

機関番号：16301

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760296

研究課題名 (和文) 周期信号処理に基づく周期ウェーブレット変換技術の研究開発

研究課題名 (英文) A research on cyclic wavelet transforms based on cyclic signal processing

研究代表者

宇戸 寿幸 (UTO TOSHIYUKI)

愛媛大学・大学院理工学研究科・講師

研究者番号：90380261

研究成果の概要 (和文)： 周期信号処理に基づいた画像符号化および電子透かしを研究開発した。主として、2つの手法(1) コサイン変調フィルタバンクによる画像符号化と(2) 三次元メッシュのブラインド型電子透かしを提案した。さらに、(1)に関連した手法として(3) クワッドツリー分割に基づく画像符号化アルゴリズムを提案した。これら3つの手法の有効性を計算機シミュレーションにより明らかにした。

研究成果の概要 (英文)： This study focuses on image coding and digital watermarking via cyclic signal processing. Main contributions of this work are three-fold: 1) an image compression technique based on a cosine-modulated filter bank, 2) a blind watermarking technique of three dimensional meshes, and 3) a quadtree-based algorithm for image coding. I presented the aforementioned approaches and demonstrated their validity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：ウェーブレット，周期信号処理，画像符号化，電子透かし

1. 研究開始当初の背景

ウェーブレットは、通信・ネットワーク工学分野において活発に研究開発されている解析手法である。このウェーブレット変換は、有限区間のみで値を有する関数の集合により解析するため、無限区間で値を有する複素正弦関数を用いたフーリエ変換とは大きく異なる時間周波数解析手法である。特に、画像処理において、これまでの離散コサイン変換 (DCT) より優れた変換処理としてウェーブレット変換が期待されてい

る。その代表的な応用例が、画像符号化や電子透かし等である。

これまで、ウェーブレット変換の設計理論は、非周期信号処理の周波数表現である z 変換を基盤として構築されている。そのため、周波数領域での設計条件が厳しいという点や演算に要する計算量が大きという点が課題であった。

その結果として、設計可能なウェーブレット変換システムが限定されることにより、優れた時間周波数分解能を有するウェーブレ

ット変換を設計することが困難であること、さらに、所望のウェーブレット変換を設計できたとしても実現するにはこれまで以上の演算能力が必要になることが問題であった。

本研究の核となる周期信号処理は、処理対象の信号・システムに周期性を課すものである。その代表的な信号処理システムが離散フーリエ変換 (DFT) であり、その有効性から既に活用されている。しかし、一般的なシステムの研究は数え上げられる程度しか発表されておらず、具体的なシステム的设计法は示されていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、時間領域において離散信号処理システムに周期性を課した周期信号処理技術を研究することを通じて (1) 優れた時間-周波数分解能を有する変換の設計手法、ならびに (2) 低い演算量での変換の実現手法を開発することである。より具体的な目的は、従来の非周期信号処理に基づくウェーブレット変換に対し、①上回る画像圧縮性能を有する周期ウェーブレット変換の設計法、および、②演算量を低減した周期ウェーブレット変換の実現法を示すことである。以上から、本研究では周期信号処理技術に焦点を当て、この周期信号処理に基づいたウェーブレット変換の設計法・実現法を研究対象とする。

フーリエ変換が高速フーリエ変換 (FFT) の発見により要素技術として浸透したように、ウェーブレット変換における周期性を想定した設計方法および高速アルゴリズムを開発することによって、ウェーブレット変換の汎用を促す役割を担うことが、本研究の大きな目的である。

3. 研究の方法

信号およびシステムに時間的な周期性を課すことにより、周波数軸が離散されることは既に知られている。本研究では、周波数領域における連続から離散への条件緩和に着眼し、これまでの周期信号処理では不可能であったシステムの設計を試みる。一方、時間的な周期性を課すことにより、周波数変換が z 変換から DFT に置き換わる。そこで、DFT の高速アルゴリズムである FFT を活用した低演算な実現を試みる。また、周期的な信号処理システムにより生成される拡散信号を透かし情報とする三次元メッシュモデル電子透かしの開発を試みる。

以下において、画像符号化および電子透かしに関する研究方法の詳細を記述する。

(1) コサイン変調フィルタバンク

コサイン変調フィルタバンクは、1つのプロトタイプフィルタのコサイン変調により構成される M 分割フィルタバンクである。ただし、 M は帯域分割数を表す自然数である。

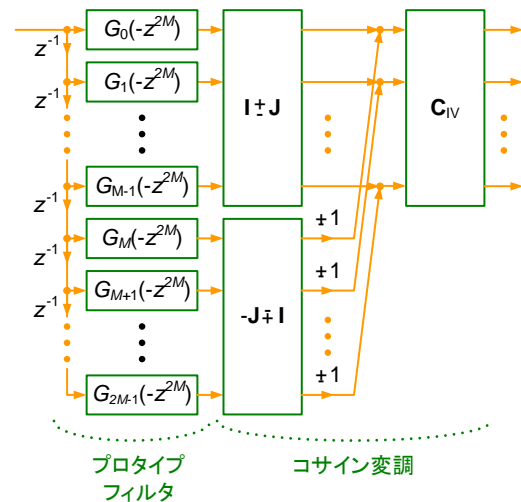


図1 M 分割コサイン変調フィルタバンクの分解バンク (z^{-1} は遅延器, $G_i(-z^{2M})$ はフィルタ, \mathbf{I} は単位行列, \mathbf{J} は反転行列, \mathbf{C}_{IV} はタイプ IV の DCT 行列)。

図1にコサイン変調フィルタバンクのブロック図を示す。このフィルタバンクの特長として、設計の容易さや実現計算量の低さなどが挙げられる。その有効性から、コサイン変調フィルタバンクは既に音声符号化方式として採用されている。

本研究では、低演算量で実現できる画像符号化方式を開発することを目指して、コサイン変調フィルタバンクによる画像符号化を開発する。具体的には、画像符号化に適したコサイン変調フィルタバンクの設計法を検討し、画像符号化における性能を評価する。

(2) 三次元メッシュ電子透かし

三次元メッシュは、頂点の位置情報と頂点間の接続情報により構成される三次元モデルである。図2は、代表的な三次元メッシュであるモデル Bunny を示し、橙色の線が頂点間を結ぶ接続情報である。一方、電子透かしは著作権保護などを目的として、マルチメディアコンテンツに透かし情報を挿入・抽出する技術である。特に、三次元モデルの生成には多大なコストが必要となるため、その著作権保護が重要となる。



図2 三次元メッシュモデル Bunny。

本研究では、三次元メッシュのための電子透かし技術として、頂点の位置情報に透かし情報を埋め込み、埋め込んだ情報を透かし情報を要せず取り出す方式を開発する。具体的には、雑音などに耐性を有する透かし情報の生成法を検討し、電子透かしの各種性能を評価する。

4. 研究成果

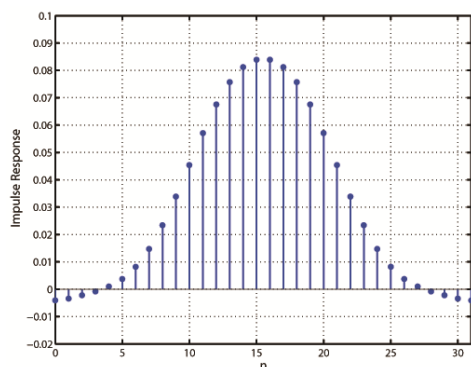
周期信号処理の研究開発を通して得た成果を個別に記述する。

(1) コサイン変調フィルタバンク

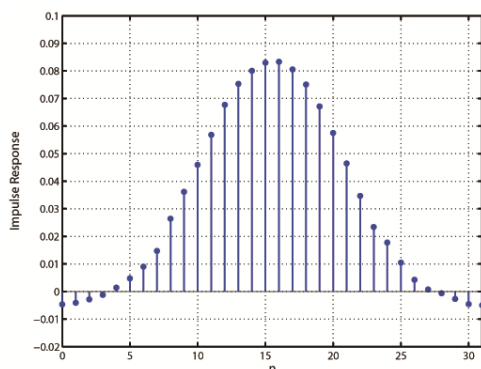
画像の変換符号化において、フィルタバンクが1次以上のレギュラリティ条件を満たすことが必須である。ここで、コサイン変調フィルタバンクの設計問題はプロトタイプフィルタ $G_i(z)$ の設計問題に帰着されるため、 $G_i(z)$ が満たすべき条件を導出した。

まず、直交性を有するコサイン変調フィルタバンクが1次のレギュラリティを満たす条件を導出した。具体的には、フィルタの組 $\{G_i(z), G_{M+i}(z)\}$ ($i=0, 1, 2, \dots, M-1$) に対して、1つのラティスパラメータ θ_j ($j=0, 1, 2, \dots, M/2-1$) を決定する方法を導き出した。

次に、双直交性を有する(完全再構成な)



(a) 直交コサイン変調フィルタバンク (PUCMFB)

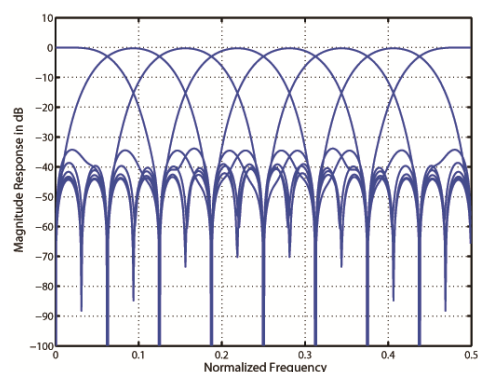


(b) 完全再構成コサイン変調フィルタバンク (PRCMFB)

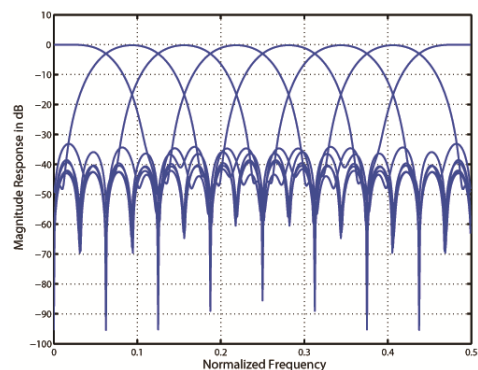
図3 プロトタイプフィルタのインパルス応答。

コサイン変調フィルタバンクが1次のレギュラリティを満たす条件を導出した。具体的には、フィルタの組 $\{G_i(z), G_{M+i}(z)\}$ ($i=0, 1, 2, \dots, M-1$) に対して、1つのラティスパラメータ θ_j と2つの乗算係数 $\alpha_j^{(1)}$, $\alpha_j^{(2)}$ を決定する方法を導き出した。

最後に、残りのパラメータを阻止域減衰量および符号化利得を評価関数とする非線形最適化による設計方法を提案した。図3は、提案法により設計した8分割フィルタバンク(フィルタ長32)におけるプロトタイプフィルタのインパルス応答を示す。また、図4はフィルタバンクの振幅応答を示す。



(a) PUCMFB



(b) PRCMFB

図4 8分割コサイン変調フィルタバンク(フィルタ長32)の振幅応答。

さらに、表1は設計したコサイン変調フィルタバンクを用いた画像圧縮性能を示す。設計したコサイン変調フィルタバンク PUCMFB および PRCMFB は高い PSNR 値を得ており、画像符号化における提案法の有効性が明らかとなった。

表1 再構成画像の画質結果 PSNR[dB]

Barbara 画像	ファイルサイズ Bit Rate [bpp]				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
PUCMFB	28.9	32.6	35.2	37.2	38.6
PRCMFB	29.0	32.6	35.2	37.2	38.6
9/7 Wavelet	27.1	30.6	33.1	55.2	37.1

また、表2は設計したコサイン変調フィルタバンクの実現に要する乗算回数を示す。FFTを構成要素として実現されるPUCMFBの乗算回数は9/7 Waveletよりも少なく、JPEG2000よりも低演算量で実現できることが明らかとなった。

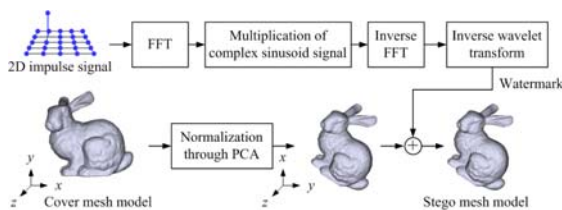
表2 入力1サンプルに対する乗算回数

手法	乗算回数
PUCMFB	7
PRCMFB	12
9/7 Wavelet	7.825

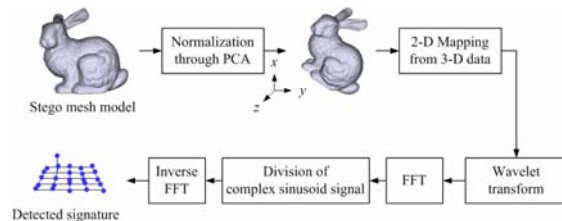
(2) 三次元メッシュ電子透かし

開発した三次元メッシュのための電子透かしは、①三次元モデルの座標正規化②周期信号処理による透かし情報生成③ウェーブレット変換による周波数帯域制限、という3つの処理により構成される。

まず、①三次元モデルの座標正規化は、回転や平行移動、スケール拡大縮小などによるモデル変形を伴わない座標変化への対応策である。この処理により、透かし情報の埋め込み座標と取り出し座標を一致させ、電子透かし抽出の正確性を向上した。次に、②周期信号処理による透かし情報生成は、位置情報を署名とするインパルス信号から拡散信号を生成する処理である。この処理により、電子透かしの秘匿性を向上した。最後に、③ウェーブレット変換による周波数帯域制限は、高い周波数帯域に透かし情報を埋め込む処理である。この処理により、電子透かし抽出の正確性を向上した。図5は、提案する電子透かしの埋め込み処理および取り出し処理である。



(a) 電子透かし挿入手法



(b) 電子透かし抽出手法

図5 周期信号処理に基づく三次元メッシュの電子透かし。



図6 電子透かしを埋め込んだ3次元モデル。

図6は、提案法により透かし情報を埋め込んだ3次元モデルを示す。顕著な変形は見られないように電子透かしを埋め込むことができることを明らかにした。

また、表3は付加した雑音信号の標準偏差を変化させたときの電子透かしの検出率を示す。標準偏差 σ が 1.0×10^{-3} 以下の加法性白色ガウス雑音であれば、100%の検出率で電子透かしの正確に抽出できることを明らかにした。

表3 電子透かしの検出率

標準偏差 σ ($\times 10^{-3}$)	0	0.5	1.0	2.0
検出率[%]	100	100	100	91

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ①大上健二, 宇戸寿幸, 任意周期の新しい多相直交周期系列の生成法, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J92-A, No. 11, pp. 917-920, 2009, 査読有
- ②Toshiyuki Uto, Masaaki Ikehara, and Kenji Ohue, A novel design of regular cosine-modulated filter banks for image coding, IEICE Trans. on Fundamentals, Vol. E92-A, No. 7, pp. 1633-1641, 2009, 査読有

[学会発表] (計20件)

- ①上田俊典, 宇戸寿幸, 大上健二, 複素署名インパルスの検出振幅値を最大とする画像電子透かし法, 電子情報通信学会情報理論研究会, 2011年3月4日, 大阪大学.
- ②大野仁嵩, 宇戸寿幸, 大上健二, 拡大スミア変換と隣接差分検出を用いた画像電子透かし法, 電子情報通信学会情報理論研究会, 2011年3月4日, 大阪大学.
- ③Hidekazu Kamitani, Toshiyuki Uto, Yuka Takemura and Kenji Ohue, A correlation-based watermarking technique of 3-D meshes via cyclic signal processing, In Proc. of APSIPA Annual

Summit and Conference, 2010年12月15日, Singapore.

④Hidetoshi Imamura, Toshiyuki Uto and Kenji Ohue, An efficient quadtree-based image coder with predictive set partitioning, In Proc. of APSIPA Annual Summit and Conference, 2010年12月15日, Singapore.

⑤今村栄俊, 宇戸寿幸, 大上健二, 分割予測を用いたクワッドツリー分割に基づく画像符号化, 平成22年度電気関係学会四国支部連合大会, 2010年9月25日, 愛媛大学.

⑥伊与田健, 宇戸寿幸, 大上健二, スミア変換を用いた動画像電子透かし法, 平成22年度電気関係学会四国支部連合大会, 2010年9月25日, 愛媛大学.

⑦大野仁嵩, 宇戸寿幸, 大上健二, 拡大スミア変換を用いた電子透かし法, 平成22年度電気関係学会四国支部連合大会, 2010年9月25日, 愛媛大学.

⑧上田俊典, 宇戸寿幸, 大上健二, 複素署名インパルスを用いた複素スミア画像電子透かし法, 平成22年度電気関係学会四国支部連合大会, 2010年9月25日, 愛媛大学.

⑨上岡晴信, 宇戸寿幸, 大上健二, ブロック分割と複素スミア変換を用いた画像改ざん検出法, 平成22年度電気関係学会四国支部連合大会, 2010年9月25日, 愛媛大学.

⑩神谷英和, 宇戸寿幸, 大上健二, コサイン・サイン変調を用いたデュアルツリー複素ウェーブレットの一設計法, 平成22年度電気関係学会四国支部連合大会, 2010年9月25日, 愛媛大学.

⑪清水一平, 宇戸寿幸, 大上健二, 直交周期複素数系列セットを用いたスミア電子透かし法, 電子情報通信学会回路とシステム研究会, 2010年1月29日, 京都大学.

⑫野田泰記, 宇戸寿幸, 大上健二, エルミート補間を用いたリフティングウェーブレットの設計, 電子情報通信学会回路とシステム研究会, 2010年1月29日, 京都大学.

⑬高木大輔, 宇戸寿幸, 大上健二, 頂点衝突判定を用いた3次元幾何モデルの情報量削減, 平成21年度電気関係学会四国支部連合大会, 2009年9月26日, 愛媛大学.

⑭清水一平, 宇戸寿幸, 大上健二, 直交周期複素数系列セットを用いた画像電子透かし法, 平成21年度電気関係学会四国支部連合大会, 2009年9月26日, 愛媛大学.

⑮横山涼, 宇戸寿幸, 大上健二, JPEG耐性を持つ多重複素スミア電子透かし法, 平成21年度電気関係学会四国支部連合大会, 2009年9月26日, 愛媛大学.

⑯野田泰記, 宇戸寿幸, 大上健二, エルミート補間関数を用いたリフティングウェーブレットの設計, 平成21年度電気関係学会四国支部連合大会, 2009年9月26日, 愛媛大学.

⑰伊与田健, 宇戸寿幸, 大上健二, 相関同期加算を用いた動画像電子透かし法, 平成21年度電気関係学会四国支部連合大会, 2009年9月26日, 愛媛大学.

⑱大野仁嵩, 宇戸寿幸, 大上健二, 拡大スミア変換を用いた電子透かし法, 平成21年度電気関係学会四国支部連合大会, 2009年9月26日, 愛媛大学.

⑲上田俊典, 宇戸寿幸, 大上健二, 拡大スミア変換を用いた多重通信方式, 平成21年度電気関係学会四国支部連合大会, 2009年9月26日, 愛媛大学.

⑳高木大輔, 宇戸寿幸, 池原雅章, 大上健二, コサイン変調フィルタバンクに基づく画像符号化, 電子情報通信学会回路とシステム研究会, 2009年7月2日, 釧路市生涯学習センター.

[その他]

<http://aiweb.cs.ehime-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宇戸 寿幸 (UTO TOSHIYUKI)

愛媛大学・大学院理工学研究科・講師

研究者番号: 90380261

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし