

## 機能図形情報システム研究の動向

Research Trends of Functional Graphics Information Systems

坂内正夫\*・大沢裕\*

Masao SAKAUCHI and Yutaka OHSAWA

設計図や地図などの図形情報を、その機能面に注目してデータベース化し活用するシステムである機能図形情報システムは、実用的なニーズの高い技術分野である。本解説では、その基礎となる機能図形データの獲得技術、記述方式および応用技術について最近の研究動向を述べている。

## 1. はじめに

各種設計図面や地図などの上に表現されている図形情報は、線一本一本やそれらの集合が、ある機能を持っている。たとえば、地図上に描かれている線は道路であったり、等高線であったり、一軒一軒の家屋を意味している。また機械設計図面では、一本ずつの線が部品の輪郭線であったり、寸法線であったり機能を持つほか、線の集合として描かれている対象自体がまたある機能を持つものである。このように、機能を持つ図形を対象として、その機能面に注目してそれらを認識したり蓄積しておいて活用しようとするアプローチを機能図形情報処理と呼ぶ。

東京大学生産技術研究所機能エレクトロニクス研究センターでは、「機能情報」処理研究の一環として、このような機能図形情報処理の研究を行ってきた。また、研究センター活動の延長として、電子情報通信学会において機能図形情報システム研究会活動も行ってきた。

本稿では、これらの研究活動を中心に、地図や図面を中心とする機能図形情報処理の研究動向を、特にこのうち必須要素である3つの技術(図1)(a)地図・図面などからの機能図形データの抽出、獲得(データベース形成)技術、(b)機能図形データの利用しやすい形での蓄積・管理(データベース管理)、(c)ヒューマンフレンドリーなデー

タ検索や利用技術(データベースプレゼンテーション技術)に焦点を当てて解説する。

## 2. 機能図形データの獲得技術

図面上に表現されている図形から必要データを獲得する、すなわち計算機に入力する方法には、デジタイザを用いて人手により行う方法と、スキャナを用いて得られる図面のデジタル画像データを画像処理・認識する方法の2つがあり、従来より共に用いられている。人手による方法では、入力を行う人の性格や熟練度に依存して品質が変動したり、コストを低く抑えることが難しいなどの理由により、最近では自動処理技術が注目されている。数年前までは、大規模図面の処理を行うためには計算機の性能が低く、処理を高速に実行するアルゴリズムの開発が研究上の重要なポイントであった。しかし、最近ではハードウェアの進歩とともに、興味視点は品質や認識の高度化に移って来ている。以下では、この図面自動入力技術について最近の動向をまず述べよう。

図面自動入力の利用目的は多様であり、それに合わせて求められる技術的な視点も異なる。ある図面では図形形状をできるだけ忠実に入力することが求められ、またある図形では位置精度より線を正しく認識(分類)することが求められる。

まず図形形状自体が重要な図面では、対象物の形状をできる限り忠実に、かつ美的に入力することが要求される。図形の形状を折れ線や円弧で近似する処理をベクトル化と呼ぶが、この前処理として従来から細線化という処理が用いられて来た。図面自動入力ではまず、図面がスキャナで読み取られデジタル画像データ化される。このとき、図面上の線は画像データ上で、ある(数画素程度の)幅を持つことになる。そのために生じる線位置の曖昧さを無く

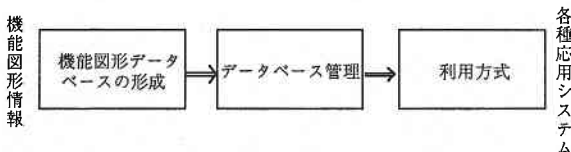


図1 機能図形情報処理システムの枠組み

\*東京大学生産技術研究所 第3部

す処理が細線化である。しかし、単純な細線化では線の交点等で、特有な形状の乱れが生じるといった問題がある。この乱れを防ぐためには各接合状態ごとに適した整形処理を用意する方法がとられるが、エネルギー最小化原理を用いた方式なども提案されている<sup>1)</sup>。

図面自動入力実用化の初期段階において大きな問題は、図面を画像データ化した際のデータ量の膨大さにあった。先に述べた細線化は大量のデータを対象にした繰り返し処理であるため、主記憶量も小さく、演算速度も遅い当時の計算機にとってはきわめて重い処理であった。そこで筆者らは画像データをラングレス符号化により大幅に圧縮されたデータ上の黒画素（図形部）の輪郭線を追跡し、それを折れ線で近似したデータから線図形部の輪郭線を求める方式（芯線化方式）<sup>2)</sup>を開発した。この方式では処理の対象になるデータ量が小さいことから高速演算可能であり、線の太さや塗りつぶし領域、線同士の連結関係、ループなど図形認識で重要になる情報を同時に得られるという利点を持っている。

図面内容の自動認識の研究は、初期にはフローチャートや電子回路図面などを対象にして行われてきた。画像認識の分野の中で、このような図面は白黒2値で表現されており、かつ小種類のシンボルとその連結関係という対象の単純さから手頃感があつたためと思われる。このカテゴリーの図面が比較的丁寧に手書きされている場合には、現在実用化段階に入っている。

地形図や機械設計図面、土木・建築図面は、より高度な対象である。このような図面の中にはシンボルも描かれているが、中心的な対象物は地形や構造物のようにさまざまな形状を取り得るものである。また図面中に多数混在する線に対して、それぞれの意味付けを行うことが求められる。たとえば、地形図では道路や等高線、植生界、送電線などに対して、作図規則にてらした意味付けが必要となる。また機械設計図面では、構造物、寸法線、中心線などを認識する必要がある。これらの図面に対しては各図面種毎の作図規則や、これも図面種毎に個別な種々のヒューリスティクスにより認識が行われることになる。

図面自動認識では2つの方向が求められる。1つは汎用化、すなわち多種類の図面を対象にして認識できるシステムであり、他の1つは青焼きやフリーハンドの手書きなど低品質な図面を高い精度で認識できるシステムへの要求である。この両者は相反する面を持っており、なかなか両立は難しい。

まず、前者に対しては図面処理に対するごく基本的な演算部と知識処理の汎用部だけを共有し、図面種ごとに認識のためのモデルを入れ替える方式がとられる。筆者らのグループでは、汎用化を目指したシステムとして、オブジェクト指向型図面認識システム OO-MUDAMS<sup>3)</sup>を提案し

ている。これは認識対象図面の特性記述と、その図面を認識理解するための手法からなるモデルを対象面種毎に設定し、それを入れ替えて種々の図面種に対応しようとするものである。このシステムではオブジェクト指向型モデル記述言語を用意し、モデルの再利用が可能ないように工夫されている。また図形の位置関係に依存した処理を容易にするため、図形管理に空間データ構造を用いている。さらに、TMSを用いて認識に用いる知識の整合性を維持している。

一方、後者の低品質図面に対応する方向での研究も多い。低品質な図面に対しては、現段階では実用的な品質のデジタルデータを完全な自動処理で得ることは難しい。そのため、処理段階のどこかで人手の介入による補助を必要とする。1つの方向は、処理の途中で機械処理と連携しながら人手が介入する半自動方式（会話認識）である。新井らは、会話型認識をベースにした地図認識編集システム (AI-CHASER)<sup>4)</sup>を開発している。このシステムでは、表示されている図面画像上で入力しようとする図形を指定すると、機械が可能な部分を自動的に追跡し、ベクトル化する。一方、分岐点などの曖昧な部分では人間に判断を求めつつ、進路を選択する。オペレータの負担を軽減するため、追跡可能な経路が複数存在する場合には線分同士の接続の確からしさを各種特徴量により算出することにより決定する。また、この部分でニューラルネットによる学習も試みている。

一方、多くのシステム構成では修正作業は自動処理の終了後に行われる。この場合、修正を必要とする誤り箇所を発見することが大変になる。これに対応するため、筆者らは確信度の高い部分は自動認識を行い、それが低い部分は決定を会話編集時まで判定を持ち越す方式を提案した<sup>5)</sup>。判定が持ち越されている部分を、認識案とともに会話編集時に提示し、可否を問う形式である。この方式では、まず修正が必要な箇所をオペレータが探索する必要がないこと、多くの場合提示される案にたいして YES, NO の判定を行えばよいことなどにより、負担が軽減できるなどの利点がある。

これを一歩進めたものが、状態遷移モデルによる図面認識システム<sup>6)</sup>である。(図2) 図形認識を行う場合、下位の線分レベルの観察からすぐに最終的な目的であるシンボルの種類や線の属性を判定できる訳ではなく、「三交差点がある」、「平行線がある」、「閉ループを形作っている」、等の中間的な状態を経て、目的とする認識が行われる。このような認識が進行して行く途中を状態として捕らえ、各状態に対してそれに遷移できる条件を記述しておく方式である。周りの認識が進むにつれて、状態遷移の条件を満たしたものから徐々に高い認識状態に遷移して行く。この際にまずボトムアップな条件のみで状態遷移を行わせ、最終状態まで到達していない箇所を問い合わせる形式にすると、



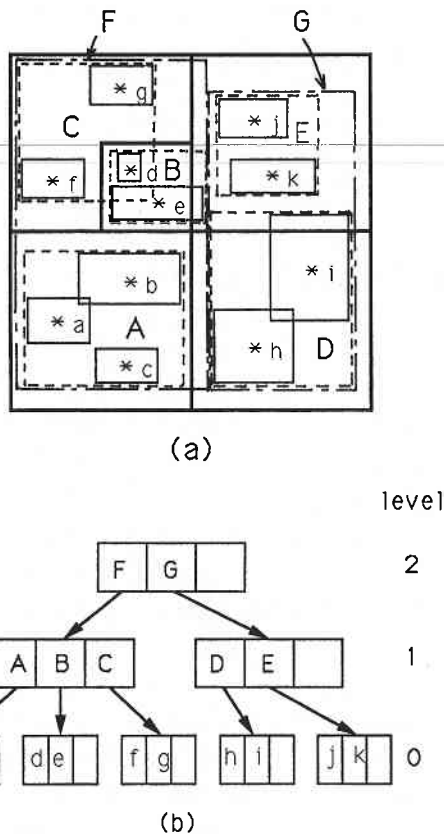


図3 GBD木の構成

ノードの外接長方形同士の重なりが大きくなり、これが検索性能を劣化させるという欠点があった。そこで領域分割の際に、図形自身の分割も行うことによりこの問題を回避しようとする改良方式も提案されている (R+木<sup>9)</sup>。

一方筆者らは、R木の提案と前後してBD木の多分木化方式を提案した (GBD木<sup>10)</sup>。(図3) R木ではデータの追加に伴うデータ分割の際のコストが高いという問題があったが、GBD木では先のBD木と同様にこれを領域式に負わせることにより軽減している。

地理情報処理などの応用では道路や建物、海岸線、鉄道、行政界などさまざまな対象を管理する必要がある。たとえば、ある点に近い道路を探したい場合、空間検索機能による最近接道路の検索のほか、対象図形の属性を区別する必要がある。位置的に最も近い図形が道路であるとは限らないことから、目的とする道路が見つかるまで徐々に範囲を広げての検索が必要になる。ML (マルチレイヤ) 木<sup>11)</sup>では、木構造の各ノードに、下位の部分木中に含まれる図形の種類の集合情報を持たせている。空間的な位置関係を調べながら木を下位にたどっている途中で、この情報を調べ、もし下位の部分木中に検索対象の種類の図形が含まれていなければ、下位の検索を打ち切るという方法で効率向上を図っている。

木構造で図形管理を行う際に、大きな図形の管理に改良が必要になる。大型の図形が参入すると、その図形を含むすべての部分木で外接長方形が大きくなり、検索に際して無駄にノードをたどる確率が高くなるためである。先にふれたR+木では、大型の図形は分割することによりこの問題を解決しているが、分割によりノード数が増えたり、データの投入・削除時のコストが増えるという問題が出てくる。Gunterは、各分割段階で大きな図形をoversize shelfという、特別のノード上におき、細分割されるのを防いでいる。木構造の検索において、各ノードのoversize shelfを常に調べなければならないが、投入・削除時のコストの増加を抑制することができる。

空間検索のためには木構造の他にハッシングも用いることができる。Hefleszらはz曲線と呼ぶハッシュ関数を用いて空間のアドレス付けを行い、線形ハッシュ法で管理する方法 (z-hasing) を提案している。このz-hasingは面積を持たない点情報管理のためのものであるが、これを階層化して任意の図形管理を行うことができるlzハッシング法も提案されている。

#### 4. GISとその応用—機能図形の利用技術

GIS (地理情報システム) は、デジタル地図データの取得、蓄積、検索、地理的演算、処理結果の表示を行うためのトータルシステムであり、機能図形情報処理の一つの典型的な応用分野である。

GISは、当初行政での利用を目的に開発が進められたが、現在ではその利用範囲は防災、景観シミュレーション、設備の管理監視、マーケティング分野などに広がっている。さらに地図案内システムや、カーナビゲーションなど、馴染み深い応用もみられる。

最近、カーナビゲーションシステムを搭載した車が増えている。このシステムでは人工衛星から電波を利用したGPSや、車輪の回転数による走行距離とジャイロによる車両の進行方向の情報を用いて現在の車の位置を検出する。デジタル地図データ上の道路網とのマッチングをとりながら車両の現在位置を表示し、出発点と目的地を指定すると、最適な通路を検索して表示する。GISに関連した技術的な課題としては、最適経路探査法や道路の混雑の予測法、車両位置と地図上の道路とのマッチング法などがあるが、最大の問題はデジタル地図データの入力とその保守更新にある。道路網データは膨大なデータ量になり、現在は日本デジタル道路地図協会が行っているが、印刷された地図図面から入力が行われているために新しく建設された道路が反映されるまでに時間がかかっている。これに対処するために高精度なセンサーを搭載した車で実際に道路を走行することにより、道路地図を更新しようとする試みも行われている<sup>13)</sup>。またテレビカメラから得られ

る画像を円形や双曲線スリットで一次元化し、それと時間軸を合わせた二次元の時空間画像を解析した結果をナビゲーションに役立てようとする試みも筆者らのグループで研究されている<sup>14)</sup>。これは特徴的な建物などのランドマークの形状情報をデジタル地図に記述しておき、この情報と時空間画像の解析結果とマッチングをとることにより、車両の環境情報を高効率に自動獲得を行おうとするものである。

高層建築物や、ダム、道路などの建設に際して景観シミュレーションが用いられる。これはレンダリング技術を用いて、工事が行われた後の状況を鳥瞰図等でわかりやすく表示するものである。その際に山や湖、他の建物との関係などの3次元データを得るためにGIS中のデータが用いられる。

動画による広域景観シミュレーションも試みられている。たとえばさまざまな角度から見た崖崩れの状況を伝えようとするとき、その付近を航空機から撮影したかのような動画画像を作ってプレゼンテーションされるとわかりやすい。これはDTM(デジタル標高データ)を用いて、ある視点からの情景(の形)を作成し、その上に幾何補正をした衛星画像や航空写真を貼り付ける(テクスチャマッピング)ことにより1枚の画像が得られる。徐々に視点を変えながら同様に画像を作成することにより、連続した動画画像が得られる。この際に、細かなテクスチャ領域などでフリッカが発生し、品質劣化の要因になるが、赤松ら<sup>15)</sup>は4×4画素程度の大きめのフィルタにより衛星画像を平滑化することによりこれを除去する方法を提案している。

一方、このようなテクスチャマッピングによる方法は写実性は高いものの、表現の自由度が低く、かつ計算量が膨大になる欠点を持っている。そこで5万分の1植生図から得られる植生分布に基づき、各植生区分中の色調値を実際の航空写真から得てレンダリングを行う方法も提案されている<sup>16)</sup>。

地上の詳細なGISデータを用いることにより、街の中や大学のキャンパス内等を歩き回る場合の情景を得るウォークスルーという技術も注目を集めている。たとえば道案内をしようとする場合、現在地から目的地までの途中の景色を動画画像の形で見せられるとわかりやすい。これは道路や建物、樹木などのモデルを用いて任意の視点から見える情景をレンダリングし、先の航空写真の場合と同様に、視点を徐々に変えつつ画像を作成することにより動画化が実現できる。

GISで扱うデジタル地図には、通信回線を用いて遠隔地にデータ転送が容易という利点もある。NTTでは目的地の電話番号を入力すると、その周辺の住宅地図をFAXで送るといったサービスの実験を行っている<sup>17)</sup>。目的地を表す地図中には最寄り駅を一つ以上含むように縮尺を

変えたり、目的地を中心とした100m四方の拡大図も付ける等で利便性の向上を試みている。

このように機能図形の利用システムは、それぞれの応用をにらみつつ着々と開発されているといえる。

## 5. おわりに

本稿では、機能図形情報処理における研究の動向を、取得、管理、利用の各構成要素に分けて紹介した。最後に、機能図形情報処理における今後の課題について述べる。

まず、図面からの機能図形情報の取得に関しては、近年設備管理図面などを中心に活発に研究開発が進められている。特定の図面種に特化したシステムを作成する際には、高い認識率を達成することができるが、少量の図面が多種類存在する応用分野に対しては、それぞれの図面種を高い品質でベクトル化し、認識するシステムを構成することは困難である。現在の図面自動入力システムはまだデリケートなシステムが多く、そのシステム設計の際に想定した図面種に対しては高性能であっても、作図規制が異なったり表現されている対象が少し違う図面を対象にした場合、十分な性能を発揮することは難しい。単純な汎用化では知識の衝突が起こったり、別の認識アプローチ(が適していたとしてもそれ)を採るのが難しい等の問題がある。今後、図面自動入力の適用範囲を広げていくためには、認識性能を劣化させない汎用図面自動入力システム構成法の検討が必要となる。

現在地図のように、図形の形状や位置が重要な図面の場合、どの程度「よく」入力が行われたかを評価する基準で、広く合意の得られているものが存在していない。研究や開発を行う際に、ある工夫がどの程度性能の向上に役立ったかをわかりやすい基準で評価できることは、意欲向上の面できわめて重要である。また利用者にとっても、機種を選定する際に性能を比較できる尺度が必要になる。図面自動入力の分野では、システムの性能向上への努力と共に、システムの評価基準の創案・制定が急がれる。

GISデータの取得の観点から、航空写真から直接デジタル地図情報を得てGISデータを更新可能なことが、更新時間とコストの観点から望ましい。国土基本図など高精度が要求されるものは、解析図化機を用いて描画した後、現地調査を経て作図される。一方で、若干精度が落ちてても常に最新の地理データが欲しいという要求もある。このような要求に答えるため、現在国土地理院を中心に簡易地図更新の研究が行われている。これは、人間の既存の地図と比較しながら航空写真を見て変化部分を探し、手作業で更新を行うというものであるが、パターン認識の技術を用いることによって、より多くの処理を人手から計算機に移すことが可能になる。現在計算機によるパターン認識の技術

はまだ不完全なものであり、航空写真のように複雑なものを対象にする場合、高い精度での変化部分の抽出やその自動更新は期待できない。したがって、良好な人間-機械系の援助や、すでに GIS 中に存在する若干古い（しかし多くは、一致する）データを利用したトップダウン認識等の工夫が必要となると思われる。（1993年12月10日受理）

#### 参 考 文 献

- 1) 田中直哉：「エネルギー最小化原理を用いた高精度ベクトル化手法」. 第3回機能図形シンポ, pp. 13-18, 1992
- 2) 大沢裕, 坂内正夫：「多次元データ構造を用いた図面処理—図形のベクトル化」, 信学論, J66D, 10, pp. 1193-1200, 1983
- 3) 呉, 坂内正夫：「オブジェクト指向型図面理解システム OO-MUDAMS」, 第4回機能図形シンポ, pp. 31-36, 1993
- 4) 新井啓之, 片桐雅二, 名倉正計：「学習機能を導入した会話型図形認識手法」, 第4回機能図形シンポ, pp. 19-24, 1993
- 5) 大沢裕, 滝嶋康弘, 坂内正夫：「会話的な認識による信頼性の向上を図った地図自動入力システム」, 信学論, J72D-II, 4, pp. 545-554, 1989
- 6) 佐藤真一, 大沢裕, 坂内正夫：「対象の多様性に対応しうる図面理解システムの一提案」, 情報処理学会論文誌, 33, 9, pp. 1092-1102, 1992
- 7) 大沢裕, 坂内正夫：「良好な動特性を持つ多次元点データ管理構造の一提案」, 信学論, J66D, 10, pp. 1193-1200, 1984
- 8) Guttman, A "R-Trees : A Dynamic Index Structure for Spatial Searching", Proc. ACM SIGMOD, 1988
- 9) Sellis, T., Roussopoulos, N., Faloutsos, C "The R+Tree : A Dynamic Index for Multidimensional Objects", Proc. 13-th International Conference on Very Large Databases, 1987
- 10) 大沢裕, 坂内正夫：「2種類の補助情報により検索と管理性能の向上を図った多次元データ構造の提案」, 信学論, J74D-I, 8, pp. 467-475, 1991
- 11) 中村泰明, 阿部茂, 大沢裕, 坂内正夫：「木構造による多次元マルチレイヤ・データの管理手法」, 信学論, J72D-II, pp. 40-48, 1989
- 12) Hutflesz, A., Six, H., Widmayer, P "Globally Order Preserving Multidimensional Linear Hashing", Proc. IEEE 4th International Conference on Data Engineering, pp. 572-579, 1988
- 13) 山本薫子, 松田自弘, 縄岡孝善, 藤田安臣：「カーナビゲーション用道路地図生成システムの開発」, 第4回機能図形シンポ, pp. 61-66, 1993
- 14) 全柄東, 李春暁, 坂内正夫：「GIS支援型ナビゲーションシステムの構想」, 第3回機能図形シンポ, pp. 93-96, 1992
- 15) 赤松幸生, 瀬戸島政博, 三上幸三, 加藤博：「CGによる三次元景観の動画像表現に関する検討」, 第3回機能図形シンポ, pp. 59-64, 1992
- 16) 赤松幸生, 瀬戸島政博, 宮澤太郎：「3次元広域景観の動画像表現における画質改善手法の検討」, 第2回機能図形シンポ, pp. 53-58, 1991
- 17) 安田恒雄, 松村隆宏, 水沢肇, 唐沢裕明：「電話:FAXを使った地図案内システム」, 第3回機能図形シンポ, pp. 81-86, 1992