

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560443

研究課題名(和文) 高機能画像表現のための傾斜平面分離性能を有する二次元直交変換の設計と実時間実現

研究課題名(英文) Design and Real-Time Implementation of 2-D Orthogonal Transforms with Trend Vanishing Moments for High-Functioning Image Representation

研究代表者

村松 正吾 (Muramatsu, Shogo)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：30295472

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、傾斜平面分離性能を有する二次元直交変換を提案し、理論解析、設計、実現および応用評価検討を行った。まず、二次元信号変換の新たな性質として傾斜バニッシングモーメントを定義し、その傾斜平面分離機能を明確にした。また、同機能を有する二次元信号変換の具体的な設計・実現法として指向性重複直交変換を提案し、指向性設計と実時間実現を行った。さらに、画像復元応用における提案法の有効性を確認し、冗長変換へと展開した。

研究成果の概要(英文)：In this project, 2-D orthogonal transforms with trend vanishing moments were proposed, and then the theoretical analysis, design, implementation and applications were studied. First of all, a property of 2-D signal transforms, trend vanishing moment (TVM), was defined and the relation to the annihilation property for trend surfaces was clarified. Then, the concrete design and implementation methods were proposed for 2-D signal transforms with TVMs and the directional design and real-time implementation were realized. In addition, the significance of the proposed methods was verified through the application to image restoration. The extension to the oversampled case was also investigated.

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：画像処理 直交変換 ウェーブレット変換 冗長変換 画像復元 実時間実現 スパース表現 組込みビジョン

## 1. 研究開始当初の背景

画像情報は水平方向、垂直方向の二次元、或いは、奥行方向や時間方向を含めた三次元以上の多次元信号とみなせる。しかしながら、従来の画像処理の多くは、水平、垂直等それぞれの方向に対し、独立に一次元の信号処理を適用していた。例えば、静止画像符号化方式 JPEG、JPEG2000 や動画画像符号化方式 MPEG-2、H.264/AVC は、各次元を分離して処理を行う。この様な可分離システムは、視覚的に重要な斜めエッジ成分や斜めテクスチャ成分に対して変換係数を分散させ、高画質化、高機能化を妨げる。

この限界を超えるべく、非分離システムの研究開発が急速な発展を遂げていた。特に、ウェーブレット解析を発展させたスパース表現が注目され、その実現手段として非分離フィルタバンクの研究が盛んに行われていた。我々も非分離フィルタバンクの一種として非分離一般化重複直交変換を提案していた。本変換は、重複性、直交性、対称性、局所性を同時に満たすほか、ブロック実現による可変性、離散コサイン変換(DCT) との互換性を備える。これらの性質は他の変換にはない優れた特徴である。

非分離一般化重複直交変換は、全体の直交性を保証したまま、局所的な重複性、指向性の制御が可能である。ただし、実用化のための設計法や制御法に課題が残されていた。また、変換の実時間実現や応用についても検討が不十分であった。

## 2. 研究の目的

本研究では1. で述べた課題を明らかにする必要があった。そこで、傾斜平面分離性能を有する二次元直交変換に関して、以下の目的を設定した。

- ・ 効果的な基底の設計法とブロック毎の制御法の実現
- ・ 符号化、形式変換、画質改善、認識応用の性能評価
- ・ 変換および応用システムの実時間実現法と回路実装法

(1) 効果的な基底の設計法とブロック毎の制御法の実現に関しては、適切な最適化手法の選定、局所的な基底制御と画像境界操作が課題となっていた。そこで本研究では、これら課題の解決を具体的な目的とした。

(2) 符号化、形式変換、画質改善、認識応用の性能評価に関しては、傾斜平面分離性能の有効性を明確にする必要性があった。そこで本

研究では、傾斜平面分離性能を有する非分離一般化重複直交変換（指向性重複直交変換）を実現し、画像処理応用における有効性の確認を具体的な目的とした。

(3) 変換および応用システムの実時間実現法と回路実装法に関しては、演算の複雑さの解決が課題となっていた。応用を広げるためには、特に組込み実装の可能性を示す必要があった。そこで本研究では、実映像を対象とした指向性重複直交変換およびその応用システムのFPGA実装を具体的な目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では、まず、提案する指向性重複直交変換の理論的解析を行った。次に、数値計算ツールを利用し、基底の設計を行い、設計した変換を利用して画像処理システムのモデルを作成し性能評価を行った。また、提案法の組込みプロセッサ上への実時間実装を実施し、速度評価を行った。さらに、FPGAを対象とした回路モデルを作成し、シミュレーションによる動作確認と合成レポートによる回路性能の見積もりを行った。

(1) 理論的な解析については、二次元信号変換の新たな性質として傾斜バニッシングモーメントを定義し、その傾斜平面分離機能を明らかにした。二次元直交変換における傾斜バニッシングモーメントの条件をポリフェーズ（多項式）行列で表現することで、変換構造に対する条件を導出した。

(2) 基底の設計と画像処理システムのモデル作成については、MathWorks社の数値シミュレーターMATLABを利用した。傾斜バニッシングモーメント条件を制約として課した非分離一般化重複直交変換をMALTAB上でモデル化し、その最適化設計を行った。また、設計した変換を利用して画像処理システムを構築、符号化、平坦領域検出、画像ノイズ除去、ボケ除去、画像修復、超解像のシミュレーションを行い、既存の画像変換との比較検討を行った。

(3) 組込みプロセッサおよびFPGA上への実装については、主にMathWorks社のモデリングツールSimulinkおよびXilinx社の統合開発環境ISEを利用した。Simulinkの自動コード生成機能を利用し、ARM社のCortex-A8およびCortex-A9上に指向性重複直交変換を実装し、実映像に対する処理を通して速度評価を行った。また、FPGA実装にはSimulinkの自動コード生成機能とXilinx社の統合開発環境ISEを採用し、シミュレーションによる動作検証、Spartan-6およびVertex-4をターゲットデバイスとした合成レポートによる性能評価、ノイズ除去実装を行った。

#### 4. 研究成果

傾斜平面分離性能の理論解析、指向性重複直交変換の設計、実現、画像処理応用、組込み実装を行い、国内外にて成果発表を行った。また、第三者が結果を再現できるよう、シミュレーションや実験、実装のために開発したソースコードを一般に公開した。

##### (1) 理論

二次元信号変換の新たな性質として傾斜バニッシングモーメントを定義し、傾斜平面分離機能との関係を明確にした。

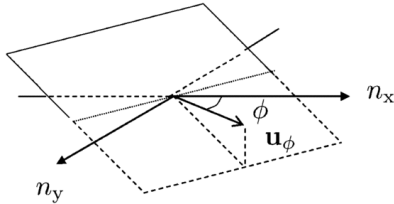


図 1  $(n_y \sin\phi + n_x \cos\phi)$ に比例する傾斜平面 © 2012 IEEE. Reprinted, with permission, from S. Muramatsu, D. Han, T. Kobayashi and H. Kikuchi “Directional Lapped Orthogonal Transform: Theory and Design,” IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 21, No. 5, May 2012.

二次の傾斜バニッシングモーメントを有する二次元直交変換は、図 1 に示すような画像内に含まれる傾斜平面成分を低域係数以外の係数に漏れ出すことを阻止する。本研究では、任意の方向 $\phi$ を設定でき、二次元変換に指向性が与えられることを明らかにした。傾斜バニッシングモーメント条件をポリフェーズ行列により等価表現し、実現の可能性を示した。本理論については、国内外での学会発表に加え、学術論文 “Directional Lapped Orthogonal Transform: Theory and Design” の一部としてまとめ、学術誌 IEEE Trans. on Image Process. に掲載した。

##### (2) 設計

既に提案していた非分離一般化重複直交変換に、傾斜バニッシングモーメント制約を適用し、同制約を満たす二次元信号変換の具体的な設計法を指向性重複直交変換として提案した。非分離一般化重複直交変換のパラメータ行列に課す制約を明らかにし、遺伝的アルゴリズムによる大域的な初期パラメータ設定と非線形最適化による局所最小解を求める手法により、傾斜バニッシングモーメントを有する二次元信号変換の具現化を行った。重複性、直交性、対称性の他、指向性を有する二次元信号変換の設計を可能とした。

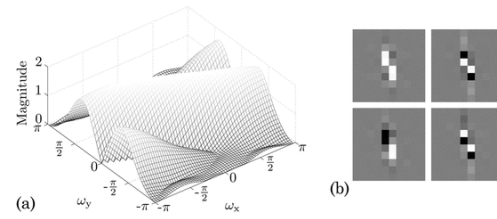


図 2 指向性重複直交変換の設計例 (a) 周波数振幅特性 (b)変換基底 © 2012 IEEE. Reprinted, with permission, from S. Muramatsu, D. Han, T. Kobayashi and H. Kikuchi “Directional Lapped Orthogonal Transform: Theory and Design,” IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 21, No. 5, May 2012.

図 2 に設計したスケーリングフィルタの周波数振幅特性と変換基底の例を示す。本設計法については、国内外での学会発表に加え、学術論文 “Directional Lapped Orthogonal Transform: Theory and Design” の一部としてまとめ、学術誌 IEEE Trans. on Image Process. に掲載した。

##### (3) 応用

最適化設計により得られた指向性重複直交変換の有効性を確認するため、同変換を画像符号化、特徴抽出のほか、ノイズ除去、ボケ除去、超解像、画像修復など画像復元処理に適用した。古典的手法や非間引き Contourlet、冗長ハール変換との比較をとおして提案法の有効性を確認した。特に、異なる指向性を有する複数の指向性重複直交変換と古典的二次バニッシングモーメントを有する非分離一般化重複直交変換をツリー構成とし、これらの混成構成によって構築した冗長変換が、低い冗長度で高い性能を示すことを確認した。

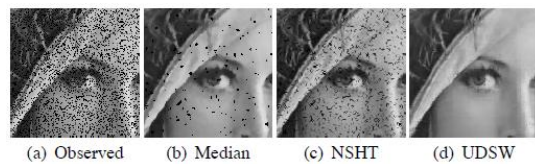


図 3 画像 lena に対する画僧修復の例 (a) 観測画像 (b) メディアンフィルタの結果 (c) 冗長ハール変換と ISTA による修復結果 (d) 混成指向性重複直交変換と ISTA による修復結果

図 3(a) に、画素欠損の劣化を受けた観測画像の例を示す。また、図 3(b) (c) (d) に図 3(a) のメディアンフィルタによる修復画像、冗長ハール変換と ISTA による修復画像、提案する混成指向性重複直交変換と ISTA による修復画像を示す。提案変換が高い修復性能を示すことが確認できる。指向性重複直交変換を利用した画像処理応用については、信号処理シ

ンポジウムや音声・音響信号処理に関する国際会議(ICASSP)など国内外での学会発表を行った。また、学術論文“Directional Lapped Orthogonal Transform: Theory and Design”の一部、および学術論文“Image Restoration with Multiple DirLOTs”としてまとめ、学術誌 IEEE Trans. on Image Process. および IEICE Trans. on Fundamentals に掲載した。

#### (4) 実現

実現については、まず、画像の境界処理を解決するために基底終端処理を実現した。この基底終端処理により、変換全体の直交性を維持しながら、係数増加問題を回避した。広く使われる対称拡張法が利用できない状況で、近似表現の際など周期拡張法で問題となる境界部での歪の問題を解決した。また、組込み機器で広く利用されている ARM 社の Cortex-A8 および Cortex-A9 上に提案変換を実装し、VGA クラスの動画を 5fps 程度のフレームレートで動作させることに成功した。さらに、FPGA 実装のための回路モデルを構築し、Xilinx 社の Spartan-6 および Vertex-4 をターゲットデバイスとした合成レポートによる性能評価、ノイズ除去実装を行い、実現可能な規模で、フル HD 映像処理に十分な速度が得られることを確認した。

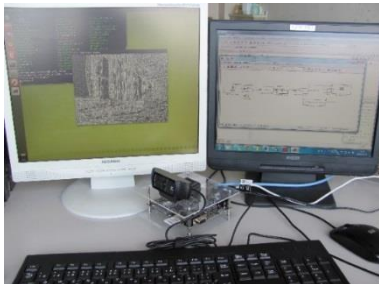


図 4 ARM 社 Cortex-A9 上での映像ストリーム処理の様子 (左) と Simulink モデル (右)

図 4 に、ARM 社 Cortex-A9 上での指向性重複直交変換による映像ストリーム処理の実行の様子とその Simulink モデルを示す。基底終端処理については、学術論文“Boundary Operation of 2-D Non-separable Linear-phase Paraunitary Filter Banks”としてまとめ、学術誌 IEEE Trans. on Image Process. に掲載した。また、実時間実装に関しては、信号処理シンポジウムやアジア太平洋信号処理協会年次会議(APSIPA ASC)など国内外で学会発表を行った。

#### (5) 展開

指向性重複直交変換の画像復元応用において、混成構成による冗長表現が性能の向上に大きく寄与することが本研究の成果として明らかとなった。一方で、組込み実装や超並列

実現の際に、高い冗長度によるメモリの使用量やアクセスの増加が問題となる。複数の直交変換の混成構成は、タイトフレームを構築できる利点を持つが、冗長度が整数倍に限られる問題があった。そこで、本研究では、非分離一般化重複直交変換を冗長系へと直接拡張し、任意の有理数倍の冗長度が設定可能な新たな変換、非分離冗長重複変換を提案した。非分離冗長重複変換は、重複性、タイト性、対称性、指向性のほか、画像境界における終端処理も可能である。理論、設計、応用、実現に関して、信号処理シンポジウムや音声・音響信号処理に関する国際会議(ICASSP)、画像処理に関する国際会議(ICIP)など、国内外での学会発表を行ったほか、特許出願も行った。

#### (6) 国内外における位置づけとインパクト

重複性、直交性、対称性、局所性、可変性、指向性を有する二次元変換は、他に例がなく国内外において、本研究が唯一の成果である。クラウド・コンピュータ時代を迎え、画像の利用形態は益々多様化している。本研究で扱う画像変換は、符号化、形式変換、画像復元、特徴抽出など多くの画像処理において共通的に利用される有効な画像モデルを与えるため、応用範囲が広く、大きなインパクトをもつ。

本研究の基盤となる学術論文“Directional Lapped Orthogonal Transform: Theory and Design”は、画像処理分野において最も権威のある学術誌 IEEE Trans. on Image Process. に掲載された。このことのみならず、IEEE Xplore によれば、2012 年 5 月の発表から現時点まで、他の研究者による 2 件の引用と 700 件を超える PDF ダウンロード数が認められる。また、その後の成果についても、信号処理分野において権威のある国際会議 ICASSP および ICIIP に継続して採択されているほか、応用に関する学術論文が、国内の学術誌 IEICE Trans. on Fundamentals のスパース信号処理に関する特集号に掲載された。さらに、実時間実装については、米国 MathWorks 社のサイトにてユーザー事例として紹介された。

これらの事から、本研究プロジェクト全体の成果は、国内外において先端的かつ有益な内容であり、情報通信分野の発展に対して大きく貢献したと考えられる。

#### (7) 今後の展望

提案法である指向性重複直交変換および非分離冗長重複変換は、画像処理にとって望ましい性質を有する。提案変換は柔軟な構成を持つため、状況に応じた設定が可能で、三次元以上の多次元拡張も可能である。現在、CT/MRI 画像の他、マルチスペクトル画像、ライト・フィールド画像などボリュームデータ処理の重要性が増している。復元技術など多次元信号処理の実用化を進めるために、提案

変換の多次元拡張について理論、設計、応用、実現の全てにおいて検討する予定である。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Natsuki Aizawa, Shogo Muramatsu and Masahiro Yukawa: “Image Restoration with Multiple DirLOTs,” IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E96-A, No. 10, pp. 1954-1961, DOI: 10.1587/transfun.E96.A.1954, Oct. 2013, 査読有
- ② Shogo Muramatsu, Dandan Han, Tomoya Kobayashi and Hisakazu Kikuchi: “Directional Lapped Orthogonal Transform: Theory and Design,” IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 21, No. 5, pp. 2434-2448, DOI: 10.1109/TIP.2011.2182055, May 2012, 査読有
- ③ Shogo Muramatsu, Tomoya Kobayashi, Minoru Hiki and Hisakazu Kikuchi: “Boundary Operation of 2-D Non-separable Linear-phase Paraunitary Filter Banks,” IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 21, No. 4, pp. 2314-2318, DOI 10.1109/TIP.2011.2181527, Apr. 2012, 査読有

[学会発表] (計 3 1 件)

- ① Shogo Muramatsu: “Structured Dictionary Learning with 2-D Non-separable Oversampled Lapped Transform,” Proc. of 2014 IEEE International Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 2643-2647, Florence, Italy, 7 May 2014, 査読有
- ② Zhiyu Chen and Shogo Muramatsu: “Poisson Denoising with Multiple Directional LOTs,” Proc. of 2014 IEEE International Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 1234-1238, Florence, Italy, 6 May 2014, 査読有
- ③ 情野健太, 古屋幸祐, 原伸太郎, 村松正吾: “非分離冗長重複変換の HW/SW 協調設計”, 2014 年電子情報通信学会総合大会予稿集, A-4-25, 新潟, 2014 年 3 月 21 日, 査読無
- ④ 若杉翔, 相澤夏希, 村松正吾: “非分離冗長重複変換を利用したヒューリスティック縮退処理による画像ノイズ除去”, 2014 年電子情報通信学会総合大会予稿集, A-4-23, 新潟, 2014 年 3 月 21 日, 査読無
- ⑤ 陳智雨, 村松正吾: “Anscombe 変換に基づく混成 DirLOT を利用したポアソンノイズ除

去”, 第 28 回信号処理シンポジウム予稿集, B1-3, 下関, 2013 年 11 月 20 日, 査読無

- ⑥ Kosuke Furuya, Shintaro Hara, Hidenori Watanabe and Shogo Muramatsu: “Embedded Implementation Model of Non-separable Symmetric Lapped Transforms,” 第 28 回信号処理シンポジウム予稿集, C2-4, 下関, 2013 年 11 月 20 日, 査読無
- ⑦ Kosuke Furuya, Shintaro Hara and Shogo Muramatsu: “Boundary Operation of 2-D Non-separable Oversampled Lapped Transforms,” Proc. of 2013 APSIPA Annual Summit and Conf., Kaohsiung, Taiwan, 2013 年 11 月 1 日, 査読有
- ⑧ Shogo Muramatsu and Natsuki Aizawa: “Image Restoration with 2-D Non-separable Oversampled Lapped Transforms,” Proc. of 2013 IEEE International Conf. on Image Processing (ICIP), pp. 1051-1055, Melbourne, Australia, 17 Sep. 2013, 査読有
- ⑨ 稲田岳, 相澤夏希, 村松正吾: “非分離冗長重複変換による高圧縮 JPEG/JPEG2000 画像の復元”, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 37, No. 36, pp. 83-86, 山梨県石和, 2013 年 8 月 20 日, 査読無
- ⑩ 古屋幸祐, 原伸太郎, 村松正吾: “二次元非分離線形位相パラユニタリフィルタバンクの多段ツリー構成組込み実装”, 第 26 回回路とシステムワークショップ予稿集, pp. 120-125, 淡路島, 2013 年 7 月 29 日, 査読有
- ⑪ Shogo Muramatsu and Natsuki Aizawa: “Lattice Structures for 2-D Non-separable Oversampled Lapped Transforms,” Proc. of 2013 IEEE International Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 5632-5636, Vancouver, Canada, 2013 年 5 月 28 日, 査読有
- ⑫ 相澤夏希, 村松正吾: “指向性非分離オーバーサンプル重複変換を利用した画像復元”, 電子情報通信学会技術報告, Vol. 112, No. 485, SIP2012-134, pp. 39-44, 山形県鶴岡, 2013 年 3 月 14 日, 査読無
- ⑬ Kosuke Furuya, Shintaro Hara and Shogo Muramatsu: “Embedded Implementation of 2-D Nonseparable Linear-Phase Paraunitary Filter Banks for Video Processing,” Proc. of International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), pp. 605-609, Nagoya, Japan, 7 Jan. 2013, 査読有
- ⑭ Natsuki Aizawa and Shogo Muramatsu: “FISTA-Based Image Restoration with Multiple DirLOTs,” Proc. of International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), pp. 642-647,

Nagoya, Japan, 7 Jan. 2013, 査読有

- ⑮ Shogo Muramatsu, Natsuki Aizawa and Masahiro Yukawa: “Image Restoration with Union of Directional Orthonormal DWTs,” Proc. of 2012 APSIPA Annual Summit and Conf., paper#:156, Hollywood, CA, USA, 6 Dec. 2012, 査読有
- ⑯ 村松正吾, 相澤夏希: “二次元非分離離散対称タイトフレームのためのラティス構成”, 第 27 回信号処理シンポジウム予稿集、C5-3、沖縄県石垣、2012 年 11 月 29 日、査読無
- ⑰ 原伸太郎、古屋幸祐、村松正吾: “DirLOT のツリー構成と組込み実装”, 第 27 回信号処理シンポジウム予稿集、A6-4、沖縄県石垣、2012 年 11 月 29 日、査読無
- ⑱ 相澤夏希、村松正吾、湯川正裕: “混成 DirLOT を利用した ISTA に基づく画像復元”, 第 25 回回路とシステムワークショップ予稿集、pp.109-114、淡路島、2012 年 7 月 30 日、査読有
- ⑲ Shogo Muramatsu: “SURE-LET Image Denoising with Multiple Directional LOTs,” Proc. of 2012 Picture Coding Symposium (PCS), pp.229-232, Krakow, Poland, 8 May 2012、査読有
- ⑳ Shogo Muramatsu and Dandan Han: “Image Denoising with Union of Directional Orthonormal DWTs,” Proc. of 2012 IEEE International Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp.1089-1092, Kyoto, Japan, 27 Mar. 2012, 査読有
- ㉑ 原伸太郎、太田優也、村松正吾: “動画像処理のための二次元非分離 GenLOT ハードウェアモデル”, 電子情報通信学会技術報告、Vol.111, No.466、SIP2011-134、pp. 43-48、新潟、2012 年 3 月 8 日、査読無
- ㉒ 相澤夏希、村松正吾: “混成 DirLOT を利用した画像復元”, 電子情報通信学会技術報告、Vol.111, No.466、SIP2011-133、pp. 37-42、新潟、2012 年 3 月 8 日、査読無
- ㉓ 武田一樹、村松正吾: “混成指向性重複直交変換を利用した画像スパース表現”, 第 26 回信号処理シンポジウム予稿集、A12-2、札幌、2011 年 11 月 18 日、査読無
- ㉔ 韓丹丹、村松正吾: “混成指向性重複直交変換を利用した画像ノイズ除去”, 第 26 回信号処理シンポジウム予稿集、A10-2、札幌、2011 年 11 月 18 日、査読無
- ㉕ Shogo Muramatsu, Dandan Han and Hisakazu Kikuchi: “SURE-LET Image Denoising with Directional LOTs,” Proc. of APSIPA Annual Summit and Conf., Thu-PM.PS1.9, Xi’an, China, 20 Oct. 2011, 査読有
- ㉖ 王銳、村松正吾、菊池久和: “二次元非分離 GenLOT の適応的基底切替符号化の基礎検討”、

- 映像情報メディア学会年次大会予稿集、3-6、東京都武蔵野、2011 年 8 月 24 日、査読無
- ㉗ 本田義文、村松正吾、村田光由、迫立俊朗: “シフト不変二次元非分離 GenLOT を用いた平坦領域検出”、映像情報メディア学会技術報告、Vol.35, No.33、pp.29-30、諏訪、2011 年 8 月 22 日、査読無
- ㉘ 韓丹丹、村松正吾、菊池久和: “二次元非分離 GenLOT による SURE-LET 画像ノイズ除去”、電子情報通信学会技術報告、Vol.111, No.104、SIP2011-60、pp.175-179、那覇、2011 年 7 月 1 日、査読無
- ㉙ 太田優也、崔セミ、村松正吾、菊池久和: “ブロック処理とリフティング法に基づく二次元非分離 GenLOT のハードウェア実装”、電子情報通信学会技術報告、Vol.111, No.104、SIP2011-59、pp.169-174、那覇、2011 年 7 月 1 日、査読無

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 画像変換装置、画像変換方法、及び画像変換プログラム

発明者: 村松正吾

権利者: 国立大学法人新潟大学

種類: 特許

番号: 特願 2012-259174

出願年月日: 2012 年 11 月 27 日

国内外の別: 国内

[その他]

① 指向性重複直交変換 HP

<http://telecom0.eng.niigata-u.ac.jp/index.php?DirLOT>

② 非分離冗長重複変換 HP

<http://telecom0.eng.niigata-u.ac.jp/index.php?NSOLT>

③ MathWorks 社 DirLOT Toolbox HP

<http://www.mathworks.co.jp/matlabcentral/fileexchange/32603-dirLOT-toolbox>

④ MathWorks 社 SaivDr Package HP

<http://www.mathworks.co.jp/matlabcentral/fileexchange/45084-saivdr-package>

⑤ MathWorks 社 ユーザー事例 HP

<http://www.mathworks.co.jp/company/newsletters/articles/developing-video-denoising-algorithms-with-matlab-and-simulink-for-implementation-on-beagleboard-hardware.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

村松 正吾 (MURAMATSU, Shogo)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号: 30295472