

3次元物体における面ペアの衝突並列検査の 通信操作に対する評価*

3H-2

二宮 茂樹 渋谷 進†
茨城大学工学部情報工学科‡

1 はじめに

3次元物体の衝突問題は、ロボティクス、コンピュータグラフィックス等多くの分野で中心的な問題の一つである [1][2]。正確に物体間の衝突を検出しようと考えるとき、例えば、作業空間中の物体の全ての面と稜線の組合せの交差を調べるという方法が考えられる。しかしこの方法では、物体の数や物体の面数が多くなるにつれ、衝突面検出の計算量は大きく増加してしまう。

3次元物体の衝突面を検出する方法としては、離散時間の衝突検査で物体間の衝突面を実際に衝突が起きる直前に特定する衝突面検出アルゴリズムが開発されてきた [3]。また文献 [3] では、共有メモリを用いて、並列アルゴリズムを実現している。

本研究では、3次元物体の衝突面検出を並列化し、分散メモリ MIMD 型並列計算機を用いて、衝突面検出実験を行った。並列化は、面ペアをホストプロセッサから各セルプロセッサへ送る三つの方法を用いた実験を行い、その通信操作の面から比較、評価した。

2 衝突面検出のアルゴリズム

このアルゴリズムでは、3次元空間中の物体の衝突についてその衝突面を検出する。各物体は一離散時刻毎に移動し、その移動量はあらかじめ分かっているとす。各 step で、検出すべき領域や面が見つからないときは、次の時刻へ進む。

step1—外接直方体の重なり領域の検出

各物体に対して外接直方体を生成し、各対の物体の重なり領域を検出する。

step2—重なり領域と交差する候補面の抽出

重なり領域を持つ対の物体に対し、各物体を構成している全ての面と重なり領域との交差を調べる。また、このとき交差する面を候補面とする。

step3—8分木を用いた面ペア検出

候補面が作業空間中に存在する位置を、深さ l の 8 分木で表す。8 分木のルートノードを step1 で検出した重なり領域とし、順次空間を 8 分割した木で表現する。また、最下層のノードの大きさは、面が一離散時間内に移

動する量よりも十分大きいとする。8 分木の構成を図 1 に示す。

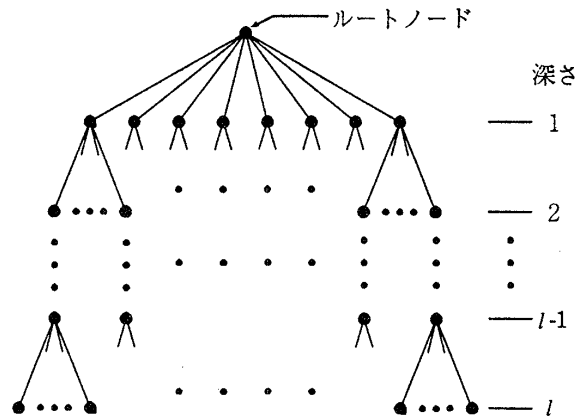


図 1: 8 分木の構成

8 分木を用いて、候補面がどの空間中存在するかを調べる。最下層のノードにおいて、異なる物体からの面の組合せを面ペアとする。

step4—面ペアの衝突検査

各面ペアについて、現在の時刻を t_i とすると、時間 $[t_i, t_{i+1}]$ に各面によって構成される物体が交差していれば、この面ペアは衝突すると判断する。

3 逐次的な衝突面検出

ここでは、三角形で構成された面を持つ二つの球体が衝突する実験を行った。球体の面数は 162 個である。また、今回の実験では step4 まで処理が進む実験を行った。各実験の実行結果を表 1 に示す。実行時間は、3 回測定した平均値である。表 1 から、step4 が衝突面検出処理の全実行時間中で大きな比重を占めているので、step4 を並列化する。

表 1: 逐次処理の実行結果 (実行時間:秒, 比率:%)

	step1	step2	step3	step4	計
実行時間	0.0119	0.1044	0.0274	0.6150	0.7587
比率	1.6	13.8	3.6	81.0	100.0

4 並列化

本実験では、分散メモリ MIMD 型並列計算機 AP1000 を用いた。AP1000 は、ホストプロセッサと 8×2 の構成の 16 台のセルプロセッサから成っている。各セルは 25MHz の SPARC プロセッサで、メモリを 16Mbyte

*An Evaluation of Communication Operations for The Detection of Colliding Pair-faces among 3D Object

†Shigeki Niimiya, Susumu Shibusawa

‡Department of Computer and Information Sciences, Ibaraki University

持っている。

step4について、並列化を行うことを考える。衝突面検出のstep4は、面ペア検査リストに含まれている面ペア一つ一つに同様の処理を行っている。そこで、各セルが高々一つの異なる面ペアを持つように、面ペアを各セルに分配し、並列化を行った。この場合の各セルに面ペアを送る方法として、次のような三つの方法を用いた。

方法1 step3までで得られた面ペアから、1セルが処理する面ペア数を計算し、その数ずつホスト-セル通信で送る。

方法2 ホストからセル0へ全ての面ペアを送り、セル-セル通信で全てのセルが均等な面ペアを持つように、図2のように送る。

方法3 方法2のセル0の役目をホストにさせて、面ペアを送る。このとき図2のセル0からの通信はホスト-セル通信になる。ホストは最後にセル0にD/16の面ペアを送る。

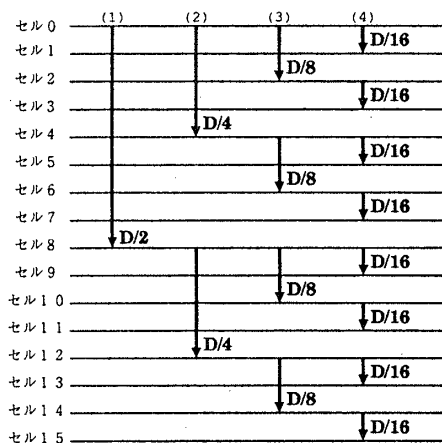


図2: 16セル用いたときの通信の方法 (D:面ペア数)

5 実験結果

16セル用いた場合の実行結果を図3に示す。図は、逐次時間と並列時間の比率と、衝突検査を行う面ペア数の関係を示している。ここで、衝突検査を行う面ペアのうちの半分が衝突するデータを扱った。また、5回測定した平均値を測定時間とした。

図3をみると、全ての方法について面ペアの数が増えるほど比率は良くなっていることが分かる。ただし、面ペアが増える毎に比率の改善が少なくなっているのが、限界があると考えられる。また、100から1000までの面ペア数について、一番効率の良いのが方法3であることが分かった。方法1と方法2について、面ペア数が700を過ぎると効率が逆転している。

6 評価

方法1~3は、衝突検査の計算と衝突する面ペアの収集操作は同じであり、分配操作が異なるのみである。方法1において各セルに面ペアが分配された時間を測定し

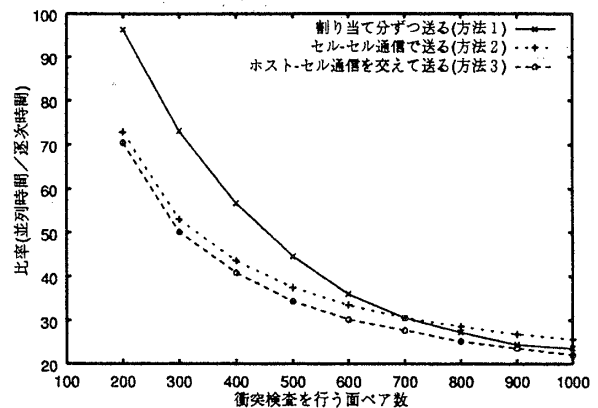


図3: 比率と面ペア数の関係

たところ、セル15が最も時間がかかっていた。同様に、方法2についてはセル15が、方法3についてはセル0が最も時間がかかっていた。このことから、 T_{hc} をホスト-セル通信、 T_{cc} をセル-セル通信として、面ペア分配の時間は次のように表わせる。

方法1 $T_{hc}(D/16) \times 16$

方法2 $T_{hc}(D) + T_{cc}(D/2) + T_{cc}(D/4) + T_{cc}(D/8) + T_{cc}(D/16)$

方法3 $T_{hc}(D/2) + T_{hc}(D/4) + T_{hc}(D/8) + T_{hc}(D/16) + T_{hc}(D/16)$

送っている面ペアに注目すると、方法1のセル15は全部でDのデータ量を、方法2のセル15は全部で $\frac{31}{16}D$ のデータ量を、方法3のセル0は全部でDのデータ量を通信している。方法1と3を比較すると、その通信操作とデータ量は同じである。しかし、実験結果から面ペア数が少ないと比率の差は大きく、面ペア数が増えると差が縮んでいく。このことから、ホスト-セル通信は通信するデータ量が少ないと効率が悪いと考えられる。

7 おわりに

本研究では、分散メモリMIMD型並列計算機AP1000を用いて、3次元物体の衝突面検出アルゴリズムの並列化を行った。そして、面ペアの分配操作について時間を表す式を作り、評価した。今後の課題として、セル数を変化させた場合や、扱う面ペアデータを変えた場合の実験などが挙げられる。

謝辞

本研究に際し、ご討論頂いた茨城大学工学部の研究室の皆様へ深く感謝致します。

参考文献

- [1] M. de Berg, M. van Kreveld, M. Overmars and O. Schvargkapf: Computational Geometry - Algorithms and Applications, Springer, 1997.
- [2] F.P. Preparata and M.I. Shamos(著), 浅野孝夫, 浅野哲夫(訳):計算幾何学入門, 3章, 総研出版, 1992.
- [3] 北村喜文, Andrew Smith, 竹村治雄, 岸野文郎:並列計算機による3次元物体の実時間衝突面検出, 信学論(D-I), Vol.J78-D-I, No.8, pp788-797, 1995.