

機関番号：17102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20700142

研究課題名（和文） 暗号化機能を備えたネットワーク画像処理システムの開発

研究課題名（英文） Development of a network image processing system with encryption functions

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所・助教

研究者番号：70336064

研究成果の概要（和文）：

本研究では、信号・画像処理に適応するリフティングウェーブレットの設計理論を提案し、応用として音声による個人認証および類似画像検索システムを開発した。音声認証では、リフティングウェーブレットのもつパラメータを鍵とみなし、個人の音声特徴に適応するフィルタを設計する手法を提案した。類似画像検索では、専門家の指摘により特徴ベクトルの重みづけを学習するシステムを提案し、実験において提案手法による精度向上の知見を得た。

研究成果の概要（英文）：

We proposed a novel method for designing lifting wavelet filters which adapt to signal and image processing needs. In applications, we developed a speaker identification system and a content-based image retrieval system (CBIR) using our adaptive filters. In the speaker identification, we proposed to design the lifting wavelet filters so as to extract the personal features efficiently. In the CBIR, we develop an image retrieval system based on wavelet transforms and construct a community based feature database.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：リフティングウェーブレット、信号・画像処理、物体認識、生体認証、類似画像検索、ロボットビジョン、音声認証

1. 研究開始当初の背景

情報化社会の成熟化に伴い、世の中に氾濫する情報の積極的活用とセキュリティの保全とを両立する社会基盤システムの整備が求められている。特に、ユビキタスコンピューティングの実現のためには、環境情報を効率よく安全に取得することが重要な課題である。環境の画像情報の取得のためのネット

ワークカメラの普及は、複数の監視カメラシステムを集中管理することを可能にし、最近では人物追跡に基づく不審者等の異常行動を自動的に検出する技術も確立しつつある。また、ネットワークカメラによる画像解析システムは、群衆の行動解析によるデータマイニングへの応用や、車両の追跡による交通情報解析システムの開発等にも応用されてお

り、社会環境のセキュリティ向上の一翼を担っている。しかしながら、公共の場にネットワークカメラを設置する場合は、上述のような社会環境のセキュリティも重要であるが、個人のプライバシー保護の観点から顔画像に代表される生体情報データの漏洩には最大の注意を払う必要がある。

一方、顔画像や指紋画像および手のひら画像等を個人の生体情報データとして取り扱う画像に基づく生体認証システムの研究が盛んである。しかしながら、これらの生体情報データは一度漏洩してしまうと、二度と認証データとして使用することができなくなる。そのため、近年では、生体情報データを暗号化したまま照合できる技術が開発されている。

以上のようなネットワークカメラに基づく人物追跡システムや顔画像識別システムに代表される生体認証システムを同時に実現するためには、環境に応じて画像処理システムを変更する必要がある。しかしながら、これらのシステムは互いの画像解析手法およびセキュリティレベルが異なるため、人物追跡システム等のセキュリティレベルの低いシステムが、生体認証システム等の高度なセキュリティレベルを必要とするシステムのセキュリティホールとなる可能性がある。

我々の研究グループでは、これまで学習型リフティングウェーブレットによる顔画像検出、識別および物体認識の研究を進めてきた。リフティングウェーブレットは自由パラメータをもち、これらを調整することにより、信号・画像から様々な特徴を抽出するフィルタを設計することができる。本研究では、この自由パラメータを暗号化の鍵とみなし、信号・画像に対してリフティングウェーブレット変換を施し、それらの特徴抽出と暗号化を同時に行う手法を考案する。また、暗号化された特徴データを復号することなく照合に使えるようなフィルタの設計法を確立する。

2. 研究の目的

本研究における画像からの特徴抽出には、第2世代ウェーブレットと呼ばれるリフティングウェーブレットを用いる。その際、リフティングウェーブレットのもつ自由パラメータを暗号化の鍵とみなし、画像から特徴を抽出すると同時に特徴データを暗号化する手法を確立する。正しい鍵（自由パラメータ）を持たないユーザは、暗号化された特徴データから、オリジナルの画像を復元することができない。本研究では、暗号化された特徴データを用いて行う画像処理手法を提案するにあたり、以下の3項目を明らかにする。

(1) 特徴ベクトルを暗号化するリフティングウェーブレット理論の考案：これまで我々のグループが開発した学習型リフティ

ングウェーブレットフィルタは、フィルタ自身が画像の特徴を持つように学習していた。本研究では、リフティングウェーブレット変換により得られた画像の特徴ベクトルを自由パラメータにより暗号化する手法を考案する。

(2) 整数型リフティングウェーブレット変換の構築：(1)で考案した技術を、整数データから整数データへ変換する整数型リフティングウェーブレット変換へと拡張する。この際、自由パラメータも整数となるように制約条件を導入し、暗号化や認証におけるすべての演算を整数演算にて実行できるシステムを構築する。

(3) 高度みまもり技術への応用：(1)と(2)の技術を応用して、ネットワークカメラを用いた高度みまもりシステムを構築する。具体的には、暗号化された特徴ベクトルに基づく人物追跡や顔画像識別システムの構築を行う。この際、環境のセキュリティレベルによって、人物追跡用と顔画像識別用の暗号鍵（自由パラメータ）を使い分ける。

3. 研究の方法

本研究における主要な学術的成果は、信号処理に最適なウェーブレットの設計理論を確立したことである。ウェーブレットに基づく信号・画像処理では、使用するウェーブレットフィルタにより処理結果が異なる。処理の高速性を重視する場合はHaarウェーブレット、画像処理をする場合は、対称性をもつスプラインウェーブレットを使うなど、その用途に応じて経験的にフィルタを使い分ける。提案手法は、信号・画像処理のアプリケーションの精度が向上するウェーブレットをリフティングウェーブレットフィルタの枠組みで設計する。

本研究では、信号処理に関する研究としては音声認証を実施し、リフティングウェーブレットのもつ自由パラメータの調整により、個人を識別するための特徴量抽出の効率化に成功した。現在、本理論を2次元画像処理に拡張し、画像特徴をクラスごとに効率よく抽出する手法を提案し、類似画像検索システムの高精度化を目指している段階である。以下に詳細を述べる。

本システムは、類似画像システムと画像DB管理のためのSNSシステムにより構成される。類似画像検索システムでは、ユーザにより送信された質問画像に対して特徴の類似する画像情報を1次回答としてユーザに返信する。SNS画像DB管理システムでは、上述の質問画像と1次回答を管理閲覧し、コメントや詳細な説明を付与し、2次回答としてユーザに返信する。この時、1次回答が誤っている場合は、専門家が正しい回答に関する画像を提示し、類似画像検索システムの特徴DBを更新す

る。

類似画像検索システムでは、ユーザが携帯電話（スマートフォン）により撮影した質問画像を受信し、特徴の類似するデータベース画像を1次回答として回答する。本システムでは、ユーザビリティを考慮し、図1に示すようなAndroidアプリケーションを作成している。本アプリケーションは、質問画像を撮影し、メールによりシステムへと送信する。このときGPS機能により位置情報を取得し、さらにユーザがタッチインターフェースにより指定した注視領域情報を付与することが可能である。



図1：質問画像送信アプリケーション

画像の特徴はウェーブレット変換に基づく統計量を抽出する。画像をウェーブレット変換することにより、その平均を表す低周波成分と3方向の高周波成分画像に分解することができる。原画像 C^0 の (i, j) 要素を $C_{i,j}^0$ とおく。このとき画像のウェーブレット変換は次式で定義される。

$$C_{i,j}^t = \sum_{k,l} h_k h_l C_{2i+k, 2j+l}^{t-1}, \quad t=1, \dots, N_w, \quad (1)$$

$$D_{i,j}^t = \sum_{k,l} h_k g_l C_{2i+k, 2j+l}^{t-1}, \quad t=1, \dots, N_w, \quad (2)$$

$$E_{i,j}^t = \sum_{k,l} g_k h_l C_{2i+k, 2j+l}^{t-1}, \quad t=1, \dots, N_w, \quad (3)$$

$$F_{i,j}^t = \sum_{k,l} g_k g_l C_{2i+k, 2j+l}^{t-1}, \quad t=1, \dots, N_w, \quad (4)$$

ただし、 h_k はスケーリング係数、 g_k はウェーブレット係数を表し、式(1), (2), (3), (4)は、それぞれレベル t の低周波成分および、横方向、縦方向、斜め方向の高周波成分である。

本研究では、画像の低周波成分より色特徴を抽出し、高周波成分からは画像のテクスチャ特徴を抽出する。具体的には、HSV 表色系に変換された入力画像の色相成分 (Hue) を原画像 C^0 とおき、式(1)により、各レベルの低周波成分を計算する。レベル t において、量子化された濃度ヒストグラムを生成し、色特徴ベクトルを作成する。

高周波成分からは、画像の表面上の特徴であるテクスチャ特徴を抽出する。ここでは、

入力画像をグレイスケール画像に変換したものを原画像 C^0 として用いる。式(2), (3), (4)を適用することにより得られた3種類の高周波成分 $D^t, E^t, F^t, t=1, \dots, N_w$ に対して、シフト・回転に不変な特徴量である7種類のモーメントを計算する。ここで得られるテクスチャ特徴量は、リフティングウェーブレットを適用することで調整可能な特徴ベクトルを構成できる。本研究では、音声認証で開発した自由パラメータ決定法と同様に遺伝的アルゴリズムを用いた類似画像検索システムの高精度化を目指している。具体的には、本システムのSNSシステムを活用し、専門家が指摘する類似画像検索結果となるようにパラメータを学習する。

4. 研究成果

平成20年度は、リフティングウェーブレット変換による人間の生体情報である顔画像および音声の個人特徴を抽出するための基礎研究を行い、第二回ウェーブレット変換およびその応用に関するワークショップおよび第71回情報処理学会全国大会において研究発表を行った。特に音声の特徴抽出に関する研究では、リフティングウェーブレットによる信号データの暗号化理論の基礎研究を行い、自由パラメータの調整による認証精度の向上に関する知見を得た。リフティングウェーブレットは、調整可能な自由パラメータを持っており、本研究では、これを暗号化における鍵とみなす。

また、マルチメディアデータの検索に関する研究を遂行し、画像・動画および3次元コンテンツの類似コンテンツを検索するシステムを構築した。本研究における画像コンテンツの特徴抽出はウェーブレット変換の統計量に基づいている。具体的には、画像を色に基づく領域分割を行い、領域毎のウェーブレット変換により得られた高周波成分に関する9種の統計量の類似性による新しい画像の類似度を提案した。今後リフティングウェーブレットによる画像認証技術の開発へと応用していく。本研究の成果は、2件の国際発表 (MMM2009, CGIV2008) および5件の国内の研究会において研究発表を行った。

実証実験としては、携帯電話のカメラより取得した画像を質問画像とし、それに類似する画像をデータベースから検索するシステムを開発した。本研究の入力インターフェースは、ユーザが注視する領域を指定することが可能であり、画像にとる認証を容易にするシステム開発へと応用する。

平成21年度は、ウェーブレットに基づく様々

な信号・画像データに関する特徴抽出の研究を行った。まず、リフティングウェーブレットによる動画像からの顔画像検出の一連の体系を可視化情報学会誌のウェーブレット高次応用の特集記事にて発表した。本研究では、画像中の物体の大きさに不変な特徴量の抽出に成功している。次に、リフティングウェーブレット変換に基づく音声認証技術の開発を行い、その研究成果を、第72回情報処理学会全国大会において研究発表を行った。音声の特徴抽出に関する研究では、リフティングウェーブレットのもつ調整可能な自由パラメータを暗号化における鍵とみなし、認証精度の向上との両立を目指している。次に、ウェーブレット変換に基づく画像データに関する統計量を特徴として用いる類似画像検索システムを構築した。本研究では、画像のウェーブレット変換により得られる高周波成分の各種統計量を客観的特徴量とみなし、ユーザの指定する画像領域に応じた類似画像検索を行うことのできるシステムを開発した。これらの成果は、スペインで開催された国際ワークショップ(SMAP2009)および第72回情報処理学会全国大会において研究発表を行った。

また、仮想空間内のモーションデータの特徴抽出として、ウェーブレット技術を応用したモーションデータ検索システムの開発について、国内外の学会にて研究発表を行った。特に、米国において開催された国際会議(NBiS2009)においては、ベストペーパーとして表彰された。さらに、デジタル放送用データであるBMLデータのオーサリングツールの開発に関しても国内外の学会において研究発表を行った。またダイナミックベイジアンネットワークに基づく群ロボットの行動設計に関する研究発表も行った。

平成 22 年度は、主にリフティングウェーブレットに基づく信号・画像データの特徴抽出および識別・認証に関する研究を行った。本研究では、リフティングウェーブレットのもつ自由パラメータを鍵とみなし、元データ固有の特徴を識別・認証することのできるフィルタを構築することを目的としている。本年度は特に、モバイル端末から取得される画像・音声データを識別・認証する技術の研究に注力した。音声データによる個人認証システムでは、個人の音声特徴をリフティングウェーブレットフィルタに基づき抽出する手法を提案し、遺伝的アルゴリズムを用いて認証精度が向上するようにパラメータを決定する手法を確立した。本研究内容は、第 73 回情報処理学会全国大会および ES2010 において研究発表を行った。また、仮想空間内の

モーションデータの特徴をウェーブレット分解により抽出し、遺伝的アルゴリズムにより特徴データの類似性を学習するシステムを開発した。本技術によりモーションデータの作成・編集・検索を行うインターフェースを開発し、一連の研究成果を FIT2010 および KES2010 において研究発表を行った。さらに、携帯端末による撮影された画像データの特徴をリフティングウェーブレットフィルタにより特徴抽出を行い、正しい類似画像をフィードバックすることが可能な類似画像検索システムの開発を行った。本研究成果は、第 73 回情報処理学会全国大会および ES2010 においてデモ発表を行った。本研究の技術は、動画像データへと応用可能であり、ロボットビジョンの研究へと応用を目指している。その成果の一部として、ANTS2010 において研究発表を行った。

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 8 件)

- ① Nakamura, N., Takano, S. and Okada, Y., 3D Multimedia Data Search System Based on Stochastic ARG Matching Method, 15th International Multimedia Modeling Conference (MMM 2009), 5371, pp. 379-389, 2009.
- ② Y. Wakayama, S. Takano, Y. Okada, H. Nishino, Motion Generation System Using Interactive Evolutionary Computation and Signal Processing, Proc. of 2009 International Conference on Network-Based Information Systems (NBiS2009), IEEE CS Press, pp. 492-498, 2009.
- ③ F. Kawanobe, S. Takano, Y. Okada, Towards interactive image query system for content-based image retrieval, Proc. of the 4th International Workshop on Semantic Media Adaptation and Personalization (SMAP09), pp. 56-61, 2009.
- ④ 高野茂, 皆本晃弥, Dyadic wavelet とその画像処理への応用, 可視化情報学会, 会誌 10 月号特集記事 vol. 29, no. 115, pp. 18-22, 2009.
- ⑤ 若山雄己, 高野茂, 岡田義広, 西野浩明, 対話型進化計算によるモーション作成・編集・検索システム, 第 9 回情報科学技術フォーラム(FIT2010), vol. 3, pp. 93-100, 2010.
- ⑥ Nakamura, N., Takano, S. and Okada, Y., 3D Model Search Using Stochastic Attributed Relational Tree Matching, 17th International Multimedia

Modeling Conference (MMM-2011) PartII, Lee, K.-T.; et al. (Eds.): Advances in Multimedia Modeling, LNCS 6524, pp. 348-358, 2011.

- ⑦ Shigeru Takano, Kensuke Baba, Sozo Inoue, Community Based Feature Database Construction for Mobile Image Retrieval, Proc. IADIS e-Society 2011 (ES 2011) Conference, 580-582, 2011.
- ⑧ Shingo Fukata, Shigeru Takano, Yoshihiro Okada and Kiyotaka Fujisaki, Speaker Identification System Using Lifting Wavelet Filters, Proc. IADIS e-Society 2011 (ES 2011) Conference, pp. 583-586, 2011.

〔学会発表〕(計9件)

- ① 高野茂, リフティングウェーブレットフィルタに基づく知的画像処理, 第二回ウェーブレット変換およびその応用に関するワークショップ, 2008年9月17日, 豊橋技術科学大学(愛知県豊橋市).
- ② 亀山淳一, 馬場謙介, 高野茂, 岡田義広, ユーザーの注視領域を考慮した類似画像検索システムの開発, 第71回情報処理学会全国大会, 2009年3月12日, 立命館大学(滋賀県草津市).
- ③ 川述文比古, 高野茂, 岡田義広, 田邊勝義, ユーザーの検索意図を抽出する類似画像検索インターフェースの開発, 第71回情報処理学会全国大会, 2009年3月12日, 立命館大学(滋賀県草津市).
- ④ 深田晋吾, 馬場謙介, 高野茂, 井上創造, 安浦寛人, ウェーブレットを用いた音声認証システムの精度向上にむけて, 第71回情報処理学会全国大会, 2009年3月12日, 立命館大学(滋賀県草津市).
- ⑤ 川述文比古, 高野茂, 岡田義広, 画像の主観的特徴と客観的特徴を融合する類似画像検索インターフェースの構築, 情報処理学会創立50周年記念全国大会(第72回全国大会), 2010年3月, 東京大学.
- ⑥ 深田晋吾, 高野茂, 岡田義広, 藤崎清孝, リフティングウェーブレットによる音声認証に適したフィルタの設計, 情報処理学会創立50周年記念全国大会(第72回全国大会), 2010年3月, 東京大学.
- ⑦ 高野茂, ウェーブレット特徴量に基づくモバイル図鑑検索システムの構築, 可視化情報学会全国講演会(鹿児島2010), 2010年10月8日, 霧島市国分シビックセンター(鹿児島県霧島市).
- ⑧ 高野茂, 馬場謙介, 井上創造, 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, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月2日~4日, 東京工業大学.

- ⑨ 深田晋吾, 高野茂, 岡田義広, 藤崎清孝, リフティングウェーブレットフィルタに基づく音声認証システムの開発, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月4日, 東京工業大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高野 茂 (SHIGERU TAKANO)

研究者番号 : 70336064