

직물의 3차원 드레이프 표현을 위한 모델 개발

박종규, 강태진

서울대학교 섬유고분자공학과

2차원 시스템과는 달리 3차원 의복 CAD 시스템을 이용하면, 직접 재단 봉제 과정을 거치지 않고도, 만들어진 의복의 형상과 착장 상태를 확인해볼 수 있다는 장점이 있다. 이러한 3차원 시스템에서는 의복의 자연스런 처짐, 이른바 드레이프(drape)를 잘 표현하여야만 실제에 최대한 가까운 의복의 형상을 보여줄 수 있다.

그러나 기존의 연구들은 드레이프 그 자체의 역학적 해석을 위주로 행하여져 계산 시간이 많이 걸렸고, 따라서 사용자와 대화식으로 즉시즉시 결과를 보여주어야 하는 3차원 CAD 시스템에 사용하는 데는 무리가 있었다. 따라서 본 연구에서는, 3차원 CAD 시스템의 화면 출력용으로 사용 가능한 드레이프 표현 모듈을 개발하는데 주력하였다.

이론적 배경

직물의 드레이프를 해석하는 방법은 크게, 연속체 역학(continuum mechanics)을 이용한 방법과 비연속체 역학을 이용한 입자 모델(particle-based model) 두 가지로 나눌 수 있다. 연속체 역학을 이용하는 방법은, 직물을 연속된 시트(sheet)로 보고 이를 작은 구간으로 나누어서 그 변형을 유한요소해석(finite element analysis)적인 방법을 주로 사용하여 계산한다.[1] 이는 비교적 정확하고 정밀한 해를 얻을 수 있다는 장점이 있으나 계산 시간이 많이 걸린다는 단점이 있다.

또 다른 방법으로는, 컴퓨터 그래픽 분야에서 자연 현상을 표현하는데 흔히 사용하는 입자 모델이 도입되기도 하였다. 이는, 직물을 작은 입자들과 그 입자들을 연결하는 링크들의 모임으로 보고 입자들의 위치 관계로 직물의 형상을 표현하는 방법이다.[2] 이는 유한요소 해석에 비해 해의 정확도가 떨어지는 단점이 있으나 계산 시간이 상당히 단축된다는 장점도 있다.

그래서, 본 연구에서 개발하고자 하는 3차원 CAD 시스템에서는, 역학적인 해석과 정확한 해가 필요할 때에는 유한요소해석을, 사용자 편의를 위한 출력 모듈에서는 상대적으로 속도가 빠른 입자 모델을 상호 보완적으로 사용하며, 본 연구에서 논하고자 하는 것은 입자 모델이 사용된 출력 모듈이다.

$$\begin{aligned}
\forall i, \ddot{x}_i &= \frac{k}{m} \sum_j^N C(i,j) \frac{L_{ij} - L_{ij}^0}{L_{ij}^0} && \dots \text{tension} \\
&+ \frac{B}{m} \sum_j^N \sum_{k=j+1}^N C(i,j) C(j,k) (\theta_{ijk} - \theta_{ijk}^0) && \dots \text{bending and shear} \\
&+ \frac{\eta}{m} \dot{x}_i + \frac{\mu}{m} (\dot{x}_i)^2 && \dots \text{damping and friction} \\
&+ g && \dots \text{gravity}
\end{aligned}$$

계산과 접촉점 처리

이러한 상미분방정식의 시스템을 풀기 위해서 그림 2에서 보는 바와 같이 단계적으로 적분을 행하였다. 또한, 직물과 물체와의 접촉을 처리하기 위해, 각 입자들의 위치가 물체의 내부에 있는지를 검사하여 내부에 있으면 물체 밖으로 이동시켰다.

접촉을 잘 처리하기 위해서는 적분을 행하는 미소 시간 변이(dt)를 작게 해야 하기 때문에 접촉이 없을 때보다는 계산량이 많고 속도도 떨어지게 된다.

출력과 그래픽

이렇게 적분을 통해 얻어진 3차원 형상을 화면에 출력하기 위한 3차원 그래픽 기술로는 Silicon Graphics Inc. 에서 개발한 OpenGL 을 사용하였다.[3] OpenGL 은 기능이 우수할 뿐만 아니라 플랫폼 독립적이기 때문에 PC 에서나 워크스테이션에서나 쉽게 이식하여 사용할 수 있다.

이를 이용하여 3차원 형상을 화면에 출력하는 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램에는 평행이동, 회전이동 기능이 있어 원하는 각도에서 물체를 볼 수 있으며, 음영 넣기(shading), 무늬 넣기(texture mapping) 등을 통해 직물의 모습을 사실적으로 묘사할 수 있다.

출력 예

그림 3은 사각형 직물을 사각형 물체 위에 올려놓아 드레이프되는 모양을 모델링하여 표현한 것이다. 계산과 실시간 렌더링까지 포함하여 펜티엄 PC 에서 1~2 초 정도가 소요되었다.

응용 분야

이 모듈은 3차원 CAD 뿐만 아니라 직물의 드레이프를 보여주어야 할 곳, 예를 들면, 의복의 착장 상태를 직접 재단 봉제를 거치지 않고 컴퓨터 화면 상에서 확인하는 가상 시착(試着) 시스템, 영화, 가상 현실(virtual reality) 등 어디든 응용 가능하다. 특히 인터넷 WWW(worldwide web)을 통해 일반 사용자가 가상 공간에서 자유로이 의복의 착장 상태를 확인할 수 있는 시스템을 개발하는 연구가 진행중이다.

모델링

입자-링크 시스템

그림 1에서 보는 바와 같이, 직물을 작은 입자들의 모임으로 나누어 모델을 만들었다. 이 입자들은 링크로 연결되어 있고, 입자의 질량은 그 중심에 집중되어 있다고 가정한다. 입자의 질량은 직물의 질량을 입자 전체의 갯수로 나누어 정한다.

이 모델은 본 연구실에서 작성한 유한요소해석 코드에 바로 적용할 수 있게 호환성을 갖는다.

힘의 평형

입자 한 개에 작용하는 힘 중에서 직물의 변형에 영향을 미치는 것은 이러한 것들이 있다.

중력(gravity)

$$F_{G,i} = mg$$

인장(tension)

$$F_{T,i} = k \sum_j^N C(i,j) \frac{L_{ij} - L_{ij}^0}{L_{ij}^0}$$

굽힘(bending)과 shear

$$F_{B,i} = B \sum_j^N \sum_{k=j+1}^N C(i,j) C(j,k) (\theta_{ijk} - \theta_{ijk}^0)$$

댐핑과 마찰(damping and friction)

$$F_{D,i} = \eta \dot{x}_i + \mu (\dot{x}_i)^2$$

여기서 $C(i,j)$ 는 "connection factor"로 정의하여 i 번째 입자와 j 번째 입자가 링크로 연결되어 있으면 1을, 그렇지 않으면 0의 값을 갖게 하였다. L 은 링크의 길이, θ 는 링크 사이의 각을 나타낸다. 위 첨자 0는 변형 전 상태를 뜻한다.

입자에 작용하는 가속도는 이들 힘들의 합에 의해 얻어질 수 있으며, 이를 이용해 다음과 같은 N 개의 상미분방정식으로 구성된 시스템을 얻을 수 있다.

참고

1. W. R. Yu, Three Dimensional Drape Simulation of Woven Fabric, PhD Thesis, Seoul National Univ., 1998.
2. David E. Breen, Michael J. Wozny and Donald H. House, "Particle Model for Drape Simulating the Draping Behavior of Woven Cloth", *Textile Research Journal*, Vol. 64, No.11, 1994.
3. OpenGL ARG official page: <http://www.opengl.org>

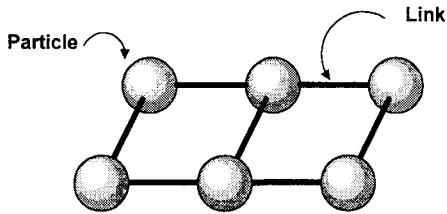


Fig.1. Particle-Link model

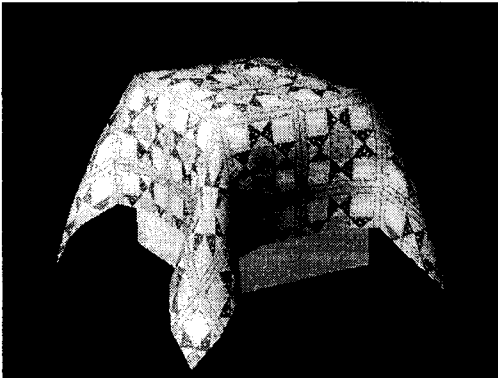


Fig.3. Draped Shape of a Sample Fabric

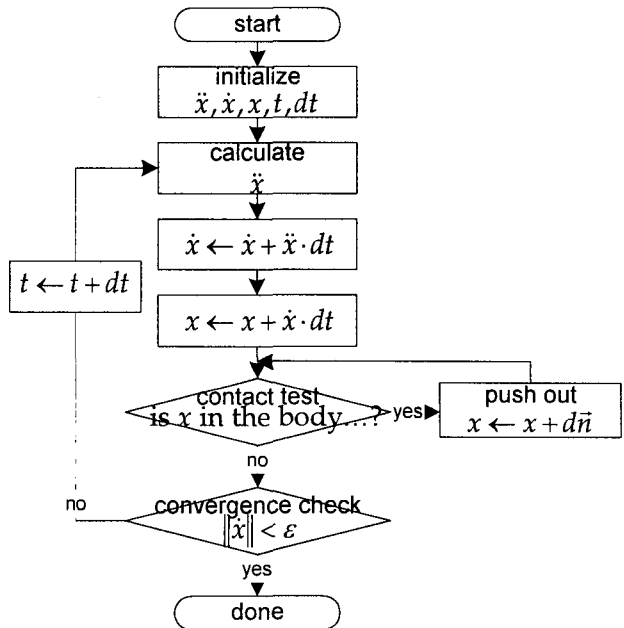


Fig.2. Work flow integrating and treating contact