

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500183

研究課題名(和文) リフティング複素ウェーブレットに基づくモバイル画像検索システムの構築

研究課題名(英文) A mobile image retrieval system based on lifting complex wavelet transform

研究代表者

高野 茂 (Takano, Shigeru)

九州大学・システム情報科学研究科(研究院・助教)

研究者番号：70336064

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、画像のマルチスケール特徴を効率よく抽出できるリフティング複素ウェーブレット変換(LCWT)を提案する。LCWTのもつ自由パラメータをウェーブレットフィルタの設計に利用して、画像の局所特徴を環境適応的に抽出することができる手法を考案した。提案手法は、遺伝的アルゴリズムに基づいて、物体認識の精度が向上するようにLCWTを設計する。その応用研究として、モバイルロボット上にLCWTに基づく類似画像検索システムを実装し、ロボットビジョンによる物体認識システムを構築した。

研究成果の概要(英文)：This study proposes a local feature extraction method for a mobile image retrieval system. We first introduce Lifting Complex Wavelet Transform (LCWT) plays an important role in this work. Since the LCWT has a set of controllable free parameters, we can design the LCWTs with various properties by tuning their parameters. In this study, we construct a set of LCWTs so that they can extract local features from an image by multi-scale. Applying the new set of LCWTs to the training images, a local feature database can be constructed. By using this database, we implement an image retrieval system based on LCWTs on the mobile robot. The main contribution of our method is that the LCWTs can be designed so as to adapt to the environment for the mobile robot.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：画像認識 情報システム 一般物体認識 類似画像検索 ウェーブレット 電子図鑑

1. 研究開始当初の背景

画像からその「特徴」を抽出することは、画像・動画像の物体検出・追跡・認識および類似画像検索などのシステムを構築する際に必要不可欠な技術要素である。特に画像内容に基づく「一般物体認識」の技術が確立できれば、コンピュータビジョンの研究分野は飛躍的に発展すると考えられる。

2. 研究の目的

(1) リフティング複素ウェーブレットフィルタ理論の構築

リフティング複素ウェーブレットフィルタ理論を開発する。これにより画像の特徴点であるキーポイントを既存手法と比較して高速に検出できることを実験により示す。またリフティング複素ウェーブレットフィルタに基づく画像の客観的な特徴を抽出するSIFT特徴抽出アルゴリズムを考案する。

(2) リフティング複素ウェーブレットフィルタによる信号・画像からのマルチスケール特徴の抽出

信号のバンドパス成分を抽出することのできるリフティングウェーブレットフィルタを設計し、マルチバンドパスフィルタの組を構成する。これにより、窓フーリエ変換に基づく信号の周波数解析と同等以上の解析をウェーブレット変換により実施することが可能となる。

(3) LCWTに基づくロボットビジョンによる物体認識

LCWTに基づく環境に適応する物体認識アルゴリズムを考案し、モバイルロボットに実装する。具体的には、物体認識の精度が向上するように遺伝的アルゴリズムに基づくリフティングウェーブレットフィルタを学習する手法を構築し、モバイルロボットを用いた実験を行う。

3. 研究の方法

(1) リフティングウェーブレットを拡張したリフティング複素ウェーブレットフィルタ理論の構築を行う(図1)。既存のリフティングウェーブレットフィルタは自由パラメータを持つ双直交ウェーブレットである。双直交ウェーブレットの分解アルゴリズムは入力信号・画像をダウンサンプリングするため、それらのシフト変化に影響を受ける問題がある。そこで、本研究では、リフティングウェーブレットフィルタを、実数部と虚数部をもつ複素ウェーブレットフィルタに拡張し、入力信号・画像のシフト・回転に不変な特徴を抽出するリフティング複素ウェーブレットフィルタ(LRIWF)を提案する。また、LRIWFを画像に適用し、画像の特徴点であるキーポイントを検出するアルゴリズムを考案する。提案手法では、ウェーブレット高速計算アルゴリズムにより効率よくキーポイントが検

出することができる。さらに、検出されたキーポイントにおけるSIFT特徴量を特徴ベクトルとして記述するアルゴリズムを開発(図2)し、ベンチマークセットにおける物体認識実験を行う。

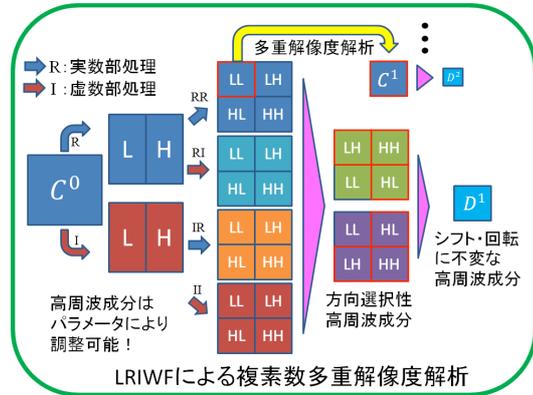


図1: リフティング複素ウェーブレットフィルタに基づく複素多重解像度解析

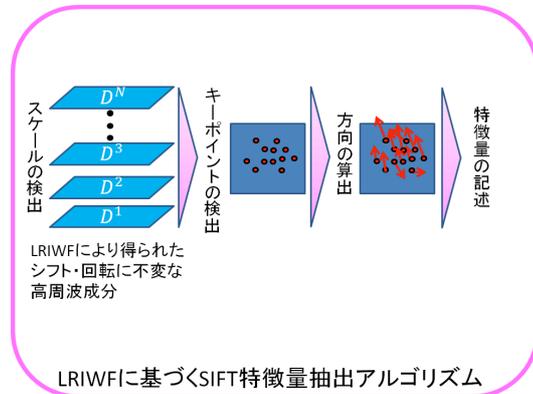


図2: リフティング複素ウェーブレットフィルタに基づくSIFT特徴抽出アルゴリズム

(2) 特定の周波数特性をもつリフティングウェーブレットフィルタの設計法を示す。本研究では、LCWTがもつ自由パラメータを利用して、特定の周波数特性をもつリフティングウェーブレットフィルタを設計する。ここで、初期フィルタの低周波分解フィルタと高周波分解フィルタは、図3に示すような周波数特性をもつ。

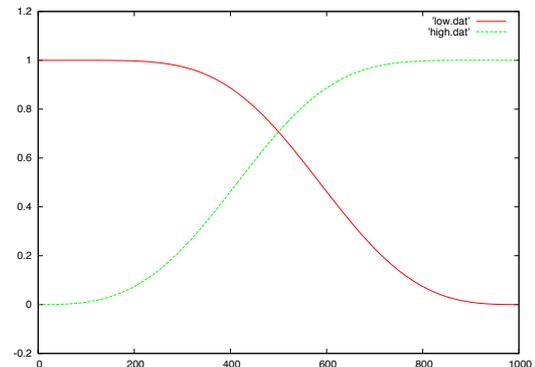


図3: 初期フィルタの周波数特性

提案手法では、入力として初期フィルタ、リフティングパラメータの長さおよび遮断周波数を与えることによって、新しい周波数特性をもつフィルタを設計する。図4に提案手法により得られたリフティングウェーブレットフィルタの周波数特性の例を示す。

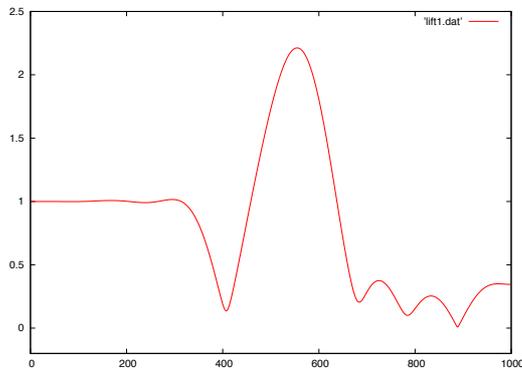


図4: リフティングウェーブレットフィルタの周波数特性

図4を見てもわかるように、新しいフィルタはもとの低周波領域における周波数特性を保ちつつ、高周波領域においてバンドパス特性をもつようなフィルタとなっている。そのため、新しく得られる低周波成分と既存の低周波成分の差分は、バンドパス成分とみなすことができる。これを利用して、既存の高周波フィルタでは抽出することのできない信号のマルチスケール特徴の抽出を実現する。以上のことから、信号の多重解像度解析を行うためには、既存の低周波成分を用いる必要がある。

(3) ロボットビジョンの研究として、LCWTに基づく物体認識システムを開発する。本研究では、SIFTなどの既存手法と同様に、画像の局所特徴としてキーポイント周辺の画像の勾配情報にもとづく特徴ベクトル(128次元)を抽出する。提案手法であるLCWTに基づく画像からのキーポイントの抽出例を図5に示す。



図5: LCWTによるキーポイントの検出例

これらのキーポイントは、一枚の画像から大量に抽出されるため、データベース画像の特徴と直接比較すると大量の時間がかかる。そ

こでデータベース画像全体における特徴ベクトルの出現頻度を計算し、画像の類似度に役立つ特徴を Visual Word として抽出する。これにより画像の特徴は Visual Word の頻度として表すことができ、高速に照合することが可能となる。

本研究では、テスト画像に関する精度が向上するように、リフティングパラメータを遺伝的アルゴリズムにより計算し、類似画像検索の手法に基づくロボットビジョンの物体検出の精度向上を目指す。その概要を図6に示す。

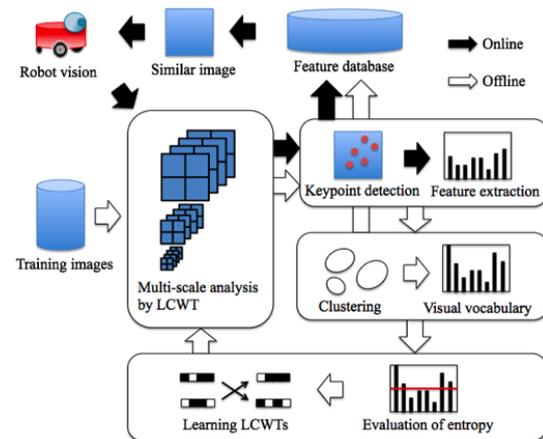


図6: LCWTに基づくロボットビジョンによる物体認識

4. 研究成果

(1) リフティングウェーブレットを拡張したリフティング複素ウェーブレットフィルタ理論の構築に関する研究を遂行し、画像の局所特徴量を抽出するアルゴリズムを開発した。既存のリフティングウェーブレットフィルタは、自由パラメータをもつ双直交ウェーブレットである。双直交ウェーブレットフィルタの分解アルゴリズムは入力信号・画像をダウンサンプリングするため、それらのシフト変化に影響を受ける問題がある。そこで、本研究では、リフティングウェーブレットフィルタを、実数部と虚数部をもつ複素ウェーブレットフィルタに拡張し、入力信号・画像のシフト・回転に不変な特徴を抽出するリフティング複素ウェーブレット変換(LCWT)を提案し、さらに、LCWTを画像に適用し、画像の特徴点であるキーポイントを検出するアルゴリズムを考案した。提案手法では、ウェーブレット高速計算アルゴリズムにより効率よくキーポイントを検出することができる。実際に、提案するキーポイント検出アルゴリズムに基づく花画像検索システムを構築し、小学生を対象とした実証実験および市民講座を実施した。さらに、検出されたキーポイントにおけるSIFT特徴量を特徴ベクトルとして記述するアルゴリズムを開発し、ロボットビジョンによる新規物体認識へと応用した。

(2) 信号・画像から特定の周波数特徴を抽出することのできるリフティング複素ウェーブレットフィルタの設計法を確立した。提案手法では、自由パラメータをもつリフティングウェーブレット変換の低周波フィルタの周波数特性に着目し、所望のバンドパス特性をもつようにそのパラメータを決定するアルゴリズムを構築した。本手法により設計された低周波フィルタを用いて、信号・画像からバンドパス成分を抽出する LCWT を実現できる。LCWT は、既存のウェーブレット変換やウェーブレットパケットでは抽出することのできないマルチレベル・スケールの局所特徴量を抽出することができ、音声信号の認識・識別、画像の物体認識へと応用することができる。画像の局所特徴を抽出するためには、画像のマルチスケール特徴からキーポイントとなる点を検出する必要がある。本研究では、LCWT の組を構成し、効率よくマルチスケール特徴を計算する。具体的には、5つのバンドパス特性をもつリフティングウェーブレットフィルタの組を構成した(図7)。これにより高周波フィルタにより抽出される高周波成分を、さらに5つのスケールの特徴として、分割抽出することができる。画像のキーポイントは、抽出したマルチスケール特徴の分解レベル間も含めた周辺の極大点として抽出される。これらをすべて計算するのではなく、初期フィルタにより計算された高周波成分の大きな点についてのみ LCWT によるマルチスケール特徴を計算する。これにより、高速にキーポイントを検出することが可能となった。

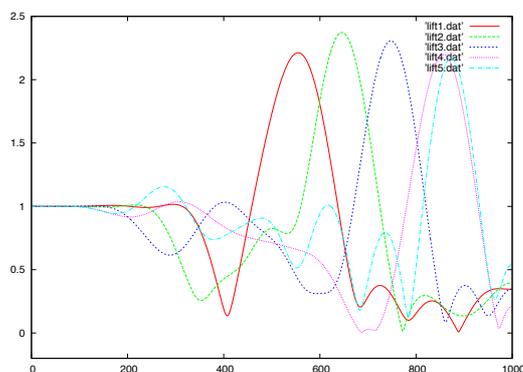


図7: バンドパス特性をもつリフティングウェーブレットフィルタの周波数特性

(3) 環境適応的に物体を検出することのできるモバイルロボットの研究開発を行った。LCWT を利用する画像の局所特徴量を高速に抽出するアルゴリズムを開発し、類似画像検索システムに基づく物体検出システムをモバイルロボット上に実装した。提案する LCWT は自由パラメータをもつ複素ウェーブレットフィルタの組である。この自由パラメータをロボットが行動する環境に対して適応的に決定するアルゴリズムを考案した。具体的には、まずロボットが行動する環境空間にお

いて、実際にロボットが行動しつつ画像を収集し、それらを訓練画像とする。ここで初期パラメータをもつ LCWT により訓練画像集合からキーポイント群を抽出し、それらをクラスタリングすることにより Visual Word の集合を得る。訓練画像集合における Visual Word の使用頻度となるべく偏らないように LCWT のパラメータを遺伝的アルゴリズムに基づいて更新し、Visual Word の再抽出を繰り返す。実際には、Visual Word の頻度分布のエントロピーが大きくなるように計算を実施した。この処理により、どの画像も持つような Visual Word が減り、物体の識別に有効な特徴ベクトルが抽出できるようになることを期待している。我々が開発したモバイルロボットを用いた実験において、最終的には世代数が 100 まで繰り返し、物体検出の精度が向上することを示した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① S. TAKANO, I. LOSHCHILOV, D. MEUNIER, M. SEBAG and E. SUZUKI, Fast Adaptive Object Detection towards a Smart Environment by Mobile Robots, Proc. Fourth International Joint Conference on Ambient Intelligence (AmI 2013), LNCS 8309, Springer-Verlag, pp. 182-197 (平成 25 年 12 月)
- ② Y. OKADA and S. TAKANO, Application Framework for Data Broadcast Contents Integrated with Web Services on Digital TV, Proc. of 15th Int. Conf. on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES 2011), Andreas Konig, et al. (Eds.): KES 2010, LNAI 6884, pp. 63-72 (平成 23 年 9 月)

[学会発表] (計 12 件)

- ① S. TAKANO, Design of lifting wavelet filters for local feature analysis of an image, Proc. IIAI International Conference on Advanced Information Technologies (IIAI AIT 2013) (平成 25 年 11 月)
- ② M. MISHIMA, T. MATSUMOTO, S. TAKANO and O. MATSUDA, KOKOPIN App: A mobile platform for biogeography, 2nd ACM International Workshop on Multimedia Ecological Data, in conjunction with ACM MULTIMEDIA 2013 (平成 25 年 10 月)
- ③ 吉本 誠也, 高野 茂, 岡田 義広, 複数 Kinect ボーン情報を組み合わせた高精度モーションキャプチャシステムの構築, 第 75 回情報処理学会全国大会 (平成 25 年 3 月)
- ④ 楯岡 聖也, 高野 茂, 岡田 義広, 個人の音声特徴を適応的に抽出するリフテ

- イングウェーブレットフィルタの設計,
第75回情報処理学会全国大会(平成25
年3月)
- ⑤ S. TAKANO, I. LOSHCHILOV, D. MEUNIER,
M. SEBAG and E. SUZUKI, Fast Adaptive
Object Detection for a Mobile Robot,
Proc. 2013 International Symposium on
Information Science and Electrical
Engineering (ISEE 2013), pp. 11 (平
成25年1月)
- ⑥ 高野 茂, 石田 浩二, ICカードによる
複合型個人音声認証のためのリフティ
ングウェーブレットフィルタの設計,
第2回バイオメトリクスと認識・認証シ
ンポジウム(平成24年11月)
- ⑦ 高野 茂, リフティングウェーブレット
によるマルチスケール特徴の抽出とそ
の応用, 第五回ウェーブレット変換及
びその応用に関するワークショップ(平
成24年10月)
- ⑧ K. TAKEMOTO, S. TAKANO and E. SUZUKI,
Human Detection by a Small Autonomous
Mobile Robot, Extraction et Gestion
des Connaissances (EGC' 2012), pp.
531-536, Bordeaux, France, February
2012 (平成24年2月)
- ⑨ S. TAKANO and E. SUZUKI, New Object
Detection for On-board Robot Vision
by Lifting Complex Wavelet
Transforms, Proc. Eleventh IEEE
International Conference on Data
Mining Workshops (ICDMW 2011), pp.
911-916, IEEE Computer Society (平成
23年12月)
- ⑩ S. TAKANO and E. SUZUKI, New Object
Detection for On-board Robot
VisionIRIT - Kyushu University
Workshop on Data Mining and Media
Processing (平成23年11月)
- ⑪ 高野茂, 専門家の知識と群衆の叡智を
融合する次世代図鑑検索システムの研
究開発, ICT イノベーションフォーラ
ム 2011 (平成23年10月)
- ⑫ A. KOUNO, J. M. MONTANIER, S. TAKANO,
N. BREDECHE, M. SCHOENAUER, M. SEBAG
and E. SUZUKI, On-Board Evolutionary
Algorithm and Off-Line Rule Discovery
for Column Formation in Swarm
Robotics, Proc. 2011 IEEE/WIC/ACM
International Conference on
Intelligent Agent Technology (IAT
2011), pp. 220-227, Lyon (平成23年
8月)

[図書] (計2件)

- ① E. SUZUKI, Y. DEGUCHI, D. TAKAYAMA, S.
TAKANO, V.-M. SCUTURICI and J.-M.
PETIT: "Towards Facilitating the
Development of a Monitoring System
with Autonomous Mobile Robots",

Post-Proceedings of 2013
International Workshop on
Information Search, Integration, and
Personalization, CCIS, Springer
(accepted for publication).

- ② E. SUZUKI, T. KISS, A. SHIMADA and S.
TAKANO (eds.): Proceedings of the
2013 International Symposium on
Information Science and Electrical
Engineering (ISEE 2013), ISEE, Kyushu
University (平成25年1月)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)
該当なし

○取得状況 (計0件)
該当なし

[その他]

ホームページ等
該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高野 茂 (TAKANO, Shigeru)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・助教
研究者番号: 70336064

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし