

胸腔鏡下手術計画におけるボリューム像操作環境の開発

Development of volumetric image manipulation environment for thoracoscopic surgery planning

松雪 大貴†

Tomotaka Matsuyuki

中尾 恵†

Megumi Nakao

湊小太郎†

Kotaro Minato

1. はじめに

患者一人当たりを取得される医用画像の増加に伴い、ボリュームレンダリングによる三次元再構築像（ボリューム像）が用いられる機会が増加している。手術計画や診断の際にボリューム像を参照することにより、臓器の形状や腫瘍などの位置関係が把握しやすくなる。特に最近では、ボリューム像を参照するだけでなく、ボリューム像上で様々な術式をシミュレートし、綿密な手術計画を行いたいといった要求がある。

これまでに、腹腔鏡下手術計画支援のための臓器の変形シミュレーション[1]が開発されている。[1]の手法では、ボリューム像の変形により術中に想定される血管の位置関係を再現することで、計画に有用であることが示されている。しかし、臓器を剛体として扱っており弾性変形は行っていない。また、実時間性に関しては言及されていなかった。様々な術式の検討、計画内容の変更に対応するためには高速な解の導出、結果の描出が必要不可欠である。

一方、中尾らは、ボリューム像に対する変形や切除の高速な表現が可能なソフトウェアフレームワーク(LiveVolume) [2]を開発してきた。本ソフトウェアでは、ボリューム像の対話操作が可能であるが、現状では点による操作(押し込む、引っ張る)しか対応していない。実際の手術では臓器に対して術具による操作が行われており、綿密な手術計画には術具による臓器の変形を行える環境が必要であると考えられる。

本稿では、術具を用いた臓器操作を実時間でシミュレートし、ボリューム像上に描出するための方法論を提案する。手術計画における使用を想定し、胸腔鏡下手術におけるシミュレーション結果の検証を行ったので報告する。

2. 術具による臓器操作のシミュレーション

本稿では、鏡視下手術における臓器の一部を術具によって変形する操作を対象とする。具体的な例としては、Fig. 1のような臓器の把持があり、臓器を術具ではさむ、つまむといった操作がある。つまんだ状態で術具を移動させる場合もある。これらの操作は、隠れた患部を確認する際、また処置しやすい位置に移動させるなどの際に実施される。

このような術具操作の際に生じる変形は、術具による臓器表面の強制変位と、新たな力学平衡状態への移行の際に生じる臓器自身の変形からなるものとみなすことができる。本研究では、この物理現象をシミュレートするために、操作対象となる臓器を有限要素変形モデル臓器

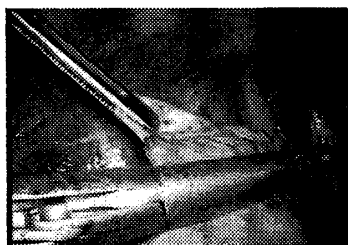


Fig.1 Pinching manipulation in thoracoscopic surgery

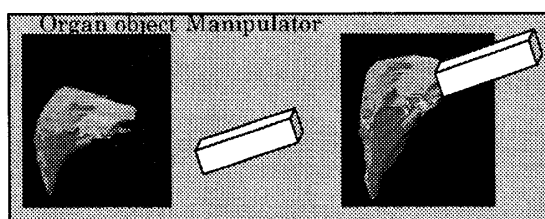


Fig.2 The concept image of organ object and manipulator

オブジェクトと呼ぶ)として、術具を臓器オブジェクトに対して強制変位を与える操作オブジェクトとしてモデル化する。ユーザは術具を操作するのよう操作オブジェクトを操作し、臓器オブジェクトに対して変形を加えることができる (Fig. 2 参照)。ここで、既存研究の多くは操作オブジェクトを点として記述してきたが、本方法では、術具による面での操作 (以降、面操作と呼ぶ) を表現することで、変形の自由度を高めることを目指している。

3. 弾性体に対する面操作の記述

本章では、使用する臓器の形状や表現方法を簡単に説明する。まず、操作の対象となる臓器オブジェクトを、その臓器の形をした四面体メッシュで構成し、変形は各ノードの移動として表現する。四面体の各ノードは、三種類に分類する。血管や他臓器との接触などによって変位しないノードを固定ノードとする。面操作を表現する際に、強制変位を加えるノードを操作ノードとし、その他の点を自由ノードとする。操作ノードに対して適切な境界条件が与えられていれば、有限要素法に基づく変形計算[2]により、臓器全体の变形、すなわち自由ノードの変位を導出することができる。

面操作における強制変位と等価な境界条件を臓器オブジェクトに与えるためには、操作領域の指定と面操作における変位条件設定の二つの問題がある。つまり、操作したい場所をどのように指定し、指定した領域に対してどのような強制変位を与えるかに関する定義が必要である。

† 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

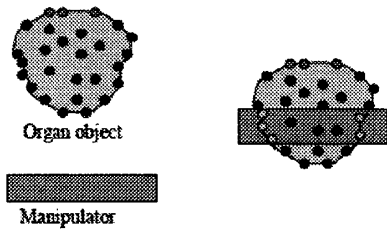


Fig.3 Specification of operation area. Green vertices indicate pressed area by pinching manipulator.

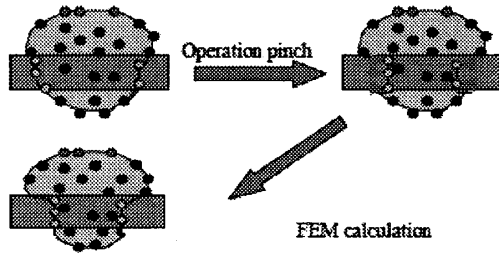


Fig. 4 Movement of operation point for operation pinch.

臓器オブジェクト上の操作領域の指定には操作オブジェクトを用いる。本稿では、この操作オブジェクトも四面体メッシュで構成することにした。操作オブジェクトを臓器オブジェクトの指定したい領域に重ね、臓器オブジェクトの重なっている部分の表面の点群を操作ノード(緑)とする。また、赤の点群が固定ノードで、青の点群が自由ノードである(Fig.3)。次に領域の判定においては、操作オブジェクトを構成している各四面体において、臓器オブジェクトの各ノードを調べることにより行う。本稿では面操作は、Fig.4のように操作領域領域にあるノードを、任意の平行した二つの平面上に強制的に変位させることで表現する。操作ノードを平行移動や回転移動させることで、つまみつつひっぱるなどの操作を扱うことができる。

4. 胸腔鏡下手術シミュレーション結果・検証

上記の手法を実装し、汎用 PC (PentiumD 3.0GHz, Memory 2GB, Graphic Card:nVidia GeForce 6800) 上で幾つかの機能評価を行った結果を示す。

実験では 256×256×256 の胴体の色付けした CT データ、臓器オブジェクトとして肺型の四面体メッシュ(Fig.5(a))を、操作オブジェクトとして立方体の四面体メッシュを用いた。臓器オブジェクトは胴体の CT データから肺領域を抽出し、Mercury Computer Systems 社の Amira3.1 を用いてメッシュを作成した。作成した臓器オブジェクトのノード数は 344、要素数(四面体数)1188 である。また、ヤング率 1.0、ポワソン比は 0.4 とした。変形後に各要素を可視化することでシミュレーション結果をボリューム像として描出する。変形計算と描画のアルゴリズムは、[2] で用いられている方法を用いた。

操作インターフェースとして、SensAble 社の PHANTOM を用いて操作オブジェクト、操作ノードの平行移動と回転を行い、スイッチを押すことで操作領域の決定を行うことにした。視点の変更はマウスの左ドラックで行う。

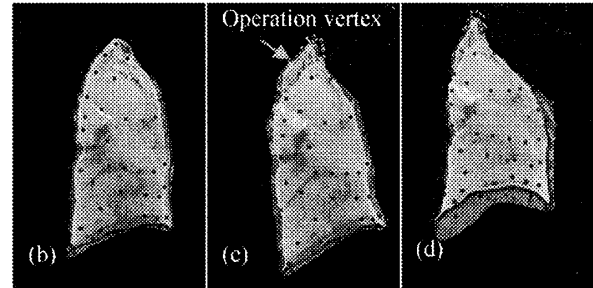
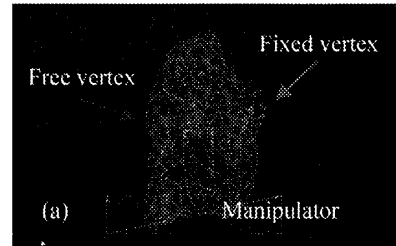


Fig5 The deformation of lungs: (a) no deformation(mesh), (b) no deformation,(c) pinching, (d) picked up.

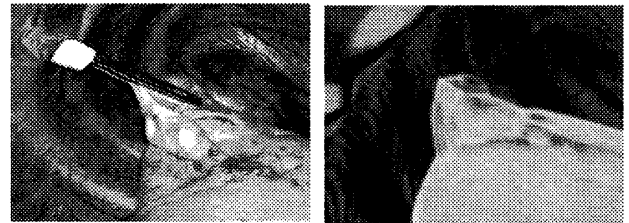


Fig.6 (a)Actual image of thoracoscopic surgery (left) (b) simulation image(right)

Fig.5 は肺の変形を表したものである。Fig.5(c)はつまんだ状態を表しており、Fig.5(d)はつまんだ状態で平行移動と回転を操作ノード(緑の点)に行った状態である。Fig.6(a)は実際の胸腔鏡下手術の映像の一部である。Fig.6(b)は(a)と同等の変形操作を加えた際のボリューム像であり、実際の映像と類似した変形を描出できることが確認できる。また、操作中のリフレッシュレートは 30Hz 程度であった。

5. おわりに

本稿では、ボリューム像に対する面操作の記述を行い、肺モデルを用いて胸腔鏡下手術計画を想定したシミュレーションを試行した。検証の結果、実時間で 30Hz 程度のリフレッシュレート、また実際の手術による変形と同じようなシミュレーション結果が得られ、インタラクティブなシミュレーションが行なえることが分かった。今後は、より直感的で操作しやすい操作オブジェクトを考案し、実装していく予定である。

参考文献

- (1) 平山真一,他：後腹腔鏡下手術における臓器変形シミュレーションソフトウェアの評価。第 24 回日本医用画像工学会大会 CD-ROM 論文集, 2005.
- (2) 中尾恵,他：ボリュームインタラクションのためのマスキングとその実時間処理方法。日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.10 No.4 pp. 591-598, 2005.