

5K-4

光線追跡法における
高速アンチエイリアシング技法

隈元 玄

中央大学理工学部

1. はじめに

近年、ハードウェアの進歩により計算処理速度の向上が目覚ましく、質の高いCG(コンピュータグラフィックス)画像の制作が可能になりつつあるが、高品質画像には不可欠であるエイリアシング除去の問題は、今なお重要な課題である。アルゴリズムが簡単で適用が容易なため、現在もっとも広く使われているアンチエイリアシング法であるスーパーサンプリング(離散値サンプリング)法は、サンプル点の数に比例して計算負荷が大きくなり、エイリアス除去の精度に問題を残す手法である。

また、Catmull¹⁾の提唱したエリア(面積比)サンプリング法は、画素内の各多角形の面積に比例した輝度をその画素の輝度とするという手法で、面積を正確に計算するためエイリアシング除去の精度は良いが、隠面処理を考慮した面積計算アルゴリズムは複雑で、処理時間が長くなるという欠点がある。さらに、光線が円錐形であると仮定し、面積計算の負荷を多項式近似法で軽減し、光線追跡法にエリアサンプリングを適用したAmanatidesの論文²⁾もあるが、やはり円錐とプリミティブの交差面積の計算が複雑で、Crow³⁾の指摘した画素内での隠面処理については完全ではなく、一般的な場合のアルゴリズムにはなりにくいと言える。しかしながら、プリミティブのコヒーレンスを考慮しないスーパーサンプリング法には、精度の限界があるのに対し、画素内のプリミティブの面積を隠面処理を考慮しながら適当な速度で計算できれば、エリアサンプリング法はエイリアシング除去法として有効な手段となり得ると考えられる。

我々の開発した手法は、システムが処理できる程度の簡単な図形に対しては即座に処理を行ない、複雑な図形に対しては画素領域を再帰分割し、より簡単ないくつかの図形とすることで、プリミティブの寄与率計算を高速に処理するWarnock⁴⁾スタイルのエリアサンプリング法であり、スーパーサンプリング法と比較して、精度と処理速度において優れた結果を得たので報告する。

2. アルゴリズム

一般に、プリミティブが二次曲面の場合でも、画素サイズに対してそのプリミティブが十分に大きい場合は、その外形は画素内で線分に近似できる。もし、画素中心から線分までの水平距離と垂直距離がわかれば、画素内でのプリミティブの断片と画素領域に囲まれる面積は簡単な比例式で求めることができる。

二次曲面(球を含む)に対して、これらの値は視点の位置をずらした光線をプリミティブの式に代入し、変位に関する二次方程式を解くことにより求められる。

二次曲面の一般形は

$$aX^2 + bY^2 + cZ^2 + dXY + eYZ + fZX + gX + hY + iZ + j = 0 \quad \dots(1)$$

と表わせるが、一方、視点の位置をずらした場合の光線の方程式は次式となる。

$$\begin{aligned} x &= at + (L + d1) \\ y &= bt + (M + dm) \\ z &= ct + N \end{aligned} \quad \dots(2)$$

ここで、(abc)は光線の方向余弦、(LMN)は視点の位置である。(1)式に(2)式を代入して求められるtに関する二次式の判別式をd1, dmに関する二次式の判別式に展開することでこれらの値の有無が判別できる。

ポリゴンに対しては、光線ごとに判別式を用いるのではなく、ポリゴンを構成する各頂点を既に透視変換しておき、画素中心から辺への距離を計算するだけにしておくことで処理速度の高速化が計れる。どの辺が画素領域を通過するかは、先に画素領域でクリッピングテストを行なった結果をポリゴン番号を記憶した構造体のメンバー変数に記憶しておき、それを利用すれば冗長なテストを省くことができる。

システムは上記したように一つの外形線がウィンドウを横切っているプリミティブに対しては、そのウィンドウ内での断片と画素領域に囲まれる面積を計算してそれぞれのプリミティブ用寄与率バッファに値を加える。さらに、ウィンドウを囲むプリミティブに関しては最も手前のものをソートし、ウィンドウの外側にあるプリミティブについては、これを現在処理対象となっているウィンドウのプリミティブリストから取り除くといった処理を続けながら、それぞれの断片面積を寄与率バッファに書き込んでいく。

画素領域に対してこれら以外の位置関係をもつ、一つ以上のプリミティブ、または、一つのポリゴン多面体稜線以外の二つ以上の画素領域横断線をもつプリミティブに対しては、画素を4つのサブウィンドウに分割しウィンドウ内のより簡単になった図形に対して同様の判断を行う。その際、隠面処理の問題があるので分割されたウィンドウに関するプリミティブ外形線のクリップ点について、また、必要によってはウィンドウの4隅のうち断片が覆っているものに対してminmaxテストを行ない可視サーフェスをもつプリミティブを決定する。

数回分割した後のウィンドウ内においても処理できない図形もあるので、寄与率計算処理ができなかったポリゴンの断片に対してはそのサブウィンドウ面積の半分を寄与率バッファに加える。計算負荷の軽減のため要求される画質により分割回数を指定するという事で、画質に見合った処理時間で処理できる。

処理の簡易化のため画素内でのプリミティブの輝度は一様であると仮定すれば画素中心を覆っていないプリミティブに対しては覆っている画素領域の一隅をその画素内でのプリミティブのサンプル点とできる。

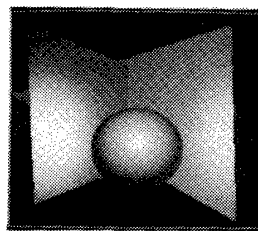


写真 1

3. フローチャート

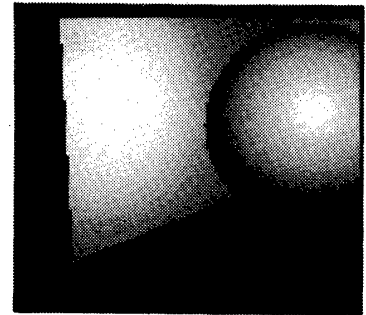
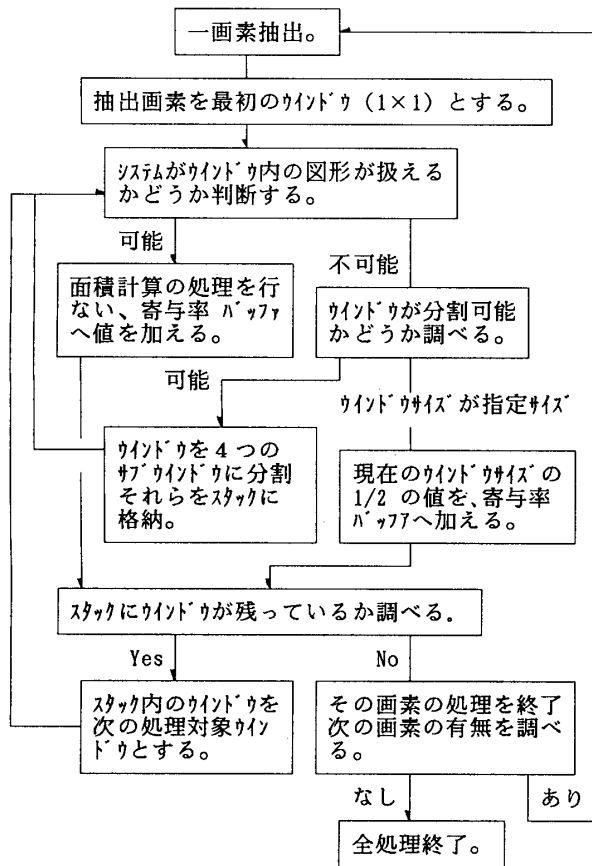


写真 2

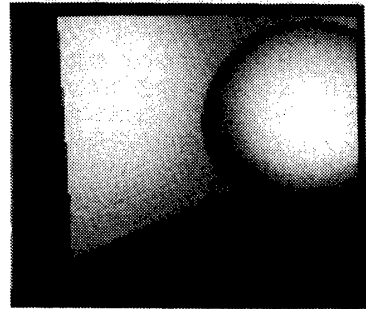


写真 3

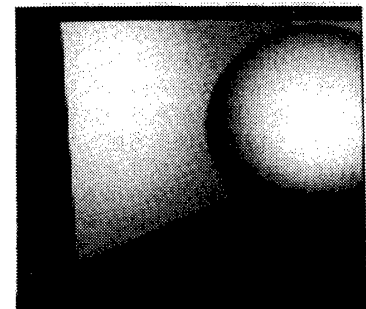


写真 4

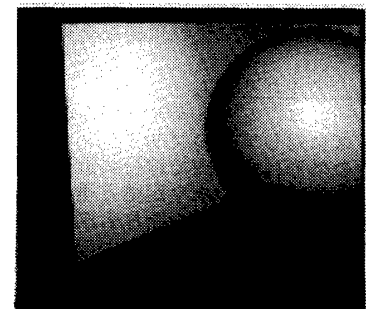


写真 5

4. 実行例

本手法で生成したCG画像の例と生成時間を示す。
(交差ポリゴンとボール、200×200画素。)

写真1 アンチエイリアシングの処理なし。

全体写真。1分00秒

(以後、紙面の都合により拡大写真のみを掲載した。)

写真2 アンチエイリアシングの処理なし。

1分00秒

写真3 スーパーサンプリング法(4サンプル/画素)

3分52秒

写真4 スーパーサンプリング法(16サンプル/画素)

1分52秒

写真5 本手法による処理

2分46秒

使用計算機はIBM社製のパーソナルコンピュータに
AT&T社のフレームバッファTarga16ボード(RGB
各32色同時表示)を挿入したもので、プログラムは
MS-DOS上のMSCで開発した。

5. まとめ

画素領域分割法を利用したエリアサンプリング法を提案した。プリミティブ数に比例した手間で分割処理され、従来のスーパーサンプリング法に比べてエイリアシング除去の精度が良く、高速に処理できることが確かめられた。さらにいろいろなオブジェクトに対しての適用と、より高速に処理することが今後の課題である。

謝辞

本研究にあたっては、中央大学理工学部電気工学科篠田庄司教授に貴重な時間を割いていただき査読、助言等を賜わり感謝いたします。

参考文献

1. Catmull, E. "A Hidden-Surface Algorithm with Anti-Aliasing" Computer Graphics, vol.12, no.3 1978
2. Amanatides, "Ray tracing with cones", Computer Graphics, vol.18, no.3, Jul., 1984
3. Crow, Franklin C., "Computational Issues in rendering antialiased detail", IEEE Communication of the ACM, 1982
4. Warnock, J.E., "Hidden-Surface Algorithm for Computer Generated Half-tone Pictures", Univ. Utah Comput. Sci Dept., TR 4-15, 1969