

カメラ付き携帯端末での撮影画像を対象とした劣化耐性のある静止画像識別方式

阿部 剛 仁^{†1,†2,†3} 高田 智 規^{†3,*1} 川 村 春 美^{†3}
藤 井 寛^{†3} 小 池 秀 樹^{†3} 曾 根 原 登^{†1,†2}

カメラ付き携帯端末(携帯電話)によるバーコードや画像などの撮影を起点とし、関連する情報を提示するサービスが提供されているが、撮影画像の識別はサーバでの処理が前提であった。本論文では、画像辞書データを端末内に格納し、撮影した静止画像の識別処理を端末内で行うことで、通信環境によらない高いレスポンスの情報提示サービスが実現できる画像識別方式を提案する。本論文の方式は、画像を矩形ブロックに分割した後、各々のブロックで2つに分割した領域の平均画素値の差分(勾配)を算出し、勾配の系列を画像の特徴量として識別に用いる。特徴量に画素の絶対値を用いないため、カメラ撮影で生じる照明変動やボケなどの劣化にも影響を受けにくい。また、処理の負荷も低く、PCに比べて処理能力・メモリ容量などのリソースが限られる携帯端末でも実装可能である。本方式を市販の携帯電話に実装し、低リソース環境においても高速に動作し、高い識別性能を示すことを確認した。

Robust Image-identification Methods for Camera-equipped Mobile Devices

TAKEHITO ABE,^{†1,†2,†3} TOMONORI TAKADA,^{†3,*1}
HARUMI KAWAMURA,^{†3} HIROSHI FUJII,^{†3} HIDEKI KOIKE^{†3}
and NOBORU SONEHARA^{†1,†2}

If the user is to gain easy access to more sophisticated content-based services, mobile devices must have highly efficient image-based retrieval functions. Since current technologies were designed for the server, this paper proposes a light-weight algorithm to extract image features. The algorithm yields a compact feature by extracting only a simple pixel value inclination in each block partitioning the image; each block is quartered and the difference between the average value of pixels in the target quarter and the average value of those in the remaining quarters is taken to be the "inclination" value of the block. The resulting feature (the sequence of inclination values of the block) can be used

to identify content by accessing compact records held in the mobile's memory and thus access the appropriate services in a time and cost-effective manner. The method is implemented on a typical modern cell-phone with camera and validated in experiments on images degraded by noise, image distortion, and lighting effects. The results show that the proposed method is superior to existing ones.

1. はじめに

近年、画像などのコンテンツデータを起点として関連する情報を提供するサービスが実現されており¹⁾、急速に普及したカメラ付き携帯端末(携帯電話)を用いて、撮影画像から情報を提示するサービスが提案されている。たとえば、QRコードなどの二次元バーコード^{2),3)}を、印刷物やディスプレイに表示し、それらをカメラ付き携帯端末で撮影することでURLなどを取得し、特定の情報へのアクセスを誘導するサービスがある。これらの仕組みは現在市販されているカメラ付き携帯端末の多くに実装されている。また Nakamura らは、QRコードなどの二次元バーコードの代わりに電子透かし技術を用いる方式を提案しており、カメラ付き携帯電話での撮影画像から関連情報に誘導するサービスに、電子透かしが適用可能なことを示している⁴⁾。これらの技術は、実空間に存在する印刷物やディスプレイ表示画像を対象とし、広く普及した携帯端末を利用して、いつでもどこからでも関連するデジタル情報へリンク可能になる点で、応用範囲の拡大が見込まれる。しかし、これらいずれの方式による情報提供においても、バーコードや透かし入り画像を作成する必要があり、すでに流通しているコンテンツへは適用できない。また、バーコードは一定サイズの表示領域を必要とし、コンテンツ全体のデザインを損なう場合もある。電子透かしについては、個々の画像を特定する識別子(ID)と画像を一体化できるため、基本的な美観の点で問題はないが、撮影環境に対するロバスト性を高めると、画像の品質劣化が生じる点で問題が

†1 国立情報学研究所
National Institute of Informatics

†2 総合研究大学院大学
The Graduate University for Advanced Studies

†3 日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所
NTT Cyber Space Laboratories, NTT Corporation

*1 現在、NTT コミュニケーションズ株式会社
Presently with NTT Communications Corporation

11 カメラ付携帯端末の撮影画像を対象とした劣化耐性のある画像識別方式

残っている．一方、画像自身から特徴量を抽出し、ID として利用する方式は、事前の埋め込み処理などは必要なく画像の品質劣化も生じない．このような方式に適用可能なものとしては類似画像検索技術^{5),6)}がある．類似画像検索は、画像の色成分、形状、テクスチャなどの情報を一定の方式で規格化して特徴量とし、特徴量を照合して類似の画像を検出する技術であり、吉田らは著作権を有する染織デザイン流通システムへ適用し、改ざんや盗用の検知に利用可能なことを示している⁷⁾．この場合、類似画像検索技術は類似の画像を漏れなく検出することを目的としており、同一画像を特定するための ID としては不適である．

我々はこれまでに、Web や P2P アプリケーションを用いてネットワーク経由で入手した画像を対象とした画像識別方式の検討を進めてきた⁸⁾．本論文では、PC に比べて処理能力・メモリ容量などのリソースが低いカメラ付き携帯端末においても、特徴量の抽出と識別が可能な画像識別方式を提案する．2 章では、携帯端末搭載カメラでの撮影画像を用いた情報提示サービスに対し、従来提案されているシステムと本研究の目指す構成の違いを明確にし、画像識別の要求条件について述べる．3 章で、提案する画像特徴量抽出方式と識別方式の詳細を示し、4 章で画像識別の劣化耐性について検討する．5 章で、提案方式を PC と市販の携帯電話の両方に実装して識別実験を行い、実験結果を考察する．最後に 6 章でまとめる．

2. カメラ付き携帯端末を用いた情報提示サービス

2.1 携帯端末搭載カメラでの撮影画像の識別方式

携帯端末搭載カメラで撮影した画像から、特徴量を ID として抽出し、識別を行うサービスが提案されている^{9)–11)}．いずれも写真や看板などの撮影画像から抽出した特徴量を、あらかじめデータベースに登録した画像の特徴量と照合し、適合する画像に関連する URL 情報などの提示を実現している．携帯端末を用いた画像識別の処理方式としては、サーバと端末との機能分担により、以下に示す 3 つの構成が考えられる．(1) 携帯端末では撮影のみを行って画像をサーバへ送信し、特徴量抽出や照合の処理をすべてサーバで実施して結果を携帯端末へ返信する方式（サーバ送信方式）．(2) 携帯端末で画像の補正や特徴量抽出などを行った後、一定量のデータをサーバに送信し、サーバで特徴量の照合などを実施して、結果を携帯端末へ返信する方式（ハイブリッド方式）．(3) 携帯端末内で画像の撮影から、特徴量抽出、照合結果提示までの処理をすべて行う方式（端末内処理方式）．表 1 に各々の方式の機能分担を示す．

(1) の“サーバ送信方式”では、画像の特徴量抽出や照合の処理をすべてサーバで行うため、処理能力やメモリ容量などの点で制約が少なく、複雑な処理を高速に行うことが可能で

表 1 携帯端末を用いた画像識別システムの機能分担

Table 1 Design of image identification systems with mobile devices and a processing server.

処理方式	画像取得	特徴量抽出等	照合	画像辞書	通信量
(1) サーバ送信	端末	サーバ	サーバ	サーバ	送:多(画像) 受:少(結果)
(2) ハイブリッド	端末	端末	サーバ	サーバ	送:中(特徴) 受:少(結果)
(3) 端末内処理	端末	端末	端末	端末	無

ある．たとえば渡邊らは、カメラ付き携帯電話で撮影した顔画像をサーバへ送信し、高速な光相関演算によって認証を行うシステムを提案しており、光学式の演算素子を備えたハードウェアを用いることで、さらに高速な識別の可能性にも言及している¹²⁾．また、特徴量からなる画像辞書データを格納するデータベースなども十分なディスク容量を利用可能である．ただし端末から送信する画像のデータ量が多いため、利用者側は通信時間とコストの面で負担が大きく、サーバ提供者側はアクセス数の増加により十分な設備の準備が必要となる．(2) の“ハイブリッド方式”では、利用者側からのデータ送信量が少なくなり、通信時間とコスト面での負担は(1)のサーバ送信方式に比べて低い．山口らは L^*a*b ヒストグラムを用いて、画像より 1176 次元の特徴量ベクトルを生成し、Intel Xeon^(TM) 3.06 GHz 搭載の PC で様々な識別方式を実装して実験している¹³⁾．k-NN、Naïve Bayes 方式を用いた識別では、150 個の検索対象で 1 対象あたり約 50~100 ms の識別時間であると報告されている．また、提供中のサービスについては詳細な情報が公開されていないが、送信するデータ量は 500 バイト~1k バイト、識別時間は 100 ms~300 ms 程度とされている．(1)、(2) いずれの方式においてもサーバ接続が生じるため、通信状況により異なるものの、撮影から識別結果が得られるまでに 5~10 秒程度の処理時間を要する．(3) の“端末内処理方式”では、画像辞書データを事前に端末内に格納することで、画像識別のタイミングごとにサーバへ接続することなく、端末内で処理を完結可能である．ただしサーバに比べると、携帯端末の処理能力やメモリ容量などのリソースは非常に小さく、識別対象とする画像数は限定される．また、画像辞書データをあらかじめ一括して端末内へダウンロードする必要がある．したがって、より小さいサイズの特徴量で高速に識別を行うための画像特徴量抽出および特徴量照合方式が求められる．

画像識別の処理方式は、想定するサービスが必要とする識別対象画像数、レスポンスタイ

ム、撮影条件、情報更新頻度などにより、前述 (1)~(3) の方式から適切に選択する必要がある。登録する識別対象画像が数万から数十万規模であったり、逐次登録される画像にリアルタイムに対応する必要があるサービスでは、画像辞書データをすべて端末内に持つ (3) の方式の適用は難しい。一方で、たとえば商品カタログから購入サイトへの誘導や、キャラクターカード識別によるアミューズメント用途など、登録した一定数の画像との照合を繰り返すタイプのサービスでは、必要数の画像が識別可能であれば、あとはレスポンスタイムなどの利便性やコストの方が重要になる。また現在、携帯端末を海外へ持ち出して利用する場合も増えており、渡航先の公共施設や観光スポットの案内表示・標識などを撮影し、画像識別によって対応するガイドスを受けるといったサービスも想定できる。このようなサービスを実現するにあたり、事前に国内で端末へ画像辞書データを取り込める方式であれば、データ通信サービスの利用可能地域やコストの点を心配する必要がなく、利用者に受け入れられやすいサービスを提供可能になる。これらサービスの実現を想定する場合は、(3) の方式が適している。

画像劣化をとまなうカメラの撮影画像から ID を取得して、画像の識別を行う処理において、バーコードや電子透かしのように画像自身に別途 ID を付加する方式では、パリティチェックなどで撮影時に読み取りの成否を検証可能であるが、画像から抽出する特徴量を ID とする画像識別方式では、ID 取得の成否は実際に画像辞書データと照合を行うまで確かめることができない。したがって、ユーザは画像の識別が成功するまで、撮影を何度も繰り返し行う可能性があり、(1)、(2) の方式では、通信処理の待ち時間とコストをそのつど負うことになる。パケット定額プランなどの普及により、多量のデータ通信をとまなうアプリケーション利用に対する障壁は下がりつつあるが、画像撮影ごとに必要となるレスポンスタイムの低減は、ユーザ利便性の点で重要な要素である。

本論文では上記ユーザ利便性を追求し、携帯端末内で撮影画像の特徴量抽出と識別対象画像の画像辞書データ保持、識別処理、関連情報提示までを実行可能とする (3) の“端末内処理方式”を実現する画像識別方式を提案する。

2.2 要求条件

前節の、(3)“端末内処理方式”により関連情報の提供を行うサービスを想定し、要求条件を以下のように設定する。

(1) カメラ撮影時の劣化耐性

紙に印刷した画像やディスプレイに表示した画像（原画像）を携帯端末搭載カメラで撮影した画像（撮影画像）と、画像辞書データにあらかじめ登録した原画像集合と照合し、同一

画像を検出可能であることを条件とする。撮影した画像は原画像と比較して、画質劣化による歪みと、その他幾何的歪みなどが存在するが、様々な劣化や歪みが生じた撮影画像をクエリ画像とした場合であっても、対応する原画像を同一画像として識別する劣化耐性を持つことが必要である。そこで撮影時の歪みを以下のように想定する。

(a) ボケ（点拡散）

一般的なカメラ撮影においては、レンズ焦点のずれによる光学的ボケ（ピンボケ）と、シャッター解放時にカメラが移動することによる動きボケ（手ブレ）が生じる。携帯端末搭載カメラはレンズ特性も様々であり、レンズ面の汚れによる光拡散なども含めた複合的要因によりボケが生じる。

(b) 照明変動

撮影時の照明環境や露出設定などにより、画像の濃淡およびコントラストが一樣に変動する。また、スポットライトやフラッシュなど点光源からの放射光が画像面に写り込んだ場合や、窓際の室内撮影などにより、画像に不均一な輝度変化が生じる。

(c) ランダムノイズ

高感度撮影や撮影機器の電氣的ノイズなどにより、画像へ粒状のノイズが混入する。

(d) スケール変化、回転、あおりなどの幾何的歪み

(e) 周辺不要部分の写り込み

(f) 遮蔽、撮影範囲漏れによる一部欠損

上記 (a)~(c) の歪みを含む画像の識別に対して、以降の章で提案方式が十分な劣化耐性を有することを示す。一方、撮影時のカメラの傾きや距離により生じる (d) の幾何的歪みと、(e) の周辺不要部分の写り込みについては、識別画像を枠線付きの矩形に限定し、既報¹⁴⁾を利用して対象画像の切り出しと逆射影変換による幾何補正を行い、原画像と同じ形状に復元する前処理を行うことで対応する。(f) に関しては撮影時の制限事項として、本論文では検討対象外とする。

(2) 低いリソース環境で実現

携帯端末は PC に比べて、一般的に処理能力や利用可能なメモリ容量などのリソースが少ない環境である場合が多い。特にリソースの制約が大きい携帯電話への実装を想定すると、特徴量の抽出や画像の識別などを軽量なアルゴリズムで実現する必要がある。2005~2006年に発売の各メーカー製携帯電話の処理性能を Intel Pentium4^(TM) 1.5 GHz 搭載 PC と比較するベンチマークテストを行った結果では、整数の加減算コストで 80~150 倍、乗算コストで 40~100 倍、除算コストで 170~400 倍の違いがあった。また携帯電話のメモリアクセ

スコストは、整数の加減算コストのおおむね7倍程度と高い¹⁴⁾。実装方法により異なるが、上記クラスのPCで100ms程度の識別処理であっても、携帯電話で行う場合は十秒から数十秒程度の処理時間が推定される。ユーザ利便性を考慮すると、撮影から結果の表示まで1~2秒程度であることが望ましい。一方、非通信環境での利用実現のためには、画像辞書データを携帯電話のデータ保存領域に格納する必要がある。仮にアプリケーションが利用可能なデータ保存領域の制限が200Kバイトで、その半分の100Kバイト程度を画像辞書データの格納に利用可能とした場合、1画像あたりの特徴量が500バイトであれば、識別後に提示する画像に関連したURLなどの関連情報を50バイトとしても、登録件数は180件程度になる。携帯電話のデータ保存領域は他のアプリと共有するリソースであり、さらに登録件数を増加させるためにも特徴量のサイズは可能な限り小さくする必要がある。

3. 劣化耐性のある画像識別方式

3.1 関連研究の劣化耐性

画像から特徴量を抽出する方式としては、MPEG-7規格において、Reference Softwareとしていくつかの方式が提供されており、Color Layout方式(以後CL)およびEdge Histogram方式(以後EH)^{15),16)}は、汎用的な画像を対象とした画像識別方式である。CLは特徴量サイズが最小で64ビットと非常に小さく、アルゴリズムが比較的単純なため、携帯端末内での実装も可能と考えられる。CLの特徴量は、ブロックごとの平均画素値のグローバルな配置情報に基づき定義される。画素の絶対値を用いることから、照明変動によるわずかな明度の変化などでも特徴量が大きく変動し、識別性能が低下する可能性が高い。EHは画像の局所的なエッジ要素を求め、発生頻度の類似性から識別を行う方式である。エッジ要素はボケやコントラスト低下などの劣化の影響を受けやすく、携帯端末搭載カメラでの撮影画像の識別においては不利である。

一方テンプレートマッチングの方式として、画像劣化にロバストな増分符号相関法(以後ISC)が提案されている¹⁷⁾。ISCは隣接画素間の濃度の大小関係を2値の符号で表し、符号の一致割合によりテンプレートとの相違度を判定する。計算コストが小さく照明変動にも強い方式であるが、横方向での値の大小のみを比較するため、濃淡の少ないブロック間では劣化による値の変動で符号が反転する可能性がある。1画像の特徴量サイズは、画像を構成する画素数とほぼ同数の2値符号の集合となるため、静止画像全体を識別対象とする場合は、CLのようなブロックの平均画素値を比較する方式などで情報を削減する工夫も必要になる。

3.2 局所的平均画素値の差分を用いた画像特徴量

提案する画像識別方式で用いる画像特徴量の抽出手順を以下に示す。

はじめに、図1(a)に示すように、画像Iを大きさ $w \times w$ 画素からなるN個の矩形ブロックに分割し、i番目のブロック画像をブロック $I^{(i)}$ とおく。さらに各ブロックを等しい4つのサブブロックへ分割し、そのうち1つのサブブロックを領域A、その他のサブブロックを領域Bとする(図1(b)参照)。ただしブロック $I^{(i)}$ において、領域Aを割り当てるサブブロックの選択は、図1(c)の“Pattern 0”~“Pattern 3”の4パターンのうち、 $i \bmod 4$ で得られる1つのパターン“Pattern ($i \bmod 4$)”に従う。これは照明変動などで指向性のある劣化が生じた場合に、特定方向での劣化耐性に影響が出るのを防ぐ目的であり、強く影響が出る方向は事前に予想できないことから、4パターンの均等なローテーションとする。

画像Iのi番目のブロック $I^{(i)}$ の領域A、領域Bの各々の平均画素値 $\bar{I}_A^{(i)}$ 、 $\bar{I}_B^{(i)}$ は以下のようになる。ただし $I_{(x,y)}^{(i)}$ は、ブロック画像 $I^{(i)}$ のブロック画像内での位置 (x,y) における画素値を表し、 $0 \leq I_{(x,y)}^{(i)} \leq R$ の値をとるものとする(Rは画素値の最大値)。

$$\bar{I}_A^{(i)} = \frac{4}{w^2} \sum_{(x,y) \in A} I_{(x,y)}^{(i)} \quad (1)$$

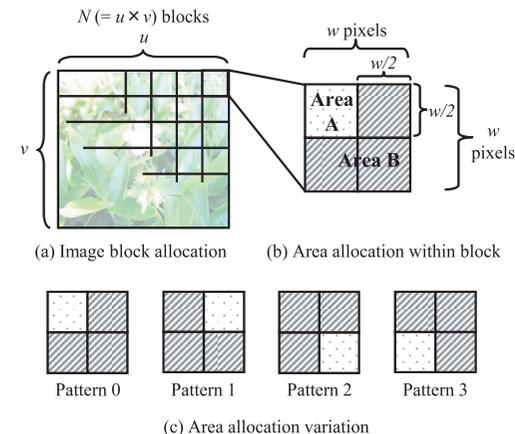


図1 画像の領域分割
Fig. 1 Area dividing.

$$\bar{I}_B^{(i)} = \frac{4}{3w^2} \sum_{(x,y) \in B} I_{(x,y)}^{(i)} \quad (2)$$

ここで、両者の差、

$$d^{(i)} = \bar{I}_A^{(i)} - \bar{I}_B^{(i)} \quad (3)$$

に対して、閾値 th ($0 < th < R$) を設けて 4 値に符号化する関数 f を以下のように定義し、 $f(d^{(i)})$ を $I^{(i)}$ の勾配と呼ぶ。

$$f(d^{(i)}) = \begin{cases} -1.5 & (-R < d^{(i)} \leq -th) \\ -0.5 & (-th < d^{(i)} \leq 0) \\ +0.5 & (0 < d^{(i)} \leq +th) \\ +1.5 & (+th < d^{(i)} < +R) \end{cases} \quad (4)$$

\vec{I} を以下のように定義し、画像 I の特徴量と呼ぶ。

$$\vec{I} = (f(d^{(0)}), f(d^{(1)}), f(d^{(2)}) \dots f(d^{(N-1)})) \quad (5)$$

$f(d^{(i)})$ は、各ブロック内領域間での画素値の変化の勾配を表し、 \vec{I} は局所的な勾配の画像全体における空間的分布を示す N 次元のベクトルである。

3.3 類似度の定義と同一性判定

前節の方式により抽出した特徴量を用いて 2 つの画像の類似度を求め、画像の同一性を判定する。類似度算出の手順を以下に示す。

画像 F と画像 G の特徴量を示すベクトル \vec{F}, \vec{G}

$$\vec{F} = (f_0, f_1, f_2 \dots f_{N-1}) \quad (6)$$

$$\vec{G} = (g_0, g_1, g_2 \dots g_{N-1}) \quad (7)$$

の N 次元空間におけるユークリッド距離の二乗を $D(\vec{F}, \vec{G})$ とすると、

$$D(\vec{F}, \vec{G}) = \sum_{i=0}^{N-1} (f_i - g_i)^2 \quad (8)$$

と表される。 \vec{F}, \vec{G} の各要素 f_i, g_i は、式 (4) で定められる勾配を示す 4 つの値のいずれかであり、対応するブロックの勾配の組合せ (勾配対) により、差の絶対値 $|f_i - g_i|$ は 0、

表 2 勾配差分と集合ラベル

Table 2 Label name and difference between two signs.

差分絶対値 $ f_i - g_i $	0		1	2	3
ラベル名	L0		L1	L2	L3
	L0a	L0b			
勾配対 (f_i, g_i)	(-1.5, -1.5)	(-0.5, -0.5)	(-1.5, -0.5)	(+0.5, -1.5)	(-1.5, +1.5)
	(+1.5, +1.5)	(+0.5, +0.5)	(-0.5, -1.5)	(-1.5, +0.5)	(+1.5, -1.5)
			(-0.5, +0.5)	(-0.5, +1.5)	
			(+0.5, -0.5)	(+1.5, -0.5)	
			(+0.5, +1.5)		
			(+1.5, +0.5)		

1, 2, 3 いずれかの値となる。表 2 に示すように、勾配対の集合に対してそれぞれ $L0 \sim L3$ のラベルを付け、集合 L の要素数を $n(L)$ とすると、式 (8) の $D(\vec{F}, \vec{G})$ は以下のように表せる。

$$D(\vec{F}, \vec{G}) = 1^2 \cdot n(L1) + 2^2 \cdot n(L2) + 3^2 \cdot n(L3) \quad (9)$$

画像 F と画像 G が同一画像であれば、すべての勾配対は一致し $D(\vec{F}, \vec{G})$ は 0 になる。しかし類似度の低い画像では、勾配の差の絶対値が大きくなる傾向があり、 $n(L1), n(L2), n(L3)$ の値が増加するため $D(\vec{F}, \vec{G})$ は増大する。原画像 F をカメラで撮影した撮影画像が G である場合、カメラ撮影時の劣化などにより G の一部ブロックで勾配が原画像から微小に変動してしまい、 F と G は同一画像でありながらも、対応するブロックの勾配が一致しない場合もある。そのような微小な変動の影響は、 $n(L2), n(L3)$ に比べて、 $n(L1)$ の増加として現れる可能性が高い。一方、式 (9) で $D(\vec{F}, \vec{G})$ の値に影響を及ぼさない $n(L0)$ は、類似性の高い画像では値が大きくなる傾向であり、同一画像において最大値 N となる。

以上のことから、 $D(\vec{F}, \vec{G})$ を表す式 (9) の右辺第 1 項 $n(L1)$ を除く第 2, 3 項を類似度低下要素として分母におき、 $n(L0)$ を類似度増加要素として分子に配した数式を、類似度を表す関数として定義することにする。ただし、 $L0$ は表 2 に示すように勾配対の種類により $L0a$ と $L0b$ へ細分化し、その中で低コントラスト領域の微小変動でも影響を受けにくい $L0a$ の数 $n(L0a)$ を用いる。

したがって、類似度 $S(\vec{F}, \vec{G})$ は以下のように表される。

$$S(\vec{F}, \vec{G}) = \frac{n(L0a)}{2^2 \cdot n(L2) + 3^2 \cdot n(L3)} \quad (10)$$

画像 F と G の同一性を、類似度 $S(\vec{F}, \vec{G})$ の値により判定する。類似度に一定の閾値を設定して、閾値を超える画像を同一画像として検出し、それ以下を別画像とする。

4. 提案方式の画像劣化耐性

4.1 画像劣化と類似度への影響

画像に劣化が生じた場合、原画像との類似度について考察する。原画像 F の劣化した画像を G とすると、 F, G の i 番目のブロックの画像 $F^{(i)}, G^{(i)}$ は、 $F^{(i)}$ の位置 (x, y) の画素の値を $F_{(x,y)}^{(i)}$ として、以下のように表すことができる。

$$F^{(i)} = \left(F_{(1,1)}^{(i)}, F_{(1,2)}^{(i)}, \dots, F_{(w,w)}^{(i)} \right) \quad (11)$$

$$G^{(i)} = \left((F_{(1,1)}^{(i)} + N_{(1,1)}^{(i)}), (F_{(1,2)}^{(i)} + N_{(1,2)}^{(i)}), \dots, (F_{(w,w)}^{(i)} + N_{(w,w)}^{(i)}) \right) \quad (12)$$

このとき $N_{(x,y)}^{(i)}$ は画像劣化によって生じた各画素値の変動分（ノイズ成分）である。ノイズ成分からなる画像 $N^{(i)}$ を以下のように定義する。

$$N^{(i)} = \left(N_{(1,1)}^{(i)}, N_{(1,2)}^{(i)}, \dots, N_{(w,w)}^{(i)} \right) \quad (13)$$

前章の式 (3) より、画像 $F^{(i)}, G^{(i)}$ 各々における領域 A と領域 B の差分値 $d_F^{(i)}, d_G^{(i)}$ は、

$$d_F^{(i)} = \frac{4}{w^2} \sum_{(x,y) \in A} F_{(x,y)}^{(i)} - \frac{4}{3w^2} \sum_{(x,y) \in B} F_{(x,y)}^{(i)} \quad (14)$$

$$d_G^{(i)} = \frac{4}{w^2} \sum_{(x,y) \in A} (F_{(x,y)}^{(i)} + N_{(x,y)}^{(i)}) - \frac{4}{3w^2} \sum_{(x,y) \in B} (F_{(x,y)}^{(i)} + N_{(x,y)}^{(i)}) \quad (15)$$

となり、 $d_F^{(i)}, d_G^{(i)}$ の差は、以下のように画像 $N^{(i)}$ の差分値 $d_N^{(i)}$ と等しくなる。

$$d_G^{(i)} - d_F^{(i)} = \frac{4}{w^2} \sum_{(x,y) \in A} N_{(x,y)}^{(i)} - \frac{4}{3w^2} \sum_{(x,y) \in B} N_{(x,y)}^{(i)} = d_N^{(i)} \quad (16)$$

$N_{(x,y)}^{(i)}$ と $F_{(x,y)}^{(i)}$ の値が独立の場合、ノイズ成分のみの差分値 $d_N^{(i)}$ を計算することで、 $d_G^{(i)} - d_F^{(i)}$ を得ることができる。式 (4) の勾配の定義より、 $d_G^{(i)}$ が $d_F^{(i)}$ から th 以上変動した場合に勾配差が 2, $2th$ 以上変動した場合に勾配差が 3 となる可能性が生じ、前章の

$n(L2), n(L3)$ が増加する。この場合、式 (10) の定義により類似度 $S(\vec{F}, \vec{G})$ が低下する。一方、勾配の変動が th 未満の場合は、勾配差分が 1 以下となるため $S(\vec{F}, \vec{G})$ の低下は生じない。したがって $|d_N^{(i)}|$ を検証することで、画像劣化による $S(\vec{F}, \vec{G})$ への影響を推定可能となる。次節では、カメラ撮影により生じる各種画像劣化のノイズ成分を検討し、類似度の変動推定より、提案手法の劣化耐性について検証する。

4.2 カメラ撮影による劣化耐性

(1) ボケ（点拡散）

画像 I の各画素に対して生じるボケを総合して、ガウス分布で近似できると仮定すると、中心座標 (x, y) 、標準偏差を δ とした時のボケは、以下で示されるガウシアンフィルタの適用結果として表される。

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\delta^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\delta^2}\right) \quad (17)$$

δ が大きくなるほどゆるやかな分布の曲線となり、画像の平坦化が進むが、局所領域内の平坦化による平均画素値の変動は少なく、類似度への影響は小さい。

(2) 照明変動

点光源からのスポットライトによる明度の変動について考察する。照明変動が光源から一様の方向に広がるとすると、明度の変化は光源からの距離 r の二乗に反比例するが、ここではブロック内の局所領域を対象として、単調減少する一次関数に近似する。図 2(a) に示すように、縦横 w 画素からなるブロックを均等に A, B1, B2, B3 の 4 つのサブブロックに分割し、ブロックの重心を通る r 軸を設定する。輝度の変分を r の関数 $h(r)$ とおき、局所領域内の 2 点間において $h(r)$ は単調減少し、光線は r 軸に平行と見なせると仮定する。領域 A と領域 B3 を対角線で結ぶ直線と r 軸の角度を θ とすると、 a, b を定数として $h(r)$ は以下の一次関数として表される。

$$h(r) = -ar + b \quad (a > 0) \quad (18)$$

$h(r)$ はブロックの画素値に対するノイズ成分であり、 a は r 軸に対して変化するブロック内での明度の変化率、 b はブロック全体の均一な明度変化を示す。図 2 のブロックを画像 N 、上記サブブロック A を領域 A、サブブロック B1, B2, B3 を領域 B として、領域 A と領域 B の差分値を d_N とすると、 θ が 0 のとき d_N の変動量が最大となる（図 2(b) 参照）。ブロック内の領域 X のノイズ成分平均画素値を \bar{N}_X とすると、 θ が 0 のときの \bar{N}_X

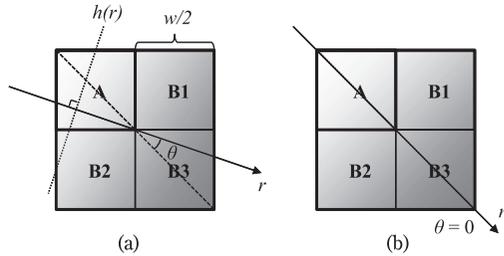


図 2 ブロック画像内の照明変動モデル
Fig. 2 Lighting effect model within block.

は w の関数として以下のように表される .

$$\bar{N}_A(w) = \frac{4}{w^2} \left(\int_0^{\frac{\sqrt{2}}{4}w} 2r \cdot h(r) dr + \int_{\frac{\sqrt{2}}{4}w}^{\frac{\sqrt{2}}{2}w} (\sqrt{2}w - 2r) \cdot h(r) dr \right) \quad (19)$$

$$\bar{N}_{B1}(w) = \bar{N}_{B2}(w) = \frac{4}{w^2} \left(\int_0^{\frac{\sqrt{2}}{4}w} 2r \cdot h(r + \frac{\sqrt{2}}{4}w) dr + \int_{\frac{\sqrt{2}}{4}w}^{\frac{\sqrt{2}}{2}w} (\sqrt{2}w - 2r) \cdot h(r + \frac{\sqrt{2}}{4}w) dr \right) \quad (20)$$

$$\bar{N}_{B3}(w) = \frac{4}{w^2} \left(\int_0^{\frac{\sqrt{2}}{4}w} 2r \cdot h(r + \frac{\sqrt{2}}{2}w) dr + \int_{\frac{\sqrt{2}}{4}w}^{\frac{\sqrt{2}}{2}w} (\sqrt{2}w - 2r) \cdot h(r + \frac{\sqrt{2}}{2}w) dr \right) \quad (21)$$

したがって d_N は以下の式で表される .

$$d_N = \bar{N}_A(w) - \frac{1}{3} \left(\bar{N}_{B1}(w) + \bar{N}_{B2}(w) + \bar{N}_{B3}(w) \right) = \frac{\sqrt{2}}{3} aw \quad (22)$$

a と w が十分小さく、 d_N が th 以下になる場合は、前述のとおり、ノイズによって生じる勾配変動で類似度 S の低下は発生しない . たとえば 図 1 (a) で示したように画像 I を $u \times v$ 個のブロックに分割し、 $uw \times vw$ 画素の画像対角角両端で $h(r)$ に画素値の最大レンジ R の輝度変化が生じる程度を想定すると、差分値 d_N の最大値は以下で表される .

$$d_N = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{R}{\sqrt{w^2u^2 + w^2v^2}} \cdot w = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{R}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (23)$$

画素値が 8 ビット階調 ($R=255$) で表され、ブロックの分割数が 16×16 ($u = v = 16$) であるとすると $d_N \approx 5$ 程度となる . 式 (4) の $th > 5$ のとき 2 つの画像は同一と判定可能である .

(3) ランダムノイズ

画像 F のブロック i 内の画素値 $F_{(x,y)}^{(i)}$ に対し、 $F_{(x,y)}^{(i)}$ と独立にランダムな値だけ変動する画素が、平均 0、分散 σ^2 のガウス分布に従って分布する場合を仮定する . 各領域で分布に偏りが無いとすると、領域間で平均画素値の変化量に差分がないことから、前述の定義より d_N の値は 0 になる . このとき理論上 $n(L0)$ 以外の要素数はすべて 0 になるため類似度 S 値は無限大となる . したがって画像 F と画像 G の同一性判定において、ランダムノイズに対して影響を受けにくいといえる .

5. 評価実験

3 章で提案した識別方式による画像識別性能を検証するため、PC 上で JAVA (J2SE5.0) による実装を行い、評価実験を行った . また、同様に携帯電話上の JAVA 環境においても実装し、処理速度や識別性能などフィジビリティの確認を行った .

5.1 実験条件

検索対象とするサンプル画像は、写真投稿サイトに登録の画像から、Creative Commons Public License により改変利用の許諾が示されたものを利用した . “favorite” タグで検索して得られた結果から、登録の新しい順に 300 枚取得し、 512×512 ピクセルのサイズに正規化した画像集合を原画像のサンプル画像セット (smp300) とした . 画像セット smp300 の全画像について、あらかじめ提案方式により特徴量の計算を行い、画像辞書データとして PC 上のデータベースに格納する . smp300 から無作為に抽出した 100 枚を原画像 (original) とし、カメラ撮影による画像の劣化を想定し、original から表 3 (b) ~ (d) に示すような各々異なるデジタル処理を行った 3 種類のクエリ画像セット (blurring, noise, lighting) を作成した . 各画像セットとも 100 枚の画像からなる . いずれの画像処理も Adobe PhotoshopCS^(R) を用いて実施し、無劣化の PNG 形式として保存した . また original のクエリ画像を DELL 製 20inch 液晶ディスプレイに表示させて、ディスプレイを携帯電話搭載カメラで直接撮影した後、画像領域を射影変換とサイズ変更により 192×192 ピクセルの画像に正規化した画像セット (camera) を作成した (表 3 (e)) . 図 3 に各画像セットのサンプルを示す .

クエリ画像に対して、対応する原画像が同一画像として正しく検出されれば真陽性 (true positive, tP)、異なる画像が検出されれば偽陽性 (false positive, fP)、対応する原画像が

表 3 クエリ画像の種類

Table 3 Variety of distortion for query images.

画像セット	画像変形種類
(a) original	変化なし (原画像)
(b) blurring	ガウス歪み (radius=3pixel)
(c) noise	ランダムノイズ付加 (30%)
(d) lighting	スポットライト照明効果
(e) camera	携帯電話搭載カメラでの撮影画像

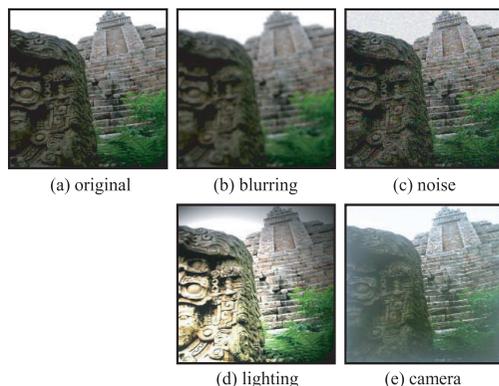


図 3 実験用クエリ画像例

Fig. 3 Experimental image sample.

検出されない場合は偽陰性 (false negative, fN) と見なす. 各クエリ画像セットで smp300 画像群からの同一画像検出を行って, 得られた結果から tP , fP , fN の判定を行い, その件数を各々 $n(tP)$, $n(fP)$, $n(fN)$ とすると, 適合率 (precision), 再現率 (recall) は以下の計算式で表される.

$$precision = \frac{n(tP)}{n(tP) + n(fP)} \quad (24)$$

$$recall = \frac{n(tP)}{n(tP) + n(fN)} \quad (25)$$

適合率は誤検出の程度 (精度) を示し, 再現率は検出漏れの程度を示す. 算出した適合率, 再現率をもとに識別性能の評価を行う. 本研究が目的とする画像識別においては, ともに最大値 1 に近くなるほど性能が良いと見なすことができる.

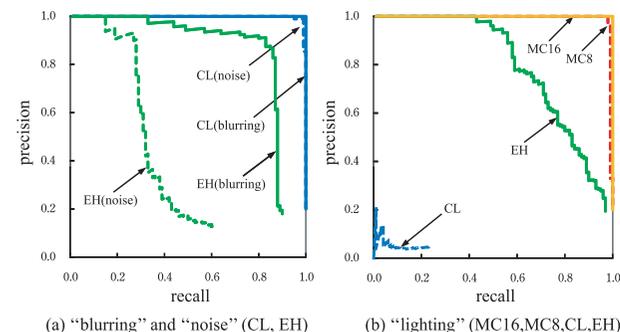


図 4 blurring, noise, lighting 画像の識別結果

Fig. 4 Identification results for "blurring", "noise" and "lighting" query-image set.

本実験で用いた提案方式の実装では, 平均画素値の算出に輝度成分を用い, 式 (4) による符号化の閾値 th を 12 に設定した. また, ブロックの分割数である N の値は $64 (8 \times 8)$ および $256 (16 \times 16)$ の場合で評価を行った. また識別性能を比較するため, Color Layout 方式 (CL) および Edge Histogram 方式 (EH) を用いて同様の画像識別を行った. CL, EH はいずれも特徴量サイズが小さく, 特徴量の抽出・同一判定アルゴリズムも比較的単純であることから, 2 章で述べた情報提供サービスを実現する画像識別方式として, 携帯端末への実装も可能と考えられる. 類似画像検索の方式として, 本実験のような画像劣化を想定した設計ではなく単純に比較はできないが, 各々ブロック単位での色分布や変化 (エッジ) 方向を特徴量とする点で, 提案方式と類似する部分があるため比較対象として用いることにした.

5.2 実験結果と考察

各クエリ画像セットに対して, 提案方式 (以後 MC8 (8×8 ブロック分割), MC16 (16×16 ブロック分割) とする) および, CL, EH を用いた識別実験を行った. 今回の実験で, MC8 の特徴量のサイズは 128 ビット, MC16 は 512 ビットであり, CL は 64 ビット, EH は 497 ビットである.

図 4, 図 5 は, 各画像セットの precision-recall グラフ (P-R グラフ) である. 同一画像として検出する類似度 S の閾値を 1 ずつ変化し, 式 (24), (25) により precision, recall を求めて作成した. 閾値を下げると $n(fN)$ が減少して $n(fP)$ が増加し, 上げるとその逆になり, precision, recall はトレードオフの関係になる. original 画像での識別では, 4 方式とも precision, recall がともに 1 となる閾値が存在し, 適切な閾値の設定で完全に識別

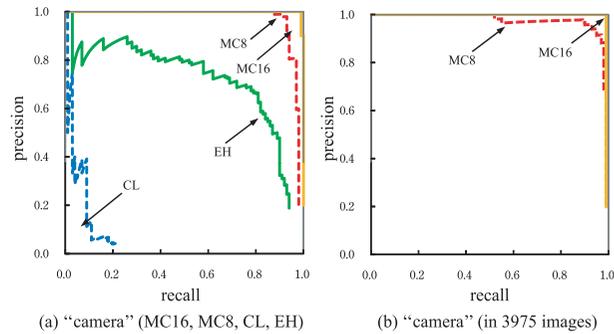


図 5 camera 画像の識別結果

Fig. 5 Identification results for "camera" query-image set.

が可能であることが確認できた。blurring 画像, noise 画像では, MC8, MC16 を用いた場合 original 同様完全に識別が可能であったが, CL, EH では識別に失敗する画像が存在した。図 4 (a) に blurring, noise での P-R グラフを示す。CL は noise において若干識別性能の低下がみられるものの良好な結果であるが, EH では特に noise に対して識別性能の低下が顕著である。また, 図 4 (b) に lighting 画像での P-R グラフを示す。CL, EH いずれも性能の低下が見られるが, 先ほどの blurring, noise の結果とは逆に, CL の低下が著しい。CL などの一定領域単位の色の変動を特徴量とする方式では, ボケやランダムノイズなどの微細部分の変動に対して影響を受けにくい, フラッシュによる輝度の変化などの広範囲の変動で大きな影響が出る。また, EH などのエッジを特徴量とする方式では, 全体, 一部を問わず, ある程度広い範囲での輝度や色相の変動には影響を受けにくい, 微細部分の変動による影響を大きく受け, 識別性能が低下する。一方, MC8, MC16 についてはいずれも良好な識別結果を示した。提案方式ではサブブロック画像単位の平均画素値を特徴量算出の最小単位としているため, CL と同様ボケやノイズなどの変動に対して影響を受けにくく, 隣接サブブロック間の差分 (勾配) という相対値を特徴量としているため, 広範囲で画素の絶対値に増減が生じる照明変動に対しても高い劣化耐性を有する。MC8 に比べてブロックを細かく分割する MC16 の方が, ブロック単位では変化の影響を受けにくい, 良好な識別結果が得られるものと考えられる。

図 5 (a) は, カメラ付携帯電話による実際の撮影画像である camera 画像についての結果である。傾向は lighting の場合と類似し, 提案方式 (MC8, MC16) は CL, EH と比べて高い識別性能を示している。MC8, MC16 に関しては, smp300 と同様の方法で準備した

表 4 各サンプル数での識別結果

Table 4 Identification result in various sample images.

方式	precision		recall		閾値
	smp300	smp3975	smp300	smp3975	
MC8	0.95	0.95	1.00	0.94	75
	0.98	0.97	1.00	0.90	65
MC16	0.99	0.98	1.00	0.99	65
	1.00	1.00	1.00	0.99	40

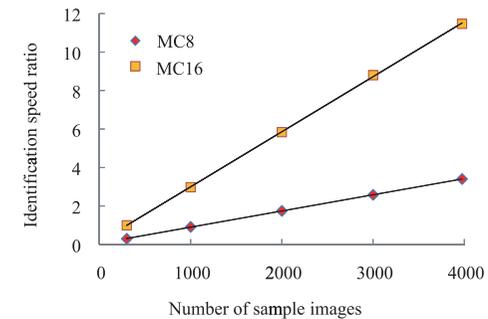


図 6 サンプル画像数と識別時間の推移

Fig. 6 Identification speed.

3,975 枚の画像により, サンプル数を拡大した画像セット (smp3975) を画像辞書データに用いて, 同様の評価を行った (図 5 (b) 参照)。図 5 の結果のうち, 良好な precision, recall 値の組合せと, そのときに設定した同一と判定する類似度の閾値を表 4 に示す。MC8 では precision を 0.95 以上に保ったとき, recall の最大値は 1.00 から 0.94 へ低下したが, MC16 では precision を 1.00 に保ちながら recall の低下を 0.99 に収めることができ, 約 4,000 枚の画像を対象とした場合でも高い識別性能を示すことが確認できた。本実装における同一性の判定は, クエリ画像と全サンプル画像との類似度を総当たりで算出し比較する方式のため, サンプル数と識別時間は比例する。サンプル画像 300 枚 (smp300) から, MC16 により同一画像を検出するために要する時間を 1 として, サンプル数を増加させた場合の検出時間の比率を図 6 に示す。

上記実験結果により, 提案の画像識別方式は, ランダムノイズのような画素レベルでの変動や, 照明変動のような広範囲での変動といった画像の変形に対して耐性を持ち, カメラでの撮影画像の識別においても有効であることが確認できた。

5.3 カメラ付き携帯電話への実装

提案方式の MC16 を NTT docomo 社のカメラ付き携帯電話 SH902i に実装し、撮影から結果取得までの処理時間と識別性能の検証を行った。同携帯電話に装備の J2ME CLDC 拡張ライブラリを利用した JAVA アプリケーション (i-アプリ) として作成した。図 7 にアプリケーションでの処理フローを示す。あらかじめ抽出したサンプル画像の特徴量を画像辞書データとして携帯電話のデータ保存領域にダウンロードし、撮影した画像からリアルタイムで抽出した特徴量と照合する。カメラによる撮影から特徴量の抽出、照合、結果の画面表示までを携帯電話内で行うことが可能である。作成した i-アプリのサイズは、コンパイル後の Java クラスファイルで約 24K バイトとなった。smp300 画像セット 300 枚の特徴量に各々関連するメタデータを加え、今回作成した画像辞書データのファイルのサイズは 26K バイト (特徴量 19K バイト) であった。識別の成否確認は、作成した i-アプリより搭載カメラを起動し、画像辞書データに登録済みの画像を撮影して、正解の画像タイトルが表示されるか否かで確認する。original 画像セット 100 枚を順にディスプレイに表示させ、カメラで直接撮影して識別を行った。閾値は前節の実験で良好な結果を示した 40 に設定した。閾値以上で最も類似度の高い画像のタイトルを表示し、それ以下では「該当なし」を表示する。以下に実験の結果を示す。

- 登録画像件数：300 枚 (画像セット smp300)
- 撮影枚数：100 枚 (画像セット original)
- 識別速度：1 回あたり約 700 ~ 800 ms
(撮影画像補正の前処理時間約 600 ms を含む)
- 識別成功画像数：99 枚

上記識別に失敗した 1 枚の画像は、撮影の際に画像領域を誤認識し、幾何歪みの補正に失敗したものであり、再撮影により検出に成功している。提案方式を用いることで、市販の携帯電話という限られた実行環境の下で、300 件の画像特徴量を辞書データとして蓄積し、撮影から 1s 以下の速度で同一の画像を識別することが可能であることを確認した。これにより、2.2 節の要件を満たしているといえる。本実装では、実験用のアプリケーションとして、データファイル圧縮、最適化などは行っておらず、特徴量の照合においても、PC での実装同様、データベースの高速探索技術などは用いていない。今回登録枚数を 300 枚として実験を行ったが、カメラ撮影から対象画像の切り出しと幾何補正を行う前処理の時間を除くと、特徴量抽出および画像辞書データとの照合時間の合計は、およそ 100 ms ~ 200 ms 程度である。したがって、前節の図 6 で示した PC での実行結果から推定すると、2 倍程度の

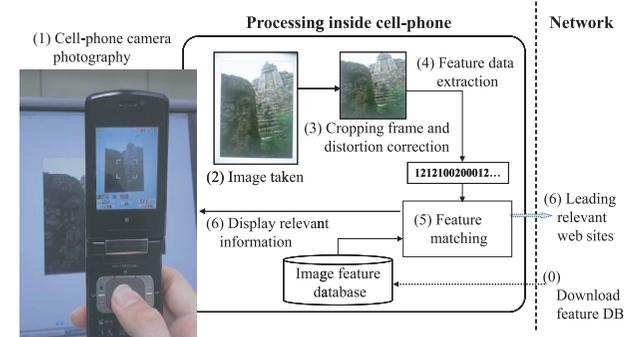


図 7 カメラ付携帯電話での実装

Fig. 7 Implementation on camera-equipped cell-phones.

登録枚数でも 1s 以下の速度で識別可能であると考えられる。また、特徴量サイズと識別速度で有利な MC8 を採用可能な場合は、2000 枚以上の画像を携帯電話のデータ保存領域に登録し、識別を行うことも可能と考えられる。想定するサービスにより必要な識別精度と登録件数は異なると思われるが、登録可能件数の増加に対応するため、特徴量の圧縮と探索速度の向上が必要である。

6. ま と め

カメラ撮影などによる画像の劣化に対応する、劣化耐性のある画像識別方式を提案した。簡略なアルゴリズムのため低演算量で実現でき、1 画像あたりの特徴量も小さく抑えられる。照明変動による劣化などに耐性のある方式であることを示すとともに、同方式を市販のカメラ付き携帯電話に実装し、実行速度や識別性能などの点で、設定した要求条件を実際に満たすことを確認した。

現在、携帯端末によるネット接続および、音声・映像メディアの記録、再生が一般的となり、個人の情報発信・受信端末としての役割がますます強まっている。撮影画像を起点とした高速の情報検索により、新たなアプリケーション、サービスの提供が期待できる。今後は、特徴量抽出時の領域選択方法、類似度算出時のパラメータ設定、特徴量の符号化方式などの検討による劣化耐性と識別性能の向上とともに、情報提供システム、サービスについての提案も行っていきたいと考えている。

謝辞 本論文をまとめるにあたり、総務省情報流通行政局の中村高雄博士に非常に有益な

アドバイスをいただきました。ここに感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 片山 淳, 外波雅史, 木村 司, 山下博之: コンテンツを起点に電子商取引に誘導するサービス仲介ゲートウェイ, *NTT 技術ジャーナル*, Vol.14, No.10, pp.24-27 (2002).
- 2) QR Code.com. <http://www.qrcode.com/>
- 3) 磯 俊樹, 倉掛正治, 杉村利明: 携帯電話機搭載カメラを用いた読取り条件にロバストな ID 読取り方式, *電子情報通信学会論文誌 D-II*, Vol.J87-D-II, No.12, pp.2188-2197 (2004).
- 4) Nakamura, T., Katayama, A., Yamamuro, M. and Sonehara, N.: Fast watermark detection scheme for camera-equipped cellular phone, *Proc. 3rd international conference on Mobile and ubiquitous multimedia (MUM '04)*, New York, NY, USA, pp.101-108, ACM (2004).
- 5) Flickner, M., Sawhney, H., Niblack, W., Ashley, J., Huang, Q., Dom, B., Gorkani, M., Hafner, J., Lee, D., Petkovic, D., Steele, D. and Yanker, P.: Query by Image and Video Content: The QBIC System, *IEEE Computer*, Vol.28, No.9, pp.23-32 (1995).
- 6) 串間和彦, 赤間浩樹, 紺谷精一, 山室雅司: 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.SIG03(TOD1), pp.171-184 (1999).
- 7) 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: 類似画像検索方式の改変画像検出への適用, *情報処理学会論文誌: データベース*, Vol.42, No.SIG01(TOD8), pp.171-181 (2001).
- 8) 高田智規, 阿部剛仁, 川村春美: 変換耐性を備えたコンテンツ識別手法, *Meeting on Image Recognition and Understanding (MIRU2005)*, pp.685-690 (2005).
- 9) 山口高康, 青野 博, 本郷節之: モバイルカメラで情報を検索する対象判別技術, *NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル*, Vol.13, No.3, pp.6-10 (2005).
- 10) 豊田 潤, 柴崎隆男, 小野和男, 古橋幸人: モバイル向け画像認識システム, *画像ラボ*, Vol.17, No.12, pp.57-62 (2006).
- 11) 西村 章: ケータイカメラでインターネットに誘導する技術, *iINTERNET magazine*, Vol.2005, No.04, pp.114-117 (2005).
- 12) 渡邊恵理子, 石川さゆり, 太田真衣子, 小館香椎子: 光位相相関に基づく携帯電話顔認証システム, *電気学会論文誌 (C)*, Vol.127, No.4, pp.636-643 (2007).
- 13) 山口高康, 青野 博, 本郷節之: モバイルカメラで撮影した看板画像の学習・判別手法に関する考察, *電子情報通信学会技術研究報告, PRMU, パターン認識・メディア理解*, Vol.104, No.448, pp.7-12 (2004).
- 14) 片山 淳, 中村高雄, 山室雅司, 曾根原登: 電子透かし読取りのための i アプリ高速コーナ検出アルゴリズム, *電子情報通信学会論文誌 D-II*, Vol.J88-D-II, No.6, pp.1035-1046

(2005).

- 15) ISO/IEC 15938-6: Information technology — Multimedia content description interface — Part6: Reference Software. <http://www.iso.org/>
- 16) Institute for Integrated Systems, Munich University of Technology: Sources for MPEG-7 XM Software. http://www.lis.ei.tum.de/research/bv/topics/mmdb/e_mpeg7.html
- 17) 村瀬一朗, 金子俊一, 五十嵐悟: 増分符号相関によるロバスト画像照合, *電子情報通信学会論文誌 D-II*, Vol.J83-D-II, No.5, pp.1323-1331 (2000).

(平成 20 年 9 月 21 日受付)

(平成 21 年 1 月 8 日採録)

(担当編集委員 白石 陽)



阿部 剛仁 (正会員)

平成 5 年早稲田大学理工学部材料工学科卒業。平成 7 年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。以来、画像保護技術、コンテンツ流通管理システムの研究開発に従事。現在、総合研究大学院大学複合科学研究科情報学専攻博士課程在学中。



高田 智規 (正会員)

平成 7 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。平成 9 年同大学大学院博士前期課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。映像配信・著作権管理システムの研究開発および構築業務に従事。平成 14 年大阪大学大学院博士後期課程修了。博士(工学)。



川村 春美

平成元年東京女子大学文理学部数理学科卒業。同年日本電信電話株式会社入社。以来、視覚情報処理、カラー画像処理、著作権管理システム、画像識別技術の研究開発に従事。平成10年電子情報通信学会学術奨励賞受賞。電子情報通信学会会員。



藤井 寛 (正会員)

平成元年京都大学工学部情報工学科卒業。平成3年同大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。映像情報サーバ、マルチメディア情報流通方式、著作権管理方式の研究に従事。博士(情報学)。



小池 秀樹

昭和60年東北大学大学院理学研究科数学専攻博士前期課程修了(理修)。同年NTT横須賀電気通信研究所に入社し、画像処理、画像認識関係の研究に従事。平成13年NTTコムウェアに転籍し、RFIDの研究開発に従事。平成19年よりNTTサイバースペース研究所画像メディア通信プロジェクト映像メディア処理技術グループグループリーダー主幹研究員。電子情報通信学会会員。



曽根原 登

昭和53年信州大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社(現NTT)入社。以来、ファクシミリ、画像処理、神経回路網システム、コンテンツID、コンテンツ流通システム等の研究開発に従事。その間、昭和63年~平成4年国際電気通信基礎研究所(ATR)視聴覚機構研究所に出席。平成12年NTTサイバーソリューション研究所コンテンツ流通プロジェクトマネージャ。東京工業大学客員教授。平成16年から、NII国立情報学研究所教授。電子情報通信学会東京支部評議員、画像電子学会大会委員長、工学アカデミー幹事等を継続。博士(工学)。