

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330130

研究課題名(和文)人間の視知覚特性を考慮したベクタ画像検索システムの高度化研究

研究課題名(英文)Similarity retrieval of vector images considering human visual perception

研究代表者

林 貴宏 (Hayashi, Takahiro)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：60342490

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は類似ベクタ画像検索システムの開発を目標としている。研究成果は以下のとおりである。(1)ベクタ画像検索システムの前処理のために、遮蔽オブジェクトの輪郭補完法を開発した。開発手法では、さまざまな形状の図形に対応させるために、局所的補完法と大域的補完法を組み合わせた。(2)高速なベクタ画像検索アルゴリズムである間接照合法を改良した。さらに、改良手法の性能を確認するために、一般公開されている図形データセットを用いた実験を行った。実験結果から改良法により検索精度が改善することが確認された。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study is to develop a system for similarity retrieval of vector images. The achievements are as follows. (1) A method for contour completion of partly occluded objects was developed. In the method, local and global completion methods were combined to deal with various shape classes. (2) The algorithm of indirect matching, which is a fast algorithm for similarity retrieval of vector images, was improved. Besides, to examine the performance of the improved algorithm, experiments using a publicly available data set of shape images were conducted. From the experimental results, the improvement of retrieval accuracy was confirmed.

研究分野：マルチメディアデータベース

キーワード：画像検索 情報検索 ベクタ画像

1. 研究開始当初の背景

ベクタ形式の画像データ(以後、ベクタ画像と呼ぶ)の利用が増加している一方で、ベクタ画像を効率的に検索するための技術開発はほとんど進んでいない。ベクタ画像は、図柄など抽象図形を表現するために多く用いられることから、キーワード検索が難しく、スケッチなどから似た画像を検索する類似検索システムの重要性が高い。そこで、本研究は類似ベクタ画像検索システムの構築を目標としている。

2. 研究の目的

本研究のこれまでの準備状況として、平成23～25年度に科学研究費補助金若手研究(B)(課題番号23700109)による助成を受け、ベクタ画像検索の前処理であるオブジェクト領域抽出処理、および、検索を実現するためのマッチング処理を開発した。これまでの研究成果から以下の問題点が判明しており、これらの問題点の解決を本研究での目的とする。

(1) オブジェクト領域抽出処理の改良

これまでに開発したオブジェクト領域抽出処理は、複数のオブジェクト領域同士が重なっている場合にこれらを適切に分離できない場合があり、これを解消する必要がある。そこで、人間の知覚特性を考慮した領域分離処理を開発し、評価実験によってその有効性、限界を明らかにすることを目的とする。

部分的に重なったオブジェクトに対し、人間は、被遮蔽オブジェクトの輪郭を適切に補完(アモダル補完と呼ぶ)することができる。このとき人間は、図形の欠損部分周囲の局所的な情報、および図形全体の形状から得られる大域的な情報、の双方を考慮して、輪郭線の欠損部分(パス)を推定することが判明している。そこで、本研究では、局所的情報、大域的情報を考慮した補完をモデル化し、実験により評価する。

(2) マッチング処理の改良

これまでに開発したマッチング処理は、ベクタ画像から抽出されるオブジェクトの輪郭線の位置、形状情報を考慮して類似性を判定しており、高い検索精度を得られている。一方で、類似判定のための計算量が大きく、このまま大規模データベースへ適用することは困難である。マッチング処理を高速化するために、これまでの研究において、間接照合法と呼ばれる高速類似照合アルゴリズムを開発した。これにより高速処理は実現できるが、検索精度低下が新たに問題となった。そこで、検索精度をできるだけ低下させずにかつ、高速処理を実現するための間接照合法の改良およびその評価を目的とする。

3. 研究の方法

上記の目的(1)(2)を実現するために行った

研究の方法は以下のとおりである。

(1) 局所的情報を考慮した補完手法として、グラフの補間手法として古くから利用されているスプライン補間法を、図形の輪郭線補完の問題へと応用する。スプライン補間は、離散点を曲線によりなめらかに接続する手法である。この手法は、局所的連続性を考慮した輪郭線補完(曲線補完法)へと応用できる。

また、コンピュータビジョンなどの分野で使用されてきた被遮蔽物体の形状推定法を図形の輪郭線補完へと応用する。この手法は、直線で構成された物体(箱、ブロックなど)などのrigidなオブジェクトが遮蔽されている場合に、輪郭線の端点から直線を延長することによって、被遮蔽部分の輪郭パスを推定する。この直線を用いた遮蔽オブジェクトの形状推定法を応用し、本研究における輪郭線補完法の一つ(直線補完法)として開発する。

図形の大域的情報を考慮した補完手法はほとんど開発されていないため、新たに開発する必要がある。そこで、本研究に先駆け、線対称補完法、回転対象補完法のプロトタイプを開発してきた。本研究では、これら補完手法を斜交座標系にも適用できるように拡張する。

また、任意形状の図形に適用できるように局所補完および大域補完を組み合わせ、図形クラスに応じた適切な補完手法を選択、適用するアルゴリズムを開発する。

(2) マッチング処理を高速化するために開発した間接照合法は、オフライン処理とオンライン処理から構成される。オフライン処理では、データベースからランダムに少数のベクタ画像をキー画像として選び、事前にデータベース中のすべてのベクタ画像との類似度を計算しておく。オンライン処理では、実際のクエリ画像とキー画像との間で類似度を計算し、この結果と、オフライン処理で得たキー画像とデータベース中の各ベクタ画像との類似度の情報を用いて、クエリ画像とデータベースの各ベクタ画像との類似度を高速に類推する。これまでの研究で、キー画像に偏りがあると検索精度が大きく低下してしまうことが確認されているため、キー画像として、できるだけ多様なベクタ画像を選択する必要がある。

多様なキー画像を得る手法として、多次元尺度構成法とクラスタリング(Ward法)を利用する手法を採用する。あらかじめデータベース中の全画像ペアに対し、類似度を計算し、類似度行列を生成しておく。類似度行暦を元に、多次元尺度構成法によって、各画像を仮想特徴空間へと配置する。仮想特徴空間は、類似する画像同士が近くに配置され、類似しない画像同士は離れて配置されるという特徴がある。この特徴を利用し、Ward法を用いて類似画像同士をグループ化する。各グルー

プから代表画像をキー画像として選択することで、多様なキー画像を得ることができる。

間接照合法は、ベクタ画像データベース以外の様々な種類のデータベースへと適用できる汎用的な手法である。そこで、間接照合法の有効性を確認するために、音楽データベース、3Dモデルデータベース、映像データベースなど、ベクタ画像データベース以外のマルチメディアデータベースへと適用する実験を行う。

4. 研究成果

本研究の成果は以下のとおりである。

(1) オブジェクト抽出法の改良

オブジェクト抽出法の改良として、部分的に重なったオブジェクトに対し、図形の欠損部分周囲の局所的な情報、および図形全体の形状から得られる大域的な情報、の双方を考慮して、輪郭線の欠損部分(パス)を推定する手法を開発した。具体的な成果は以下の通りである。

局所的な情報を考慮した補完手法の改良として、スプライン補完および直線による形状推定法を画像の輪郭線補完へと応用し、曲線補完法および直線補完法を開発、実装した。

大域的な情報を考慮した補完手法の改良として、線対称補完法、回転対称補完法を拡張し、斜交座標系における対称図形に対応可能な斜め対称補完法を開発した。

任意のオブジェクト形状を扱えるように、局所補完(曲線補完法、直線補完法)および大域補完(線対称補完法、回転対称補完法、斜め対称補完法)を組み合わせる統合補完手法を開発した。また、入力図形の図形クラスの判定するためのアルゴリズムを開発した。判定アルゴリズムでは、入力図形に対し、対称パラメータ(斜め対称軸、横軸、回転対称中心、回転オーダー)を算出し、対称図形であるかどうかを判定する。統合補完手法では、対称図形に対しては、対称パラメータに応じて、線対称補完法、回転対称補完法、斜め対称補完法を選択して適用する。それ以外の図形には、輪郭線の曲線性の判定により、曲線補完または直線性補完を選択して適用する。

(2) マッチング処理の改良を目的として、間接照合法における画像キーの新たな選択方法を開発し、その有効性を実験により評価した。また、間接照合法のベクタ画像データベース以外のデータベースへの適用可能性を検証するために、音楽データベース等、さまざまなデータベースへと適用し、その有効性を検証した。具体的な成果は以下の通りで

ある。

間接照合による検索精度を向上させるために、多次元尺度構成法とWard法を組み合わせ、多様なキー画像を得る手法を開発した。その詳細な手順は以下の通りである。まず、データベース中の全画像間で類似度を計算し、類似度マトリクス(距離行列)を生成する(図1(a))。類似度マトリクスを多次元尺度構成法の入力データとして用いて、仮想特徴空間上に各画像を配置する(図1(b))。このとき、類似する画像同士はお互いに近くに、類似しない画像同士はお互いに離れて配置される。最後に、仮想特徴空間上に配置された画像に対し、クラスタリング手法(Ward法)を適用することで、似た画像同士がグルーピングされる(図1(c))。各クラス(グループ)の代表画像(クラスの重心に最も近い画像)をキー画像として選択する(図1(d))。クラスター数を適切に設定することで、多様なキー画像を得ることができる。

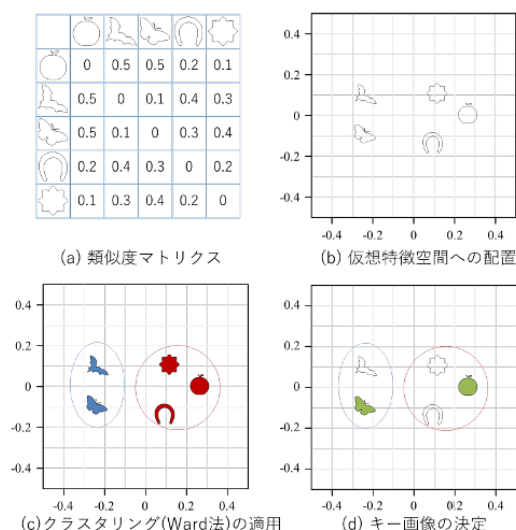


図1. キー画像の選択手順

提案手法の有効性を確認するために、一般に公開されている図形データセット(Mpeg7 CE Shape-1 Part B データセット)を用いた評価実験を行った。実験では、提案手法と従来法であるランダム選択法との検索精度を比較した。実験の結果、提案手法は、従来法よりも高い検索精度が得られることが確認された(図2)。一方で、キー画像数の増加に伴い、提案手法(キー画像選択法)の改善効果は低下し、キー画像数が50程度の場合、精度は従来法とほとんど変わらないことが確認された。これはキー画像数が増大することで、従来のランダム選択でもキー画像の多様性が得られるためであると考えられる。しかし、提案手法は、従来法よりも少数のキー画像数で、高い検索精

度が得られる点が利点である。

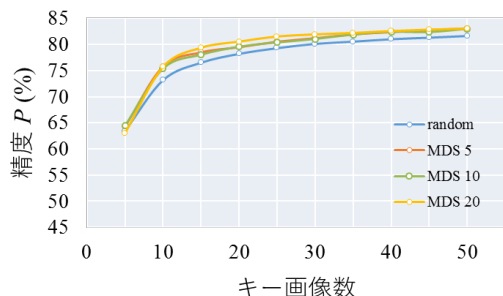


図 2 . 実験結果

間接照合法を音楽データベース, 3D モデルデータベースの類似検索へと応用し, 評価実験を行った. その結果, ベクタ画像データベースの類似検索の場合と同様, これらのデータベースに対しても, 検索精度を維持しつつ, 高速検索が可能となることを確認した.

画像の類似度評価において, 局所的な類似性を評価する手法を新たに開発し, 商標図形データベースの類似検索へと応用した.

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 9 件)

- [1] Takahiro Hayashi, Masaru Hirose, Keisuke Suzuki, "Similarity Retrieval of 3D Model Databases with Query by Clay Sketch", Proceedings of IEEE International Symposium on Multimedia, pp. 395-396, 2016.12, (査読有)
DOI: 10.1109/ISM.2016.0041
- [2] Hiroyuki Morita, Koji Abe, Takahiro Hayashi, "A Similarity Retrieval of Trademark Images Considering Similarity for Local Objects Using Vector Images", Proceedings of the 8th International Conference on Signal Processing Systems, pp. 79-83, 2016.11, (査読有)
DOI: 10.1145/3015166.3015194
- [3] Takahiro Hayashi, Masato Ishimori, Nobuaki Ishii, Koji Abe, "Improvement of Image and Video Matting with Multiple Reliability Maps", Proceedings of IEEE International Symposium on Multimedia, pp. 225-228, 2015.12, (査読有)
DOI: 10.1109/ISM.2015.28
- [4] Takahiro Hayashi, Nobuaki Ishii, Masato Ishimori, Koji Abe, "Stability Improvement of Indirect Matching for Music Information Retrieval", Proceedings of IEEE International Symposium on Multimedia, pp. 229-232,

2015.12, (査読有)

DOI: 10.1109/ISM.2015.29

- [5] Takahiro Hayashi, Tatsuya Ooi, Motoki Sasaki, "Contour Completion of Partly Occluded Objects Based on Figural Goodness", International Journal of Networked and Distributed Computing, Vol. 3, No.3, pp. 185-192, 2015.8, (査読有)
<http://www.atlantis-press.com/publications/ijndc/>
 - [6] Takahiro Hayashi, Tatsuya Ooi, Motoki Sasaki, "Decomposition of Partly Occluded Objects Based on Figural Goodness", Proceedings of IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, pp. 307-312, 2015. 6, (査読有)
DOI: 10.1109/ICIS.2015.7166611
 - [7] Takahiro Hayashi, Motoki Sasaki, "Contour Completion of Partly Occluded Skew-Symmetry Objects", Proceedings of IEEE International Symposium on Multimedia, pp. 90-93, 2014. 12, (査読有)
DOI: 10.1109/ISM.2014.15
 - [8] Takahiro Hayashi, Nobuaki Ishii, Masato Yamaguchi, "Fast Music Information Retrieval with Indirect Matching", Proceedings of 2014 European Signal Processing Conference, pp. 1567-1571, 2014. 9, (査読有)
<http://ieeexplore.ieee.org/document/6952573/>
 - [9] Takahiro Hayashi, Akihiko Sato, Nobuaki Ishii, "Similarity Retrieval of Vector Images with Indirect Matching", International Journal of Semantic Computing, Vol. 8, No. 2, pp. 169-183, 2014.6, (査読有)
DOI: 10.1142/S1793351X14400030
- [学会発表] (計 16 件)
- [1] Takahiro Hayashi, Yusuke Narita, "Interactive Object Extraction from a Video Based on Seed-Line Tracking", Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Systems and Signal Processing, 2016 年 9 月 4 日, New Taipei (Taiwan)
 - [2] 大井 竜也, 林貴宏, 「オブジェクト分解のための「形の良さ」概念のモデル化の検討」, 電子情報通信学会信越支部大会, 2016 年 10 月 8 日, 長岡技術科学大学 (新潟・長岡)
 - [3] 成田悠輔, 林貴宏, 「画像切り抜きと手がかり線追跡を用いた動画内物体抽出」, 電子情報通信学会信越支部大会, 2016 年 10 月 8 日, 長岡技術科学大学 (新潟・長岡)

- [4] 廣瀬優, **林貴宏**, 「3次元ボリュームデータの類似検索システムの試作」, 電子情報通信学会信越支部大会, 2016年10月8日, 長岡技術科学大学(新潟・長岡)
- [5] 廣瀬優, 鈴木奎祐, **林貴宏**, 「粘土による3Dスケッチを用いた類似3Dモデル検索の検討」, 日本設備管理学会北信越支部研究発表会, 2016年9月10日, ITビジネスプラザ武蔵(石川・金沢)
- [6] 盛田宏幸, 阿部孝司, **林貴宏**, 「ベクタ画像を用いた類似商標検索手法」, 電気・情報関係学会九州支部第69回連合大会, 2016年9月27日, 宮崎大学(宮崎・宮崎)
- [7] 宇佐見光平, 阿部孝司, **林貴宏**, 田海燕, 「商標図形に存在する連続性要因を持つ群化領域の認識」電子情報通信学会関西支部学生会研究発表講演会, D1-1, 2016年3月1日, 兵庫県立大学(兵庫・姫路)
- [8] Masaru Hirose, Takahiro Hayashi, "Development of a System for Similarity Retrieval of 3D Volume Data", Proceedings of Japan China Workshop on Production and Logistics Systems, pp. 38-41, 2016年2月16日, 石川四高記念文化交流館(石川・金沢)
- [9] 石井伸明, **林貴宏**, 「間接照合法における検索精度安定化へ向けた代理クエリ選択手法」, 電子情報通信学会信越支部大会, 8C-1, p. 113, 2015年10月3日, 新潟工科大学(新潟・柏崎)
- [10] 石森将斗, **林貴宏**, 「信頼度マップを用いた画像 Matting の品質改善」, 電子情報通信学会信越支部大会, 10A-1, p. 130, 2015年10月3日, 新潟工科大学(新潟・柏崎)
- [11] 佐々木基貴, **林貴宏**, 「部分的に遮蔽された線対称図形に対する輪郭線補完の改良」, 電子情報通信学会信越支部大会, 10A-2, p. 131, 2015年10月3日, 新潟工科大学(新潟・柏崎)
- [12] 古谷嘉章, 阿部孝司, **林貴宏**, 田海燕, 「ベクタ画像を対象とした抽象図形の概外形で知覚できる曲線セグメントの認識」, 電子情報通信学会関西支部学生会研究講演会, D3-3, 2015年3月5日, 神戸大学(兵庫・神戸)
- [13] 竹井雄太郎, **林貴宏**, 「セルフオクルージョンに対応した動画内物体抽出」, Japan China Workshop on Production and Logistics Systems, pp. 75-78, 2015年2月20日, 石川四高記念文化交流館(石川・金沢)
- [14] 佐々木基貴, **林貴宏**, 「部分的に遮蔽された斜め対称図形の輪郭線補完の検討」, 電子情報通信学会信越支部大会, p. 39, 2014年10月4日, 信州大学(長野・長野)
- [15] 石井伸明, **林貴宏**, 「間接照合法に

- よる高速音楽情報検索の検討」, 電子情報通信学会信越支部大会, p. 100, 2014年10月4日, 信州大学(長野・長野)
- [16] 竹井雄太郎, **林貴宏**, 「ノンリジッドオブジェクトに対応した動画内物体抽出の検討」, 日本設備管理学会北信越支部研究発表会, pp.13-16, 2014年5月21日, 金沢大学(石川・金沢)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 貴宏 (HAYASHI, Takahiro)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号: 60342490