

形状情報を用いた画像の類似検索システム†

黒川 雅人^{††} 洪 政 国^{††}

画像の類似検索に関して、属性付きグラフ構造を用いた形状情報と空間配置情報の記述、およびその比較によって検索を実現する方式について述べた。本手法は画像の持つシンボリックな特徴とアナログ的な特徴の両者の持つ情報を統合して扱うだけでなく、空間配置のような比較的曖昧さの介在する関係に数値情報の属性表現を加えることにより、比較可能な情報として扱うことができる点が特徴である。属性付きグラフにおけるノードは画像から抽出された構成要素であり、アークは構成要素間の空間的な配置情報を示す。ノードシンボルは各構成要素の名前を示し、ノード属性として、各構成要素の形状情報をP型フーリエ記述子で記述する。アークシンボルは構成要素間の空間的な関係を示す8つの方向性と、重なりからなる。検索は、検索用画像と蓄積画像の持つグラフ間の類似尺度の比較によって行われる。検索のためのマンマシンインタフェースの実現方法としてサンプル画像の選択と編集の組合せを試みた。この方法によると、利用者の持つ比較的曖昧な検索条件が、例示画像という自由度の高い表現方式で容易に設定され、利用者の負荷が小さい。これらの方針に基づき、実験システムを構築し、有効性を検討した。

1. はじめに

近年の画像処理技術や光ディスク等の大容量記録媒体の普及に伴い、画像データベースに対する要求が非常に高まってきている。従来の画像データベースシステムの実現方法はキーワードを主としており¹⁾、画像の持つ情報の一部しか利用できず、画像の持つ豊富な情報を有効に利用した検索方法が望まれている。これに対して、画像処理の手法等を用いて索引となる情報を画像から直接抽出し、それらの値を用いて検索を行う画像の内容検索が1つの有効な手段としてその必要性を指摘されてきている²⁾。

本論文では民族学で使われる【容器】の画像を対象にし、それらの持つ2次元的な情報を検索に利用することを目的とする。そのために、それらの画像から輪郭線を抽出しその形状および個々の構成要素の配置関係を記述し検索に用いる。この種のシステムを構築する際には、次の2つが重要な課題となる。

(1) 計算機内部での記述方式：画像内の対象を記述するモデル。また、モデル表現された2つの画像の類似度の判定方法。

(2) マンマシンインタフェース：人間の検索したいものにたいする表象をシステムに表現するための方法。その表現をシステム側で解釈し、(1)の記述形式にマッピングしていくための方法。

最近になって、幾つかの研究が報告されている³⁾⁻⁷⁾。

代表的な例を挙げると S.K. Chang ら^{3),4)} は、画像をあらかじめ定義されたシンボルの集合とみなし、それらの間の空間的な関係を 2-D ストリングという形式で記述した。画像検索はこれらのシンボルと関係を記述したストリングの照合処理となる。また、加藤ら⁵⁾ は商標画像を対象に、画像の持つ空間周波数特徴や濃淡の特徴を局所的なパターンの統計的な数値パラメータ列として表現した。画像検索はこれらの特徴ベクトルの距離計算によって行われる。

前者は、構成要素とその空間的關係というシンボリックな関係を記述することが目的であり、後者は、画像の持つ種々のアナログ的な特徴を数値パラメータで表現しようという試みである。この2つの記述方式は画像内の別の種類の情報を扱っていると考えられ、適切な画像の内容検索のためにはその両者を統合して扱うことのできる記述方式が必要となる。

本論文では、このような観点からシンボリックな特徴をグラフ構造で記述し、アナログ的な特徴を数値的な属性表現で記述する。画像記述の方法として属性付きグラフ構造を用い、ノードとして対象の構成要素、アークとして構成要素間の配置関係を記述する。また属性表現として構成要素の輪郭形状をノード属性として用い、比較的曖昧さの介在する配置関係に関しては、その度合いをアーク属性として記述する。この構造に対して類似尺度を決め、その尺度を用いて類似検索を行う。

マンマシンインタフェースに関しては、従来手書き入力^{6),7)} および Iconic-Index³⁾ による方法がある。手書き入力の方法では多様な表現が可能であるが、特に曖昧な検索条件を持つ利用者に対して大きな負荷を

† An Approach to Similarity Retrieval of Images by Using Shape Features by MASATO KUROKAWA and JUNG-KOOK HONG (IBM Research, Tokyo Research Laboratory).

†† 日本アイ・ビー・エム(株)東京基礎研究所

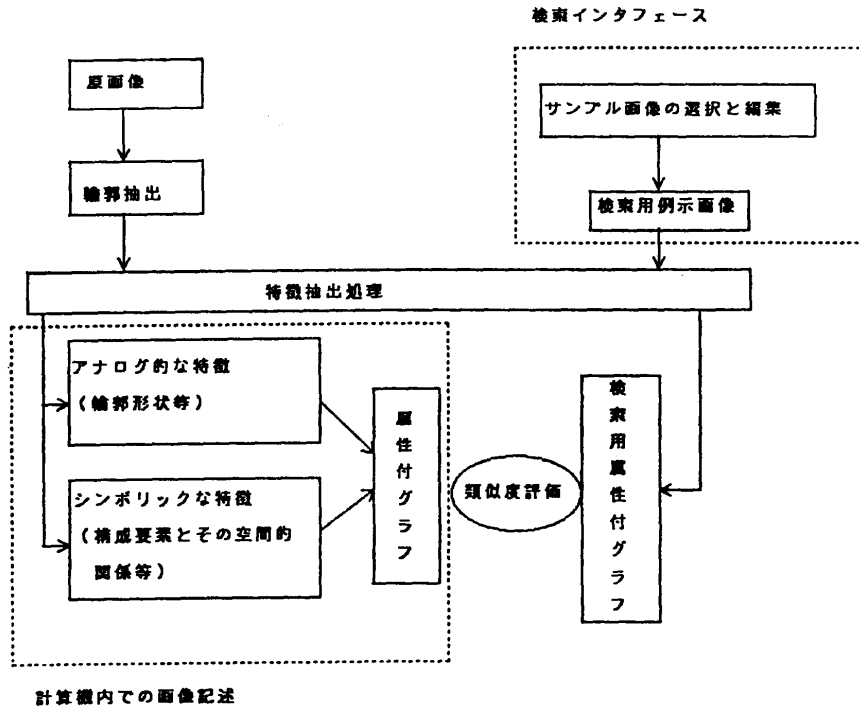


図1 類似検索システムの概念図

Fig. 1 Conceptual diagram of similarity retrieval.

もたらず。一方 Iconic-Index の方法は空間配置の表現を主な目的としているため、対象の形状等の詳細な表現においては制限を受ける。ここでは、利用者に対して対象の部分画像を提示し、それらを組み上げて検索対象画像を作成するサンプル画像の選択と編集による方法を試みた。

以上の基本方針の概念図を図1に示した。

2. 属性付きグラフ構造

2.1 属性付きグラフ構造の定義

本論文では、画像の記述方式として属性付きグラフ構造を用いる。Chang らの定義⁹⁾に従えば、属性付きグラフ構造は、 V_n をノードラベル集合、 V_a をアークラベル集合とした時、 $G=(N, E, u, e)$ の4つ組で表される構造である。(ここで N は有限のノード集合、 E はノード間の関係を表す順序対 (アーク) 集合、 u は N と V_n を関係付ける関数、 e は E と V_a を関係付ける関数を表す。 V_n および V_a はどちらも (s, x) の形式をとり、 s は

ノードシンボルまたはアークシンボルであり、 x は $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ の形を持つ属性ベクトルである。各ノードはノードシンボルとノード属性を持ち、アークも同様にアークシンボルおよびアーク属性を持つ。またノード、アークとも複数のラベルを持てる。)

本論文では属性付きグラフ構造を次のように定義した(図2参照)。ノードは画像から抽出された構成要素を意味し、アークは構成要素間の空間的な配置情報を示す。ノードシンボルは各構成要素の名前を示し、

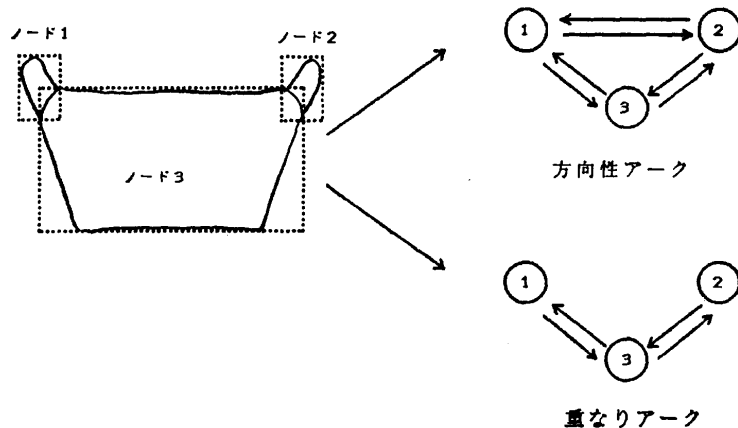


図2 属性付きグラフの例

Fig. 2 Sample of attributed relational graph.

ノード属性としては、各構成要素の形状情報を数値パラメータで記述する。ノードシンボルは本体、把手、首、足の4種類とした。アークシンボルは構成要素間の空間的な関係を示す方向性と重なりとの2種類とした。方向性を定義するため8方向のシンボルを用い、重なりに関しては外接矩形間に重畳部分がある場合、重なりを示すシンボルを付ける(図3(i)参照)。

2.2 属性付きグラフ構造の内容

原画像から上記の属性付きグラフ構造を作成するための処理について述べる。ただしここでは対象画像中の構成要素は、なんらかの画像処理手法で抽出されている事を前提とする。

2.2.1 形状情報の記述

検索条件を例示画像のようにパターンで与える場合、画像間で位置や角度、スケールにずれが生じうる。このような入力条件を考えるとそれらの入力時の変形に安定な記述方式が望ましい^{9)~11)}。ここではP型のフーリエ記述子⁹⁾を形状記述の方法として用いている。以下ではP型の記述子について説明する。

曲線がX-Y平面上にあり、X座標を実数軸、Y座標を虚数軸と考える。曲線CをN個の辺を持つ等辺多角形で近似する。辺の長さをδとすると各頂点は、

$$z(j) = x(j) + iy(j) \quad (j=0, \dots, N-1)$$

の形で表現され、Cは複素関数Zで表現される。このZに対しP表現wを以下のように定める。

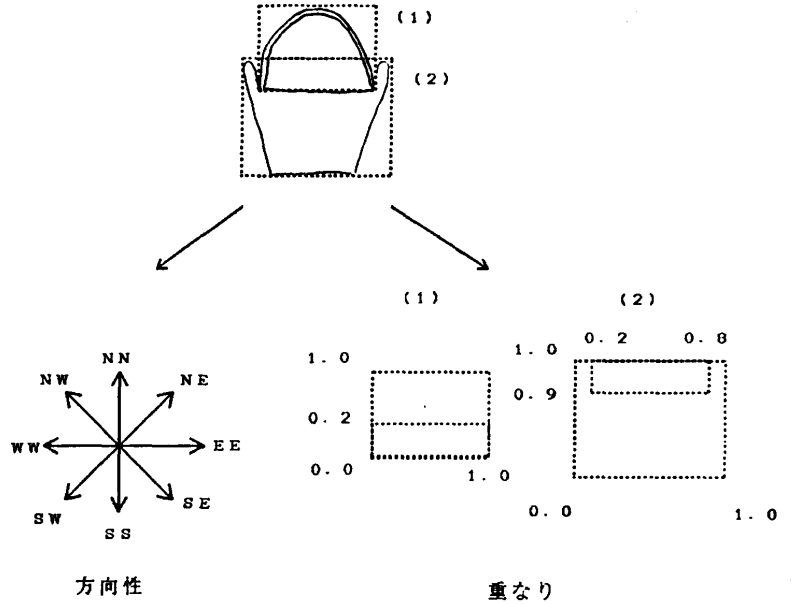
$$w(j) = (z(j+1) - z(j)) / \delta$$

このP表現のフーリエ記述子をcとするとcはw(j)を離散的フーリエ変換して次の形で与えられる。

$$c(k) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} w(j) \exp\left(\frac{-2ijk\pi}{N}\right)$$

$$\left(k = -\frac{N}{2} + 1, \dots, \frac{N}{2}\right)$$

特徴量としてフーリエ記述子を用いる場合には、安定した開始点の抽出が必要となる。ここでは、等辺多



(i) アークの種類と意味
(ii) Types and meanings of arc.

Symbol	Vx	Vy	Symbol	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax
SS 1 2	0.0	-1.0	OVL 1 2	0.2	0.8	0.9	1.0
NN 2 1	0.0	1.0	OVL 2 1	0.0	1.0	0.0	0.2

方向性

重なり

(ii) 抽出されたアークラベル
(ii) Extracted arc label.

図3 アークラベルの定義
Fig. 3 Definition of arc label.

角形上の各辺の重心の分布を等辺多角形の重心を中心にして求め、これに対してKL展開¹²⁾を施し、その正方向の主成分軸上に最も近い点を開始点として選択する。この正規化処理によって拡大や移動に関する影響は取り除かれ、開始点は、曲線に対し相対的に一意に決定できる(なお2か所で交わる場合は遠い側の交点を採用している)。各ノードに当たる構成要素に対し上記の処理でフーリエ記述子を算出し、これをノード属性値として用いることとした。

ノードラベル V_n の各 (s, x) は、

$$\{s_n\} : \{\text{本体, 把手, 首, 足}\}$$

$$x_n : c(k)$$

となる。

2.2.2 位置関係の記述

アークが表現する情報として2つの構成要素間の方向性と重なりを用いた。まず抽出された構成要素の重心と外接矩形を求め、方向性として重心間の方向ベクトル、重なりとして外接矩形の重なりを度合を数値化しアーク属性とする。方向性の場合、ベクトルの方向

性を8方向に量子化してアークシンボルとし、また方向ベクトルの単位ベクトルをアーク属性として記述する。重なりの場合、外接矩形間に重なる部分がある場合、重なりのアークシンボルをつけ、重畳する部分の各外接矩形に対する位置をXおよびY方向について記述する。形状情報と同様に拡大・縮小等の影響を避けるため、方向性に関しては単位ベクトルを用い、重なりに関しては、各構成要素の外接矩形の辺を基準とした相対的な位置を記述する(図3(ii)参照)。

アークラベル V_a の各 (s, x) は、

方向性: $\{s_{ad}\}$: {NN, NE, EE, SE, SS, SW, WW, NW}

x_{ad} : V_x, V_y

重なり: $\{s_{ao}\}$: {OVL}

x_{ao} : $Xmin, Xmax, Ymin, Ymax$

となる。

3. 検索インタフェース

3.1 マンマシンインタフェースの指針

計算機内部での対象データの記述と人間が検索時に抱く表象の間には大きな差異があるため、検索条件の表現方法は重要な問題となる。特に、本論文で扱う容器のような自由形状を持つものの形状情報は画像パターンとして人間には容易に認識・記憶されるものだが、言葉等の2次情報で表現することは比較的難しい。そのため従来は、手書きによるスケッチ入力をもとにした検索条件の表現方法が報告されている^{5),6)}。しかし全く白紙の状態からスケッチを描かせることは利用者側の負荷が大きく、スケッチ自身にも誤りが大きい事が予想される。ここでは、それらの不利な点を補うことを試みた。すなわち計算機側で蓄積されている構成要素ごとの代表パターン(サンプル画像と呼ぶ)を利用者に提示し、利用者はそれらの中から自分の条件に類似したものを選択し、組合せ、編集して自分の意図している形状を画像化していき最終的に検索用画像を作成する。

3.2 マンマシンインタフェースの実現

利用者に対するサンプル画像の提示は各構成要素ごとに行われる。そのために各構成要素ごとにデータを集めそれらの特徴パラメータ(ここではフーリエ記述子)を用いて階層的クラスタリングを行い、各クラスタの重心にユークリッド距離で最も近いものをそのクラスタの代表パターンとして用いる。次にクラスタリングで得られた樹状図(デンドログラム)を2分木とみなし(以後この木をクラスタ木と呼ぶ)、クラスタ木の各ノードに対して、インデックスとして2分木のコードを割り当てる。インデックス、クラスタ内分散、および代表パターンの番号をサンプル画像用データとして蓄積する。提示するサンプル画像は、クラスタ木の根から順にこれらのデータを参照しながら決定していく。決定の処理の概要を図4に示す。L個のサンプル画像をクラスタ木から決定する場合、根から出発して最も分散の大きなクラスタから順にその部分木を一段降りていく、という評価基準でクラスタ木を探索して表示すべきクラスタを決定し、表示すべきクラスタがL個になったところでその代表パターンをサンプル画像として提示している。利用者は、提示されたサンプル画像の中から自分の持つ条件に最も類似した画像を選択する。また、提示された画像を指定してより下位のクラスタの画像を同じような表示形式で見ることが出来る。(この場合、上記の処理で根となるクラスタが指定された画像が代表しているクラスタと置

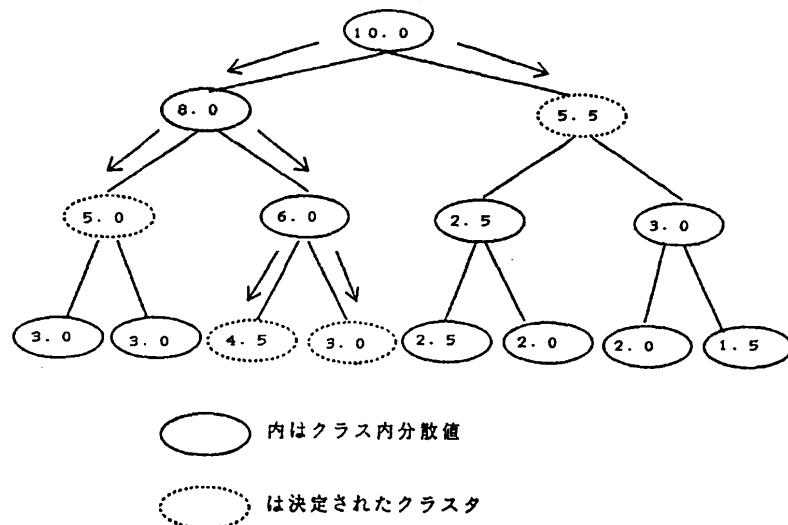


図4 サンプル画像の決定手順
(L=4の場合)

Fig. 4 Example of sample image determination.
(for four samples)

き換わる.)

選択された画像に対する編集機能としては移動、拡大・縮小、輪郭線の消去、およびタブレット上での手書き入力がある。利用者はこれらの機能と選択したサンプル画像を用いて自分の要求に合った検索性例画像を作成する。

4. 検索処理

本論文における検索処理では、検索性例画像の属性付きグラフ (G_i) と蓄積されている各画像の属性付きグラフ (G_s) の間で照合を行い、その照合の度合を尺度として順序付けし、上位から順に検索結果とする。3章のインタフェースによって作成された検索性例画像は、本来検索すべき画像の部分画像であることも考えられる。そのため照合の処理は G_s が G_i を部分グラフとしているか否かを判定する部分グラフの同型問題と捉えることができる。一般に有向グラフの部分グラフ同型の問題は、 G_s, G_i のノードの対応するペアの集合によって作られる状態空間木の探索問題として扱うことができる¹³⁾。本論文では探索時のコストの低減をはかるためのヒューリスティックとして、照合の度合を表す評価関数を用いる。評価関数はノード属性およびアーク属性の類似度を用いて定義し、その値に従って探索を行う。

4.1 評価関数

属性付きグラフのノードと状態空間木のノードを区別するために状態空間木のノードを節点と呼ぶ。各節点は図5に示すようにノード対の集合を表している。これは、対応付けられた部分グラフ対とも考えられる。状態空間木の探索において、ある節点から節点の拡張を行う場合、拡張前の節点Mから拡張すべきノード対を加えた後の節点 M' になる際の $M-M'$ 間の径路 v に関する類似度評価関数として $f(v)$ を以下のように定める。

$$f(v) = \frac{\sum_{i=1}^m P_{a_i} + \sum_{j=1}^n P_{a_j}}{m+n}$$

$$f(v): X \rightarrow [0, 1.0]$$

$$P_{a_i}, P_{a_j}: Y \rightarrow [0, 1.0]$$

ここで P_{a_i} は M' で新しく付加されたノード対の

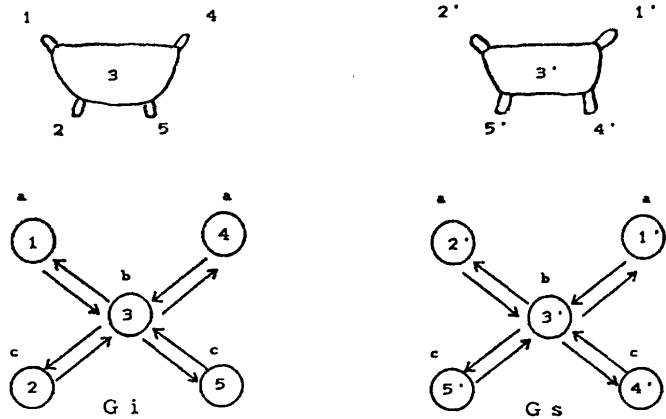


図 5(a) G_s と G_i の例
(アークは重なりのみ表示)

Fig. 5(a) Example of G_s and G_i .

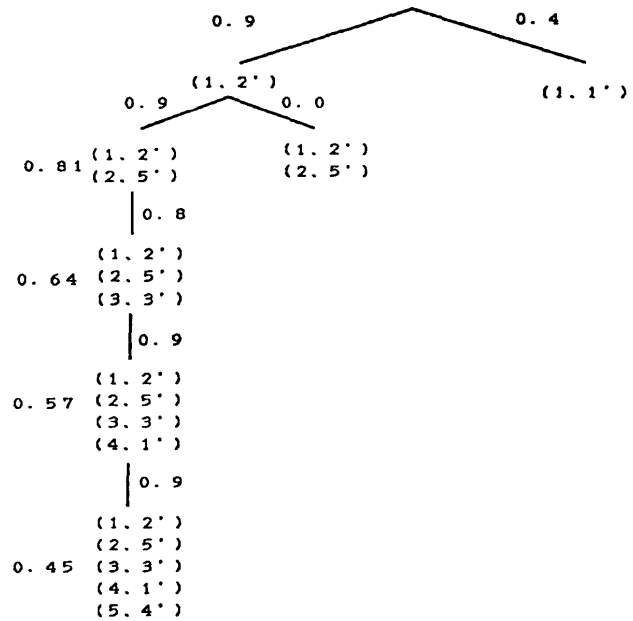


図 5(b) (a)に対する評価関数付き探索の例

Fig. 5(b) Example of search using backtrack and bound.

持つノード属性間の類似度であり、 i はそのノードの持っているラベルの数である。 P_{a_j} は新しく付加されたノードとM中の各ノードとの間で成立する関係の類似度であり、 j は同様にそのアークが持つラベルの数である。2章より本論文の場合 $i=1, j=1$ or 2 となる。節点 x における類似度の評価値 $V(x)$ は、状態空間木上でのルート節点から x までの評価関数値の積で表す。

$$V(x) = \prod_{v_k \in \text{path } x} f(v_k)$$

この $V(x)$ (ただし x はリーフ) の最大値を与える照

合を最適な照合とみなす。

4.2 類似度

ここではノードおよびアークにおける類似度 (P_{ni} , P_{aj}) の算出方法について述べる。ノード属性に関しては、一般にフーリエ記述子の高次成分は雑音等の影響を受けやすく信頼性が低いため、下位8次までの低次の記述子を用いそれらの距離を算出する。

$$d_{n1} = \sum_{j=-8}^{j=8} |c_i(j) - c_s(j)|^2$$

また方向性に関しては、対応する方向性ベクトルの内積を算出する。

$$d_{a1} = v_i \cdot v_s$$

重なりに関しては、対応するノードの持つ重畳部分の面積比をとる。

$$d_{a2} = \begin{cases} \frac{S_i}{S_s} & \text{if } S_i \geq S_s; \\ \frac{S_s}{S_i} & \text{otherwise.} \end{cases}$$

上記の d_{n1} , d_{a1} , d_{a2} に対し、おのおのあるしきい値 T_{1i} , T_{2i} を用いて、

$$P_{ni}, P_{aj} = 1.0 - \frac{|d_i - T_{1i}|}{|T_{2i} - T_{1i}|}$$

を類似度として用いる。

ただし関係の類似度 P_{aj} に関しては、一度の節点拡張に関して複数回の類似度計算が必要となるためそれらの平均値を用いる。

$$P_{aj} = \frac{\sum_{k=1}^N P_{ajk}}{N}$$

T_{1i} , T_{2i} は次のように設定する。Gs と G_i のノード属性やアーク属性の値が同一の場合に d_i がとる値を T_{1i} とする。この時 P_{ni} , P_{aj} は 1.0 の値をとる。 T_{2i} を対応の許容限界として設定し、 d_i の値が T_{1i} から離れるに従って類似度が小さくなるようにする。また各 d_i の値が T_{2i} を越える場合は、対応は存在しないものとして評価を打ち切る。

4.3 探索処理

上記の操作により、ここで用いる状態空間木は親から子への各径路に対し評価値 [0,1.0] の間の重みが付加された木となる。また探索処理の目的は其中で径路の評価関数の積が最大となる径路を見つけること

となる。ここでは径路の評価値がレベルが深まるにつれて単調減少することを利用した Chang らの方法¹⁴⁾ を応用した。アルゴリズムの概要を付録に示す。この方法では節点拡張の際に拡張可能な節点集合に関する評価値を算出し、それらを順序付けしてバックトラック付きの深さ優先探索を行う。完全な照合が見つかった場合は、その時の評価値を bound としてバックトラックし、他の径路でその段階までの評価値が bound 以上の節点に関してのみ節点拡張を行っていく。この結果不要な節点拡張を抑え、最も評価値の高い照合が得られる (図5参照)。

5. 実験システムの概要

5.1 システム構成

以上の方針に基づいて実験システムを作成した。これは FORTRAN で記述され、IBM 3081 上の VM/CMS のもとで動作している。インタフェースおよび表示には GKS を用い、装置としては IBM 5080 グラフィックディスプレイおよび付属のロケータを用いている。処理対象は民族学研究で用いられる容器の標本画像である。これらは CCD カメラで正面方向から撮影されたもので、512×512 画素、濃淡 8 ビットのデータである。図6のようにシステムは蓄積系と検索系に大別される。

5.2 蓄積系の処理

蓄積系の処理の内容は次のとおりである。

(1) 輪郭抽出: 原画像中より背景を除去し対象となる標本部分のみを抽出する。原画像の平滑化、2 値化後、黒画素の連結成分抽出およびそれを用いた雑音除去を行う。抽出された画像から 8 連結の意味での境界追跡を行って輪郭線を抽出する。抽出された輪郭線

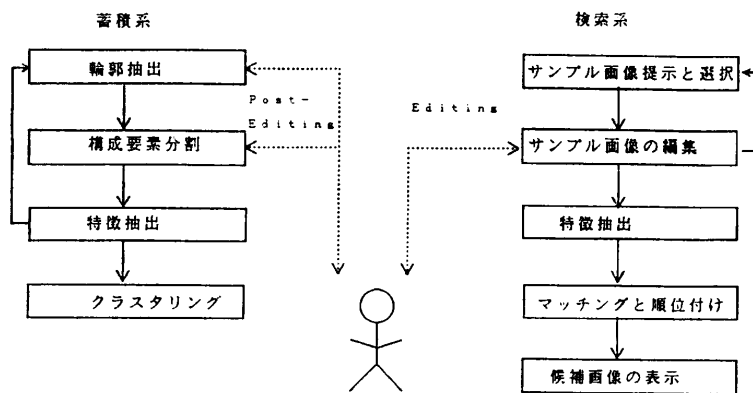


図6 処理の概要
Fig. 6 Process flow diagram.

は利用者に提示され、不十分な部分を対話修正する。

(2) 構成要素分割: 修正された輪郭線画像に対し、利用者はまず、構成要素名を選択し、次にロケータを用いて構成要素の輪郭線に当たる部分の端点を指示する。システムはそれらの端点間を繋ぎ、構成要素を1つの閉曲線として分離する。これで属性付きグラフのノードおよびノードシンボルは決定される。

(3) 特徴抽出: アークシンボルおよびアーク属性値は、各構成要素の外接矩形および重心を算出することによって求める。ノード属性であるフーリエ記述子の算出のために、輪郭線を N 個の等長の線セグメントに分割し、等辺多角形で近似する。現在は $N=256$ を用いている。作成された等辺多角形に対して2章で述べた正規化処理を施して開始点を決定する。その開始点から順に P 表現を作成し、それに対して離散的フーリエ変換を施す。

(4) クラスタリング: 抽出されたノード属性値を構成要素ごとに集め階層的クラスタリング(セントロイド法)を行ってサンプル画像用データを作成する。

5.3 検索系の処理

検索系の処理の内容は次のとおりである。

(1) サンプル画像提示と選択: サンプル画像は図7(a)のようにウィンドウ内に表形式で提示される。提示される代表パターンの選択には3章で述べた尺度を用い、代表パターン間の階層関係は表示されない。しかし、利用者はウィンドウ内の画像を指定することによって、クラスタ木上でその画像の代表するクラスタの部分木に当たる部分を参照することができる。この場合に提示する代表パターンは、指定したクラスタを根として同様に3章の尺度に従う。利用者は各構成要素について自分の条件に合致した画像を選択する。

(2) サンプル画像の編集: (1)で選択された構成要素ごとのサンプル画像を対話的に編集することによって、自分の表現したい画像を作成する(図7(b)参照)。

(3) 特徴抽出: 作成された検索用画像のグラフ構造を抽出する。ノードシンボルは検索用画像作成時に指定された構成要素名であり、アークシンボルおよびノード属性とアーク属性に関しては5.2節(3)で述べた処理を用いて自動的に抽出する。

(4) 照合と順位付け: 検索用画像のグラフ構造と蓄積画像のグラフ構造間の照合を4章に述べた方法で行い、評価値の大きなものから順に並べて表示する。図7(c)では左上が第1候補となっている。

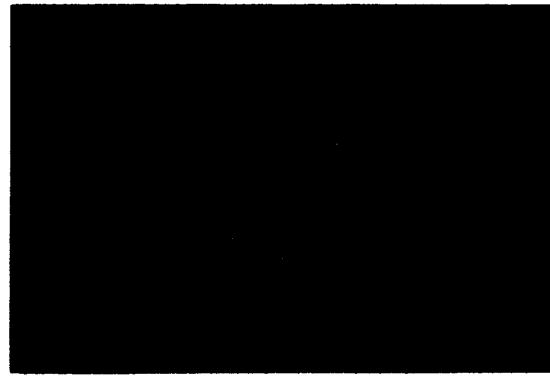


図7(a) サンプル画像選択(本体部分)の例
(右上が選択された画像)

Fig. 7(a) An example of sample image selection (bodies of baskets) and specification of an inquiry image (top-right).

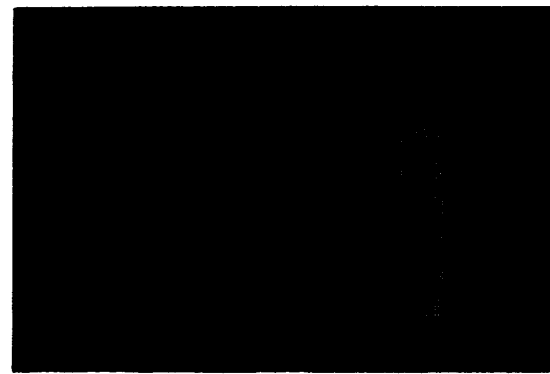


図7(b) サンプル画像編集の例(把手の画像を移動)
Fig. 7(b) An example of sample image editing (moving the handle part).

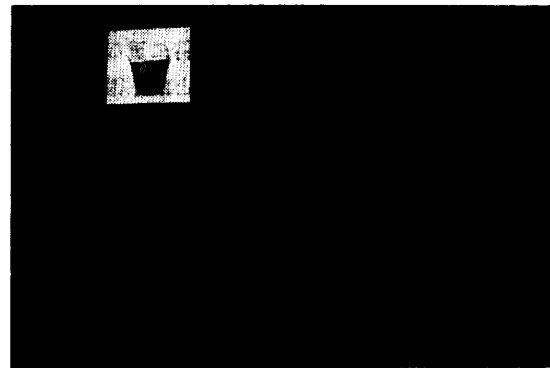


図7(c) (b)の検索用画像に対する類似検索の結果
Fig. (c) Similarity retrieval results for the inquiry shown in (b).

5.4 実験結果

ここでは、上記のシステムの有効性を示すために行った予備実験および実際の検索実験について述べる。まず予備実験として本稿で用いたフーリエ記述子の弁別能力およびサンプル画像の信頼性を確認した。



図8 本体部分画像に対するクラスタリング結果
Fig. 8 Results of centroid clustering for the bodies of baskets.

図8に示す本体部分の画像群を用いて階層的クラスタリングを行った。これらのデータは明らかに5つのクラスに分割される。これらの画像に対して実際に階層的クラスタリングを施した結果が図8の上部に示されたデンドログラムであり、視覚的なグループ分けと良く一致している。

次に実際の検索実験として120枚の画像を入力し、これらに対し、上記の5つのクラス中の1枚を検索対象と考えて入力を行って検索した。各クラスの標本個数を k 個とすると検索対象画像が含まれているクラスの画像が検索結果の上位 k 位以内に出現したものが89%であった。またこの際に検索用画像を指定してから検索結果が表示されるまでの応答時間は検索用グラフの抽出時間を含めて2.5秒程度であった。

検索が失敗したものに関しては、特に重なる部分の評価値が低いものとなっていることが原因だった。なお検索実験および図7に示した検索時の類似度のしきい値 $[T_{1i}, T_{2i}]$ はそれぞれ実験的に以下の数値で行った。

フーリエ記述子 $[0.0, 0.25]$, 方向性 $[1.0, 0.7]$, 重なり $[1.0, 5.0]$.

6. ま と め

本論文では民族学の容器画像を対象に、その輪郭線画像の持つ形状情報および空間配置情報を属性付きグラフ構造を用いて記述し、その比較によって類似検索を実現する手法について述べた。本手法は画像の持つシンボリックな特徴とアナログ的な特徴の両者の持つ情報を統合して扱うだけでなく、空間配置のような比較的曖昧さの介在する関係に数値情報の属性表現を加えることにより、比較可能な情報として扱うことが

できる。

検索のためのマンマシンインタフェースの実現方法として、サンプル画像の選択と編集の組合せを試みた。この方法によると、利用者の持つ比較的あいまいな検索条件が、例示画像という自由度の高い表現形式で容易に設定される。また、ここで提案した手法をもとに、民族学の容器画像120件を対象に実験システムを作成し、有効性を検討した。

以下に問題点と今後の課題を挙げる。

(1) 索引付け：現在は構造的に可能性のあるすべての蓄積画像に対して照合処理を行っているが、検索対象の規模が大きくなった場合これは効率的ではない。ノード属性およびアーク属性の特徴量に対して索引構造を付与することによって、照合の対象となる画像の数を削減し検索の効率化を図っていくことが必要となる。

(2) 形状類似尺度：現在は、フーリエ記述子による特徴空間を類似尺度の空間としているが、実際には利用者の持つ類似の感覚を何らかの空間として定義し、そこへのマッピングを定義すること^{15), 16)}によってより効果的な類似検索が可能となろう。

謝辞 本研究の一部は国立民族学博物館(民博)と日本アイ・ビー・エム(株)との間で行われた共同研究「民族学情報有効利用のためのコンピュータ応用手法についての基礎研究」(1986-1988年)の一環として実施されたものであり、ここで使用した画像のすべては民博より提供されたものです。本研究をすすめる上で有意義な助言と協力を頂いた民博の杉田繁治教授と日本アイ・ビー・エム(株)の井岡幹博氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 佐藤真知子, 橋原秀晴, 井岡幹博, 黒川雅人, 洪 政国, 杉田繁治, 久保正敏, 山本泰則: 民族学支援のための標本画像検索システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 29, No. 12, pp. 1108-1118 (1988).
- 2) Tamura, T. and Yokoya, N.: Image Database Systems: A Survey, *Pattern Recogn.*, Vol. 17, No. 1, pp. 29-43 (1984).
- 3) Chang, S. K., Yang, C. W., Dimitroff, D. and Arndt, T.: An Intelligent Image Database System, *IEEE Trans. Softw. Eng.*, Vol. 14, No. 5, pp. 681-688 (1988).
- 4) Lee, S. Y., Shan, M. K. and Yang, W. P.: Similarity Retrieval of Iconic Image Database, *Pattern Recogn.*, Vol. 22, No. 6, pp.

- 675-682 (1989).
- 5) Yamamoto, A. and Takagi, M.: Extraction of Object Features and Its Application to Image Retrieval, *Trans. IEICE*, Vol. E72, No. 6, pp. 771-781 (1989).
 - 6) 加藤俊一, 下垣弘行, 藤村是明: 画像対話型商標・意匠データベース TRADEMARK, 信学論 (D), Vol. J72-D, No. 4, pp. 535-544 (1989).
 - 7) 大田友一, 森 良哉, 坂井利之: 漢字パターン列の特徴パラメータによる検索—名刺画像における姓名の場合, 信学論 (D), Vol. J64-D, No. 11, pp. 997-1004 (1981).
 - 8) Chang, N.S. and Fu, K.S.: A Relational Database System for Images, *NATO Advanced Institutes Study Series*, Vol. 81, pp. 288-321 (1982).
 - 9) 上坂良則: 開曲線にも適用できる新しいフーリエ記述子, 信学論 (A), Vol. J67-A, No. 3, pp. 166-173 (1984).
 - 10) 田邊勝義, 大谷 淳: 形状類似画像検索における類似尺度の検討, 信学技報, PRU 88-68, pp. 65-72 (1988).
 - 11) 関田 崧, 栗田多喜夫, 大津展之: 複素自己回帰モデルによる類似形状の検索, 信学技報, IE 89-7, pp. 17-24 (1989).
 - 12) 長尾 真: 画像認識論, 情報工学講座 16, コロナ社 (1983).
 - 13) Ullman, J.R.: An Algorithm for Subgraph Isomorphism, *J. ACM*, Vol. 23, No. 1, pp. 31-42 (1976).
 - 14) Chang, R.L.P. and Pavlidis, T.: Fuzzy Decision Tree Algorithms, *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 7, No. 1, pp. 28-35 (1977).
 - 15) 加藤俊一, 栗田多喜夫: マルチメディア対話における個人性の考察, 情報処理学会研究会資料, 情報学基礎 15-7, pp. 1-8 (1989).
 - 16) 栗田多喜夫, 下垣弘行, 加藤俊一: 主観的類似度に適応した画像検索, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 2, pp. 227-237 (1990).

付 録

状態空間木上の各節点 x を以下の状態変数で表す.

$M1_x$: G_i で選択済みのノードの集合

$M2_x$: G_i でまだ選択されていないノードの集合

$M3_x$: G_s で選択済みのノードの集合

$M4_x$: G_s でまだ選択されていないノードの集合

$V(x)$: 節点 x における評価値

状態空間木の探索の処理は, バックトラックの際の評価値のしきい値を d , 最適なマッチング結果を Max-Pair とすると次のようになる.

- (1) $M1, M3 \leftarrow$ 空集合, $M2, M4$ は G_i, G_s の

すべてのノード

$0.0 < d < 1.0$, goto (4);

(2) スタックが空ならば外へ.

(3) スタックから節点を POP, これを x とする.

if (x がリーフ) then do;

if ($V(x) > d$) then do;

$d = V(x)$

MaxPair $\leftarrow M1_x, M3_x$

end;

goto (2)

end;

if ($V(x) < d$) goto (2);

(4) 節点 x の拡張を行う. 継続節点 $m_1, m_2, \dots,$

m_i について $l_i = f(v_i)$.

$(l'_1, l'_2, \dots, l'_i) \leftarrow$ Sort (l_1, l_2, \dots, l_i).

(5)

for $j = 1, i$

$V(m_j) = V(x) \cdot l'_j$;

if ($V(m_j) < d$) goto (1);

$M1, M3$ に継続節点で加えられたノードを加える;

$M2, M4$ から加えられたノードを引く;

状態変数をスタックに PUSH;

end;

goto (2);

なお(4)で各節点拡張の際には, G_i のノードを $M2$ より1つ取り出し, それとノードシンボルの等しい $M4$ 内のノードを候補とする. 取り出したノードとすでに対応の付いているノード間の関係, およびノード属性を4章で述べた方法で評価する. ただし初期状態に関してはすでに対応の取れているノードが存在しないため, ノード属性のみで評価する.

**黒川 雅人 (正会員)**

昭和 59 年京都大学工学部情報工
学科卒業。昭和 61 年同大学院工
学研究科情報工学専攻修了。同年日
本アイ・ビー・エム(株)入社。東京
基礎研究所にて画像データベース、
画像処理の研究に従事。

**洪 政国 (正会員)**

昭和 56 年日本アイ・ビー・エム
(株)入社。東京基礎研究所にて人
工衛星画像処理、画像 DB、マルチ
メディア DB 等画像応用の研究に従
事。昭和 50 年東北大学大学院博士
課程修了。農学博士。イメージの生成や応用、特にメ
ディア産業や人文科学・文化・芸術、博物館・美術館
等への応用に興味をもつ。電子情報通信学会、IEEE、
ACM、韓国情報科学会各会員。