



## 線図形の認識と理解

安居院 猛

東京工業大学工学部像情報工学研究施設 〒227 横浜市緑区長津田町 4259

(1990年6月30日受理)

### Recognition and Understanding of Line Drawings

Takeshi AGUI

Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of  
Technology, 4259, Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama 227

#### 1. はじめに

本稿では、計算機を用いた線図形の認識と理解に関するわが国の最近の研究動向について、いくつかの話題を取り上げて紹介する。本稿では“線図形”を、次の2種類の2値画像のいずれかに含まれる図形と考える。

- ① 地図図面や機械図面等のように、人手または作図器によって描かれた画像を、スキャナなどの画像入力装置によって計算機に入力して得た2値画像。
- ② 階調画像またはカラー画像に対して、雑音除去、微分処理などの画像処理を実行して得た2値画像。

いずれの場合も、本来2値の情報をもっていれば十分な画像である。また、線図形の認識と理解に関する研究を、基礎技術と、基礎技術を特定の目的のために応用する応用技術の2種類に分類し、それぞれ第2章と第3章で述べる。なお、紙面に限りがあるため、解説が不十分な場合や、紹介できない優れた研究が多々あったことをあらかじめお断わりしておく。

#### 2. 基礎技術

線図形の認識と理解に関する基礎技術として、本稿では次の二つの項目について述べる。

- ① 各種図形の抽出に関する研究
- ② 基礎技術に関するその他の研究

##### 2.1 各種図形の抽出に関する研究

2値原画像から直線、円やその他の任意形状図形を抽出することは、線図形の認識と理解のため最も重要な基礎技術のひとつである。ここでは、図形抽出手法を、

Hough 変換を用いる手法と用いない手法に分けて述べる。

##### 2.1.1 Hough 変換を用いる図形抽出手法

雑音を含む画像から直線や円その他の任意図形を抽出できる有用な図形抽出手法として、Hough (ハフ) 変換が提案されている<sup>1)</sup>。Hough 変換は、『原画像中の図形画素をある種の変換によってパラメータ空間内の線または面などに変換した後、パラメータ空間内の点の累積度および分布状態から図形を抽出する手法』と要約できる。

例として、Hough 変換によって原画像から直線を抽出する手順を、図1を用いて示す。同図に示すように、原画像に  $xy$  座標を設定する。原画像をラスタ走査して検出した任意の図形画素  $P(P_x, P_y)$  を、式(1)に従って、 $\theta\rho$  パラメータ平面上の曲線に変換する。

$$\rho = P_x \cdot \cos \theta + P_y \cdot \sin \theta \quad (1)$$

同様に点Q、Rについてもパラメータ平面上の曲線に変換する。点P、Q、Rが一直線上にある場合はパラメータ平面上の対応する曲線はただ1点Cで交わり、この点の座標を式(1)に代入した結果得られた  $xy$  平面上の直線は、点P、Q、Rを通る直線Lになる。このため、原画像中のすべての図形画素に対して  $\theta\rho$  平面上に式(1)にしたがって曲線を描き、これらの曲線の交点を求めることによって原画像中の直線を抽出できる。実際に計算機では、 $\theta\rho$  平面を2次元配列として用意して各要素を0に初期化し、曲線を描く度に対応する要素の値を一つ増加させる処理を行った後、要素の中で高い値をもつものをしきい値処理によって決定する。Hough 変

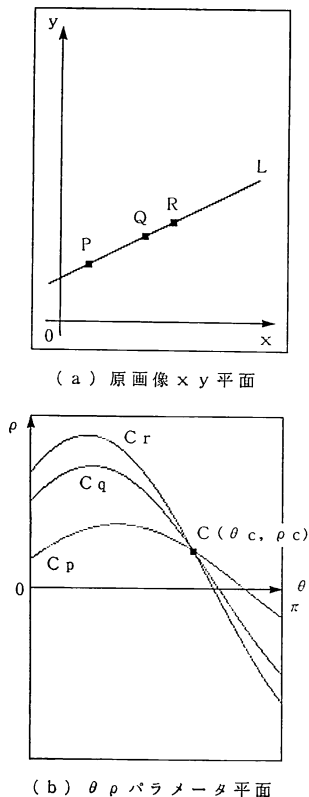
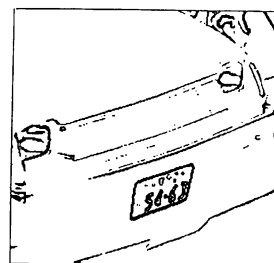


図 1 Hough 変換による直線の抽出

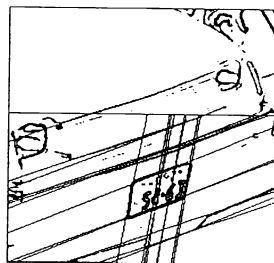
換による直線抽出では、単純なしきい値処理によって直線を抽出できること、多くの雑音を含む画像を対象とできること、および点線を抽出できることなど多くの利点がある。

Hough 変換を直線以外の図形の抽出に適用することもできるが、自由度の高い図形を抽出する場合は、3次元以上のパラメータ空間のための膨大なメモリと、長い処理時間が必要になるなどの不利な点があるため、各種の高速化手法や応用手法が提案されている<sup>2-4)</sup>。Hough 変換および関連研究の紹介については、文献5)が詳しい。

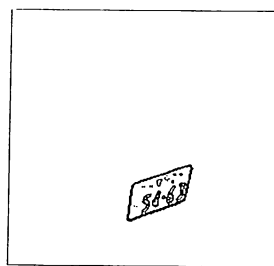
Hough 変換に関連する最近の研究例をいくつか示す。たとえば文献6)では、エッジが数画素程度連続すると仮定できる画像から、直線抽出型 Hough 変換を使ってエッジを抽出する際の有効な手法が提案されている。同文献では、原画像中の各エッジセグメントの位置と傾きを、 $3 \times 3$  近傍の濃度グラジェントから推定したエッジのサブピクセル座標列から計算し、Hough 変換の計算量を削減している。また、文献7)では、 $\theta\rho$  パラメータ平面上の軌跡のエンベロップ (包絡線) を追跡すること



(a) 2 値原画像



(b) 抽出された直線群



(c) 抽出されたナンバープレート領域

図 2 Hough 変換の応用による車両のナンバープレート領域の抽出例<sup>9)</sup>

によって原画像上の点群の凸包を得る方法が示された。さらに文献8)では、この手法を原画像中のだ円のパラメータの決定に用いる手法が提案された。同文献では、原画像中のだ円の各点に対する直線抽出型 Hough 変換によって得られたパラメータ平面内の軌跡のエンベロップの、ある角度  $\theta$  での  $\rho$  の最大値と最小値で決まる2直線が、だ円の接線を示すことなどを用いている。Hough 変換を応用した各種画像認識に関する研究も盛んに行われている。たとえば文献9)では、車両を前方から撮影した画像から、ナンバープレート領域を抽出する処理への応用が示されている。同文献では、図2(a)に示した2値原画像から、同図(b)に示すようにナンバープレート領域の外郭の直線の候補を抽出した後、最終的に同図(c)のようにナンバープレート領域を抽出している。

ここで紹介した報告以外にも、Hough 変換に関連する研究は、近年非常に盛んに行われるようになってきて

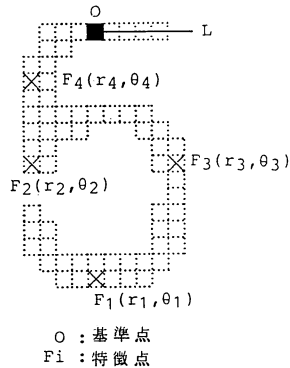


図3 基準点と特徴点の設定例<sup>10)</sup>

おり、今後の研究成果が期待されている。

### 2.1.2 Hough 変換を用いない図形抽出手法

前項で述べたように Hough 変換は有用な図形抽出手法であるが、処理対象の画像が地図や機械図面などのように比較的明瞭な2値画像に対して適用することはやや冗長の感があり、Hough 変換を用いない図形抽出手法が有効な場合が多い。

たとえば文献10)では、主として大きさまたは回転角度のいずれかが既知の相似図形を高速に抽出する手法が提案されている。同文献では、抽出対象図形のモデル上に1個の基準点と複数の特徴点を設定し、各特徴点を基準点を原点とした極座標で表す。数字の“5”の場合の設定例を図3に示す。次に原画像のすべての図形画素について、その注目画素がモデルの基準点であると仮定したとき、特徴点に対応する画素があるかどうかを、注目画素の近傍の画素を極座標平面に変換して、極座標平面上で調べる。本手法によって互いに重なり合った図形要素を良好に分離・抽出できる。処理例を図4に示す。同図(a)が原画像の機械図面の一部であり、同図(b)が(a)から抽出された直線、円、矢印である。

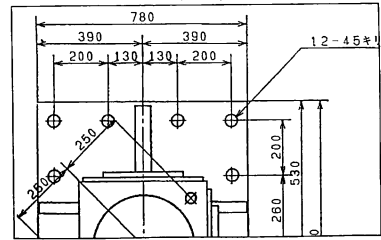
また、文献11)では、等間隔で並んだ3本の走査線の組で図面をy軸方向に走査し、走査線の組ではさまれた範囲の線図形を図形素辺として切り取り、二つの素辺の幾何学的関係を用いて円を抽出する有効な手法が提案されている。

これらのように、Hough 変換を用いない図形抽出を行おうとする手法に関する研究も盛んに行われている。

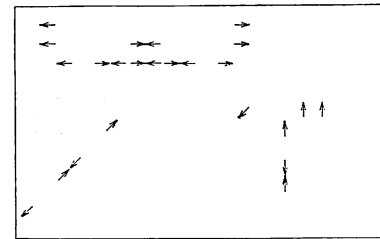
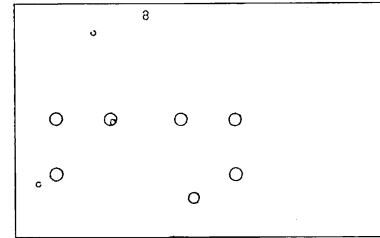
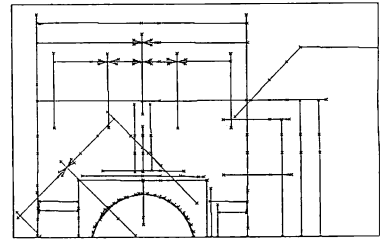
### 2.2 基礎技術に関するその他の研究

線図形の認識と理解に関する基礎技術としては、前節で述べた図形抽出手法以外にも、まだ多くの研究がある。

たとえば、ラスタ画像として計算機に入力された線図



(a) 原画像



(b) 抽出された直線・円・矢印

図4 相似図形の抽出例<sup>10)</sup>

形をベクトルデータに変換する線図形のベクトル化は、特に図面認識等で必要不可欠な技法のひとつであり、以前から各種の手法が提案されている<sup>12)</sup>。ベクトル化技法には一般に一長一短があり、処理対象によって使い分けられている。最近の研究例としては、原画像のラスタ論理演算によって図面の線成分を方向別に抽出、ベクトル化する手法が提案されており、とくに直線を多く含む図面に対する良好なベクトル化が示されている<sup>13)</sup>。また、幅が1画素ではない線図形の芯線を抽出する細線化手法は、各種のパターン認識の前処理として使用される基礎技術であり、Hilditchの方法や Pavlidisの方法など多くの手法が提案されている。最近では、各種の細線化手法において最終的に残る画素を収束点と称し、収束点を

抽出して処理対象から外すことによって処理結果を変えることなく高速化を実現する手法<sup>14)</sup>が提案されている。

上記以外にも、連結領域のラベル付け処理に関する研究<sup>15)</sup>、線図形に対する空間フィルタに関する研究<sup>16)</sup>、マッチングアルゴリズムに関する研究<sup>17,18)</sup>、また、視覚モデルおよび視覚心理学に関する諸研究<sup>19,20)</sup>など、線画の認識と理解のための基礎技術に関連する多数の研究が盛んに行われている。

### 3. 応用技術

ここでは、線図形の認識と理解に関する応用技術について、次の二つの項目に分けて最近の研究動向を示す。

- ① 各種の図面の自動認識に関する研究
- ② 応用技術に関する他の研究

#### 3.1 各種の図面の自動認識に関する研究

##### 3.1.1 地図図面の自動認識

地図図面の自動認識については、国土地理院による地形図のデジタル化作業の推進に伴い、近年活発に研究されている<sup>21)</sup>。地図図面の自動認識は、山岳地図の認識と市街地図の認識に大別できる。

山岳地図の認識では、等高線に対する認識処理がおもなテーマである。具体的には、等高線のベクトル化、高度を示す数字列の抽出、数字列や植生の記号等によって分断された等高線の自動接続、崖の解釈、等高線群に対するラベリングと木表現、等高線に対する高度付与、等高線からの3次元形状の生成および地形解析などの研究分野が含まれる。最近の研究例としては、国土地理院発行の5万分の1地形図をカラー画像として計算機に入力し、カラー情報を用いて等高線を分離後、格子点の標高で与えられる国土数値情報を用いて等高線に対する効果的な高度付与を行い、3次元形状の抽出を行う報告<sup>22)</sup>などがある。また、高度などによって分断された等高線の自動接続に関する研究例としては、任意の画素での高度を推定するアルゴリズムによって得た高度情報を用いることによって、幾何学的な形状だけに基づく接続処理よりも信頼性の高い接続処理を行う手法<sup>23)</sup>が提案されている。

一方、市街地図には、山岳地図中にはない多数の図形が混在しているため、それらの図形の分離・抽出がおもなテーマになっている。具体的な処理としては、道路の抽出とベクトル化、建物の抽出、地図記号の抽出、ハッチング領域の抽出、文字列の抽出などがある。図5に、2万5千分1地形図から道路の中心線を自動抽出した例を示す<sup>24)</sup>。この例では、抽出対象の道路が幅 $D$ の白画素



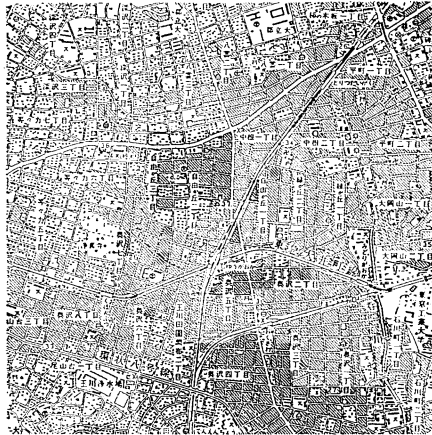
(a) 原画像



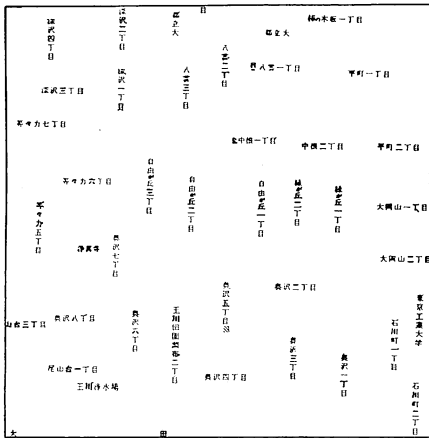
(b) 抽出された道路の中心線

図5 地図図面からの道路網の自動抽出例<sup>24)</sup>

のとき、原画像を縦および横方向に間隔  $D/2$  の直線で走査し、 $D$ 以上  $\sqrt{2}D$  以下の連続白画素列の中央の画素を道路の中心線上の点の候補として抽出後、これらの候補点間を接続する線分の取捨選択によって道路の中心線のベクトルデータを得ている。道路網に対する処理は、実用化が進められている車載型自動航法システムや、各種道路案内システムとも関連して重要になっている。同じく2万5千分1地形図から、地番などを示す一辺1.5mmの直立体の漢字を自動抽出する手法<sup>25)</sup>の処理例を図6に示す。ここでは、他の図形と接触または重畳した文字図形を輪郭線追跡を用いて分離する塊状図形分離法と、2万5千分1地形図中の文字列が“丁”、“目”や漢数字を高確率で含むことを用いるキーキャラクタ探索を併用した手法を用いている。また、文字列を抽出した後の地図図面の道路記号やハッチングを自動修復する手法<sup>26)</sup>なども提案されている。



(a) 原画像



(b) 抽出された文字列

図 6 地図図面からの文字列の抽出例<sup>25)</sup>

3.1.2 機械図面の認識

機械図面の製図は、現在一般に CAD (computer aided design) によって対話的に行われているが、これまでに蓄積されている紙面に描かれた図面の有効利用のために既存の機械図面を自動認識する必要性が高く、各種の認識手法が提案されている。2章で述べた各種の直線抽出手法の多くは、機械図面からの線分抽出に利用できる。最近の研究例としては、図7に示すような二重の正方形の構造をもつトレーサによって機械図面中の線分を追跡することによって図面要素を自動抽出する手法が提案されている<sup>27)</sup>。このトレーサは、追跡中の線の太さに等しい辺長をもつ内側の正方形と、視野に相当する外側の正方形から構成されており、外側の正方形の4辺と線の交差回数等から、屈曲点、交差点や端点などを認識する。この方法では、線の太さの変化に応じて正方形の大きさが自動的に変化し、視野の大きさが常に適切な値

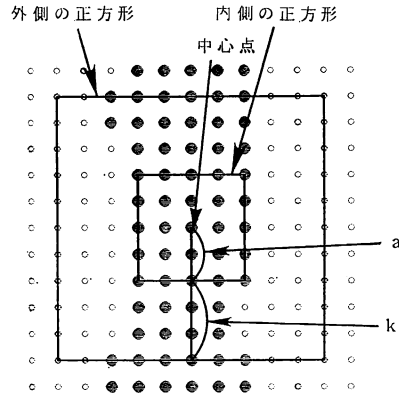


図 7 二重の正方形トレーサ<sup>27)</sup>

に保たれるようにしている。その他の研究として、効果的な機械部品図面の自動入力システムに関する報告<sup>28,29)</sup>もある。

3.1.3 その他の図面の認識

地図図面、機械図面以外の図面の認識として、論理回路図面、装置系統図、三面図、天気図などの認識に関する研究が報告されている。

たとえば論理回路図面の認識については、A1判の図面を30分以内で読み取り、95%以上のシンボル認識率をもつ高速な論理回路図読み取り装置が報告されている<sup>30)</sup>。このシステムでは、シンボルを実時間で切り出すため、シンボルのループに着目した論理フィルタリング回路を多段パイプライン方式で用いている。また、文献31)では、手書きの論理回路を認識・理解し、清書するシステムの中の整列処理と位置情報の圧縮処理について述べている。同文献では、入力図面を整列させる処理を手書き図面の清書処理として提案しており興味深い。また、自由手書きされた装置系統図を読み取って、シンボル、文字、ラインを認識する図面自動入力システムも提案されている<sup>32)</sup>。このシステムでは、大型コンピュータを用いてA3判の図面を3~8分で95%以上の認識率で処理できるとのことである。一方、三面図に関する研究も報告されている<sup>33)</sup>。この報告では、三面図から面の候補を取り出し、多面体を形成しうる面の組を求める際、「三次元空間における任意の閉曲線は、三次元物体の表面と偶数回交差する」という基本性質を用いている。さらに、天気図に対する認識に関する研究も報告されている<sup>34)</sup>。同文献では、人間が新聞掲載の天気図の相違に関わらずに内容を理解できる点に着目し、4種類の異なる新聞掲載の天気図を、記法に関する規則・性質の手続き型知識を用いることによって認識する手法を提案

している。

### 3.2 応用技術に関するその他の研究

前節で述べた図面認識に関する研究以外にも、線画の認識と理解の基礎技術を要する応用分野が多数ある。ここでは、それらの中から文書画像の理解、指紋画像の認識、ステレオ線画像の対応付け、立体の線画の理解に関する最近の研究例を簡単に紹介する。

主として文字または文字列をおもな構成要素にし、場合によっては図表、写真などを含む画像として、文書画像があり、書類、新聞、論文、名刺などの各種の対象画像に応じた多くの研究が行われている。最近の報告例としては、2値画像として入力した文書中の黒画素密度に注目して作成する濃淡画像を用いることによって、簡易な処理で構成要素の抽出を行う手法<sup>35)</sup>などがある。

人の指紋の認識に関する研究も盛んであり、最近では、指紋の隆線の平均的な流れの方向角を用いた粗照合と、隆線の端点や分岐点などの特徴点の位置・方向を用いた精照合の2段階照合方式のハードウェア化に関する報告がある<sup>36)</sup>。また、ホログラムと平板状全反射導光板を組み合わせた新しい構成のホログラフィック指紋センサーを、個人照合のための指紋入力装置として用いた報告もなされている<sup>37)</sup>。

また、コンピュータビジョンにおける立体認識の一手法として、間隔を隔てて並べた2台のカメラによって立体などを撮影した後、画像処理して得た2枚の線画間の同定処理によって距離を計測する手法がある。このようなステレオ線画像の対応付けの最近の報告例としては、左右画像間に対応する線分の組に対して可能なラベルの組合せを列挙した対応辞書と、面の方向に関する拘束を組み込んだ強化頂点辞書の二つの辞書を用いることによって、ステレオ線画像の解釈を従来の線画解釈の枠組みの中で行う方法が提案されている<sup>38)</sup>。さらに、連続するエッジを線分化し、エッジ線分の連続、平行、交差などの隣接関係から特徴領域を構造表現し、この特徴に基づいて対応付けを行う手法も提案されている<sup>39)</sup>。

ステレオ線画像の認識では、2枚の線画を用いて3次元的理解を得るが、一方で1枚の線画だけを用いて、その3次元的な構造を理解しようとする研究も盛んに行われている。たとえば、室内風景の線画の3次元的理解を、知識を用いて試みようとする研究<sup>40)</sup>などが報告されている。人間は、これまでの経験に基づく知識によって、1枚の写真および画像からもとのシーンの3次元的理解を得ることができるのであり、この分野の研究の発展が期待される。

## 4. おわりに

本稿では、線画の認識と理解に関する最近の研究動向について、基礎技術と応用技術の2項目に分類し、いくつかの研究を紹介した。線画の認識と理解は、階調画像およびカラー画像の認識の基礎となる重要な処理であり、今後の発展が期待される。

## 文 献

- 1) P. V. C. Hough: "Method and means for recognizing complex tatters," U. S. Patent 3,069,654 (1962).
- 2) D. H. Ballard: "Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes," *Pattern Recognition*, **13** (1981) 111-122.
- 3) 興水大和, 沼田宗敏: "区分的 Hough 直線による高速 Hough 変換法 PLHT について", *信学論*, **J72-DII** (1989) 56-65.
- 4) 大和淳二, 稲葉稔智, 石井郁夫, 牧野秀夫: "Hough 変換を用いた線分検出の高精度化", *信学論*, **J72-DII** (1989) 85-92.
- 5) 興水大和: "Hough 変換に関する最近の研究動向", *情処研報*, **CV 51-1** (1987) 1-8.
- 6) 木村 茂, 小沢慎治: "エッジ追跡型ハフ変換について", *信学論*, **J72-D-II** (1989) 1884-1893.
- 7) 村上和人, 長谷川錦治, 興水大和: "Hough 変換平面における図形の凸包抽出アルゴリズム", *情処研報*, **CV 51-3** (1988) 1-8.
- 8) 恩田邦夫, 渡並 智, 青木由直: "Hough 変換平面からのだ円パラメータ決定法", *信学論*, **J72-DII** (1989) 1760-1764.
- 9) 崔亨 振, 安居院猛, 中嶋正之: "アダプティブパラメータ平面領域制限ハフ変換を用いたナンパプレート領域抽出法", *信学論*, **J72-DII** (1989) 597-668.
- 10) 長尾智晴, 安居院猛, 中嶋正之: "極座標特徴を用いた一定形状図形の抽出手法", *信学論*, **J72-DII** (1989) 229-236.
- 11) 森 克己, 河田悦生, 池上淳一: "標本化定理による円の決定に関する検討", *情処論*, **30** (1989) 190-196.
- 12) 安居院猛, 中嶋正之: *画像工学の基礎* (昭晃堂, 東京, 1986).
- 13) 亀井克之, 中村泰明, 阿部 茂: "ラスタ演算を用いた図面のベクトル化", *信学論*, **J72-DII** (1989) 32-39.
- 14) 鈴木 智: "細線化アルゴリズムの高速化に関する考察", *情処論*, **29** (1988) 925-932.
- 15) 後藤敏行, 太田善之, 吉田真澄, 白井良明: "連結領域の高速ラベル付けアルゴリズム", *信学論*, **J72-DII** (1989) 247-255.
- 16) 橋本礼治, 塩野 充: "線図形認識のための最適空間フィルタ", *信学論*, **J70-D** (1987) 1516-1526.
- 17) 梅山伸二: "点パターンマッチングアルゴリズム", *信学論*, **J72-DII** (1989) 218-228.
- 18) 柏岡誠治, 江尻正員: "2値パターンマッチングにおける標本化方式とその評価", *信学論*, **J70-D** (1987) 1516-1526.
- 19) 飯島泰蔵: "視覚パターンを主観的に表現する数学形式", *信学論*, **J70-D** (1987) 1564-1570.
- 20) 安田 稔, 磯野春雄: "仮現運動におけるモデルと動きの滑らかさとの対応", *信学論*, **J70-D** (1987) 1018-1025.
- 21) 秋山 實, 高山直樹, 那須 充, 荒井秀雄, 村岡純生: "数値地図情報の構築", 第4回オートカルトジャパン論文集

- (1988) pp. 57-63.
- 22) 森 正寿, 瀬戸浩昭, 中村 彰: “地形図における3次元情報の自動抽出とその応用”, 情処論, **29** (1988) 221-232.
  - 23) 若山忠雄: “高度推定に基づく等高線図の自動接続”, 情処論, **28** (1987) 455-464.
  - 24) 長尾智晴, 安居院猛, 中嶋正之: “スキップスキャン法による1/25,000地形図からの平行線状道路の自動抽出”, 信学論, **J72-DII** (1989) 1627-1634.
  - 25) 長尾智晴, 安居院猛, 中嶋正之: “塊状図形分離とキーキャラクタ探索による2万5千分の1地形図からの文字列抽出”, テレビジョン学会誌 (1990) in printing.
  - 26) 長尾智晴, 安居院猛, 中嶋正之: “文字列抽出後の2万5千分の1地形図の修復処理”, 画像電子学会誌, **19** (1990) 131-137.
  - 27) 安居院猛, 目崎祐史, 中嶋正之: “二重の正方形移動法による機械図面認識”, 信学技報, **PRU 87-55** (1987) 77-86.
  - 28) 岩崎美知子, 山本正成, 伊藤能一, 岩田 清: “機械部品図面自動入力システムの開発—図形要素の分離・認識—”, 信学技報, **PRU 87-23** (1987) 51-58.
  - 29) 山本正成, 岩崎美知子, 伊藤能一, 岩田 清: “機械部品図面自動入力システムの開発—図面解釈—”, 信学技報, **PRU 87-24** (1987) 59-66.
  - 30) 近藤隆志, 岡崎彰夫, 森 和宏, 恒川 尚, 川本栄二: “高速画像処理ハードウェアを備えた論理回路図読取装置の開発”, 情処論, **28** (1987) 384-394.
  - 31) 美濃導彦, 荒木 誠, 坂井利之: “手書き論理回路図面清書処理システム FACORES の整列処理における位置情報の圧縮法”, 信学論, **J70-D** (1987) 925-936.
  - 32) 石井光雄, 伊藤能一, 山本正成, 原田裕明, 岩崎美知子: “装置系統図の認識システム”, 信学論, **J71-D** (1988) 395-405.
  - 33) 西原清一, 渡辺恒文, 池田克夫: “面間の局所的拘束関係を用いた三面図解釈”, 情処論, **28** (1987) 534-537.
  - 34) 山下辰博, 宮内幸司, 吉田雄二, 福村晃夫: “知識を用いた異種天気図の読取り”, 信学技報, **PRU 88-143** (1988) 63-70.
  - 35) 熊本秀近, 佐藤清次, 山下一美: “統合的文書処理システムの構築—構成要素の分離抽出—”, 信学論, **J72-DII** (1989) 93-104.
  - 36) 笹川耕一, 磯貝文彦, 池端重樹: “指紋の特徴抽出処理とそのハードウェア”, 信学技報, **PRU 88-37** (1988) 53-60.
  - 37) 井垣誠吾, 矢作裕紀, 江口 伸, 山岸文雄, 池田弘之, 稲垣雄史: “ホログラフィック指紋センサを用いた個人照合装置”, 信学技報, **PRU 88-38** (1988) 61-68.
  - 38) 正井康之, 大田友一, 池田克夫: “ステレオ視における線画の解釈”, 情処論, **28** (1987) 705-713.
  - 39) 巽 英一, 泉 正夫, 福永邦雄, 笠井 保: “画像の線分構造に基づいたステレオ画像法”, 信学論, **J70-D** (1988) 770-776.
  - 40) 蓬莢康行, 谷内田正彦: “知識を用いた線画の三次元的な理解”, 信学技報, **PRU 88-86** (1988) 9-12.