透視投影ボリュームレンダリングにおけるサンプリング方式の評価

Evaluation of sampling methods for Perspective Volume Rendering

山内 聡　五島 正裕　森 眞一郎　富田 眞治
Satoshi Yamauchi　Masahiro Goshima　Shin-ichiro Mori　Shinji Tomita

京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻
Department of Information Science, Faculty of Engineering, Kyoto University

1　はじめに

医療画像や科学技術計算結果の可視化による解析手法としてボリュームレンダリングが注目を集めている. しかし, ボリュームレンダリングでは3次元情報を3次元配列として直接扱うため膨大な計算資源を必要とする. そのため投影法を並行投影に限定してリアルタイム描画を可能とした専用ボリュームレンダリングHW[1]等も提案されているが, 透視投影では今だにリアルタイム描画が困難である. そこで我々は, 透視投影を用いて高速にボリュームレンダリングを実行できる専用並列計算機ReVolverを開発した.ReVolverでは, メモリを3重化しボクセル並列で主軸等間隔法を用いてボリューム空間をサンプリングすることにより高速化を実現している.

ReVolverでは, 本来四角錐であるビューボリューム(図1)の中心線を代表としてサンプリングすることで高速化可能であるが, その場合, 生成画像に誤差が生じるという欠点がある. また,ReVolverでは, 連続モデルと離散モデルの両法で画像を生成できるが, 実行時間には大きな差がある.

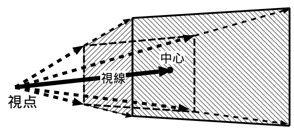

図1: ビューボリューム

図2: サンプルデータ

これらのReVolverにおける高速化手法が画質の向上に与える影響を比較するため, サンプリング方式に関して,1) 連続モデルと離散モデル,2) ビューボリュームの簡略化による高速化の観点から, 生成される画像の画質とそれに要する時間をワークステーション上で評価した. この評価には人間頭部のボリュームデータ*(ボクセル256^3個)を256^2ピクセルのスクリーンに透視投影を行い得られた画像(図2)を用いた.

2　離散モデルと連続モデル

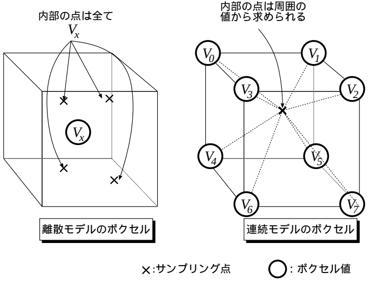

図3: 離散モデルと連続モデル

評価方法

連続モデル(図3)はサンプリング点の周辺格子座標8点のボクセル値からTri-linear補間によりボクセル値を求めるものであり, 離散モデル(図3)はサンプリング点にもっとも近い格子座標上のボクセル値をサンプリング点のボクセル値とみなすもの[2]で, どちらを採用するかで計算量は大きく変化する.

結果

生成画像を比較すると視点とスクリーンの位置によって異なるが, ボリュームデータが存在する領域全般について連続モデルと離散モデルの輝度値には差があり, 連続である必要性は感じる場合があった.

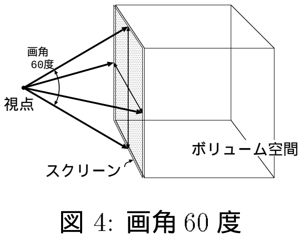

図4: 画角60度

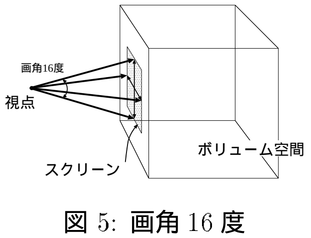

図5: 画角16度

具体的には, ボリューム空間の端にスリーンを配置しそこから222ボクセル分の距離に相当する場所に視点を置く (画角60度:図4) 場合, 両モデル間での対応する連続モデルのピクセルの輝度の差は最大で7.58%, 各ピクセルの間隔を小さくすることで解像度を4倍に拡大した場合(画角 約16度:図5), 中心部分を拡大した場合は輝度の差は最大で6.70%, 周辺部分を拡大した場合は最大で8.79%となっている. また, 横からだけでなく画角は同じで視点を移動させて下から見た場合18.4%,

---

*このデータは米国North Carolina大学のChapel Hill Volume Rendering Test Data Setで、http://www.education.siggraph.org/からアクセスできる。

中心を拡大した場合18.7%, 周辺を拡大した場合14.7%となっている. また, 実行時間の差は連続が離散の約8倍かかった.

考察

結果として, 確かに連続と離散というサンプリング方法の違いによる画質の差は認められ, また, 視点とスクリーンの位置という条件によって大きく異なる結果がでる. 従って, 実行時間の差も考えると, 場合を分けて使用するサンプリング法を変更するという方法がよいだろう.

3 ビューボリュームの簡略化

評価方法

透視投影では, ピクセル値の計算に際して, 視点と当該ピクセルに対応する4角錐で定義されるビューボリュームに含まれるボリューム空間内の全てのボクセルの寄与を計算しなければならない. そのため, 並行投影に比べて計算が複雑かつ, ピクセル間で計算量に非常に大きな差がでてしまい, 高速化が困難である. そこで, ReVolverでは, 透視投影を簡略化してビューボリュームの中心線を代表としてサンプリングすることで高速化を実現している. これらの計算の簡略化, 高速化を行った場合の画質に与える影響を評価すため, ワークステーション上でビューボリュームを簡略化した場合の生成画像を得るプログラムを実装した. このプログラムでは, ビューボリュームの幅がボクセル2個分を越えた場合に視線を3本に分裂させ, 分裂した視線に対する寄与を重み付き加算すること[3][4]でピクセル値を計算 (現在重みは全て1としている).

結果

ボリューム空間の端にスクリーンを配置して画角60度で見た場合, 考慮されなかったボクセルが分裂しない場合は1677万 (256^3) の内893万であったのが分裂させることにより726万に減少した. 分裂する・しない両者のピクセルの輝度の差は最大で1.99%しかなかった. また, 実行時間は分裂が起こる数により大きく異なるが, この場合は約3倍分裂する場合の方が時間がかかった.

考察

限られた条件での比較しか行っていないが, 通常のボリュームレンダリングにおいては, 視線を分裂することによる画質の向上は, 実行時間の増大に比べてあまり意味がないといえる. しかし, 視点から見てボリューム空間の奥へ行くほど分裂の必要性があるので, 優位なデータが奥のボクセルに存在する透明度が高いボリュームデータなどの場合は, 分裂することによりもう少し差がでるのではないと考える.

4 ReVolverの妥当性について

離散モデルと連続モデルの差は, ボクセルが存在する部分としない部分との境界や, ある部分を拡大した場合などに見られ, 速度の差は約4倍離散の方が高速となった. 視線を分裂させることによる差は, そもそも分裂しなければならない場合があまりなく, 更に起きたとしても視点から見たボリューム空間の奥の方なので生成された画像ではその差は見られない.

表1: サンプリング方式の違いが画質と計算時間に与える影響

		連続/離散		視線の分裂 (有/無))	
画角		輝度の差	計算時間	輝度の差	計算時間
60		7.58%	3.87	1.99%	3.02
16	中心	6.70%	4.02	0.00%	1.00
	周辺	8.79%	3.99	0.00%	1.02

また, 視点から見てボリューム空間の最奥の一面に格子状のデータを配置し, それを視線を分裂させる方法により得られる生成画像では, 差があるという結果も出ている[4]が,ReVolverで実際ボリュームレンダリングをする場合, 最奥にあるデータを見るには視点とスクリーンの位置を逆方向変えそこが一番近くに存在するように見ればよい.

今回の評価では, 速度を犠牲にできる程の画質の向上は見られなかったため, ReVolverによるボリュームレンダリングでは, ビューボリュームが四角錐で広がっていくということは考慮する必要はなく簡略化してもよいが, 連続と離散は場合に応じて使い分ける必要があるということがいえる.

5 謝辞

なお, 本研究の一部は文部省科学研究費補助金 (基盤研究 (B)(2) 課題番号12480072, 12558027ならびに13480083) による。

参考文献

[1] Hanspeter Pfister, et. al., “The VolumePro Real-Time Ray-Casting System”, ACM SIGGRAPH 99, pp.251–260, 1999.

[2] 對馬 雄次 他, ボリューム・レンダリング専用並列計算機ReVolverのアーキテクチャ情報処理学会論文誌, 第36巻, 第7号, pp.1709-1718, 1995年7月

[3] Kevin L. et. al., An Efficient Method for Volume Rendering using Perspective Projection, Computer Graphics Volume 24,Number 5,November 1990

[4] Kevin K. et. al., Adaptive Perspective Ray Casting, Proc of 1998 Symposium on Volume Visualization,October 1998