

白内障手術シミュレーション その1

1W-10

仁井谷智恵 中村泰明 古川亮 藤野清次 児島彰
広島市立大学情報科学部

1. まえがき

眼科医学生の白内障手術の練習では、豚の眼が使用されているが、回数が限られる。そこで、手術シミュレーションをVR技術で実現できれば、医師の技術向上や教育費用の面で大きなメリットがある。このような背景から我々は、白内障手術シミュレーションを行うために、VCO(Virtual Cataract Operation)システムを開発中である。

白内障とは、眼球の水晶体が白濁し、視界が濁って見えなくなり、ついには失明する病気である。白内障手術では、結膜（白目）と角膜（黒目）の境界部を3~5mm程度切開し、そこから手術器具を挿入し、水晶体の前嚢を円形に取り除いてから、水晶体内の白濁物質を吸引する。そして水晶体嚢内に眼内レンズを挿入する。

このような手術を模倣するシステムの要素として、(1)眼及び手術器具の形状モデルの作成、(2)角膜と結膜の境界付近の切開操作、及び切り口の形成、(3)手術器具の挿入、(4)水晶体を覆う前嚢の除去、(5)白濁物質の吸引、(6)眼内レンズの挿入、などが挙げられる。

本研究では、眼の形状モデルの作成と、器具を挿入するための切り口の生成を行う。

2. 眼の形状モデル

グラフィックWS(SGI Maximum Impact)を用い、C言語とOpenGL^[2]により形状モデルを作成する。

眼球構造の略図を図1に示す。本研究では形状モデルとして、水晶体、虹彩、手術器具、目の表層部(角膜及び結膜)を作成した。このうち、水晶体、虹彩及び手術器具は、回転体として表現されている。表層部に関しては、切開を行わなければならないため、別の形状表現を採用する。

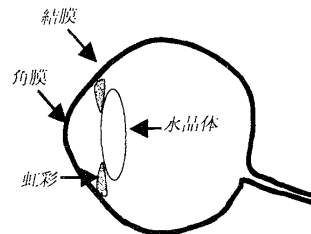


図1 眼球の構造

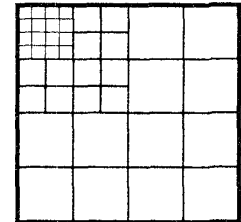


図2 正方形の分割

形状表現には、大きく分けて、ポリゴンの集合として表現する方法と、形状を構成するそれぞれの点のデータを2次元の密な配列に格納したものとして表現する方法がある。前者は、高速な描画に適しており、データの量も少なくすむが、形状モデルの切開などの処理を行うのは、一般に困難で、複雑な処理を要する。後者の方法は、データの生成や更新が容易であるが、同じ精度を実現するためのデータ量がポリゴン表現より多くなり、描画を悪化させるという短所を持つ。

そこで、本研究においては、形状データを密な配列によって表現し、データの更新を容易にする一方で、この形状データを近似したポリゴンデータを別に作成することで、描画処理の高速化を図る。単純なアルゴリズムで実現するため、ポリゴンの形式としては、図2のように、正方形に対し分割を繰り返したものを採用する。

分割を繰り返す回数は、場所によって異なるものとする。このようなポリゴン形状を利用する理由は、場所によってポリゴンの大きさを変えることで、最小限のポリゴン数で、必要な精度を獲得するためである。ポリゴンのデータは4分木によって管理され、以下のようなアルゴリズムで眼の表面形状を近似する。ただし、眼の表面形状は $z = f(x, y)$ の形で与えられているものとする。

- (1) 眼全体を x, y 平面の正方形のポリゴンで表現する。
- (2) この正方形ポリゴンの四隅の座標

$(x_i, y_i, z_i) (i=0,1,2,3)$ に対し、眼の形状データを

$z_i = f(x_i, y_i)$ とする。

- (3) ポリゴン上の各点 (x_p, y_p, z_p) に対し、 $|z_p - f(x_p, y_p)|$ を計算する。
- (4) ポリゴン内の誤差の最大値が一定値より大きければ、このポリゴンを 4 個の小さな正方形に分割する。
- (5) (2), (3), (4) の操作を再帰的に繰り返し、最終的にどの正方形の誤差も一定以下になったら終了する。

図 4 に、生成されたポリゴンをワイヤフレームで表示したものを示す。角膜と結膜の境目や切り口など、形状が複雑な所ほど、細かいポリゴンに分割されている。

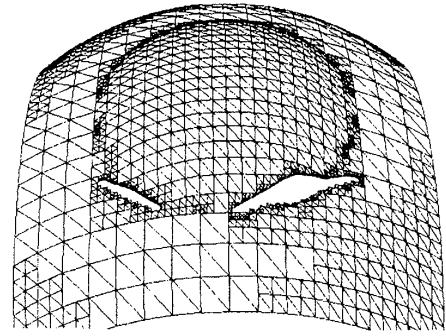


図 4 ポリゴンで近似した眼球及び切開面の

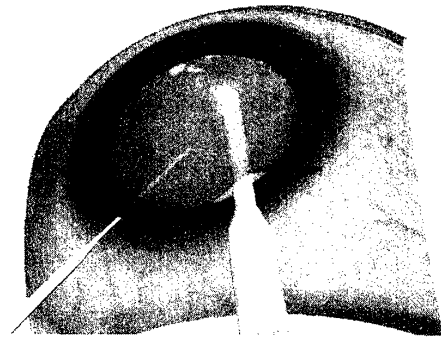


図 5 吸引器具などを入れた状態

3. 切開部分の形状モデル

水晶体内の白濁物質を吸引する器具を挿入するために、角膜と結膜の間に切り口を作る。モデルに切れ目を入れる操作は、形状を表わす配列に対応するビットマップにおいて、切れた場所に印を付けることで行う。次に、切開部分を開く様子を表現するために、切り口の形状を表わす数式モデル(1)を導入し、数個のパラメータで表現する^[1]。

$$g(s, t) = a \exp(-s^2/2b^2) \exp(-ct) \quad (1)$$

ただし図 3 に示すように、 s は切開線に平行な成分、 t は切開線に垂直な成分、 $g(s, t)$ は切開による z 座標の変化量とする。パラメータ a は切開部分の開口部の開き具合を、 b は開口部の幅を、 c は切開線から離れるに従って切開部の形状変化を減衰させる割合を表わす。

切開部の形状のパラメータが変化した時、眼球全体の形状近似を行うと時間がかかるため、切れ目の周

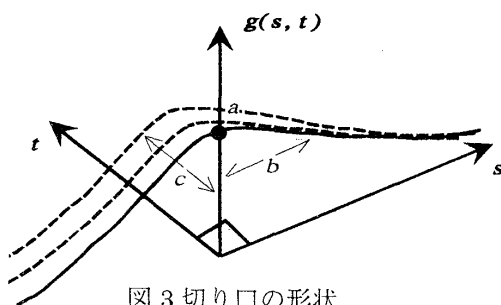


図 3 切り口の形状

辺部のみ形状データを再近似し、描画する。切り口から手術器具を入れた状態を図 5 に示す。

4. まとめ

本研究では、白内障手術シミュレーションのために、眼球表面の形状を 2 次元の密な配列として表現し、これを近似したポリゴン表現を作成することで、データ更新の容易さと描画の高速化を実現した。また、切開部の形状は数式モデルを用いて表現し、モデルのパラメータが変化した時には切開部周辺のポリゴン表現のみを更新するようにした。

文献

- [1] A. M. Baumberg and D. C. Hogg, "An Efficient Method for Contour Tracking using Active Shape Models", Proceeding of the Workshop on Motion of Non-rigid and Articulated Objects, Austin Texas, pp.194-199, 1994
- [2] J. Neider, T. Davis, and M. Woo, "OpenGL™ Programming Guide", Addison-Wesley Publishing Company, 1993