

L I S P 処理系を対象とした C G 用  
4Q-14 データ構造の提案とそのインプリメント

秋葉澄伸 山本強 青木由直

北海道大学工学部

L i s p 処理系上でコンピュータグラフィックスの処理を行うと、形状表現・データ構造等に、新たな概念を導入することができる。ここで我々が提案するのは、リスト処理系の特徴を生かしたダイナミックな空間分割を行う光線追跡法の高速度化手法である。これは、形状のモデルに対してあらかじめ一種の三次元ソーティング処理を施し、形状要素と光線の交差判定計算を劇的に減少させるものである。今回はこの手法を用いた処理系のインプリメントと、性能の評価を行った。

従来の高速度化アルゴリズムは、予め形状定義空間を小さな空間に分割して、分割した小空間と光線との交差判定により不要の交点計算を排除しようとするものである。代表的なものに、形状要素の存在範囲を限定するためのデータ構造として Octree を用いたものなどが提案されている。本手法は、モデル複雑度に対する計算量のオーダーは Octree を用いたものと同じ程度であり、根本理念も同じと考えることができるが、更に高速かつ柔軟なものである。Octree は空間座標軸に対する対称性があるために直感的で理解しやすが、内部表現は 8 要素のレコードの集まりとして表現されるが、このデータ形式は処理系にとって大きな負担となる。本手法では、2 進木の特徴を生かし、L i s p などのリスト処理系上で、ガーベジコレクタによる不要セルの再使用をはじめとするダイナミックな二進木操作を使用することができる。このため空間分割の自由度も大きい。

従来一般的な光線追跡法では速度の面から、構成する形状要素の個数を極力少なくする必要があるが、局在する形状要素を外接直方体で囲み無駄な交点計算を排除する工夫などがおこなわれている。B - R e p s 表現などの形状要素の個数が極めて多くなるモデルには向かない。ここで問題となるのは自由曲面の作画であり、陰影反射処理のため曲面の法線ベクトル情報を必要とするため、形状要素を表現する手段がかぎられてしまうので、自由曲面を近似するのは一般に容易ではない。多量の三角形により近似したものは、形状要素の個数が極めて多くなり実用にならない。そのため、形状要素個数に対する計算量のオーダーを下げるのがどうしても必要となる。

光線追跡法の処理速度は、三次元形状を定義する形状要素のデータベースの中から、光線と交差してしかも光源にもっとも近い形状要素を見つけ出すことに支配されている。ここで提案しているアルゴリズムは、

- 1 三次元空間の二分分割を再帰的に行ない、対応する二進木データを構築する。
- 2 二進木状のデータを再起的に探索して目的の形状要素に効率よくたどり着く。

直方体セルの一段階の分割は、ある座標軸に垂直な平面によってセルを 2 分割する。3 軸について再帰的に 2 分割について対応する B - t r e e をつくる。分割を終了する場合にはセルの含む形状要素を T r e e に記録する。T r e e の深

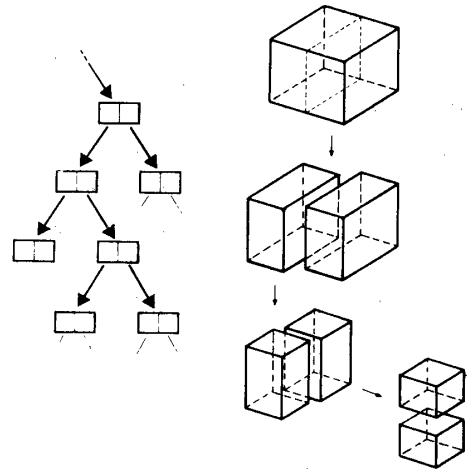
さは空間分割の精度は直接にモデリングの精度には関係しなが、粗い分割では無駄な交点計算を増加させることになる。局所的に要素が集中しているようなセルは細かく、要素が疎なセルは粗く分割がおこなわれる。あまりに細かい分割は記憶領域を消費し、後のTree探索が重くなる。

構築したデータに対し光線追跡を行なう場合、Tree探索と交点計算に分けて考える。初めにTreeを参照しながら対応する直方体セルとの交差判定をおこない、光線が通過しないセルについてはTree探索を続ける必要がなく、最も光源に近い交点を持つ可能性の高い形状要素群から交点判定を行う事ができる。ここでTree探索が十分高速でなければ、他のOctree型の領域分割による光線追跡の高速化以上の効果は期待できない。

本手法では、分割セルを形成する6個の面と光線との交点により交差判定を行う。ある座標軸と垂直な平面により直方体セルが2等分されると、分割されてきた2つの直方体セルの新たな面と光線との交点は、それをはさむ平行な古い2つの平面との交点の単純な整数演算の幾何平均により求めることができる。光源の存在する象限がわかれば、セルの6面のうちの3面について、交点がセルの表面となるかどうかをチェックすることにより交差の判定が可能となる。分割セルとの交差判定の計算量は他のOctree型の高速化に対して大幅に低減される。

Tree探索によって行き着くのは、光源から最も近いセルに対応する葉で、そこにはセルの内部にある形状要素が記録されている。その形状要素について従来どおりの光線追跡の交点計算などを行なえばよい。記録されている形状要素とも交点を持たない場合はTreeの探索を進めることにより、つぎに近いセルの情報が得られる。

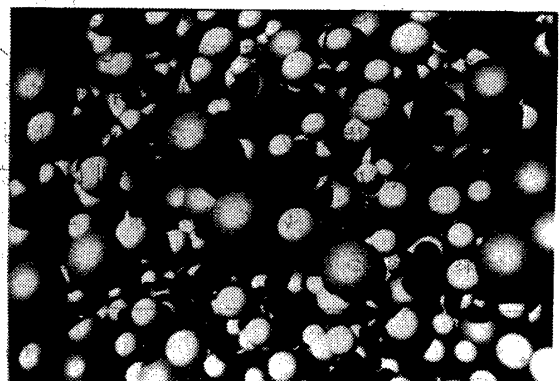
DCL社 Ustation-E15(MC68000)上でLispコンパイラLisp68Kをもちいて、球をランダムに発生させた場合の作画時間の例を挙げる。要素数が増加しても交点計算の量は極めて少なく、特に多量の形状要素からなるモデルに対しては圧倒的な効果を発揮している。予備処理にかかる時間も無視できる。



セルの分割と対応するTree

形状要素数 (個)	単純な光線追跡		高速化光線追跡		予備処理時間 (秒)
	交点計算 (万回)	作画時間 (秒)	交点計算 (万回)	作画時間 (秒)	
10	192	9533	2.7	2986	1.766
20	384	18300	6.0	4000	3.466
40	768	39384	12.3	5600	7.317
80	1536	89183	20.3	7583	15.967
160	3072	204533	29.8	9183	32.483
320	6144	測定不能	38.0	10367	71.318
640	12288	測定不能	45.8	11183	181.748
1280	24576	測定不能	56.3	12366	532.233

5 1 2 x 3 7 5 画素の作画時間



作画例