

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700109

研究課題名(和文) Web 応用へ向けたベクタ画像検索システムの研究開発

研究課題名(英文) Development of a vector image retrieval system as a practical web application

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) 2,800,000 円、(間接経費) 840,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究では実用的なWeb応用としてベクタ画像検索システムを開発することを目標としている。研究成果は以下のとおりである。(1)ベクタ画像検索の前処理で利用されるラスタベクタ変換法を開発した。開発した手法は、複数の図形が部分的に重なっている場合に、輪郭線の局所的連続性および対称性を考慮して被遮蔽図形の輪郭を正しく抽出できる点の特徴である。(2)データベース規模の増大に対応するために、図形間の類似性評価を高速に行う手法である間接照合法を開発した。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study is to develop a vector image retrieval system as a practical web application. The achievements are as follows. (1) A method for raster-vector conversion was developed. The method has the advantage that it can accurately extract partly occluded objects by considering the continuity and symmetrical structures of the contours. (2) In order to deal with a larger scale database, a fast object matching method called indirect matching was developed.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：情報検索 ベクタ画像

1. 研究開始当初の背景

近年、Web 上でのベクタ画像の利用が増加している。ベクタ画像は拡大縮小による画質の劣化がなく、データサイズも小さいという利点があり、特に、Web 上でのコンテンツ表現によく利用されている。一方で、ベクタ画像を検索するシステムの研究開発はあまり進んでおらず、効率的な検索システムの実現が期待されている。

2. 研究の目的

本研究はベクタ画像検索システムの構築を目指している。これまでの準備状況として、平成 21～22 年度に科学研究費補助金若手研究(B)(課題番号 21700101)による助成を受け、ベクタ画像検索システムの前処理部であるオブジェクト抽出処理の開発、および、スケッチに基づくベクタ画像検索システムの試作を行った。これらの研究の結果、以下の限界点が判明しており、実用的な Web 応用へ向け、これらの解決を本研究での目的とする。

目的 オブジェクト抽出の改良

これまでに開発したオブジェクト抽出処理では、複数のオブジェクトが部分的に重なっている場合に、正確に分離できないという限界点が判明している。そこで、人間の被遮蔽図形の輪郭を推測する視知覚特性であるアモーダル補完に着目し、アモーダル補完をモデル化し、計算機による複数オブジェクト分離の実現を目的とする。

目的 マッチング処理の高速化

また、試作したスケッチに基づくベクタ画像検索システムは、図形マッチングの計算コストが大きく、大規模なデータベースを扱うことができず、実用性に問題がある。そのためマッチング処理の高速化を目的とする。

3. 研究の方法

(1) オブジェクト抽出の改良法

視覚心理学分野において、アモーダル補完が行われる図形形状の局所的特徴および大域的特徴が定性的に示されている。これらの研究結果を踏まえ、本研究では、局所の特徴である輪郭線の連続性、大域的特徴である回転対称性と線対称性を考慮した図形の輪郭線補完法(方法 1～方法 3)を開発した。

(方法 1) 輪郭線の連続性を考慮した補完

図形の局所的形状特徴を用いた輪郭線補完には、曲線による補完を用いる。この方法は、輪郭線補完の問題を、輪郭線を構成する点列の曲線補間(内挿)の問題とみなし、スプライン曲線により端点間をなめらかに接続し、補完を実現する。

(方法 2) 回転対称性を考慮した補完

回転対称性を考慮した補完方法では、輪郭

の一部が欠損した図形から、その図形の回転中心および回転角を検出し、図形を回転角の整数倍回転させ、欠損部分の情報を得る。

輪郭の一部が欠損した回転対称図形の回転中心、回転角を検出する手法は自明ではなく、新たに開発する必要があった。

開発した手法は、回転対称図形の輪郭の曲率が周期性を持つことに着目し、曲率の自己相関関数を求める。自己相関関数のピークの情報から、輪郭線上の対応点および回転中心を検出する。

(方法 3) 線対称性を考慮した補完

線対称図形に対する補完方法は、輪郭の一部が欠損した図形から、その図形の線対称軸を検出し、図形を線対称軸に対し折り返すことで、欠損部分の情報を得る。

輪郭の一部が欠損した線対称図形の線対称軸を検出する手法は自明でなく、本研究で新たに開発する必要があった。

開発した手法は、線対称図形の輪郭の曲率が線対称軸上の点で対称になるという性質に着目している。そこで曲率の相互相関関数を求め、相互相関関数のピーク間の間隔の情報から線対称軸を検出する。

(2) ベクタ画像検索の高速化法

過去に試作したベクタ画像検索システムは、入力される図形(クエリ図形)とデータベース中の全図形との形状類似性を、EMD(Earth Mover's Distance)と呼ばれる距離尺度を利用して判定していた。しかし EMD 計算は計算コストが大きく、データベースサイズの増大に対応できない。そこで、本研究では、間接照合法と呼ばれる高速化法を開発した。

開発した手法では、少数の代理クエリ図形と呼ばれる図形を用いて、実際の検索の前にオフラインでデータベースを検索する。すなわち、データベース中の全図形と全代理クエリとの間で EMD 計算により類似度をあらかじめ求める。求めた類似度は類似度テーブルに記録しておく。この処理はオフラインで行われるため、実際の検索の実行時間には影響せず、時間がかかっても構わない。

実際の検索時(オンライン処理)は、リアルタイム性が要求されるため、時間がかかるクエリ図形とデータベース内の各図形との直接的な照合を避け、その代わりに、クエリ図形と各代理クエリ図形との間の照合を行う。各代理クエリとクエリ図形との類似度は、1つの類似度ベクトルとしてまとめられる。

次に、類似度ベクトルと、あらかじめ作成しておいた類似度テーブルの各列ベクトル(データベースの各図形と各代理クエリとの類似度を表す)との類似性を順に評価する。類似性は、ベクトル間のユークリッド距離で評価する。

開発手法は、データベース内の各図形とクエリ図形との類似性を、EMD 計算による直

接評価ではなく、類似度ベクトルのユークリッド距離により間接的に評価する点が特徴である。そのため、この手法を間接照合法と名付けた。

間接照合法では検索実行時の EMD 計算を代理クエリの個数分だけ行えばよく、EMD 計算の回数を大幅に削減でき、照合の高速化が実現できる。

4. 研究成果

(1) オブジェクト抽出の改良法

一部が重なった図形に対して、人間による補完結果と開発手法による補完結果を比較する実験を行った。実験に使用した図形例と補完結果を図 1 に示す。(a) は元画像、(b) は補完対象図形(入力図形)、(c) は人間による補完結果、(d) は開発手法による補完結果である。人間による補完の結果(c) と提案手法による補完の結果(d) を比較すると、同一の結果を出力できていることが確認できた。したがって、これらの図形に対し、提案手法によって、人間の視知覚特性であるアモータル補完を考慮したオブジェクト抽出が可能となった。

自己相関、相互相関を用いる方法 2, 3 は入力図形が、ゆがみのない回転対称図形、線対称図形である必要がある。しかし、例えば、桜の花びら、人の顔のように、わずかに歪みがある対称図形に対しても、人間はおおよそ回転対称図形、線対称図形であると判断し、遮蔽された輪郭部分を予想できる。開発した手法をさらに改良し、歪みのある対称図形にも対応できるようにすることは、より人間の感覚に近いオブジェクト抽出を実現する上で重要である。手法の改良は、今後も引き続き検討していく。

(2) ベクタ画像検索の高速化

間接照合法の有効性を評価するためにベクタ画像で表現される商標図形の類似検索実験を行った。データベースには約 1100 件の商標図形が含まれる。入力されるクエリ図形は、ユーザがスケッチした図形である。スケッチは、ストローク単位でベジエ曲線に変換されており、ベクタ画像として表現されている。間接照合法で用いた代理クエリの枚数は 15 枚である。

図 2 に実験結果の一例を示す。図には入力されたスケッチ(クエリ図形)、データベース内の正解図形、間接照合法による検索での正解図形の出力順位、検索に要した時間を示している。また、評価のベースラインとして、既存手法である直接照合の検索順位、検索速度を示している。

実験結果から、開発した間接照合は直接照合に比べ大幅に検索時間を短縮でき、高速検索が達成できた。

一方で、直接検索法よりも正解画像の出力順位が低下してしまう場合もあった。このことから、間接照合法は検索速度の大幅な向上

は得られるが、検索精度の面で改善の余地があると言える。

現時点で、検索精度は代理クエリの組み合わせを変えることで改善することが判明している。適切な代理クエリの選択法の開発が今後の課題として残されている。

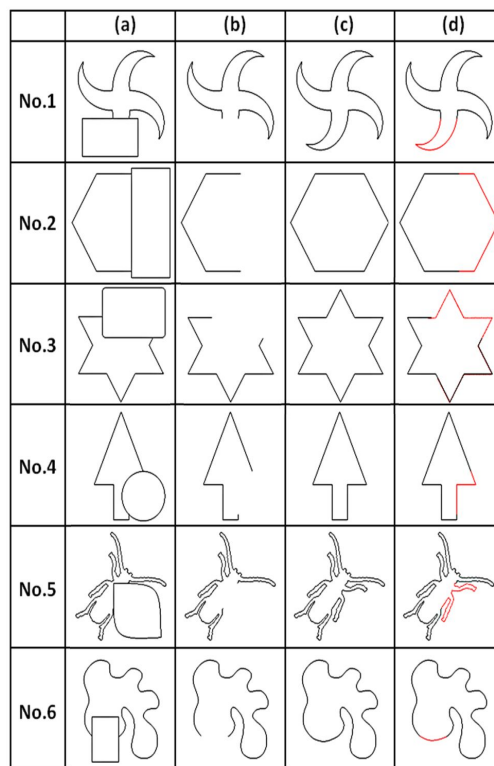


図 1 . 輪郭線補完実験 (結果の一例)

クエリ図形	正解図形	間接照合(提案手法)		直接照合(既存手法)	
		検索順位	検索時間(秒)	検索順位	検索時間(秒)
		1	0.0017	1	31.62
		1	0.0016	1	53.83
		1	0.0014	1	25.63
		9	0.0015	1	43.14
		4	0.0016	1	40.52
		1	0.0019	1	52.2

図 2 . 商標図形検索実験 (結果の一例)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

Takahiro Hayashi, Akihiko Sato, Nobuaki Ishii, "Similarity Retrieval of Vector Images with Indirect Matching", International Journal of Semantic Computing, 2014 (in press) (査読有)

Takahiro Hayashi, Akihiko Sato, "Fast Similarity Retrieval of Vector Images Using Representative Queries", Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia, pp. 498-499, Anaheim, California USA, 2013. 12 (査読有)

林貴宏, 植木峻介, 阿部孝司「ラスタベクタ変換における部分遮蔽図形の輪郭線補完」電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J96-D, No. 11, pp. 2804-2814, 2013.11 (査読有)

Takahiro Hayashi, Misato Kato, "Contour Completion of Partly Occluded Objects for More Natural Raster-Vector Conversion", Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, pp. 3527-3531, Melbourne, Australia, 2013. 9 (査読有)

Takahiro Hayashi, Yutaro Takei, "Extraction of Non-rigid Moving Objects from a Video with Interactive Image Cutout and Seed-line Tracking", Proceedings of IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS2013), pp. 547-548, Niigata, Japan, 2013. 6 (査読有)

Brice Befane, Koji Abe, **Takahiro Hayashi**, "A Method for Extracting Grouping Areas of Good Continuity Parts in Trademark Images", Proceedings of International Conference on Image and Vision Computing New Zealand, pp. 295-300, Dunedin, New Zealand, 2012. 11 (査読有)

Takahiro Hayashi, Yuta Watanabe, "Video Object Extraction with Interactive Image Cutout and Active Search", Proceedings of IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp. 526-531, Victoria, Canada, 2011.8 (査読有)

Ryosuke Fujita, **Takahiro Hayashi**, "Vector Image Retrieval Based on Approximation of Bezier Curves with Line Segments", Proceedings of IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp. 431-436, Victoria, Canada, 2011.8 (査読有)

(学会発表)(計 7 件)

石井伸明, 佐藤陽彦, **林貴宏**, 「間接検索法による高速類似画像検索の検討」, 電子情報通信学会総合大会情報・システム講演論文集 2, p. 87, 新潟, 2014. 3. 18-21

佐々木基貴, **林貴宏**, 「ラスタベクタ変換における斜め対称図形の輪郭線補完の検討」, 電子情報通信学会総合大会, 情報・システム講演論文集 2, p.102, 新潟, 2014. 3. 18-21

Akihiko Sato, **Takahiro Hayashi**, "Fast Vector Image Retrieval with Indirect Similarity Evaluation Approach", International Conference on Active Media Technology, Maebashi, Japan, 2013. 10. 29-31

植木峻介, **林貴宏**, 「ラスタベクタ変換のための線対称図形の輪郭線補完の改良」, 電子情報通信学会信越支部大会, p. 88, 長岡, 2013. 10. 5

佐藤陽彦, **林貴宏**, 「間接形状照合に基づく高速図形検索」, 日本設備管理学会北信越支部研究発表大会, pp. 13-16, 金沢, 2013. 5. 31 (優秀発表賞受賞)

澤村智樹, 阿部孝司, **林貴宏**, 「ベクタ画像内で知覚される直線セグメントの認識」, 電子情報通信学会関西支部第 18 回学生会研究発表講演会, D7-1, 大阪, 2013. 3.6

植木峻介, **林貴宏**, 「図形の線対称性を用いた輪郭線補完」, 電子情報通信学会画像工学研究会, pp.229-234, 富山, 2012. 3. 5

〔産業財産権〕

取得状況(計 1 件)

名称: Foreground Region Extraction Program, Foreground Region Extraction Apparatus and Foreground Region Extraction Method
発明者: Rikio Onai, **Takahiro Hayashi**, Tatsusy Kiyono, Masaya Mori, Masahiro Sanjo
権利者: 同上
種類: 特許
番号: US8611648
取得年月日: 2013 年 12 月 17 日
国内外の別: 国外(PCT 経由アメリカ合衆国)

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