

# 仮想物体の変形を考慮した接触判定手法の提案

横山 哲也      藤井 勝敏      浅野 良直      棚橋 英樹

## Research on Contact Detection for Deformation of Virtual Objects

Tetsuya YOKOYAMA    Katsutoshi FUJII    Yoshinao ASANO    Hideki TANAHASHI

あらまし Virtual Reality (VR) において、仮想物体と操作者の間でインタラクションを図ることで、より高い臨場感を得ることができる。そのためには、接触に伴う拘束に従って仮想物体を操作することが必要であり、物体相互の衝突判定は重要な課題である。本研究では変形を伴う仮想物体の接触判定に着目する。従来の判定アルゴリズムでは仮想物体の変形を想定していない。提案手法では境界表現法 (Winged-Edge) を用いて、仮想物体の表面を構成するパッチの要素 (面, 稜線, 頂点) の隣接関係を定義し、隣接関係により接触要素を探索する。この手法では変形に対し特別な計算を必要としないため、変形を考慮した接触判定が可能になると思われる。今回は想定する仮想物体は凸形状であるが、今後の課題として非凸形状に対する考察を述べる。

キーワード 接触判定, 凸多面体, 境界表現法(Winged-Edge), 対話操作

### 1. はじめに

近年、計算機の性能向上により、仮想空間内での疑似体験が可能となり、VRに関する研究が盛んに行われている。例えば力覚呈示、触覚呈示等の研究に見られるように、インタラクティブに操作者へ情報をフィードバックすることで、より高い臨場感を作り出すことが可能となる<sup>[1]</sup>。

仮想空間において仮想物体を接触に伴う拘束に従い操縦することは、物体を操作する操作者支援に役立つ。そのためには物体相互の接触判定は重要な課題であり、各方面で精力的に研究されている<sup>[2]</sup>。また、操作者の意図で物体を変形させることも、対話的操作性を高めるために重要である。しかし、これまで提案された多くの衝突判定アルゴリズムは衝突対話操作中における物体変形は考慮しておらず、物体変形に伴う再計算のため計算負荷は大きく、操作者にストレスを与える。

本研究では対話的操作性を損なわず、物体を操作・変形できる接触判定アルゴリズムを提案する。対象とする物体形状は凸形状とし、非凸形状に関しては今後の課題として考察を述べる。

### 2. 従来手法の問題点

接触 (衝突) 判定は精度と実時間処理のトレードオフの関係がある。単純な接触判定は物体の全ての面、稜線の組合せに対して交差のチェックを行う。しかし、物体数及び面数が増えると計算量は2乗のオーダーで比例する。そこで多くの接触判定アルゴリズムは、仮想物体を計算コストの低い包含物体に置き換えることで実時間を保

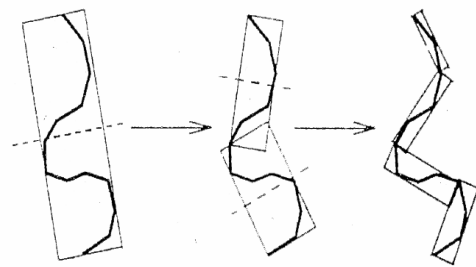


図1 仮想物体を包含する包含物体

証する。

図1に示すような原型により近い包含物体を作成する、階層構造を持つOBB-Tree (Oriented Bounding Box Tree)<sup>[3]</sup>では、OBB軸に統計的手法を用いている。これはつまり、表面の3角パッチ頂点数に比例して計算コストは増えることを意味する。また階層化構造に伴う分割計算も考慮すると、変形に伴う計算負荷は大きい。

空間を均一な形状の立方体で分割し、八分木を用いて包含物体を階層的に管理する手法もある<sup>[4]</sup>。多面体表現以外の木構造の付加的データを持つため、物体が変形する時には付加的データの書き換えも必要となり、計算コストが増加する。

以上のように、包含物体は仮想物体形状に依存した形で予め分割されており、データ構造の初期生成に時間が掛かる。そのため、多くのアルゴリズムでは対話操作中の仮想物体変形は想定していない。

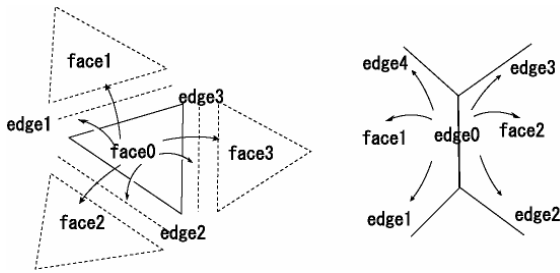


図2 面、稜線を持つリンク

### 3. 仮想物体表面の境界表現

提案手法は境界表現を用いたデータ構造を前提としている。境界表現のWinged-Edgeデータ構造を用いて、仮想物体表面パッチの、幾何要素間の隣接関係（位相）を定義する。幾何要素とは立体の移動・回転、拡大・縮小操作に対して変化する要素であり、ここでは面、稜線、頂点を指す。

Winged-Edgeは立体を稜線の集まりとみなし、頂点の座標値、面を表す方程式の係数など幾何データをトポロジーとして関連付ける<sup>[5]</sup>。例として、図2に面及び稜線からのリンク先を示す<sup>[6]</sup>。隣り合う幾何要素は、互いに隣接関係をデータとして保持している。面要素face0からは、隣接する面要素face1～face3及び稜線要素edge1～edge3へ、リンクをたどって参照することができる。稜線要素edge0からは面要素face1、face2及び、稜線要素edge1～edge4へリンクしている。

これにより、以下に挙げることが可能となる。

- 任意の3角パッチに隣接する3角パッチを抽出
- 任意の稜線の両端に接続する稜線を抽出

4章で述べる提案手法は、幾何要素の隣接関係を利用して、幾何要素の探索に掛かる計算コストを低減している。これは凸多面体間の最接近点位置（最短距離幾何要素対）が、時間的に前後するフレームにおいて大きく変わらないことを利用している<sup>[7]</sup>。

### 4. 接触判定アルゴリズム

提案する接触判定とは幾何要素が接触しているかを判別し、接触しているならば、接触に伴う拘束によって生じる法線を求めることである。接触とは物体の輪郭線を共有していることであり、互いの内部を共有しあう干渉とは異なる。本提案では干渉を前提としている幾何要素間の交差チェック<sup>[8]</sup>は行わず、最短距離と幾何関係により接触判定を行う。つまり、幾何要素間の最短距離が閾値以下になったら要素内の幾何関係を求め、接触を判定する。ここで言う閾値は物体表面からの距離であり、十分小さい値とする。

提案手法では包含物体を使用せず、境界表現を利用している。幾何要素の隣接関係を利用して、探索する幾何要

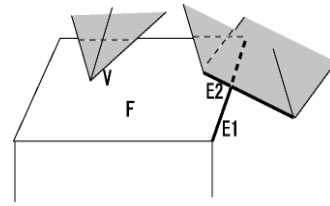


図3 FV接触、EE接触

素候補を絞ることで計算コストの低減を図る。対話操作中に物体が変形した場合でも、幾何要素の隣接関係は変化しないため、表面パッチの頂点データは変更するだけで特別な処理は必要としない。本手法では境界表現の付加的データを持つが、初期段階でデータを代入するだけであり、それ以降はパッチの増減がない限り付加的データの更新はない。

提案手法の判定アルゴリズムは以下に示すように、物体間の「接触」と「非接触」で考え方が二分される。どちらのアルゴリズムも、最短距離幾何要素が時間的に前後するサンプルにおいて大きく変わらないことを前提とする。

#### 4.1 接触アルゴリズム

物体の表面をパッチで構成している多面体同士の接触は頂点、稜線、面の組合せが考えられる。ここでは図3に示すように、以下の組合せを取り扱う。

- 面-頂点接触（FV接触）
- 稜線-稜線（EE接触）

上記2種類の組合せにより、面と稜線の接触はFV接触へ、面と面の接触はEE接触もしくはFV接触へ置き換えることができる<sup>[9]</sup>。

FV接触、EE接触は以下に挙げる、2つの状態によって決まる。

- EE接触  
稜線と面を含む平面との交点がある
- FV接触  
稜線と面を含む平面との交点がある

境界表現法Winged-Edgeを用いた、接触幾何要素の探索方法を、図4、5を用いて説明する。ここでは1サンプル前における接触幾何要素が既知であるとする。

#### 1) 面f0が前サンプルの接触要素であった場合

次サンプルの接触要素第1候補をf0とし、FV接触の判定を行う。

f0が接触要素でなければ、次候補は面f0を構成する稜線e1、e2、e3とし、稜線上でEE接触の判定を行う。

ここでも接触要素が存在しなければ、次に面f0に隣接する面f1、f2、f3を候補とする。

ある探索範囲内で接触要素が存在しなければ、接触はしてないと判定し、非接触アルゴリズムへ切

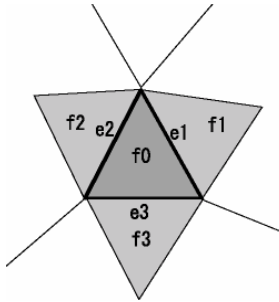


図4 前サンプル接触要素が面の場合

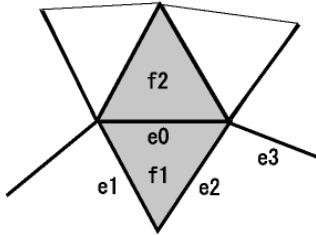


図5 前サンプルの接触要素が稜線の場合

り替える。

- 2) 前サンプルの接触要素が稜線e0であった場合  
 次サンプルの接触要素の第1候補は稜線e0とし、EE接触の判定を行う。  
 e0が接触要素でなければ、次候補は稜線e0を挟んでいる面f1, f2とし、FV接触の判定を行う。  
 ここにも接触要素がなければ、稜線e0の端点に接続している稜線e1~en(n:接続している稜線数)を探索する。  
 ある探索範囲内で接触要素が存在しなければ、接触はしていないと判定し、非接触アルゴリズムへ切り替える。

上記より、接触を伴う拘束運動において、Winged-Edge構造を用いて接触する幾何要素候補を絞ることができる。

図6に、仮想物体同士の接触幾何要素及びその隣接要素を示す。

#### 4.2 非接触アルゴリズム

非接触においては、物体間の最短距離を常に監視する。サンプル間の時間が小さければ、最短距離は大きく変化することはない。

非接触アルゴリズムは以下の手順に従う。

- あらかじめ初期段階(物体同士が接触していない場合)でモデル間同士の最短距離幾何要素対を求めておく。
- 幾何要素対の最短距離を求める。次サンプルの最短距離幾何要素対は前サンプルで求めた最短距離幾何要素対に隣接している。境界表現を利用して幾何要素のデータを保持しているため、隣接幾

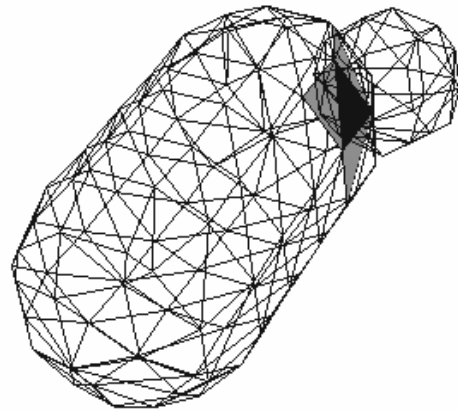


図6 仮想物体同士の接触

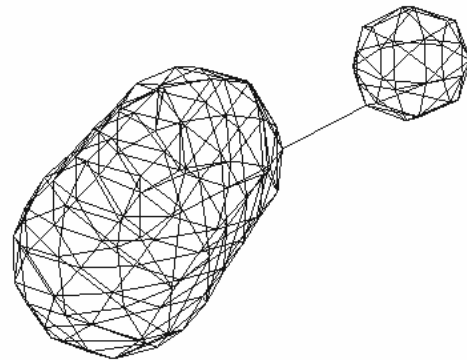


図7 物体間の最短距離

何要素への探索は容易である。

最短距離がある値以下になった場合、接触アルゴリズムへ切り替える。

図7に示すように、対話操作中は常に物体間の最短距離を監視している。

#### 5. 今後の課題

今回提案した手法は仮想物体が凸多面体を想定して記述している。そのため非凸多面体における接触のように、2個以上接触点が発生する場合、提案手法は適用できない。図8に示すように、Aで接触した状態で物体を下

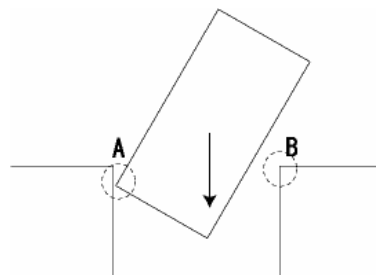


図8 非凸多面体との拘束運動

向きに移動させると、Bで接触する可能性がある。本手法ではA周辺の幾何要素のみを探索し、Bの接触を判定することができない

対応策として、非凸形状部を凸形状で近似することを検討している。具体的には、実時間で非凸形状部を凸形状で覆うアルゴリズム、作成した凸形状のWinged-Edgeと、非凸形状部のWinged-Edge間の関連付けが課題である。

今後はアルゴリズムの実証と有効性について検討を行う。

## 文 献

- [1] 岩田洋夫, “人工現実感生成技術とその応用”, サイエンス社, 1992.
- [2] 北村善文, “衝突検出を利用した仮想物体操作”, ヒューマンインターフェース学会論文誌, vol.1, no.4, 1999.
- [3] S. Gottschalk, M. C. Lin, and D. Manocha, “OBB-Tree: a hierarchical structure for rapid interface detection”, Computer Graphics Annual Conference Series (Proc. SIGGRAPH), pp.171-180, 1996.
- [4] 北村喜文, 竹村治雄, ナレンドラ アフジャ, 岸野文郎, “octreeと多面体表現を用いた3次元物体間の衝突面検出”, 日本ロボット学会誌, vol.14, no.5, pp.121-130, 1996.
- [5] 安田仁彦, “CADとCAE”, コロナ社, 1997.
- [6] 高崎大輔, “多面体の融合接続(修士論文)”; <http://www.kashi.info.waseda.ac.jp/~daisuke/research/pfusse/>. (2001年2月)
- [7] 川地克明, “多面体間の拘束な干渉判定アルゴリズム”, [http://www.kki.yamanashi.ac.jp/~ohbuchi/courses/2000/Simulation2000/PDFs/mp\\_handout\\_kawachi.pdf](http://www.kki.yamanashi.ac.jp/~ohbuchi/courses/2000/Simulation2000/PDFs/mp_handout_kawachi.pdf). (2001年2月)
- [8] John W. Boyse, “Interface detection among solids and surfaces”, Communication of the ACM, vol.22, no.1, pp.3-9, 1979.
- [9] 神徳徹雄, “仮想空間における拘束感生成手法に関する研究”, 機械技術研究所報告 第192号, 2001.