

複数の類似度計算の基準を提示する 画像検索システム

上田 岳史 † 棕木 雅之 † 池田 克夫 †

†京都大学 大学院情報学研究科

〒 606-8501 京都市左京区吉田本町

e-mail: tueda@kuis.kyoto-u.ac.jp

あらまし 本研究ではユーザの選択とシステムの結果表示を繰り返す画像検索において、ユーザの希望する画像かそうでないかの類似度の判断の基準と、システムの類似度の計算の基準をシステムとユーザの間でやりとりして検索を進める検索システムを提案する。このシステムは、ユーザから希望の画像に近いという意味の○と、希望の画像とは反対であるという意味の×の二種類の入力を受け、その入力をもとに複数の類似度の計算基準を設定する。システムは設定した類似度の計算基準を画像の系列としてユーザに提示し、ユーザに画像と共に自分の希望する画像との類似性の判断に合致した計算基準を選択させる。このシステムを実装し、検索実験によって提案システムの有効性を確かめた。

キーワード 類似画像検索, 画像データベース, 類似度

An Image Retrieval System that Shows Users Plural Criteria of Similarity

Takeshi UEDA † Masayuki MUKUNOKI † Katuso IKEDA †

†Graduate School of Infomatics, Kyoto University

Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

e-mail: tueda@kuis.kyoto-u.ac.jp

Abstract We consider an image retrieval system that repeats users' choice and system's showing images. The system proceeds an image retrieval by exchanging criteria of calculation of similarity with a user. The system accepts two kind of symbols "○" and "×" as inputs. "○" means the image is close to users' interest and "×" means the image is opposite to users' interest. The system establishes plural criteria of calculation of similarity based on these inputs. Then the system expresses these criteria with the sequences of images, and a user choose ones which are consistent with his ones of the judgment of similarity. We developed the system and evaluated the effectiveness of it by experiments of image retrieval.

Keywords Similar Image Retrieval, Image Database, Similarity

1 はじめに

画像を検索するとき、欲しい画像について言語で表現できるようなイメージがないような状況では、画像特徴に基づく類似画像検索の手法が有効である。画像の内容に基づく検索手法として、おおまかなスケッチを描いて画像を作成しその画像をキーとする方法や、既存の画像そのものをキーとして与える手法などが提案されてきた。

画像の内容に基づく検索手法の一つとして、「システムが提示した画像に対しユーザが選択を行い、その選択に基づいてシステムが検索結果を提示する」という操作を繰り返して検索を進めていく手法がある。この手法では、ユーザは入力によって自分の希望する画像に関する情報をシステムに与え、システムはユーザの入力に応じて画像を提示してシステムの判断をユーザに示す。つまり、システムとユーザが画像を介してインタラクションを行いながら検索を進めていく手法であるといえる。

従来のこのような検索システムでは、ユーザの入力からある類似度計算の基準を一つ定めて類似度を計算し、その結果をユーザに分かりやすく表示することによってこのインタラクションを実現しようとしていた [1, 2, 3]。

本研究ではユーザの選択とシステムの結果表示を繰り返す画像検索において、ユーザの希望する画像かそうでないかの類似度の判断の基準と、システムの類似度の計算の基準をシステムとユーザの間でやりとりして検索を進める手法を提案する。

このシステムは、ユーザから○と×の二種類の入力を受け、その入力をもとに複数の類似度の計算基準を設定する。システムは設定した類似度の計算基準を画像の系列としてユーザに提示する。ユーザに画像と共に自分の希望する画像との類似性の判断に合致した計算基準を選択させる。つまり、このシステムはユーザとシステムの間で類似度の計算基準を表現する画像の系列によりインタラクションを行う。

2 類似度計算の基準のインタラクション

2.1 インタラクションの必要性

画像検索システムは、ユーザから与えられる検索キーとデータベース中の画像を比較し、検索キーに最も適合していると判断した画像をユーザに検索結果として提示する。この判断は、例えば画像そのものをキーとして用いる場合は、画像から抽出された色やテクスチャ性などの特徴量をベクトルとして表現し、そのベクトルの距離に基づいて類似度を計算

するといったように、何らかの数量的な基準を定めた上で行われる。

一方、ユーザごと、あるいは同一のユーザでもその時々で類似性の判断の基準が異なることが考えられる。そのため、事前に用意した単一の類似度計算の基準だけではユーザの類似性の判断を的確に反映した検索をするのは難しい。

そこで、システムとユーザの間での情報のやりとり、つまりインタラクションが必要となると考えられる。システムはユーザの入力によりユーザの類似性の判断の基準を推定する。そしてユーザはシステムの表示する検索結果やその他の情報から、システムの類似度の計算の基準を推測する。

このようにして、両者がインタラクションを行い、互いに類似性の判断の基準を合わせようとすることによって、最終的にユーザにとって良い検索結果が得られる。

2.2 類似度計算の基準をユーザが指定できる画像検索システム

従来のユーザの入力とシステムの結果表示を繰り返す画像検索システムでは、単一の類似度計算の基準により検索結果を決定し、その結果のみを表示していた。しかし、ユーザがシステムから受け取れる情報は検索結果のみという少ない情報であり、どのような入力をすればシステムの類似度計算の基準に合わせられるか分からないということが起こり得る。そのためシステムとユーザがうまくインタラクションを行うことができなくなる可能性がある。

そこで本研究では、複数の類似度計算の基準を設定し、その基準をユーザに提示しユーザの類似性の判断の基準に合うものを選択させる画像検索システムを提案する。システムは、設定した各基準を画像の系列として提示する。ユーザはその画像の系列を見てシステムがどのような類似度計算の基準を持っているかを判断し、その基準を選択する。

システムが複数の類似度計算の基準を持ち、それをユーザに提示することによってユーザに検索結果以外の情報を与えるとともに、ユーザから類似度計算の基準が指定できるようにする。これによりユーザとシステム間のインタラクションが成立しやすくなると考えられる。

提案システムは、ユーザの画像選択から複数の類似度計算の基準を推定し、各基準によって計算された類似度に応じてユーザに画像を提示する。ユーザは、提示された基準の中から自分の類似性の判断に適合するものを選択する。

以下、システムの類似度計算の基準の設定方法とその提示方法を述べる。

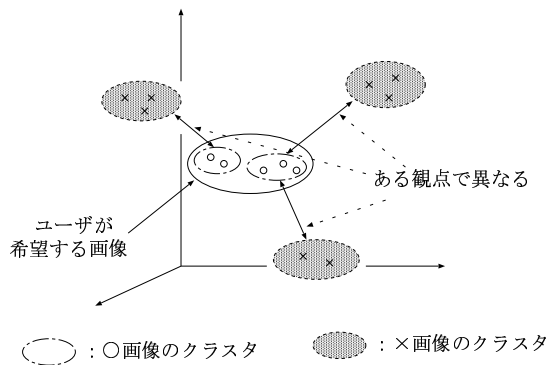


図 1 類似度計算の基準のモデル

2.2.1 複数の類似度計算の基準

● 類似度計算の基準のモデル

たとえば「明るい」画像には、その画像に写っている対象物が「明るい」ものや雰囲気が「明るい」ものなど、様々な観点での「明るい」画像が考えられる。そして、それぞれの観点から見た「明るい」画像に対し反対の意味を持つような画像が存在すると考えられる。本研究ではこのような状況を想定して、特徴量空間内で図 1 で示すような状況でユーザは違いを感じると仮定する。

ユーザが希望する画像は特徴量空間で一つのクラスタ (正クラスタ) を形成している。このクラスタとある観点でユーザが「違う」と感じる画像のクラスタ (負クラスタ) が複数存在し、これらの中でユーザ強く違いを感じると仮定する。

● 類似度計算の基準の設定

システムはユーザから○と×の二種類の入力を受け、ユーザの類似性の判断の基準を推定し類似度計算を行う。ユーザは希望する画像に近い画像に○、希望する画像とは反対の意味を持つ画像に×をつける。データベース画像との類似度は、○のついた画像のクラスタと×のついたクラスタからそれぞれ一つずつを選んで、双方との距離を用いて計算するものとする。つまり、○のついた画像のクラスタと×のついたクラスタの組み合わせの一つ一つがユーザの類似性の判断の基準となると仮定し、これを類似度計算の基準とする。

2.2.2 ユーザへの類似度計算の基準の提示

提案システムでは、2.2.1節で得られた複数の基準ごとに、類似度の最大の画像から最低の画像までを数個選んでユーザに提示する。類似度の高い画像

だけでなく低い画像を提示することによって、類似度の高い画像のみを提示するよりもシステムの類似度計算の基準がユーザにとって分かりやすくなることが期待できる。

3 複数の類似度計算の基準を提示する画像検索システム

3.1 概要

前章で提案した画像検索システムを WWW 上に CGI を用いて実装した。

この検索システムによる検索は次のような流れで行われる (図 3)。

検索開始時、ユーザはシステムが表示する選択用画像に対し、希望する画像に近いものには○、希望する画像とは反対の意味を持つ画像には×をつける。ただし、どちらの印がつかない画像があってもよい。

システムは、ユーザの○×の選択から次回の選択用画像の表示のための類似度計算の基準を設定する。そして、設定したシステムの類似度計算の基準ごとに類似度の高い画像から低い画像まで類似度順に表示する。この画像の系列は、次回のユーザの○×の選択用画像を兼ねる。また、設定した類似度計算の基準に基づいて検索結果を表示する。

次にユーザは表示された選択用画像を見て、自分の類似性の判断に近い類似度計算を行っていると考えられる基準を選択する。もしそのような基準がなければ選択しなくてもよい。また、検索開始時と同様に選択用画像に対し○×の入力を行う。

これらの操作を、検索結果にユーザの満足する画像が表示されるまで繰り返す。

3.2 インタフェース

図 2 に実装したシステムのスクリーンショットを示す。

図の上の部分に表示される画像は選択用画像である。システムは n 個の類似度計算の基準を設定し、各基準ごとにその基準を表現する m 個の画像の系列を選択用画像として表示する。この系列の右側には基準の選択を受け付ける基準選択部がある。これらの画像は○×の選択を受け付ける役目を兼ねており、各画像の下にはユーザの選択を受け付ける選択部がある。

図の下部分は検索結果を表示する部分である。ユーザが選択した類似度計算の基準あるいは設定した基準から類似度を計算し、類似度の高い順に s 個の画像を検索結果として表示する。

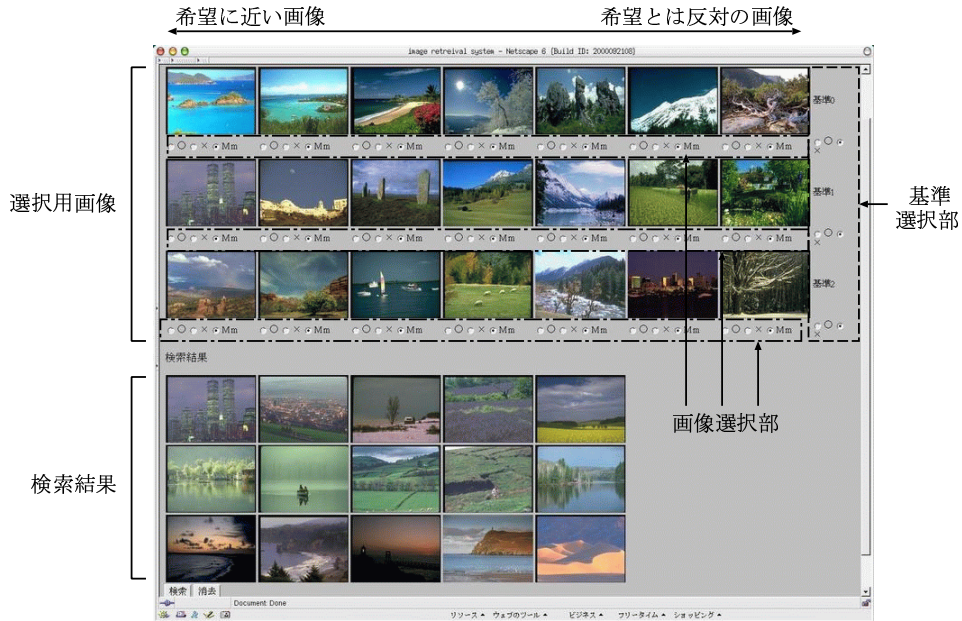


図 2 実装したシステムのスクリーンショット

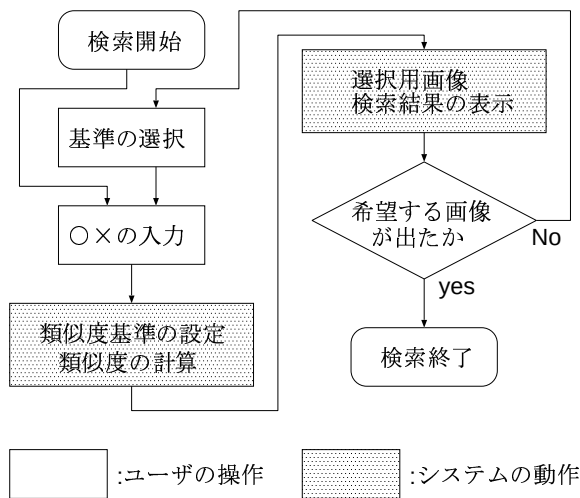


図 3 検索の流れ

3.3 システムの内部処理

3.3.1 特徴量空間

各画像から画像特徴として次の三種類を抽出し、56次元の特徴量空間を構成する。

- 画像を 2×2 の小領域に分割し、それぞれの領域での HSV ヒストグラム
画像の色彩的特徴と構図特徴を表す
- フーリエパワースペクトル
画像のテクスチャの強さと方向を表す

- 隣接画素との濃度差の平均
画像のコントラストの特徴を表す

3.3.2 類似度計算

ユーザが○をつけた画像と×をつけた画像をそれぞれ単純クラスタリングによりクラスタリングする。○の画像のクラスタと×の画像のクラスタの組が類似度の基準になるものとする。

類似度を計算するために、まず各データベース画像とクラスタとの距離を定義する。まず、ユーザが○をつけた画像、×をつけた画像それぞれについて、各特徴量の分散 σ_k^{circle} , σ_k^{cross} ($k = 1, \dots, M$) を計算する (M は特徴量空間の次元)。○のついた画像のクラスタ A_i の中心 $q_i^{circle} = (q_{i1}^{circle}, \dots, q_{iM}^{circle})^T$, ×のついた画像のクラスタ B_j の中心 $q_j^{cross} = (q_{j1}^{cross}, \dots, q_{jM}^{cross})^T$, と各画像の特徴ベクトル x_l との距離 d_{il} , d_{jl} を次式で計算する [4]。

$$d_{il}^2 = \sum_{n=1}^M 1/\sigma_n^{circle} (x_n - q_n^{circle})^2$$

$$d_{jl}^2 = \sum_{n=1}^M 1/\sigma_n^{cross} (x_n - q_n^{cross})^2$$

これらの式は○のついた画像、×のついた画像それぞれの分散の逆数を重みとして距離計算をしている。分散の大きい特徴量はその特徴量にユーザは注

目していないということを表し、それに対し分散の小さい特徴量はユーザが注目している特徴であるという性質を利用している。

そして、○のついた画像のクラスタ A_i と×のついた画像のクラスタ B_j から得られる画像 x_l の類似度 S_{ijl} を上で定義した距離を用いて次式で計算する [5]。

$$S_{ijl} = \frac{d_{jl} - d_{il}}{d_{il} + d_{jl}}$$

3.3.3 類似度計算の基準の決定

ユーザが○をつけた画像のクラスタと×をつけた画像のクラスタの組み合わせは、表示用に用いる類似度計算の基準の数 n 個を越える可能性がある。このような場合は何らかの方法で n 個の基準を選ぶ必要がある。

この基準の選び方として、まずユーザが選んだ基準を優先し残りはデータベース画像の各基準における類似度の分散が大きいものを選ぶことにする。分散が大きいということは、類似度の高い画像から低い画像を並べたときに類似度による画像の移り変わりがはっきりすることが期待できるからである。

全データベース画像の A_i と B_j の組による類似度の分散を求め、分散の大きい組を選ぶ。ただし、ユーザが前回の入力で選んでいた基準はそのまま表示するものとして、合わせて n 個の基準を設定し、選択用画像の表示に用いる。

3.3.4 選択用画像・検索結果の表示

選択用画像は、まず 3.3.3 によって設定された類似度計算の基準ごとに各画像の類似度を計算する。そして、その類似度が最大のものから最小のものまでを等間隔に選び出し、左から順に m 個表示する。

検索結果については、3.3.3 によって設定された基準ごとに、類似度の最も高い画像を t 個取り出し、合計 $s = nt$ 個の画像を検索結果として表示する。

4 検索実験

ここでは、画像の系列によってシステムの類似度計算の基準をユーザに提示し選択させることの有効性を確認するために以下の二種類の方法で実験を行ったので、その結果を報告する。

1. 感性語に関するアンケート結果を用いる方法
2. 実際に被験者に検索を行ってもらう方法

なお、今回の実験では $n = 3$ 個の基準ごとに $m = 7$ 個の画像を選択用画像として表示し、検索結果は $t = 5$ として $s = 3 \times 5 = 15$ 個を表示するものとしている。

表 1 実験結果 (単位: 枚)

入力回数	1	2	3	4	5
選択有	3.0	6.2	12.0	16.2	20.2
選択無	3.0	5.4	8.2	10.8	14.2

4.1 感性語に関するアンケートを用いた実験

4.1.1 方法

ここでは、[5] で行われたデザイナーへの感性語に関するアンケート結果を入力として用いる。このアンケートは、デザイナー 50 人にさまざまな感性語にふさわしい画像を画像ライブラリから選んでもらうという形式で行われたものである。

このアンケート結果の中で、対義関係にある二つの感性語に対して回答のあった画像集合を取り出す。そして、片方の感性語にふさわしいという回答があった画像に対して○、その対義語にふさわしいという回答があった画像に×を入力する。類似度の基準を選択する場合としない場合に分けて、アンケート結果の○を入力に用いる画像集合の再現枚数を比較した。

なお、類似度計算の基準の選択は、 m 個の画像の内左右それぞれに○のつく画像と×がつく画像が分離したときに選択するものとした。

4.1.2 結果と考察

表 1 に「にぎやか」にふさわしいと回答があった画像に○、「さびしい」にふさわしいと回答があった画像に×をつけ、基準を選択した場合としない場合でそれぞれ 5 回の検索を行ったときの「にぎやか」にふさわしいと回答のあった画像の平均の再現枚数を示す。

また、図 4 に入力回数と再現率の関係を示す。

類似度計算の基準を選択し、システムにどの基準を用いて検索結果を表示するかを指定することによって検索結果が向上していることが分かる。したがって、類似度計算の基準を提示しユーザに選択させることが有効であることが分かる。

4.2 被験者による検索実験

4.2.1 方法

ここでは被験者に実際に検索をしてもらい、類似度計算の基準をやりとりする効果について検証する。

この実験では、各被験者にはある感性語にふさわしい画像を検索してもらうものとする。その感性語

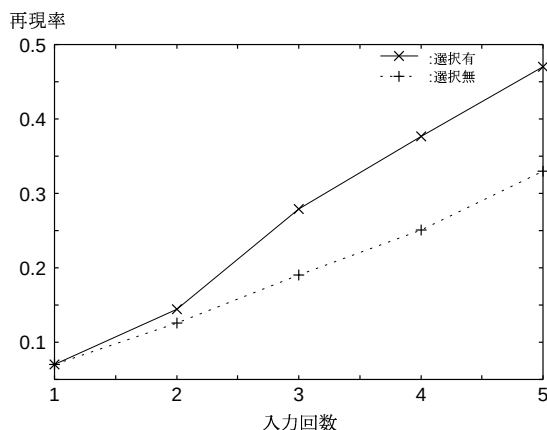


図 4 再現率の変化

表 3 基準の主観評価結果

評価	割合
○	44.4%
△	36.5%
×	19.1%

表 2 実験結果

選択有	選択無
19.9 枚	16.1 枚

にふさわしい画像に対して○、その対義語にふさわしい画像に対して×をつけてもらう。6人の被験者に、基準を示す画像の系列を見て自分の類似性の判断の基準に合う基準を選択してもらい検索する検索と、画像の選択のみで検索する検索をそれぞれ3回ずつ行ってもらう。なお、3回の入力により1回の検索が終わるものとする。

被験者には出力された検索結果の中で対象とした感性語にふさわしい画像を主観評価により選んでもらい、基準の選択をした場合としなかった場合で対象とする感性語にふさわしい画像が出力された枚数を比較する。また、類似度計算の基準を提示する各々の画像の系列に対し、どの程度類似性の判断に合致しているかを、三段階(○, △, ×)で評価してもらう。

4.2.2 結果と考察

表2に被験者に「にぎやか」な画像を検索してもらったときの、被験者が検索結果中の画像の中で「にぎやか」にふさわしいと判断した画像の数の平均値を示す。また、表3に基準の主観評価の結果を示す。

被験者に自由に検索をしてもらった場合でも、基準を選択した場合の方がしない場合より検索結果が向上しており、ここでも類似度計算の基準を選択さ

せることの効果が現れている。また、基準の評価結果については半数近くの基準が被験者の類似性の判断に合致するという結果になったが、△や×という評価を受けた基準の中にも実際にはユーザにとって有効な基準がある可能性がある。今回は単純に類似度が最大となる画像から最小になる画像までを等間隔に選び出して表示したが、より基準がはっきりするような表示方法を考える必要もある。

5 おわりに

本稿では、システムが複数の類似度計算の基準を持ち、それらを画像の系列として表現し、ユーザに選択させることによって類似度計算の基準をインタラクトして検索を行う画像検索システムを提案した。そして、提案システムを実装し、類似度計算の基準をシステムとユーザの間でやりとりすることによって検索精度が向上することを実験により示した。

今後の課題としては、

- 画像特徴の検討
- 類似度計算の基準の表現方法の検討
- 他の繰り返しによる検索システムとの比較

といったことが挙げられる。

参考文献

- [1] 武者 義則, 広池 敦: "類似画像検索における検索結果の可視化インターフェース - 可視化軸としてを意味軸を用いる方法 -", 信学技報 PRMU 99-57, pp141-148, Jul.1999
- [2] 武者 義則, 広池 敦, 杉本晃宏: "類似画像検索における特徴量空間の可視化インターフェイス", 信学論 (D-II), Vol.82-D-II, No.10, pp.1626-1633, Nov.1999
- [3] Jian-Kang Wu: "Content-Based Indexing of Multimedia Databases", *IEEE Trans. Knowledge and Data eng.*, Vol.9, No.6, Nov.1997
- [4] Young Rui, Thomas S. Huang, Sharad Mehrotra: "Relevance Feedback Techniques in Interactive Content-Based Image Retrieval", *Proceedings of IS&T SPIE Storage and Retrieval of Image and Video Database VI*, 1998
- [5] 田中 大典, 前田 茂則, 池田 克夫: "感性語間の関係に着目した画像検索システム", 信学技法 PRMU 98-261, pp49-56, Mar.1999