

繊維の相互関係に基づく拘束を考慮にいたした布の物理的モデル

2C-7

任 哲弘[†] 品川 嘉久[‡]東京大学[†]

1 序論

変形する物体のコンピュータによるアニメーションは現在コンピュータグラフィックスの重要な研究課題の一つであるが、特に布の変形する過程のコンピュータアニメーションは、服飾CAD等アパレル業界等でその需要が高まってきている。これは実際に衣服をデザインする時に、注文者とデザイナーとの間の意思疎通を改善すると共に、人権費、材料費等を削減し、時間を短縮する可能性を服飾CADが持っているからである。布の変形過程はそのしわの生成及び消滅過程をうまく表現することが重要であるが、これらの変形過程はその履歴に従い、変形状態によって弾性、塑性、粘性などを示す非線形な特性を持ち、座屈等の性質も持っている。又、実際の衣服においては、縫い目、折れ目等が存在し、ボタンやファスナ等による布同士の結合も存在する。また布の形状も様々である。また人が衣服を着た状況では、体や衣服同士が衝突及び、摩擦し、しわを形成していく。これらの要素を全て取り込む事ができ、かつ変形計算を短縮する事ができる布のモデルを開発する事が、現実的に布の変形過程をコンピュータアニメーションにより表示するための重要なテーマである。

2 布のモデル

これまでのほとんどのモデルは布を連続体、基本的には弾性体として扱ってきた。これは布を構成する糸一本一本の相互作用を計算していなかったためである。またこのような相互作用もモデル化されていなかった。今までのモデルは大まかに幾何学的モデル、物理的モデル、物理的及び幾何学的モデルに分かれる。

2.1 幾何学的モデル

長さを一定に保った変形が主なテーマとなる。布の場合も布を格子状に分割した場合、各格子間の長さがほぼ一定に保たれる性質がある。だが実際には難しい問題で、最急降下法により距離を一定に保たれる方向に収束させる方法、縦もしくは横の一方のみ、長さ一定の変形を

施し、他方向はそれに基づき補間する方法[3]等がある。その他布を格子で分割し、各格子点を糸の交差点と仮定し格子点間の距離を一定に保ちながらNURBSの様な曲面上にかぶせていく方法[6]が考えられているがこれはその応用が限定されている。また特異理論に基づき実際に形成されるしわの形態を符合化し布に現れるしわとその動きを符合化する方法[3]がある。しかしこの方法ではしわが形成又、消滅する過程を表現することができない。

2.2 物理的モデル

静的モデルと動的モデルに分けることができる。静的モデルは有限要素法で求める方法と、弾粘性モデルから差分法を使い形状を求める方法[1]が存在する。これらの方法は与えられた力と変位から唯一の解を求める方法であるが、前にも述べたように、布の性質は動的に変化しており、静的な方法ではこのような動的変化を表現する事ができない。動的モデルは動的に幾つかのパラメータを変化させるものであるが[2]、人が経験に基づきパラメータを設定しなければならず、また基本的には静的モデルと同じく有限要素法や差分法を使っているため、結果的に布の構造的特徴から来る非線形な性質をうまく表現することができない。またこれらの方法は幾つかの点にかかる加重を指定しなければならず、実際的な方法ではない。この他に最近ではパーティクルシステムを使ったモデルが考案されている[4]。これは糸の交差点を各パーティクルに割り当てて、パーティクル間の幾つかのエネルギーを定義し、そのエネルギー関数の最小値を求める事により内部エネルギー最小の変形状態を求める方法である。

2.3 物理的及び幾何学的モデル

物理的方法に幾何学的方法の両方を使用したとされるモデルで、布を格子状に分け、各格子点間にばねがあると仮定し、最急降下法によりあらかじめ与えられた格子の位置に対し最急降下法により、内部エネルギー最小の形状を求める方法[3]、又は各格子に与えられた力と内力の平衡条件から、最急降下法により内力の未定係数を求め、実験によって得られたデータを幾何学的拘束条件として、最急降下法によりその未定係数を求めるという方法[5]がある。最急降下法により求める際、加速係数

A Physical Model of Cloth with Constraints Based on Mutual Relationship between Fibers

Im Chohong[†] and Shinagawa Yoshihisa[†]

The University of Tokyo[†]

を調節し計算を粗くし計算量を軽減する方法が考えられる。しかし正確な形状を求めるためには格子点の数を大きくしなければならず、一般的には膨大な計算量を必要とする。又ある程度大まかな形状を与えないと、思わぬ方向へ収束してしまう事がある。

3 布を構成要素の相互作用のモデル化

以上のモデルは全て布を連続体と見なしてモデル化を行なったものである。ところが布の性質を正確に表現する為には、布を多数の繊維で構成される構造体と見なしモデル化を行なわなければならない。

3.1 布の構造

布は大まかに織物と編物に分けられる[7]。織物は縦糸と横糸が直交し交互に重なりあっており、組み合わせ方により平織、朱子織、斜交織等がある。また、横糸と縦糸が全く別の種類の糸で織られた織物があり、これが他の弾性体に見られない異方性の原因となっている。編物は糸が規則的にループを作り、隣の方方向の糸のループと絡みあっている。大まかに、縦メリアスと横メリアスに分かれる。今までの布のモデルの中で布の細部の構造を多少考慮に入れているものがあるが、それらはみな織物を対象にしている。これは編物の構造が織物に比べ複雑でモデル化が難しいからである。

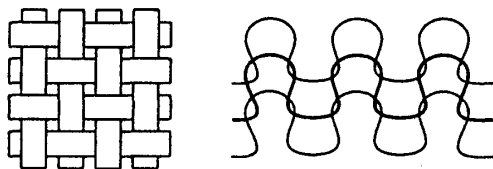


図 1: 織物と編物

3.2 新しい布のモデルの方向性

これまでのモデルは前に述べた布の縦糸と横糸の相互作用から生ずる拘束をほとんど考慮に入れていなかった。実測値による拘束を組み込んだモデルはある範囲内では布の非線形性を表現することができるが、その範囲を越えてしまうと、うまく表現する事ができなくなる。そこで、縦糸と横糸との相互作用（摩擦、交差点の移動、交差点上での力の及ぼし合い）を表現したモデルが必要となる。摩擦は布の変形過程の履歴が最終形状に及ぼす影響と、座屈、塑性等の性質に関連し、隣合う糸同士の摩擦、及び交差点上での摩擦などが考えられ、交差点の移動は布が対角線上に引っ張られた時、及び布を捻った時に現れ、布の形状に影響する。交差点上での力の及ぼし合いは布の曲げや剪断に対し影響を及ぼす。これらの性質は布を連続体と考えた時にはうまく組み込めず、格子状のモデルを考えた場合は格子間にもみ相互作用が仮定

されるので糸同士の摩擦や、交差点上での相互作用を表現する事ができない。

4 結論

現在布の現実的な変形過程を表現できるモデルが求められており、その為には連続体に基づいたモデルや格子モデルでは不十分である。布の縦糸と横糸との相互作用を表現したモデルが必要である。

5 将来課題

布の非線形な性質、特に座屈の様な性質から起こる、変形状態の急激な変化は糸同士の摩擦から起こるが、このような性質はカタストロフィー理論[8]により定性的に幾つかの初等カタストロフィーに対応付ける事が可能な場合がある。このような推論方法を取り、具体的なモデルを構築する事を考える事ができる。

参考文献

- [1] Aono M "A Wrinkle Propagation Model for Cloth," *CG International '90*, pp. 95-115, 1990.
- [2] Terzopoulos D., Platt J., Barr A. and Fleischer K "Elastically Deformable Models", In *Computer Graphics*, 21, 4, 1987.
- [3] Kunii T. L. and Gotoda H., "Singularity Theoretical Modeling and Animation of Garment Wrinkle Formation Process," In *Visual Computer*, 6, pp. 326-336, Springer-Verlag, 1990
- [4] David E. Breen, Donald H. House and Michael J. Wozny, "Predicting the Drape of Woven Cloth Using Interacting Particles," In *SIGGRAPH 94, Computer Graphics Proceedings*, pp. 365-372, July, 1994
- [5] 坂口 嘉之、美濃 道彦、池田 克夫、"仮想服飾環境 PARTY- 動的変形可能な布のための数値計算法 -", In *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J77D-II, No.5, pp912-921, 1994, 5
- [6] M. Aono, D. E. Breen and M. J. Wozny, "Fitting a Woven-Cloth Model to a Curved Surface: Mapping Algorithms", In *Computer-Aided Design*, Vol.26, No.4, April 1994
- [7] 西沢 信、木藤 半平、"繊維製品試験入門", 山共出版株式会社, 1992
- [8] Tim Poston and Ian Stewart, "Catastrophe Theory and Its Application," Pitman Publishing Limited, 1978.