

## 現実感のある衣服 CG 生成のための 布モデルへの対話的なよれの付与手法

史 兇<sup>†</sup> 齋藤豪<sup>†</sup>

<sup>†</sup>東京工業大学 情報理工学院

### 1 はじめに

布や服のモデルに現実感を与えるのはよれの表現であるが、知識や経験が無いユーザがモデリングツールなどを用いて自然なよれの形状を 3D モデルに付与するのは困難である。本研究ではこの困難さを解消するため、ユーザの入力と物理シミュレーションを融合させることで容易によれを付与することのできる手法を提案する。

### 2 関連研究

3D モデルによれを付与する手法には、ポリゴンを変形させる手法 [1, 2] と、動的に物理モデルを用いて変更させる手法 [3, 4] がある。前者を用いて現実感のあるよれを生成するにはユーザに知識や経験が必要となることが多く、また後者は入力に手間を要するか、望む形状を得るための物理モデルのパラメータ調整に困難さを伴う問題がある。

一方、我々の提案する手法ではシステムへの初期入力は単純な 3D モデルであり準備の手間を必要とせず、またユーザは望む形状を直接付与することができるため、自由度が高いという利点がある。加えてユーザの付与した形状に物理シミュレーションを適用することによって、もっともらしいよれの生成を目指す。

### 3 提案手法

#### 3.1 概要

提案手法におけるよれの付与までのフローを Algorithm 1 に示す。

---

#### Algorithm 1 よれの付与

---

ユーザの入力

入力によって選ばれた格子の法線方向に質点を追加し、格子を分割することで単純なよれを付与

ラプラシアンスムージングによって追加された質点とその近傍を平滑化

各質点の重さとバネの局所的なパラメータ変更

物理シミュレーションの実行

---

An interactive method for adding wrinkles on cloth models to generate a convincing cloth CG

<sup>†</sup> Hatsu SHI

<sup>†</sup> Suguru SAITO

School of Computing, Tokyo Institute of Technology (†)

#### 3.2 シミュレータ

布の物理モデルには質点バネダンパモデルを採用する。バネの接続には我々が文献 [5] で提案した、Provot の手法 [6] を参考にした接続を用いる。質点に働く力も文献 [6] で提案されたシミュレータと同様のものを採用し、速度に比例した空気抵抗とバネの粘性抵抗を考慮した力を質点に作用させる。

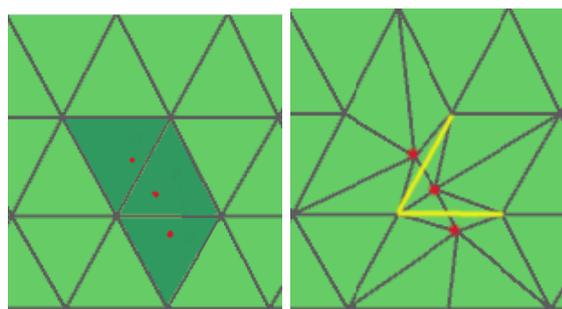
また剛体との衝突を考慮するため、事前に空間内で剛体からの符号付き距離関数を計算する。距離関数は、空間をいくつかの直方体のセルに分割し、そのセルに含まれる空間では値をトリリニア補間することで求める。距離関数の計算と空間分割の手法は我々が文献 [5] で採用したものと同様である。

#### 3.3 格子の細分割

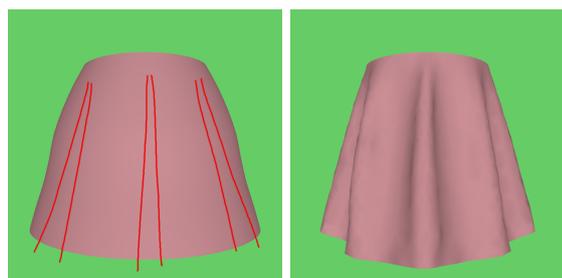
本手法では、ユーザはよれの稜線または谷線となる期待する線を入力することを想定する。文献 [5] と同様の手法を用いて、ユーザの入力によってメッシュの形状を変形させ、よれの初期形状をモデルに与える。

#### 3.4 ラプラシアンスムージングを用いた形状の最適化

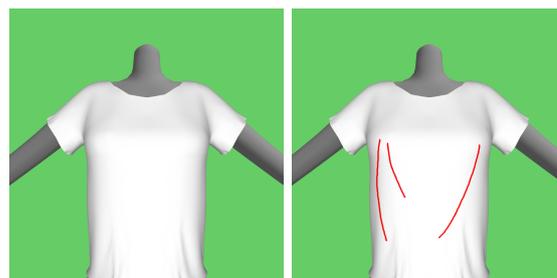
上述した手法によって付与された初期形状は追加した質点のみが法線方向に飛び出し、尖った形状をしている。この形状からよれらしいなめらかな形状を得るために、分割後にラプラシアンスムージングを局所的に用いることによって、平滑化を行う。ユーザは満足のいく初期形状が得られるまで、平滑化を任意の回数実行することができる。しかし平滑化の最中で、ユーザが入力した稜線が消えてしまったり、高周波成分が除去されぼやけてしまい、ユーザの意図した平滑化結果が得られない場合がある。この問題に対処するため、Taubin の提案による階層的制約 [7] を導入した。この制約は、新たに追加した質点は、既存の質点と接続関係を持たず、その他の追加された質点とのみ接続関係を持つとして平滑化を行う制約で、これを用いることで既存の質点との接続関係を考えずに稜線のみを平滑化を行うことができる。この制約は平滑化の最中に任意に切り替えることができるため、ユーザは稜線の平滑化と全体としての平滑化を別個に行うことが可能となり、付与できる形状の自由度が高くなる。



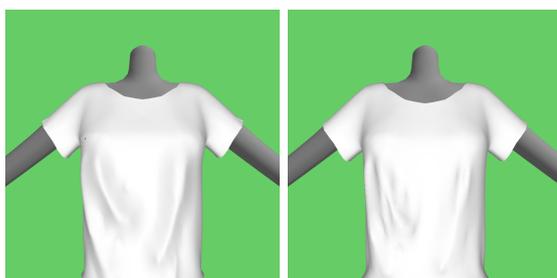
(a) 初期のバネ接続と入力 (b) 変化後の形状  
図 1: 制約を課す屈曲バネ



(a) 初期形状 (b) 最終的な形状  
図 2: 提案手法によるスカートの生成



(a) 初期形状 (b) ユーザの入力



(c) 平滑化後の形状 (d) 最終的な形状

図 3: マネキンに着せた服へのよれの付与

### 3.5 物理パラメータの変更

モデルの単位面積あたりの重さを均一にするため、文献 [5] と同様の手法で質点の単位面積の重さを均一にする。

また、本システムでは物理シミュレーションを行うことでユーザが付与したよれが消えてしまったり、違う形状になる可能性がある。ユーザの付与した形状の変化を極力防ぐため、バネの物理パラメータを局所的に変更する。変更するパラメータは、ユーザが稜線として入力した線にスクリーン上で交差する屈曲バネのパラメータである。これらは、図 1(b) に黄色い線で示されている。これらの屈曲バネの長さを短縮し、バネ定数を強くすることで、上記の問題に対処する。

## 4 実験結果

### 4.1 スカートの生成

スカートを想定した単純な形の 3D モデルからブルームスカートのようなよれを生じているモデルを生成する実験を行った。結果を図 2 に示す。

### 4.2 マネキンに着せたシャツに対してのよれの付与

女性型のマネキンにシャツを着せた際のよれを付与する実験を行った。結果を図 3 に示す。初期状態におけるシャツは、型紙などを考慮していない極めて簡易なモデルで、ほとんどよれを生じていない。図 3 に示す、胸からのよれを想起させる入力を行った。ユーザの入力がシミュレーションによって補正され、このモデルは約 14,000 個の三角形で構成されており、シミュ

レーションは約 15fps で動作可能であり、対話的な速度で実行可能であると言える。

## 5 まとめと今後の課題

本稿では、ユーザが直感的によれを 3D モデルに付与することのできる手法を提案した。提案手法ではユーザの入力後に物理シミュレーションを行うことによって、ユーザの入力をもっともらしい形へと変形させる。本手法の問題点として、ユーザの入力によって付与された形状が、シミュレーションによって大きく形を変えることで意図した形状から離れすぎることが挙げられる。ユーザの意図した形状を残しつつシミュレーションを行う手法や制約を導入することが今後の課題である。

### 参考文献

- [1] Amaury Jung, Stefanie Hahmann et.al., Sketching folds: Developable surfaces from non-planar silhouettes. *ACM Trans. Graph.*, 34(5):155:1–155:12, November 2015.
- [2] Changjian Li, Hao Pan et.al., Bendsketch: Modeling freeform surfaces through 2d sketching. *ACM Trans. Graph.*, 36(4):125:1–125:14, July 2017.
- [3] Philippe Decaudin, Dan Julius et.al., Virtual Garments: A Fully Geometric Approach for Clothing Design. *Computer Graphics Forum*, 2006.
- [4] Minchen Li, Alla Sheffer et.al., FoldsSketch: Enriching garments with physically reproducible folds. *ACM Transaction on Graphics*, 37(4), 2018.
- [5] 史 発, 齋藤 豪. 布モデルへの尾根と谷を指定することによるよれの付与手法 研究報告コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学2018-CG-172, 19, 1-6, oct 2018
- [6] Xavier Provot. Deformation constraints in a mass-spring model to describe rigid cloth behaviour. In *Proceedings of Graphics Interface '95*, pages 147–154, 1995.
- [7] Gabriel Taubin. A signal processing approach to fair surface design. *SIGGRAPH '95*, pages 351–358