

(39) 画像特性を用いたロバストな部分画像検索システムの研究開発

Research and Development of System for Robust Partial Image Retrieval
Using Image Characteristic福島佑樹¹・北川悦司²・田中成典³・安彦智史⁴

Fukushima Yuki, Kitagawa Etsuji, Tanaka Shigenori, and Abiko Satoshi

抄録：近年、デジタルカメラの普及や携帯電話・スマートフォンへのカメラの搭載が一般的となり、個人・企業によらずデジタル画像を扱う機会が急増している。また、記憶媒体の大容量化やインターネットの普及により撮影した画像を大量に保存した画像データベースが構築されつつある。しかし、これらの画像データベースが膨大になるほど目的の画像の発見が困難となる。さらに、目的の画像の検索に要する時間は、画像データベースのファイル数に比例して増加する。そこで、本研究では、色情報や位置関係といった画像の特性をテンプレートとして作成し、検索問い合わせ画像と検索対象画像のテンプレート間の関連性を算出することで、画像の変形に強靱で高速かつ汎用的な部分画像検索システムを開発する。

キーワード：画像検索、画像特性、画像データベース、MMS

Keywords : Image Retrieval, Image Characteristic, Image Database, Mobile Mapping System

1. はじめに

近年、デジタルカメラの普及や携帯電話・スマートフォンへのカメラの搭載が一般的となり、個人・企業によらずデジタル画像を扱う機会が急増している。また、記憶媒体の大容量化やインターネットの普及により、撮影した画像を大量に保存した画像データベースが構築されつつある。膨大な画像データベースの構築は、土木分野において特に顕著であり、工事写真、出来形管理写真、維持管理における記録写真やモバイルマッピングシステム（MMS：Mobile Mapping System）から得られた道路画像など多種多様な画像が膨大に保存されている。しかし、これらの画像データベースが膨大になるほど目的の画像の発見が困難となる。さらに、目的の画像の検索に要する時間は、検索対象画像のファイル数に比例して増加する。そのため、膨大な画像データベースから目的の画像を高速に検索する技術が注目されている。

画像検索は、画像に付与されたテキストに基づく検索¹⁾（TBIR：Text-Based Image Retrieval）と画像の内容に基づく検索^{2)~5)}（CBIR：Content-Based Image Retrieval）の2つに分類できる。前者は、画像の内容を考慮しないため高速であるが、必ずしも画像にテキストデータが付与されているとは限らないという問題と、テキストのみでは画像の詳細を表現できないという問題があ

る。後者は、目的の画像の特徴と検索対象画像の特徴の類似度に基づいて検索するため、汎用性、精度共に高いが、計算コストが高く検索に時間を要するという問題がある。そのため、CBIRにおいて高速に検索を行う手法が切望されている。

CBIRの中でも、商標や標識などが画像データベースに含まれているかを検索する技術は、特に部分画像検索と呼ばれる。部分画像は、報告書、インターネットやカタログへの掲載に用いられることが多い。このことから、検索問い合わせ画像が検索対象画像と比較して拡大・縮小や回転されていることが多く、検索対象画像中における出現箇所も不明であるため、画像全体を比較する手法と比べて困難である。また、検索問い合わせ画像を拡大・縮小や回転させながら検索対象画像と比較する必要があるため、計算コストも高く処理時間が膨大となる。

部分画像検索のアプローチとして、物体領域を抽出する手法²⁾や、画像を部分領域に分割し、部分領域間の類似度を比較する手法³⁾が提案されている。しかし、これらの手法では、拡大・縮小や回転といった画像の変形を考慮していないため、適用可能な画像が限定されるという問題がある。また、画像の変形を考慮した手法^{4),5)}も提案されているが、対象を固定しており汎用性が低い。

そこで、本研究では、色情報や位置関係といった画

1：学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科

(〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号, Tel :072-690-2154, E-mail : fukushima@kansai-labo.co.jp)

2：正会員 博士(情報学) 阪南大学 准教授 経営情報学部 (〒580-8502 大阪府松原市天美東5丁目4番33号)

3：正会員 工学博士 関西大学 教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

4：学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

像の特性をテンプレートとして作成し、検索問い合わせ画像と検索対象画像のテンプレート間の関連性を算出することで、画像の変形に強靱で汎用的な部分画像検索システムを開発する。また、本システムでは、テンプレートを簡易なデータとして作成することで、検索の計算コストを減らし、高速な部分画像検索システムを実現する。

2. システム概要

本研究では、検索問い合わせ画像の画像特性をテンプレートとして作成し、同様に作成した検索対象画像のテンプレートと比較を行うことで画像の変形に強靱な高速部分画像検索システムを開発する。本システムの概要を図-1に示す。

本システムの入力データとしては、画像データベースから抽出する対象が含まれた検索問い合わせ画像を入力する。また、検索問い合わせ画像に含まれる任意の画素値を入力する。出力データとしては、検索問い合わせ画像の内容が含まれた画像データベース中のマッチング画像と検索問い合わせ画像の拡大率及び回転角度を出力する。

本システムの処理フローとしては、画像特性テンプレートの作成処理と画像特性テンプレートのマッチング処理から構成される。画像特性テンプレートの作成処理では、画像中の色情報や位置関係に基づいて検索に用いるテンプレートを作成する。画像特性テンプレートのマッチング処理では、画像特性テンプレート作成処理で作成した検索問い合わせ画像と検索対象画像のテンプレート同士を比較し、類似度を算出することで、類似度が一定以上の画像を検索結果として出力する。

3. 画像特性テンプレートの作成処理

部分画像とは、元画像から一部分をトリミングした画像を指す。本研究では、部分画像には拡大・縮小や回転などの変形を加えられていることが多いという特性から、変形された画像において元画像と比例の関係を持つ面積と距離に着目した。画像を幅・高さともに N 倍した場合、同色の画素の面積は N^2 倍となり、画像中の画素間の距離は N 倍となる。これは、画像が回転された場合においても位置関係が異なる点以外は同様である。そのため、画素面積と画素間距離を比較することで、拡大・縮小と回転に強靱な検索が可能である。しかし、拡大や縮小された画像は、元画像と比べて画素が補間されるため、単純な画素比較は困難である。また、圧縮画像と非圧縮画像についても同様に画素比較は困難である。そこで、本処理では、以下の機能を

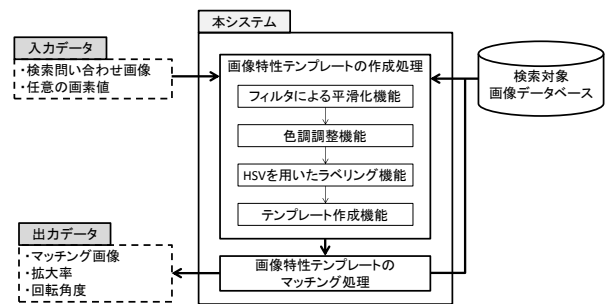


図-1 システムの概要図

順次適用することで画像特性テンプレートを作成する。

（1）フィルタによる平滑化機能

本機能では、画像の拡大・縮小や圧縮・非圧縮による画素の差異を緩和するため、フィルタによる画像の平滑化を行う。画像の平滑化は、注目画素と注目画素の周辺8近傍の輝度値を平均する平均化フィルタを用いる。本機能により、画像の拡大・縮小や圧縮・非圧縮による画素の差異を緩和することで、本システムは、変形された画像や様々なフォーマットの画像に対応する。さらに、平滑化によってノイズが除去されるため、後述のラベリングにおける正確な画素面積の算出が可能となる。

（2）色調調整機能

本機能では、後述のラベリング処理においてラベルの分割を防ぐため、平滑化した画像の色調を32階調に調整する。変形された画像と元画像では、平滑化処理を行った場合においても画素単位での微少な誤差が発生する。そのため、ラベリング処理において、変形された画像と元画像でラベリングの差異が発生する可能性がある。本システムでは、画素面積と画素間距離に基づいて検索するため、ラベリングの誤差は精度に影響する。そこで、本機能により、本来の画像から色調を32階調に落として処理することで、ラベリング処理において輝度値の近い画素を同じラベルとして設定することが可能となる。

（3）HSVを用いたラベリング機能

本機能では、HSV色空間を用いて画像をラベリングする。HSV色空間とは、色の種類を示す色相、色の鮮やかさを示す彩度と色の明るさを示す明度から成る色空間である。画像処理においては、RGB色空間が一般的に用いられるが、「同じような色」という人間的な感覚を用いて抽出することは困難である。HSV色空間は、人間の知覚に基づいた色空間であり、「同じような色」といった感覚的な抽出に有効である。本機能では、入力データである任意の輝度値をHSV色空間に変換し、色相、彩度と明度がそれぞれ閾値以内となる画素をラベリング対象とする。ただし、ラベリング結果の各ラベルについて、画素面積が閾値以内のラベルについてはノイズとして除去する。また、画像の最外周

にかかるラベルも除去する。

(4) テンプレート作成機能

本機能では、ラベリング結果から画像特性テンプレートを作成する。本機能で作成するテンプレートは、各ラベルに対しての画素面積と重心の画素位置である。

4. 画像特性テンプレートのマッチング処理

本処理では、画像特性のテンプレート作成処理で作成したテンプレート間の関連度を算出することで、検索問い合わせ画像が検索対象画像に含まれるか判定する。具体的には、まず、検索問い合わせ画像のテンプレートから画素面積が広い3つのテンプレート T_a, T_b, T_c を取得する。ここで、画素面積が広いテンプレートを選択した理由は、画像によっては画素面積が小さくノイズとなるテンプレートが無数存在する可能性があるためである。次に、検索問い合わせ画像の2つのテンプレート(T_a, T_b)について、重心間距離 D_{ab} を求める。さらに、検索対象画像の任意の2つのテンプレート(T_x, T_y)について、同様に重心間距離 D_{xy} を求める。最後に、2組のテンプレート間の類似度 S_{abxy} と S_{abxy}' を式(1)より算出する。ここで、 $A(T)$ は、テンプレート T の画素面積を示し、 S_{abxy}' は、画素面積の比較対象を逆にした場合の類似度を示す。

$$\begin{aligned} S_{abxy} &= \left(\frac{A(T_x)}{A(T_a)} + \frac{A(T_y)}{A(T_b)} \right) \cdot \left(\frac{D_{ab}}{D_{AB}} \right)^2 \\ S_{abxy}' &= \left(\frac{A(T_x)}{A(T_b)} + \frac{A(T_y)}{A(T_a)} \right) \cdot \left(\frac{D_{ab}}{D_{AB}} \right)^2 \end{aligned} \quad \dots(1)$$

類似度 S_{abxy} と S_{abxy}' は、2に近い程テンプレート間の関連が強い。よって、 S_{abxy} または S_{abxy}' が $2 \pm th$ 以内である場合は、マッチング成功とし、検索問い合わせ画像が検索対象画像に含まれていると判断する。ここで、 th は、類似判定の閾値である。マッチングが失敗した場合は、検索問い合わせ画像のテンプレート T_a, T_b, T_c と検索対象画像のテンプレート $T_x, T_y, \dots, T_n$ の他の組み合わせで順次同様の処理を行い、全てマッチングしない場合は、検索問い合わせ画像と検索対象画像は無関係と判断する。

5. 実証実験

本実験では、本システムの有用性を検証するため、2種類の実験を行う。1つ目は、本システムが、画像の変形に強靱であるかを検証するため、元画像から一部分をトリミングした画像に拡大・縮小と回転の変形を行い、検索問い合わせ画像とすることで、元画像とマッチングするか検証する。2つ目は、本システムが実問題に適用できるかを検証するため、MMSで撮影した道路画像から標識を適切に抽出できるか検証する。

(1) 画像の変形に関する検証

本検証では、検索対象画像から一部分をトリミングした検索問い合わせ画像について、以下の処理を行い、元画像とマッチングすることを確認する。また、検索対象画像を別の無関係な画像に変更した場合は、マッチングしないことを確認する。

- 変形を行わない
- 幅と高さを2倍に拡大
- 幅と高さを0.5倍に縮小
- 90度回転
- 幅と高さを0.5倍に縮小し、45度回転

本検証で用いた検索対象画像と無関係な検索対象画像を図-2に示し、検索問い合わせ画像を図-3に示す。また、検証結果を表-1に示す。表-1より、図-2の検索対象画像については、図-3の全ての変形画像について精度良くマッチングし、図-2の無関係な検索対象画像については、全くマッチングしないことが確認できる。本検証結果から、本システムは画像の変形に強靱なシステムであると考えられる。

(2) 実問題への適用検証

本検証では、本システムが、実問題に適用できるかを検証する。実問題として、MMSで撮影した道路画



図-2 検索対象画像と無関係な検索対象画像

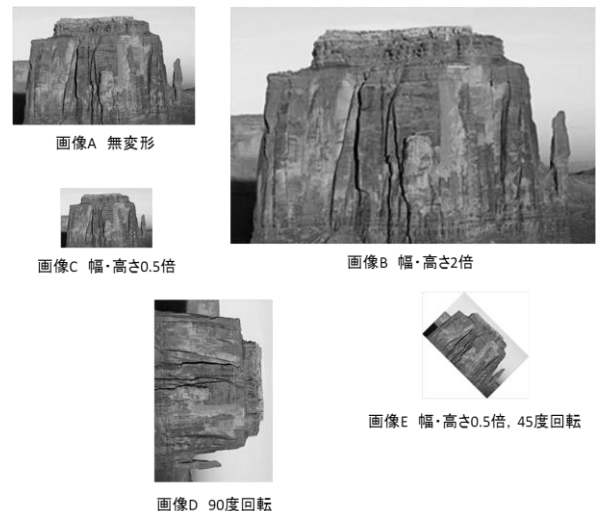


図-3 変形した検索問い合わせ画像

表－１ 画像の変形に関する検証結果

	検索対象画像		無関係な 検索対象画像	
	拡大率 (倍)	回転角 (度)	拡大率 (倍)	回転角 (度)
画像 A	1.00	0.00	マッチングせず	
画像 B	1.91	1.93	マッチングせず	
画像 C	0.51	4.12	マッチングせず	
画像 D	1.00	90.0	マッチングせず	
画像 E	0.55	47.0	マッチングせず	

像から標識を抽出する状況を対象とした。検索対象画像データベースは、MMS から連続で撮影した道路画像 100 枚を 1 セットとし、同一のカメラで異なる箇所を撮影した 5 セットとした。検索問い合わせ画像は、検索対象画像データベースの 500 枚から駐車禁止の標識が撮影されている画像を目視で抽出し、標識部分をトリミングした画像とした。検証方法として、本検証で用いた検索問い合わせ画像を図－４に示し、検証結果を表－２に示す。表－２より、適合率が高く、検索問い合わせ画像が含まれる画像を正確に抽出できていることがわかる。しかし、再現率が適合率と比較して低くなっている。これは、検索対象画像に含まれる駐車禁止の標識には、影や葉っぱなどノイズが含まれるためであると考えられる。



図－４ 検索問い合わせ画像

表－２ 実問題への適用検証結果

	標識を 含む 画像 (枚)	抽出 画像 (枚)	正解 画像 (枚)	適合率 (%)	再現率 (%)
セット 1	18	9	7	78	39
セット 2	12	2	2	100	17
セット 3	18	6	6	100	33
セット 4	16	6	6	100	38
セット 5	11	4	4	100	36

データベースの肥大化に有用であるものとする。

しかし、本システムでは、検索対象画像に影や障害物などのノイズが含まれる場合に、抽出できない場合がある。また、検索問い合わせ画像の任意の色を手で入力する必要がある。そのため、今後は、ノイズが含まれる画像に対しても強靱な手法の考案や自動化を検討することで、より高精度な部分画像検索の実現を目指す。

謝辞：本研究の一部は、2010 年から 2013 年度関西大学先端科学技術推進機構社会基盤情報学応用研究グループ（研究課題「社会基盤情報学に基づくメンテナンス技術開発」）から助成を受け、その成果を公表するものである。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 相良直樹，砂山渡村，谷内田正彦：HTML テキストの重要文を用いた画像ラベリング手法，電子情報通信学会論文誌，電子情報通信学会，Vol. J87-D-I，No. 2，pp. 145-153，2004 年 2 月。
- 2) 田辺雅貴，篠原克幸：存在確率マップと色特徴を用いた再帰的处理に基づく物体領域の抽出，映像情報メディア学会技術報告，映像情報メディア学会，Vol. 32，No. 34，pp. 33-36，2008 年 7 月。
- 3) 阿部拓也，篠原克幸：局所特徴量の位置関係に基づいた類似画像検索，映像情報メディア学会技術報告，映像情報メディア学会，Vol. 32，No. 34，pp. 37-40，2008 年 7 月。
- 4) 劉琢，和田成夫：テクスチャ画像検索に適用するロバストな特徴量の抽出法，電子情報通信学会論文誌，電子情報通信学会，Vol. J89-A，No. 10，pp. 814-821，2006 年 10 月。
- 5) 孫維瀚，黃瀨浩一：線画の著作権保護のための部分的複製検出法，電子情報通信学会論文誌，電子情報通信学会，Vol. J93-D，No. 6，pp. 909-919，2010 年 6 月。

6. おわりに

本研究では、色情報や位置関係といった画像の特性をテンプレートとして作成し、検索問い合わせ画像と検索対象画像のテンプレート間の関連性を算出することで、画像の変形に強靱で汎用的な部分画像検索システムを開発した。具体的には、まず、検索問い合わせ画像と検索対象画像について、画像の拡大・縮小や圧縮・非圧縮による画素の差異を緩和するため、フィルタによる画像の平滑化と色調の調整を行った。次に、HSV によるラベリングを行うことで似た色のラベルを作成し、各ラベルにおいて画素面積と重心の画素位置をテンプレートとして作成した。最後に、検索問い合わせ画像と検索対象画像のテンプレート間で重心距離の比率に基づいて面積の類似度を算出することで、検索問い合わせ画像が検索対象画像に含まれているか判断した。

そして、本研究で開発した部分画像検索システムを用いて実証実験を行った結果、画像の変形に強靱で汎用的な部分画像検索ができることを確認するとともに、実問題に対して本システムを適用することで、本システムが有用であることを証明した。これにより、本システムは、土木分野において特に顕著である画像デー