

## 局所平均差分の階層的四分木符号を特徴量とするカラー画像の類似検索 —自然画像に対する検索性能評価—

北海道大学情報科学研究科 ○栗田 涼平, 金井 理, 岸浪 建史, 渋川 勝久

### 要 旨

本報では、検索対象を自然画像としたカラー画像類似検索手法を提案する。特徴量に、明度、色相、彩度の局所平均差分の階層的四分木符号を用いる。提案手法の検索性能を適合率、再現率に基づき商用の類似画像検索システムと比較し検証する。

### 1. はじめに

近年、デジタルカメラ等の急速な普及に伴い大量の画像データベース(DB)が生成され、画像をキーとして所望の画像に付随する情報を効率良く検索したいという要求が生じており、画像の内容に基づく類似検索(CBIR: Content-Based Image Retrieval)の研究が行われている。

本研究は、自然カラー画像をキーとしてこれに付随する撮影場所・時期などの情報を検索する類似画像検索手法の開発を目的とする。前報[1]では、階層的四分木符号を特徴量として、撮影時の環境(天候、時間等)により生じる、撮影画像全体又は一部分の明るさの違いと、構図の変化(撮影地点のずれ、カメラアングル等)による平行移動や部分的な拡大縮小に対してロバストな類似検索手法を提案した。しかし、検索速度が遅いという問題があった。本報では、検索特徴量の修正による検索速度の改善と、検索性能の評価について報告する。

### 2. 本研究の概要

図1に本研究の概要を示す。まず、画像の表色系をsRGB色空間から人間の感覚にマッチしていると考えられている $L^*a^*b^*$ 色空間に変換し、 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 値それぞれに対し、[2]で提案されているIntegral Imageを生成する。また、画像を4、16、64、…と再帰的に4分割し、分割領域ごとに $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 値の各々の局所平均をIntegral Imageを用いて高速に計算する。その局所平均を直交座標系 $(L^*, a^*, b^*)$ から円筒座標系 $(L^*, C^*, h)$ に変換し、量子化された $L^*$ (明度)、 $C^*$ (彩度)、 $h$ (色相角)の量子化局所平均を求める。この分割におけるある親領域とその4子領域の各量子化局所平均の差分を四分木符号化し、これを画像特徴量とする。4分割の方法は、登録画像は4等分とし、クエリ画像は適応的4分割とする。登録画像とクエリ画像の四分木符号群同士の重み付き符号一致率により類似度を算出する。

### 3. 類似検索のための画像特徴量

#### 3.1 前処理

本研究では、表色系に $L^*a^*b^*$ 色空間(CIELAB色空間)を用いる。 $L^*a^*b^*$ 色空間では、空間内の2色の色の距離が、どの色領域においても、知覚的な色差に対応するように定められており、人間の感覚にマッチしている。従って、色の類似性に基づいた検索に有効である。また、色の明るさ、鮮やかさ、色味を各々独立して検索に反映させるため、直交座標系から円筒座標系に変換し特徴量を生成する。

また、矩形領域の画素の総和を求める処理のため、画像の中間表現Integral Imageを生成する。Integral Image

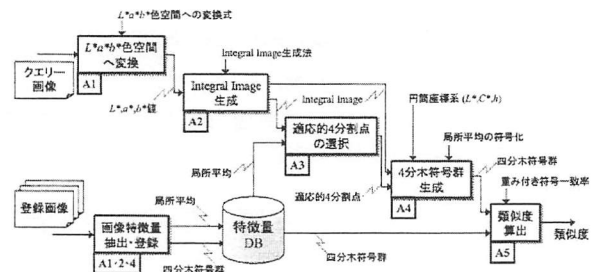


図1 本研究の概要

により計算回数の多い局所平均の算出処理が高速化可能となる。

#### 3.2 階層的四分木符号

画像を再帰的に分割し、 $4^i$ 分割した段階を階層 $i$ とし、分割された各領域の番号を $j$ とする(ただし、 $j \in \{1, \dots, 4^i\}$ )。階層 $i$ 、分割領域 $j$ を4分割してできる階層 $i+1$ の領域の番号 $j'$ は、左上から順に(1)式に従い定められる。

$$j' = 4(j-1) + k \quad (k \in \{1, 2, 3, 4\}) \quad (1)$$

階層 $i$ 、分割領域 $j$ での画素値 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ の局所平均から $L^*$ 、 $C^*$ 、 $h$ の局所平均に変換し、それを量子化した量子化局所平均 $pm_f(i, j)$ を求める。それを親領域の値と比較し、その変化を式(2)により符号 $T_f(i, j)$ と表す( $f \in \{L^*, C^*, h\}$ )。

$$T_f(i, j) = \begin{cases} 1 & \{pm_f(i-1, \lceil j/4 \rceil) < pm_f(i, j)\} \\ 0 & \{pm_f(i-1, \lceil j/4 \rceil) = pm_f(i, j)\} \\ -1 & \{pm_f(i-1, \lceil j/4 \rceil) > pm_f(i, j)\} \end{cases} \quad (2)$$

全階層について符号を求めたものを階層的四分木符号群と呼ぶ。これにより、画像全体の明度・彩度・色相のシフトに鈍感な検索特徴量が構成可能となる。

#### 3.3 適応的4分割

画像特徴量生成時の4分割は、登録画像は4等分とし、クエリ画像は登録画像に対する適応的4分割とする。この適応的4分割により、平行移動や部分的な拡大縮小にロバストな検索が可能となる。適応的4分割とは、分割領域の境界線の交点として分割候補点の中から最適な点を選択して4分割することである。この分割候補点は領域を $x^2$ 等分する $(x-1)^2$ 個の格子点とする。検索高速化のため、深い階層の小さな領域での候補点を減少させるため、親領域の階層 $i$ に応じて $x=2^{4-i}$ と設定した。最適な分割点の選択とは、量子化局所平均差分のパターンがより一致するような分割点を分割候補点 $y \in \{1, \dots, (x-1)^2\}$ から選択することである。階層 $i$ 、分割領域 $j$ に対し、(3)式の $g(y)$ を最小にする $y$ を最適分割点

とする。ただし、 $\overline{pm}_f$  は登録画像登録画像の量子化局所平均を表し、 $pm_f^y$  は  $y$  を分割点としたときの量子化局所平均を表す(図2)

$$g(y) = \sum_{f \in \{L^*, C^*, A\}} \sum_{k=1}^4 \left| \begin{array}{l} \overline{pm}_f(i, j) - \overline{pm}_f(i+1, 4j-4+k) \\ - \{ pm_f(i, j) - pm_f^y(i+1, 4j-4+k) \} \end{array} \right| \quad (3)$$

#### 4. 類似度算出

クエリ画像と登録画像の  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h$  の四分木符号群をそれぞれ比較する。クエリ画像と登録画像の符号を  $T_f(i, j)$ ,  $\overline{T}_f(i, j)$  とすると、階層  $i$ , 分割領域  $j$  の符号一致度  $a_f(i, j)$  は(4)式で定義される。

$$a_f(i, j) = \begin{cases} 1 & T_f(i, j) = \overline{T}_f(i, j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

各階層での符号一致率から階層別の重み  $w_i$  を乗じた、重み付き符号一致率を計算する。次に、(5)式のように各階層での符号一致率の総和を正規化し、さらに明度・彩度・色相について平均化したものを画像間の類似度  $S$  とする。

$$S = \frac{1}{3} \sum_{f \in \{L^*, C^*, A\}} \left\{ \frac{\sum_i \left( w_i \sum_j a_f(i, j) / 4^i \right)}{\sum_i w_i} \right\} \quad (5)$$

#### 5. 類似検索実験

本類似検索手法を Visual C++ で実装した。市販のデジタル写真集[3]からカテゴリ「自然」に分類されている画像 5800 枚(解像度  $640 \times 480$  もしくは  $360 \times 480$ ) を特徴量データベースに登録した。カテゴリ「自然」はさらに幾つかのカテゴリ(空, 山, 花等)に分類されている。この登録画像から数枚のクエリ画像を選び、それぞれのクエリ画像と同一カテゴリ内で明らかに類似していると主観的に判断した画像群を正解画像集合とした。また本手法と、既存の 2 種類の類似画像検索ソフト[4][5]を用いた、検索結果を適合率(Precision)・再現率(Recall)によって比較し、検索性能の評価を行った。図3に5位までの類似画像と、図4に性能評価結果を示す。上位に類似していると思われる画像が検索されているのが確認できる。また図4より、本手法は単一の特徴量ながら、本手法同様に単一の特徴量を用いている[5]に比べ、複数の特徴量を用いた手法[4]に、より近い検索性能を有していることが確認できた。クエリ画像を数十画素平行移動させた画像に対して類似度が高い値を示しロバストな検索が可能であると確認した。(図5)

さらに、検索速度に関して、適応的 4 分割の高速化により、前報では 100 枚の画像検索に 8.93s を要したのに対し、高速化後は 0.29s に検索速度が高速化できた。

#### 5. おわりに

本報では、階層的四分木符号を特徴量とし、画像全体の明るさの違いや、平行移動や部分的な拡大縮小にロバストであり、高速なカラー自然画像の類似画像検索手法を提案した。また、実験により、その有効性を確認した。

#### 参考文献

[1] 栗田 涼平, 渋川 勝久, 金井 理, 岸浪 建史, “局所平均の符号化に基づいた画像の類似判定” JSPE 春季全国大会講演論文集, 435-436, 2005

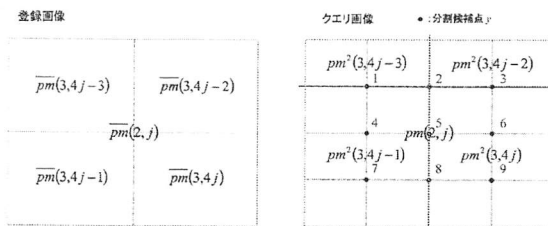


図2 適応的 4 分割

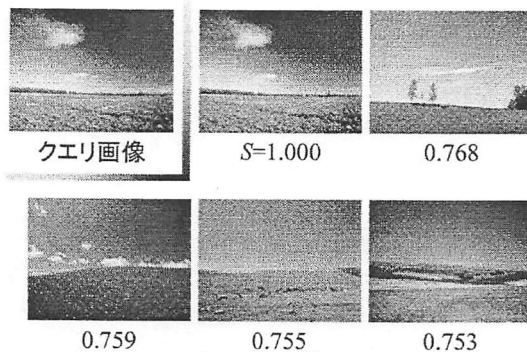


図3 検索結果

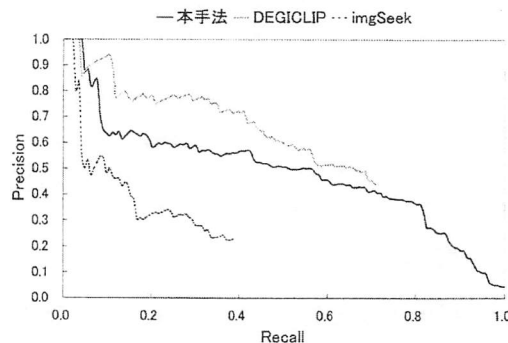


図4 性能評価結果

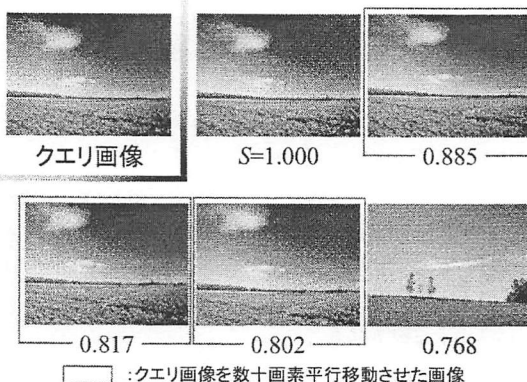


図5 平行移動に対する検索結果

[2] Paul Viola, Michael Jones, “Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple” Proc. of IEEE Conf.CVPR, 1, 511-518, 2001  
 [3] データクラフト, 素材辞典イメージブック 1-8  
 [4] RICOH, DEGICLIP  
<http://www.ricoh.co.jp/dc/digiclip/index.html>  
 [5] Charles E. Jac obs, Adam Finkelstein, David H. Salesin, “Fast Multiresolution Image Query ing” Proc. of SIGGRAPH 1995, 277-286, <http://imgseek.python-hosting.com/>