

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22500152

研究課題名(和文) 部分教師付き学習に基づく適応的画像検索技術の確立

研究課題名(英文) Adaptive Content-based Image Retrieval using Semi-Supervised Learning Method

研究代表者

松本 哲也 (MATSUMOTO, TETSUYA)

名古屋大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：40252275

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円、(間接経費) 660,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、パーソナルユースを目的とした、不特定用途の画像データベースにおける検索システム構築を最終的な目的とし、そのために、部分教師付き学習手法を利用した各ユーザの画像データベースに適応した類似度モデルの構築と、構築した類似度モデルを利用したレリバンス・フィードバックにより、画像内容に対して適応的な画像分類・検索技術を開発した。画像から抽出される特徴量の次元圧縮手法および、集約特徴量の生成モデル学習手法の両方に関して部分教師付き学習手法を提案した。画像データベースに適応したカテゴリモデル学習実験の結果、提案手法を利用した場合には、カテゴリ識別率が平均して5.1ポイント上昇した。

研究成果の概要(英文)：Automatic image annotation is a hopeful sub-technique for image database retrieval. We have been constructing a generative model system for automatic image annotation using semi-supervised learning method. As it can be easily unstable for the higher dimensions, we must apply a dimensionality reduction method in advance. Generally, conventional supervised dimensionality reduction method (using labeled samples) suffers from the degenerate covariance matrix problem in the case of a small number of samples. On the other hand, unsupervised dimensionality reduction method (using unlabeled samples) can't recognize the differences among the categories properly. In this study, we propose a novel semi-supervised dimensionality reduction method using a small number of labeled samples and a large number of unlabeled samples. By the result of experiments, the classification rate of the proposed method was 5.1 points better than that of the unsupervised method.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：画像情報処理

### 1. 研究開始当初の背景

近年、デジタルカメラ等の画像入力機器の普及や WWW、E-mail 等での画像利用の一般化により、一般利用者がコンピュータ内に多量の画像データを有することが通常である。このため、多量の画像情報を簡便に整理・体系化し、検索を行うシステムの必要性が高まっている。テキスト情報検索に関しては、全文検索等を利用することにより、かなり柔軟な検索システムを構築できる環境が整いつつある。しかし、画像に代表されるマルチメディアデータに関しては、様々な環境においてデータを一意に分類する有効な手法が存在しないことから、柔軟な検索システムの構築は難しいのが現状である。

### 2. 研究の目的

類似画像検索の分野において、検索精度向上の最も大きな障壁となるのは、各利用者における「類似画像」の定義の相違である。どのような点に着目して「類似性」を考えるかは、検索結果に大きな影響を及ぼす。この点に適切に対応するためには、何らかの形で利用者のフィードバックを得ることが必要である。従来、検索結果に対するユーザからの Relevance Feedback (適合性フィードバック) を利用して、検索精度を改善する試みはしばしば行われてきた。しかし、これはあくまで毎回の検索結果に対するフィードバックであり、その結果を次の検索精度の改善に役立てることは出来なかった。

本研究では、事前のフィードバック学習により、各ユーザに特有な類似度モデル(画像関心空間モデル)を構築する。ここでモデルの構築のために全画像に対するユーザからのフィードバックを利用しているのは、ユーザに画像キーワード付与を強いる従来型の検索システムと同等の負担が必要となり、得策とは言えない。本システムでは、近年発展しつつある部分教師付き学習(semi-supervised learning)手法を利用し、ユーザの部分的なフィードバックに基づいた画像関心空間の構築を試みる。このような各ユーザ固有の特性をモデル化することにより、検索結果に対する信頼度の定量化や信頼性の低い領域の画像に対して、システムからユーザの評価を求める提案型(PUSH 型)学習も可能となる。

### 3. 研究の方法

本研究では、不特定用途の画像データベースにおける、適応的な画像分類・検索システムの構築を目的としている。その実現のために、以下の要素技術を開発し、有機的に結合させることにより、システムを構築する。

- (1) 各ユーザ毎に異なる画像データベースの傾向やユーザの嗜好を反映した「画像関心空間モデル」の適応的構築  
すなわち、様々なユーザがそれぞれ異なった意図・嗜好で様々な画像の分類・

構造化を行う過程のモデル化である。

- (2) ユーザからの少数の教師に基づく部分教師付き学習を利用したモデル構築アプローチ
- (3) 生成された「画像関心空間モデル」を利用した、検索結果の信頼度評価と可視化、および低信頼度領域の検出と PUSH 型学習

これによって、広範囲な画像内容への対応と、利用者毎に異なる画像分類基準への対応の両方を同時に解決することが可能となる。

平成 22 年度の研究では上記の内、主に(1)を重点的に開発する。初年度の研究においては、画像データに関するユーザのフィードバック情報は十分に与えられているものと仮定し、画像関心空間モデルの学習手法には部分教師付き学習は用いない。すなわち、十分な情報が得られた上で、ユーザ固有の類似度評価尺度のモデルを適応的に学習できることを確認する。

平成 22 年度の具体的な研究内容としては、PCサーバを購入し、(1)の画像関心空間モデルを生成するために、画像処理システム・学習システムを構築する。画像処理システムでは、従来提案されてきた手法を参考にしつつ、様々な画像特徴を数値化した特徴量を用意する。

学習システムでは、学習方式に、ニューラルネットワークまたは、統計的学習手法を利用し、各個人で異なる画像に対する意図・趣向・評価基準を適切に反映することを意図する。さらに、画像関心空間の形成過程を詳細に解析するため、市販のデータ可視化ソフトウェアを購入し、利用する。

また、日常的な画像データを収集するために、PCカメラを備えた高機能ノート型PCを購入し、被験者に貸与して、実生活で常時利用してもらう。これにより、ユーザの意図に応じた画像データの収集を行い、簡単なデータベースによるシステムの評価を行う。プロトタイプシステムによる画像データベースの処理・評価結果を公表する。

平成 23 年度以降は、平成 22 年度の解析結果に基づいて、システムの拡充、ユーザからの少数教師に基づく部分教師付き学習システム化を行う。さらに、画像関心空間モデルの可視化システム、および利用者とのインタフェースを構築し、利用者の relevance feedback に基づく画像関心空間モデルの再調整サブシステムを構成し、適応的類似画像検索システムを完成させる。

また、平成 22 年度に購入したPCサーバとノート型PCとの通信によって、各利用者が取得した画像データの保管・管理を行う画像データベースサーバをPCサーバ上に構築する。これにより、画像データ処理の部分を高速なPCサーバに任せ、サーバ・クライアントシステムを実現し、より高速な評価実験が可能となる。画像データベースサーバソフトウェアは、Linux 等のフリー運用可能な

ソフトウェアを組み合わせるものとする。

さらに、市販の画像データベースソフトウェアに対して、画像データベース構築時、検索時、新規データ追加時における比較を行い、本システムの有効性を確認する。

#### 4. 研究成果

平成 22 年度の研究では、各ユーザ毎に異なる画像データベースの傾向やユーザの嗜好を反映した「画像関心空間モデル」の適応的構築を行った。被験者が日常的に収集する画像によって、パーソナルデータベースを構築し、このデータベースを用いて機械学習の手法により、画像データベースの傾向を反映した画像関心空間モデルの構築実験を行った。

また、モデルの構築に際して、画像中に含まれる物体の高精度な認識が必要となるため、近年活発に研究が行われている一般物体認識手法の高精度化に関する研究も行った。これによって画像の意味的内容に基づいて高精度で画像関心空間モデルを構築することが可能になった。

平成 23 年度の研究では、少数教師に基づく適応的学習手法を開発した。これによって、多数のラベルなしデータと極少数のラベル付きデータを利用した部分教師付学習による、効率的なユーザモデルの学習が可能となった。この手法を昨年度の解析結果に応用し、利用者からの少数教師に基づき、画像関心空間モデルを構築するシステムを開発した。

平成 24 年度は、画像の分類性能向上を目的として、特徴量の文脈依存性を利用したシステムを開発した。このために、BoVW 手法において、画像ピラミッドに対応する階層的辞書を構築し、下位の辞書における Visual Words を決定した。実験による定量的評価の結果、提案手法の有効性が確認された。これらの研究内容をまとめ、論文として投稿した。

また、昨年度の成果である、少数教師による部分教師付学習に基づく適応的学習手法を利用し、ユーザごとに異なる画像データベースの傾向や書くユーザの思考を反映した「画像関心空間モデル」を利用した、適応的な画像分類・検索システムを構築し、その性能を定量的に評価・検討した。

(1) 学会発表 [1] の研究では、教師となる少数の画像のカテゴリを指定するだけで、高精度なカテゴリ分類を実現するために、特徴次元圧縮部分に少数の教師を利用する、部分教師付き次元圧縮を類似画像検索に応用した。部分教師付き次元圧縮とは、カテゴリが未知なデータと既知なデータの両方を用いて次元圧縮を行う手法である。本研究では、特徴次元圧縮の一般的な手法である、FDA(教師あり次元圧縮)を元にして部分教師付きでの利用を可能とした -SFDA を提案し、PCA(教師なし次元圧縮)と組み合わせることに

よって、部分教師付き次元圧縮を実現した。部分教師付き学習では、次元圧縮されたデータの分布を GMM(混合ガウス分布)で表現し、GMM のパラメータは EM アルゴリズムを用いて学習した。GMM は、1 つのカテゴリを複数のガウス分布でモデル化するため、複雑な分布を有するデータにも対応できると考えられる。

実験では、実画像データを用いて、部分教師付き次元圧縮と教師なし次元圧縮の比較を行った。学習には、どちらの場合も部分教師付き学習を用い、識別率による比較を行った。画像データの特徴量には、色相のヒストグラムとウェーブレット変換係数を利用した。

実験の結果、部分教師付き次元圧縮を利用した場合、平均して 5.1 ポイント識別率が上昇した。

表 1 提案手法と PCA の識別率の比較 (教師を変えた時の平均値と最小・最大値)

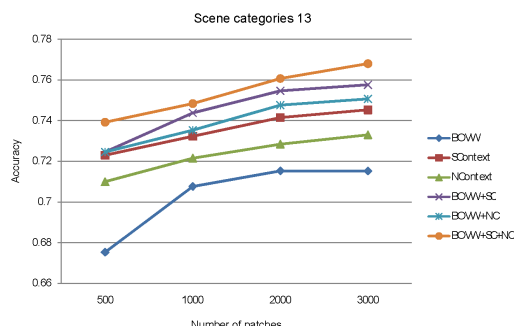
教師数	PCA		-SFDA	
4	70.1	73.8	75.8	79.6
		68.3		71.0
8	75.6	79.1	81.3	83.3
		74.2		80.0
12	78.8	81.7	82.8	87.5
		73.8		80.0

また、一般物体認識の分野で近年活発な研究が行われている Bag of Visual Words (BoVW) 手法の高精度化を行うことで、画像中に含まれる物体の認識精度の向上を目指した。

(2) 論文 [2] では、画像ピラミッドの coarse-fine 各スケールで生成された visual words から成る辞書を階層状に配置し、同一点に対応する visual words を関係づける。visual words を用いて画像表現を得る時点で、coarse-fine の階層関係を考慮することで、特徴量の文脈情報を考慮することが可能となる。

実画像を用いた実験の結果、提案手法の有効性が確認された。

図 1 従来手法(BoVW)と提案手法の比較



(3) 論文 [3] では、BoVW 手法で visual words を生成する際に、画像中のより情報量の高い部分を選択するための手法を提案した。教師

画像で学習を行った後、提案する基準に従って、使用する画像パッチの優先順位を決定し、BoVW 手法を適用した。その結果、提案手法の有効性が確認された。

#### 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4件)

S. Bai, T. Matsumoto, Y. Takeuchi, H. Kudo, N. Ohnishi : "A Novel Method for Exploring Patch-level Context to Improve Image Categorization Performance", IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems (C), 査読有, vol.133, no.12, pp.2264-2274, (2013-12).

S. Bai, T. Matsumoto, Y. Takeuchi, H. Kudo, N. Ohnishi : "Informative patches sampling for image classification by utilizing bottom-up and top-down information", Machine Vision and Applications, 査読有, vol.24, no.5, pp.959-970, (2013-7).

S. Bai, T. Matsumoto, Y. Takeuchi, H. Kudo, N. Ohnishi : "Incorporating Contextual Information into Bag-of-Visual-Words Framework for Effective Object Categorization", IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, vol.E95-D, no.12, pp.3060-3068, (2012-12).

S. Bai, T. Matsumoto, Y. Takeuchi, H. Kudo, N. Ohnishi : "Incorporating Top-Down Guidance for Extracting Informative Patches for Image Classification", IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, vol.E95-D, no.3, pp.880-883, (2012-3).

[学会発表](計5件)

青木 栄太, 松本 哲也, 大西 昇 : "利用可能な教師に応じた適応的線形次元圧縮の検討", 平成 25 年度電気関係学会東海支部連合大会, 静岡大学, (2013.9.25).

S. Bai, H. Kudo, Y. Takeuchi, T. Matsumoto, N. Ohnishi : "Scene Classification based on Category-Specific Representations Created through Prototype Future Selection", 27th International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ'12), Dunedin, New Zealand, (2012.11.26-28).

T. Matsumoto, M. Yoshida, N. Ohnishi : "Semi-supervised Dimensionality Reduction for Content

Based Image Retrieval", The 26th International Conference on Image and Vision Computing New Zealand 2011 (IVCNZ 2011), Auckland, New Zealand, (2011.11.29-12.1).

S. Bai, H. Kudo, Y. Takeuchi, T. Matsumoto, N. Ohnishi : "Object Categorization by an Augmented Bag-of-Visual-Words Approach", The 2011 2nd World Congress on Computer Science and Information Engineering (CSIE 2011), Changchun, China, (2011.06.17-19).

大畑 深志, 竹内 義則, 松本 哲也, 工藤 博章, 大西 昇 : "オブジェクトと背景への画像の領域分割", 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, HI2011-31, 東京工科大学, (2011.3.15).

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

松本 哲也 (TETSUYA MATSUMOTO)  
名古屋大学・情報科学研究科・助教  
研究者番号 : 4 0 2 5 2 2 7 5

##### (2) 研究分担者

大西 昇 (NOBORU OHNISHI)  
名古屋大学・情報科学研究科・教授  
研究者番号 : 7 0 1 8 5 3 3 8