画像特性を用いた 部分画像検索システムの開発とその応用

福島 佑樹¹・北川 悦司²・田中 成典³・安彦 智史⁴

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)
E-mail:fukushima@kansai-labo.co.jp

²正会員 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)
E-mail:kitagawa@hannan-u.ac.jp

³正会員 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)
E-mail:tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

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)
E-mail:abiko@kansai-labo.co.jp

近年、デジタルカメラが普及し、また、携帯電話や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。これは、土木分野において特に顕著であり、モバイルマッピングシステムによって撮影された道路画像、衛星写真や3次元モデルのテクスチャ画像など膨大な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。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、テンプレート間の関連性を算出することで、汎用的な部分画像検索システムを開発する。また、本システムを実問題に適用し、膨大な画像データベースに対して有効であることを確認する。

Key Words : Image Retrieval, ImageCharacteristic, 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、3次元モデルのテクスチャ画像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。そのため、膨大な画像データベースから目的の画像を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⁾²⁾(TBIR: Text-Based Image Retrieval)と画像の内容に基づく検索³⁾⁻⁶⁾(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、画像処理技術を用いて画像の内容を解析するため、汎用性、精度共に高く、その手法について広く研究が行われている。

CBIRの中でも、特定の内容が含まれる画像を画像データベースから検索する技術は、特に部分画像検索と呼ばれる。部分画像検索は、カタログに掲載されている画像の加工元画像、3次元モデルに貼られたテクスチャ元画像や道路画像から標識の検索など、特定の部分を含んだ画像を抽出する目的で広く利用されている。一般的に、商品カタログや3次元モデルのテクスチャは、元の画像の一部を切り抜き、変形した画像を用いることが多い。このことから、部分画像検索は、検索したい対象が撮影された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、画像全体同士を比

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。そのため、変形した画像にも対応した計算コストの低い部分画像検索技術が切望されている。

部分画像検索の既存技術として、テンプレートマッチング法を用いた手法³⁾⁴⁾が提案されている。テンプレートマッチング法は、検索問い合わせ画像と検索対象画像の画素値の対応により類似度を算出するため、精度が高い。しかし、形状の変形や画素値の変化に対応できないという問題がある。さらに、画素値の対応に莫大な計算時間が必要という問題がある。部分画像検索の他のアプローチとして、物体領域を抽出する手法⁵⁾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⁶⁾が提案されている。しかし、これらの手法は、形状を比較するため、テンプレートマッチング法と同様に拡大・縮小や回転といった形状の変形に脆弱である。また、形状を用いない部分画像検索技術として、画像の変形を考慮した手法⁸⁾⁹⁾がある。しかし、対象画像がグレースケールに限られるといった問題や、検索対象物が固定されているなどの問題があり汎用性が低い。

そこで、本研究では、色情報とその位置関係を画像特性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、拡大・縮小や回転といった2次元変形に頑強な部分画像検索エンジンを開発する。本手法は、従来のテンプレートマッチング法などの手法における画像形状の変形に弱いという問題に対して、形状に依存しない色情報とその位置関係の類似度を用いることで解決する。これにより、対象が固定されるという問題と検索の計算コストの問題を解決し、さらに、微少な3次元変形にも対応した部分画像検索エンジンを実現する。

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画像特性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画像特性テンプレートと比較することで2次元変形に頑強な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、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

図-1 システムの概要図

表-1 設定パラメータ

パラメータ名	内容	初期値
TH_g	グレースケールと判定するRGB値の差の閾値	60
TH_h	同色と判断する色相の閾値	15
TH_p	同色と判断するRGBの閾値	30
TH_a	ノイズと判定するラベリングのピクセル数	300
TH_s	マッチングの候補とする類似度の閾値	0.35

合わせ画像に含まれる2点の画素値を入力する。入力する画素値は、検索問い合わせ画像に含まれる検索したい箇所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画像と検索対象画像中に含まれる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、画像中の色情報と位置関係に基づいて、画像特性テンプレートのマッチング処理で使用す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。

また、本システムでは、汎用的な部分画像検索を実現するため、撮影条件を限定していない。しかし、極端に暗い状況や強い光が映り込みハレーションやフレアが発生した画像においては、精度が低下する可能性がある。そのため、本システムでは、表-1に示すようなパラメータをユーザが検索問い合わせ画像や検索対象画像に応じて設定することを可能とする。なお、本論文では、全て初期値を用いている。

3. 画像特性テンプレートの作成処理

本論文における部分画像とは、元画像から一部分をトリミングした画像を指す。また、カタログや3次元モデルのテクスチャに使用される部分画像は、元画像から拡大・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がある。そのため、本研究では、任意の色の画素面積と画素間の距離に着目した。画像を幅・高さともに N 倍した場合、任意の色の画素面積は 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、任意の色の画素面積とその距離を比較することで、拡大・縮小と回転に頑強な検索が可能となる。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、JPEG (Joint Photographic Experts Group) 画像などの圧縮画像とビットマップ画像などの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、以下の機能を順次適用し、検索問い合わせ画像と検索対象画像における画素の差異を緩和することで、画像特性テンプレートを作成する。

(1) フィルタリングによる平滑化機能

画像の拡大は、不足している画素を補間して行われるため、元の画像から若干ぼやけた画像となる。また、画像の縮小は、数ピクセル分の画素が1ピクセルにまとめられるため、ぼやけた画像となる。さらに、圧縮画像も同様に非圧縮画像と比較してぼやけた画像となる。これらのぼやけた画像から元の画像を復元する研究が行われているが、画素値を完全に元画像と同様に復元することはできない。そのため、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、フィルタリング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。平均化フィルタによるフィルタリングを行うことで、元画像、非圧縮画像も平滑化された画像となるため、比較が可能となる。

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、後述のラベリング処理において、拡大・縮小画像、圧縮・非圧縮画像とも同様のラベリング結果を取得できる。

(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、ラベリング結果の画素面積と画素間距離に基づいて検索するため、ラベリングの大きな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画素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。

具体的には、画像の各画素において、8bitの R , G , B 各値に式(1)を適用して5bitの R' , G' , B' とすることで色調を32階調に調整する。

$$\begin{aligned} R' &= \text{Floor}(R/8) \\ G' &= \text{Floor}(G/8) \\ B' &= \text{Floor}(B/8) \end{aligned} \quad (1)$$

Floor : 繰り下げた整数値を返す関数

(3) 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 (H : Hue)、色の鮮やかさを示す彩度 (S : Saturation) と色の明るさを示す明度 (V : Value / Brightness) 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、画像を入力データである2つの画素値を用いてそれぞれラベリングし、2つのラベリング結果を得る。ただし、画素値がグレースケールの場合、HSV色空間における色相は定義されない。そのため、入力データである画素値がグレースケールの場合は、HSVを用いたラベリングではなくRGBを用いたラベリングを行う。具体的には、入力データである画素値の R , G , B それぞれの差の合計値が TH_g 以内の場合、グレースケールと判定し、RGBを用いたラベリングを行う。 TH_g よりも大きい場合は、HSVを用いたラベリングを行う。ただし、ラベリング結果の各ラベルについて、ピクセル数が TH_a 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。最外周にかかるラベルを除去する理由として、最外周にかかるラベルは、元画像のラベルの一部分である可能性が高く、マッチング処理において誤判定が起こる可能性があるためである。

a) HSVを用いたラベリング

HSVを用いたラベリングでは、まず、入力データである2点の画素値をHSV色空間に変換する。RGBをHSV色空間に変換する式を式(2)に示す。

$$R'' = R / 31$$

$$G'' = G / 31$$

$$B'' = B / 31$$

$$H = \begin{cases} \frac{G'' - B''}{MAX - MIN} \cdot 60 & (\text{if } MAX = R'') \\ \frac{B'' - R''}{MAX - MIN} \cdot 60 + 120 & (\text{if } MAX = G'') \\ \frac{R'' - G''}{MAX - MIN} \cdot 60 + 240 & (\text{if } MAX = B'') \end{cases} \quad (2)$$

$$H = H + 360 \quad (\text{if } H < 0)$$

$$S = \frac{MAX - MIN}{MAX}$$

$$V = MAX$$

MAX : R'', G'', B''のうち最大の値

MIN : R'', G'', B''のうち最小の値

式(2)により, 対象の画素のR値, G値, B値を入力値として, HSV色空間のH値, S値, V値が得られる.

次に, 入力された画像の各画素について同様に式(2)よりHSVを求める. このとき, 白黒の画素はHSVを用いたラベリングを行わない. そのため, 画素値のR, G, Bそれぞれの差の合計値が TH_g 以内の場合は, ラベリングの対象としない. そして, 入力データである画素値のHと求めた各画素値のHを比較し, 差が TH_h 以内である場合, ラベルの対象として記録する. 最後に, 記録されたラベル対象の画素で周辺8近傍にラベル対象の画素がある場合, 同じラベルとして順次ラベリングを行う.

b) RGBを用いたラベリング

RGBを用いたラベリングでは, 画像の各画素について画素値のR, G, Bそれぞれの差の合計値が TH_g 以内の場合で, かつ入力データの画素値のR, G, Bの平均値との差がそれぞれ TH_p 以内である場合, ラベルの対象として記録する. そして, 記録されたラベル対象の画素で周辺8近傍にラベル対象の画素がある場合, 同じラベルとして順次ラベリングを行う.

(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, 各ラベルの 픽セル数と重心の 픽セル座標である.

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. そして, 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. さらに, 2組のテンプレート間の面積類似度 S_{A1} , S_{A2} と重心間距離類似度 S_L を式(3)より算出する. ここで, $A(T)$ は, テンプレート T の画素面積を示す.

$$\alpha = \frac{A(T_x)/A(T_a) + A(T_y)/A(T_b)}{2} \quad (3)$$

$$S_{A1} = |A(T_a) \cdot \alpha / A(T_x) - 1|$$

$$S_{A2} = |A(T_b) \cdot \alpha / A(T_y) - 1|$$

$$S_L = |D_{ab} \cdot \sqrt{\alpha} / D_{xy} - 1|$$

面積類似度 S_{A1} , S_{A2} と重心間距離類似度 S_L は, それぞれ0に近い程テンプレート間の関連が強い. よって, S_{A1} , S_{A2} と S_L が TH_s よりも小さい場合は, マッチングの候補として記録する. 最後に, 面積類似度と重心間距離類似度の算出について, (T_x , T_y)以外の検索対象画像の全てのテンプレートの組み合わせで繰り返し行う.

上記の処理を検索問い合わせ画像のテンプレートの組み合わせ(T_a , T_b), (T_b , T_c)で順次行う. 全組み合わせ処理後, マッチング候補がない場合は, 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. マッチング候補がある場合は, 画素面積差の2乗和 d を式(4)を用いて算出し, d が最小となるのテンプレートの組み合わせから, 角度とスケールを算出する.

$$d = \{A(T_x) - A(T_a) \cdot \alpha\}^2 + \{A(T_y) - A(T_b) \cdot \alpha\}^2 \quad (4)$$

また, 本手法は, ラベリングの組み合わせの個数だけ式(3)を処理することで拡大・縮小や回転を考慮した類似度を算出することができる. 部分画像検索の既存技術は, テンプレートマッチングによる手法と特徴点の対応を求める手法に大別される. テンプレートマッチングは, テンプレート内の画素値の一致を計算するため, 検索対象画像のサイズやテンプレートのサイズが増加することで指数関数的に計算数が増加する. また, 特徴点の対応を求める手法は, 特徴点の組み合わせ数だけ対応を求める計算が必要となる. 本手法も特徴点の対応を求める手法と同様にテンプレートの組み合わせ数だけ計算を行う必要があるが, 単純な式(3)により対応を求めることができる. よって, 拡大・縮小や回転を行いながらマッチングする他の手法に比べて計算コストが低い部分画像検索エンジンであると考えられる.

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、拡大・縮小や回転といった2次元変形に頑強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。また、検索問い合わせ画像と無関係な画像とマッチングしないかを検証する。2つ目は、本システムが微少な3次元変形に応用可能であるかを検証するため、土木分野における実問題であるMMSなどを想定し、車から撮影した道路画像から標識を適切に抽出できるかを検証する。

(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。

- ・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

また、検索対象画像を検索問い合わせ画像と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。本検証で用いた検索対象画像を図-2に示し、検索問い合わせ画像を図-3から図-7に示す。また、検索問い合わせ画像が含まれない画像を図-8に示し、使用した入力値を表-2に示す。図-3から図-7は、色が段階的に変化する形状が複雑な山の画像である。これらの複雑な画像を検索問い合わせ画像とし、形状を一般化しにくい複雑な検索対象であっても抽出可能であるかを検証することで、本システムが形状に依存せず、2次元変形に頑強なシステムであるか確認する。

本検証の検証結果を表-3に示す。表-3より、図-2については、図-3から図-7の全ての変形画像について精度良くマッチングし、図-8については、全くマッチングしないことが確認できる。また、拡大率、回転角についてもほぼ誤差なく算出できていることが確認できる。本検証結果から、カタログに掲載されている画像の元画像検索や、3次元モデリングのテクスチャの元画像検索といった、元画像から一部分をトリミングして加工した画像の部分画像検索が精度よく行えることが確認でき、形状に依存せず2次元変形に頑強な部分画像検索エンジンを構築できたと考えられる。

図-2 検索対象画像

図-3 無変形の検索問い合わせ画像

図-4 幅高さを2倍にした検索問い合わせ画像

図-5 幅高さを0.5倍にした検索問い合わせ画像

図-6 90度回転した検索問い合わせ画像

図-7 幅高さを0.5倍, 90度回転した検索問い合わせ画像

図-8 検索問い合わせ画像が含まれない画像

表-2 入力値

	R 値	G 値	B 値
画素値 1	249	169	80
画素値 2	249	169	80

表-3 画像の変形に関する検証結果

	図-2		図-8	
	拡大率 (倍)	回転角 (度)	拡大率 (倍)	回転角 (度)
図-3	1.00	0.00	マッチングせず	
図-4	1.94	1.12	マッチングせず	
図-5	0.50	0.00	マッチングせず	
図-6	1.00	90.0	マッチングせず	
図-7	0.52	44.6	マッチングせず	

(2) 3次元変形への適用検証

本検証では、本部分画像検索エンジンが微少な3次元変形に応用可能であるかを検証するため、土木分野における画像データベースに対して検証を行う。本部分画像検索エンジンは、3次元モデルに貼られたテクスチャ画像など、元画像からトリミングして変形した画像を形状に依存せず精度よく抽出する目的で開発を行い、実証実験の結果、2次元変形において精度よく検索できることを実証実験により確認した。しかし、本システムのアルゴリズムは、形状の情報を利用してないため、色情報と位置関係が大きく変化しない微少な3次元変形であれば対応可能であると考えられる。そのため、本エンジンを

用いた微少な3次元変形が発生する画像データベースへの応用方法及びその精度について検証を行う。

本実証実験では、車道に対して傾きが一定な道路標識などの画像が取得できるMMSを適用事例とする。対象とする道路標識は、駐車禁止、車両進入禁止と指定方向外進行禁止を対象とした。検索対象画像データベースは、2011年5月、2011年9月と2012年1月に東京都足立区周辺を車から撮影した道路画像から対象の標識が含まれる画像をそれぞれ10枚抽出したものとした。検索問い合わせ画像は、駐車禁止、車両進入禁止と指定方向外進行禁止の各標識について各日1枚ずつ抽出した。ここで、検索問い合わせ画像を各日1枚ずつ抽出した理由として、車から撮影した画像は、各日で日照条件が異なるためである。本部分画像検索エンジンは、輝度値が大きく変化する画像には適用できない。しかし、同日に撮影された画像は、輝度値の大きな変化は無いと考えられる。また、MMSを考慮した場合、一日の撮影で膨大な画像データベースが作成される。そのため、本エンジンの応用方法として、各日1枚ずつ検索問い合わせ画像を抽出し、同日の検索対象画像データベースに適用することで本実証実験を行った。また、誤判定を検証するため、対象の標識が含まれない画像を各日付10枚抽出した。本実証実験における入力画像を図-9から図-11に示し、入力値を表-4に示す。また、検証結果を表-5に示す。

2011年5月

2011年9月

2012年1月

図-9 駐車禁止標識の検索問い合わせ画像

2011年5月

2011年9月

2012年1月

図-10 車両進入禁止標識の検索問い合わせ画像

2011年5月

2011年9月

2012年1月

図-11 指定方向外進行禁止標識の検索問い合わせ画像

表-4 入力値

	画素値 1			画素値 2		
	R	G	B	R	G	B
2011/5 駐車禁止	0	80	151	0	80	151
2011/5 進入禁止	154	63	60	181	200	194
2011/5 進行禁止	13	100	171	159	175	174
2011/9 駐車禁止	39	121	168	39	121	168
2011/9 進入禁止	134	60	58	173	196	201
2011/9 進行禁止	0	75	140	124	148	148
2012/1 駐車禁止	35	127	204	35	127	204
2012/1 進入禁止	175	47	47	204	197	189
2012/1 進行禁止	34	100	150	146	159	152

表-5 標識の抽出に関する検証結果

	駐車禁止 標識 (枚)	車両進入 禁止標識 (枚)	指定方向外 進行禁止 標識 (枚)
2011/5 標識抽出	10/10	7/10	2/10
2011/9 標識抽出	10/10	5/10	3/10
2012/1 標識抽出	10/10	7/10	0/10
2011/5 標識なし	0/10	1/10	0/10
2011/9 標識なし	0/10	1/10	0/10
2012/1 標識なし	0/10	1/10	0/10
抽出率 (%)	100	63.3	16.7
誤判定率 (%)	0.00	10.0	0.00

表-5より、駐車禁止標識については、100%の精度で抽出できており、誤抽出もない。しかし、車両進入禁止標識と指定方向外進行禁止標識については、駐車禁止標識と比較して精度が低くなっていることがわかる。これは、実問題において、抽出対象の3次元的な歪みが発生し、検索問い合わせ画像と比較してラベリングが分割・結合され、異なることがあるためと考えられる。2011年5月の車両進入禁止画像ラベリング結果を図-12に示し、検索対象画像のラベリング結果例を図-13に示す。図-12と図-13のように、検索問い合わせ画像においては、車両進入禁止標識のラベリング結果が上下分割されているが、検索対象画像においては、ラベリング結果が繋がっている。このように、検索対象によっては、3次元的な歪みや日照条件などによって検索問い合わせ画像と検索対象画像とでラベリング結果が異なることが分かった。そこで、分割・結合する可能性のある箇所に関して、予

めラベルが分割する検索問い合わせ画像と結合する検索問い合わせ画像を画像編集ソフトで作成した。そして、ラベルが分割する検索問い合わせ画像でマッチングしなかった画像について、再度ラベルが分割する検索問い合わせ画像を用いてマッチングを行った。2011年5月における車両進入禁止標識と指定方向外進行禁止標識の2枚の検索問い合わせ画像を図-14と図-15に示し、検証結果を表-6に示す。

図-12 車両進入禁止画像のラベリング結果

図-13 検索対象画像のラベリング結果

ラベルが分割する画像

ラベルが結合する画像

図-14 加工した車両進入禁止標識の検索問い合わせ画像

ラベルが分割する画像

ラベルが結合する画像

図-15 加工した指定方向外進行禁止標識の検索問い合わせ画像

図-16 マッチングに失敗した画像とラベリング結果

表-6 検索問い合わせ画像を2枚使用した検証結果

	駐車禁止 標識 (枚)	車両進入 禁止標識 (枚)	指定方向外 進行禁止 標識 (枚)
2011/5 標識抽出	10/10	8/10	6/10
2011/9 標識抽出	10/10	8/10	7/10
2012/1 標識抽出	10/10	9/10	5/10
2011/5 標識なし	0/10	1/10	0/10
2011/9 標識なし	0/10	1/10	0/10
2012/1 標識なし	0/10	1/10	0/10
抽出率 (%)	100	83.3	60.0
誤判定率 (%)	0.00	10.0	0.00

表-6より、表-5と比較して高精度に部分画像を検索できていることがわかる。しかし、マッチングに失敗した画像も数枚存在している。マッチングに失敗した画像とラベリング結果を図-16に示す。ラベリング結果は、元画像を車両進入禁止の白線に含まれる画素値を入力値としてラベリングした結果である。このように、車両進入禁止標識の白線が外のラベルと繋がっているため、マッチングに失敗している。これは、道路画像中にグレースケールが多く含まれるためであるが、前処理の色調の補

正方法やラベルが分離しそうな場合は全て分離するなどの処理を組み込むことで解決できると考えられる。

以上の実証実験より、本システムが、元画像からトリミング及び加工した2次元変形画像の検索だけでなく、微少な3次元変形が発生する実問題への応用も可能である汎用的な部分検索エンジンであることを確認できた。

6. おわりに

本研究では、色情報やその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、2次元変形に頑強で計算量の少ない部分画像検索エンジンを開発した。

そして、本研究で開発した部分画像検索エンジンを用いて実証実験を行った結果、2次元変形に頑強な部分画像検索ができることを確認するとともに、微少な3次元変形が発生する実問題に対して本エンジンを応用することで、本システムが有用であることを証明した。

本研究で開発した部分画像検索エンジンは、カタログに掲載されている画像の加工元画像や3次元モデルに貼られたテクスチャ元画像の高速な検索を目指したものである。そのため、検索対象画像中に極端な3次元変形が発生している場合には対応できない。しかし、本エンジンは、形状の情報を利用してないため、色情報と位置関係が大きく変化しない微小な3次元変形であれば対応可能である。例として、MMSからの情報抽出が考えられる。MMSは、車道を走行しているため、車道に対して傾きが一定な道路標識、道路標示や信号などが抽出できる。また、走行車両の車種特定による交通量調査やナンバープレート抽出などにも応用可能である。さらに、将来的には、ナンバープレートを抽出することで、前方車への追突回避などにも適用可能であると考えられる。また、極端な3次元変形が発生する画像に対しては、既存研究¹⁰⁾のように検索対象の形状と特徴点から検索対象画像を幾何学的に変換し、本手法を適用することで対応可能であると考ええる。

このように、本システムを用いることで、土木分野において特に顕著である肥大化する画像データベースの有効活用が可能であると考ええる。

しかし、本部分画像検索エンジンの精度は、ラベリングの精度に影響するため、特にグレースケールを入力値とした際に本来分割されるべきラベルが他のラベルに繋がり精度が出ない問題がある。この問題は、設定パラメータを適切に設定することで解決可能であると考えられるが、適切なパラメータを試行によって発見する必要がある。同様に、検索対象のラベルが分離する可能性のある画像に対しては、ラベルが分割する画像とラベルが結

合する画像を用意する必要がある。この問題は、前処理の色調の補正方法やラベルが分離しそうな場合は全て分離するなどの処理を組み込むことで解決が可能である。また、検索問い合わせ画像の任意の色を人手で入力する必要がある。そのため、今後は、ラベリングの精度向上や入力データや閾値の自動化を検討することで、より高精度かつ汎用的な部分画像検索エンジンの実現を目指す。

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, 砂山渡付, 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.
- 2) 竹内謹治, 黄瀬浩一: Earth Mover's Distance に基づく Text-Based Image Retrieval, 情報処理学会研究報告, 情報処理学会, Vol.2007, No.7, pp.33-38, 2007.
- 3) 斎藤正孝, 橋本学: 時空間的共起性分析に基づく有効参照画素を用いた高速・安定テンプレートマッチング, 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.35, No.33, pp.43-46, 2011.
- 4) 森稔, 柏野邦夫: 適応的領域分割と初期しきい値推定によるテンプレートマッチングの高速化, 電子情報通信学会論文誌, 電子情報通信学会, Vol.J94-D, No.5, pp.881-892, 2011.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 木村昭悟, 川西隆仁, 柏野邦夫: SPIRE: スパースなインデキシングによる画像中の同一部分領域の検出, 電子情報通信学会論文誌, 電子情報通信学会, Vol.J88-D-II, No.8, pp.1712-1719, 2005.
- 8) 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.
- 9) 孫維瀚, 黄瀬浩一: 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.
- 10) 安彦智史, 北川悦司, 杉町敏之, 田中成典, 古田均, 石河和喜: あいまい性を考慮した画像差分システムの研究開発, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.19, pp.141-148, 2010.

(2012.10.19 受付)

DEVELOPMENT OF SYSTEM FOR PARTIAL IMAGE RETRIEVAL USING IMAGE CHARACTERISTIC AND ITS APPLICATION

Yuki FUKUSHIMA, Etsuji KITAGAWA, Shigenori TANAKA and Satoshi ABIKO

In recent years, as digital cameras have become widespread and it is getting common to equip a mobile phone or a smart phone with a camera, opportunities to treat digital images are rapidly increasing regardless of individuals or companies. This is particularly remarkable in the field of civil engineering; enormous-scale image databases are being built such as of highway images shot by a mobile mapping system, satellite photos, and textured images of three-dimensional models. However, the more these image databases become enormous, the more it will be difficult to find out the image of interest. This research develops a universal partial image retrieval system by creating templates for characteristic of pictorial images such as color information and position relationships and calculating the relevance between templates. Then the system is applied to the real problem and to verify its effectiveness on an enormous-scale image database.