

画像生成の並列処理に関する一検討

4 K-4

山内 齋 磯田隆生 小林広明 中村維男

東北大学工学部機械知能工学科

1 はじめに

近年、景観のデザインや仮想現実感などの多くのアプリケーションにおいて、フォトリアリスティックな映像を生成する技術について関心が持たれている。しかしながら、よりリアリスティックな映像を生成するためには、膨大な計算時間が必要であり実用的とは言えない。そのため、計算時間の短縮が切望されている。本報では、これらの映像の生成のための新しい並列処理方式を提案する。

2 マルチパス画像生成法

フォトリアリスティックな映像を生成するためには、光の伝播を正確に再現する必要がある。現在、そのためのアルゴリズムとしてはレイトレーシング法^[1]に代表される視点依存の方法とラジオシティ法^[2]に代表される視点独立の方法がある。

レイトレーシング法は、光の伝播を光線(レイ)の伝播としてとらえるため、方向性を持った反射を行う鏡面などの表現に適している。この方法の問題点は、レイと物体の交差判定に膨大な計算時間を要することである。また、ラジオシティ法はオブジェクトを小さな平面(パッチ)に分解し、その間のエネルギーの授受を光の伝播としてとらえるため、全方向に一樣に反射する拡散反射面の表現に有効である。この方法の問題点は、ラジオシティの伝播の計算時間が膨大なものとなることである。また、どちらの方法も単独では鏡面と拡散面の両方を統合して扱うことが困難であることも問題である。

これに対し、さらにフォトリアリスティックな画像を生成する方法として、前段の処理としてラジオシティ法を用い、画像生成時にレイトレーシング法を適用するマルチパスの画像生成法^[3]が提案されている。マルチパスの画像生成法はフォトリアリスティックな画像が得られるという利点があるが、2つのパスの合成によってさらに膨大な計算時間を要するという大きな問題点がある。この問題点に対し、本報ではこれらの計算に並列計算機を適用し、計算の高速化を試みることを考えた。

3 超並列画像生成システム

3.1 マルチパス画像生成法と並列性

マルチパス画像生成法の前段の処理となるラジオシティ法では、その計算時間の大半はオブジェクト間のラジオシティの伝播についての計算に費やされる。ラ

ジオシティを授受する2つのオブジェクトの組に注目すると、それぞれのオブジェクトの組についてこの計算は独立であると考えることができる。また、このラジオシティの授受は隣接したオブジェクト間で行われることが多いためにオブジェクト空間で局所的に起こると考えられる。

マルチパス画像生成法の次段の処理であるレイトレーシング法では、その計算時間の大半はレイとオブジェクトの交差判定に費やされる。このレイとオブジェクトの交差判定は、各レイごとに独立であることが知られている。また、レイの伝播はオブジェクトからオブジェクトに対して発生し、ここでもオブジェクト間の局所性が考えられる。

これらのことから、オブジェクト空間中の各物体情報を分散させ、さらに各オブジェクト間で交換されるレイ/ラジオシティの伝播計算の局所性と独立性を利用する並列計算機がマルチパス画像生成法に有効であると考えられる。

3.2 並列計算モデル

一般に、各物体の表面の輝度は、各オブジェクト間で交換されるレイ/ラジオシティの伝播により合成されるため、オブジェクト空間を分割し、その空間を個々のプロセッシングエレメント(PE)に割り当ててレイ/ラジオシティの伝播をプロセッサ空間でシミュレートすることが可能である。レイ/ラジオシティの局所性のため、個々のPEはオブジェクト空間の局所的な情報を持つのみでよい。これによってメモリ空間の増大が抑えられる。このような観点から我々は、メモリ分散型のマルチプロセッサシステムを採用した。メモリ分散型マルチプロセッサシステムで問題となるのは、個々のPEの扱う空間をレイ/ラジオシティが超えた場合に行われるPE間通信のオーバーヘッドである。しかし、レイ/ラジオシティ計算の局所性のため、主となる通信は隣接するPE間で起こると考えられるので、この問題は小さく抑えられると考えられる。

3.3 超並列画像生成システム

超並列画像生成システムの概要を図1に示す。図1では二次元の格子状にPE(プロセッシングエレメント)を配置し、それらをトラス状に結合したシステムを示している。

本システムは、ホストコンピュータと多数のPE、フレームバッファコントローラ、フレームバッファ、ディスプレイから構成される。ホストコンピュータは全体のPEの制御を行う。各PEはローカルメモリとプロセッサ、通信のためのネットワークインターフェイスユニットからなる。フレームバッファコントローラは

A Study on A Parallel Processing System for Photo-Realistic Image Synthesis

Hitoshi YAMAUCHI, Takao ISODA, Hiroaki KOBAYASHI, and Tadao NAKAMURA
Faculty of Engineering, Tohoku University

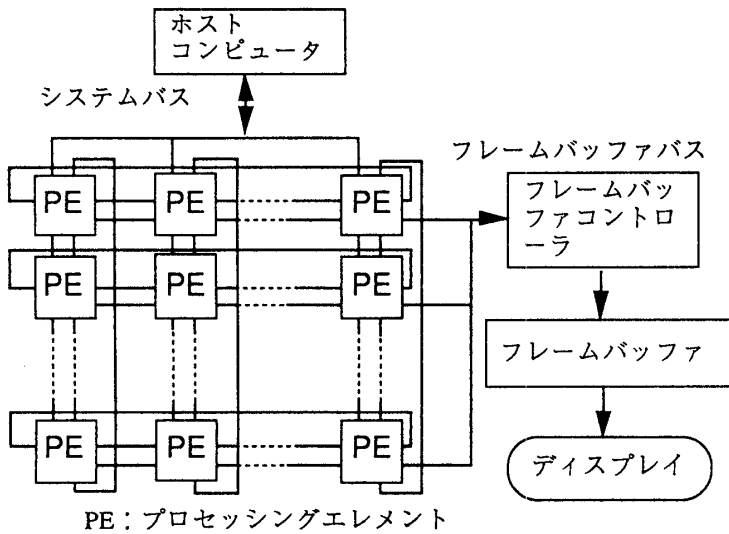


図1. システム概要

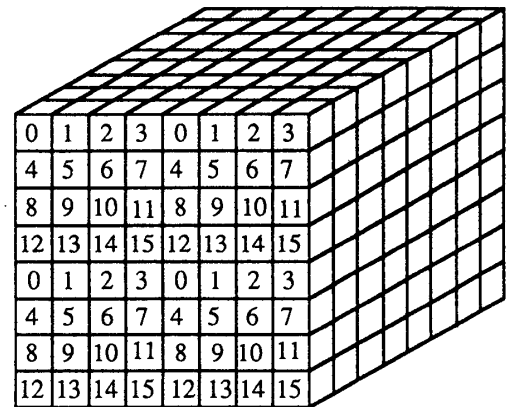


図2. 空間分割とPEの割り当て

各PEから送られてくる結果に従ってフレームバッファを更新する。

3. 4 画像生成の手順

画像生成は次の手順で行われる。

1) 初期設定

ホストコンピュータが、システムバスを介して等分割されたオブジェクト空間の情報を各PEに伝達する。図2は4×4のPEを空間に割り当てた例である。図に示されている番号はPEの番号である。すべての隣接部分空間を隣接プロセッサに割り当てるために各PEはトラス状に結合されている。またこのように割り当てることによって、空間の一部で計算負荷が増大しても、これらの負荷を各PEに分散させることができる。

2) ラジオシティステージ

まず、パッチをラジオシティの大きさに降順にソートし、大きなラジオシティを持つパッチを選び出す。最初に各PEがあるスレッシュホールド以上のラジオシティを持つパッチを独立に選択し、次にホストコンピュータがその候補をソートし計算を行うパッチをいくつか選択する。

ソートの終了後、そのパッチを持つPEからラジオシティの計算を始める。この計算には hemi-cube を使用する²⁾。ラジオシティの伝播の計算においては、hemi-cube の各ピクセルごとに並列化が可能である。ラジオシティが隣の空間に伝播する場合には、ラジオシティをラジオシティパケットとして次のPEに転送する。すべての伝播が終了すると、再び未放射のラジオシティがソートされ、同様の計算が繰り返される。未放射のラジオシティ値がユーザの設定した値よりも小さくなったところでこのステージは終了し、次のステージに実行が移る。このステージは視点独立なため、視点の変更のみが行われる場合には、再度このステージの計算を行う必要はない。

3) レイトレーシングステージ

ユーザが視点とスクリーンを定め、それに基づきレイが初めて交差するオブジェクト空間を扱うPEを求める。このPEへとレイの情報であるレイパケットが発信される。レイはスクリーンの画素を単位として発せられる。ここまでの作業はホストコンピュータが行う。レイパケットを受け取った各PEはレイとの交差判定を行い、交差した場合は輝度を計算し、フレームバッファコントローラに結果を送る。レイが交差しない場合には、レイの方向のPEを求め、そのPEへとレイパケットが送られる。オブジェクトの定義された空間内でオブジェクトがレイと交差しなかった場合や、ユーザの指定する反射回数を超えると、レイパケットは消滅する。

フレームバッファコントローラに送られた輝度は、現在のフレームバッファの値に送られてきた輝度を加算していく。フレームバッファの内容が、生成されたイメージとしてディスプレイ上に表示される。

4 まとめ

本報では、マルチパス画像生成法を並列計算機を用いて高速に実行するシステムを提案した。現在、本システムの性能評価のためのシミュレータを構築中である。

5 参考文献

- [1] James T. Kajiya, "The rendering equation", Proceedings of SIGGRAPH '86, p.p.143-150, 1986
- [2] Michael F. Cohen, Donald P. Greenberg, "The hemi-cube a radiosity solution for complex environments", Proceedings of SIGGRAPH '85, p.p.254-263, 1985
- [3] John R. Wallace, Michael F. Cohen, Donald P. Greenberg, "A two-pass solution to the rendering equation: A synthesis of ray tracing and radiosity methods", Proceedings of SIGGRAPH '87, p.p.311-320, 1987