

仮想手による様々な仮想道具利用のための知識とモデル

舟橋健司*1 安田孝美*2 横井茂樹*2 鳥脇純一郎*1

*1: 名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻

*2: 名古屋大学情報文化学部

E-mail: kenji@toriwaki.nuie.nagoya-u.ac.jp

Abstract 本論文では、仮想空間で物体操作を行うために仮想の手により利用する仮想道具の、一般的な知識構造について述べる。これは、道具自身の形状、手と道具の相互作用モデル、道具と物体の相互作用モデルに関する知識を有する。道具を表現するための知識構造を一般化することにより、道具に関する知識をプログラムから分離することが可能となる。また、プログラムを変更することなく、新たな道具の利用が可能となる。

Knowledge and Model for Manipulation Using Virtual Tools with a Virtual Hand

Kenji FUNAHASHI*1, Takami YASUDA*2, Shigeki YOKOI*2, and Jun-ichiro TORIWAKI*1

*1: Information Eng., Graduate School of Eng., Nagoya Univ., Japan

*2: School of Informatics and Sciences, Nagoya Univ., Japan

E-mail: kenji@toriwaki.nuie.nagoya-u.ac.jp

Abstract - This paper describes a generalized knowledge structure for virtual tools used in virtual world with a hand. The proposed model contains the knowledge, such as the shape of the tool, how to use the tool with a hand, and how to manipulate objects by the tool. Introducing this kind of knowledge structure, we can separate the models for virtual tools from virtual manipulation system itself, so that any type of tools is introduced in a very simple manner.

1. はじめに

近年、仮想現実感(Virtual Reality; VR)に関する研究において、仮想空間に配置された仮想物体に対する対話操作(仮想物体操作)の実現が目ざされている。なかでも、仮想空間中に配置された仮想の手による操作[1]-[5]、仮想の道具による操作[6][7]に関する研究が盛んに行われている。しかし、様々な道具操作の実現は容易ではなく、また、現実感を高めるためには道具に対応した特定の入力装置が必要であるなどの問題点がある。そこで本文では、道具は手によって操作されることに着目し、仮想手で扱われる仮

想道具により仮想物体の移動、変形などを実現することを考える。

本研究では、道具自身を構成する部品、および、道具の利用方法に関する知識などを一般的に表現可能な基本モデルを考案し、仮想手による様々な仮想道具を利用した操作システムを実現した[8]。また、このような知識をシステム(実行プログラム)から分離することにより、プログラムを変更せずに、新たな道具に対する知識(データファイル)を付加することで新しい道具の利用を可能とした。提案手法に従い、利用する各道具に対応した、仮想手と道具、道具と物

体との相互作用モデルを構築することにより、仮想手で様々な道具を操作し、それらの道具により物体を間接的に操作することが可能となる。

以下、まず2節では、本研究の方針について述べる。次に3節では、知識の構造、操作システムの実現方法について述べる。実現した実験システム、実際の操作の様子などについては4節で示す。

2. 仮想手による道具を介した物体操作

2.1 仮想空間における道具の利用

本文では、最終的に操作したい対象を物体と呼び、この物体を操作する目的で手で直接に扱う対象を道具と呼ぶ。また後述するように、道具は多面体により表現される剛体とする。物体も多面体による表現とするが、道具との相互作用により変形も可能とする。手に関しては、手を代表する点(手首)の座標と手の方向、および、各関節の角度が入力装置から得られるものとする。さらに、仮想手の形状モデルを有することにより、それに基づく手の描画を行うことができる。

2.2 道具の特徴

ここでは片手で把持して動かし、実際に操作したい物体に干渉させることにより移動、変形などを行う道具を対象とする。また干渉とは、道具を物体に接触させる、もしくは、近付ける(例えば、磁力によるもの)ことを意味する。その詳細は道具と物体の相互作用モデルによる(後述)。道具の具体例として (1)スプーン、(2)ナイフ、(3)ハサミ、(4)ピンセット、(5)箸などが挙げられる。

ところで、道具には可動部分の存在するもの(例えば、上記の例の3,4,5)がある(ここでは、箸は2つの部分が互いに独立した動きをしない1つの道具とみなしている)。しかし、道具の形状が任意に変化するのではないため、道具を構成する変形しない部品の相対的な位置変化により可動部分の動きを表現できる。また、道具を用いる場合は許容される把持、操作のしかたを限定しても大きな問題は起こらない。

2.3 ジェスチャによる道具の把持

仮想空間における道具の使用を可能にするには、前節で述べた様々な仮想道具の、仮想手による把持、操作を実現する必要がある。このとき、道具毎に把持を行う手の形状は異なるが、1つの道具に対してあらゆる手の形状による把持に対応する必要はない。そこで、各道具ごとに1つ、ないし、複数のジェスチャを知識として持たせることにより、任意の道具の把持、操作を実現した。

実際の把持判定では、まず道具および手を内包する球、立方体等が互いに干渉する可否かを判定(境界判定)する(図1)。次に、各関節の角度によるジェスチャの判定を行う。これは、手の大小の違いによる指先などの座標値の変化の影響を受けないこと、および、操作者の手の形状を入力する装置は主に各関節の角度を測定していること、による。ジェスチャの判定は、各関節に対しての各角度に上限と下限を指定することにより、しきい値によって判定する。各ジェスチャ毎に手に対する道具の位置に関する知識も持たせておき、ジェスチャにより把持と判定された場合、道具の位置、方向を補正する。

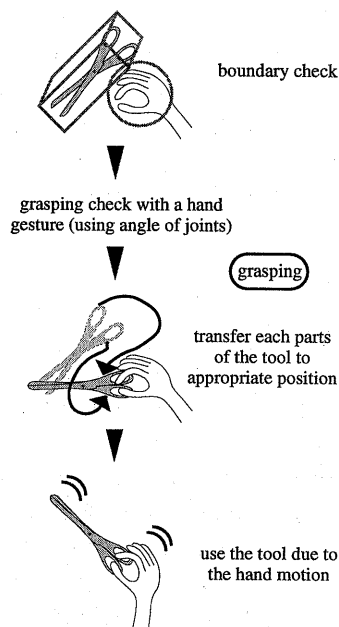


図1 道具の把持(判定と実行)

また、道具を把持したまま手全体の位置、方向を変化させた場合、その道具は手との相対位置が変化しないと考え、手の動きに追従して移動させる。

2.4 道具による物体操作の実現

上述した手で操作されている道具による、物体の操作も実現する必要がある。道具と物体との関係は手と道具との関係と比較して多様であり、道具と物体の組合せにより様々な状況が考えられる。本研究では、道具による干渉、操作の計算、および描画の高速性を考慮し、仮想物体は多面体とする。また、道具を構成する部品も、同様に多面体とする。

一般に仮想空間における相互作用（物体同士の干渉など）を考える場合、まず干渉が存在するか否かを判定し、その状況により様々な作用を加える。具体的に多面体同士の干渉を扱う場合には、多面体を構成する頂点、稜線、面に対する干渉、および物体の内部に侵入しているか否か、等あらゆる状況に対応する必要がある。しかし、特定の目的を持つ道具の場合、あらゆる部分における干渉を考慮する必要性は低い。そこであらかじめ、図2に示すように、道具の部品を構成する多面体の頂点に基づいて、物体との干渉等の判定を行うための判定点、判定線分、判定面を設定しておく。これらは、道具に固定された頂点だけでなく、2頂点の中点を判定点とすること、あるいは交点、射影点等による決定も可能なものとする。

また、実際に仮想空間における相互作用（物体の操作など）を実現する場合、プログラミング言語などによりシステムを構築する必要がある。このとき、相互作用を実現するための記述は多岐にわたり、また複雑である。ここでは、相互作用に関する知識をデータファイルとして記

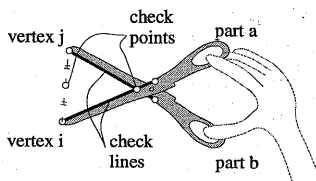


図2 判定点、判定線分の説明（ハサミの例）

述し、この知識を解釈することにより相互作用を実現するシステムの実現を目的としている。そのため、相互作用に関する知識の表現方法を整理する必要がある。そこで、相互作用を実現するための要素を(1)干渉判定、(2)各種演算、(3)分岐処理、およびその結果による(4)物体の操作に分けて考え、それぞれについて以下に挙げる具体的な処理を考慮する。

- (1)干渉判定：道具の判定点、判定線分、判定面と、物体の面、稜線、頂点との各組合せの接触判定、および物体に対する内外判定
- (2)各種演算：スカラー変数、ベクトル変数に対する接触点の数、座標などの代入、各種算術演算、大小判定等を含む論理演算
- (3)分岐処理：干渉判定、大小判定などの結果による処理の実行、あるいは、非実行の決定
- (4)物体操作：道具に追従した物体の移動、頂点を移動することによる物体の変形、平面による物体の切断

これらの組合せにより、道具と物体との相互作用モデルに関する知識を構築する。

3. 知識のプログラムからの分離

3.1 道具に関する知識

2節で述べた事項をもとに、各道具に関する知識の構造の一形式を提案する(図3)。

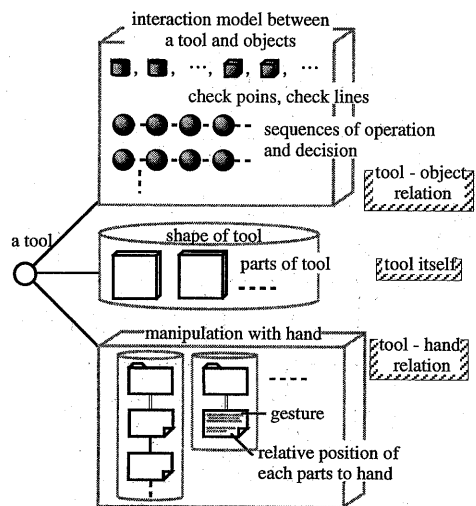


図3 仮想道具に関する知識構造

[A][道具自身] 可動部分が存在する道具に対応するため、道具の形状データは、道具を構成する変形しない部品(多面体)の集合として表現する。ただし、各部品の位置関係、拘束の方法についてはここには記述しない。

[B][道具-手] 道具の把持操作に関しては、1つの道具に対して複数の把持、操作方法が存在し得るため、操作方法の集合として表現する。この各要素は、可動部分の存在しない道具の操作方法に関しては、1組の道具把持における手のジェスチャ、および手全体の位置に対する相対的な各部品の位置、方向に関する知識を持つ。道具の可動部分を動かす操作方法の場合、複数組のジェスチャ、および各部品の相対位置をリスト表現による知識として持つ。また、手に対する各部品の位置により、各部品同士の拘束関係が決まる。

[C][道具-物体] 道具と物体との相互作用モデルとして、まず判定点、判定線分、判定面の集合を、道具形状データの頂点座標の演算として表現する。この判定点などに対して、どのような判定、演算を行い、その結果どのような影響を物体に与えるかを、リストとして表現する。操作方法が複数ある場合は、各操作を表すリストの集合となる。

図4,5にスプーンとピンセットの道具に関する知識の構成例を示す。スプーンは1つの部品

からなり、スプーンの持ち方は2通りとした。それぞれの持ち方に対し、それぞれ1組のジェスチャと、手に対するスプーンの相対位置を知識として持つ。判定点をスプーンの先の部分に設定し、物体をのせること、および、押すことを可能とした。また、可動部分を持つピンセットは、2つの部品により構成し、使用方法は1通りとした。操作方法の表現は、ピンセットを閉じた状態と大きく開いた状態それぞれの手のジェスチャと、各部品の相対位置による。物体との相互作用モデルは、以下に示す3つの判定点と2つの操作方法を有するものとした。

[判定点の設定]

部品0の先端(頂点*i*)を判定点0とする
 部品1の先端(頂点*j*)を判定点1とする
 上記判定点0,1の中点*P*を判定点2とする

[操作の設定]

以下の2つの操作を用意した。

[操作0] 以下による各判定、計算、把持操作

(1) しきい値の設定(5cm)

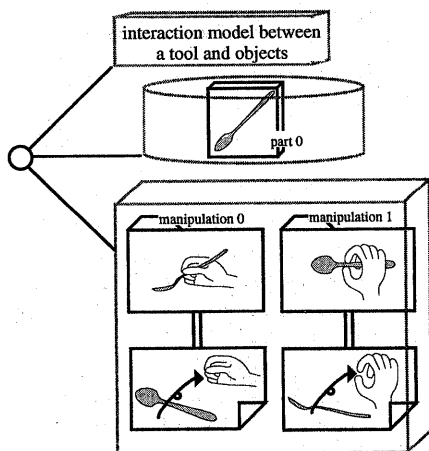


図4 スプーンの知識ベースの例

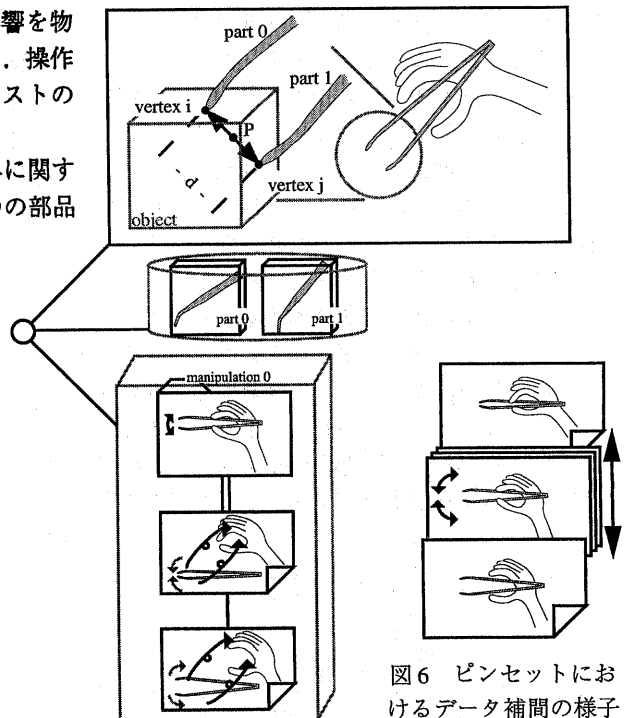


図5 ピンセットの知識ベースの例

図6 ピンセットにおけるデータ補間の様子

- (2) 判定点0,1間の距離dを計算
- (3) 距離dがしきい値以上か判定
- (4) 判定点2が物体内部か判定
- (5) 上記(3)(4)が共に真なら物体を把持,移動
[操作1] 上記操作と類似な方法による物体の頂点の選択,移動による変形操作

このピンセットツールの知識の実際のデータはテキストで表現されており,容易に記述,変更が可能である.

3.2 道具の把持,操作の実現

上述の知識構造により道具の知識をシステムから分離し,仮想手による道具を介した物体操作を実現する.道具の可動部分の状態が変化する操作方法に対しては,複数組のジェスチャと道具を構成する各部品の手に対する位置を知識として持たせ,隣り合う要素間を補間することにより,手の形状の変化に対応した道具の可動部分の状態の連続的な変化を実現する.具体的には,図5におけるピンセットを閉じた状態と大きく開いた状態の間を補間することにより,図6に示すようなピンセットの開閉動作が可能となる.本モデルにより2.2節で挙げた道具の把持,操作を行うことができる.

4. 実験例

4.1 実験システムの構成

上述した知識構造,操作モデルを用い,道具に関する知識を分離した仮想空間操作システムを,C言語によりグラフィックワークステーション(SGI PowerOnyx, R8000)上に実現した.本システムは前述の知識の入力,解釈,および処理が可能なものである.また,映像提示に関しては立体視が可能である.

本システムでは,複数の道具,複数の物体が存在する状況で,自由に道具を選び,物体に対してインタラクションを行うことが可能である.また,物体データを作成するだけで新しい物体に対する操作が可能であると同様に,システムの改良なしに道具データを作成するだけで新たな道具の利用が可能である.さらに,仮想手で物体に直接干渉することによる物体の移動操作も可能であり,全く干渉を受けていない物体

は重力,慣性に従った挙動を示す.

4.2 実験結果

上述のシステムで解釈,処理可能な書式で,実際にいくつかの道具に対する知識ベースを構築した.

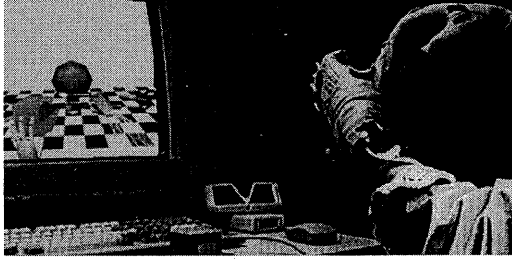
本システムによるこれらの道具の操作例を図7に示す.図7(a)は左手で物体を把持し,右手でピンセットにより物体を変形している状況のシステムの概観である.同図(b)には道具(スプーン)に対して,2通りの異なる持ち方が実現されていることが示されている.同図(c)に示すように,可動部分のある道具(ピンセット)の操作も実現できた.さらに同図(d)では,箸,ナイフ,ハサミを利用している様子を示す.またこれらから,複数存在する道具から希望する道具を選び,物体を操作できることがわかる.

また,体験実験において被験者から「手で操作されている道具が見えるため,計算機上のデータ変更ではなく,実際に操作している感じがする」などの積極的評価や,「奥行きが把握しにくい,手応えがない」などの立体視,力覚フィードバックに関する問題点の指摘があった.

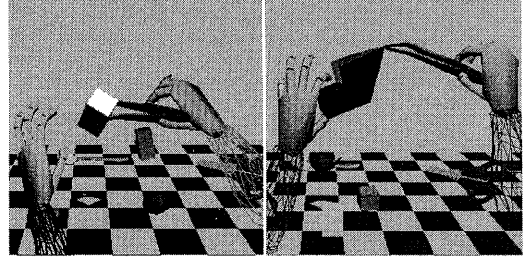
計算時間に関する評価については,複数存在する道具のうち,一つの道具を利用して物体操作を行っている状況で約18 frames/sec.での描画が可能であった(図8).これらは,図7の何れの道具に関してもほぼ同じ結果であった.一般には,対話操作の実現には12 frames/sec程度が必要であるといわれており,本システムによる,道具を利用した対話的な仮想物体操作が可能であると判断できる.厳密に言えば,仮想物体の形状,道具の形状,および道具と物体との相互作用モデルが非常に複雑な場合は,描画,干渉時の処理時間が増加することが予想される.今後,手と道具,道具と物体の相互作用に関する処理の高速化を行う必要性も考えられる.

5. むすび

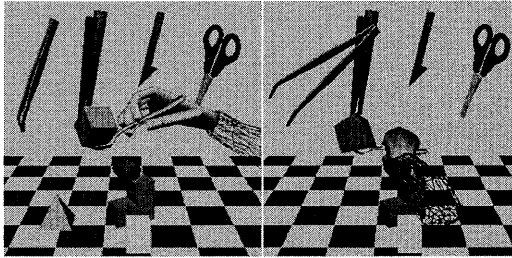
本文では,仮想道具の知識構造を提案し,知識をシステムから分離することにより,仮想手による仮想道具を利用した物体操作を容易に表現可能とした.またこの考えに従って,仮想手



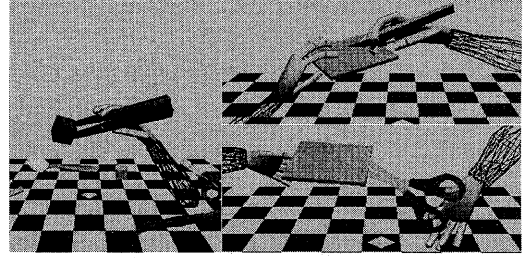
(a) 実際の操作の様子



(c) ピンセットによる物体の移動, 変形操作



(b) スプーンによる物体の移動操作



(d) 箸, ナイフ, ハサミの操作の様子

図7 仮想手による仮想道具を利用した仮想空間操作の例

による道具を介した物体操作システムを実現した。本システムでは、システム自体の修正、変更を行わずに、様々な道具を利用することが可能である。さらに、仮想道具の知識ベースを構築することにより、ネットワークへの対応など様々な応用が可能となる。

本システムは現在、基本機能を実現した段階にあり、実際にデータを記述する際の書式の分かり易さ、記述の容易さについてさらに検討する必要がある。この点に関しては、仮想道具定義用エディタの開発も望まれる。また、具体的問題を含むさまざまな状況における仮想空間操作の体験実験により、本システムによる道具を介した仮想空間操作の実現の容易さおよび問題点を検証することも必要である。

謝辞 有益な議論を頂いた、名古屋大学末永康仁教授、ならびに、鳥脳研究室諸氏に感謝いたします。なお、本研究の一部は文部省科研費、股関節振興財団、および掘情報科学財団の研究助成による。

参考文献

- [1] R. Boulic, S. Rezzonico, D. Thalmann: Multi-Finger Manipulation of Virtual Object, Proc. ACM VRST, ACM, pp.67-74 (1996)
- [2] H. Iwata: Artificial Reality with Force-feedback: Development of Desktop Virtual Space with Compact Master Manipulator, Computer Graphics, Vol.24, No.4, pp.165-170 (1990)

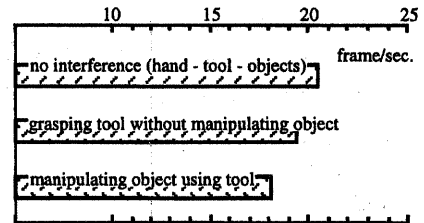


図8 単位時間当たりの描画フレーム数

- [3] 平田幸広, 水口武尚, 佐藤誠, 河原田弘: 組立作業のための仮想作業空間, 信学論 D-II, Vol.J76-D-II, No.8, pp.1788-1795 (1993)
- [4] 加藤孝俊, 藤沢祐介, 島村明彦, 伊藤稔: 仮想空間における物体把持方法の検討, 信学総大(基礎・境界), P.396 (1998)
- [5] 舟橋健司, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: 仮想空間における両手による協調操作モデル, 情処論 (1998.5, 掲載決定)
- [6] 日下志友彦, 正城敏博, 北村喜文, 岸野文郎: 箸操作アニメーション生成のための一考察, 信学総大(基礎・境界), P.380 (1998)
- [7] 野口博和, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: 仮想ハサミによる切断操作のモデル化と実現, NICOGRAPH 論文集, pp.22-31 (1996)
- [8] 舟橋健司, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: 仮想空間における手による道具操作の支援のための知識データベース, 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会講演論文集, pp.250-253 (1997)