

定性的特徴量による線画解釈 3次元物体認識

舟橋康行, 藤本英雄, 深谷顕成

機械工学科

(1991年8月31日受理)

Three Dimensional Recognition using Line Drawing Interpretation with Qualitative Features

Yasuyuki FUNAHASHI, Hideo FUJIMOTO, Akinari FUKAYA

Department of Mechanical Engineering

(Received August 31, 1991)

This paper deals with the flexible recognition method of three-dimensional objects. In particular in cases where correct line drawings can not be acquired because of the breaks in line elements, noise, and the lack of surface elements, this new method can recognize them.

The characteristics of the method are the usage of structured data in extracting line elements from a picture, an excellent method for the restoration of linedrawing, and an extract method under special circumstances. These circumstances correspond to objects that possess inner surfaces inside inner surfaces.

For another kind of characteristic, the method uses qualitative features so as to recognize objects. In order to create a shape outline, the judgement of similarity by Fourier descriptors and the usage of several kinds of characteristic values for a shape are also used.

Moreover, the usage of an effective model for the breaks of a line, and the excellent controls in recognition processes are included in the method. Good results have been reported since the applications of this method to several kinds of industrial products.

1. 緒言

物体認識に用いられる特徴量は定性的特徴量と定量的特徴量に分けられる。定量的な特徴量は誤差の影響を受けやすい。一方、定性的特徴量は物体の見え方の変化や不完全線画に対しても柔軟な認識を行うことができる可能性がある。本論文では、任意の向きを持った3次元物体を対象とし、線要素の途切れやノイズ、面要素の欠落によって正確な線画が得られない場合に柔軟な物体認識を行うことを目的とする。まず、画像からの線要素抽出に構造化データを用いること、内部面の中に内部面がある場合の抽出法や線画の修復に工夫する。次に、物体認識に定性的特徴量を用いる。形状輪郭(シルエット)の利用としてフーリエ記述子による類似性の判定に加え、形状に関する各種特徴量の組み合わせ利用を行う。さらに、線の途切れを考慮したモデルを用いることや、認識過程の制御に工夫をしたシステムの構成を行う。いくつかの工業製品に対して実験を行い、結果を考察する。

2. 画像からの構造化データの生成

2.1 構造化データの生成

入力画像が与えられてから構造化データを抽出するまでの処理の流れはFig.1に示す。トポロジカルな構造化データの抽出は、外部面の線要素ループ抽出、内部面の線要素ループ抽出、および線要素ループ解析の3つの段階を踏んで行われる。入力画像は、縦256、横256画素、1画素256階調の濃淡画像である。トポロジカルな構造化データ表現とは、ひとつの物体(OBJECT)を、殻(SHELL)・面(FACE)・稜(EDGE)頂点(VERTEX)に加えてEDGEの種類・角度ベクトル・長さというように、階層化したデータ構造であらわすことである。

2.2 線画からの構造化データの抽出

外部面の線要素ループ抽出とは、線画の中から輪郭線のループを抽出する行程である。この面を発見するには、まず、左上から右下に向け順に走査していく。はじめて発見した点を中心に3×3のマスキを取り、時計回りに走査し、初めて発見した点をK(次回走査中心)とする。つぎにC(センタ)をK(次回走査中心)に移し、LC

(先回の走査中心)の右となりから、時計回りに走査し、初めて発見した線要素をK(次回走査中心)とする。このように次々とポインタを移動させてゆき、センタの座標と種類を順番に線要素メモリに格納してゆけば、外部面ループを得ることができる。不完全な線画や髭がある場合、いったん一番近いノードまで戻るなどの工夫をしている。

内部面の線要素ループ抽出も基本的には外部面と同じである。ただ、確実に物体内部の面ループを得るため幾つかの工夫をしている。センタを中心にマス目をとったとき、反時計回りと時計回りの巡回方向を表す2種類の走査場を導入する。2種類の走査場を判定するノードのスイッチや面ループが外部面にかかるときに用いるノードジャンプの処理を行う。

線要素ループ解析は、外部面の線要素ループ抽出および内部面の線要素ループ抽出で得られた面ループの線要素メモリを解析し、線の構造、種類を所定の方式に分類する。この線要素ループ解析の役割は、線の直線区間と曲線区間の判別を簡素に示すことである。線要素ループ解析は、前処理、一次判別、二次判別、直線決定、終了検査の流れで行われる。

2.3 内部面の中に内部面がある場合の抽出法

内部面に囲まれる内部面を抽出でき、さらに独立面の抽出も合わせて行なうことができる線要素ループ抽出法を提案する。

Fig.2を例にして説明する。まず、1回目の線要素ループ抽出で、外部面を通る内部面要素をすべて抽出する。この時それぞれの線要素に、O(輪郭線要素)、N(外部ノード)、 N_i (内部ノード)、B(内部線要素)のラベルが付けられる。次に、外部輪郭線要素と、外部ノードと内部ノードを結ぶ内部線要素を線要素探索メモリから除外する。これは、内部面の中に囲まれた内部面と未走査の線要素及び独立面要素CとDを探索範囲に残すためである。除外した結果をFig.3の破線で示す。探索範囲は、Fig.3のようにウィンドウを使って制御する。ウィンドウは1回目の外部面要素抽出の時にFig.3のW1が設定される。2回目の走査として、1回目の外部面の走査の時に指定した、ウィンドウ(W1)内で未走査の線要素をラスタ走査で探す。この場合、先ほどクリアしなかった内部面に囲まれた内部面の輪郭線要素が発見され、線追跡による線要素ループ抽出を1回目と同様に行い、Fig.4で示した面要素を抽出する。そして、Fig.3のこれ以上走査しなくてもよい線要素を探索範囲から除外していく。この例の場合、走査を最後まで行くと、W2内の内部面の内部面B→独立面Cを抽出し、W1内の独立面Dを抽出して、すべての面要素が抽出する。この走

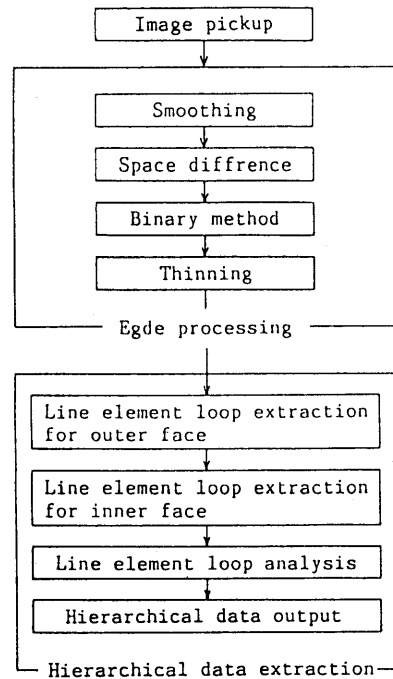


Fig.1 Extraction of Hierarchical Data

査を繰り返すことによって、全ての線要素を面要素の位置関係(構造)を考慮した、階層化したデータ構造で面を抽出することができる。この方法の特徴は、線要素ループ抽出の探索範囲をウィンドウを用いることによって効率よく、すべての面を抽出できる。

2.4 不完全画像の修復

ノイズなどの影響により点の欠如(1点から数点)により、線要素が途切れた場合の修復を行う。前述の線要素ループ抽出は 3×3 のマスキによる点追跡なので、そのマスクの先の線要素は走査されない。修復方法は、線要素ループ抽出のときに途切れた点を疑点(D)としてメモリに格納しておき内部面要素抽出の後に、この点を頼りに途切れた線を修復する。そして、線が途切れた場合、1回目の線要素ループ抽出後、いくつかの疑点が発見される。次に修復処理ルーチンとして、ある疑点と他の疑点の間で、線画の修復が可能であるか判断し、可能であればその疑点間を線の途切れを滑らかに結び、修復して分割された面要素を構成し直す。

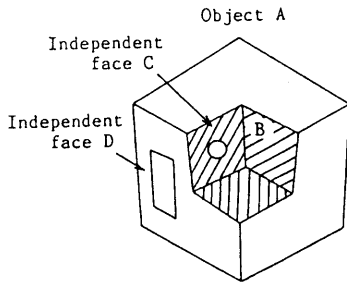


Fig. 2 Object

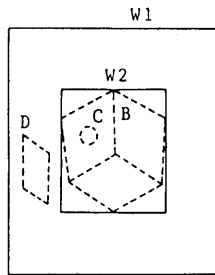


Fig. 3 Window

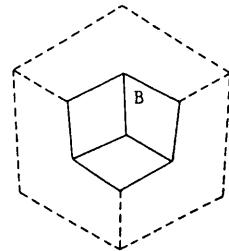


Fig. 4 Inner Face Inside Inner Face

3. 定性的特徴量

3.1 フーリエ記述子による形状輪郭

画像認識¹⁾では、少数の異なる形状の物体には、高速性が要求される場合、しばしば、シルエットが用いられる。一般性をもった形状パターンの特徴量としてフーリエ記述子がある^{2) 3)}。本研究では低周波成分に情報が集約され、比較的に開曲線に適用できる特徴をもつP形記述子を用いることにする。P形記述子の低域成分 $c(k)$ ($k \leq N$)は曲線の形状に関する情報を多く含んでいる。従って、 $c(k)$ をパターン認識におけるいわゆる特徴パラメータとして用いることができる。このとき、曲線Cがなんらかの変換を受けて得られる曲線Cの記述子 $c(k)$ と、もとのCの記述子 $c(k)$ との関係は、平行移動、拡大縮小には不変であり、回転は絶対値1の複素定数倍を除いて不変である。始点の移動についてもある関係が知られている。

本システムでは、予め数種類のモデルデータが見え方に対応して与えられている。そのモデルのフーリエ係数にしたがって、少数の低域成分のフーリエ係数を利用し画像との類似性の評価で認識するものである。照合方法として、例えば2つの曲線A, Bがあり、それらのフーリエ記述子を $a(k)$, $b(k)$ とした場合、両者の形の類似性はそれぞれの係数の絶対値を用いて、

$$e = \sum_{k=-N}^N || a(k) | - | b(k) ||^2$$

によって計算する⁴⁾。これによって、得られた画像と予め作成したモデルの間で類似度がわかるので、数種類のモデルとのフーリエ係数の類似度を比較して、物体認識判定を行う。ここで、Aを画像の輪郭線、Bをモデルの輪郭線とすれば物体認識の照合ができる。

照合の時の判定は面要素単位の見え方を考慮にいれて、柔軟な判定を行う。まず、類似度が t より小さければ、モデルと画像がほとんど類似しているとみなし、そのモ

デルを認識結果とする。または、対象モデル群の中で類似性がいちばんよく、他のモデルと比較して偏差がかなり小さければそのモデルも認識結果とする。しかし、類似度が大きかったり、同じような類似性のよい値が複数ある場合、後述するさらに他の定性的な特徴量の照合を行う。そのとき、照合候補モデルは類似性のよい順番のモデルから行う。そして、画像と候補モデルの他の定性的な特徴量の照合を実行した結果が一致すると判断できたとしたら、その物体の種類・向きを認識結果として出力する。

ここで、フーリエ記述子だけで、認識結果を出力しないのは、シルエットの情報だけでは、内部面要素の構成が判断できない場合があるからである。また一方、画像認識では特徴量選択の問題があり、物体の本質的な特徴は一つの特徴量で記述できるとは限らない。

このシルエットの表現法であるフーリエ係数の類似性を用いることの特徴としては、簡単な3次元物体で少数の安定な姿勢をもついくつかの物体を迅速に識別することができる。

また、後で説明する内部面要素の照合を全てのモデルデータに対して実行するのは非効率であるので、フーリエ記述子の類似性によって、モデルデータのうちに、照合の成功の可能性のあるものだけに照合を実行するために、照合順序を制御し、候補を効率よく選択できる。

3.2 定性的特徴量

構成要素特徴量としては、外部面、内部面、独立面の直線要素、曲線要素の数量を使う。さらに、形状の特徴量として、楕円、柱、多角形等の面要素の形状や複雑度、接合性を用いる。複雑度は図形形状の複雑さを測る特徴量で、図形が円に近いとき最も小さくなり、値が小さいほど、図形がまとまっている。図の大きさ、位置及び方向に関して不変である。

接合性は、Fig.5のように、内部面のノード間の内部線要素を、凹凸の性質を簡略化した、+, -, 0の表現

を使ってノード間の性質を分類する。ここで、+はノード間が凸の状態にある、-はノード間が凹の状態にある、0はノード間がほぼ直線である（凹でも凸でもない）を示している。

Fig.5(a)(b)を見れば、同じノード間の内部面要素をもつ2つの相対する面は必ず(+, -), (0, 0)の関係にあることがわかる。

接合性の分類の判定は、線要素ループ抽出で、面要素の抽出としては、面ループは常に物体を右にみて格納されるので、Fig.5(c)のようにノード間の始点(S)と終点

(E)を直線で結び、内部面要素のノード間の中間部分の線要素(c)が始点から終点に向けて、左側にあれば+、右側にあれば-であると判定する。この接合性の特徴は、画像がノイズなどにより線要素が乱れた場合に、直線・曲線要素の取扱いが不完全になっても、物体の持つノード間でのより大局的な範囲で、柔軟な分類ができる。エッジ処理で余分な微小面要素ができた場合、その部分のノードができることがあるので、微小面要素の除去を行う必要がある。

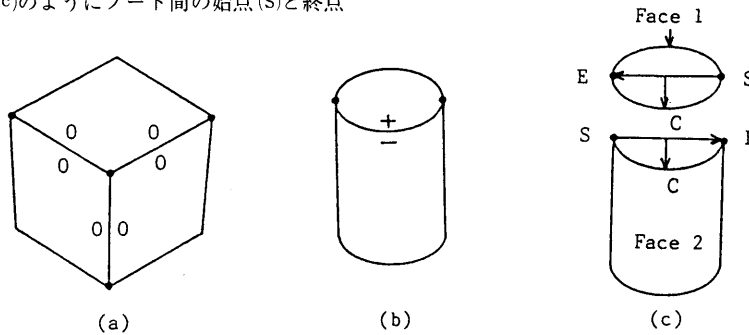


Fig.5 Type of Connection

4. 物体認識システム

4.1 システムの概要

物体認識システムでは、線画の構造化データと予めシステムに与えられているモデルデータとを照合させて画像内に存在する物体の種類と向きを出力する。本認識部では、構造化データ抽出部から得られた限られた情報のなかで状況に応じて段階別の照合を実行し、線画の途切れなどによる不完全線画に対しても柔軟な認識処理をさせる。これにより、認識対象の部品がある程度自由な状態であって3次元的に向きが少しずつ変化し、予め用意した基本モデル以外の見え方が得られても、画像内の物体が何であるか認識し物体の種類を出力させることを目

指す。認識部の構成をFig.6に示す。線画解釈においては微小ノイズ発生・線要素の途切れなどの問題が存在しており、これに対処するためには経験的手続きの取り扱いが必要であり、処理手続きを知識ベース化してシステムから独立させたプロダクション・システムによって構成される。また黒板モデル⁵⁾に基づいたシステム構成を導入し、処理手続きを機能別にいくつかのグループにまとめてモジュール化させ、この独立したモジュール単位によって認識処理を進めている。これによりスマートな認識過程の実現・システム全体の見通しのよい知識ベースの構築を図り、システムを効率よく管理することができる。

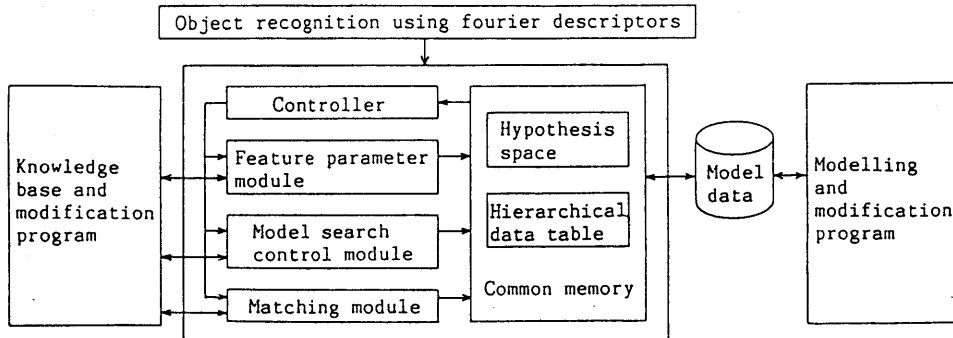


Fig.6 System Construction of Recognition Part

4.2 認識過程の制御

4.2.1 特徴量設定モジュール

入力画像より得られた輪郭線画像の構造化データを判断材料として、照合を実行するのに使用する構成要素の特徴の選定を行う。特徴量の選出には、構造化データの中に、用意された特徴量に相当する特徴値があるか調べ、照合の実行の価値があると認められる構成要素特徴量を選定する。

4.2.2 モデル探索モジュール

認識部には予め数種類のモデルデータが与えられているが、後の特徴量の照合の処理を全てのモデルデータに対して実行するのは非効率であるので、モデルデータのうちで、照合の成功の可能性があるもののみについて照合実行を許可する。まず最初に、フーリエ記述子による物体認識で、候補モデルが複数あり、ここで用いる特徴量の照合が必要な場合に、類似度のよい順番に、モデルデータを読込んで、画像の構造化データとから照合の成功の可能性を評価し、成功の可能性があるときは照合の実行を許可する。この評価のときに考慮する特徴量は、独立面要素の存在の有無、外部面要素の構成状態である。照合の可能性がないときは、モデルデータがまだ残っていれば、次のフーリエ記述子の類似度のよいモデルデータの読み込みの準備を開始し、モデルデータが残っていなければ、データスタック内の最有力候補を認識結果として出力する。

4.2.3 照合実行モジュール

画像の構造化データと認識対象のモデルデータとの照合を実行し、照合結果から物体の種類と向きを出力する。ここでは、線要素の途切れ・面要素の欠落などによって線画の正しい構造化データが得られず簡単な照合の実行ができない場合でも、限られた情報の中で状況に応じて、構成要素特徴量照合・形状特徴量照合という2段階の照合の実行を行わせることにより、不完全線画に対しても柔軟な照合の実行をさせることを目指している。

処理の手続きは、構成要素特徴量による照合と形状特徴量により照合が組み合わされて構成されているが、まず構成要素特徴量を用いた照合が実行する。この特徴量は特徴パラメータ設定モジュールにて設定される。照合評価は、選出された特徴量の総数のうち照合に成功した特徴量の数の割合により行い、照合結果がある割合以上であれば照合に成功したと評価する。

形状が複雑な場合や不完全線画を取扱う場合は、正しい線画の構造化データが得られないので、構成要素特徴量のみの照合だけでは照合の評価は不十分である。照合

結果がある値以上であれば、形状特徴量を用いた照合を実行する。このときに用いる特徴量は、内部面及び独立面要素を構成する面要素の形状の特徴、複雑度、接合性である。

複雑度の照合評価は、各内部面要素の値をモデルとの類似度で判定する。接合性は、モデルと画像で接合性の分類が一致するものの割合で判定する。

4.2.4 線の途切れを考慮したモデル

エッジ処理において、照明・背景・対象物体などの環境設定により、線画にノイズや途切れが生ずる。そのような不完全な線画では、構造化データの抽出部で、内部面を構成する線要素を抽出できないことがある。そのため面要素単位の特徴量の照合が難しく、正しい認識結果が得られない場合がある。そこで、対処として不完全線画の起こりにくいエッジ手法や、確実な情報の得られる構造化データの生成が望まれるが、現状では線要素の途切れを完全に修復することは困難である。したがって、認識部において積極的に線要素の途切れなどの不完全線画の対策を行なう必要がある。そのため認識部では、不完全線画の「不完全さ」の特徴の抽出や修復を、いろいろな知識を使って行わなければならない。一方、モデルデータに、照明条件による見え方の変化を考慮したモデル表現を使って、不完全線画に対処する方法も考えられる。本システムでは、線の途切れを考慮したモデルを考えて対処する。

5. 実験結果と考察

5.1 ハードウェア構成と認識対象

画像入力には、撮像装置として縦256・横256画素の分解能のモノクロ画像用CCDカメラを、画像処理装置はブラザー工業(株)製の画像処理用コンピュータを使用する。Fig.7にハードウェア構成図を示す。まず画像処理装置に撮像命令が下されると、CCDカメラからのアナログ画像信号は256階調の明るさに量子化されて、フレームメモリに格納される。あとはこのフレームメモリを用いて処理をすすめる。その他の処理は日本電気(株)製の16ビットコンピュータPC9801VXを使用する。

今回認識対象として取り扱うのは多面体積木と、3つの工業製品すなわち、タイプライター用プラスチック成型部品を2例と、JIS規格六角ナットである。ここで選んだ対象物体の特徴は、次の3つの条件を満たす。

- ①物体は平面・円筒の面要素を主体として構成されており、比較的はっきりとしたエッジをもつ形状である。
- ②物体の表面は滑らかである。
- ③物体の材質はなるべくプラスチック成型部品またはベ

イント塗装品とし、強い金属光沢（鏡面反射）を発生しないもの。

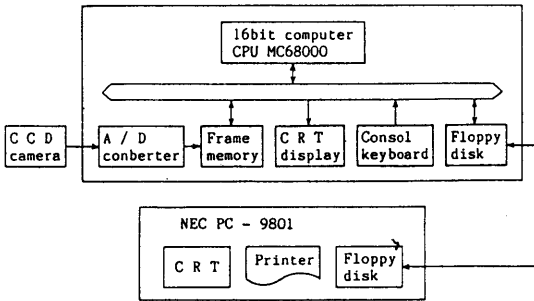
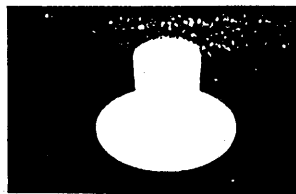


Fig.7 Construction of System Hardware

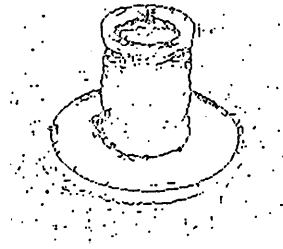
5.2 実験結果

実験結果の1例を示す。Fig.8②なる輪郭線画像に対して構造化データはFig.8③、④である。内部エッジは正しく抽出されていない。フーリエ記述子による類似性 (Fig.9, Table1) が、認識判定範囲内がないので、次の特徴量と照合した結果、形状特徴量の段階で正しい認識結果が出力された。

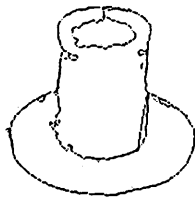
線画における物体認識では、外部輪郭の抽出は比較的容易であるが、内部エッジの抽出は必ずしも容易ではなく、線要素の途切れ・面要素の欠落といった問題をさけることは難しい。本システムでは、フーリエ記述子によって内部エッジが途切れた場合でも、シルエットが比較的異なっている場合には、類似性がよければ正しい認識結果が出力できる。さらに、フーリエ記述子で判別できなくて、線画の乱れが生じて、構造化データの乱れが比較的小さい場合は物体の種類・向きともに正しく出力することは可能である。



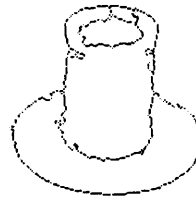
(1) Density image



(2) Outline image



(3) Face element



(4) Inner face element

Fig.8 Experimental Results

6. 結 言

本システムにより準備したモデルからずれた線画が与

えられても柔軟な認識ができる。フーリエ記述子のみで物体を認識することが難しい場合、これによりモデル候補を絞り効率のよいモデル探索を行うことができる。

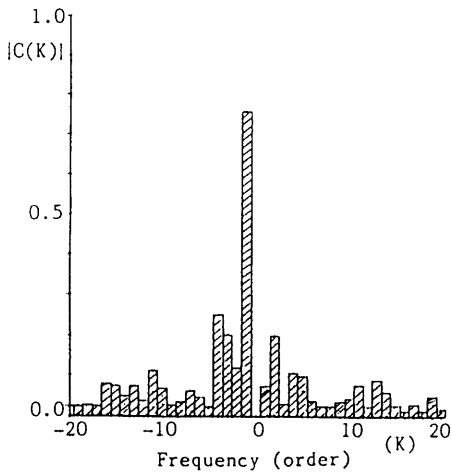


Fig.9 Fourier Descriptors

Table Experimental Results

No	Type of object model	Degree of similarity
1	4 - 1	0.020
2	3 - 1	0.073
3	3 - 2	0.080
4	2 - 1	0.097
5	3 - 3	0.100
6	5 - 2	0.138
7	5 - 1	0.141
8	1 - 1	0.148
9	1 - 2	0.205

参考文献

- 1) D. Marr : Vision, 産業図書 (1987)
- 2) E. Person and K.S.Fu : Shape discrimination using Fourier descriptors, IEEE Trans vol. SM C-7, No.3 pp.170-190 (1977)
- 3) 上坂 : 閉曲線にも適用できる新しいフーリエ記述子, 信学論, vol.j67-A, No.3, pp166-173 (1984)
- 4) 白井 : パターン理解, オーム社 (1987)
- 5) 松原ほか : フロダクションシステムによる線画の解釈, 人工知能学会誌, vol.1, No.1 pp.101-108 (1986)