二つのモジュールの相互作用に基づく 大規模線図形認識手法[†]

川 上 浩 司*・西 川 聡 司**・小 西 忠 孝*

An Image Recognition Method for Large Scale Drawings Based on Interactions Between Two Levels of Modules

Hiroshi KAWAKAMI*, Satoshi NISHIKAWA** and Tadataka KONISHI*

This paper reports the initial experiments with an image recognition system for large scale drawings. The recognition process is based on interactions between two levels of modules, that is, when the lower modules extract local features, it informs the upper module as a hypothesis, the upper module then controls the lower modules in order to extract evidential features. The upper module also integrates the features into a geometric data, computes more global features, and identifies objects drawn in images. This style of processing avoids some problems created by sequential style of processing e. g. mistakes at any part of sequence cause a fatal mischief to the result. The lower module is an application of neural networks. It requires no pre-processing and therefore it is applicable to large scale drawing, in addition it extracts various types of features by the same architecture. The upper module consists of production system with truth maintenance mechanism by which misunderstandings are revised, in a top-down manner, by global consistency. This paper describes the techniques used, and reports the performance of an experimental system.

Key Words: image recognition, large scale drawings, neural network, truth maintenance system

1. はじめに

近年、計算機技術の高まりとともに、過去の設計図面や地図などのデータベース化と、計算機による高度な利用が注目されている。この場合、手作業のデータコーディングは、多大な労力を要するだけでなく統一性や客観性の欠落を生じるため、計算機による自動データ入力が有効である。

そこで、本研究では大規模な線図形の認識を目的として、二つのモジュールの相互作用による認識手法の枠組みを提案する。ニューラルネットワークにより構成され

る下位モジュールは小領域でのパターン認識を行い、線分の傾きなどの局所的な特徴を抽出する。上位モジュールは、下位モジュールで得られた特徴を統合して意味づけ(解釈)を行う。ここで、局所的な特徴の解釈は全体的な文脈に依存して変化するため、おのおのの解釈を真理性維持システム(truth maintenance system: TMS)のノードによって仮説として表現し、仮説間の整合性をとるという形で全体を認識する。

以上の枠組みで線図形認識システムを構築し、機械設計図面を例にとりて認識能力と有効性を検討する。

2. 線図形認識システムの構成原理

2.1 図面認識における問題点

典型的なパターン認識システムは、図面入力、前処理、図形認識、図面理解のステップを踏む¹⁾²⁾。この場合に生じる問題として、本研究では以下の4点に注目する。

第1に、肉眼の寸法的下限値と等しい分解能で、機械設計図面や地図などに用いられる JIS A0 サイズをデ

[†] 第 32 回計測自動制御学会学術講演会で発表(1993・8)

* 岡山大学工学部 岡山市津島中 3-1-1

** (株)エヌ・ケー・エクス 東京都港区港南 1-8-27 日新ビル

* Faculty of Engineering, Okayama University, Okayama

** NK-EXA Corporation, Minato-ku, Tokyo

(Received January 27, 1995)

(Revised May 22, 1995)

デジタル化すると、2億5千万以上の画素が必要になるといわれている。このデータに対して、雑音除去、輪郭抽出、細線化などの全画素を走査する前処理をいくつも施すと、処理時間が増大する。また、細線化によるヒゲの発生など、前処理によって画像が劣化する場合がある。

第2に、対象(たとえば線分・円弧・数字・矢印)によって異なる図形認識手法を用いると、システムが複雑化する。

第3に、図形認識や図面理解のための知識が、対象に依存するものとししないものを分離せずに一連の手続きに組み込まれていると、新たな知識の追加や認識対象の変更が困難になる。

第4に、前処理から図面理解に向けて固定的かつ一方向的な処理手順を踏むと、前の処理での結果がそれ以降の処理に影響するため、システムの処理能力向上には、初期段階の処理能力を上げる必要がある。また、図面理解では、部分的な理解の結果がほかの部分の理解に利用される^{3),4)}。たとえば機械設計図面の場合、最も顕著な特徴をもつ寸法線から認識を始め、以下、寸法補助線、中心線、の順に認識を進める手順が考えられる。この場合も、寸法線であるとの判断の正確さが全体的な図面理解に影響することになる。

以上の問題点を考慮して、Fig. 1に示す二つのモジュールの相互作用による線図形認識の枠組みを提案する。

2.2 下位モジュール

下位モジュールは局所的な特徴を抽出する。機械設計図、回路図などの線図形を対象とした場合、直線に限らず曲線も小領域では線分で近似できるものとして、基本的な局所の特徴を線分の傾きとする。

本研究では下位モジュールにニューラルネットワーク(NN)を用いる。NNは小領域でのパターン認識能力が高いことが知られており^{5)~7)}、線分の傾きや太さ、数字、文字などの特徴が同一の手法で抽出できる。また、多少のノイズやパターンの変形を許容するため、前処理を行わずに認識できる。これは、計算量の問題、画像劣化の問題、線の太さなどの重要な情報の欠落の問題を解消する。

2.3 上位モジュール

上位モジュールは、まず局所の特徴を統合して幾何学的データを獲得(図形認識)する。その結果から下位モジュールに認識を行わせるつぎの位置を制御する。このサイクルを繰り返しながら逐次ワーキングメモリに書き込まれる幾何学的データに対して、図面理解のための知識を適用してそれが何を意味するか(機械設計図面を対象とするならば、外形線、中心線、寸法線など)を解釈(図面理解)する。このような、図形認識を行いながら図面を理解する枠組によって、図面理解の結果も下位モジュールの制御や局所的な特徴の統合に利用することができる。

本研究では、上位モジュールにプロダクションシステム(PS)の枠組を導入する。これによる利点を以下に示す。

第1に、知識のモジュール性が高く、追加・変更・削除が容易であり、システムの構築が容易である。さらに、図形一般の知識(各種の図面に共通の知識)と対象に依存する知識を分離して記述できるため、対象の変更も容易である。

第2に、ルールは手続き的な表現だけでなく宣言的に記述できるため⁸⁾、手続き的なサイクル(局所の特徴の統合による図形認識)の間に宣言的な知識を用いる(図面を理解する)という、本手法の処理形態を可能にする。

第3に、図面理解のプロセスにおいて、部分的な理解の結果からほかの部分の理解を導く手順をあらかじめ固定的に決定しておく必要がなく、柔軟な図面理解が可能になる。

また、部分的な幾何学データに暫定的な解釈を与えたとしても、認識が進むにつれて関連する情報が多くなると、その解釈が変わり得る。これによって、認識の誤りや解釈の誤りあるいはあいまい性は、ほかの図形要素との関連性によって解消される。このような機能を実現するために、断片的な解釈結果をTMS(truth maintenance system)⁹⁾のノードによって暫定的な仮説として記述し、認識の進行に伴う仮説間の整合性維持機能を導入する。

Fig. 1 Framework of an image recognition system based on interactions between two levels of modules

3. 局所の特徴抽出(下位モジュール)

本研究では、3層フィードフォワード構造のNNを用い、状態遷移関数としてシグモイド形のロジスティック関数を用いて誤差逆伝播学習させ、線分の傾き、太さ、ならびに矢印などの特定の意味をもつシンボルを抽出する。

3.1 線分の傾き認識

線分の傾きを認識するNNを構築するにあたって、離散的に与えられた教師パターンの補間について考察する。

まず、以下に示す構造をしたNNに、Fig.2上段に示す教師パターンと理想出力の組を学習させる。

入力ユニット：169個(13×13ピクセル)

隠れユニット：16個

出力ユニット：4個

四つの出力ユニットは、0°, 45°, 90°, 135°に対応し、その角度に近いパターンが入力されたときに、1に近い値を出力する。

Fig.3に示すグラフは、このNNで0°から45°までの5°おきの直線を10カ所で認識し、出力ユニット0(0°に対応)と、出力ユニット1(45°に対応)の値の平均を結んだものである。20°から30°の角度でどちらのユニットも出力が小さく、分散も大きいため、角度の区別が困難となっている。すなわち、教師パターンを十分に補間できていないことがわかる。

この解決方法として、教師パターンの角度の間隔を狭めて、教師パターン、および出力ユニットの数を増やす方法が考えられるが、学習の収束性の悪化、学習に要する時間の増大という問題が生じる。そこで、本研究では教師パターンならびに抑制性リンクに注目する。

(1) 教師パターンに対する考察

NNの入力は2次元情報である。ところが、この計算機内部のデータ構造は1次元であるため、2次元情報を認識するときに人間ならばほとんど直感的に汲みとることのできる情報、たとえばピクセル間の隣接関係などは反映されない。

Fig.2 Training patterns for inclination

これに対し、各ピクセル間に、対象固有の知識を反映した活性・抑制結合関係を明示的に与える方法が考えられる¹⁰⁾。この考えを2次元線図形に導入すると、原図にはにじみ・位置ずれがあるという知識が、2次元上で近いほど活性、遠いほど抑制性の関係が各ピクセル間にあることに対応する。この関係を与えれば、Fig.2上段に示すパターンからずれたユニットに暗ピクセルが呈示されても、結合関係を辿って当該教師パターンで暗ピクセルが呈示されたユニットが活性化される。

本研究では、この関係を各入力パターンの全ピクセルに対して逐一与えるのではなく、あらかじめFig.2下段の教師パターンで学習させる。これによって、同図上段のパターンで暗ピクセルが呈示される入力ユニットから少し離れた入力ユニットも、当該教師パターンに関連することがあらかじめ学習される。

(2) 抑制性リンクに対する考察

階層型NNにおいて、隠れ層のユニットは“特徴検出器”，すなわち入力パターン中の特定の特徵に応答する働きをもつ¹¹⁾。隠れ層には、その特徴に関係が深い入力ユニットからは正のリンクが、異なるクラスの入力パターンを区別するための特徴に関係する入力ユニットからは負の抑制性リンクが張られる。ここで用いるNNは、入力パターンの区別ではなく補間を目的とする。そこで、以下に示すアルゴリズムを考え、これによって入力層と隠れ層の間の抑制性リンクを除去する。

1. 入力層と隠れ層の間の重みに負の下限(limit)を与える。
2. 標準的な誤差逆伝播方式で重みを更新する際、入力層と隠れ層の重みに関して更新された重み w がlimitより小さくなったとき、 $w = \text{limit}$ とする。
3. 上記のプロセスを各データに対して繰り返し、2乗誤差がしきい値以下になったら、limitを0に近づける。
4. 上記2と3をlimitが0になるまで繰り返す。

Fig.3 Result of recognizing inclination

Fig. 4 Result of recognizing inclination by the NN used in the proposed method

Fig. 5 Training patterns for thickness

Fig. 6 Results of recognizing thickness

Fig. 4 に示すのは、このアルゴリズムを用いて Fig. 2 下段に示すパターンを学習させ、 0° から 180° までの直線を 5° おきに認識した結果であり、Fig. 3 と同様に各角度での 10 回の出力の平均を結んでいる。Fig. 3 と比較すると、間の角度が良好に補間されている。なお、各角度での出力のばらつきは、画像のデジタル化によって生じる。

3.2 線の太さの認識

線の太さの区別は重要な情報源である。たとえば、機械設計図面の認識においては外形線か否かを判断することができる。本研究では太さを認識するために、つぎに示す構造の NN を用い、Fig. 5 に例示のものを含めた 12 の教師パターンを学習させる。

入力ユニット：169 個 (13×13 ピクセル)

隠れユニット：12 個

出力ユニット：2 個

二つの出力ユニットはそれぞれ細い線と太い線に対応している。線の太さが 3 種類以上の対象に変更する場合には、出力層のユニットの数と学習パターンを増やすことで対応できる。この NN を用いた認識結果が Fig. 6 であ

Fig. 7 A NN for recognizing inclination and thickness simultaneously

り、良好な結果を得ていることが確認できる。

Fig. 7 に示すのは、角度を認識する NN に線の太さを認識するユニットを加えた NN の構成である。角度用の NN には抑制性リンクの除去などが施されているため、角度と太さを同じ NN の中で扱うことはできず、角度用と太さ用の隠れ層ユニットを分離している。

3.3 記号の抽出

機械設計図面を認識対象とした場合に顕著な特徴となる矢印を認識するために、つぎに示す構造の NN を導入する。

入力ユニット：169 個 (13×13 ピクセル)

隠れユニット：12 個

出力ユニット：4 個

各出力ユニットは、 0° 、 90° 、 180° 、 270° の矢印の向きを表わし、各向きのパターンを教師事例とする。

3.4 微小な位置ずれの補正

NN は多少のパターンの変形にはあまり影響されないが、そのかわりパターンの呈示位置を限定しなければならない。現在、この問題に対処する手法はいくつか提案されているが^{12)~16)}、本研究では、視野を変える、すなわち暗ピクセルの重心が入力面の中央に来るように入力面の画像に対する位置の微調整を行うことによって対処

する。

4. 特徴の統合と理解(上位モジュール)

上位モジュールの役割は、図形認識、図面理解、ならびにその結果の整合性維持である。

4.1 図形認識

図形の幾何学的なデータは、2.3節で述べたサイクルによって獲得する。

(1) 下位モジュールの位置決め

上位モジュールは、下位モジュールに特徴抽出を行わせるつぎの位置を制御する。たとえば、Fig. 8の「位置1」で認識させた後、下位モジュールを「位置2」へ移動させる。これによって、無駄な特徴抽出を排除するだけでなく、結果としては位置1での特徴の解釈が正しいか否かを確認することになる。

多くの画像理解システムでは、局所の特徴抽出領域の設定にピクセルの追跡が用いられるが、この場合、「ヒゲ」や「切れ」のようなノイズへの対応や、追跡を容易にするためには、多くの場合細線化が必要となる。提案する手法は、上位モジュールからの大局的な情報によって、数ピクセルの範囲で一度に特徴を抽出する領域が設定されるため、このような、各ピクセルに注目する方法における問題は生じない。

Fig. 8に示すような x 軸正方向から時計回りに $0^\circ \sim 45^\circ$ の直線の場合、 x 軸の正方向の移動量(dx)はNNの入力層のサイズ(13ピクセル)である。Fig. 9に実線で示すのは、Fig. 4の中から出力ユニット0の値を抜き出したグラフであり、破線で示すのは

$$y = \exp(-x^2/2\sigma^2) \quad (\sigma = 4.10) \quad (1)$$

のグラフである。これより、NNによる傾きの認識結果は、(1)式で近似してよいと判断し、この近似式の逆関

Fig. 8 Controlling the lower module for tracing a line

数と dx から dy を算出する。

$0^\circ \sim 45^\circ$ 以外の直線を追跡するためのNNの移動量も同様に算出する。

(2) 局所の特徴の統合

下位モジュールで得られた小領域での線分を逐次的に統合しながら、線のデータを得る方法について述べる。すでに統合された直線 L があり、その中の各位置での角度用NNの最大出力ユニット o_m の値の平均値が ave であったとする。この場合、つぎの位置 (x, y) でのNNの認識結果がつぎの三つの条件を満たしたとき、位置 (x, y) は直線 L の一部として統合し、直線 L の終点を (x, y) に更新する。

- ・位置 (x, y) での角度用NNの最大出力ユニットが o_m と同じである
 - ・位置 (x, y) での最大出力ユニットの値と ave との差がしきい値以内である
 - ・太さ用NNの反応により、同じ太さと判断された
- これを認識対象全体に対して繰り返し、全ての直線を認識する。

ただし、上記のように隣接した特徴のみに注目して統合した場合、交差点などにおけるNNの誤認識が統合の誤りを引き起こす。そこで、大局的な文脈に従った図形認識を行い、あいまいさを解消する必要がある。

Fig. 10に示すように、直線 L が終点 (x_l, y_l) まで認識されており、つぎの位置 (x_a, y_a) でのNNの認識結果が L の傾きと異なった場合を考える。上述したように、この現象は汚れやかすれ、または交差点であるといった局所的な乱れの影響でしかなく、大局的に見れば、まだ直

Fig. 9 Comparison between output of unit no. 0 and $y = \exp(-x^2/2\sigma^2)$

Fig. 10 Three types of rules for integrating segments into lines

Fig. 11 An example of understanding drawings by the upper module of the proposed system

Fig. 12 Examples of controlling local feature extractions by hypothesis yielded by upper module

線 L は続いている可能性がある。そこで、 (x_a, y_a) をとばして直線 L を延長した点 (x_b, y_b) で認識を行い、その結果を用いてつぎのような場合分けに従って統合を行う。

「 L の傾き = (x_b, y_b) での傾き」の場合 (Fig. 10(a)) には、直線が続いていると判断して L の終点を (x_b, y_b) に更新し、さらに直線 L の認識を続ける。 (x_a, y_a) は線の交点の可能性があるので、ここで交わる別の直線の追跡はこの位置から開始する。

「 (x_a, y_a) での傾き = (x_b, y_b) での傾き」の場合 (Fig. 10(b)) には、新しい直線 L' が始まっていると判断し、直線 L' の始点を (x_a, y_a) 、終点を (x_b, y_b) として認識を開始する。

L の傾き、 (x_a, y_a) 、 (x_b, y_b) での傾きがすべて異なる場合 (Fig. 10(c)) には、直線 L が (x_i, y_i) で終わっており、新しい直線 L' が (x_b, y_b) から始まっていると判断し、この位置から認識を開始する。なお (x_a, y_a) は直線 L と L' が角をなす所であると判断する。

4.2 図面理解

図面理解の知識を Fig. 11 に示すルール集合中の rule (i), rule(ii) のように宣言的に記述する^(注1)。rule (i) は、直線 X の始点 S 、終点 L に矢印があるならば X は寸法線であること、rule(ii) は、直線 X と寸法線 Y が垂直に交わるならば X は寸法補助線であることを表している。機械設計図面を認識対象例とし、これらの知識は JIS ハンドブック¹⁷⁾ の製図規則から得る。

Fig. 11 に示すのは、このような宣言的な知識を利用して、幾何学的なデータを得るサイクルの中で図面を理解

していく過程の例である。今現在、 a から b までの直線 no. 1、 c から d までの直線 no. 2、そして c の位置に矢印があるという認識結果が WM に入っているとする。この段階で「矢印が d の位置にある」との認識結果が WM に追加されると、rule (i) の条件部が満たされ、変数 X には no. 2 が代入される。rule (i) が適用された結果 no. 2 は寸法線 ($dimension_line(no. 2)$) と理解される。この結果が WM に追加されると、rule (ii) の条件部が満たされ、rule (ii) を適用すると直線 no. 1 は寸法補助線 ($extension_line(no. 1)$) と理解される。

図形認識を行いながら図面理解を行うことは、図形認識と図面理解の間にある方向性をなくすことによって、2.1 節で述べた問題を解消するだけでなく、図面をつぎに走査すべき位置を理解の結果から特定することを可能にする。たとえば Fig. 12(a) で、寸法線と寸法補助線が理解されれば、反対側の寸法補助線のある所を特定することができる。また、Fig. 12(b) に示すように太い線の円が認識されているとき、隣接した局所の特徴のみに注目した走査法では、点 A で直線 L は終わっていると判断されかねないが、外形線と中心線に関する知識から、直線 L は一点鎖線であること、および、この線は続いている可能性が高く、同じ方向に走査を続けるべきであることが判断できる。

5. 断片的解釈間の整合性維持

5.1 整合性維持機構の導入

本システムに限らず認識システムでは、認識の初期段階での不完全な情報の下での解釈は、認識が進むにつれて情報が増えてくると更新される場合が多い。したがって、各解釈に矛盾がないように整合性を維持する機構が必要となる。このような機能をもつ代表的なものに、TMS, ATMS (Assumption based TMS) がある^{18), 19)}。提案するシステムでは信念の数が時々刻々と変化するため、整合性維持機構には TMS が適する²⁰⁾。TMS は、Fig. 1 に示すように上位モジュール内に組み込まれ、WM を介して情報を受け取る。

5.2 知識のノード表現

図面理解のために必要な知識や、線の太さや矢印の有

(注1) 大文字は変数を、小文字は述語名または定数を表わす。

無などの図形認識の結果を、ノードとして表現する方法について述べる。

(1) 線の太さに関する知識のノード表現

直線 l が太いことを表わすノードを LF 、その否定(線が細い)を表わすノードを $\overline{LF}$ とすると、「線が太い」という知識は、 LF を In, $\overline{LF}$ を Out にすることで表現される。また、「線の太さは互いに背反する」という知識は、 SL -just.(Support List Justification)を用いて Table 1(a)に示すように記述する。

「線が細い」という知識は、上述の LF , $\overline{LF}$ を用いると、Table 1(b)に示すように記述できる。

「太い線は外形線($v_outline$)である」という知識は、Table 1(c)に示すように、上述の LF が In のときに外形線を示すノード(LG)が In になるような支持リストによって表現する。

(2) 矢印に関する知識のノード表現

矢印があることを表わすノードを LY 、その否定を $\overline{LY}$ とすると、NN の反応の大きさに応じて、「必ず矢印がある」と判断される場合には Table 1(d)、「矢印があると信じられる」場合には Table 1(e)、「矢印の可能性はある」場合には Table 1(f)に示すように表わす。Table 1(f)に示すノードは暫定的に Out であるが、ほかのノードとの関係により矢印があるべきだと判断されると状態が In に変わる。

「両端に矢印がある線は寸法線である」という知識は、Table 1(g)に示すように表現する。すなわち、始点に矢印があることを表わすノード YS と終点に矢印があることを表わすノード YL による支持リストを、寸法線を表わすノード LS に与える。

「寸法線との交点に矢印がある線は寸法補助線である」という知識は、Table 1(h)に示すように表現する。すなわち、交差する寸法線を表わすノードを LS 、矢印を表わすノードを YA とすると、 LS と YA による支持リストを寸法補助線を表わすノード LH に与える。

Table 1 Encoding knowledge under TMS

node		justification	state
(a) LF :	<i>thick (l)</i>	$SL([], [LF])$	In
$\overline{LF}$:	$\neg thick (l)$		Out
(b) LF :	<i>thick (l)</i>		Out
$\overline{LF}$:	$\neg thick (l)$	$SL([], [LF])$	In
(c) LG :	<i>v_outline (l)</i>	$SL([LF], [])$	Out
(d) LY :	<i>arrow (l)</i>	$SL([], [])$	In
(e) LY :	<i>arrow (l)</i>	$SL([], [LY])$	In
$\overline{LY}$:	$\neg arrow (l)$		Out
(f) LY :	<i>arrow (l)</i>		Out
$\overline{LY}$:	$\neg arrow (l)$	$SL([], [LY])$	In
(g) LS :	<i>dimension_line (l)</i>	$SL([YS, YL], [])$	Out
(h) LH :	<i>projection_line (l)</i>	$SL([YA, LS], [])$	Out

5.3 整合性維持機構を導入した図面理解

簡単な機械設計図面を例にとり、TMS の動きを説明する。まず、上位モジュールに、図面理解のためのルールとして、1. 両端に矢印があるならば寸法線、2. 線が太いならば外形線、3. 寸法線との交点に矢印ならば寸法補助線、などを与える。また、矛盾を発生させるためのルールとして、1. 複数の解釈が成り立っている、2. 外形線の端点に矢印がある、3. 寸法補助線の端点に矢印がある、4. 種類が特定されていない線がある、などを与える。

ここで、Fig. 13(a)に示すように、細い直線 a , b , 太い直線 c , そして、直線 a の左端に矢印があると信じられ、右端には必ず矢印があるという認識結果が得られているとする。

まず、理解のためのルール 1 により、直線 a は寸法線と理解され、前節で述べた方法に従って寸法線のノードが生成される。この段階で適用可能なルールを全て適用した結果を Fig. 13(b)に示す。

ここで、矛盾発生ルール 1 が適用される。つまり、直線 c が寸法補助線でありかつ外形線であることは矛盾しているとして、矛盾ノードを生成する。TMS の矛盾解消アルゴリズムに従うと、 $CF(c$ が太い)と $YS(a$ の始点に矢印)が矛盾発生の原因として発見される。

ここでは原因を YS とすると、TMS が矛盾解消した結果は Fig. 13(c)に示すようになる。

この状態では直線 a の線種が理解されていないので、矛盾発生ルール 4 が適用される。ここで発見される矛盾

Fig. 13 An example of consistency maintenance by TMS

の原因は $\overline{AF}$ (a が細い) あるいは CF である。

原因を $\overline{AF}$ として矛盾を解消した結果 (Fig. 13(d)) は、 a が外形線であるにもかかわらず矢印をもつことになり、再び矛盾が生じる。ここで発見される原因は唯一 CF であり、矛盾を解消した結果は、Fig. 13(e) に示すように 1 本の寸法線と 2 本の寸法補助線という理解となる。

6. 構成原理の有効性確認と考察

6.1 機械設計図面の認識結果

提案するシステム構成原理の有効性を確認するために、実験システムをワークステーション上に試作した。上位モジュールを prolog, 下位モジュールを C 言語により記述する。それぞれのモジュールは Unix 上の独立のプロセスとして動作させ、二つのモジュール間の情報交換はプロセス間通信により実現する。

試作システムでは、下位モジュールを構成する各種ニューラルネットの出力ユニットの値と、つぎに抽出を試みるべき局所的特徴の場所と種類 (線分の傾き、矢印) によって、二つのモジュールは相互作用する。後者は、上位モジュールにおける図形認識ならびに整合性維持機

構を備えた図面理解の結果から特定される。

2章で述べた各モジュールの機能を実現するならば、必ずしも NN や PS を導入する必要はないが、試作システムは NN と記号処理を統合した情報処理に基づくシステム²¹⁾の一つと捉えることができる。このような情報処理の応用として、たとえば西らは本研究と同じ画像理解を対象としているが²²⁾、本研究における全画素を一度に扱う段階の排除、補間機能の利用、多重解釈や誤認識への対応に用いるバックトラッキングの種類などの点で、大規模な対象への対応が異なる。

大規模な対象を認識する場合、あらかじめセグメンテーションを行うことによってデータ圧縮をはかる方法が考えられる。しかし、その処理自体が全画素の走査を繰り返す場合が多い。また、セグメント間の連結関係を判断する処理が別途必要になる。提案する手法における線分の認識では、各画素は一度だけ参照され、また逐次的に連結関係が与えられる。

試作システムで機械設計図面を認識させた結果を Fig. 14 に示す。画面 A はイメージスキャナにより取り込んだ原画像である。画面 B は、下位モジュールで線分の傾きと太さを抽出したものであり、傾き抽出用 NN の最大出力ユニットに対応した傾きの線を引いている。なお、太いと判断された線は太線で表示している。画面 C は図形認識結果であり、太いと認識された部分を太い線で表示している。また、太い矢印は矢印が必ずある、破線の矢印は矢印の可能性があると判断されたものである。画面 D は、図面理解とその解釈の整合性を維持した最終的な結果である。

6.2 実験結果の考察

Fig. 14 の画面 A はノイズを含むが、このような図面に対しても、前処理を施すことなく、画面 B に示すように、下位モジュールによって特徴が抽出できている。

下位モジュールで得られた特徴 (Fig. 14 画面 B) には、隣接する特徴と異なるものがある (たとえば、中心線の辺り、各交点) が、4.1 節で述べた大局的な文脈に従う統合アルゴリズムによって、画面 C に示す認識結果を得ている。

Fig. 14 画面 C では、矢印に関して、矢印がある…3、必ずある…4、可能性がある…1、という結果が得られている。また、線の太さに関して、誤った結果が得られ

Fig. 14 An example of observed pattern (A), extracted local features by lower module (B), recognized shape by upper module without consistency maintenance mechanism (C), and result of understanding by proposed system (D)

ている。このような認識に対しても、整合性維持機構によって、Fig. 14 画面 D に示すように正しく理解できることが確認できる。

以上のように、本研究では個々の処理での誤り、あいまいさを別の処理が解消しながら認識を行えるシステム構成であることが確認された。しかし、つぎに示す問題がある。

第 1 に、整合性維持機構の導入によって認識能力を高めることができた反面、矛盾発生の原因の組合せが多くなると、処理時間が増大する。この問題は TMS を利用するときには不可避であり²⁰⁾、問題解決機構側にヒューリスティックを利用する、問題の階層化によって仮説を少なくする、などの方法で対処する必要がある。また、実験システムのプロダクションシステムは、詳細ルール優先方式によって競合問題に対処しているが、さらに矛盾の少ない結果を得る方式に変更するという対処法も考えることができる。

第 2 に、矛盾発生原因の選び方によっては誤った結果を導くことがある。たとえば、Fig. 14 画面 C における中央やや上部において、寸法線と 2 本の寸法補助線が“太い”と認識されているため、これらは「外形線と寸法線」または「外形線と寸法補助線」であるという二つの解釈が生成される。この矛盾の原因として“矢印がある”ことが選択された場合には、これらは全て外形線と理解される。この原因の一つは、線の太さと矢印に関する知識しか認識に利用されていないことであり、ほかの知識を組み込むことによって対処できると考える。たとえば、矢印の認識に失敗、もしくは TMS によって矢印がないと暫定的に信じられても、

- ・寸法値は寸法線の中央の上側もしくは左側にある
- ・寸法補助線は開放点をもち、寸法線と垂直に交わるなどの知識を用いれば、寸法補助線や寸法数字が理解されたとき、寸法線を理解することができる。

第 3 に、NN の入力ユニットサイズである。提案する手法は、図形認識の精度が最終結果に致命的な影響を及ぼす処理形態ではない。そこで、処理速度向上のために、細線と太線が画素単位で区別できる範囲で、原画像入力の解像度を低く設定した。Fig. 14 に示す例の解像度は 120 dpi である。この入力画像に対する NN の入力ユニットサイズを決定するとき、以下の点を考慮しなければならない。まず、サイズを小さくすれば一度に認識できる範囲が狭くなり、二つのモジュール間でのサイクルの数と、整合性維持モジュールにおける仮説の数が増加し、認識速度を低下させる。逆にサイズを大きくすれば、曲率の小さい曲線の線分近似ができなくなるとともに、曲線から直線に移る部分の判定に誤りが生じる。また、

本研究ではパターンの呈示位置を入力画面の重心計算により求めるので、入力画面の中に 2 本以上の線があると誤認識の原因になる。したがって、ハッチングなどの特別な場合を除いて、入力ユニットに線が複数集まってはならない。

以上の点を考慮して、試作システムの入力ユニットサイズを 13×13 ピクセルとした。局所的特徴抽出器の入力に適するように、原画像をいったん正規化する手法も提案されているが²³⁾、処理速度の低下が予想されるため本研究では検討していない。実験システムでは、入力ユニットのサイズと学習パターンの変更によって、原画像を入力する解像度の変更に対応している。

6.3 今後の展望

提案するシステム構成原理は、つぎに示す点に注目して発展させることができると考える。

第 1 に、本稿では局所の特徴を統合して直線を認識しているが、曲線に関しても、傾きが徐々に変化する連続した局所の特徴を統合するという方法で認識可能であることを確認している。

第 2 に、図面上には寸法値を表わす数字や特別な意味をもつ記号などがある。これらは図面上であらゆる方向を向いており、その認識には回転を許容できる手法を導入しなければならない。また文字列全体として認識する必要があり、パターンの呈示位置のずれの問題や切り出しの問題がある。これらを個別に解消する方法はいくつか提案されているが^{24)~26)}、すべてを同時に解消できれば、寸法を表わす数字や記号の認識結果を図面理解に利用して、高度な認識が可能になる。

第 3 に、本システム構成では、上位モジュールが下位モジュールの線分用 NN と矢印用 NN を切り替えながら、局所の特徴を抽出させている。これらのモジュールを同時駆動させ、さらに、上位モジュールも図形認識部、図面理解部、整合性維持機構が同時に並列的に働く分散協調システム²⁷⁾に発展させることができると考える。このようなシステム構成は、黑板モデルにおいて、分散システムに重要な各エージェントからの情報の整合性²⁸⁾を逐次的にとりながら、認識を進めるものとして捉えられると考える。

第 4 に、上位モジュールから下位モジュールへ送られる情報を、下位モジュールが認識すべき特徴の種類とその位置だけでなく、上位モジュールの推論結果による NN のしきい値の変更、または文字などの向きに関する予測情報などに拡張し、提案したシステム構成をより有効に活用する方法を考えることができる。

7. ま と め

本研究は、二つのモジュールの相互作用の中で、図形認識と図面理解を同時に行うという処理形態をとる。これによって、一方向的な処理形態では、前の処理結果が後の処理に影響するという問題を解消している。さらに、解釈間の整合性維持の機能を組み込むことによって、全体の文脈から誤った解釈を正しい解に導くことができる。

また、NNの教師パターンならびに抑制性のリンクについて考察し、離散的な教師パターンを補間する能力を向上させたNNを構築した。これによって構成される下位モジュールは、1画素ずつ走査を行う前処理を施すことなく特徴抽出を行う。さらに、特徴抽出に対してNNという統一した手法を用いることによって、単純なシステム構成となっている。

上位モジュールでは、モジュール性の高い知識表現を可能にしており、知識の追加・変更・削除が容易であり、さらに、対象に依存する知識と、依存しない知識を分離して記述することができる。これにより、今後対象を変更するときや、新たに知識を組み込んでシステムを発展させていく場合、提案したシステム構成は見通しの良い枠組みであるといえる。なお本研究の一部は、文部省科学研究費奨励(A)05858050の援助を受けて行われた。

参 考 文 献

- 1) 大沢, ほか: 図面の認識と理解, 昭晃堂(1989)
- 2) R. J. Schalkoff: Pattern Recognition —Statistical, Structural and Neural Approaches—, John Wiley & Sons, Inc., (1992)
- 3) 北嶋, ほか: 機械製図図面の認識(第2報), 精密工学会誌, 58-1, 169/176(1992)
- 4) 渡辺, ほか: 機械設計図面の自動認識・理解に関する研究, 日本機械学会論文集(C編), 57-540, 2778/2783(1991)
- 5) 今井, ほか: 3層BPモデルを用いたノイズのある原画像に対する手書き文字認識, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J75-2, 314/323(1992)
- 6) 勘解, ほか: ニューラルネットワークによる回転と大きさに対して不変な手書き数字認識, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J75-11, 1900/1908(1992)
- 7) 畠山, ほか: ニューラルネットワークによる手書き文字認識に関する研究 —任意サイズ文字を含む文字列からの文字認識—, 第17回知能シンポジウム資料, 117/120(1993)
- 8) 安西祐一郎: 岩波講座ソフトウェア科学 16, 認識と学習(1989)
- 9) J. Doyle: A Truth Maintenance System, Artificial Intell., 12, 231/272(1979)
- 10) 樫木, ほか: コネクションリストモデルに基づく地質画像理解, 画像と制御, 138/157, 朝倉書店(1991)
- 11) 桂井浩訳: ニューラルネットワークアーキテクチャ入門, 森北出版(1992)

- 12) 福島邦彦: 脳に学ぶパターン認識, システムと制御, 31-3, 172/179(1987)
- 13) 福見, ほか: ニューラルネットワークによる位置ずれ・回転に不変なパターン認識システム, 電気学会論文誌 C, 110-3, 148/155(1990)
- 14) 須崎, ほか: 位置ずれ・回転パターンを認識するニューラルネットワーク, 情報処理学会論文誌, 34-11, 2277/2281(1993)
- 15) 易, ほか: 誤差逆伝播法による位置ずれパターンの学習, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J74-1, 27/35(1991)
- 16) 広田, ほか: ファジアルゴリズムとニューラルネットワークによる2次元対象物の画像認識, 第13回知能シンポジウム資料, 63/67(1991)
- 17) 福原元一: JISハンドブック 製図, 日本規格協会(1993)
- 18) 岩井, ほか: 知識システム工学, 計測自動制御学会(1991)
- 19) 人工知能学会: 人工知能ハンドブック, オーム社(1990)
- 20) 湯上伸弘: 仮説推論, 人工知能学会誌, 8-4, 399/403(1993)
- 21) R. Sun and L. A. Bookman ed.: Computational Architectures Integrating Neural and Symbolic Processes, Kluwer Academic Publishers, (1995)
- 22) 西, ほか: 記号とパターンの統合による画像理解のための一方式, 計測自動制御学会論文集, 30-11, 1368/1377(1994)
- 23) 福見, ほか: ニューラルネットワークによる位置ずれ・スケール・線分の太さに不変なパターン認識機構, 計測自動制御学会論文集, 30-11, 1360/1367(1994)
- 24) M. B. Reid, L. Spirkovska and E. Ochoa: Simultaneous position, Scale, and Rotation Invariance Pattern Classification Using Third-order Neural Networks, Int. J. of Neural Networks, 1, 154/159(1989)
- 25) 森田, ほか: 回転不変特徴量を用いた数字の認識, 電子情報通信学会技術研究報告, PRU89-139, 33/37(1990)
- 26) 解, ほか: スプライン補間を用いたパターンの回転変換に不変なパターン認識系の構成, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J75-2, 324/334(1992)
- 27) 松山隆司: 分散協調処理による画像理解, 計測と制御, 31-11, 1149/1154(1991)
- 28) 淵一博: 知識プログラミング, 共立出版(1988)

[著 者 紹 介]

川 上 浩 司 (正会員)
(Vol. 31, No. 3 参照)

西 川 聡 司

1992年, 岡山大学工学部情報工学科卒業, 94年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年(株)エヌ・ケー・エクサ入社, 現在に至る。

小 西 忠 孝 (正会員)
(Vol. 31, No. 3 参照)