

옷감 시뮬레이션의 효율성

박 미 경*

cloth and clothing

옷감은 사람의 몸을 보호하고 장식하는데 큰 역할을 한다. 인체의 대부분은 거의 언제나 옷에 싸여 있다. 실생활에서처럼, 가상의 세계에서도 의복은 그 옷을 입은 캐릭터의 여러 가지 특성을 나타내고, 애니메이션을 한 경우 그 옷을 걸친 물체의 동작 특성과 속도 등을 나타내는 중요한 시각적 실마리를 안겨 준다. 옷감을 모델링하는 가장 간단한 방법 중의 하나는 한 재질을 가진 조각을 늘어뜨리는 드레이핑(draping)이다. 이산된 점들을 이용해 옷감의 특정한 골들이 만들어지고 이 점들을 움직이므로 옷감을 애니메이션한다. 이런 방법은 그 옷감의 접힘, 주름, 휘어짐 등을 나타낼 수 없다. robust한 옷감 모델링을 하기 위해서는 옷감과 인체사이의 계속되는 접촉에 대해서 고려해 주어야한다. 삼각형 매쉬를 하부구조로 사용하면 robust한 옷감을 구현을 위한 지속적 충돌을 시험할 수 있고, 자세한 세부 구조를 모델링할 수 있다.

옷감 시뮬레이션에서, 옷 입었을 때 자연스럽게 나타나는 주름이나 부풀림 등을 표현하기 위해서 옷감이 가진 dynamic한 성질을 사용한다. 옷을 입은 물체가 옷감에 영향을 미치는 것을 시뮬

레이션하기 위해서는, 옷감이 물체와 또 옷감 자체끼리 끊임없이 충돌하기 때문에, 충돌 탐지(collision detection)와 반응에 대해 계산을 해야 한다. 옷감의 주름과 부풀림을 사실적으로 묘사하기 위해서는 비교적 작은 삼각형을 사용해야하므로 인체에 옷을 입히는 작업은 많은 수의 기하학적인 요소가 필요하다. 그러므로 옷감의 dynamic 시뮬레이션과 충돌 문제를 구현할 때는 그 사용할 방법의 효율성에 대해 주의를 해야 한다.

modeling dynamics

옷감을 걸치고 있는 물체의 움직임에 따라 사실적으로 반응하도록 하기 위해서 사용자는 천을 만드는 실의 특성을 사용하고[1], 이 특성들은 천의 종류에 따라 차이가 나야한다. 늘어나는 정도, 굽혀짐, 비틀림 등이 그 특성이다. 이 특성들은 힘을 분산시키는 스프링이나 특정 상황의 전체 에너지에 공헌하는 에너지 함수로 모델링할 수 있다. 힘이나 에너지가 사용될 때에 그 함수 형태는 비슷하며, 보통 정지 상태의 어떤 길이 값의 변화에 기초한다.

직조된 옷감은 씨실과 날실로 만들어지기 때문에 정사각형의 매쉬를 만드는데, 임의의 사각형은 한 평면상에 있지 않을 수도 있다.

늘어나는 것은 보통 단순히 정지 상태에서부터

* 영산대학교 컴퓨터 정보 공학부

변의 길이가 변화된 정도를 측정하여 결정한다.

다음에 주어진 방정식 1은 해당 스프링에 대한 힘의 방정식이고, 방정식 2는 에너지 방정식이다. 여기서 v_1^* 와 v_2^* 는 정지 상태의 꼭지점이고 v_1 과 v_2 는 현재의 꼭지점이다.

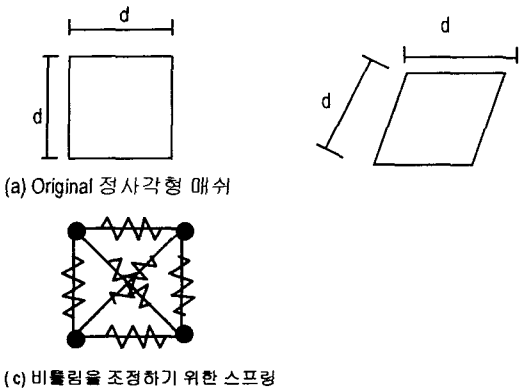


그림 1. (a)원래의 사각형 매쉬, (b)비틀린 사각형 매쉬 (c)대각선 스프링으로 비틀림 조절(9)

$$F_s = k_s \cdot \left(\frac{|v_1 - v_2| - |v_1^* - v_2^*|}{|v_1^* - v_2^*|} \right) \cdot \frac{v_1 - v_2}{|v_1 - v_2|}$$

방정식 1

$$E_s = k_s \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{|v_1 - v_2| - |v_1^* - v_2^*|}{|v_1^* - v_2^*|} \right)^2$$

방정식 2

늘어나기를 변에만 제한함으로써 매쉬의 표면적의 변화를 조절할 수 있다. 비틀림은 그림 1의 a와 b에서 볼 수 있듯이, 원래의 변 길이를 유지하는 동평면 상에서의 매쉬 변형이다. 그런 변형을 조절하기 위해서는 (힘을 사용할 때) 대각선의 스프링을 사용할 수 있다. [2]에서 주어진 비틀림을 조절하기 위한 에너지 함수는 방정식 3에서 주어진다.

$$S(v_1, v_2) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{|v_1 - v_2| - |v_1^* - v_2^*|}{|v_1^* - v_2^*|} \right)^2$$

$$E_w = k_w \cdot S(v_1, v_3) \cdot S(v_2, v_4)$$

방정식 3

변과 대각선의 스프링(에너지 함수)의 변형은 동평면 상에서의 변형이며 동평면이 아닌 경우의 변형도 생각할 수 있다. 구부림과 변의 길이나 대각선의 값을 바꾸지 않고 변을 따라 접는 것 등이 그 경우이다. 구부림은 인접 사각형의 사이 각을 제한하거나 이웃하는 몇 개의 꼭지점을 분리하는 것을 조절함으로써 표현할 수 있다. 정지 상태에서의 각으로부터의 편차를 기반으로 한 스프링 형태의 방정식을 이용하여 사이 각을 조절할 수 있다: $F_b = k_b \cdot (\theta_i - \theta_i^*)$. 단 여기서 θ_i^* 는 원래의 사이 각, θ_i 는 구부림 후의 사이 각을 나타낸다.

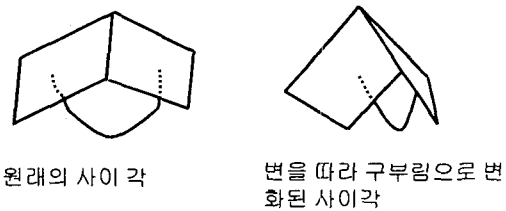


그림 2. 사이 각을 이용한 구부림 조절

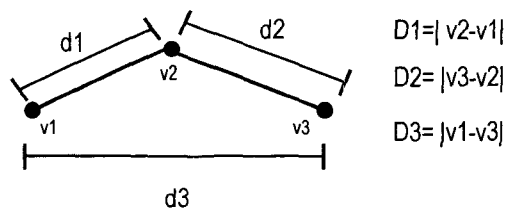


그림 3. 인접 꼭지점의 분리로 구부림 조절하기

구부림은 천의 재질의 씨실이나 날실 방향으로 인접 꼭지점으로 분리시켜서 조절할 수도 있다.

$$F_b = k_b \cdot \left(\frac{d_3}{|d_1 + d_2|} - \frac{d_3^*}{|d_1^* + d_2^*|} \right)$$

방정식 4

스프링 같은 힘이나 에너지 함수의 상수 k_s , k_w , k_b 를 매쉬에 특성을 부여하기 위하여 전역적 또는 지역적으로 조작할 수 있다.

collision detection and response.

옷감의 부딪힘(collision)은 다른 복잡한 환경 요소의 부딪힘과 비슷하게 효율성을 생각해서 다루어야 한다. 복잡한 환경을 효율적으로 다루기 위해 쓰는 방법 중에 가장 널리 쓰이는 것은 바운딩 박스의 계층 구조 안에 데이터를 정리하는 것이다. [2]에서처럼 옷감의 각 face에 바운딩 박스를 만듦으로써 상향식 계층 구조를 만든다. 각 face는 인접 face와 논리적으로 결합하여 연합된 바운딩 박스를 만들고 계층 구조에서 한 단계 위인 노드를 형성한다. 이와 같이 계속하여 전체 옷감의 바운딩 박스에 대한 계층 구조를 만든다. 옷감은 딱딱한 물체가 아니므로, 꼭지점이 움직일 때마다 바운딩 박스의 변화를 업데이트 할 수 있는 추가 정보를 자료구조에 포함시킬 수도 있다.

부딪힘은 옷을 입은 형상에게서 거의 끊임없이 일어나며 움직이는 형상에 대한 이런 추진력의 계산은 비용이 많이 드는 것이다. 꼭지점이 주변의 한 face를 침범할 때, 중재하는 스프링을 두어 그 꼭지점을 적당한 위치에 두도록 하는 힘을 전하도록 할 수 있다.

옷감 시뮬레이션을 위한 적분 방법의 효율성 비교

효율적인 옷감 시뮬레이션 시스템에서 가장 중요한 문제는 올바른 시뮬레이션 방법과 그 구현이다. 효율적인 옷감 simulation에서 사용되는 여러 가지 방법 중에서, finite element method[3], continuum mechanics[4], particle system[5] 등

이 가장 많이 쓰이는 방법들이다. 이 중에서 특히 입자 시스템(particle system)은 옷감같이 변형 가능한 물체의 정확도와 속도사이에서 가장 적절한 타협이 가능하므로, 여기서는 이 particle system에 기반을 둔 옷감 시뮬레이션의 효율성에 대해 정리해 보도록 한다[6].

particle system은 역학 시스템(mechanical system)을 점 질량(punctual mass)의 집합으로 표현하며, 옷감 표면의 모양은 주변 입자들 사이의 기하학적인 모양으로 표현할 수 있다. 역학적 행동은 입자들 사이에 상호 작용하는 힘으로 표현되고, 이 힘은 입자의 상대 거리와 속도에 영향을 받아 변형 정도와 변형 속도로 측정될 수 있다. 정확도와 복잡도에 따라 particle system 표현을 사용하는 다양한 모델이 있고(단순한 스프링-질량(spring-mass) 시스템 또는 정확한 곡면 모델(surface model)이나 부피 모델(volume model) 등), 이들은 적절한 모델링을 통하여 1차 상미분 방정식 시스템으로 표현되어질 수 있다. 이 수치적인 시스템을 수치적으로 적분함으로써, 시간에 따른 이 역학 시스템의 변화를 알 수 있는데, 보통 이 변화는 규칙적인 시간 구간 상에서의 물체의 연속적인 위치의 변화를 나타내는 것이다. 1차 상미분 방정식의 해법과 관련된 여러 가지 수치적인 방법이 있는데, 문제의 크기, 정확도, 시뮬레이션의 내용 등을 고려하여 가장 적합한 적분 방법을 선택해야 한다. 여러 가지 방법을 분류하면, Explicit한 방법, Implicit한 방법, 저 차수 방법, 고 차수 방법 등의 몇 가지 주된 방법으로 분류할 수 있다.

[6]에서는 explicit Midpoint 방법[1], explicit Runge-Kutta 방법[3,8], Backward Euler 방법[7,8](즉 implicit 방법)을 서로 비교하였다. 일반적으로 음 함수적 방법(implicit method)은 안정적이고, 고 차수 방법은 정확하다. 위의 적분 방법

들을 비교하기 위한 옷감을 시뮬레이션에서 완전한 곡면 탄성 모델(surface elasticity model)과 단순한 spring-mass 모델이라는 두 가지의 이산적인 역학 표현을 이용하였다.

Implicit Euler 방법은 수치적인 불안정성에 영향을 받지 않으므로 옷감 관련한 여러 가지 시뮬레이션 상황에서 robust하다. 역 Euler 방법은 적합한 선형 시스템으로 근사시키면, 고차수의 Runge-Kutta의 방법 보다 더 빠를 수도 있다. 특히 빠른 시간에 정지 상태로 수렴하게 하는 옷감 늘어뜨리기(draping) 문제에는 음함수 방법을 사용하는 것이 확실한 이점이 된다. 이 방법은[6]에서의 실험에 의하면 Runge-Kutta 방법보다 거의 10배나 빠르다. 다이나믹 문제에서는 음함수적 방법이 특별히 이점이 되는 것 같지는 않다. 그러나 backward Euler 방법은 다른 explicit 방법보다 다이나믹 문제에서 시간이 적게 든다는 이점이 있다. explicit한 방법은 그 정확도 때문에 여전히 흥미를 끈다. 그러나 경우에 따라서 엄청난 계산량이 요구될 수도 있다. 5차 Runge-Kutta 방법은 고 정확도와 적분 에러의 평가에 사용하기 좋은 방법이라고 할 수 있다. 좀더 간단한 midpoint 방법은 거칠게 이산화가 된 헐거운 재질의 경우에만 어떤 사용가치가 있다.

역학적 시뮬레이션 엔진을 만들 때 이 모든 것들을 잘 고려해야지 효과적인 옷감 시뮬레이션에서 실제 패션모델을 보는 것과 같은 효과를 낼 수 있는 복잡한 모델을 만들 수 있다.

마지막으로 옷감의 모델링과 관련된 여러 가지 연구 주제는 다음과 같다.

1. 빠른 mechanical model: 크고 복잡한 곡면에 적합하며, 사용자 인터페이스를 사용하는 것.
2. 충돌 추적(collision detection)과 반응: 큰 폴리곤 매쉬의 빠른 추적, 자기충돌 추적의 최적화,

여러 가지 충돌에 적합한 반응, 사실 감 있는 마찰(friction)과 안정성 보장.

3. 옷감의 사실성 향상: 정확한 공기 역학의 효과, 거친 폴리곤 매쉬에서도 좋게 보여 지는 것, 곡면 부드럽게 하기와 주름 만들기.

4. 강력한 시뮬레이션 인터페이스: 자동적인 3차 의상 조립과 애니메이션, 인터랙티브하게 디자인 특성을 시뮬레이션 할 수 있는 것, 만능의 시뮬레이션 인터페이스(다양한 옷감의 종류를 디자인 할 수 있을 것).

참 고 문 헌

- [1] P. Volino et al, "Versatile and effective Techniques for simulating Cloth and other Deformable objects," Proceedings of SIGGRAPH 95, Computer Graphics Proceedings, pp137-144, AUGUST 1995.
- [2] T. DeRose et al, "Subdivision Surface for character animation," Proceedings of SIGGRAPH 98, Computer Graphics Proceedings, pp185-94, July 1998.
- [3] J.W. Eischen, S. Deng, T.G. Clapp "Finite element Modeling and control of flexible fabric parts, Computer Graphics in Textile and Apparel (IEEE computer graphics and application), pp71-80, Sept. 1996.
- [4] D. Terzopoulos et al, "Essentially deformable models" Computer Graphics (SIGGRAPH 87 proceedings) pp205-214, 1987.
- [5] D.E. Breen, D.H. House, M.J. Wozny, "Predicting the drape of woven cloth using interacting particles" Computer Graphics (SIGGRAPH 94 proceedings) pp365-372, 1994.
- [6] P. Volino, N. Thalmann, "Comparing Efficiency of Integration Methods for cloth Simulation", proceedings of Computer Graphics Interface '01, Hongkong, July 2001.

[7] B. Eberhardt, A. Weber, W. Strasser, "A fast, flexible, particle system for cloth draping", Computer Graphics in Textile and Apparel (IEEE computer graphics and application), pp52-59, Sept. 1996.

[8] P. Volino, N. Thalmann, "developing simulation techniques for an interactive clothing systems and multimedia (VSMM proceedings), Geneva Switzerland, pp109-118, 1997.

[9] Rick Parent, Computer Animation Algorithms and Techniques, Morgan Kafman



박 미 경

- 1981 부산대학교 자연대 졸업 (이학사)
- 1983 부산대학교 대학원 졸업 (이학 석사, 수학)
- 1992 Purdue University, West Lafayette, IN, USA (Ph.D, Mathematics) Several Complex Variables
- 1992.05~1995.05 University of Missouri, St. Louis Department of Mathematics and Computer Science, Adjunct Assistant Professor
- 1995.09~1996.08 University of Warwick, Department of Computer Science, Visiting Researcher
- 1997.03~1998.02 한국 전자 통신 연구원, Post Doctor
- 1998.03~현재 영산대학교 컴퓨터 정보 공학부 조교수, 소프트웨어전공 책임 교수
- 2001. 2. AWIC MAYA 공인 강사 취득
- 2002. 3~현재: MAYA ATC자문 위원
- 2002. 7~2003. 6: 멀티미디어를 이용한 대학교육 콘텐츠 개발 지원사업 수행. (학술 진흥 재단: 상호작용적인 3차원 컴퓨터 애니메이션 원격교육을 위한 컴퓨터 화면 동영상 서비스 시스템 구축 및 교육 콘텐츠 개발 - Alias/Wavefront Maya를 중심으로)
- 관심분야 : 3D Computer Graphics, Wavelets, Modeling with Implicit Surfaces, Multimedia contents 제작