慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	2次元方向適応形フィルタバンクの実現と画像符号化への応用
Sub Title	Design of 2D directional adaptive filter banks and its application to image coding
Author	池原, 雅章(Ikehara, Masaaki)
Publisher	
Publication year	2012
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2011.)
JaLC DOI	
Abstract	本研究課題は、画像・動画像変換符号化のための、方向性を考慮した冗長性の無い、新しい2次元方向適応形フィルタバンクを実現と設計法を提案した。本手法により、従来のブロック変換符号化で表現されていた垂直、水平エッジのみならず、任意の曲線や車線をひずみを生じることなく効果的に表現することができる。
Notes	研究種目：基盤研究(C) 研究期間：2009～2011 課題番号：21560412 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
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_21560412seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様式Ｃ－１９

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成２４年３月３１日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究（Ｃ）
研究期間：2009～2011
課題番号：２１５６０４１２
研究課題名（和文）　２次元方向適応形フィルタバンクの実現と画像符号化への応用

研究課題名（英文）　Design of 2D directional adaptive filter banks and its application to image coding

研究代表者
池原 雅章（IKEHARA　MASAAKI）
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号：00212796

研究成果の概要（和文）：
本研究課題は、画像・動画像変換符号化のための、方向性を考慮した冗長性の無い、新しい２次元方向適応形フィルタバンクの実現と設計法を提案した。本手法により従来のブロック変換符号化で表現されていた垂直、水平エッジのみならず、任意の曲線や斜線をひずみを生じることなく効果的に表現することができる。

研究成果の概要（英文）：
In this research, we propose a two dimensional (2D) non-separable adaptive directional lifting (ADL) structure for discrete wavelet transform (DWT) and its image coding application. Although a 2D non-separable lifting structure of 9/7 DWT has been proposed by interchanging some lifting, we generalize a polyphase representation of 2D non-separable lifting structure of DWT. Furthermore, by introducing the adaptive directional filteringing to the generalized structure, the 2D non-separable ADL structure is realized and applied into image coding. Our proposed method is simpler than the 1D ADL, and can select the different transforming direction with 1D ADL. Through the simulations, the proposed method is shown to be efficient for the lossy and lossless image coding performance.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2009 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総　計	3,000,000	900,000	3,900,000

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：信号処理、画像符号化

１．研究開始当初の背景

これまで静止画像、動画像の符号化技術は離散コサイン変換（DCT）に基づくブロック変換によって実現され、その標準化技術としてJPEG,MPEG が広く普及している。DCT はブロック単位で独立に処理を行うため、ブロ

ッキングと呼ばれるアーチファクトが生じ、高圧縮する場合には、画像がタイルで張られたような視覚的に大きな劣化が生じることが知られている。これを解決するためにブロック間に重なりを持たせるウエーブレット変換が注目され、JPEG2000 ではウエーブレット変換が DCT に代わり採用されている。これによりブロッキング歪は大幅に低減され、符号化性能も大幅に向上する。しかしこれらの変換は、１次元 DCT あるいはウエーブレット変換を縦横に作用させたものであり、逆変換、すなわち画像の再構成を幾何学的に考えると、DCT の場合は 8*8 の一定のサイズの模様の異なる正方形タイル（これを基底という）を重ねて画像を表現することに相当し、ウエーブレットの場合は、下図左に示すようにサイズの異なる正方形タイルで表現することに相当する。従って、下図のような曲線や斜線を含むエッジを表現する場合、これらの正方形の基底を組み合わせて表現しなければならず、高圧縮を行った場合は、ギザギザの歪が生じることになる。

このような問題に対処するために、近年画像の方向性を考慮した変換法が注目されている。下図右に示すように、エッジの方向に沿ったサイズの異なる基底を用意し、この組み合わせで表現すれば、任意の曲線や斜線も表現できることが分かる。すなわち様々な方向成分を持つ基底で画像を表現することにより、より詳細な表現が可能になる。また圧縮性能を劣化させる要因は高周波成分であり、エッジ等の高周波数成分を如何に効率的に表現するかが圧縮性能を左右する。水平垂直の走査では斜め方向のエッジに対して高周波数成分が生じ、これを表現するのに多くの符号を必要とする。一方エッジやストライプ等の方向に沿って走査すれば高周波数成分は生じず、低周波数成分だけとなるから、この点でも符号化性能は向上することが理解できる。

このような方向性を考慮した変換符号化は、2005 年に Curved Wavelet(曲線ウエーブレット)が提案されて以来ここ数年で様々な方式が提案され、その有効性が示されている。その方式は主に以下の２つのタイプに分けられる。

(1) 画像をブロック単位に分割し、その方向成分を検出し、その方向に沿って１次元ウエーブレット変換を適用する[1][3]。

(2) 画像に直接 2 次元方向検出フィルタバンクを作用させ、様々な方向成分に変換する。

(1)の方法は、変換の前に方向成分を検出するという前処理が必要なのに加え、0,45,90 度の方向については、何も考慮せず１次元ウエーブレット変換を適用できるが、これら以外の方向については補間処理が必要となり、これが符号化性能に大きな影響を及ぼすという問題がある。(2)の方法はラプラシアンピラミッドを適用し、高周波成分にディレクショナルフィルタバンクを作用させている。

２．研究の目的

本研究課題はこのような背景の下に、画像・動画像変換符号化のための、方向性を考慮した冗長性の無い、新しい２次元方向適応形フィルタバンクを実現することを目的とする。具体的には以下の３つの方式を考える。

(1) <u>可分形２次元フィルタバンクと方向を考慮した１次元ウエーブレット変換による方法</u>

ここでは画像をあらかじめ可分形の２次元フィルタバンクで方向成分に分割し、その方向に応じた１次元ウエーブレット変換を適用する。これによって、方向検出を必要とせず簡単な処理だけで２次元方向適応型フィルタバンクが構成できる。

(2) <u>８分割２次元方向適応形フィルタバンク</u>

Contourlet で示された理想的な分割形状を、非冗長なフィルタバンクで実現する。このために、所望の分割形状より細かな帯域に分割し、その後幾つかの帯域を合成するというボトムアップ型の構成法を検討する。これにより冗長になることなく、方向成分を正確に検出できる。

(3) <u>２次元リフティングウエーブレット変換とダウンサンプリング行列の変換による方向適応形フィルタバンク</u>

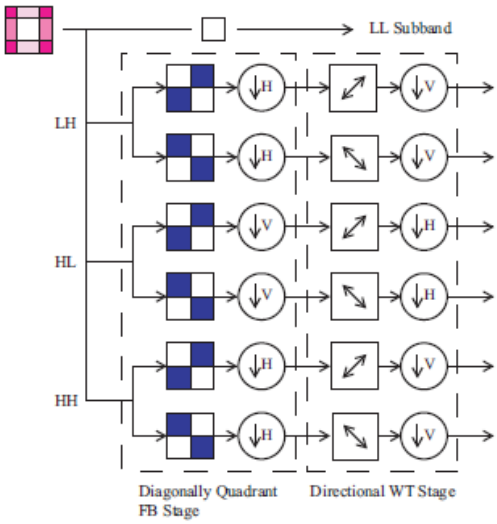
１次元ウエーブレット変換を縦横に施す４分割フィルタバンクを直接２次元リフティング構造で実現する。これを 0,22.5,45,67.5,90 度方向に作用させるには、単にフィルタバンクのサンプリング行列を方向に応じて変化させれば良く、事前に画像の方向検出を必要とするものの高速な処理が可能となる。

３．研究の方法

方向性を考慮した２次元方向適応形フィルタバンクの設計及び実現法として、以下の３つの方法を検討し、そのメリットデメリットを明確にしつつ、次世代変換符号化の候補として国際的に提案していく予定である。

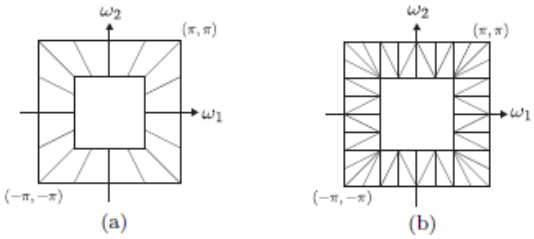
(1) 可分形２次元フィルタバンクと方向を考慮した１次元ウエーブレット変換による方法

下図のように通常の可分形ウエーブレット変換により、２次元周波数平面を４つの帯域に分割し、低域以外の帯域を対角象限フィルタで処理する。これらの帯域は既に６方向の成分に分割されているため、その方向に沿って１次元ウエーブレット変換(Directional WT)（図の両側矢印）を作用させる。この際縦方向あるいは横方向に既にダウンサンプリングしているため、方向は４５度方向のみを考慮すればよく、補間等の付加的な処理を必要としないという利点がある。



(2) ８分割２次元方向適応形フィルタバンクの直接実現

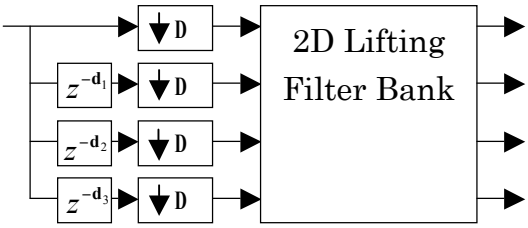
(1)の方法は１次元フィルタの組み合わせにより簡単に実現できるが、可分形の分割を用いているため、厳密な意味で方向成分を抽出しているとは言いがたい。直線エッジのスペクトルは、それと直交する方向の２次元線スペクトルを持つから、その方向成分を検出するには下図左のように放射状の高域側の通過域を持つ２次元フィルタが望ましい。低域のサブバンドはこの処理を繰り返すか、一般的な可分形のウエーブレット変換を適用する。これを実現するために、Contourlet と呼

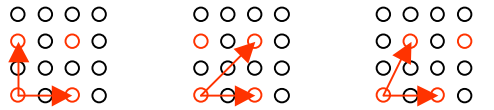


ばれる方法が提案されているが、ラプラシアンピラミッドを用いているためその変換は冗長である。本研究課題ではこの問題を解決するために、下図右のようにより細かく分割し、所望の帯域を形成するように、いくつかの帯域を合成する。これは可分形のウエーブレット変換により２次元周波数平面を４分割し、LL 以外の帯域を１次元フィルタを変換して簡単に得られる平行四辺形の通過帯域を持つ２次元フィルタを縦続に接続することにより、容易に実現できる。この方法により冗長になることなく、より厳密に方向成分を検出できる２次元方向適応形フィルタバンクが実現できると考えられる。

１） ２次元リフティングウエーブレット変換とダウンサンプリング行列の変換による方向適応形フィルタバンク

JPEG2000 で用いられている 9/7 ウエーブレット変換は、非可逆符号化において優れた変換であることが知られている。方向検出用のフィルタとしてこのウエーブレット変換を利用することが望ましいが、通常はある方向にそって１次元ウエーブレット変換し、一方向でダウンサンプリングした後、更に方向検出し、その方向に沿ってウエーブレット変換処理を行うという非常に煩雑な操作を要する。そこで 9/7 ウエーブレット変換を縦横に処理する可分形構造を２次元リフティング構造に変換すると、画像信号を一度に処理することができる。これは垂直水平方向の処理に相当するが、これを画像の方向に沿って処理するには、図４に示すように、処理方向によってサンプリング行列 **D** を変化させれば十分であると考えられる。この際、フィルタバンクの前段の遅延器はサンプリング行列の余因子によって置き換える。サンプリング行列を変えることによって、各パスの走査方向を変化させ、その後は可分形のリフティング構造によって方向処理用のフィルタバンクが容易に実現できると考えられる。





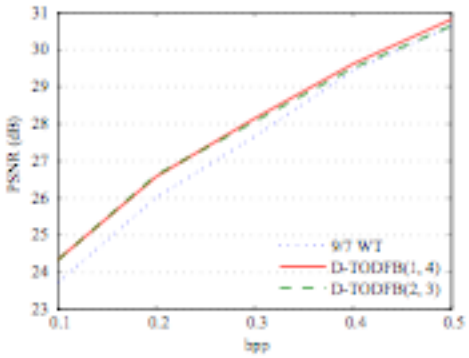
$$\mathbf{D}=\begin{bmatrix}2&0\\0&2\end{bmatrix}\quad \mathbf{D}=\begin{bmatrix}2&2\\0&2\end{bmatrix}\quad \mathbf{D}=\begin{bmatrix}2&1\\0&2\end{bmatrix}$$

このように方向検出用のフィルタバンクとして３つの方法を考える。方法によって一長一短あることが予想され、実際にフィルタバンクを設計し画像の符号化を行い、計算量やメモリー使用量等のハードウエア的比較と、符号化性能を厳密に比較し、次世代符号化技術の標準となる方式を決定する。また符号化技術は当面従来広く用いられており、デフォルトスタンダードになっている SPIHT 符号化を使う予定であるが、これも縦横ウエーブレット変換のために考えられた方式であり、方向性を考慮したより優れた符号化方式が存在する可能性がある。平成２３年度は提案方式特有の符号化技術も検討する予定である。

４．研究成果

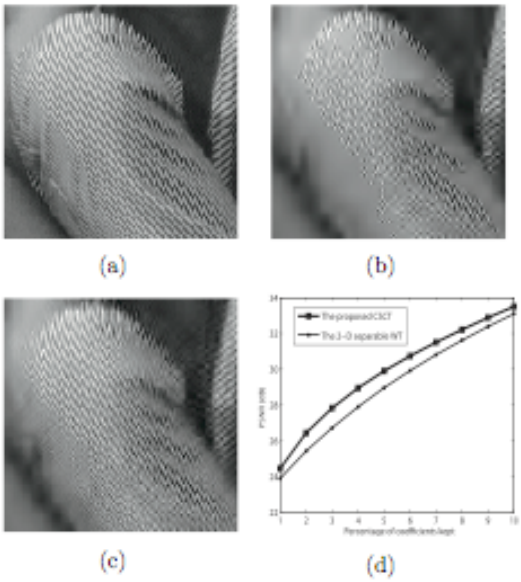
(1) 可分形２次元フィルタバンクと方向を考慮した１次元ウエーブレット変換による方法

この方法を画像 Barbara に適用した時の符号か性能を下図に示す。この図から従来法(9/7WT)に比べ大幅に性能が向上していることが分かる。



(2) ８分割２次元方向適応形フィルタバンクの直接実現

変換係数の絶対値の大きい順に 3% の係数を残し、その他をゼロにするという非線形近似 に基づいて復元した画像とその性能を示している。この図 からわかる様に膝のストライプを表現できていることが分 かる。



(3) ２次元リフティングウエーブレット変換とダウンサンプリング行列の変換による方向適応形フィルタバンク

提案する DWT を基にした非可分型２次元リフティング構造を用いた適応的方向変換の性能評価を行う為、ロスレス・ロッシー画像符号化に適用した。表はロッシー画像符号化結果を示している。従来の DWT に比べ優れた符号化性能が実現できており、また、1D ADL と比較するとロッシー画像符号化性能はほぼ同等であったが、提案構造は 1D ADL

	Rate	DWT	ADL	Prop.
Zone plate	0.25	12.01	13.32	13.23
	0.5	15.19	17.91	17.26
	1	19.98	24.56	22.68
Barbara	0.25	27.24	27.43	27.47
	0.5	30.46	30.82	30.78
	1	34.85	35.14	35.16
Lena	0.25	32.52	32.54	32.54
	0.5	35.52	35.60	35.52
	1	38.39	38.44	38.38

よりシンプルな構造であり、計算・実装コストにおいて有意性があることを示した。

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 14 件）（以下全て査読有り）

1. Two dimensional Non-separable Adaptive Directional Lifting structure of discrete wavelet transform, T. Yoshida, T. Suzuki, S. Kyochi, M. Ikehara, IEICE Trans. Fundamentals, E94-A No.10 1920-1927, 2011
2. linear optimization of dual-tree complex wavelet transform, S. Kyochi, T. Shimizu, M. Ikehara, IEICE Trans. Fundamentals, E94-A No.6 1386-1393, 2011
3. A simplified lattice structure of two dimensional generalized lapped orthogonal transform, T.Yoshida, S.Kyochi, M. Ikehara, IEICE Trans. Fundamentals, E94-A 2 671-679, 2011 年
4. Integer DCT based on direct-lifting of DCT-IDCT for lossless-to-lossy image coding, Taizo Suzuki and Masaaki Ikehara, *IEEE Trans. Image Process.,* vol. 19, no. 11, pp. 2958-2965, 2010.
5. *M*-channel paraunitary filter banks based on direct lifting structure of building block and its inverse transform for lossless-to-lossy image coding, Taizo Suzuki and Masaaki Ikehara, *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E93-A, no. 8, pp. 1457-1464, 2010.
6. Realization of IntDCT with arbitrary block size using relation between DCT-IV and parallel block system of DCT-II, Taizo Suzuki, Hideaki Hayano, and Masaaki Ikehara, *Journal of Signal Processing*, vol. 14, no. 4, pp. 289-292, July 2010,
7. Integer discrete cosine transform via lossless Walsh-Hadamard transform with structural regularity for low-bit-word-length, Taizo Suzuki and Masaaki Ikehara, *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E93-A, no. 4, pp. 734-741, 2010.
8. A class of near shift-invariant and orientation-selective transform based on delay-less oversampled even-stacked cosine-modulated filter banks, Seisuke Kyochi and Masaaki Ikehara, *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E93-A, no. 4, pp. 724-733, 2010.
9. Adaptive directional wavelet transform based on directional prefiltering, Yuichi Tanaka, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, Masaaki Ikehara, and Truong Q. Nguyen, *IEEE Trans. Image Process.,* vol. 19, no. 4, pp. 934-945 , 2010,
10. ブロックリフティング分解を用いた*M*分割整数離散コサイン変換, 鈴木大三, 池原雅章, 信学論(A), vol. J92-A, no. 11, pp. 888-900, 2009.
11. 並列リフティング構造を用いた*M*分割完全再構成フィルタバンク, 鈴木大三, 池原雅章, 信学論(A), vol. J92-A, no. 10, pp. 659-668, 2009.
12. A novel design of regular cosine-modulated filter banks for image coding, Toshiyuki Uto, Masaaki Ikehara, and Kenji Ohue, *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E92-A, no. 7, pp. 1633-1641, 2009.
13. A bottom-up design approach of critically sampled contourlet transform for efficient image representation, Seisuke Kyochi, Shizuka Higaki, Yuichi Tanaka, and Masaaki Ikehara, *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E92-A, no. 3, pp. 762-771, 2009.
14. Multiresolution image representation using combined 2-D and 1-D directional filter banks, Yuichi Tanaka, Masaaki Ikehara, and Truong Q. Nguyen, *IEEE Trans. Image Process.,* vol. 18, no. 2, pp. 269-280, 2009.

〔学会発表〕（計16件）（以下全て査読有り）

1. Seisuke Kyochi, Yuichi Tanaka, and Masaaki Ikehara, "On factorizations of conjugate symmetric Hadamard transform and its relationship with DCT," *ICASSP 2012*, Kyoto, Japan, Mar 28. 2012.
2. Taizo Suzuki, Yuichi Tanaka, Masaaki Ikehara, and Hirotomo Aso, "Multiplierless fast algorithm for DCT via fast Hartley transform," *ICASSP 2012*, Kyoto, Japan, Mar. 28 2012.
3. Keiichiro Shirai, Masaaki Ikehara, and Masayuki Okamoto, "Noiseless no-flash photo creation by color transform of flash image," *ICIP 2011*, Brussels, Belgium, Sep. 13 2011.
4. Kazu Mishiba and Masaaki Ikehara, "Seam carving in wavelet transform domain," *ICIP 2011*, Brussels, Belgium, Sep. 13 2011.
5. Taizo Suzuki, Masaaki Ikehara, and Truong Q. Nguyen, "Block-lifting factorization of *M*-channel biorthogonal filter banks with an arbitrary McMillan? degree," *ICIP 2011*, Brussels, Belgium, Sep. 14 2011.
6. Taichi Yoshida, Taizo Suzuki, Seisuke Kyochi, and Masaaki Ikehara, "Two dimensional

non-separable adaptive directional lifting structure of discrete wavelet transform," *ICASSP 2011,* Prague, Czech Republic, May 25 2011.

7. Taizo Suzuki and Masaaki Ikehara, "Integer fast lapped orthogonal transform based on direct-lifting of DCTs for lossless-to-lossy Image coding," *ICASSP 2011,* Prague, Czech Republic, May 26 2011
8. Taizo Suzuki and Masaaki Ikehara, "A simplified realization of normalized integer WHT for multiplierless integer DCT," *DSP Workshop 2011,* Sedona, AZ, Jan. 6 2011.
9. Seisuke Kyochi, Junya Aoyama, and Masaaki Ikehara, "A direction-adaptive image coding using two-dimensional direct lifting wavelet transform," *ICIP 2010,* Hong Kong, Sep. 27 2010.
10. Taichi Yoshida, Seisuke Kyochi, and Masaaki Ikehara, "A simplified lattice structure of two-dimensional generalized lapped orthogonal transform (2-D GenLOT) for image coding," *ICIP 2010,* Hong Kong, Sep. 28 2010.
11. Taizo Suzuki and Masaaki Ikehara, "Realization of lossless-to-lossy image coding compatible with JPEG standard by direct-lifting of DCT-IDCT," *ICIP 2010,* Hong Kong, Sep. 28 2010.
12. Yuichi Tanaka, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, Taizo Suzuki, and Masaaki Ikehara, "Direction scalability of adaptive directional wavelet transform: An approach using block-lifting based DCT and SPIHT," *ISCAS 2010,* Paris, France, June 1 2010,
13. Taizo Suzuki and Masaaki Ikehara, "Structurally regular integer discrete cosine transform for low-bit-word-length coefficients," *ISCAS 2010,* Paris, France, May 1 2010
14. Seisuke Kyochi and Masaaki Ikehara, "A directional and shift-invariant transform based on cosine-sine modulated filter banks and its application," *NCSP 2010*, Honolulu, Hawaii, Mar. 4 2010.
15. Taizo Suzuki, Hideaki Hayano, and Masaaki Ikehara, "*M*-channel IntDCT using relation between DCT-IV and block parallel system of DCT-II," *NCSP 2010*, Honolulu, Hawaii, Mar. 5 2010.
16. Shunsuke Iwamura, Seisuke Kyochi, Naoto Kaneko, and Masaaki Ikehara, "Image interpolation using cosine-sine modulated filter bank," *LASCAS 2010,* Iguacu Falls, Brazil, Feb. 20 2010.

〔その他〕
ホームページ等
http://www.tkhm.elec.keio.ac.jp/

６．研究組織
(1)研究代表者
池原 雅章（IKEHARA MASAAKI）
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号：00212796

(2)研究分担者
該当なし

(3)連携研究者
該当なし