

ツリーデータ構造を用いた高効率粒子法アルゴリズムの開発

知能流体力学研究室 松林 尚理

1. 緒言

近年のコンピュータグラフィクスでは描かれる物体に物理的に説得力のある動きを持たせるために描画と平行して物理シミュレーションを行う物理ベース CG と呼ばれる技法が盛んに研究されている。描画の余剰リソースで数値計算を行うリアルタイム物理ベース CG では計算リソースは慢性的に不足しており、シミュレーションをより短時間で計算出来るアルゴリズムには高い需要がある。一般的に物理ベース CG では連続体を離散化するために粒子法が用いられる。粒子法では、空間の離散化に対し格子を用いない代わりに粒子を空間に配置するため、複雑かつ時間的に変化する形状や混相現象の取り扱いが用意である。しかし、粒子の数が増えると近接粒子の探索に要する計算量は膨大になり、リアルタイムシミュレーションが困難になる。この問題を克服するために、高効率な粒子探索アルゴリズムの開発が重要な課題となる。従来の粒子探索アルゴリズムでは、粒子の探索用に確保するメモリ量が多く、さらにメモリ内の粒子情報が疎になっておりメモリへのアクセスが非効率である。これまでに、高効率な粒子探索アルゴリズムの開発に関する研究も行われているが、実用化にはいくつかの問題点があり、今後さらなる高効率アルゴリズムの開発が期待されている。⁽¹⁾ そこで、本研究では、ツリーデータ構造を用いた高効率粒子法アルゴリズムの提案を行い、そのパフォーマンスについて吟味する。

2. 計算方法

2.1. 粒子法

粒子法は連続体を一定の質量を持った有限個の粒子の集まりに離散化する離散化手法である。粒子法では連続体の挙動は粒子の運動によって計算され、勾配や拡散は近接粒子との相互作用として離散化される。そのため、近接粒子を素早く探し出す必要があり、全ての粒子はバケットソートされる。このバケットソートに必要なメモリを静的に確保すると、メモリ内の粒子情報が疎になり、効率の低下につながる。このため、粒子情報を密に記録出来る動的なデータ構造が必要である。

2.2. ツリーデータ構造

本研究で提案するツリーデータ構造は1つのノードから 8^n 本の枝が出ている多分木である。すなわち、このツリーデータ構造は、3次元格子を各軸方向に 2^n 等分する階層格子である。このツリーデータ構造を用いることで、粒子情報を密に記録することができる。一般的な階層格子である Octree が空間を8分割するのに対して、このツリーデータ構造は空間をさらに細かく分割する。これによって、粒子情報に到達するまでに辿らなければならないノードの数が大幅に削減され、近接粒子の探索が高速になる。また、このツリーデータ構造ではノードを辿るために必要となる比較演算は、より高速なビット演算で代用することが出来るという利点がある。

2.3. 計算条件

計算例として、高さ4mから自由落下し床面に衝突する 1m^3 の水(20°C)の挙動をMPS(Moving Particle Semi-implicit)法による粒子法シミュレーションで計算した。粒子探索アルゴリズムとして、ツリーデータ構造の他に、静的なデータ構造、スライスデータ構造を用い、パフォーマンスとメモリ効率を比較した。

3. 計算結果および考察

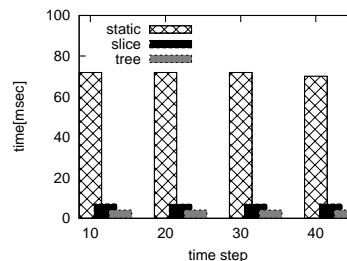


図1 計算時間

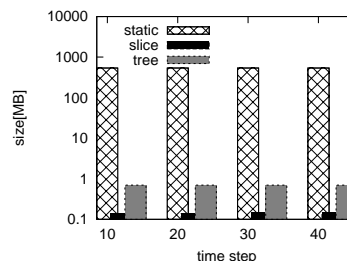


図2 消費メモリ

図1は時間ステップと粒子探索に要した時間の関係である。ツリーデータ構造は他の手法と比較して短時間で近接粒子を探し出せることがわかる。図2は時間ステップと粒子探索に必要なメモリのサイズの関係である。ツリーデータ構造は静的データ構造よりメモリ消費が少ないが、スライスデータ構造よりやや多くのメモリを消費することがわかる。

本研究では、粒子法シミュレーションにおいて近接粒子を素早く探し出すのに有用なツリーデータ構造を提案した。

文献

- (1) 原田隆宏, 越塚誠一, 河口洋一郎: GPUを用いた粒子法シミュレーションのためのスライスデータ構造, Trans. of JSCES Paper No.20070028, 2007.