

分散メモリ型並列計算機上における光線追跡法の効率化

7P-11

堀 武司

北海道大学工学部

山本 強

北海道大学大型計算機センター

はじめに

光線追跡法は、高品質な画像生成が可能である一方、他の手法に比べ計算コストが高いため、主としてCG製作における最終段階での画像生成手法などに用いられているが、要求される処理の大規模化などに伴い、より高速な処理が求められている。

光線追跡法の処理は、各画素毎の計算が独立しているため、並列処理に向いているとされる。しかし、レイの交差計算は物体データベース全体を参照するため、全てのPEが物体データベースを共有する事が前提であり、共有メモリを持たない分散メモリ型並列計算機では、単純には実現できない。

本研究では、大規模なレンダリング処理を対象に、分散メモリ型並列計算機上においてデータベースを分散保持しつつ効率的な処理を実現する事を目標とする。

対象アーキテクチャ

分散メモリ型の並列計算機を対象とする。また、PE間の通信に関しては、任意の2PE間での通信が可能であり、通信速度はネットワークのトポロジー等には影響されず一定と仮定する。

実際の実装は、並列機SR-2001(日立製作所製)上で作業中である。

オブジェクト空間でのタスク分割

並列処理の基本方針として、オブジェクト空間でのタスク分割を用いる。オブジェクト空間を分割し、部分空間を各PEに割り当てる。PEは、自分の担当する空間に属する物体データをローカルメモリに保持し、部分空間内のレイの交差判定を行う。レイが自分の担当領域の外部に出た場合、次に入る空間

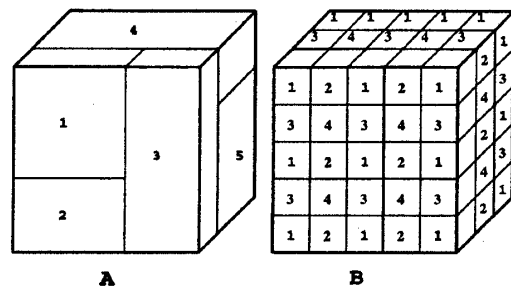


図 1: 部分空間の PE への割付けの例

を担当する PE に対してレイをパケットとして送信する。

部分空間の分割と PE への割付けの具体的な方法としては、様々なものが考えられる。

図 1A では、各 PE の割り当て領域が連続するように、部分空間を大きく分割している。この分割では、PE 間のレイ伝搬の回数が少なくなり、通信量は減少する。しかし、PE 間での計算負荷が均衡するように空間の割り当てる事が難しいという欠点もある。

図 1B では、空間を比較的細かい粒度で分割し、各 PE にランダムに割り付けているため、負荷の分散がある程度保たれる事が期待できる。しかし、レイが多数の部分空間境界をまたぐ事になり、PE 間の通信量は大きくなる。

Octree を用いた部分空間割付け

本研究では、Octree による空間分割に基づき、PE に対する部分空間の割付けを行う。Octree 分割されたオブジェクト空間は、一定の深さより下部で適当な大きさの部分木に分割され、各 PE に分配される(図 2)。物体が込み入って存在する領域は負荷分散のため更に細かく分割される。

また、この部分木のいずれにも属さない Octree の上部部分は、全ての PE がローカルメモリにコピーして保持する。この部分には、部分木の位置および

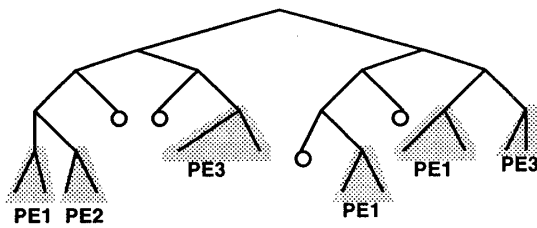


図 2: Octree の PE への割付け

PE との対応づけの情報の他に、そのレベルまでの分割で物体の存在しないと判明した空間の情報が含まれる。

処理の流れ

一次レイの発生

オブジェクト空間と同様に、スクリーンに関して各 PE がその一部を分担する。画素の分配にあたっては、計算および通信負荷の平衡のため、インターリーブがかけられる。各 PE は、与えられた視点パラメータに基づき、視点から各画素に対しての一次レイを生成する。

Octree の探索

生成されたレイに沿って、PE は部分空間の探索を行う。レイに沿った Octree の探索は、文献 [2] の手法を用いる。探索は Octree のルートから開始され、8 個の部分空間がレイに沿って順に探索される。部分空間が末端である場合はそこに属する物体との交差判定が実行され、部分空間が更に分割されている場合は、分割された空間に対して同様の処理を再帰的に適用する事によって、Octree 全体の探索を行う。

PE 間のレイ伝搬

探索が他の PE の担当領域に入ると、レイはパケットして送信される。先に述べたように、各 PE は Octree の上部という形で空間全体の大雑把な情報を保持しており、また各 PE が単独で担当する空間は物体の近傍に限られる (図 3)。このため、途中の物体が存在しない空間での無駄なレイ伝搬の回数を減少させる事が出来る。

シェーディング計算

レイと物体との交差が生ずるとシェーディング計算が行われ、結果はその画素を担当する PE へと送

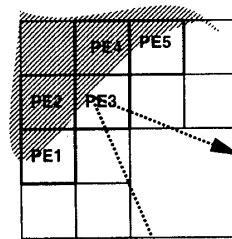


図 3: レイ伝搬回数の減少

信される。また、必要に応じて反射、屈折、影計算のためのレイが新たに生成され、一次レイと同様に処理される。

負荷分散と部分空間の再配分

PE 間の負荷分散は、部分空間の分割を粒度を小さくする事により、ある程度静的負荷分散が働く事が期待できる。

また、オブジェクト空間でのタスク分割では、視点や点光源などを持つ部分空間に対してのレイの集中が起き、負荷が増大するという問題があるが、本手法では、そのような空間は全 PE が共有している場合が多く、特定 PE への負荷集中は発生しにくい。

視点が極端に物体に近い、光源が特定 PE の担当領域にある場合など静的負荷分散で対応しきれない場合は、各 PE の部分空間割当てを変更し、動的な負荷分散を行う必要がある。

おわりに

オブジェクト空間でのタスク分割による並列光線追跡法における通信量の削減、静的負荷分散などについて述べた。今後は、実機での評価、検証を進めると共に、動的負荷分散等についても検討していきたい。

参考文献

- [1] Dider Badouel and Kadi Bouatouch, "Distributing Data and Control for Ray Tracing in Parallel", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.14, No.4, 1994.
- [2] A. Fujimoto, T. Tanaka, K. Iwata, "ARTS: Accelerated Ray-Tracing System," IEEE CG & A, vol.6, no.4, pp.16-26, 1986.