

類似判定基準の自動設定を行う画像検索システム

南部 藤太朗 八村 広三郎

立命館大学 理工学部 情報学科

画像内容に基づく画像検索システムでは、検索の基準が固定的に与えられているものがあるが、画像検索を効率的に行うことは困難である。そこで、本研究ではユーザに複数の画像を選択させることで、どの特徴量に注目しているかを推定し、その結果により重み付けを行うことで、ユーザのニーズに合わせた検索を行うシステムを作成した。本研究では、減色した画像から色に関する特徴量である、カラーヒストグラム、各色の集中度、各色の中心座標を抽出し、検索に利用する。このシステムを用いて風景画や人物画など、約 2000 枚の画像を対象に検索実験を行った結果、良好な結果が得られた。

Content-based Image Retrieval with the Capability of Automatic Setting of Similarity Measure

Totaro Nambu, Kozaburo Hachimura Ritsumeikan University

This paper describes a system of content-based image retrieval system which is capable of automatic determination of similarity measure. Three feature values, which are derived from color distribution in the image, are used. Similarity between images is measured by a weighted sum of these feature values. These weights used for retrieval are determined by the relationship of feature values obtained from sample images, which are indicated by a user. Though the method is simple, experiments shows the satisfactory results.

1 はじめに

本論文では、検索条件の入力の際に、システムが提示したサンプル画像の集合からユーザが複数の画像を選択し、この選択の結果によってシステムがユーザの類似判定基準を推定する機能を持った画像検索システムについて述べる。ここでは、色彩情報のみを利用し、ユーザの選択した複数の例示画像から類似性の判定基準を導出し検索条件を求める。

2 画像の内容検索

現在実際に使われている画像データベースにおける画像データの検索では、画像データに付属させた画像の内容を説明する文やキーワードを利用して行われることが中心である。個々の画像に対してこのような情報を人手で付与することは多大な労力を必要とするので、画像の内容を表現する情報を自動処理によって得て、これを検索に利用しようとする研究開発も精力的に行われている。

しかし、この場合でも、画像中に写っている対象物

の名称や状況・情景についての記述を自動的に得るのは非常に困難で、実際には、画像の色彩や画像内の領域分布についての情報など、単純な物理レベルの情報を画像処理により抽出して、これを利用することが多い。

画像処理によりどのような情報を抽出すればよいかは、対象となる画像の種類や性質に依存することが多く、また、検索の目的によっても異なってくる。しかしながら、近年急激に普及してきたデジタルカメラで得られるような画像、Web 上に公開されている画像、工業製品のカatalog画像など、一般のカラー画像を対象として考える場合、画像の色彩に関する情報を抽出して利用するのが、最も基本的であろう。

この場合、実際に使われている色彩の細かな分布状況等を指示して検索条件を入力することは、単純なものの場合を除き現実的でない。必要としている画像を表現するものと、ユーザ自身が考えるいくつかの画像をユーザがシステムに提示し、これに類似した画像を検索する「例示画像による類似検索」の手法が適切であろう。現実には、このようなシステムは広く研究開発が行われている [1]。

このようなシステムでは、対象画像からいくつかの特徴量を抽出し、例示画像から抽出される特徴量と、データベース中の各画像の特徴量の値とを比較して類似度を算出し、これを検索に利用する。このとき、どの特徴量を重視して類似度を求めるかによって検索結果は大きく異なったものとなるのは当然である。一般的には、類似判定の基準には、複数の特徴量の、それぞれの類似度に重み付けを行った線形加重和で全体的な類似度とし、目的に応じてこの重みの値を調整して検索を試みることが多い。

しかしながら、検索で使われる特徴量の内容や特性について、ユーザの理解を前提とすることは適切でなく、また、その重みをユーザの調整に任せるのも問題である。ユーザが提示した例示画像から、自動的に類似判定の基準（この場合は特徴量への重み付け）を求めることができれば望ましい。

このような検索のための基準や方法を自動的に設定するシステムの研究開発も行われている。たとえば、人間の感性をシミュレートした感性モデルを用いて検索を行うシステム [2] や、画像検索アルゴリズムを自動生成するシステム [3] などが、その例である。

また、画像中の対象物の分布状況（構図）を表現するモデル画像を順次選択してこれによりユーザの検索意図を抽出し、検索条件を設定するシステムについてはすでに文献 [4] に報告している。

3 固定色画像への変換

本研究では、対象の画像から色彩に関する複数の特徴量を求め、これを類似検索に利用するが、人が画像を見たときに直感的に受ける印象（「青っぽい色」「明るい緑色」等）程度の色特徴を考えることにする。

このため、計算量、データ量を減らすために、対象の RGB フルカラー画像を、あらかじめ選定した 130 色のみで表現する限定色画像に変換し、この画像に基づいて、特徴量の抽出を行う。以下では、ここで用いている 130 色のことを「固定色」と呼び、この固定色で表された画像のことを「固定色画像」と呼ぶ。以下ではこの色彩の変換の手順について述べる。

減色には、各画素の色に対して最も色差の小さい限定色に変換することが考えられるが、この方法では 1 画素あたり 130 回の色差計算が必要であり、処理時間を必要とする。ここでは、以下の手順を用いて画像の減色を行う。

まず、論文 [5] で紹介されている方法によって RGB フルカラー画像を 256 色の画像に減色する。次に、求めた 256 色の各色と、固定された 130 色の間で色差計算を行い、最も色差の小さい固定色を求め、256 色から 130 色への変換表を作成する。最後に 256 色画像の全画素について、変換表に基づいて、130 色画像への変換を行う。

256 色の減色画像から 130 色の固定色画像への変換の過程ではマンセル表色系を利用する。RGB 表色系とマンセル表色系は直接的な対応関係がないので、変換表のテーブルルックアップによる変換を行うか、実験的に導かれた変換式を用いることとなる。本研究では、RGB-マンセル (HVC) 変換に、宮原らの開発した MTM(Mathematical Transform to Munsell) 法 [6] を用いた。

マンセル表色系では 2 つの色の差を、色空間上の単純なユークリッド距離で求めることは不都合である。本研究では I.H.Godlove が提案したゴッドラブの色差式を用いる。ある 2 色を i, j と置き、それぞれのヒュー、バリュー、クロマを H, V, C で表したときの、この 2 つの色間のゴッドラブの色差は以下の式で求められる。

$$d_{HVC} = \sqrt{2C_i C_j (1 - \cos(\frac{\pi \Delta H}{180})) + (\Delta C)^2 + (4\Delta V)^2}$$

ただし、 $\Delta H = |H_i - H_j|$, $\Delta V = |V_i - V_j|$, $\Delta C = |C_i - C_j|$.

130 色の固定色は、文献 [7] を参考にして、色相と色調の組み合わせにより以下のような方法で選定している。

同じ色相を持つ色の中でも、人間は「鮮やかな色」、「淡い色」、「鈍い色」のような感覚の違いを持つ。この感覚は、明度と彩度の組み合わせによって得られる。この明度と彩度を組み合わせた色の属性を「色調」と呼ぶ [7]。

マンセル表色系で、色相環から 10 の色相を選び、そのそれぞれから、12 の色調を選び、合計 120 の有彩色を選定する。さらに 10 段階の無彩色を選んで全体で 130 の固定色とする。

4 特徴量と特徴の類似度

130 色の固定色画像から、3 種類の色彩に関する特徴量を抽出して画像間の類似性の比較に用いる。ここ

では、これらの特徴量の定義と、特徴量間の類似度の定義について述べる。

(a) カラーヒストグラム

画像内での全体的な色分布の状況を示す特徴量としては、カラーヒストグラムを用いるのが一般的である。ここでは、各固定色ごとの画素数（度数）を求め、画像の全画素数で正規化したものを用いる。

2つのカラーヒストグラム間の類似度を求める一般的な方法に Histogram Intersection がある [8]。これは2つのヒストグラムの各要素の値のうち、小さい方の値をもとめて、これを累積した値をヒストグラム間の類似度とする方法である。この方法では、図1のように、2つのヒストグラムのグラフを重ね合わせたととき、そのグラフが重なる部分の面積に相当すると考えることができる。

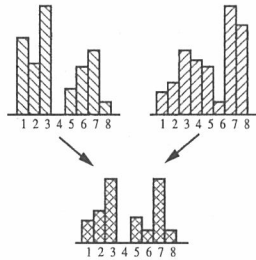


図 1: Histogram Intersection

2枚の画像 p, q のカラーヒストグラムにおける k 番目の固定色の度数をそれぞれ h_k^p, h_k^q ($k = 1, \dots, N_c$) としたとき、これらの画像の間で Histogram Intersection を用いたときの類似度 S_h を以下の式で定義する。ただし、以下では $N_c = 130$ である。

$$S_h = \sum_{k=1}^{N_c} \min(h_k^p, h_k^q) \quad (1)$$

文献 [8] における一般的な Histogram Intersection では、同じ色同士の度数を比較するが、本研究では、当該の固定色に対して、色空間内で近傍にある8つの固定色との間での比較も行うように拡張したものを用いる [9]。すなわち、画像データベース内の画像のカラーヒストグラム h^p における、 k 番目の固定色の近傍固定色の度数を $h_{k_n}^p$ ($n = 1, \dots, 8$) としたとき、カラーヒストグラムの類似度 S_h を以下の式で求

める。

$$S_h = \sum_{k=1}^{N_c} \left(\frac{1}{2} \min(h_k^p, h_k^q) + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 \min(h_k^p, h_{k_n}^q) \right) \right) \quad (2)$$

(b) 集中度

各固定色の、画像平面内での局所的な分布状況を示す特徴量として、次のような特徴量を用いる。

図2に示すように、画像内の各注目画素の8近傍内にある、注目画素と同色の画素数を求め、これを、その画素における、色の「集中度」と呼ぶ。各固定色ごとに全画像中における集中度を合計し、全画素数で正規化した値を画像全体での集中度とする [9]。

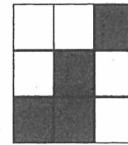


図 2: 集中度

2枚の画像 p, q の k 番目の固定色の集中度を c_k^p, c_k^q ($k = 1, \dots, N_c$) としたとき、この画像間の集中度に関する類似度 d_c を以下の式で定義する。

$$d_c(c_k^p, c_k^q) = (8 - |c_k^p - c_k^q|) \quad (3)$$

本研究では上記の式を上記固定色との間にも適用する。すなわち、画像データベース中の画像における、 k 番目の固定色の近傍固定色の集中度を $c_{k_n}^p$ ($n = 1, \dots, 8$) とし、130色のすべてに対して類似度を求めた、総合的な集中度の類似度 S_c を以下の式で求める。

$$S_c = \frac{1}{130} \sum_{k=1}^{N_c} \left(\frac{1}{16} d_c(c_k^p, c_k^q) + \frac{1}{16} \left(\frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 d_c(c_k^p, c_{k_n}^q) \right) \right) \quad (4)$$

(c) 分布中心

各固定色の画像平面上のマクロな分布状況を示すものとして、次のような特徴量を用いる。

図3に示すように、固定色ごとに画像の縦・横両方向に射影ヒストグラムを求める。各射影ヒストグラム

の分布の中央値 (メディアン) を与える座標位置を求め、これを画像の幅と高さで正規化した値を「分布中心」と呼ぶ [9]。

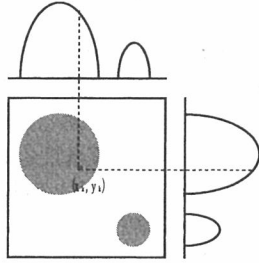


図 3: 分布中心

2 枚の画像 p, q の k 番目の固定色の分布中心を $m_k^p(x_k^p, y_k^p)$, $m_k^q(x_k^q, y_k^q)$ ($k = 1, \dots, N_c$) としたとき、この画像間の分布中心についての類似度 d_m を以下の式で定義する。

$$d_m(m_k^p, m_k^q) = 1 - \sqrt{\frac{(x_k^p - x_k^q)^2 + (y_k^p - y_k^q)^2}{2}} \quad (5)$$

さらに上記の式を近傍固定色との間にも拡張して適用する。画像データベース内の画像における、 k 番目の固定色の近傍固定色の色分布中心を $m_{k_n}^p$, ($n = 1, \dots, 8$) としたとき、130 色全てに対して類似度を求めた、総合的な色分布中心の類似度 S_m を以下の式で求める。

$$S_m = \frac{1}{130} \sum_k \left(\frac{1}{2\sqrt{2}} d_m(m_k^p, m_k^q) + \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 d_m(m_k^p, m_{k_n}^q) \right) \right) \quad (6)$$

5 検索方法

5.1 検索要求の入力

検索は、提示した例示画像から得られる特徴量とデータベース中の画像の特徴量との比較を行い、特徴量間の類似性の大きいデータベース中の画像を求めることにより行う。

ユーザインタフェースは以下のようにになっている。まず最初に、30 枚の画像をデータベース中からランダムに選んで表示する。ユーザは、この中から必要な画像のイメージに近いものを何点か選択する。この 30 枚の中に検索したい画像が 1 枚しか無い、もしくは全く無い場合には、選択されている画像以外のものを入れ替えることができる。

画像を選択したら、これらの画像から得られる特徴量に基づいて、検索のための重み付けを決定し、これを用いて類似判定基準を作成し検索を行う。検索条件の設定のために選択する画像の枚数は 1~3 枚までとしている。重み付けの具体的な設定方法は次節で説明する。

5.2 類似判定基準の設定

例示画像の特徴量の平均値とデータベース内の画像における各特徴量の類似度を S_h, S_c, S_m とするとき、この検索条件に対する、データベース内の各画像の適合度 C は以下の式で与えられる。

$$C = w_h S_h + w_c S_c + w_m S_m \quad (7)$$

式 (7) の重み w_h, w_c, w_m の値を、ユーザの選択した例示画像に基づいて決める。

ここでは、ユーザは、システムから提示された画像集合の中から、3 枚までの画像を選ぶことができる。

ユーザが 1 枚の画像だけを選択して検索を要求したときは、各特徴量に対する重みには、システムで決めた規定値を用いる。

2 枚の画像を選択したときは、これら 2 枚の画像の間で式 (2)、(4)、(6) によって各特徴量の類似度を求め、この類似度の比率で w_h, w_c, w_m の重み付けを行う。

3 枚の画像を選択したときは以下のようにする。まず、3 枚中の 2 枚の画像の組み合わせ (3 とおり) のそれぞれについて、たとえばカラーヒストグラムの類似度の平均値を求め、これをヒストグラムについての類似度 P_h とする。同様に、集中度と分布中心についても、それぞれ類似度 P_c, P_m を求め、これらの P_h, P_c, P_m の比率で、式 (4) の適合度の重み w_h, w_c, w_m を設定する。

6 検索例と評価実験

6.1 検索例

風景画像や人物画像を含む約 2000 枚の画像データを用いて検索を行った。

図 4 では (a) に示すような川と森を含む 3 枚の画像を選択して検索を行った。同図 (b) の検索結果には、選択された画像に含まれていた緑や青の色成分を含んだ画像が類似度の高いものとして得られている。

図 5 では (a) に示すような夕日の画像 3 枚を選択して検索を行った。赤、黄、黒系統の色で構成された画像が類似度の高いものと判断され、同図 (b) の検索結果には、夕日や夕焼けの画像が類似度の高いものとして得られている。

一方、図 6 では、少し変わった検索例として画面が少数の色で構成され、しかもこれらの色の間の色差が大きい画像を意図的に選択して検索を行った。この結果、ヒストグラムに対する重みが低く、集中度に対する重みが高く設定されたが、検索結果はそれを反映し、画像全体がほぼ単色で構成された画像が上位に得られている。

このように単純な手法ではあるが、利用者の求めている類似性判定基準を推定し、良好な検索結果が得られた。

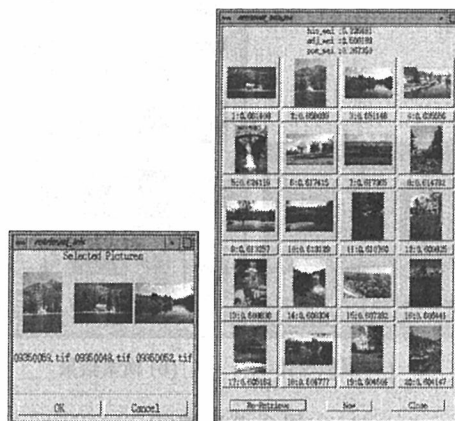
なお、図 4(b)、図 5(b)、図 6(b) のように検索結果として表示されている画像群の中から、さらに例示画像を選び、検索を繰り返すことができる。

6.2 評価実験

本システムを用いて検索の評価実験を行った。5 人の被験者について、実際にシステムを利用して検索を行い、得られた検索結果について、被験者自身が良い結果と判断しているかどうかを評価させた。被験者はシステムの提示するサンプル画像から 3 枚の画像を選んで検索する。

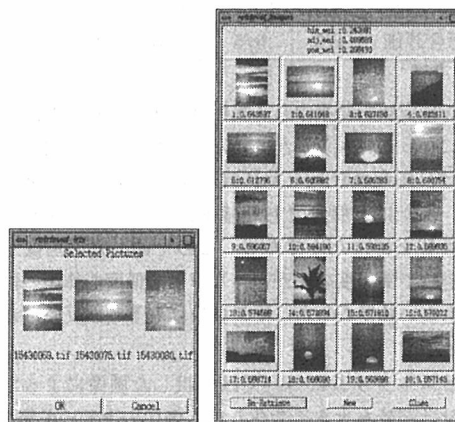
実験の結果は表 1 に示すようになった。 w_h , w_c , w_m はそれぞれヒストグラム、集中度、分布中心に与えられた重みを表し、適合枚数は検索結果として得られた 20 枚の画像中、被験者自身が類似していると判断した画像の枚数を表している。

また、それらの結果から総合的な評価を「1」の「まったく検索できていない」から「5」の「よく検索できている」の 5 段階での評価を得た。



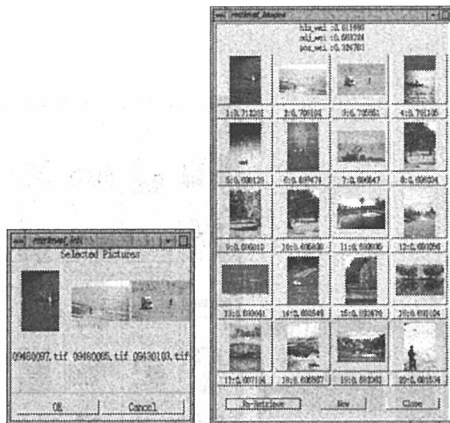
(a) 選択画像 (b) 検索結果

図 4: 検索例 (1)



(a) 選択画像 (b) 検索結果

図 5: 検索例 (2)



(a) 選択画像 (b) 検索結果

図 6: 検索例 (3)

なお、表 1 中の 'A' から 'E' は被験者を表している。

表 1: 評価実験の結果

	A	B	C	D	E
w_h	0.108	0.154	0.223	0.236	0.097
w_c	0.613	0.578	0.526	0.516	0.622
w_m	0.279	0.268	0.252	0.248	0.281
適合枚数	9/20	14/20	6/20	10/20	7/20
総合評価	4/5	5/5	3/5	4/5	3/5

評価実験の結果から、集中度の重みが比較的高い数値になっていることが分かる。これは一般に画像データは、任意のピクセルに隣接するピクセルの色は同色、または近傍色である確率が高いという局所相関の性質を持つためである。このため、どの画像も各固定色で集中度の値が高くなり、類似度の算出の段階でも高い値となった。検索結果にもそれが反映されている。

ヒストグラムについては選択した画像によって重み付けが最も大きく変化した。画像の選択の段階で 1 枚だけ色合いの異なる画像を選んだだけで重み付けの値が大幅に小さくなるなど、他の 2 つの特徴量と比較して、変動が大きい。

分布中心は、検索結果にどう影響を与えているのかが分かりにくい。色の分布中心は、色が四隅に固まって存在している場合と、中央に寄って存在している場

合とで、結果としてはほぼ同じ座標が得られることになるので、類似検索には効果のない場合がある。射影ヒストグラムから中央値を求めるのではなく、最頻値を求めるなど、他の方法を試みる必要がある。

これらは各被験者について 1 回だけの検索しか行っていないが、検索結果より更に 3 枚の画像を選択して検索することにより、より良好な検索結果を得ることが出来ることも確認している。

7 おわりに

ユーザが選択した複数枚の画像の特徴量から検索の際の類似判定に用いる重みを自動的に設定し、ユーザの意図を反映した検索を可能にする手法について述べた。ここでは、色彩に関する 3 つの特徴量を用いたが、簡単な手法で良好な結果を得ることができた。今後は、更に手法の性能評価を行うとともに、画像の構図についての情報など、他の特徴量を用いることについても検討したい。

参考文献

- [1] 小早川 倫広, 星 守: 画像内容に基づいた画像検索システム, bit, Vol.31, No.10, 1999.
- [2] 小林 秀行, 大河内頼行, 太田俊二: 特徴量を統合し人の感性に近づけた画像検索システム, 電子情報通信学会, PRMU97-261, pp.75-80, 1998.
- [3] 趙 剛, 小林 亜樹, 酒井 善則: 画像検索アルゴリズムの自動生成に関する検討, 電子情報通信学会, PRMU2000-64, pp.23-28, 2000.
- [4] 戸嶋 朗, 八村広三郎: 絵画からの画面構成の抽出と検索への応用, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.3, pp.912-920, 1999.
- [5] 渡辺 孝志: カラー画像を 256 色で近似表示するための高速なアルゴリズム, 電子情報通信学会, J-70-D, No.4, pp.720-726, 1987.
- [6] 宮原 誠, 吉田 育弘: 色データ $(R, G, B) \leftrightarrow (H, V, C)$ 数学的変換方法, テレビジョン学会誌, Vol.43, No.10, pp.1129-1136, 1989.
- [7] 小林 重順: 配色センスの開発, タヴィッド社, 1990.
- [8] Michael J.Swain, Dana H.Ballard: Color Indexing, International Journal of Computer vision, Vol.7, No.1, pp.11-32, 1991.
- [9] 伊藤 広和, 八村広三郎: キャプションと画像特徴に基づく類似画像検索, 情報処理学会研究報告, 2000-CH-45-5, pp.37-38, 2000.