

# 画像データを対象とした特徴量類似度計量系によるメタデータ自動生成方式の実現

加藤絢一郎<sup>†</sup> 佐々木秀康<sup>††</sup> 清木 康<sup>†</sup> 水野 貴夫<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 慶應義塾大学環境情報学部 〒 252-8520 神奈川県藤沢市遠藤 5322

<sup>††</sup> 慶應義塾大学政策・メディア研究科サイバー・ナレッジ専攻 〒 252-8520 神奈川県藤沢市遠藤 5322

E-mail: {katoken, hsasaki, kiyoki, takao}@mdbl.sfc.keio.ac.jp

あらまし 本稿では、画像特徴量を対象とする類似度計量系 (Content-Based Image Retrieval) を用いてメタデータを生成するフィルタ機能を実現するメタデータ自動生成方式を示す。CBIR は、自動的に索引付け (インデクシング) を行い画像検索を実現するが、人間が認識しうる形態のメタデータを自動生成することはできない。本方式は、既知のメタデータを添付した基本画像群を格納したデータベースを既存の CBIR システム上に構築し、新たな検索対象画像を、当該システムに投入することにより得られる画像間類似度 (特徴量間の距離) を、既知のメタデータに重み付けとして適用することにより、検索対象領域に最適化したメタデータを自動生成するメタデータ自動生成フィルタを実装し、その検索エンジンへの適用可能性を実験により示した。本方式は、画像以外のマルチメディアデータである動画、楽曲、文書の類似度を計量する機構のメタデータ自動生成方式として適用可能である。

キーワード メタデータ自動生成, 画像特徴量, 類似度計量系, 画像データ, CBIR

## An Implementation Method of an Automatic Metadata Indexing Filter Based-On Content-Based Retrieval for Image Data

Ken'ichiro KATO<sup>†</sup>, Hideyasu SASAKI<sup>††</sup>, Yasushi KIYOKI<sup>†</sup>, and Takao MIZUNO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Environmental Information, Keio University Endo 5322, Fujisawa 252-8520 Japan

<sup>††</sup> Division of Cyber Knowledge, Graduate School of Media and Governance, Keio University Endo 5322, Fujisawa 252-8520 Japan

E-mail: {katoken, hsasaki, kiyoki, takao}@mdbl.sfc.keio.ac.jp

**Abstract** In this paper, we present an automatic filter for metadata indexing that is implemented on content-based image retrieval (CBIR). CBIR retrieves image data based on automatic indexing, though it is not purported to generate metadata of meaning. The implemented filter applies the returned value returned by a CBIR system as similarity degree to a requested image data to the metadata as weight. The metadata given with weighting forms a newly defined metadata to the requested image file. We report several experimental results on the metadata generation filter and its feasibility as a uniform metadata generation filter based on feature similarity.

**Key words** Automatic Metadata Indexing, Visual Features, Image Data, CBIR

### 1. ま え が き

本稿は、画像特徴量を対象とする類似度計量系 (Content-Based Image Retrieval, CBIR) を利用して、メタデータを生成するフィルタ機能を実現するメタデータ自動生成方式を示す (図 1)。本方式は、サンプルとしてあらかじめ与える画像群にメタデータを割り当て、これを教師付画像群として構成し、この教師付画像群と、新たにメタデータを割り当てる対象の問合せ画像データとの間の類似度 (特徴量間の距離) を、CBIR シ

ステムの類似度計量系により計算することにより、類似度の高い複数の教師付画像に割り当てられたメタデータ群を、計量した類似度と組み合わせ、問合せ画像データの検索対象領域に最適化した新たなメタデータを自動生成する。本方式の特徴は、画像データが持つ特徴量自体を直接分析しメタデータを構成する既存の方式とは異なり、画像データ群にサンプルとして与えたメタデータ群を、画像データの特徴量の解析のみでは得られない知識として利用することにより、画像データのメタデータ生成の自動化を実現する点にある。既存の CBIR システムをも

とに、メタデータ自動生成フィルタを実装し、その検索エンジンへの適用可能性を実験により示した。

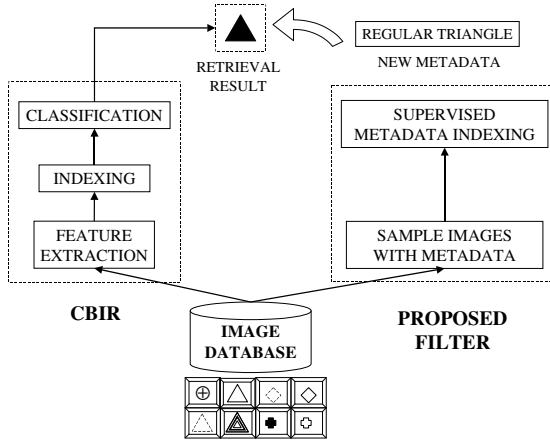


図 1 画像データ検索の前処理としての本方式概観

Fig. 1 An overview of our formulation as pre-processing for image retrieval.

記憶装置の容量増大とネットワーク技術の進展は、大量の画像データを格納したデータベースの統合を可能にした。膨大な画像データを効率的に検索するためには、あらかじめ前処理として、対象データに自動的な索引付け (indexing) を行う必要がある。さらに、利用者が求める的確な検索を実現するためには、人間が認識しうる形態のメタデータを簡易に生成しなければならない。そこで、画像データ検索の前処理として、メタデータ自動生成フィルタを構築することが課題となる。

過去に提案されたメタデータ生成方式は、個別の画像データ自身を直接分析し、その特徴量からメタデータを抽出する方法が一般的である [1]。既存の研究において、索引付けの自動生成は、主に文書検索において実用化されている [2] ~ [4]。他方、画像に対する索引付け機能を実現する CBIR は、画像データから抽出した構造、色、突度が代表する物理的特徴量をもとに自動的に索引付けを行い、搭載する類似度計量系により、検索対象画像の類似度 (特徴量間の距離) を決定する [5] (図 2)。

しかし、CBIR は、データを数列の集合として扱い索引付けを生成するものであり、検索者が求めるようなメタデータ (例、“日の出”) を、直接与えるものではない。一般的には、画像から人間が認識しうる形態のメタデータを自動生成することはできない [6]。そこで、的確かつ正確な検索分類を必要とする医療画像検索システムにおいては、CBIR の効率的な画像特徴量抽出機能を維持したまま、検索対象画像の索引付けにメタデータとしての性質を付与するため、疾患画像に対して、カルテから得られる疾病情報を統合する機能を提供する、専門知識を所与とした知識モデルベース (conceptual data model) を導入する試みがある [7]。このような専門知識モデルベースは、モデリングが複雑であり、画像データ一般に対する、汎用的なメタデータ自動生成ツールを提供するものではない。

以下、第 2 章において、画像データのメタデータ自動生成フィルタを定式化し、その実現方式を示す。第 3 章において、実装方式を示す。

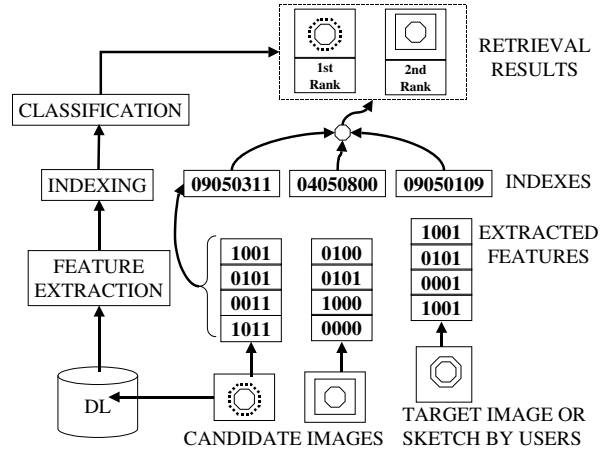


図 2 CBIR の画像データ検索処理概観

Fig. 2 An overview of content-based image retrieval data-processing.

第 4 章において、幾何図形画像データを対象にした実験結果を示す。第 5 章において、実験結果を考察し、本方式の有効性を検証する。第 6 章において、結論を示す。

## 2. メタデータ自動生成フィルタ

本章において、“検索の前処理”としてのメタデータ自動生成フィルタの構成方式とその実現方式を示す。既知のメタデータ群 (既知索引群, Supervised Metadata) を添付した基本画像データ (教師付画像データ群, Sample Images with Supervised Metadata) を格納したデータベース (Image Database) を構築する。CBIR の検索エンジンが、新たに投入した教師無画像データ (問合せ画像, Candidate or Query Image) と、教師付画像データ群の類似度 (特徴量間の距離) を計量する。得られた画像間類似度数を、対応する教師付画像データ群の既知索引群に添付することにより、重み付き既知索引群を構成する。この重み付き既知索引群を、検索対象領域に最適化したメタデータ (新規メタデータ, New Metadata) と定義する。

本方式は、以下のプロセスで構成する。

(1) 教師付画像データ群  $\{SI_i\}$  の構成:

画像データ  $\{I_i\}$  に、既知メタデータ群  $\{SM_j\}$  を添付し、CBIR の検索対象であるデータベースに格納。

Definition 1. (教師付画像データ群  $\{SI_i\}$  の定義)

$$\{SI_i\} := \prod_{i \in N} \{ \prod_{j \in N} SM_{ij} \} \times I_i$$

以下の集合の定義に従うとする。

$$\{SI_i\} := \{sample\_image\_i\} \quad (i = 1, \dots, m; m \in N)$$

$$\{SM_{ij}\} := \{supervised\_metadata\_ij\} \quad (j = 1, \dots, n; n \in N)$$

簡単のため、既知メタデータ群の中の個別のメタデータの重み付けは同一とする。具体的には、前もって画像データベースに格納する、いくつかの幾何画像 (正三角形, 正方形) があり、それぞれに、明確な定義を反映した、既知メタデータ ( $\{\triangle$

形, 正三角形, 角度 60 度 } { 正方形, 正多角形, 角度 90 度 } を添付するデータ操作を, 写像として定義する. 本方式は, より高度な画像データ (例として脳内疾患画像データ) にも適用可能である.

(2) CBIR による問合せ画像データ  $X$  の教師付画像データ群  $\{SI_i\}$  との類似度計量:

問合せ画像データ  $X$  を CBIR システムに投入し, 計量した教師付画像データ群との類似度数 (特徴量間の距離)  $\{SSV_i\}$  (Structural Similarity Value) を計量

Definition 2. (類似度計量関数  $\phi$  の定義)

$$\phi: X \rightarrow \{SSV_i\} (\{SSV_i\} \rightarrow \{SI_i\})$$

具体的には, 問合せ画像データ (アフィン変換した正三角形画像データ) を, CBIR に投入して, 教師付画像データ群である正三角形や正方形の画像データの類似度 (特徴量間の距離) を計量する.

(3) 新規メタデータ  $\{NM_{ij}\}$  の構成:

教師付画像データ群との類似度数 (特徴量間の距離)  $\{SSV_i\}$  の逆比を, 正規化した重み付けとする新規メタデータを生成.

Definition 3. (新規メタデータ  $\{NM_{ij}\}$  の定義)

$$NW_i \cdot SM_{ij} \rightarrow NM_{ij}, \text{ for } \forall i, j$$

$$\{NM_{ij}\} := \prod_{i \in N} \left\{ \prod_{j \in N} SM_{ij} \times NW_i \right\}$$

以下の正規化重み付け数値 (Normalized Weights) に従う.

$$\{NW_i\} := \left\{ \frac{NW_i}{\sum_{i=1}^n NW_i} \right\}$$

$$NW_i := \begin{cases} 1 \text{ for } \forall i; 0 \text{ for } \forall i' & \text{when } \exists \frac{1}{SSV_i} \approx \infty, \exists \frac{1}{SSV_{i'}} \approx \infty \\ \frac{1}{SSV_i} & \text{otherwise} \\ \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SSV_i}} & \end{cases}$$

ただし, 計算規則として, 以下を定義する.  $\frac{1}{0} := \infty; \frac{\infty}{\infty} := 1$  ここで, 真に的確なメタデータが生成されたか判定するために, 以下のような, 一度正規化した数値を再度正規化する処理を導入する. メタデータ自動生成フィルタにより計測した, 新メタデータを構成する正規化重み付け数値 ( $NW$ ) が 0.95 以上となると, 当該数値を 1 に近似する. 正規化重み付け数値のひとつを 1 に近似するとき, 他の重み付け数値を誤差 (外乱) とみなして 0 に数値を変換する. 正規化重み付け数値のいくつかを 1 に近似するとき, 的確なメタデータ生成ができないと判定する. 的確なメタデータ生成が行われたとは, 新メタデータを構成する正規化重み付け数値 ( $NW$ ) が, 1 に近似し, かつ, 当該数値に対応する教師付画像データのもつ既知メタデータが, 投入した問合せ画像のデータ生成の依拠する幾何学上の定義に則したメタデータに合致するときと定義する. 具体的には, アフィン変換した正三角形画像データを CBIR に投入した結果, 教師付画像データ群に対する類似度 (特徴量間の距離) が, 表 1 のように与えられたとする.

上記の例においては, 計算結果及び定義から, 新メタデータは,  $1 * \{ \text{正三角形, 三角形, 角度 } 60 \text{ 度} \}$  として生成される.

表 1 類似度数 (特徴量間の距離) の具体例 (実験結果より抜粋)

Table 1 Exemplary structural similarity values based-on CBIR computation.

既知メタデータ群	類似度 (特徴量間の距離)	正規化重み付け
正多角形, 三角形, 角度 60 度	0.00000125	0.999 $\approx$ 1
長方形, 多角形, 角度 90 度	0.00247	0.000506
円	0.139	0.00000899
鋭角三角形, 三角形, 角度 30 度	0.168	0.00000744
直角三角形, 三角形, 角度 90 度	0.780	0.00000744
鈍角三角形, 三角形, 角度 150 度	0.780	0.000001.6
正方形, 正多角形, 角度 90 度	0.824	0.00000152

### 3. 実現方式

本章において, 本メタデータ自動生成フィルタの実装と, 実験環境について述べる. 実現方式は, 既存の CBIR システム (ここでは, IBM 社の QBIC<sup>TM</sup> を使用 [8] ~ [10]) をもとに示すメタデータ自動生成フィルタを実装した (図 3).

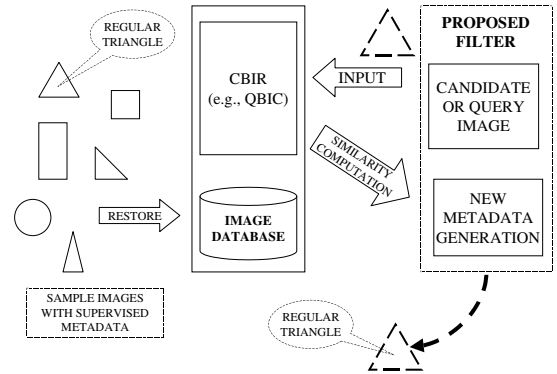


図 3 本方式の実現

Fig. 3 An implementation of the proposed formulation.

本方式を実現するにあたり, 画像の構造と色の特徴量をもとに, 類似度 (特徴量間の距離) 計量を行い画像データを検索する CBIR システムである, IBM 社の QBIC<sup>TM</sup> を利用した. QBIC<sup>TM</sup> は, IBM 社の DB2 Universal Database の画像を取り扱う拡張機能である ImageExtender の機能として提供されている. 画像を, DB2 データベースに, バイナリデータもしくはパスとして格納し, この画像に対して画像特徴量を格納するファイル (QBIC<sup>TM</sup> カタログ) を作成する. QBIC<sup>TM</sup> カタログに対し, どの特徴量の計量を行うかを指定することにより, 画像特徴量が計量可能となる. QBIC<sup>TM</sup> は, 画素 (ピクセル) から得る特徴量を元に検索を行う機構であり, 画像特徴量を構成する平均色, ヒストグラム, 位置色, 構造 (texture) に対して, ユークリッド距離に基づいた類似度 (特徴量間の距離) 計量をする. 本実装では, 構造に対する画像特徴量の類似度計量系を利用した. 類似度計量系は, 問合せ画像と検索対象画像データベースに格納されている検索候補画像データ間の類似度 (特徴量間の距離) を決定し, 類似度数および類似順位を明示した検索結果を与える. 類似度数 (特徴量間の距離) は, クエリとして指定した問合せ画像がもつ特徴量 (ここでは, 構造)

の数値と、バイナリデータとして格納された画像特徴量との間の距離として算出され、0に近い数値が、問合せ画像と同一または類似度（特徴量間の距離）が最大を表し、数値が大になるほど、類似度（特徴量間の距離）が小（相違度が大きい）となる。

実装においては、PHP と JAVA 言語を使用し、以下のようなメタデータ生成フィルタを、Windows2000 Service Pack 3 上に、IBM 社 ThinkPad S30(CPU Pentium 600MHz メモリ 128MByte) を使用して、全てローカルホスト上に構築した。メタデータ自動生成フィルタのコード量は、約 2000 行であり、Java (J2SDK1.4) と Apache(1.3.26) モジュールとしての PHP (4.2.1) により実装した。格納する教師付画像データベースと QBIC<sup>TM</sup> のデータ通信を可能にするため、ローカルホスト上に Apache を起動させる。問合せ画像の所在を示すパスを、PHP により出力し、HTML フォームにデータ入力する。このデータフォームを実行させることにより、PHP から Java プログラムを起動する。JDBC を用い、DB2 データベースに接続することにより、クエリーとして問合せ画像を入力する処理が実行される。DB2 の内部において、QBIC<sup>TM</sup> が、所与の教師付画像データ群と、クエリーとして入力された問合せ画像の類似度（特徴量間の距離）を比較計量し、結果を数値として返す処理を行う。この数値を、本方式の正規化重み付け数値計算アルゴリズムを実装したメタデータ自動生成フィルタに入力し、新規メタデータを、PHP により HTML 形式で表示する。

アルゴリズムの概要は、以下の通りである。

#### (1) 教師付画像データ群構築

具体例として与える画像データ群を、幾何学上の定義に沿って自動生成した。生成した画像データは、例として正三角形、円、正方形など人工構造物を構成する単純なものを選んだ。これらの画像を、IBM 社の DB2<sup>TM</sup> データベース上に、バイナリデータとして保存した。

#### (2) 既知メタデータの添付

画像データ群に、あらかじめ自明なメタデータ群を、既知メタデータとして、具体的には、正三角形画像データには { 正三角形, 三角形, 角度 60 度 } として添付した。簡単のため、メタデータそれぞれの重みは、1 としたが、これは変動可能である。

#### (3) メタデータ自動生成フィルタの構築

QBIC<sup>TM</sup> は、画像間の類似度数（特徴量間の距離）を、最大の類似度を 0 として計量する。そこで、本方式の定義に従った新メタデータ構成のため、正規化重み付け数値の計算アルゴリズムを実装した。本アルゴリズムにおいては、重み付け数値に対して、閾値 (0.95) を導入して正規化および再正規化する処理を行うが、閾値の設定により、さらに最適化をゆるす拡張性をもつ。

(4) メタデータ自動生成後の変換結果確認システムの構築  
実験に利用するため、メタデータ自動生成後の変換結果を、問合せ画像データに対するメタデータ生成の経過を示した HTML 形式のレポートを行うシステムを構築した。

## 4. 実験

以下の実験は、CBIR システム（本稿では、QBIC<sup>TM</sup>）上に、

メタデータ自動生成フィルタを適用することにより、CBIR の自動索引付け機能を利用した、簡易で効率的な、かつ、CBIR の性能の範囲内で最大限に、人間の認識しうるメタデータを精確に添付する、検索の前処理機能としてのメタデータ自動生成機能の実現可能性を示すことを目的とする。ここで、所与の教師付画像データ群が、メタデータ自動生成フィルタ適用対象領域（ドメイン）の典型的なメタデータを全て含んでいるとする。すなわち、当該ドメインにおいて、所与のメタデータ群のみで、十分に画像の分類を行うに足ると仮定する。

実験対象画像データの生成は、以下のように行った。本実験で用いた画像は、FreeBSD4.4 において PHP4.2.3 により提供される Image 関数により、幾何的な定義に従い自動生成した 300×300 ピクセルのビットマップ形式の画像である。各 100×100 ピクセルの 3×3 マスを用意し、基本図形 7 種類（正三角形、正方形、長方形、鋭角三角形、直角三角形、鈍角三角形、円）を配置した、画像データファイル計 63 個を構成する。

本実験で用いた基本図形とは、正三角形 (100×100 ピクセルの左上を基準として (10,90) (50,12) (90,90) を結んだもの)、正方形 ((10,10) (10,90) (90,90) (90,10))、長方形 ((30,10) (30,90) (70,90) (70,10))、鋭角二等辺三角形 ((30,90) (70,90) (50,10))、直角二等辺三角形 ((10,90) (90,90) (50,50))、鈍角二等辺三角形 ((10,90) (90,90) (90,60))、円 ((50,50) を中心とした直径 60 ピクセルの円) である。3×3 マスの中心に図形が配置された、基本図形 7 個の画像が、教師付画像データ群として与えられる。

クエリーとして使う問合せ画像を、PHP で生成した上記の画像 63 個に対して、データ操作（平行移動、右 90 度回転アフィン変換、拡大）を行い生成した（FreeBSD 上の ImageMagick5.4.8-3 を利用）拡大した画像を作る際は、上記の基本図形を、100×100 の大きさの画像に配置したものを PHP で自動生成し、ImageMagick を用いて 300×300 に拡大した。実行した ImageMagick のコマンドは以下の通りである。

```
右 90 度回転 % mogrify -rotate 90 *.bmp
```

```
拡大 % mogrify -resize 300x300 *.bmp
```

行った実験は、以下 3 種類のデータ操作（平行移動、右 90 度回転アフィン変換、拡大）を加えた、BMP 形式と JPEG 形式の画像に対する、メタデータ自動生成フィルタの処理実行時間と処理精度の計測である。処理実行時間とは、データ操作を行った問合せ画像データに対して、メタデータ自動生成フィルタによる新たなメタデータ生成処理を開始した時刻から、当該処理を終了した時刻の差分である（単位ミリ秒）。処理精度とは、それぞれのデータ操作において、全体の結果に対して、投入した問合せ画像のデータ生成が、依拠した幾何上の定義に則した的確なメタデータを、正規化重み付け数値 1 とともに与えられる比率である。

実験対象画像データは、正三角形、正方形、長方形、鋭角二等辺三角形 (30 度)、直角二等辺三角形、鈍角二等辺三角形 (150 度)、円の 7 種類であり、画像データ操作は、平行移動 (図 4 参照)、右 90 度回転変換 (図 5 参照)、拡大 (元の画像を縦横 3 倍) の 3 種類である。

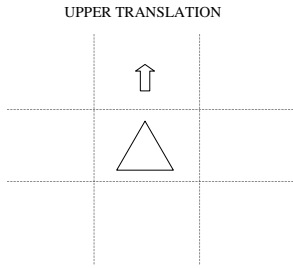


図 4 画像データ操作：平行移動

Fig. 4 A image data processing: translation.

RIGHT 90 DEGREE ROTATION & UPPER TRANSLATION

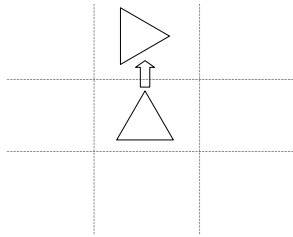


図 5 画像データ操作：右 90 度回転アフィン変換

Fig. 5 A image data processing: affine transportation.

#### 4.1 実験結果：処理実行時間

本実験は、メタデータ生成フィルタの処理実行時間を計測し、性能を評価することを目的とする。処理実行時間に対して、画像特徴量（ここでは、幾何図形）がもつ特定の構造や、3種類の画像データ操作が、影響を与えるか否か検証するために実験する。

表 2 は、BMP 形式と JPEG 形式の画像ファイルについて、それぞれ平行移動、右 90 度回転アフィン変換、拡大を行った画像に対するメタデータ自動生成処理結果の全般的な実験結果を示す。

表 2 総平均処理実行時間（単位 ms）

Table 2 Gross mean execution time: BMP and JPEG image files (ms).

画像形式	平行移動後画像	アフィン変換後画像	拡大後画像	総平均処理時間
BMP	2049.127	1558.794	2350.571	1986.164
JPEG	2058.349	1726.032	2294.714	2023.63

表 8, 9, 10 は、BMP 形式画像ファイルについて、平行移動、右 90 度回転アフィン変換、拡大を行った画像に対するメタデータ自動生成処理結果の詳細を示す。

表 11, 12, 13 は、JPEG 形式画像ファイルについて、平行移動、右 90 度回転アフィン変換、拡大を行った画像に対するメタデータ自動生成処理結果の詳細を示す。

#### 4.2 実験結果：処理精度と正規化重み付け数値

本実験は、処理精度を計測することにより、メタデータ生成フィルタの性能評価を目的とする。処理精度や新規メタデータ

を構成する正規化重み付け数値に対して、画像特徴量（ここでは、幾何図形）のもつ特定の構造や、3種類の画像データ操作が、影響を与えるか否か検証するために実験する。

表 3 は、BMP 形式と JPEG 形式の画像ファイルについて、それぞれ平行移動、右 90 度回転アフィン変換、拡大を行った画像に対するメタデータ自動生成処理結果の全般的な実験結果を示す。

表 3 処理精度の性能評価

Table 3 Evaluation on precision of metadata generation.

画像形式	平行移動後画像	アフィン変換後画像	拡大後画像
BMP	0.857	0.857	0.00
JPEG	0.800	0.1	0.02

表 14, 15, 16 は、BMP 形式画像ファイルについて、平行移動、右 90 度回転アフィン変換、拡大を行った画像に対するメタデータ自動生成処理結果の詳細を示す。

表 17, 18, 19 は、JPEG 形式画像ファイルについて、平行移動、右 90 度回転アフィン変換、拡大を行った画像に対するメタデータ自動生成処理結果の詳細を示す。

## 5. 考 察

メタデータ自動生成フィルタの処理実行時間と正規化重み付け数値に対して、BMP と JPEG の各ファイル形式において、幾何図形の構造と移動の種類が与える影響の有無について、二元配置実験における繰返しなし分散分析 (Analysis of Variance) を行った結果は、以下のとおりである。帰無仮説は、全ての水準の平均値は等しい、すなわち、各因子の水準の変化による効果はないとする。

表 4 が示すように、処理実行時間に対して、BMP 形式画像データにおいては、幾何図形の構造と移動の種類（因子水準の変化）は、有意水準 5%, 1% でともに、平均値の変化に効果を与えないとの仮定を棄却しないこと、つまり、影響はないことが分かった。

表 4 処理実行時間の分散分析結果：BMP 形式

Table 4 Analysis of variance on execution time experiments of BMP image files.

BMP	自由度 ( $\phi$ )	平方和 ( $S$ )	分散 ( $V$ )	検定量 ( $F_0$ )	信頼度 ( $1 - P$ )
図形の種類	6	507,700	84,620	1.588	0.8426
移動の種類	18	18	83,440	1.566	0.9180
誤差	108	5,753,000	53,270		
総計	132	7,763,000			

表 5 が示すように、処理実行時間に対して、JPEG 形式画像データにおいては、移動の種類が、効果を与えないとの仮定を有意水準 5% で棄却する（影響がある）が、効果を与えないとの仮定を有意水準 1% では棄却しない（影響がない）こと、幾何図形の構造は、有意水準 5%, 1% でともに、効果を与えないとの仮定を棄却しない（影響がない）ことが分かった。

表 6 が示すように、正規化重み付け数値に対して、BMP 形式画像においては、幾何図形の構造と移動の種類は、有意水準 1% で、ともに効果を与えないとの仮定を棄却する（影響がある）ことが分かった。

表 5 処理実行時間の分散分析結果：JPEG 形式

Table 5 Analysis of variance on execution time experiments of JPEG image files.

JPEG	自由度 ( $\phi$ )	平方和 ( $S$ )	分散 ( $V$ )	検定量 ( $F_0$ )	信頼度 ( $1 - P$ )
図形の種類	6	1,279,000	288,200	2.269	0.9578
移動の種類	18	2,639,000	146,600	1.154	0.6874
誤差	108	1,372,1000	127,000		
総計	132	1,809,100			

表 6 正規化重み付け数値の分散分析：BMP 形式

Table 6 Analysis of variance on normalized weights of BMP image files.

BMP	自由度 ( $\phi$ )	平方和 ( $S$ )	分散 ( $V$ )	検定量 ( $F_0$ )	信頼度 ( $1 - P$ )
図形の種類	6	6.090	1.015	324.0	0.99999
移動の種類	18	4.872	0.2707	86.40	0.99999
誤差	108	0.3383	0.003133		
総計	132	11.30			

表 7 が示すように、正規化重み付け数値に対して、JPEG 形式画像においては、幾何図形の構造と移動の種類は、有意水準 1% で、ともに効果を与えないとの仮定を棄却する（影響がある）ことが分かった。

表 7 正規化重み付け数値の分散分析：JPEG 形式

Table 7 Analysis of variance on normalized weights of JPEG image files.

JPEG	自由度 ( $\phi$ )	平方和 ( $S$ )	分散 ( $V$ )	検定量 ( $F_0$ )	信頼度 ( $1 - P$ )
図形の種類	6	6.215	1.036	20.46	0.99999
移動の種類	18	11.76	0.6352	12.90	0.99999
誤差	108	5.467	0.05062		
総計	132	23.44			

表 3 が示すように、BMP 形式画像データにおいては、平行移動、右 90 度回転アフィン変換を行った画像に対するメタデータ自動生成処理に対して、CBIR の性能を損なわず、的確なメタデータを自動生成できることが分かった。JPEG 形式画像データに対しては、回転を加えた画像データに対するメタデータ自動生成について、処理精度を大きく損なうことが分かった。これは、JPEG 形式画像がベクトル系の表現方法に依存しているため、2 点間のユークリッド距離系を元にした類似度計量系が、回転したベクトルを適切に評価できないことが原因と考える。さらに、BMP、JPEG 形式画像データともに、拡大した画像データに対して、処理精度を大きく損なうことが分かった。

実験結果から、図形の種別、特に、直角三角形と鈍角三角形のように、角度により種別が異なるものは、適切なメタデータを生成することが困難であることが分かった。他方、点対称的な幾何図形、特に、正方形については、画像データの形式によらず、良好な処理精度を保てることが分かった。また、長方形、正三角形も、一定の処理精度を保てることが分かった。これは、建造物や図面などの人工物に多い正多角形を含んだ、一般的な画像の構造的特徴量を認識するメタデータ自動生成方式への汎用可能性を示すものと考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、画像特徴量を対象とする類似度計量系 (Content-Based Image Retrieval) を用いてメタデータを生成するフィ

ルタ機能を実現するメタデータ自動生成方式を示し、その有効性を実験により評価した。本方式は、既知メタデータ群を添付した基本画像データ群を格納したデータベースを CBIR システム上に構築し、新たな検索対象画像を、当該システムに投入することにより得られる画像間類似度 (特徴量間の距離) を、既知のメタデータに重み付けとして適用することにより、検索対象領域に最適化したメタデータを自動生成するフィルタである。実現方式は、既存の CBIR システムである QBIC<sup>TM</sup> をもとに、メタデータ自動生成フィルタを実装した。実験が示すように、本方式は、既存の CBIR システムにおける類似度計量系の性能に依存する。特に、実現方式の依存する QBIC<sup>TM</sup> は、特徴量抽出と類似度計量において、対称性のある構造的性質を持った画像データに有効であるとの制限がある。実験は、本方式が、正方形、正三角形、長方形に代表される、線対称かつ点対称な幾何図形に対して、CBIR システムのもつ類似度計量機能を損なうことなく、人間の認識しうる形態のメタデータ自動生成を実現することを実証した。本方式は、画像以外のマルチメディアデータである動画、楽曲、文書の類似度 (特徴量間の距離) を計量する機構のメタデータ自動生成方式としての適用可能性がある。現在、拡大やばかした画像の処理に有効な CBIR システムを組み合わせ、的確なメタデータ生成方式を実現する機構、複数の画像データを含むデータに対するメタデータ生成機構を設計し、本方式を元に、メタデータを投入するのみで、簡易かつ的確に検索者の希望するデータを検索する画像データベース検索方式の定式化と実装を行っている。

## 文 献

- [1] Sheth, A. and Klas, W., "Multimedia Data Management: Using Metadata to Integrate and Apply Digital Media" McGraw-Hill, New York, USA, 1998.
- [2] M. Kobayashi and K. Takeda, "Information Retrieval on the Web" ACM Comp. Survey, 32(2):144-173, June, 2000.
- [3] F. Sebastiani, "Machine Learning in Automated Text Categorization" ACM Comp. Survey, 34(1):1-47, March, 2002.
- [4] Y. Kiyoki, Y. Kitagawa, and T. Hayama, "A Metadata System for Semantic Image Search by a Mathematical Model of Meaning" ACM SIGMOD Record, 23(4):34-41, 1994.
- [5] Y. Rui, T.S. Huang, and S.F. Chang, "Image Retrieval: Current Techniques, Promising Directions and Open Issues", J. of Visual Communication and Image Representation, 10(4):39-62, April, 1999.
- [6] A.W.M. Smeulders, M. Worring, S. Santini, A. Gupta, and R. Jain, "Content-Based Image Retrieval at the End of the Early Years", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(12):1349-1380, December, 2000.
- [7] W.W. Chu, I.T. Jeong, and R.K. Taira, "A Semantic Modeling Approach for Image Retrieval by Content", VLDB J., 3:445-477, 1994.
- [8] J. Ashley, M. Flickner, J. Hafner, D. Lee, W. Niblack, and D. Petkovic, "The Query by Image Content (QBIC) System" ACM SIGMOD Record, 36(7):475, May 1995.
- [9] M. Flickner, H. Sawhney, W. Niblack, J. Ashley, Q. Huang, B. Dom, M. Gorkani, J. Hafner, D. Lee, D. Petkovic, D. Steele, and P. Yanker, "Query by Image and Video Content: The QBIC System", IEEE Comp., 28(9): 23-32, September, 1995.
- [10] United States Patent and Trademark Office, "U.S. Pat. # 5,647,058", Agrawal, et al., Date of Issue on July 8, 1995.



表 15 メタデータ自動生成実験結果の正規化重み付け数値 (BMP 形式データ): 右 90 度回転アフィン変換後画像

Table 15 Normalized weights on metadata generation results of affine transported BMP image files.

BMP アフィン変換後画像	左上	真上	右上	真左	真中	真右	左下	真下	右下
正三角形	1	1	1	1	1	1	1	1	1
正方形	1	1	1	1	1	1	1	1	1
長方形	1	1	1	1	1	1	1	1	1
鋭角二等辺三角形	1	1	1	1	1	1	1	1	1
直角二等辺三角形	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
鈍角二等辺三角形	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
円	1	1	1	1	1	1	1	1	1

表 16 メタデータ自動生成実験結果の正規化重み付け数値 (BMP 形式データ): 拡大後画像

Table 16 Normalized weights on metadata generation results of extended BMP image files.

BMP	拡大 3 倍後画像
正三角形	0
正方形	0
長方形	0
鋭角二等辺三角形	0
直角二等辺三角形	0
鈍角二等辺三角形	0
円	0

表 17 メタデータ自動生成実験結果の正規化重み付け数値 (JPEG 形式データ): 平行移動後画像

Table 17 Normalized weights on metadata generation results of translated JPEG image files.

JPEG 平行移動後画像	左上	真上	右上	真左	真中	真右	左下	真下	右下
正三角形	1	1	1	1	1	1	1	1	1
正方形	1	1	1	1	1	1	1	1	1
長方形	1	1	1	1	1	1	1	1	1
鋭角二等辺三角形	0.938	1	0.938	1	1	1	0.938	1	0.938
直角二等辺三角形	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
鈍角二等辺三角形	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
円	1	1	1	1	1	1	1	1	1

表 18 メタデータ自動生成実験結果の正規化重み付け数値 (JPEG 形式データ): 右 90 度回転アフィン変換後画像

Table 18 Normalized weights on metadata generation results of affine transported JPEG image files.

JPEG アフィン変換後画像	左上	真上	右上	真左	真中	真右	左下	真下	右下
正三角形	0	0	0	0	0	0	0	0	0
正方形	0.965	0.93	0.965	0.965	0.921	0.965	0.965	0.93	0.965
長方形	0.673	0.622	0.673	0.673	0.646	0.673	0.673	0.622	0.673
鋭角二等辺三角形	0	0	0	0	0	0	0	0	0
直角二等辺三角形	0.48	0.472	0.48	0.48	0.451	0.48	0.48	0.472	0.48
鈍角二等辺三角形	0	0	0	0	0	0	0	0	0
円	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 19 メタデータ自動生成実験結果の正規化重み付け数値 (JPEG 形式データ): 拡大後画像

Table 19 Normalized weights on metadata generation results of extended JPEG image files.

JPEG	拡大 3 倍後画像
正三角形	0
正方形	0.143
長方形	0
鋭角二等辺三角形	0
直角二等辺三角形	0
鈍角二等辺三角形	0
円	0