機械設計図面の自動認識・理解に関する研究*

(一面図の表現法とルールによる解釈法)

渡辺 崇^{*1}, 奥井 貴雄^{*2}, 小野木 貴宏^{*3}
加藤 典彦^{*4}, 藤井 省三^{*4}

A Study on the Recognition and Understanding Expert System of Mechanical Drawings (Representation and Rule Based Understanding of an Individual Projection)

Takashi WATANABE, Takao OKUI, Takahiro ONOKI,
Norihiro KATO and Seizo FUJII

An intelligent translating system is being developed, which extracts the CAD data from mechanical drawings. The system consists of three modules, image processing, image recognition and image understanding. On the basis of local structure of drawing, image recognition module tries to identify visible lines, dimension lines, extension lines, broken lines and center lines. In image understanding module, vector data is modeled on the molecular coupling. Feature points and vectors are regarded as atoms and molecules respectively and the certainty of understanding is denoted by the molecular force. The drawing is expressed by the hierarchy of the object oriented representation, which is composed of nodes, segments of lines and front, side and top views. Expert rules are applied to detect and correct the erroneous result of recognition and complete the understanding.

Key Words: Design Engineering, Drawing, CAD, Image Understanding, Object Oriented Representation, Expert System

1. はじめに

計算機支援による設計図面の作成, 管理は各方面でその有用性が示されている。これとともに, 従来から蓄積されてきた膨大な手書き設計図面を活用するために, それらを適当な CAD データとして登録する機能の要求が高まってきた。

論理回路, 配線経路, 化学プラントなどの設計図面は, 主に特徴的な記号パターンとそれらの結合よりなっており, シンボルの抽出に注目した認識システムがいくつか報告されている⁽¹⁾⁽²⁾。また, 窓やドアなどのパターンと壁部の厚さを利用した間取り図面の認識も試みられている⁽³⁾。一方機械設計図面は, 定形化した記号のほかに, さまざまな意味を持つ線分の相互的な関連のもとに構成されており, 特徴的, 局所的な記述に注目した認識に加え, 大局的な線種, 線分, 記号間の関係を考慮する必要がある。

これまでに, 単なるベクトルデータの抽出にとど

まらず, 機械設計図面の認識, 理解を試みた例がいくつか報告されている^{(4)~(8)}。日根ら⁽⁴⁾は, 両端は必ず開放端であるという条件で寸法補助線を見出し, 寸法補助線との相対関係から他の線分を認識している。岩崎ら⁽⁵⁾や山本ら⁽⁶⁾は, 三面図の整合性から解釈処理を試みている。また安居院ら⁽⁷⁾は, 機械図面中の直線成分と矢印を認識する方法を提唱している。

本研究では, コンパクトでかつ柔軟な解釈機能を備えた機械図面自動入力システムを目標とする。本システムは処理順に, 大きく画像処理部, 画像認識部および図面解釈部よりなる。画像処理部では, 機械設計図面に特徴的な縦横直線成分と, 斜線・曲線成分とを分離する。画像認識部では, 分離された図形データを独立に処理対象とし, 組合せ的処理を効率化して線種認識を行う。解釈部では, 新たに図面を端点・交差点, 各線分, 各面図からなるオブジェクト⁽⁹⁾の階層構造として表現し, 保守性に優れたルールによりトップダウン的に誤認識を発見・修正することで図面理解を行う。

2. 画像処理部

開発実験の現段階では原図面をイメージスキャナにより解像度 300 dpi の 2 値データとして読み込む。そして収縮拡散処理, Hilditch の 8 連結細線化処理⁽¹⁰⁾,

* 平成元年 3 月 10 日 東海支部第 38 期総会講演会および平成 2 年 3 月 14 日 東海支部第 39 期総会講演会において講演, 原稿受付 平成 2 年 9 月 25 日。

^{*1} 正員, 名古屋大学教養部 (〒464-01 名古屋市千種区不老町)。

^{*2} 正員, 防衛庁技術研究本部 (〒229 相模原市淵野辺 2-9-54)。

^{*3} (株)INAX (〒479 常滑市鯉江本町 3-6)。

^{*4} 正員, 名古屋大学工学部。

小面積の孤立図形の除去処理よりなる前処理を施す。

縦横直線成分の分離処理は、領域分割、直線抽出、整形の3段階からなる。領域分割処理では、縦、横方向に黒画素の総和をとり、その分布が谷となる縦横直線の少ない部分を境界として対象図面を大まかに分割する。この領域分割により、長直線と平行する短直線なども、次の抽出処理で漏らさずに取り出すことができるようになる。直線抽出処理では、各分割領域で改めて縦、横方向の黒画素分布を調べ、そのピークの位置を縦横直線成分の存在ラインに相当するとみなす。そして、直線性を調べつつ黒画素を追跡し、縦横直線成分を抽出するとともに、縦横直線に連結した斜線・曲線成分を分離する。整形処理では、縦横方向へのずれや蛇行に多少の許容誤差を持たせて追跡した直線成分を、幾何学的な直線として修正する。

処理部の最後では、認識部における寸法線の一つの判定基準とするため、縦横長ベクトルに付随した短ベクトルの位置関係より矢印を抽出する。

3. 画像認識部

3.1 縦横直線成分認識部 認識部では主に線分の構造的特徴よりその線種を認識する。機械図面にはさまざまな線種が存在し、その識別順序も結果に影響を及ぼすと考えられる。本研究では、以下の順で縦横直線成分の認識を進める。

一点鎖線で表される中心線は、同一直線上の長ベクトルと短ベクトルの繰返しパターンであるという特徴によりこれを認識する。一点鎖線を最初に認識対象とすることにより、寸法補助線を兼ねている中心線データもここで得られる。

機械設計図面の記述法では、寸法線の方により寸法値記入領域が指定されている。このため、この規則に基づき文字に注目して縦横直線成分から寸法線を選び出す。文字は、対象図面に記述されている代表的な文字の縦横の大きさを参考にして識別する。また同時に、画像処理部で抽出した矢印データを用いた寸法線認識も行い、合わせて寸法線データとする。寸法値情報と矢印情報に基づく二つの寸法線抽出判定基準は、

図1 縦横直線成分の寸法補助線の決定法

矢印が認識し難い場合と、寸法線と寸法値が分離していない場合に対処するものであり、実験に用いた図面に対して良好な結果が得られた。認識した寸法線に付随する一連の孤立図形は寸法値データとみなす。

細線化データから、縦横直線成分とその寸法線に付随する矢印データを取り除き斜線・曲線データを得る。この際、後に斜線・曲線に生じる途切れを修復するための消去情報を残しておく。

次に、縦あるいは横に並ぶ一連のベクトル群に注目し、ベクトルの長さや間隔により破線を認識する。

外形線と寸法線の仲立ちをする寸法補助線には、外形線と接触する記述法と接触しない記述法があるが、特別な場合を除いては寸法線と交わることから寸法補助線を認識する。図1は寸法補助線が寸法線と他の長ベクトルと交わっている例である。1本の長ベクトルを寸法補助線候補とし、それを始点、終点から探索して、すべての交点に接続する線分が寸法線であれば、寸法補助線とみなす。寸法線以外の線分が接続し、かつ始点または終点の隣接交点で寸法線と交われば、始点または終点から、最初に寸法線以外の線分と接続する交点までを寸法補助線として認識する。

本研究では、線種として以上の中心線、寸法線、破線、寸法補助線と、対象物の輪郭を表す外形線を取り上げる。なお外形線は、縦横直線成分からここまで認識した線分を除いたベクトルとして認識する。

3.2 斜線・曲線認識 斜線・曲線の細線化イメージデータから線種の認識を行う処理は、図2に示すように前処理、斜線処理、曲線処理より構成する。ここでは斜線は外形線、寸法線、破線、中心線を、また曲線は円、円弧の外形線、破線、中心線を対象とする。

前処理ではまずイメージデータの特徴点間をチェーン符号表現したセグメントに変換する。次に、本来は1

図2 斜線・曲線認識処理のながれ

本であるが、縦横直線成分を抽出した箇所と特徴点で途切れている直線の整形処理を行う。つまり、縦横直線成分を取り出した際の消去情報と特徴点近傍でのセグメント間の関係を用い、二つのセグメントの端点間の距離とそれらの端点近くでの傾きの同一性を基準に、1本のセグメントとして統合する。最後に、構成ドットが1本の直線上にあると考えられるセグメントは斜線、それ以外はひとまず曲線として、第1段階の斜線・曲線分離を行う。曲線として分離されたセグメントには、円弧につながる斜線や折れ線も存在するが、これは曲線処理で扱う。

斜線処理ではまず対象図面の矢印の長さを参考にして斜線から短直線を抽出する。これらのうち、互いの距離と開き角を基準とし矢印を構成する候補を選び、その向きを決定する。そして、向きを含めた基準で矢印と長セグメントの組を探索し、寸法線を認識する。ここでは、円弧の半径や角部の丸みを指示する一つの矢印を持つ記法も考慮した。寸法値データは寸法線に付随する孤立図形として抽出する。矢印とはみなされない短セグメントは、円、円弧の破線、中心線を形成している可能性があるため、曲線処理部に送られる。

寸法線を除いた斜線データから、一直線上にある長短セグメントの並びパターンとして、中心線と破線の認識を行う。そして残った長セグメントの斜線データを外形線とする。

曲線処理では、まず円、円弧の整形処理を行う。これは直線の整形処理における傾きの同一性判定基準を比

較的緩やかにすることで実現している。この後、同一の中心座標と半径を持つ曲線短セグメントの集まりとして、破線からなる円、円弧を認識する。このために、各セグメントの中心座標と半径を法線回帰法⁽¹¹⁾により決定する。

円弧・直線分離および折れ線の角部での切断には、画素列の接線の傾きの変化割合に着目する。偏角関数による分離法⁽¹¹⁾を用いる。この関数値は直線部で零、円弧部では半径により定まる一定値をとる。また、折れ線の角部においては不定となるが、実際の離散近似より得られる値は、角部で一つの極値をとる。このため、この値の変化様式に注目して円弧・直線および折れ線の分離を行う。分離されたセグメントのうち直線成分は外形線として認識する。なお、短いために偏角関数を算出できないセグメントは、次の中心線、外形線認識の対象とする。

分離された円、円弧から中心線と外形線を認識する。まず、同一周上に並ぶセグメントの集合を作り、残存する短セグメントをこれらの集合に割り振り整理する。この後、各集合内のセグメントが分布する範囲のドット占有率と、隣接するセグメント間の距離により、その集合が断続的な円弧からなる中心線か、一連の線分である外形線であるかを決定し曲線認識を終了する。

4. 図面解釈部

4.1 図面表現法 図面解釈部では、縦横直線成分、斜線・曲線成分の認識結果を統合した後、線分の相互関係を考慮した大局的な立場から誤認識の発見、修正を進めることに重点をおき、機械図面としての意味解釈を行うことを目的とする。

線図形に現れる点、線は化学結合モデルでとらえられ、意味ネットワークを持つオブジェクト指向表現⁽⁹⁾⁽¹²⁾で表される。このため、解釈部のプログラムはObjective-C⁽¹³⁾上に構築する。図3に、図面を化学結合表現した例を示す。直線、曲線線分の始点、終点、交点を原子に、線分を分子にみなし、原子間、分子間の隣接関係の確からしさを結合度として表現する。原子の種類として、分子内部の交点である内部点、分子の端にあり他の線分との接続関係のない端点、分子の端にあり他の線分との接続関係がある接線点の3種類を考える。また、破線や中心線は、個々の線分ではなく、意味のある1本の線分を分子として表現する。

各原子、分子はオブジェクトであり、図4に示すネットワーク階層構造に組込まれる。アトムオブジェクト、直線・曲線オブジェクトは原子、分子についての

図3 化学結合モデルで表した設計図面

記述を管理する。直線・曲線オブジェクトは各線種オブジェクトと対応する。線種オブジェクトは各面図のオブジェクトを構成し、面図は三面図オブジェクトで管理される。

4.2 認識結果の整合処理 画像認識部からの直線、曲線図形情報は、認識部で割り当てられた線分番号で整理されている。このため整合処理により、図面内での位置的關係に従い正面図、側面図、平面図の各領域で統合し、原図面では接続するが、独立して認識された結果生じている直線、曲線間の接点のずれを解消する。このとき同時に各線分と交わる交点の数とその座標を求める。

4.3 解釈部の構成 解釈部では、整合処理化データを受け取り、オブジェクト間のメッセージ伝ばで階層構造表現の作成、図面の解釈、理解を進める。この過程を効率よく行うため、解釈部を次の大きく四つのブロックから構成する。

①メッセージ制御ブロック：データ構造作成および解釈開始のメッセージを順次送り、解釈部全体の処理手順の管理を行う。

②ネットワーク管理ブロック：原子、分子とそのインスタンスの対応を管理する。

③知識ベースブロック：図面規則に基づく、ルール形式で記述されている結合度の変更法、誤認識の発見、修正法を管理、実行する。

④図面管理ブロック：図形の階層構造表現を管理する。

各ブロックはいくつかのクラスから構成されている。現段階における主なクラスとそこで管理する変数データを以下に示す。クラス名に続くかっこ内は、そのクラスの上位クラスを示し、IDはクラスからイン

スタンスを生成したときに付けられる識別番号である。

①メッセージ制御ブロック

◇メイン：線種、線、三面図、ルール ID

②ネットワーク管理ブロック

◇線種(オブジェクト)：線分番号、直線・曲線の区別、線分 ID の一覧

◇線(オブジェクト)：線分・アトム ID、アトムの座標の一覧

③知識ベースブロック

◇ルール(オブジェクト)：

④図面管理ブロック

◇三面図(オブジェクト)：正面図・平面図・側面図 ID

◇面図(オブジェクト)：外形線・寸法補助線・破線・中心線 ID

◇正面図、平面図、側面図(三面図)：面図の種類

◇線分(オブジェクト)：対応する直線・曲線 ID、線種、直線・曲線の区別、結合相手のアトム ID、結合相手の直線・曲線 ID、分子間結合度

◇外形線、寸法補助線、破線、中心線(線分)：線種

◇直線(オブジェクト)：線種・線分 ID、アトム ID、アトム間結合度

◇曲線(オブジェクト)：線種・線分 ID、アトム ID、アトム間結合度、中心座標、半径

◇アトム(オブジェクト)：内部点・端点・接続点の区別、座標

図面における線分の位相的接続関係は、線分クラスにおいて管理している。

各クラスは相応したメソッド(手続き)を伴っている。例えば、ネットワーク管理ブロックのクラスは、データをテーブルとして参照、登録するメソッドを持つ。また、メイン、三面図、各面図、線分、直線、曲線および各線種のクラスは、階層構造データを設定するデータ構造作成メソッドや、各レベルで誤認識を発見、修正する際に利用される基本処理メソッドを持つ。ルールクラスのメソッドは、結合度の増減、誤認識の発見、修正を行うルールを起動する。

4.4 解釈部データ構造の作成 メインクラスからまずネットワーク管理ブロック、知識ベースブロックのクラスにメッセージを送り、認識結果に基づき線種、線およびルールのインスタンスを生成する。

図面管理ブロックでは、三面図クラスがメインクラスからのデータ構造作成メソッド起動メッセージを受け取り、さらに三面図クラスから各面図クラスへと、図4の階層構造の上位から下位に向い順次起動メッセージが送られ解釈部でのデータ表現に変換する。この

図4 図面表現のための階層構造

際、ネットワーク管理ブロックは、主に認識部で割り当てた線分番号と、生成される直線、曲線、アトムインスタントのIDとの対応を管理している。解釈前の段階では、結合度は初期値として小さな値を設定する。

4.5 ルール 画像認識部の結果には、図面の特徴的性質や認識方法の特性に依存した誤認識が予測される。このため、解釈部において強力かつ柔軟な誤認識発見、修正ルールを組み込み可能とした。誤認識解消ルールはIF～THEN～形式⁽¹⁾で表し、各クラスが持つ基本処理メソッドを用いて記述する。

ルールは具体的な認識結果が持つ誤認識を解析することにより構築する。実験的に用いた10枚の部品設計図面において見出された主な誤認識を以下に示す。

- ◇ノイズ線分の並びを中心線として認識する。
- ◇ノイズ線分の並びを破線として認識する。
- ◇ノイズ線分を外形線として認識する。
- ◇斜線・曲線の一部を破線として認識する。
- ◇斜線・曲線の一部を外形線として認識する。
- ◇外形線を寸法補助線として認識する。
- ◇寸法補助線の一部を外形線として認識する。
- ◇破線の一部を外形線として認識する。

ルールは大きく分けて

- (I) 直接誤認識を発見、修正するルール
- (II) 結合度を強めるルール
- (III) 結合度により誤認識を発見、修正するルールの3種類で構成する。現段階のシステムでは、ルール(I)、(II)をそれらが対象としている線分に適用した後に、ルール(III)を適用して解釈を終了する。誤認識を発見、修正するルールには以下のものがある。

図5 入力機械設計図面の例

◇外形線として認識された線分が長ベクトルと隣接するならば、それをノイズとして除去する。

◇外形線として認識された短ベクトルが他の線分の内部点につながるならば、その短ベクトルを破線として再認識を試みる。

結合度を強めるルールは、原則的には認識された寸法線との相対的な関係を基に構築する。これは認識部における文字情報と矢印情報を用いた寸法線の認識率が優れていることによる。結合度を強めるルールには、例えば次のようなものがある。

- ◇寸法線に交差する線分の接続関係を確認し、交差線分のアトム結合、寸法線との分子結合を強める。
- ◇互いに接続する外形線同士の分子結合を強める。
- ◇中心線をはさみ対応する線分がある場合は、対応線分、中心線のアトム結合を強める。
- ◇円弧外形線とそれを示す斜線の対応を強める。

ひととおり結合度を強めるルールを適用した後に、結合度が初期値以下となっている所を誤認識が存在する箇所として判定する。そして、現段階では主に外形線の閉ループ性を調べることにより、線種間の接続関係を修正していく。

5. 稼働結果

本システムはワークステーション(日立 2050/32, メインメモリー 16 MB)上で構築している。図5に示す図面を例に解析結果を示す。本図面の処理時間は、入

図6 認識結果の例

出力を含めた全時間で、画像処理部がおよそ 10 min, 画像認識部は 2 min, 図面解釈部は 10 s である。図 6(a), (b), (c), (d) は画像認識部の結果であり、それぞれ外形線、寸法線、寸法補助線、中心線を示す。認識結果では、部品上部の曲線から直線につながる外形線が正しく決定されず、寸法補助線とされており、また文字の一部が外形線の認識結果にノイズとして現れている。

この認識結果を解釈部で処理して得られる、修正された外形線、寸法補助線を図 7(a), (b) に示す。外形線の図に現れているドットは、円、円弧の中心を示している。結合度を強めるルールを適用しても、外形線上部左右の円弧と寸法補助線とみなされた上部の外形線の結合度は増強されないが、この箇所に誤認識があることを発見したルールは、閉ループ性に基づき外形線の再認識を行い、正しい結果を得ている。外形線のノイズも解釈ルールにより正当に除去されている。

6. お わ り に

機械設計図面を認識、解釈する自動入力機構の構築を試みた。ボトムアップ的に処理を進める認識部では、図形を縦横直線成分と斜線・曲線に分離し、線種を決定する際の組合せ処理の効率化をはかった。解釈部では、化学結合モデルをもとに、図面をネットワーク階層構造で整理するとともに、点、線分間の関係の認識の確からしさを結合度により表現した。そして、トップダウン的に誤認識の発見、修正および結合度の変更を行うルールによる解釈機能を、オブジェクト指向の考えで構築し、良好な結果を得た。

今後は、実際の設計図面に沿い認識部の改良を進めるとともに、寸法値情報、面図間の関係に基づくより

(a) 外形線の解釈結果

(b) 寸法補助線の解釈結果

図 7 解釈結果の例

上位レベルからの解釈を遂行するためのルールを、実験を通して抽出、整備することが課題である。

最後に、本研究は(株)リコー、画像技術研究所のご協力、ご助言のもとで行われたことを記し、ここに謝意を表す。

文 献

- (1) 田中・ほか 3 名, 情報第 35 回全国大会, (1987), 2689-2690.
- (2) 近藤・ほか 5 名, 情報論, 28-4(1987), 384-394.
- (3) 野村・月尾, 人工知能学会誌, 3-4(1988), 494-502.
- (4) 日根・松坂, 情報第 33 回全国大会, (1986), 1489-1490.
- (5) 岩崎・ほか 3 名, 信学技法, PRU 87-23(1987), 51-58.
- (6) 山本・ほか 3 名, 文献(5)の 59-66 ページ.
- (7) 安居・ほか 2 名, 信技法, PRU 87-55(1989), 77-86.
- (8) 魯・ほか 2 名, 文献(1)の 2163-2164 ページ.
- (9) 鈴木編, オブジェクト指向, (1985), 第 1 章, 共立出版.
- (10) 長谷川・ほか 3 名, 画像処理の基本技法<技術入門編>, (1987), 第 3 章, 技術評論社.
- (11) 羅・ほか 2 名, 信学技法, IE 88-47(1988), 144-156.
- (12) 石塚, オブジェクト指向プログラミング, (1988), 第 3 章, アスキー.
- (13) Brecknridge, ほか 2 名, *Objective-C Reference Manual*, (1987), Productivity Products International Inc.
- (14) 上野, 知識工学入門, (1987), 第 3 章, オーム社.