

物体との衝突を考慮した布アニメーションの試みⅡ

迫間 健治^{a)}・釜坂 岳人^{b)}・坂本 真人^{c)}

Attempt of Cloth Animation by Considering the Collision with the Object II

Kenji SAKOMA, Taketo KAMASAKA, Makoto SAKAMOTO

Abstract

In recent years, three-dimensional computer graphics (3DCG) technology has been applied in various fields such as AR / VR technology, movies, games, and virtual fitting of clothes. One of the problems is the problem of contact between clothes and other objects (such as the body). In this paper, we focused on that problem. The methods verified at that time are the Euler method, the FB Euler method, and the Runge-Kutta method. In this paper, we verified each simple animation using the above three methods. As a result of the verification, animation with the Euler method or Runge-Kutta method shows contact with the body, clothes moving away from the body, and heavy movement, etc. The FB Euler method creates a simple but stable animation. However, problems such as the need to manually change parameters and the large amount of calculation were raised. In addition, other issues such as the study of numerical calculation method and contact force calculation method other than the method verified this time and the study of texture mapping method to skirt were mentioned. In this paper, we were able to create simple animations, but there were still many issues such as the number of mass points and the reproducibility of the cloth, and there were many issues to be improved. Therefore, we want to pursue future research and aim for more realistic reproduction and practical research.

Keywords: Image processing, Euler method, FB Euler method, Runge-kutta method, Animation

1. はじめに

近年、3次元コンピュータグラフィクス(3DCG)技術が、AR/VR 技術、映画、ゲーム、衣服の仮想試着など様々な分野で応用されている¹⁾。

本研究では、その中でも 3DCG アニメーションへ応用される布のシミュレーションを、物理モデルを用いて行う。

なお、本研究では過去の研究²⁻⁴⁾に着目し、他物体(フラダンサーの身体)との接触を考慮した簡易的な布(例としてスカート)のシミュレーションに取り組む。

2. シミュレーション手法

布を表現するためのモデリング手法は大まかに幾何学モデルと物理モデルの2種類に分けられる。

動的なシミュレーションを行うため、変化過程を考慮し

た物理モデルを今回は用いる。

2.1 マススプリングモデル

マススプリングモデルでは布の持つ異方性を表現するため、布の縦糸と横糸に沿った方向を軸とし、正方形の格子状に配置した質点と近接する質点を互いにつなぐバネで、布の形状を構成する(図1参照)。

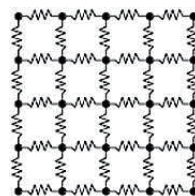


図1 マススプリングモデル。

2.2 布の力学的特性

KES から挙げられた布の力学特性の6つの中でも、布の形状をモデル化する際に、引張り特性・せん断特性・曲げ特性・重量特性の4つを考慮する⁵⁾(図2)。

a) 工学専攻機械・情報系コース大学院生

b) 情報システム工学科学部生

c) 情報システム工学科准教授

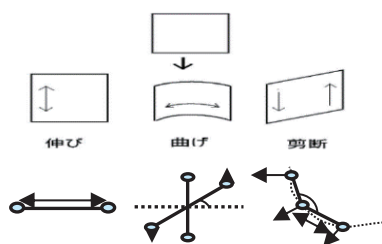


図 2 布の力学的特性.

2.3 質点にかかる力

時刻 t における粒子 i にかかる力の合力 $F_i(t)$ は、風力 f_wind や重力 $f_gravity$ などの外力と、バネの振動に対する減衰力 f_damper やバネによる力 $f_stretch$ といった布の内部構造より生じる力から以下のように表せる。

$$F_i(t) = f_gravity + f_damper + f_stretch + f_wind \\ = m_i g + r_i(t) + f_i(t) + \alpha \cos(\beta) \sin(\gamma) \\ + \alpha \sin(\beta) \sin(\gamma)$$

2.4 運動方程式

運動方程式に基づき加速度 $a_i(t)$ は次の式で表される。

$$a_i(t) = 1 / m_i \cdot F_i(t)$$

2.5 数値計算法

本研究では、陽的公式の中からオイラー法・FB オイラー法・ルンゲクッタ法を用いた。

2.5.1 オイラー法

1 階常微分方程式の数値計算法の 1 つである。時刻 t から時刻 $t + \Delta t$ の間、質点が等加速度直線運動をするものと仮定すると、2.2 節で計算した粒子に働く力を用いて、速度 v_i 、座標 x_i は次の式で求められる。

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + v_i(t)\Delta t \\ v_i(t + \Delta t) = v_i(t) + a_i(t)\Delta t \\ (\Delta t : \text{時間ステップ})$$

2.5.2 FB オイラー法

オイラー法と後退オイラー法を同時に使用する数値計算法である。速度は、現在の加速度に対してオイラー法を適用し、位置は、未来の速度に対して後退オイラー法を適用する。

$$v_i(t + \Delta t) = v_i(t) + a_i(t)\Delta t \\ x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + v_i(t)\Delta t \\ (\Delta t : \text{時間ステップ})$$

2.5.3 ルンゲクッタ法

4 階常微分方程式の数値計算法の 1 つである。一見計算量が 4 倍のように見えるが、計算精度が高いため、時間刻

み幅 Δt を大きくすることができ、より安定したシミュレーションが可能である。

$$kv_1 = a_1 \Delta t, kx_1 = v(t)\Delta t \\ a_2 = (F(x(t) + (kx_1) / 2)) / m - cv(t) + g, \\ kv_2 = a_2 \Delta t, kx_2 = (v(t) + (kv_1) / 2)\Delta t, \\ a_3 = (F(x(t) + (kx_2) / 2)) / m - cv(t) + g, \\ kv_3 = a_3 \Delta t, kx_3 = (v(t) + (kv_2) / 2)\Delta t, \\ a_4 = (F(x(t) + (kx_3) / 2)) / m - cv(t) + g, \\ kv_4 = a_4 \Delta t, kx_4 = (v(t) + kv_3)\Delta t, \\ v(t + \Delta t) = v(t) + (1/6 kv_1 + 1/3 kv_2 + 1/3 kv_3 \\ + 1/6 kv_4), \\ x(t + \Delta t) = x(t) + (1/6 kx_1 + 1/3 kx_2 + 1/3 kx_3 \\ + 1/6 kx_4) \\ (\Delta t : \text{時間ステップ})$$

仮想世界における質点の運動はこれらの式によってシミュレートできる。

2.6 他物体との衝突

本研究では、布と身体との衝突をすることを考慮する。大量の質点と身体との判定を行わなければならないため、単純な計算を取るペナルティ法を用いる。今回は、質点を点、ボーンをカプセルとみなし、衝突判定を行う。

2.6.1 身体の変現

カプセルとは、円柱の両端に半球をつけたもので、線分と半径 r で定義し、この線分からの距離と半径 r 以内の部分となる。ボーンとは、3D オブジェクトの可動領域をつかさどり、接合部分は“関節”の役割を果たす。可動領域は可動部分が多くなると、複雑な動きを表現できるが、その分処理が重くなってしまう(図 3 参照)。

今回は、背中、腰、腿、脛のボーンを円柱の軸とみなすことで、カプセルの位置を計算する。

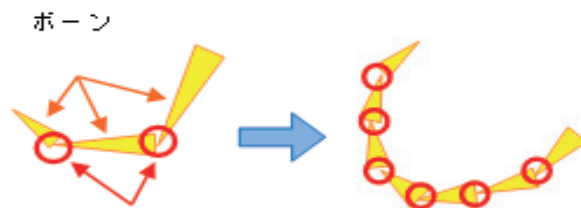


図 3 ボーンと可動部分.

なお、図 3 のようにボーンを割り当て実行すると、衝突判定が正しく行われなかった(図 5 参照)。カプセルの数を増やし衝突判定の精度を高めるため、背中、脛のボーンを 2 つ、腿のボーンを 3 つに分けてある(図 4 参照)。

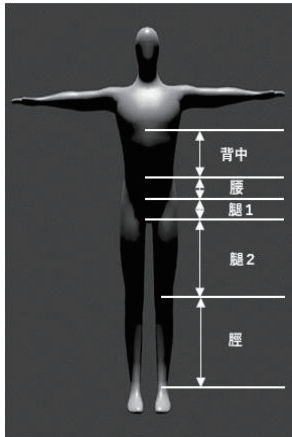
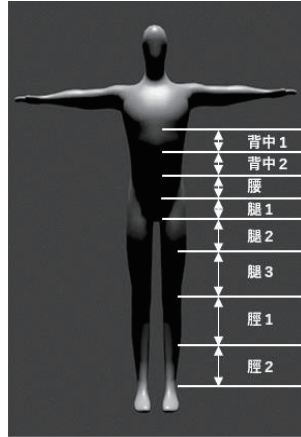


図3 身体の表現.

図4 身体の表現
(提案手法).図5 実行結果
(FBオイラー法)

2.6.2 ペナルティ法

ペナルティ法とは剛体シミュレーションの手法の一つであり、物体同士が衝突し、若干のめり込みが発生した際に、めり込んだ値に比例する力(ペナルティ力)を適用させて衝突後の挙動を得る手法である。ペナルティ法の特徴として、1回ステップ当たりの計算量が少なく並列リアルタイム計算に向いていることや摩擦、跳ね返り係数なども簡単にモデル化できることなどが挙げられる。

本研究では、円柱の表面と点との間にバネを導入することで実現できること及び、単純な計算方法を取るようことから、ペナルティ法を活用する。このことから、布に衝突している格子点に対して、身体にめり込まないように身体の外に、バネの力で押し返すことができる。

2.6.3 カプセル点との衝突判定

衝突判定にカプセルが用いられる理由として、判定が置き換えるだけで済むという利点がある。カプセルと点との衝突は、円柱状の部分と両端の半球部分に分けて考える。衝突判定する点 x とし、点 x から線分を下ろした垂線の足:点 y を求める。このとき、線分の両端の座標 a, b とし、点 y は座標 a, b を通る線上にあるため、以下の式で表される。

$$y = a + s(b - a)$$

(a, b, x, y : 3次元ベクトル、 s : スカラー)

垂線はこの線と直交しているため、次の式を満たす必要がある。

$$(y - x) \cdot (b - a) = 0$$

未知数は s だけであり、 s を求めると、点 y が求められ、円柱と足の衝突判定が可能となる。このとき、点 y が線分上に存在し、かつ点 x と点 y との距離 r' が r より小さければ円柱と衝突していることがわかる。 $r - r'$ が円柱表面から点 x までの距離となるので、この値はペナルティ法を用いて計算する。

円柱と衝突していないことが判明したら、次に点と球の衝突判定を行う。点と球の衝突は、点 a, b と点 x との距離が r 以内であるかを調べることで判定できる。カプセルと球(半径 r)との衝突判定も同じ原理であり、上記の r を $r + r'$ に置き換えて計算し、判定を行う。

3. プログラム内容

本プログラムは、C/C++言語を用いたプログラム開発環境において、標準的なCGライブラリであるDirectX SDKを用いて作成した。今回プログラムの作成には、Microsoft Visual Studio Community 2019を使用した。

4. シミュレーション結果

本研究では、プログラムはC++言語により作成し、Intel Core i7(Windows 10Pro)上で実行した。

4.1 実行結果

図5とパラメータは変えずに、数値計算法はFBオイラー法を用いている。シミュレーション結果を下記図(図6参照)に示す。スカートと身体の接触でめり込まずに、シミュレートできている。

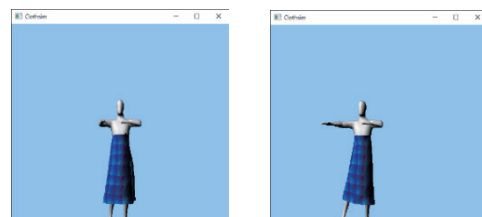


図6 実行結果(FBオイラー法)

パラメータを変えずに、オイラー法とルンゲクッタ法でシミュレーションを行った。オイラー法では、布の動きが激しく、身体から離れてしまう結果となった(図7参照)。ルンゲクッタ法ではアニメーションの動きが重くなり、足とスカートの接触でめり込む結果となった(図8参照)。

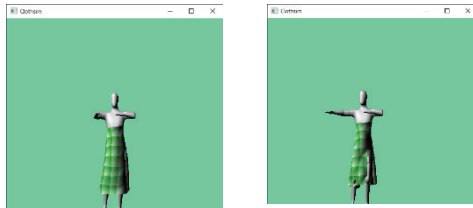


図7 実行結果(オイラー法)

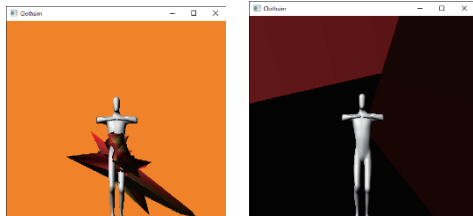


図8 実行結果(ルンゲクッタ法)

また、いずれの計算方法もボーン分割をしない場合の実行結果よりもアニメーションの動きが重くなる結果となった。

4.2 考察

シミュレーションの結果、スカートと身体との接触を考慮した衝突判定は、図6の実行結果で挙げた通り、FBオイラー法で $\Delta t = 0.002f$ の際に安定しており、簡易的なアニメーションが行えた。

しかしながら、いくつかの課題点が挙げられる。

- 手作業でプログラムのパラメータを変更するという感覚的なものに頼らざるを得ない。
- 陰的解法による数値計算法および接触力計算方法の検討
 - スカートへのテクスチャマッピングの方法の検討
 - 計算量の少ない手法の検討

5. 終わりに

はじめにも述べたが、布の表現は映画やゲームなどの娯楽への応用の他に、衣服の仮想試着などにも役立てられている。実際に、3次元衣服形状から2次元の型紙に展開す

る製品などもある。

本研究では、布を動的に表現し、過去の研究を参考にして身体とスカートとの接触を考慮した簡易的なアニメーションを試みるという目的で行われた。

今回、完成したのは簡易的なアニメーションであり、質点数も少なく、テクスチャマッピングや布の質感表現など実装できていない部分も多々ある。まだ、衣服シミュレーションをリアルに行うことは難しい。

さらに、3次元キャラクターへの衣服の着付けや布の素材の違いの表現、より精度の高い衝突判定の方法、また計算量が少ない方法などにも着目していかなければならない。

今後は、CG技術やDirectXの仕様理解など知識を深めて研究を進めていく必要がある。

また、以上で述べた改善策を含め、フラダンスの様々な動きやドレスのデザインなどでもシミュレーションできるようなCADの制作への取り組みを行い、よりリアルな布の表現を行い、実用的な研究になることを目指したい。

参考文献

- 1) Zorah Lähner, Daniel Cremers, and Tony Tung[Online] (2018) 「DeepWrinkles: Accurate and Realistic Clothing Modeling」, <http://openaccess.thecvf.com/content_ECCV_2018/papers/Zorah_Laehner_DeepWrinkles_Accurate_and_ECCV_2018_paper.pdf>
- 2) 谷上亜由美: OpenGLによる布アニメーション作成の試み, *Memoirs of the Faculty of Engineering, University of Miyazaki*, 37, pp.299-304, 2007.
- 3) 長友世依良: マススプリングモデルによるクロスシミュレーションの試み 2009.
- 4) 作元美奈穂: 物体との接触を考慮した布アニメーションの試み 2011.
- 5) 井上真理: 繊維集合体としての布の特性について, *SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業)*, Vol. 64, No. 8, pp.246-251, 2008.
- 6) 佐藤幹浩: 対話的な布のシミュレーションに関する研究, *日本大学生産工学部第37回学術講演会講概用*, No. 20, pp.23-26, 2004.