

TRL 次世代 CAD (3)

非多様体形状モデルを用いた三面図からのソリッド合成

1M-3

増田宏、沼尾雅之、清水周一

日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所

1. はじめに

従来、機械系のCADでは2次元CADが多く用いられてきたが、形状モデリング技術の進歩や高速なワークステーションの出現により、しだいにソリッドモデルが使われるようになってきている。そのため、大量にある既存の2次元図面を3次元形状モデルに置き換える必要が出てきている。

3次元図面からソリッドモデルを生成しようとする研究は古くから行なわれており、様々な手法が提案されている[1]。従来の一般的な手法では、まず、三面図からワイヤフレームモデル、サーフェスモデルを生成し、それらに対し様々な三面図に関する幾何学的な知識を適用して候補サーフェスの探索を行なう。しかし、従来の方法だと、頂点、稜線、面候補抽出の各段階で、ソリッドになり得ないような候補が多数出現してしまい、それを排除するための知識と、ソリッドと三面図の対応をとるためのより本質的な知識とが、混在してしまってアルゴリズムが複雑になる。さらに、一般に三面図には曖昧さがあつて複数のソリッドに対応することがあるが、この場合、複数の候補を探索によって順番に生成するしか方法がないために、探索の順によつてはユーザの意図するモデルがなかなか現れずに時間がかかったり、探索の結果の複数解を保持するのに大量のデータが必要となる。

本稿では、非多様体形状モデリングシステム[2]とATMSを用いた幾何推論システム[3]を組み合わせることによって、空間のセル分割をベースにした形状モデリングと推論を行ない、すべての候補立体の境界表現ソリッドモデルを高速に生成する手法を実現したので、それについて報告する。

2. 基本的な考え方

本手法では、セル分割モデルが基本となる。図1aに空間を3つのセル、 C_1, C_2, C_3 に分割したセル分割モデルの例を示す。ここから適当なセルを選ぶことによって様々なソリッドを表現することができる。ここで、あるセルがソリッド形状の一部として選択されたとき、そのセルをactiveと呼び、またactiveでないセルを $\sim C_1$ のように書く。図1b,cはそれぞれ、 $\{C_1, C_2, C_3\}$, $\{C_1, \sim C_2, C_3\}$ を選び、その境界をとることによって生成される形状である。一般に、 n 個のセルを組み合わせて生成できるソリッドは、 $2^n - 1$ 通りである。

セル分割モデルを用いると、多数のソリッドを單一

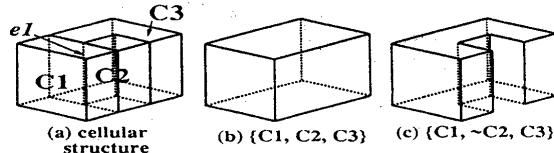


図1: セル分割モデル。

の形状モデルで表現できるので、ソリッド合成の過程で現れるさまざまな候補立体を表現するのに都合がよい。そこで、すべての候補の形状がセルの組合せとして表現できるようなセル分割モデルを作ることを考える。

セル構造を持つ形状モデルは、図1(a)の稜線 e_1 のような三枚以上の面に共有される稜線も含むので非多様体であると呼ばれる。本研究では、東京基礎研究所で開発された非多様体形状モデルを用いている[2]。このモデルでは、セル構造を構成する複数の小空間をvolumeという位相要素で管理し、セル分割モデルに対して $\{C_1, \sim C_2, C_3\}$ といったセルの集合を与えると、それに対応する境界表現ソリッドモデルをただちに得ることができる機構を備えている。さらに、このモデルでは、ソリッド合成の生成過程で現れるワイヤフレームやサーフェス、ソリッドが統一的なデータ構造で表現できる。

セル分割モデルが生成されると、推論を行なって三面図に対応するセルの集合を選び出す必要がある。そこで、三面図とセル分割モデルの稜線の間の関係からブール方程式をたて、ATMSを用いることによって式を解くことを考える[3]。ATMSでは与えられた仮説を「仮定」、推論ルールを「正当化」として記録し、推論によって得られた結論のデータに対して、それを究極的に支持する仮定の組合せを計算する。つまり、各セルの存在を仮定、ブール方程式を正当化式として与えることによって、矛盾しない仮説の組合せを計算させる。幾何推論については4で述べる。

3. セル分割モデル

3.1. セル構造の生成

三面図からセル構造を生成する手順は次の通りである。ここでは、図2aの三面図を例に考える。

(1) 候補稜線の生成：三面図上の各頂点から、3次元座標上の頂点になる可能性のあるものを選びだし、3次元の候補頂点を合成する。さらに、任意の2候補頂点を結ぶ線分の投影図が、与えられた三面図のすべてに頂点または線分として現れていれば、その線分を図2bのようなワイヤフレームモデルの稜線として保持す

Solid Generation from Orthographic Views based on Non-Manifold Geometric Modeling.
Hiroshi MASUDA, Masayuki NUMAO, Shuichi SHIMIZU,
IBM Research, Tokyo Research Laboratory

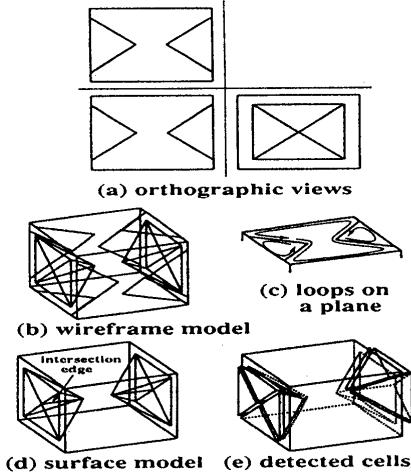


図 2: 三面図からのセル構造の生成。

(2) 面の生成：ワイヤフレームモデルの稜線を辿り、同一平面上のループを探査する。この際、面の法線を適当に決めて、時計回りに見て最も近い稜線を順に辿っていくと、反時計回りの最小のループが得られる(図 2 c)。得られたループには面を張っていく。面を張るときには、既存の面との干渉を調べ、もし稜線以外で干渉するのであれば干渉稜線を生成する。(図 2 d)。(3) セルの探索：図 2 d のサーフェスモデルから、面に囲まれた閉領域を検出し、その領域に volume を定義して体積を持ったセルを作る。検出されるセルは、図 2 e に示す 9 個のセルである。

3.2 セルの条件

次に三面図とセル分割モデルの関係から、満たすべき条件を求める。ここで、生成されたセル分割モデルの各セルを C_1, C_2, \dots, C_n 、セル分割モデルの稜線を $\{e_\lambda\}$ とし、これらの間の関係を求める。

まず、三面図と稜線との対応関係を考えると、条件 1：「三面図の線分がセル分割モデルの稜線の集合 $\{e_\mu\}$ に対応するならば、 $\{e_\mu\}$ の少なくとも一つは選択されたソリッドモデルの稜線となる」、条件 2：「干渉稜線は三面図にないので見えてはならない」という二つの条件が得られる。また、稜線 e_λ の見える条件は、条件 3：「稜線が見えるならば、稜線周りの面のうち二つのみが、唯一一つの active なセルの境界になり、且つ、その 2 面が同一平面上にない」として記述できる。たとえば、図 1 の稜線 e_1 は、セル C_1, C_2, C_3 に共有されているが、条件 3 を満たすセルの組合せは、 $\{C_1, C_2, \sim C_3\}, \{C_1, \sim C_2, C_3\}, \{\sim C_1, C_2, \sim C_3\}, \{\sim C_1, \sim C_2, C_3\}$ の 4 通りである。

以上の条件は、稜線が見えるという仮定を e_1, e_2, \dots 、セルが active であるという仮定を C_1, C_2, \dots と書けば、ブール式で表すことができる。

4. ATMS による候補立体の選択

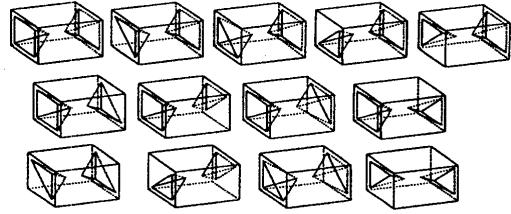


図 3: 選択されたソリッドモデル。

上で与えられた条件を満たす解を求める手法ために、ここでは ATMS を用いる。つまり、各セルの存在を仮定、ブール方程式を正当化式として与えることによって、矛盾しない仮説の組合せを計算させる。本手法では、無矛盾な極大環境が nogood 環境と密接な関係があることを利用して、nogood 環境から極大無矛盾環境を求める[3]。

たとえば、nogood 環境が $\{A, B, E\}$ と $\{C, E\}$ であるとき、積和型の式は、 $ABE + CCE = 0$ となるが、これを変形すると、 $E(A+C)(B+C) = 0$ となる。ここから得られた $\{E\}, \{A, C\}, \{B, C\}$ を、全体集合 $\{A, B, C, D, E\}$ から引くと、 $\{A, B, C, D\}, \{B, D, E\}, \{A, D, E\}$ が得られ、これは極大無矛盾環境である。ここで計算量はラベル更新処理と上記の式変形処理の和になる。式変形処理は nogood 環境の数の指數のオーダであるが、本アプリケーションの場合には、仮説の数に比べて nogood 環境の数が非常に少ないので、この方法は有効である。

上記の方法を用いた具体的なブール式評価の手順は以下のようになる。(1) 三面図のすべての線分 l_1, l_2, l_3, \dots が現れる、という条件を、ノード "all" を結論にした正当化式、 $l_1, l_2, l_3, \dots, l_p \rightarrow all$ 、として ATMS に与える。(2) 三面図の線分 l_1, l_2, \dots が見える条件 ($e_1 \rightarrow l_1, e_2 \rightarrow l_1, \dots$)、および稜線の見える条件 ($C_1 \sim C_2, C_3 \rightarrow e_1, \dots$) を ATMS に与える。(3) 干渉稜線 e_i を nogood とする ($e_i \rightarrow nogood$)。(4) ラベル更新処理を行なう。(5) nogood 環境から上記の方法によって求めた極大無矛盾環境の中から、ノード "all" のラベルの環境をサブセットとして含むようなものを選び出す。これが、三面図に対応するセルの組合せ条件になる。図 3 に選択されたセルの組合せの境界表現を示す。

5.まとめ

三面図からセル分割モデルを生成する方法を示し、ATMS を用いて候補ソリッドをセルの組合せとして抽出する方法を示した。今後は、限定された範囲で 2 次曲面も扱えるように拡張することを考えている。

参考文献

- [1] 伊藤潔、三面図を用いたソリッドモデルの合成：情報処理学会誌、Vol. 31, No. 8, Aug. 1990.
- [2] H.Masuda et al., 'A Mathematical Theory and Applications of Non-Manifold Geometric Modeling,' Advanced Geometric Modeling for Engineering Applications, North-Holland, Nov. 1989.
- [3] S.Shimizu et al., 'An ATMS-Based Geometric Constraint Solver For 3D CAD,' Proc of Int. Conf. on Tools for AI, Nov. 1991.