

目的別テーマ：被服設計・シミュレーションに関する研究

研究テーマ

15-7-7：柔軟物シミュレーションの高度化に関する研究

ABSTRACT

The simulations of flexible matter such as fabric have been developed mainly for the purpose of CG animations, and those are required to be processed quickly as long as they are plausible. In this study, the methods that simulate mechanical phenomena with high fidelity are pursued so that the simulation is utilized to predict real world.

The following topics were studied, 1) development of the simulation method based on the subordinate structure. 2) construction of the human body model for the simulation.

We proposed a new model for clothing simulation in which a fabric was modeled as a structure of threads. An editor to define virtual threads and to weave them into a fabric was made. A program for the mechanical calculation was also made. The shape of a fabric was obtained as the minimum potential state. We compare the theoretical solution and the result of the simulation for verification of the validity of the program, and they agreed very well. In the simulation, it is necessary to detect collisions between threads because the collisions occur during the mechanical calculation. The function to detect collisions was included in the simulation program. The amount of the calculation was greater than that based on conventional models, we tried to process with the method of parallel operations.

We developed a method to estimate inner structure of human body. A program to reconstruct a surface shape from the boundaries of many images of cross section was made, and a surface shape of human body was reconstructed with the program. It was adapted to another surface shape of human body which was measured with a 3-D shape measurement instrument. The inner part was deformed with the adaptation. The estimation was obtained as the deformation of the inner part. The inner structure of right arm was estimated and there was some error for the estimation. We also investigated the structure and functions of backbone, and then developed a mechanical simulation program based on a very simple model of backbone.

研究目的

近年、布などの柔軟物から構成される衣服等を対象としたシミュレーションに関する研究が行われている。これらの多くは CG アニメーションなどを目的としているため、“其れらしく見える” 範囲で可能な限り高速に処理を行うことが求められる。そのため必ずしも物理モデルに忠実なモデルに基づいた手法を用いているとは限らない。これに対して本研究では、現実世界におけるシミュレーションの利用を目指し、現実をできるだけ忠実に再現するシミュレーション手法の追求を目的とする。

5 年間の研究内容と成果

1) 柔軟物のためのシミュレーション手法の検討

1-1) 布シミュレーションの並列化による高速化

研究内容：布シミュレーションプログラムの分析を行い、ネックとなっている部分について改善を図る方針で進めた。分析の結果、布同士の衝突を検出する部分に最も処理時間を要していることが判明した。そのため、この部分の並列化によって処理時間を短縮することとした。衝突の検出は三角形要素の衝突を検出する手法が採用されており、効率化のためにバウンディングボックスが用いられている。処理はこれらのバウンディングボックスを 3 次元空間の軸についてソートすることから成り立っている。並列化による処理の高速化に臨んで a) ソート処理自体の並列化、b) ソート処理後の衝突検出処理の並列化、c) 3 次元の各軸についてソートを行うことによる高速化、の 3 種の方法について検討した。

結果：a) ソート処理自体の並列化については、並列マシンの台数増加に伴い処理時間の減少が見られたが、それ以上にプロセス間通信時間の増加によってトータルでの処理時間の改善は見られなかった。

b) ソート処理後の衝突検出処理の並列化については、並列マシンの台数増加に伴い同様に通信時間の増加が見られたが、トータルでの処理時間減少の効果が得られた。c) 3次元の各軸についてソートを行うことによる高速化は、従来ある1つの軸についてソートを行い、他の軸については各三角形ごとに範囲を絞ってソートを行っていたものを、最初に1度だけソート処理を行うように改めたものである。これは通信時間の増加が少なく処理時間が大幅に減少するという結果が得られた。

1-2) 下位構造に基づく柔軟物シミュレーション手法の開発

研究内容：従来のシミュレーションでは布はパーティクルや連続体などとして定式化されており、その構造を十分に反映していたとは言い難い。ここでは布を糸から構成されているとして定式化した。すなわち従来、布として力学的に定式化されていたモデルを、糸の交絡した構造物としてモデル化した。次に、このような構造物を構成するためのプログラムを作成した。これにより糸の形状を幾何学的に定義し、布の構造、例えば平織り、斜紋織りなどに応じて糸を配置する機能を有するものである。しかし、実際には布の構造は幾何学的に決定されるものではなく、糸の力学的な相互作用によってその形状が決定される。布としての形状を求めるためには、幾何学的に生成された形状に対して力学的な処理を施し形状を求める必要がある。そのために糸を四面体の要素から構成されているとし、力学的な処理のために弾性力学に基づいた計算プログラムを開発した。布を構成する糸の長さ、力学的な物性、構造などの情報を用いて布の構造を構成するプログラムによって近似的な布の構造が与えられる。それに基づいて力学的な計算処理を行うプログラムで最小のポテンシャルエネルギー状態を求めることによって、布の形状が得られる。また、布の初期形状として糸同士が接触の無いような形状が与えられているとしても、力学計算によって最小のポテンシャルエネルギー状態を求める際に、糸同士が接近して最終的に接触が起こる。このときプログラムに糸同士の接触を検出する機能がなければ、糸同士がすり抜けてしまうため、糸を基本構造とした布の形状、あるいは変形を求めるためのプログラムには糸同士の接触を検出する機能が不可欠となる。糸を基本構造とした布の形状、変形予測プログラムに、この糸同士の接触検出の機能を付加した。

結果：力学計算の妥当性を検証するため、片持ち梁についての解析解とシミュレーション結果との比較検討を行った。結果はほとんど一致しており、計算の妥当性が確認された。糸の衝突については、ここでは計算中に糸は布という構造の範囲内でのみ移動するため、三角形要素のある頂点が衝突する他の三角形要素は非常に限られた範囲内に限定される。この性質を利用し、衝突の検出を実行する範囲を非常に狭い範囲に限定することが可能で、そのために計算時間は一般の場合に比較すると非常に短時間とすることができた。しかし、このような下位構造に基づくシミュレーションは従来のものと比較して計算負荷が大きい。そのため、計算機を並列化して処理を高速化することを検討した。性能の同等な16台の計算機を用いて並列計算を試みた。上記のシミュレーションプログラムのうち、糸同士の衝突検出の部分を、MPIを用いてメッセージパッシングを行う事によって並列化した。この際、布を構成する経糸を並列計算に用いる計算機の台数分に分割し、各計算機に分散して計算を行う方式とした。

2) シミュレーションに用いる人体モデルの構築

研究内容：

シミュレーションのための人体モデルには内部構造が必要であるが、これは容易に計測することはできないので、何らかの推定手法を検討する必要があると考えられる。既に計測された多数の断面画像で表現されている人体内部構造のデータが存在する。多数の画像の境界から境界面を抽出するアルゴリズムを用いてプログラムを作成した。このプログラムを前述の断面画像に適用することにより人体表面形状を再構成する。これを、3次元計測装置によって得られた個々の人体表面形状に対応させる。このとき、断面画像から得られた人体表面形状の内部を、表面形状の対応に応じて変形させる。元の、画像で表現されている人体内部構造を、これに応じて変形する。これを個々の人体の内部構造の推定値とする。また、背骨の構造、可動域についての検討を行い、各背骨を質点で近似するような単純なモデルを構築し、それに基づいた力学シミュレーションプログラムを作成した。

結果：

今回は右腕部を例として、実際にこの手法の適用を試みた。結果の検証のために、もう一つ別の内部構造が計測されている人体について、この手法を用いて内部構造の推定値を求めた。この求められた内部構造の推定値と、あらかじめ得られている内部構造の比較を行った。結果として全体に渡ってある程度の誤差が見られた。