

リアルタイム表示に適した多重表現による 群生する草形状モデルの研究

橋爪宏之* 吉田典正** 北嶋克寛**

*東京農工大学工学研究科

**東京農工大学

多重表現手法を用いたリアルタイム表示に適した群生する草形状モデル表現を提案する。樹木や草などの自然物景観要素を多数配置した景観モデルでは、レンダリングに時間が費やされて、フレームレートの低下が顕著となる。このようなモデルをリアルタイムで表示させるために、形状の簡略化表現技法と、形状のレンダリング画像をキャッシュしテクスチャマッピングで再利用する技法を組み合わせた多重表現モデルを提案する。本手法を実装し、多重表現の切替時に視覚的不自然さをほとんど生じさせずに描画時間を抑え、良好なフレームレートの向上を実現することを確認した。

A Study on Multi-Representation of Cespitose Plants for Real-Time Display

Hiroshi Hashizume, Norimasa Yoshida, and Katsuhiko Kitajima

Department of Computer Science

Tokyo university of agriculture and technology

2-24-16 Naka-cho Koganei-shi Tokyo, 184-8588

This paper presents a multi-representation of cespitose plants for efficient and realistic rendering. Displaying natural landscape elements, such as cespitose plants that are composed of many polygons, requires a considerable amount of time. To display such models in real time, we propose a multi-representation scheme in which distant objects are replaced by simplified models and farther objects are replaced by texture images taken in advance. These replacements are performed so that the deterioration of the quality of rendered images is minimized. We have implemented the method and confirmed the effectiveness of our approach.

1. はじめに

樹木や草などの自然物景観要素はその構造の複雑さから、三次元形状としてモデリングすると膨大な幾何データ(ポリゴンデータ等)となり、自然物景観要素を多数配置した景観シミュレータなどではレンダリング時にハー

ドウェアの処理能力の限界を超え、フレームレートの低下によってフレーム間の連続性が損なわれる。そのため、なめらかな表示が必要とされるリアルタイムレンダリングシステムを実現するためには、このような大規模なモデルを扱うアプリケーションでは、モデリング手法に工夫を凝らす必要がある。

また、樹木や草などの自然物景観要素の詳細な形状を一からモデリングするのは大変な手間がかかり、一つ一つを必要に応じてモデリングするのは現実的でない。また配置したある種類のすべての樹木や草が同形状では違和感が生じる。そのため目的とする似通った自然物形状を短時間で生成可能にするシステムも必要とされる。

このような詳細な自然物景観要素の幾何データの膨大さに起因するフレームレートの低下を回避するために、現在一般的な三次元のシミュレータやゲームなどでは、複雑な自然物形状を詳細な三次元ポリゴン形状を用意せずに、テクスチャマッピングで表現する手法を用いることが多い。しかしこの手法では、視点方向により不自然さが発生したり、近接した場合のテクスチャの荒さが目立つ。しかし、テクスチャマッピングはハードウェアで処理できるマシンで実行することにより、切り替えた部分は高速にかつ一定時間でのレンダリングが可能であるから、この手法を形状の表現システムに巧く取り込めば、かなりのスピードアップが期待できる。

本研究では、群生する草形状を対象とし、形状簡略化及び二種類のテクスチャへの置き換え表現を含めた多重表現モデルを提案する。

2. 本手法の概要

本研究では、草形状を容易に生成可能で、大量に表示させてもリアルタイム表示が可能な多重表現モデルを提案する。多重表現技法としては、形状の簡略化表現技法と、形状のレンダリング画像をキャッシュしテクスチャマッピングで再利用する二種類の技法を組み合わせ合わせた手法を適用する。モデルに近接した場合は詳細な形状を、遠方に位置するモデルにはレンダリングコストのかからない簡略化形状を選択表示する。その切替の際にラスタライズによる見え方の変化が最小となる、最

良な形状を表示できるように調整した。

本手法を実装し、視点がある一定の高さに限定した、ユーザの一定平面上を基本とした自由な移動経路選択が可能で、リアルタイムウォークスルーシミュレーションにおいて、この手法の有効性を確認した。

3. グリッド単位の簡略化レベル切替手法

表示させる群生草形状モデルを二次元グリッドごとに分割し、そのグリッド単位ごとに形状の注目する長さを基準として、ビューポート変換・ウィンドウサイズを考慮した式から簡略化レベルの切替しきい値を算出する。このしきい値を判定基準として、見た目の大きさに対応する簡略化レベルの選択・切替を行う。このしきい値はその注目する長さの疑似レンダリングピクセル数となる。

対象形状のレンダリングされた疑似ピクセル数(P)は、

- ・注目する稜線の長さ (L)
- ・画角 (2θ)
- ・ビューポートのピクセル幅 (W)
- ・視点から対象形状までの距離 (D)

から、以下のように求めることができる。

$$P = \frac{W L}{2D \tan \theta} \quad (1)$$

W はウィンドウサイズの変更で可変で、 $\tan \theta$ は定数であるとする。L は茎の直径又は葉の最大幅に設定する。

ただし、注目稜線の視点とのなす角を考慮していないので、画面にレンダリングされる実際のピクセル値ではない。このため疑似ピクセル数と呼ぶ。しかし実際の切替において、その注目稜線は回転体の直径であったり、そのモデル自体が生成時に乱数による回転移動の対象であったりするので、少ないコストで全体に良好に作用する。式(1)は、[1]によ

てその妥当性が確認されている。また、[2]では、距離によるポリゴン数の検討のために類似した式が用いられている。

またグリッド単位の View Frustum Culling を行うことにより、画角を越えた不可視部分をレンダリングから除外することにより、性能を向上させている。グリッド単位で行うため、近傍のグリッドでは誤差が出てくるので、近傍のグリッドについては画角の2倍を越えたもの、最近傍のグリッドについては削除しない手法をとった。Culling できる部分が大半を占めるときに非常に効果的であった。

4. 簡略化形状を自動生成する

群生草形状の生成手法

ユーザはまず基本形状を選択し、それについていくつかのパラメータ指定を行う。それらのうちの一部の数値を乱数によって揺らすことによって最終的な形状を生成する。乱数は形状に多様性を持たせるために付加するものであって、形状を大きく変更するものではない。

草形状パラメータの説明

■群生草形状の配置数 (乱数要因なし)

・グリッド数 x,y ・グリッド毎の本数

■一本の草ごとの配置パラメータ (これらは乱数のみで与えられる)

・配置座標 ・y 軸回転角度

■一本の草ごとの形状決定パラメータ (これらには乱数を付加)

・枝の数 **T_NUM**

・枝の長さ **T_LONG**

基準長を掛けて実際の長さとなる、基準長の長さごとに角度を変え湾曲を表現する

・枝の傾き基準値 **T_GRADI**

枝の傾きの初期値を決定する

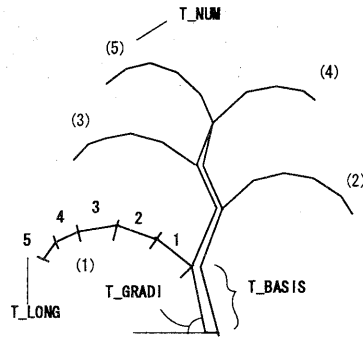
・枝の基準長 **T_BASIS**

幹はこの長さを連ねて生成される

・枝毎の y 軸微量回転角度

枝を回転させることにより、枝振りを上から見て放射状にする。

図1 草形状パラメータ



他にも生成のため以下のパラメータを用意している (これらには乱数要因はない)。

TK_SHORT 茎, 上に行くに従って短くする率

TK_VOLUM 茎, 上に行くに従って細くする率

TE_DIFFE 枝, 幹との長さの違い比率

TE_SHORT 枝, 先に行くに従って短くする率

TE_ANGLE 枝, 湾曲角度

TE_ROTAT 枝, xz 平面回転最大角

TE_VOLUM 枝, 細くする率

TR_WIDTH 葉, 幅の最大値

TR_SHORT 葉, 上に行くに従って細くする率

TR_ROOT 葉, 葉形状を枝のどの部分から出すか

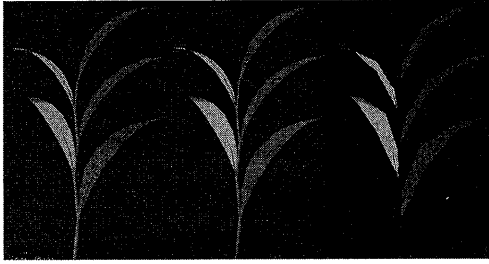
簡略化形状は、表1に示す規則で生成する。ユーザがパラメータによって形状をデザインするのは詳細形状であるレベル0だけでよい。簡略化形状は自動生成され、その形状を別にデザインする必要はない。

表1 簡略化レベル形状の設定

	レベル0	レベル1	レベル2	レベル3
草の茎形状	円柱	四角柱	線	点線
草の茎長さ	100%	80%	60%	40%
草の葉	分割数(多)			分割数(少)

←詳細

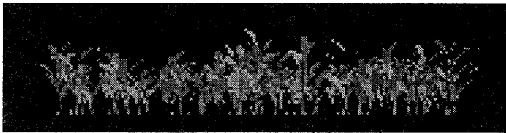
→簡略



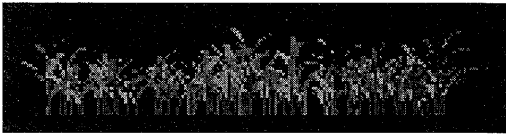
レベル0 レベル1 レベル2

図2 オリジナル(レベル0)と簡略化形状(レベル1,2)

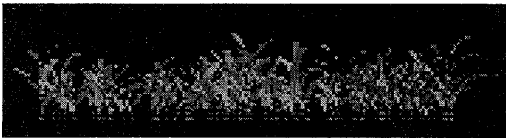
レベル3で点線を用いるのは、線では視点からの距離に関わらず、幅1ピクセルを保つことから、点線にすることでラスタライズによるかすれを擬似的に表現するためである。



レベル0でレンダリング



レベル2(線)でレンダリング



レベル3(点線)でレンダリング

図3 ラスタライズによるかすれの表現

茎は先に行くに従って細くなることから、簡略化形状を茎の長さを減らして表現する。これは葉の形状に隠れて、減らして無くなった部分は目立たない結果から適用した。他の部位も細部の形状を保存せず、その輪郭を保存することを主眼において簡略化形状を生成できるようにした。

表2 簡略化レベルのしきい値の設定

レベル	0 ⇄ 1	1 ⇄ 2	2 ⇄ 3	3 ⇄ 4
しきい値	4.0	1.5	1.0	0.75

以上のことから簡略化レベルのしきい値は茎の直径(0.5)をLに取ったとき、表2のように設定した。レベル4は、次章で説明するテクスチャ矩形表現を指す。

5. 群生草形状のテクスチャ表現への置き換え手法

群生草形状のテクスチャ表現はレベル4として多重表現に組み込む。これは一つのグリッド内にある群生草形状の幾何表現を、完全に一つのテクスチャマップした矩形と置き換える。

処理の流れは、まず、レベル3 → 4の切替しきい値を用いた距離分だけ視線から遠方に配置した、レベル3のひとつのグリッド草形状のレンダリング画像を、その描画ウィンドウからRGBAフォーマットでメモリに取り込む。(その際取り込む画像のサイズはOpenGLの制約からx方向、y方向、共に2の累乗数及び64ドット以上に制限される)。

グリッド草形状を30度ごと回転させて、計12枚分の画像をひとつにつき取り込み処理する。これは視線方向に応じて切り換え表示する際に必要となる。

これらに、重ね合わせで不自然にならないように、 α ブレンディング機能を使用して、画像中の背景部分のピクセルの α 値を変更し透過マッピングできるように修正する。また、その貼り付ける矩形の大きさをレンダリング画像サイズから算出する。これは(1)と同様に、透視変換の式、ウィンドウ幅、距離から求めることができる。この手法により求めたサイズの矩形ではテクスチャ座標はその矩形の4辺の4点で構わない。

ウォークスルーによる視点座標及び視点方向が変化する移動について、テクスチャマップした矩形は、視線方向へ回転させながら、

テクスチャ画像が更新する必要が生じた際に、最適なテクスチャ画像へ更新する。矩形の回転は 15 度以上変化した場合、画像の更新は 30 度以上変化した場合に更新する。テクスチャ画像は一定平面上に限定した 12 方向からのものだけ用意するが、上下 30 度ほどの高さ変更内であれば、遠方にあるため違いは視覚的にはほぼ分からない。

6. 遠方テクスチャの統合技法

グリッドサイズが増加すると、テクスチャ矩形の数も増加し、テクスチャマッピングを含めたそのレンダリングコストがフレームレートを低下させる一因となってくる。そのため、テクスチャ矩形の数を一定値以下に抑えるため、レベル 4 へのしきい値よりさらに小さくなる、ある設定距離以上離れた部分を、全てまとめて一定の枚数のテクスチャ矩形で置き換え表現できるようにする。そのテクスチャ画像はあらかじめ各グリッドごとに、その遠方のモデルを 30 度単位回転で全方向 12 枚を取り込んでおき、それを利用する。

表示の際には、視点の存在するグリッドを取り巻く十二角形状に配置した帯のような矩形ポリゴン群に画像を貼り付けること表現する。前章と同様にウォークスルー移動について、最適な画像を選択表示する。この手法では矩形ポリゴン群の回転は必要ない。また、不可視部分はレンダリングから除外する。

7. 実験結果

今までに述べた手法を実装した、実験ウォークスルーアプリケーションを作成し、SiliconGraphics OCTANE (R10000-195MHz x1, 256MBytes Memory, MXI Graphics, IRIX64 6.4) グラフィックワークステーションで実行結果を得た。

全 47 フレームに渡ってグリッドの中央付近

で決められた同経路をウォークスルーする。提案した技法から以下の 3 つを比較できるように、その平均フレームレートと描画される平均プリミティブ数を表 3、表 4 に示す。

- ・手法 1 形状の簡略化表現モデルのみ
- ・手法 2 手法 1 + テクスチャ矩形
- ・手法 3 手法 2 + 統合テクスチャ

各グリッドの大きさは ワールド座標系で 100x100 とし、それに対して統合テクスチャへの切替距離を 800 に設定した。なお草形状の高さは 20 前後である。その空間内にはグリッドが grid 数 × grid 数配置され、その一つ一つに plant 数本の草形状が配置される。

表 3 フレームレート

設定数値		フレームレート		
grid数	plant数	手法1	手法2	手法3
10	10	5.08	6.09	6.37
10	20	2.91	3.57	3.63
10	40	1.51	1.85	1.90
20	10	2.11	4.82	5.48
20	20	1.20	3.07	3.31
20	40	0.61	1.72	1.79
40	10	0.65	2.73	5.47
40	20	0.36	2.07	3.35
40	40	0.19	1.34	1.79

表 4 平均描画プリミティブ数

設定数値		平均プリミティブ数		
grid数	plant数	手法1	手法2	手法3
10	10	34416	30742	30463
10	20	62636	55856	55344
10	40	122846	109522	108520
20	10	62027	31095	31060
20	20	113287	56209	56174
20	40	222055	109875	109839
40	10	170376	32502	32260
40	20	312029	57616	57374
40	40	611308	111281	111039

表 3 で手法 1 → 2 で高速化される理由は、レンダリング総ポリゴン数の減少によるもので、手法 2 → 3 でさらに高速化される理由は、テクスチャ矩形数が一定数以下に抑えられたためである。表 4 で、手法 2 → 3 でプリミテ

イブ数がほとんど減少していないのは統合テクスチャへ置き換える対象がテクスチャ矩形のみであるからである。grid数40, plant数40のときに最大の9.4倍の性能向上を得た。

図4, 図5に表示ポリゴン数とフレームレートの関係グラフを示す。実験アプリケーションの実行画面例を図6に、景観シミュレータへの本モデルの適用例を図7に示す。

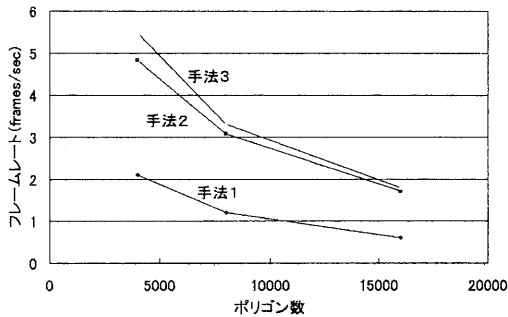


図4 表示ポリゴン数とフレームレートの関係 (グリッド 20)

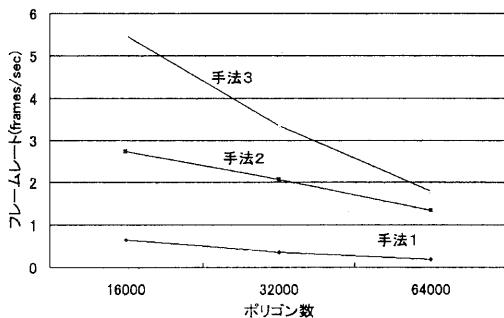


図5 表示ポリゴン数とフレームレートの関係 (グリッド 40)



図6 実験アプリケーション表示例

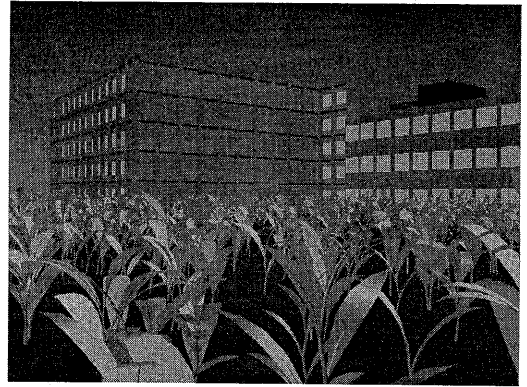


図7 景観シミュレータへの適用例

8. まとめ

提案した手法を実装したリアルタイムシミュレーションアプリケーションにおいて、形状の簡略化手法だけでなく、テクスチャ矩形への置き換え表現と統合テクスチャ表現を加えることにより、適切なしきい値を与えることによって、多重表現の切替時における視覚的不自然さをほとんど生じさせることなく描画時間を抑え、最大 9.4 倍のフレームレートの向上を実現できた。

参考文献

- [1] 北嶋克寛, 遊佐洋子, リアルタイム景観シミュレータのための形状のグルーピングと多重表現に基づく描画時間の短縮, 電子情報通信学会論文誌 D-II No.2 (1994年2月号).
- [2] 新井正敏, 宮田亮介, 村上公一, Multiresolutionによる適応型3D CG表示システム, グラフィクスとCAD 94-8 p.p.43 - 47.
- [3] 加賀博, 村岡一信, 千葉則茂, 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, グラフィクスとCAD 94-9 p.p.49 - 54.
- [4] Jonathan Shade, Dani Lischinski, David H.Salesin, Tony DeRose, John Snyder, "Hierarchical Image Caching for Accelerated Walkthroughs of Complex Environments", SIGGRAPH 96 p.p.75-82.
- [5] Daniel G. Aliaga, Anselmo Lastra, "Automatic Image Placement to Provide A Guaranteed Frame Rate", SIGGRAPH 99 p.p.307-316.
- [6] Radomír Měch, Przemyslaw Prusinkiewicz, "Visual Models of Plants Interacting with Their Environment", SIGGRAPH 96 p.p.397-409.