

図面中の背景線分離の一手法

藤村 是明

(電子技術総合研究所)

1. はじめに

図面情報を計算機化し、検索・修正・更新などの処理を自動化しようという試みは数多い。ただこれまで、これらの試みの多くは莫大な計算時間を要する一般的な方法でなければ、特殊な場合にのみ有効性を発揮する“秘技”の発見でしかなかった。一般性と効率の両立を図るためには、秘技のうちに含まれている図面の種々の様相の利用を顕在化する必要がある。

多くの図面中に見られるがこれまであまり注目されなかった図面の様相として前景と背景、面分と線分という二組の特徴対がある。筆者はさきに、このような特徴対を含む図面一般について有効な前処理・記述作成の一方式を提案した(1)が、背景の処理方法については特殊例を示すだけであった。本稿では背景処理の一般的方法・手法について述べることにする。

第二章で基本前提と処理方針について論じ、第三章で背景モデルと図面の位置合せ、第四章で位置合せされたモデルによる背景除去の具体的な手法を示す。それぞれの手法の実験結果と従来の方法との比較は、まとめて第五章、第六章で行う。

2. 基本方針

本稿でいう背景とは、天気図中の経緯線・地形線、乗譜中の五線のように一連の図面中のほぼ定位置に表われ、他の要素(前景)に対する位置指示の機能だけを実現する図要素のうち、とくに線状の要素を指す。

図1に背景処理の流れ図を示す。入力図面は白地の上に黒く描かれたもので、線分(曲線)の他に、ベタ塗りされた領域(面分)の存在を許す。これは“図=線分の集合”といった図式で実際に処理された図面は以外に少ないという考察に基づくものである。処理すべき一群の図面に対し、一個の背景モデルを用意する。背景モデルは、始点と終点との対で定義される直線分とその線幅の許容値のリストの形で与えられ、曲線的な背景については折線で近似する。モデル作成作業の多くの部分を自動化し、効率の良い対話システムを用意することはもちろん大事であるが、最終的にどれを背景モデルに組み込むかは、後の処理とも関連し、人間の裁断に任される。

背景モデルと個々の図面との間には、観測条件の小規模な変動(図面を観測装置に設定する際の員当誤差等)に起因する若干の位置ずれ(平行移動・回転)が存在するが、この大きさを測定しモデルと個々の図面を一致させるのが“位置合せ”の役割である。

正確に位置合せされた背景モデルを用いて、入力図面中の背景部分を除去し、前景だけを二値デジタル図形の形で出力するのが“背景除去”の役割である。ここで重要なことは背景と重なる、という前景部分はできるだけ除去しなくてよいことである。

詳しくは次章以下に述べるが、この位置合せ・背景除去の特徴は画素レベルで全処理を完了させていることである。これと対照的に考えれば、すべての図領域の輪郭を線分近似し(面部分の存在を許せば細線化は無意味である)、以後はその線

介だけを用いて、位置合せ・前景抽出=背景除去を行なうやり方であるが、これは原理的には可能かも知れないが、組み合わせの多さのため実行不可能であろう。

さらに本稿の方法では、画素レベルの処理において線分追跡のようなランダムアクセスを用いず、逐次走査型一掃演算の組み合わせで実現し小型計算機による高速実行に適したものとなっている。

3. 位置合せ

3.1 原理

本方法では、まずモデル中の線分の各々について切片ヒストグラムなるものを計算する。切片ヒストグラムとは図2に示すように図面内の各黒領域をそのモデル線分に対し垂直な方向に薄切した切片を作り、その切片の中心とモデル線分との符号つき距離のヒストグラムをとったものである。

次に各線分の切片ヒストグラムの最頻部分の中央値を求め、これをその線分の中点変位量と呼ぶ(図3)。同図に示すように、各モデル線分の中点の図面上の対応点は、モデル線分を中点変位量だけずらした線上に位置する。このことから平行移動($\Delta x, \Delta y$) 回転角度(θ)の間に1つの1次式が成立する。このような関係式をモデル中のすべての線分に対応して連立させ、例えば最小二乗法により、 $\Delta x, \Delta y, \theta$ を定めることができる。これを図面変位量の算出と称する。

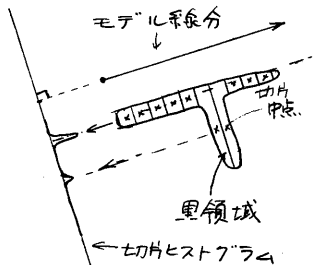


図2. 切片ヒストグラム

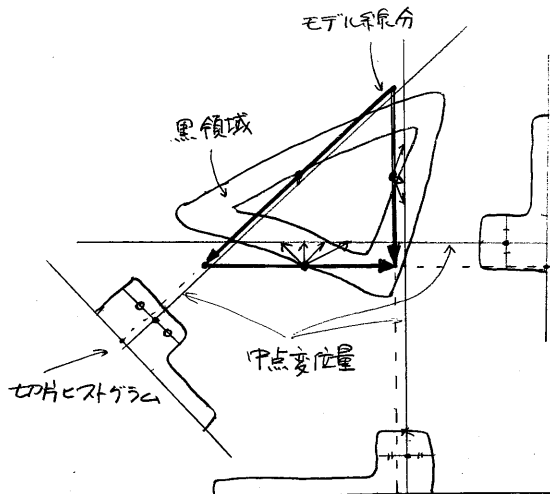


図3 中点変位量

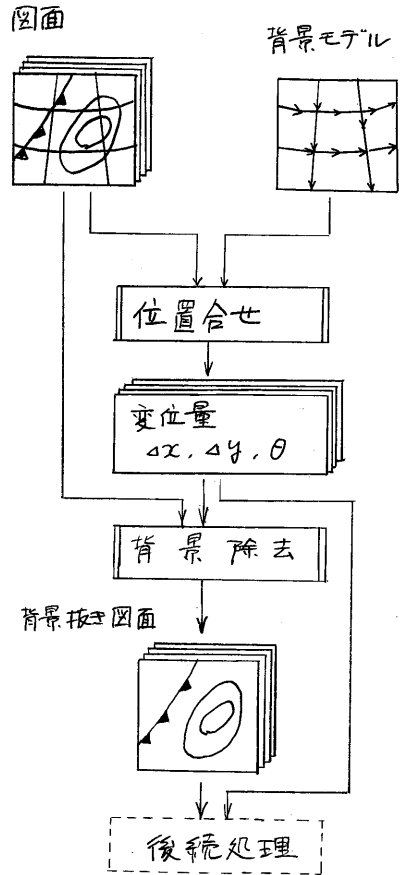


図1. 背景処理流れ図

以上、位置合せ手法の原理を述べたが、最大の特徴は、ヒストグラムの最頻値を用いることにより、ある程度内では他対象の影響を免れていることである。ただその程度を超えたと最頻値は誤った対象を指し示すので、十分注意せねばならない。各段階での処理をデジタル図形上で実現する方法と具体的存記並を以下に述べる。

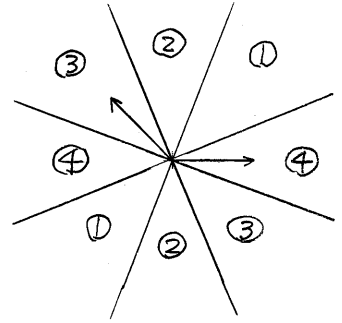


図4. 勾配の量子化

3.2 切片ヒストグラム

前節で示したように1本の線分毎に垂直切片を作るのでは渡算量も多いし、デジタル図形上では精度的に無意味である。そこで図4に示すように各モデル線分をその勾配によって4種類に分け、タイプ1, 2, 3, 4 に対しそれぞれ、左上り45°方向、水平方向、右上り45°方向、垂直方向の切片を対応させて考えるものとする。また切片中心とモデル線分の符号つき距離として、図5のように45°よりも垂直に近いが、水平に近いかによって垂直方向、水平方向に測るものとし、図中の式によって計算する。これは直の点と線とのユークリッド距離、 $(ay-bx)/\sqrt{p^2+q^2}$ を用いるよりも、ヒストグラム作成時の各区分の対応画素数を均等にするのに便利だからである。

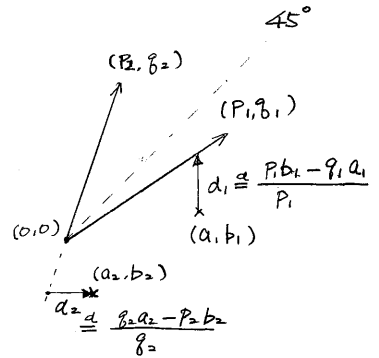


図5 モデル線分との差の測り方

前節で述べたように画面内のすべての黒切片の中心をヒストグラムに加えると、対応しない領域の影響が大きくなり好ましくない。そこで次のような2条件を満たさない切片はヒストグラムの対象外とする。

- 1) 網さ条件：切片の長さ（線の幅にあたり）が許容値以下であること。
- 2) 対応条件：切片の中心が、モデル線分に対して最大平行移動量までの最大回転角 (θ_{max}) で決まる範囲内にあること。

3.3 中点変位量

3.1 では無視したが、切片ヒストグラムの最頻値はそのすまでは実にとんでもない対象を指すことがある。1つのモデル線分に対し角度 θ だけ傾いた長さ l の線状領域を考える。このとき、この領域から得られる切片ヒストグラムは図6に示すように幅 $l \sin \theta$ 、高さ $l/\sin \theta$ となり、高さは長さによらず角度だけに依存する。つまり短い線分でもモデルとの角度が小さい領域が最頻値——中点変位量となってしまふ。これを避けるには、もとのヒストグラム $h(x)$ を一定幅 $L \sin \theta_{max}$

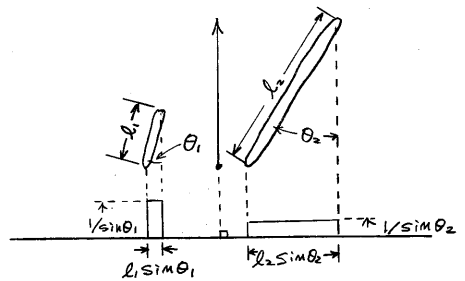


図6 勾配と切片ヒストグラム

(L_i はモデル線分の長さ, θ_{max} は最大許容回転角) の区間で移動平均した修正ヒストグラム

$$h_i(\alpha) = \int_{d - \frac{L_i}{2} \sin \theta_{max}}^{d + \frac{L_i}{2} \sin \theta_{max}} h(x) dx$$

上で最頻値を探そうにする。また中点移動量 α を決めるには最頻値から左右にヒストグラム値が半分に落ちる点を求め、その中点を α とする。

このようにしても、中点変位量が誤った対象を指示する事例は多く考えられる。その一つとして、真の対応背景部分がこの図面中でかすれて消えていたり、または面状の前景部分に覆われていたりする場合がある。この場合の偽の最頻値はモデル線分の長さ L_i に比べて小さいことが多いので、最頻値が L_i の一定割合よりも小さいときは、その線分に対応する中点変位量は存在しないとするのが適切である。

誤対象指示のもう一つの事例として、背景中に平行線群が含まれる場合について検討しよう。この場合各方向ヒストグラムにはほぼ等高の山が立ち上るが、 θ 点にとっても近いものを選んだりしようものなら、「ワイニヤリのボタンのかけ違い」のようにずらっと突った中点変位量が得られる。この問題の根本的解決には consistent (relaxation)

labeling のような手法が必要とされるが、安直な方法としては図7のように、個々の切片ヒストグラムを θ 点を合わせて加算することが考えられる。

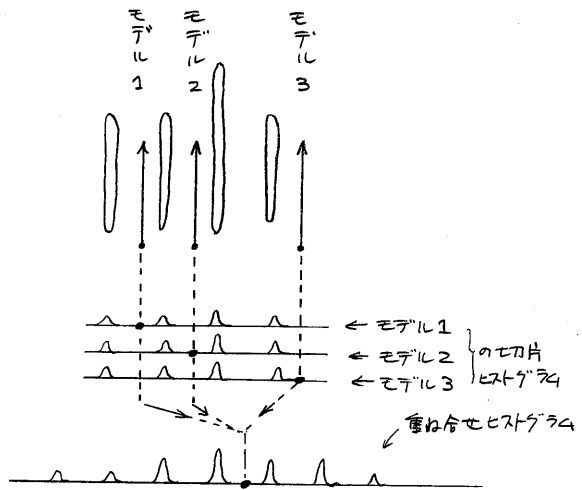


図7 平行線群の切片ヒストグラムの重ね合せ。

3.4 図面変位量

3.1 で中点変位量に基づいて、平行移動・回転パラメータ $(\Delta x, \Delta y, \theta)$ の間の1次式が与えられると述べたが、それは次のような形である。今一つのモデル線分(勾配 $\pm p/p$ とする)の中点 (x_m, y_m) が θ だけ回転し、その後 $(\Delta x, \Delta y)$ だけ平行移動して組割データ中の (u, v) 点に出現したとすると、 θ が小さいとき ($\sin \theta \approx \theta, \cos \theta \approx 1$) には

$$u = x_m - y_m \theta + \Delta x \quad \text{--- ①}$$

$$v = x_m \theta + y_m + \Delta y \quad \text{--- ②}$$

という関係が成立している。またモデル線分を中点変位量 d だけずらし下線の方程式は媒介変数 α を用いて、例えば $|q| > |p|$ のとき、

$$x = x_m + d + p\alpha \quad \text{--- ③}$$

$$y = y_m + q\alpha \quad \text{--- ④}$$

の形に書ける。中心の観測値がこのずらした線上にあるならば $u=x$ $v=y$ と置き、①、②、③、④式から u, v, d を消去して、

$$\Delta x + \left(-\frac{p}{q}x_m - y_m\right)\theta - \frac{p}{q}\Delta y = d \quad (|q| > |p|) \quad \dots \textcircled{5}$$

が得られる。同様に $|q| \leq |p|$ ならば

$$-\frac{q}{p}\Delta x + \left(\frac{q}{p}y_m + x_m\right)\theta + \Delta y = d \quad (|q| \leq |p|) \quad \dots \textcircled{6}$$

が得られる。

⑤ または ⑥ 式を、中心変位量の存在する線分の数だけ連立させて、 $\Delta x, \Delta y, \theta$ の最小二乗解が求められるが、ここで注意しなければならないことがある。これはよく知られているように誤った式が含まれていると最小二乗解はかぎり以上に引かざるを得ないということである。これを避けるには、一旦全中心変位量を用いて最小二乗解を求め、次にその最小二乗解に対して残差のきわめて大きい中心変位量を捨てて最小二乗解を新しく計算することが考えられる。

3.5 全般的注意

3.2 ~ 3.4 のように改訂を施しても、1度の図面変位量算出での誤差は避けられない。そこで、1回目に得られた図面変位量に従ってモデルを修正し、また変位コストグラフの作成からやり直して図面変位量を計算すると一般的に一改訂は向上する。このようなやり直しは何回必要か、また揺動・発散の心配などについては今後検討して行きたいが、後に5章で示す実験例では1回のやり直しで十分な一改訂が得られている。

精度高く位置合わせを行なうためにはモデルの作り方も重要である。例えば図8左のような4本の線分から成るモデルで回転検出を行なうことはできないが、図8右のように各線分を真中で切断し4本の線分から成るモデルにすれば十分な回転検出能力が生ずる。図8の左の例では、最小二乗法で解くときに、正規方程式が1次独立でなくなるので異常を検出できないというわけ。

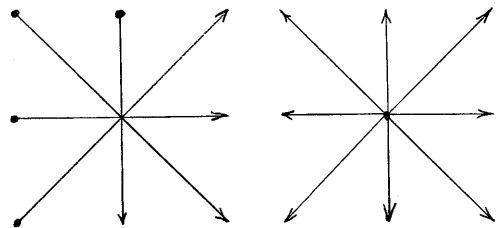


図8 悪い背景モデル(左)とその改良(右)

理論をたよりに、実際の教団例で(しかも中心変位量の状況によって未定とある場合)に対処する有効な方策を探す必要がある。

短かいモデル線分について得られる関係式と長いモデル線分について得られる関係式を同じ尺度で扱うことの是非も今後の検討課題である。ある場合には、極度に短かい線分は粗めから切片とコストグラフを作らないうにする必要があるだろう。

4. 背景除去

4.1 原理

背景除去の原理は、位置合わせのときと同じく、各モデル線分に対し垂直な切片という概念に基づいている。各モデル線分に対応する切片は、その長さ(線幅)が十分短かく、その中心がモデル線分から一定の範囲内にあるとき、除去可能で

ある。図9で、ハッチングを施した部分は除去可能であるが、Aの部分は長さ、B、Cはそれぞれモデル線分から垂直方向・平行方向にずら過ぎていて、除去不可能である。

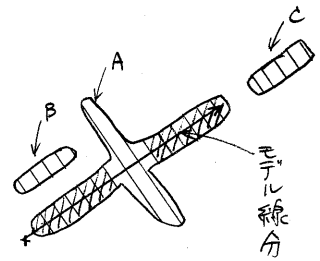


図9. 背景除去の原理

4.2 実用アルゴリズム

上述の原理をデジタル図形上で効率よく実現するには次のようにする。

- 1) 位置合せのときと同じく、切片方向を4種類に制限するのに対して、モデル線分を4種類に分く。
- 2) 各画素について、8方向の連長を計算する。
8方向連長とは、白画素については全部0であり、黒画素については図10のようにその点から各方向毎に黒領域の端までの長さを測ったものである。図11に示すように、画面を2回走査すれば8方向連長は求まる。8方向連長を用いれば、ある点が属する4方向切片の長さや中心位置が求まる。例えば点 (i, j) の属する水平方向切片の長さは $l_4 + l_8$ 、中心は $(i + (l_8 - l_4)/2, j)$ である(i は右向きに増大し、 j は下向きに増大する)。
- 3) 画面を走査し、以下のような画素単位処理により出力画像を作成する。まずその点が入力画像上で白ならば出力でも白画素とする。黒のときには、その属する4種の切片のうち長さが一定値以下のものを採す(採れば黒画素を出力)。一定値以下の切片があれば、それと直交する方向のモデル線分のそれぞれと対応条件を満たすものを採し、あなげ白画素を出力する。
- 4) 以上の1)~3)の処理結果には、背景線分の交差部分が除去されずに残っているので、もう一度2)~3)の処理を繰り返す。

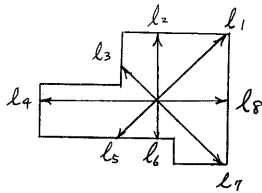


図10. 8方向連長の定義

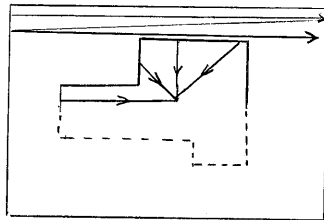
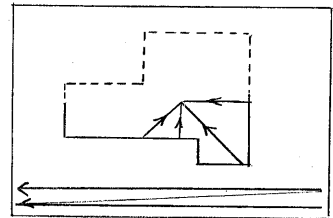
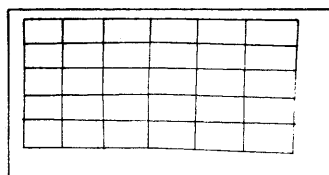
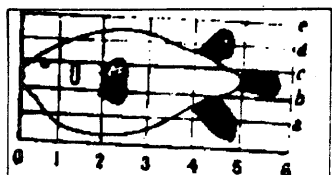


図11. 8方向連長の計算法

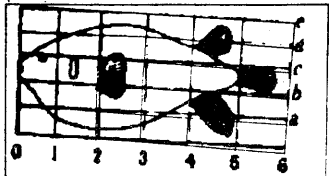
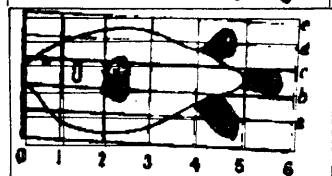


5. 実験結果

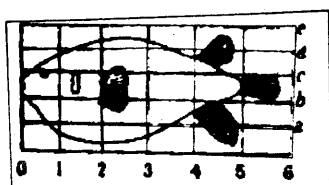
図12に、背景線による位置合せの実験例を示す。上段左は入力図形で、 240×128 画素である。その右は子供用倉かいてある背景モデルであり、26本の線分から成っている。回転検出能力を高めるため(3.5参照)各水平線・垂直線を1/2等分して26本の線分を得た。下段の左は、原入力図形と背景モデルを重ね合わせたものである。この組み合わせで図面変位量を求めると水平ずれ1.3画素、垂直ずれ0.6画素、回転角 $3/128$ ラジアンが得られた。これによってモデルを補正し入力と重ねたのが、下段中央の図である。もう一度図面変位量を求めると(0, -1, $1/128$)が得られる。これによる補正結果が下段右端の図であり、ほぼ正確な位置合せと



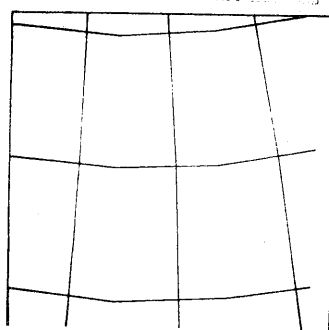
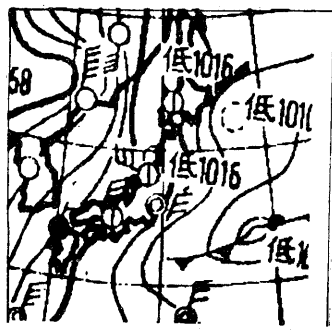
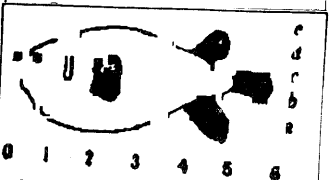
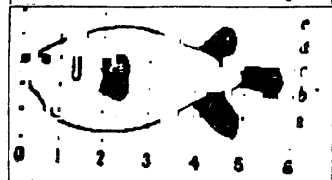
← 图 12. 位置合世



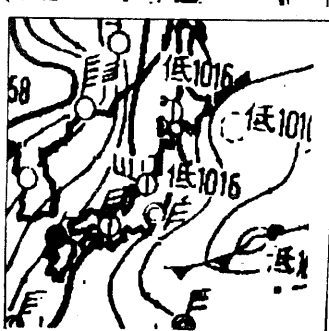
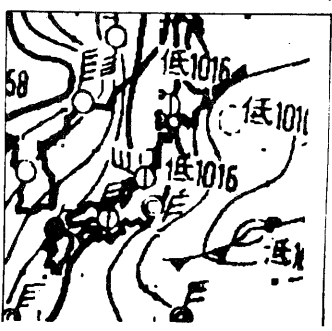
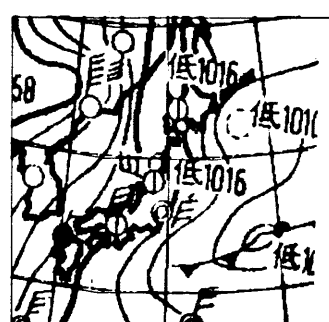
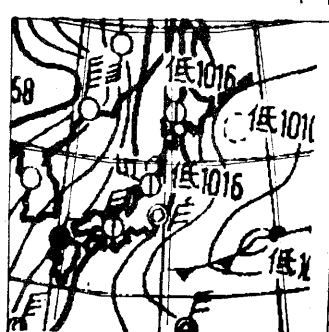
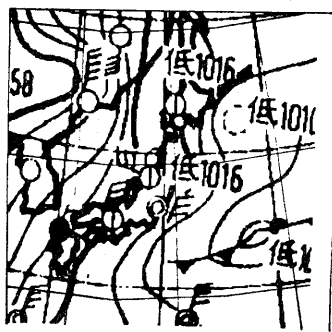
↓



← 图 13. 背景除去



← 图 14. 位置合世



← 图 15 (续上)

いよう。

図13は、図12のように位置合せされたモデルに従って背景除去を行ったもので、左は途中結果で背景線の交差部分が残っている。右が最終結果を示している。この処理結果を見て気付くことは、背景と前景の線部分の交差角が大きいときには不都合な消去は起らないが、交差角が小さいときにはそれの甚だしいことである。切片の長さ(幅)のフェーディングのさいに、モデルに垂直な方向だけでなく、斜め方向の長さも使って、より小さな交差角についても切断を避ける方法を検討中であるが、その程度以上は、背景および前景についての高度な知識を用はば人間にとってさし解ける側面がある。

図14は、15本の線分(経線は2本、緯線は3本の線分でモデル化した)から成る背景モデルと、 240×240 画素のメカデータとの位置合せおよび背景除去を示すもので、各部分の関係は図12、図13と同様である。この場合の図面変位量は、1回目(-3, -6, 6/128)、2回目(-5, -1, 1/128)であった。

6. 従来の方法との比較

一般的に位置合せの手法が背景検出に用いられるだろうか。二次元相関とか、SSDA法といふ、二次元モデルと二次元データとの一致度判定が、本稿で取り上げたような、図面全体と同程度の大きさの線状モデルで平行移動の他、回転も許す場合には莫大な計算量に付くことは明きらかである。

W.A. Perkins [2] は、自動車部品の輪郭を線分と弧で近似し、同様の表現形式で用意されているモデルと比較し、複雑な状況下での位置合せに成功している。図面についてこの方法を適用することは一応可能であろうが、この方法は円弧・線分・弧の数が多く付く(図面自身が複雑なとき、または鋭角条件にする線のとぎれ、細線化に伴う小枝の発生)と、急速に粗み合せが増大して行くことに注意が必要である。

このような点を考慮して、モデルと画像で異なった形態の特徴の一致度判定を行った例としては次のようなものがある。Barrowら[3]は、航空写真から得られる輪郭という線データと、地図上の特徴点を写真撮映の条件に従って変換した点データの一致をとり、パラメータを変化させて位置合せを行う。Bollesら[4]は、同じく航空写真において点特徴と線特徴の対応づけに伴う諸問題の検討を行っている。これらの仕事は本稿の手法と思想的に近いものである。

個別対象処理の中で背景除去を行う。例として、谷口ら[5]と大島ら[6]の天気図解析、中村ら[7]の乗議認識がある。[5]では、天気図の特性に基づいた位置合せと面分除去を行った結果を細線化し、線分レベルでの背景(経緯線、地形線)除去を行っている。[6]では、地形線に対し重ね合せによって二次元モデルを自動作成し、画素レベルでの除去を行っているが、前景との交差部分はすべて除去される。[7]を見れば、画素レベルでの背景(五種)除去かその後の効果的な認識法につながる様子が解る。

7. おわりに

検討を加えなければいけない点については、以上のところでも多く述べたので省略したいが、位置合せ手法全体としての応答範囲の測定、多様な対象への取り組みによる種々の事例の発見が急務である。

位置合せ手法については、今後の拡張・応用が大きく開けている。一定限度内の拡大・縮小は単なる演習の範囲内にある。切片中点の代りに領域の端点と ϵ での接続方向を考へることにより、領域パタンの位置合せを行なうことが考へられる。さらに濃淡画像に適用すれば、写真と地図(モデル)との位置合せが可能である。さらにモデルの自動作成を実装すれば、動画像処理・立体写真処理の高速化がもたらされるであろう。

これまで位置合せ・背景除去の一般性を高めることに力点を置いてきたが、個々の対象に応じた特殊化についての指針を打ち立てることも実用上重要なことと思われる。

おわりに、本研究の機会を与えられた当所西野パターン情報部長、石井ソフトリエア部長、熱心に討論・支援して頂いた棟上室長をはじめとする情報システム研究室の各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 藤村：面(ベタ)と線とを併用した図面の解析システム，第20回情報処理学会全国大会予稿集，p.461，1979
- 2) W.A. Perkins：A Model Based Vision System for Industrial Parts，IEEE Trans. Comput.，Vol. C-27，No. 2，pp.126-143，Feb. 1978
- 3) H.G. Barrow，J.M. Tenenbaum，R.C. Bolles，H.C. Wolf：Parametric Correspondence and Chanfer Matching：Two New Techniques for Image Matching，Proc. Fifth IJCAI，pp. 659-663，Aug. 1977
- 4) R.C. Bolles，L.H. Quam，M.A. Fischler，H.C. Wolf：Automatic Determination of Image-to-Database Correspondences，Proc. Sixth IJCAI，pp. 73-78，Aug. 1979
- 5) 岩口，遠藤，田町：ミニコンによる天気図認識システム，電気学会情報処理研究会資料，IP79-37，1979
- 6) 大島，吉田，福村：天気図中における不変成分の除去の一方法，信学技報，PRL-78-89，1978
- 7) 中村，進藤，井口：音楽情報の入力とデータベースの作成，信学技報，PRL-78-73，1978