

矛盾を含んだ三面図情報からの物体の推定

渡辺 崇[†] 田代 明子^{††} 藤井 省三^{†††}

多面図から物体を構成する手法の多くは、複数の2次元面図内の点、線分の対応から3次元稜線、面を生成し、入力面図に適合した3次元物体の成立条件を確かめるという処理過程からなる。本論文は、このボトムアップ的な処理を採用する物体合成手法に対して、三面図情報に不合理があり、所望の物体が完全に合成できない場合にも、三面図が意図した物体を推定するとともに、三面図に含まれる矛盾を特定する一方法を提案する。矛盾としては、余分線分、不足線分および線種の誤りを対象とする。このうち不足線分は、三面図のうち任意の二面図から生成される3次元稜線候補の投影から推測する。物体合成は組み合わせ問題であり、真とは限らない不足線分をすべて処理の対象とすることは、探索の効率上問題がある。このため、不合理な三面図が与えられた場合に、ボトムアップ処理の各過程で現れる矛盾の症状を調べ、これらを逐次緩和することを目的に、段階的に不足線分を追加する新たな経験的方法を採用する。このような物体推定と矛盾の特定を行う機能は、多面図による立体入力時の入力ミスや、設計図面読み取り時の誤認識の発見などのために有用となる。本手法の妥当性は、処理プログラムを構築し、具体的に不合理を持つ三面図に適用することで確かめた。

Estimation of 3D Solid Objects from Orthographic Views with Inconsistencies

TAKASHI WATANABE,[†] AKIKO TASHIRO^{††} and SEIZO FUJII^{†††}

Many of algorithms to construct 3D solid objects from orthographic views have bottom-up approaches with some steps: generation of 3D segments from 2D segments and vertices, formation of 3D faces, and construction of solid objects. This paper presents a method to estimate objects and identify contradictions in inconsistent views which improbably present complete objects. The sources of inconsistencies are extra segments, missed segments and incorrect classifications of visible lines or hidden lines. Probable 3D segments are generated not from three views but from two views in order to supply additional segments. Because the construction of solid objects presents a combinatorial problem, the solving process handling all the probable segments may be inefficient. Therefore the symptoms appearing at each step of the bottom-up algorithm are examined, and then a heuristic method which selects more probable segments is used. The estimation of solid objects and identification of contradictions are useful, for example, to detect improper input of three views or incorrect recognition of mechanical drawings. The algorithm has been programmed in C. It is applied to many orthographic views with inconsistencies and the validity of this method is proved.

1. 緒 論

計算機による多面図の理解は、多面図が与える3次元物体の確認や、立体モデルの生成のために有効であり、また手書きの設計図面から正当なCADデータを認識するためにも必要となる。

三面図からの3次元物体の構成については、面図が完全な3次元物体を表すという前提のもとでいくつか

研究が行われてきており^{1)~3)}、非一意な3次元物体から常識的な物体を選出する方法⁴⁾、効率的な立体の構成法⁵⁾なども注目されてきた。

完全な三面図からは3次元物体が構成できる。そして、意図した3次元物体が構成できない場合には、三面図が不合理であると考えられる。本研究は与えられた三面図が持つ矛盾に注目する。そして、面図が本来意図する物体と、矛盾の原因となる面図内の線分を特定する方法について考える。

これまでに提唱されている3次元物体合成方法の1つに、稜線、面、立体を段階的に生成する方法がある。本研究では、矛盾を含む面図を対象とする場合に、これらの処理の各段階で現れる症状を解消するように矛盾の特定を行う。具体的な物体合成方法として

[†] 名古屋大学情報文化学部
School of Informatics and Sciences, Nagoya University

^{††} 日本電装クリエイティブ(株)
NIPPONDENSO CREATE Co., Ltd.

^{†††} 名古屋大学工学部
Faculty of Engineering, Nagoya University

は、アルゴリズムが明確なブール代数に基づく方法⁴⁾を採用する。この方法では、物体を構成する稜線や面の存否が直接定式化の対象となる。なお、対象とする3次元物体は曲面を含まない多面体とし、数値データとして三面図を規定する。

2. 三面図からの3次元物体生成と矛盾発見

2.1 ボトムアップ的な3次元物体生成

Gujar ら³⁾が述べているように、三面図から3次元物体を生成するシステムの多くはボトムアップ的アプローチから認識を始める。つまり、2次元図形として与えられた三面図において、まず、線分同士の交点や特徴点で分断された最小単位線分を抽出し、線分、端点の面図間対応より3次元頂点を生成する。その後、他の稜線と交わりを持たない3次元の稜線を基本稜線として作り、基本稜線が構成する3次元の面の生成、部分的、全体的な3次元物体の生成を行った後に、入力面図との対応を取ることで、外形線、隠れ線の存在を確認しながら物体を見いだすステップからなる。以後では、この従来の物体生成法により得られる物体を解物体とよぶことにする。

ボトムアップ的過程では、生成される頂点、稜線、面や部分的な物体などの図形要素のうちの一部が、実際の3次元物体構成に利用される。このため、各過程で生成される図形要素は候補要素となる。本研究では、稜線候補、面候補に対して、多面体構成則と三面図合致則の2種類の3次元物体構成規則⁴⁾を適用し、妥当な物体を生成する。多面体構成則は、稜線の真偽による面の存在条件を調べる規則と、交線としての稜線を持たずに交差する2面以上の面の存在を禁止する規則の2つからなる。また三面図合致則は、面図内の各線分が生成する単数あるいは複数の3次元稜線のうち、少なくとも一本が多面体構成に利用されていることを確かめる1つの規則と、外形線である実線と隠れ線である破線が現れる条件を調べる2つの規則である。

2.2 3次元物体合成過程における矛盾

完全な3次元物体を規定しない不合理な三面図情報が与えられた場合には、物体合成の各過程で矛盾が現れる。以下に、いくつかのサンプル面図で見いだされた矛盾を挙げる。

[矛盾1] 候補稜線生成に使用されない線分が存在する。他面図の頂点、線分と対応がとれず、3次元稜線の構成に利用されない線分が面図内に存在する場合で

ある。この矛盾の原因としては、3次元物体に対して、その線分が余分である場合と、他の面図で対応すべき頂点、線分が欠落している場合が考えられる。

[矛盾2] 候補面生成に使用されない稜線のみを構成する線分が存在する。他の稜線と連結せず、3次元空間中に接続稜線のない端点を持ってしまう稜線のみを生成する線分が存在する場合である。ある面図に余分線分が存在し、その線分が他の面図内の点や線分と偶然に対応がとれる場合には、3次元稜線が構成されるが、その稜線に連結する他の稜線がないならば、この矛盾2が現れる。また不足線分がある場合には、本来存在すべき稜線が生成されないために、接続相手の稜線がこの矛盾を示す。

[矛盾3] 候補稜線、候補面から多面体物体が1つも構成できない。必要な線分が欠落している場合、候補面集合は生成されるが多面体の存在条件を満たす物体が構成されないときに、この矛盾が現れる。また、不足線分のほかに矛盾1、2に該当しない余分線分が存在する可能性もある。これらの線分は偶然に偽の稜線、面を構成するが、三面図に合致した多面体を作ることができず、矛盾を生じる。

[矛盾4] 3次元物体合成に使用されない線分が存在する。稜線や面は構成するが、最終的に合成された物体の生成には利用されない線分が存在する場合である。線分が余分の場合は、偶然に他面図と対応がとれて稜線、面が生成されるが、3次元物体を合成する際に、その線分は偽と判定される。線分が不足している時も、対応する他面図内の線分が偶然に稜線、面を構成するが、真の3次元物体の合成に貢献しない場合に、この矛盾が発生する。

[矛盾5] 外形線、隠れ線を正しく投影する3次元物体が存在しない。物体を構成する稜線と面の隠れ関係より、入力三面図内の実線、破線の存在を確認することができる。入力面図で、実線または破線の線種の区別に誤りがある場合、この矛盾が現れる。

これらの矛盾を解消した上で推定される物体を、推定物体とよぶことにする。具体的な推定物体を構成することを目的に、矛盾の原因となる線分、稜線の特定を行う。なお本研究では、3次元物体が一意に生成されず、多義解釈を持つ面図については、生成された物体と面図が適合し、上記の矛盾が現れないならば、矛盾を含む面図とはみなさないことにする。

3. 矛盾線分の特定と3次元物体の推定

3.1 矛盾特定の概要

ボトムアップ的物体合成法では、3次元稜線や面の集合の部分集合から構成される多面体を解物体候補として生成した後に、面図平面への投影が入力面図と一致する物体を選び出す。多面体を構成する段階では、入力面図内の各線分が物体生成に利用されていることの確認や線種の区別の確認は行われておらず、入力面図が線種を区別することなく与える3次元稜線や面から構成可能なすべての多面体が作られる。余分線分や線種の誤りが入力面図内に存在するとしても、意図した物体は多面体構成の段階で生成される。このため、面図が余分線分や線種の誤りを含み、入力面図に適合する投影を持つ物体が生成されない場合には、面図内の線分存在を確認する以前の多面体を各面図平面に投影することで、その3次元物体に対して余分となっている線分と、実線、破線の誤りを特定することができる。そして、余分線分の除去と線種の置き換えにより矛盾解消をはかることができる。

入力面図内で線分が欠落している場合には、不足する線分の候補を具体的に挙げる必要がある。ここでは、三面図の一部である二面図から3次元稜線の集合を生成し、その中から本来存在すると考えられる稜線を欠落成分として特定する。二面図から3次元図形要素を生成する方法は、基本的には三面図の場合と同じであり、例えば伊藤ら⁶⁾が採用している。その原理は、3次元空間内の図形操作と、交差する2面以上の2次元平面上の図形操作とを可逆的に変換する Descriptive Geometry⁷⁾により与えられる。

3.2 不足稜線候補、不足線分候補

二面図から生成される3次元稜線のうち、三面図からは生成されない稜線を不足稜線の候補とする。しかし、これらの候補のうちで他の稜線と連結しない端点を持つ稜線は、3次元の面、物体の形成には用いられないため、候補からはずす。また、新たに生成された稜線が3次元空間中で交差する場合は、その交差点で稜線を分断し、最小単位稜線に整える。

面図内の不足線分の候補は、不足稜線候補を各面図平面に投影することで得ることとする。つまり不足図形要素の候補は、不足稜線候補に基づき列挙する。このため不足稜線を追加した後の物体合成では、以下で述べる選択法により不足線分を選ぶ場合も含めて、線分候補を補った三面図が与える2次元線分から稜線を

改めて生成するのではなく、補った線分を投影する3次元不足稜線候補を加えた3次元稜線から、面、多面体の構成を進める。

すべての不足稜線候補を加えた場合、稜線集合の部分集合から構成される単数もしくは複数の3次元多面体の中には、設計者が規定した物体そのもの、あるいは意図した物体に近いものが含まれていることが期待される。これらの3次元物体に対して、真の不足線分、余分線分、また線種指定が誤っている線分は、物体を三面図平面上に投影することで求めることができる。しかし、二面図では三面図と比べて情報が少なく、候補となる稜線の数が増加するとともに、不足稜線候補、不足線分候補の多くが真の不足成分ではない場合があるため、不足成分すべてを処理対象とすることは、組み合わせ変数の数をむやみに増やす恐れがある。このため、不足稜線候補、不足線分候補のうち、矛盾の原因となっていると思われる線分を、段階的に入力面図に加えていくことにする。なお以下では、最初に提示された三面図を入力原面図と呼び、不足線分を付加した各段階の三面図を入力面図と呼ぶことにする。

3.3 不足線分候補選択処理と物体復元処理

3.3.1 不足線分候補の選択

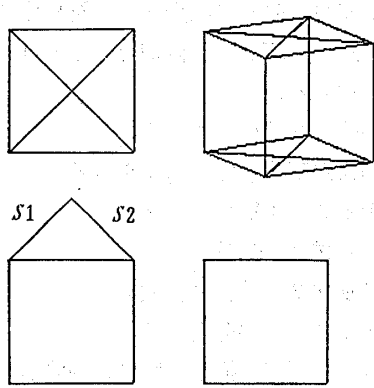
不足線分候補の集合を L とする。 L から妥当と考えられる不足線分を選択する方法として、以下の6つの方法を取り上げる。

[線分選択法1] 不足線分を0本とする。これにより入力原面図に存在する余分線分や、線種の指定が誤っている線分を特定することができる。

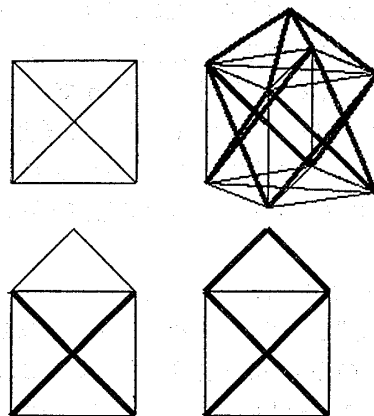
[線分選択法2] 入力原面図の線分が他の線分に接続しない端点を持つ場合に、この端点につながる不足線分候補を選択する。端点を持つ線分は、それに接続する線分が欠落しているために矛盾を発生していると考えられる。この選択法は主に矛盾2の線分を補う。

[線分選択法3] 入力原面図の三面図からの稜線、面の生成では使用されず、矛盾1や矛盾2となる線分が、二面図からの不足稜線候補の生成に利用される場合に、この不足稜線候補を選ぶ。稜線や面の生成時に矛盾とみなされた線分では、対応する頂点、線分が他の2つの面図のどちらかで欠落している可能性があり、この選択法は矛盾3の線分も補うと考えられる。

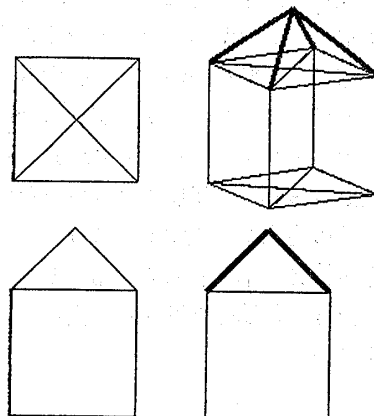
図1(a)は、入力原面図の例と、その面図から生成される稜線の軸測投影図を示す。ここで、正面図内の2本の線分 $S1$ と $S2$ は、稜線の生成に利用されていな



(a) 入力原図面と候補稜線
(a) Original input views and 3D segments.

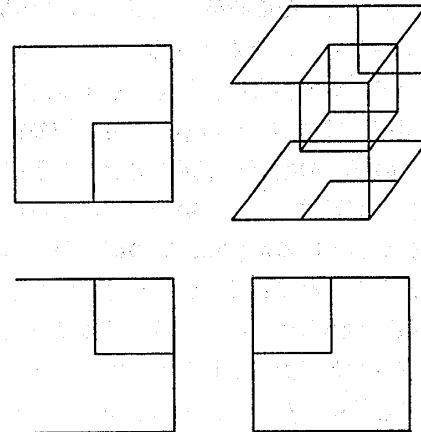


(b) 不足稜線候補, 不足線分候補
(b) Probably missed 3D segments and probably missed 2D segments.

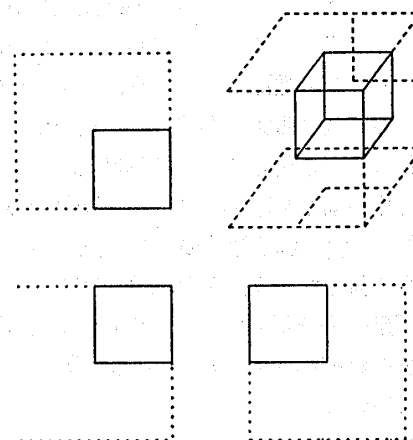


(c) 選択された稜線, 線分
(c) Segments with selected ones.

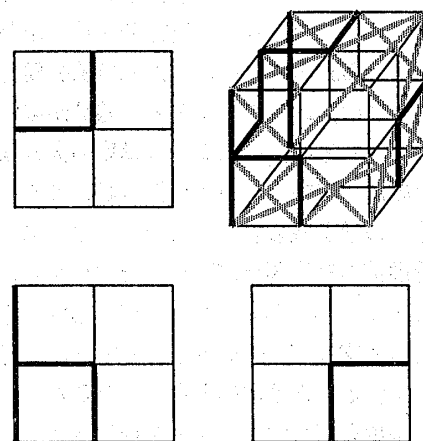
図1 線分選択法3
Fig. 1 Segment selection method 3.



(a) 入力原図面と候補稜線
(a) Original input views and 3D segments.



(b) 入力原図面から生成される多面体
(b) Polyhedron generated from original input views.



(c) 選択された稜線, 線分
(c) Segments with selected ones.

図2 線分選択法4
Fig. 2 Segment selection method 4.

い. 図1(a)から得られる不足稜線候補, 不足線分候補を図1(b)に太線で示す. 線分選択法3は, 線分S1とS2を利用して生成される不足稜線候補を選択する. 選択された不足稜線候補とその投影である不足

線分候補を, 図1(c)に太線で示す.
[線分選択法4] 入力原図面内の実線, 破線の存在を確認するために, 全体的, あるいは部分的な物体候補

を求めた段階で、その物体に使用されない稜線のみを生成する線分の集合を S とする。また、二面図物体合成において、 S の要素を少なくとも 1 本用いて合成される不足稜線候補が与える不足線分候補の集合を L_s とし、この L_s の要素を不足線分として選択する。これは、例えば矛盾 4 となる線分に対応する他面図内の線分が欠落しているために、真の稜線が構成されない可能性があるためである。図 2 (a) に示す矛盾を含んだ入力原面図からは、図 2 (b) の軸測投影図内の実線で示す立方体が多面体として得られる。図 2 (b) の三面図内の点線は、この立方体に使用されない稜線のみを生成する線分を示す。これらの線分を用いて生成される不足稜線候補を図 2 (c) 中の軸測投影図に太線で示す。ここでハフトーンの太線は交差する不足稜線候補であり、黒の太線は、交差しない不足稜線候補である。この図から推測できるように、不足稜線候補として多くの交差する稜線が得られる場合がしばしばあり、これらの交差稜線をすべて不足稜線として選ぶことは、計算の効率を不必要に落とす恐れがある。このため、 L_s に含まれる線分のうち、交差不足稜線候補を投影して得られる交差不足線分候補を L_c とし、選択する不足線分を更に絞る。ここでは L_s, L_c, L の要素数をそれぞれ n_s, n_c, n とし、条件

$$n_s/n > 0.5, \tag{4.1}$$

$$n_c/n_s > 0.5, \tag{4.2}$$

を設け、この 2 条件を満たす時には $L_s - L_c$ を、それ以外は L_s を選択する。つまり、不足線分候補全体の数に対して L_s に含まれる不足線分候補の数が半数を越え、かつ、 L_s 内で占める交差不足線分候補の割合が高い場合には、 L_s 中の交差不足線分が多数であると判断して、本選択法による計算効率の大幅な低下を避けるために、交差しない不足線分候補のみを選択して選択線分の数を減らす。それ以外の場合には、交差不足線分候補の量的割合が不足線分候補全体 L からみて、または L_s からみて少なく、交差しない不足線分候補とともに交差不足線分を選択しても、計算効率が大きく低下することはないと考えられるため、 L_s 全体を選択する。線分選択法 4 により、図 2 (a) の入力原面図に対しては、図 2 (c) の黒い太線で示す、交差しない稜線、交差しない線分が選択される。

【線分選択法 5】 交差不足稜線候補が与える交差不足線分候補は経験的に真の不足線分でないことが多い。このため、交差不足

線分以外のすべての不足線分候補を選択する。

【線分選択法 6】 不足線分候補として挙げられた線分をすべて選択する。

以上の線分選択法の適用順序により、実際の矛盾発見過程の効果が変化すると考えられる。本研究では、

選択ステップ 1 : 線分選択法 1

選択ステップ 2 : 線分選択法 2, 3, 4

選択ステップ 3 : 線分選択法 5

選択ステップ 4 : 線分選択法 6

の 4 つのステップで選択法を順に適用する。ここで、例えば選択ステップ 2 の選択法 4 で、交差不足線分候補が選択されたとしても、それらは選択ステップ 3 の選択法 5 では選択されないため、選択ステップ 3 で選択される不足線分候補は、選択ステップ 2 で選択される不足線分候補を必ずしも含むわけではない。それぞれの選択ステップにおいて、各選択方法で選択した線分を与える稜線を追加して、3 次元面の合成、意図された物体の候補となる多面体の推定と矛盾の特定を行う。

3.3.2 補助ルール

効率的に解を探索するために、物体生成の前処理として、2 つの経験的な規則を追加する。これらは、3 次元物体構成規則と同様にブール式で表す。

【補助ルール 1】 図 3 に示すように、交差する不足稜線候補は、偶然に交差点を通る 3 次元的な別の稜線が存在しない限り、非直線的に交わる稜線が同時に真となることはない。このため、交差点で非直線的に接続する不足稜線候補の組み合わせを排除する。

【補助ルール 2】 ある選択ステップ後の物体合成において、直前の選択ステップを用いて構成された解物体あるいは推定物体が持つ矛盾数より多い数の不足線分を用いた物体の生成を禁止する。これは、むやみに追加された不足線分、不足稜線を利用して構成される物体は、本来意図した物体とは大きく異なる可能性が高いためである。

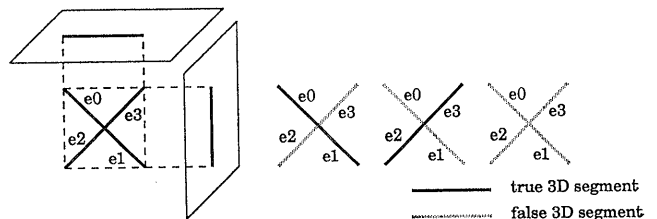


図 3 直交する 3 次元稜線
Fig. 3 Intersecting 3D segments.

3.3.3 不足線分候補追加後の3次元物体合成

不足線分を補った後の3次元物体合成も、基本的には多面体構成則、三面図合致則を用いたアルゴリズムを利用する。しかし、追加した不足線分候補から構成される3次元図形要素が、入力原面図から構成される3次元図形要素より偽である可能性が高いことと、推定物体の候補となる多面体に基づき矛盾箇所を特定することを考慮して、ボトムアップ的な物体合成アルゴリズムに以下の変更を施し、不足線分候補追加後の物体生成を行う。

- ・面、多面体の構成は、不足線分候補を追加した三面図から改めて生成される3次元稜線を用いてではなく、入力原面図から生成される稜線と追加した不足稜線候補を用いて行う。
- ・選択されない不足稜線候補を処理の対象外とする。
- ・2つの多面体構成則のうち、交線なしで交わる2面以上の面の存在を禁止する規則を、稜線の真偽による面の存在を調べる規則よりも先に適用する。本研究では、ブール式の変数に順次値を仮定しながら可能な変数値の組み合わせを求めることでブール式を解いている。交線なしで交わる2面以上の面の存在を禁止する規則を表すブール式を、稜線の真偽による面の存在を調べる規則を表すブール式よりも先に変数値割付の対象とすることで、2つの多面体構成則の適用順序を入れ換える。
- ・各多面体構成則を用いる時に、追加した不足線分が関与する稜線や面に対しては、他の稜線や面よりも先に規則を適用する。つまり、不足線分候補が構成する図形要素の存否を表す変数が陽に現れるブール式を、現れないブール式よりも先に変数値割付の対象とする。
- ・最終的に得られる3次元物体は複数ではなく単独の物体であると

する。

- ・三面図内の線分の利用を確かめる三面図合致則が成り立つ不足線分候補は真の不足線分とし、成り立たない不足線分は偽であると判定する。
- ・実線線分が現れる条件を調べる三面図合致則を満たさない不足線分候補は破線であると判定する。
- ・破線線分が現れる条件を調べる三面図合致則を満たさない破線は実線であると判定する。

3.3.4 3次元物体推定の終了条件

入力原面図から得られる3次元物体が矛盾を含まな

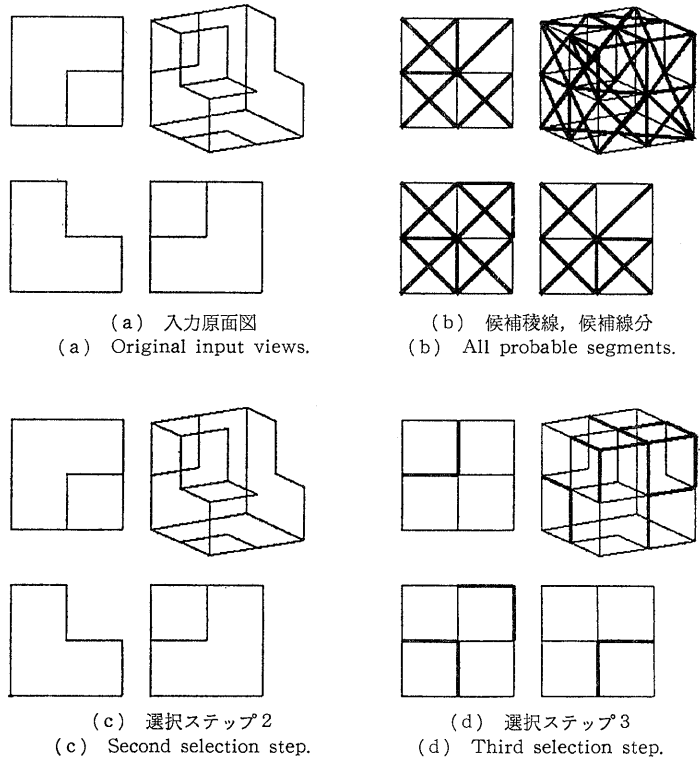


図4 例題1
Fig. 4 Example 1.

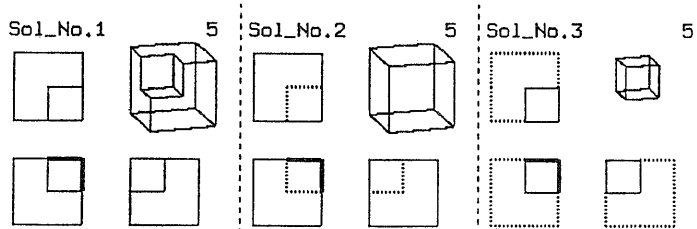


図5 図4(d)の入力図面の処理結果
Fig. 5 Solutions generated from input views in Fig. 4(d).

い場合、それが意図する物体となる。余分線分を除去したり不足線分を選択し追加することで、設計者により規定された物体を推定する場合、推定された物体が不足線分、余分線分、線種指定の誤りのうち、すべての種類の矛盾線分を持たないならば、これは三面図と物体の矛盾のない対応が得られたことを示す。この時の推定物体を、理想的な推定物体とよぶことにする。入力原面図に対して、理想的な推定物体が生成されれば、処理を終了する。しかし、あらゆる入力原面図について理想的な推定物体が得られるとは限らない。このため、矛盾を特定する探索過程には、例えば次のような終了条件が考えられる。

- ・矛盾線分の数、入力線分の数の一定割合以下になる場合。
- ・矛盾線分が、不足、余分、線種誤りのうち、特定の種類に限られる場合。
- ・各種の矛盾線分が、一定割合以下になる場合。

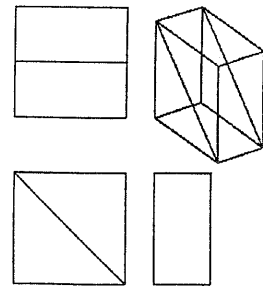
これらの終了条件の差により、得られる結果や指摘される矛盾は異なるものと考えられる。本研究では、矛盾線分が不足線分のみになった場合に終了する。

4. 処 理 例

本システムはワークステーション NEWS 上に C 言語を用いて構築した。本章では、三角法に従う平面図、正面図、右側面図を入力面図とし、具体的に処理したいいくつかの例について述べる。以下、稜線の軸測投影図と合わせて、各選択ステップで採用した入力面図を示す。ここでは、図面(a)が入力原面図、図面(b)がすべての不足稜線と不足線分候補、図面(c)が選択ステップ2で選択した図形要素、そして図面(d)が選択ステップ3で選択した図形要素を含み、太線が追加された線分、稜線である。また3次元物体合成から得られる推定物体が与える三面図において、細い実線は入力原面図で外形線を示す実線線分、細い破線は入力原面図で隠れ線を示す破線線分、細い点線は余分線分、太い実線は実線不足線分、太い破線は破線不足線分、極太の実線は入力原面図の破線を実線として矛盾修正した線分、そして極太の破線は入力原面図の実線を破線として矛盾修正した線分である。

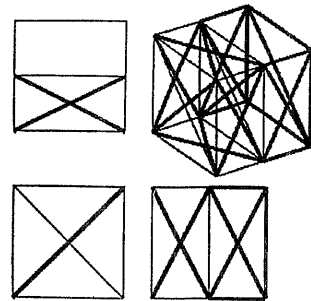
【例1】 図4(a)の入力面図からは3次元物体は構成できない。つまり、不足線分を補わない線分選択法1を用いた場合、物体合成は失敗する。入力面図には接続線分のない端点を持つ線分や、稜線、面候補列挙で使用されない線分は存在しないため、線分選択法2、

3は採用されない。さらに物体の存在を前提とした線分選択法4も適用されないため、選択ステップ2で選択される図形要素は存在しない。線分選択法5に従い、交差稜線以外の不足稜線を追加した新しい入力面図が図4(d)である。ここで、不足線分は不足稜線を投影して得られるため、軸測投影図に現れる稜線は三面図の線分を投影する一方で、三面図の線分が必ずしも軸測投影図に現れる稜線を一意に決定しているわけではない。図4(d)から図5に示す3つの物体が生成



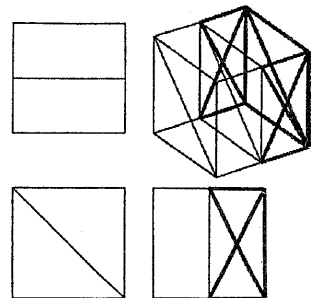
(a) 入力原面図

(a) Original input views.



(b) 候補稜線, 候補線分

(b) All probable segments.



(c) 選択ステップ2

(c) Second selection step.

図6 例題2

Fig. 6 Example 2.

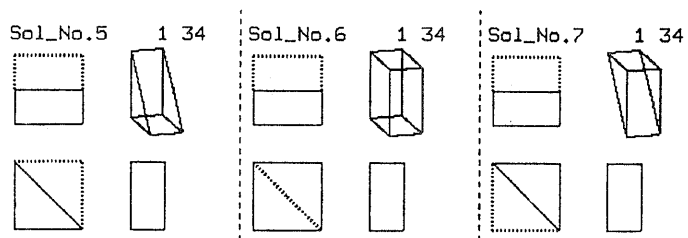
される。1番の解 (Sol_No. 1) は、正面図の2本の不足線分を指摘している。また2番, 3番の解は、それぞれ6本の余分線分, 2本の不足線分, および12本の余分線分, 2本の不足線分があることを示している。最小の矛盾で構成される物体を正解とすれば, 1番の解が選択されることになる。

【例2】 図6(a)の入力面図から得られる, 余分線分を持つ3個の解を図7(a)に示す。線分選択法3に従い, 図6(a)からの物体合成では利用されない平面図内の3本の線分を投影する17本の稜線を, 図6(c)のように選択する。ここで, 交差する稜線は交差点で分割し, それぞれを1つの図形要素としている。これらの図形要素は線分選択法4によっても選択される。選択後は全部で23個の推定物体が生成された。そのうち矛盾の数が少ない3個を図7(b)に示す。

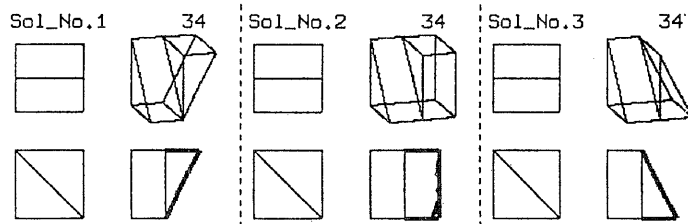
【例3】 図8(a)は, 正面図左下に切り欠きがある部品を意図した入力面図である。入力原面図からは大きな直方体一つ構成され, 線分選択法4により図8(c)を入力面図とすることで9個の推定物体が得られる。矛盾の少ない3個を図9に示す。意図した物体はSol_No. 3であり, Sol_No. 1, Sol_No. 2の物体は, 意図した物体よりも少ない矛盾数を持つ。

5. 議 論

前章で用いた例と, 図10に入力原面図を示す例に対して, 各線分選択ステップで選択される稜線の数と生成される面の数, 推定された物体の数を表1に示す。3次元物体として妥当な稜線, 面を見いだすという典型的な組み合わせ問題は, 具体的な稜線, 面の配置形態にも依存する

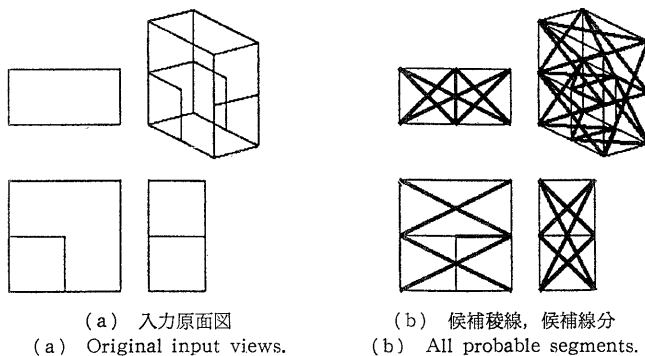


(a) 図6(a)の入力面図の処理結果
(a) Solutions generated from input views in Fig. 6(a).

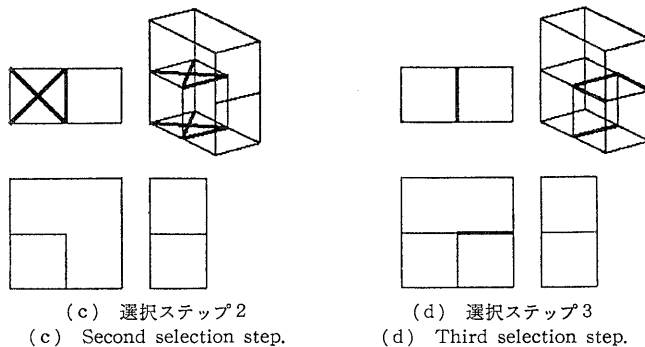


(b) 図6(c)の入力面図の処理結果例
(b) Three of solutions generated from input views in Fig. 6(c).

図7 例題2の処理結果
Fig. 7 Solutions of example 2.



(a) 入力原面図 (a) Original input views.
(b) 候補稜線, 候補線分 (b) All probable segments.



(c) 選択ステップ2 (c) Second selection step.
(d) 選択ステップ3 (d) Third selection step.

図8 例題3
Fig. 8 Example 3.

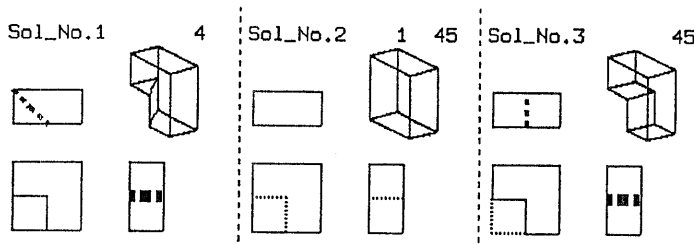


図 9 図 8 (c) の入力図面の処理結果例
Fig. 9 Three of solutions generated from input views in Fig. 8(c).

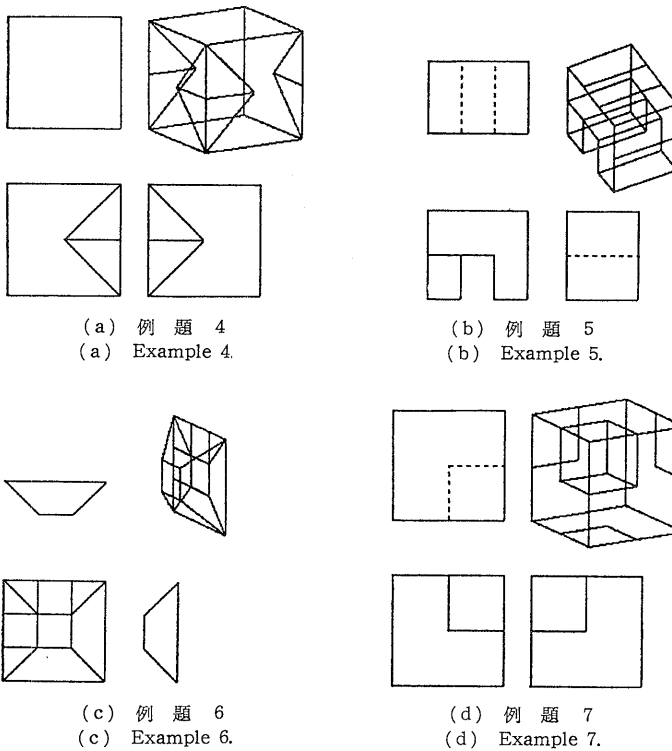


図 10 例題 4, 5, 6, 7 の入力原図面
Fig. 10 Original input views of examples 4, 5, 6, 7.

が、組み合わせ対象となる要素数を限定することで解決の効率化をはかることができる。解探索の終了条件が満たされず、稜線選択が続けられる場合、すべての不足稜線候補を採用する選択ステップ 4 に比べて、選択ステップ 2, 3 は、対象とする図形要素の数を絞り込み探索空間を限定するために有効に働いているといえる。

著者らはこれまでに、手書きの機械部品設計図面を CAD データに変換するための認識・理解システムについて考えてきた^{8),9)}。そこでは三面図内の局所のお

よび大局的な線分の接続関係より、外形線、隠れ線、寸法線、寸法補助線などの線種の認識や、寸法値などの記号の切り出し、読み取りを行う。しかし、入力面図が構成可能な 3 次元物体を表すものであるという事実に基づき認識を行っているわけでは必ずしもなく、三面図としては矛盾を含んだ結果を与えることもあった。今回はこの問題を解決するために、図面認識・理解システムとは独立した形で、一般的な三面図内の矛盾を特定する方法について考えた。例えば、図 4 (a) に示した三面図は、実際には図 5 の Sol_No. 1 のように、正面図の右上角に直交する外形線線分が存在し、図面認識では、これらが交差した寸法線としてみなされている可能性がある。また、3 次元物体を計算機に登録する方法として、三面図による表現を用いた場合には、これらの正面図に現れない線分が、入力オペレーションのミスのため欠落していることも考えられる。このような誤りに対して、本方法は矛盾線分を特定し、修正を促すことができる。

3 次元物体を生成する具体的方法として、今回は佐々木らの提唱している方法を用いた。一方で、他の多くの 3 次元物体生成方法でも、基本的には、複数の面図内の線分、点の対応から 3 次元空間中の稜線を作り、これらをもとに、面が作られる

条件、立体が作られる条件と生成された立体と入力面図との対応を順次調べている。このため、稜線生成、面生成、そして立体生成の各過程で見いだされる不合理に注目して矛盾線分の特定を行う本方法は、広く利用することができると考えられる。

6. 結 論

三面図としての入力を受け付け、2 次元線分の抽出に続いて、3 次元稜線、面の生成、そして立体を構成するボトムアップ的アプローチをとる 3 次元物体認識

表 1 線分選択法で絞られる稜線, 面, 立体の数

Table 1 Numbers of segments, faces and bodies used at each step of segment selection.

Example	First selection step			Second selection step		
	No. of 3D segments	No. of 3D faces	No. of solids	No. of 3D segments	No. of 3D faces	No. of solids
1	28	8	0	—	—	—
2	14	9	3	31	24	23
3	24	10	1	34	21	9
4	27	14	1	35	26	42
5	38	17	2	84	64	12
6	28	14	1	—	—	—
7	36	15	3	39	18	3

Example	Third selection step			Fourth selection step		
	No. of 3D segments	No. of 3D faces	No. of solids	No. of 3D segments	No. of 3D faces	No. of solids
1	42	21	3	98	81	—
2	—	—	—	53	49	—
3	28	16	7	75	57	—
4	—	—	—	68	48	—
5	46	29	16	143	132	*
6	42	26	6	50	34	14
7	42	21	3	114	108	*

— no execution is done.

* calculation overflow.

システムに対して, 不合理な三面図が与えられた場合に各処理過程で発生する矛盾を調べた. そして, 矛盾の原因を, 入力面図内の余分線分, 不足線分, そして外形線と隠れ線の指定の誤りの3種類として, 矛盾を引き起こしている線分を特定する方法を提案した. 余分線分と, 線分の種類の誤りは, 推定物体の候補となる多面体を図面平面に投影することで推測する. 不足線分に対しては, 三面図の部分集合の二面図が生成する稜線を不足稜線候補とみなし, その投影から不足線分候補を得る. そして, ヒューリスティクスにより不足稜線候補を段階的に選択することで, 効率的に入力三面図に含まれる矛盾原因の線分を特定する. 本方法を具体的な面図に適用し, その実用性を確認した.

参 考 文 献

- 1) Haralick, R. M. and Queeney, D.: Understanding Engineering Drawings, *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 20, pp. 244-258 (1982).
- 2) Gu, K., Tang, Z. and Sun, J.: Reconstruction of 3D Objects from Orthographic Projections, *Computer Graphics Forum*, Vol. 5, No. 4, pp. 317-323 (1986).
- 3) Gujar, U. G. and Nagendra, I. V.: Construction of 3D Solid Objects from Orthographic Views, *Computer & Graphics*, Vol. 13, No. 4, pp. 505-512 (1989).
- 4) 高橋正充, 佐々木康仁, 伊藤 潔: 非線形疑似ブー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*, Vol. 6, No. 6, pp. 904-911 (1991).
- 5) 西田 淳, 張 紹星, 西原清一: 面の組み合わせ探索による三面図の解釈, *人工知能学会誌*, Vol. 6, No. 1, pp. 96-103 (1991).
- 6) 伊藤 潔, 佐々木康仁, 高橋正充: 疑似ブール非線形計画法によるあいまいな二面図からの多面体の一意的な合成, *人工知能学会全国大会 (第4回) 論文集*, pp. 411-414 (1990).
- 7) 峯村吉泰: 図学—コンピュータグラフィックス入門—, 名古屋大学出版会 (1987).
- 8) 渡辺 崇, 藤井省三, 田代明子: 機械設計図面の自動認識・理解に関する研究 (機械図面に適した細線化処理と図面解釈ルールインタープリタ), *日本機械学会論文集 B 編*, Vol. 58, No. 547, pp. 987-992 (1992).
- 9) Watanabe, T., Okui, T., Onoki, T., Kato, N. and Fujii, S.: A Study on Recognition and Understanding of Mechanical Drawings (Representation and Rule-Based Understanding of Individual Projection), *JSME International Ser. III*, Vol. 35, No. 3, pp. 505-511 (1992).
(平成6年4月5日受付)
(平成6年7月14日採録)

**渡辺 崇** (正会員)

1957年生。1980年名古屋大学工学部機械工学科卒業。1985年同大学大学院博士課程修了。同年名古屋大学助手。1988年同大学教養部講師。現在同大学情報文化学部助教授。人

工知能、画像処理、数値流体力学などの研究に従事。人工知能学会、日本機械学会等会員。

**藤井 省三**

1955年名古屋大学工学部機械工学科卒業。1990年同大学大学院博士課程修了。同年名古屋大学助手。1970年名古屋工業大学教授。1986年名古屋大学教授。適応制御の理論お

よび応用の研究などに従事。計測自動制御学会などの会員。工学博士。

**田代 明子**

1968年生。1991年名古屋大学工学部情報工学科卒業。1993年同大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程前期課程修了。在学中は、画像処理および図面理解の研究に従事。

CAD, AIに興味を持つ。現在、日本電装クリエイト(株)商品開発室所属。
