地図図面の自動読取り技術の現状と動向

1. はじめに

最近、地図作成・地図利用の効率化、高度化を目指した数値地図へのニーズが高まっている。その中で重要性を増しているのが地図図面の自動読み取り技術である。従来25000分の1基本図、2500分の1都市計画図、500分の1地形図などほとんど全ての地図が図面（マイラ、銀ネズなど）上のみ情報を表現し保持しているため、地図情報を数値化（コンピュータ可読化）するためには、この既存地図図面から直接情報を抽出せざるを得ない訳である。このためには、本特集号他稿に述べられたディジタイザをベースとするマニュアル図形入力方式が従来から主流として行なわれてきた有力な方法である。しかし、処理時間の短縮やエラーの低減を指向して画面処理手法に基づく地図図面の自動読取りが今注目されてきたのである。これは、もちろんユーザ側のニーズの高まりもあるが、シーズ（技術）としてもその要請に答えられる状況になりつつあるからともいえる。

以下、本稿ではこの地図図面の自動読取り技術について、その全般的現状と動向及び、我国でアクセスできる幾つかの代表的な具体的システムについてそのアウトラインを紹介する。

2. 地図図面自動読取り技術の全般的動向

図面上の地図情報の自動入力は、一般に先ず、画像入力装置（スキャナなど）により図面を数値画像化し

これに適当な画像処理を施して必要情報を抽出する形で実行される。抽出すべき情報としては、地図の場合各地物の形状情報とその属性情報があるが、ディジタイザにはマニュアル処理の場合と比較して前者に重点がある。各地物の形状情報抽出は、画像データから（図形情報や文字・記号情報を分離し）図形情報について所与の誤差範囲で点列（ベクトル）データに変換すること、つまりオートディジタイジングといわれる処理をいう。後者は、いわゆるシンボル認識、対象物認識であり、対象地物が、家か道路かなどを認識する。

このような処理はいわゆる画像処理技術により実行されるが、地図図面の場合膨大なデータ量、ひいては処理時間が問題である。従来の通常の処理方法では、図1に示すように数値入力された地図画像データを2値化し、一部の雑音を除去し次いで「細線化」という対象物の中心線画像を抽出する処理を施し、その結果を折線近似してた。しかし、この細線化手法は、全画像面を処理すること、線幅に比例した処理を要することのために、汎用コンピュータでは処理時間要求を満たすシステムは実現されなかった。

1983年からこのオートディジタイジングの処理時間の問題は2つのアプローチで実用的に解決されてきた。その1つは時間のかかる処理を専用プロセッサにより高速処理するもので、一般の画像処理の高速化にもみられる方向である。上記の通常の細線化処理のハードウェア化が多い。後述のCADIX, SKANTEK, TOSGRAPHなどもこの方向によるものである。今1つは新しい処理手法を工夫し、汎用システム上のソフトウェアベースによっても高速化しようとするもので

図1 通常の図面入力方式

ある。後述のブルーモールシステムや AI-MUDAMS がこの方向による。用いられる処理は先ず、図形の黒輪郭線部を追跡してベクトル化し（この処理自体は画面の一部分しか処理せず、また線巾にも依存しないので高速である）次に、種々の工夫された方法によりその中心部たる芯線を求めるというものである。

一般に、前者のアプローチでは処理が高速化でき比較的定型化された業務に向く反面、ややコスト面やポータビリティ、機能の拡張性などに難点がある。後者は、速度面の要求に答えるためにはある程度の汎用コンピュータ（スーパーミニコン程度以上）を必要とするが、多様な業務を必要とする環境ではコスト面、ポータビリティ、拡張性などにすぐれた性質をもつ。

以下、商用化もしくは実用的に利用可能となっているシステムを全般的に紹介しよう。表 1 は米国及び日本などの主なシステムを挙げた。

地図を対象とするものは、Broomall 社(日本代理店 ERIC 社) Intergraph 社, Laserscan 社, Scitex 社, Sysscan 社, Cadix 社, 東大などから発表されている。前 6 者は市販されており、価格は25万ドル～75万ドル程度である。地図を対象とする場合、形状の正確な抽出（ディジタイジング）が重要となるが、各種設計図などの場合にはむしろ文字・シンボル認識などの属性抽出が重要となる。表 1 のシステムでも地図以外を対象とする場合この認識機能を提供しているシステムも

多い。いずれも印刷された、あるいはテンプレートなどを用いてていねいに手描きされた英数字や定型的なシンボルを扱い、今のところ漢字を対象にできるものはない。いずれのシステムについても、自動読取り機能は現在も改良が重ねられている。

地図図面読取りシステムの機能として、見落すことのできない関連機能として、エディティング機能がある。エディティングについては、本特集号他稿にも解説があるが、自動読取りの場合単に結果の修正、追加等ができるだけではなく、原地図画像データとの対照が容易にとれたり、人間がエディタによりチェックすべき点を明確に分離できることをはじめ、指示コマンドを地図向きにすることなどが必要とされる。Intergraph, Scitex, AI-MUDAMS などで独自の工夫がみられるが、この面は今後の動向に注目したい。

以下、具体的システムとして Broomall 社, Cadix, Tosgraph, AI-MUDAMS などを取り上げ、そのシステムととしての特徴、処理方法、運用結果などを紹介する。

3．地図図面読取りシステム

3.1 ブルモール社の自動図面読取りシステム⁽²⁾⁽³⁾

米国ブルモール社の図面読取りシステムは、操作性の良いフラットベッド型のスキャナーと、高速な自動ベクトル化ソフトウェアから構成されるシステムである。本システムは、各種技術図面、地図等の幅広い対象に適合する様に設計されており、多種類のホスト計算機や、図形出力装置との整合性も考慮されている。図形のベクトル化処理はソフトウェアにより行なわれており、多くの汎用計算機上で処理が可能となっている。処理速度については、手入力で20時間程度要する A 3 版図面について、スキャン時間1.5～2 分、処理時間 5 分程度が報告されている。

スキャナーは A 4 版から A 0 版までの数種類が用意されており、1000ライン／インチから400ライン／インチ程度の分解能で入力できる。画像データの 2 値化は、スキャナーにより行なわれランレグス符号化されたデータがホスト計算機に送られる。A 0 版図面の入力時間は4.5～10分程度である。

スキャナーにより入力された画像データは RAVE (Raster to Vector Conversion Software) と呼ばれるソフトウェアによりベクトル化される。RAVE で

表 1 図面自動読取りシステム				
開 発 主 体	対象図面		特徴その他	
	地図	設計図その他		
Broomall	(米) ○	○	ソフトウェアベース 各種スキャナあり	
Intergraph	(米) ○			
Laserscan	(米) ○	○		
Sysscan	(米) ○	○		
Skantek	(米)	○		
Metagraphics	(米)	○		
Scitex (イスラエル)	○	○		
Cadix	(日) ○	○	4001システムなど。専用プロセッサ	
東 芝	(日)	○	TOSGRAPH	
東 大	(日) ○	○	AI-MUDAMS。多次元データ構造の考え方によるソフトウェアのシステム	

は、線幅の認識、かすれの自動補正、しみなどの雑音除去、ぬりつぶし領域の認識等も行なわれる。図面中の文字の認識については、印刷、またはそれと同程度の品質で描かれた英数字の認識が可能となっている。また文字の高さ、幅、方向、文字ピッチ、字形にかかわらず認識することができる。

自動読取りされた図面の補正や解析の為に、IGMS (Interactive Graphic Management System) と呼ばれる会話型とバッチ型のソフトウェアが用意されている。会話型修正のためには図形の消去や文字の挿入、各種図形の回転、拡大、ノード解析、円や円弧の認識等の機能がある。また、バッチ処理によるユーティリティーには、図面の縮小・拡大、図面の重ね合わせとつなぎ合わせ、ノード解析、円や円弧の認識機能等が用意されている。

このシステムは、我が国では(株)エリックが代理店となっている。

3.2 AI-MUDAMS⁽⁴⁾

図面自動入力に際しての大きな問題点としては、(1)処理時間の短縮と、(2)自動入力の不完全さを補うための会話的修正処理の効率化があげられる。東京大学生研で開発された図面入力システム AI-MUDAMS は、スキャナーで読み取られた図面の画像データを処理の早い段階で図形部の輪郭線データに変換し、この圧縮されたデータを対象に各種演算を施すことにより、時間効率良い図面入力処理を実現しているものである。上記処理を効率良く実現するために BD 木と呼ばれる多次元データ構造が内部のデータ管理構造に用いられている。

一般に大量のデータを対象とした場合、個々の処理は比較的単純なものであっても膨大な時間を要する。AI-MUDAMS の基本となる考え方は、処理対象とするデータを段階的に狭めながら、徐々に施す処理を複雑なものにしていくことにより、完成度が高く、かつ時間効率の良い図面入力を実現しようとするものである。AI-MUDAMS では、ミニコンを用いて、1 mm 当たり 10 本の分解能で入力された 20cm 四方の図面を 4 ~ 7 分程度で処理している。

本システムにおける図面処理は、大きく分けて図 2 に示す 3 つのステップから構成されている。即ち、(1) 2 次元配列の形で与えられる画像データを処理対象とし、図形の輪郭線をベクトル化する部分と、(2) このベクトルデータを BD 木で管理し、そのデータ構造上で

の演算により実際の芯線化を行なう部分、及び(3)図面種に合わせた詳細な処理により、完成したベクトルデータを作成する部分である。以下、この 3 つの部分における処理の概要を述べる。

(a) 図形の輪郭線の追跡 (ステップ 1)

スキャナーにより入力された図面データは図形部分と背景部分に 2 値化される。背景部分に属す画素には値「0」が、図形部分に属す画素には値「1」が割り当てられる。次にこの 2 値画像上で値が「1」の画素の集塊の輪郭線を追跡しつつ、これを折れ線 (ベクトル) で近似する。この輪郭線追跡に際しては、図形部分の輪郭線上を、常に図形部分が追跡方向に対して右側になるようにして追跡する。その結果図 3 に示す様なリング上の対象に対しては、外側の輪郭線は時計回り、内側の輪郭線は反時計回りのループとなる。各ベクトルについてみると、始点から終点に向かう方向の右側に必ず図形部分があることになる。

(b) 芯線化 (ステップ 2)

輪郭線のベクトルを多次元データ構造 BD 木と名付けたコンピュータの内部データ構造で管理し、このデータ構造上で輪郭線ベクトルを求める。文字と図形の分離もこの部分で行なわれる。

図形の線的な部分では、その両側に互いに逆の方向

図 2 図面読取りのフロー

図3 輪郭線の追跡

性を持つベクトルが存在することになる。このようなベクトルを「ペアベクトル」とよぶ。本方式では、画像データ上での細線化処理を、この両側のペアベクトルを基に、その中間（即ち図形の線的な部分の中心）に線を発生する処理で置き換えている。

ステップ2で行なわれる芯線化ベクトルの作成の概要を図4に示す。先ず、図面上でまだ芯線が作成されていない未処理の部分について、輪郭線ベクトルの内長いもの（V）をBD木上で探す。次にベクトルVについて、インク部を挟んで反対側の輪郭線ベクトルW（ペアベクトル）を探し、VとW、2本の線分の中間に芯線ベクトルを作成する。BD木構造は、このように平面上で近接してるベクトルデータを高速に検索できるという特徴を持つデータ構造であり、これによりベクトルWの探査は高速化されている。更に、Vを順方向、またWを逆方向に追跡し、新たなVとWのペアについて芯線を作成する処理を繰り返す。

もし、ベクトルV、Wが図形の端点や、分岐点、又はノイズの重量により複雑な形状となった部分に達したときは、この方向に対する芯線化の処理を中断し、他の側についてVとWのペアを追跡する。両方向について芯線化が終了した時点で、他の部分から別の長いベクトルを探し、同様な処理を繰り返す。

(c) 対象に合わせた整形（ステップ3）

AI-MUDAMSでは、図面種によらず以上のステップまでは同一の処理を行なっている。図面の性質に合わせ、読み取られた図形の整形を行なうのは、ステップ3の部分であり、具体的には次の処理が行なわれる。

①分岐部分の詳細な処理

②インクののにじみにより接触している線同士の切り離し

図4 芯線化の概念図

③かすれにより途切れている線分同士の結合

これらをAI-MUDAMSでは、BD木上での高速なウインド処理により行なっている。即ち、芯線ベクトルの端点を中心として、輪郭線ベクトルと芯線ベクトルに対し、BD木構造上で矩形のウインドをかけ、そのウインド内の線同士の連結関係により線の端点間を結合したり、線分を切り離す処理を行なっている。このウインド処理はステップ2で複雑な部分とみなされ、処理が中断された部分（芯線の中断点）のみに対し行なわれる。ステップ3は若干複雑な処理となっているが、処理対象は前のステップでしばらくこまれておりシステム全体としては高速な処理が実現されている。

一般的に、現在の技術段階では図面の完全な自動入力力は難しく、自動入力された図面データに対して、後程会話処理による若干の修正作業が必要となる。この処理に際しても、ステップ1で作られた輪郭線ベクトルとステップ3で得られた芯線ベクトルデータを重ね合わせて表示しながら手動修正を行なう図面修正システムも試作されている。このシステムでは修正作業に於いて大きな負担となる、自動入力図面と結果図面の相違点を探す手間を効率化している。

3.3 TOSGRAPH⁽¹⁾

地図関連図面の中には、限定された種類のシンボルとそれらの関連を表わす線分により表現された図面も多い。例えば、通信網、エネルギー供給網等の図面である。東芝で開発された図面読取り装置 TOSGRAPH は、このようなシンボル型の図面入力に焦点をあてたシステムである。(但し、現段階では主として論理回路図面の入力に目標が設定されている。) 入力装置には FAX 型、及びドラム型のスキャナーが用いられており、A 3 版の平均的な処理時間は 2 分程度と報告されている。74 種類のシンボルが混在する図面を用いた実験結果では、シンボル認識のリジェクト率、エラー率は各々 0.8%、0.6% 程度が達成されている。

図面の入力処理は、大きく分けて前処理と、シンボル検出と認識の 2 つの部分から構成されている。

前処理部では、連結図形の検出、連結図形毎の細線化、点線、文字、連結図形の分類、セグメントテーブルの作製等の処理が行なわれる。セグメントとは端点や分岐点で区切られた線分である。以上の処理を高速に実行するため、TOSGRAPH では画像処理に際し、線分追跡処理と呼ばれる方式を採用し、これをファームウェアにより実現している。ファームウェアで実現することにより対象図面に応じた柔軟な対応が可能となり、また高速化が計られている。線分追跡法とは、画像中の黒画素の部分のみに注目し、その部分の輪郭線を追跡しながら処理を行なう方式である。通常用いられる全面に一律な処理を施す方式に対し、黒画素部が少ない場合、即ち単純な図面では高速に処理を行なうことができるという特徴を持っている。

次に、前処理で得られたセグメントテーブル中からサブシンボルの抽出が行なわれる。サブシンボルとは、分岐点、端点、屈折点、ループ、塗りつぶしのうち、いずれか 1 つ以上を含むセグメントを呼んでいる。シンボル認識処理は、近い距離にあるサブシンボル同士の組み合わせから可能なシンボルを予測し、予め用意されているシンボルモデルの特徴との照合によりシンボル種を決定するという過程で行なわれる。シンボルモデルは(1)サブシンボルの数、(2)サブシンボルの特徴、(3)サブシンボル間の特徴から成り立っている。モデルとの照合は、(1)と(2)により予測選択されたサブシンボルとモデルのサブシンボル相互の大体の対応付けを行ない、(3)の項目に従い、必要な特徴を計測しつつ行なわれる。この照合に際しては、黒板と呼ぶ概念を導入

し、既に計測済みの特徴量を何度も計測しなおす無駄を省いている。また特徴量の計測に際しては、必要があれば画像データのレベルまで戻り画像処理により特徴量を計測するという手段も用いられている。

本システムは認識を主体としたもので、地図については検討をすすめている段階のようである。

4. 自動読取りシステムの運用事例

朝日航洋^(株)では、従来のマニュアル入力の欠点の解決策として 1983 年に^(株) CADIX 社のオートデジタイザシステムを導入した。このシステムによりマニュアルデジタイザ入力と比較し、入力時間の大幅な短縮と誤測の解消が可能となり、さらにデジタイザでは計測が困難な図面(例えばコンター図)についても容易に計測が行なえるようになった。ここではシステムの構成と機能、テスト計測例、並びに実作業例について紹介する。尚、テストデータ及び実作業例はインターグラフを用いて編集と出力を行なった。

4.1 システム構成とその機能

オートデジタイザシステムは、図 5 に示すように画像読み取り装置(ドラムスキャナー)、図形処理部、ラスタデータ・ベクトルデータを表示するグラフィックディスプレイ、コンソールターミナルなどから構成される。

このうち、画像読取装置(ドラムスキャナー)は図面のスキャンングを行なうもので、表 2 の性能を持つ。

また、画像図形処理部は 12MByte の専用画像メモリを有し、入力された画像データを各種画像処理専用ハードウェアによってベクトル化に必要な処理を行なう。

本システムにより実行される主な機能としては以下のものがある。

- a. カラー認識
- b. ジョイント処理(カスレ等の原因で切れた箇所の接続処理)
- c. コーナー直角化処理
- d. 輪郭抽出処理
- e. シンボル認識処理
- f. ノイズ消去処理

本システムによる処理手順は図 6 に示すように先ずドラムスキャナに対象地図をセットし各種のパラメー

図5 システム構成図

表2 CADIX の仕様

測 定 対 象	白黒・カラーの反射濃度
資 料 サ イ ズ	800mm×1050mm
走 査 範 囲	750mm×1040mm まで可能
サンプリングピッチ	50,100,200,500,1000μm の 5 段切替
回 転 数	4,6,8,10回転／秒の 4 段切替

タ設定を行なった後、ドラムスキャナーによるラスターデータ化→細線化→ベクトル近似を経て実行される。

4.2 運用結果

以下、幾つかの入力実例を示す

(a) 1/2,500都市計画図

図面サイズ：60cm×80cm

処理時間：290分

点 数：225, 480点

出 力 図：部分図（縮尺約1/4）（図7）

(b) 1/25,000基本図コンター版ネガ（コンターXYデータに標高値を付加した情報ファイルを作成）。

データ数：153, 581点

図8にコンター情報ファイルプロッター出力図例を示す。

最後に、オートデジタイザシステムで計測したデータは、基図の汚れ、かすれ及び重ね描画等の為に十分計測しきれない部分についての修正が必要である。さらに、既存図のほとんどは地形、注記及び記号等が描画されて、計測データをそれぞれに分類し細部属性を付加することも必要となる場合がある。以上の

図6 CADIX の処理手順

図7 都市計画図

図8 コンター

作業は、現在のところ人間の判断で処理を行なっているが、いかにして自動処理を行なうかが、今後の新しい課題として残っている。

5. ま と め

以上、地図図面の自動読取り技術について、全般的動向を述べ、幾つかの具体的なシステムを紹介した。現状では、地図に関する自動読取り技術は一般に100%完成されたものではなく、マニュアルによる会話的なチェックやエディティングを必要とするケースが多いが、それでも全てマニュアルで入力するより効率が上

がる場合がかなり増えている状況にあるといえる。今後は、マニュアルによる入力手法との効果的役割分担（相互補間）の確立、自動読取りシステム自身の一層の効率化、高機能化及び自動読取り部と一体化した操作性効率のよいエディタの開発などが必要であり、更に自動読取りを援用した効率のよいシステムの開発などが必要となろう。

参 考 文 献

- 1) 恒川, 下辻: 図面読取装置 TOSGRAPH, 信学論, Vol. J68-D, No. 4, pp. 466-472, 1985
- 2) 「図面読取りシステム」, ㈱エリック
- 3) B.R. Tafoya: A Unique, Cartgraphic, Scanning, Vectorizing & Editing System, Proc. SPIE, Vol. 155 Image Understanding Systems & Industrial Applications, 1978
- 4) 大沢, 坂内: 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, Vol. 68-D, No. 4, pp. 845-852, 1985
- 5) R. N. Stover: Automating Database Capture for CAD/CAM, Computer Graphics World, pp. 45-58, 1984
- 6) M. Sakauchi and Y. Ohsawa: The AI-MUDAMS: The Drawing Processor based on the Multidimensional Pattern Data Structure, 1985 IEEE Computer Society Workshop on CAPAIDM, pp. 139-145, 1985
- 7) A. Maeda et al.: Application of Automatic Drawing Reader for the utility Management System: ibid, pp. 146-153, 1985

執筆 坂内正夫 東大生産技術研究所
大沢 裕 東大生産技術研究所
藤原敏郎 ㈱朝日航洋