

画像内オブジェクトの相対的特徴を用いた類似画像検索

辻 健太[†] 川越 恭二[†]

[†] 立命館大学大学院理工学研究科

〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: [†]ktsuji@coms.ics.ritsumeai.ac.jp, ^{††}kawagoe@is.ritsumeai.ac.jp

あらまし 本稿では、画像内オブジェクトの相対的特徴を用いた類似画像検索手法の提案を行う。現在の画像内容型検索では、問合せ画像から抽出した特徴を用いて類似画像検索を行っている。このとき、利用者は他の閲覧画像と比較して特定の問合せ画像を選択する。しかし既存の類似画像検索では、問合せ画像と閲覧画像における画像内オブジェクトの相対的特徴を考慮していないため、問合せ画像に面積の小さい画像内オブジェクトが含まれていた場合、その画像内オブジェクトの重要度が低くなるという問題がある。そこで本研究では、画像にあらかじめ付加されているアノテーション情報から抽出した画像内オブジェクトに対し、文書検索の際に用いられる TF-IDF 法を適用することで、問合せ画像と閲覧画像における画像内オブジェクトの相対的特徴を抽出する。このことにより、問合せ画像と閲覧画像における画像内オブジェクトの相対的特徴を考慮した類似画像検索が可能となる。

キーワード 画像内オブジェクト, 画像検索, 相対的特徴, TF-IDF 法, ベクトル検索モデル

Similar Image Retrieval using Relative Features of Image Objects

Kenta TSUJI[†] and Kyoji KAWAGOE[†]

[†] Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

Nojihigashi 1-1-1, Kusatsu, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: [†]ktsuji@coms.ics.ritsumeai.ac.jp, ^{††}kawagoe@is.ritsumeai.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a similar image object retrieval method using image object features. Although many content-based image retrieval methods have been proposed so far, they don't consider the relative features of a sub-image contained in a query image or in an image on databases. When there are some sub-image objects contained in a query image and one of them is small, the importance of such small sub-image object becomes low with these existing methods. In order to solve the problem, we introduce new features for sub-image objects, called relative features, which are used to calculate similarity between a query and an image on databases with use of TF/IDF. The relative features of an image are defined as a relative area of an individual sub-image inside the image, extracted from annotation information attached to the image beforehand. From our some experiments, we can confirm that our proposed method has better accuracy than the baseline method.

Key words Image Objects, Image Retrieval, Relative Features, TF/IDF, Vector Model

1. はじめに

現在、Web 上に存在する膨大な画像の中から適合画像を検索するための研究が数多く行われている。画像検索手法には、画像と共に出現する文書情報を用いて画像検索を行う TBIR(Text-based Image Retrieval) と、画像の色や形状などの画像の内容に基づいて画像検索を行う CBIR(Content-based Image Retrieval) [1] [2] がある。CBIR の分野では、Google

Similar Images^(注1)や Gazopa^(注2)など、類似画像検索に関する Web サービスの提供や画像内のオブジェクトの特徴を利用した画像検索の研究が行われている [3]。

画像内オブジェクトに着目した従来の類似画像検索では、問合せ画像と閲覧画像における画像内オブジェクトの相対的特徴を考慮しておらず、問合せ画像の特徴のみを考慮しているにすぎない。そのため、例えば問合せ画像に面積の小さい画像内オ

(注1): <http://similar-images.googlelabs.com/>

(注2): <http://www.gazopa.com/>

プロジェクトが含まれていた場合、その画像内オブジェクトの重要度が低くなるという問題がある。仮にCBIRを用いた類似画像検索システムに利用者が面積の大きい画像内オブジェクト A と面積の小さい画像内オブジェクト B が含まれている問合せ画像を入力したとする。このとき、システムは入力された問合せ画像において画像内オブジェクト B よりも画像内オブジェクト A の方が重要度が高いと処理することが多い。そのため、利用者が検索結果として得る画像集合は、画像内オブジェクト A の特徴をより考慮した類似画像となる。しかし、利用者が他の閲覧画像と比較して問合せ画像を選択している場合、必ずしも画像内オブジェクト A の重要度が高いとは限らない。例えば、他のどの閲覧画像にも画像内オブジェクト A が含まれており、画像内オブジェクト B が含まれていない場合、利用者の入力した問合せ画像において画像内オブジェクト B の重要度の方が高いことも多い。つまり、画像内オブジェクトに着目した類似画像検索において、問合せ画像と閲覧画像に含まれる画像内オブジェクトの相対的特徴を考慮する必要があるといえる。

本研究では、画像内オブジェクトの相対的特徴を用いた類似画像検索手法を提案する。画像にあらかじめ付加されているアノテーション情報から画像内オブジェクトを抽出する。抽出した画像内オブジェクトに対して、文書検索の際に用いられるTF-IDF法を適用することで、問合せ画像と閲覧画像における画像内オブジェクトの相対的特徴を抽出する。具体的には、問合せ画像と閲覧画像における画像内オブジェクトから二つの相対的特徴を抽出する。一つ目の相対的特徴は、問合せ画像や閲覧画像における画像内オブジェクトの面積の差である。問合せ画像における画像内オブジェクトの面積が閲覧画像集合におけるその平均値と差が大きい場合、その画像内オブジェクトは問合せ画像において特徴的であると考えられる。そこで、問合せ画像における画像内オブジェクトの面積と閲覧画像集合におけるその平均値との差に、文書検索の際のTF値を適用する。もう一つの相対的特徴は、問合せ画像や閲覧画像における画像内オブジェクトの出現頻度である。閲覧画像集合において出現頻度の低い画像内オブジェクトが問合せ画像に含まれていた場合、その画像内オブジェクトは問合せ画像において特徴的であるとする。また閲覧画像集合において出現頻度の高い画像内オブジェクトが問合せ画像に含まれていなかった場合、その画像内オブジェクトは問合せ画像において特徴的であるとする。そこで、問合せ画像と閲覧画像における画像内オブジェクトの出現頻度の逆数に、文書検索の際のIDF値を適用する。このように算出したTF値とIDF値を用いて画像の特徴ベクトルを生成することで、問合せ画像と閲覧画像における画像内オブジェクトの相対的特徴を考慮した類似画像検索が可能となる。

2. 画像内オブジェクトの相対的特徴を用いた類似画像検索手法

2.1 従来手法の問題点

ここで、従来手法として、画像間の類似度を表す一般的な尺度である、SSD(Sum of Squared Difference)、SAD(Sum of Absolute Difference)、NCC(Normalized Correlation Coefficient)

の三つを示す。SSDは画像から抽出した画素値などの特徴量におけるユークリッド距離の2乗和で、(1)式によって算出される。SADは画像から抽出した画素値などの特徴量におけるマンハッタン距離の和で、(2)式によって算出される。NCCは正規化相互互換であり、(3)式によって算出される。ここで、問合せ画像の座標 (i, j) における画素値を $I(i, j)$ 、対象画像の座標 (i, j) における画素値を $T(i, j)$ とし、それぞれの画像を $M \times N$ ピクセルとする。

$$R_{SSD} = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i, j) - T(i, j))^2 \quad (1)$$

$$R_{SAD} = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} |I(i, j) - T(i, j)| \quad (2)$$

$$R_{NCC} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i, j)T(i, j))}{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} I(i, j)^2 \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} T(i, j)^2} \quad (3)$$

(1)～(3)式ではそれぞれ、画像をラスタスキャンし同位置にある画素の特徴量によって類似度を算出する。いずれの手法においても、画像内の類似部分が大きいほど類似度が高くなる性質がある。そのため、画像内オブジェクトの類似画像検索に適用した場合、面積の小さい画像内オブジェクトより面積の大きい画像内オブジェクトの方が重要度が高くなる。ところが利用者は他の閲覧画像と比較して問合せ画像を選択したと考えられるため、必ずしも面積の小さい画像内オブジェクトより面積の大きい画像内オブジェクトの方が重要度が高いとは限らないという問題がある。

2.2 基本的な考え方

現在の画像内容型検索では、問合せ画像と閲覧画像における画像内オブジェクトの相対的特徴を考慮していないため、問合せ画像に面積の小さい画像内オブジェクトが含まれていた場合、その画像内オブジェクトの重要度が低くなるという問題がある。例えば、図1に示す画像を問合せ画像として、利用者が類似画像検索を行ったとする。このとき、問合せ画像内に特徴的なオブジェクトとして大阪城や桜が含まれている。桜の画像内オブジェクトよりも大阪城の画像内オブジェクトの方が面積が大きいため、システムは桜よりも大阪城の方が重要度が高いと処理する。しかし、利用者が図2に示す画像を閲覧画像として、それらの閲覧画像と比較して問合せ画像を選択した場合、大阪城よりも桜の画像内オブジェクトの重要度の方が高いといえる。つまり、画像内オブジェクトに着目した類似画像検索において、問合せ画像と閲覧画像における画像内オブジェクトの相対的特徴を考慮する必要がある。

本研究で、画像内オブジェクトの相対的特徴とは、問合せ画像と閲覧画像における画像内オブジェクトの面積の差と出現頻度とする。問合せ画像における画像内オブジェクトの面積と閲覧画像集合におけるその平均値と差をTF値、閲覧画像集合における画像内オブジェクトの出現頻度の逆数をIDF値と



図 1 問合せ画像例



図 2 閲覧画像例

し、文書検索の際に用いられる TF-IDF 法を適用する。ここで TF-IDF 法とは、単語の出現回数を TF 値とし、総文書に含まれる単語の出現頻度の逆数を IDF 値とすることで、文書中の特徴的な単語を抽出するためのアルゴリズムである。つまり、ある文書中で出現回数の多い単語や特定の文書にしか出現しない単語の重要度を高くする。本研究に TF-IDF 法を適用することによって、閲覧画像集合から利用者が選択した問合せ画像の相対的特徴を抽出できると考えた。

以上述べたように本方法は、文書が単語から構成されていることに対し、画像が画像内オブジェクトから構成されているといった対応関係に着目したことに基づいている。文書検索の際の TF-IDF 法では、各単語を次元としたベクトル空間上に表現するのが一般的であるが、本提案手法では、画像内オブジェクトのタグ情報を次元としたベクトル空間上に表現する。

2.3 画像内オブジェクトの相対的特徴抽出

画像 p にタグ t で示される画像内オブジェクトが複数個存在するとする。このとき、画像 p にタグ t で示される画像内オブジェクトが占める割合（以下、画像内オブジェクト面積）を $S_{t,p}$ とする。また、閲覧画像集合におけるタグ t で示される画像内オブジェクト面積の平均値を μ_t とする。 $S_{t,p}$ と μ_t の差が大きいほど、画像 p におけるタグ t の画像内オブジェクトが特徴的であるとする。そこで、TF-IDF 法における TF 値の考え方を適用し、 $S_{t,p}$ と μ_t の差を画像内オブジェクトの局所的重みとする。閲覧画像数を N とし、画像 p におけるタグ t で示

される画像内オブジェクトの局所的重要度 $tf_{t,p}$ を (4) 式で算出する。

$$tf_{t,p} = S_{t,p} - \mu_t \quad (4)$$

$$\mu_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_{t,i} \quad (5)$$

閲覧画像集合において出現頻度の低い画像内オブジェクトが問合せ画像に含まれていた場合、その画像内オブジェクトは問合せ画像において特徴的であるとする。また、閲覧画像集合において出現頻度の高い画像内オブジェクトが問合せ画像に含まれていなかった場合も、同様のことがいえる。そこで、TF-IDF 法における IDF 値の考え方を適用し、閲覧画像集合における画像内オブジェクトの出現頻度の逆数をその画像内オブジェクトの大域的重みとする。閲覧画像中にタグ t の画像内オブジェクトが 1 回以上生じる画像数を f_t とする。タグ t の画像内オブジェクトの大域的重要度 idf_t を (6) 式で算出する。ここで、問合せ画像 q 中にタグ t の画像内オブジェクトが含まれている場合は、閲覧画像集合における画像内オブジェクトの出現頻度の逆数を用いる。問合せ画像 q にタグ t の画像内オブジェクトが含まれていない場合は、閲覧画像集合における画像内オブジェクトの非出現頻度の逆数を用いる。

$$idf_t = \begin{cases} \log(N/f_t) + 1 & (S_{t,q} > 0) \\ \log(N/N - f_t) + 1 & (S_{t,q} = 0) \end{cases} \quad (6)$$

(4) 式、(6) 式で算出されるそれぞれの重要度から、画像 p のタグ t の画像内オブジェクトの重要度 $w_{t,p}$ を式で算出する。

$$w_{t,p} = tf_{t,p} \cdot idf_t \quad (7)$$

(7) 式で算出した値から、各画像内オブジェクトを各次元とする。ベクトル空間上でそれぞれの画像を表現する。ベクトル間のコサイン尺度を算出することによって、画像間の類似度を算出する。

3. 画像内オブジェクトの相対的特徴を用いた類似画像検索システム

3.1 画像内オブジェクトの相対的特徴を用いた類似画像検索システム概要

図 3 に画像内オブジェクトの相対的特徴を用いた類似画像検索システムの概要図を示す。

利用者はまず、システムに問合せ画像と閲覧画像を入力する。システムはその画像集合に含まれるアノテーション情報から、その画像集合に含まれるオブジェクトを抽出する (STEP1)。システムは利用者の問合せ画像と閲覧画像から、問合せ画像の相対的特徴を抽出し、特徴ベクトルを算出する (STEP2)。システムは問合せ画像の特徴ベクトルを用いて画像間の類似度を算出し、問合せ画像と類似する画像を利用者に出力する (STEP3)。

STEP2 のより詳しい処理の流れを具体的に図 4 に示す。局

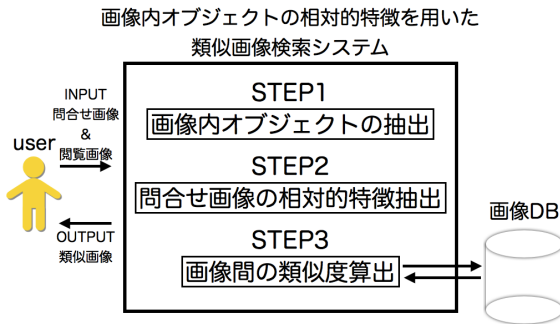


図 3 画像内オブジェクトの相対的特徴を用いた類似画像検索システム概要図

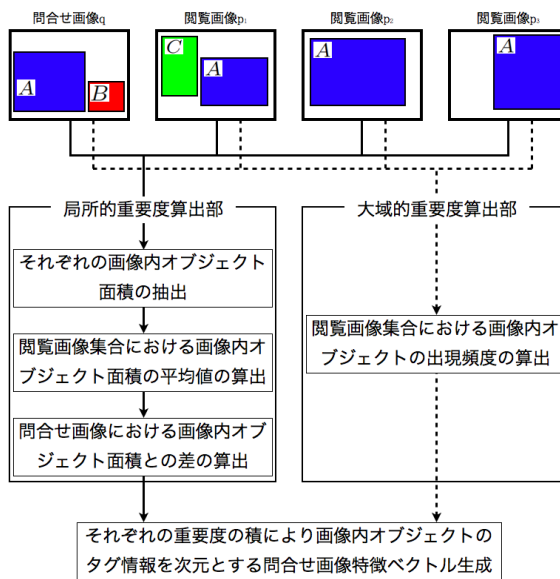


図 4 提案手法概要図

所的重要度算出部でまず、STEP1 で抽出した画像内オブジェクトの面積を抽出する。そして閲覧画像集合における画像内オブジェクトの面積の平均値を算出し、問合せ画像における画像内オブジェクトの面積との差を算出し、局所的重要度とする。次に大域的重要度算出部で、閲覧画像集合における画像内オブジェクトの出現頻度を算出し、大域的重要度とする。最後にそれぞれの重要度の積を算出することによって、画像内オブジェクトのタグ情報を次元とする問合せ画像の特徴ベクトルを生成する。

3.2 アノテーション情報を用いた画像内オブジェクト抽出

画像内オブジェクトに着目した画像検索では、画像内オブジェクトの抽出精度が類似画像検索結果に大きな影響を与える。しかし、画像内オブジェクトに着目した類似画像検索において、人が画像を閲覧したときに特徴的だと判断する画像内オブジェクトを抽出することが必要である。LabelMe [4] では、画像内オブジェクトに対し人手で多角形領域とタグ情報を入力することによって、画像内の特徴的なオブジェクトを抽出することが可能としている。そこで本研究では、画像には図 5 に示すよ



図 5 アノテーション情報

うなアノテーション情報が登録されていると仮定し、このアノテーション情報を用いて画像内オブジェクトを抽出する。具体的には、アノテーション情報とは、画像内オブジェクトを示す矩形領域とその画像内オブジェクトのタグ情報で構成されている情報を含んでいるとする^(注3)。利用者があらかじめ画像内の特徴的なオブジェクトに対して付加したアノテーション情報を用いて、画像内の特徴的なオブジェクトを抽出することが可能となる。

4. 予備評価実験

本稿で提案した画像内オブジェクトの相対的特徴を類似画像検索に適用することによる有効性を確認するため、予備評価実験を行った。本実験では、問合せ画像の画像内オブジェクトが閲覧画像において出現頻度が低く、画像内オブジェクト面積が小さい場合を想定する。検索対象画像は、5 種類の画像内オブジェクトを 1 から 3 個ランダム発生させた画像 100000 件とする。閲覧画像は、5 種類の画像内オブジェクトを 2 もしくは 3 個含む画像 6 件とする。問合せ画像は、他の閲覧画像に含まれていない画像内オブジェクトを含む画像 1 件とする。問合せ画像の画像内オブジェクト面積からコサイン尺度を用いてランキングされた検索結果上位 100 件とその検索結果に対して提案手法を用いてランキングされた結果を比較する。それぞれの手法における検索結果に対して、補間適合率を用いた 11 点平均適合率を算出することによって、提案手法の有効性を評価する。図 6 に提案手法と比較手法における再現率・適合率曲線を示す。図 6 に示すように、提案手法を用いてランキングされた結果の方が上位に正解画像を多く含んでいることがわかる。これは提案手法における画像内オブジェクトの相対的特徴を用いることにより、面積の小さい画像内オブジェクトの重要度が高くなったためであると考えられる。

5. 関連研究

現在 Web ページにおいて最適な検索結果を表示するために、Google では PageRank という技術を用いている。PageRank

(注3): <http://www.flickr.com/>

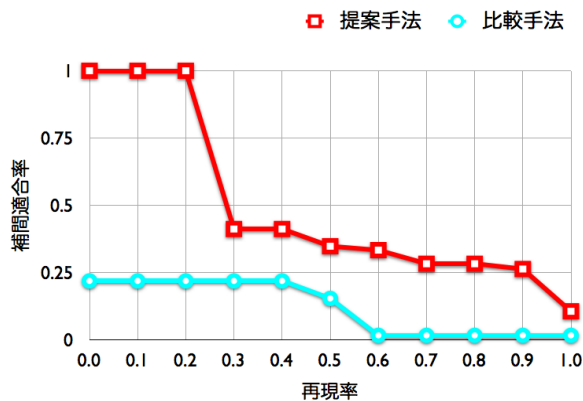


図 6 予備評価実験結果

とは、多くの重要な Web ページからリンクされている Web ページは、やはり重要な Web ページであるという再帰的な関係を基に、Web ページの重要度を算出するアルゴリズムである。Jing ら [1] は、PageRank のアルゴリズムを適用した画像検索手法を提案している。具体的には、SIFT アルゴリズムによってそれぞれの画像間の類似度を算出し、ネットワーク化する。それらのネットワーク構造において PageRank を計算しランキングを行うことによって、検索語に最適な検索結果を出力することを可能としている。また中島ら [5] は、利用者が選択した問合せ画像とその問合せ画像に類似する閲覧画像との差を利用することによる、差異増幅型適合フィードバックの画像検索手法を提案している。

6. おわりに

本稿では、アノテーション情報から抽出した画像内オブジェクトに対して、ベクトル検索モデルを適用することによって、問合せ画像と閲覧画像の相対的特徴を用いた類似画像検索手法を提案した。予備評価実験結果より、画像内オブジェクトの相対的特徴を類似画像検索に適用することの有効性を確認した。本提案手法により、画像内オブジェクトに着目して類似画像検索を行う利用者が、他の閲覧画像と比較して問合せ画像を選択した場合に、従来より適合画像を得やすくなると考える。今度は、図 7 に示す画像を問合せ画像とし、図 8 に示す画像を閲覧画像集合とした、実画像による評価実験を行う予定である。また、アノテーション情報を用いることによって、画像内オブジェクトの面積やタグ情報だけでなく、出現座標や縦横比に関する情報を抽出することができる。画像内オブジェクトの出現座標や縦横比における相対的特徴を考慮した類似画像検索手法を提案する予定である。さらに、人手でアノテーション情報を付加するのではなく、自動アノテーション手法 [6] を本研究に適用することも検討する必要がある。

謝辞 本論文では flickr の Sekiko, magerai, ddsnet による画像を一部掲載している。ここに記して感謝の意を表す。

文 献

- [1] Y. Jing and S. Baluja: “Pagerank for product image search”, WWW2008/Refereed Track: Rich Media, pp. 307–315 (2008).



図 7 評価実験用問合せ画像



図 8 評価実験用閲覧画像

- [2] J. Smith and S. Chang: “Visualeek: a fully automated content-based image query system”, Proc. ACM International Conference on Multimedia, pp. 87–93 (1996).
- [3] 森拓矢, 松本哲也, 大西昇: “画像内のオブジェクトに注目した画像内容検索”, 情報処理学会研究報告. CVIM, Vol.18, pp. 167–174 (2005).
- [4] B. Russell, A. Torralba, K. Murphy and W. Freeman: “LabelMe: a database and web-based tool for image annotation”, International Journal of Computer Vision, Vol.77, No.1, pp. 157–173 (2008).
- [5] 中島伸介, 木下真一, 田中克己: “差異増幅型適合フィードバックに基づく画像データベース検索”, 電子情報通信学会論文誌. D-I, 情報・システム, I-情報処理, Vol.87, No.2, pp. 164–174 (2004).
- [6] 吉田悠一, 安倍満: “領域間で共通する特徴点の数を利用した代表画像への自動アノテーション手法”, 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, Vol.108, No.363, pp. 171–176 (2008).