

キーワードと画像特徴を利用した WWW からの画像収集システム

柳 井 啓 司†

WWW (World-Wide Web) 上には画像データが大量に存在しているが、WWW を画像データベースとして使うための手法は現状では確立していない。そこで、本論文では、キーワードに基づく WWW 上の画像検索と、内容に基づく画像検索を組み合わせることによって、ユーザの指定したキーワードが表す画像を WWW から自動的に大量に収集するシステム Image Collector を提案し、システム的设计、実装について述べる。Image Collector は、(1) 商用のテキスト検索エンジンを利用するため、あらかじめ大規模なインデックスを作ることを必要とせず、(2) 画像内容に基づく画像のクラスタリングを行うことによって、ユーザとのインタラクティブなやりとりなしに、最初に 1 度キーワードを指定するだけで大量の画像を収集できるという、従来の WWW に対する画像検索システムにはない新しい特徴を備えている。実験では、100 枚以上の画像を 5 分程度の処理時間で収集することができた。

An Image-gathering System from WWW Employing Keywords and Image Features

KEIJI YANAI†

Due to the recent explosive progress of WWW (World-Wide Web), we can easily access a large number of images over WWW. There are, however, no established methods to make use of WWW as a large image database. In this paper, we propose an automatic image-gathering system from WWW employing both keywords and image features, which is called the Image Collector. In our system, since image files on WWW are linked by HTML documents, at first, using keyword-based WWW search engines, we access and analyze a lot of HTML documents related to query keywords given by a user, and we fetch only images strongly related to the keywords. We divide fetched images into group A, in which images can be regarded as almost correct images only by analysis of HTML documents, and group B, in which image features of images need to be examined. By selecting large clusters from a clustering result of group A and selecting images from group B that are similar to selected images from group A, we eliminate images unrelated to the keywords, and finally, we get images related to the keywords. In the experiments, we obtained more than one hundred images in about five minutes.

1. はじめに

近年の WWW (World Wide Web) の普及によって、我々がインターネットを通してアクセスできる画像データの量は爆発的に増大している。WWW 上の画像は容易にアクセスすることが可能であるので、WWW を巨大な画像データベースであると見なすことができる。ただし、WWW 上の画像データは無秩序な形で存在しており、一般の画像データベースのように画像内容によって分類されていたり、適切なキーワードが付けられていたりすることは少ない。

そうした WWW 上の無秩序な画像データに対して、

テキストデータに対するのと同様に、WWW 上の画像データに対してキーワードに基づく検索を可能としている検索エンジンが存在する。たとえば、Lycos Multimedia Search¹⁾、AltaVista Image Search²⁾、Google Image Search³⁾などは、その代表例である。しかし、これらの検索エンジンは、画像の内容の解析をせずにテキスト検索の場合と同様にページに含まれるキーワードのみを手がかりにした検索を行っており、無関係な画像が検索結果として返されることが多く、検索精度は高くない。

一方、画像データに対する検索技術として、内容に基づく画像検索 (Content-Based Image Retrieval, CBIR)^{4),5)} が従来より研究されている。キーワードに基づく画像検索では、人手によってあらかじめすべての画像データにキーワードを付けておく必要があるが、

† 電気通信大学情報工学科

Department of Computer Science, University of
Electro-Communications

CBIR では各画像データから画像特徴を自動抽出して画像間の類似度を判定し、ユーザが指定した画像に類似した画像を検索する。また、印象語を検索キーワードとして、あらかじめキーワードと画像特徴の対応付けを行っておくことによって、キーワードを用いて画像を検索する手法も提案されている^{6),7)}。

本論文では、キーワードに基づく WWW 上の画像検索と、内容に基づく画像検索を組み合わせることによって、ユーザの指定したキーワードが表す画像を WWW から自動的に大量に収集するシステム Image Collector を提案し、システムの設計、実装について述べる。Image Collector は、(1) 商用のテキスト検索エンジンを利用するため、あらかじめ大規模なインデックスを作ることを必要とせず、(2) 画像内容に基づく画像のクラスタリングを行うことによって、ユーザとのインタラクティブなやりとりなしに、最初に 1 度キーワードを指定するだけで大量の画像を収集できるという、従来の WWW に対する画像検索システムにはない 2 点の新しい特徴を備えている。

画像認識や CBIR などの研究においては大量の実験画像が必要になる場合があるが、大量の画像を研究者自身が集めることは困難なことであり、通常は市販の画像コレクションを利用することが多かった。けれども、市販の画像コレクションはプロの写真家が撮影した整った画像のみを集めているので、多様性に欠けるという欠点がある。一方、WWW 上に存在する WWW 上の画像は、様々な人が様々な目的で撮影した画像であり、実世界にある画像の多様性をそのまま反映していると考えられ、WWW 上の画像の自動収集は画像認識や CBIR の実験画像の収集にも役立つと思われる。特に近年、大量の画像を学習画像として画像認識を行う example-based による一般物体認識 (generic object recognition) の研究がさかんに行われるようになっており^{8),9)}、WWW から自動収集した大量の画像を、画像認識のために利用するという応用も可能である¹⁰⁾。

2. 関連研究とその問題点

本研究で目的とする、キーワードに基づく画像検索と内容に基づく画像検索を組み合わせた WWW に対する画像検索についての研究は、すでにいくつか提案されている。その中でも代表的な研究が、WebSeer¹¹⁾、WebSEEk¹²⁾、Image Rover¹³⁾ の 3 つである。

これら 3 つの研究は、検索時にユーザが欲しい画像に関係するキーワードを入力するという点ではほぼ同じで、検索に用いるキーワードについても「WWW 上

の画像は HTML 文書にそのファイル名が記されてリンクされており、画像を説明するキーワードが HTML 文書に含まれていることが多い」という経験則を利用して、通常の HTML 文書の検索手法と同等の方法を用いて、画像をリンクしている HTML 文書からキーワードを抽出して、その画像を検索する場合のキーワードとしている。

WebSeer¹¹⁾ はキーワードおよび、画像の特徴として、画像の大きさ、主要な色、写真か図であるかの区別、人の顔の有無などを検索時に指定する。WebSeer では、画像内容については、Face Detector¹⁴⁾などの既存の画像認識のモジュールを利用することによって利用している。このシステムでは、画像どうしの類似度は用いられていない。

WebSEEk¹²⁾ は初めにキーワードのみによって画像を検索し、さらにその検索結果の画像群の中からユーザが望む画像を指定して、さらに CBIR の手法を用いて、指定画像に類似している画像を検索するという、2 段階の検索が前提となっている。類似画像の検索には、同じグループで研究されている VisualSEEk¹⁵⁾ の技術が用いられている。

Image Rover¹³⁾ は基本的には WebSEEk と検索方法は同じであるが、2 段階目の類似画像検索において、画像にリンクしている HTML 文書が含む単語の出現頻度のベクトルと、画像特徴のベクトルを統合して、検索を行っている点が WebSEEk とは大きく異なる点である。

WebSEEk と Image Rover では、初めにキーワードによる画像検索を行って、さらにその検索結果の画像からユーザが必要とする画像を指定して、その類似画像を検索するというように、本研究とは異なり、インタラクティブに画像検索を行うことを前提としている。そのため、少量のユーザの希望に合った画像を検索するには向いているが、大量に自動的に収集するような目的には適していない。また、WebSeer では、Face Detector のような対象に依存したモジュールを利用しているため、人物画像以外では画像内容の利用が十分ではない。

一方、我々の研究では「検索」ではなく、たとえば、「ライオン」「富士山」のようにあるカテゴリに属する画像を大量に「収集」すること目的とするために、ユーザとのインタラクティブなやりとりを考えず、最初にユーザが指定を行うだけで画像が収集可能になるシステムの構築を目指す。そのために、画像のクラスタリングを利用することによって、処理途中でのユーザによる画像指定を不要とする。

また、3つのシステムとも、実用的なシステムとするには、あらかじめ巨大な画像検索専用のインデックスを作成し、つねに更新し続けることが必要であり、そのためには大規模な計算機資源と多くの時間が必要になる。一方、我々の研究では、既存のキーワードベースのテキスト検索エンジンを利用することによって、あらかじめ巨大なインデックスを作成しておく手間を不要にするという方法を採用する。

本研究との類似研究としては、Bianchiら¹⁶⁾や Inderら¹⁷⁾による K-DIMEがある。このシステムでは、商用の画像検索エンジンにキーワードを与えて、その検索結果をあらかじめ学習された感性語と画像特徴の対応関係を利用し、感性語による画像フィルタリングを行うことによって、「ロマンチックなハワイ」といったような画像を収集することが可能となっている。ただし、本研究とは、テキスト検索エンジンではなく、画像検索エンジンを用いている点、クラスタリングを用いた自動絞り込みではなく、感性語によるフィルタリングを行っている点が異なっている。

3. 画像収集システムの概要

本研究におけるシステム Image Collector では、ユーザの与えたキーワードが表現する画像(以下、「目的画像」と記す)をできるだけ多く収集することを目的とする。Image Collector は、従来の WWW に対する画像検索システムにはない以下の2点の新しい特徴を備えている。

(1) 事前の巨大インデックスの作成不要

商用のテキスト検索エンジンを利用するため、事前に WWW ロボットを動かして大規模なインデックス作成をすることが不要で、手軽にシステムを利用できる。しかも、テキスト検索エンジンは世界中に多数存在するので、全世界から画像を収集することが可能である。

(2) 画像特徴を利用したクラスタリングによる検索結果の自動的な絞り込み

従来の画像検索システムと異なり、処理途中でのユーザの介入が不要で、初めに欲しい画像のキーワードを指定するのみで、大量の画像を収集できる。そのため、たとえば、深夜に空いている計算機とネットワークを利用して、ユーザの指定したキーワードに関係する画像を大量に集めることができる。

次に画像収集システムの処理の概要について述べる。最初に WWW からキーワードに関係する画像を集め、次に集めた画像を画像特徴量に基づいて選別してノイ

ズを取り除き、最終的にユーザの与えたキーワードに対応する目的画像を収集する。以下では、キーワードのみを用いて WWW から収集された画像を「収集画像」、画像特徴量に基づいて収集画像から目的画像として選ばれた画像を「選択画像」と呼ぶこととする。

第1段階の、キーワードに関係する画像の WWW からの獲得は以下の手順で行う。

- (1) 既存のテキスト検索エンジンを利用し、ユーザの与えたキーワードに関係する Web ページの URL (Universal Resource Locator) を集める。
- (2) 集めた URL が示す Web ページにアクセスして、各 Web ページの HTML 文書を獲得する。
- (3) 各 HTML 文書に対して HTML タグに基づく解析をすることによって、HTML 文書からリンクされている画像ファイルとキーワードとの関係の強さについての評価を行い、評価の高いものから順に A 群、B 群、C 群に分類する。
- (4) A 群、B 群に該当した画像ファイルのみを実際に WWW から収集する。C 群に該当した画像ファイルはキーワードとは無関係の画像と見なして収集しない。

以上の処理は、「WWW 上の画像は HTML 文書にそのファイル名が記されてリンクされており、画像を説明するキーワードが HTML 文書に含まれていることが多い」という従来の WWW 画像検索エンジンでも用いられている WWW 上の画像の一般的な性質に着目して行っており、初めにテキスト検索エンジンによって、ユーザの指定したキーワードを含む HTML 文書を獲得し、解析している。そして、HTML 文書からリンクされている画像ファイルがあるかどうか調べ、画像ファイルへのリンクタグやタグ周辺のテキストに指定キーワードがどの程度含まれているかどうかを調べることによって、画像ファイルとキーワードとの関係の強さを評価し、画像ファイルを A 群、B 群、C 群のそれぞれ以下のような意味を持つ3つのグループに分類する。なお、評価の方法としては、WWW 画像検索システムにおいて一般的に用いられている方法を利用する^{11),13),18)}。

A 群 キーワードとの関係が強く、キーワード評価のみでほぼ正解画像と見なせる画像。

B 群 キーワードとの関係が中程度で、さらに画像内容の評価が必要な画像。

C 群 キーワードとの関係が低く、正解画像である可能性が低い画像。

A 群は画像内容を説明する alt タグや画像ファイル名にキーワードが含まれているという厳しい条件に

よって選別される．そのため、選ばれる枚数は少ないが、HTML 文書の解析のみでほぼ正解画像であると見なすことができる．B 群は、画像ファイルへのリンクタグの周辺のテキストやタイトルタグにキーワードが含まれるという、A 群より緩い条件によって選ばれる．そのため、通常、A 群よりも選ばれる枚数は多くなるが、A 群と比べると正解画像の含まれる割合は低くなり、WWW からの収集後に、さらに画像内容による選別が必要となる．C 群は、A 群、B 群以外であり、HTML 文書中で画像ファイルへのリンクタグと離れた位置にキーワードが存在するようなほとんど見込みのない画像ファイルがこれに該当する．そのため、C 群の画像ファイルは実際には WWW から収集しない．

抽出した画像ファイルの URL を以上のように 3 つに分類する理由は、C 群を収集しないことによってコストかかる画像ファイルの収集量を減らし、さらにその後の画像内容の解析フェーズで、キーワード評価のみでほぼ正解画像と見なせる A 群を質問画像として、画像内容の評価が必要な B 群から、画像特徴を用いた CBIR による画像検索を行い、画像選択を行うためである．

CBIR において画像特徴を利用して画像検索を行う場合、検索の手がかりとなる画像、つまり質問画像の画像特徴が与えられる必要があるが、Image Collector では、他の WWW 画像検索システムと異なり、正解画像をユーザがインタラクティブに指定することはしない．また、どのようなキーワードが与えられるかは事前には分からないので、あらかじめキーワードと画像特徴の対応付けをしておくことも不可能である．そこで、A 群画像を CBIR での質問画像と見なして、それらと画像特徴が類似している画像を B 群の画像の中から選択する．ただし、A 群画像も少数の無関係の画像が含まれていることがあるので、盲目的にすべてを正解画像であると見なすことはせずに、画像内容が他の A 群画像に比べて著しく特異である画像を除去することとする．

第 2 段階の画像内容の解析による A 群、B 群からの目的画像の選択は、以下のように行う．

- (1) WWW より収集した A 群、B 群の各画像について画像特徴を計算し、画像特徴ベクトルを作成する．
- (2) 画像特徴ベクトルを利用して、A 群の画像間の距離を計算し、階層的クラスタ分析¹⁹⁾による類似画像どうしのグループ化を行う．階層的クラスタ分析によって生成された画像クラスタのうち、

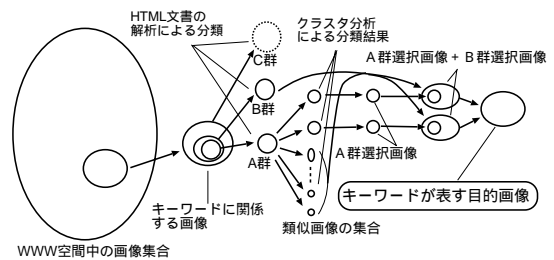


図 1 画像自動収集の方法

Fig. 1 Flow of gathering images from WWW.

ち、メンバ数がある一定数以上になったクラスタに含まれる画像を選択して目的画像とし、それ以外のクラスタの画像を消去する．

- (3) B 群および消去されたクラスタに属する A 群の画像から、選択された A 群の各クラスタの平均特徴ベクトルに特徴ベクトルの距離がある一定値より近いものを選択し、それらを A 群からの選択画像とあわせて目的画像としてシステムの最終結果とする．

以上の画像内容の解析に関する処理では、小クラスタの画像の除去によって、A 群画像中で画像内容が他と大きく異なる画像のみを除外して、残りの画像を正解画像であると見なしている．そして、さらに、各クラスタの平均画像を質問画像と見なして、B 群画像および消去されたクラスタに属する A 群画像から類似画像を検索していることになる．

従来より画像特徴に基づく画像のクラスタリングをユーザへの画像提示に利用した研究²⁰⁾は行われているが、大量画像収集のための検索結果の自動的に絞り込みに利用することは、本研究における新しい提案である．

以上の一連の処理の流れを図 1 に示す．

4. システムの実装

画像収集システム Image Collector は、現在の実装では、収集部と解析部に 2 段階に分かれている．以下では、収集部、解析部それぞれについて説明する．なお、将来的には、収集部と解析部を統合し、並列処理による高速化を図る予定である．

4.1 収集部

収集部は、図 2 に示すように、メインモジュールと多数の収集プロセスからなる．メインモジュールは、収集する HTML 文書や画像ファイルの URL リストの作成、収集した HTML 文書の解析などを行い、収集プロセスは、URL リストに基づいて WWW から HTML 文書および画像ファイルの収集を行う．

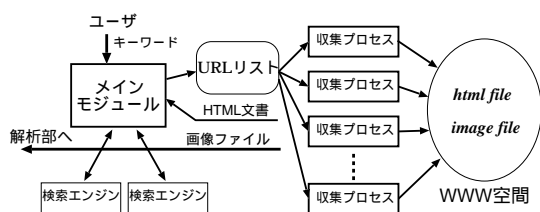


図2 収集部のシステム構成

Fig. 2 Overview of the gathering part.

収集部では、以下の手順で処理を行い、テキスト情報のみからキーワードに関係のある画像を収集する。

1. ユーザが3種類のキーワード（画像分類用、検索エンジン用、ファイル名）をメインモジュールに与える。
2. メインモジュールは検索エンジンに検索エンジン用キーワードを与え、HTML文書のURLを獲得し、URLリストを作成する。
3. 収集プロセスはURLリストからURLを1つずつ獲得し、WWWからHTML文書または画像ファイルの収集を行う。収集したHTML文書はメインモジュールへ、画像ファイルは解析部へそれぞれ送る。収集プロセスは、この処理をURLリストが空になるまで繰り返す。
4. メインモジュールがHTML文書を受け取るとそのHTML文書を解析して、画像ファイルのURLを抽出する。そして、各画像ファイルについて、キーワードとの関係の強度に関する評価を4.1.4項で示す方法で行い、A, Bランクの画像のURLをURLリストに追加する。
5. 以上の処理でURLリストが空になって、ある一定数以上の収集プロセスが処理を終了したときに、収集部の処理を終了する。

4.1.1 キーワードの指定

ユーザは初めにメインモジュールに、画像分類用キーワード、検索エンジン用キーワード、ファイル名キーワードの3種類のキーワードを与える。キーワードは日本語または英語の単語であり、それぞれ複数与えることができる。

画像分類用キーワードは、収集したい画像を表すキーワードであり、たとえば、ライオンの画像が収集したい場合は「ライオン」と指定する。

検索エンジン用キーワードは検索エンジンに検索キーワードとして与えるキーワードで、複数のキーワードを指定することによって、画像分類用キーワー

ドよりも収集したい画像を限定する必要がある。動物のライオンの画像を収集したい場合は、「ライオン 動物」などとする。検索エンジン用キーワードを画像分類用キーワードと同じにしてしまうと、同じ「ライオン」でも、家庭用洗剤のメカ、マンション、プロ野球の球団、自動車などの動物以外の「ライオン」が検索エンジンにヒットしてしまう可能性がある。

3つめのファイル名キーワードは、HTML文書解析時に、画像ファイル名を手がかりとして用いるときに必要となるもので、画像分類用キーワードを表現する英単語を通常は指定する。画像分類用キーワードが「ライオン」の場合は、「lion」と指定する。

なお、以上の説明では、日本語Webサイトを対象とした検索の場合の例をあげたが、英語Webサイトを対象とする場合は画像分類用キーワード、検索エンジン用キーワード、ファイル名キーワードをそれぞれ、「lion」「lion animal」「lion」とすればよい。

4.1.2 検索エンジンからのURLの獲得

次に、メインモジュールは、検索エンジン用キーワードを既存のテキスト検索エンジンに与え、キーワードに強く関係するWWW上のHTML文書のURLのリストを求める。検索エンジン用キーワードが複数のときは、すべてのキーワードを含むHTML文書のURLを返すようにAND指定をする。キーワードに関係するURLを取得するための検索エンジンとしては、Google、Infoseek、Lycosなどのロボット収集型のテキスト検索エンジンを利用し、より多くのURLを集めるために1つではなく複数の検索エンジンを同時に用いる。

システムはHTTP(Hypertext Transfer Protocol)によるソケット通信によって、直接、検索エンジンにキーワードを与え、結果として返されるHTML文書から検索結果のURLを抽出する。キーワードの与え方、返されるHTML文書の書式は検索エンジンごとに異なるので、あらかじめ解析してシステムにその方法を与えておく。

複数の検索エンジンからそれぞれ上位数100個程度にヒットしたURLを収集し、重複しているURLを除去してから、すべてのURLを1つのURLリストとしてまとめる。

4.1.3 HTML文書および画像ファイルの収集

収集プロセスは、URLリストからそれぞれ1つずつURLを獲得し、収集したURLが示すHTML文書または画像ファイルをソケット通信で取ってくる。URLリストには、最初は検索エンジンから獲得したHTML文書のURLしか含まれていないが、4.1.4項

で述べるように、やがて収集した HTML 文書から画像ファイルの URL が抽出されて、URL リストに画像ファイルの URL が追加されることとなる。

収集プロセスの実行中には通信の待ち時間が多くあるので、高速化のために収集プロセスは同時に複数プロセスを並行実行する。収集プロセスが HTML 文書を収集した場合には、HTML 文書はメインモジュールに送られる。また、画像ファイルを収集した場合は、収集画像ファイルがある一定の大きさ以上であるかチェックし、条件を満たしていれば、決められたサイズ（現在の実装では 240×180 ）に正規化してから、画像を解析部に送る。条件を満たさない一定の大きさ未満である小さい画像はそのまま捨てられる。収集プロセスは、この処理を URL リストが空になるまで繰り返す。

4.1.4 HTML 文書の解析

収集プロセスから送られた HTML 文書はメインモジュールにおいて、その内容がただちに解析される。まずは、HTML 文書に含まれる画像を Web ページ中に張り込むタグ（`img src`）および画像に直接リンクを張るタグ（`a href`）から、そのページに含まれるもしくは直接リンクされる画像ファイルの URL を求める。そして、後述する画像ファイルの評価法によって評価を行い、A もしくは B ランクに評価された画像の URL を URL リストに追加する。もし、1 つも画像ファイルの URL が含まれていないときは、その HTML 中に同一 Web サイト内の HTML 文書へのリンクタグ（`a href`）があれば、そのリンク先の URL を URL リストに追加する。

URL を URL リストに追加する際には、同じ URL の HTML 文書や画像ファイルに 2 回以上をアクセスするの防ぐため、ハッシュ表を用いて、すでに同一 URL を URL リストに登録したかどうかチェックしてから、未登録の場合のみ登録することとする。

次に HTML 文書の解析による、画像ファイルとキーワードの関連性の強さの評価法について述べる。まずは、HTML 文書中でキーワードがどの HTML タグに修飾されているか、もしくは画像ファイルの URL の近くに存在しているかなどを以下に示す具体的な条件について調べることによって、画像ファイルとキーワードの関連強度の評価点を求める。

条件 1 以下の条件を 1 つ満たすごとに評価点に 3 点を加える。

- HTML 文書から抽出した画像ファイル名にファイル名用キーワードを含む（図 3(1)）。

```
(1) 画像表示タグ
<IMG SRC="http://.../lion.jpg" ALT="ライオン" ... >
(2) 画像リンクタグ
<A HREF="http://.../tiger.jpg">これがトラです</A>
(3) 強調キーワードタグ
ページタイトル <TITLE> ZOO動物園のライオン</TITLE>
キーワード <META name="keyword" content="動物園,ライオン">
内容説明 <META name="description" content="トラのページ">
(4) 見出しタグ
<H1>ライオンの写真館</H1> <H4>トラのコーナー</H4>
(5) 画像表示タグ、画像リンクタグに近いキーワード
<IMG SRC="zoo.jpg"><br>上の画像はトラの親子です。<br>
```

図 3 画像ファイルのキーワード評価の手がかりとなる HTML タグの一覧と例

Fig. 3 HTML tags that are clues for the evaluation of the intensity of relation between an image and keywords.

(2))。

- 画像が `img src` で参照されている場合は、画像内容を説明するタグである `alt` タグ内に画像分類用キーワードを含む（図 3(1)）。
- 画像が `a href` タグで参照されている場合は `a href` と `/a` タグの間に画像分類用キーワードを含む（図 3(2)）。

条件 2 以下の条件を 1 つ満たすごとに評価点に 1 点を加える。

- `title`, `meta name="description"`, `meta name="keyword"` の各タグに画像分類用キーワードを含む（図 3(3)）。
- 画像ファイルのタグの直前の見出しタグ（`H1`, ..., `H6`）に画像分類用キーワードを含む（図 3(4)）。
- 画像ファイルのタグの前後 3 行に画像分類用キーワードを含む（図 3(5)）。

評価点の合計が 3 点以上を A ランク、2 点から 1 点を B ランク、0 点を C ランクとする。なお、A ランク、B ランクに分類された画像をそれぞれ A 群画像、B 群画像と呼ぶこととする。

こうした HTML タグを利用したキーワードと画像ファイルの関係の強度に関する評価方法は、テキスト検索エンジンにおいてキーワードと HTML 文書との関係の強度の評価に用いられていた方法であり、WWW 画像検索システムにおいては一般的に用いられている手法である^{11),13),18)}。

4.2 解析部

解析部は、逐次処理を行う単一のモジュールによって構成され、収集部で A 群画像、B 群画像として収集された画像から画像特徴量を抽出し、それを利用し

てキーワードに係する画像を最終的に選択する。

4.2.1 画像特徴量の抽出

収集部で収集され正規化されたすべての画像について、画像特徴量を計算する。画像特徴量としては、テクスチャやエッジの方向、部分領域の形状や位置関係など様々な方法が CBIR の分野において研究されているが、現在の実装ではカラーヒストグラムのみを使用している。カラーヒストグラムは対象とする画像を限定しない手法で、簡単な処理である割に画像の特徴をよく表現することができ、画像検索の研究において一般的に用いられている手法である²¹⁾。

具体的には、収集された画像データを RGB データから人間の感性に近いといわれる均等色空間である Lu^*v^* 表色系に変換する²²⁾。均等色空間とは、色空間における 2 点間のユークリッド距離が人間の感覚的な色の差に比例する色空間であり、色を用いて画像間の距離を計算するための画像特徴には適している色空間である²³⁾。そして、次に Lu^*v^* 色空間を各軸について 6 つに均等分割し、全体で $6 \times 6 \times 6$ の 216 の部分空間に分割する。そして、それぞれの部分空間についての頻度を計算しヒストグラムを作成する。このようにして、収集した全画像について 216 次元の特徴量ベクトルを作成する。

4.2.2 A 群画像のクラスタリング

次に、A 群に分類された画像のみについて、各画像の特徴ベクトルを利用して、すべての画像間の距離を計算する。距離は単純なユークリッド距離ではなく、以下の式に従って、2 つの画像間の色空間上の距離 d_{ij} を考慮して計算した²⁴⁾。

$$d_{ij} = (h_i - h_j)^t A (h_i - h_j) \quad (1)$$

ただし、

$$A = [a_{ij}] \quad (2)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & (i = j) \\ e^{-cd_{ij}/d_{\max}} & (i \neq j) \end{cases} \quad (3)$$

$$d_{\max} = \max_{ij} (d_{ij}) \quad (4)$$

h_i, h_j はそれぞれ i 番目、 j 番目の画像の特徴量ベクトルを表し、 c は定数、 d_{ij} はヒストグラムの各ビン間のユークリッド距離を表す。

以上のようにして画像間の距離を求めたら、それを利用して、クラスタ分析¹⁹⁾による類似画像どうしのクラスタリングを行う。クラスタ分析を行う際には、異なるクラスタのメンバどうしの距離で最も大きい値

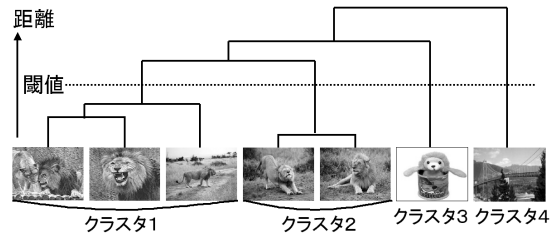


図4 クラスタリングの結果の例

Fig. 4 An example of a dendrogram of a clustering result.

をクラスタ間の距離とする FN 法 (farthest neighbor method) を採用し、階層的クラスタリングを行う。ある一定距離以下の画像もしくはクラスタどうしを併合していき、すべてのクラスタ間の距離がある一定値以上になるまで、クラスタの併合を繰り返す。図 4 に階層的クラスタリングの結果のデンドログラム (樹形図) を示す。似ている画像が多くある場合は大クラスタになり、他に似ている画像が少ない場合は、小クラスタになる。

ここでは、大クラスタに分類された画像がキーワードが表している典型的な画像で、小クラスタに分類された似ている画像が少ない画像は特異な画像であると見なして、メンバ数がある一定数 m 以上になった比較的大きいクラスタの画像を正解クラスタとして残して、それ以外のクラスタの画像を消去する。

A 群収集画像の集合 A が n 個のクラスタ C_1, \dots, C_n にクラスタリングされて、 $C_1, \dots, C_{n'}$ が $|C_j| \geq m$ ($|C_j|$ はクラスタ C_j に属する画像の枚数を表す) を満たすとすると、A 群選択画像の集合 A_{sel} は、次のように表すことができる。

$$A_{\text{sel}} = \{a_i \in A \mid a_i \in \sum_{j=1}^{n'} C_j\} \quad (5)$$

4.2.3 B 群画像からの選択

キーワードとの関係の評価が A 群よりも低い B 群の画像および、4.2.2 項の処理によって除去された A 群画像 (A 群未選択画像) から、クラスタリングの結果、大クラスタとして残った A 群からの選択画像に類似している画像を選び出す。

まずは、大クラスタとして残った各クラスタごとの平均画像特徴ベクトルを計算する。そして、B 群の画像および A 群未選択画像の特徴ベクトルと各クラスタの平均ベクトルの距離を A 群画像のクラスタリングのときと同様に計算し、どれかのクラスタとの距離がある一定値 t より小さい画像をピックアップする。そして、そのピックアップされた画像を最も小さい距離のクラスタに加えて、最終的な目的画像として出力

各軸 0 から 255 の整数値をとる RGB 空間で表現できるすべての色を Lu^*v^* 空間に変換して、 Lu^*v^* 空間の各軸についてその最小値から最大値までの範囲を 6 つに均等に分割した。

表 1 実験結果. A 群, B 群, 全体 (A 群+B 群) それぞれの収集枚数, 選択枚数を示す. 収集枚数の () 内はキーワードのみによる収集結果の適合率 (%). 選択枚数の () 内は画像特徴を利用した処理結果の適合率 (%) と再現率 (%)

Table 1 Experimental results. This table describes the number of collected images from WWW and the number of selected images from them. Numerical value in () represents the precision and the recall.

検索エンジン用 キーワード	HTML 文書数	A 群画像枚数		B 群画像枚数		全画像枚数 (A 群+B 群)	
		収集枚数	選択枚数	収集枚数	選択枚数	収集枚数	選択枚数
ライオン 動物	1,979	72 (85)	62 (94,95)	216 (26)	66 (42,49)	288 (41)	128 (67,73)
りんご	2,054	97 (86)	76 (95,87)	237 (50)	99 (72,60)	334 (60)	175 (82,71)
赤ちゃん	2,031	85 (48)	73 (53,95)	528 (74)	272 (83,58)	613 (70)	345 (77,62)
机	2,112	76 (90)	72 (92,97)	212 (50)	84 (71,56)	288 (60)	156 (81,72)
キーボード パソコン	2,194	39 (95)	38 (95,97)	167 (60)	58 (73,43)	206 (67)	96 (82,57)
トラ 動物	2,006	57 (71)	51 (75,95)	178 (33)	71 (42,50)	235 (42)	122 (56,69)
野茂 大リーグ	1,778	38 (95)	34 (97,92)	28 (25)	14 (36,72)	66 (65)	48 (79,88)
富士山	1,981	541 (71)	317 (91,75)	837 (42)	158 (66,30)	1,378 (53)	475 (82,53)

する.

B 群収集画像の集合 B から選択された画像集合 B_{sel} , および A 群未選択画像の集合 A_{sel}^{\neg} から選択された画像集合 A_{sel}^{\prime} は, それぞれ次のように表すことができる.

$$B_{sel} = \{b_i \in B \mid \min_{1 \leq j \leq n'} d(b_i, avg(C_j)) < t\} \quad (6)$$

$$A_{sel}^{\prime} = \{a_i \in A_{sel}^{\neg} \mid \min_{1 \leq j \leq n'} d(a_i, avg(C_j)) < t\} \quad (7)$$

ただし, $d(a_i, a_j)$ は画像 a_i と a_j の特徴ベクトル間の距離, $avg(C_j)$ はクラス C_j に属する全画像の特徴ベクトルの平均ベクトルを表す.

ここでは, A 群未選択画像からも B 群からと同様に画像選択を行っている. なぜなら, A 群選択のためのクラスタリングを FN 法で行い, クラスの大きさを距離の閾値で定めているために, クラスの分布領域のごく近傍の画像でも, 大きなクラスに入れずに小さなクラスしか形成できない画像が存在することがある. そうした画像を救うのが, A 群未選択画像からの画像選択である.

以上の処理によって, ユーザが最初に入力したキーワードに対応する目的画像が最終結果として得られる.

5. 実験

プロトタイプシステムを C および Perl で実装し, Linux 2.2.14 の動作する AT 互換機 (Athlon 750 MHz, 384 MB) 上で実験を行った. 実験では画像収集時のレスポンスが比較的良好と予想される .jp ドメインのサイトに限定して, 画像収集を行った. 扱う画像ファイルは, WWW では最も標準的な画像フォーマットである JPEG フォーマットの画像のみとした. 実験は表 1 に示した 8 つのキーワードについて行った. 以下では「ライオン」のキーワードの場合につい

て, 各段階での処理の結果を説明する.

キーワードに関する Web ページの URL を取得するための検索エンジンとして, いずれも日本向けの日本語テキスト検索エンジンである Google 日本語版, Goo, Infoseek Japan, Lycos Japan, OCN Navi, Excite Japan の 6 つの検索エンジンを用いた. その 6 つのテキスト検索エンジンから, 合計 2,000 件の URL を獲得し, その検索結果の URL を重複を除いて統合した「ライオン」の画像収集においては, 検索キーワードは「ライオン 動物」とした. その結果, 6 つの検索エンジンから 301 件の重複を除いて 1,699 件の URL を獲得した. すべての URL 獲得にかかった時間は, 実験時には 70 秒程度であった.

次に, 収集プロセスの数を 120 とし, 獲得した URL に基づく HTML 文書データの取得, 解析を行った. その結果, 1,979 個の HTML 文書を取得し, 全部で 1,364 件の JPEG 形式の画像ファイルの URL を抽出した. このうち, A 群には 72 枚, B 群には 216 枚が分類され, 合計 288 枚の画像を収集した. 実行時間は 135 秒かかった. なお, 取得した HTML 文書の数が検索エンジンから取得した URL の 1,699 件を超えるのは, HTML 文書中に画像ファイルへのリンクがない場合に HTML 文書へのリンクをたどって, その HTML 文書も取得したからである.

収集した A 群収集画像 72 枚, B 群収集画像 216 枚について, それぞれ主観的な評価によって「ライオン 動物」に適合しているかどうか調べた結果, A 群画像 61 枚, B 群画像 57 枚が正解画像と判断された. 適合率を (A 群収集画像中の正解画像の枚数)/(A 群収集画像の枚数) とすると, A 群収集画像の適合率は, 85% となった. 同様に計算して, B 群画像, 収集した全画像 (A 群+B 群) の適合率はそれぞれ, 26%, 41%

となった．なお，収集画像の再現率は，(正解画像の枚数)/(WWW 空間中の正解画像の枚数)となり分母が測定不可能なので，収集画像に対しては再現率は用いないこととする．

解析部では，まず，収集した A 群の 72 枚の画像についてカラーヒストグラムによる画像特徴量を求めて，互いの距離を計算し，クラスタリングの処理を行った．その結果，メンバ数が A 群収集枚数の 5%以上 のクラスタだけ残すと，9 クラスタ，合計 60 枚の画像が残った．実験では，収集枚数が多いとそれだけノイズ画像の枚数も多くなり，収集枚数が少ない場合に比べてメンバ数の大きいノイズクラスタができる傾向があったため，クラスタ選択の閾値として「A 群収集枚数の 5%以上」という相対枚数を用いた．この 60 枚の画像のうち主観的な評価による正解画像は 56 枚で，適合率を (A 群選択画像中の正解画像の枚数)/(A 群選択画像の枚数)，再現率を (A 群選択画像中の正解画像の枚数)/(A 群収集画像中の正解画像の枚数) とすると，適合率は 93%，再現率は 92% となった．なお，本来は再現率の計算における分母は (WWW 空間中の正解画像の枚数) となるべきであるが，測定不可能であるので，本論文では，画像収集後の画像選択処理だけの評価のために (A 群収集画像 (もしくは B 群収集画像，収集画像全体) 中の正解画像の枚数) を分母とする再現率を用いることとする．図 5 に A 群より選択されたライオンの画像の一部を示す．図中には上下にメンバ数の上位 2 つのクラスタの画像を示している．

最後に，B 群の画像および A 群未選択画像から，A 群で残った 9 つのクラスタのどれかに近い画像を選んだ結果，B 群の画像 216 枚から 66 枚の画像，A 群未選択画像 12 枚からは 2 枚が選択された．B 群選択画像 66 枚の適合率，再現率を A 群選択画像のときと同様に求めると，それぞれ 42%，49% であった．また，A 群未選択画像からの再選択によって選ばれた画像 2 枚は 2 枚とも「ライオン」の画像であり，再選択画像を含めて A 群選択画像の適合率，再現率を再計算すると 94%，95% となった．図 6 に B 群より選択された画像を示す．図中には上下に 2 つのグループに近かった画像が示されており，図 5 の上下のグループに対応している．

以上の解析部の処理によって，A 群，B 群から選択

された画像の合計枚数が 128 枚でその適合率，再現率は最終的に 67%，73% となった．なお，解析部の実行時間は全部で 70 秒程度かかり，全体での処理時間としては合計 5 分弱程度になった．

参考のために，実際の処理ではすべては収集しない，HTML 文書から抽出した画像ファイルの URL 1,364 件の指す画像を収集して，主観評価を行った結果，そのうち正解画像の枚数は 138 枚で，適合率は 10% であった．1,364 枚の画像に対する収集画像，選択画像の再現率を (収集 (選択) 画像中の正解画像枚数)/(全画像 URL 中の正解画像枚数) として求めると，それぞれ 86%，62% となった．このことから，本システムにおける画像収集の決定のためのキーワード評価が有効に機能していることが分かる．

表 1 に「ライオン」を含めた 8 つのキーワードに対する実験結果を示した．獲得し解析した HTML 文書の数，A 群，B 群，全画像 (A 群+B 群) のそれぞれの収集枚数，選択枚数が示されており，収集枚数の後の括弧内はキーワードのみによる収集結果の適合率，選択枚数の後の括弧内は画像特徴を利用した選択処理結果の適合率と再現率をそれぞれ表している．なお，表中では，A 群未選択画像からの再選択画像の枚数は，A 群画像選択枚数の中に含めている．参考までに，図 7，図 8 に「富士山」の A 群選択画像，B 群選択画像を示す．

表 1 中に記された 8 つのキーワードについての A 群画像，B 群画像，全画像の適合率，再現率をそれぞれグラフにしたものを図 9 に示す．グラフ中の 3 つの線は，選択された画像の適合率および再現率，キーワードのみによって収集した画像の適合率をそれぞれ表している．

5.1 選択条件を変化させたときの実験結果

上記の実験と同様に「ライオン 動物」で画像収集を行い，A 群収集画像から目的画像を選択するときの選択されるクラスタの条件であるクラスタのメンバ数の下限値 m を変化させたときの実験結果を図 10 に示す．図 10 は， m を 1 から 10 まで変化させたときの最終的に得られた目的画像の適合率，再現率を縦軸に適合率，横軸に再現率をとって表したグラフで， m が小さいときほど再現率が高く，グラフの右の方になり， m が大きいほど再現率が低くなって，グラフの左の方になる．適合率の変化は全体的には大きくないものの，初めは m を大きくしていくにつれ，ノイズ画像が除去されるため，適合率は上昇し， $m = 4$ のときに最大になる．しかし，さらに m を大きくすると，正解画像のクラスタまでもが除去されてしまい，適合

実際には， $\lfloor (A \text{ 群収集枚数} \times 0.05) \rfloor$ 枚以上． $\lfloor x \rfloor$ は x を超えない最大の整数を表す．この場合は，3 枚以上ということになる．

この 5% という値は事前に行った予備実験で平均的に良い結果が得られた値である．



図5 A群から選択された「ライオン」の目的画像の例
Fig. 5 “Lion” images selected from group A.

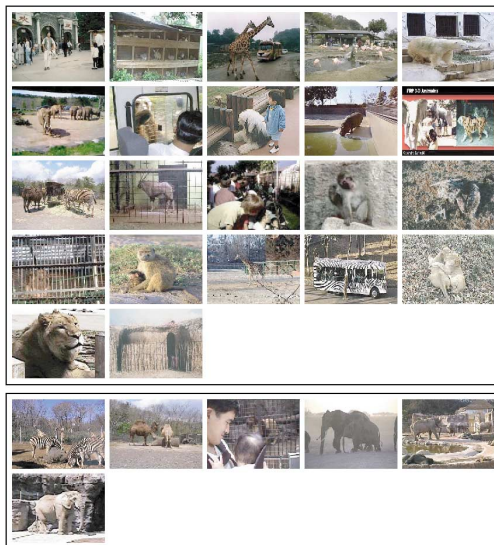


図6 B群から選択された「ライオン」の目的画像の例
Fig. 6 “Lion” images selected from group B.



図7 A群から選択された「富士山」の目的画像の例
Fig. 7 “Mt. Fuji” images selected from group A.

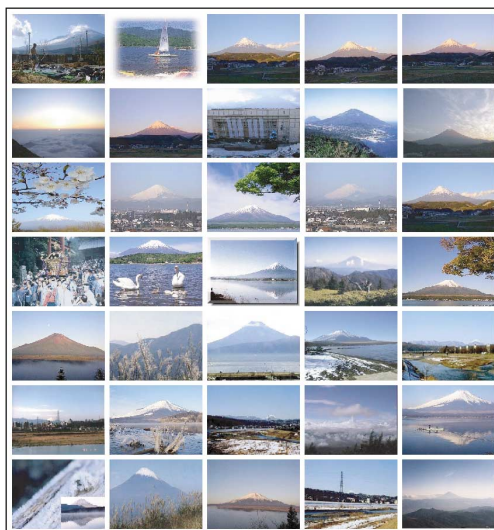


図8 B群から選択された「富士山」の目的画像の例
Fig. 8 “Mt. Fuji” images selected from group B.

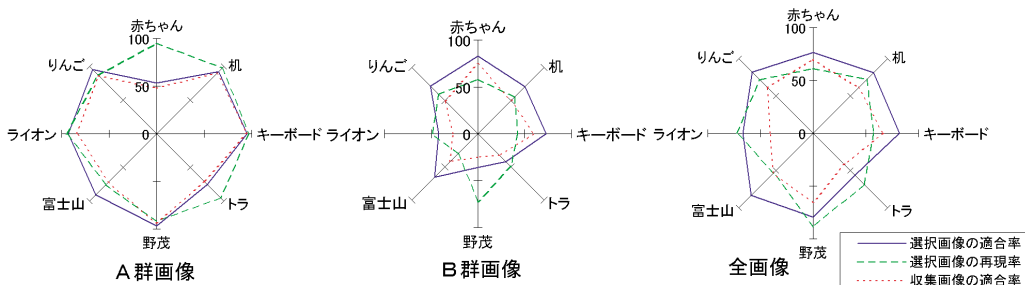


図9 選択画像の適合率、再現率および収集画像の適合率の比較グラフ

Fig. 9 Graphs of the precision and the recall of selected images and the precision of collected images.

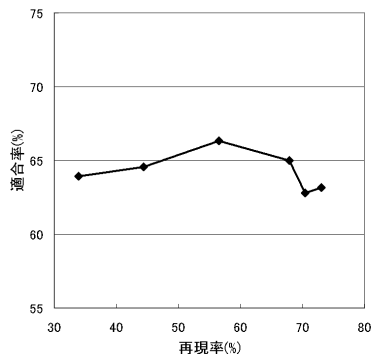


図 10 正解クラスタの条件を変化させたときの適合率と再現率

Fig. 10 The precision and the recall when changing the condition of selecting clusters.

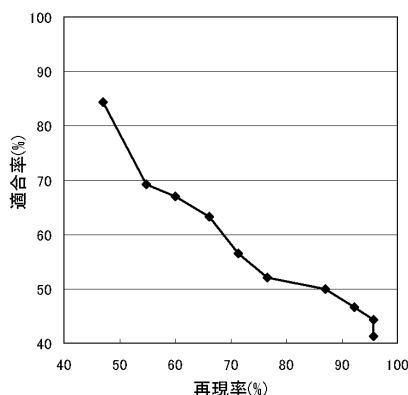


図 11 B 群選択の閾値を変化させたときの適合率と再現率

Fig. 11 The precision and the recall when changing the threshold of selecting images from B.

率は減少する傾向を示している。

次に、B 群から目的画像として選択するときの条件である、正解クラスタとの距離の閾値 t を段階的に変化させたときのグラフを図 11 に示す。なお、最初の収集実験と同様、クラスタの選択の条件は $m = 3$ とした。このグラフも同様に最終的な目的画像の適合率と再現率を表しており、グラフの左上が t が小さいときに対応し、グラフの右下の方が t が大きいときに対応している。このことから、B 群の選択条件の閾値は、最終収集結果に大きな影響を与えることが分かる。

6. 考 察

本章では図 9 に基づいて実験結果の考察を行う。

A 群画像については「赤ちゃん」以外はクラスタリングによるノイズ画像の除去後の選択画像の適合率がほぼ 9 割以上になっており、いずれの実験例の適合率も選択画像の方がキーワード評価によって収集した収

集画像よりも上回っている。再現率はほぼ 9 割近くになっているが、これは A 群選択が基本的にノイズの除去で、A 群収集画像のうちの 8~9 割程度の枚数を選択しているためである。また、選択画像の適合率がほとんどの場合、9 割以上にもなっているのは、キーワードによって A 群画像の選ぶ段階でのヒューリスティクスが非常に有効に働いているからである。特にファイル名は有効で、ファイル名が「lion」になっている画像のほとんどすべては「ライオン」の画像である。例外的に「赤ちゃん」の適合率が低いのは、ベビ用品メーカーのカタログに大量にヒットしてしまったからである。また「富士山」では、富士山だけ 541 枚（うち正解画像 384 枚）も A 群画像が収集され、クラスタの条件の収集枚数の 5% の値が、27 枚以上と大きくなってしまったため、多くのクラスタが除去されてしまい、選択された画像は 201 枚（うち正解画像 185 枚）だけとなってしまった。そのままであると、A 群の再現率は 48% であるが、その後の A 群未選択画像の再選択の処理によって、さらに 116 枚（うち正解画像 102 枚）が追加されて、再現率は 75% に上昇した。

B 群画像については、キーワードの条件を A 群より緩くしているためにキーワードのみによって収集した収集画像の適合率が 3~6 割程度と低くなっている。選択画像の方は、適合率が高いと再現率が低くなり、適合率が低いと再現率が高くなるという傾向が見える。適合率と再現率のバランスは、図 11 の実験結果で示したように B 群選択条件の閾値を変化させることによって調節可能である。次に、収集画像と選択画像の適合率を比較すると、8 つの例とも明らかに選択画像の適合率の方が高くなっており、A 群のクラスタリングの上位グループの類似画像を選択するという手法が有効に作用している。

A 群、B 群の合計である全画像については、最終的な目的画像の再現率を 6, 7 割程度に保ちながら、適合率がおおむね 7, 8 割であり、全収集画像の適合率に比べると明らかに上回っている。特に、茶色いサバナに黄色い「ライオン」、青い空に白い「富士山」、赤い「りんご」のように色が重要な要素占めている画像の場合には、画像特徴量としてカラーヒストグラムを用いているために、全収集画像の適合率に比べて、全選択画像の適合率が高くなっている。一方、様々な色の洋服を着て、光の当たり具合によって顔の色が赤や黄や白に変化する「赤ちゃん」の場合は、適合率の向上の割合が小さく、カラーヒストグラムのみの画像特徴では十分ではない。したがって、今後は、エッジやテクスチャなどの色以外の画像特徴も利用するよう

にすると、色のみでは十分でなかったキーワードについても選択画像の適合率の向上が望められる。

以上のことから、本論文での提案手法である、ユーザによる処理途中での指示が不要な方法であるクラスタリングの上位グループの選択および上位グループの類似画像の選択という手法の有効性が示しているといえる。また、最終収集枚数も固有名詞である「野茂」を除いては100枚以上が収集できており、あらかじめインデックスを作成することなく、わずか5分程度の処理で多数の画像の収集が実現できている。

7. おわりに

本論文では、キーワードと画像特徴を利用したWWW (World-Wide Web) からの自動画像収集のためのシステム Image Collector の実装、および実験結果について述べた。今回の実験結果より、テキスト検索エンジンを利用して画像をWWWより収集し、さらにユーザによる処理途中での指示が不要な方法であるクラスタリングの上位グループの選択およびその類似画像の選択という手法を用いた提案システムの有効性が示せたといえる。

現段階では、B群として収集される画像の適合率が高いとはいえないので、B群の分類基準を検討することが必要である。今後は、A群とC群の間に1つ設けているB群をキーワードとの関係の強さに応じて数段階に分けて、選択時の距離の閾値を段階的に変化させることなども検討している。また、画像特徴量についても、現在カラーヒストグラムのみ利用であり、CBIRの分野で提案されている様々な方法を今後取り入れていることが必要である。

また、現在は収集部と解析部が別々になっており、5分程度の処理時間がかかっているが、収集、解析を統合して並列化することによって、今後、処理時間の短縮を図る予定である。

謝辞 本研究の一部は、大川情報通信基金より受けた研究助成金によって行ったものである。

参考文献

- 1) <http://multimedia.lycos.com/>
- 2) <http://images.altavista.com/>
- 3) <http://images.google.com/>
- 4) Gudivada, V. and Raghavan, V.: Content-Based Image Retrieval-Systems, *IEEE Comput.*, Vol.28, No.9, pp.18-22 (1995).
- 5) 串間和彦, 赤間浩樹, 紺谷精一, 山室雅司: 色や形状等の表層的特徴量に基づく画像内容検索記述, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.SIG3(TOD

- 1), pp.171-184 (1999).
- 6) Kiyoki, Y., Kitagawa, T. and Hayama, T.: A metadatabase system for semantic image search by a mathematical model of meaning, *ACM SIGMOD Record*, Vol.23, No.4, pp.34-41 (1994).
- 7) 栗田多喜夫, 加藤俊一, 福田郁美, 板倉あゆみ: 印象語による絵画データベースの検索, 情報処理学会論文誌, Vol.33, No.11, pp.1373-1383 (1992).
- 8) Weber, M., Welling, M. and Perona, P.: Towards Automatic Discovery of Object Categories, *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.101-108 (2000).
- 9) Nelson, R. and Selinger, A.: Learning 3D Recognition Models for General Objects from Unlabeled Imagery: An Experiment in Intelligent Brute Force, *International Conference on Pattern Recognition*, Vol.I, pp.1-8 (2000).
- 10) 柳井啓司: WWWからの高速画像収集と収集画像を用いた画像認識の試み, 第15回人工知能学会全国大会講演論文集, Vol.15, No.3E1-05 (2001).
- 11) Framkel, C., Swain, M. and Athitsos, V.: Web-Seer: An Image Search Engine for the World Wide Web, Technical Report TR-96-14, University of Chicago (1996).
- 12) Smith, J. and Chang, S.: Visually Searching the Web for Content, *IEEE Multimedia*, Vol.4, No.3, pp.12-20 (1997).
- 13) Sclaroff, S., LaCascia, M., Sethi, S. and Taycher, L.: Unifying Textual and Visual Cues for Content-Based Image Retrieval on the World Wide Web, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.75, No.1/2, pp.86-98 (1999).
- 14) Rowley, H., Baluja, S. and Kanade, T.: Neural Network-Based Face Detection, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.20, No.1, pp.23-38 (1998).
- 15) Smith, J. and Chang, S.: Visual SEEK: A Fully Automated Content-Based Image Query System, *ACM International Conference on Multimedia 1996*, pp.87-93 (1996).
- 16) Bianchi-Berthozze, B. and Kato, T.: Towards a Comprehensive Integration of Subjective Parameters in Database Browsing, *Advanced Database Systems for Integration of Media and User Environments'98*, Vol.9, pp.227-232 (1998).
- 17) Inder, N., Bianchi-Berthozze, B. and Kato, T.: K-DIME: A Software Framework for Kansei Filtering of Internet Material, *IEEE International Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.6, pp.241-246 (1999).
- 18) Rowe, N. and Frew, B.: Automatic caption localization for photographs on World-Wide

Web pages, *Information Processing and Management*, Vol.34, No.1, pp.95-107 (1998).

- 19) 柳井晴夫, 高木廣文: 多変量解析ハンドブック, 現代数学社 (1986).
- 20) 串間和彦, 佐藤路恵, 赤間浩樹, 山室雅司: 大量画像の閲覧を目的とする階層的分類支援機能—画像目録の実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.SIG3(TOD 5), pp.54-63 (2000).
- 21) Swain, M. and Ballard, D.: Color Indexing, *International Journal of Computer Vision*, Vol.7, No.1, pp.11-32 (1991).
- 22) 高木幹雄, 下田陽久: 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会 (1991).
- 23) 小林光夫: 絵画における色彩美の数理的分析の研究, 博士論文, 東京大学工学部 (2000).
- 24) Hafner, J., Sawhney, H., Equitz, W., Flickner, M. and Niblack, W.: Efficient Color Histogram Indexing for Quadratic Form Distance Functions, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Ma-*

chine Intelligence, Vol.17, No.7, pp.729-736 (1995).

(平成 13 年 4 月 7 日受付)

(平成 13 年 7 月 10 日採録)

(担当編集委員 加藤 俊一)



柳井 啓司 (正会員)

1995 年東京大学工学部計数工学科卒業. 1997 年東京大学大学院情報工学専攻修士課程修了. 1997 年 10 月より電気通信大学情報工学科助手. 画像理解システム, 画像データベース, WWW からの知識獲得, 並列処理等に興味がある. 人工知能学会, ソフトウェア科学会, IEEE CS の会員.