

多面体の凸分割とその歯科シミュレータへの応用

加藤智崇、登尾啓史
大阪電気通信大学大学院
総合情報学研究科コンピュータサイエンス専攻

一般に、凸多面体を対象とした衝突検出アルゴリズムは多数存在する。しかし、人間の歯などは凹形状であり、そのようなアルゴリズムは利用できない。そこで本論文では、多面体の凹凸判定法、および凹多面体を凸多面体の集合に分割する方法について述べ、それを歯科シミュレータにおいて利用する。

A Convex Decomposition Algorithm for Dental Surgical Simulator

Satoshi Kato and Hiroshi Noborio
Graduate School of Engineering
Osaka Electro-Communication University

In general, there are many types of collision check algorithms for convex polyhedrons. However, since each of human teeth has concave shape, we cannot use any such algorithms. To overcome this, we propose a convex decomposition algorithm for dental surgical simulation.

1. はじめに

現在、歯学部が歯の治療、例えば“う触”の治療などの歯科オペレーションを反復練習できるようなシミュレータ(HHDTs)の開発を進めている。このシステムでは、商用パソコン上にOpenGLで視覚系、フットペダルとOpenALで聴覚系、そして触覚フィードバックデバイスPHANTOM OmniおよびOpenHapticsで触覚系を構築している(図1および図2)。我々のシステムでは、予めマイクで“歯を削る音”や“タービンのモータ音”を取得・記録している。そして、ドリルの歯へのめり込みが大きければ前者、ドリルの回転数をあげれば後者の音を多く混ぜるようにした仮想・複合現実感システムである。

さて、我々が従来開発してきたソフトウェア[1],[2]では、まず歯の凸包を計算し、次にそれにデンタルバーがめり込む距離を計算し、その距離と衝突速度に応じた力を計算し、最後にその力をハプティクス(触覚フィードバックデバイス)で体感できていた。しかし、これでは、複雑な形状をした歯の表面やう触の治療の際、リアリティ豊かな力系列を感じられなかった。

そこで本研究では、凹形状の歯を複数の凸形状のパーツに分割するプログラムを作成し、それらにデンタルバーがめり込む距離をより正確に計算し、反復練習する学生が体感する力のリアリティ向上を図った。

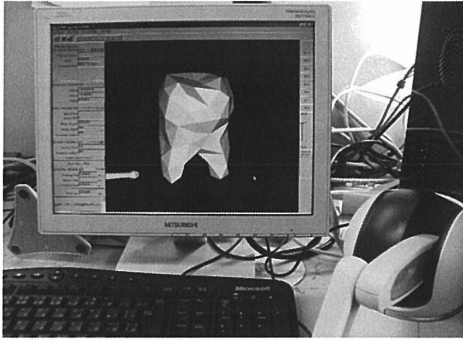


図 1: 歯科シミュレータ全景

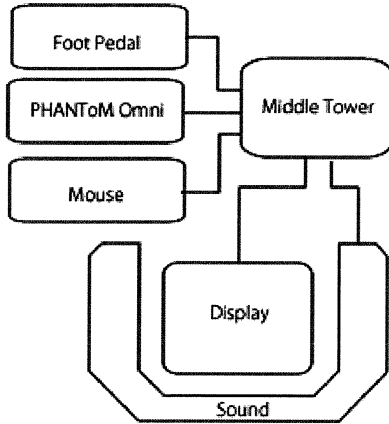


図 2: 歯科シミュレータのアーキテクチャ

2. 凸分割アルゴリズム

このアルゴリズムでは、まず入力された多面体データが凹か凸かを判定し、次に凹の場合のみ、それを凸多面体の集合に分割する。

2.1 凹凸判定法

ここでは、以下の手順で多面体の凹凸を判定する。

- ① 多面体のすべての面と頂点を取り出す。
- ② ある面について、面の法線方向にポリゴンを構成する頂点が存在すれば凹多面体、そうでなければ凸多面体と判定する。
- ③ この方法で凹多面体と判定した任意の面を、分割候補の面とする
- ④ 多面体のすべての面について、分割候補の面を求める

2.2 凸分割法

ここでは、以下の手順で凹多面体を凸分割し、多数の凸多面体の集合を得る。

- ① 凹凸判定法で凹と判定された場合、分割候補の面の中から、面の法線方向とその逆向きにおいて、頂点の個数をもっとも等しい面を探す。
- ② 分割面の決定法は次の通り。分割するための面を A とし、それよりも均等に頂点数を分ける面 B が存在すれば、面 B を分割面とする。もし面 A および面 B において、法線方向の頂点の数と法線方向の逆向きにある頂点の数が等しければ、最初の面 A で分割する。
- ③ この分割によって、多面体に面のない箇所が生じる。この面のない箇所に新しい面を以下のように構築する。
- ④ 図 3(A)のように、凹多面体を分割するとする。このとき、図3(B)の赤い面で2分割が行われたと仮定する。このままでは、図3(C)の様な状態となる。そこで新たな面を生成する。
- ⑤ 元の多面体が閉じている場合、多面体を構成しているすべての三角形の面において、三角形の辺を共有する隣接三角形が存在する。
- ⑥ したがって、隣接三角形が存在しない隣接辺を記憶し、その情報を用いて新たな面を生成し追加する。
- ⑦ 分割後それぞれに、前述の凹凸判定法を実施し、凸多面体であれば出力する。そうでなければ、引き続き本分割法を継続する。

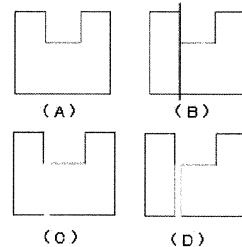


図3: 面の構築

2.3 分割の結果

ここでは、いろいろな凹多面体(図4~図7)について、前章のアルゴリズムを適応し、凸多面体の集合に分割した。

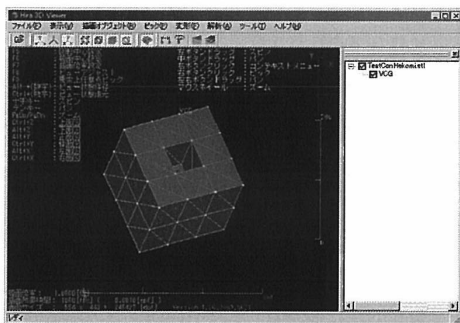


図4:凹多面体1

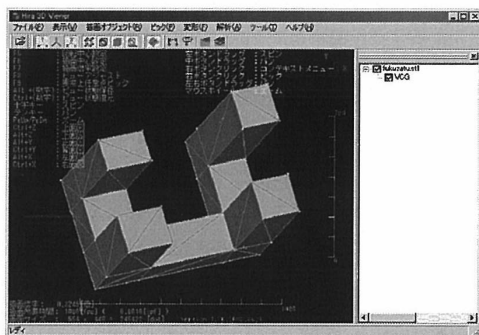


図5:凹多面体2

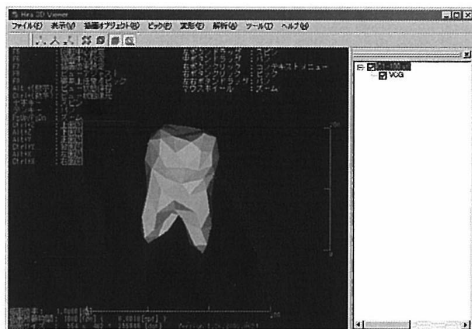


図6歯多面体1



図7歯多面体2

表1の結果から、初期多面体が複雑になればなるほど、凸分割アルゴリズムの計算時間が指数的に増加することがわかった。

表1:分割時間、分割前後の多面体情報

分割対象の名称	分割所要時間 (sec)	出力ポリゴン数	初期の面の数	分割後の面の総合計
凹多面体1	0.625	5	92	144
凹多面体2	0.375	7	92	116
歯多面体1	4.968	38	96	1157
歯多面体2	36.671	63	196	3030

3. 歯科シミュレータによる検証

ここでは、我々の歯科シミュレータにおいて、提案した凸分割アルゴリズムを利用する。このシミュレータは、現在市販されている SensAble 社製ハプティックデバイス PHANTOM Omni を使用することでデンタルバーと歯の衝突を体験できる。

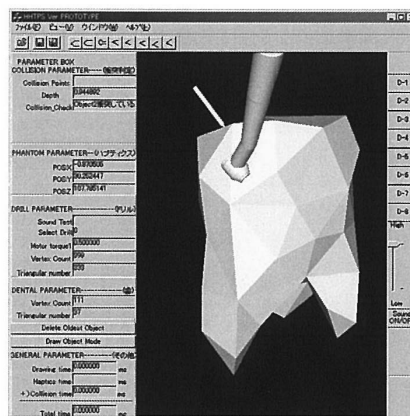


図8 歯モデルと仮想タービンによる衝突

ここでは、歯科シミュレータでハプティクスデバイスを操作し比較する。この衝突検出アルゴリズムでは、凸多面体同士のめり込み距離をソフトウェア FreeSOLID3.5 が計算している。なお、このデータは、歯多面体1の分割後のデータであり、凸分割を行った後の衝突判定の結果といえる。

図8のシミュレーションの際、衝突判定にか

かった衝突検出の時間は表2の通りである。

表2: 衝突検出時間 (msec)

	非衝突	衝突時
検出時間	13.8362	16.0377
	13.7689	17.3245
	13.8649	15.8968

また、このとき、歯科学生が感じる力系列は図9～11の通りである。

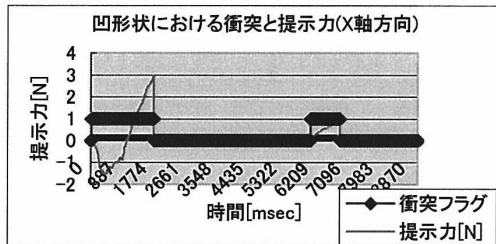


図9: X 軸方向

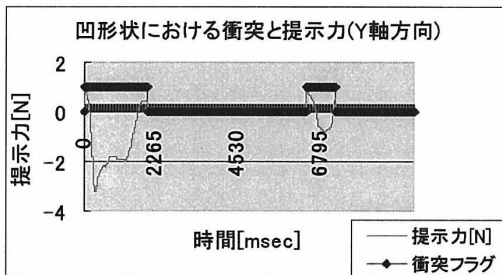


図10: Y 軸方向

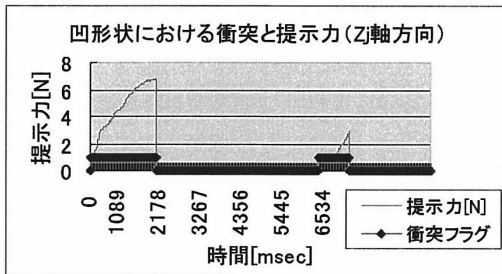


図11: Z 軸方向

以上のことから、凹形状の歯についても、めり込み距離および接触力が適切に返ってきていることがわかる。

4. まとめ

本研究では、凹形状の多面体を凸形状の多面体群に変換するアルゴリズムを作成し、それを凹形状の歯が多数存在する歯科シミュレータに適用し、リアリティ豊かな接触力の体感に道筋をつけた。今後の課題は、凹形状の面数や頂点数が増加すると、指数的に増加する凸分割アルゴリズムの計算時間の改善である。

謝辞

この研究の一部は、現代 GP プロジェクト“デンタルスキル養成実体感シミュレータ学習”、文部科学省科学研究費補助金(研究種目: 基盤研究(B), 課題番号 18360128)“複合現実感による手術シミュレーションに関する基礎研究”, 阪電通大共同研究 A“並列アルゴリズムや VLSI による物理シミュレーションの高速化とその仮想現実感への応用に関する研究”, および阪電通大共同研究費 A“デジタルコンテンツを効率的に制作・体感するシステムに関する研究”の補助を受けて実施しました。ここにその旨を記載し、深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 荘村, 吉田, 竹重, 長島, 若林, 上崎, 辰巳, 河本, 加藤, 登尾, “VR Haptic Device を応用した歯科ハンドスキルシミュレーショントレーニング(第一報)触力覚感知システムの開発”, 春期第 51 回日本歯科理工学会学術講演会プログラム, 2008.
- [2] 若林, 竹重, 絹田, 登尾, 中村, 矢谷, 荘村, “VR Haptic デバイスを応用した歯科ハンドスキルシミュレーショントレーニング(第二報)触力覚デバイスの歯科実習用デバイスへの改良”, 春期第 51 回日本歯科理工学会学術講演会プログラム, 2008.