

画像生成装置 MAGG における並列視線探索法の負荷分散について

栗野隆征[†] 河合利幸[†] 情木順一[‡] 大西啓修[‡]
[†]大阪電気通信大学 寝屋川市初町 18-8
[‡]三菱プレシジョン株式会社 鎌倉市上町屋 345

あらまし

画面分割により視線探索法を並列処理する場合の負荷分散手法として、動的負荷分散法と静的負荷分散法があげられるが、いずれの手法にも負荷分散が最適となる条件がある。今回我々は、画面分割型並列視線探索法を画像生成装置 MAGG に実装し、それぞれの負荷分散手法がどのような場合に有効であるかを調べた。その結果、いずれの負荷分散法においても、小画面数を多くしすぎると、画像生成時間がかえって増大することが分かった。また適応的な負荷の再分配を行うと、そのための処理時間以上の負荷分散効果があることが分かった。

和文キーワード コンピュータグラフィクス 視線探索法 並列処理 負荷分散法 画面分割法 トランスピュータ

On Load Balancing Methods for Parallel Ray Tracing System MAGG

Takayuki KURINO,[†] Toshiyuki KAWAI[†]
Jun-ichi ABEKI,[‡] Hironobu OHNISHI[‡]

[†]Osaka Electro-Communication University
18-8 Hatsu-cho, Neyagawa

[‡]Mitsubishi Precision Co.,Ltd.
345 Uemachiya, Kamakura

Abstract

In case of parallel ray tracing with screen subdivision algorithm, there are two techniques for load balancing. One is dynamic load balancing method and the other is static one. Each of them should have conditions that the load balancing becomes optimum. This time, we have implemented a parallel ray tracer on the image generation system MAGG, and have examined the effects of those methods. As the result, if the number of subscreens exceeds the optimum value, the rendering time will increase in any case. An adaptive load redistribution is also effective.

英文 key words computer graphics ray tracing parallel processing load balancing screen subdivision transputer

1 はじめに

近年、高品質で写実的な3次元陰影画像を生成できる視線探索法を並列処理を用いて高速化する研究が行われている [1]-[8].

並列化の手法の一つとしては画面分割法 [2] がある。これは生成する画像をいくつかの小画面に分割し各プロセッサに割り当てる手法で、各プロセッサは全ての物体データを必要とするが、各小画面については従来の視線探索法をそのまま使用できる。しかし、小画面を割り当てる際、各プロセッサの負荷を均一化する必要がある。その方法として2種類考えられる。

一つは動的負荷分散法 [2] で、生成画像をプロセッサ数よりも十分多い小画面に分割し、それらを動的に各プロセッサに割り当てるといったものである。この手法では小画面の大きさを小さくすることで負荷の均一化が図れるが、同時に小画面割り当ての頻度が高くなり通信時間が増え、全体の画像生成時間が増加する。

もう一つは静的負荷分散法で、各プロセッサが処理する小画面があらかじめ決まっているものである。この手法では小画面割り当てのための通信は必要ないが、小画面の計算時間のばらつきが大きい場合はプロセッサの負荷をある程度以上均一化することができない。

本研究では、それぞれの負荷分散法について比較実験を行い、どのような条件の時に各々の手法が効果的であるかを調査した。実験にはトランスピュータ 86 台を実装した並列画像生成装置 MAGG [9] (Mitsubishi Advanced Graphic Generator) を用いた。

その結果、小画面数を変化させたときの通信時間、負荷のばらつきが画像生成時間に及ぼした影響から、それぞれの手法の有効性および問題点が確認できたので報告する。

2 MAGG のハードウェア構成

MAGG は、ハイビジョン CG 画像を高速に生成するために開発された並列処理装置で、

描画プロセッサカード (GPU), フレームバッファカード (HDTV FB), ビデオ入力カード, ビデオ出力カードを実装している。

MAGG には合計 86 台のトランスピュータ (T800-20) が使用されている。各プロセッサ間の接続は図 1 のようになっている。

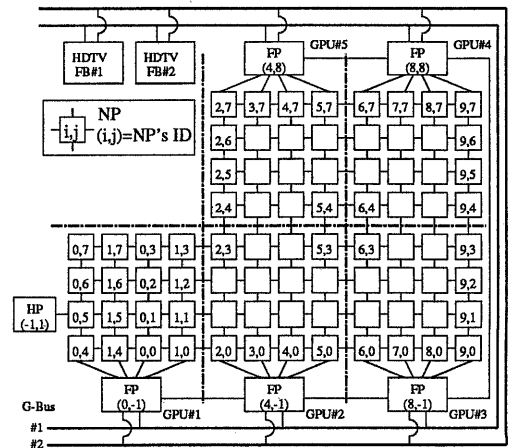


図 1: MAGG のハードウェア構成

制御プロセッサ HP (Host Processor) は、パーソナルコンピュータ (NEC PC-9801) の拡張ボード上に 1 台実装されている。2MB の局所メモリを持ち、MAGG 本体内のプロセッサとシリアルリンクにより接続されている。また、HP は、MS-DOS の機能を利用して、ファイルアクセスや、キーボードからの入力、モニタへの表示等を行う。

FP は、各 GPU に 1 台ずつ、合計 5 台ある。各 FP は、256KB の局所メモリを持つ他、各 GPU ごとに 8MB の共有メモリを持ち、G-バスと呼ばれる 2 本の高速バスのいずれか空いている方を用いて他の GPU の共有メモリ (合計 40MB) とフレームバッファへアクセスできる。また、シリアルリンクにより GPU 内の 4 台の NP と接続されており、シリアルリンクアダプタ経由で他の GPU の FP とも接続されている。

NP は、各 GPU に 16 台ずつ、合計 80 台ある。各 NP は、512KB の局所メモリを持ち、シリアルリンクにより GPU 内では 4×4 の 2 次元メッシュ状に結合されている。また GPU 間は、図 1 のように接続されている。

各トランスピュータ間の通信は、1024 バイトを 1 個のパケットとして、シリアルリンク経由で行われる。各プロセッサの通信プロセスは、約 3000 個のパケットを格納可能な FIFO バッファを持っている。転送先のプロセッサのバッファが溢れると、シリアルリンク上を回遊し、バッファが空くまで待たされる。

また、共有メモリおよびフレームバッファと NP 局所メモリとの間では DMA バスを用いて高速な DMA 転送を行うことができる [10]。しかし、DMA 転送を使用する際には、FP-NP 間でそれぞれのメモリのアドレス情報の通知および同期をとるためのシリアルリンク通信が事前に必要である。

3 並列化手法

並列化手法としては、生成画像をいくつかの小画面に分割し、それぞれの小画面を各プロセッサが処理する画面分割法を用いた。ここでは、画像生成に必要なデータの転送方式、各プロセッサの処理、画面の分割方法と割り当てについて述べる。

3.1 データ転送方式

3.1.1 一括転送方式

一括転送方式は、マッピングデータを除く画像生成に必要なデータを画像生成前に各 NP の局所メモリにあらかじめ転送しておく方式である。この方式では画像生成中の通信が比較的少ないが、物体データ量が NP の使用可能なメモリ容量に制限されるという問題がある。

3.1.2 逐次転送方式

逐次転送方式では、物体データおよびマッピングデータ以外のデータは、画像生成前に NP の局所メモリにあらかじめ転送しておく。

物体データおよびマッピングデータに関しては、各 NP での画像生成処理中に必要になった時に、そのデータを逐次転送する。この方式では、データ量の制限が大幅に緩和される反面、通信時間が増加する。

3.2 各プロセッサの役割

画像生成処理は、HP、FP、NP でそれぞれ異なっており、処理手順の概要を次に示す。ただし以下の記述の中で、DMA 転送と明示されていないものは全てシリアルリンク転送によって行う。

(1)HP における処理

HP は、データファイルからの読み出しを行い、FP に転送する。動的負荷分散法の場合は画面分割を行い、NP からの小画面要求パケットを待つ。要求がくれば逐次小画面データを要求してきた NP に転送する。静的負荷分散法ではこの処理は行わない。

動的負荷分散法では、未割り当ての小画面が無くなった後、小画面を要求してきた NP に対しては逐次終了メッセージを送る。静的負荷分散法では、待ち状態となった NP が全 NP 台数に達したときに終了メッセージを NP に転送する。全ての NP に終了メッセージを送った時点で FP にも終了メッセージを送り、FP の処理も終了となる。

(2)FP における処理

FP は、HP から画像生成に必要なデータを全て HP から受信し解析を行い、物体の座標変換やバウンディングボックスの生成などの前処理を行い、共有メモリに格納する。この処理は 5 台の FP のうちの 1 台が行い、他の 4 台は共有メモリ上に配置されたデータのアドレステーブルを受け取る。

次に NP からのパケットを待つ。それがデータ転送要求パケットであれば、要求されているデータの格納場所をアドレステーブルより求め、DMA 転送する。NP で計算された輝度情報であれば、それをフレームバッファへ書き込む。

HP から終了メッセージを受け取るまで以上の処理を繰り返す。

(3) NP における処理

NP は、まず同一 GPU 内の FP に対して物体データ及びマッピングデータ以外のデータの DMA 転送を要求する。受信後、NP の局所メモリ上に物体データを保持するための領域 (物体データキャッシュ) を用意する。

次に、動的負荷分散法では、HP に対して小画面要求パケットを送る。小画面データパケットが到着すれば、その小画面の画像生成を開始する。静的負荷分散法では、NP の ID 番号から計算した各自の担当小画面について画像生成を開始する。このとき必要な物体データがキャッシュ上に存在しなければ、GPU 内の FP に DMA 転送を要求する。物体データキャッシュの容量が不足していれば、既に存在している物体データのうち、最後に使われてから最も長時間使用していない物体データから削除していく。マッピングデータも同様に、輝度計算で必要になった時点で FP に対して DMA 転送を要求する。

小画面の 1 走査線分処理が終了するごとに、輝度情報をパケットにまとめ FP に転送する。一つの小画面の処理が終わると、動的負荷分散法では、HP に対して次の小画面要求を送る。以上の処理を HP から終了パケットを受け取るまで繰り返す。静的負荷分散法では、次の担当小画面を自分で求め、担当小画面が無くなるまで以上の処理を繰り返す。全ての担当小画面の処理を終了した時点で HP に対して待ち状態を知らせるパケットを送り、HP から終了パケットを受け取った時点で全ての処理を終了する。

3.3 画面の分割方法と割り当て

今回は、画面全体を均等な大きさのメッシュ状に分割した。

動的負荷分散法では、HP がこれらの小画面を逐次 NP に割り当てる。

静的負荷分散法では、各 NP が各自で処理すべき小画面を求め、担当小画面が無くなるまで処理を繰り返す。実際には、図 2 のように画面内の決まった小画面について処理を行う。このため、仮に計算負荷の高い小画面が

連続している場合でも、それらは別々の NP が処理することになり、特定の NP が負荷の高い領域を集中的に処理することが回避できると考えられる。

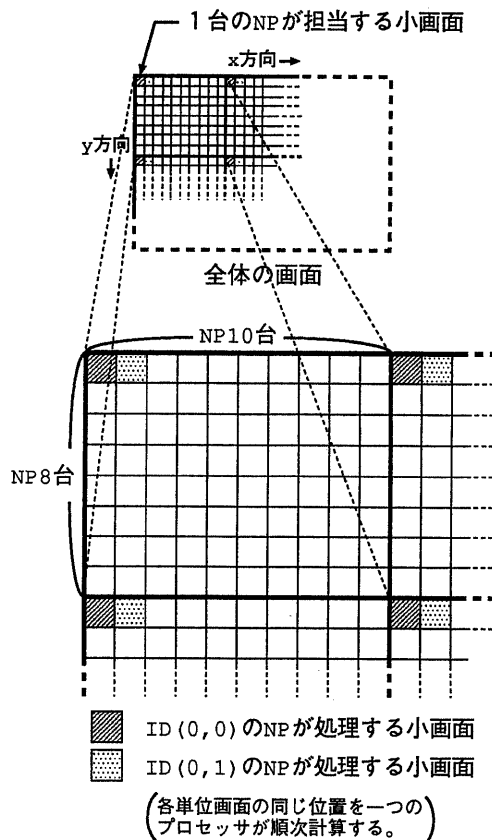


図 2: 静的な割り当て方法

3.4 適応的再分割

動的負荷分散法において未割り当ての小画面がなくなった後、処理を終了した NP は、その時点でまだ画像生成を行っている NP があっても、その処理が終了するまで何もしないで待ち続けることになる。そこで、まだ処理中の NP が持つ小画面の未処理領域を、適応的に再分割・再割り当て [10] する手法を用いた。この手法は静的負荷分散の場合にも適用が可能である。

以下にその手順を示す。

1. HP が全ての小画面の割り当てを終了した後、処理待ち NP の台数が指定台数(今回は 1 台)に達した時点で、まだ画像生成を行っている NP に対し、再分割要求パケットを送信する。
2. 要求を受けた NP は、担当小画面内の未処理部分を指定割合(今回は 50%)で2つに分割し、後半領域の処理を放棄する。放棄した領域を残存小画面情報として HP へ送信し、引き続き残りの小画面領域の画像生成を行う。未処理の領域が 1 画素以下の場合、残存小画面なしとする。
3. HP は、NP から送られてきた残存小画面情報を残存小画面キューに入れ、後の小画面要求時に割り当てていく。

4 実験結果

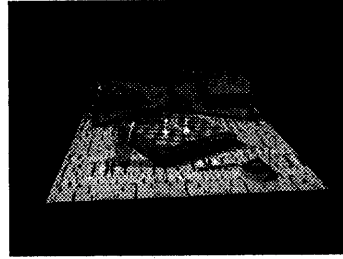


図 3: 実験に用いたシーン

今回実験に用いたシーンを図 3 に示す。画素数 640x480, 物体数 135 個, 反射処理 1 回まで, 屈折処理 2 回まで, 影処理あり, アンチエイリアシングありという条件で実験を行った。

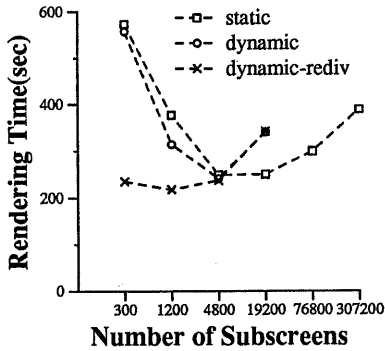


図 4: 小画面数と画像生成時間の関係 (一括転送)

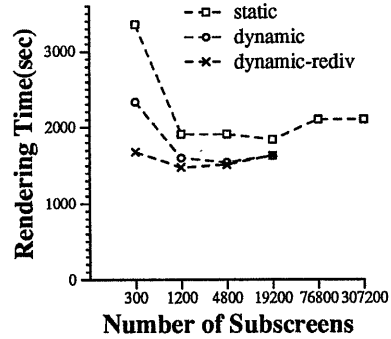


図 5: 小画面数と画像生成時間の関係 (逐次転送)

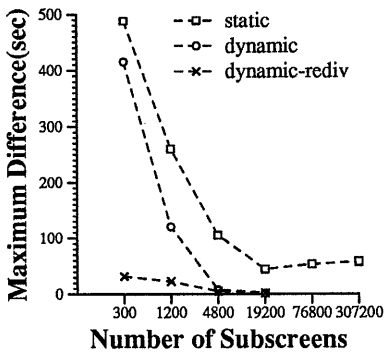


図 6: 小画面数と最大処理時間差の関係 (一括転送)

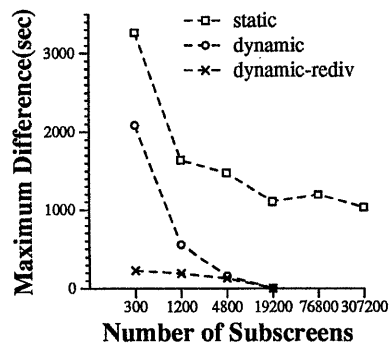


図 7: 小画面数と最大処理時間差の関係 (逐次転送)

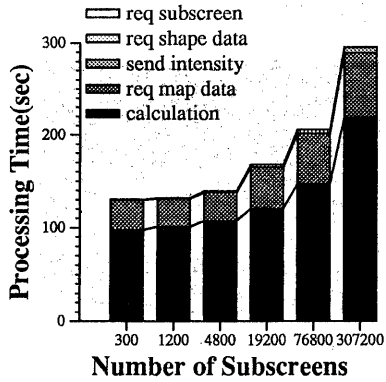


図 8: NP 1 台あたりの平均処理時間とその内訳 (静的負荷分散法・一括転送)

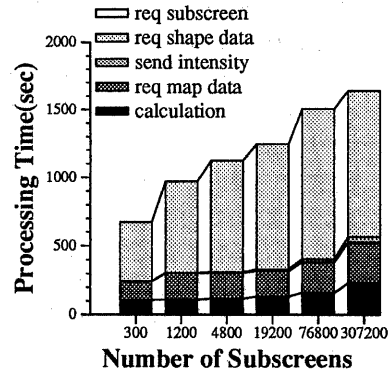


図 9: NP 1 台あたりの平均処理時間とその内訳 (静的負荷分散法・逐次転送)

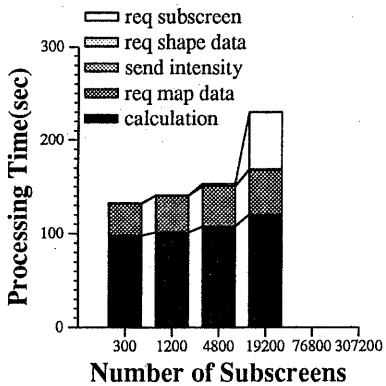


図 10: NP 1 台あたりの平均処理時間とその内訳 (動的負荷分散法・一括転送)

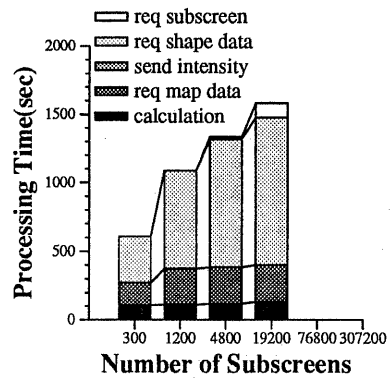


図 11: NP 1 台あたりの平均処理時間とその内訳 (動的負荷分散法・逐次転送)

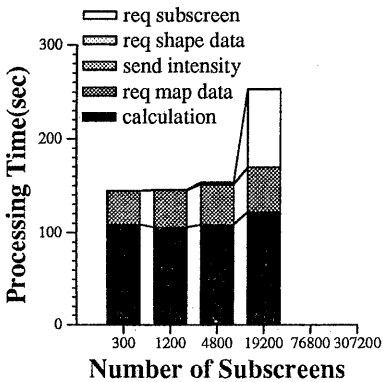


図 12: NP 1 台あたりの平均処理時間とその内訳 (動的負荷分散法・一括転送・再分割)

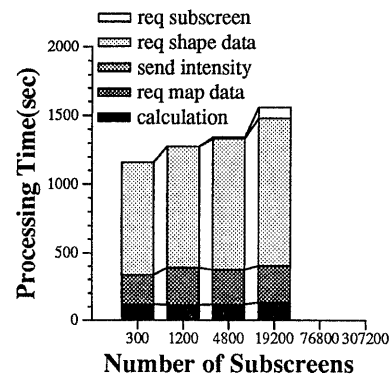


図 13: NP 1 台あたりの平均処理時間とその内訳 (動的負荷分散法・逐次転送・再分割)

それぞれの負荷分散手法において小画面数と負荷分散の効果を調べるために、NP80 台を使って小画面数を変化させた場合の各手法における画像生成時間と各プロセッサの最大処理時間差の関係をグラフ化した(図 4-7)。また NP1 台あたりの平均処理時間の内訳をグラフ化した(図 8-13)。なお、以下の実験結果において、“dynamic”は動的負荷分散を用いた結果、“dynamic-rediv”は動的負荷分散に加えて適応的再分割を用いた結果、“static”は静的負荷分散を用いた結果、“一括転送”は一括転送方式、“逐次転送”は NP の物体データキャッシュ容量を全物体形状データ量の 20%に制限した逐次転送方式、“再分割”は適応的再分割を行った場合をそれぞれ表している。

5 考察

1. 動的負荷分散法では、小画面数をある値以上にすると、最大処理時間差は小さくなるものの、画像生成時間は逆に増加しはじめる(図 4)。これは、図 10,12 より小画面割り当て時間が急増したことが原因である。その理由として 1 小画面の処理時間が短くなったため小画面割当要求が短時間に大量に発生し、これに HP が対応しきれなくなったということが考えられる。

2. いずれの手法においても、NP 1 台あたりの平均処理時間の内訳を見ると、ある程度以上小画面数を多くすると、実計算時間とマッピングデータ転送時間が増加している。逐次転送を行った場合は、さらに物体データ転送時間も増加している。

実計算時間については、交差判定回数を減少させるための画面上でのクリッピング処理 [2]におけるリスト生成のオーバーヘッドの増加が考えられる。

またアンチエイリアシング処理の際、隣接した小画面の境界画素については、それぞれの小画面で同一視線の探索を行うことになる。小画面が小さくなれば、このオーバーヘッドが増大する。

近接した画素には同一物体が投影される可能性が高い(画素間のコヒーレンス)。1 小画面内の画素数が減ると、このコヒーレンスを利用できる可能性が小さくなる。すなわちキャッシュヒット率が下がり、マッピングデータや物体データの転送時間が増加する。

3. 図 6 の静的負荷分散法における最大処理時間差が一定値よりも下らない理由は、小画面数が増えたことで各 NP での処理時間の分散(すなわち 1 小画面の処理時間の分散)が大きくなったからであると考えられる。
4. 適応的再分割を行ったことによる画像生成時間の増加は見られなかった(図 4,5)。これは、再分割・再割り当てに要した時間よりも、その効果が十分大きかったことを示している。

6 まとめ

動的負荷分散法を用いた場合、小画面数に関して、画像生成時間、最大処理時間差共に最小となるような最適値が存在する。

しかし、それ以上に小画面数を増やしても HP の処理能力の限界による通信時間の増大によって、むしろ画像生成時間は長くなった。また小画面数が最適値よりも少ない場合も画像生成時間は長くなるが、適応的再分割を用いることで負荷が効果的に分散され、最適な小画面数における処理時間に近い結果が得られることが分かった。

静的負荷分散法では、小画面数を多くすればするほど負荷分散が良好となるはずであったが、考察で述べた理由によりその効果には限界があることが分かった。また静的負荷分散法の場合にも適応的再割り当てを行うことで改善が期待できる。

今後の課題として、静的負荷分散法において適応的再割り当てを行い、その開始時期や放棄領域によってどの程度性能が向上するのか調べたい。

参考文献

- [1] 吉田, 成瀬, “コンピュータグラフィックス用プロセッサの動向”, 情報処理, 29, 10, pp.1109-1114, 1988.
- [2] 西村, 出口, 辰己, 河田, 白川, 大村, “コンピュータグラフィックスシステム LINKS-1 における並列処理の性能評価”, 信学論 (D), J68-D, 4, pp.733-740, 1985.
- [3] 河合, 山下, 大野, 吉村, 西村, 下條, 宮原, 大村, “並列画像生成システム LINKS-2 のアーキテクチャ”, 情処学論, 29, 8, pp.729-740, 1988.
- [4] 日高, 平井, 中瀬, 浅原, 鷺島, “マルチコンピュータ画像生成システム MC-1”, 情処学計算機アーキテクチャ研資, 58-5, 1985.
- [5] 安部, 西村, 高島, 平井, 中瀬, “画像生成システム SIG-2”, 情処学グラフィクスとCAD 研報, 37-9, 1989.
- [6] 成瀬, 吉田, 高橋, 金子, “グラフィックス計算機 SIGHT の基本構想”, 信学論 (D), J69-D, 3, pp.474-476, 1986.
- [7] 石井, 池坂, 石畑, “高並列計算機 CAP”, 信学論 (D), J71-D, 8, pp.1375-1382, 1988.
- [8] H.Kobayashi, H.Kubota, S.Horiguchi and T.Nakamura, “Effective parallel processing for synthesizing continuous images”, Proc. of CG International '89, pp.343-352, 1989.
- [9] 大西, 情木, 戸村, 吉良, “ハイビジョンCG用高速画像生成装置の並列処理手法”, 信学技報, IE89-61, 1989.
- [10] 河合, 大西, 情木, 大西 “画像生成システム MAGG のための画面分割型並列視線探索法とその評価”, 信学論 (D-II), J76-D-II, 8, pp.1763-1771, 1993.