

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

加賀 博⁺ 村岡一信⁺⁺ 千葉則茂⁺

⁺岩手大学工学部情報工学科

⁺⁺岩手県立大学盛岡短大部

森林などのように微細な表面構造を持つ物体のCG画像を生成する場合には、データ量の増加や、エイリアシングの発生による画像の劣化などの問題が発生する。

本論文では、LOD (Level of Detail) の概念を、ポリゴンベースの幾何モデルとそれにより作成されるボリュームテクスチャ (ここでは、3次元テクスチャと呼ぶ) を用いて実現し、微細構造のエイリアシングフリーレンダリング法を提案し、さらに画質と実行時間についての検討結果を示す。

A hierarchical aliasing-free rendering of objects having complex fine surfaces

Hiroshi Kaga⁺, Kazunobu Muraoka⁺⁺, and Norishige Chiba⁺

⁺Iwate University and ⁺⁺Morioka Junior College Iwate Prefectural University

A polygon-based rendering algorithm often produces troublesome problems, i.e. increase in the amount of data and aliasing effects, when it is applied to objects having complex fine surfaces, such as forest scenery. In this paper, we present an aliasing-free rendering method for complex fine surfaces realizing the LOD (Level of Detail) strategy by using polygon-based geometric models and volume data, i.e. 3D textures, generated by the models. Finally, we demonstrate the effects on the image quality, and show the computational statistics.

1. はじめに

森林などのように微細な表面構造を持つ物体の画像生成を行う場合には、ポリゴンなどをベースにした幾何モデルによりその表面形状を精密にモデリングする手法¹⁾や、簡易な3次元モデルを用いる手法²⁾、樹木のボリュームデータである3次元テクスチャを用いてボリュームレンダリングを行う手法³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾などがある。微細構造の表現に幾何モデルを用いた場合には、データ量が膨大になり、ピクセル単位でサンプリングを行う場合、深刻なエイリアシングの問題が発生し、画質を低下させてしまうことがある。スーパーサンプリングを行えば画質の向上は望めるが、計算時間の増加が無視できなくなる。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、精密なモデリングを必要とせず、エイリアシングの発生も少ないなどの特徴を持つが、計算時間が非常に長いことや、3次元テクスチャの位置が視点に近づき過ぎると画像がぼけて表示されること、使用する3次元テクスチャの解像度が1種類の場合、遠方にある物体に対しては、幾何モデルを使用した際と同様にエイリアシングが発生するなどの不都合がある。

本論文では、これらの問題点を解決する方法として、ポリゴンと3次元テクスチャを併用して、LOD (Level-of-Detail) の概念を実現することにより、微細構造物体のレンダリングの高速化と、エイリアシングの除去による画質の向上を達成する方法を提案する。さらに、種々のレンダリング法について、画質と計算時間の比較を行い、提案手法の有効性を示す。

2. 3次元テクスチャ法

ここでは、3次元テクスチャによる森林景観のレンダリング法の概要について述べる。

2.1 3次元テクスチャの設定

以下に、そのアルゴリズムを示す。

- Step1: ポリゴン表現された樹木の3次元幾何モデルを用意する。
- Step2: 幾何モデルから、以下のように3次元テクスチャを生成する。
 - Step2-1: 求める3次元テクスチャよりも高い解像度のボクセル (本論文では256³) を用意し、樹木の幾何モデルのスキャン変換を行い、2値濃度分布を求める。
 - Step2-2: Step2-1 で得られたデータを作成したい3次元テクスチャの解像度へ圧縮することにより、平滑化された密度分布を求める。
 - Step2-3: Step2-2 で求めた密度分布により各セルでの法線を求める。

Step2-2 では、前のステップで得られた2値濃度分布を領域分割し、それよりも小さい解像度へ縮小することにより、目的とする解像度の実数濃度分布を求める。

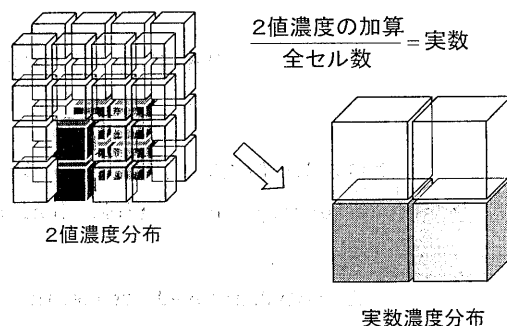


図1: 解像度の圧縮

2.2 3次元テクスチャのマッピング

マッピングは、3次元テクスチャの存在領域を示す直方体型のポリゴン群を、ワールド座標系に配置することにより行う。3次元テクスチャの表面を構成するポリゴンデータだけを登録すればよいので、配置する物体数が

増加しても、使用するデータ量の増加は少なくてすむ。

2.3 3次元テクスチャのレンダリング

レンダリングは2.1で示している物体の密度分布を用いてレイトレーシングによるボリュームレンダリングを行う。

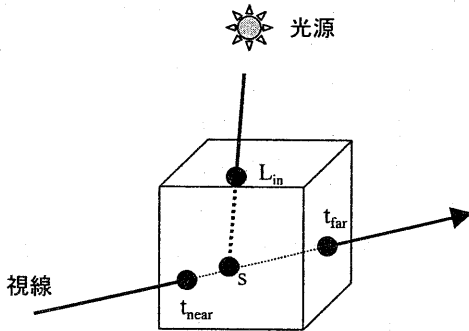


図2:3次元テクスチャのレンダリング

すなわち、以下のような条件にしたがってレンダリングする。

- 視線上の各セルが視線方向へ反射する光を累積する。
- 視点に到達する光は各セルの物体の密度により減衰される。

これらより、視点における輝度 B は次式によって表される。

$$B = \sum_{t=t_{near}}^{t_{far}} \left\{ \exp(-\gamma \sum_{s=t_{near}}^t \rho(x_s, y_s, z_s)) \cdot I_s(x_t, y_t, z_t) \phi(x_t, y_t, z_t) \rho(x_t, y_t, z_t) \right\} \quad (1)$$

ここで、 γ は密度を光の減衰係数に変換する係数、 I_s は光源からの照度、 ϕ はシェーディング関数、 ρ は密度である。一般に、 t に関する総和は、減衰係数

$$-\gamma \sum_{s=t_{near}}^t \rho(s) \quad (2)$$

がある閾値以下となるとところで打ち切ることができる。また、照度 I_s は次式で表される。

$$I_s = I \cdot \exp(-\gamma \sum_{r=s}^{L_{in}} \rho(x_r, y_r, z_r)) \quad (3)$$

ここで、 I は光源の照度である。

Σ の計算は光線のある一定の長さの線分に分割し、それぞれの線分において1点をランダムに選択することによってその標本の期待値を計算するという手法を使って、この値を近似する。

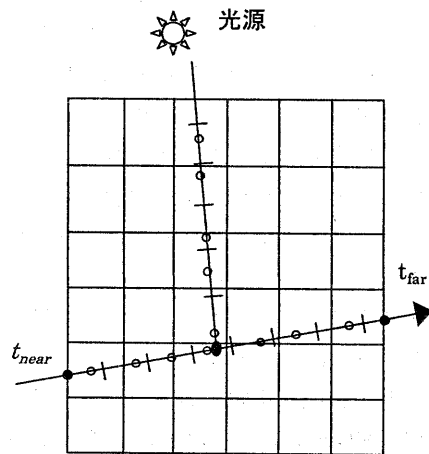


図3:密度計算

3. LOD法

LOD法とは、視点から遠ざかるにしたがい、単純化した(解像度を下げた)モデルを用いて、レンダリングの高速化とエイリアシングの発生を抑えようという手法である。この手法を適用する際の主な問題は、以下に示す2つである。

- 解像度の異なるモデルの生成法
- 使用するモデルの解像度を変えるポイント(奥行き)の決定

3.1 使用するモデル

本論文では、2.1のStep2-2で作成した

それぞれ解像度の異なる9種類の3次元テクスチャと、ポリゴンデータにより、合計10種類のモデルを使用してレンダリングを行った。

3.2 解像度を変えるポイント

3次元テクスチャのセルは、ある空間領域を代表しており、セル単位の空間領域の情報をすべて考慮しているため、セルをスクリーンに投影したときの大きさが1ピクセルの大きさとほぼ等しくなるように設定すればよい。しかし、使用する3次元テクスチャの解像度が低くなれば、セルの形状が認識され、物体がボケて表示されてしまう。また、セルのサイズが1ピクセルよりも小さい場合は、ポリゴンなどの幾何モデルを用いた場合と同様に、サンプリング不足によるエイリアシングが発生する。よって、セルをスクリーンへ投影したときの面積と1ピクセルの面積がほぼ等しくなるように設定すれば、エイリアシングもボケも無い画像を生成することができる。これより、解像度を変えるポイント D_c は、次式で求められる。

$$D_c = CS_i \cdot D_s \quad (4)$$

CS_i : 3次元テクスチャのセルサイズ

D_s : スクリーンまでの距離

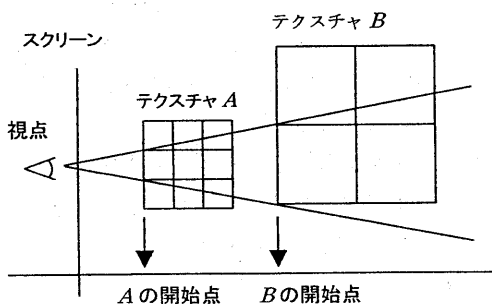


図5: 解像度を変えるポイント

4. ポリゴンモデルによるレンダリング

視点から近距離にある物体を3次元テクスチャ法によりレンダリングすると、その形状がぼやけて表示されるため、不都合である。そこで、使用する3次元テクスチャの中で最も解像度の高いもの(本論文では 64^3)のセルをスクリーンへ投影したときの面積が、1ピクセルより大きくなる距離から近い場所にある物体に対しては、ポリゴンデータを用いてレンダリングを行う。ポリゴンデータに対しても3次元テクスチャと同様に、樹木データをワールド座標系に直接マッピングはせず、以下に示すデータ

- 視線が3次元テクスチャに突入した点の座標
- 3次元テクスチャの大きさ
- 視線ベクトル、光源ベクトル

これらをワールド座標系で求め、3次元テクスチャ生成の際に使用した樹木データ座標系に座標変換することにより、レンダリングを行う。

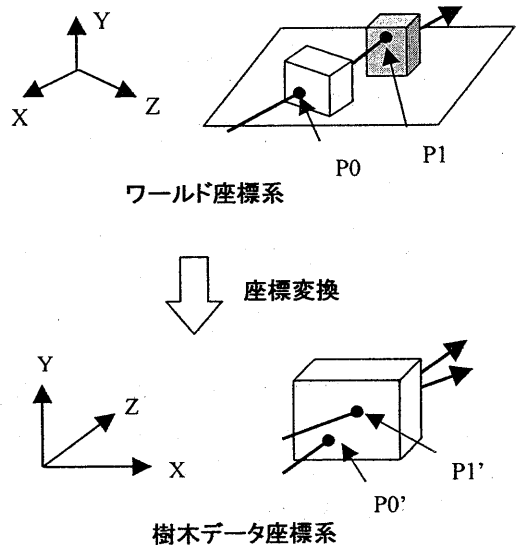


図6: ポリゴン樹木データのレンダリング

6. シミュレーション結果

以下に、本論文のシミュレーション結果を示す。図7は、本論文で使用したそれぞれ解像度の異なる3次元テクスチャである。実行時間と画質の比較として、以下に示す7つの条件下で画像を作成した。3次元テクスチャに対しては、すべての条件下で1ピクセルあたり1本のレイを使用した。

- ポリゴンモデルのみ
(1ピクセルあたりのレイを1本, 5本, 16本)
- 3次元テクスチャのみ
(LOD無し, あり)
- ポリゴンモデルと3次元テクスチャモデルの併用
(1ピクセルあたりのレイを1本, 5本)

表1は、それぞれの画像生成にかかった実行時間である。

	ポリゴン ^{*1} 1本	ポリゴン ^{*2} 5本	ポリゴン ^{*3} 16本
時間(秒)	834.9	3657.1	11355.2

テクスチャ ^{*4} LODなし	テクスチャ ^{*5} LODあり	併用 ^{*6} 1本	併用 ^{*7} 5本
3539.9	2662.8	1866.5	3908.1

(SGI OCTANE,CPU : R10000x1 175MHz, Mem:256MB)

表1:実行時間

実行時間のみで比較した場合は、明らかに*1が最も良いが、エイリアシングが発生しており、画質の点では劣る。ポリゴンモデルのみを使用してスーパーサンプリングをした場合(*2,*3)、画質は改善されるが、かなりの計算時間の増加が見られる上、アニメーションさせた場合に、静止画では認識されなかったエイリアシングが発生する。

3次元テクスチャモデルを用いた場合、*4

では遠方の物体でエイリアシングが発生している。これはLODを適用した場合(*5)には改善されているが、視点に近い物体では画像がぼやけて表示されている。

両方のモデルを併用した場合、視点に近い物体でもはっきりと表示されているが、*6では、ややサンプリング不足のため、エイリアシングが発生している。

7. まとめ

本論文では、ポリゴンベースの幾何モデルと、3次元テクスチャを併用し、LODの概念を実現することにより、微細構造物体のレンダリングの高速化と画質の向上について検討を行った。使用するモデルについては、画質と計算時間から、遠距離にある物体にはLOD法を適用した3次元テクスチャ、近距離の物体に対してはポリゴンモデルにスーパーサンプリングしたものが適当であると考えられる。現在は、ポリゴンベースの幾何モデル、3次元テクスチャ、さらに2次元テクスチャを使用したLODの実現を行っている。なお、本論文では詳細に報告できなかったが、テクスチャの変形を伴うマッピング法も開発している。樹木の揺らぎのアニメーションや、毛の表現に有効となる。

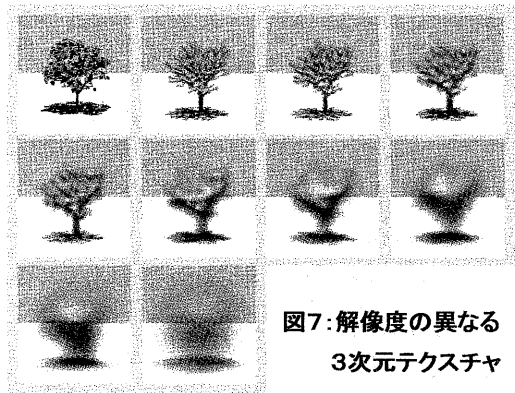


図7:解像度の異なる
3次元テクスチャ

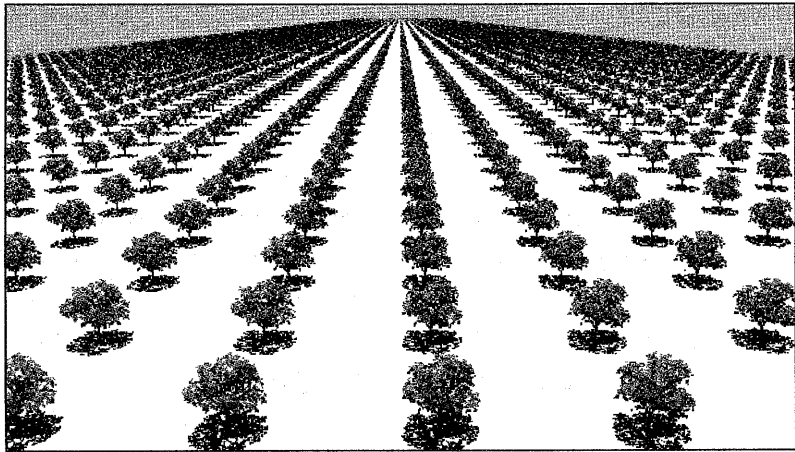


図 8 : ポリゴンモデルのみ (1ピクセルあたりレイ1本)



図 9 : ポリゴンモデルと3次元テクスチャの併用

参考文献

- 1) K. Saito et al.: Photo-realistic forest landscape simulation - application of GIS and plant modeling technique, Proc. NICO GRAPH93, pp.226-236(1993); in Japanese
- 2) B. Chamberla et al.: Fast Rendering of Complex Environments Using a Spatial Hierarchy, Graphics Interface '96, pp.132-141(1998)
- 3) J. T. Kajiya and B. V. Herzen.: Ray tracing volume densities, Computer Graphics, 18, (3), pp.165-174(1984)
- 4) J. T. Kajiya and T. L. Key.: Rendering fur with three dimensional textures, Computer Graphics, 23, (2), pp.271-280(1989)
- 5) N. Chiba, K. Muraoka, A. Doi, J. Hosokawa: Rendering of Forest Scenery Using 3D Textures, THE JOURNAL OF VISUALIZATION AND COMPUTER ANIMATION, VOL. 8, pp.191-199 (1997)
- 6) F. Neyret: Modeling, Animating, and Rendering Complex Scenes Using Volumetric Textures, IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, VOL. 4, NO. 1, JANUARY-MARCH, pp.56-70(1998)