

Title	モンテカルロ光線追跡法を利用した並列レンダリングに関する研究
Author(s)	清水, 昭尋
Citation	
Issue Date	2006-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1956
Rights	
Description	Supervisor:井口 寧, 情報科学研究科, 修士

モンテカルロ光線追跡法を用いた 並列レンダリングに関する研究

清水 昭尋 (410062)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2006 年 2 月 9 日

キーワード: モンテカルロ光線追跡法, 並列レンダリング, 適応的サンプリング.

1 はじめに

今日, コンピュータグラフィックスにおける画像合成技術は, 映画や建築, ゲームやシミュレーションといった様々な応用分野で利用されている. その中でも, 映画などに用いられている画像合成技術は, 本物なのか CG なのかわからないほどの画像合成を可能にしている. 写実的な画像合成において重要な鍵となるのは, モンテカルロ光線追跡法というモンテカルロ積分を用いたポイントサンプリングアルゴリズムである. モンテカルロ光線追跡法において品質の高い画像を得るためには, 膨大な計算コストがかかることが知られており, これを高速に実行できるということは非常に有用である. また並列化とは別の問題として, 画像のサンプリング問題がある. モンテカルロ光線追跡法では, サンプリングが不十分であるとそれがノイズとして画像にあらわれる. そのため多くのサンプルを取る必要があり, その結果, 計算コストが大きくなってしまふのである.

本研究では, モンテカルロ光線追跡法を視野にいれた, 上記の二つの問題を解決するための分散平衡並列化アルゴリズムを提案する. これにより, 無駄なサンプリングを省き, 結果として高速な並列処理がおこなえるシステムの構築を目的とする.

2 レンダリングの基礎

レンダリングとは, 与えられた幾何データ, 光源データなどの数値から画像合成をおこなうことである. 写実的画像合成においては, 大域照明という物理シミュレーションによる光エネルギーの伝播を扱う. このエネルギーの伝播は, 物体表面の反射率分布関数である BRDF の定義により反射され, この一連の伝播の流れはレンダリング方程式として定式化される. レンダリング方程式は積分方程式であり, これを解くにはモンテカルロ積分が利用される. レンダリング方程式のモンテカルロ的解法を与えるアルゴリズムはモンテ

カルロ光線追跡法と呼ばれ、現在の写実的画像合成における最重要となるアルゴリズムである。本研究では、このモンテカルロ光線追跡法的一种である経路追跡法というアルゴリズムを利用して並列レンダリングシステムの構築をおこなう。

3 並列レンダリング

レンダリング、特に光線追跡法を用いたものは多大な計算コストがかかる。そのためレンダリングの高速化のための研究が数多くおこなわれており、その中の一つとして並列化が挙げられる。一口に並列化といっても、その方法は様々であり、解決すべき問題によって並列化のアプローチも変わってくる。

従来の並列レンダリングにおける研究は、イメージ空間分割による並列化とオブジェクト空間分割による並列化の二種類に大別することができる。これは並列計算モデルとしての要求駆動モデルとデータ並列モデルに対応しており、すべての基礎となる並列化モデルである。現在の並列計算機システムでは単一プロセッサにおいても十分なメモリ量が提供されていることが多く、余程大きなシーンデータでない限りオブジェクト空間での分割をする必要性を感じることはない。そこで本研究ではイメージ空間分割による並列化を基礎とした並列化手法を採用する。

4 分散平衡並列化

これまでのイメージ空間分割による並列化においては、タスクのコントロールが難しかった。これは、イメージ空間がピクセル、またはピクセルの集合をタスク単位として扱っていたためである。この方法では、古典的な光線追跡法においては良好な結果を与えるが、モンテカルロ光線追跡法においては、サンプリング手法の影響によりピクセル間のロードバランスを維持することが難しい。これは、ピクセル一つをサンプルするのに多量の光線が必要となるが、シーン空間のポリゴン数のばらつきにより各々のピクセルでの計算量に大きな差が出てしまうからである。これは光線の数を増やせば増やすほど顕著になっていく。また各々のピクセル値が収束するためにはどれだけのサンプル数が必要かということも事前にわからないために、無駄なサンプリングがおこなわれてしまうということも挙げられる。

本章では、この問題を解決するために、画像の品質を視野にいたし、適応的サンプリングをおこなう分散平衡並列化アルゴリズムを提案する。まず解の収束速度の判定のためにピクセルにおける分散値を定義し、その値をもとに計算が必要なピクセルとそうでないピクセルを選別する。今まで解が収束しているにもかかわらずサンプリングがおこなわれてしまっていたピクセルに対する計算を省くことで、分散が大きく収束の遅いピクセルに計算資源を集中させる。これにより収束に時間がかかるピクセルが高速にサンプリングできることが期待できる。これは、各ピクセルの分散の評価を細かい層にわけておこなう

ことにより実現する．並列化においては，イメージ空間分割よりもさらに細かい並列粒度であるサンプル空間を対象に並列化をおこない，良好なロードバランスの維持を目指す．この手法の実装・評価をおこない，提案手法の妥当性を示す．

5 評価結果

この章では，提案した分散平衡並列化アルゴリズムを，並列化という観点と適応的サンプリングという観点から評価をおこなう．

並列化における評価では，適応的サンプリングアルゴリズムを適用した場合とそうでない場合によって速度面に変化があらわれた．適応的サンプリング処理においては，サンプリング処理を棄却するピクセルを選択するためのスケジュール処理が発生する．そのため，スケジュール部分がオーバーヘッドとなり，ポリゴン数が少ないシーンにおいては従来手法と比較して遅くなっていることがわかる．これはプロセッサ数を増やせば増やすほど顕著になり，8CPU でほぼ同速度であったのが 128CPU では 1.5 倍にまで差が開く．しかしながら，ポリゴン数の多いシーンになるとタスク当りの処理コストが増加するため，良好なスケーラビリティを示す．ポリゴン数 15000 のシーンでは 8CPU から 64CPU まででほぼ同速度，128CPU では 1.2 倍程度しか差がでなかった．

適応的サンプリングにおける評価では，分散値の大きいピクセルに適応的に計算資源を集中させることが可能となった．これにより，画像全体の分散値が均衡するようにサンプリングをおこなうことができるが，残念ながら画像自体には知覚できる大きな違いはあらわれなかった．使用するシーンによっては変化が見受けられる可能性もあるので，もう少しの検証が必要である．

6 結論

本論文では，モンテカルロ光線追跡法を利用した並列レンダリングの一提案として，画像の分散の大きいピクセルに計算を集中させピクセル間の品質を一定に保つ分散平衡並列化を提案した．並列化においては，適切なサンプル粒度を選択することにより，処理速度，スケーラビリティといった評価項目の質を落とすことなく，ピクセル分散により適応的なサンプリングをおこなうことができる．また，Master-Slave 法による動的なタスク要求処理により，非常に良いロードバランスを保つことが可能である．サンプリング処理においては，分散の変動の大きいピクセルに計算を集中させることに成功した．

今後の課題としては，様々なシーンにおける検証をおこない，本アルゴリズムが効果的に使用できる範囲を明らかにすることが挙げられる．また，アルゴリズムの改良においては，決定的におこなっていたピクセル棄却処理にランダム性を持たせ，局所解に陥らないような柔軟なものにしていく必要があると考える．