

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700179

研究課題名(和文) 多次元多様体学習を用いたコア情報の抽出と階層的大規模画像理解の研究開発

研究課題名(英文) Core Information Extraction Using Multilinear Manifold Learning and Hierarchical Algorithm for Image Understanding in Large Scale Dataset

研究代表者

韓 先花 (Han, Xian-Hua)

立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・准教授

研究者番号：60469195

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、画像を高速かつ高精度で認識するため、外部環境からの影響が受けにくい局所的な特徴を抽出し、統合するため従来のBoFでの量子化ではなく一つのテンソルとして取り扱い、統一的に効率よく記述する枠組を開発した。テンソルになる大量な局所特徴を融合するため多次元教師付き部分空間法を提案し、シーン、物体等への認識応用において大幅な精度の向上を検証した。また画像からhand-craftな局所特徴(SIFTなど)を抽出するだけでなく、簡単且つ効率に得られるraw特徴(色輝度値、勾配など)に対して、データ駆動モデル(k-means、GM)を用いて解析し、より高速且つ効率的な画像記述法を開発した。

研究成果の概要(英文)：In this project, we propose to represent an image as a local descriptor tensor and use a Multilinear Supervised Neighborhood Embedding (MSNE) for discriminant feature extraction, which is able to be used for subject or scene recognition. The contributions of our project include: (1) a image representation framework denoted as local descriptor tensor, which can effectively combine a moderate amount of local features together for image representation and be more efficient than the popular existing Bag-Of-Feature model; (2) a MSNE analysis algorithm, which can directly deal with the local descriptor tensor for extracting discriminant and compact features, and at the same time preserve neighborhood structure in tensor space; (3) a data-driven modeling procedure for raw features instead of the hand-craft local descriptors such as SIFT, SURF. We demonstrate the performance advantages of our proposed approach over existing techniques on understanding different types of benchmark database.

研究分野：機械学習、パターン認識、画像処理

キーワード：画像認識 多次元多様体学習 データ駆動モデル 局所特徴 テンソル解析

1. 研究開始当初の背景

近年、デジタルカメラ等の情報端末や WWW 上等のネットワークの普及に伴い、従来とは比較にならないほど膨大な画像情報が流通している。この膨大な数のデータの中から、利用者にとって最も適した情報のみを的確に提供し、活用できるような技術が求められている。特に画像や映像コンテンツの急速な普及は目覚ましい。このようなビジュアルコンテンツを効率よく利活用するため画像や映像の仲に映っているかを機械で自動的に認識・理解することが強く求められている。

世界的にも、画像理解・認識に関する研究が進められている。その基本的な枠組は画像や映像から空間、時間及び色などに関する特徴を抽出し、機械学習で画像の中に何が映っているかを判別することである。従来の画像理解の研究では、カラーヒストグラムやエッジヒストグラムなどの大域的な特徴量が用いられてきた。しかし、撮影条件や物体の変形などによって、大域な情報が変化するため認識精度が不十分である。そこで、近年では、一枚の画像から大量な局所的な特徴（局所記述子：SIFT など）を抽出し、特徴ベクトル同士の照合およびこの局所記述子をヒストグラム化し、形成した Bag of Features (BOF) の比較を行い、画像の検索・認識する手法が提案された。局所記述子が部分的な隠れや変動に対して比較的ロバストである。これらによって形成した BOF 特徴を用いると中小規模なデータセットに対してある程度良いパフォーマンスが得られた。近年、中小規模（数十カテゴリから数百カテゴリまで）の画像セットの認識において主に BOF および関連手法が使われている。

2. 研究の目的

本研究では、大規模なデータセットにおける高速且つ高精度な一般画像情報認識技術の開発を目的とする。画像認識では、物体の変形やシーンの撮影条件などの変化にロバストな特徴抽出・表現が必要がある。また、大規模なデータセットに対して計算コストの短縮が必要がある。本研究では、画像や映像を高速かつ高精度で認識するため、外部環境からの影響が受けにくい局所の特徴は一つのテンソルとして取り扱い、統一的に効率よく記述する。また、多次元多様体学習を用いて認識に有用なコア情報を選択する。更に、hand-craft な局所記述子ではなく簡単且つ効率的に得られる Raw 特徴を統計解析し、高速且つ効率な画像記述法の開発を目指す。

3. 研究の方法

画像・映像から抽出した様々な局所特徴が一つのテンソルとして取り扱い、統一的に効率よく記述する。またテンソルベース多

次元多様体学習アルゴリズムを開発し、局所特徴テンソルから認識に有用なコア情報をを選択する。更に、hand-craft な局所記述子ではなく簡単且つ効率的に得られる Raw 特徴に対してデータ駆動モデル（K-means、GMM、Sparse coding など）を用いて統計解析し、高速且つ効率な画像記述法を開発した。提案した手法を用いて大規模画像認識、理解デモ用アプリケーションなど実用システムを開発した。

(1) 研究の初年度においては、画像から局所的な特徴を抽出し、一つのテンソルとして取り扱い、統一的に効率よく記述する。更にテンソルベース統計分析手法を開発し、認識に有用なコア情報を抽出する。その流れが図 1 に示す。

映像や画像から抽出された様々な情報を効率的に融合できる方法を開発する。画像情報認識理解技術の中で、画像の特徴抽出が最も重要な技術の一つである。従来の画像理解の研究では、カラーやエッジヒストグラムなどの大域的な特徴量が用いられてきた。また、近年では、一枚の画像から抽出した大量の局所的な SIFT 特徴を量子化し、予め用意した Visual-Words のヒストグラムとして表現する Bag of Features (BOF) が提案された。この手法はある程度良いパフォーマンスを得ているため注目されている。しかし、BOF で局所的な SIFT 特徴は予め用意した Visual-Words を用いて近似されるため、識別に有効な情報を失う可能性がある。また、近似によって一枚の画像から抽出した局所 SIFT 特徴や Visual-Words が大量に必要であり、計算コストがかかるという問題点がある。本研究では、画像局所領域から SIFT だけではなく、色やテクスチャ等様々な局所特徴を抽出し、図 1 に示すようなテンソルベース枠組で表現し、多次元統計分析を用いてコア情報の抽出を行った。

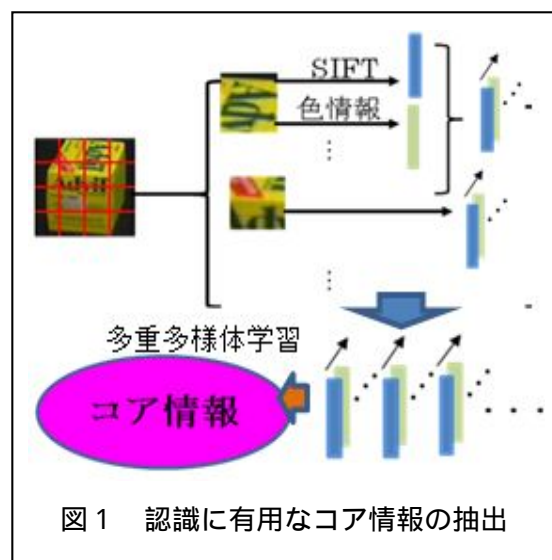


図 1 認識に有用なコア情報の抽出

多次元多様体学習法を開発し、認識に有用なコア情報を抽出した。大量な局所的な特徴を融合する多次元教師付部分空間法（多次元多様体学習 - MSNE）を開発し、シーン、物体等の認識に応用し、認識率の向上だけでなく、計算コストとメモリ使用量をそれぞれ BOF 特徴の二十分の一と四分の一に削減することができた^{発表論文[1]}。

(2)平成25年度でデータ駆動モデルを用いた特徴抽出フレームワークを開発した(図2に全体図を示す)。画像を表現するには、一般的に用いられたカラーヒストグラムやエッジヒストグラムの中に使われる色や勾配情報(形状)などの raw 特徴に対して、一定間隔で量子化(次元圧縮)を行うのではなく画像に適応した代表的な色や勾配情報を学習し、この代表情報(ビジュアルワード)の統計量(ヒストグラム)を形成してから画像を表現するというデータ駆動型モデルを提案する。少数のピン(低次元)でも高精度の画像表現ができる。また、ビジュアルワードで raw 特徴を近似する誤差を考慮に入れる Generalized Super-Vector を提案し、信頼性の高い画像表現を実現する。提案手法を公開された「画像データベースに適用し、その有効性を示した。

(3)最終年度には実用システムの開発を行い。

認識するコンテンツの種類とその定義に関する検討。認識すべきコンテンツについて、ImageNet や LSCOM Lexicon を参考して、さらに、ユーザへのヒアリングや頻繁に検索されるのを加えて、コンテンツを定義する。

画像認識、理解デモ用アプリケーションなど実用システムを開発し。構築したデータベースをもとに、デモプログラムを作成し、ユーザへのヒアリングを行い、認識コンテンツ数を拡張する。実用システムの構築を行う。

4. 研究成果

大規模画像・映像セットにおける高精度且つ高速な画像理解フレームワークを実現した。研究成果は以下の四点である。

- (1)局所的な特徴の統一記述枠組の開発：画像から色、勾配やテクスチャなどの局所的な特徴を抽出し、別別に記述するのではなく一つのテンソルとして取り扱い、統一的に効率よく記述する枠組を開発した。
- (2)局所特徴テンソルから多次元多様体学習を用いて認識に有用なコア情報の抽出を行った。本研究では画像から大量な局所的な特徴を融合するため多次元教師付部分空間法(多次元多様体学習 - MSNE)を提案し、シーン、物体への認識応用において高精度な認識率を

得ることを検証した。

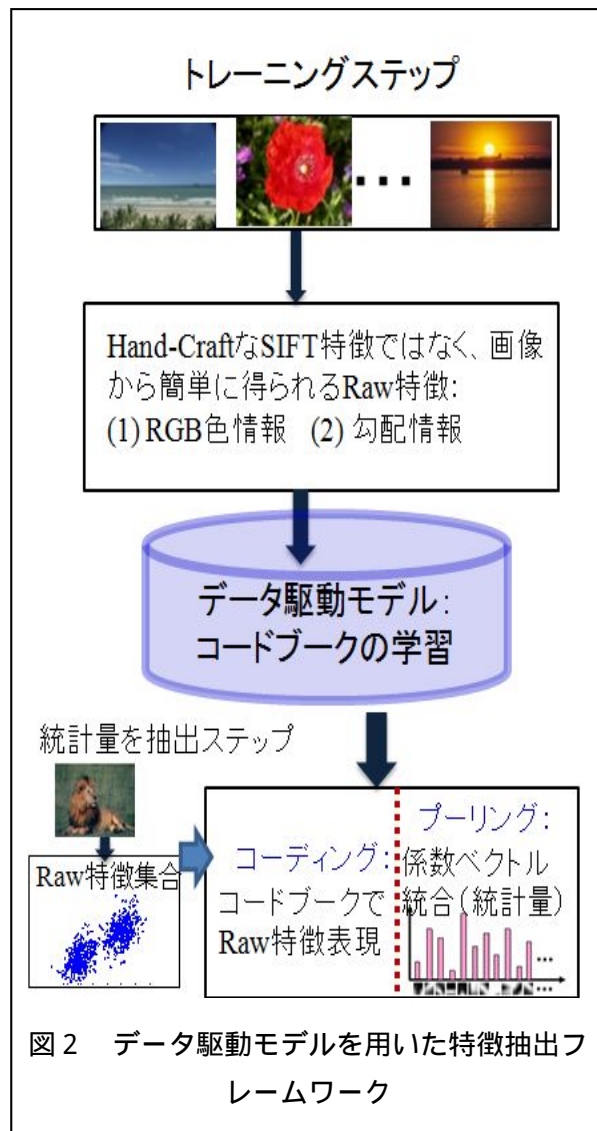


図2 データ駆動モデルを用いた特徴抽出フレームワーク

- (3)画像から hand-craft な局所特徴(SIFT、SURF など)を抽出するだけでなく、簡単且つ効率的に得られる Raw 特徴(色輝度値、勾配、方向、マイクロ-ストラクチャ等)に対してデータ駆動モデル(K-means、GMM、Sparse coding など)を用いて統計解析し、より高速且つ効率な画像記述法を開発した。また、データ駆動モデルに基づく、局所や Raw 特徴の低次統計量(分布情報)だけではなく、高次統計量(モデルのパラメータに対しての偏移統計量)を計算し、より高次の画像表現法を開発した。
- (4)提案した手法を用いた大規模画像・映像認識・理解デモ用のアプリケーションを開発した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 12 件)

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- (1) Xian-Hua Han, Yen-Wei Chen and Gang Xu, “High-order Statistics of Weber Local Descriptors for Image Representation”, IEEE Transaction on Cybernetics, Vol. 45, No. 6, p. 1180-1193, 2015. DOI: 10.1109/TCYB.2014.2346793, 査読有
- (2) J.P. Deng, Xian-Hua Han, Y.W. Chen, Gang X. Yoshinobu S, Masatoshi H, Noriyuki T, “Sparse and Low-Rank Matrix Decomposition for Local Morphological Analysis to Diagnose Cirrhosis”, IEICE transactions on information and systems, Vol. E97-D, No. 12, p. 3210-3221, 2014. DOI: 10.1587/transinf.2014EDP7180, 査読有
- (3) Xian-Hua Han, Jian Wang, Gang Xu and Yen-Wei Chen, “High-order Statistics of Micro-Texton for HEp-2 Staining Pattern Classification”, IEEE Transaction on Biomedical Engineering, Vol. 61, No. 8, p. 2223-2234, 2014. DOI: 10.1109/TBME.2014.2320294, 査読有
- (4) Yen-Wei Chen, Jie Luo, ChunHua Dong, Xian-Hua Han, 他3名, “Computer-Aided Diagnosis and Quantification of Cirrhotic Livers Based on Morphological Analysis and Machine Learning”, Comp. Math. Methods in Medicine, Vol. 2013, p. 1-8, 2013. DOI: 10.1155/2013/264809, 査読有
- (5) Yen-Wei Chen, Shinya Kohara, Tomoko Tateyama, Xian-Hua Han, 他2名, “Application of Statistical Shape Model of the Liver in Classification of Cirrhosis”, International Journal of Digital Content Technology and its Applications, Vol. 7, p. 477-484, 2013. 査読有
- (6) Xian-Hua Han, Yen-Wei Chen, “Semi-supervised and Interactive Semantic Concept learning for scene Recognition”, Journal of Communication and Information Science, Vol. 3, No. 1, pp. 38-46, 2013. 査読有
- (7) Danni Ai, Guifang Duan, Xianhua Han, Yen-Wei Chen, “Generalized N-Dimensional Independent Component Analysis and Its Application to Multiple Feature Selection and Fusion for Image Classification”, Neurocomputing, Vol.103, p.186-197, 2013. DOI: 10.1016/j.neucom.2012.09.020, 査読有
- (8) Xian-Hua Han, Yen-Wei Chen, Xiang Ruan, “View-based Object Recognition using ND Tensor Supervised Neighborhood embedding”, IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol. E95-D, No. 3, pp.835-843, 2012. DOI: 10.1587/transinf.E95.D.835, 査読有
- (9) Xian-Hua Han, Yen-Wei Chen, Xiang Ruan, “Multilinear Supervised Neighborhood Embedding of Local Descriptor Tensor for Scene/object Recognition”, IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 21, No. 3, p. 1314-1326, 2012. DOI: 10.1109/TIP.2011.2168417, 査読有
- (10) Xian-Hua Han, Yen-Wei Chen, “Subspace Similarity of Local Feature Set using Canonical Correlation Analysis for View-based Object Recognition”, AMT: Advances in Multimedia Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 12-20, 2012. DOI: 10.4156/amt.vol1.issue1.2, 査読有
- (11) 谷口和輝, 龔先花, 大橋基範, 岩本祐太郎, 笹谷 聡, 陳延偉, “多様体学習法と事例ベース法を融合した超解像度とその高速化”, 電気学会論文誌 C 巻, Vol. 132, No. 11, p. 1768-1773, 2012. DOI: 10.1541/ieejieiss.132.1768, 査読有
- (12) Danni Ai, Xian-Hua Han, GuiFang Duan, Xiang Ruan, Yen-Wei Chen, “Global Selection vs Local Ordering of Color SIFT Independent Components for Object/Scene Classification”, IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol. E94-D, No. 9, p.1800-1808. 2011. DOI: 10.1587/transinf.E94.D.1800, 査読有

〔学会発表〕(計 21 件)

- (1) JunPing Deng, Xian-Hua Han, Yen-Wei Chen, “Sparse and Low Rank Matrix Decomposition Based Local Morphological Analysis and Its Application to Diagnosis of Cirrhosis Livers,” ICPR2014, Stockholm, Sweden, 2014.8.27.
- (2) Riko Kusumoto, Xian-Hua Han, Yen-Wei Chen, “Hybrid Aggregation of Sparse Coded Descriptors for Food Recognition,” ICPR2014, Stockholm, Sweden, 2014.8.26.
- (3) Xian-Hua Han, Yen-Wei Chen, “Fisher Vector of Micro-Texton for HEp-2 Staining Pattern Classification,” The IFAC2014, Cape Town, South Africa, 2014.8.26.
- (4) Xian-Hua Han, Yen-Wei Chen and Gang Xu, “Context Structure Integration in Local Ternary Pattern for Visual Recognition,” Feature and structure Workshop on ICPR2014, Stockholm, Sweden, 2014.8.24.
- (5) JunPing Deng, Xian-Hua Han, Gang Xu, Yen-Wei Chen, “Sparse and Low-Rank Matrix Decomposition for Robust Medical Image Registration,” CARS2014, Fukuoka Convention Center, 2014.6.27.
- (6) Xian-Hua Han, Gang Xu, Yen-Wei Chen, “Data-Driven Quantized Micro-Structures for HEp-2 Staining Pattern Recognition,” CARS2014, Fukuoka Convention Center, 2014.6.26.
- (7) Xian-Hua Han, Yen-Wei Chen and Gang Xu, “Bayesian based Saliency Model for

- Liver Tumor Enhancement,” 2014 KES Smart Digit Future, Chania, Greece, 2014.6.19.
- (8) **Xian-Hua Han**, Yutaro Iwamoto, Akihiko Shino and Yen-Wei Chen, “Robust Isotropic Super-Resolution by maximizing a Laplace posterior for MRI Volumes,” 2014 SPIE Medical Imaging, San Diego, USA, 2014.2.17.
- (9) **Xian-Hua Han**, Gang Xu, Yen-Wei Chen, “Robust local ternary patterns for texture categorization,” BMEI 2013, Hangzhou, China, 2013.12.18.
- (10) Minami Wazumi, **Xian-Hua Han**, Yen-Wei Chen, “Food recognition using Codebook-based model with sparse-coding,” SII 2013, Kobe International Conference Center, Hyogo, 2013.12.16.
- (11) Xinyin Huang, Dingye Chen, **Xian-Hua Han**, Yen-Wei Chen, “Global and local features for accurate impression estimation of cloth fabric images,” SII 2013, Kobe International Conference Center, Hyogo, 2013.12.16.
- (12) Junping Deng, Rui Xu, **Xian-Hua Han**, Yen-Wei Chen, “Generalized N-Dimensional PCA for Compact Representation of Medical Volumes and Effective Mode Selection by Adaboost,” PCM 2013, Nanjing, China, 2013.12.14.
- (13) Jie Luo, Yen-Wei Chen, **Xian-Hua Han**, Tomoko Tateyama, Akira Furukawa, Shuzo Kanasaki, “Pilot study of applying shape analysis to liver cirrhosis diagnosis,” ICIP 2013, Melbourne, Australia, 2013.9.17.
- (14) Yen-Wei Chen, So Sasatani, **Xian-Hua Han**, “Residual Image Compensations for Enhancement of High-Frequency Components in Face Hallucination”, ISNN (1) 2013, Dalian, China, 2013.7.6.
- (15) Yen-Wei Chen, Jie Luo, **Xian-Hua Han**, Tomoko Tateyama, Akira Furukawa, Shuzo Kanasak, “A Morphologic Analysis of Cirrhotic Liver in CT Images”, ICIAR 2013, Povoade Varzim, Portugal, 2013.6.28.
- (16) **Xian-Hua Han**, Yen-Wei Chen, “Sparse dictionary representation and propagation for MRI volume super-resolution”, SPIE2013, San Jose, USA, 2013.2.26.
- (17) Yutaro Iwamoto, **Xian-Hua Han**, So Sasatani, Kazuki Taniguchi, Wei Xiong, Yen-Wei Chen, “Super-resolution of MR volumetric images using sparse representation and self-similarity”, ICPR 2012, つくば国際会議場 (茨城県), 2012.11.15.
- (18) Kazuki Taniguchi, **Xian-Hua Han**, Yutaro Iwamoto, So Sasatani, Yen-Wei Chen, “Image super-resolution based on locality-constrained linear coding”, ICPR 2012, つくば国際会議場 (茨城県), 2012.11.14.
- (19) Danni Ai, Guifang Duan, **Xian-Hua Han**, Yen-Wei Chen, “Multiple feature selection and fusion based on generalized N-dimensional independent component analysis”, ICPR 2012, つくば国際会議場 (茨城県), 2012.11.13.
- (20) **Xian-Hua Han**, Xu Qiao, Yen-Wei Chen, “Group sparse representation of adaptive sub-domain selection for image classification”, ICPR 2012, つくば国際会議場 (茨城県), 2012.11.13..
- (21) **Xian-Hua Han**, Yen-Wei Chen, “Face Recognition Using Multilinear Manifold Analysis of Local Descriptors”, SSPR/SPR 2012, 安芸グランドホテル (広島県), 2012.11.7.
- 〔図書〕(計 3件)
- (1) **Xian-Hua Han**, Yen-Wei Chen, "Sparse Representation for Image Super-Resolution", Subspace Methods for Pattern Recognition in Intelligent Environment, Chapter 6, Yen-Wei Chen and Lakhmi C. Jain (Ed.), Springer 出版, 2014, 198 ページ.
- (2) **Xian-hua Han**, Yen-Wei Chen, "Adaptive Noise Reduction and Edge Enhancement in Medical Images by using ICA", Computational Intelligence in Biomedical Imaging, Suzuki, Kenji (Ed.), Springer 出版, 2013, 397 ページ
- (3) **Xian-hua Han**, Yen-Wei Chen, "Multilinear Supervised Neighborhood Preserving Embedding Analysis of Local Descriptor Tensor", Principal Component Analysis, Parinya Sanguansat (Ed.), InTech 出版, (Croatia) 2012, 978-953-51-0195-6, Chapter 5, 300 ページ.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

韓 先花 (Han Xian-Hua)
立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構

准教授

研究者番号：60469195

(2) 連携研究者

陳 延偉 (Chen Yen-Wei)
立命館大学・情報理工学部
教授

研究者番号：60236841