

ショートノート

面間の局所的拘束関係を用いた三面図解釈†

西原清一** 渡辺恒文** 池田克夫**

三面図データを入力として受け取り、三次元物体を復元し表示するシステムを開発した。本方法は、多面体を構成する‘面’を基礎にしている。すなわち処理の前半では三面図からすべての面の候補を取り出し、後半では多面体を形成し得る面の組を求める。「三次元空間における任意の閉曲線は、三次元物体の表面と偶数回交差する。」という基本性質から、面の組が満たすべき、しかも、適用の容易な拘束条件を導出し、これをいったん、整合ラベル付け問題に変換する。最後にこの問題を、独立した探索問題と見なして解くという方法である。本システムで処理した例を示し、問題点を考察する。

1. ま え が き

CAD/CAM, グラフィクスにおいて、三次元モデルを計算機内に作る作業は最も基本的かつ重要な仕事の一つである。その方法として三面図を入力し目的の三次元物体を復元するという接近法が種々研究されている^{1)~5)}。三面図は本来あいまいさを内包しているが、これを解消し正しい解釈に到達する方法として、ワイヤフレームの位相的性質を用いる方法^{1),2)}、虚物体排除法³⁾、対話処理による方法⁴⁾などが報告されている。本稿は面に注目し、三次元物体の基本性質を面の組合せのための拘束条件として用いる方法について述べるものである。多面体を把握するには、面を基に行う方がワイヤフレームによるよりも自然であり、解析も容易になることが多い。本方法は、システムの開発・変更の容易さや高いモジュラリティを実現するため、面に課せられる拘束条件をいったん、整合ラベル付け問題⁶⁾に変換し、復元処理を探索問題として扱うようにした。

2. 多面体復元問題

三面図データを入力し、最終的に三次元物体を復元するのが目的である。三面図は正面図、平面図および(右)側面図の三つの投影図から成る(図1)**。隠線は

破線で与えられているものとする。本稿では多面体のみを扱う。三面図は‘線分(破線を含む)’の集まりであり、各線分の両端点を‘点’という。線分の並びによって囲まれた部分を‘領域’という。一般に領域は内部に他の線分を含むが、特に破線以外の線分を含まない領域を‘単純領域’という。一方、多面体については、‘頂点’、‘稜’、‘面’を通常の意味で用いる。本稿の方法は、「三次元空間における任意の閉曲線は、三次元物体の表面と偶数回交差する。」という三次元物体に関する基本性質を用いている。この性質は、実世界に物体が存在するための必要十分条件である。次章では、この基本性質から多面体に特有の性質を導き、復元の条件として用いる方法を述べる。

本システムは、三面図をタブレットから入力し、多面体データを生成し、さらに画像表示までを一貫して行うようになっている。しかし本稿では、図面の線分集合データから多面体の面集合データを復元する手法に絞って報告する。なお、取り扱える多面体は、1) 複数個存在し得る、2) 一枚の面が浮遊していたり、二枚の面が背中合わせに密着しているなどのような体積0の部分がない、3) 二物体が稜や頂点を共有していてもよい、など、いわゆる「無重力の三次元空間に実現し得る多面体世界」であればよい。

3. 復元方法およびシステムの構成

復元処理の流れは大きく二つに分けられる。前半(フェイズ1)は、多面体の構成要素すなわち頂点、稜および面をこの順番に復元してゆく過程である。後半(フェイズ2)は、復元された面を組み合わせる多面体を合成する過程である。そしていずれのフェイズにおいても、処理の中心部分は別途開発済みの整合ラ

† Interpretation of Engineering Drawings by Using Local Constraint Relations between Surfaces by SEIICHI NISHIHARA, TSUNEFUMI WATANABE and KATSUO IKEDA (Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba).

** 筑波大学電子・情報工学系

* 現在 日本 IBM(株)

** 図1は、本実験で採用した左手系での座標値のとり方を示している。しかし、入力三面図は、JIS 製図総則に従って、第三角法で描かれたものを用いる。

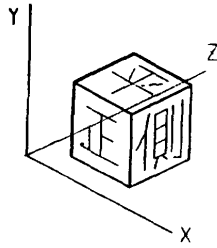


図 1 三面図の位置関係

Fig. 1 Relative position of three views.

ベル付け (CL, Consistent Labeling)⁶⁾ アルゴリズムを利用する点が、本方式の特徴である。このような方法を採用したことにより、各フェイズで新たに開発する必要があったのは、局所的拘束条件 (後述) を CL プログラムの入力データ、すなわち、CLP (Consistent Labeling Problem)⁶⁾ に変換するためのアルゴリズムのみであった。

3.1 フェイズ 1 (面の復元)

ここでは、i) 点データから頂点を復元、ii) 線分・点データおよび頂点より稜を復元、iii) 領域・線分・点データおよび稜より面を復元の三つの処理を順次行う。最後の面の復元がフェイズ 1 の最終目標である。

一つの頂点 $v(x, y, z)$ は各投影図上に点として現れる。すなわち正面図、平面図、側面図においてそれぞれ $p(x, y)$, $p(x, z)$, $p(z, y)$ なる点となる。したがって逆に、このような関係を満たす点の組を各投影面から見れば頂点が得られる。ただし、実在しない頂点が得られる恐れがあるが、これは後続の整合処理で除去される。

次に稜の復元について述べる。稜は、両端点の座標で決定され、投影図上では線分または点となる。したがって稜が存在するための局所的拘束条件は、各投影図において、両端点が一点に射影されるかまたは二点に射影されその間に線分が存在するかのいずれかが成立していることである。

面の復元のための拘束条件は、投影図上の領域を形成する線分列に対応する頂点が同一平面上にあり、さらに、各投影図上での対応する線分が一つの稜の射影になっていることである。

以上の三段階の処理の結果、少なくとも実際に存在し得る可能性のある面はすべて取り出される。

3.2 フェイズ 2 (多面体の復元)

フェイズ 1 によって得られた面の集合をもとに、多面体を構成し得る面の部分集合を求める。このフェイ

ズが本システムの主要な部分である。多面体形成のための条件は、次の四つの拘束条件である。なお、これらの四条件は、多面体が存在するための必要十分条件となっている。

条件 1) 投影面に垂直な任意の空間直線は面と偶数回 (0 を含む) 交差する。特に、投影図上で隣接する二つの領域について、少なくとも一方は 2 以上の偶数回となる (なぜなら、どちらも 0 回なら二領域間の線分は存在しないはず)。また、背景では 0 回である。なお、順次交差する面は、向きが交互に逆になっている (図 2 参照)。

条件 2) 一つの稜を共有する面の数は 2 以上の偶数個である。さらに、それらの共有面のうち二つの面が同一平面上に存在するときは 4 以上の偶数個でなければならない。なお、共有稜線の周囲を通る十分小さな閉曲線に沿って進んだとき、隣合う二面すなわち、 i 回目と $i+1$ 回目 ($i \geq 1$) に出会う二面 (隣接面) の向きは互いに逆である (図 3 参照)。

条件 3) 境界に破線を含むような領域に対応する面に関しては、視点 (正投影の光源と見なされる無限遠点) の方向に少なくとももう一つの面が存在する。

条件 4) 視点に最も近い面、すなわち他の面によって遮られていない面に対応する単純領域が、各投影図に少なくとも一つ存在する。

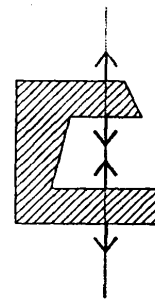


図 2 視線と交差する面の並び

Fig. 2 Sequence of faces pierced by a line of sight.

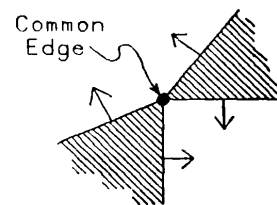


図 3 共有稜線に接する四面の例

Fig. 3 Four faces having a common edge.

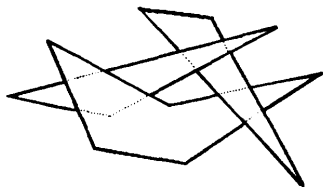


図4 条件4の成り立たない例
Fig. 4 An example that violates the fourth requirement.

以上の四条件はすべて面に関する条件であることに注意。このように面を中心とした処理方法を探っており、フェイズ1と2とは互いに独立性が高いことが理解されるであろう。特に、条件1と2は、2章の基本性質より導いた。条件3は破線の性質を表現している。条件4は常に正しいとは限らない。例えば、多面体の面が図4のような相対位置にある場合は成り立たない。しかし現実にはこのようなケースは極めてまれ

であるし、条件4を使えば、少なくとも一つの単純領域は最終解を含む探索木の開始ノード⁷⁾となっていることが保証できるので、探索手続きを迅速化できる。条件4は、単に処理効率の観点から導入したものであり、この性質が成り立たないような特殊な場合はこの条件を外すとよい。

フェイズ2では、これらの拘束条件を満たすような面の部分的な組合せの全集合を求め、これを2章で述べたように CLP⁶⁾の拘束関係データとして用いる。

4. 実験

図5に示す2例について、本システムの動作を確認した。処理結果を図6に示す。表示は、本研究室で開発した図形表示システム (Hama System) を自動的に呼び出し連動させて行う。図6(a)はユーザ時間で4分24秒、(b)は5分13秒かかった。プログラムは Fortran 77 相当で開発し、処理は Perkin-Elmer 3220で行った。

5. おわりに

タブレットから入力した三面図を解釈し、三次元データに変換したのち表示する一貫システムを開発した。本稿では、点・線分・領域の二次元データから面を復元する処理、および面データから多面体を復元す

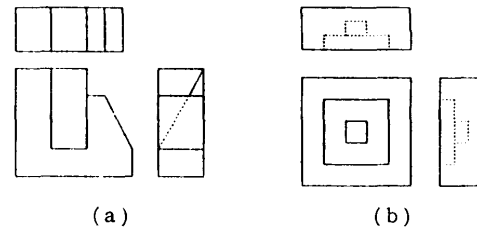


図5 三面図の例 (第三角法)
Fig. 5 Two examples used in the experiment.

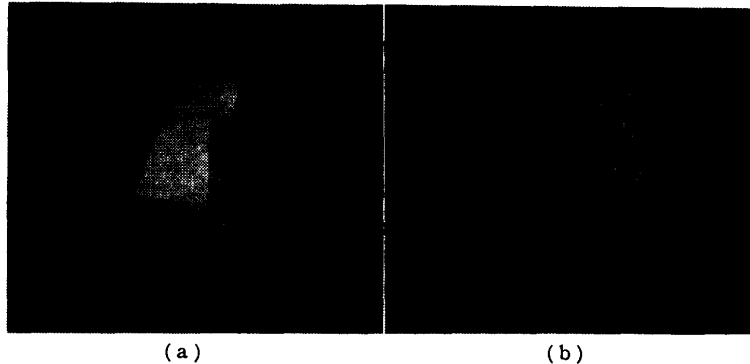


図6 復元された多面体
Fig. 6 Restored polyhedral solid objects.

る処理における局所的拘束条件の適用を中心に述べた。本方法は、処理の前半ですべての面の候補を求めた後は、元の三面図データを再び参照することはない。後半では、多面体を形成し得る面の組合せを、面間の拘束整合化手法⁶⁾を応用して求める。面を基礎とした方法は三次元物体の本質に忠実な自然な接近法であり、多面体を形成するために面間に要請される拘束条件も基本的には一つの原理で表現できることを示した。

処理に要した CPU 時間の大部分は面間の拘束整合化処理に費やされている。これは面の組合せの個数が爆発的に多くなるためであるが、これをなるべく抑制する方法が今後の検討課題である。これには、大別して、CLP⁶⁾の構造に合わせて有効な heuristics⁷⁾を取り入れた整合化アルゴリズムの開発⁶⁾、および本問題に固有の性質や条件を分類して、CLP に変換するのが適当なものとそうでないものとに整理するという方法がある。

三面図は常に唯一つの解釈を導くとは限らない^{1),3),4)}。図7の例では、右の三つを含めて35通りの解釈がある。本システムは、多義解釈のある場合は、可能なすべての解を求める。しかし人間は知識や経験を駆使して最も妥当と思われる解釈を下すことが多い。このように、多義解釈の解決には、人が指示する

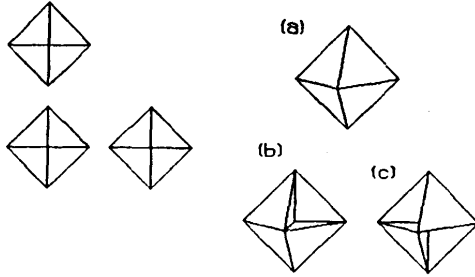


図 7 多義解釈の例

Fig. 7 An example that permits more than one interpretations.

ための対話機能を備えるか、またはある種のheuristicsを取り入れる必要がある。後者の指針としては、i)より単純な(面の個数が少ない、面が大きい、凹凸がない)形状を優先する、ii)同じ図形部分の解釈は同じにする⁴⁾などが考えられる。この指針によれば、図7は(a)が選ばれる。

現在、タブレット入力に代えて、三面図をファクシミリ装置から二値画像として入力し線分データに変換するプログラムを開発中である。

参 考 文 献

- 1) Wesley, M. A. and Markowsky, G : Fleshing out Projections, *IBM J. Res. Dev.*, Vol. 25, No. 6, pp. 934-954 (1981).
- 2) 出澤 : 図形処理に関する研究, 東京生産技研報告, Vol. 23, No. 4, pp. 1-44 (1974).
- 3) 石川, 宮路, 藤生, 伊藤, 松本, 鈴木 : 三面図入力による物体自動合成のための三手法, 情報処理学会コンピュータビジョン研究会, 37-3 (1985).
- 4) Yoshiura, H., Fujimura, K. and Kunii, T. L. : Top-down Construction of 3-D Mechanical Object Shapes from Engineering Drawings, *Computer*, Vol. 17, No. 12, pp. 32-40 (1984).
- 5) Haralick, R. M. and Queeney, D. : Understanding Engineering Drawings, *Comput. Gr. Image Process.*, Vol. 20, pp. 224-258 (1982).
- 6) 西原, 原, 池田 : 拘束ネットワークを用いた整合ラベリング法, 電子通信学会論文誌D, Vol. J67-D, No. 7, pp. 745-752 (1984).

7) Pearl, J. : *Heuristics*, Addison-Wesley, Mass. (1984).

(昭和61年9月4日受付)
(昭和62年3月25日採録)



西原 清一 (正会員)

昭和21年生。昭和43年京都大学工学部数理工学科卒業。昭和43年同大学大型計算機センター助手、昭和50年より筑波大学電子・情報工学系。現在、助教授。昭和57年より1年間文部省在外研究員として、米国ヴァージニア工科大学に留学。工学博士。グラフィックス、画像処理、データ構造と非数値処理、探索問題に興味を持つ。本会論文賞(昭和50年)受賞。ACM, IEEE, 電子情報通信学会、人工知能学会各会員。



渡辺 恒文 (正会員)

昭和37年生。昭和59年筑波大学情報学類卒業。昭和61年同大学院修士課程理工学研究科修了。同年日本アイ・ビー・エム(株)入社。現在、同社ソフトウェアセンターにて、オフィス・システムの開発に従事。電子情報通信学会会員。



池田 克夫 (正会員)

昭和12年生。昭和35年京都大学工学部電子工学科卒業。昭和37年同大学大学院修士課程修了。昭和40年同博士課程学修退学、同年京都大学助手。昭和46年同助教授。昭和46年9月より1年間文部省在外研究員として、米国ユタ大学およびMITに留学。昭和53年筑波大学教授。電子・情報工学系。コンピュータ組織法、LAN、画像処理に興味を持つ。著書に「オペレーティングシステム論」(電子情報通信学会)などがある。工学博士。電子情報通信学会、IEEE、ACM各会員。