

令和 6 年 6 月 1 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11834

研究課題名（和文）要部間結合強度を考慮した類似ベクタ画像検索システムの研究開発

研究課題名（英文）Research and Development of a Similar Vector Image Search System Considering Key Part Binding

研究代表者

林 貴宏（Hayashi, Takahiro）

関西大学・総合情報学部・教授

研究者番号：60342490

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究はベクタ画像を対象とした要部観察に基づく類似画像検索サービスの実現を目標として、以下の成果を得た。（1）画像の要部認識手法として、深層学習に基づきイラスト画像における要部を抽出する手法を開発し、実験によりその有効性を評価した。（2）要部間の位置関係を考慮して類似性を評価する要部観察に基づく類似ベクタ画像検索システムを試作し、評価実験を行った。（3）検索システムにおける類似性評価の高速化アルゴリズムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

図形の要部判定に寄与する人間の視覚認知特性は多岐に及び、また、暗黙知の存在から、すべての要部判定対象を網羅的・形式的に表現することには限界がある。本研究では、転移学習を応用することで、限られたデータセットからでも、形式的表現の獲得が困難な対象に対する要部判定に寄与するモデルの自動獲得が可能であることを示した。既存の知識駆動型モデルを補完するものであり、組み合わせることで要部判定の精度向上につながる事が期待できる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to realize a similar image search service based on key part observation for vector images and achieved the following results. (1) As a key part recognition method, we developed a method to extract key parts in illustration images based on deep learning and evaluated its effectiveness through experiments. (2) We prototyped a similar vector image search system based on key part observation, which evaluates similarity by considering the positional relationships between key parts, and conducted evaluation experiments. (3) We developed an algorithm to speed up the similarity evaluation in the search system.

研究分野：マルチメディア・データベース

キーワード：ベクタ画像 画像検索 情報検索

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

類似商標図形検索などに代表されるような図形検索の研究においては、これまで全体観測に基づく類似判断モデルの構築が研究の中心テーマであった。一方で、人間が全体観測に基づく類似判断を原則としつつ、要部として認識される図形要素を含む場合には、要部観察に基づく類似判断を行っている。要部観察に基づく類似検索の仕組みをベクタ画像の検索へと応用する。要部観察に基づく類似性判断モデルを構築できれば、計算機によって要部観察に基づく類似性判断が可能な検索システムが実現でき、人間と同等の類似判断能力を計算機に持たせることが可能となり、意義が大きい。

### 2. 研究の目的

本研究はベクタ画像を対象とした要部観察に基づく類似画像検索サービスの実現を目標としている。この目標を達成するために、本研究では、(1) 転移学習を応用した要部判定モデルの構築と評価、(2) 要部間の位置関係を考慮して類似性を評価する、要部観察に基づく類似商標図形検索システムの構築と評価、(3) 要部観察に基づく類似性評価の高速化アルゴリズムを開発と評価、を目的とする。

### 3. 研究の方法

「2. 研究目的」の(1)～(3)に対して行った研究方法は以下の通りである。

#### (1) 転移学習を応用した要部判定モデルの構築と評価

要部判定処理は、画像中のオブジェクトの抽出処理と関係しており、近年では、深層学習を用いる手法が精度面でも優れた性能を示している。一方で、既存手法は、人物写真のように写実的に表現された画像に含まれるオブジェクトに対しては、高い精度で抽出可能であるが、イラストや図形など、抽象的に表現された画像に対しては十分な精度が得られず、そのままでは利用できない問題がある。そこで、本研究では、イラストなどの画像に対してもオブジェクトを抽出できるようにするため、既存の学習済みモデルを転移学習によりイラストに適用する。さらに、生成ネットワークに基づく手法に着目し、これによりイラストを、一旦写真のような写実的な表現へと変換し、変換された表現に対して、既存手法によりオブジェクトの輪郭抽出を行い、得られた輪郭を、オリジナルのイラスト画像内のオブジェクトの位置の手がかりとして利用する手法を構築する。

#### (2) 要部観察に基づく類似商標図形検索システムの構築と評価

要部観察に基づく類似商標図形検索可能とするシステムは、図1のように、ユーザがクエリとして部分領域を表すオブジェクトの集合を入力し、システムは、データベース中からユーザが入力したクエリと類似する領域(オブジェクト集合)を含む図形データを出力する。これを実現するために、本研究では、ベクタ画像によって表現されている商標図形データを検索対象とする。ベクタ画像は、パスやポリゴンなどのパラメータ表現されたプリミティブオブジェクトの集合によって定義される画像である。図形中の部分領域は、ベクタ画像を構成するプリミティブオブジェクトの部分集合によって表現可能である。オブジェクト同士の比較を繰り返す高コストな照合計算処理が要求されるため、本研究では、間接照合法を拡張することでリアルタイムでの検索処理を実現する。

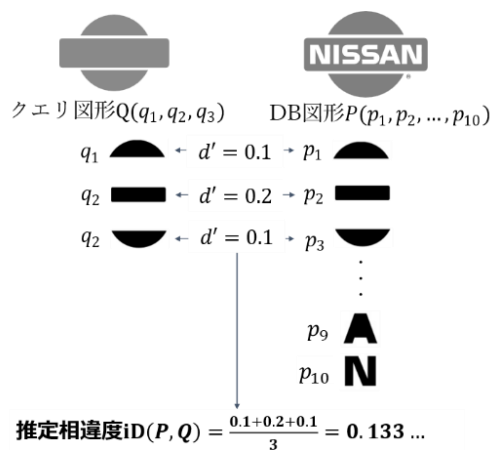


図1. 要部観察に基づく類似画像検索の例

#### (3) 要部観察に基づく類似性評価の高速化アルゴリズムを開発と評価

図形間の類似判定においては、局所領域間の関係性(コンテキスト)を考慮する必要があり、EMD(Earth Mover's Distance)やSCD(Shape Context Distance)などの距離が利用されてきた。一方で、コンテキストを考慮した距離は計算量が大きく、膨大な数のデータが記録されている図形データベースの検索へと応用すると、リアルタイムでの応答が困難という問題があった。この

問題を解決するために、本研究では、これまでに間接照合法を開発し、類似図形検索の高速化を図り、リアルタイム処理を可能とした。一方で、間接照合法は、あらかじめサンプリングしておく代理クエリの組み合わせによっては、検索精度が低下する問題が確認されている。さらに、代理クエリは、実際にユーザから入力される図形クエリによっても、その最適な組み合わせは変化することが確認されている。そこで、検索システムの精度安定のために、実際に入力されるクエリに応じて、代理クエリの組み合わせを動的に切り替える手法（動的選択モデル）を新たに開発する。

#### 4. 研究成果

(1) ~ (3) にたいする研究成果は以下のとおりである。

##### (1) 転移学習を応用した要部判定モデルの構築と評価

要部判定に寄与する人間の視覚認知特性は多岐に及び、また、暗黙知の存在から、すべての要部判定対象を網羅的・形式的に表現することには限界がある。転移学習を応用することで、限られたデータセットからでも、形式的表現の獲得が困難な対象に対する要部判定に寄与するモデルの自動獲得が可能であることが示唆された。この結果は、既存の知識駆動型モデルを補完するものであり、組み合わせることで要部判定の精度向上につながると示唆される。

近年、画像が持つ構造情報に着目する類似画像検索の研究は増加してきているものの、いずれも全体観測に基づく類似性判断モデルを採用するに留まっている。本研成果は、要部観察に基づく類似性判断を取り入れた点、さらに、転移学習による自動獲得モデルを要部判定に取り入れた点で、競合研究よりも先行しており、類似ベクタ画像検索の性能を向上させることに貢献するものである。

##### (2) 要部観察に基づく類似商標図形検索システムの構築と評価

実験で使用したデータセットは、企業の製品のインターネット上で公開されているロゴを、トレースして SVG(Scalable Vector Graphics)ファイルへと変換したものを使用した。収集した図形は 1123 個であり、これら図形を表現するために使用されているプリミティブオブジェクトの総数は 20689 個となり、図形 1 つの平均プリミティブオブジェクトの数は 18.4 個となった。また、いくつかのデータベース図形から、要部としてひとまとまりになっていると考えられる部分を人手で切り取り、切り取った部分領域 52 個をクエリとした。実験結果では、間接照合法において、代理クエリとしてサンプリングされるプリミティブオブジェクトの数が増えるほど検索精度が高くなる傾向が確認され、最大で、直接照合法(クエリと各データベース内の図形との逐次照合を行っていく一般的な手法)の約 92%の精度となった。一方で、検索時間の比較では、直接照合法の 17.497 秒に対し、間接照合法は 0.005 秒であり、大幅な高速化が実現できた。以上の結果から、要部観察に基づく類似画像検索において、間接照合法を用いることで、高い検索精度を維持しつつ、高速検索が可能であることが確認された。

##### (3) 要部観察に基づく類似性評価の高速化アルゴリズムを開発と評価

本研究で開発した間接照合法動的選択モデルは、代理クエリの組み合わせを、検索実行時に動的に変更することを特徴としている。代理クエリを動的に変更する方法として、二つのバリエーションを開発した。一つ目(改良法 1)は、代理クエリをユーザが入力したクエリのみ依存させて決定する。二つ目(改良法 2)は、代理クエリをクエリ図形だけでなく、各データベース図形にも依存させて決定する。これらの 2 つの改良法の効果を確認するために、図形データの公開データセット MPEG 7 CE Shape-1 Part B Dataset を用いた評価実験を行った。実験では、これら二つの改良法の検索精度および検索時間を、既存手法(代理クエリを固定して使用する既存の間接照合法(静的選択と呼ぶ)および直接照合法)と比較した。実験結果は図 2 のようになり、二つの動的選択法は、静的選択法よりも高い検索精度が得られることが判明した。実行時間の比較では、代理クエリ数を 50 とした場合、静的選択の 0.30 秒が最も高速であり、改良法 1, 2 は、ともに 3.01 秒であった。これら実行時間の増加は、代理クエリの動的選択処理によるものである。一方で、直接照合の検索時間が 63.27 秒であることから、上記の増加分を加味したとしても十分な高速化が実現できていると言える。

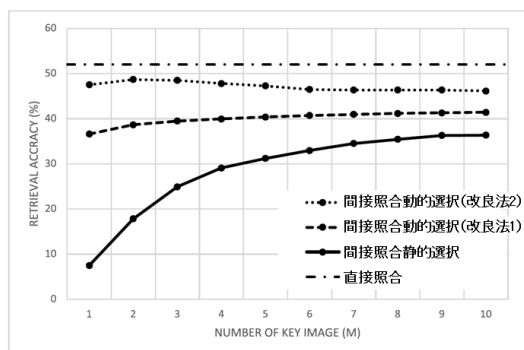


図2 検索精度比較

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 柴田 悠也、林 貴宏	4. 巻 J107-D
2. 論文標題 類似図形検索の精度向上のための間接照合法の拡張	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D 情報・システム	6. 最初と最後の頁 43～52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14923/transinfj.2023JDP7008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Maeda Yusuke、Hayashi Takahiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Scene Classification in FPS Game Videos Based on Acoustic Information	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Conference on Games (IEEE CoG)	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/CoG57401.2023.10333191	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsuura Yuki、Hayashi Takahiro	4. 巻 Article 47
2. 論文標題 AniCropify: Image Matting for Anime-Style Illustration	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of ACM Multimedia Asia	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3595916.3626419	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsuura Yuki、Hayashi Takahiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Accurate Image Cutout Using Automatically Generated Trimaps	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of International Congress on Advanced Applied Informatics	6. 最初と最後の頁 335-338
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IIAIAAI55812.2022.00074	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 林 貴宏	4. 巻 56
2. 論文標題 Research Introduction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報研究 : 関西大学総合情報学部紀要	6. 最初と最後の頁 117 ~ 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32286/00028154	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shibata Yuya, Hayashi Takahiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Indirect Matching Using Dynamic Cues for Effective Similar Shape Retrieval	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of International Congress on Advanced Applied Informatics	6. 最初と最後の頁 83-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IIAI-AAI53430.2021.00014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 三田村周, 林貴宏
2. 発表標題 Deep Image Matting におけるスキップ接続の有効性の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田悠也, 林貴宏
2. 発表標題 最長距離モデルを導入した間接照合法による類似図形検索
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松浦祐樹, 林貴宏
2. 発表標題 自動生成トライマップを用いた高精度画像切り抜き手法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中澤美結, 林貴宏
2. 発表標題 前景領域手がかりのみを用いた画像切り抜き手法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 画像抽出方法、画像抽出装置、画像抽出プログラム、記録媒体	発明者 林貴宏	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-063694	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------