

仮想環境システム構築ツールキット mtv における世界操作の実現

3S-4

大淵 竜太郎, 宮沢 達夫, 青野 雅樹
日本アイ・ビー・エム (株) 東京基礎研究所

1 はじめに

我々は、国立がんセンターと共同で、没入型仮想環境において開頭手術による脳腫瘍除去を模擬するシステムのプロトタイプを開発した [1]。我々は、このシステムを開発するにあたり、仮想環境におけるアプリケーション開発のツールキット、minimal toolkit for virtual environment (mtv) を開発し使用した [2]。本論文では、mtv で用いた脳の 3 次元 MRI 画像の視覚化法と、把持・切開など、仮想環境に対する各種の操作の実現法について述べる。

2 手法

2.1 3次元医用画像の視覚化

本手術模擬システムの目標は、MRI などの 3 次元医用画像データから患者のモデルを視覚化し、これに対して手術の計画・試行を行なうことである。これにはまず、ポリウムデータを、ある程度の質で、かつ視線追従型表示装置にふさわしい速さで視覚化する必要がある。さらに、視覚化したモデルに対し切開のような操作を実時間（例えば秒 10 回以上の更新）で行なわねばならない。

我々は、ポリゴンの得意なグラフィクス装置 (SGI Onyx / Reality Engine 2) を考慮し、3次元MRI画像から等値輪郭面として生成した脳表のポリゴンモデルにソリッドテクスチャとして3次元MRI画像を与え、比較的少ないポリゴンで現実感の高い表示を実現した。もし従来のようにポリゴンだけで脳表を視覚化すると、今回の方法の何倍ものポリゴンが必要である。

脳表、頭蓋骨、皮膚のモデルはそれぞれ三角形の集合であるが、triangular doubly-connected edge list (TDCEL) データ構造 [1] を導入し、隣接関係情報を持たせている。後で述べるように、隣接関係情報により、切開あるいは掘削の操作が効率良く実現された。

2.2 把持と飛行

「把持」と「飛行（移動）」は仮想世界において多用される。6軸トラックで追従した仮想の「手」で把持して動かすのは直接操作に近く、この機能を

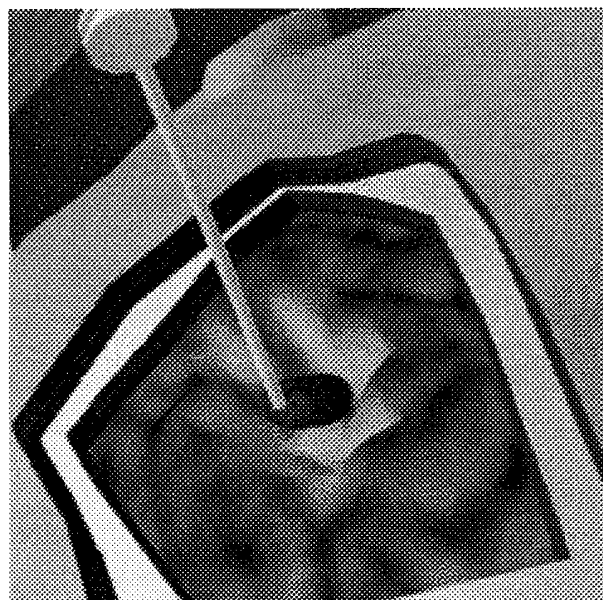


図 1: The skin and the skull-bone are cut open, and the virtual suction device evacuates the brain matter (visualized from MRI data) to expose the tumor (an artificial model) for resection.

求めるユーザも多い。(さらに「VRらしさ」の為、指の曲がる手のモデルの表示を求められることもある。) mtv で実現した把持の機能は単純で、掴む物体と掴まれる物体が見えない剛体で結合される。掴む側と掴まれる側が離れていても良い。指先との衝突検出や、力表示は行なっていない。飛行は、あたかも魔法の絨毯に乗ったように仮想世界を飛び回る機能である。限られた追従範囲（ある磁気トラックの場合、直径数メートルの球状）の 6 軸トラックで大きな世界を動き回るのに使われる。

[2] で述べたように、mtv においては、仮想世界の物体群はカメラや光源を含めて木構造の階層を成す。この階層は物体の帰属関係を示すと同時に、3次元世界でのモデリング変換の階層でもある (図 2 参照)。我々は、この性質を用い、把持を木構造の書き換えて実現している。ある物体 B (例えば手) が物体 D (例えば頭蓋骨) を把持した時、 D は B と共に動く必要がある。変更の際には、把持後の B と D の間の変換を、 B が D を掴む直前の変換関係 T_{BD} にセットする。 T_{BD} は、 D からルート W までの変換 T_{WD} と、 B から W までの変換 T_{WB} の逆変換 T_{WB}^{-1} を合成して求める。実現に際しては、ある木に属するノードをその名前前で探す関数と、木

"Implementation of object manipulation operations in a virtual-environment development toolkit mtv"

Ryutarou Ohbuchi, Tatsuo Miyazawa, and Masaki Aono
({ohbuchi|miyazawa|aono}@trl.ibm.co.jp)

IBM Japan Ltd., Tokyo Research Laboratory

の任意の位置にある2つのノードの間の合成した変換を求める関数を用意し、多用した。

飛行は、一定の速度である物体(群)を動かす動作で、動かしたい物体(群)に相当するノードに対して繰り返し変換を加えて実現する。飛行の向きは、手に持つ6軸トラックの向きに合わせた。また、仮想世界に入ったユーザを動かす場合、一般には、ユーザの手と目(カメラ)が一つの体に付いたものとしてその体全体を飛行させる。もし目だけを飛行させると手が取り残される。

2.3 切開と掘削

mtvは開頭手術の模擬を念頭に置いて作られたシステムである。よってmtvには一般の仮想世界構築ツールには見られない二つの操作、物体の切開と掘削が組み込まれている。切開、掘削とも3角形の集合からなる物体に働き、これを切り直し、または変形させて実現する[1]。

頭皮を切開する場合、仮想スカルペル(いわゆるメス)で頭皮をなぞると、スカルペルと頭皮の交点の列が(一般には凸でない)多角形の切開線を成す。この時、ユーザに対しては、頭皮に切開線が書き込まれると同時に音のフィードバックがある。切開線が決まると、まず、その交点列を適当な平面に投影してその凸包を求める。ついでこの凸多角形の辺に沿い、頭皮の三角形群を切り直す。さらに凸多角形の内側にある三角形をとり除いて開口部を作る。頭皮のモデルが持つ隣接関係情報は、凸多角形に沿って三角形群をなめ、切り直す作業を高速化する。エアドリルによる頭蓋骨の穿孔と開口の手順も、その開口部の多角形の与え方は異なるが、類似している。

頭皮、頭蓋骨、及び硬膜を開き脳質に達すると、実際の脳腫瘍の開頭手術では、吸引管で切り、そこを脳ペラで押し分けて腫瘍に達する。mtvではこの手順を単純化し、仮想吸引管による「掘削」操作で近似した。掘削は、脳表のポリゴンを、仮想吸引管で触れた付近だけ管の方向にへこませる。脳質の視覚化にソリッドテクスチャを用いた結果、掘った穴の内側にMRIで捉えた脳の内部が表示され現実感を高めている。吸引ごとにへこむ形状が半球に近くなるよう仮想吸引管付近の三角形群をまとめて動かすが、変位すべき三角形群の探索に前述の隣接情報を用いた。また、穴の形状を滑らかにするため、三角形が吸引半径に対し大きい場合には三角形の適応的再分割を行なう。

3 結果とまとめ

本稿では、我々の開発した仮想環境開発ツールキットmtvにおける、医用三次元画像の視覚化と、仮想環境における各種の物体操作の実現法につい

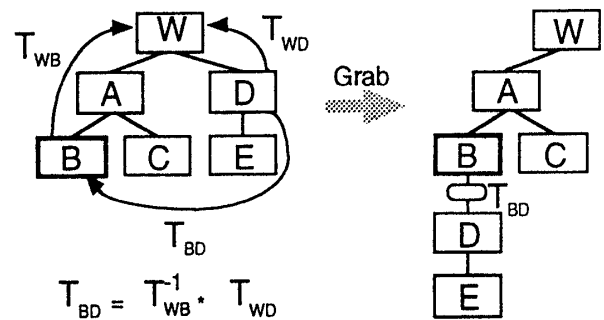


図2: Object hierarchy before (left) and after (right) the object B grabbed the object D.

て述べた。

ソリッドテクスチャと等値面輪郭ポリゴンを組み合わせた脳質の視覚化は、従来のポリゴンのみの視覚化に比べて高い現実感と速度を達成した。例えば、脳表のポリゴン数が7k-9kポリゴン、ソリッドテクスチャが(ハードウェアの制限で)128×128×64、シーンの総ポリゴン数が12k-13k程度の時、10フレーム/秒以上のスループットを実現した。このテクスチャの大きさは、ボクセル総数で、元のMRIデータから切りだした脳の部分の約半分である。切開、掘削の操作は、幾何データにTDCELデータ構造による隣接情報を付加したことにより、高速化された。測定の結果、いずれの操作も一回あたり100ms以下に収まった。

システムの試用の結果、予想通り、切開などの操作を没入型仮想環境の中で正確に速く行なうのには困難が伴い、学習期間が必要である。困難の要因には、トラッキングや画像生成の遅れ、低フレームレートに加え、表示装置の画質や複雑度の低いモデルから来る不十分な3次元視覚cue、力フィードバックの欠如などがある。現在のグラフィクス装置の限界で、仮想環境には影が生じず、スペキュラーハイライトもない。従って、例えば掘削した穴の深さ感が弱く、面の形が理解しにくく、物体の前後関係も掴みにくい。影やスペキュラーハイライトなどをサポートし、遅れが小さく、スループットの高いグラフィクス装置が望まれる。また、手術の模擬には力表示装置の導入が有効であるが、作業範囲が広く自由度の高い開頭手術では、その導入は困難を伴うだろう。

参考文献

- [1] 青野, 大淵, 宮沢, 「仮想環境における脳手術シミュレーション」, 情処・グラフィクスとCAD研究会, 74-8, pp.41-46. (1995)
- [2] 宮沢, 大淵, 青野, 「仮想環境システム構築ツールキットmtvの概要と世界記述言語vef」, 情処・第51回全国大会3S-05, (1995).