

氏 名	ムジャヒド アラム Mujahid Alam
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 127 号
学位授与の日付	平成 16 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	情 報 学 研 究 科 通 信 情 報 シ ス テ ム 専 攻
学位論文題目	Parallel Simulation of Realistic Shape and Force of Virtual Cloth with Adaptive Meshes in OpenMP (OpenMP による適応格子を用いた仮想布のリアルな形状と力覚の並列シミュレーション)
論文調査委員	(主 査) 教 授 富 田 真 治 ・ 教 授 湯 淺 太 一 教 授 美 濃 導 彦

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はコンピュータグラフィックスの一分野である布の高速かつ高品質表出技術に関するものであり、下記の章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的、本論文の構成について述べている。

第 2 章では、これまでになされた布のモデル化、適応型メッシュによるシミュレーション法、並列コンピュータによる高速シミュレーションに関するサーベイを行い、本研究の位置づけを明確にしている。

第 3 章では、布のモデル化について述べている。布の基本特性の測定法である「Kawabata」評価方式を紹介し、曲げ特性および伸び特性に基づいた粒子 (particle) モデルによる布モデルを提案している。また、布のヒステリシス特性をモデルに取り込むとともに、布の形状と力を同時計算できる計算モデルを提案し、将来の人間とのインタラクションで重要となる力覚を意識したモデルとしている。計算モデル内では、共役勾配法でエネルギーの最小化がなされている。

第 4 章では、提案した布モデルによる布が、逆に「Kawabata」計測システムで得られる特性と同一となることを検証し、モデルの正当性を確かめている。

第 5 章では、適応型メッシュのメッシュ再構成時におけるデータ構造の再構成法について述べ、種々の適応型メッシュ法の評価を行っている。布のシミュレーションにおいては、布の折れ曲がり点では密に、フラットな領域では粗く、適応的にメッシュサイズを変更することで、高速かつ品質を維持した布シミュレーションが可能となる。適応型メッシュ粗法 (Adaptive Mesh Coarsening: AMC 法)、適応型メッシュ密法 (Adaptive Mesh Refining: AMR 法)、適応型メッシュ粗密混合法 (Adaptive Mesh Refining and Coarsening: AMRC 法) について、高速性の面において、適応型メッシュ粗密混合法の優位性を示している (単一密メッシュの場合と比較して処理時間は $1/3$ に減少)。また、品質比較の尺度として単一密メッシュの場合と比較した品質エラー (Quality Error) を導入し、一定の許容値内で品質低下が生じないことを示し、AMRC 法はこの許容値内で他の方式と比較して最も高速に実行可能であることを示した。

第 6 章では、共有メモリ型マルチプロセッサ Fujitsu HPC2500 上で AMRC 法によるプログラムを実行させ、スケーラブルな高速化が可能であることを示している。使用した並列言語は OpenMP である。システムで提供されているさまざまな負荷分散方式を用いた性能評価を行うとともに、アクティブリストとよばれる自然な負荷分散方式を考案し、それが最も高速であることを実測で示している。評価のために使用した布モデルはメッシュサイズが 1000×1000 の実用に耐えうるものであり、その布が 1 つの箱、および 3 つのボールの上に置かれた場合について、それぞれ評価データを得ている。いずれの場合にもスケーラブルな台数効果を得ている。また、プログラム内の逐次処理部分、同期に伴うオーバーヘッド部分などを実測し、プロセッサ台数が極めて増大した場合の並列処理の効果と限界を示している。

第 7 章は結論であり、本研究で得られた主要な成果について要約している。また、メッセージパッシング型マルチプロセッサ上での実装上の問題点の解決や実時間アニメーションへの展望など将来研究を示唆している。

論文審査の結果の要旨

本論文は布シミュレーションに関するものであり、下記の成果が得られている。

1. 力と形状の同時並行的な計算法の導入

本研究では、KES 法による計測データを、力に対して形状、あるいは形状に対して力を定める陽関数として利用するのではなく、力と形状の関係に関する部分的な制約を与える陰関数として利用し、各物理特性の与えるこのような制約とニュートンの運動方程式による制約とを同時に満足する力と形状の組み合わせを求める制約充足型のアプローチを導入した。このようなアプローチでは、仮想布モデルの力と形状が、それぞれの物理特性に関する計測データの与える一方向的な関係を常に維持しながら、同時並行的に計算されることになるため、KES 法による計測データを反映した視覚と力覚の両方のフィードバックを同時に生成することができる。

2. データの操作履歴への依存性の導入

本研究では、KES 法による計測データが、零から限界値までの外力の単調増加後、再び零までの単調減少、といった最も極端な操作履歴に対するデータであることから、それ以外の操作履歴に対する曲線は、KES 法による計測データの描くループの内側を滑らかにつなぐものとなるという仮定を置き、そのような曲線に沿った力と形状の関係が操作履歴に応じて適用されるメカニズムを実現した。

3. 適応型メッシュ粗密混合法の有効性の検証

布のシミュレーションにおいては、布の折れ曲がり点では密に、フラットな領域では粗く、適応的にメッシュサイズを変更することで、高速かつ品質を維持した布シミュレーションが可能となる。適応型メッシュ粗法（AMC 法）、適応型メッシュ密法（AMR 法）、適応型メッシュ粗密混合法（AMRC 法）について、高速性、品質の両面において、適応型メッシュ粗密混合法の優位性を実証した。

4. 共有メモリ型マルチプロセッサによるスケーラブルな並列処理の実現

提案した AMRC 法を Fujitsu HPC2500 のマルチプロセッサ（プロセッサ数96台）上に実装し、アクティブリスト法とよぶ負荷分散法を提案し、OpenMP の提供するさまざまな負荷分散法と比較するとともに、スケーラブルな性能向上を実現させた。

以上要するに本論文は、布モデルの構築、適応メッシュ法および並列処理による布シミュレーションの高速化に関するものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年6月25日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。