

효율적인 헤어 시뮬레이션을 위한 굽힘 기반 적응형 샘플링

윤주영^o, 김동희*, 김종현*
^o강남대학교 소프트웨어응용학부,
^{*}강남대학교 소프트웨어응용학부
e-mail: jonghyunkim@kangnam.ac.kr

Bending-based Adaptive Sampling for Efficient Hair Simulations

Ju-Young Yun^o, Donghui Kim*, Jong-Hyun Kim*
^oSchool of Software Application, Kangnam University,
^{*}School of Software Application, Kangnam University

● 요약 ●

본 논문에서는 외력에 의해 헤어가 움직일 때, 전체가 아닌 변형률이 큰 부분에 입자 제어점을 추가하여 베지에 곡선을 그리는 적응형 헤어 시뮬레이션 기법을 제안한다. 일반적인 정규화 샘플링을 통한 물리 시뮬레이션은 헤어의 움직임에 대한 정확도가 높은 반면, 계산량이 증가하고 메모리를 많이 차지하기 때문에 비효율적이다. 이 문제는 굽힘이 일어나는 특정 부분만 활용한 적응형 샘플링을 통해 해결할 수 있으며, 메모리뿐만 아니라 속도 측면에서도 모두 우수한 성능을 보인다. 본 논문에서 제안하는 방법을 이용한 굽힘 샘플링 기법은 헤어의 굽힘 패턴에 따라 실시간으로 표현되며 자연스럽게 부드러운 실제 헤어와 유사한 결과를 보여준다.

키워드: 털 시뮬레이션(Fur simulation), 헤어 시뮬레이션(Hair simulation), 굽힘 스프링(Bending spring), 베지에 곡선(Bezier curve), 적응형 샘플링(Adaptive sampling)

I. Introduction

헤어 시뮬레이션 연구는 컴퓨터 그래픽스 분야에서 가상 캐릭터의 시각적인 요소를 표현하는 데에 주로 사용되며 많은 관심을 불러일으키는 뜨거운 주제이다[1-3]. 개별 머리카락마다 수많은 입자가 존재하는 복잡한 헤어 시뮬레이션은 계산양이 크기 때문에 실시간 애니메이션 제작에 있어서 여전히 풀어야 될 문제들이 있다. 이러한 문제는 적응형 샘플링 기법을 활용하면 질량스프링 연결 구조의 헤어 동역학(Hair dynamics) 계산을 감소시킬 수 있으며, 빠르고 효율적인 실시간 시뮬레이션이 가능하다. 본 논문에서는 이를 구현하기 위한 새로운 알고리즘을 제시한다.

굽힘 스프링은 헤어의 뻣뻣한 성질(Stiffness)을 제어하기 위한 방법으로 많이 사용된다. 입자와 입자 사이 선분의 접힘을 방지하기 위해 각도를 계산하여 스프링 구조로 나타낸다. 변형률이 심하게 표현되는 굽힘이 일어나는 부분에 입자를 추가하여 부드러운 곡선을 표현하고, 반대의 경우에는 삭제하여 비선형적인 헤어 시뮬레이션을 보다 효과적으로 나타내는 방법을 제안한다. 이러한 방법을 구현하기 위한 본 논문의 기여도는 다음과 같다.

- 1) 헤어의 굽힘에 대한 베지에 곡선을 계산하는 방법
- 2) 장애물에 충돌되었을 때의 헤어 움직임



Fig. 1. Realistic hair simulation.

II. The Proposed Scheme

1 베지에 커브를 이용한 적응형 헤어 샘플링

본 논문에서는 비교를 위해 굽힘에 대한 2차 베지에 곡선이[4] 계산된 경우와 입력 데이터를 함께 보여주고 있는 그림이다 (Fig 2 참조).

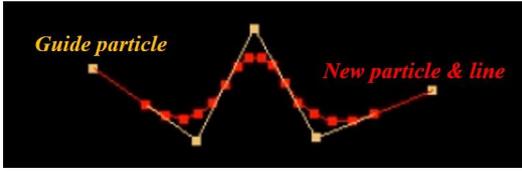


Fig. 2. Adaptive strand with Bezier curves.

이전 점 P_0 , 현재 점 P_1 , 다음 점 P_2 가 있을 때 2차 베지에 곡선이 그려지는 $B(t)$ 의 자취는 다음과 같이 계산한다 (수식 1 참조).

$$B(t) = (1-t)^2P_0 + 2t(1+t)P_1 + t^2P_2 \quad (1)$$

여기서 t 의 범위는 다음과 같다 : $0 \leq t \leq 1$. 상단의 식을 정리하면 다음과 같다 (수식 2 참조).

$$B(t) = (1-t)\{(1-t)P_0 + tP_1\} + t\{(1-t)P_1 + tP_2\} \quad (2)$$

여기서 t 의 범위는 $0 \leq t \leq 1$ 이며, $(1-t)P_0 + tP_1$ 은 P_0 과 P_1 을 잇는 선분을 $t : (1-t)$ 로 나누는 내분점이며, 동일하게 $(1-t)P_1 + tP_2$ 는 P_1 과 P_2 의 내분점이다. 최종적으로 $B(t)$ 는 두 내분점을 다시 $t : (1-t)$ 로 나눈 내분점을 뜻한다.

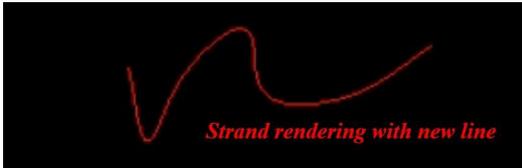


Fig. 3. Smoothed strand with our method.

Fig. 2에서 보듯이 벡터 선분에서 특정 각도가 생겼을 때, 입자를 추가하여 이를 바탕으로 베지에 곡선을 그려 굽힘 스프링을 표현한다. 반대로 각도가 완만해졌을 경우 입자를 삭제하고 기존 가이드 라인을 그린다. 본 논문에서는 새롭게 추가되는 입자 개수를 5개로 지정하여 샘플링하였다.

Fig 3.은 입자를 제거하고 오직 선분으로만 나타낸 베지에 곡선 결과이다. 사진에서 확인할 수 있듯이 선분이 불연속 지점 없이 연속적으로 나타나며 실제 머리카락과 유사하게 부드러운 곡선으로 나타난다.

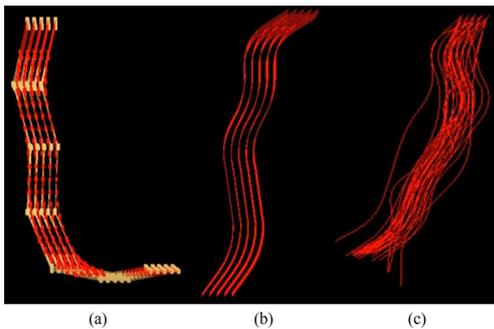


Fig. 4. Multiple strands in hair simulation (yellow : guide particle, red : new particles).

Fig. 4는 다중 머리카락을 시뮬레이션한 결과이며 굽힘이 일어난 부분을 기반으로 적응형 실시간 시뮬레이션이 수행되었다. Fig 3a는 가이드 입자와 새롭게 추가된 입자들이 함께 표현한 결과이며, Fig. 3b는 추가된 입자를 기반으로 그린 베지에 곡선, Fig. 3c는 충돌 처리 후 여러 개 머리카락의 개별 베지에 곡선의 움직임에 대한 결과이다.

2. 충돌처리

충돌은 장애물과 머리카락이 서로의 영역에서 겹칠 때 발생한다. Fig 5에서 보듯이 장애물이 머리카락과 충돌하였을 때, 가이드 입자를 기준으로 충돌 여부를 판단하고 헤어 입자가 장애물을 통과하지 않도록 처리한다.

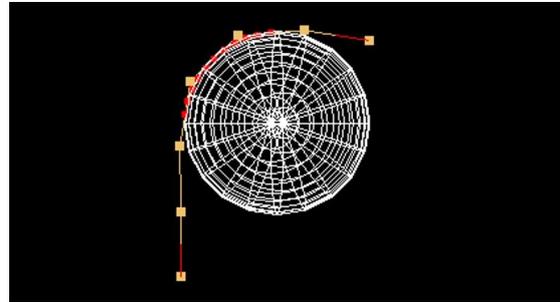


Fig. 5. Collision handling of a strand.

III. Conclusions

본 연구에서는 효율적인 적응형 시뮬레이션을 계산하기 위해 새로운 굽힘 스프링 구조를 제안한다. 이 기법은 가이드 입자를 기준으로 자동으로 베지에 커브를 그려 굽힘 스프링을 나타내기 때문에 빠르고 메모리 효율적으로 헤어의 유연성을 표현할 수 있다. 그뿐만 아니라, 각도와 입자 추가 개수 값을 조절함으로써 헤어의 곡선을 쉽게 제어할 수 있다. 향후, 적응형 시뮬레이션을 헤어 사이의 상호작용을 고려한 빙결된 헤어(Freezing hair)분야로 확장하여 연구하고자 한다. 더불어, 본 기법을 통해 인공 신경망 기반의 슈퍼 해상도(Super-resolution)을 [5] 활용해 업스케일링하여 고해상도의 헤어 시뮬레이션을 표현하고자 한다.

REFERENCES

- [1] Selle, Andrew, Michael Lentine, and Ronald Fedkiw. "A mass spring model for hair simulation." ACM SIGGRAPH, pp. 1-11, 2008.
- [2] Ward, Kelly, et al. "A survey on hair modeling: Styling, simulation, and rendering." IEEE transactions on visualization and computer graphics, pp. 213-234, 2007.
- [3] Rungjiratananon, Witawat, Yoshihiro Kanamori, and

Tomoyuki Nishita. "Wetting effects in hair simulation."
Computer Graphics Forum. vol. 31. no. 7. Oxford, UK:
Blackwell Publishing Ltd, 2012.

- [4] Yang, Lianqiang, and Xiao-Ming Zeng. "Bézier curves and surfaces with shape parameters." International Journal of Computer Mathematics, pp. 1253-1263, 2009.
- [5] Van Ouwerkerk, J. D. "Image super-resolution survey." Image and vision Computing, pp. 1039-1052, 2006.