

境界面スライド方式を用いた高速光線追跡法

-シミュレーション実験による評価-

4Q-3

根本 啓次 * 福井 眞吾 ** 大町 隆夫 *

日本電気株式会社 * C&C情報研究所 ** C&Cシステム研究所

1. はじめに

コンピュータ・グラフィックスの画像生成方法の1つである光線追跡法を高速に実行するために、表示される物体を定義する空間を複数の領域に分割し、3次元配列状に接続されたマルチ・コンピュータ・システムを用いて、各空間を1台のコンピュータに割り当てるといった並列処理方法(1)が提案されている。この方法では、各コンピュータの負荷のばらつきによる並列処理効果の低下を防ぐために、各コンピュータ間の負荷の再配分処理が必要となる。

既に我々はこのような再配分処理方式として、各領域の形状を直方体に保ち、特定の座標軸に垂直な領域の境界面をその座標軸に平行に移動して負荷の再配分を行うという、境界面スライド方式を提案した(2)(3)。この方式では、領域の形状を直方体に保つという極めて簡単な処理により、効果的に負荷を均等化できる。

今回は、仮想的に複数のコンピュータの動作を実現する並列処理シミュレータを汎用計算機上に構築し、シミュレーション実験により本方式の負荷の再配分処理を評価して、良好な画像生成の高速化の効果を確認することができたので報告する。

2. 空間分割による並列処理方法

空間分割による並列処理方法の概要を示す。

1) 物体が定義される空間を座標軸に垂直な平面で分割して、直方体形状の領域を生成する。

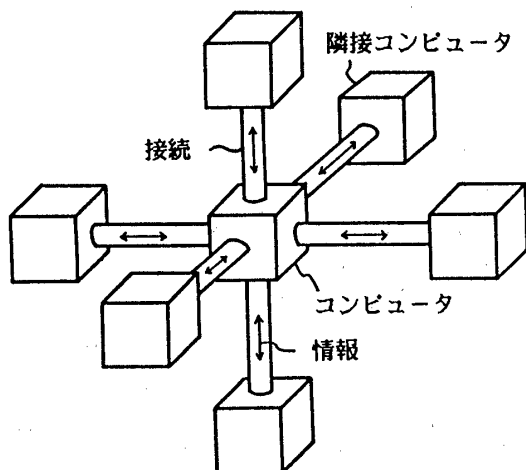


図1 コンピュータの3次元配列状接続

2) 3次元配列状に接続された各コンピュータ(図1)に1領域を割り当てて、担当する領域に含まれる物体の情報を記憶させる。

3) 各コンピュータは、担当領域を通過する光線と物体との交差判定処理を行い、画像を生成する。

4) 物体と交差しない光線の情報は、隣接するコンピュータ間に設けられた通信手段を介して、光線が次に入射する領域を担当するコンピュータに転送される。

なお、これらの処理においては3次元デジタル直線(4)を用いて高速化を計っている。

3. 境界面スライド方式による領域の変形方法

境界面スライド方式による、負荷の再配分のための担当領域の変形方法は、次のようである。

- 1) 3本の座標軸の内から、1本を選択する(進行軸)。
- 2) 領域の境界面のうちで進行軸に垂直な境界面(移動面)を挟んで隣接する2つの領域をそれぞれ担当するコンピュータの負荷を比較する。ここでは、各コンピュータの負荷を次のように定義した。

$$\text{負荷} = \text{実行時間} / (\text{実行時間} + \text{待ち時間})$$

実行時間: 交差判定処理を実行している時間

待ち時間: 光線の到着を待っている時間

3) 移動面を進行軸に平行に移動して、負荷の重いコンピュータの担当領域の一部(移動領域)を負荷の軽いコンピュータの担当領域に移す(図2)。

4) 3)と同時に移動領域に含まれる物体の情報も転送する。

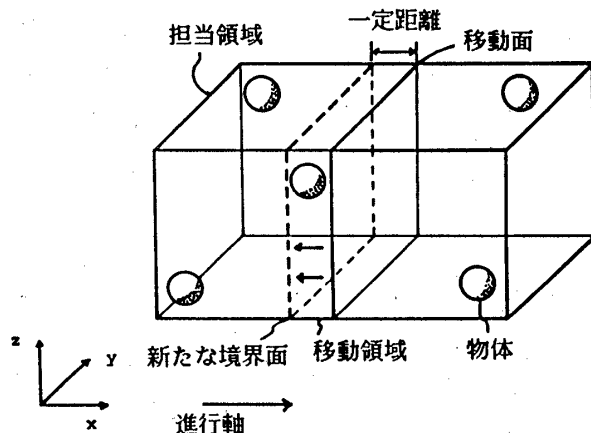


図2 境界面のスライド処理

Fast Ray Tracing by Sliding Boundary Surfaces

Keiji NEMOTO, Shingo FUKUI, Takao OMACHI

NEC Corporation

このような担当領域の境界面のスライド処理を一定時間間隔で行い、各コンピュータの負荷を適応的に変化させて、その均等化を計る。

またこれらの処理は、隣接するコンピュータ間に設けられた通信手段を介して局所的に実行できるので、担当領域の変形処理によるオーバーヘッドは小さい。

4. 並列処理シミュレータ

1台の汎用計算機上で、複数のコンピュータの動作を仮想的に実現するために開発した並列処理シミュレータの概要は、次の通りである。

- ・各コンピュータを独立のプロセスに割り当てて、各プロセス毎に実行時間と待ち時間を測定する。
- ・時間測定のために、各プロセスiは独自の時計tiを持つ。
- ・コンピュータ間の接続を介して転送されるデータに、転送が開始された時刻に転送時間を加えた時刻を到着時刻として保持させる。この到着時刻と時計とを比較して、各プロセスの待ち時間を決定する(図3参照)。
- ・データの転送および処理の実行時間の値は、コンピュータ間の接続速度や各コンピュータの処理能力に合わせて、任意に設定できる。
- ・本シミュレータに設けられたスケジューラは、1台の汎用計算機上で並列処理をシミュレートするために、各プロセスの時計を監視して、計算機上で実行するプロセスを高速に切り替える。
- ・各プロセスの実行時に、処理に対応する実行時間と待ち時間を時計に加えて、そのプロセスiの時計tiを進ませる。

5. シミュレーション結果

境界面スライド方式による負荷の再配分処理を評価するために、画像生成の開始時点における各コンピュータへの負荷の配分を変化させて、本方式を適用した場合としない場合との画像生成時間を比較した。具体的には、まず物体定義空間内に一様に物体(球)を配置し、これらの物体の位置を進行軸方向に移動させることにより一部のコンピュータの担当領域に物体を集中させて、初期的にこれらのコンピュータに負荷を集中させた。

図4に、本方式の負荷の再配分処理による、画像生成時

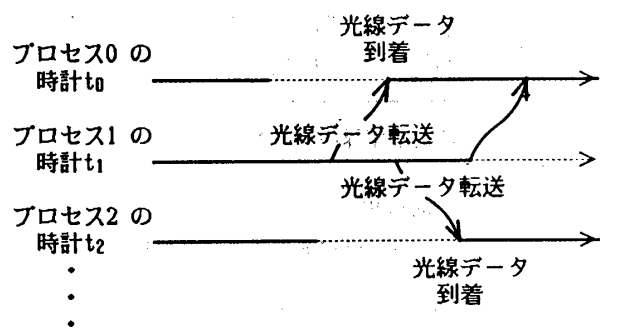


図3 プロセスの時間測定方法

間的高速化の効果を示す。図中の縦軸は、再配分処理を行う場合と行わない場合との画像の生成時間比であり、本方式の負荷の再配分効果を示している。また横軸は、初期的に負荷を集中させた領域の全領域に対する体積比を示している。ここでは、N³台のコンピュータを各座標軸に対して均等に配列しているので、進行軸方向にはN台のコンピュータが並んでいる。また、物体の位置は進行軸方向のみに移動させているので、最も少数の領域に物体を集中させた場合の体積比は1/Nとなる。ここで、図4より以下のことが分かる。

- ・最も少数の領域に初期的に負荷を集中させた場合、コンピュータの台数にかかわらず画像の生成時間を1/5(=0.2)程度に短縮できる。
- ・負荷が集中するのに従い、生成時間的高速化の効果も飽和することなくほぼ直線状に向上している。この結果は、再配分処理により各コンピュータの負荷が十分に均等化されていることを示している。
- ・コンピュータの台数が多い方が1台当たりの負荷が小さいので、負荷の再配分処理による効果は小さい。

6. おわりに

本報告では、汎用計算機上に構築した並列処理シミュレータを用いて、既に提案した境界面スライド方式による負荷の再配分処理を行い、画像生成時間的高速化の効果を確認した。特に、初期的に一方方向に対する負荷の集中度が最も高い場合の画像生成時間を1/5程度に短縮できる。本方式の処理は単純で処理量も少ないが、負荷の均等化による画像生成の高速化の効果を十分に得ることができる。

<参考文献>

1. M.Dippe, J.Swensen, CG18-3, '84, pp.149-158.
2. K.Nemoto, T.Umachi, GI '86, pp.43-48.
- 3.根本ら, 昭61信学総全大, 1216.
- 4.間瀬ら, 昭60信学総全大, 1175など.

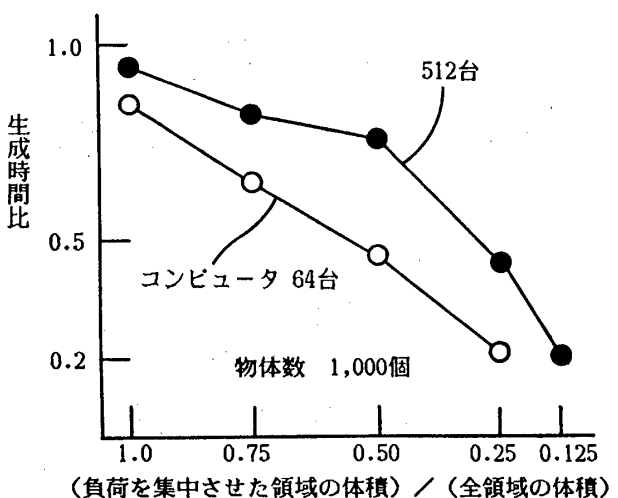


図4 境界面スライド方式による高速化の効果