

知覚に基づく類似図形パターン検索 — 群化による階層表現の自動生成 —

新田祐介 曾我真人 今中 武 豊田順一 柳田益造†

大阪大学産業科学研究所
† 郵政省通信総合研究所関西支所

近年、画像データベースの検索方法として、従来のキーワードを用いる手法だけでなくスケッチ画などの画像を直接検索キーとして用いる手法が研究されている。このような検索手法では、検索キーである画像と蓄積画像の特徴の比較から類似度が求められ、この類似度の大きい画像が結果として出力される。したがって、データベース内での蓄積画像の表現が検索結果に影響を与えることになる。そこで、人間の感覚に合った検索を可能にするためには人間の視覚特性を考慮した表現が必要になる。本稿では、人間の視覚特性である群化に基づいた階層的表現を自動生成する方法について述べる。

Similarity Retrieval Based on Human Perception in A Graphic Pattern Database - Automatic Generation of Hierarchical Representation Based on Grouping -

Yusuke NITTA, Masato SOGA, Takeshi IMANAKA
Jun'ichi TOYODA, Masuzo YANAGIDA†

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaragi, Osaka 567, Japan
soga@ai.sanken.osaka-u.ac.jp

† Kansai Advanced Research Center, Communications Research Laboratory,
Ministry of Posts and Telecommunications
588-2 Iwaoka, Iwaoka-cho, Nishi-ku, Kobe 651-24, Japan

Recently, various retrieval methods for image database have been proposed, not only traditional method by keywords, but also new method by key image such as sketch. In this new method, similarity degrees between key image and images in the database are calculated by comparing features of both images. Therefore the representation form based on human vision and perception is necessary in order to retrieve images matching human sensibility of similarity. In this paper, we propose the hierarchical representation form of images of graphic patterns, and method for generating the representation automatically from raw image data. This hierarchical representation form is based on grouping which is one of human visual property.

1. はじめに

画像データベースの研究分野では、検索者の要求を満たす検索結果を得るために様々な検索手法が提案されている。そのひとつに画像の特徴に関する類似度を設定する類似検索法がある[1]。この手法では、あらかじめ抽出されている蓄積画像の特徴と検索キーである画像の特徴との類似度が計算され、その値の大きい蓄積画像が検索結果として出力される。ここで検索結果に影響を与えるのは、特徴による画像データの表現形式とそれに基づいた類似度の設定方法である。特に類似度の設定方法は画像データの表現形式に依存するので、人間の感覚を反映した検索を可能にするためには人間の視覚特性を考慮した画像データの表現が必要になる[2],[3]。

筆者らは、意匠、商標、紋章などの図形パターンを対象とした画像データベースの類似検索法の研究を行っている[4]。この様な図形パターンには、小さな領域から構成されているものが多い。また、人間は複数の部分をひとまとまりとして認識する群化と呼ばれる視覚特性を持つ。したがって、図形パターンを対象にした場合、この群化に基づいた階層的な図形パターンの表現は視覚特性を反映していると考えられる。本稿では、群化を反映した処理を計算機上で扱うことにより、階層的な表現を原画像データから自動的に生成する方法について述べる。以降、2節では階層的表現の必要性和、階層化に必要な計算機上での群化を反映した処理について述べ、3節ではその手法に基づいた階層的表現の自動生成システムについて述べる。

2. 画像データの階層化

2. 1 類似検索における図形パターンデータの表現

2. 1. 1 人間の図形パターンの知覚

図形パターンを対象とした画像データベースにおける検索結果を人間の感覚に近づけるためには、人間の知覚を考慮した図形パターンデータの表現が必要になる。筆者らは、人間が図形パターン間の類似性を決める際にどのような点に着目する傾向があるかを調べるために、次の実験を行った。この実験は、KJ法に基づき、25枚程度の図形パターンを類似性により分類するものである。被験者は15人である。その結果から図形パ

ターンの知覚に関して次のような知見を得た。

- (1) 図形パターンの比較には、形状、大きさ、色、構造、濃度分布、意味など様々な要因が扱われる。
- (2) 図形パターンが部分的に扱われる場合がある。すなわち、複数の構成要素がひとつのまとまりとみなされ、その部分に対して他の図形パターンの持つ要因との比較が行われる。
- (3) 一般に、小さな部分の特徴より大きな部分の特徴の方が重要視される。

(1)の要因には、図形パターンの特徴、意味、概念など図形パターン中のあらゆる情報が含まれる。また、図形パターン中のどの要因に着目するかは被験者によって異なり、同一被験者でも状況により変化する。これらの要因の中で、特徴は信号処理により抽出されるのに対して、意味、概念などは特徴を介して表現される要因である。したがって、計算機上で図形パターンを表現する際には、特に、多様な特徴を扱えることが不可欠である。(2)で記されている、人間が複数の対象をひとまとまりと見る現象は視覚心理学の分野などで、群化、あるいは体制化と呼ばれている。たとえば、図1では、群化によって全体で円や三角形が知覚される。以降、群化によりまとめられた図形パターンの一部を部分パターン、図形パターンの最小の構成要素をプリミティブパターンと呼ぶ。(3)は(2)の群化が関係する現象で、部分パターンの特徴の方がその構成要素の特徴より早く認識されることにより生じる。すなわち、人間の知覚が全体から部分へと移るためにこのような現象が生じる[5]。たとえば、図1では、Aという文字よりも先に円が知覚される。したがって、図形パターンの大まかな類似性を決める場合などでは、(3)の現象が影響すると考えられる。しかし、これらの現象の原因となる群化は図形パターンを見ている時間と関係があり、時間の経過にともない群化されたまとまりからその構成要素に注意が移ると言われている[6]。したがって、大きな部分の特徴だけでなく細かい部分の特

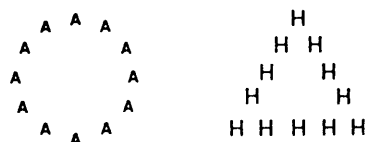


図1 群化が生じる例1

徴も同じように扱えなければならない。

以上より、図形パターン間の類似性を計算機上で扱うためには、次の2つの条件を満たす表現を用いる必要がある。

○図形パターン全体だけでなく、部分パターンを表現することができる。

○各部分パターンに対して、(1)で挙げたようなさまざまな要因が扱える。特に、図形パターンの多様な特徴が扱える。

2. 1. 2 群化による階層的表現

筆者らは、前節で記した条件を満たすためには図形パターンを群化に基づいて階層的に表現することが有効であると考え、この表現形式により、部分パターンを明示的に表現できることになる。したがって、階層の各レベルで部分パターンに対する特徴の抽出を行えば、部分どうしの特徴の比較が可能になる。前節(3)で記した、大きな部分の特徴を重視する機能は、大きな部分から細かな部分へと図形パターン間の特徴の比較を進める階層パターンマッチングにより実現可能である。さらに、図形パターンの最小構成単位であるプリミティブパターンのレベルまでの細かい部分の取扱いが可能である。また、部分パターン間の空間的な配置関係をその上位のパターンの構造と捉えれば、それを特徴として扱うことが可能になる。

この階層化は人間の視覚特性である群化を反映した処理を計算機上で行うことにより可能になる。以下では、人間の群化について調べ、それを計算機上で実現するための手法を提案する。

2. 2 群化による階層化

2. 2. 1 人間の行う群化

筆者らは人間の行う群化を以下の3点から捉える。

- (1) 群化には規則性がある。
- (2) 着目する要因が変わればそれにともない群化する部分が変わる。
- (3) トップダウンに行われる群化とボトムアップに行われる群化がある。

(1)の群化の規則性は視覚物理学、視覚心理学の分野で研究されている[6]。特にゲシュタルト心理学の分野では人間の群化がいくつかの法則としてまとめられている[7]。(2)に関する具体的な現象として、着目する箇所により群化の起こり

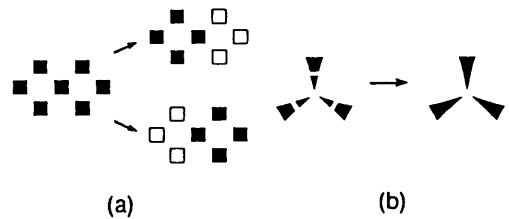


図2 群化が生じる例2

方が変わる場合がある。図2(a)では、左側の3つのプリミティブパターンのどれかに着目すれば、4つのプリミティブパターンから構成されるまとまりが知覚される。反対に右側に着目すれば、右側の4つがひとまとまりに知覚される。また、ある一部分で起こる群化と広い範囲で起こる群化が相互に影響し合う場合がある。図2(b)では、まず左の2つのプリミティブパターンが群化され、さらに全体で群化される。これらの現象は、着目する点の変化により群化が変わることを示している。

(3)で述べたトップダウンの群化は、既知のパターンと類似した部分パターンの集合をひとまとまりとして知覚するものである。また、検索意図などによりあらかじめ着目する要因が決まっている場合に行われる群化もこれに相当すると考えられる。一方、ボトムアップの群化は、対象に関わらずある条件を満たす部分パターンをひとまとまりと知覚するものである。この条件として、接近した部分パターンは群化するなどが考えられる。

図形パターンを階層的に表現する上で、以上のような人間の群化に関する特性がどのように影響するかを調べるために、筆者らは次の実験を行った。この実験は、1つの図形パターンを分割し、階層構造を生成してもらうものである。この実験で被験者が行う分割は群化に従っていると考えられる。つまり、分割される部分は群化されてひとまとまりと見なされる部分であると考え、この実験より次の知見を得た。

○ひとつの図形パターンに対する階層化が、被験者によらず一通りになる場合は少なかった。

○この様な複数存在する階層化は、どの図形パターンを対象にした場合でも数通りの範囲に閉じている。

数通りの階層化が生じる原因として、群化を行う際にどの部分パターンを対象にするか、それら

のどの要因に着目するかにより群化される部分が変わってくることが考えられる。しかし、数通りの階層化に限定されるのは群化に規則性が存在するためである。また、同じ対象でも群化を行う判断基準が状況により変わることも関係すると考えられる。

2. 2. 2 計算機上での群化と階層化

前項に基づけば、計算機上で群化を反映した処理を行なうためには以下の2点が必要である。

- (1) 画像データからボトムアップ処理により群化を行なうためのルールの設定
- (2) 対象とする要因に応じて(1)のルールの適用を行なう機構の導入

(1)のルールは、群化が起こる条件を画像中の特徴に関してまとめたものである。この際に扱われる特徴は画像処理により抽出可能なものに限る。また、計算機上で群化を行なう際に、予測できるモデルを予め用意することは難しいこと、モデルと部分パターンのマッチングの組み合わせ数が膨大になることなどの理由から、トップダウンの処理は困難であると考えられる。一方、ボトムアップの群化では、実際に人間では行わない群化が生じる可能性がある。しかし、ルールの適用による群化の中に人間が行うほとんどの群化が含まれていると考えられる。(2)の機構はルールの適用を行うだけでなく、図形パターン中の様々な箇所で行われる複数の群化を管理する機能を持たなければならない。筆者らは(1)のルールを群化ルール、(2)の機構において、現在いずれの要因を対象とするかを視点と呼ぶ。したがって、(2)は視点の設定を行う機構である。また、計算機上で扱う要因は図形パターンの特徴に限定する。

人間が行う複数通りの階層化は、計算機上では群化ルールの適用により起こり得る全ての群化を候補として扱うことで解決される。その際に群化の候補数が計算機で扱える範囲を越え、無駄な階層化が行われることは無いと考える。

2. 3 群化ルール

2. 3. 1 群化ルールの分類

人間の群化が起こる範囲は、図形の一部分で起こる場合と広い領域で起こる場合に分けられる。すなわち、近傍の関係のみで起こる群化とそれらの相対的な関係により起こる群化がある。した

がって、計算機で行う群化も対象とする範囲によって分けて扱う必要がある。プリミティブパターンから構成される図形パターンでは、まとまりの単位が部分パターンになる。したがって、範囲の分類は部分パターンを基準にして行う必要がある。これに基づいて行った群化の分類は以下の2つになる。

○隣接する2つの部分パターン間の関係のみで決まる局所的な群化

○図形パターン全体における部分パターンの相対的な関係から決まる大域的な群化

さらに、群化が行われる状況は部分パターンの特徴により分類することができる。以下では、局所的な群化と大域的な群化に分けて、特徴に関する群化の分類を行う。

2. 3. 2 局所的な群化ルール

局所的な群化は対象となる特徴の違いから、輪郭線による群化と部分パターン間の配置関係による群化に分けられる。輪郭線による群化は状況の違いから、さらに次の2つに分類される。

- (1) 隣接する部分パターンにおいて、それぞれの輪郭線の一部が連続している場合
- (2) 隣接する部分パターンの隣接する部分の輪郭線が並行で、かつ長さが等しい場合

(1)、(2)はそれぞれ、2本に切断された輪郭線が元の1本につながる状態、2本に裂かれた領域が元の1つの領域に併合される状態に相当する(図3(a))。

配置関係による群化は部分パターンの形状だけでなく、向き、位置関係などから決まる。この群化ではこれらの特徴の違いから以下の2通りの場合が考えられる。

- (1) 近接した部分パターンの大きさが揃ってい

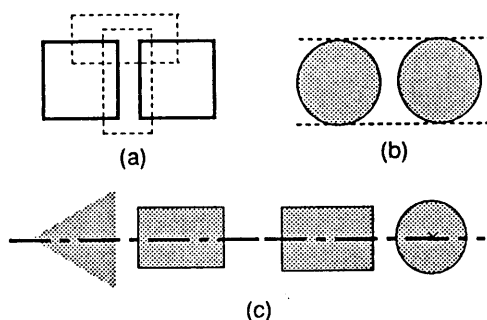


図3 局所的な群化ルールが適用される例

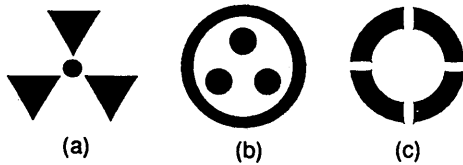


図4 大域的な群化ルールが適用される例

る場合 (図3(b))

- (2) 中心軸が同一線上, あるいは中心軸上に他の部分パターンの重心が位置する場合 (図3(c))

以上のような局所的な群化が起こる場合の規則を局所的な群化ルールと呼ぶ。これらのルールは異なる特徴を扱うが、基本的に対象の空間的な連続性に基づいている。したがって、人間の知覚における分節過程が反映されていると考えられる。

2. 3. 3 大域的な群化ルール

大域的な群化は複数の部分パターン間で共通点を持つ場合に生じる。たとえば、複数のプリミティブパターンにおいて、形状が類似している、周囲の部分パターンとの配置が類似している、などの場合がそれに相当する。図4(a)は形状、配置の類似により群化される。図4(b)は丸いプリミティブパターンは全てリングの内側に閉じこめられているという共通点を持つために群化される。

また、同一の群化ルールによる局所的な群化が連続して起る場合、形成された部分パターンはさらに群化される。この場合では、同じ局所的な群化が行われるというような状況の共通性から大域的な群化が行われる。図4(c)にこの条件により群化される例を示す。ここでは、4個のプリミティブパターンが1つのリング状に群化される。大域的な群化が起こる場合の規則を大域的な群化ルールと呼ぶ。

2. 3. 4 ゲシュタルト心理学と群化ルールの関係

ここで、これらの群化ルールとゲシュタルト心理学の関係について述べる。局所的な群化はゲシュタルト心理学の「近接の法則」や「良い連続の法則」と関係する。一方、大域的な群化は「類同の法則」などに相当する。群化ルールでは明示的に扱われていない群化もいくつか存在する。たとえば、ゲシュタルト心理学には、対称的になる部分パターンはまとまりと見られるといった「対

称の法則」がある。群化ルールにはこれと同意なルールは存在しない。しかし、対称関係にある部分どうしは多くの共通する要因を持つために、大域的な群化ルールでそれらを群化することは可能である。また、「良い図形の法則」は、輪郭線に対する群化ルールにより生じる閉曲線に対して安定性を定義することで、扱うことが可能になる。このように群化ルールによりまとめられた部分パターンは、ある程度ゲシュタルト心理学の法則を反映していると考えられる。

2. 4 視点の設定と群化ルール

2. 4. 1 視点の分類

筆者らは、現時点で計算機が対象としている項目を視点と定義する。したがって、視点は、対象とする範囲、およびその範囲において着目する特徴により決まる。以降では、この視点を分類し、群化ルールの適用との関係について述べる。

視点は、対象とする範囲の違いから、大域的な視点と局所的な視点に分類される。局所的な視点は1つの部分パターンとその近傍にある部分パターンを対象にする。一方、大域的な視点は全ての局所的な視点、すなわち、図形パターン全体を対象にする。それぞれの視点は、その範囲でいずれの特徴に着目するかを決めることにより設定される。したがって、特徴の分類は局所的な視点と大域的な視点に分けて行う必要がある。まず、局所的な視点において扱われる特徴は、プリミティブパターンの形状と周囲のプリミティブパターンとの関係、すなわち、輪郭線間の距離、重心、中心軸、対称軸による配置関係、輪郭線どうしの連続性である。したがって、局所的な視点はこれらの

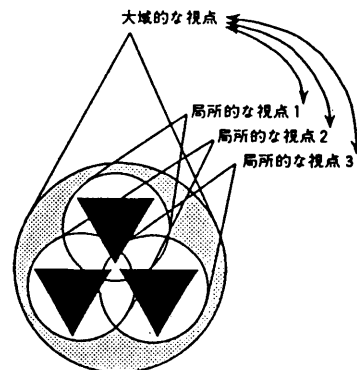


図5 大域的な視点と局所的な視点の関係

特徴のどれに着目するかにより決まる。これに対して、大域的な視点で扱う特徴はその時点で局所的視点で扱っている特徴と同じになる。したがって、局所的な視点で特徴が決まれば大域的な視点での特徴が決まることになる。また、大域的な視点で扱う特徴により他の局所的な視点での特徴が決定される。たとえば、あるプリミティブパターンの形状に着目する時、大域的な視点を通して、他のプリミティブパターンに対する局所的な視点でも形状に着目する。また、局所的な視点により輪郭線に対する群化ルールが適用されれば、大域的な視点や他の局所的な視点でも同様に輪郭線が対象になる。局所的な視点と大域的な視点の関係を図5に示す。

2. 4. 2 視点の設定と移動

視点の分類に基づけば、視点の設定は次の順序で行われる。まず、ある1つのプリミティブパターンにおいてどの特徴に着目するか、すなわち1つの局所的な視点が決まる。次に、大域的な視点で扱う特徴が決まり、それに伴い他の局所的な視点で扱う特徴が決定される。

また、視点の移動には次の3通りが考えられる。

- (1) 局所的な視点において対象とする特徴の変更
- (2) 局所的な視点の移動 (対象とする部分パターンの変更)
- (3) 局所的な視点から大域的な視点への移動

群化ルールの適用は視点に依存する。すなわち、局所的な視点では局所的な群化ルールが、大域的な視点では大域的な群化ルールがそれぞれ適用される。したがって、視点が設定される各段階で群化ルールの適用が行われる。

階層化が数通り生じるのは、どのプリミティブパターンに対して局所的な視点が決まるのか、その時どの特徴が着目されるかにより、群化される部分が変わることが原因である。また、群化ルールの基準をゆるめることにより新たに群化される部分が生じる。たとえば、同一形状という基準を類似形状に変えれば、条件に適合する範囲が明らかに増える。このようなルールの適用基準は個人によって異なり、また、同一人物でも状況により変化する。したがって、計算機上でこれらのルールの適用基準の変化を扱うためには、個人差、状況の把握を扱う必要がある。

2. 5 階層化処理と階層化ルール

2. 5. 1 階層化ルール

群化ルールの適用により図形パターンを群化に基づいて階層化することができる。この階層化は2. 1. 2で述べた実験のような図形パターンを分割していく処理により行われる。したがって、この際に必要とされる処理は次の2点である。

- (1) 視点の移動による起こり得る群化の抽出
- (2) 群化を実行することによる図形パターンの分割

(1) では、前節の手順に従い群化ルールを適用することにより対象となる部分パターンの中で起こり得るすべての群化が調べられる。(2) では、これらの群化の候補に対して実際に群化を実行するものが決定される。その際の判断基準を示したのが階層化ルールである。階層化ルールを以下に示す。

○群化の候補の中で、新たに形成される部分パターンが他の部分パターンに含まれるような小さな範囲の群化は行われない。

○互いに関係しない部分パターンが形成される場合、すなわち群化する際に重複するプリミティブパターンを持たない場合、それらは同時に群化される。

はじめのルールは、できるだけ細かなレベルまで階層化が行われるために設定されている。したがって、実際に人間が知覚するものに比べ、より細かい階層化が行われる可能性がある。後のルールは、群化されるプリミティブパターンの集合とそれ以外の部分は独立に扱われることを示す。したがって、以後の処理ではそれぞれが単独で扱われる。

2. 5. 2 階層化処理

階層化の処理手順は次のようになる。

- (1) 全ての群化の候補の選出
- (2) 階層化ルールの適用による群化の実行
- (3) それぞれの群化に対して、図形パターンの分割
- (4) 分割された各部分パターンに対する(1)から(4)の処理の繰返し

これらの処理は、まとまりの最小単位であるプリミティブパターンに分割される時に終了する。

(2)の処理で実行される群化が変われば、階層化も変わる。したがって、複数通りの階層化が行われることになる。この手順で処理することによ

り、図形パターンが最終的に全てプリミティブパターンに分割され、その過程がその図形パターンの階層化を表現することになる。

3. 階層的表現の自動生成

3. 1 システムの概要

筆者らは2節で述べた階層化処理に基づいて、図形パターンの階層的なネットワーク表現を自動生成するシステムの試作を行った。対象は商標などでよく見かけられる2値の図形パターンである。このシステムは、次の2つのモジュールから構成されている。

○部分パターン間関係ネットワーク生成部

○階層ネットワーク生成部

このシステムでは、群化の候補をすべて調べ、それらに対して階層化ルールを適用することにより階層化を行う。部分パターン間関係ネットワークは、群化ルールを適用することにより形成される全ての部分パターンを表す。階層ネットワークは図形パターンを階層的に表現するもので、部分パターン間関係ネットワークに階層化ルールを適用することで生成される。以降で各部分での処理について説明する。

3. 2 部分パターン間関係ネットワークの生成

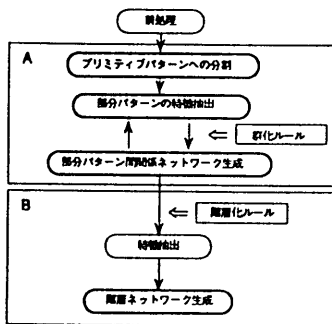
3. 2. 1 部分パターン間関係ネットワーク

部分パターン間関係ネットワークでは、各部分パターンが1つのノードに割当てられ、部分パターンの特徴がノードの属性になる。ここではプリミティブパターンも1つの部分パターンとして扱われる。また、群化ルールの適用によって部分パ

ターンが形成されるたびにノードが追加される。

これらのノード間には、part-of 関係、独立関係の2つの関係がある。part-of 関係は、群化ルールが適用された部分パターンと、それにより生成された部分パターンの関係を指す。以降では、群化ルールが適用されたノードを下位ノード、それにより生成されたノードを上位ノードと呼ぶ。この関係にあるノード間には part-of リンクが張られる。一方、独立関係は、重なり合わない部分パターン間の関係を指す。すなわち、これは part-of 関係にある下位ノードに共通するものを持たない上位ノード間の関係である。

局所的な群化ルールは、独立関係にあるノード間に適用される。換言すれば、重なり合った部分パターンどうしに対して局所的な群化ルールが適用されないことになる。群化ルールが適用されたノード間にはその関係を表すリンクが付与される。一方、大域的な群化ルールは part-of 関係にないノードに対して適用される。これは、大域的な群化は part-of 関係にある部分パターンどうしを同時に対象とする場合はないことを示す。図7は図中の図形パターンを部分パターン間関係ネットワークにより表現したものである。ここでは、3つの三角形のプリミティブパターンに対し、同一形状であることから same_shape、それぞれの対称軸が小さな円のプリミティブパターンの重心を通ることから on_same_center_line のリンクが張られている。また、外側のリング状のプリミティブパターンは他の全てのプリミティブパターンを内側に含んでいることから、このプリミティブパターンのノードからそれぞれのノードに対して include のリンクが張られている。群化ルールにより生成さ



A: 部分パターン間関係ネットワーク生成部
B: 階層ネットワーク生成部

図6 処理過程

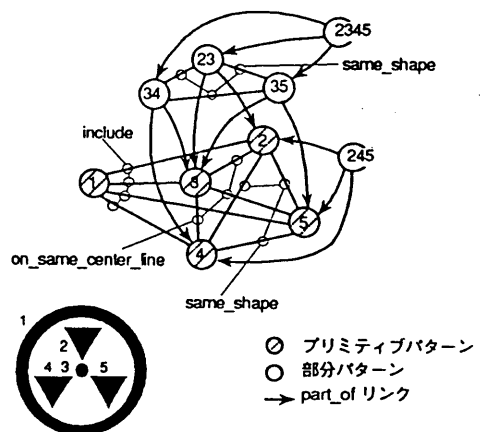


図7 部分パターン間関係ネットワーク

れた部分パターンに相当するノードには下位パターンとの間に part-of リンクが張られている。また、部分パターンに相当するノードに対しても群化ルールが適用され、さらに上位のノードが生成されている。

3. 2. 2 部分パターン間関係ネットワーク生成部

部分パターン間関係ネットワーク生成部は次の3つの処理過程から構成されている。

- (1) 図形パターンのプリミティブパターンへの分割
- (2) 部分パターンの特徴抽出
- (3) 群化ルールの適用による新たなノードの生成

(1) では、今回対象とした画像は2値の図形パターンなので、黒くベタ塗りされた領域をプリミティブパターンと定義する。また、対象とする図形パターン中のプリミティブパターンどうしはあらかじめ分離している。

画像データをプリミティブパターンに分割する過程では、対象とする画像やプリミティブパターンの定義の仕方により処理方法が異なる。たとえば、線画で構成されている図形パターンの場合、閉じた領域がプリミティブパターンと定義される。また、同じベタ塗りの図形パターンでも、プリミティブパターンどうしが接触したものも少なくない。このような場合には、主観的な輪郭線に基づく補間を行う処理が必要となる。

(2) の処理では、群化に必要な特徴だけが抽出される。群化の際に必要なとされる部分パターンの特徴は、形状、重心、中心軸、対称軸である。本システムでは、形状は周囲長、頂点の数、対称軸の本数の3つの特徴量で表すことにする。この処理は、群化ルールの適用により新たなノードが生成されるたびに行われる。

(3) では、視点の設定、移動、それにとともなう群化ルールの適用が行われる。この処理は、部分パターン間関係ネットワーク上のノードに対して行われる。局所的な視点は独立関係にあるノードの中で空間的に近い関係にあるノード間に対して設定される。局所的な視点で対象となる部分パターンの特徴はノードの属性として表されている。局所的な視点に対して、局所的な群化ルールの適用の可能性の有無が調べられる。一方、大域的な視点では、形状に関する特徴、配置を表す特

徴などの共通性が対象となる。ネットワーク上では、これらの特徴はノードの属性、あるいはノード間のリンクの属性として表されている。したがって、大域的な視点はノードの属性、そのノードに付与するリンクの属性に対して設定される。大域的な視点に対して、大域的な群化ルールの適用の可能性の有無が調べられる。図7の部分パターン間関係ネットワークでは、ノード2、4、5がノード1に対して include、ノード3に対して on_same_center_line という同じリンクが張られていることにより大域的に群化される。また、同じルールで局所的な群化が行われている部分は、大域的な群化ルールによりさらに群化される(図4(c))。このことは局所的な群化を続けて行う場合に生じるような無駄な群化を避けることにつながる。

局所的な視点の移動は対象とするノードの変更、対象とするノードの属性の変更により行われる(図8)。一方、大域的な視点の移動は対象となるノードの属性の変更、そのノードに付与されたリンクの属性の変更により行われる(図9)。システム上では、局所的な視点と大域的な視点を並列に管理することは難しい。そこで、局所的な視点と大域的な視点は分けて扱われる。つまり、局所的な視点による群化が一通り行われた後に大域的な視点による群化が行われる。

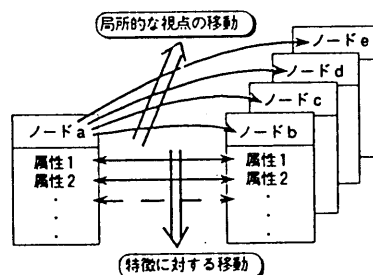


図8 局所的な視点の移動

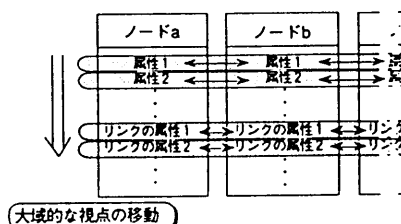


図9 大域的な視点の移動

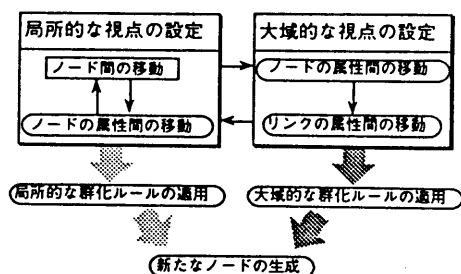


図10 視点の設定と移動

群化ルールが適用された場合、新たな部分パターンに相当する上位ノードがネットワーク上に生成される。この時、ルールが適用されたノード間にはその関係を表すリンクが張られる。また、これらのノードから新たな上位のノードに対して part-of リンクが張られる。

このような新たなノードの生成は、それと同じ部分パターンに相当するノードが既に存在する場合には行われない。この時はリンクの追加のみが行われる。

以上、視点の設定と移動に関してまとめると次のようになる。まず、局所的な視点に対して対象とするノードの属性が決められ、局所的な群化ルールが適用される。次に、局所的な視点自体の移動が行われ、その時点の全ての局所的な群化が行われる。その後、大域的な視点の設定により大域的な群化ルールが適用される。以降、この処理が繰返され群化の候補がノードとして生成される(図10)。

3.3 階層ネットワーク生成部

3.3.1 階層ネットワーク

階層ネットワークは図形パターンの part-of 階層構造を表している。この階層ネットワークでは、親ノードが図形パターン全体に、末端のノードがプリミティブパターンに、中間のノードが部分パターンにそれぞれ対応する。各ノードは属性値としてそのノードの表す部分パターンの特徴を持つ。また、ノード間の関係は次の2種類のリンクで表されている。

(a) ノード間の part-of 関係を表すリンク

(b) part-of 関係において、上位ノードに相当する下位ノードの集合を表すリンク

(a) のリンクは、群化されたノードとその群化により生成されるノードの関係を表す。すなわち、部分パターン間関係ネットワークのノード間

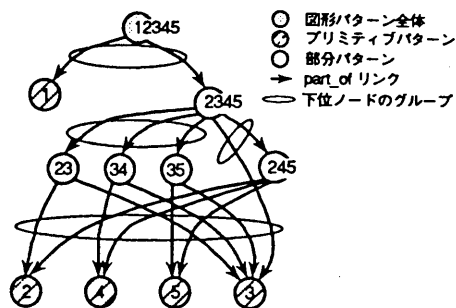


図11 階層ネットワーク

の part-of 関係を表す。一方、(b) のリンクが張られたノードの集合は、それらの上位ノードに当る部分パターンを群化により分割した状態に当たる、より小さい部分パターンの集合となる。これらの下位ノードの集合の配置関係が上位ノードの部分パターンの構造になる。図7で部分パターン間関係ネットワークで表現した図形パターンを階層ネットワークにより表現したものが図11である。ここでは、(b) のリンクが張られるノードの集合が長円で囲まれている。

3.3.2 階層ネットワークの生成

階層ネットワークは、(1) 階層化ルールの適用による階層化、(2) 構造の抽出と部分パターンの表現に必要な特徴の追加、により生成される。(1) では、階層化ルールにより前記の2種類のリンクを張ることで階層化が行われる。まず、(a) のリンクは、階層化ルールに従って部分パターン間関係ネットワーク中の part-of 関係を調べることで付与される。つまり、この処理では、部分パターン間関係ネットワーク中の不要な part-of リンクの削除と不足している part-of リンクの追加が行われる。不要なリンクの削除は可能な限り多くの段階に分けられた階層構造を生成するために行われる。この時、より細かな段階を表すリンクだけが残される。たとえば、図11では(2345)で表されたノードの part-of リンクは2組になる。また、部分パターン間関係ネットワークでは、全ての群化を関係付ける情報はない。したがって、上位のノードを持たないノードが存在する。たとえば、図7の例のように、図形パターン全体に対するノードは必ずしも群化により生成されないため、上位ノードを持たないノードが存在する。不足するリンクの生成はこの様なノ

ドに対して行われる。以上の処理では、階層化ルールは、上位のノードから下位のノードにリンクを張る場合、構成するプリミティブパターン数が最も近いノード間にリンクが張られることに対応する。逆に、各ノードを構成するプリミティブパターンの集合と捉えれば、このルールは、下位ノードの集合を全て含む上位ノードの中で最もプリミティブパターン数の少ないものに対してリンクが張られることを表す。

(b) のリンクはノードのグループ分けを行うことにより生成される。このグループ分けは、独立関係にあるノードの集合を作り、その集合に含まれるプリミティブパターン数と同数のプリミティブパターンを持つノードが存在すれば終了する。この集合に属するノードにより part-of 関係の上位のノードが構成されることになる。このようにして生成されるネットワークのノードを最上位から末端に向かってとどっていくことが、図形パターンをプリミティブパターンに分割する過程に相当する。

(2) の処理では、階層化されたネットワークに対して、階層間の関係を表す構造の抽出と群化ルールで扱われない特徴の追加が行われる。構造は部分パターン間の配置関係から決まる特徴であるので、階層ネットワーク中の同一レベル内にあるノードの配置を表す属性値の比較により抽出される。ここでは、構造に名称を付け、これを明示的に扱うことにする。そのために、あらかじめいくつかの構造を部分パターン間の配置関係で定義

しておいた。定義された構造とノード間の配置関係のマッチングにより構造名の抽出が可能になる。構造を明示的に扱うことにより、図形パターンどうしの階層表現間のマッチングが容易になる。

図12に、本システムで実際に処理を行った結果を示す。これは図7で例として用いられている図形に対し階層化を行った結果である。

4. おわりに

本稿では、図形パターンの階層的な表現を原画像データから自動的に生成する手法について述べた。この階層的表現は、人間の群化を反映した処理を計算機上で行うことにより可能となる。

今後の課題として、(1) 実際の図形パターンでは、プリミティブパターンの設定が困難な場合があること、(2) 群化ルールの適用基準の動的な変化の実現が不可欠であること、が挙げられる。(1) は実際に使用されている図形パターンを扱う場合に、一方、(2) はスケッチ画などの曖昧な図形パターンに対する処理を行う際に必要となる。

参考文献

- [1] 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", 情処論, Vol.31, No.2, pp.227-237(1990).
- [2] 松下 博, 乾 敏郎: "形状の階層的記述の自動生成", 信学技報, PRU88-29, pp.65-72(1988).
- [3] 盛田 栄, 長嶋祐二, 長嶋秀世: "表象図形の記述方法に関する検討", 信学技報, PRU87-111, pp.15-22(1988).
- [4] 曾我真人, 新田祐介, 今中 武, 上原邦昭, 豊田順一: "構造を持つ図形パターンのデータモデルについて", 機能図形情報システムシンポジウム講演論文集, pp.93-98(1990).
- [5] W.P.Banks and W.Prinzmetal: "Configurational Effects in Visual", Perception & Psychophysics, Vol.19(4), PP.361-367(1976).
- [6] 行場次朗: "パターン知覚における全体と部分の優位性", 信学技報, PRU86-57, pp.361-367(1986).
- [7] David Marr: "Vision - A Computational Investigation into the Human Representation", W.H.Freeman and Company(1982).
- [8] K.T.Spoehr, S.W.Lehmkuehl / 芋阪直行他訳: "視覚の情報処理", サイエンス社(1988).

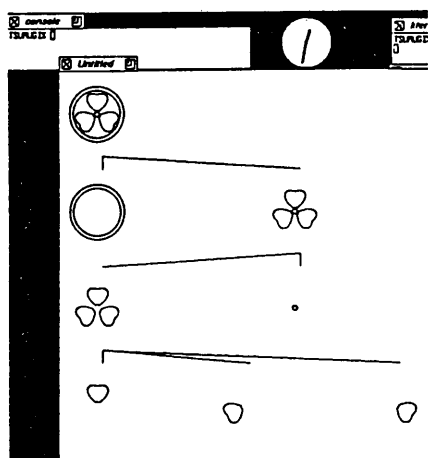


図12 処理結果の例