

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自然画像の類似検索

栗田 涼平† 金井 理† 岸浪 建史† 渋川 勝久
北海道大学大学院情報科学研究科†

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)の研究が数多く行われている。

本研究は、カラー自然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ための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)により生じる画像全体又は部分的な明るさの違いや、構図の微小な違い(撮影地点・カメラアングル等のずれ)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、その検索性能を Precision-Recall により市販類似画像検索ソフトと比較した。その結果、市販検索ソフトと比較し、検索結果内に主観にそぐわない画像が一部含まれる問題があった。そこで、本報では、色相の類似性の観点から階層的四分木符号と類似度算出法を改良し、検索性能を向上させた。

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、 L^* (明度)、 C^* (クロマ)、 h (色相角)の局所平均を求める。この分割におけるある親領域とその 4 子領域の各局所平均との量子化された差異を四分木符号化し、これを画像特徴量とする。ただし、 L^* 、 C^* の差異は単純差分とし、 h の差異は単純差分ではなく、色の知覚的な相違の定量指標である色相差 H^* とする。4 分割の方法は、クエリ画像は 4 等分とし、登録画像は適応的 4 分割とする。クエリ画像と登録画像の四分木符号同士の重み付符号一致度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 階層的四分木符号

ある画像の特徴量となる階層的四分木符号を以下の手順で求める。まず、画像を再帰的に分割し、 4^i 分割した段階を階層 i 、分割された各領域の番号を j とする ($j \in \{1, \dots, 4^i\}$)。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、左上から順に式(1)に従い定められる。

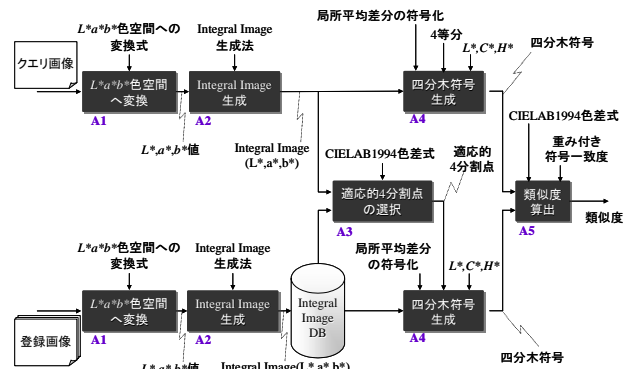


図 1 本研究の概要

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

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 $pm_f(i, j)$ を求める ($f \in \{L^*, C^*, h\}$)。階層 i 、分割領域 j の領域と親領域との局所平均差分 $Dpm_f(i, j)$ は式(2)で与えられる。

$$\begin{cases} Dpm_{L^*}(i, j) = pm_{L^*}(i-1, \lceil j/4 \rceil) - pm_{L^*}(i, j) \\ Dpm_{C^*}(i, j) = pm_{C^*}(i-1, \lceil j/4 \rceil) - pm_{C^*}(i, j) \\ Dpm_h(i, j) = 2C(i, j) \cdot \sin\{[pm_h(i-1, \lceil j/4 \rceil) - pm_h(i, j)]/2\} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{ただし、} C(i, j) = \sqrt{pm_{C^*}(i, j) \cdot pm_{C^*}(i-1, \lceil j/4 \rceil)}$$

式(2)の色相の差分 $Dpm_h(i, j)$ は、知覚的な色の相違を示す色相差 H^* の値を採用している。さらに、下式(3)より $Dpm_f(i, j)$ に応じて領域に 3 値符号 $Code_f(i, j)$ を与える。

$$Code_f(i, j) = \begin{cases} 1 & (Dpm_f(i, j) > T_f) \\ 0 & (|Dpm_f(i, j)| \leq T_f) \\ -1 & (Dpm_f(i, j) < -T_f) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 T_f は閾値であり、本研究では、マンセル色票の量子化レベル[3]を参考に、全て 5 とした。

$Code_f(i, j)$ を階層順に $i=1, \dots, I$ と並べた系列を階層的四分木符号と呼ぶ。この四分木符号により、画像全体の明度・クロマ・色相のシフトに鈍感な検索特徴量が構成可能となる。

3.2 適応的 4 分割

画像の平行移動や部分的な拡大縮小にロバストな検索を可能とするため、適応的 4 分割を行う。適応的 4 分割とは、検索対象となる登録画像の四分木符号化を行う際に、分割領域を 4 分割する点として、分割候補点集合内から最適な点を選択し 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。最適な分割点は、式(4)で定義される各領域の局所平均差分間の相違 $e(y)$ を最小とする分割点を分割候補点集合内 $y \in \{1, \dots, (x-1)^2\}$ から選択する。ただし、 Dpm_f はクエリ画像の局所平均差分を、 Dpm_f^r は y を分割点としたときの登録画像の局所平均差分を表す。 pm_{C^*} は、クエリ画像のクロマの局所平均である。また、 w_f は CIE-LAB 1994 色差式[4]を参考にして式(5)のように設定した。

Content-Based Image Retrieval of Color Images using Hierarchical Quad-Tree Code of Partial Mean Difference as Image Features

† Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

$$e(y) = \sqrt{\sum_{f \in \{L^*, C^*, h\}} \left[w_f \sum_{k=1}^4 \left\{ \overline{Dpm}_f(i+1, 4j-4+k) \right\} \right]^2} \quad (4)$$

$$\begin{cases} w_{L^*} = 1 \\ w_{C^*} = \left(1 + 0.045 \sqrt{\overline{pm}_{C^*}(i, j) \cdot pm_{C^*}(i, j)} \right)^{-1} \\ w_h = \left(1 + 0.015 \sqrt{\overline{pm}_{C^*}(i, j) \cdot pm_{C^*}(i, j)} \right)^{-1} \end{cases} \quad (5)$$

本報では、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べく、 $x=2^{4-i}$ と設定した。また、図2のように、画像検索での平行移動のずれの許容範囲を規定するため、分割領域中心を中心とする楕円を設定し、楕円外部の点は分割候補点から除いている。楕円の長短軸は領域の幅と高さを v 倍した値とする。この v はクエリに応じてユーザが設定する。

4. 類似度算出

クエリ画像と登録画像の階層的四分木符号を各々 $Code_f(i, j)$ 、 $Code_r(i, j)$ とすると、階層 i 、分割領域 j の符号一致度 $a_f(i, j)$ は式(6)で定義される。

$$a_f(i, j) = \begin{cases} 1 & (Code_f(i, j) = Code_r(i, j)) \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

式(7)のように各階層での符号一致度に階層別の重み u_i を乗じ、総和を正規化したものを L^* 、 C^* 、 h それぞれの類似度 S_f とする($f \in \{L^*, C^*, h\}$)。

$$S_f = \frac{\sum_{i=1}^l \left(u_i \sum_{j=1}^{4^i} a_f(i, j) / 4^i \right)}{\sum_{i=1}^l u_i} \quad (7)$$

さらに、色相の類似度 S_h を画像全体の色相分布の相違にある程度敏感とするため、指定した階層 \hat{i} におけるクエリ画像と登録画像との対応領域間の局所平均色相差絶対値を量子化し、正規化した値 $Qdh(\hat{i}, j)$ を用いて、式(8)から S'_h を計算する。最終的に、式(9)により画像間の類似度 S が算出される。

$$S'_h = S_h \cdot \left(1 - \sum_{j=1}^{4^{\hat{i}}} Qdh(\hat{i}, j) / 4^{\hat{i}} \right) \quad (8)$$

$$S = (S_{L^*} w_{L^*} + S_{C^*} w_{C^*} + S'_h w_h) / (w_{L^*} + w_{C^*} + w_h) \quad (9)$$

5. 類似検索実験

提案手法をC++で実装し、デジタル写真集[5]から自然画像5800枚をデータベースに登録した。さらに、同一場所でカメラアングル等を変化させて撮影した画像29枚(集合A)と、同一地点・アングルで異なる日時のライブカメラ画像46枚(集合B)も追加登録した。A、Bから適当にクエリ画像a、bを選び、 $\hat{i}=1$ 、 $u_i=1$ 、 $l=4$ 、 $v=0.125$ として検索を行った。

提案手法、前報[1]、及び市販ソフトとの検索性能比較をPrecision-Recallによって行った。クエリ画像a、bの正解画像集合はそれぞれA、Bとした。図3にPrecision-Recallグラフを示す。前報[1]と比較して検索性能が向上し、又、検索結果上位では市販検索ソフト(DIGICLIP)よりも良い検索性能が得られた。図4に提案手法による検索結果を類似度順に並べた。赤で類似度が表示されている画像が正解集

合に含まれるものである。主観的に類似性の高い画像が上位に検索されているのが確認できる。なお、検索所要時間は5875枚に対し、それぞれ約30秒であった。

6. おわりに

本報では、色相類似性を考慮し、構図の違いや撮影環境の違いに鈍感なカラー自然画像の類似検索手法の提案を行った。また市販ソフト等との比較実験から、その検索性能の有効性を確認した。

参考文献

- [1] 栗田 涼平, 金井 理, 岸浪 建史, 渋川 勝久, “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”, FIT2005 講演論文集, pp133-134, 2005
- [2] Paul Viola, Michael Jones, “Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple” Proc. of IEEE Conf. CVPR, 1, pp511-518, 2001
- [3] 色彩工学, 東京電機大学出版局, 1993
- [4] 視覚情報処理ハンドブック, 日本視覚学会, 2000
- [5] データクラフト, 素材辞典イメージブック 1-8

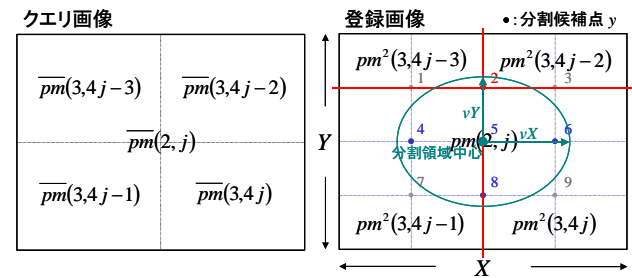


図2 適応的4分割

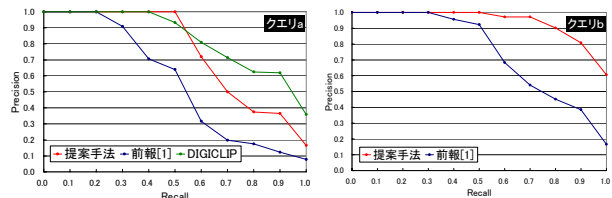


図3 Precision-Recall グラフ

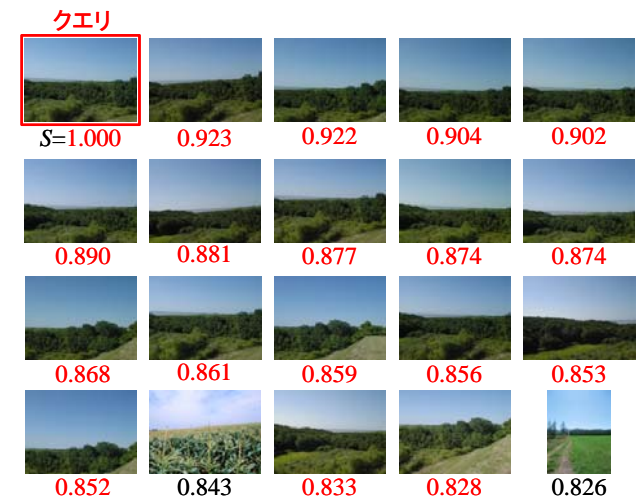


図4 類似検索結果と類似度(クエリ a)