

類似画像検索方式の改変画像検出への適用 ——デジタルコンテンツ保護・流通システムへの適用と評価

吉田 忠城[†] 赤間 浩樹[†] 山室 雅司[†]
串間 和彦[†] 榎谷 浩章^{††}
辻 敏弘^{††} 原田 健次^{††}

本論文では、染織意匠を記録した画像を流通させるコンテンツ保護・流通システムにおいて、改変画像検出機能に、画像中の被写体を検索可能とする類似画像検索方式を適用した結果について述べる。本流通システムは、コピーや絵柄の盗用などの改変画像を検出して著作権所有者に通知することにより、著作権所有者の目視確認処理の支援を行うことを特徴としている。12社の染織業者が3カ月の実験期間中に登録申請した370件の画像のうち、著作権所有者および登録申請者が改変画像と認められた45件に対して、改変画像検出の成功率を示す検出率と検出の確からしさを示す適合率について調査を行った。その結果、35.6%の検出率と89.7%の適合率を、また、画像の湾曲などの特殊技法や色調変更による改変を除外し単純複製や部分複製などに検出対象を絞った場合は68.2%の検出率と95.0%の適合率を示し、類似画像検索技術の著作権管理への適用の可能性を確認した。

Applying Content-based Image Retrieval Method to Detecting Illegally Used Image

TADASHIRO YOSHIDA,[†] HIROKI AKAMA,[†] MASASHI YAMAMURO,[†]
KAZUHIKO KUSHIMA,[†] HIROAKI UMETANI,^{††} TOSHIHIRO TSUJI^{††}
and KENJI HARADA^{††}

Copyright protection is crucial to promote distribution of digital contents such as image and music because it is easy to modify these contents and/or reproduce them without any damage of quality. We applied content-based retrieval method to detecting illegally used images in a digital content distribution system, in which illegality is judged according to the similarity between a copyright image and others. The result of the experiment, 12 manufacturers of dyeing and weaving distributed their design as an image during 3 months, shows the effectiveness of the applied method.

1. はじめに

インターネットの普及や高性能なパーソナルコンピュータの低価格化、インターネットに接続可能な携帯電話やPDA端末の出現により、航空券や書籍、およびソフトウェアライセンスなど幅広い範囲で電子商取引(Electronic Commerce)が行われるようになってきている。特に、画像や音楽など必ずしも物流を必要としないデジタルコンテンツにおいては、販売者にとっては流通経費および配布パッケージの製造経費の削減が可能であり、また、消費者にとっては商品の低

価格化につながるメリットがあることから電子商取引の普及が期待されている。

電子商取引では売買に関する情報が電子データとしてインターネット上を行き交うため、他者になりすましての購買行為や、契約金額の改ざんなどが容易に行われる可能性がある。さらに、デジタルコンテンツは複製や編集・加工が容易であり、また品質が劣化しないという特徴があるため、違法な使用を簡単に行うことができるなど問題が多い。これらの問題を解決するために、コンテンツの閲覧から受発注、配送、決済、そして販売後の利用管理に至るまで総合的に流通を管理する電子著作権管理システムが提案されている^{1)~3)}。

[†] NTTサイバースペース研究所
NTT Cyber Space Laboratories
^{††} 西日本電信電話株式会社
NTT West Corporation

本実験は通信・放送機構(TAO)からの委託により京都市染織デジタルアーカイブ研究会と西日本電信電話株式会社が共同で行ったものである。

電子著作権管理システムで用いられる技術は、暗号やコンテンツの管理、電子決済など多岐にわたるが、デジタルコンテンツを対象とする販売活動では商品であるコンテンツの違法使用が容易なことから、特に、複製や盗用などの不正使用を防止する技術が重要である。

画像コンテンツの流通においては、大きく2つの観点からの不正使用防止方式が研究されている。1つは画像の販売段階での防止方式であり、消費者に見本を提示する際にオリジナル画像の内容が分かる程度に画像を劣化(スクランブル)させる画像の半開示方式^{4)~6)}が研究されている。スクランブル解除(復元)は暗号鍵を用いて行うことが可能であり、画像の購入を行わない他者の不正使用を防止することが可能である。

画像の不正使用に対するもう1つの防止方式は画像の売買が完了した後の不正使用に対する方式である。半開示方式では復元されたオリジナル画像の不正使用までは防止することができない。この問題に対し、画像データの冗長性と人間の視覚特性を利用して画像の一部に著作権所有者の権利情報や利用者情報(電子透かし)を埋め込む方式^{7)~9)}が研究されている。電子透かし技術により著作権所有者の権利を明確に主張したり、不正使用を検出した場合に利用者情報を用いてどのルートで違法な複製が行われたかを特定することが可能となる。電子透かし方式は販売後の不正使用に対する直接的な防止方式ではないが、購入者による不正使用を抑制する有効な方式といえる。

しかしながら、電子透かし方式では画像の保存圧縮率の変更、色の変更、階調変更などにより電子透かし情報が失われてしまう場合がある。また、オリジナル画像を模して新規に作成された画像には電子透かしが埋め込まれていないために不正利用として検出することはできないといった問題がある。

本論文では、電子透かしによる防止方式と同様に販売後の画像の不正使用を検出することを目的とし、画像から抽出される色や形状などの特徴量を用いる類似画像検索方式¹⁰⁾を改変画像検出機能に適用したデジタルコンテンツ保護・流通システムについて述べる。本方式は電子透かしのようにコンテンツに埋め込まれた管理情報を使用するのではなく、コンテンツである画像自身の類似性により不正使用を検出するものであり、著作権侵害の可能性があることを著作権所有者に通知することにより、著作権所有者の目視確認処理の支援を行うものである。このシステムを用いて12社の染織業者がインターネット上で画像の購入、改変、登録といった流通活動を行い、3カ月の実験期間中に370件の画像を登録申請した。このうち、著作権所有

者および登録申請者が改変画像と認めた全45件に対して、改変画像検出の成功率を示す検出率と検出の確からしさを示す適合率の観点から検証を行った。その結果、35.6%の検出率と89.7%の適合率を、また、画像の湾曲などの特殊技法や色調変更による改変を除外し単純複製や部分複製などに検出対象を絞った場合には68.2%の検出率と95.0%の適合率を示し、改変画像検出機能における類似画像検索方式の適用の有効性を確認した。

以下、2章においてデジタルコンテンツ保護・流通システムに適用する類似画像検索方式について述べる。3章では流通システムの概要と、類似画像検索方式の流通システムにおける改変画像検出機能への適用方法について述べる。4章において染織業者による流通実験の結果について述べ、5章で本論文をまとめる。

2. 特徴量を用いた類似画像検索システム

画像に付与したキーワードを用いて検索するのではなく、画像処理技術により画像から自動抽出される色や形状などの特徴量を用いて類似した画像を検索する方式が研究されている^{10)~13)}。これらのシステムでは画像全体(全体画像)や指定した領域を対象とする検索を基本としている。本章では、全体画像に加え、全体画像を構成する部分画像であるオブジェクト(オブジェクト画像)についても検索対象とする高速類似画像検索システム ExSight¹³⁾について述べる。

2.1 オブジェクト抽出と特徴量抽出

図1に ExSight のシステム構成図を示す。オブジェクト抽出モジュールは、たとえば風景を対象とした写真であれば全体画像から山や湖、森など画像内に写っているオブジェクト画像を抽出する。現在の画像処理技術では知識処理を用いずに有意なオブジェクトを抽

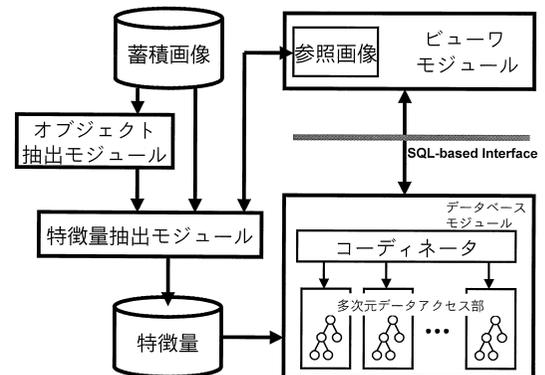


図1 類似画像検索システムの構成

Fig. 1 Architecture of content-based image retrieval system.

出することは困難であるため、ExSight では、不正確なオブジェクトや冗長なオブジェクトが抽出されることを許容して、エッジの強さを変化させながらさまざまなレベルのオブジェクトを段階的に抽出している。

特徴量抽出モジュールは、全体画像およびオブジェクト画像から各画像の特徴量を抽出する。ExSight で使用している特徴量には、全体画像およびオブジェクト画像に共通な特徴量として、色相、彩度、輝度の特徴量がある。また、全体画像特有の特徴量としてテクスチャの特徴量があり、オブジェクト画像特有の特徴量として、形状、大きさ、位置などの特徴量がある。これらの特徴量は、たとえば色相特徴量であれば色相空間を赤色、青色のように 16 分割し、対象画像の各画素値を 16 分割した色相空間の各色ごとに積算することにより作成されるヒストグラムを用いて 16 次元ベクトルとして、また位置特徴量であればオブジェクト画像の重心位置座標を用いて 2 次元ベクトルとして表現される¹⁰⁾。

2.2 検索と類似度

特徴量を用いた類似画像検索システムでは、検索キーとして特徴量を使用されるが、特徴量は数値の集まりであり直感的な入力には困難である。このため ExSight では図 2 に示すように検索したい画像そのものやスケッチ画像を検索キーとして用いることができるようになっている。ビューワモジュールは、検索キーとなる参照画像（全体画像またはオブジェクト画像）が与えられると特徴量抽出モジュールにより特徴量を取得し、データベースモジュールに対して取得した特徴量を検索キーとして検索を要求する。また、このとき検索キーの特徴量とともにユーザが指定する各特徴量ごとの重みについてもデータベースモジュールに受け渡される。

画像の類似尺度は特徴量であるベクトル間の距離を用いて定義され、距離が近いものほど 2 つの画像は似ているものとされる。データベースモジュール内では、多次元データアクセス部が各特徴量ごとに検索キーの特徴量に類似した特徴量を持つ画像を検索し、検索結果をベクトル間の距離値とともにコーディネータに返す。コーディネータは、特徴量ごとに返却される距離値をビューワモジュールより与えられる各特徴量ごとの重みを用いて積算統合することにより総合距離値を算出し、求められた総合距離値を基に検索結果を順位付けする。したがって、設定する重みを特長量ごとに変更することにより、複数の特徴量において、任意の特徴量を重視するような検索や、不要な特徴量を無視した検索を行うように制御することが可能である。なお、



図 2 類似画像検索例

Fig. 2 Sample of retrieval.

ExSight ではデータベースモジュールが返却する距離値を 1.0 を最も類似とする、値域が (0.0, 1.0] である類似度に変換を行っている。

3. デジタルコンテンツ保護・流通システム

デジタルコンテンツは編集・加工が容易であるため、コンテンツの流通が単なる売買活動にとどまらず、作品の共同制作やオリジナル作品への加工による新しい作品の創造など芸術活動にも影響を与えることが期待されている。本章では、染織業者間におけるオンライン上での染織意匠（デザイン）の流通を対象としたデジタルコンテンツ保護・流通システムについて、システムの概要と、流通システムにおける著作権侵害検出機能への類似画像検索方式の適用法について述べる。なお、法律上は“意匠”と“著作権”は異なるが、本流通システムではデザインを JPEG フォーマットの画像として流通させることから、本論文では“著作権”として扱う。

3.1 システムの概要

本流通システムはあらかじめ登録した会員に対しデザインの流通の場を提供するものである。著作権が認められ売買の対象となる画像（著作権画像）や、著作権画像に関する所有者情報、および著作権画像の加工による二次流通の管理に必要な著作権画像の使用に関する制限情報などは染織デザインデータベースとしてセンタで集中管理する。染織業者はインターネットを介してセンタにアクセスすることにより、公開された画像を閲覧、購入したり、自分の画像を販売するために登録したりすることが可能である。図 3 に、購入した画像を改変し再登録申請を行ったときに、著作権の侵害を検出し、登録申請者と著作権所有者との当事者

による著作権交渉に至るまでの例を基に本システムにおける処理の流れを示す。

(1) 画像の購入

購入者は部分的にスクランブルのかかった半開示画像や著作権画像を縮小したいわゆるサムネイル画像を閲覧することにより購入する画像を決定する(図3ステップ1)。また、購入者は著作権所有者などの書誌情報を使った検索を行うことができるほか、2章で述べた類似画像検索方式を用いた検索機能を利用して検索キーとなる画像を与えることにより所望の画像に似た画像を閲覧することができる(図4(a))。

(2) 画像の登録申請

販売される画像には電子透かしにより画像識別子が埋め込まれている。センタでは画像識別子により、画像の著作権の所有者情報や、閲覧のみか販売対象かのコンテンツの利用情報、および個人利用か商用利用か、改変を許可するかなど購入後のコンテンツの使用条件

に関する情報を管理している。登録申請者はこれらの使用条件を付加して画像の登録申請を行う(図3ステップ3)。登録申請の際には、画像内に存在するオブジェクトを矩形で囲むように指定することにより、画像内の著作権を主張する範囲を指定することが可能であり、登録が許可された場合には、登録時に指定した矩形内のオブジェクトが図5左上のように著作権のある画像としてシステムに登録される。なお、本例においてはモニターBが購入した画像を改変(図3ステップ2)し、登録申請するものとする。

(3) 改変画像の検出

すでに登録されている著作権画像の中から購入した画像の使用条件を無視して登録申請された画像や、すでに登録されているデザインと類似した画像を検出する(図3ステップ4)。

まず、システムは電子透かし情報により違法性の検証を行い、次に、違法性が認められなかった以下の場合について、2章で述べた類似画像検索システムを適用した類似画像検出機能により類似画像の検出を行う。

- 電子透かし情報の検出に失敗した場合
保存圧縮率の変更や階調変更などが行われると電子透かし情報が失われる場合がある。また、オリジナル画像を模して新規に作成し登録申請された画像にはまだ電子透かし情報は埋め込まれていない。
- 電子透かし情報からは違法性が認められない場合
登録申請された画像は複数の著作権画像を組み合わせて生成されている可能性があり、画像内のすべての部分について保証が得られたわけではない。

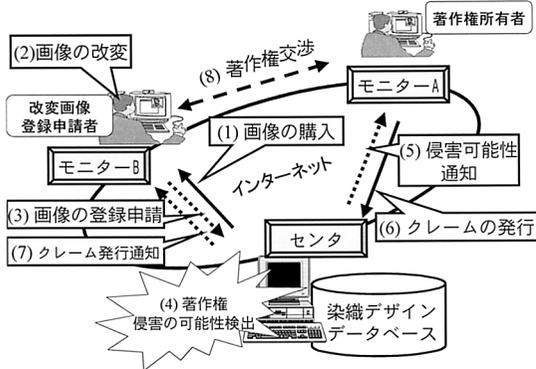


図3 流通システムの処理の流れ

Fig. 3 Process flow of digital content distribution system.



(a) Result of retrieval



(b) Raising objection

図4 流通システムの画面例

Fig. 4 Sample images of digital content distribution system.

(4) 著作権交渉

類似画像検出処理により著作権侵害の可能性がある画像を検出すると、登録申請者に対し侵害の可能性がある旨を伝える。登録申請者がさらに登録処理を続行すると、侵害の可能性がある画像が登録されたことを著作権所有者に通知する(図3ステップ5)。著作権所有者が登録申請画像を目視確認し、侵害があると判断した場合にはクレームを発行(図3ステップ6)し、クレームが発行されたことが登録申請者に通知され(図3ステップ7, 図4(b)), 当事者間の交渉となる(図3ステップ8)。

3.2 類似画像検出処理

本節では、3.1節(3)で述べた類似画像検出処理においてどのように類似画像検索方式を適用したかについて述べる。想定される改変の種類には、全体画像においては単純複製、回転、拡大・縮小、縦横のアスペクト比変更、画像の一部に新しいオブジェクト画像を追加したり一部の領域に対して色の変更を行う部分変更、および画像全体にフィルタをかけたように全体の色調を変更する色調変更がある。またオブジェクト画像においては、単純複製、拡大・縮小、回転、アスペクト比変更、色の変更がある。

類似画像検出処理では、これらの改変に対し登録申請画像を検索キーとして著作権画像データベースに全体画像とオブジェクト画像の両面から検索を行い、どちらかの検索において類似度の高い画像が検索された場合には、登録申請画像に著作権侵害の可能性があると思なす。全体画像検索は画像全体から抽出される特徴量を用いるために画像全体に対する変更の検出に適する。逆に、全体画像の特徴量は画像の背景部分に強く影響を受けることから、オリジナル画像から部分的に切り出されたオブジェクト画像に対する変更の検出は困難であり、このようなオブジェクト画像に対する変更の検出にはオブジェクト画像検索が適している。処理の流れを図5に示す。

(1) 著作権画像の登録

著作権画像データベースには、登録が認められた画像について全体画像の特徴量と、全体画像から抽出されるオブジェクト画像のうち登録者が指定する著作権範囲矩形内に存在するオブジェクト画像の特徴量が登録される。このとき、オブジェクト画像については矩形内に存在する最も大きいオブジェクトのみを登録対象とする方法と、矩形内から抽出される冗長性を含んだすべてのオブジェクトを登録対象とする方法がある。しかしながら、前者の方法では、オブジェクトの一部が切り取られ利用される改変に対し、抽出されるオブ

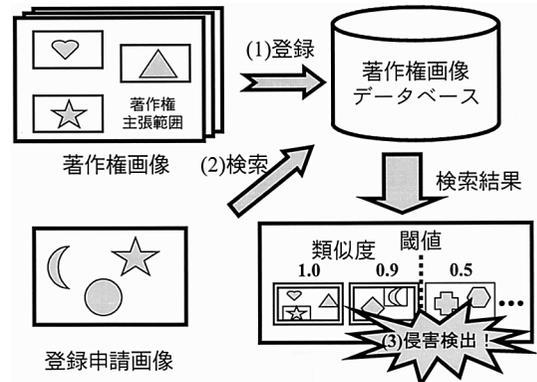


図5 類似画像検出処理の流れ

Fig. 5 Process flow of detecting similar images.

ジェクトの形状が異なり改変の検出が困難となる。一方、冗長性を含んだすべてのオブジェクトを登録する場合には、オブジェクトを構成する部分オブジェクトについても登録されることから、オブジェクトに対して改変を行った場合についても部分オブジェクトが残存していることが考えられるために、本処理機能では後者の方法を採用している。

なお、検索対象および検索キーに関して、登録申請された画像を検索対象としてすでに登録されている著作権画像を検索キーとする方法と、逆に著作権画像を検索対象として登録申請画像を検索キーとする方法があるが、処理の高速性の観点から後者を採用している。

(2) 著作権画像の検索

登録申請があると登録申請画像から、全体画像およびオブジェクト画像の特徴量を抽出し、それぞれについて著作権画像データベースに対して検索を行う。オブジェクト画像検索においては、不正確なオブジェクトや冗長なオブジェクトも抽出されるが、有意なオブジェクトを特定することが困難であることや、登録時と同様に、抽出オブジェクトの冗長性を利用してオブジェクト画像の部分的な改変を検出することが可能であることの観点から、抽出されたすべてのオブジェクトについて検索を行う。

(3) 著作権侵害の検出

著作権画像データベースからの検索結果には、2.2節で述べたように類似度が付随している。この類似度に閾値を設定しておくことにより、閾値以上の類似度を持つ画像を著作権侵害の可能性があると判定する。なお、全体画像とオブジェクト画像の検索は、検索対象および検索キーともそれぞれにおいて独立であり個別に閾値を設定するが、本実験においては閾値を統一するように補正を行っている。

4. 実 験

3章で述べたデジタルコンテンツ保護・流通システムを用いて、12社の染織業者が流通実験を行った。実験では、染織デザインデータベースに初期データとして登録された約500点の画像を基に、画像の購入、変更、登録といった流通活動が行われ、3カ月の実験期間中に370件の画像の登録申請が行われた。このうち16件からは電子透かし情報が検出され、8件が著作権画像に対する使用条件とは異なっていたため申請が却下された。電子透かし情報が検出されなかった354件と電子透かし情報が検出され使用条件を満たしていた8件の合わせて362件に対して類似画像検出を用いた改変画像検出処理が行われた。本章では、これら登録申請画像のうち著作権所有者が改変画像であると判断し登録申請者に対してクレームを発行し、登録申請者がクレームを認めた全45件の画像について解析を行った結果について述べる。

4.1 評価の観点

評価の指標に検出率と適合率を用いた。検出率はクレームが発行された改変画像を類似画像検出処理において検出できた割合である。本システムでは、登録申請された画像を検索キーとしてすでに登録されている著作権画像に対して検索することにより改変の検出を行うため、 n を改変画像数、改変画像 i の基となった著作権画像を検索できたときを $S_i = 1$ 、検索できなかったときを $S_i = 0$ とすると、検出率 P を式(1)で表す。

$$P = (1/n) \sum_{i=1}^n S_i \quad (1)$$

ただし、

$$S_i = \begin{cases} 1 & \text{If detection is succeeded} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

また、改変画像を検出すると著作権所有者に対して著作権が侵害されている可能性がある旨の通知を行うが、誤った通知は著作権所有者に対しては意味のないものであるため通知の信頼性が重要である。この指標が適合率であり、システムが著作権を侵害している可能性があるとして検出した著作権画像数における実際に改変の基となった著作権画像数の割合である。適合率 D は、クレームが発行された改変画像数 n のうちシステムが検索結果を返却した改変画像数を m ($1 \leq m \leq n$)、改変画像 i における検索結果の返却数を R_i 、改変画像 i の基となった著作権画像数、すなわち正解の検索結果数を C_i とすると式(2)で表される。

$$D = (1/m) \sum_{i=1}^m \frac{C_i}{R_i} \quad (2)$$

ただし、

R_i : Number of retrieved images

C_i : Number of images to be retrieved

全体画像およびオブジェクト画像のそれぞれについて、以下の評価観点から検出率と適合率を測定した。

- 解析対象すべての改変画像
システム全体における検出機能を評価する。
- 改変の種類により分類した改変画像
改変の種類による特性を評価する。
- 検出対象の改変画像
次節で述べる検出対象の絞り込みによる検出機能の改善効果を評価する。

4.2 検出対象の改変画像

検索結果は各特長量に与える重みの割合により大きく異なるため、最適な重みを設定することが重要である。このため、染織業者による流通実験を行う前の事前試験により特徴量への重みの設定を行った。

色相特徴量を重視すると色の類似性が重要視されるため色の改変に対応できない。事前試験では、3.2節で述べたすべての改変種類に対し、彩度、輝度特徴量を重視したオブジェクト画像検索による検出精度が良好であったため、色の改変への対処を考慮し、オブジェクト画像検索による検出では色相特徴量を使用しない重みを設定した。

しかしながら、流通実験が始まると彩度および輝度特徴量重視の重みの設定では、サンプルとして抽出した任意の登録画像18件について調査した結果、検出率は72.2%と高いものの適合率が31.2%と低いことが判明した。染織業者へのアンケートの結果においても図6に示すように85%以上の人が検出通知で指摘さ

質問：
検出通知には著作権画像
とは関係のない画像が
ありましたか？

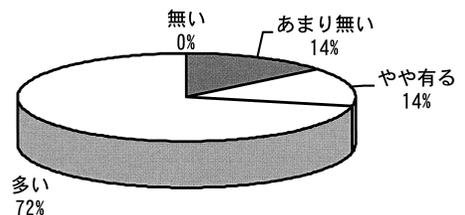


図6 適合率に関する利用者アンケート結果
Fig. 6 Sense of satisfaction on recall rate.

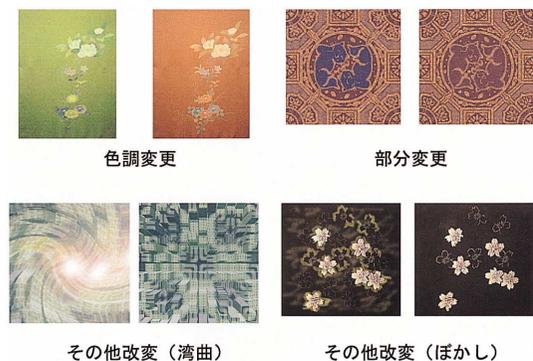


図7 全体画像の改変例

Fig. 7 Examples of alteration of whole image.



図8 オブジェクト画像の改変例

Fig. 8 Examples of alteration of object image.

れた画像が実際には関連のない画像であることが多いとの結果が得られた．検出通知の信頼性が低くなると著作権所有者は正しい通知の場合にも通知を無視するようになり通知の効果が薄れてしまう．このため、適合率を上げることが目的として検出対象の改変種類を絞った重み付けを行うこととした．

(1) 全体画像における改変種類

2.1 節で述べたように全体画像における特徴量には色相、彩度、輝度、およびテクスチャの特徴量がある．色の改変に対しては色相特徴量による類似性が使えないために、その他の特徴量を使うことになるが、彩度および輝度による特徴量には前述の問題がある．また、現在用いているテクスチャ特徴量は模様の繰返しパターンがあるような画像には有効性を示しているが、検索キーが繰返しパターンを含まないような画像には適合率が低く問題がある．したがって、色相を重視するように各特徴量の重み付けを行い、全体画像における改変種類のうち、色調変更は検出対象から除外し、その他の単純複製、拡大・縮小、アスペクト比変更、部分変更を検出対象とした．登録申請のあった全体画像における改変例を図7に示す．いずれの改変についても左側が登録申請画像であり右側がオリジナル画像である．

(2) オブジェクト画像における改変種類

オブジェクト画像については、色相、彩度、輝度のほかに、形状、大きさ、位置の特徴量がある．オブジェクト画像の利用位置は不特定であるため位置特徴量は使用できない．また、オブジェクト画像の再利用では拡大/縮小は頻繁な操作と考えられるため、大きさ特徴量も使用できない．さらに、色の改変については全体画像と同様の問題があるため、形状特徴量の類似性を重視することが有効と考えられる．しかしながら、単純複製でさえも背景の違いにより抽出されるオブ

ジェクトの形状が異なり、さらに色の改変が行われるとオブジェクトの抽出形状はオリジナル画像のものと大きく異なってしまう問題がある．したがって、全体画像での検出と同様に色相を重視するように特徴量の重み付けを行い色の改変については検出対象から除外し、回転を含めた単純複製や拡大・縮小、アスペクト比の変更を検出対象とすることとした．オブジェクト画像における改変例を図8に示す．

4.3 全体画像の改変

図9に全体画像の改変について、4.1節で述べた各評価分類における検出率を示す．横軸は改変の可能性があると判断する閾値となる類似度である．また、図10にそれぞれの適合率を示す．各改変種類の内訳は回転を含む単純複製が20.7%、色調変更が20.7%、部分変更が20.7%、その他の改変が37.9%であった．その他の改変には、色の変更は行わないが全体にぼかしをかける改変や画像内のある点を基準に大きく歪めたり、湾曲した物体へ貼り付けを行ったものであった．

全体画像の改変に対する検出率は、検出対象とした改変種類に対しては、たとえば閾値0.96において総合で83.3%となっているものの、改変種類全体では38.0%と低い数値になっている．その要因は検出対象から除外した色調変更に加え、ぼかしを用いた改変などの想定していなかった改変の割合が多かったためである．これらの改変のうち色調変更については、QBIC¹¹⁾で採用している全体画像から抽出されるエッジ成分を用いたテクスチャ特徴量などにより検出の向上が期待できる．

またこのときの適合率は、検出対象の改変種類全体では91.0%であり、改変種類全体についても84.2%となっており、検出通知が信頼できる結果となっている．ただし、閾値の減少にともない部分変更における適合率が極端に低くなっている．この原因はオブジェクト

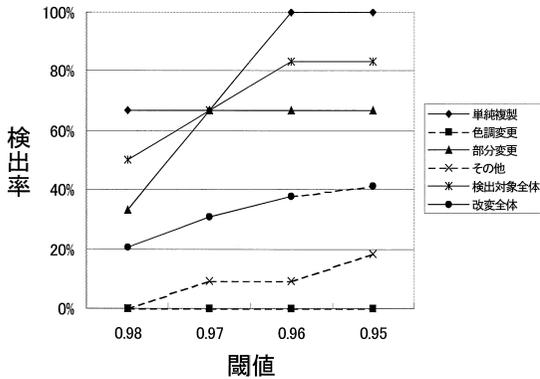


図9 全体画像変更の検出率

Fig. 9 Detection rate of alteration of whole image.

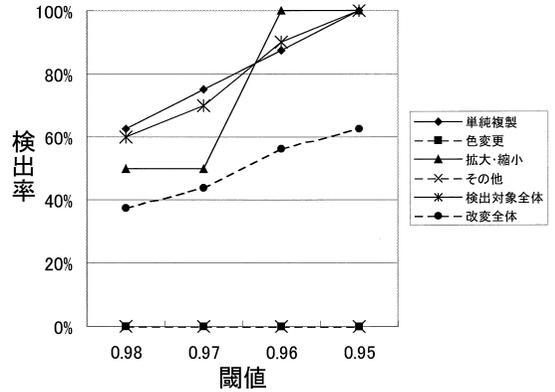


図11 オブジェクト画像変更の検出率

Fig. 11 Detection rate of alteration of object image.

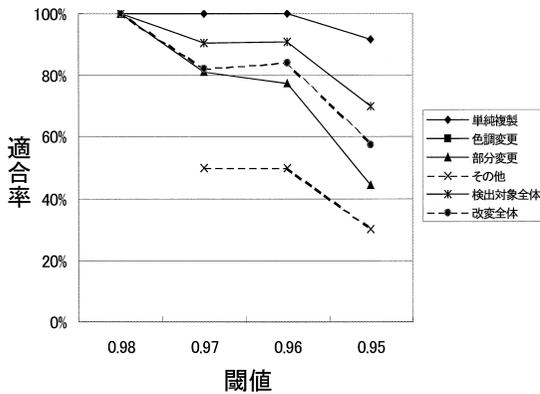


図10 全体画像変更における適合率

Fig. 10 Recall rate of detection on whole image.

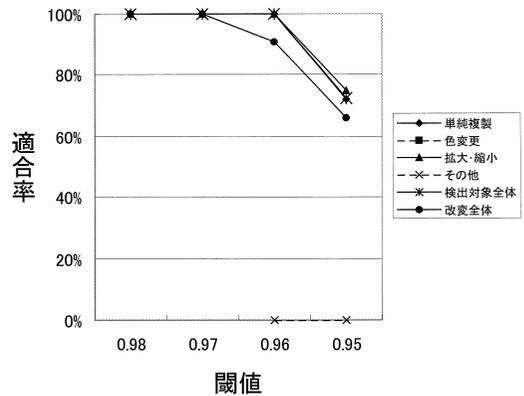


図12 オブジェクト画像変更における適合率

Fig. 12 Recall rate of detection on object image.

画像検索を用いた検出が影響している。全体画像の一部に変更が加えられると、画像全体におけるオリジナル画像との類似度は低くなり全体画像検索による変更の検出が難しいが、変更が加えられなかった部分はオリジナル画像がそのまま保存されることが多く、その領域から抽出されるオブジェクト画像を基にオブジェクト画像検索により変更が検出される場合がある。しかしながら、全体画像の変更対象となるオリジナル画像には幾何学模様などオブジェクトを含んでいない画像が多く、著作権所有者は登録時に著作権の主張範囲を指定しない場合が多い。この場合、システムは画像の全領域を著作権の主張範囲として抽出されるすべてのオブジェクト画像を著作権画像データベースに登録する。したがって、有意でないオブジェクト画像が検出に悪影響を与えているためである。この問題についてもオブジェクト画像内におけるエッジ成分を用いたテクスチャ特徴量などの併用が有効であると考えられる。なお、色調変更に対する適合率およびその他の変更に対する閾値 0.98 に対する適合率は検索結果数が 0 件

であったため不定となっている。

4.4 オブジェクト画像の変更

図 11 にオブジェクト画像の変更に対する検出率を、図 12 に適合率を示す。変更種類の内訳は単純複製が 50.0%、色の変更が 12.5%、拡大・縮小が 12.5%、その他の変更が 25.0%であった。オブジェクト画像はオブジェクトそのものに意味があるため、全体画像の湾曲のような著しく形状を崩すような変更はなかったが、オブジェクト内の特定色を透明にしているものがあつた(図 8)。

図 11 に示すように、予想どおり検出対象外とした色の変更については検出ができていないものの、検出対象とした変更については閾値 0.96 において 90.0%と高い検出率を示している。また、変更画像全体に対しても 56.3%の検出率となっており、全体画像への変更に対する検出率に比べて高い値になっている。これはオブジェクト画像を利用する変更ではあまり複雑な変更操作が行われておらず、検出対象外とした色の変更

や想定していなかった改変が少なかったためである。適合率についても検出対象とした改変画像に対しては100%，改変画像全体に対しては90.9%であり，検出したものはほとんどすべて改変画像であることを意味しており，改変画像の検出における類似検索機能の有効性が確認できる。

単純複製や拡大・縮小において高い閾値における検出率が低い，その理由としては以下の2つが考えられる。

- JPEG 画像におけるオブジェクトの抽出精度

現在用いているオブジェクト抽出方式では高圧縮された画像からのオブジェクトの抽出精度が低い。また，オリジナル画像に改変を加えずに圧縮率を変えて保存した画像からオブジェクトを抽出すると，JPEGのブロックノイズの影響から抽出されるオブジェクトの形状がオリジナル画像から抽出されるオブジェクトのものとは異なってしまいう問題がある。これらの問題は実験前から把握しており，初期データとして登録した画像については低圧縮で保存した画像を用意したが，利用者である染織業者は市販のデジタルカメラを利用して自分の作品の画像を記録することや，センタへの登録には一般の電話回線を使用するため通信時間の問題から高圧縮された JPEG 画像を用いて登録を行うことが多かった。高帯域なネットワークサービスが普及し始めているが，実際の流通ではまだまだ高圧縮された画像が用いられると考えられることから，このようなデータの圧縮形式に影響を受けないオブジェクトの抽出方式が望まれる。

- 特徴量の固定的な重み付け

今回の流通実験では，各特徴量間の重みの組合せを色相を重視した1つに固定して行った。しかしながら，検索キー画像が黒や白などの場合には，色相特徴量は不定値となるため類似度の低下につながっている。この場合には色相よりも彩度・輝度特徴量を重視した方が検索精度は良い。したがって，1つの固定的な重みを使用するのではなく，検索キー画像の色相に従って重みの組合せを動的に変更することが有効であると考えられる。

4.5 総合評価

図13に調査した著作権侵害が認められた登録申請画像45件に対して，検出対象とした改変種類全体と，登録申請画像全体における検出率と適合率を示す。検出率と適合率はトレードオフの関係にあり両者を考慮すると閾値0.96が適当であったと考えられるが，流通実験で用いられた閾値0.97に従えば，検出対象と

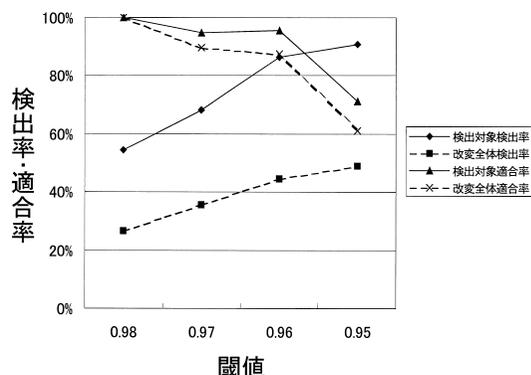


図13 検出対象と全体の検出率と適合率

Fig. 13 Detection and Recall rate in total.

する改変種類に対しては68.2%の検出率と95.0%の適合率，また，改変種類全体に対しては35.6%の検出率と89.7%の適合率であった。

高い適合率を達成させるために検出対象の改変種類を絞り込んだことにより，結果的に検出対象の改変画像が全体の50.0%となり，改変画像全体における検出率は決して高くはない数値となっている。特に，全体画像の改変では約60%の改変画像が検出対象から外れることとなってしまっており，検出率の低下につながっている。しかしながら，本実験におけるデジタルコンテンツ保護・流通システムでは，システムが自動で改変画像を検出して登録を認めるか却下するかを判断するのではなく，著作権所有者に著作権侵害の可能性あることを通知することにより著作権所有者による検出を支援することが目的であることを考えると十分有効であると考えられる。

5. おわりに

デジタルコンテンツは複製や編集・加工が容易であり，また品質が劣化しないという特徴があるため，オンライン流通の普及のためにはコンテンツの不正使用を防止し著作権の保護方式を確立することが重要である。

本論文では，染織意匠を収めた画像の流通を対象にしたデジタルコンテンツ保護・流通システムにおける改変画像検出機能に，画像から抽出される色や形状などの特徴量を用いる類似画像検索方式を適用し，染織業者による流通実験においてその有効性を確認した。

適用した類似画像検索方式では複数の特徴量を組み合わせることで類似性を判定するが，色相特徴量を使用しないと適合率を落とす結果となり，色相特徴量が重要であることが分かった。したがって，全体画像における改変であれば色調変更，また，オブジェクト画像にお

ける改変では色の変更など、色に関する改変画像を検出対象とできなかったが、これらへの対処が今後の課題である。特に、改変画像検出機能が著作権所有者の改変画像検出支援という位置付けを考えると、適合率を落とすことなく検出率を上げていくことが重要である。さらに、実験では画像の湾曲や特定色の色抜きなど当初想定していなかった改変種類が確認された。画像処理技術の向上によりパーソナルコンピュータ上で誰もがこれらの改変を容易に行うことができるため、これらの改変への対処も重要な課題であると考えられる。

謝辞 本流通実験において実験モニターとして実験にご協力いただいた京都市染織デジタルアーカイブ研究会に所属する染織業者の方々に感謝いたします。また、有益なご助言、コメントをいただきました査読者の方々に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 鈴木, 横井, 安田: ネットワーク上の電子的著作権管理システム (ECMS) の構造のモデル化と特徴分析, 情報処理学会技術報告, 99-EIP-4, pp.9-16 (1999).
- 2) 山本, 玉井, 三宅: 著作権保護を考慮した情報流通システム InfoProtect, *NTT R&D*, Vol.47, No.6, pp.723-728 (1998).
- 3) 上野, 庵, 三宅, 武井: 不正コピー防止を考慮したコンテンツ販売システム, 情報処理学会技術報告, EIP-7-3, pp.17-24 (1999).
- 4) 藤井, 山中: デジタル画像情報流通支援のためのスクランブル方式, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.10, pp.1945-1955 (1997).
- 5) 勝田, 中村, 村上, 田中: 映像信号のデジタルスクランブルの一方, 信学技報, ISEC90-33, pp.1-7 (1999).
- 6) 木下, 塩入, 酒井: DCT 符号化に適した画像暗号化方式の提案, 信学論 (D-I), Vol.J75-D-1, No.5, pp.314-321 (1992).
- 7) Bender, W., Gruhl, D. and Morimoto, N.: Techniques for Data Hiding, *Proc. SPIE*, Vol.2420, p.40 (1995).
- 8) 阿部, 藤井, 串間, 櫻井: 個別情報埋込みにより管理機能を強化した画像流通方式, 信学論, Vol.J82-A, No.9, pp.1474-1482 (1999).
- 9) Nakamura, T., Ogawa, H., Tomioka, A. and Takashima, Y.: Improved Digital Watermark Robustness against Translation and/or Cropping of an Image Area, *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E83-A, No.1, pp.68-76 (2000).
- 10) 串間, 赤間, 紺谷, 山室: 色や形状等の表層的特徴量にもとづく画像内容検索技術, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.40, No.SIG3(TOD1), pp.171-184 (1999).

- 11) Flickner, M., et al.: Query by Image and Video Content: The QBIC System, *IEEE Computer*, pp.23-32 (1995).
- 12) Smith, J.R. and Chang, S.F.: VisualSEEK: A Fully Automated Content-Based Image Query System, *Proc. ACM Int. Conf. on Multimedia*, pp.87-93 (1996).
- 13) 串間, 赤間, 紺谷, 木本, 山室: オブジェクトに基づく高速画像検索システム: ExSight, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2, pp.732-741 (1999).

(平成 12 年 6 月 20 日受付)

(平成 12 年 9 月 27 日採録)

(担当編集委員 中川 優)



吉田 忠城

1989年宇都宮大学工学部情報工学科卒業。1991年同大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。メッセージングシステムの研究開発等を経て、

現在はマルチメディア情報検索の研究開発に従事。電子情報通信学会, ACM 各会員。



赤間 浩樹(正会員)

1988年東海大学理学部情報数理学科卒業。1990年同大学院理学研究科数学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。以来、インテリジェント・ネットワーク向けDBMS

の開発、ニュース・オン・デマンドの研究開発等を経て、現在はマルチメディア情報検索の研究開発に従事。人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会, ACM 各会員。



山室 雅司

1985年早稲田大学理工学部数学科卒業。1987年同大学院数学専攻修士課程修了。1990年コロンビア大学大学院電気工学専攻修士課程修了。1999年博士(工学)早稲田大

学。1987年日本電信電話(株)入社。入社以来、ネットワークオペレーション情報モデル化・ビジュアル化、データベース設計法の研究に従事。現在、マルチメディア情報検索の研究開発に従事。1994年電子情報通信学会学術奨励賞受賞。電子情報通信学会, 日本ソフトウェア科学会, IEEE-CS 各会員。



串間 和彦 (正会員)

1980年京都大学工学部電子工学科卒業。同年日本電信電話公社(現NTT)入社。知識処理用プログラミング環境の研究, 大規模クライアントサーバシステムの実用化等を経て, 現在はマルチメディアデータベースの研究開発に従事。



椋谷 浩章

1986年同志社大学経済学部卒業。同年日本電信電話(株)入社。NTTの分社により現在, 西日本電信電話(株)に所属。フロント業務支援システムの開発, カスタマオペレーションの研究, コールセンタ CTI システムの研究開発を経て, 現在はコンテンツ流通の研究開発に従事。



辻 敏弘

1993年大阪大学理学部物理学科卒業。1995年同大学院理学研究科物理学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。NTTの分社により現在, 西日本電信電話(株)に所属。CTIシステムの開発, インターネット課金ソフトウェアの開発を経て, 現在はコンテンツ流通の研究開発に従事。



原田 健次

1995年筑波大学第三学群情報学類卒業。同年日本電信電話(株)入社。NTTの分社により現在, 西日本電信電話(株)に所属。回線自動試験システムの開発, 業務支援システムの開発を経て, 現在はコンテンツ流通の研究開発に従事。