

## Q10 オブジェクト表面の輝度変化量を考慮した描画のための形状詳細度制御法

若月大輔<sup>1</sup> 石井郁夫<sup>1</sup> 高橋章<sup>3</sup> 今井博英<sup>1</sup> 牧野秀夫<sup>2</sup>

新潟大学大学院 自然科学研究科<sup>1</sup> 新潟大学 工学部<sup>2</sup> 長岡工業高等専門学校<sup>2</sup>

### 1 まえがき

膨大な細部構造を持つ VR オブジェクトを描画する場合、描画に不要なデータを削減し描画処理を効率化する詳細度制御は非常に重要な VR 表示技術の一つである。描画処理の効率化のために、オブジェクトの詳細度を階層化し、観察距離や形状特徴、属性情報などのオブジェクトに固有なパラメータを考慮した詳細度制御法が報告されている。さらに、観察者が描画像から正しく形状を認識するための様々な特性を利用すれば、より効率的な詳細度制御が可能になる。

描画像から観察者が形状を認識する手がかりとして、輪郭形状などの幾何学の手がかりと、表面の輝度変化などの光学の手がかりがある。本報では、octree で階層化したオブジェクト表面の形状や法線ベクトル、およびテクスチャデータを用いて、幾何学の手がかりを考慮した輪郭形状詳細度制御と、光学の手がかりを考慮した輝度変化量詳細度制御について述べる。これらの詳細度制御法の適用によって、描画されたオブジェクトの輪郭形状や、明暗やテクスチャなどの輝度変化を考慮した効率的な描画が可能となった。

### 2 オブジェクトデータの階層化

オブジェクトの存在空間を立方体格子で再帰的に分割したオブジェクトデータを octree で階層化する。Octree の各ノードを octant と呼び、根をレベル値  $L = 0$  とし、順に整数のレベル値を与える。次節で述べる観察者の形状認識特性を考慮した詳細度制御法によって描画に必要な詳細度の octant のレベル値を局部的に選択し、選択された各 octant の詳細度に適応した表面パッチを生成する。

Octant にオブジェクト表面形状を近似したパッチはレベル値の異なる隣接 octant 間でも不連続を生じないマルチスケールパッチ生成法を適用する [1]。各 octant に内包するオブジェクト表面を最もよく近似する 1 個の代表頂点座標  $v$  と、表面と octant の各格子線との交差の有無を示す  $F_c(i)$ 、 $i = 0 \sim 11$  ( $F_c(i) = 1$ : 交差あり、 $F_c(i) = 0$ : 交差なし) を与える。描画用に選択された octant のうち、図 1 のように  $F_c(i) = 1$  の格子線(太線)に接する octant の  $v$  (黒丸)間を結んでパッチを生成するため、隣接 octant のレベル値が異なる場合でもパッチの不連続が生じない。したがって、不連続を接続する処理が不要になると共に、パッチ頂点になる  $v$  が一意に定まるため、容易に  $v$  に関する法線ベクトルやテクスチャデータを階層化できる。

法線ベクトルデータは octant に内包する表面の法線ベクトルを平均した単位ベクトル(軸ベクトル)  $n$  と、

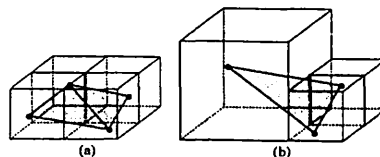


図 1 マルチスケールパッチ生成法

各法線ベクトルと軸ベクトルのなす角の最大値  $\theta$  を用いて法線ベクトルコーン  $(n, \theta)$  を定めて各 octant に格納する。子 octant の法線ベクトルコーンをすべて含む法線ベクトルコーンを親 octant に与えて法線ベクトルを階層化する。テクスチャデータはシェーディングに用いる表面の反射率を与える。子 octant の反射率をトラilinear補間した値を親 octant に与えて階層化する。

### 3 観察者の形状認識特性を考慮した詳細度制御法

#### 3.1 関心領域抽出 (ROI) と輪郭形状詳細度制御

描画像に対する観察者の形状認識特性を考慮した詳細度制御は、各 octant で次の処理を行い描画に用いる octant を選択する。

1. 視体積などの ROI の octant を抽出する。
2. 1 で抽出した octant に対して描画時の輪郭部分で適切な詳細度の octant を選択する輪郭形状詳細度制御を行う。
3. 輪郭部分でないオブジェクト表面を描画する octant に表面の明暗やテクスチャなどを考慮した輝度変化量詳細度制御を行う。

ROI の octant 抽出は各 octant が立方体格子で定義されているため、内外判定や交差判定で容易に行える。

輪郭形状詳細度制御では、各 octant の代表頂点-視点を結ぶ視線方向ベクトル  $v_e$  と、法線ベクトルコーン  $(n, \theta)$  が直交する輪郭部分の octant を抽出する。この octant の代表頂点の最も詳細な表面に対する  $n$  方向の形状誤差  $E$  の視角  $\varphi$  を計算する。視点からの距離  $d_s$  に存在するスクリーン上の許容形状誤差  $T_b$  を設定し、その許容視角  $\varphi_t$  を  $\varphi_t = T_b/d_s$  で求める。 $\varphi_t$  と  $\varphi$  を判定し、 $\varphi_t \leq \varphi$  ならば描画用にこの octant を選択して、 $\varphi_t > \varphi$  ならば子 octant について再帰的に同じ輪郭形状詳細度制御を行う。

#### 3.2 輝度変化量詳細度制御

各 octant の代表頂点  $v$ -光源間を結ぶ単位ベクトル(光源方向ベクトル)  $v_l$  と視点方向ベクトル  $v_e$ 、および法線ベクトルコーン  $(n, \theta)$  によってシェーディングによる輝度変化量を求め、その値をパラメータとして適切な詳細度の octant を選択する。

反射モデルとして式(1)で示す拡散反射と phong の鏡面反射モデルを用いた。

$$B = L_d M_d \cos \alpha + L_s M_s \cos^n \beta. \quad (1)$$

ここで、 $B$  は反射光強度、 $M_d$ 、 $M_s$  は拡散、鏡面反射率、 $L_d$ 、 $L_s$  は拡散、鏡面光成分、 $n$  はハイライト係数である。 $\alpha$  は  $v_l$  と法線ベクトルのなす角、 $\beta$  は  $\text{normalize}(v_e + v_l)$  と法線ベクトルとのなす角である。ここで  $\text{normalize}$  は単位ベクトル化関数である。

各 octant に内包するオブジェクト表面 (代表頂点  $v$ ) 上の  $M_d$ 、 $M_s$ 、 $n$  の最大、最小値を  $M_{d_{min}}$ 、 $M_{d_{max}}$ 、 $M_{s_{min}}$ 、 $M_{s_{max}}$ 、 $n_{min}$ 、 $n_{max}$ 、 $\cos \alpha$  と  $\cos \beta$  との最大、最小値を  $C_{\alpha_{min}}$ 、 $C_{\alpha_{max}}$ 、 $C_{\beta_{min}}$ 、 $C_{\beta_{max}}$  として、反射光強度差  $\Delta B$  を式(2)で求める。

$$\Delta B = L_d (M_{d_{max}} C_{\alpha_{max}} - M_{d_{min}} C_{\alpha_{min}}) + L_s (M_{s_{max}} (C_{\beta_{max}})^{n_{max}} - M_{s_{min}} (C_{\beta_{min}})^{n_{min}}). \quad (2)$$

$C_{\alpha_{min}}$ 、 $C_{\alpha_{max}}$  は  $\alpha$  と法線ベクトルコーン ( $n, \theta$ ) から  $C_{\alpha_{min}} = \cos(\alpha + \theta)$ 、 $C_{\alpha_{max}} = \cos(\alpha - \theta)$  で求まるが、 $(\alpha + \theta) > \pi/2$  ならば  $C_{\alpha_{min}} = 0$ 、 $(\alpha - \theta) > \pi/2$  ならば  $C_{\alpha_{max}} = 0$ 、 $(\alpha - \theta) < 0$  ならば  $C_{\alpha_{max}} = 1$  とする。 $C_{\beta_{min}}$ 、 $C_{\beta_{max}}$  についても、 $\beta$  と法線ベクトルコーン ( $n, \theta$ ) によって同様に求める。VR 空間中に複数の光源が存在する場合は各光源について反射光強度差を求めて、その総和を  $\Delta B$  とする。

スクリーンに描画されるとき輝度変化量  $D_l$  を、RGB 成分を持つ  $\Delta B$  の色空間距離  $D = |\Delta B|$  とスクリーン上の輝度変化する距離  $l_s$  から  $D_l = D/l_s$  で求める。 $l_s$  は観察距離  $d_o$  に存在する octant 格子の1辺の長さ  $l_p$  とスクリーン-視点間の距離  $d_s$  から、 $l_s = d_s l_p (n \cdot v_e) / d_o$  で求める。

スクリーン上の許容輝度変化量  $T_b$  を設定して  $D_l$  を判定する。 $D_l \leq T_b$  ならば該当する octant を描画用を選択し、 $D_l > T_b$  ならば子 octant について再帰的に同じ輝度変化量詳細度制御を行う。

#### 4 実験・結果

本アルゴリズムの評価のために、AthronXP1800+ (CPU)、GeForce3Ti200(グラフィックスチップ)を搭載した AT 互換機を使用し、描画に OpenGL を用いた。Stanford Computer Graphics Laboratory のサイトのポリゴンデータを、一辺 256 の立方体で 8 階層の立方体空間を持つ octree に変換 [2] したものを対象オブジェクトとした。このオブジェクトに対して、本報で述べた形状認識特性制御法の有効性を、表面の起伏などの形状特徴量によって詳細度制御を行う形状特徴量制御法 [2] との比較によって示す。

視点-オブジェクト中心間の距離  $d_{obj}$  と  $d_s$  が  $d_{obj} = d_s = 500$  の場合の、形状認識特性制御法の描画結果は図 2 ( $T_s = 0.3$ 、 $T_b = 1.0$ ) は、図 4 の最も詳細なレベル値 ( $L_m = 8$ ) で描画した結果とほぼ同等の描画品質であるが、パッチ数が約 1/5 に削減されている。

図 3 は図 2 とパッチ数がほぼ等しい形状特徴量制御法の描画結果である。両制御法で描画全体に要する処

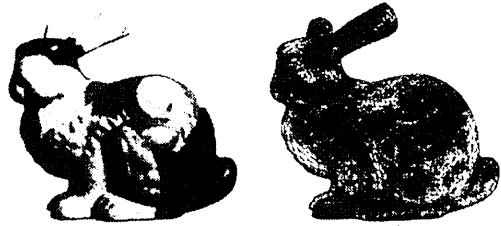


図 2 形状認識特性制御法, パッチ数:47108

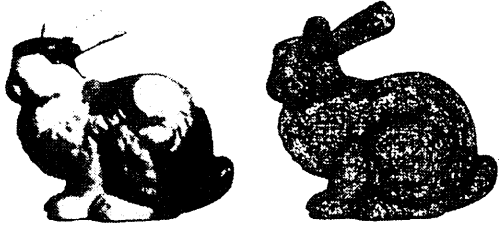


図 3 形状特徴量制御法, パッチ数:47123



図 4 最高詳細度形状, パッチ数:238506

表 1: 描画像間の誤差評価

	Fig.4-2	Fig.4-3
Mean	0.46%	1.44%
SD	4.06	8.92

理時間はほぼ等しい (約 200ms) が、形状特徴量制御法では表面の凹凸部分やテクスチャの境界などが簡略化されるため形状認識特性制御法の方が描画品質が高い。表 1 は図 4 に対する両制御法の描画像の各画素の平均誤差と標準偏差を表す。いずれも形状認識特性制御法の方が良好な結果が得られた。

#### 5 むすび

オブジェクト描画像に対する観察者の形状認識特性による詳細度制御を行うために、表面の明暗やテクスチャなどの輝度変化を考慮した形状詳細度制御法を提案した。オブジェクト形状、法線ベクトル、およびテクスチャデータを octree で階層化し、輪郭形状詳細度制御と輝度変化量詳細度制御を実現した。

最高詳細度形状と形状特徴量制御法に対して本方法の特性評価を行った結果、少ないデータ量で形状特徴量制御法よりも良好な結果が得られることを示した。

今後の課題は、新たな観察者の形状認識特性パラメータの導入や、最適化による描画処理速度の向上である。

#### 参考文献

- [1] 若月大輔, 石井郁夫, 今井博英, 高橋章, 牧野秀夫, "Oc-tree を用いた形状詳細度制御のためのマルチスケールパッチ生成法," ヒューマンインターフェース学会研究報告集, Vol.4, No.3, pp.31-36, 2002.
- [2] 若月大輔, 石井郁夫, 今井博英, 高橋章, 牧野秀夫, 視距離の変化に対応した高現実感レンダリングのためのマルチスケールモデリング法," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.4, pp.281-289, 2001.