

言語表現を利用する3次元形状モデルの作成

福嶋茂信†, 美濃 導彦†, 池田 克夫†

†京都大学大学院工学研究科

†京都大学総合情報メディアセンター

言語は、人間にとって、人間以外の計算機システムに情報を伝達する上でも簡便なメディアである。本研究では、言語表現を入力として利用し、3次元形状モデルを作成する手法について述べる。ユーザの言語表現からモデルを生成し、それを画像化してユーザに表示する対話的なインタフェースを用い、ユーザが変形を加えながら望ましいモデルを作成することを目指す。このため、主に変形に関する言語表現を扱う。本稿では、ユーザにとって変形対象が、単なる幾何形状である場合と、機能などの幾何形状以外の意味を持つ物体である場合の、それぞれに適した二つのモデル作成方法を述べる。さらに、言語表現だけで入力が難しい場合について、画像を併用する手法についても述べる。

3-D Object Model Design Using Linguistic Input

FUKUSHIMA Shigenobu†, MINOH Michihiko†, IKEDA Katsuo†

†Graduate School of Engineering, Kyoto University

†Center for Information and Multimedia Studies, Kyoto University

Language is a very convenient medium for the human to communicate with computer systems; we present methods for 3D object model design using linguistic input. We adopt interaction that a system simultaneously generates an confirming image from every linguistic input so as to reduce the communication gap between a user and the system. A user designs a 3D model by deforming it gradually. Linguistic expressions for deforming operations are mainly discussed. Here, we present 3D model deformation methods that are respectively suitable to the following two cases: i) the user treat the deforming object only as a geometric object; ii) the user treat the deforming object as a semantic object, e.g. "this chair". Furthermore, we present a method of designing characteristic shape models which is difficult to express linguistically by using linguistic input and image input together.

1 はじめに

コンピュータグラフィクス (CG) 技術の進歩によって、各家庭のコンピュータ上で仮想的に情景を作成する機会が増加している。このような情景の作成には、通常、物体の3次元形状モデル (以下、単にモデルとよぶ) を用いるが、モデルを簡単に作成する手法はまだ確立されていない。さらに、モデル作成の作業が家庭などの一般的なユーザの利用環境で行われる場合、ユーザは機械設計やCGデザインの専門家でないので、操作が簡便であり、かつ簡単に習得できる必要がある。

言語は情報を伝達する上で簡便なメディアである。ユーザにとって適切な表現を用いれば、操作の習得は非常に容易となる。言語入力に対しシステムが3次元物体を作成するときの対話的インタフェースは、“What You Say Is What You See”(WYSIWYS)[1]として既に提唱されている。このインタフェースでは、ユーザの言語表現と手振りを入力とし、システムがどのように解釈したかを確認用の画像の形でユーザに表示する。この画像の表示が、ユーザとシステム間のコミュニケーションに役立つ。

一方、言語表現を入力として情景を作成することについては、物体間の位置関係の記述から物体間の空間的位置関係を求める研究 [2][3] や、印象表現を入力として風景画像を着色する研究 [4] や生成する研究 [5] があるが、種々な表現方法がある物体形状を扱った研究は少ない。

我々は、ユーザの言語表現から確認用の画像を生成する、WYSIWYSと同様の対話的インタフェースを用いて、3次元物体形状のモデルを作成する手法について研究を行っている。しかし、ユーザが、物体を形容する言語表現を一度だけ与えることによって、望むモデルを作成できることは少ない。このため、ユーザが、適当なモデルをまず作成し、それから、言語表現を使いそのモデルを徐々に変形し、画像で確認しながら望ましい形状に近付けて行って具体的なモデルを得ることを目指す。そして、このときの変形操作に言語表現を利用する。

変形操作の対象 (変形対象) によって、ユーザが用いる言語表現は異なる。ここでは、ユーザが変形対象を単なる幾何形状として捉える場合と、幾何形状以外の意味を持つ物体として捉える場合の各々について、それぞれに適した言語表現を用いる二つの変形の手法について述べる。さらに、言語表現だけで入力できないモデルを作成するために、画像を入力として併用する手法についても述べる。

以下では、2章において、変形対象に応じて、言語表現を利用する変形手法が複数あることを示し、次いで、3、4、5章で、言語表現を利用する三つの手法

についてそれぞれ説明する。

2 言語表現の利用

2.1 物体の情報の階層的表示

図1では、物体形状の部分から全体への度合いを表す空間的な粗さを縦方向にとり、物体に関する情報を階層的に示す。ここでは、物体のモデルを複数の基本構成要素 (プリミティブ) の組合せで記述する方式をとるとする。

図1の右側には、システムが用いる幾何情報を示す。最も粗い幾何情報は、「椅子A」のような個々の物体のモデルであり、情景の作成でユーザが多く用いるモデルは、このような個々の物体のモデルである。それよりも細かな幾何情報は、物体の一部であるプリミティブであり、さらに細かな幾何情報として、プリミティブを構成するエレメントである平面、ポリゴン、頂点などがある。

従来より、ユーザはこれらの幾何情報を対象とし、適当な操作方法を適用することで変形を行う。例えば、プリミティブのエレメントを操作する手法としては、ワイヤーフレームモデリングやサーフェスモデリングがあり、プリミティブを操作する手法としては、ソリッドモデリングがある。しかし、これらの手法は、変形の自由度が高いものの、一般的に、パラメータ設定などの操作回数が多く、さらに習得に時間がかかるという欠点があった。

一方、図1の左側には、ユーザにとっての変形概念を示す。通常、ユーザのある言語表現は、この概念に対応する。したがって、システムはこの左側の概念を解釈し、右側の幾何情報を操作することで、ユーザの言語表現を入力としてモデルを変形することができる。ここで、ユーザが多用するような、変形を表す言語表現を入力とすることで、操作が簡単であり習得が容易な変形手法が実現できる。

変形を表す言語表現は、「何をどうする」というように変形対象と変形操作の組合せで表現できる。このとき、変形対象については、(i) ユーザが単なる幾何形状として捉える場合 (例: 「円柱を長くする」) と、(ii) ユーザが機能などの幾何形状以外の概念も含む対象として捉える場合 (例: 「脚を長くする」) に分ける。ここでは、(i) の変形を幾何形状に対する変形と呼ぶ。また、(ii) の変形については、変形対象が物体である場合と、物体の部位である場合がある。しかし、部位に対する変形は、部位が属する物体に大きく依存するため、ここでは、この両者に対する変形を物体に対する変形としてまとめて扱う。

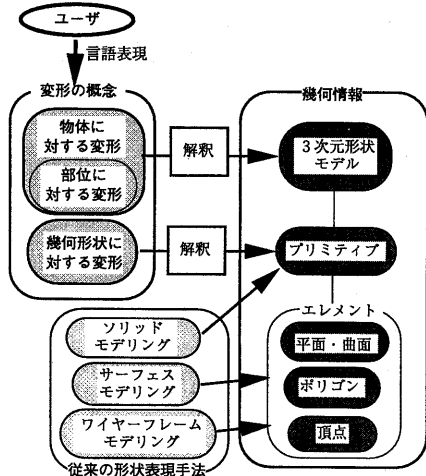


図1 変形概念と幾何情報の関係

2.2 変形対象と言語表現

言語表現を入力とするインタフェースにおいては、ユーザの言語表現を的確に解釈することが重要である。このためには、多くのユーザに共通する解釈を予めシステムに用意しておくことが効果的である。これは、多くのユーザに共通する概念に対応する言語表現を、システムの入力として用意することで実現できる。

ここでは、幾何形状に対する変形に関して多くのユーザに共通する概念を求め、求めた概念に適切な名称をつけシステムに用意する。これが第1の手法 [6] である。なお、第1の手法では、例えば凹凸の個数が多いような簡単な関数で記述できない曲面の入力が困難であるため、画像を入力として併用する。これが第2の手法 [7] である。

一方、家庭のような限られた作業空間では、各々のユーザの使い勝手を重視し、個々のユーザがそれぞれ独自の言語表現を定義できるような、システムの個人適応能力も重要である。特に、物体に対する変形の場合は、ユーザが持つ物体に関する知識によって、どのような言語表現をシステムに用意すればよいかが変わり、さらに、言語表現の解釈の仕方も変化する。そこで、ユーザが「(椅子の)脚を長くする」などの変形操作をシステムに定義することを可能とする。これが、第3の手法である。

以下では、これらの三つの手法について順に述べる。

3 幾何形状に対する変形

3.1 プリミティブの変形に関する従来研究

従来の研究としては、“bend”と“twist”と“tapered”の3種類の変形を組み合わせるプリミティブを変形する研究 [8] や、また、モデルを超二次関数で記述される基本構成要素(プリミティブ)の組合せで表現し、超二次関数のパラメータの変化によるプリミティブの形状変化に「膨らませる」などの表現を当てはめた研究 [9] がある。しかし、これらの研究では、ユーザがどのような変形を必要としているかということについては、余り考慮されていない。

3.2 直方体の変形に関する調査

非エキスパートが直方体に関してどのような変形を必要としているかを、被験者(60名)を用いて調査した。この調査では、被験者に対して棒状の直方体を示し、それから連想する変形を8種類描かせた。ただし、アフィン変換で記述できるような線形な変形を除いた変形に限った。

得られたサンプルを、(i) 曲面の生成を伴う変形(曲面あり)、(ii) 曲面の生成を伴わない変形(曲面なし)、(iii) 変形困難の三つに分類した。ここで、変形困難とは、元の直方体から余りに異なっており、最初から作成の方が容易である場合である。それぞれが全サンプル数に占める比率を表1に示す。

表1 直方体の変形に関する調査結果

曲面あり	曲面なし	変形困難
45.5%	37.5%	17.0%

表2 プリミティブに対する変形

変形操作
丸める (round) 細らせる (tapered)
曲げる (bend) 厚くする (thicken)
反らせる (warp) 引く張る (swell)
尖らせる (sharp) ねじる (twist)
凹凸をつける (uneven) 穴を開ける (make a hole)
非対称にする (asymmetry)

3.3 変形のあてはめ

こうして求めた変形操作を表2に示す。これによって、「曲面あり」のサンプルに対して75.1[%]、全サンプルに対して45.1[%]の変形が実現可能になった。こ

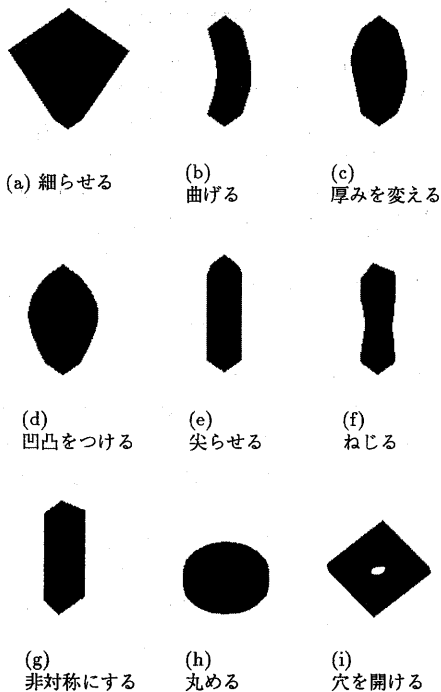


図2 プリミティブに対する変形例

これらの操作による変形例（変形前は、直方体のプリミティブ）を図2に示す。ここでは、このような操作を、変形操作の入力（言語的指示）と操作をする面の指定、および、程度、範囲、位置などの調整で実現するシステムを構築した。なお、変形操作の入力はメニュー選択で、面の指定はマウスによるポインティングで、程度などの調整はスライダー入力で、それぞれ代用した（以下同様）。

4 画像を併用する変形

4.1 従来の研究とその問題点

物体形状は言語表現だけでは表現できない場合もあるため、画像のような具体的な情報を併用することは有効である。CGの分野では、実写画像のテクスチャをマッピングすることでリアリティの高いCG画像を生成することを目的とし、実写画像をもとにモデルを作成することが研究されている。画像中の物体を参照してモデルを作成するためには、モデル、姿勢、投影方法、位置の情報を獲得する必要がある。さらにモデルの持つ情報は、どんな種類のモデルかという情報の他に、大きさや形の情報から成る。従って、ユーザが

画像を参照してモデルを作成するために、モデルの種類、モデルの大きさや形、姿勢、投影方法、位置の情報のうちのどれだけを、どのようにシステムに与えるかが課題となる。従来の研究としては、用途を主に建造物に限り、直方体などの単純で制約の強いモデルを扱う研究 [10][11] が主であった。しかし、曲面を持つ物体は直方体のような制約の強いモデルでは記述できない。

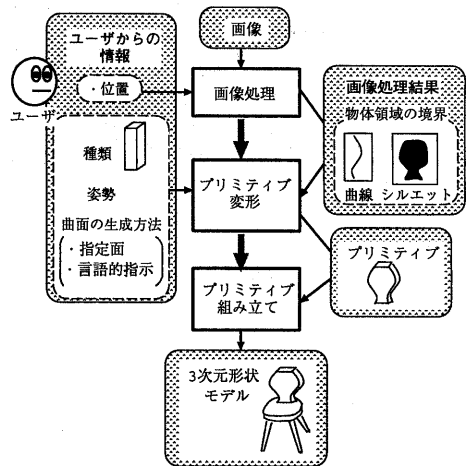


図3 物体領域の境界を用いるモデル作成

4.2 物体領域の境界の利用

ここでは、ユーザが用意した一枚の画像から物体領域の境界を抽出し、境界の一部である曲線を利用してプリミティブを変形する。このような単純でないプリミティブには強い制約を付加できないので、ユーザが多く情報を与える必要がある。そこで、プリミティブの種類と、プリミティブの姿勢、画像上での大まかな位置の情報をユーザが与えることとし、投影方法については平行投影を仮定する。また、プリミティブの形に関する情報として、ユーザが曲線からの曲面の生成方法を指示する。

この手法の流れを図3に示す。最初に、ユーザから得た画像上での物体の大まかな位置を手がかりにして、画像処理により画像から物体領域の境界を求める。次に、原型となるプリミティブを選択し、物体領域の境界の一部の曲線を利用して、素材プリミティブから曲面を持つプリミティブに変形する。このときの曲面の生成方法はユーザの指示（前章で述べた面の指定と言語的指示）をもとに決定する。最後に、プリミティブを組み立てることでモデルを作成する。

4.3 プリミティブ変形例

曲線を用いたプリミティブの作成例を図4に示す。図4(a)の原画像を処理し、図4(b)に示す曲線を切り出す。この曲線を用いて板状の素材プリミティブに対して「厚みを変える」言語的指示を用いて変形したプリミティブが図4(c)である。複雑な曲線を用いることで装飾的な変形を施すことができる。このように本手法は、最初から作成するのに労力がかかるような曲線を用いプリミティブを作成する場合に有効である。

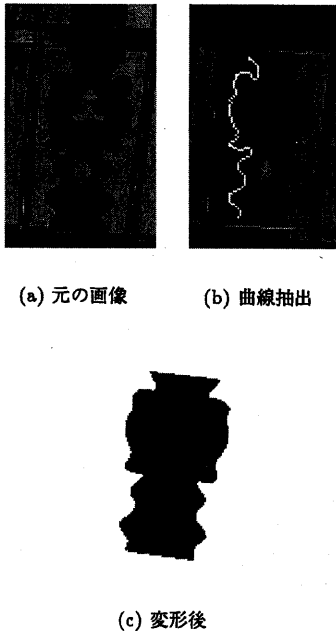


図4 曲線を用いたプリミティブ作成例

5 物体に対する変形

5.1 変形操作の定義

物体はふつう機能を持つ。人間は機能に影響を与える形状の特性(脚の長さなど)に関心が高いため、特性を変えるような変形を重視する。このため、「椅子」の部位である「脚」に関する「脚を長くする」という表現では変形方向が垂直方向であるように、方向などの変形の具体的な内容を一意に決めることができる。

このような物体の知識を利用するモデルの作成システムは、限られた操作を予め定義しシステムに実装しておくことで、比較的簡単に実現できる。しかし、このようなシステムでは、新しい操作を追加することが難しい。さらに、さまざまなモデルを作成するシステ

ムを構築しようとする、構築のための作業量が膨大となる。

ここでは、ユーザが物体に関する知識に基づく変形操作を、モデルに対する変形の事例をもとに定義することを可能にする。変形対象がプリミティブである場合は、CADの分野では、変形後のプリミティブからプリミティブの持つフィーチャーを検証し、フィーチャーベースモリングのための新しいフィーチャーを定義することに関する研究[12]があるが、その検証の処理は必ずしも簡単ではない。変形対象がモデルである場合は、モデルを構成するプリミティブとその組合せが様々であるため、すべてのモデルに共通するような操作を定義することは、なおさら困難である。たとえば、「(椅子の)脚を長くする」変形は、どのプリミティブに対してどのような変形をすればよいか、「椅子」のモデルに応じて異なる。

そこで、個々のモデルについて変形操作を定義するオブジェクト指向のデータ構造をとる。そして、ユーザが個々のモデルの変形操作を定義するという、非常に簡単なインタフェースをシステムに用意する。個人の作業空間においては、自ら作成したモデルをもとに類似した別のモデルを作成することが多い。このような場合、ユーザは自ら定義した操作を用いて同様の変形をすることができる。

5.2 システムの全体構成

このようなユーザが定義する操作を用いるモデル作成システムの構成図を図5に示す。ここでは、部位を複数のプリミティブの組合せで構成する。ユーザが定義した変形操作を用いるモデル変形部では、ユーザによる変形操作の定義を参照しながら、モデルを変形する。すなわち、最初に、データベース内の操作の定義に基づいてユーザの言語表現を解釈し、モデルの変形量を求める。

一方、変形対象を単なる幾何形状として扱う、従来技術による別のモデル変形部をシステムに持たす。ユーザは、この変形部でモデルを変形し、モデルを変形した事例を示した後、その事例に対し名称を与える。システムは、変形の事例の直前のモデルと直後のモデルの差分から、変形操作の内容を求める。そして、ユーザが与える名称と変形操作の内容との対応関係を、変形操作の定義としてシステムのデータベースに蓄える。

5.3 ユーザが定義した変形操作の例

定義した操作による変形例を図6に示す。図6(a)の椅子のモデルに対して、「leg' + 'long' (脚を長くする)変形と'back' + 'leaned' (背もたれを倒す)変形を行った結果が図6(b)である。このうち、「脚を長く

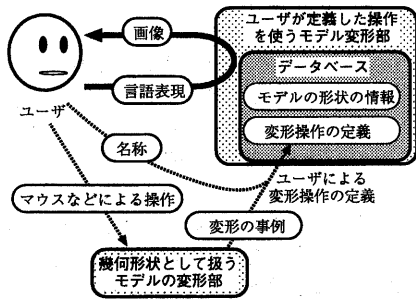


図5 システムの全体構成図

する」変形は、脚を構成するプリミティブのうち、円柱状のプリミティブ一つだけについて、高さを表すパラメータの値を大きくするように定義した。「背もたれを倒す」変形については、背もたれをささえる棒状のプリミティブと座の部分のプリミティブとの位置関係を変化させる定義を行った。このように部位のさらに一部分を変形することを定義できる。これとは逆に、複数の変形を一つの変形として定義することも可能である。形状や姿勢を変える変形に関して、部位を構成するプリミティブを最小単位として定義できることが、この変形方法の利点である。

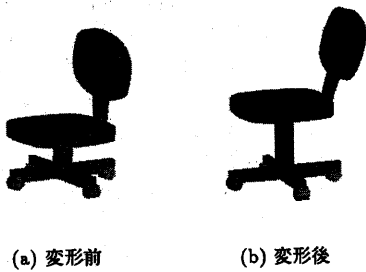


図6 ユーザが定義した操作による変形の例

6 おわりに

3次元物体形状モデルの変形操作に言語表現を利用した三つの手法について述べた。まず、ユーザが変形対象を単なる幾何形状として捉える場合、直方体のプリミティブを対象として被験者を用いた実験から一般的にユーザが用いる変形操作を求め、言語的指示としてシステムに用意した。次に、このような言語的指示では入力が困難な、例えば凹凸の個数が多いような、

簡単な関数で記述できない曲面を入力するとき、画像を入力として併用した。このとき、画像から得る物体領域の境界線の利用方法の入りに言語的指示を用いた。最後に、ユーザが変形対象を、幾何形状以外の意味を持つ物体として捉える場合、ユーザが変形操作を定義するインタフェースをシステムに持たせ、個々のユーザやモデルごとに操作を定義できることを可能とした。これによって、言語表現を用いて変形を行う場合の大体の枠組みについて示すことができたと考えられる。

しかし、ここでは、人工物の変形に関して実現したにとどまっており、より複雑な形状を持つ自然物(人間の顔など)の変形については、今後の課題である。

参考文献

- [1] Y. J. Tijerino, S. Abe, T. Miyasato and F. Kishino: What You Say is What You See - Interactive Generation, Manipulation and Modification of 3-D Shapes Based on Verbal Descriptions, *Artificial Intelligence Review*, Vol.8, pp.215-pp.234 (1994)
- [2] 山田, 網谷, 星野, 西田, 堂下: 自然言語における空間描写の解析と情景の再構成, *情報処理* Vol.31, No.5, pp.660-672 (1990).
- [3] 望月, 岸野: 自然言語による3次元画像へのアクセス, *信学技報 PRU92-44*, pp.69-75 (1992).
- [4] 寺野, 増井, 寺田, 渡辺: ファジ理論を用いた風景画の自動着色, *日本ファジ学会誌*, Vol. 5, No. 2, pp.375-385 (1993).
- [5] 西山, 大久保, 松下: Picnyck: 風景描写分から風景画像の創造, *情報処理学会論文誌*, Vol.38, No.5, pp.997-1006 (1997).
- [6] 福嶋, 美濃, 池田: 言語的指示も併用した3次元モデル作成法, *情報学 CAD とグラフィックス研報*, 77-5, pp. 27-34 (1995).
- [7] 福嶋, 美濃, 池田: 言語情報と言語的指示を用いた曲面モデルの作成, *画像認識・理解シンポジウム (MIRU'96)*, vol.1, pp.301-306 (1996).
- [8] A. H. Barr: Global and Local Deformation of Solid Primitives, *Computer Graphics*, Vol. 18, No. 3, pp.21-30 (1984).
- [9] D. Terzopoulos: Dynamic 3D Models with Local and Global Deformations: Deformable Superquadrics, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.13, No.7, pp. 703-714 (1991).
- [10] 渡辺, 椎谷: 実写画像に基づくCGモデリングツール Sketch Vision におけるユーザ支援機能, *グラフィックスとCADシンポジウム*, pp.9-16 (1995).
- [11] P. Debevec, C. Taylor, J. Malik: Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry-nad image-based approach, *SIGGRAPH'96*, pp.11-20 (1996).
- [12] T. Lakkio and M. Mayntyla: Feature Modeling by Incremental Feature Recognition, *Computer Aided Design* Vol. 25 No. 8, pp.479-492 (1993).