

複数の投影像を用いた高速化3次元テクスチャ・レンダラ

小笠原 祐治+ 村岡 一信++ 千葉 則茂++

+岩手産業技術短大 ++岩手大学工学部

あらまし

広大な森林景観などの画像を生成する際、その微細な表面構造を表現する必要がある。このような画像生成においては、微細な表面構造をボリュームデータである3次元テクスチャを用いて表現する方法が、エイリアシングの発生が少なく有効である。しかし、3次元テクスチャによる方法では、レンダリングに長い計算時間を必要とする。本報告では、光源は変化しないという条件のもとで、3次元テクスチャを用いた画像生成の高速化法を提案し、従来法と計算時間、使用メモリ、および画質の点から比較を行い、その有効性を示す。

Accelerated Three-dimensional Texture Renderer Using Multi-projection Images

Yuuji Ogasawara+ Kazunobu Muraoka++ Norisige Chiba++

+Iwate Industrial Technology Junior College

++Faculty of Engineering Iwate University

Summary

When rendering vast woods, it has a fine surface structure. Three-dimensional textures, which contain a large volume of data are suitable for generating aliasing-free images of objects having fine surface structures. But, rendering using three-dimensional textures takes a long time. The accelerated method of rendering using three-dimensional textures is proposed under the restriction that lighting does not change in this paper. The volume rendering method is compared for calculation time and memory use, as well as image quality and validity shown.

1. はじめに

森林などの画像を生成する際、その微細な表面構造を表現する必要がある。そのために森林を構成する樹木を、ポリゴンベースの幾何モデルでモデリングする手法や、簡易な3次元モデルを用いる方法¹⁾、ポリウムデータである3次元テクスチャを用いる手法²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾などがある。幾何モデルを用いた場合には、エイリアシングの問題が発生してしまう。スーパーサンプリングを用いれば、画質は向上するが処理時間が増大してしまう。3次元テクスチャは、平滑化された幾何形状の情報を持つため、エイリアシングの発生は少ないが、以下の問題点がある。

- ①ポリウムレンダリングの処理を行うので長い計算時間を必要とする。
- ②3次元テクスチャが視点に近すぎると画像がぼけてしまう。
- ③逆に視点から遠すぎるとエイリアシングが発生する恐れがある。

本論文では、アニメーションを作成する場合を想定して、視点は移動するが光源の方向と明るさは変化しないという条件のもとで、上記問題点を解決する方法について検討を行った。①については、視点方向から見た3次元テクスチャ画像生成の高速化の方法を提案する。②については、ポリゴンと併用することで避けられるので本論文では扱わない⁶⁾。③については、LOD (Level of Detail) の概念を取り入れる。

さらに、レンダリングを行い、計算時間及び使用メモリ、画質の比較を行い、提案手法の有効性を示す。

2. 3次元テクスチャのレンダリング

3次元テクスチャのレンダリングの処理手順について述べる。樹木は図1に示すように、ポリウムデータであるボクセルの集合によって構成される。視点に達する光の強さ B を次式で求めることができる。視線に沿って各ボクセルからの反射光を累積する。その際に、視点方向への反射光は各セルの密度 ρ により減衰する。

また、同様に光源から視線上の各ボクセルに到達する光 I_s も各ボクセルの密度 ρ によって減衰する。

$$B = \sum_{i=0}^{n-1} \{ \exp(-\gamma \sum_{s=i}^i \rho(x_s, y_s, z_s)) \cdot I_s(x_i, y_i, z_i) \varphi(x_i, y_i, z_i) \rho(x_i, y_i, z_i) \}$$

γ : 密度を光減衰係数に変換する係数
 I_s : 光源からの照度
 φ : シェーディング関数
 ρ : 密度

光源からの視線上のボクセルへの到達光の照度 I_s は、次式で示される。光源の方向と明るさは変化しない条件であるので、各ボクセルでの照度は予め計算しておくことができる。

$$I_s = I \cdot \exp(-\gamma \sum_{r=s}^{L_{in}} \rho(x_r, y_r, z_r))$$

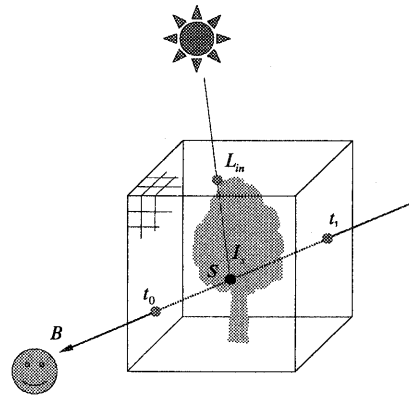


図1. 3次元テクスチャのレンダリング

また、背景からの光をさえぎる係数を不透明度

O_p として、次式で定義する。

$$O_p = 1 - \exp(-\gamma \sum_{s=i}^{n-1} \rho(x_s, y_s, z_s))$$

3. 高速化の手法

従来では、視点が動く度にポリウムデータから画像を生成している。太陽が動かない場合には、各ボクセルでの照明光の強さを予め計算しておくことができるが、それでも積和計算が膨大である。

提案する方法は、固定方向(定間隔方向)か

ら見た情報である固定方向テクスチャ（画像，距離，不透明度）と影を生成するために影テクスチャをあらかじめ用意しておく．固定方向テクスチャから，視点方向の描画に必要な情報である視点方向テクスチャ（画像，不透明度）を生成する．森林を構成する各樹木の位置に視点方向テクスチャと影テクスチャを配置して，画像を生成する．

3.1 固定方向テクスチャの作成

方位と仰角が一定間隔（方位間隔： AZ ，仰角間隔： EL ）の方向（遠方）から見た樹木の情報を求める．その情報が固定方向テクスチャであり，指定方向から見た物体の画像と，その画像を構成する各画素に対応する不透明度と指定方向に対する距離情報である．アニメーションでの視点の移動に対して，それを包含する範囲の固定方向テクスチャを作成する必要がある．密生等により，2本の枝が相互に入り込んでいる場合には，2本の樹木の固定方向テクスチャを作成する必要がある．

画像はボリュームレンダリングの処理で求めることができ，不透明度も同時に求めることができる．また，距離情報として，不透明度が半分になる位置の距離を求める．

さらに，レンダリングの際に物体に影を生成するための影テクスチャを作成する．これは，照明方向からの不透明度に相当する．

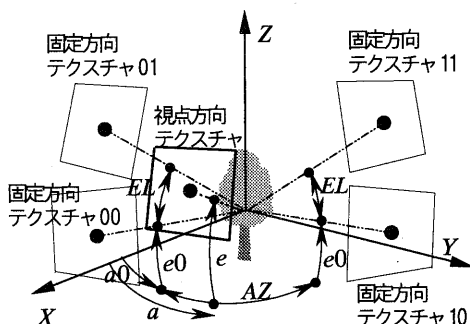


図2. 固定方向テクスチャと視点方向テクスチャ

3.2 視点方向テクスチャの作成

前項で求めた固定方向テクスチャを用いて，視点方法から見た樹木の情報である視点方向テ

クスチャを下記の手順で合成する．固定方向テクスチャ（00～11）と視点方向テクスチャは図2に示すような関係にあるものとする．

(1)固定方向テクスチャ（テクスチャ 00～11）を，距離情報を使用して3次元的な物体としてとらえ，視点方向から見たテクスチャに相当するように以下の回転（ $t_{00} \sim t_{11}$ ）を行う．

$$\begin{aligned} t_{00} &= \text{rot_y}(e) * \text{rot_z}(a0 - a) * \text{rot_y}(-e0) \\ t_{01} &= \text{rot_y}(e) * \text{rot_z}(a0 - a) * \text{rot_y}(-e0 - EL) \\ t_{10} &= \text{rot_y}(e) * \text{rot_z}(a0 + AZ - a) * \text{rot_y}(-e0) \\ t_{11} &= \text{rot_y}(e) * \text{rot_z}(a0 + AZ - a) * \text{rot_y}(-e0 - EL) \end{aligned}$$

回転後のテクスチャでは，情報が重複する画素や情報が欠落する画素が発生する．情報が重複する場合には，平均をとる．情報の欠落を完全になくすることはできないが，得たい視点方向テクスチャの画素数よりも固定方向テクスチャの画素数を大きくして，回転と同時に縮小して画素数をあわせることによって欠落を少なくすることができる．欠落する場合の処理については，(2)で述べる．

(2)(1)で回転したテクスチャ（4つ）から，視点方向テクスチャを合成する．合成の処理は，テクスチャの各画素に対して下記に示す重み係数 $a_{00} \sim a_{11}$ の比で平均をとる．

$$\begin{aligned} a_{00} &= (AZ - a)(EL - e)/(AZ \cdot EL) \\ a_{01} &= (AZ - a) \cdot EL / (AZ \cdot EL) \\ a_{10} &= AZ \cdot (EL - e) / (AZ \cdot EL) \\ a_{11} &= AZ \cdot EL / (AZ \cdot EL) \end{aligned}$$

上記の処理を行っても，情報が欠落している部分(画素)もありうる．しかし，情報が欠落しているか物体が存在しない部分(画素)なのかは判断できないので，情報が無い画素については8近傍の平均をとる．

3.3 レンダリング

レンダリングでは，図3に示すように視点方向テクスチャを樹木の位置に視点方向に垂直に配置し，レイトレーシングを行う．また，図4に示すように3.1項で作成した影テクスチャを太陽方向に垂直に配置して，樹木の影を生成する．

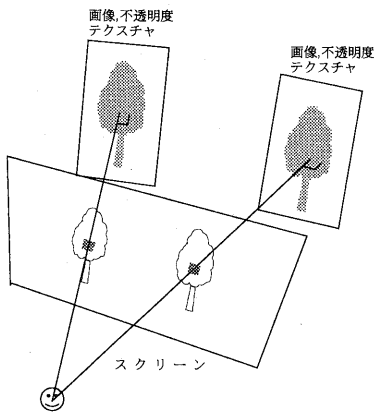


図 3.視点方向テクスチャの配置

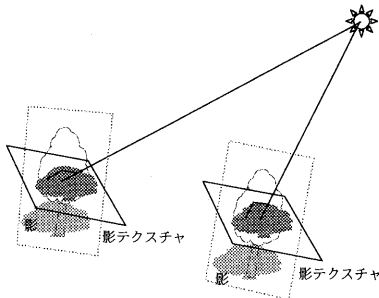


図 4.影テクスチャの配置

4. LOD 法の適用

上記の方法で画像は生成できるが、樹木が視点から遠ざかって行くとしたいにエイリアシングが発生する恐れが出てくる。樹木の描画に要する画素が少なくなり、サンプリング点が減少するためである。LOD 法を適用して、視点から遠ざかるにしたがって、テクスチャの解像度を下げる（画素数を減らす）ことで解決することができる。

3.2項で視点方向テクスチャを作成する際に、視点からの距離に応じた画素数にする。スクリーン位置での視点方向テクスチャ（ $P_x \times P_y$ 画素）の P_s 四方の画素が 1 画素になるようにし、次式で示す $P'_x \times P'_y$ 画素にする。テクスチャのサイズは $P'_x \cdot P_s \times P'_y \cdot P_s$ として、レイトレーシング処理での視線との交差判定を行う必要があ

る。これによって、視点から見て、スクリーン上で 1 画素の大きさになるようにする。影テクスチャも同様に縮小を行う。

$$P_s = D_t / D_s$$

$$P'_x = P_x / P_s$$

$$P'_y = P_y / P_s$$

P_s : pixel のサイズ

D_t : 視点から樹木までの距離

D_s : 視点からスクリーンまでの距離

P_x, P_y : テクスチャ画素数

5. 処理速度とデータ量

5.1 画像作成処理の流れ

アニメーション作成の処理を図 5 に示す。ポリウムレンダリングでは、視点を移動してはレンダリングとなり、レンダリングの処理時間が主になる。提案する方法では、視点方向テクスチャの作成が、レンダリングの前処理として必要である。

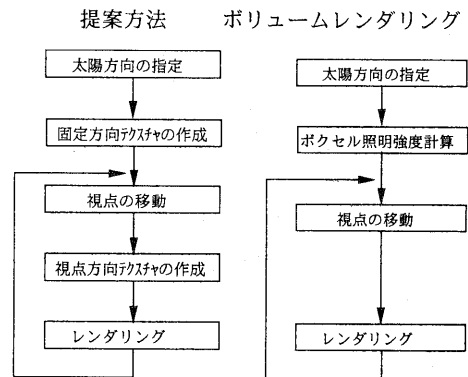


図 5. 画像作成処理の流れ

5.2 処理時間

物体のスクリーンからの距離と描画時間の関係を図 6 に示す。ポリウムレンダリングの場合、描画時間はほぼ描画面積に比例するので、視点までの距離の 2 乗に反比例する。しかし、提案方法では、前処理があり、ポリウムレンダリングの場合ほど視点までの距離によって急激に減少はしない。

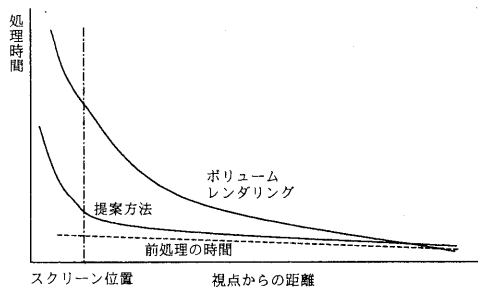


図 6. 描画時間

64×64×64 のボリュームデータから距離を変えた場合の描画時間を表 1 に示す。

表 1. 視点までの距離と描画時間(測定値:秒)

	Ds (110×110)	2Ds (54×54)	4Ds (26×26)
前処理	0.120	0.064	0.048
レンダリング	0.122	0.052	0.026
提案方法	0.242	0.116	0.074
ボリュームレンダリング	2.056	0.511	0.145

Pentium II 233MHz

5.3 使用メモリ

提案方法では、①固定方向テクスチャ(画像, 距離, 不透明度), ②視線方向テクスチャ, ③影テクスチャのデータ領域が必要である。前処理では①②③が必要であり, レンダリングでは②と③が必要である。①は視点が動く範囲を包含する全ての方向をメモリに格納してもよいが, ここではメモリに 4 方向を持ち, 必要に応じて読むことにする。

ボリュームレンダリングでは, 各ボクセル毎に α 値, 法線ベクトル, 色, 照明光強度のデータ領域が必要である。各データの記憶容量を以下のようにした場合の使用メモリを表 2 に示す。

表 2. 視点までの距離と使用メモリ(計算値:KB)

	Ds	2Ds	4Ds
提案方法			
前処理	380	335	324
レンダリング	60	15	4
ボリュームレンダリング	2048	2048	2048

方位角 : 30 度間隔

仰角 : 30 度間隔
色 : 3Byte
距離, 不透明度, 影 : 各 1Byte
 α 値, 照明光強度 : 各 1Byte
ベクトル : 3Byte

6. シミュレーション

6.1 単独樹木の画像生成

ボリュームレンダリングによる画像と提案する方法による画像を比較するために, 一本の樹木を方向を変えながら見た画像を生成した。固定方向テクスチャの方位角及び仰角が 30 度間隔なので, 仰角が 15 度で方位角が 0 から 30 度 (10 度間隔) の画像を図 7 に示す。



図 7. 提案方法による生成画像(方位角 : 0, 10, 20, 30)



図 8. ボリュームレンダリングによる生成画像

提案方法による画像(図 7)はボリュームレンダリングの画像(図 8)と比較して, コントラストが落ちたような画像になっているが, 回転している様子が分かる。画像生成に 4 方向の画像(固定方向テクスチャ)を用いているためである。

6.2 森林の画像生成

森林の画像生成のシミュレーションを行った。64×64×64 のボリュームデータを 8 用意して, 128 本(8×16)の樹木を並べて森林とした。本方法とボリュームレンダリングによる場合を, 図 9 と図 10 に示す。ボリュームレンダリングの場合には, 遠方の樹木でエイリアシングが発生している。また, 描画時間は提案方法では 30.5 秒, ボリュームレンダリングでは 90.8 秒であり, 約 3 倍に高速化されている。

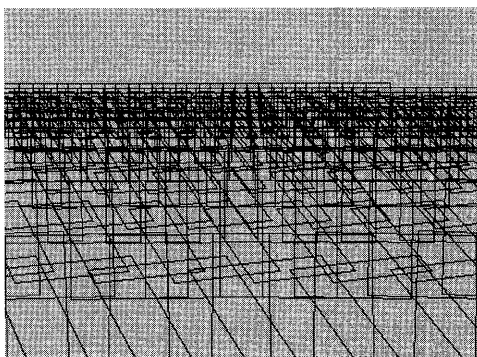
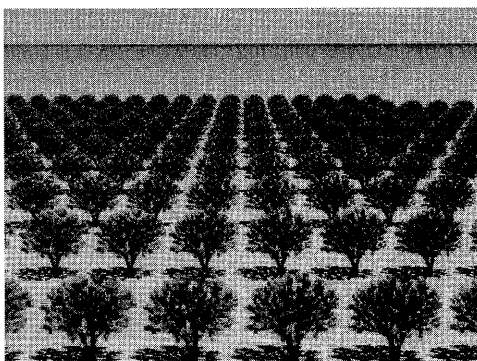


図 9.提案方法,生成画像とテクスチャ配置

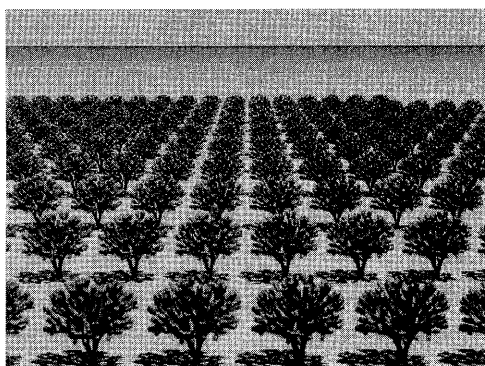


図 10.ボリュウムレンダリング

7. まとめ

光源は変化しないという条件のもとで、3次元テクスチャを用いた画像生成の高速化法を提案し、描画時間、使用メモリ、および画質について従来法（ボリュウムレンダリング）と比較を行った。

(1)描画時間

物体がスクリーンから遠ざかるに従って、提案方法の優位性は少なくなっていく。サイズの小さい固定方向テクスチャを用意する事によってさらに高速化ができる。しかし、遠方の物体を3次元にする必要性も薄れる。

(2)使用メモリ

視点移動の範囲によるが、固定方向テクスチャをファイルとして使用することによって、少なくできる。

(3)画質

視点方向の変化に対して立体的に見えるが、コントラストが落ちたような画像になる。

今後の課題としては、画質の向上及び固定方向テクスチャの効果的な方向と個数の検討が考えられる。鏡やレンズなどへの反射や屈折の処理についても検討が必要である。また、物体の実写画像と距離画像を用いた描画への適用も考えられる。

参考文献

- 1)B.Chamberla,T.DeRose,D.Lsichinski,J.Snyder, Fast Rendering of Complex Environments Using a Spatial Hierachy,Graphics Interface '96,pp.132-141(1998)
- 2)N.Chiba,K.Muraoka,A.Doi,J.Hosokawa,Rendering of Forest Scenery Using 3D Texture,THE JURNAL OF VISUALIZATION AND COMPUTER ANIMATION,VOL.8, pp.191-199(1997)
- 3)岡村,千葉,方向性を考慮した3次元テクスチャ法,情報処理学会「グラフィックスとCAD」研究報告,92-2, pp.7-12, 1998
- 4)F.Neyret,Modeling,Animating,and Renderomg Complex Scene Using Volumetric Texture,IEEE TRANSACTIONS ON VIZUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS,VOL.4,NO.1,pp.56-70(1998)
- 5)加賀,岡村,千葉,微細構造物体の階層的エイリアシングフリー・レンダリング,情報処理学会「グラフィックスとCAD」研究報告,94-9, pp.49-54, 1999