機械製図図面の認識 (第3報)*

—図面構造モデルに基づくトップダウン処理—

北 嶋 克 寛** 諏 訪 光 信*** 岩 谷 隆 雄†

Recognition of Mechanical Drawings (3rd Report)
— Top-Down Processing Based on the Structural Model
for Mechanical Drawings —

Katsuhiko KITAJIMA, Mitsunobu SUWA and Takao IWATANI

This paper presents a 2-D structural model for mechanical drawings and top-down recognition processing based on it. The structural model is composed of an attribute representation model which represents geometrical attributes of drawing elements and a relationship representation model which represents latent relations between them. Both play important roles not only in top-down processing but also later in a highly-functional 2-D CAD system, which the recognition system is focusing on as a target of its application. The authors first propose the configuration of this model and then the method of top-down processing, which includes the modification of misrecognition, the fixation of unseparated elements in bottom-up processing and the method of automatically generating the relationship representation model from the input attribute representation model. All these processing are done based on the production rules which is composed of both JIS drawing rules and tacit understandings. Some examples are finally shown.

Key words: automatic recognition, off-line, mechanical drawings, structural model, top-down, production rules, knowledge base, JIS

1. は じ め に

前報まで¹⁾²⁾で、機械製図図面のオフライン認識システムにおけるボトムアップ処理の手法について報告した。本報では、それに引き続いて用意されているトップダウン処理の手法について報告する。ボトムアップ処理とトップダウン処理を分離して行う理由を含めて本研究の独自性の主張及び他の研究のサーベイなどについては第1報で行っているのので、ここでは割愛する。

本報においては、ボトムアップ処理で生成されたデータと3種類のルール集合に基づいて行われる知識処理を主体とする本トップダウン処理の構成とその機能について述べる。はじめに、本処理を行う前提となる図面の構造的な表現すなわち図面構造モデルの必要性とその果たす役割について述べる。

2. 図面構造モデル

認識結果の図面情報をどのように表現するか、言い換えれば、どのような情報が得られれば正しく認識されたとするかは、認識目的を明確にする上できわめて重要な問題である。工学的な図面を対象とする場合、その自動認識はそれ自身で完結することはありません。得られる情報の利用用途を念頭において行われるのが普通である。機械図面を対象とする場合、現状ではCADの入力ツールとして用いることが最もニーズの高い利用用途として考えられる。

本研究では、このような立場から、寸法の連動修正などが可能な高機能な2次元CADのデータとして用いる情報を認識結果として出力することを目標としている。すなわち、個々の線分及び記号要素の位置や方程式などの幾何学的な情報だけでなく、点と点の接続関係などのトポロジカルな情報及び図面中には陽に表現されていないが、人が見たときに暗黙的に補って解釈している平行/垂直関係などの潜在的な情報の表現を特に重視する。

* 原稿受付 平成3年12月17日

** 正 会 員 東京農工大学工学部 (小金井市中町2-24-16)

*** 正 会 員 (株)リコー (厚木市下荻野1005)

† 正 会 員 (株)日立製作所 (横浜市戸塚区吉田町292)

後者の情報は、一見図面認識で扱う範囲を越えるように見えるが、実は認識された結果の図面情報を整合的に計算機内に再構成するためにはならない情報である。

これらの情報を系統的に表現するモデルを、本研究では図面構造モデルと呼ぶ。図面構造モデルは、属性表現モデルと関係表現モデルから構成される。

これらの内容はトップダウン処理前には不完全なものであるが、後述のように、トップダウン処理によってアップデートされ、整合的なデータに変換される。

2.1 属性表現モデル

属性表現モデルとは、外形線、かくれ線、中心線、寸法線、寸法補助線、引出し線、文字・記号などの分離された各図面要素、及び分離されずに残った未確定要素に関する各属性情報を記述したものである。線要素については、その種類とその幾何学的情報（直線/円弧の別とその方程式など）を表し、文字・記号要素については、その位置と意味を表す。これらは、基本的に、通常のワイヤフレームモデルに基づく2次元CADにおけるデータ表現とほぼ同様であるので、詳細は省略する。

2.2 関係表現モデル

関係表現モデルは、本研究固有のものである。これは、上で述べたように、図面認識の目標を、寸法と属性情報の間に矛盾のない整合的な図面情報を得るという高いレベルに設定することによって必要になるものである。また、製図規則の表現の中でこの関係を陽に扱うことにより、トップダウン処理における検証及び補正処理においても重要な役割を果たすことになる。

関係表現モデルは面図内及び面図間モデルからなる。

面図内関係表現モデルは、正面図、側面図及び平面図の各面図内における外形線同士の接続関係や寸法補助線と寸法線の垂直関係のように、ある特定の図面要素間に暗黙的に存在する関係を表す。

これに対し、面図間関係表現モデルは、正面図の中心線と側面図の中心線の同一直線関係のように面図間にまたがって暗黙的に存在する関係を表す。

2.2.1 面図内関係表現モデル

ここでは、次の9種類の関係を扱う。

(1) 接続関係

外形線と寸法補助線のように、2つの図面要素間の始点又は終点における接続を表す。接続関係は、このほかに、外形線同士、かくれ線同士、かくれ線と寸法補助線及び中心線と寸法補助線との間に生じる。

Fig. 1 A drawing containing some latent relationships

(2) 垂直関係

寸法線と寸法補助線のように、2つの図面要素間の垂直関係を表す。垂直関係は、このほかに、中心線と寸法線、外形線と寸法線、外形線とかくれ線、かくれ線と寸法線及び外形線と中心線との間に生じる。

(3) 平行関係

2つの図面要素間の平行関係を表す。

(4) 中心線と対称な線の関係

中心線とその両側にある2つの線分との間の対称関係を表す。この関係は、このほかに、中心線と2本のかくれ線及び中心線と2本の中心線の間に生じる。

(5) 円と中心線の関係

円とその中心を表すクロスする一対の中心線との間の関係を表す（図1参照）。

(6) 引出し線と接続点の関係

引出し線とそれが指示する図面要素との間の関係を表す。この関係は、このほかに、寸法線と引出し線との間に生じる（図1参照）。

(7) 寸法と図形要素の関係

寸法表現に用いられる図面要素（寸法線又は引出し線）と寸法との間の関係を表す（図1参照）。

(8) 同一直線関係

同一直線上にある図面要素間の関係を表す（図1参照）。

(9) 同径の関係

2つの円が同径であることを表す（図1参照）。

図1に、これらのうち、(5)～(9)の関係を暗黙的にもつ図面例を示す。

2.2.2 面図間関係表現モデル

ここでは、次の2種類の関係を扱う。

(1) 点の対応関係

異なる面図内の2つの点が対応するという関係を表す。ただし、この対応点は、外形線とかくれ線の

Fig. 2 Flow of data

直線要素の端点及び円の軸方向接点だけがその対象になる。

(2) 同一直線関係

異なる面図内の2つの直線が同一直線であるという関係を表す。

以上のような属性及び関係を計算機内で系統的に表現する図面構造モデルを、ボトムアップ処理で得られている不完全な属性表現モデルの情報に基づいて、次節で述べる知識処理の手法によって整合的なものとして得ることが、本トップダウン処理の目的である。

3. トップダウン処理

3.1 データの流れ

上述のように、トップダウン処理（以下、本処理）の入力データは、ボトムアップ処理によって生成された属性表現モデルである。入力時には、属性表現モデル内の各要素は、次の2種類に分類される。

ひとつは、仮確定要素である。これは、ボトムアップ処理によって一応ある図面要素に分離されているものである。しかし、ボトムアップ処理だけでは正しく分離されている保証はなく、真に正しい図面要素であるかどうかの最終的な確定は、大局的な知識に基づく本処理による検証を経る必要があるためこう呼ぶ。

もうひとつは、未確定要素である。これは、ボトムアップ処理において、ある図面要素に一意に分離することができなかった要素を指す²⁾。

本処理は、仮確定要素として分離された各図面要素については、製図規則に基づく知識によって検証を行い確定又は必要に応じて修正し、未確定要素に対しては、同じ知識を用いてある図面要素に同定することが中心となる。この処理の過程で、製図規則に矛盾しない関係が自動的に生成される。

本処理後の出力データは、製図規則に矛盾しない属

Table 1 Sub-rule sets

Drawing rules
• Drawing rules within a view
• Drawing rules between two views
Modifying rules when contradictions occur
• Basic modifying rules
• Supplementary modifying rules

Fig. 3 Outline of top-down processing

性表現モデル及び関係表現モデルとなる（図2）。

3.2 ルールの種類

本処理で重要な役割を果たすルール集合は、表1に示すように、2種類ずつの製図ルールと補正処理ルールのサブルール集合から構成される。面図内及び面図間ルールとともに、IF（条件）THEN（結論）形式で記述され、補正処理ルールは、IF（仮説）THEN（処理）形式で記述される。すなわち、面図内及び面図間ルールによって機械図面の検証が行われ、矛盾が検出されたときだけ補正処理ルールが適用される。このように、検証と補正処理に対する知識を2つに陽に分け整理することによって、知識の生成及び追加が系統的に行いやすくなる。

3.3 制御の流れ

本処理の制御の概要を図3に示す。制御部（スーパーバイザ）は、属性表現モデル、関係表現モデル及びルール集合すべてを管理する。これは、属性表現モデル内の各要素を先頭から順にモニタし、それぞれに対し以下に述べるような製図規則との整合判定（マッチング）を行う。なお、属性表現モデルは、仮確定要素、未確定要素の順に配列されている。制御は仮確定要素と未確定要素で異なる。

3.3.1 仮確定要素に対する制御の流れ

モニタ中の要素 m が仮確定要素である場合、はじめに仮確定されている図面要素 A （外形線、寸法線、…）に対する面図内ルールが適用される。面図内ル

ルは、一般に次のような形式で表される。

[モニタ中の要素 m が図面要素 A であるかどうかを検証するための面図内ルール]

IF (要素 m が線種 L (直線, 円弧, ...) に属する)

- ∩ (要素 m が他の要素 1 と関係 1 をもつ)
- ∩ (要素 1 は図面要素 $B1$ である)
- ∩ (要素 m が他の要素 2 と関係 2 をもつ)
- ∩ (要素 2 は図面要素 $B2$ である)

⋮

THEN (要素 m は図面要素 A である)

このルールに基づく処理手順は以下になる。

- (1) モニタ中の要素 m の線種が条件を満たしているかを調べる。
- (2) 要素 m に他の要素 1 との間に必要な関係 1 があるかを調べる。あるならばさらに次の条件を調べる。
- (3) (2)において、必要な関係 1 がない場合には、属性表現モデル内の幾何学的属性値 (点の座標, 線のベクトル情報など) を利用して必要な関係を積極的に生成していく。関係が生成される成功度は、図面状態によって定まるしきい値に依存する。関係が生成されればさらに次の条件を調べ、されなければ制御部へ戻る。
- (4) 要素 m と関係付けられている (られた) はかの要素 1 が図面要素 $B1$ であるかを調べる。もし要素 1 が未確定要素であるならば、これを図面要素 $B1$ に仮定し再帰的に処理を行う。もし、図面要素 $B1$ に同定されれば、次の条件をさらに調べる ((2) 以下と同じ手順を繰り返す)。同定されなければ制御部へ戻る。
- (5) (4)において、次の条件がなければ要素 m を図面要素 A に確定する。それと同時にその過程で生成された関係 1, ..., n も確定する。

なお、この過程で生成される関係については、常にルールに基づいて生成されるので、未生成の (抜け落ちている) 関係が残されることはあっても、誤った (ルールに矛盾する) 関係が生成されることはない。したがって、生成された関係は直ちに確定する。

例として、寸法補助線に関する面図内ルールを以下に示す。

[モニタ中の要素 m が寸法補助線であるかどうかを検証するための面図内ルール]

IF (要素 m は直線である)

- ∩ (要素 m は線 1 と端点で接続する)
- ∩ (要素 m の一方の端点は他の図面要素と接続関係をもたない)

∩ (要素 1 は外形線である)

∩ (要素 m は線 2 と垂直に接続する)

∩ (要素 2 は寸法線である)

THEN (要素 m は寸法補助線である)

その図面要素 A に対する面図内ルールが満足された場合には、制御部は次に面図間ルールを適用する。面図間ルールは、その要素と他の面図中の要素との間の関係を生成するためのもので、一般に次のような形式で表される。

[モニタ中の要素 m と他の面図中の要素との間の関係を生成するための面図間ルール]

IF (要素 m は図面要素 A である)

- ∩ (要素 m がある面図 v (正面図, ...) に属する)
- ∩ (要素 m が面図 v 以外のある面図中の要素 1 とある関係 1 をもつ)
- ∩ (要素 1 は図面要素 B である)

THEN (要素 m と他の面図の要素 1 の間にその関係 1 を生成する)

このルールに基づく処理手順は、以下のようになる。

- (1) 図面要素 A に同定された要素 m がどの面図にあるかを調べる。この面図を v とする。
- (2) 面図 v 以外の面図中で要素 m と関係 1 をもつ要素 1 を、属性表現モデル内の幾何学的属性値を利用して探す。この要素 1 が見つけれられる成功度は、図面状態によって定まるしきい値に依存する。見つけれられれば要素 1 との間に関係 1 を生成し、見つけれられなければ制御部へ戻る。
- (3) 要素 1 に対し、図面要素 B に対する面図内ルールを適用し、それが図面要素 B であるかどうかを調べる。要素 1 が未確定要素である場合には、それを図面要素 B に仮定した上で同様に面図内ルールを適用する。
- (4) (1)~(3) の過程で矛盾が生じない場合は、生成された関係を確定する。

例として、中心線に関する面図間ルールの例を以下に示す。

[モニタ中の中心線 m と他の面図中の中心線との間の同一直線関係を生成するための面図間ルール]

IF (要素 m は中心線である)

- ∩ (要素 m はある面図 v に属する)
- ∩ (要素 m の線の延長上にある v 以外の面図中に対応する要素 1 が存在する)
- ∩ (要素 1 は中心線である)

THEN (要素 m と要素 1 との間で同一直線関係を生成する)

図面要素 A に対する面図内ルールが適用され、矛盾が検出された場合には、制御部は、次にその矛盾の発生によって起動される補正処理に制御を移行させる。

この処理は、あらかじめ図面要素ごとに矛盾の起こるケースを想定しそれらケースに対する整合判定及びそれに対する補正処理を IF（仮説） THEN（処理）の形式で記述した補正処理ルールに基づいて行われる。しかし、このルールの内容は、仮説及び処理とも、ボトムアップ処理の認識結果に大きく左右されるので、事前に用意するルールだけですべてのケースをカバーすることは困難である。したがって、生起確率の高いケースに対して当初用意されたどのルールにも当てはまらないケースが生じるとに、随時ルールを追加していくという方法を併用する。前者を基本補正処理ルール、後者を随時追加型補正処理ルールと呼ぶ。このように、随時ルールを追加できる点が、ルール形式で記述することの大きな利点のひとつである。

補正処理ルールの形式は、前述の2種類の製図ルールとは異なり、多様な形をとり一般的に書き表すことはできないので、その概要だけを記すこととする。主な基本補正処理ルールには、次のようなものがある。

- (a) 分断された線要素（未確定線を含む）を統合して1本の線要素を生成するための補正。
- (b) 全体又は一部が消失してしまった、円の中心を表すクロスする2本の中心線を回復するための補正。
- (c) 生成されずに落ちてしまった、円と引出し線の関係を生成し直すための補正。
- (d) 全体又は一部が消失してしまった、ある面図中の小円に対応する他の面図中の2本のかくれ線を回復するための補正。
- (e) 矢印が検出されなかったために、寸法線として分離されずに未確定線として分離されてしまったもののうち、他の確定された寸法線に接続する未確定線を寸法線として回復するための補正。
- (f) 何らかの理由で分断されてしまい、それぞれが未確定線として分離されてしまった寸法補助線を、1本の寸法線として回復するための補正。

これらはいずれも、ボトムアップ処理において生じやすい誤分離に対する基本補正処理ルールである。例として、上の (b) 及び (c) に対する基本補正処理ルールを以下に示す。

- ① クロスする一対の中心線及び円と中心線の関係の補正
外形線の円には、その中心を表すクロスする一対の

Fig. 4 Processing to restore a pair of crossed center lines for a circle

中心線がなくてはならない。しかし、ボトムアップ処理において、中心線が正しく分離されなかった場合、それがいくつかの線分に分割され、それぞれが未確定線、かくれ線又は中心線のいずれかとして分離されてしまう確率が高い（図4参照）。そこで、次のようなルールが必要になる。なお、ルール中の外形線などの要素名は仮確定時のものである。

[円の中心を表すクロスする2本の中心線及び円と中心線の間関係を回復するための基本補正処理ルール]

IF（要素 m は外形線である）

- （要素 m は円である）
- （要素 m は一対のクロスする中心線と円と中心線の間関係をもたない）
- （要素 m と交差するか又はその内部に要素 m と関係をもたない他の要素 1, 2, …が存在する）
- （要素 1, 2, …は、未確定線、かくれ線又は中心線のいずれかである）
- （要素 1, 2, …の組の中で、あるしきい値の範囲で直交するものがある）

THEN（要素 1, 2, …の組の中で、あるしきい値の範囲内で同一直線上にある要素の組を統合消去し、クロスする2本の中心線 $C1$, $C2$ を新たに生成する）

- （要素 m と中心線 $C1$, $C2$ との間に、円と中心線の間関係を生成する）

② 円と引出し線の間関係の補正

外形線の円には、その大きさを規定する寸法情報が必ず存在する。その与え方のひとつに、引出し線によって直接与える方法があるが、この与え方では、引出し線が他の外形線によって途中で分断され矢印部分が欠落するか他の要素（未確定線、外形線など）として分離されてしまう確率が高い（図5参照）。

矢印部分が欠落する場合は、引出し線に関する面図内ルールによっても補正される可能性があるが、図5

Fig. 5 Processing to restore a relationship between a leader line and a circle

左のように他の外形線に誤って接続されてしまった場合には、引出し線の条件を満足してしまいこのルールによって補正される可能性はなくなる。そこで、次のようなルールが必要になる。

[円と引出し線の関係を回復するための基本補正処理ルール]

IF (要素 m は外形線である)

- (要素 m は円である)
- (要素 m は寸法情報をもたない)
- (要素 m の近傍に要素 m と関係をもたない要素 1 が存在する)
- (要素 1 は引出し線である)
- (要素 1 の矢先側の線の延長上に要素 m の中心があるしきい値の範囲内で存在する)
- (要素 1 が接続する外形線 2 には、はかに寸法情報がある)

THEN (要素 1 の矢先側の線の長さを要素 m と接続するまで延ばす)

- (要素 m と要素 1 の間に円と引出し線の間を新たに生成する)
- (要素 1 と外形線 2 の間の接続関係を解除する)

この2つの例では、新たな要素や関係が生成されることによって、他の要素との関係に矛盾を生じる可能性はない。しかし、一般に、補正処理によって補正する要素 1 がさらに他の要素 2 と別の関係をもっている場合、補正後にその要素 2 に関するルールを犯してしまう可能性がある。したがって、一度は矛盾がないと判定され確定された要素でも、他の要素に対する補正処理によって矛盾が生じる可能性のある要素に対しては、再度、面図内ルールを適用する。

補正処理が成功するかどうかにかかわらず、この処理の終了後は制御部に戻る。

3.3.2 未確定要素に対する制御の流れ

モニタ中の要素 m が未確定要素である場合には、以下のような処理が行われる。

(1) 未確定要素を順にある図面要素（外形線、中心線等）に仮定して、その図面要素に対する面図内ルールを適用する。ここで、ある一つの面図内ルールにだけ矛盾がないと判定されたならば、その未確定要素をその図面要素に確定する。

(2) いずれの候補に対しても矛盾が生じる場合には、すべての補正処理を適用する。

以上のような処理を進めることによって、すべての図面要素に対して面図内ルールによって矛盾が検出されなくなった場合、または矛盾が検出された場合に補正処理に移行してそれ以上補正が行われなくなった場合に、トップダウン処理が終了する。

4. 実験例

本処理のインプリメンテーションは、マッチング処理の容易な Prolog で行った。図 6 に、市販の製図図面集から選んだサンプルにボトムアップ処理を施した結果を入力データとして本トップダウン処理を行った実験結果を示す。本処理前の図中 (a) の①～⑨は、ボトムアップ処理で誤認識された要素又は未確定要素を表す。(b) に、これらが本処理によって最終的に正しく補正及び確定されている様子が示されている。

なお、本処理で用いられたルールの数は、製図ルールが約 30、基本補正処理ルールが 10 である。3.3.1 で述べたように、基本補正処理としてどのようなものを用意すべきかは、ボトムアップ処理の結果に大きく依存する。したがって、ある図面集合に対するボトム

Fig. 6 An output example before and after the top-down processing

アップ処理の結果から、人が見て誤りと判断できかつ統計的によく現れるパターンに対する補正処理を基本補正処理として事前に用意してある（1725 ページ参照）。

たとえば、3.3.1 で例としてあげた、円と引出し線の関係回復のための基本補正処理ルールは、このような誤りがボトムアップ処理で頻繁に現れるため、基本補正処理として事前に用意してある。これに対し、引出し線が途中で分断され、ボトムアップ処理において、矢先側が寸法線に仮確定され、残りが未確定線として抽出されるような、事前に予測されなかった誤りのパターンが現れたとする。この場合は、次のような随時追加型補正処理ルールを追加することにより、新たな誤りパターンに対処することが可能になる。

[分断された引出し線を回復するための随時追加型補正処理]

IF (要素 m は寸法線である)

$\cap$ (要素 m の端点の近傍に要素 m と関係をもたない要素 1 がある)

$\cap$ (要素 1 は未確定線である)

$\cap$ (要素 1 の近傍に要素 1 と関係をもたない文字記号要素 2 がある)

THEN (要素 m と要素 1 を統合し未確定線とする)

これにより、この未確定線は再び面図内ルールにかけられ引出し線として同定されると同時に、円と引出し線及び引出し線と文字記号の関係が生成される。

このように、基本補正処理と随時追加型補正処理の間に形式上の差はなく、後者を前者に矛盾しない内容で追加登録していくことにより、対象とする図面集合に対する認識率を徐々に向上させることができる。

5. お わ り に

本報では、以下のような特徴をもつ、オフライン機

械製図図面認識におけるトップダウン処理の全体構成について述べた。

- (1) ボトムアップ処理の出力結果である、仮確定要素と未確定要素からなる属性表現モデルを入力情報とし、製図規則に矛盾しない属性表現モデル及び関係表現モデル（あわせて図面構造モデルと呼ぶ）を出力する。
- (2) 面図内ルール、面図間ルール及び補正処理ルールの3種類のルール集合に基づく知識処理を行う。前二者は、JIS 及び暗黙的な製図規則を推論規則として記述したもので、主として、認識結果の検証と関係表現モデルの生成を行う。後者は、検証の結果矛盾がある場合に、その補正手続きを記述する。
- (3) 補正処理ルールは、基本補正処理と随時追加型補正処理ルールからなる。後者を前者に矛盾しないように追加していくことにより、対象とする図面集合に合わせて徐々に認識率を向上させていくことができる。

本報に引き続き、寸法整合処理について報告する予定である。

参 考 文 献

- 1) 北嶋克寛, 黒岩邦博, 志田吉忠: 機械製図図面の認識 (第1報)——線図形要素分離のためのボトムアップ処理, 精密工学会誌, 56, 11 (1990) 2057.
- 2) 北嶋克寛ほか: 機械製図図面の認識 (第2報)——幾何学的及び位相的特徴に基づく線要素の分離, 精密工学会誌, 58, 1 (1992) 169.
- 3) 北嶋克寛ほか: 機械製図図面の認識 (第5報)——トップダウンの解釈の併用, 1988 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1988) 139.
- 4) 諏訪光信, 北嶋克寛: 機械図面認識・編集システムのトップダウン処理における面図間ルールの適用, 1991 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1991) 753.