

Computer Graphics 作成法を用いた Integral Videography の高画質化に関する研究

土肥 健純

東京大学大学院 情報理工学系研究科

1. はじめに

我が研究担当班では、本年度は実世界情報の要素技術として、我々が提案・開発してきた新しい視覚提示情報手法である Integral Videography(IV)の高画質化に関する研究をメインテーマとした。

Integral Videography (IV)とはレンズアレイと各レンズ背面用に計算された平面画像群を組み合わせることにより、裸眼でかつ個人差の無い正確な立体像を観察者に提示可能な三次元像表示方法である。この IV 医療応用のために、本研究室ではこれまで外科手術現場での手術ナビゲーションシステムにおける外科医への情報表示方法として、IV を応用する研究を進めてきた[1]。しかし、これまで光線探索法という手法により IV 像を作成してきたが、画像のレンダリングを独自のアルゴリズムにより実現していたため、画質が不十分となり臨床応用は困難であった。

今回、この画質の問題を解決するために、IV 用平面画像群作成アルゴリズムに、従来の光線探索法に取って代わる画素分配法を用い、Computer Graphics(CG)レンダリング技術を活用した、IV 像の大幅な高画質化に成功したので報告する。

2. 方法

IV 用平面画像群作成において、画素分配法を用い、汎用の CG のレンダリングによる画像を直接 IV 像として表示する。

2.1. 光線探索法

従来の光線探索法では液晶ディスプレイ上の個々の画素に対し、視線方向のベクトルに沿ってボクセルデータの走査を行い、閾値を超えたボクセルの内最も観察者寄りのボクセルについて計算を行いその画素の値を決めた。

この光線探索法は「偽の像」の問題を解決する点において非常に画期的であったが、やはり作成したいオブジェクトの像を計算する際の視点が汎用のレンダリングソフトとは根本的に逆側(観察者側ではなくレンズ側)になってしまうため、画像作成を独自にプロ

グラムで行う以外に方法はなく、現在の表現力が非常に優れている汎用のレンダリングソフトを用いることは不可能であった。実際、この手法により実現された IV 像は光の反射や環境光、もしくは様々な表面材質などを表現することは不可能となっている。

2.2. 画素分配法

光線探索法で実現できなかった高度な表現を IV 像として実現するために開発した IV 像作成アルゴリズムである。この手法は、各視点から観察者によって観察されるべき全ての画像を視点側から先に取得しておく。そして、各々の画像の画素について記録されるべき特定のレンズ背面の特定の位置を計算する[2]。その後、計算された位置に全ての画素を分配することによって全体としてレンズアレイ背面に入るべき平面画像群を作成する(Fig. 1)。この手法を用いることで、光線探索法では独自にレンダリング技術をプログラムに組み込まなければならなかった部分を、汎用のレンダリングソフトにそのまま置き換えることが可能となり、表現力が大幅に向上した。画素分配法による具体的な IV 画像作成の計算の方法を次節に述べる。

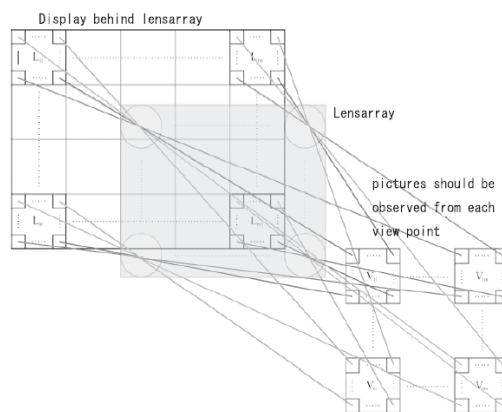


Fig.1 画素分配法

2.3. IV 画像作成の計算

CG 内で IV 化したいモデル、仮定の視域とレンズアレイ面を作成し、設定した視域内の視点から CG の

レンダリング画像を取得した。その後、各々の画像を一画素ずつ、対応するレンズの背面の対応する画素位置に分配し、全体としてIV用平面画像群を作成した。

IVは原理上、設定した視域内の一つの視点からIVディスプレイを観察した時、各レンズからそのレンズ背面の画素の内1画素ずつが観察可能となっている。

また、ある視点から観察可能な画素とは、レンズ背面の画素のうちレンズの節点と視点とを結ぶ直線とフィルムの交点に記録されている画素である。

ここでは便宜上、下図(Fig.2)のような二次元の図で考える。この図のように画像(画素の配列)がレンズ背面のフィルムに記録されているとすると、<視点1>から観察した場合は上のレンズから順に「青・ピンク・ピンク・水色・オレンジ」の画素が観察可能であり<視点4>からは「緑・水色・黄色・緑・青」の画素が観察可能になる。従って、レンズ背面の平面画像には、各レンズとも設定した視点の分だけ画素が入っていて、それぞれの画素からでた光線が視域内のそれぞれ対応した一つの視点に到達することになる。

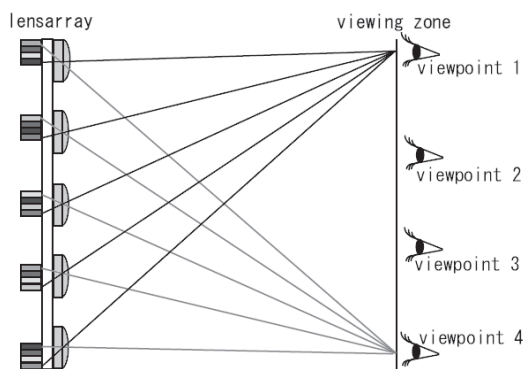


Fig.2 視点ベース画像作成

ここでは、フィルムにある平面画像が記録されている場合にそれぞれの視点からどのような画像が見えるかを示したが、逆を考えれば、視点から観察可能な(観察したい)画像を用いてフィルム上の平面画像を作成することも可能なはずである。

そこで、従来のフィルム上に記録される平面画像の計算方法としてはレンズ側からフィルムに記録する画像を求めたが、本研究では視点から観察される画像からフィルム上に記録する画像を求める。以下にその具体的な方法を述べる。

まずある視点から見た観察したい三次元像の平面画像を取得する(Fig.3)。ここで、観察したい三次元像とは、実際に存在する物体をオブジェクトとして設定することも三次元コンピュータグラフィックスを用いて作成した三次元オブジェクトを設定することも可能である。

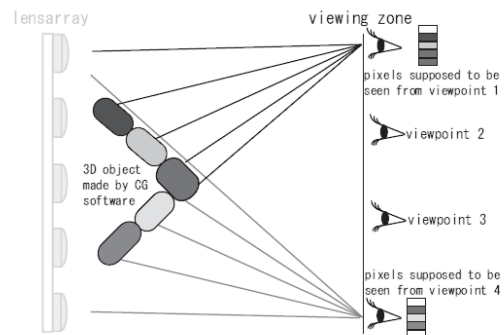


Fig.3 ある視点から見た観察したい三次元像の平面画像の取得

次に、取得した平面画像の画素の一つ一つを対応するレンズのレンズ背面のフィルムに記録する(Fig.4)。この処理を設定した全ての視点で繰り返すことで、IV用レンズ背面平面画像を計算することができる。

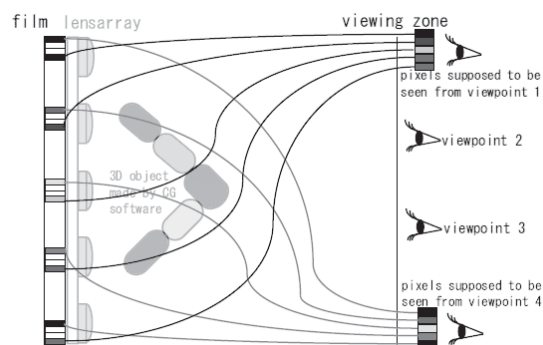


Fig.4 レンズのレンズ背面の画素の記録

このアルゴリズムによるIV用平面画像作成において特別な処理としては、対応する各レンズへの「画素の分配処理」のみで、陰面処理を行う必要はないことになる。

観察者側からみたオブジェクトの画像を分配処理することで、陰面処理を行わずしてIV用平面画像を計算可能であるということから、この方法では従来の方法で不可能であったIV用平面画像への汎用3D-CGの導入が可能であるということの意味する。

観察したい三次元像の平面画像を取得する段階で汎用の 3D-CG を利用すれば、3D-CG の半透明・反射・独特な表面材質などの高度な表現を、生成する IV 像に直接活かせることになる。

2.4. 画素分配法の三次元医用データへの実装

画質の面において、画素分配法が優れていることはすでに実証されているが、MRI や CT からの医用データに関しても画素分配法を実装可能であるかどうかの試験は未だ行われていない。本研究では外科手術下におけるナビゲーションシステムの画質向上を視野に入れているため、実際の MRI データのモデルから画素分配法を用いて IV 像を作成し、従来の光線探索法による IV 像との比較をした。MRI で取得したデータから画素分配法により IV 像を作成する際のデータの流れを図に示す(Fig.5)。

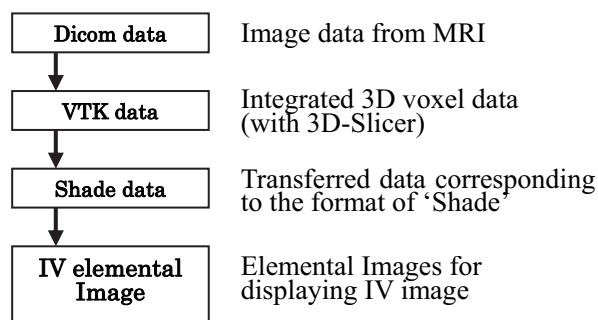


Fig.5 画素分配法の三次元医用データへの実装

本研究は、MRI から取得した医用断層像のデータ(二次元データ)を3D-Slicer を用いて三次元統合した。三次元統合された三次元データは VTK データであるので、これを汎用の CG ソフトで読み込み可能な形式にフォーマットの変換をプログラムにより行い、その後、汎用の CG ソフトでオブジェクトの各視点からの画像を取得した。取得した画像の各画素について画素分配法を行い、IV 用平面画像群を作成した。

3. 評価実験

3.1. 三次元医用画像の IV 表示

これまで画素分配法は汎用の CG レンダリングソフト内で作成されたオブジェクトデータに対して忠実に IV 化可能なものであった。この IV 作成法を仮想上のモデルだけではなく MRI データにも実装するためには、Fig.5 のように MRI データの断層像を三次元データとして統合するプログラムや、汎用の CG レン

ダリングソフトが読み込める形式に変換するプログラム等が必要である。

本研究では IV 像の高画質化ため、図(Fig.5)のようなデータフローに基づいて、MRI データから IV 像を作成することに成功した。実際のある MRI データから作成された、画素分配法による IV 像と従来の光線探索法による IV 像を示す(Fig.6, Fig.7)。画素分配法による IV 像(Fig.6)の方が、光線探索法による IV 像(Fig.7)と比較して細部まで鮮明に表現されていることを定性的に確認することが可能である。

また、この光線探索法と画素分配法の定量的な比較評価実験は行った。この医用断層像(MRI による断層像)を用いたそれぞれの手法による IV 像を定性的に比較する予備実験により、今回の長視距離型 IV ディスプレイの高画質化において、医療用のデータでも画素分配法を実装可能であることを証明した。従って、本研究におけるレンズアレイ振動型 IV ディスプレイの IV 画像計算にも画素分配法を用いることとする。

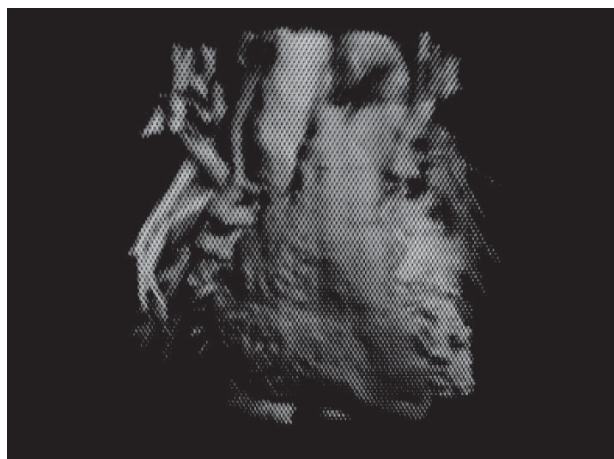


Fig.6 画素分配による IV 像

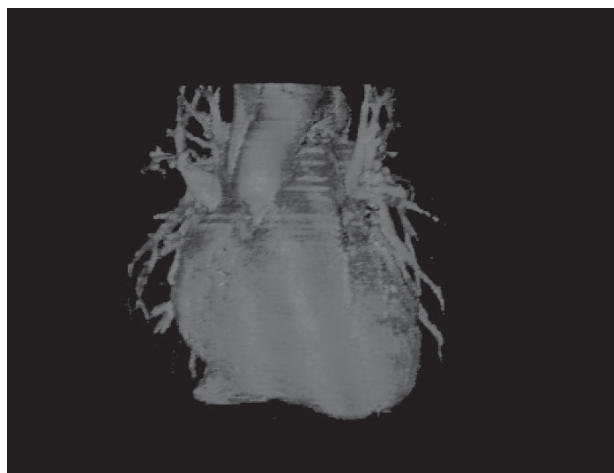


Fig.7 光線探索法による IV 像

3.2. 空間分解能の計測

また、画素分配法と従来の IV 画像作成手法である光線探索法の二つの IV 画像作成アルゴリズムに関して評価実験を行い、新しい手法である画素分配法の空間分解能の優位性を検証し、本研究の目的である IV ディスプレイにおいて画素分配法を実装することの妥当性を示す。

両手法の空間分解能を測定するために、テストパターンの作成を行い被験者による見え方の評価を行った。まず、空間分解能の評価実験装置を説明する。実験に使用する IV ディスプレイのうち、レンズアレイ背面の平面画像表示装置は、IBM 社製の 9503-DG0 を使用する。

IV ディスプレイにおいて、理論上表示可能な IV 像の最小画素は、レンズアレイのレンズ一つ分の大きさである。従って、レンズピッチ一つ分の大きさである 1.486mm を基準にテストパターンを設定し、光線探索法と画素分配法でそれぞれ IV 像を作成した。

本評価実験においてはレンズピッチの 1 倍、 $\sqrt{2}$ 倍、2 倍の縞の奥行き表現能力の測定を行う。パターンは縞を水平方向から 45 度ずつ回転させたものを用いた。

IV 画像の表示位置に関しては、ディスプレイから観察者側に飛び出した方向を正として、それぞれ $pn=1, \sqrt{2}, 2$ のパターンを 0mm, 15mm, 30mm, 45mm, 60mm に表示し、被験者が観察し、それぞれの IV 像に関して評価を行う。実際に IV 化したものを示す (Fig.8, $pn=1$)。

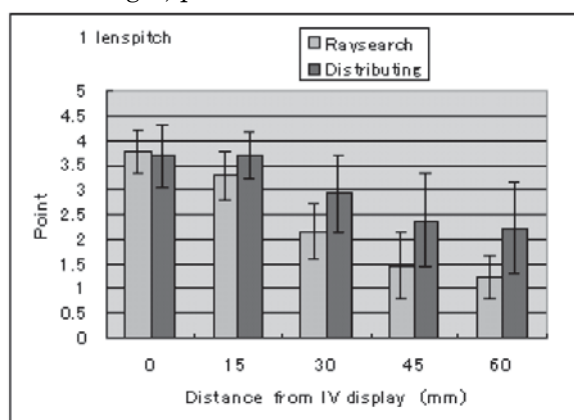


Fig.8 実験結果

ほぼ全てのテストパターンにおいて、画素分配法を用いた IV 像の方が光線探索法を用いた場合と比較して分解能が向上したことが確認可能である。その

ほかの実験結果の特徴として、縦縞や横縞と比較して斜度 45° の縞が認識困難な傾向があった。また、最大飛び出し距離に関しては、66.6%の向上が確認できた。

レンズピッチ1つ分のテストパターンにおいては、飛び出し距離 0mm のパターンが光線探索法と比較して画素分配法による IV 像の分解能が低下するという結果となった。しかし、0mm における画質は双手法ともに識別に全く問題のないレベルの画質である。そのほかの飛び出し距離においては画質の向上は明確であった。

レンズピッチ $\sqrt{2}$ 分のテストパターンにおいては、レンズピッチ 1 つ分の場合と比較して画質の向上が小さくなった。これはテストパターンが大きくなった事により、従来の光線探索法でも十分に表現できるレベルであったため、向上値の明確な評価がレンズピッチ1つ分と比較して困難であるということが理由として挙げられる。同様の特徴が、レンズピッチ 2 つ分のテストパターンにも見られた。

4. 考察・まとめ

画素分配法を医用画像の IV 化に導入することで、CG の効果的なレンダリング能力を直接 IV 像に直接実装することに成功した。その結果、大幅な IV 像の画質の向上を実現した。また臓器だけでなく手術ロボット・手術機器などの手術環境を CG モデルとして作成し、IV 表示することも可能である。また、CG レンダリングの技術を用いて、手術において主要な臓器のみ三次元像として表示させ、その他の部位を半透明にするなどの表現の多様化の効果も実現することが可能となった。これは拡張現実感の応用であり、実世界情報システムへの展開へと繋がる要素であると考えられる。

参考文献:

- [1] "Surgical Navigation by Autostereoscopic Image Overlay of Integral Videography" Hongen Liao, Nobuhiko Hata, Susumu Nakajima, Makoto Iwahara, Ichiro Sakuma, Takeyoshi Dohi, IEEE Transactions: Information Technology in Biomedicine, Vol.8 No.2, pp.114-121, June 2004
- [2] 「汎用 CG 作成アルゴリズムを用いた Integral Photography の作成」野村啓介, 廖洪恩, 岩原誠, 波多伸彦, 土肥健純, 3D FORUM "3D 映像", Vol.18 No.2, pp.39-45, 東京, May, 2004.