

図面の生成・理解によるモデリングのためのCADシステム

西原 清一 狩野 均 梅澤 顕
筑波大学 電子・情報工学系

図面理解による3次元物体のモデリングに関する研究開発について、種々の問題点を考察し、開発の現状を報告する。また、図面を介したCADの実用化、高機能化のために今後必要となる課題について、とくに曲面処理、板金図面、図面誤りの処理に関して述べる。

The CAD System for 3-D Modeling by Generation and Understanding of Drawings

Seiichi Nishihara Hitoshi Kanoh Ken Umezawa
Inst. Information Sci. & Electronics, University of Tsukuba

In this note, we introduce and survey our CAD project being carried on in our laboratory. Main stress is placed on clarifying the difference between the drawing understanding and the drawing recognition. The former, in which we feel major interest, is intrinsically a difficult problem because it inherently contains combinatorial search to require more than polynomial time. Actually, understanding drawings is regarded as a process to recover the information lost in projecting 3-D objects to 2-D drawings. But, solid modeling by automatic understanding of the given drawings is one of the promising approach, which is described precisely in the text. Reviewing the studies performed so far, we summarize the future direction of the project and inevitable open problems left.

1. まえがき

三面図などに代表される図面は、機械部品や製品の設計などに、従来から用いられてきた。このような図面を計算機に入力して、解釈させ、3次元モデルを計算機内のデータとして再現することが、われわれの問題である。これにより、企業内に蓄積・保管されている多くの図面を計算機データとして再構築でき、つぎのような種々のメリットが生み出されることになる：

(1)部品データの電子化倉庫ができる、(2)部品を組み合わせたり、改良することが容易になる、(3)部品の寸法変更などの修正が容易、(4)原板や材料からの裁断、折り曲げ、穴開けなどの工程の自動計画、(5)製造コストの見積りや改良、(6)強度、重心計算などの自動化、(7)動的シミュレーションによる動作確認、(8)数値制御情報の生成と設計誤りの予備チェック、(9)アイソメ図や透視図や組み立て図など、プレゼンテーション用イラスト図面の出力、(10)設計にかかる時間の短縮。

本稿では、筆者らが行っている「図面を介したCADシステム」の計画について紹介し、考察を行う。

2. 図面の生成と理解

2. 1 図面認識と図面理解

図面に基づいた3次元形状モデリングCADの構成は、図1に示すようになる。

図面解釈システムに図面を入力する形態として、紙の上に描かれた図面をスキャナで入力するレベルのものから、2次元CADの図面データとして与えられる場合の二つに大別される。後者の場合は、図1の前半は不要である。

「図面の認識」は、入力された二値画像から、線分や曲線などの幾何学的要素を抽出し、それらの接続関係などの位相的構造を明らかにする処理である。したがって、図面認識は、画像処理技術、とくに、二値画像のデジタル幾何学の技術に関するテーマである。

「図面の理解」は、認識の結果またはCADシステムを用いて人手で作られた図面の構造データから、そこで表現されている3次元物体の形状モデルを復元する処理である。したがって、図面理解は、組合せ探索技術、とくに、知識を用いた解探索空間の縮小技術に関するテーマである。

2. 2 図面の構成要素

実際の製図図面は多くの構成要素から成り立っている。それらは、まず、物体の形状そのものを表わす図形部分とそれらに関する説明などの付加情報を表わす図形部分とに大別できる。前者は、外形を表わす実線、隠れた外形を表わす破線などがそうである。後者は、

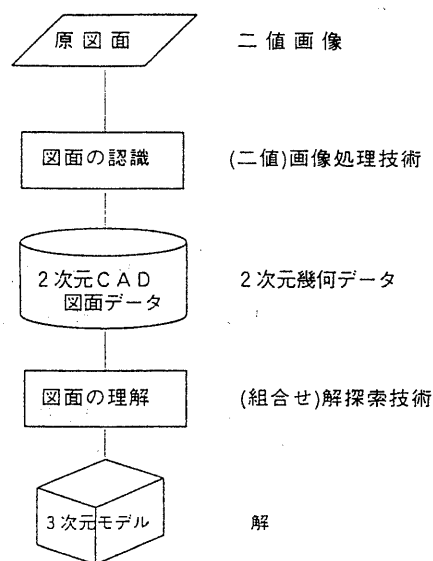


図1 復元の流れ

寸法関係の図形要素（寸法補助線，引出し線，数字，直径や曲率などの記号など），中心線，断面を示すハッチング，仕上げ記号などがそうである．前者は，直線や曲線の形状抽出で，デジタル幾何学の問題である．一方，文字・記号・矢印などの付加的要素の認識は，従来のパターン認識の問題である．また，形状そのものと補助部分とが混在している場合もある．例えば，歯車の一部のみを描き，残りは省略するなどがそうである．以下では，補助図形部分を含まない三面図に限定する．

2. 3 図面理解問題と解法

図面理解問題の形式的定義を与える． Δ を，入力三面図の線分集合とする．三面図は，線種，位置，接続関係などの情報が付属した線分の集合と見なすことができる． Φ を，三面図から復元できる全ての可能な候補面の集合とする．候補面とは，稜で境界づけられた平面や代数曲面である．相異なる曲面または平面が滑らかに接している場合は，別の候補面として認識されているものとする．候補面の集合 S があって，これを三面図に投影して得られる線分の集合を $\text{proj}(S)$ と表わすことにしよう．

このとき，三面図解釈問題は，つぎの2つの条件を満たすような $S (S \subseteq \Phi)$ を求めることである：

条件1（必要条件） S は3次元物体を形成する．

条件2（十分条件） $\text{proj}(S) = \Delta$ である．

条件1は， S が3次元空間において閉じていることを要請している．この意味で，本定義方法は，3次元物体の境界表現を求めることを目的としていることに注意．条件2は，もとの三面図と整合する物体でなければならないという要請である．これは，現実には，線の線種が一致することを確認するための条件である．

上記の条件を満たす解は，三面図が正しくても，一般に複数個ある．これを， $\Sigma = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ とする．元の三面図が意図した3次元物体を T とする． $T \in \Sigma$ でなければならない． Σ には，同じ3次元物体を異なる配置で投影したものが混在している．同じ物体という基準で， Σ を同値類別できる．この同値類別の個数が2以上の時，真に多義解釈が可能という． Σ の中から T を優先的に復元するには，ヒューリスティクスが必要となる．

図1の後半部分すなわち三面図の理解の処理は，図2に示すような構成となる．とくに，処理の効率に大きく影響するのは，図2の後半部，候補面の組合せ探索の部分である．候補面の組合せ探索に関しては，われわれは，つぎの方法を開発した．

- (1) 制約充足問題として定式化する方法，
- (2) 稜に関する面の組合せを分岐候補として木探索を行う方法，
- (3) 各候補面について真または偽を2分岐候補として木探索を行う方法．

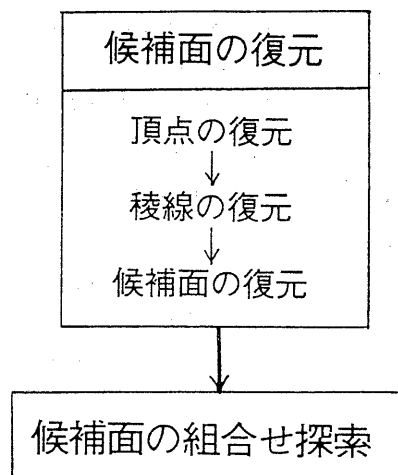


図2 図面理解の流れ

これらの内、(2)は局所的ではあるが、候補面の組合せ探索を含んでいるため試行錯誤による手間がかかる。(3)を(2)を改良したもので、候補面を真または偽と判定したことにより、未決定の候補面の真偽が決定できる場合がある。このように波及効果を利用して、多くの候補面は真偽を一意に判定できるので、探索を高速化することができる。実験によると、10倍～1000倍、平均約200倍の高速化が達成された。

3. 開発経過

われわれがこれまで行ってきた研究開発の経過を次に、年度ごとに述べる。全体の流れとして、知識の導入による処理の高速化、二値画像の形状処理技術の開発、板金などの目的向きシステム化、誤りの解析と修正、などの課題に移ってきている。

- (1)[1985] 制約充足問題（整合ラベリング問題）として表現（渡辺（修））
- (2)[1986] 二値化三面図画像からの線分抽出と解釈（中野（卒））
- (3)[1987] 三面図二値画像の線分抽出とその構造化（西田（卒））
- (4)[1988] 木探索法による三面図データからの多面体復元（木村（卒））
- (5)[1989] 三面図二値画像からの形状抽出と解釈システム（土田（卒））
面の組合せ探索による多面体の復元と知識の導入（西田（修））
- (6)[1990] 線分Hough変換法による直線認識（谷口（卒））
三面図間の幾何学的特徴点の面図間調整（信貴（卒））
知識を用いた探索処理の高速化（井上（卒））
復元多面体の対話的表示と検査システム（蓮子（卒））
- (7)[1991] 面図間の制約に基づく対話的三面図入力（浅野（卒））
機械図面中の文字認識と相殺法による曲率処理（三橋（卒））
曲線形状を含む板金図面の解釈（土田（修））
- (8)[1992] 図面の構造を用いた細線化と線分抽出と曲率認識（張（博））
図面における矛盾の発見と修正支援機能の開発（梅澤（卒））
曲面の接続部分におけるシルエット補助線の自動生成（菊池（卒））
代数2次曲面を含む3次元物体の復元（井上（修））
板金図面の知識を用いた解釈と対話システムの開発（金（博））

4. 拡張と目的向きシステム

[曲面への拡張]

現実の3次元モデルは曲線や曲面を含むことが多いので、曲面を含む三面図を解釈するアルゴリズムの研究は不可欠であり、またさかんに行われている。これには、図面上の曲線を多角形で近似して、多面体のアルゴリズムに載せる方法、曲線/曲面部分をパラメータ化して保持する方法、面の組合せのアルゴリズムを曲面にまで拡張して直接扱えるようにする方法などがある。

われわれは、最後の方法を採用して開発を行った。最新バージョン[7]では、対象の物体は、複数個の物体を無重力の空間に配置できるようなシーンであって、それぞれの物体は2次曲面および多面体から成り立っていて、2次曲面はその中心軸が少なくとも一つの投影面に平行であるように配置されていることという制限のもとで、曲面が扱えるようにな

っている。

[板金部品]

材料の経済性や加工の容易さの面から、実際に使われる機械部品などは、板状の材料に裁断、曲げ、穴開けなどの加工を施したものが多い。板金部品の三面図においては、薄板に起因する固有の省略や加工があるので、その特徴をとらえて理解する方法を開発する必要がある。実際にわれわれが開発した方法では、切断面の部分を三面図から抽出し、その境界線が閉ループを形成していることを認識することによって、板金物体を復元する手法をとっている。

5. むすび

図面を介したソリッドモデリングが実用に近づくためには、なお多くの課題が残されている。その主なものとして次のような課題が考えられる。(1)二値画像レベルにおける形状認識の技術の開発、(2)理解のための知識、ヒューリスティクスの整備、(3)誤りを含まない図面の生成、および、誤りを発見し修正する支援機能の開発、(4)復元図面に付随する情報(加工工程、物理諸元、イラスト図面の生成)の自動化、(5)図面解釈のための知識ベースの開発、などが今後のテーマと考えている。

参 考 文 献

- 1) Aldefeld, B.: On automatic recognition of 3D structures from 2D representations, *Comput. Aided Design*, 15,2 (1983).
- 2) 青村 茂: CADの部屋(中) 図面と3次元モデルを適材適所で使い分け, *日経メカニカル*, 1993.2.22, 同(下) 2次元から立体データ生成加工情報は別ファイルに, *日経メカニカル*, 1993.3.22.
- 3) Chen, Z., Perng, D.-B.: Automatic Reconstruction of 3D Solid Objects from 2D Orthographic Views, *Patt. Recogn.*, 21,5 (1988).
- 4) Dori, D.: Dimensioning Analysis: Toward Automatic Understanding of Engineering Drawings, *Comm. ACM*, 35,10 (1992).
- 5) Haralick, R.M., Queeney, D.: Understanding engineering drawings, *CVGIP*, 20 (1982).
- 6) 出澤正徳: 三面図から立体形成のためのシステム, *日本機械学会論文集*, 38,310 (1972).
- 7) 井上正博, 金 昌憲, 西原清一: 代数曲線を含む三面図の解釈, *グラフィクスとCAD研究会資料*, 情処学会, 93-CG-61,93,14 (1993), (添付資料参照).
- 8) 伊藤潔: 三面図を用いたソリッドモデルの構成 -主に多面体を対象として-, *情報処理*, 31,8 (1990).
- 9) Kim, C., Inoue, M., Nishihara, S.: Heuristic Understanding of Three Orthographic Views, *JIP*, 15,4 (1992).
- 10) 木崎健太郎: 図面から3次元モデルを自動合成するソフト, *日経CG*, (1991).
- 11) Markowsky, G., Wesley, M.A.: Fleshing Out Wire Frames, *IBM J. Res. Develop.*, 24,5 (1980).

- 12) 西田淳, 張紹星, 西原清一: 面の組合せ探索による三面図の解釈, 人工知能学会誌, 6,1(1991).
- 13) Nishihara,S., Nishida,J., Zhang,S.: Heuristics Directed Search in Understanding Engineering Drawings, AI'90, Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, (Nov. 1990).
- 14) 西原, 渡辺, 池田: 面間の局所的拘束関係を用いた三面図解釈, 情処論文誌, 28,5 (1987).
- 15) Sakurai,H., Gossard,D.C.: Solid Model Input Through Orthographic Views, Comput. Graphics, SIGGRAPH, 17,3 (1983).
- 16) 佐々木康仁, 伊藤潔, 鈴木誠道: 三面図からの物体自動合成のための線形擬似ブル代数解法, 情処論文誌, 28,12(1987).
- 17) 千田豊満: 三面図からのもとの立体の自動復元 — 円柱部分を含む立体への適用 —, 情処論文誌, 32,9 (1991).
- 18) 高橋正充, 佐々木康仁, 伊藤潔: 非線形擬似ブル計画法による曖昧な三面図からの多面体の一意的合成, 人工知能学会誌, 6,6 (1991).
- 19) Wesley,M.A., Markowsky,G.: Fleshing Out Projections, IBM J. Res. Develop., 25,6 (1981).
- 20) 横山正明, 河上恵三: 三面図から曲面を含む立体の自動生成, 日本機械学会論文集 (C), 56,526 (1990).
- 21) Yoshiura,H., Fujimura,K., Kunii,T.L.: Top-down construction of 3-D mechanical object shapes from engineering drawings, IEEE COMPUTER, 17,12 (1984).