



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

(21) BR 102018014145-7 A2



(22) Data do Depósito: 11/07/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 14/01/2020

(54) Título: SISTEMA E MÉTODO DE REMAPEAMENTO ESPECTRAL DE IMAGENS

(51) Int. Cl.: G06K 9/20; G06T 5/10.

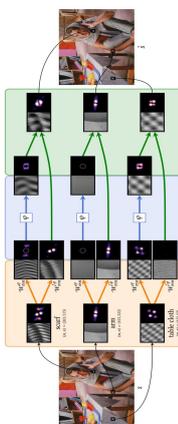
(52) CPC: G06K 9/20; G06T 5/10.

(71) Depositante(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

(72) Inventor(es): EDUARDO SIMÕES LOPES GASTAL; MANUEL MENEZES DE OLIVEIRA NETO.

(66) Prioridade Interna: BR102017015934-5 de 25/07/2017.

(57) Resumo: A presente invenção contempla um sistema e método para realizar remapeamento espectral de imagens com a propriedade técnica de permitir que as imagens resultantes deste processamento sejam submetidas a reduções de seus números de pixels, isto é, reduções de seus números de linhas e/ou de colunas de pixels, preservando padrões repetitivos orientados característicos das imagens originais. A invenção é diretamente aplicável a qualquer dispositivo eletrônico ou aplicativo que exiba imagens ou vídeos com um menor número de pixels que os das respectivas imagens e vídeos originais. A presente invenção é aplicável a métodos de impressão e transferência de imagens para alguma base como, por exemplo, papel, filme, plástico, entre outros. A presente invenção se situa no campo de Processamento de Imagens.



Relatório Descritivo de Patente de Invenção

SISTEMA E MÉTODO DE REMAPEAMENTO ESPECTRAL DE IMAGENS

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção descreve um método para processar uma primeira imagem (s) na entrada gerando uma segunda imagem (s0) a qual possui a propriedade técnica de poder ter seu número de pixels reduzido, gerando uma terceira imagem, e após tal redução preservar padrões repetitivos orientados característicos da primeira imagem (s) de entrada. A presente invenção se situa no campo de Processamento de Imagens.

Antecedentes da Invenção

[0002] A redução do número de pixels de uma imagem de entrada para gerar uma nova imagem é um processo conhecido pelo termo técnico *downscaling* do Inglês. Este processo deve preservar, na medida do possível, o conteúdo visual presente na imagem de entrada, de forma que um observador humano reconheça a imagem reduzida como uma representação adequada do conteúdo visual observado na imagem de entrada.

[0003] O processo de *downscaling* de imagens é uma das operações mais prevalentes e comuns do campo de Processamento de Imagens. Este está presente em nosso dia a dia, por exemplo, ao visualizarmos imagens nas telas de *smartphones* ou câmeras digitais, visto que o número de pixels presentes nestas telas tende a ser significativamente menor que o número de pixels que definem uma imagem capturada por estes mesmos dispositivos. Para tanto é necessário reduzir o número de pixels da imagem antes da visualização na tela. O mesmo acontece, por exemplo, ao navegarmos grandes coleções de imagens na Internet, as quais são comumente representadas de forma reduzida para que seja possível visualizar várias imagens ao mesmo tempo.

[0004] Infelizmente, padrões repetitivos orientados de alta frequência presentes em uma imagem podem não ser representáveis com um número

menor de pixels, como estabelece o Teorema da Amostragem [Shannon 1949]. Para tanto, conforme a teoria clássica de amostragem detalhada por Claude Shannon [Shannon 1949], as imagens originais são tradicionalmente filtradas utilizando-se um filtro passa-baixa antes da execução do procedimento de redução do número de pixels. Esta etapa de pré-filtragem possui o objetivo de evitar a ocorrência na imagem resultante de artefatos visuais indesejáveis conhecidos como *aliasing* e que decorrem do processo de sub-amostragem. Ao evitar *aliasing*, o processo de pré-filtragem também tende a descartar informações visuais importantes, as quais caracterizam o conteúdo visual da imagem, como por exemplo detalhes de texturas.

[0005] A Figura 1A ilustra uma imagem original composta por um conjunto de pixels organizados em uma matriz contendo 1200 linhas e 1600 colunas. A Figura 1B ilustra uma nova imagem com apenas 150 linhas e 200 colunas obtida através da redução do número de pixels da imagem da Figura 1A. Tal redução foi realizada através de sub-amostragem utilizando a técnica de *nearest-neighbor* sem processo de pré-filtragem. Nota-se que a silhueta da camisa na imagem original foi mantida, mas detalhes de padrões repetitivos orientados não foram preservados. Por exemplo, as listras do tecido da camisa exibem artefatos visuais decorrentes do processo de *aliasing*. De maneira similar, a Figura 1C ilustra uma nova imagem com 150 linhas e 200 colunas obtida através da redução do número de pixels da imagem da Figura 1A, redução esta realizada após pré-filtragem com um filtro passa-baixa. Nota-se novamente que o conteúdo visual global da imagem original foi preservado, entretanto, detalhes de padrões repetitivos orientados, como por exemplo, as listras do tecido da camisa, não foram preservados sendo estes completamente descartados.

[0006] A representação apropriada, após a redução do número de pixels de uma imagem, de padrões repetitivos orientados de alta frequência presentes na imagem original é um importante problema técnico do campo de Processamento de Imagens, o qual não é satisfatoriamente resolvido por

técnicas antecedentes ao método da presente invenção.

[0007] Na busca pelo estado da técnica em literatura científica e patentária, foram encontrados os documentos descritos nos parágrafos a seguir.

[0008] O filtro utilizado na etapa de pré-filtragem clássica [Shannon 1949] é conhecido como filtro passa-baixa ideal, sendo representado, no domínio da imagem, pelo devido escalamento e normalização da função Sinc, definida por $\text{sinc}(t) = \sin(\pi t)/(\pi t)$. O referido escalamento é determinado através de uma frequência de corte pré-definida, esta podendo ser computada a partir do fator de redução que é aplicado no número de pixels da imagem. Entretanto, o filtro passa-baixa ideal Sinc possui suporte infinito no domínio da imagem, o que impossibilita o seu uso na prática. Assim, várias aproximações finitas são utilizadas, as quais foram projetadas para evitar artefatos de *aliasing* e ao mesmo tempo minimizar artefatos técnicos conhecidos como *ringing*, que resultam da oscilação sinusoidal da função Sinc. Exemplos de aproximações finitas incluem o filtro de Lanczos [Duchon 1979], os filtros cúbicos de [Mitchell e Netravali 1988], e bases polinomiais em conjunto com filtros digitais recursivos [Nehab e Hoppe 2014][Sacht e Nehab 2015]. Estas e outras técnicas baseadas na aproximação do filtro passa-baixa Sinc acabam por remover conteúdo de alta frequência e, portanto, descartam padrões repetitivos orientados importantes para caracterizar o conteúdo visual da imagem.

[0009] Técnicas alternativas não se baseiam diretamente na teoria clássica de pré-filtragem. Por exemplo, a técnica de [Kopf et al. 2013] otimiza o formato de filtros chamados bilaterais para localmente ajustá-los ao conteúdo da imagem. Esta técnica realiza a redução do número de pixels de uma imagem gerando uma nova imagem com bom nível de contraste, entretanto tal técnica não preserva padrões repetitivos orientados de alta frequência, como pode ser visto por exemplo na Figura 1D gerada com a técnica de [Kopf et al. 2013]. Note que as listras do tecido da camisa não foram preservadas, estando ausentes na imagem reduzida apesar de estarem presentes no conteúdo visual da imagem original da Figura 1A.

[0010] A técnica de [Öztireli e Gross 2015], descrita nos documentos WO2017017584 e US20170024852, modela o processo de redução do número de pixels de uma imagem utilizando uma estratégia de otimização que procura encontrar uma imagem reduzida que maximize o *structural similarity index* SSIM em relação à imagem original. Esta técnica também não preserva padrões repetitivos orientados de alta frequência, como pode ser visto na Figura 1E, gerada com a técnica de [Öztireli e Gross 2015]. Neste caso, observa-se que as listras do tecido da camisa não foram preservadas, mas substituídas por artefatos de *aliasing* que resultaram em novas listras irregulares e com orientações diferentes das orientações presentes no padrão repetitivo da imagem original da Figura 1A.

[0011] A técnica de [Weber et al. 2016] implementa uma variação do filtro conhecido como *joint-bilateral*, cujo *range kernel* favorece diferenças em vizinhanças locais de pixels. Esta técnica também não preserva padrões repetitivos orientados de alta frequência, como pode ser visto na Figura 1F gerada com a técnica de [Weber et al. 2016]. Neste caso, as listras do tecido da camisa não foram preservadas, tendo sido em parte removidas e em parte substituídas por artefatos de *aliasing*, gerando novas listras irregulares e de orientações diferentes das orientações presentes no padrão repetitivo da imagem original da Figura 1A.

[0012] Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

[0013] Ainda, depreende-se, a partir do estado da técnica, a constante dificuldade dos antecedentes em resolver o problema técnico de processar uma imagem gerando uma nova imagem com número de pixels reduzido e com a preservação de seus conteúdos visuais fundamentais caracterizados por padrões repetitivos orientados.

[0014] Abaixo são listados alguns desenvolvimentos anteriores que não

apresentam solução frente ao problema de gerar uma imagem reduzida a fim de manter preservados seus conteúdos visuais fundamentais caracterizados por padrões repetitivos orientados.

[0015] E. H. Adelson. 1995. Checkershadow Illusion. http://web.mit.edu/persci/people/adelson/checkershadow_illusion.html. (1995). Acessado: 2017-01-05.

[0016] T. Blu, P. Thcvenaz, e M. Unser. 2001. MOMS: Maximal-order interpolation of minimal support. *IEEE TIP* 10, 7 (2001), 1069–1080. <https://doi.org/10.1109/83.931101>

[0017] T. A. Davis. 2011. Algorithm 915, SuiteSparseQR: Multifrontal Multithreaded Rank-revealing Sparse QR Factorization. *ACM Trans. Math. Softw.* 38, 1 (2011), 8:1–8:22.

[0018] C. E. Duchon. Lanczos Filtering in One e Two Dimensions. *Journal of Applied Meteorology* 18, no. 8 (1979): 1016–1022.

[0019] D. Gabor. 1946. Theory of Communication. Part 1: The Analysis of Information. *Journal of the IEEE* 93, 26 (Nov. 1946), 429–441. <https://doi.org/10.1049/ji-3-2.1946.0074>

[0020] E. J. Hannan. 1973. The Estimation of Frequency. *Journal of Applied Probability* 10, 3 (1973), 510–519.

[0021] F.J. Harris. 1978. On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform. *Proc.of the IEEE* 66, 1 (1978), 51–83.

[0022] C. Heil. 2007. History e Evolution of the Density Theorem for Gabor Frames. *Journ. of Fourier Anal. e Applic.* 13, 2 (2007), 113–166.

[0023] E. Jacobsen e P. Kootsookos. 2007. Fast, Accurate Frequency Estimators. *IEEE Signal Process. Mag.* 24, 3 (2007), 123–125.

[0024] J. Kopf, A. Shamir, e P. Peers. 2013. Content-adaptive Image Downscaling. *ACM TOG* 32, 6, Article 173 (Nov. 2013), 8 pages. <https://doi.org/10.1145/2508363.2508370>

[0025] T. Liu, J. Sun, N. N. Zheng, X. Tang, e H. Y. Shum. 2007. Learning to Detect A Salient Object. In *IEEE CVPR*. 1–8.

- [0026] J. Mairal, F. Bach, e J. Ponce. 2014. Sparse Modeling for Image e Vision Processing. *Foundations e Trends in C.G. e Vision* 8, 2-3 (2014), 85–283.
- [0027] S. G. Mallat. 1998. *A Wavelet Tour of Signal Processing* (2nd ed.). Academic Press.
- [0028] D. P. Mitchell e A. N. Netravali. 1988. Reconstruction Filters in Computer-graphics. In *Proc. SIGGRAPH '88*. 221–228. <https://doi.org/10.1145/54852.378514>
- [0029] D. Nehab e H. Hoppe. 2014. A Fresh Look at Generalized Sampling. *Foundations e Trends in C.G. e Vision* 8, 1 (2014), 1–84. <https://doi.org/10.1561/06000000053>
- [0030] B. A. Olshausen e D. J. Field. 1996. Emergence of simple-cell receptive field properties by learning a sparse code for natural images. *Nature* 381 (1996), 607–609.
- [0031] V. Oppenheim e J. S. Lim. 1981. The importance of phase in signals. *Proc. IEEE* 69, 5 (1981), 529–541.
- [0032] Cengiz Öztireli e Markus Gross. 2015. Perceptually Based Downscaling of Images. *ACM TOG* 34, 4, Article 77 (July 2015), 10 pages. <https://doi.org/10.1145/2766891>
- [0033] J. Portilla e E. P. Simoncelli. 2000. A Parametric Texture Model based on Joint Statistics of Complex Wavelet Coefficients. *Int'l Journal of Computer Vision* 40, 1 (2000), 49–71.
- [0034] J. G. Proakis e D. K. Manolakis. 2007. *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, e Applications*. Pearson Education India.
- [0035] T. Quatieri e R. McAulay. 1986. Speech Transformations Based on a Sinusoidal Representation. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, e Signal Processing* 34, 6 (1986), 1449–1464.
- [0036] B. G. Quinn. 1989. Estimating the Number of Terms in a Sinusoidal Regression. *Journal of Time Series Analysis* 10, 1 (1989), 71–75.
- [0037] E. Reinhard, M. Ashikhmin, B. Gooch, e P. Shirley. 2001. Color

Transfer Between Images. IEEE Comput. Graph. Appl. 21, 5 (2001), 34–41.

[0038] D. C. Rife e R. R. Boorstyn. 1976. Multiple Tone Parameter Estimation From Discrete Time Observations. Bell System Technical Journal 55 (1976), 1389–1410.

[0039] L. Sacht e D. Nehab. 2015. Optimized quasi-interpolators for image reconstruction. IEEE TIP 24, 12 (2015), 5249–5259. <https://doi.org/10.1109/TIP.2015.2478385>

[0040] R. Samadani, T. A. Mauer, D. M. Berfanger, e J. H. Clark. 2010. Image Thumbnails That Represent Blur e Noise. IEEE TIP 19, 2 (2010), 363–373.

[0041] C. E. Shannon. 1949. Communication in the Presence of Noise. Proc. Institute of Radio Engineers 37, 1 (1949), 10–21.

[0042] J. O. Smith e X. Serra. 1987. PARSHL: An Analysis / Synthesis Program for Non- Harmonic Sounds Based on a Sinusoidal Representation. In Proc. of the Int'l Computer Music Conference.

[0043] M. Trentacoste, R. Mantiuk, e W. Heidrich. 2011. Blur-Aware Image Downsampling. Computer Graphics Forum (2011). <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2011.01894.x>

[0044] M. Unser. 2000. Sampling-50 Years after Shannon. Proc. IEEE 88, 4 (2000), 569–587.

[0045] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, e E. P. Simoncelli. 2004. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. IEEE TIP 13, 4 (2004), 600–612.

[0046] N. Weber, M. Waechter, S. C. Amend, S. Guthe, e M. Goesele. 2016. Rapid, Detail- preserving Image Downscaling. ACM TOG 35, 6, Article 205 (Nov. 2016), 6 pages.

[0047] M. Zibulski e Y. Y. Zeevi. 1994. Frame Analysis of the Discrete Gabor-Scheme. IEEE Trans. on Sig. Proc. 42, 4 (1994), 942–945. <https://doi.org/10.1109/78.285657>

Sumário da Invenção

[0048] A presente invenção tem por objetivo resolver os problemas constantes no estado da técnica a partir de um sistema e um método de remapeamento espectral que processa uma primeira imagem (s) gerando uma segunda imagem (s0) a qual possui a propriedade técnica de poder ter seu número de pixels reduzido através de um processo de *downscaling*, por exemplo, e após tal redução exibir uma representação mais fidedigna do conteúdo original, preservando padrões repetitivos e suas orientações.

[0049] Para tanto, o método de remapeamento espectral da presente invenção realiza o procedimento técnico de detectar em uma primeira imagem (s) a existência de padrões repetitivos orientados e gerar a partir de cada padrão repetitivo detectado, um novo padrão repetitivo que preserva a orientação original do padrão encontrado na primeira imagem e com frequência de repetição ajustada para que fique abaixo de uma frequência limite pré-determinada.

[0050] Este método é executado tendo como entrada uma primeira imagem (s) original e gerando como saída uma segunda imagem (s0) nova contendo o mesmo número de pixels que a primeira imagem (s) original, mas na qual os padrões repetitivos orientados possuem novas frequências ajustadas de acordo com a frequência limite pré-determinada.

[0051] Assim, a imagem gerada pelo método da presente invenção pode subsequentemente ter seu número de pixels reduzido por um procedimento de *downscaling*, preservando os padrões repetitivos orientados originais. Este procedimento é ilustrado na imagem da Figura 1G, gerada como saída após a execução do método proposto sobre a imagem da Figura 1A e após redução de número de pixels, onde é observado que foram corretamente preservados tanto o conteúdo visual global da imagem original quanto detalhes de padrões repetitivos orientados, como por exemplo, as listras do tecido da camisa.

[0052] Pode ser notado, ainda, que o método proposto é ortogonal a técnicas antecedentes que realizam *downscaling*. Isto é, uma imagem gerada pelo procedimento da presente invenção pode subsequentemente ter seu número

de pixels reduzido utilizando qualquer técnica existente de *downscaling*, incluindo as listadas na seção anterior deste documento.

[0053] A invenção aqui descrita é também independente da realização posterior de processo de *downscaling*, sendo que a segunda imagem (s0) gerada pelo método proposto pode ser utilizada diretamente com seu número de pixels original. Como exemplo, pode-se mencionar o uso de imagens geradas pelo método em *outdoors*, cartazes de rua, e apresentações em grandes centros de eventos, de forma que estas imagens podem ser visualizadas por observadores posicionados a diferentes distâncias para as quais as imagens foram concebidas para serem observadas e estes todos são capazes de resolver padrões repetitivos orientados.

[0054] A invenção é diretamente aplicada a qualquer dispositivo eletrônico ou aplicativo que exiba imagens ou vídeos com um menor número de pixels que os das respectivas imagens e vídeos de entrada. Exemplos destes tipos de dispositivos eletrônicos incluem, mas não estão limitados a câmeras fotográficas digitais, smartphones, óculos para realidade virtual e aumentada, *tablets*, painéis para exibição de imagens, e computadores em geral. Exemplos de aplicativos incluem programas de computador que permitem a inspeção e exploração de grandes conjuntos de imagens, como álbuns de fotografias, repositórios de imagens, e aplicativos de redes sociais, nos quais as imagens são apresentadas em tamanhos reduzidos. A presente invenção também é aplicável a métodos de impressão e transferência de imagens para alguma base como, por exemplo, papel, filme, plástico, entre outros.

[0055] A invenção resolve o problema de preservar padrões repetitivos orientados em conteúdos como imagens, gráficos, vídeos, textos, etc. submetidos à redução de número de pixels. Como qualquer conteúdo exibido ou reproduzido em algum meio como em tela, display, papel, etc. caracteriza uma imagem, utilizaremos o termo imagem para nos referir a qualquer conteúdo visual, o que inclui imagens, vídeos, gráficos, textos, etc.

[0056] Em um primeiro objeto, a presente invenção revela um sistema de

remapeamento espectral de imagens compreendendo:

- a. um separador de pixels (2);
- b. um detector de ondas locais (3);
- c. um remapeador de frequência (4) compreendendo ao menos uma função de remapeamento de frequência;
- d. um recomputador de fase (5) compreendendo ao menos uma função de recomputação de fase;
- e. um combinador de ondas (6);

em que,

- a primeira imagem (s) é associada à entrada do separador de pixels (2);
- o separador de pixels (2) é associado ao detector de ondas locais (3);
- o detector de ondas locais (3) é associado à entrada do remapeador de frequência (4) e ao recomputador de fase (5);
- o remapeador de frequência (4) é associado ao recomputador de fase (5);
- o recomputador de fase (5) é associado ao combinador de ondas (6); e
- o combinador de ondas (6) compreende geração de ao menos uma segunda imagem (s0) dotada de dimensões equivalentes às dimensões da primeira imagem (s). Ou seja, com isso, é nítido averiguar que a segunda imagem (s0) é gerada sem que haja alterações nas dimensões da primeira imagem (s), a qual é submetida à processamento.

[0057] Em um segundo objeto, a presente invenção revela um método de remapeamento espectral de imagens compreendendo as seguintes etapas:

- a. recebimento de ao menos uma primeira imagem (s);
- b. definição de uma frequência limite pré-determinada;
- c. detecção de ondas locais;
- d. remapeamento de frequência de ondas por meio de ao menos uma função de remapeamento de frequência;
- e. alinhamento de fase por meio de ao menos uma função de

recomputação de fase;

f. reconstrução da imagem com ondas remapeadas; e

g. geração de uma segunda imagem (s0);

em que;

- a etapa de detecção de ondas locais compreende detecção de padrões repetitivos na primeira imagem (s);

- a etapa de detecção de ondas locais compreende encaminhamento dos padrões repetitivos detectados na primeira imagem (s) para a etapa de alinhamento de fase, com base no valor da frequência limite pré-determinada. É ressaltado que a presente invenção não se limita a processar apenas um único padrão repetitivo, podendo contemplar um conjunto de padrões repetitivos para serem processados.

- a segunda imagem (s0) é gerada com dimensões equivalentes às dimensões da primeira imagem (s). Ou seja, com isso, é nítido averiguar que a segunda imagem (s0) é gerada sem que haja alterações nas dimensões da primeira imagem (s), a qual é submetida à processamento.

[0058] Ainda, o conceito inventivo comum a todos os contextos de proteção reivindicados é a geração de uma segunda imagem (s0) que compreenda novos padrões repetitivos em relação aos da primeira imagem (s), de forma que a frequência de repetição destes novos padrões repetitivos se encontra abaixo de uma frequência limite pré-determinada e que os padrões repetitivos da primeira imagem (s) tem orientação de repetição substancialmente similar ao padrão repetitivo gerado na segunda imagem (s0).

[0059] Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

Breve Descrição das Figuras

[0060] As seguintes figuras são apresentadas com o intuito de melhor definir e esclarecer o conteúdo do presente pedido de patente:

[0061] Figuras 1A a 1F mostram o resultado da aplicação de métodos utilizados no estado da técnica, enquanto que a Figura 1G mostra o método de remapeamento espectral proposto, de modo que este é o único capaz de preservar padrões repetitivos orientados.

[0062] Figura 2 apresenta um sumário do método de remapeamento espectral.

[0063] Figura 3 ilustra um conjunto correlacionado de ondas. Sendo que a Figura 3A representa uma onda quadrada s , a Figura 3B um logaritmo do espectro de potência de s , a Figura 3C uma sub-amostragem de s e a Figura 3D uma pré-filtragem e re-amostragem de s .

[0064] Figura 4 ilustra uma topologia de grafo.

[0065] Figura 5 ilustra valores gerados com o método proposto. Sendo que a Figura 5A representa a primeira imagem s , a Figura 5B representa a segunda imagem (s_0), a Figura 5C representa o vetor q , a Figura 5D representa o vetor r , as Figuras 5E e 5F representam os espectros de potência.

[0066] Figura 6 mostra um exemplo de aplicação do método proposto e sua comparação com antecedentes. Sendo que as Figuras 6A a 6D representam uma aplicação de redução de imagem pelo estado da técnica, já as Figuras de 6E a 6H mostram uma aplicação de redução de imagem a partir do tratamento das mesmas imagens pelo uso da presente invenção.

[0067] Figura 7 mostra um segundo exemplo de aplicação do método proposto e sua comparação com o estado da técnica.

[0068] Figura 8 mostra um terceiro exemplo de aplicação do método proposto e sua comparação com antecedentes. Sendo que a Figura 8B mostra a redução da imagem feita pelo estado da técnica, e a figura 8C mostra a redução da imagem utilizando a presente invenção.

[0069] Figura 9 mostra uma imagem de um lagarto utilizada como exemplo de imagem de entrada.

[0070] Figura 10 mostra um quarto exemplo de aplicação do método proposto e sua comparação com antecedentes, ilustrando que a presente invenção não

se limita a padrões de listras. Sendo que a Figura 10A mostra a redução da imagem feita pelo estado da técnica, e a figura 10B mostra a redução da imagem utilizando a presente invenção.

[0071] Figura 11 mostra uma imagem de um gráfico utilizada como exemplo de imagem de entrada.

[0072] Figura 12 mostra um quinto exemplo de aplicação do método proposto e sua comparação com antecedentes. Sendo que a Figura 12A mostra a redução da imagem feita pelo estado da técnica, e a figura 12B mostra a redução da imagem utilizando a presente invenção.

Descrição Detalhada da Invenção

[0073] As descrições que seguem são apresentadas a título de exemplo, não limitativas ao escopo da invenção e farão compreender de forma mais clara o objeto do presente pedido de patente.

[0074] Em um primeiro objeto, a presente invenção revela um sistema de remapeamento espectral de imagens compreendendo:

- a. um separador de pixels (2);
- b. um detector de ondas locais (3);
- c. um remapeador de frequência (4) compreendendo ao menos uma função de remapeamento de frequência;
- d. um recomputador de fase (5) compreendendo ao menos uma função de recomputação de fase;
- e. um combinador de ondas (6);

em que,

- a primeira imagem (s) é associada à entrada do separador de pixels (2);
- o separador de pixels (2) é associado ao detector de ondas locais (3);
- o detector de ondas locais (3) é associado à entrada do remapeador de frequência (4) e ao recomputador de fase (5);
- o remapeador de frequência (4) é associado ao recomputador de fase

(5);

- o recomputador de fase (5) é associado ao combinador de ondas (6); e
- o combinador de ondas (6) compreende geração de ao menos uma segunda imagem (s0) dotada de dimensões equivalentes às dimensões da primeira imagem (s). Ou seja, com isso, é nítido averiguar que a segunda imagem (s0) é gerada sem que haja alterações nas dimensões da primeira imagem (s), a qual é submetida à processamento.

[0075] Assim, o sistema de processamento de imagens da presente invenção permite receber como entrada uma primeira imagem (s) definida por uma matriz de pixels e gerando como saída a segunda imagem (s0) definida por uma nova matriz de pixels com as mesmas dimensões que a matriz da primeira imagem (s), sendo que os valores que definem os pixels da segunda imagem são definidos por uma função dos valores dos pixels da primeira imagem e de uma frequência limite pré-definida. A fim de uma melhor interpretação do sistema proposto é aconselhável o acompanhamento da figura 2.

[0076] O separador de pixels (2) tem como função realizar a seleção de uma determinada região da primeira imagem (s) a ser analisada. O separador de pixels (2) capta a matriz de pixel desta seleção e o espectro de potência. Na figura 2, a matriz de pixel está localizada à esquerda e o espectro de potência à direita. A saída do separador de pixels (2) é associada à entrada do detector de ondas locais (3).

[0077] O detector de ondas locais (3) tem a função de realizar a avaliação da matriz e espectro coletados pelo separador de pixels (2), o termo onda é utilizado para se referir a um padrão repetitivo orientado. O detector de ondas locais (3) analisa se a onda que está encaminhada necessita ou não ser direcionada para a função de remapeamento de frequência (4). Esta análise é feita com base em uma frequência limite pré-determinada. Para frequências maiores que a frequência limite pré-determinada faz-se necessário que a onda seja encaminhada para referida função de remapeamento de frequência (4), para frequências menores que a frequência limite pré-determinada a onda é

encaminhada para o recomputador de fase (5). Para isso, o detector de ondas locais (3) conta com um detector de padrões repetitivos e um detector de alinhamento de valores.

[0078] O remapeador de frequência (4) tem a finalidade de aplicar a função de remapeamento de frequência, onde esta é capaz de tornar a frequência da seleção menor que a frequência limite pré-determinada. O produto da seleção que passa por esta função é encaminhado para o recomputador de fase (5).

[0079] O recomputador de fase (5) tem a finalidade de aplicar uma função de recomputação de fase, que permite preservar os alinhamentos das ondas remapeadas pela função de remapeamento de frequência (4) e, por consequência, o conteúdo da imagem sendo processada. A função de recomputação de fase (5) recebe ondas da função de remapeamento de frequência (4). O resultado da função de recomputação de fase (5) é direcionado para o combinador de ondas (6).

[0080] O combinador de ondas (6) tem a função de receber inúmeras seleções de uma imagem e organizá-las formando a segunda imagem (s0). Sendo que, a segunda imagem (s0) tem o mesmo número de pixel que a primeira imagem (s).

[0081] O detector de ondas locais (3) é compreendido por um detector de padrões repetitivos que tem o objetivo de reconhecer padrões repetitivos presentes nos pixels selecionados pelo separador de pixels (2). Cada padrão repetitivo possui uma determinada frequência inerente aos pixels selecionados. Tal frequência é analisada e com base na frequência limite pré-determinada ocorre ou não o remapeamento de frequência. Em uma concretização, o padrão repetitivo de certa imagem de uma camisa listrada, seria baseado nestas listras. Além de compreender o detector de padrões repetitivos, o detector de ondas locais (3) compreende também um detector de alinhamento de fase que é responsável por detectar alinhamentos de valores entre todos os padrões repetitivos detectados na primeira imagem (s).

[0082] Ademais, a função de remapeamento de frequência (4) compreende

um gerador de padrões repetitivos, que é o responsável por adequar os padrões repetitivos adquiridos pelo detector de padrões repetitivos do detector de ondas locais (3), de acordo com a frequência limite pré-determinada. Esta adequação feita pelo gerador de padrões repetitivos é feita na alteração da frequência detectada, a fim de deixá-la ao menos inferior à frequência limite pré-determinada, com o intuito de controlar este gerador de padrões repetitivos.

[0083] A função de recomputação de fase (5) compreende um alinhador de valores que tem como função alinhar a fase das ondas adquiridas e obter na imagem alinhada um conteúdo visual que corresponda ao conteúdo visual do pixel adquirido da primeira imagem (s).

[0084] Em uma concretização, o sistema compreende um dimensionador de imagem associado ao combinador de ondas (6) e configurado para receber a segunda imagem (s0). Este dimensionador de imagem recebe a segunda imagem (s0) e altera as suas dimensões gerando uma terceira imagem que preserva características essenciais da segunda imagem (s0) e, conseqüentemente, da primeira imagem (s), exceto pelo fato de que a terceira imagem tem dimensões diferentes. Em uma concretização, o dimensionador de imagem pode reduzir ou aumentar as dimensões da imagem. A partir das dimensões requisitadas pelo referido dimensionador de imagem o sistema pode determinar de forma dinâmica a frequência limite pré-determinada. Ademais, a terceira imagem, gerada pelo dimensionador de imagens, compreende os padrões repetitivos orientados oriundos da primeira imagem (s).

[0085] O sistema descrito é capaz de gerar a segunda imagem (s0) com base na primeira imagem (s), de modo que a segunda imagem (s0) compreenda o mesmo número de pixels da primeira imagem (s), entretanto a segunda imagem (s0) se distingue da primeira imagem (s) por compreender padrões repetitivos com frequências distintas da primeira imagem (s). O sistema de remapeamento espectral de imagens da presente invenção possui o objetivo técnico de detectar padrões repetitivos orientados de alta frequência relevantes

na imagem original e gerar a partir de cada padrão repetitivo detectado um novo padrão repetitivo de orientação substancialmente similar e com frequência de repetição remapeada para que fique abaixo da frequência limite pré-determinada.

[0086] O referido sistema objetiva ainda gerar como saída uma imagem que maximize a similaridade de conteúdo visual com a imagem original dada como entrada.

[0087] Em um segundo objeto, a presente invenção revela um método de remapeamento espectral de imagens compreendendo as seguintes etapas:

- a. recebimento de ao menos uma primeira imagem (s);
- b. definição de uma frequência limite pré-determinada;
- c. detecção de ondas locais;
- d. remapeamento de frequência de ondas por meio de ao menos uma função de remapeamento de frequência;
- e. alinhamento de fase por meio de ao menos uma função de recomputação de fase;
- f. reconstrução da imagem com ondas remapeadas; e
- g. geração de uma segunda imagem (s0);

em que;

- a etapa de detecção de ondas locais compreende detecção de padrões repetitivos na primeira imagem (s);
- a etapa de detecção de ondas locais compreende encaminhamento dos padrões repetitivos detectados na primeira imagem (s) para a etapa de alinhamento de fase, com base no valor da frequência limite pré-determinada. É ressaltado que a presente invenção não se limita a processar apenas um único padrão repetitivo, podendo contemplar um conjunto de padrões repetitivos para serem processados.
- a segunda imagem (s0) é gerada com dimensões equivalentes às dimensões da primeira imagem (s). Ou seja, com isso, é nítido averiguar que a segunda imagem (s0) é gerada sem que haja alterações nas dimensões da

primeira imagem (s), a qual é submetida à processamento.

[0088] A etapa de recebimento da primeira imagem (s) é feita com a aquisição da imagem a ser processada pelo método em questão. Neste recebimento ocorre a separação dos pixels da primeira imagem (s), dividindo a primeira imagem (s) em pixels. O termo onda é utilizado para se referir a um padrão repetitivo orientado da primeira imagem (s).

[0089] Não obstante, o presente método compreende, ainda, uma etapa adicional de geração de um novo padrão repetitivo a partir de cada padrão repetitivo detectado na primeira imagem (s) pelo detector de ondas locais (3). Este novo padrão repetitivo compreende uma frequência de repetição abaixo da frequência limite pré-determinada anteriormente e, ainda, este novo padrão compreende um novo alinhamento de fase coincidindo com o respectivo alinhamento de fase detectado em etapa prévia.

[0090] É estipulada, também, uma frequência limite pré-determinada, para que ocorra o método de remapeamento espectral de imagens. Em uma concretização, esta frequência é determinada por meio de cálculo dinâmico a partir do dimensionamento de uma terceira imagem.

Definições Preliminares

[0091] Com o intuito de descrever de forma clara a presente invenção, é apresentada uma breve descrição de alguns conceitos universais da linguagem matemática a ser utilizada. Estes conceitos são apresentados para entidades unidimensionais e suas extensões para entidades bidimensionais se dá diretamente por aqueles versados na arte.

[0092] Um vetor s no espaço \mathbb{C}^N usual é uma sequência de N números complexos cujo n -ésimo elemento denotamos por $s(n)$, para n inteiro variando de 0 a $N - 1$. Através de uma decomposição de Fourier é possível descrever qualquer tal vetor como uma combinação linear de N ondas complexas f_k oscilando em frequências harmônicas k/N para k inteiro variando de 0 a $N - 1$:

$$s = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{s}(k) f_k, \quad \text{onde } f_k(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \exp(2\pi i n k / N) \quad (1)$$

[0093] O vetor \hat{s} é a transformada discreta de Fourier, *discrete Fourier transform*, ou DFT, ou o espectro de s , e $i = \sqrt{-1}$. O k -ésimo coeficiente de Fourier pode ser computado como

$$\hat{s}(k) = \langle s | f_k \rangle = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) f_k^*(n). \quad (2)$$

[0094] É notório que os vetores f_0, f_1, \dots, f_{N-1} definem uma base ortonormal para \mathbb{C}^N com respeito ao produto interno $\langle \cdot | \cdot \rangle$ deste espaço, e $f_k^*(n)$ denota o complexo conjugado de $f_k(n)$.

[0095] Sejam os vetores ρ e θ respectivamente o espectro de potências e o espectro de fases de s . A Equação 1 pode ser reescrita como uma soma de ondas complexas escaladas e com atrasos de fase:

$$s(n) = \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{\rho(k)} \frac{1}{\sqrt{N}} \exp(2\pi i n k / N + i \theta(k)). \quad (3)$$

[0096] Temos que $\rho(k) = |\hat{s}(k)|^2$, $\theta(k) = \text{atan2}(\Im \hat{s}(k), \Re \hat{s}(k)) \in [0, 2\pi)$, e $\Im \hat{s}(k)$ e $\Re \hat{s}(k)$ são respectivamente a parte imaginária e a parte real de $\hat{s}(k)$.

[0097] Considerando agora vetores s em \mathbb{C}^N não como sequências complexas finitas, mas como sequências complexas N -periódicas que satisfazem $s(n + N) = s(n)$ para todo n inteiro. Qualquer seja tal sequência esta pode ser descrita como a combinação linear de N^2 átomos de Gabor $g_{n,k}$ definidos pela translação no espaço e em frequência de um vetor-janela g real, simétrico e de norma unitária:

$$s = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} \check{s}(n, k) g_{n,k} \quad (4)$$

[0098] Na equação acima temos que $g(m) = g(-m)$, $\|g\| = \sqrt{\langle g | g \rangle} = 1$, e ainda que:

$$g_{n,k}(m) = g(m - n) \frac{1}{\sqrt{N}} \exp(2\pi i m k/N) \quad (5)$$

[0099] Os átomos acima definidos não são vetores linearmente independentes e, portanto, não definem uma base ortogonal. Entretanto, estes consistem em translações espaciais unitárias do vetor-janela g . Portanto, coeficientes de Gabor para esta expansão em particular são computados pelo produto interno de s com os respectivos átomos: $\check{s}(n, k) = \langle s | g_{n,k} \rangle$.

[0100] Seja $g_n(m) = g(m - n)$ translação espacial do vetor-janela.

Remapeamento Espectral

[0101] Na notação utilizada a seguir s representa a primeira imagem (s) de entrada definida por M linhas e N colunas de pixels, sendo s um vetor duplamente indexado cujo (m, n) -ésimo pixel é denotado por $s(m, n)$, para m inteiro variando de 0 a $M - 1$ e n inteiro variando de 0 a $N - 1$.

[0102] O termo onda é utilizado para se referir a um padrão repetitivo orientado.

[0103] A Figura 2 apresenta um sumário dos passos que compõe o método, composto por:

[0104] 1- A primeira imagem (s) serve de entrada, s , para ser recebida pelo sistema em questão, à esquerda. Sendo a imagem presente na Figura 2 utilizada como exemplo.

[0105] 2- A primeira imagem (s) tem seus pixels separados em uma série de vizinhanças centradas em pixels $s(m, n)$, das quais três vizinhanças são ilustradas na Figura 2 como exemplo, rotuladas *scarf*, *arm* e *table cloth*. Cada vizinhança está ilustrada pela sua matriz de pixels, à esquerda, e por seu espectro de potências, à direita.

[0106] 3- Através da detecção de ondas locais, cada vizinhança de pixels é decomposta em dois subconjuntos de ondas: i) ondas que precisam ter suas frequências remapeadas para uma nova frequência abaixo da frequência limite pré-definida, rotuladas com o símbolo \mathcal{W}_{mn}^φ ; e ii) ondas que não precisam ter

suas frequências remapeadas, rotuladas com o símbolo $\mathcal{W}_{mn}^{! \varphi}$.

[0107] 4- Através de uma função φ descrita a seguir, ocorre o remapeamento das frequências de todas as ondas que precisam ter suas frequências remapeadas.

[0108] 5- As fases de todas as ondas remapeadas são recomputadas para preservar seus alinhamentos e por consequência o conteúdo visual da imagem sendo processada.

[0109] 6- As ondas remapeadas são combinadas com as não-remapeadas e então combinadas entre si para formar a segunda imagem (s_0) de saída, \hat{s} , gerada pelo método.

[0110] Ao fim, a segunda imagem (s_0) gerada compreende novos padrões repetitivos, que obviamente foram gerados a partir de padrões repetitivos presentes na primeira imagem (s). Estes novos padrões repetitivos são similares aos padrões repetitivos apresentados pela primeira imagem (s), entretanto estes novos padrões repetitivos compreendem novas frequências de repetição, devido à etapa de remapeamento de frequência, estas novas frequências devem estar abaixo da frequência limite pré-determinada. Além disso, como consequência da mudança de frequência deve ser feita uma correção nas fases destas ondas, obviamente, há um novo alinhamento de fases, que deve coincidir com o alinhamento de fases detectado na primeira imagem (s).

Detecção de Ondas Locais

[0111] Nesta etapa ocorre o direcionamento das ondas capturadas nos diversos pixels. Há duas possibilidades de direcionamento: ondas que devem ter suas frequências remapeadas para uma nova frequência abaixo da frequência limite pré-definida, logo estas devem ser tratadas na etapa de remapeamento de frequência de ondas; ou ondas que não precisam ter suas frequências remapeadas, e, portanto, não são direcionadas para etapa de remapeamento de frequência de ondas.

[0112] Descreve-se aqui um método para obter uma decomposição espaço-frequência para uma primeira imagem (s) que, diferentemente de uma decomposição espaço-frequência convencional de Gabor [Gabor 1946], detecta separadamente ondas não-harmônicas de frequências arbitrárias.

[0113] Em uma vizinhança de pixels da primeira imagem (s), sua decomposição espaço-frequência idealizada consiste em um número finito de ondas não-harmônicas com frequências bem definidas, cuja combinação linear representa exatamente tal vizinhança. Seja (m, n) o centro de uma tal vizinhança, e seja $s \cdot g_{mn}$ a multiplicação ponto-a-ponto de s com uma janela g_{mn} definida por uma função Gaussiana cujo máximo é atingido em (m, n) .

[0114] O objetivo é encontrar um conjunto de ondas \mathcal{W}_{mn} que melhor descreve $s \cdot g_{mn}$ através da minimização do funcional $E(\mathcal{W}_{mn})$ descrito pela Equação a seguir:

$$E(\mathcal{W}_{mn}) = \left\| s \cdot g_{mn} - \sum_{(\alpha, a, b, c) \in \mathcal{W}_{mn}} w_{\alpha, a, b, c} \cdot g_{mn} \right\| \quad (6)$$

[0115] Cada tupla de números reais (α, a, b, c) define unicamente uma onda bidimensional, ou seja, um padrão repetitivo orientado, com amplitude α , frequência horizontal e vertical a e b em $[-0.5, 0.5]$, e fase c em $[0, 1]$:

$$w_{\alpha, a, b, c}(m', n') = \alpha \exp[2\pi i (am' + bn' + c)] \quad (7)$$

[0116] As ondas na Equação 4 aproximam a vizinhança ao redor do (m, n) -ésimo pixel, e portanto o conjunto de ondas \mathcal{W}_{mn} determina uma descrição local da primeira imagem (s) em termos de átomos espaço-frequência não-harmônicos $w_{\alpha, a, b, c} \cdot g_{mn}$.

[0117] Para encontrar a solução que minimiza o funcional $E(\mathcal{W}_{mn})$ o presente método utiliza uma possível sequência iterativa de passos que se baseiam no processo de busca por picos no espectro de potências de $s \cdot g_{mn}$. Esta sequência de passos é detalhada na Seção de descrição detalhada da detecção de ondas locais.

Remapeamento de frequência de ondas

[0118] Nesta etapa ocorre o remapeamento das frequências de todas as ondas que precisam ter suas frequências remapeadas, isto é, das ondas que tem frequência repetitiva maior que a frequência limite pré-determinada.

[0119] Para cada pixel (m, n) em s , o método proposto obtém uma decomposição local dada por \mathcal{W}_{mn} de uma vizinhança centrada em (m, n) .

[0120] Seja F uma frequência limite pré-determinada no intervalo $[0, 0.5]$. Quando se pretende que a imagem a ser gerada pelo método proposto seja subsequentemente reduzida, através de uma etapa de redução, que em uma concretização ocorre por um processo de *downscaling*, originando a terceira imagem com fator de redução dado $R > 1$, a frequência limite F pode ser computada com base em R , como por exemplo, sendo $F = 0.5/R$ ou $F = 0.4/R$. Ainda, é de clara facilidade por aqueles versados na arte a extensão da descrição que segue para frequências limites não uniformes horizontais e verticais, definidas por dois valores F_x e F_y , de forma a atingir o mesmo propósito da presente invenção.

[0121] Para gerar com o método as imagens de exemplo ilustradas nas Figuras deste documento utilizou-se $F = 0.4/R$.

[0122] Define-se uma onda (α, a, b, c) como sendo não-representável caso suas coordenadas de frequência (a, b) estejam fora de uma região pré-determinada contida no conjunto $[-0.5, 0.5) \times [-0.5, 0.5)$. Utiliza-se aqui como exemplo a região \mathcal{C} denominada círculo espectral de raio F , definida por:

$$\mathcal{C} = \{(a, b) \mid a^2 + b^2 \leq F; a, b \in [-0.5, 0.5)\} \quad (8)$$

[0123] Portanto, sejam não-representáveis ondas (α, a, b, c) onde $(a, b) \notin \mathcal{C}$.

[0124] Para cada onda não-representável do conjunto \mathcal{W}_{mn} , o método proposto aplica uma função φ que remapeia suas coordenadas de frequência para um novo local dentro da região pré-determinada: $(a, b) \mapsto \varphi(a, b) \in \mathcal{C}$. Como exemplo, é definida a função:

$$\varphi(a, b) = (F \cos \vartheta, F \sin \vartheta), \quad \text{onde } \vartheta = \text{atan2}(b, a) \quad (9)$$

[0125] Esta função realiza um mapeamento radial de ondas de altas frequências para ondas de baixas frequências preservando a orientação destas

ondas como dada pelo valor de ϑ e, portanto preservando o conteúdo visual local da imagem.

[0126] Funções φ alternativas produzem resultados similares com o mesmo propósito técnico de remapear coordenadas de frequência para um novo local dentro da região pré-determinada.

[0127] Algumas ondas não representáveis não são boas candidatas para remapeamento de frequências. Em particular, ondas que pertencem a um conjunto-correlacionado de ondas não devem ter suas frequências remapeadas. Estes conjuntos-correlacionados estão comumente associados com mudanças abruptas de intensidade na imagem, não sofrendo de artefatos de *aliasing* comuns durante re-amostragem. A Figura 3A ilustra um exemplo de uma onda quadrada a qual é definida por um conjunto-correlacionado de ondas, como pode ser visto em seu espectro de potência ilustrado na Figura 3B. É notório, portanto, que esta onda quadrada é re-amostrada, tendo seu número de componentes reduzido, de uma melhor forma através de sub-amostragem direta, como ilustrado na Figura 3C. Isto é, a abordagem clássica de pré-filtragem produz resultados piores neste caso, com por exemplo ilustrado na Figura 3D.

[0128] Dadas essas considerações, nota-se então que ondas que pertencem a um conjunto-correlacionado não têm suas frequências remapeadas pela função φ especificada.

[0129] A detecção de quais ondas pertencem a conjuntos-correlacionados pode tomar vários formatos, sendo apresentado aqui uma possível realização.

[0130] Heuristicamente definimos que uma onda (α, a, b, c) pertence a um conjunto-correlacionado se sua energia, medida por sua amplitude α , for menor ou igual à energia da presente na imagem relativa às coordenadas de frequência $\varphi(a, b)$, esta medida em relação à onda não-harmônica $f_{\varphi(a,b)} = W_{1,\varphi(a,b),0}$.

[0131] Portanto foi definido que uma onda (α, a, b, c) pertence a um conjunto-correlacionado se a seguinte desigualdade for verdadeira:

$$\alpha \leq \frac{10^{0.06}}{\langle 1 | g_{mn} \rangle} |\langle \bar{s}_{mn} \cdot g_{mn} | f_{\varphi(a,b)} \rangle| \quad (10)$$

[0132] Na desigualdade acima se tem que $\bar{s}_{mn} = s - \langle s | g_{mn} \rangle / \langle 1 | g_{mn} \rangle$.

Alinhamento de fase

[0133] Nesta etapa ocorre a recomputação das fases de todas as ondas que passaram pelo remapeamento de frequência de ondas, para preservar seus alinhamentos e por consequência o conteúdo visual da imagem sendo processada.

[0134] O espectro de fases θ definido anteriormente carrega grande parte da informação essencial que caracteriza o conteúdo visual da primeira imagem (s). Os atrasos de fase em θ definem o alinhamento entre ondas, determinando os locais onde ocorrem interferências construtivas e destrutivas que constroem o conteúdo de s .

[0135] Na decomposição espaço-frequência obtida pela minimização do funcional da Equação 4, θ está codificado nos valores de fase c das ondas α, a, b, c em \mathcal{W}_{mn} . Dado que muitas destas ondas possuem suas frequências remapeadas por φ , suas fases devem também ser alteradas de modo a preservar seus importantes alinhamentos.

[0136] Esta alteração de fases é representada por um processo de alinhamento de ondas com o objetivo técnico de obter na segunda imagem (s_0) gerada pelo método conteúdo visual que corresponda ao conteúdo visual da primeira imagem (s) dada como entrada.

[0137] É descrito agora uma possível realização deste alinhamento de fase.

[0138] Duas ondas $w_1 = (\alpha_1, a_1, b_1, c_1)$ e $w_2 = (\alpha_2, a_2, b_2, c_2)$ possuem um alinhamento em (m, n) se possuem mesmos valores em uma vizinhança N_{mn} de tamanho 3×3 centrada em (m, n) . Define-se uma medida positiva para o grau de alinhamento através de $\mu_{mn}(w_1, w_2) = \exp(-\delta^2/\lambda^2)$ em $[0,1]$ onde:

$$\delta = \frac{1}{\min(\alpha_1, \alpha_2)} \sqrt{\sum_{(m',n') \in N_{mn}} |w_{w_1}(m',n') - w_{w_2}(m',n')|^2} \quad (11)$$

[0139] Na equação acima temos que $w_{w_j}(m', n') = w_{\alpha_j, a_j, b_j, c_j}(m', n')$ e $\lambda = 0.5$.

[0140] Para todos os pixels (m, n) em s , os conjuntos \mathcal{W}_{mn} definem uma topologia de grafo de acordo com vizinhanças diretas entre pixels, como ilustrado na Figura 4. Sejam w_1 e w_2 duas ondas distintas na união $\mathcal{W}_{mn} \cup \mathcal{W}_{m'n'}$ de dois conjuntos \mathcal{W}_{mn} e $\mathcal{W}_{m'n'}$ conectados por uma aresta neste grafo, e tal que ambas w_1 e w_2 terão suas frequências remapeadas para respectivamente $\varphi(w_1)$ e $\varphi(w_2)$. Esta notação deve ser interpretada como $\varphi(w_j) = (\alpha_j, \varphi(a_j, b_j), c_j)$.

[0141] Se um alinhamento existe entre w_1 e w_2 , um alinhamento similar é, então, criado entre as ondas $\varphi(w_1)$ e $\varphi(w_2)$, preservando assim a continuidade dos valores dos pixels para as ondas reconstruídas. Para tanto, requer-se que ondas remapeadas tenham igual valor na posição (\bar{m}, \bar{n}) situada no meio do caminho entre (m, n) e (m', n') , os respectivos centros das vizinhanças \mathcal{W}_{mn} e $\mathcal{W}_{m'n'}$. Isto é:

$$w_{\varphi(w_1)}(\bar{m}, \bar{n}) = w_{\varphi(w_2)}(\bar{m}, \bar{n}), \quad \text{onde} \quad \begin{aligned} \bar{m} &= (m + m')/2, \\ \bar{n} &= (n + n')/2. \end{aligned} \quad (12)$$

[0142] Uma solução aproximada para esta equação pode ser obtida através da suposição que duas ondas w_1 e w_2 que possuem elevada medida de alinhamento $\mu_{\bar{m}\bar{n}}(w_1, w_2)$ muito provavelmente contam com amplitudes similares. Logo, assumindo $\alpha_1 = \alpha_2$, esta Equação 12 se torna:

$$(a_1^\varphi \bar{m} + b_1^\varphi \bar{n} + c_1^\varphi) \stackrel{\text{mod}1}{=} (a_2^\varphi \bar{m} + b_2^\varphi \bar{n} + c_2^\varphi) \quad (13)$$

[0143] Na equação acima temos que $(a_j^\varphi, b_j^\varphi) = \varphi(a_j, b_j)$ são as frequências remapeadas conhecidas e c_j^φ são os atrasos de fase remapeados os quais desejamos encontrar.

[0144] A validade de tal aproximação depende da magnitude da medida de alinhamento, e, portanto, modela-se a solução deste problema como um sistema de mínimos quadrados ponderados, ou *weighted least squares*, resultando no seguinte funcional o qual deve ser minimizado com respeito aos atrasos de fase desejados c_1^φ e c_2^φ :

$$[\mu_{\overline{mn}}(w_1, w_2)|(a_1^\varphi \overline{m} + b_1^\varphi \overline{n} + c_1^\varphi) - (a_2^\varphi \overline{m} + b_2^\varphi \overline{n} + c_2^\varphi)|]^2 \quad (14)$$

[0145] A minimização da soma de todos tais funcionais para todos possíveis pares de ondas w_1 e w_2 que sofrem remapeamento de frequências é um problema quadrático em seus atrasos de fase, solucionável através de um sistema linear esparso. De modo a reduzir o tamanho deste sistema e evitar o alinhamento de ondas com pequena medida μ , é realizado o *clamping* dos valores $\mu_{\overline{mn}}(w_1, w_2)$ para zero sempre que $\delta > 3\lambda$.

Reconstrução da imagem com ondas remapeadas

[0146] Nesta etapa ocorre a combinação das ondas remapeadas com as não remapeadas. Ocorre, com isso, a geração da segunda imagem (s_0).

[0147] Após o remapeamento de frequências e remapeamento de fases, o método proposto sintetiza uma nova versão \hat{s} da imagem s , sendo a primeira imagem (s) correspondente ao s , e a segunda imagem (s_0) referente à nova versão, utilizando as ondas remapeadas. A segunda imagem (s_0) é a imagem espectralmente-remapeada obtida a partir da primeira imagem (s) dada como entrada para o método. A segunda imagem (s_0) é a imagem gerada como saída pelo método. A segunda imagem (s_0) deve ser reconstruída a partir das ondas remapeadas. Uma realização deste procedimento é definida.

[0148] Seja \mathcal{W}_{mn}^φ o subconjunto de \mathcal{W}_{mn} contendo somente ondas remapeadas (de $s \cdot g_{mn}$), e seja $\mathcal{W}_{mn}^{! \varphi} = \mathcal{W}_{mn} - \mathcal{W}_{mn}^\varphi$ seu complemento. Ainda, para uma onda $w = (\alpha, a, b, c)$, seja $\varphi(w)$ a versão de w com frequências remapeadas para $\varphi(a, b)$ e com atraso de fase computado, por exemplo, pelo sistema de mínimos quadrados descrito anteriormente.

[0149] Escreve-se \hat{s} como a soma do vector q , obtido a partir das ondas originais da imagem, isto é, ondas em $\mathcal{W}_{mn}^{! \varphi}$, e uma versão escalada do vetor r , construído a partir das ondas remapeadas, isto é, ondas em \mathcal{W}_{mn}^φ :

$$\hat{s} = q + \beta r$$

[0150] Acima, temos que, para $g_{mn}^2 \stackrel{\text{def}}{=} g_{mn} \cdot g_{mn}$,

$$q = \sum_{\forall m,n} \sum_{\forall w \in \mathcal{W}_{mn}^{\varphi}} w_w \cdot g_{mn}^2, \quad r = \sum_{\forall m,n} \sum_{\forall w \in \mathcal{W}_{mn}^{\varphi}} w_{\varphi(w)} \cdot g_{mn}^2$$

[0151] Na prática q pode ser computado, por exemplo, como o residual obtido após a remoção de todas as ondas remapeadas de s :

$$q = s - \sum_{\forall m,n} \sum_{\forall w \in \mathcal{W}_{mn}^{\varphi}} w_w \cdot g_{mn}^2$$

[0152] Deve ser escolhido um valor de β positivo e não zero. Uma escolha possível é dada pelo valor $\beta > 0$ que preserva a norma da imagem original, resultando em uma isometria $s \mapsto \hat{s}$ onde $\|\hat{s}\| = \|q + \beta r\| = \|s\|$. Para tanto, tem-se que:

$$\|q + \beta r\| = \|s\| \Leftrightarrow C + B\beta + A\beta^2 = 0 \quad (15)$$

[0153] Na equação acima $A = \|r\|^2$, $B = 2\Re\langle q|r \rangle$, e $C = \|q\|^2 - \|s\|^2$. A solução desta equação quadrática recai em alguns casos base.

[0154] Caso $C = 0$, qualquer valor de β nos dá $\|\hat{s}\| = \|s\|$, pois $\hat{s} = s$.

[0155] Caso $C < 0$, β é a maior raiz da referida equação quadrática.

[0156] Caso $C > 0$ coloca-se $\hat{s} = s$.

[0157] A Figura 5A ilustra um exemplo de uma imagem original dada como entrada para o método, definindo s . A Figura 5B ilustra a imagem de saída \hat{s} gerada pelo método da presente invenção quando este recebe como entrada a imagem da Figura 5A. A Figura 5C ilustra o vetor q para este exemplo e a Figura 5D ilustra o vetor r para este exemplo. Notamos que o espectro $\hat{\hat{s}}$, ilustrado por seu espectro de potências na Figura 5F, mostra claramente para este exemplo que todas as ondas não representáveis em \hat{s} , ilustrado na Figura 5E por seu espectro de potências, foram remapeadas para dentro da região \mathcal{C} , região esta definida para este exemplo pela Equação 8 com $F = 0.4/4$.

Exemplos

[0158] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o

escopo da mesma.

Detalhes Computacionais

[0159] É descrita uma das possíveis variações do método proposto que reduz seu custo computacional, possibilitando assim uma aplicação mais eficiente do método da presente invenção.

[0160] Sejam T e L números naturais satisfazendo $TL > N$, e tal que T é divisor de N (*padding* com espelhamento de s pode ser utilizado para aliviar tal restrição). Decompõe-se s como:

$$s = \sum_{n=0}^{T-1} \sum_{k=0}^{L-1} \check{s}(n, k) \tilde{g}_{n\tau, k} = \sum_{n=0}^{T-1} \sum_{k=0}^{L-1} \langle s | g_{n\tau, k} \rangle \tilde{g}_{n\tau, k} \quad (16)$$

[0161] Acima, $\tau = N/T$ é inteiro definindo o tamanho dos passos para translações espaciais dos átomos $g_{n\tau, k}$, cujas harmônicas são múltiplas da frequência fundamental $1/L$:

$$g_{n\tau, k}(m) = g(m - n\tau) \frac{1}{\sqrt{L}} \exp(2\pi i m k/L) \quad (17)$$

[0162] Os vetores $\tilde{g}_{n\tau, k}$ são os respectivos duais de $g_{n\tau, k}$ [Zibulski e Zeevi 1994], podendo ser encontrados de várias formas, uma das quais é descrita neste documento na seção de computação de vetores duais.

[0163] Se $TL = \gamma N$, $1 < \gamma < N$, o fator de redundância na representação de s , entre as Equações 4 e 16, foi reduzido por um fator N/γ . Tal análise para sinais bidimensionais é similar e direta.

[0164] Em uma possível realização do método proposto o vetor-janela é função Gaussiana $g(m) = \exp(-0.5 m^2/\sigma^2)$ com σ seu desvio padrão, tal que σ seja número real positivo pré-definido. Como exemplo este pode ser maior que $R/2$ pixels, onde $R > 1$ é fator de redução existente quando se pretende que a imagem a ser gerada pelo método proposto seja subsequentemente reduzida por um processo de *downscaling*.

[0165] Dado σ , coloca-se L como sendo o inteiro ímpar mais próximo de 8σ , e trunca-se o vetor-janela g para L elementos, com $m \in \mathbb{Z}$ variando de $-[L/2]$ a

$[L/2]$, aproximadamente -4σ to 4σ . Para garantir $\|g\|=1$, se constrói o vetor-janela discreto g pela amostragem de $g(m) = \exp(-0.5 m^2/\sigma^2)$ nos valores especificados de m e então normalizando tal vetor. % O fator de redundância γ pode ser alterado para definir realizações específicas do método. Imagens de exemplo nas Figuras deste documento utilizam $\gamma = 8$. Ainda, T é setado para o menor número inteiro satisfazendo $TL > 8N$.

Processando Imagens Coloridas

[0166] Imagens coloridas são representadas através de vários canais de cores correlacionados. O método proposto pode ser utilizado em imagens coloridas de maneiras variadas, mas com o mesmo objetivo técnico, de processar uma imagem em cores gerando uma nova imagem em cores com número de pixels reduzido e com a preservação de seus conteúdos visuais fundamentais dados por padrões repetitivos orientados.

[0167] Uma realização desta abordagem se dá pela decorrelação dos canais de cores de uma imagem original através de *principal component analysis* PCA [Reinhard et al. 2001], e a subsequente aplicação do método proposto somente nos coeficientes η_{v_1} associados com a direção v_1 de máxima variação de cores. Para tanto, mapeia-se $s_{\text{rgb}} = [s_r \ s_g \ s_b]$ para $\eta_{\text{pca}} = [\eta_{v_1} \ \eta_{v_2} \ \eta_{v_3}]$, então os coeficientes monocromáticos η_{v_1} são processados pelo método de remapeamento espectral proposto para gerar $\hat{\eta}_{v_1}$, e finalmente \hat{s}_{rgb} é obtido a partir de $\hat{\eta}_{\text{pca}} = [\hat{\eta}_{v_1} \ \eta_{v_2} \ \eta_{v_3}]$ através da operação inversa de troca de base definido pelo método PCA.

[0168] Uma segunda possível realização da abordagem mencionada é a conversão da imagem para o espaço CIELAB com o subsequente processamento de somente o canal L^* .

Testes

[0169] Foi executado um grande número de experimentos em centenas de imagens para validar as vantagens, o valor prático e os efeitos técnicos do

método descrito no presente pedido de patente.

[0170] Mostram-se agora exemplos representativos que demonstram a capacidade técnica do método proposto de processar uma primeira imagem (s) gerando uma nova segunda imagem (s_0) a qual possui a propriedade de poder ter seu número de pixels reduzido através de *downscaling* e após tal redução tem como preservados seus padrões repetitivos orientados gerando uma terceira imagem. Para tanto, demonstra-se imagens geradas através do método proposto e que subsequentemente foram processadas por técnicas de *downscaling* utilizando fatores R de escalamento uniforme. Portanto para um fator R o número total de pixels de uma imagem é reduzido por R^2 .

[0171] As técnicas de *downscaling* empregadas para estes exemplos são: Lanczos (Z), Cubic O-MOMS (D) [Blu et al. 2001; Nehab e Hoppe 2014], Kopf et al. [2013] (K), Öztireli e Gross [2015] (O), Weber et al. [2016] (W), e amostragem *nearest-neighbor* (III).

[0172] O método proposto trata tanto de imagens naturais como de imagens sintéticas. A Figura 5A ilustra o processo de remapeamento espectral para um *chirp* radial centrado em $(0,0)$ e definido pela equação $\cos(x^2 + y^2)$, definindo a imagem de entrada s . A correspondente imagem espectralmente-remapeada $\hat{s} = q + \beta r$ é mostrada na Figura 5B. q é a imagem residual que neste exemplo consiste somente de ondas não-remapeadas dentro da região \mathcal{C} . r consiste de todas as ondas remapeadas com frequências na borda de \mathcal{C} , fazendo-a parecer uma onda circular com frequência constante e orientações preservadas. Uma inspeção visual dos espectros de potência $|\hat{s}|^2$ e $|\hat{\hat{s}}|^2$, respectivamente ilustrados nas Figuras 5E e 5F, mostra que todo conteúdo de padrões repetitivos orientados de alta frequência foram completamente remapeados para dentro de \mathcal{C} . Todas estas imagens foram somente processadas com o método proposto e possuem todas exatamente o mesmo número de pixels, 256×256 .

[0173] É comparado então o resultado de técnicas de *downscaling* aplicadas a s e \hat{s} do exemplo anterior, gerando imagens com número de pixels reduzido

dado por 64×64 .

[0174] As Figuras 6A, 6B, 6C, e 6D mostram que todas as técnicas de *downscaling* aplicadas diretamente à imagem original s não conseguem efetivamente preservar os padrões repetitivos orientados presentes nesta.

[0175] As Figuras 6E, 6F, 6G, e 6H mostram que todas as técnicas de *downscaling* quando aplicadas na imagem gerada pelo método proposto pela presente invenção conseguem corretamente preservar os padrões repetitivos orientados presentes nesta.

[0176] Este exemplo mostra claramente a eficácia do método proposto em atingir seu objetivo técnico de processar uma imagem gerando uma nova imagem a qual possui a propriedade de poder ter seu número de pixels reduzido através de *downscaling* e após tal redução preserva seus padrões repetitivos orientados.

[0177] A Figura 7 mostra um desenho a mão do pintor italiano Vittore Carpaccio contento representado por uma imagem com 672×900 pixels. As pequenas imagens na parte inferior contém somente 112×150 pixels, e as letras maiúsculas abaixo de cada imagem reduzida indica o algoritmo de *downscaling* que foi aplicado à imagem original, isto é, como se essa estivesse assumindo o posto de primeira imagem (s) ou à imagem espectralmente-remapeada gerada pelo método proposto, isto é, como uma segunda imagem (s_0). A inspeção destas imagens reduzidas revela novamente a eficácia do método proposto, além de sua robustez e independência do método de *downscaling* utilizado. Por exemplo, a técnica de Lanczos aplicado à imagem original $Z(s)$ remove detalhes salientes, como o sombreamento artístico do plano de fundo ou os detalhes no cabelo e barba do retrato. Entretanto, quando aplicada à imagem espectralmente-remapeada $Z(\hat{s})$, a técnica de Lanczos preserva corretamente esses detalhes provenientes de padrões repetitivos orientados. A mesma observação se aplica à técnica Cubic O-MOMS (D). A técnica de [Öztireli e Gross 2015] aplicada à imagem original $O(s)$ mostra alguns detalhes de alta frequência, entretanto a imagem resultante é bastante

ruidosa e os padrões repetitivos orientados não foram preservados. Quando aplicada à imagem \mathcal{S} gerada pelo método proposto $O(\mathcal{S})$, entretanto, todos os detalhes importantes para definição do conteúdo visual da imagem são preservados. A técnica de Weber et al. [2016] aplicada à imagem original $W(s)$ produz resultados entre aqueles gerados por Lanczos e por Öztireli e Gross. Novamente, quando aplicado à nossa imagem espectralmente-remapeada $W(\mathcal{S})$, padrões repetitivos orientados não corretamente preservados. O resultado gerado pela técnica de Kopf et al. [2013] se assemelha à Z e D . Por fim, sub-amostragem, que normalmente tende a introduzir artefatos de *aliasing* severos $III(s)$, consegue representar efetivamente detalhes de padrões repetitivos orientados quando combinada com nosso método $III(\mathcal{S})$.

[0178] A Figura 8A mostra uma imagem de uma cena com vários padrões repetitivos orientados: as persianas ao fundo, o pequeno padrão quadriculado no chapéu do urso, e as listas de luz na face do cachorro. A imagem original de 1200×1600 pixels, à esquerda, foi reduzida para somente 60×80 pixels, sendo este portanto um teste bastante difícil para as várias técnicas envolvidas. Como pode ser observado na fileira de imagens reduzidas na Figura 8B, nenhuma das técnicas de *downscaling* conseguem tratar desta cena por conta própria. Enquanto a técnica Cubic O-MOMS introduz relativamente menos *aliasing* em comparação com as outras, isso é feito ao custo do descarte de padrões repetitivos orientados. As outras técnicas introduzem artefatos de *aliasing* severos na região das persianas, não conseguem representar as listas de luz na face do cachorro, e, além disso, ou removem ou introduzem *aliasing* no padrão quadriculado.

[0179] O método de remapeamento espectral proposto evita *aliasing* quando combinado com todas estas técnicas, como ilustrado na fileira de imagens reduzidas da Figura 8C. Uma observação importante que mostra a robustez e eficácia da presente invenção é o fato de que para este exemplo nosso método consegue representar o pequeno padrão quadriculado mesmo quando combinado com a técnica Cubic O-MOMS para redução do número de pixels

D(§).

[0180] A Figura 9 mostra uma imagem de um lagarto com padrões repetitivos orientados naturais, um exemplo bastante desafiador. Esta é definida por 1536×2046 pixels. Note os detalhes de da textura na barriga e nas pernas do lagarto. Novamente, como pode ser observado na fileira de imagens reduzidas da Figura 10A, nenhuma das técnicas de *downscaling* conseguem tratar desta cena por conta própria, e acabam incorretamente removendo padrões repetitivos orientados, ou acabam substituindo-os por ruído e artefatos de *aliasing*. Entretanto, como ilustrado na fileira de imagens reduzidas da Figura 10B, estas técnicas de *downscaling* quando executadas sobre a imagem de saída gerada pelo método da presente invenção conseguem preservar os padrões naturais presentes na imagem à esquerda, mesmo com um número reduzido de 256×341 pixels.

[0181] A Figura 11 mostra uma imagem de um gráfico utilizado para teste de resolução em câmeras fotográficas, definido por uma matriz de 3783×2856 pixels. Nesta o detalhe indicado por 2 representa um *zoom* da região indicada por 1, de modo que seja possível ver de forma mais clara a existência de padrões repetitivos orientados na imagem. Como pode ser observado na fileira de imagens reduzidas da Figura 12A, nenhuma das técnicas de *downscaling* conseguem tratar satisfatoriamente esta imagem, e acabam incorretamente removendo padrões repetitivos orientados, ou acabam substituindo-os por ruído e artefatos de *aliasing*. Entretanto, como ilustrado na fileira de imagens reduzidas da Figura 12B, estas mesmas técnicas de *downscaling* quando executadas sobre a imagem de saída gerada pelo método da presente invenção conseguem preservar os padrões repetitivos orientados presentes no gráfico.

Conclusões

[0182] A descrição detalhada deste documento, em conjunto com a seção exemplo e suas várias imagens anexadas em suas Figuras, comprova

claramente a eficácia do método proposto em atingir seu objetivo técnico de processar uma imagem gerando uma nova imagem a qual possui a propriedade de poder ter seu número de pixels reduzido através de *downscaling* e após tal redução ter preservado os padrões repetitivos orientados característicos da imagem original.

[0183] Enquanto a presente invenção e seus benefícios e vantagens foram descritos em detalhes, deve ser entendido que várias mudanças, alterações e substituições podem ser feitas no método sem que se altere o escopo da invenção como determinado pelas referidas reivindicações.

Descrição Detalhada da Detecção de Ondas Locais

[0184] O objetivo é encontrar um conjunto de ondas \mathcal{W}_{mn} que minimize o funcional $E(\mathcal{W}_{mn})$ descrito pela Equação 6. Uma possível solução é dada através da observação de que uma decomposição ideal \mathcal{W}_{mn}^* satisfaz $E(\mathcal{W}_{mn}^*) = 0$, e portanto

$$s \cdot g_{mn} = \sum_{(\alpha,a,b,c) \in \mathcal{W}_{mn}^*} w_{\alpha,a,b,c} \cdot g_{mn}. \quad (18)$$

[0185] Nota-se que é possível, por exemplo, encontrar as frequências (a, b) das ondas em \mathcal{W}_{mn}^* através do processo de busca por picos em $|s \cdot \hat{g}_{mn}|$. Este processo é descrito a seguir.

[0186] Seja $S_{mn} = s \cdot \hat{g}_{mn}$ a DFT de $s \cdot g_{mn}$. $S_{mn}(k, l)$ um vetor duplamente indexado com o mesmo número de elementos de s , onde k é inteiro variando de 0 a $M - 1$ e l é inteiro variando de 0 a $N - 1$.

[0187] Começa-se com um conjunto vazio $\mathcal{W}_{mn} = \emptyset$, e iterativamente são encontradas as ondas que devem ser adicionadas neste conjunto, utilizando os passos detalhados:

[0188] Passo 1: encontrar os índices inteiros (k', l') tal que $|S_{mn}(k', l')|$ seja maximal, isto é, seja um pico. Por ser de interesse somente a detecção de ondas não-representáveis em \mathcal{W}_{mn}^* , limita-se esta busca a índices (k', l') associados a harmônicas não-representáveis, isto é, os que não se encontram

na região pré-determinada \mathcal{C} .

[0189] Passo 2: encontrar as frequências (a', b') tal que $G_{a'b'}$ seja a melhor aproximação para uma vizinhança de $|S_{mn}|$ em torno de (k', l') , onde

$$G_{ab}(\xi, \nu) = (\hat{w}_{\alpha, a, b, c} * \hat{g}_{mn})(\xi, \nu) = \hat{g}_{mn}(a - \xi, b - \nu) \alpha \exp(2\pi i c) \quad (19)$$

[0190] Como $|G_{a'b'}|$ é função Gaussiana, seu logaritmo é uma parábola com máximo em (a', b') [Smith e Serra 1987]. Portanto, encontra-se a superfície quadrática $Q(k, l)$ que representa o melhor ajuste de mínimos quadrados à $\log(|S_{mn}|)$ na vizinhança de tamanho 3×3 centrada em (k', l') . (a', b') é dado então pela localização em frequência do máximo de Q , se este existir. Ainda, a altura desta superfície quadrática em seu máximo diretamente determina a amplitude da onda em questão:

$$\alpha' = \frac{\exp(Q(a', b'))}{\hat{g}_{mn}(0, 0)} \quad (20)$$

[0191] Passo 3: obter o atraso de fase $c' \in [0, 1)$ da onda (α', a', b', c') através do seguinte programa que possui solução fechada para c' , dado que $W_{mn} = w_{\alpha', a', b', 0} \cdot \hat{g}_{mn}$:

$$\max_{c'} \cos(2\pi c') \Re \langle W_{mn} | S_{mn} \rangle - \sin(2\pi c') \Im \langle W_{mn} | S_{mn} \rangle \quad (21)$$

[0192] Esta objetiva é contínua no compacto $[0, 1]$, e, portanto atinge seu máximo neste intervalo. É também diferenciável em toda a reta real, com pontos críticos c_1 e c_2 em $[0, 1)$ dados por

$$\begin{aligned} c_1 &= \text{atan2}(-\Im \langle W_{mn} | S_{mn} \rangle, \Re \langle W_{mn} | S_{mn} \rangle) / 2\pi \bmod 1, \\ c_2 &= \text{atan2}(\Im \langle W_{mn} | S_{mn} \rangle, -\Re \langle W_{mn} | S_{mn} \rangle) / 2\pi \bmod 1. \end{aligned} \quad (22)$$

[0193] A solução é encontrar, portanto sendo $c' = c_1$ se $F(c_1) > F(c_2)$, ou $c' = c_2$ caso contrário.

[0194] Passo 4: incluir a onda detectada (α', a', b', c') no conjunto \mathcal{W}_{mn} . Caso o critério de parada definido abaixo não tenha sido atingido, remover tal onda do espectro pela regra de atualização $S_{mn} \leftarrow S_{mn} - w_{\alpha', a', b', c'} \cdot \hat{g}_{mn}$, e reiniciar o processo a partir do Passo 1. Ao final, o conjunto \mathcal{W}_{mn} irá conter uma decomposição satisfatória de $s \cdot \hat{g}_{mn}$.

[0195] Esses passos definem o processo.

[0196] Como critério de parada nota-se a existência de várias métricas possíveis. Uma possível realização define a parada do processo quando a amplitude da onda atualmente detectada no procedimento for menor que 1/4 da máxima amplitude detectada até o momento. Ainda, é possível limitar o tempo máximo de processamento definindo um limite para o número de elementos do conjunto \mathcal{W}_{mn} , como por exemplo, máximo de 10 elementos o que funciona adequadamente na prática.

[0197] É possível também parar a busca por picos em S_{mn} se: i) a Hessiana de Q não é negativa definida ii) Q possui máximo fora da vizinhança de tamanho 3×3 de (k', l') , ou iii) se a energia de S_{mn} não decresce após a remoção da respectiva onda detectada, isto é, se $\|S_{mn} - w_{\alpha', a', b', c'} \cdot \hat{g}_{mn}\|^2 \geq \|S_{mn}\|^2$. E neste caso não se adiciona a onda (α', a', b', c') ao conjunto \mathcal{W}_{mn} . Por fim, é possível começar o processo com $S_{mn} = \bar{s}_{mn} \cdot \hat{g}_{mn}$ onde \bar{s}_{mn} foi definido anteriormente na Equação 7.

[0198] Para imagens de pixels com valores reais, ondas em \mathcal{W}_{mn}^* ocorrem como pares conjugados:

$$(\alpha, a, b, c) \in \mathcal{W}_{mn}^* \Leftrightarrow (\alpha, -a, -b, -c) \in \mathcal{W}_{mn}^* \quad (23)$$

[0199] É possível computar uma melhor aproximação para as amplitudes das ondas detectadas por exemplo através da seguinte equação:

$$\alpha' = \frac{\exp(Q(a', b'))}{\hat{g}_{mn}(0,0) + \sum_{\delta_a, \delta_b \in \{-1,0,1\}} |\hat{g}_{mn}(-2a' + \delta_a, -2b' + \delta_b)|} \quad (24)$$

Computação de Vetores Duais

[0200] Os vetores $\tilde{g}_{n\tau, k}$ da Equação 10 são os respectivos duais de $g_{n\tau, k}$ [Zibulski e Zeevi 1994], podendo ser encontrados da seguinte maneira.

[0201] Seja $h_{n\tau, k} = \tilde{h}_{n\tau, k}$ um *tight frame* definido por translações espaciais e em frequência de um vetor-janela *self-dual* h . Este pode ser obtido, por exemplo, como

$$h(m) = \frac{g(m)}{\sqrt{\sum_{n \in \Lambda_m} g(m - n\tau)^2}} \quad (25)$$

[0202] Acima m é inteiro que varia de $-[L/2]$ a $[L/2]$ e o conjunto de índices do somatório é dado por $\Lambda_m = \{n \in \mathbb{Z}: -[L/2] \leq m - n\tau \leq [L/2]\}$.

[0203] Obtém-se então $\tilde{g} = h^2 \div g$, onde \div denota divisão elemento-a-elemento de vetores. E por fim

$$\tilde{g}_{n\tau,k}(m) = \tilde{g}(m - n\tau) \frac{1}{\sqrt{L}} \exp(2\pi i m k/L) \quad (26)$$

[0204] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidas no escopo das reivindicações anexadas.

Reivindicações

1. Sistema de remapeamento espectral de imagens **caracterizado** pelo fato de as imagens compreenderem ao menos uma primeira imagem (s) e de o sistema compreender ao menos:

- a. um separador de pixels (2);
- b. um detector de ondas locais (3);
- c. um remapeador de frequência (4) compreendendo ao menos uma função de remapeamento de frequência;
- d. um recomputador de fase (5) compreendendo ao menos uma função de recomputação de fase;
- e. um combinador de ondas (6);

em que,

- a primeira imagem (s) é associada à entrada do separador de pixels (2);
- o separador de pixels (2) é associado ao detector de ondas locais (3);
- o detector de ondas locais (3) é associado à entrada do remapeador de frequência (4) e ao recomputador de fase (5);
- o remapeador de frequência (4) é associado ao recomputador de fase (5);
- o recomputador de fase (5) é associado ao combinador de ondas (6); e
- o combinador de ondas (6) compreende geração de ao menos uma segunda imagem (s0) dotada de dimensões equivalentes às dimensões da primeira imagem (s).

2. Sistema de remapeamento espectral de imagens, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do detector de ondas locais (3) compreender:

- a. um detector de padrões repetitivos; e
- b. um detector de alinhamentos de fases de padrões repetitivos.

3. Sistema de remapeamento espectral de imagens, de acordo com

qualquer uma das reivindicações de 1 a 2, **caracterizado** pelo fato do remapeador de frequência (4) compreender um gerador de padrões repetitivos, e o recomputador de fase (5) compreender um alinhador de fases de padrões repetitivos.

4. Sistema de remapeamento espectral de imagens, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de compreender um dimensionador de imagem associado ao combinador de ondas (6), em que:

- o dimensionador de imagens compreende geração de uma terceira imagem a partir da segunda imagem (s0); e
- a terceira imagem compreende padrões repetitivos orientados da primeira imagem (s).

5. Sistema de remapeamento espectral de imagens, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 4, **caracterizado** pelo fato da segunda imagem (s0) compreender mesma quantidade de pixels da primeira imagem (s) e compreender padrões repetitivos com frequências distintas das presentes na primeira imagem (s).

6. Método de remapeamento espectral de imagens **caracterizado** pelo fato de compreender as seguintes etapas:

- a. recebimento de ao menos uma primeira imagem (s);
- b. definição de uma frequência limite pré-determinada;
- c. detecção de ondas locais;
- d. remapeamento de frequência de ondas por meio de ao menos uma função de remapeamento de frequência;
- e. alinhamento de fase por meio de ao menos uma função de recomputação de fase;
- f. reconstrução da imagem com ondas remapeadas; e
- g. geração de uma segunda imagem (s0);

em que;

- a etapa de detecção de ondas locais compreende detecção de padrões

repetitivos na primeira imagem (s);

- a etapa de detecção de ondas locais compreende encaminhamento de ao menos um padrão repetitivo da primeira imagem (s) para a etapa de alinhamento de fase, com base no valor da frequência limite pré-determinada;
- a segunda imagem (s0) é gerada com as mesmas dimensões da primeira imagem (s).

7. Método de remapeamento espectral de imagens, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de compreender adicionalmente uma etapa de geração de um novo padrão repetitivo a partir de cada padrão repetitivo detectado pelo detector de ondas locais (3), em que:

- o novo padrão repetitivo compreende frequência de repetição abaixo da frequência limite pré-determinada; e
- o novo padrão repetitivo compreende alinhamento de fase coincidente com a respectiva etapa de alinhamento de fase.

8. Método de remapeamento espectral de imagens, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 6 a 7, **caracterizado** pelo fato da etapa de definição de frequência limite pré-determinada compreender cálculo dinâmico da frequência com base nas dimensões de uma terceira imagem.

9. Método de remapeamento espectral de imagens, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 6 a 8, **caracterizado** pelo fato de compreender adicionalmente uma etapa de redução ou ampliação do número de pixels da segunda imagem (s0) gerando a terceira imagem.

FIGURAS



Figura 1A (Estado da Técnica)



Figura 1B (Estado da Técnica)



Figura 1C (Estado da Técnica)



Figura 1D (Estado da Técnica)



Figura 1E (Estado da Técnica)



Figura 1F (Estado da Técnica)



Figura 1G

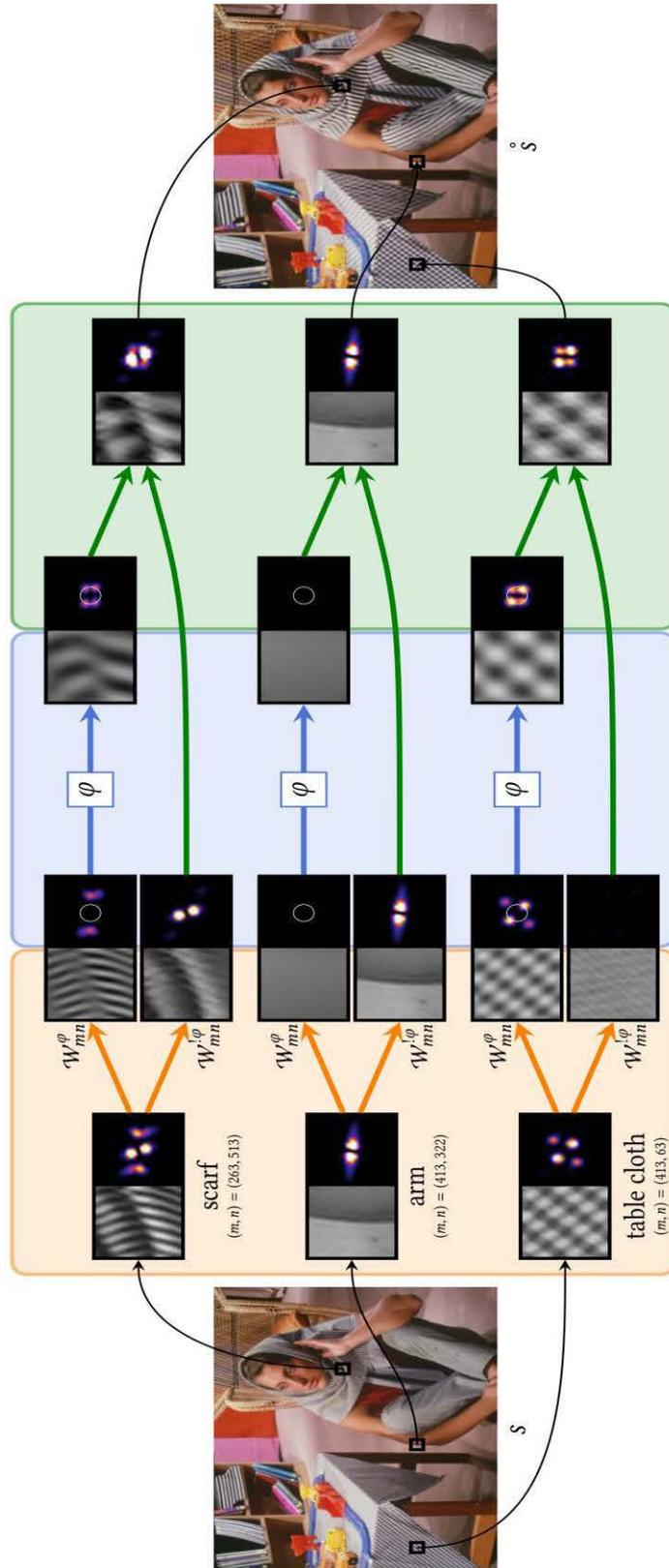


Figura 2

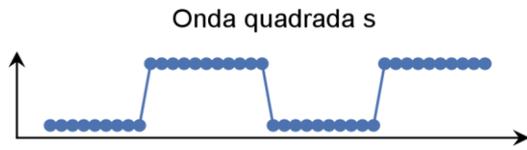


Figura 3A

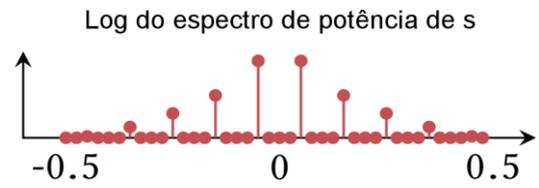


Figura 3B

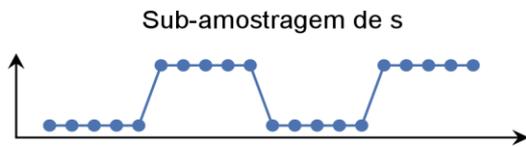


Figura 3C

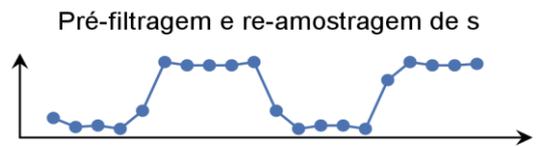


Figura 3D

$$\begin{array}{ccccccc}
 \mathcal{W}_{00} & \text{—} & \mathcal{W}_{01} & \text{—} & \mathcal{W}_{02} & \text{—} & \mathcal{W}_{03} \cdots \\
 | & & | & & | & & | \\
 \mathcal{W}_{10} & \text{—} & \mathcal{W}_{11} & \text{—} & \mathcal{W}_{12} & \text{—} & \mathcal{W}_{13} \cdots \\
 \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots
 \end{array}$$

Figura 4

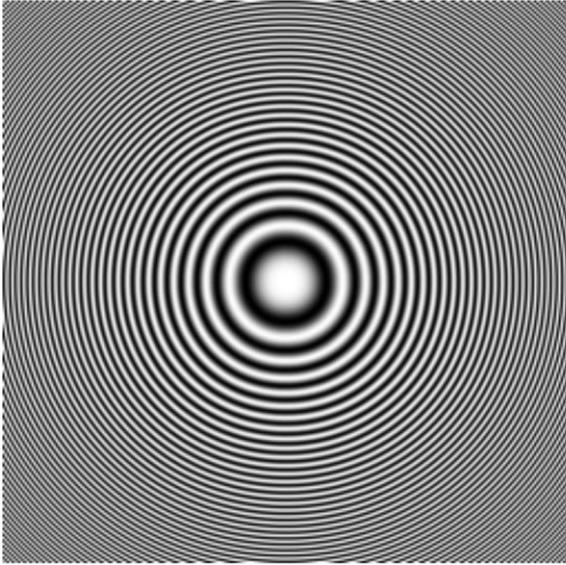

 s

Figura 5A

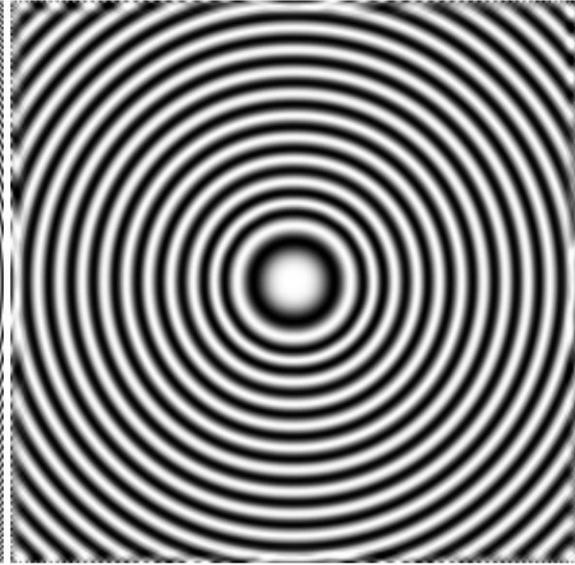

 $\hat{s} = q + \beta r$

Figura 5B

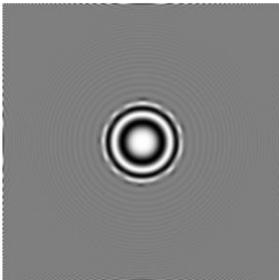

 q

Figura 5C

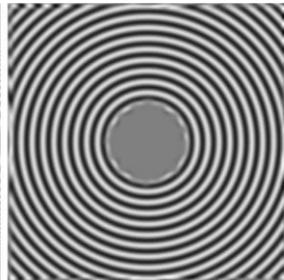

 r

Figura 5D

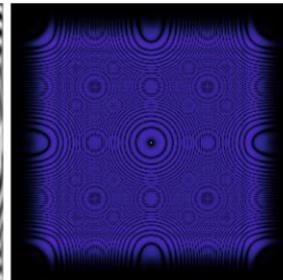

 $\log |\hat{s}|^2$

Figura 5E

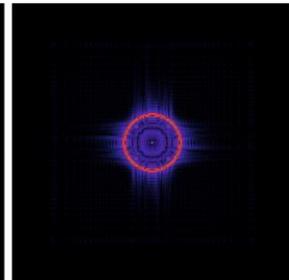
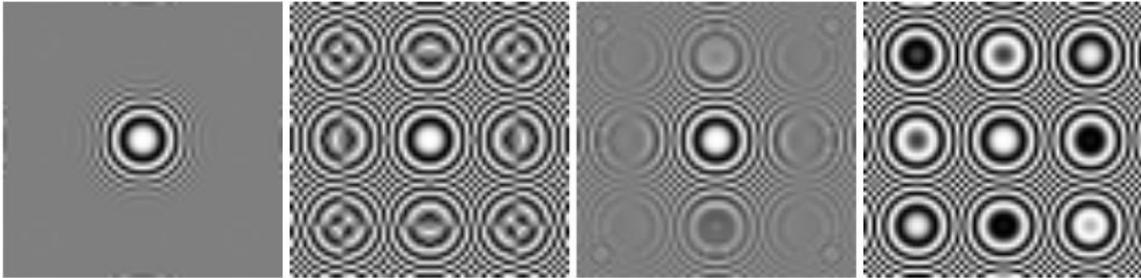

 $\log |\hat{\hat{s}}|^2$

Figura 5F



$$Z(s)$$

Figura 6A

$$O(s)$$

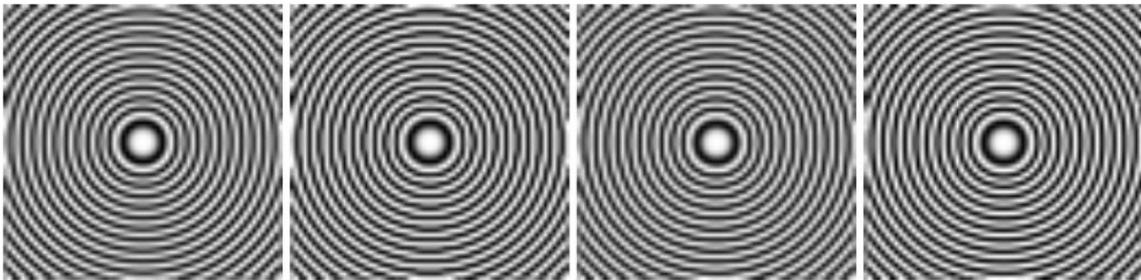
Figura 6B

$$W(s)$$

Figura 6C

$$\text{III}(s)$$

Figura 6D



$$Z(\dot{s})$$

Figura 6E

$$O(\dot{s})$$

Figura 6F

$$W(\dot{s})$$

Figura 6G

$$\text{III}(\dot{s})$$

Figura 6H



VITTORE CARPACCIO
PITTORE.

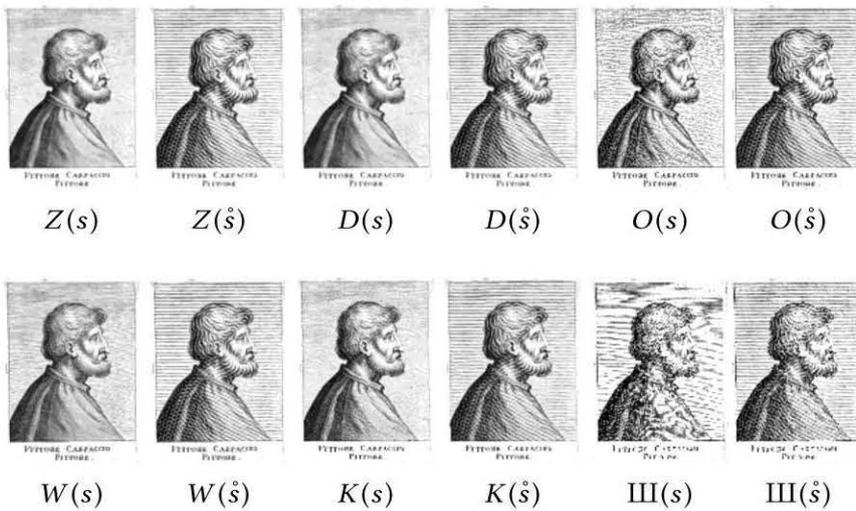


Figura 7



Figura 8A



$D(s)$

$O(s)$

$W(s)$

$K(s)$

Figura 8B



$D(\hat{s})$

$O(\hat{s})$

$W(\hat{s})$

$K(\hat{s})$

Figura 8C

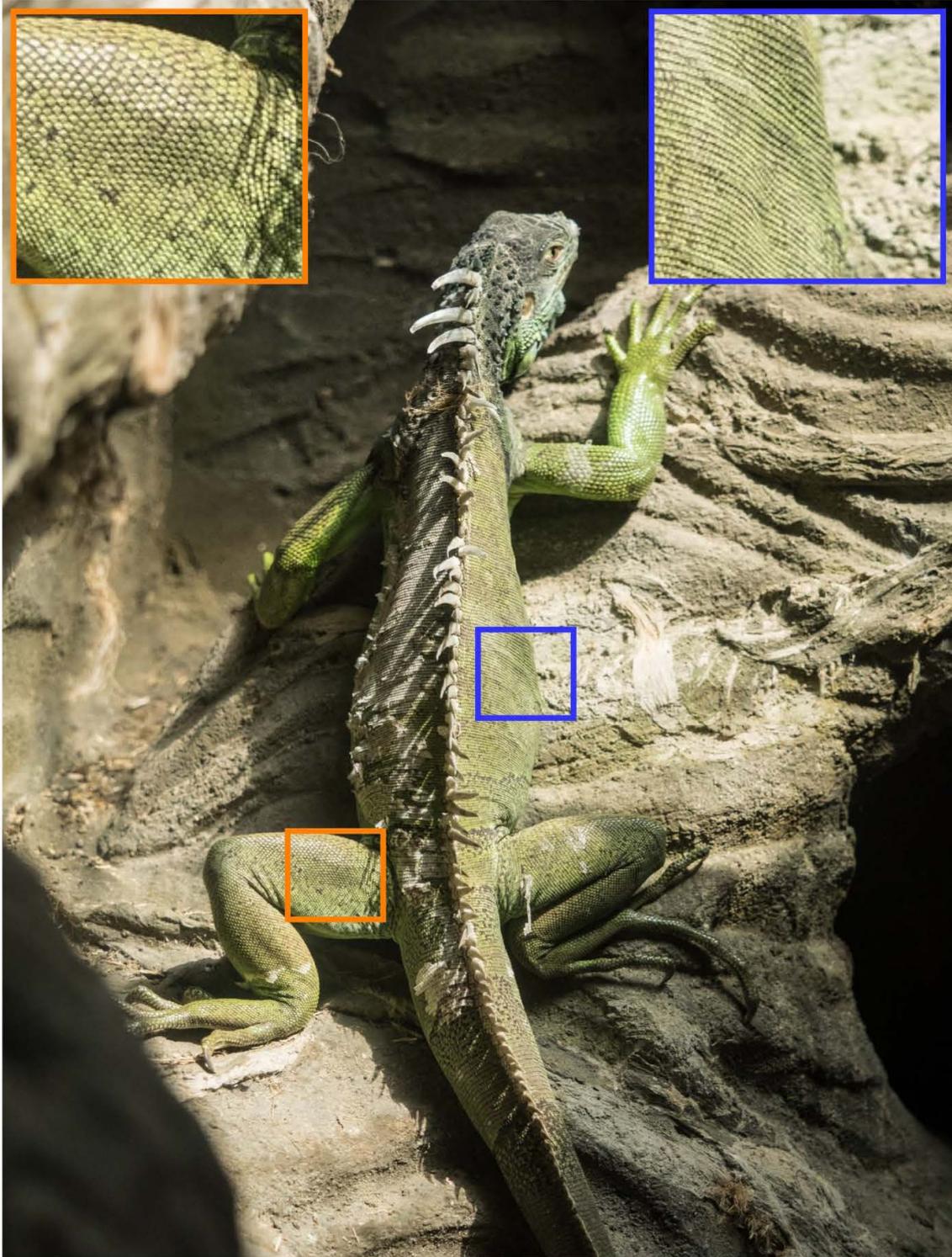


Figura 9

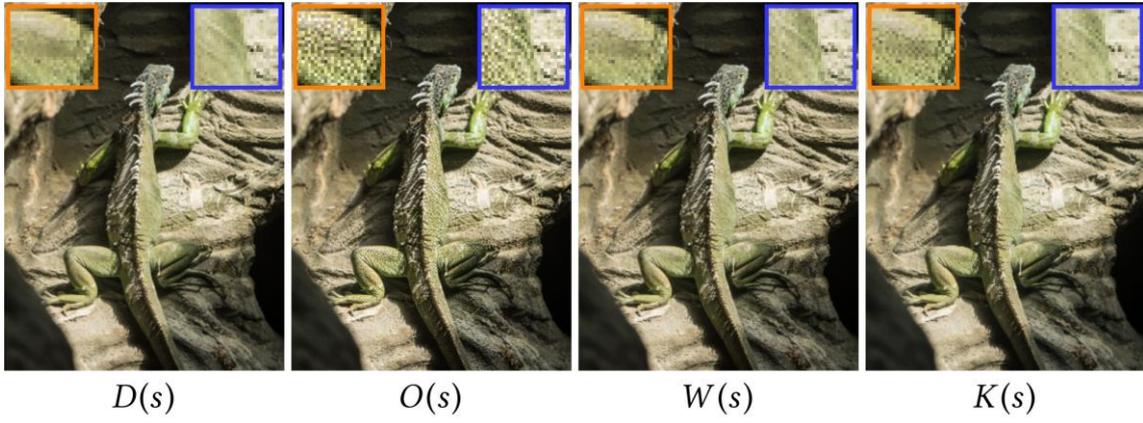


Figura 10A

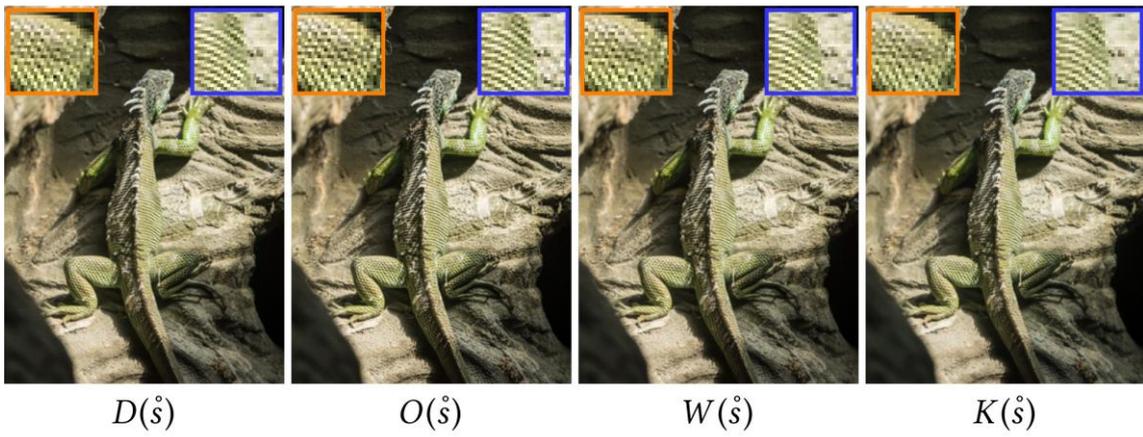


Figura 10B

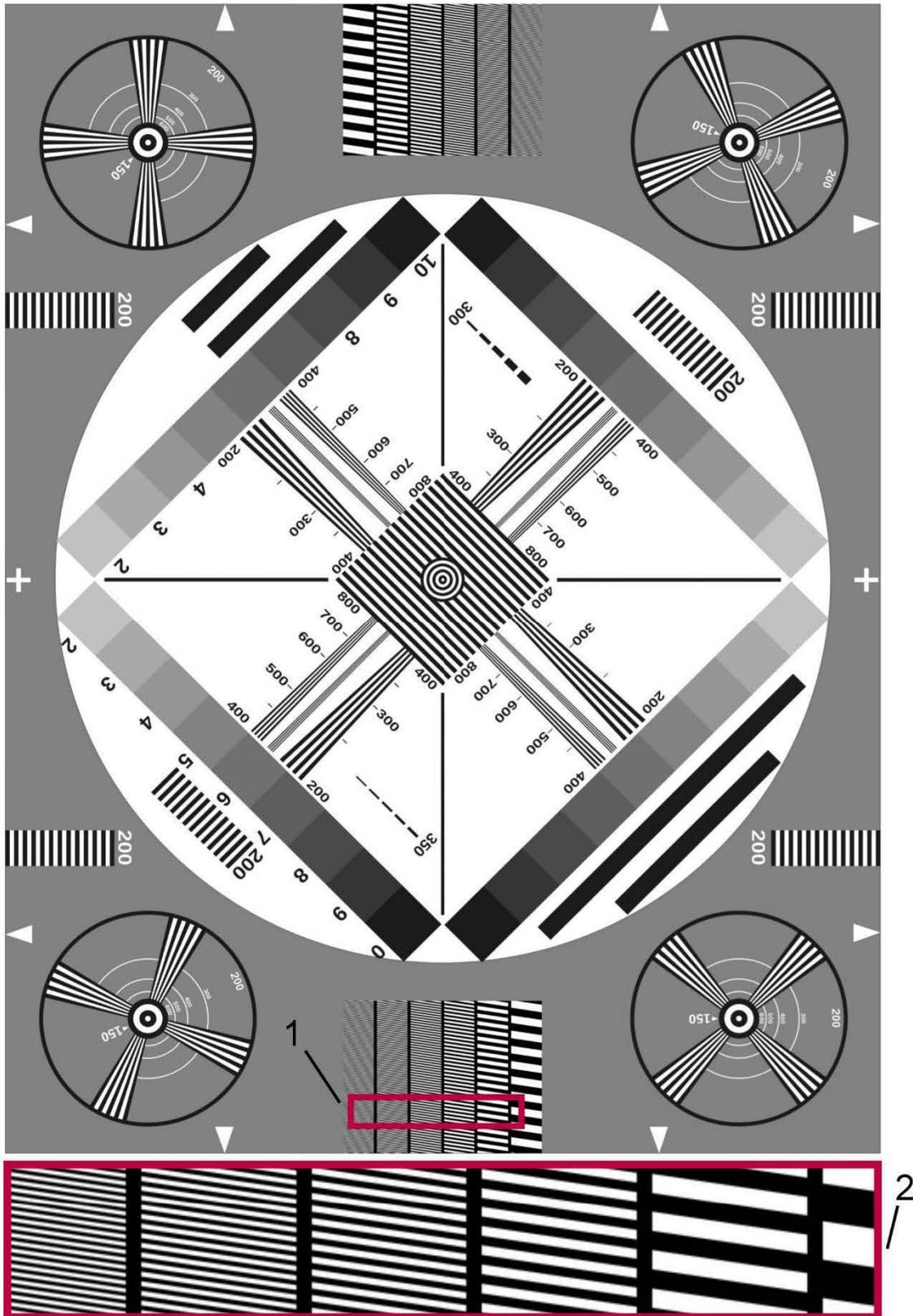


Figura 11

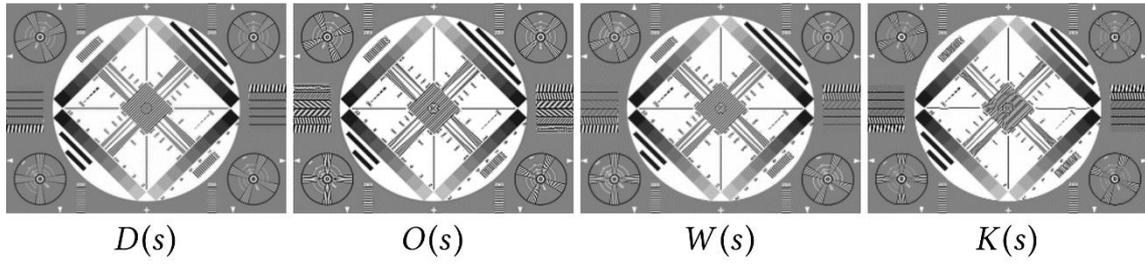


Figura 12A

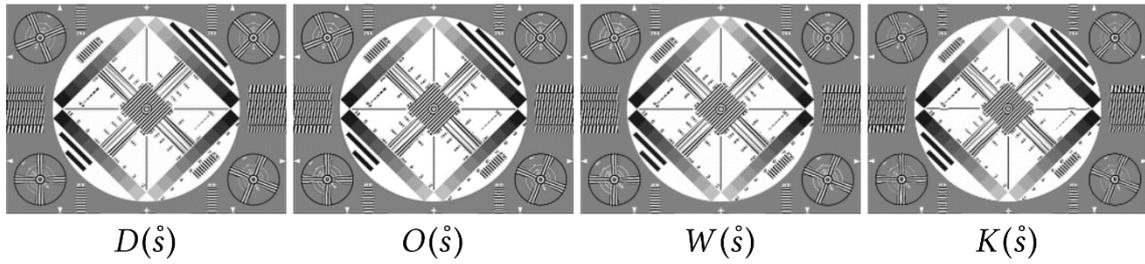


Figura 12B

Resumo**SISTEMA E MÉTODO DE REMAPEAMENTO ESPECTRAL DE IMAGENS**

A presente invenção contempla um sistema e método para realizar remapeamento espectral de imagens com a propriedade técnica de permitir que as imagens resultantes deste processamento sejam submetidas a reduções de seus números de pixels, isto é, reduções de seus números de linhas e/ou de colunas de pixels, preservando padrões repetitivos orientados característicos das imagens originais. A invenção é diretamente aplicável a qualquer dispositivo eletrônico ou aplicativo que exiba imagens ou vídeos com um menor número de pixels que os das respectivas imagens e vídeos originais. A presente invenção é aplicável a métodos de impressão e transferência de imagens para alguma base como, por exemplo, papel, filme, plástico, entre outros. A presente invenção se situa no campo de Processamento de Imagens.