

髪の毛同士の相互作用を考慮した詳細な髪の毛のアニメーション

ルンチラタナーノン ウィッタワット[†]

金森由博[‡]

西田友是[‡]

[†] 東京大学

[‡] 筑波大学

1. はじめに

人の頭部にある髪の毛 (通常 10 万本以上) すべての動きをシミュレーションすることは、コンピュータグラフィックスの分野において長く挑戦的な課題であった。その難しさは主に、計算コストと数値的安定性に起因する。この論文では、Lattice Shape Matching (LSM) [1]に基づき、多くの髪の毛を個別に扱った詳細なアニメーションに挑戦する。LSMは、単純で高速かつ数値的に安定という利点により、変形物体のシミュレーションにおいて利用されている。LSMでは変形物体が格子状に配置された粒子の集合によって近似されているものと仮定する。一方、提案法では1本の髪の毛を粒子の鎖(チェーン)で表現する。このため提案法をChain Shape Matching (CSM)と呼ぶ。提案法では髪の毛の伸張の抑制を、LSMの枠組みに導入する。

提案法は物理則に基づいてはおらず、ゲームのような対話的アプリケーションを目的としたものである。

2. 関連研究

髪の毛のシミュレーションに関する初期の研究では、個々の髪の毛の動きをばね質量モデルや投影動力学によって扱った。しかし、これらの手法は髪の毛同士の相互作用を無視しており、また計算コストが高い。計算の効率化のため、様々な手法で髪の毛を粗い束か連続体として扱っており、髪の毛の動きの自由度が制限されてしまう。髪の毛モデリングについてのより詳しい内容は、文献[2]を参照されたい。

髪の毛同士の相互作用について、既存手法の多くは代表となるいくつかの髪の毛においてのみ衝突を考慮し、それらの髪の毛は衝突しない場合は個々の髪の毛の衝突を捉えられない。Selleら[3]は個々の髪の毛の衝突を扱う手法を提案した。しかし、計算コストが高い。従来法と異なり、提案法は個々の髪の毛の衝突を扱う。提案法は実装が容易で、一般的に用いられるばね質量モデルに対する利点として、髪の毛が硬質であっても計算が安定である。また、シミュレーションとレンダリングはGPU上に実装することができ、数万本の髪の毛のアニメーションを対話的に生成することができる (図1)。

3. 髪の毛のシミュレーション

ここで、本研究の基礎である Lattice Shape Matching (LSM) [1]と提案する Chain Shape Matching (CSM)について簡単に説明する。そして、CSM に、伸張についての制約を導入する。最後に、提案モデルでの髪の毛同士の相互作用について述べる。

3.1 Lattice Shape Matching (LSM) と Chain Shape Matching (CSM)

Hair animation with hair-hair interaction at the individual strands level :

Witawat Rungjiratananon[†], Yoshihiro Kanamori[‡], Tomoyuki Nishita[†]

([†]The University of Tokyo, [‡]University of Tsukuba)

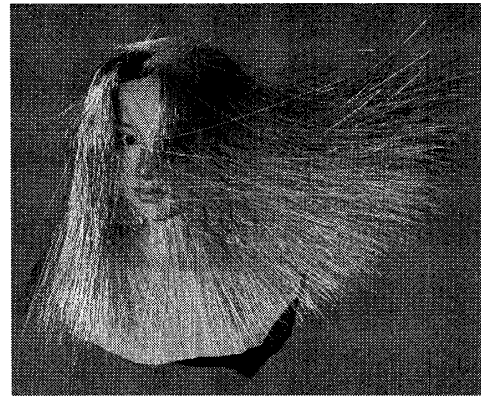


図1: 髪の毛および髪と頭の相互作用を考慮した1万本のストレート髪の毛からなるシミュレーション結果。それぞれの髪の毛は 16 個の粒子を含む。粒子の総数は16万、フレームレートは約 12fps である。

LSMは形状一致法[4]を拡張した手法である。形状一致法の主な利点は、計算が無条件に安定であり、高度な制御が可能である点である。これはLSMが幾何的な手法であることによる。LSMは物体を格子状に配置された粒子の集合で近似する。LSMでは、力の計算に基づいて物体の位置が更新される一般的なシミュレーション手法と異なり、最初に位置が計算され、次に各粒子がその位置に向かうよう、外力が与えられる。各粒子が適切な位置に向かうことが保証されているため、陽的な時間積分におけるオーバーシュート問題はない。この手法は後にposition-based dynamics[5]として一般化されており、一般的なシミュレーションシステムにも適用できる。

LSMでは、粒子は互いに重なり合った立方体状の領域にグループ分けされる。領域のサイズ w ($w = 1, 2, 3, \dots$) は物体の堅さに対応する。粒子の位置は以下のようにして更新される。最初に、各粒子は外力に従って独立に動かされる。次に、各領域について、適切な剛体変換(平行移動と回転のみからなる座標変換)を形状一致法[3]に基づいて計算する(図2上)。剛体変換の適用された粒子位置をゴール位置と呼ぶ。粒子 i のゴール位置 g_i は以下のように計算される。

$$g_i = R(x_i^0 - x_{cm}^0) + x_{cm} \quad (1)$$

ここで、 x_i^0 , x_{cm}^0 , x_{cm} , および R はそれぞれ粒子 i の元の位置、粒子 i の領域の質量中心、適切な平行移動量、および適切な回転を表す。ゴール位置は領域ごとに計算され、重なっている領域において、質量に応じて重み付けされる。最後に、各粒子の速度 v_i はゴール位置に向かって計算される。

$$v_i(t+dt) = v_i(t) + \frac{g_i(t) - x_i(t)}{dt} + dt \frac{f_{ext}(t)}{m_i} \quad (2)$$

$$x_i(t+dt) = x_i(t) + v_i(t+dt)dt \quad (3)$$

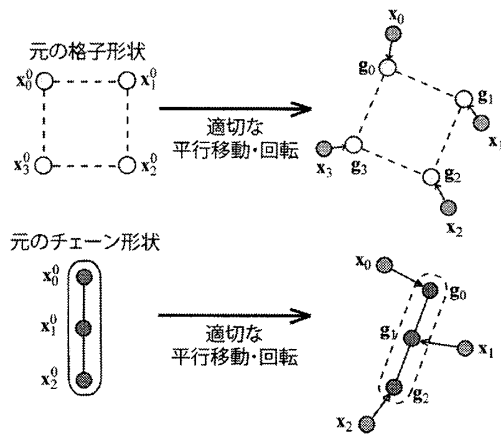


図 2: LSM と CSM での形状一致の様子。

ここで、 dt と f_{ext} はそれぞれタイムステップと外力である。

CSMでは、髪の毛の粒子の鎖は、LSMの重なり合った立方体状の領域の代わりに、重なり合ったチェーンの領域にグループ分けされる。それぞれのチェーンの領域はLSMで使用する同様の形状一致法を計算する(図2下)。

3.2 髪の毛の伸張の制限

本節では髪の毛の伸張を制限する方法を説明する。伸張の制限のための手法は元々、布シミュレーションの研究で提案されており、strain limitingと呼ばれる。布シミュレーションの多くは、布をモデル化するためにばね質量モデルなどの弾性系を使用する。欠点として、布は非常に弾性的になり、不自然に見えてしまう。Provotら[6]は布の中の各セグメント(ばね質量モデルにおける粒子間のリンク)の長さをチェックし、伸びたセグメントの長さを調整する手法を提案した。しかしながら、一つのセグメントを変更すると、それに隣接する他のセグメントが伸びてしまう。しかも、修正を繰り返しても収束は保証されない。Bridsonら[7]は位置の代わりに速度を変更する。しかし、速度の変更はCSMフレームワーク(あるいはposition-based dynamicsフレームワーク)では粒子位置に直接作用するので、適切ではない。

伸張の抑制のために、形状一致を適用した後に髪の毛の中の伸張されたセグメントを探す。頭皮に近い方から順に毛先に向かってセグメント長を調整していくので、反復的に処理を行う必要はない。

3.3 衝突検出

髪同士における相互作用に関しては、髪の毛のセグメント同士の衝突判定としてGPU上で計算する。各衝突したセグメントペアにはセグメントの両端粒子に外力としてペナルティを加える。髪と頭の相互作用は頭モデルを複数の大きな球で表現し、単純な球同士の衝突判定を計算する。

4. 結果

提案法をOpenGL, GLSLを用いてC++で実装し、Intel Core2 Quad 3 GHz, 2GB RAM, NVIDIA GeForce GTX 280グラフィックスカード搭載のPC で実験を行った。シェーディングにはKajiya-Kayモデルを、影の計算に deep opacity maps[8] を用いた。シミュレーションとレンダリングはすべてGPU上で計算される。

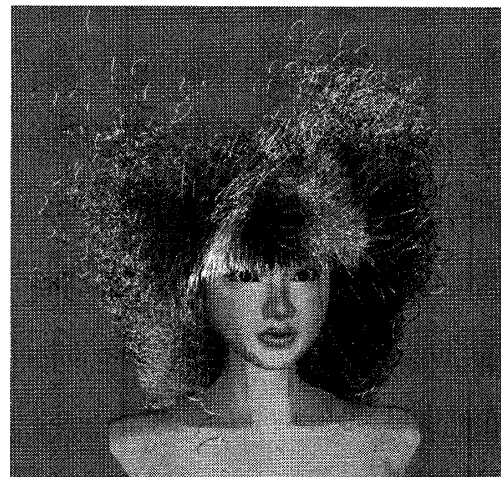


図3: 髪同士および髪と頭の相互作用を考慮した2.3万本の髪の毛からなるシミュレーション結果。それぞれの髪の毛は、長さによって8~25の粒子を含む。粒子の総数は76万、フレームレートは約 4fps である。

図1と図3は髪の毛が風になびくアニメーションのスクリーンショットを示す。それぞれは1万本のストレート髪の毛と2.3万本の髪の毛で複雑な髪型(各髪の毛は頭皮に近いところではストレート、毛先に近いところでは巻き毛になっている)を表現した例である。

5. まとめと今後の予定

髪の毛のシミュレーションのための形状一致法に基づいた簡易手法を提案した。提案法は視覚的にもっともらしいアニメーションを数値的に安定に実現した。GPUを用いて実装を行うことで、対話的なフレームレートを実現した。

提案モデルのボトルネックは髪の毛の同士の衝突判定である。髪の毛の同士の衝突判定を高速かつロバストに行う手法を開発したい。また、提案モデルでは髪の毛のねじれを考慮していない。CSMに髪の毛のねじれを扱う手法を取り入れたい。

参考文献

- [1] A. R. RIVERS and D. L. JAMES.: FastLSM: fast lattice shape matching for robust real-time deformation. In SIGGRAPH '07: ACM SIGGRAPH 2007 papers (2007), pp. 82-87.
- [2] K. WARD, F. BERTAILS, T.-Y. KIM, S. R. MARSCHNER, M.-P. CANI, M. LIN: A survey on hair modeling: Styling, simulation, and rendering. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG) 13, 2 (2007), 213-34.
- [3] A. SELLE, M. LENTINE, R. FEDKIW: A mass spring model for hair simulation. In SIGGRAPH '08: ACM SIGGRAPH 2008 papers (2008), pp. 1-11.
- [4] M. MÜLLER, B. HEIDELBERGER, M. TESCHNER, M. GROSS: Meshless deformations based on shape matching. In SIGGRAPH '05: ACM SIGGRAPH 2005 papers (2005), pp. 471-478.
- [5] M. MÜLLER, B. HEIDELBERGER, M. HENNIX, J. RATCLIFF: Position based dynamics. J. Vis. Comun. Image Represent. 18, 2 (2007), pp. 109-118.
- [6] X. PROVOT: Deformation constraints in a mass-spring model to describe rigid cloth behavior. In Graphics Interface '95 (1995), pp. 147-154.
- [7] R. BRIDSON, R. FEDKIW, J. ANDERSON: Robust treatment of collisions, contact and friction for cloth animation. In SIGGRAPH '02: ACM SIGGRAPH 2002 papers (2002), pp. 594-603.
- [8] C. YUKSEL, J. KEYSER: Deep opacity maps. Computer Graphics Forum (Proceedings of EUROGRAPHICS 2008) 27, 2 (2008), pp.675-680.