

審査の結果の要旨

氏 名 原田 隆宏

本論文は、映像制作のための粒子法を開発するとともに、様々な粒子法のアルゴリズムを並列化することでマルチコアプロセッサを用いた高速化をおこない、その結果、リアルタイムアプリケーションに用いることができる、高速かつ高解像度の粒子法シミュレーションを実現したものである。本論文は2部9章で構成されている。

第1章は序論で、本研究の背景、従来の研究および本研究の目的が述べられている。

第1部では映像制作のための粒子法の開発が述べられている。第2章および第3章の内容は、流体解析にこれまで用いられている Moving Particle Semi-Implicit (MPS) 法および Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) に対して、壁面境界条件として壁の外側に粒子を配置しない計算手法が開発されたことである。本手法により3次元複雑形状の粒子法シミュレーションにおいて計算容量の低減と計算速度の向上が実現された。

第4章では粒子法シミュレーションにおける近傍粒子探索のアルゴリズムとして、スライスグリッドが提案されている。そして定量的比較により、スライスグリッドは従来のユニフォームグリッドとほぼ同じ速度でデータの構築とアクセスが可能であるだけでなく、従来の四分木と同等のメモリしか消費しないということを示した。これによってより大規模な計算が可能になった。

第5章では2段階で流体粒子から流体表面を構築する手法を開発した。この手法を用いることで粒子法の計算結果の可視化において、薄い膜や鋭いエッジを持つ表面を構築することが可能になり、粒子法シミュレーションを用いた映像制作の品質を向上させることに貢献した。

第2部では粒子法シミュレーションを並列化し、マルチコアプロセッサである Graphics Processing Unit (GPU) を用いて様々な粒子法シミュレーションを高速化する技術を開発した。第6章ではユニフォームグリッドを用いた近傍粒子探索を GPU 上で実行する手法を開発した。さらにこの手法を第1部で開発したスライスグリッドに応用して、スライスグリッドを用いた近傍粒子探索を GPU で行なう手法を開発した。これらの成果により粒子法シミュレーションを GPU を用いて大幅に高速化することができた。

第7章では様々な粒子法シミュレーションのアルゴリズムの並列化をおこない、GPU を用いてその有効性を確認した。それらは、Discrete Element Method (DEM) を用いた粉体シミュレーション、SPH を用いた流体のシミュレーション、粒子を用いた剛体シミュレーション、流体と剛体との連成計算、流体と布との連成計算、弾性体シミュレーション、撃力を用いる剛体シミュレーション、木構造を用いた広域衝突検出である。特に DEM と SPH では約10倍以上の計算の高速化を実現した。これにより数万粒子をリアルタイムで計算することが可能になり、高解像度のシミュレーションをリアルタイムアプリケーションで用いることができるようになった。

第8章では複数のGPUを用いた粒子法シミュレーションの高速化が示されている。この手法ではサーバとなる全てのデータを管理するプロセッサを置かず、計算領域を分割してそれぞれのGPUが1領域を受け持つてそのデータ管理のみを行なうものである。そのデータ管理において、近傍粒子探索を効率化するために構築した格子を再利用することによって動的なデータ管理のオーバーヘッドを押さえ、計算を行なうGPUの数にほぼスケールした計算性能を出している。また4個のGPUを用いることによって100万粒子のシミュレーションの1タイムステップを約30msで計算することを可能にしている。

第9章は結論であり、本研究がまとめられている。

以上を要するに、本論文では、映像制作のための粒子法の開発をおこなうとともに、様々な粒子法の並列計算アルゴリズムを考案してマルチコアプロセッサを用いた高速化をおこなっている。その結果、リアルタイムアプリケーションに用いることができる、高速かつ高解像度の粒子法シミュレーションを実現している。こうした成果は今後の計算科学技術の進展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。