho em [30], a DCT pode

ser implementada com métodos usuais em [22, 21, 24]. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[009] A invenção descrita em [31] propõe um método de cálculo dos coeficientes da DCT de blocos de comprimento 8 baseado em blocos de comprimento 4. A invenção descrita em [31] difere da presente invenção por usar a DCT de comprimento 4. No trabalho em [31], a DCT pode ser implementada com métodos usuais [4]. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[0010] A invenção descrita em [32] propõe um método para a implementação do cálculo dos coeficientes da DCT em microcontroladores baseados no algoritmo de Feig-Winograd [23]. A invenção descrita em [32] difere da presente invenção por usar o algoritmo de FeigWinograd [23]. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[0011] A invenção descrita em [33] propõe um método para mascaramento espacial de imagens baseado em métricas da imagem de entrada, como variância estimada, gradiente ou coeficientes da DCT. Em particular, quando se trata do uso dos coeficientes da DCT, invenção não especifica o método ou algoritmo rápido usado para o cômputo dos coeficientes da DCT. A invenção descrita em [33] difere da presente invenção por não especificar o algoritmo para a implementação da DCT. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[0012] A invenção descrita em [34] propõe um método para a extração de dados encriptados em imagens com esteganografia – hidden data in stego-images – após ataque por escalonamento. A invenção descrita em [34] difere da presente invenção pois não trata do cômputo da DCT. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[0013] A invenção descrita em [35] propõe um método para pós-processamento de imagens 3D para redução de ruído. A invenção descrita em [35] difere da presente invenção pois não trata do cômputo da DCT, mas usa os coeficientes da DCT sem especificar qual método deve ser usado para a computação dos coeficientes. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com média nula e/ou já acumulados.

[0014] A invenção descrita em [36] propõe um método para processamento e codificação de vídeo, baseado no cômputo dos coeficientes da DCT e em matrizes de quantização modificadas. A invenção descrita em [36] difere da presente invenção pois não trata do cômputo da DCT, mas usa matrizes de quantização diferentes para aumentar a performance do proposto codificador de vídeo. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com média nula e/ou já acumulados.

[0015] A invenção descrita em [37] propõe um método para redução de ruído baseado em segmentação em blocos da imagem original. A invenção descrita em [36] difere da presente invenção pois não trata do cômputo da DCT,

mas apenas faz uso dos coeficientes da DCT para a redução do ruído presente na imagem original. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[0016] A invenção descrita em [38] propõe um método para a codificação de imagens baseado no cômputo dos coeficientes da DCT e da transformada discreta wavelet (DWT). A invenção descrita em [38] difere da presente invenção pois não trata do cômputo da DCT, mas apenas faz uso dos coeficientes da DCT assim como dos coeficientes da DWT. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[0017] A invenção descrita em [39] propõe uma técnica para embarcar e detectar marca d'água em imagens. A invenção descrita em [39] difere da presente invenção, pois não trata do cômputo da DCT, mas apenas faz uso dos coeficientes da DCT para embarcar e detectar a existência de marca d'água. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[0018] A invenção descrita em [40] propõe uma técnica para embarcar marca d'água em sinais de imagem e áudio baseada em blocos. A invenção descrita em [40] difere da presente invenção, pois não trata do cômputo da DCT, mas apenas faz uso dos coeficientes da DCT para embarcar marca d'água na imagem de entrada. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com media nula e/ou já acumulados;

[0019] A invenção descrita em [41] propõe uma técnica de redução de ruído

em imagens baseada em um sistema variante do esquema de filtragem de Wiener com imagens em representação piramidal. A invenção descrita em [41] difere da presente invenção pois não trata do cômputo da DCT, mas apenas faz uso dos coeficientes da DCT a redução do ruído presente na imagem original. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com média nula e/ou já acumulados;

[0020] A invenção descrita em [42] propõe um método para processamento de imagens baseado em decimação e interpolação da imagem original. A invenção descrita em [42] difere da presente invenção pois não trata do cômputo da DCT, mas apenas faz uso dos coeficientes da DCT baseado na separação da parte par e da parte ímpar. A presente invenção propõe um método para o cômputo da DCT de comprimento 8 para sinais com média nula e/ou já acumulados;

Sumário da Invenção

[0021] A invenção, descrita neste relatório, revela um esquema para o cálculo dos coeficientes da DCT que pode ser usado em diversos cenários, quer seja em implementação em hardware ou software. Este esquema se baseia na fórmula de soma por partes. O esquema produzido é capaz de superar métodos convencionais existentes [20, 21, 22, 24] para sinais de entrada em formato comumente encontrado em sistemas de processamento de imagens [2], reconhecimento de faces [3] e extração de características [1]. Em particular, a presente invenção se torna útil em situações em que o sinal de entrada possui média nula ou já é nativamente acumulado. Situações em que o sinal apresenta

média nula é pertinente ao contexto de detecção de característica, por exemplo, em que o nível DC pode não ser relevante [25, 1]. Em situações em que o sinal de entrada é nativamente acumulado, o esquema proposto pode ser útil em problemas de reconhecimento de face, em que os métodos usualmente adotados exigem o dado na forma integrada [2, 3].

Descrição das Figuras

[0022] A Figura 1 apresenta um sistema genérico usual que computa a DCT de uma dada sequência arbitrária de entrada $x[n]$;

[0023] A Figura 2 apresenta um sistema genérico usual que computa a DCT de uma dada sequência arbitrária de entrada $x[n]$ quando é dada como entrada a sequência na forma acumulada $z[n]$;

[0024] A Figura 3 apresenta a arquitetura do sistema proposto para o cenário (i) quando o sinal de entrada possui média nula, denotado por $\bar{x}[n]$. A sequência $\bar{z}[n]$ é a sequência acumulada construída a partir de $\bar{x}[n]$. O bloco de acumulação pode ser implementado de modo usual com técnicas convencionais [26];

[0025] A Figura 4 apresenta a arquitetura do sistema proposto para o cenário (ii) quando o sinal de entrada é naturalmente acumulado. A sequência $\bar{z}[n]$ é a sequência acumulada construída a partir de $\bar{x}[n]$;

[0026] A Figura 5 apresenta o circuito esquemático proposto para o cálculo dos coeficientes da DCT escalonados—exceto pela ausência do termo DC de $x[n]$;

[0027] A Figura 6 apresenta o circuito esquemático proposto para o cálculo

dos coeficientes da DCT exata—exceto pela ausência do termo DC de $x[n]$;

[0028] A Figura 7 apresenta o circuito esquemático proposto para a remoção do nível DC de $x[n]$ da sequência acumulada $z[n]$, resultando em $z^{-}[n]$.

Descrição Detalhada

[0029] A presente invenção difere em aspectos relevantes de sistemas e esquemas já propostos em trabalhos relacionados.

[0030] A técnica de soma por partes é o equivalente em tempo discreto ao método integração por partes [43]. Seja $x[n]$ e $y[n]$ dois sinais de tempo discreto. A soma por partes prescreve que [43, 44]:

$$\sum_{n=0}^{N-1} x[n]y[n] = x[N]y[N] - x[0]y[0] - \sum_{n=0}^{N-1} \left(\sum_{i=0}^{n-1} x[i] \right) \cdot \Delta y[n],$$

em que Δ denota o operador de diferença finita dado por $\Delta y[n] \triangleq y[n+1] - y[n]$ [33].

[0031] A expressão acima pode ser simplificada com a suposição das seguintes condições fracas adicionais. Admitindo que os sinais são considerados periódicos com período N , foi estabelecido, em [45] que:

$$\sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot y[n] = - \sum_{n=0}^{N-1} \left(\sum_{i=0}^{n-1} x[i] \right) \cdot \Delta y[n].$$

[0032] A condição acima sobre a periodicidade não é demasiadamente restritiva. A teoria de transformadas discretas assume que os sinais de entrada são periódicos [46, 4, 47]. Esse é o caso em todas as transformações listadas na Tabela 1. Em particular, a DCT pode ser obtida como a solução de um problema

de oscilação harmônica [4].

[0033] A expressão $\sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot y[n]$ pode ser interpretada como uma transformação de tempo discreto. Seja $x[n]$ o sinal de entrada a ser transformado e $y[n] = \ker[n, k]$ o núcleo de uma transformação para k -ésima componente no domínio da transformada. Portanto, temos que:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot \ker[n, k], \quad k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (2)$$

em que $X[k]$ é o sinal que representa as componentes da transformada. A Tabela 1 apresenta alguns núcleos de transformações usuais.

Núcleos de transformações usuais

Transformação	$\ker[n, k]$
DFT [46]	$\exp\left(-j\frac{2\pi nk}{N}\right)$
DHT [46]	$\cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right)$
DCT [4]	$\cos\left(\frac{\pi(2n+1)k}{2N}\right)$
DST [4]	$\sin\left(\frac{\pi}{N}\left(k + \frac{1}{2}\right)\left(n + \frac{1}{2}\right)\right)$

[0034] Portanto, aplicando (1) em (2) produz a seguinte expressão para as components no domínio espectral:

$$\begin{aligned}
 X[k] &= - \sum_{n=0}^{N-1} \left(\sum_{i=0}^n x[i] \right) \cdot \Delta \ker[n, k] \\
 &= - \sum_{n=0}^{N-1} z[n] \cdot \Delta \ker[n, k], \quad k = 0, 1, \dots, N-1,
 \end{aligned} \tag{3}$$

em que $z[n] = \sum_{i=0}^n x[i]$, para $n = 0, 1, \dots, n-1$.

[0035] Comparando (2) com (3), percebe-se que a expressão original da transformação foi reescrita em uma forma alternativa em que ambos os dados de entrada e o núcleo foram processados. Observe que $z[n]$ é a saída de um sistema acumulador para o sinal de entrada $x[n]$ [36]; enquanto $\Delta \ker[n, k]$ deriva de um sistema de diferenças finitas para o sinal de entrada $\ker[n, k]$ [46]. Embora o sistema de diferenças finitas não seja causal, este fato não representa nenhuma dificuldade ao formalismo acima. Isto acontece porque $\ker[n, k]$ não é uma sequência aleatória — mas uma sequência determinística cujos valores são conhecidos a priori [48, p.7].

[0036] Observa-se que se $x[n]$ possui média nula, o seguinte é válido:

$$z[N-1] = \sum_{i=0}^{N-1} x[i] = 0.$$

[0037] Para transformações trigonométricas, condição acima implica $X[0] = 0$ (valor DC nulo). Portanto, (3) pode ser simplificada e escrito como:

$$X[k] = - \sum_{n=0}^{N-2} z[n] \cdot \Delta \ker[n, k], \quad k = 1, 2, \dots, N-1. \tag{4}$$

[0038] O somatório acima varia de 0 a $N - 2$. Isto significa que a matriz da transformação associada a (3) tem dimensão $(N - 1) \times (N - 1)$. Isto contrasta com a matriz de transformação original, que tem tamanho $N \times n$. Assim, a soma por partes provocou uma redução de dimensão na computação da transformada. Como consequência, o custo computacional de algoritmos associados espera-se ser reduzido.

[0039] A DCT é uma transformação linear que mapeia um sinal de tempo discreto $x[n]$ de comprimento N em ou outro sinal de tempo discreto $X[k]$ de comprimento N , de acordo com a seguinte relação [22]:

$$X[k] = \frac{4}{\sqrt{N}} \alpha_k \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos\left(\frac{\pi(2n+1)k}{2N}\right), \quad k = 0, 1, \dots, N-1,$$

em que $\alpha_k = 1/\sqrt{2}$, para $k = 0$ e $\alpha_k = 1$

[0040] Caso contrário, a expressão acima pode ser apresentada em forma compacta por meio de representação matricial.

[0041] Considerando sinais $x[n]$ e $X[k]$ em formato vetorial como

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x[0] & x[1] & \dots & x[N-1] \end{bmatrix}^T$$

temos que:

$$\mathbf{X} = \mathbf{C}_N \cdot \mathbf{x} \quad (5)$$

em que \mathbf{C}_N é a matriz da DCT, cuja entrada (k, n) é dada por

$$\frac{4}{\sqrt{N}} \alpha_k \cos\left(\frac{\pi(2n+1)k}{2N}\right).$$

Para $N = 8$, temos a seguinte matriz de transformação:

$$\mathbf{C} \triangleq \mathbf{C}_8 = \sqrt{2} \cdot \begin{bmatrix} c_4 & c_4 & c_4 & c_4 & -c_4 & -c_4 & -c_4 & -c_4 \\ c_1 & c_3 & c_5 & c_7 & -c_7 & -c_5 & -c_3 & -c_1 \\ c_2 & c_6 & -c_6 & -c_2 & -c_2 & -c_6 & c_6 & c_2 \\ c_3 & -c_7 & -c_1 & -c_5 & c_5 & c_1 & c_7 & -c_3 \\ c_4 & -c_4 & -c_4 & c_4 & c_4 & -c_4 & -c_4 & c_4 \\ c_5 & -c_1 & c_7 & c_3 & -c_3 & -c_7 & c_1 & -c_5 \\ c_6 & -c_2 & c_2 & -c_6 & -c_6 & c_2 & -c_2 & c_6 \\ c_7 & -c_3 & c_3 & -c_1 & c_1 & -c_3 & c_3 & -c_7 \end{bmatrix},$$

em que $C_k = \cos(k\pi/16)$, para $k = 1, 2, \dots, 7$.

[0042] Esta definição particular da DCT é adotada em [39, 40, 41], tendo sido considerado por derivar o conhecido esquema de Loeffler [22]. Observa-se que $\sqrt{2} \cdot c_4 = 1$; portanto, a componente DC, $X[0]$, é avaliada sem multiplicações [22].

[0043] Para facilitar o desenvolvimento do esquema proposto, foi apresentada a fórmula da soma por partes no formalismo matricial. Em primeiro lugar, o operador de diferenças finitas precisa ser adaptado para manipular matrizes. Seja \mathbf{M} uma matriz quadrada. Então, seja $\Delta\mathbf{M}$ a matriz resultante da aplicação do operador de diferenças finitas usual em cada uma das linhas de \mathbf{M} .

[0044] Considerando-se a fórmula de soma por partes, mostrada em (4), tem-se que (5) pode ser escrito de acordo com:

$$\mathbf{X} = \Delta\mathbf{C} \cdot \mathbf{z},$$

em que o vetor $\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X[0] & X[1] & \dots & X[N-1] \end{bmatrix}^T$ representa o espectro da DCT,

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z[0] & z[1] & \dots & z[N-1] \end{bmatrix}^T$$

é o sinal acumulado e

$$\Delta C = \sqrt{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_3 - c_1 & c_5 - c_3 & c_7 - c_5 & -2c_7 & c_7 - c_5 & c_5 - c_3 & c_3 - c_1 & 2c_1 \\ c_6 - c_2 & -2c_6 & c_6 - c_2 & 0 & c_2 - c_6 & 2c_6 & c_2 - c_6 & 0 \\ -c_3 - c_7 & c_7 - c_1 & c_1 - c_5 & 2c_5 & c_1 - c_5 & c_7 - c_1 & -c_3 - c_7 & 2c_3 \\ -2c_4 & 0 & 2c_4 & 0 & -2c_4 & 0 & 2c_4 & 0 \\ -c_1 - c_5 & c_1 + c_7 & c_3 - c_7 & -2c_3 & c_3 - c_7 & c_1 + c_7 & -c_1 - c_5 & 2c_5 \\ -c_2 - c_6 & 2c_2 & -c_2 - c_6 & 0 & c_2 + c_6 & -2c_2 & c_2 + c_6 & 0 \\ -c_5 - c_7 & c_3 + c_5 & -c_1 - c_3 & 2c_1 & -c_1 - c_3 & c_3 + c_5 & -c_5 - c_7 & 2c_7 \end{bmatrix}.$$

[0045] Considerando as identidades de soma-produto [52, p. 72] e as identidades de simetrias [43], as entradas da matriz ΔC podem ser dadas em forma multiplicativa, como mostrado abaixo:

$$\Delta C = 2\sqrt{2} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ s_1 s_2 & s_1 s_4 & s_1 s_6 & s_1 & s_1 s_6 & s_1 s_4 & s_1 s_2 & s_7 \\ s_2 s_4 & s_2 & s_2 s_4 & 0 & -s_2 s_4 & -s_2 & -s_2 s_4 & 0 \\ s_3 s_6 & s_3 s_4 & -s_3 s_2 & -s_3 & -s_3 s_2 & s_3 s_4 & s_3 s_6 & s_5 \\ s_4 & 0 & -s_4 & 0 & s_4 & 0 & -s_4 & 0 \\ s_5 s_6 & -s_5 s_4 & -s_5 s_2 & s_5 & -s_5 s_2 & -s_5 s_4 & s_5 s_6 & s_3 \\ s_6 s_4 & -s_6 & s_6 s_4 & 0 & -s_6 s_4 & s_6 & -s_6 s_4 & 0 \\ s_7 s_2 & -s_7 s_4 & s_7 s_6 & -s_7 & s_7 s_6 & -s_7 s_4 & s_7 s_2 & s_1 \end{bmatrix}.$$

para $s_k = \sin(k\pi/16)$, $k = 1, 2, \dots, 7$.

[0046] Visto que o sinal de entrada $x[n]$ é assumido por ter média nula, temos que $X[0] = 0$ e $z[N-1] = 0$. Conseqüentemente, a primeira linha e última coluna de ΔC pode ser desprezada. Isso implica que apenas a submatriz de dimensão 7×7 é necessária para a computação de X . Esta particular matriz é dada por:

$$\tilde{C} = 2\sqrt{2} \cdot \begin{bmatrix} s_1 s_2 & s_1 s_4 & s_1 s_6 & s_1 & s_1 s_6 & s_1 s_4 & s_1 s_2 \\ s_2 s_4 & s_2 & s_2 s_4 & 0 & -s_2 s_4 & -s_2 & -s_2 s_4 \\ s_3 s_6 & s_3 s_4 & -s_3 s_2 & -s_3 & -s_3 s_2 & s_3 s_4 & s_3 s_6 \\ s_4 & 0 & -s_4 & 0 & s_4 & 0 & -s_4 \\ s_5 s_6 & -s_5 s_4 & -s_5 s_2 & s_5 & -s_5 s_2 & -s_5 s_4 & s_5 s_6 \\ s_6 s_4 & -s_6 & s_6 s_4 & 0 & -s_6 s_4 & s_6 & -s_6 s_4 \\ s_7 s_2 & -s_7 s_4 & s_7 s_6 & -s_7 & s_7 s_6 & -s_7 s_4 & s_7 s_2 \end{bmatrix}.$$

[0047] Note que \tilde{C} é suficiente para a computação de todos os coeficientes da DCT — exceto o nível DC.

[0048] Um exame da matriz $\tilde{\mathbf{C}}$ revela a existência de multiplicadores repetidos ao longo das linhas. Assim, a seguinte fatoração é obtida:

$$\tilde{\mathbf{C}} = \mathbf{S} \cdot \begin{bmatrix} s_2 & s_4 & s_6 & 1 & s_6 & s_4 & s_2 \\ s_4 & 1 & s_4 & 0 & -s_4 & -1 & -s_4 \\ s_6 & s_4 & -s_2 & -1 & -s_2 & s_4 & s_6 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ s_6 & -s_4 & -s_2 & 1 & -s_2 & -s_4 & s_6 \\ s_4 & -1 & s_4 & 0 & -s_4 & 1 & -s_4 \\ s_2 & -s_4 & s_6 & -1 & s_6 & -s_4 & s_2 \end{bmatrix},$$

em que $\mathbf{S} = 2\sqrt{2} \cdot \text{diag}(s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7)$. A expressão acima nos diz que a matriz \mathbf{S} contribui apenas com fatores de escalonamentos para a computação dos coeficientes da DCT. Considerando aplicações em que é necessário apenas uma versão escalonada do espectro da DCT—como detecção harmônica [53] e melhoramento de cores [54]—o custo computacional de \mathbf{S} pode ser desconsiderado. Adicionalmente, em contextos de compressão de imagens, matrizes diagonais podem ser absorvidas diretamente na matriz de quantização; não representando computação extra [55, 56].

[0049] Note que o fator de escalonamento $2\sqrt{2}s_4 = 2$ é uma multiplicação trivial [26] que pode ser implementada a partir de um simples deslocamento de bits. Portanto, o custo computacional da matriz de escalonamento \mathbf{S} é de apenas seis—não sete—multiplicações. O objetivo é prover uma fatoração por meio de matrizes esparsas para $\tilde{\mathbf{C}}$. Visto que $\tilde{\mathbf{C}}$ apresenta grande quantidade de simetrias, métodos de fatoração baseados em estruturas borboletas podem ser diretamente aplicados [46, 4, 26]. Portanto, obtêm-se a seguinte fatoração:

$$\tilde{\mathbf{C}} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{A},$$

em que

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

e

$$M = \begin{bmatrix} s_2 & s_4 & s_6 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ s_6 & s_4 & -s_2 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ s_6 & -s_4 & -s_2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ s_2 & -s_4 & s_6 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_4 & 1 & s_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_4 & -1 & s_4 \end{bmatrix}.$$

[0050] A matriz P é uma simples matriz de permutação, que não representa custo computacional. Em termos de hardware, P representa uma modificação nas ligações internas. A matriz A é uma matriz aditiva que consiste que um estágio borboleta usual presente em algoritmos de decimação em frequência [26]. A matriz restante M é bloco diagonal e ainda contém redundâncias matemáticas devido sua natureza simétrica. Considerando a fatoração matricial para projeto de algoritmos rápidos [26], a seguinte expressão pode ser obtida:

$$M = M1 \cdot M2 \cdot M3 \cdot M4,$$

em que

$$\mathbf{M}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{M}_2 = \begin{bmatrix} s_2 & -s_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ s_2 + s_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

$$\mathbf{M}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{M}_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

[0051] A matriz bloco diagonal \mathbf{M}_2 contém um bloco de rotação [4] que pode ser decomposto. Então, temos:

$$\mathbf{M}_2 = \mathbf{R}_1 \cdot \mathbf{R}_2 \cdot \mathbf{R}_3,$$

em que

$$\mathbf{R}_1 = \begin{bmatrix} 0 & s_6 - s_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ s_2 + s_6 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

e

$$\mathbf{R}_2 = \text{diag}(1, 1, \mathbf{S}_2, 1, 1, 1, 1, 1).$$

[0052] Por meio de manipulações trigonométricas usuais, os multiplicandos requeridos em \mathbf{R}_1 satisfazem: $S_2 + S_6 = \sqrt{2} C_2$ e $S_6 - S_2 = \sqrt{2} S_2$. Finalmente, a fatoração de matrizes esparsas é dada por:

$$\tilde{\mathbf{C}} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{M}_1 \cdot \mathbf{R}_1 \cdot \mathbf{R}_2 \cdot \mathbf{R}_3 \cdot \mathbf{M}_3 \cdot \mathbf{M}_4 \cdot \mathbf{A}.$$

[0053] O circuito esquemático resultante para o proposto método é apresentado na Figura 6. O circuito esquemático resultante para o proposto

método com o cômputo do espectro da DCT escalonado é apresentado na Figura 5.

[0054] No que segue, a complexidade computacional é avaliada, o que é consequência direta da proposição dos circuitos esquemáticos propostos para diversos cenários. A complexidade computacional é avaliada em termos do número de somas e multiplicações não triviais requerida para a computação da DCT por meio do proposto método.

[0055] São apresentados os diferentes cenários para a forma do sinal de entrada: (i) sinal de média nula; (ii) sinal acumulado; e (iii) sinal acumulado e de média nula. O cenário (i) é pertinente ao contexto de detecção de característica, por exemplo, onde o nível DC pode não ser relevante [25, 1]. O cenário (ii) representa o caso em que o sinal de entrada é nativamente acumulado (integrado). Isso pode acontecer em problemas de reconhecimento de face, em que os algoritmos usualmente adotados exigem o dado na forma integrada [2, 3]. O cenário (iii) é uma combinação dos dois cenários acima.

[0056] O bloco de remoção do nível DC exige 6 subtrações para retirar a média do sinal $x[n]$ de cada uma das amostras $z[0], z[1], \dots, z[6]$. O custo computacional decorrente de multiplicações são concentrados nas matrizes **S**, **R₁**, **R₂**, e **M₃**. Estas exigem um total de 11 multiplicações não triviais, que é a complexidade computacional mínima teórica para a DCT de comprimento 8 [57]. A matrizes **S**, **P**, **M₃**, e **R₂** contribuem com 19 adições.

[0057] A Tabela 2 compara a complexidade computacional do circuito esquemático proposto com diversas outras técnicas largamente adotadas para a

computação da DCT nos cenários destacados. Para cada cenário, enfatizamos os melhores resultados em negrito. Visto que o método de Arai [24] e o método proposto são métodos capazes de prover o espectro escalonado da DCT, mostramos a complexidade do método escalonado também. Em parênteses é apresentado a complexidade multiplicativa completa quando os fatores de escalonamento são considerados.

[0058] Comparação das multiplicações não triviais e adições para os métodos para a computação da DCT

Algoritmo	Escalonável?	Cenários	Mult.	Adições
Loeffler [22]	No	(i)	11	26
		(ii)	11	36
		(iii)	11	33
Lee [21]	No	(i)	11	26
		(ii)	12	36
		(iii)	11	33
Chen <i>et al.</i> [20]	No	(i)	12	23
		(ii)	13	33
		(iii)	12	30
Arai <i>et al.</i> [24]	Sim	(i)	5 (12)	25
		(ii)	5 (13)	35
		(iii)	5 (12)	32
Proposto	Sim	(i)	5 (11)	25
		(ii)	5 (11)	30
		(iii)	5 (11)	19

[0059] O método proposto, neste relatório, superou todos os métodos concorrentes nos cenários (i), (ii), e (iii).

[0060] Embora o método proposto exija cinco multiplicações para computar a DCT escalonada, o mesmo que Arai, o método proposto demanda uma menor quantidade de multiplicações.

Bibliografia

[0061][1] Y. Wang, C.-S. Chua, and Y.-K. Ho, "Facial feature detection and

face recognition from 2D and 3D images," *Pattern Recognition Letters*, vol. 23, no. 10, pp. 1191–1202, 2002.

[0062][2] Elboher and M. Werman, "Efficient and accurate Gaussian image filtering using running sums," in *12th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA)*, 2012, pp. 897–902.

[0063][3] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, 2001.

[0064][4] V. Britanak, P. Yip, and K. R. Rao, *Discrete Cosine and Sine Transforms*. Academic Press, 2007.

[0065][5] C. M. Sousa Junior, "Compressão de imagens utilizando análise de componentes independentes," Master's thesis, Universidade Federal do Maranhão, São Luís-MA, Brazil, 2007.

[0066][6] X. Zou, P. Jancovic, and M. Kokuer, "On the effectiveness of the ICA-based signal representation in non-Gaussian noise," in *9th International Conference on Signal Processing*, 2008, pp. 1–4.

[0067][7] Kolossa, H. Sawada, R. F. Astudillo, R. Orglmeister, and S. Makino, "Recognition of convolutive speech mixtures by missing feature techniques for ICA," in *Fortieth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 2006, pp. 1397–1401.

[0068][8] Y. Zhang and W. H. Abdulla, "Eigenanalysis applied to speaker identification using gammatone auditory filterbank and independent component analysis," in *9th International Symposium on Signal Processing and Its*

Applications (ISSPA), 2007, pp. 1–4.

[0069][9] Balakrishna, P. V. A. Kumar, C. Prakash, and S. V. Gangashetty, “Speech enhancement using ICA with Bessel features,” in 18th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 2011, pp. 1–4.

[0070][10] T. J.-H. Lee, H.-Y. Jung, T.-W. Lee, and S.-Y. Lee, “Speech feature extraction using independent component analysis,” in IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), vol. 3, 2000, pp. 1631–1634.

[0071][11] S. K. Gupta, J. Jain, and R. Pachauri, “Improved noise cancellation in discrete cosine transform domain using adaptive block LMS filter,” International Journal of Engineering Science and Advanced Technology, vol. 2, no. 3, pp. 498–502, Jun. 2012.

[0072][12] S. An and C. Wang, “A computation structure for 2-D DCT watermarking,” in 52nd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems, Aug. 2009, pp. 577–580.

[0073][13] A. A. Chien and V. Karamcheti, “Moore’s law: The first ending and a new beginning,” Computer, vol. 46, no. 12, pp. 48–53, 2013.

[0074][14] M. R. Wigan and R. Clarke, “Big data’s big unintended consequences,” Computer, vol. 46, no. 6, pp. 46–53, 2013.

[0075][15] L. Ji and L. X. Ming, “New DCT computation algorithm for VLIW architecture,” in 6th International Conference on Signal Processing, vol. 1, 2002, pp. 41–44.

[0076][16] V. Bhaskaran and K. Konstantinides, Image and Video

Compression Standards. Kluwer Academic Publishers, Jun. 1997.

[0077][17] G. K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 38, no. 1, pp. xviii–xxxiv, Feb. 1992.

[0078][18] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjontegaard, and A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC video coding standard," IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology, vol. 13, no. 7, pp. 560–576, Jul. 2003.

[0079][19] M. T. Pourazad, C. Doutre, M. Azimi, and P. Nasiopoulos, "HEVC: The new gold standard for video compression: How does HEVC compare with H.264/AVC?" IEEE Consumer Electronics Magazine, vol. 1, no. 3, pp. 36–46, Jul. 2012.

[0080][20] H. W.-H. Chen, C. Smith, and S. Fralick, "A fast computational algorithm for the discrete cosine transform," IEEE Transactions on Communications, vol. 25, no. 9, pp.1004–1009, Jan. 1977.

[0081][21] B. Lee, "A new algorithm to compute the discrete cosine transform," IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. 32, no. 6, pp. 1243–1245, Dec. 1984.

[0082][22] C. Loeffler, A. Ligtenberg, and G. S. Moschytz, "A practical fast 1-D DCT algorithms with 11 multiplications," in International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 2, May 1989, pp. 988–991.

[0083][23] E. Feig and S. Winograd, "Fast algorithms for the discrete cosine transform," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 40, no. 9, pp. 2174–2193, Sep. 1992.

[0084][24] Y. Arai, T. Agui, and M. Nakajima, "A fast DCT-SQ scheme for images," *IEICE Transactions*, vol. E71, no. 11, pp. 1095–1097, Nov. 1988.

[0085][25] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, T. Kailath, Ed. University of California, Davis: Prentice Hall Information and System Sciences Series, 1989.

[0086][26] R. E. Blahut, *Fast Algorithms for Digital Signal Processing*. Cambridge University Press, 2010.

[0087][27] K. W. Chun and B. C. Song, "Method and apparatus for controlling amount of DCT computation performed to encode motion image," Patent EP20 030 012 433, Jan. 14, 2004, eP Patent App. EP20,030,012,433. [Online]. Available:

[0088][28] C. W. Lin, H. K. Tsai, and J. J. Luo, "Methods and systems for video transcoding in DCT domain with low complexity," Patent US7 236 529, Jun. 26, 2007, uS Patent 7,236,529. [Online]. Available:

[0089][29] B. Song and K. Chun, "Method and apparatus for controlling amount of DCT computation performed to encode motion image," Patent US10/600 654, Jan. 15, 2004, uS Patent App. 10/600,654. [Online]. Available:

[0090][30] K. Jongil, "Fast efficient computation of the discrete cosine transform (dct) of digital video data," Patent US2001/040 999, Jan. 10, 2002, wO Patent App. PCT/US2001/040,999. [Online]. Available:

[0091][31] F. Pan, "Method and system for computing 8x8 dct/idct and a vlsi implementation," Patent US1999/002 186, Aug. 5, 1999, wO Patent App. PCT/US1999/002,186. [Online]. Available:

[0092][32] L. Cali' and P.L. Rolandi, "Method and circuit for computing the discrete cosine transform (DCT) in microcontrollers," Patent US6 493 737, Dec. 10, 2002, uS Patent 6,493,737.

[0093][33] X. Lu, J. Zhai, and C. Gomila, "Spatial masking using a spatial activity metric," Patent EP2 070 048 B1, Nov., 2010, eP Patent 2,070,048.

[0094][34] K. Subbalakshmi and P. Amin, "Robust hidden data extraction method for scaling attacks," Patent US 20 060 176 299 A1, Aug., 2006, uS Patent App. 11/200,866.

[0095][35] H. Do Viet, D. C. T. Le, D. T. Nguyen, N. L. Nguyen, and T. T. H. Nguyen, "Apparatus and method for adaptive 3d artifact reducing for encoded image signal," Patent CA 2 616 875 A1, Feb., 2006, cA Patent App. CA 2,616,875.

[0096][36] B. Song, "Advanced DCT-based video encoding method and apparatus," Patent US 20 040 228 406 A1, Nov., 2004, uS Patent App. 10/642,646.

[0097][37] D. C. T. Le, "Apparatus and method for adaptive spatial segmentation-based noise reducing for encoded image signal," Patent WO 2 002 102 086 A3, Feb., 2004, w O Patent App. PCT/CA2002/000,887.

[0098][38] T. Pohjola, "Encoding method and arrangement," Patent EP 1 324 618 A2, Jul., 2003, eP Patent App. EP20,020,396,159.

[0099][39] T. Ono, "Technique of embedding and detecting digital watermark," Patent US 7 123 741 B2, Jan., 2003, uS Patent App. 10/139,602.

[00100] [40] I. J. Cox, M. L. Miller, and R. Oami, "Robust digital watermarking," Patent CA 2 276 378 C, Feb., 2003, cA Patent 2,276,378.

[00101] [41] I. Hajjahmad, M. L. Reisch, L. E. Sunshine, M. A. Wober, and Y. Yang, "Image noise reduction system using a wiener variant filter in a pyramid image representation," Patent EP 0 826 195 B1, Dec., 1998, eP Patent 0,826,195.

[00102] [42] M. A. Wober and M. L. Reisch, "Method for scaling and filtering images using discrete cosine transforms," Patent EP 0 731 957 B1, Oct., 1997, eP Patent 0,731,957.

[00103] [43] R. L. Graham, D. E. Knuth, and O. Patashnik, Concrete Mathematics. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

[00104] [44] G. Boudreaux-Bartels and T. W. Parks, "Discrete Fourier transform using summation by parts," in IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 12, Apr. 1987, pp. 1827–1830.

[00105] [45] R. J. Cintra, "Soma por partes para sinais periódicos e transformadas discretas," in XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBrT'12, Brasília, DF, Sep. 2012.

[00106] [46] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, M. T. Yoder, and W. T. Padgett, Discrete Time Signal Processing, 3rd ed., A. V. Oppenheim, Ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc., Aug. 2009, vol. 1.

[00107] [47] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, 2nd ed. Prentice-Hall, Inc., 2001.

[00108] [48] R. W. Hamming, Digital Filters, 3rd ed. Hertfordshire, UK: Prentice Hall International Ltd., 1989.

[00109] [49] H. El-Banna, A. A. El-Fattah, and W. Fakhr, "An efficient

implementation of the 1D-DCT using FPGA technology," in Engineering of Computer-Based Systems, 2004. Proceedings. 11th IEEE International Conference and Workshop on the, 2004, pp. 356–360.

[00110] [50] S. J. Shan, C. Chen, and E. Yang, "High performance 2-D IDCT for image/video decoding based on FPGA," in 2012 International Conference on Audio, Language and Image Processing (ICALIP), 2012, pp. 33–38.

[00111] [51] H. K. C.-K. Fong and W.-K. Cham, "LLM integer cosine transform and its fast algorithm," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 22, no. 6, pp. 844–854, 2012.

[00112] [52] M. Abramowitz and I. A. Stegun, Eds., Handbook of Mathematical Functions: with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. MIT Press, 1964.

[00113] [53] E. Zheng, Z. Liu, and L. Ma, "Study on harmonic detection method based on FFT and wavelet transform," in 2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS), vol. 3, 2010.

[00114] [54] Mukherjee and S. K. Mitra, "Enhancement of color images by scaling the DCT coefficients," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 17, no. 10, pp. 1783–1794, 2008.

[00115] [55] S. Bouguezel, M. O. Ahmad, and M. N. S. Swamy, "A multiplication-free transform for image compression," in 2nd International Conference on Signals, Circuits and Systems, Monastir, TN, 2008, pp. 1–4.

[00116] [56] V. Dimitrov and K. A. Wahid, "On the error-free computation of fast cosine transform," Information Theories and Applications, vol.

12, no. 4, pp. 321–327, 2005.

[00117] [57] P. Duhamel and H. H'Mida, "New $2n$ DCT algorithms suitable for VLSI implementation," in IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 12, 1987, pp. 1805–1808.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula que faz o processamento de voz, áudio, imagens ou sinais que calcule os coeficientes da DCT de um sinal de média nula $\bar{x}[n]$, apresentada de forma compacta por meio de representação matricial, caracterizado pelo uso do circuito esquemático "C" que compreende meios de fatoração de matriz de escalonamento "S", com matriz de permutação "P", com matriz simétrica "M₁", com matriz "R₁", com matriz "R₂", com matriz "R₃", com matriz simétrica "M₃", com matriz simétrica "M₄", e com uma matriz aditiva "A", após que o bloco implemente a acumulação do sinal de entrada.

2. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela matriz de escalonamento "S" contribuir apenas com fatores de escalonamentos para a computação dos coeficientes da DCT.

3. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelas matrizes "M₁", "M₃" e "M₄" serem componentes de matriz diagonal "M".

4. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela matriz "R₁" conter multiplicandos que satisfazem a expressão: $s_2 + s_6$ igual a $\sqrt{2}$ que multiplica c_2 e ainda $s_6 - s_2$ igual a $\sqrt{2}$ que multiplica s_2 .

5. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado pela matriz "R₂" ser matriz diagonal e ser igual a diag(1, 1, s₂, 1, 1, 1, 1, 1).

6. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela matriz "A" ser uma matriz aditiva que consiste que um estágio borboleta usual esteja presente em algoritmos de decimação em frequência.

7. Método para computação do espectro escalonado da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula que faz o processamento de voz, áudio, imagens ou sinais que calcule os coeficientes da DCT de um sinal de média nula $x^{-}[n]$, apresentada de forma compacta por meio de representação matricial, caracterizado pelo uso do circuito esquemático "C" que compreende meios de fatoração de matriz de escalonamento "S", com matriz de permutação "P", com matriz simétrica "M₁", com matriz "R₁", com matriz "R₂", com matriz "R₃", com matriz simétrica "M₃", com matriz simétrica "M₄", e com uma matriz aditiva "A", após que o bloco implemente a acumulação do sinal de entrada;

8. Método para computação do espectro escalonado da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelas matrizes "M₁", "M₃" e "M₄" serem componentes de matriz diagonal "M".

9. Método para computação do espectro escalonado da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pela matriz "R₁" conter multiplicandos que satisfazem a expressão: $s_2 + s_6$ igual a $\sqrt{2}$ que multiplica c_2 e ainda $s_6 - s_2$ igual a $\sqrt{2}$ que multiplica s_2 .

10. Método para computação do espectro escalonado da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pela matriz "R₂" ser matriz diagonal e ser igual a $\text{diag}(1, 1, s_2, 1, 1, 1, 1)$.

11. Método para computação do espectro escalonado da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pela matriz "A" ser uma matriz aditiva que consiste que um estágio borboleta usual esteja presente em algoritmos de decimação em frequência.

12. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula que faz o processamento de voz, áudio, imagens ou sinais que calcule os coeficientes da DCT de um sinal $x[n]$, apresentada de forma compacta por meio de representação matricial, caracterizado pelo uso do circuito esquemático "C" que compreende meios de fatoração de matriz de escalonamento "S", com matriz de permutação "P", com matriz simétrica "M₁", com matriz "R₁", com matriz "R₂", com matriz "R₃", com matriz simétrica "M₃", com matriz simétrica "M₄", e com uma matriz aditiva "A", após bloco que implementa a remoção do valor DC do sinal $x[n]$ do correspondente sinal acumulado $z[n]$, resultando em $\bar{z}[n]$.

13. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pela matriz de escalonamento "S" contribuir apenas com fatores de escalonamentos para a computação dos coeficientes da DCT.

14. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 12,

caracterizado pelas matrizes "M₁", "M₃" e "M₄" serem componentes de matriz diagonal "M".

15. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pela matriz "R₁" conter multiplicandos que satisfazem a expressão: $s_2 + s_6$ igual a $\sqrt{2}$ que multiplica c_2 e ainda $s_6 - s_2$ igual a $\sqrt{2}$ que multiplica s_2 .

16. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pela matriz "R₂" ser matriz diagonal e ser igual a $\text{diag}(1, 1, s_2, 1, 1, 1, 1, 1)$.

17. Método para computação do espectro da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pela matriz "A" ser uma matriz aditiva que consiste que um estágio borboleta usual esteja presente em algoritmos de decimação em frequência.

18. Método para computação do espectro escalonado da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula que faz o processamento de voz, áudio, imagens ou sinais que calcule os coeficientes da DCT de um sinal $x[n]$, apresentada de forma compacta por meio de representação matricial, caracterizado pelo uso do circuito esquemático "C" que compreende meios de fatoração de matriz de escalonamento "S", com matriz de permutação "P", com matriz simétrica "M₁", com matriz "R₁", com matriz "R₂", com matriz "R₃", com matriz simétrica "M₃", com matriz simétrica "M₄", e com uma matriz aditiva

“A”, após bloco que implementa a remoção do valor DC do sinal $x[n]$ do correspondente sinal acumulado $z[n]$, resultando em $\bar{z}[n]$.

19. Método para computação do espectro escalonado da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelas matrizes “M₁”, “M₃” e “M₄” serem componentes de matriz diagonal “M”.

20. Método para computação do espectro escalonado da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pela matriz “R₁” conter multiplicandos que satisfazem a expressão: $s_2 + s_6$ igual a $\sqrt{2}$ que multiplica c_2 e ainda $s_6 - s_2$ igual a $\sqrt{2}$ que multiplica s_2 .

21. Método para computação do espectro escalonado da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pela matriz “R₂” ser matriz diagonal e ser igual a $\text{diag}(1, 1, s_2, 1, 1, 1, 1, 1)$.

22. Método para computação do espectro escalonado da DCT para sinais acumulados e/ou de média nula, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pela matriz “A” ser uma matriz aditiva que consiste que um estágio borboleta usual esteja presente em algoritmos de decimação em frequência.

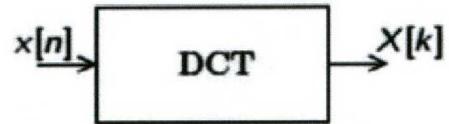


Fig. 1

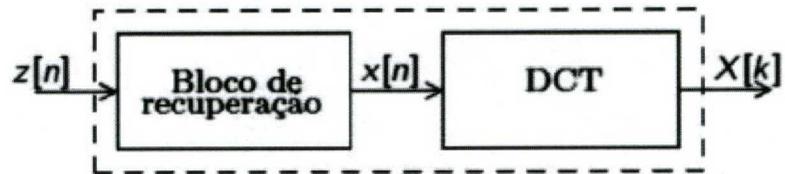


Fig. 2

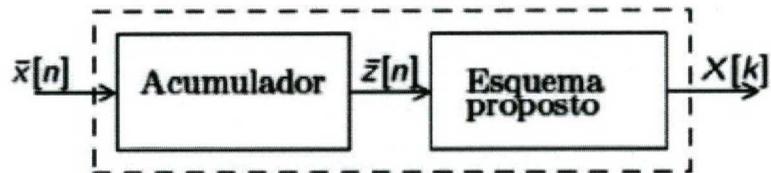


Fig. 3

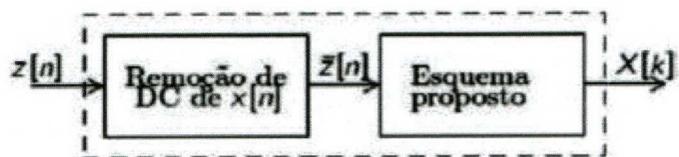


Fig. 4

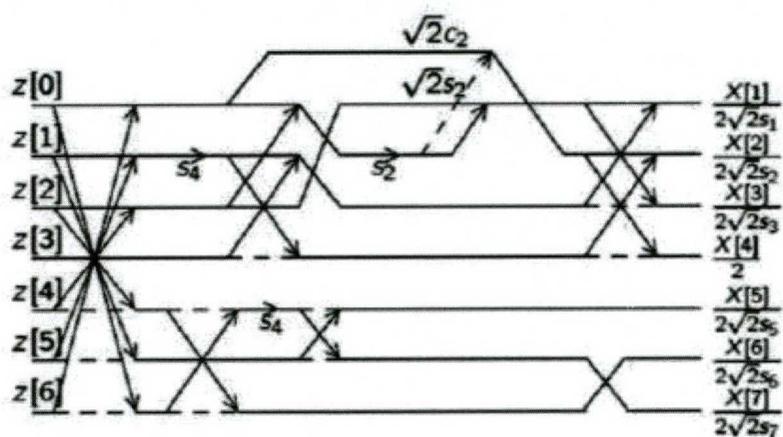


Fig. 5

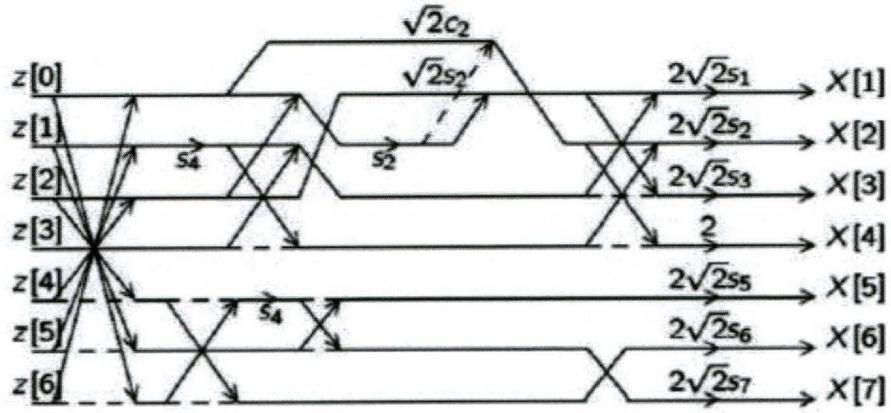


Fig. 6

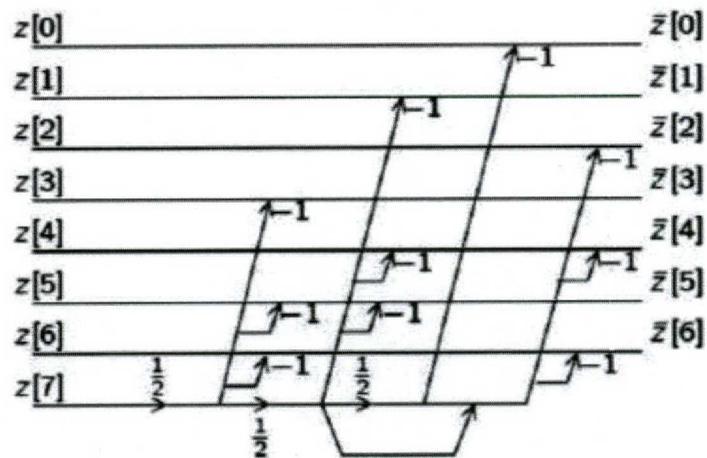


Fig. 7

RESUMO

MÉTODO PARA COMPUTAÇÃO DO ESPECTRO DA DCT PARA SINAIS
ACUMULADOS E/OU DE MÉDIA NULA

O Método revela um esquema para o cálculo dos coeficientes da DCT que pode ser usado em diversos cenários, quer seja em implementação em hardware ou software, e se baseia na fórmula de soma por partes, em que o esquema produzido é capaz de superar métodos convencionais existentes para sinais de entrada em formato comumente encontrado em sistemas de processamento de imagens, reconhecimento de faces e extração de características, e em particular, se torna útil em situações em que o sinal de entrada possui média nula por ser pertinente ao contexto de detecção de característica, por exemplo, em que o nível DC pode não ser relevante, e se torna útil em situações em que o sinal de entrada é nativamente acumulado, e o esquema proposto pode ser útil em problemas de reconhecimento de face, em que os métodos usualmente adotados exigem o dado na forma integrada.