

局所特徴量の照合による線画の部分的複製検出

孫 維瀚[†] 黄瀬 浩一[†]

[†] 大阪府立大学大学院工学研究科

〒 599-8531 大阪府堺市中区学園町 1-1

E-mail: †sunweihan@m.cs.osakafu-u.ac.jp, †kise@cs.osakafu-u.ac.jp

あらまし 部分的複製とはオリジナル素材の一部を切り出すことによって作成される複製である。不正な利用者はこの手法を使って盗作を行うことが多い。その際には、部分的複製は他の素材の中に埋め込まれる形で使われる。加えて、部分的複製はそのままの形で埋め込まれるとは限らず、様々な処理によって改変されることも考えられる。その結果、不正利用の検出が困難となっている。そこで本稿では、このような場合にも対処可能な著作権保護の手法を提案する。対象としては、漫画のような線画を取り上げる。線画の場合、改変の手法として手書き複製が考えられるが、これが問題をより困難なものとしている。この問題に対処するため、本手法では、著作権保護対象の線画に対する局所特徴量の照合を考える。具体的には、局所領域の抽出手法として MSER を、特徴量の記述子として HOG を用いる。実験により、提案手法は、印刷線画の部分的複製ばかりでなく、複雑な背景に埋め込まれた手書き線画に対しても有効性があることを示す。

キーワード 線画, 局所特徴量, 不正コピー, 著作権保護, HOG, MSER, SIFT

Partial Copy Detection for Line Drawings by Local Feature Matching

Weihan SUN[†] and Koichi KISE[†]

[†] Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

Gakuen-cho 1-1, Sakai, Naka, Osaka, 599-8531 Japan

E-mail: †sunweihan@m.cs.osakafu-u.ac.jp, †kise@cs.osakafu-u.ac.jp

Abstract Partial copy is a kind of copy produced by cropping parts of original materials. Illegal users often use this technique for plagiarizing copyrighted materials. It is often the case that illegal partial copies are used by attaching them to other materials. In addition, original parts are not necessarily copied intact but may be modified by various techniques, which make the detection quite difficult. In this report, we propose a method of copyright protection applicable to partial copies aiming especially at the protection of line drawings such as cartoons. For the case of line drawings, handwriting can be a method of modification. In order to cope with handwritten partial copies, we apply local feature matching with a database of copyrighted line drawings. We employ MSER as the region detector and HOG as the feature detector. Experimental results show that the proposed method not only performs good for detecting printed copies of line drawings, but also has effectiveness on the detection of handwritten ones, even if partial copies are embedded in complex backgrounds.

Key words Line drawings, Local feature, Illegal copy, Copyright protection, HOG, MSER, SIFT

1. はじめに

近年、インターネットの普及に伴い、音声、画像、動画などの大容量のデータが大量に流通し、パソコンの高機能化により誰でも個人規模でデジタルコンテンツを扱えるようになっていく。しかし、技術の発展は便利な反面、新たな問題を生んでいる。その中でもコンテンツの不正コピーによる著作権の侵害が

社会的な問題となっている。この問題を解決するため、不正コピーを自動的に検出する技術が求められている。

著作権を保護すべきコンテンツとしては様々なものが考えられるが、その中でも図面や漫画などの線画は重要なものの一つである。線画は、濃淡のない直線又は曲線だけで描く図形であり、単色が基本となる。線画の不正利用者は、オリジナルをそのまま使うことは希であり、オリジナルの一部分(部分的複製)

を、自分の線画の一部として使うことが多い。また、漫画などで部分的複製を作成する場合には、オリジナルの切り抜きをそのまま使うのではなく、手書きで複製するなどの改変を伴う場合が考えられる。それ故に、印刷の複製だけではなく、手書きの複製も考えなければならない。

このような問題に対処するため、コンテンツの著作権保護の技術として、これまでにいくつかの技術が提案されている。

その一つは電子透かしという技術である。電子透かしは、対象とするコンテンツに著作権の情報を埋め込む技術である。カラー画像のような冗長性の高いコンテンツについては、人間に知覚できないように著作権情報を埋め込むことができる。この中には、幾何学的な変換に対する耐性を持つ手法もある。例えば、Basらは、画像の特徴点をマーカとして利用し、幾何学的な変換に対する不変な電子透かしを提案している [1]。しかし、電子透かしの手法を線画に適用することは困難である。これは、画像に比べて線画は冗長性の少ないコンテンツであり、人間に知覚できないような埋め込みが困難なためである。

もう一つの技術は画像検索に基づく複製検出である。この技術では、著作権保護の対象となるコンテンツをデータベースに保持しておき、疑わしい画像を検索質問として検索することにより、複製を検出する。特に画像については、各種変換や部分的複製に対して安定である局所特徴量と呼ばれるものがよく用いられる。この中で、SIFT(Scale-Invariant Feature Transform) [2] は最も良く知られた局所特徴量であり、多くの研究者により画像検索への有効性が示されている。また、Keら [3] は SIFT を改良した PCA-SIFT(Principal Component Analysis SIFT) [4] を用い、ある程度改変された画像を手がかりに、そのオリジナルを検出できることを示している。しかしながら、これらの方法が線画、特に手書きなどの変換を伴うものに対しても有効かどうかは検証されていない。

そこで本稿では、局所特徴量を用いるという方針のもと、印刷や画像スキャンなどの軽微な変換だけではなく、手書きなどの大幅な変換に対しても有効となる複製検出手法を提案する。提案手法では、局所領域の検出手法として MSER (Maximally Stable Extremal Region) [5] を、局所領域の記述子として HOG (Histogram of Oriented Gradients) [6] を用いるものである。漫画を対象とし、部分的複製を類似の漫画中に埋め込んだものから、オリジナルを検出できるかどうかについて実験を行い、

- 印刷とスキャンを経た部分的複製については、SIFT を用い複製検出法が極めて有効であり、提案手法も同程度に有効であること、
- 手書きによる部分的複製については、SIFT では殆ど検出できないが、提案手法ではある程度検出できること、
- 提案手法では、回転や拡大縮小を受けた部分的複製であっても検出できることを示す。

2. タスク定義

オリジナルの複製とその利用は、図 1 に示す 5 種類に分類

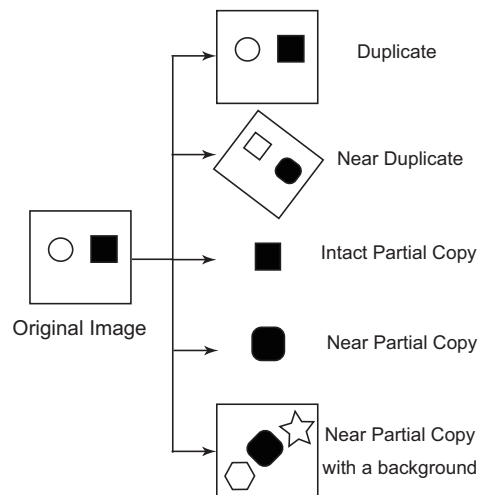


図 1 不正コピーの種類。

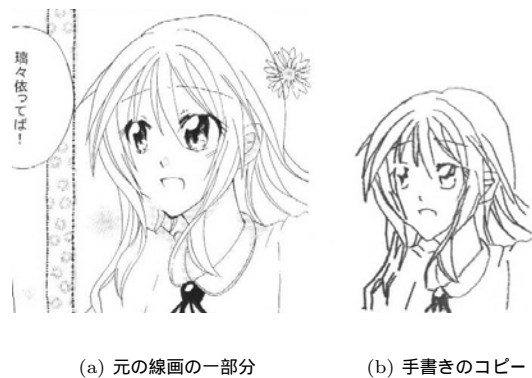


図 2 線画と手書きのコピーの例。

できる。複製 (Duplicate) とは、オリジナルを改変せず直接利用する場合を指す。オリジナル全体に対して改変処理を施した複製は、オリジナルに近い複製 (Near Duplicate) と呼ばれる。オリジナル全体ではなく、その一部分を用いる場合は、partial copy(部分的複製) と呼ばれる。特に、部分的複製が殆ど改変を受けていない場合 (ここでは intact partial copy と呼ぶ) と改変を受けている場合 (ここでは near partial copy と呼ぶ) を区別する。なお、部分的複製の場合には、他の素材を背景とし、その中に埋め込まれて使われることが多く、より問題を複雑にしている。

複製の検出の難易度という観点から見ると、最も容易なのは Duplicate であり、図 1 の下に向かうに従ってより難しくなる。特に、漫画などの線画の場合には、手書きによる near partial copy の可能性がある。例を図 2 に示す。手書きの複製では、オリジナルにある台詞の吹き出しと花が略されているとともに、個々の線についてもオリジナルと微妙な差があり、スケールも違う。本研究では、こういった場合であっても複製を検出すること、特に漫画の中に漫画の部分的複製を埋め込むといったような、複雑な背景を伴うような場合であっても検出することを目標とする。

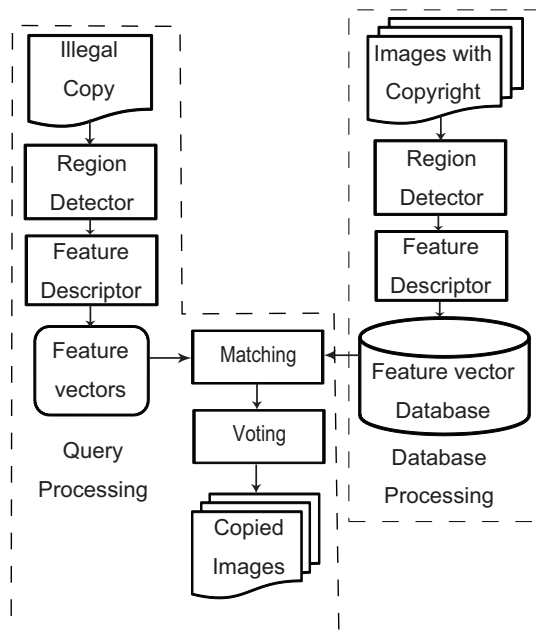


図 3 提案手法の処理過程 .

3. 提案手法

上に述べたそれぞれのタイプの複製を検出するには、各々に適した手法を用いるべきかもしれない。しかし、実際に利用することを考えると、全種類の不正利用を統一的に検出できる手法が望まれる。提案手法は、一番難しい問題である部分的複製を検出することを意図しているが、他の種類の複製であっても検出可能であることを目指す。

3.1 処理の流れ

提案手法は、局所特徴量を用いて部分的複製を検出する手法である。図 3 に示すように、処理過程は 2 つの部分からなる。

データベース処理では、著作権を保護すべき画像（著作権保護画像と呼ぶ）を集めて局所特徴量を抽出し、データベースを作る。局所特徴量の抽出は、region detector による局所領域の抽出と、feature descriptor による特徴ベクトルとしての記述からなる。画像のサイズにもよるが、一般に抽出される特徴ベクトルの数は画像あたり数百から数万と膨大になる。

一方、クエリ処理では、著作権侵害の可能性のある画像（被疑画像と呼ぶ）をクエリとしてデータベースに問い合わせ処理を行う。まず、データベース処理で用いたものと同じ detector と descriptor を用いて、特徴ベクトルを抽出する。それから、最近傍探索によって、クエリの特徴ベクトルとデータベースの特徴ベクトルを照合し、対応する著作権保護に投票を行う。その結果、得票数が最大の画像から一定数を著作権侵害の可能性として報告する。

線画の部分的複製を検出するため、提案手法では、MSER を領域検出器として、HOG を特徴量記述子として用いる。マッチングの時間を短縮するため、ANN(Approximate Nearest Neighbor search) [7] を用いて、最近傍の特徴ベクトルを計算する。



(a) 印刷線画から抽出した MSER



(b) 手書き線画から抽出した MSER

図 4 MSER の例 .



(a) 拡大した MSER



(b) 局所特徴領域

図 5 局所特徴領域の処理過程 .

3.2 MSER

Matas らは、wide-baseline マッチングのため、MSER と呼ばれる手法を提案している [5]。多重解像度表現を用いることによって、違う視点から得られた画像を照合している。

概略を以下に述べる。極値領域 (Extremal region) という領域を考える。この領域は、領域内の全部の画素の明暗度は周りの画素の明暗度より高い又は小さいとして定義された領域である。この極値領域の中で、安定な面積が一番大きい領域を MSER という。この領域の共分散行列を対角化して、MSER を楕円領域に変換する。図 4 に抽出された楕円領域の例を示す。

この楕円 MSER はアフィン変換と輝度変化に耐性を持っている。手書きの複製では、原画像の線の明暗と濃淡が変化するので、MSER の特性は、手書き複製から安定な領域を抽出するために重要となる。さらに、手書き複製では画像の細かい部分に多くの改変がある。そして、細かい部分から抽出した楕円のサイズは小さく、複製の識別にはあまり役に立たないため、利用する楕円のサイズを一定の大きさを持つものに限定する。また、複製の識別のためには、楕円領域内に多くの線分が含まれていることが望ましい。そこで本手法では、楕円のサイズを一定割合 (実験では 6 倍) だけ拡大する。それから、楕円の長軸を画像の y 軸に平行となるように回転し、局所特徴領域を得る。図 5 に、拡大、回転された MSER の領域の例を示す。

3.3 HOG

HOG (Histogram of Oriented Gradients) は、人検出のため、Dalal らによって提案された特徴量である [6]。基本的な考

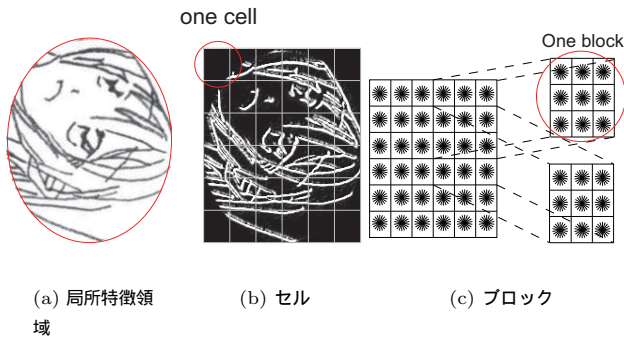


図 6 HOG 特徴量計算領域の構造 .

え方は、局所の勾配あるいはエッジの方向の分布で、物体の見えや形状をうまく表現できるというものである。提案方法では、MSER で定義された各々の局所領域に対して HOG 特徴を抽出する。図 6(b) に示すように、まず、各ピクセルの輝度から勾配強度と勾配方向を計算する。このとき、勾配方向を 9 方向に離散化する。そして、局所領域をセルと呼ばれる小さな小領域に分割する。次に、各セル領域において、輝度の勾配方向ヒストグラムを作成して、9 次元のベクトルを得る。それから、図 6(c) に示すように、セル間で互いに重なりを持つブロックを構成し、セルのベクトルを結合、正規化して、ブロックを表すベクトルを得る。結果として得られる特徴ベクトルは、全てのブロックのベクトルから構成される多次元ベクトルである。1 つのブロックは 9 個のセルを含み、局所領域からは 6×6 個のブロックが得られるため、特徴ベクトルの次元数は $9 \times 3 \times 3 \times 6 \times 6 = 2916$ 次元である。なお、HOG 特徴は局所特徴領域を均一に分割するので、スケール変換に対して不変である。

3.4 照合と投票による複製検出

上記のプロセスを経て得られる特徴ベクトルは多数となるため、その照合には効率化が必要である。本手法では、近似最近傍探索の一手法である ANN (Approximate Nearest Neighbor) [7] を使って、照合の高速化を図る。ANN では、k-d 木を用いてデータを記録する。探索時には、クエリとなる特徴ベクトル q を用いて k-d 木を根から葉に向かって辿ることにより、暫定的な最近傍となる特徴ベクトル p を得る。 q と p のユークリッド距離を r とするとき、真の最近傍は q から半径 r の超球中に存在するので、その空間を探索すればよい。ANN ではこのとき、近似のパラメータ ϵ を用いて縮小した半径 $r/(1+\epsilon)$ の超球内を探索することにより、高速化を図るものである。縮小のために真の最近傍が得られないというリスクを負うものの、処理は劇的に高速化される。

一般に、照合の結果として得られる対応関係の中には、誤ったものも多数含まれる。誤対応を除去する簡便な方法は、距離の比を用いるものである。いま、クエリの特徴ベクトルを q 、その最近傍となるデータベース中の特徴ベクトルを p_1 、第 2 位となる特徴ベクトルを p_2 とするとき、

$$\frac{d(q, p_1)}{d(q, p_2)} < T$$

となる、すなわち 2 位との差が顕著である場合にのみ対応するとみなす。ここで、 T は閾値である。

以上の処理により、被疑画像から得た各特徴ベクトルについて、対応するデータベース中の特徴ベクトルを得ることができる。データベース中の特徴ベクトルに対しては、どの著作権保護画像から得たものであるかが分かっている。これをその画像に対する投票と考えることにより、最大得票数を得る画像として、対応する著作権保護画像を検出することができる。ユーザにとって少数の画像を検査することはそれほど苦にならないと考えられるため、本手法では、得票数第 R 位までの画像を出力する。

4. 実 験

4.1 実験条件

本手法の有効性を検証するため、漫画を対象として実験を行った。

まず、データベースに格納する著作権保護画像としては、7 種類の漫画から得た 1002 枚の単色画像を用いた。

クエリについては、次のような手順により作成した。まず、データベースの画像から 101 枚の画像を選択した。次に、各々について、約 1/5 程度の面積を持つ部分領域を切り出した。部分画像には、人物や顔の一部、建物や花の一部が含まれている。

near partial copy としては、この部分領域を用いて次のように 2 種類を作成した。一つは、部分領域の画像を印刷してからスキャンして、再度、画像化することにより得られる部分的複製 (以後、印刷と呼ぶ) である。もう一つは、部分領域の線画をまねて手書きで複製し、スキャンして画像化することにより得られる部分的複製 (以後、手書きと呼ぶ) である。両者とも、元の部分領域画像の 3/4 の大きさとなるようにスケール変動を加えた。そしてこれらの画像を、データベースには存在しない漫画 (背景) に埋め込むことによって、クエリ画像とした。背景はデータベースに登録していない漫画からランダムに選択した。

クエリ画像の例を図 7 に示す。クエリ画像としては、背景となる漫画を持たないものに加えて、部分的複製の面積を基準として、背景の面積を 2, 4, 10 の 3 通りに変化させ、合計 4 通りのクエリ画像を作成した。

画像の照合では、ANN の ϵ を 10 に設定した。実験に用いた計算機は、CPU が Opteron 2.4GHz、メモリが 128GB のものである。

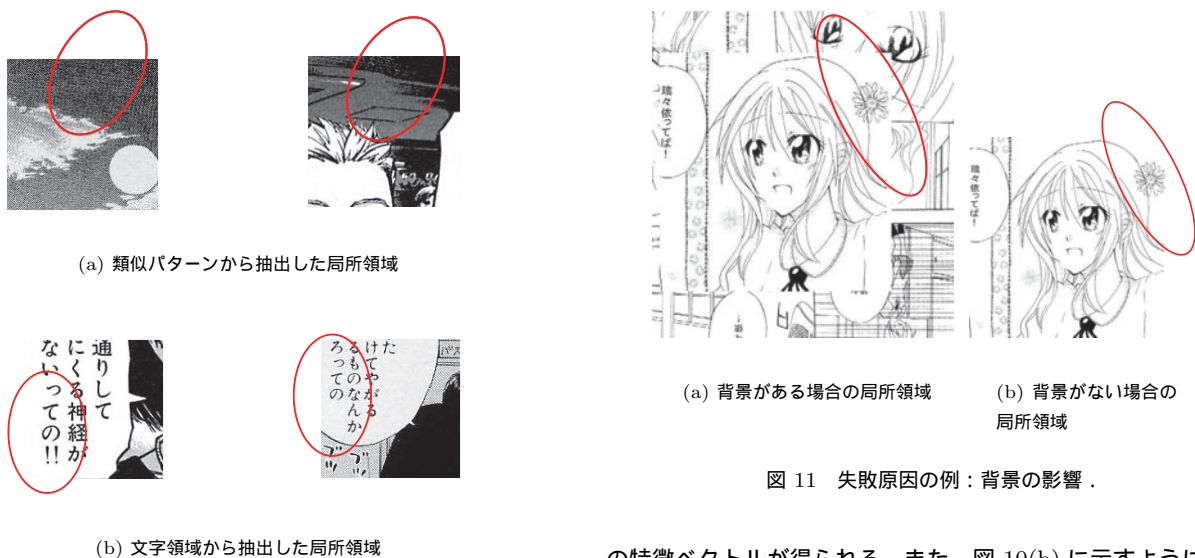
4.2 実験 1

まず、上記のクエリ画像を用いて複製検出実験を行った。本実験では、提案手法のほか、比較手法として SIFT [2] を用いた複製検出法も試した。比較手法では、局所特徴量として SIFT を用いる以外は、基本的には提案手法と同じである。距離の比の閾値 T としては、提案手法で 0.95、SIFT を用いる手法で 0.6 という値を設定した。

実験の結果を図 8 と図 9 に示す。横軸は得票数の順位、縦軸は累積分類率を表す。図 8 を見ると、印刷の複製については、SIFT は提案手法を多少上回る結果を得ていることが分かる。両者に共通して言えることは以下の 2 点である。下位の画像ま



図 7 クエリ画像の例.



(a) 類似パターンから抽出した局所領域

(b) 文字領域から抽出した局所領域

(a) 背景がある場合の局所領域

(b) 背景がない場合の局所領域

図 11 失敗原因の例：背景の影響.

図 10 失敗原因の例：類似部分.

で見ることにより、累積分類率はわずかではあるが改善する。また、背景がない場合の累積分類率が最も高く、背景の面積が大きくなるにつれて精度が少しずつではあるが低下する。

一方、図 9 を見ると、手書きの複製については、SIFT は全く有効に動作しないことが分かる。これは SIFT 特徴が手書きのような微妙ではあるが複雑な変動に対して非常に脆いことを意味している。これに対して、提案手法は、印刷の場合に比べて低下はするものの一定の累積分類率を得た。具体的には、例えば、背景のない手書きの場合で 5 位の累積分類率が 94%、10 倍の背景を伴う場合で 74% という結果であった。これは、MSER+HOG という組み合わせが手書きの変動に対して有効であることを示している。

提案手法で検出に失敗した原因は、次の 2 つであった。

一つは、違う漫画であっても似ている部分が多いことである。図 10(a) に示すように、テクスチャとして似た領域からは類似

の特徴ベクトルが得られる。また、図 10(b) に示すように、文字を多く含む部分領域からも類似の特徴ベクトルを得ることが多く、これが原因となり誤投票が増加した。

もう一つの原因は、局所性の不足によるものである。図 11(a) に示すように、クエリ画像から得られた局所領域には、背景の一部にまたがるものがある。このような場合、データベース中の特徴ベクトルと類似しない特徴ベクトルが得られ、誤投票につながった。

処理時間については、提案手法は SIFT を用いた場合に比べてかなり劣る結果となった。この主な理由は、特徴ベクトルの次元数の差にある。SIFT が 128 次元であるのに対して、HOG により得られる特徴ベクトルは 2916 次元と大きな開きがある。この結果、例えば背景がない場合の処理時間は、SIFT による手法で 425ms/query であったのに対して、提案手法では 6013ms/query であった。

4.3 実験 2

次に、提案手法に対して、回転とスケール変換に対する耐性を検査した。クエリ画像としては、印刷、手書きの双方について

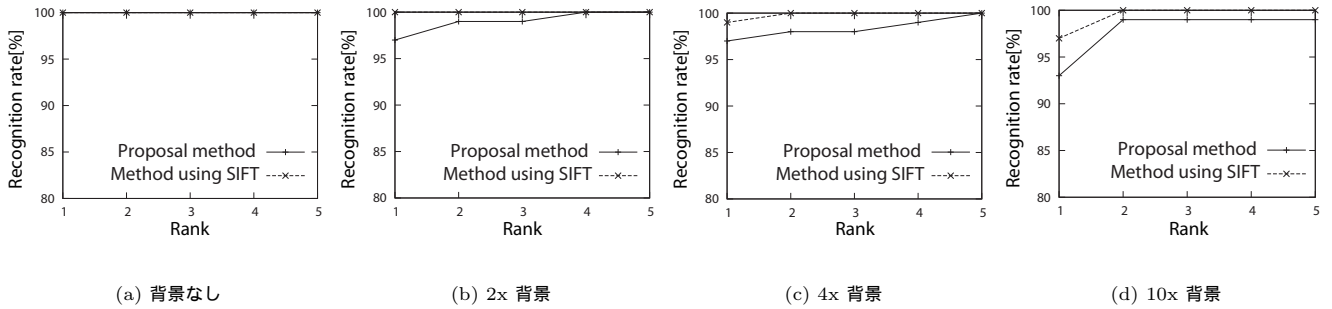


図 8 印刷に対する検出結果 .

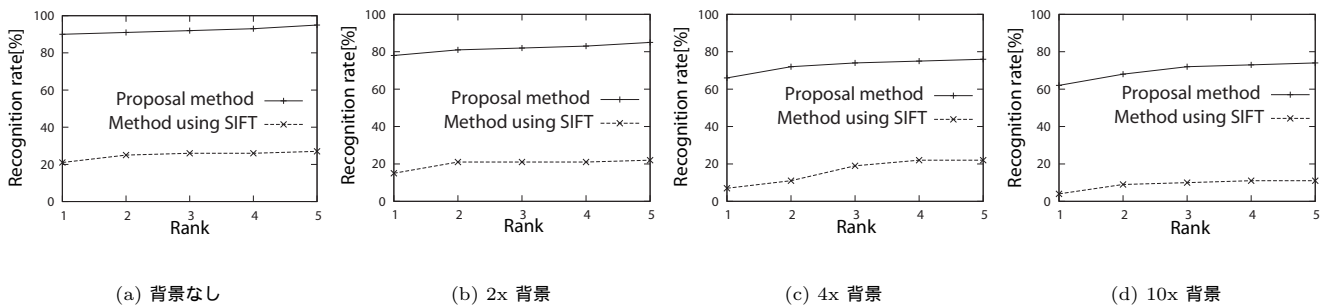


図 9 手書きに対する検出結果 .

表 1 回転実験の結果

rotate degree	0°	30°	45°
recognition rate of printed partial copies	100%	99%	98%
recognition rate of handwritten partial copies	94%	90%	88%

表 2 スケール変換実験の結果

scale	3/4	3/2
recognition rate of printed partial copies	100%	99%
recognition rate of handwritten partial copies	94%	88%

て、背景のない部分的複写を用いた。具体的には、これらを 30°, 45° に回転したものや、大きさを 2 倍 (原画像の 3/2 倍) にしたものを用いた。

5 位までの累積分類率を表 1 と表 2 に示す。ここで、表 1 の 0°, 表 2 の 3/4 とは、実験 1 と同様のクエリ画像を表す。この結果より、提案手法は、スケール変化や回転についても一定の耐性を持つことが分かる。また、これらの表からは、回転やスケール変化に対する耐性は、手書きの場合により得にくいことも分かる。

5. まとめ

本稿では、局所特徴量の照合による線画の部分的複写の検出手法を提案した。提案手法では、MSER で抽出した領域を HOG で記述することにより、複雑な背景を伴う場合でも、印刷した線画と手書きの不正コピーを一定の精度で検出可能である。SIFT を用いた手法との比較実験により、以下のことが分かった。(1) SIFT を用いる手法は、印刷した線画に対して高い

有効性がある。(2) 提案手法では、印刷した線画の検出に対して、SIFT より数% 低い分類率となる。(3) SIFT を用いる手法は、手書きの線画に対して 20% 程度の 5 位分類率しか得られずほぼ無力である。(4) 提案手法では、分類率は低下するものの 5 位分類率で 74-94% を得、一定の有効性がある。(5) 提案手法には、ある程度の回転とスケール変換に対する耐性がある。

今後の課題は、提案手法における処理時間の短縮などである。

文 献

- [1] P. Bas, J-M Chassery, and B. Macq, "Geometrically invariant watermarking using feature points", IEEE Trans. Antennas Propag., Vol.11, No.9, pp.1014-1028, 2002.
- [2] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant key-points", Int. J. Comput. Vis. 60(2), pp.91-110, 2004.
- [3] Y. Ke, R. Sukthankar, and L. Huston, "Efficient near-duplicate detection and sub-image retrieval", MM, pp. 869-876, 2004.
- [4] Y. Ke and R. Sukthankar, "PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors", Proc. CVPR, Vol. 2, pp.506-513, 2004.
- [5] J. Matas, O. Chum, M. Urban and T. Pajdla, "Robust Wide Baseline Stereo from Maximally Stable Extremal Regions", BMVC, pp.384-393, 2002.
- [6] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection", IEEE CVPR, vol.1, pp.88-893, 2005.
- [7] S. Arya, D. Mount, R. Silverman and A. Y. Wu, "An optimal algorithm for approximate nearest neighbor searching", Journal of the ACM, 45, 6, pp.891-923, 1998.