

二分決定グラフによる効率的な三面図理解システム TOVIN の実装

5C-3

正木 寛人[†] 斎藤 逸郎[†] 石塚 満[†] 奥乃 博[†][†]東京大学工学部電子情報工学科 [‡]NTT 基礎研究所

1 はじめに

3次元物体を表現する手法として、三面図の利用が古くから行われてきた。また、三面図のみで3次元モデルを表現するときの限界も指摘され、その場合には複数の解釈が生じてしまうという問題点があった。我々はこれまでに、横型の探索過程を内包している擬似ブール代数解法による三面図理解の方法 [1] に対して、論理関数のコンパクトな表現法である二分決定グラフ (BDD) が適用できること、また集合演算によりコーディングした三面図の曖昧性除去に対する一手法を提案してきた [6, 7]。本稿では、提案した考え方に基づく試作システム TOVIN (Three Orthographic Views INterpreter) について報告する。

2 擬似ブール代数解法による三面図理解

三面図から対応する3次元モデルを復元する方法の多くは、三面図から候補物体要素 (面・稜線) を列挙し、その後不必要な要素を除去するなどの探索過程を置く。

この探索過程にも様々なものがあるが、佐々木らは候補物体要素 (稜線・面) にそれぞれ f_i と e_j という論理変数を割り当て、それらが所望の3次元モデル中に存在するときに真となるものとし、候補物体要素で張られる問題空間の探索規則を定式化されている擬似ブール代数式で立式した後、それを汎用の擬似ブール代数解法である Hammer の解法で解くことで探索を行った [1]。探索過程の擬似ブール代数による定式化に関しては文献 [1] を参考にされたい。この方法の特徴は、擬似ブール代数で定式化された規則により立式された連立式を擬似ブール代数の汎用解法で処理することで、一括して解を求めていることにあり、またその他の手法が主に縦型の (逐次的な) 探索を行っているのに対して、横型の探索を可能にしている数少ない方法である。論理関数のコンパクトな表現法であり、かつ横型の探索プログラミングを提供するツールである二分決定グラフ (BDD) は、この意味において擬似ブール代数解法に適していると言えよう。なお、本稿では BDD に関する説明は行わないので、文献 [2, 3] を参考にされたい。

3 三面図理解システム TOVIN

TOVIN: An Efficient Understanding System of Three Orthographic Views with Binary Decision Diagrams
Hiroto Masaki, Itsuro Saito, Mitsuru Ishizuka, Hiroshi G. Okuno
Dept. of Info. & Commun. Eng., Univ. of Tokyo
7-3-1, Hongo, Bunkyo-Ku, Tokyo 113, Japan
masaki@miv.t.u-tokyo.ac.jp

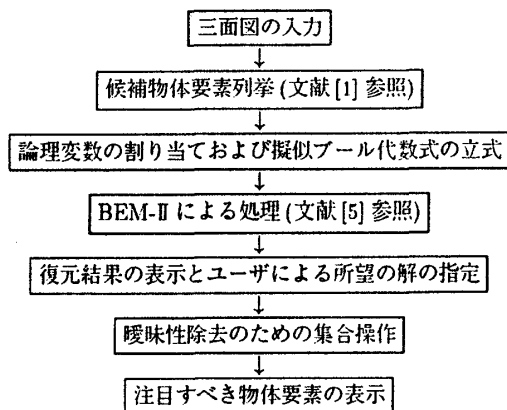


図 1: 三面図理解システム TOVIN の構成

3.1 内部データの管理

これまでに提案してきた考え方に基づき、我々は三面図理解の試作システム TOVIN を実装した。TOVIN では、主要な内部データを 2 種類の方法で管理している。まず、立式された連立擬似ブール代数式は通常の BDD で管理している。本研究においては、湊の開発した BEM-II [5] を使用している。BEM-II は、通常の論理式の他に算術論理式を入力として受け付けることができ、擬似ブール代数式を扱うのに相性がよいと判断した。

次に、曖昧性除去における (組合せ) 集合の管理には ZBDD を用いた。曖昧性除去については、文献 [7] を参照されたい。ZBDD を用いたのは、曖昧性除去の操作が集合演算でコーディングされており、また ZBDD が解密度*の希薄な集合を扱うのに優れているためである。本研究では、UCB で開発された ZBDD のライブラリパッケージを用いて C 言語でプログラミングしている。

3.2 適用例

図 2 に示した例に対して TOVIN を適用した。表 1 中、#var は候補稜線数と候補面数の和を、#eqn は立式された式の本数を、#solid は復元された解釈の数を、#time は BEM-II による擬似ブール代数式処理に要した時間 (UNIX の time コマンドにおける user time) を示している。計算機環境の差異があるため、従来の研究との単純な比較は無理だが、実用的な時間で復元処理が行われているものと

* n 個の入力変数に対して 2^n 通りの入力割り当てが考えられるが、ここで充足解の個数を x としたとき、 $x/2^n$ を解密度と呼ぶ。組合せ集合に関しても同様である。

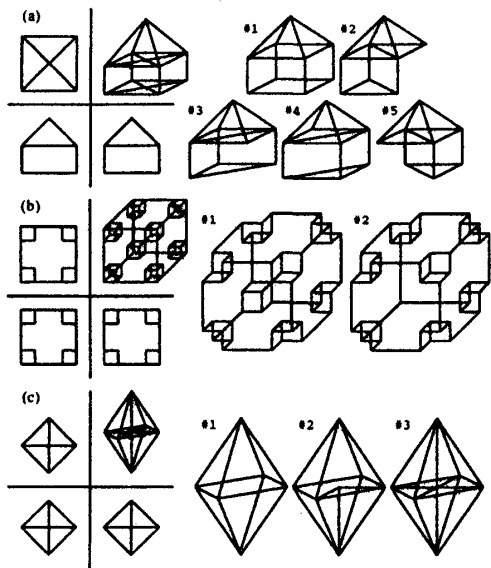


図 2: 三面図および復元結果の例

表 1: BEM-II による処理時間 (単位は [sec])

例	#var	#eqn	#solid	#node	#time
(a)	44	103	5	194(672)	3.1
(b)	162	432	2	265(2038)	54.4
(c)	38	84	13	261(662)	3.1

思われる。また表 1 の #node の項では、括弧中が BDD 処理系全体の節点数を、括弧外が三面図の全制約に対応する BDD の節点数を表している。前者は BDD 構築に比例する量であり、後者は所望の BDD の 1-パスを辿る時間に比例する量である。したがって、計算機へ三面図が入力されたと同時に擬似ブール代数式が立式されるとみなせる場合には、例 (a), (c) と同様に 3 秒前後で処理可能であるとも考えられる。

また、図 2 (a) を例とした曖昧性除去の様子を図 3 に示す。図 3 では、ウィンドウの左半分 (メインパネル) に所与の三面図とユーザの指定する解釈 (3 次元モデル) が、そして右半分 (サブパネル) に全解釈が表示されている。図 3 はサブパネル中の最上部の解釈が選択された場合の例で、内部処理により計算された e1 と e8 という 2 本の稜線が注目要素として太線で表示されている。ユーザが所望の解釈を指定するときには、メインパネルの左下部や右上部のスライダバーを用いて、3 次元モデルを回転させることが可能である。また、ユーザがこの稜線群を下側に偏って存在しているとみなし、最終的に下側から見た追加面図 (Bottom View) を生成するようになれば完全なシステムとなり得るが、現時点ではそこまで実装されていない。実装する場合には追加面図の視線方向に優先度付きの順序をもたせ、座標軸中の (1) -x, -y, -z 軸方向, (2) (1,1,0), (0,1,-1) など、2 本の軸で構成される平面の中で、それらの軸から 45° をな

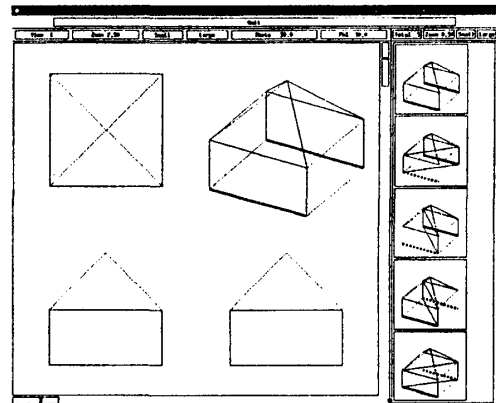


図 3: 曖昧性除去の様子

す方向 (全部で 12 方向), (3) (1,1,1), (-1,1,-1) など、原点を中心とする立方体の体対角線の方向 (全部で 8 方向), というように、人間にとって理解しやすい方向からの面図に制限するなどの策をとればよいと考えている。

4 おわりに

本稿で、BDD を用いた三面図理解システム TOVIN について報告した。TOVIN はユーザとのインタラクションを通して三面図の曖昧性除去を行うため、インタラクションの段階で曖昧性が除去されているという見方も存在するが、引き続き追加面図において注目すべき物体要素を計算し、必要に応じて追加面図そのものを実際に生成することも可能である。以上から、原理的には追加面図の存在により同じ三面図を 2 回目以降使用する際に複数の解釈が生じる余地はなくなり、三面図の曖昧性を除去する一手法が確立されたものと考えられる。

最後に、BEM-II の使用をお許し頂いた NTT LSI 研究所 湊真一氏、三面図の擬似ブール代数展開の情報を頂いた上智大学 伊藤潔先生、ZBDD のライブラリパッケージを使用させて頂いた UCB の久木元裕治氏に感謝致します。

参考文献

- [1] 佐々木, 伊藤, 鈴木: 非線形擬似ブール代数解法による三面図からの物体の自動合成, 情報処理論文誌, pp.699-708, 1989.
- [2] S.B.Akers: Binary Decision Diagrams, *IEEE Trans. Comput.*, pp.509-516, 1978.
- [3] R.E.Bryant: Graph-Based Algorithms for Boolean Function Manipulation, *IEEE Trans. Comput.*, pp.677-691, 1986.
- [4] 奥乃 博: 二分決定グラフによる探索型組合せ問題の解法での組合せ的爆発抑制法, 情報処理論文誌, pp.739-753, 1994.
- [5] 湊 真一: BEM-II: 二分決定グラフを用いた算術論理式計算プログラム, 信学技法, COMP92-75, 1993.
- [6] 正木, 奥乃, 石塚: 二分決定グラフによる三面図からの 3D モデルの解釈, 人工知能学会 第 8 回全大, pp.693-696, 1994.
- [7] 正木, 斎藤, 石塚, 奥乃: 二分決定グラフを用いた三面図の効率的な解釈, 情報処理学会 第 98 回 AI 研究会, pp.65-73, 1995.