

키네틱 프로젝션 매핑을 위한 물리기반 표면변형 시뮬레이션*

김정민^{0, 1}, 김지수¹, 권오홍², 김영준¹
 이화여자대학교 컴퓨터공학과¹, 한국생산기술연구원²
 {zxij| cywh5526}@ewhain.net, ohung@kitech.re.kr, kimy@ewha.ac.kr

Physics-based Surface Deformation for Kinetic Projection Mapping

Jungmin Kim^{0, 1}, Jisu Kim¹, Ohung Kwon², Young J. Kim¹
 Dept. of Computer Science and Engineering, Ewha Womans University¹
 Korea Institute of Industrial Technology²



그림 1: (왼쪽부터) 실제 카멜레온 서피스 구성 및 동적 프로젝션 매핑 결과와 가상 환경에서의 카멜레온 서피스 구성

요약

본 연구에서 제안된 키네틱 프로젝션 매핑 시스템인 카멜레온 서피스 시스템에서는 프로젝션 스킨의 표면이 변형된다. 이러한 변형은 카멜레온 서피스의 액츄에이터에 부착된 제한된 수의 말단작용체에 의해 제어되며, 본 논문에서는 프로젝션 스킨의 물성치를 반영한 실시간 가상 직물 시뮬레이터를 구현하여 원하는 가상의 매핑 콘텐츠 형상과 카멜레온 서피스와의 차이를 최소화하도록 말단작용체의 위치를 최적화하는 방법을 제안하여 카멜레온 서피스를 효과적으로 제어할 수 있도록 하였다.

1. 서론

키네틱 아트에서 영상을 입체적으로 가시화하기 위해, 영상이 투사되는 표면(스킨)을 물리적으로 변형하는 기술들이 개발되고 있다. 본 연구에서 제안된 키네틱 아트 시스템인 카멜레온 서피스에서는 선운동을 하는 로보틱 액츄에이터의 전면부에 신축성과 복원력이 좋은 직물 스킨을 부착한 형태로 동적 프로젝션 스킨을 구성한다 (그림 1). 이때, 액츄에이터의 선운동 이동거리는 스킨에 투사되는 타겟 콘텐츠의 3D 깊이 정보에 의해 결정되고 이는 부착된 스킨을 변형하여 그 표면에 프로젝션

매핑을 통해 영상을 가시화한다. 카멜레온 서피스는 어떤 의미에서는 실시간 텍스쳐 매핑 기술인 변위매핑(displacement mapping)의 기계적인 구현이라고 볼 수도 있다.

한편 카멜레온 서피스에서 액츄에이터는 일정한 간격으로 배치되어 있고 그 개수가 제한되어 있기 때문에 투사하려는 타겟 메시의 변위량과의 차이가 항상 존재한다. 본 연구에서는 카멜레온 서피스를 물리기반 가상 직물 시뮬레이션으로 구현하여, 직물 스킨 표면이 타겟 메시와 최대한 유사하게 변화하도록 액츄에이터의 위치를 최적화하는 것을 목표로 한다. 구현된 시뮬레이터는 물리 기반 시스템으로 실제 직물 스킨의 물성치가 적용되어 있으며 실시간으로 동작한다.

2. 물리기반 표면변형 시뮬레이션 및 최적화

본 절에서는 카멜레온 서피스의 가상 시뮬레이터의 구현에 사용된 물리 시뮬레이션 시스템과 액츄에이터의 위치를 최적화하는 방법에 대해 알아본다.

2.1. Position-based Dynamics

물리기반 실시간 가상 직물 시뮬레이션 중 대표적 방법인 Position-based dynamics(PBD)는 기하학적 제약조건에 따라 가상 직물 노드의 위치 정보를 직접적으로 제어한다 [1][2]. 본 논문에서 사용된 시뮬레이터는 스킨 서피스의 변형을 액츄에이터의 말단작용체와의 접촉에 의한 위치제약조건으로 모델링한다.

* 구두발표논문, 요약논문 (Extended Abstract).

* 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2018년도 문화기술연구개발지원사업의 지원으로 수행되었음.

2.2. 가상 직물 물성치 조정

본 연구에 사용된 PBD의 경우에 고성능의 시뮬레이션이 가능하다는 장점이 있지만, 엄밀한 의미에서의 물리기반 시뮬레이션이라고 보기는 힘들다. 하지만 기하학적 제약조건을 직접적으로 제어할 수 있으므로, 임의의 물성치 조건을 만족시키게 할 수 있는 장점이 있다.

직물은 탄성체로서 이의 물성치는 직물의 변형을 결정하는 요소이다. 물성치는 직물이 늘어나고 줄어드는 변형이 선형적인지 비선형적인지, 혹은 등방성인지 비등방성 성질을 갖는지에 따라 다르게 표현될 수 있다 [3].

일반적으로 유한요소법(FEM)에서 직물의 물성치는 외력에 의한 직물의 변형율(strain)과 그로 인해 발생하는 응력(stress) 사이의 관계인 강성(stiffness)에 따라 결정된다. PBD에서는 거리 제약 조건을 통하여 직물 노드가 변형될 수 있는 길이를 제한하므로 [1] 거리제약 조건 변수의 강성치를 조절한다.

카멜레온 서피스 프로젝트에서 사용된 스키는 비선형적 변형을 겪으며 일반적인 직물에 비해 신축성이 높고 등방성을 뛴다 (그림 2). 이 물성치를 반영하기 위해 거리제약 조건 변수(k)를 직물의 변형율(x)에 따라 다음과 같이 모델링 한다. 이때 상수 c 는 모델링 된 그래프가 실제 그래프의 기울기를 반영하도록 선택한다.

$$k(x) = e^{cx^2} - 1, \quad c \in R^+$$

2.3. 가상 직물 변형 최적화

액츄에이터에 부착된 직물 스키니 타겟 메시와 유사한 형태를 이루게 하기 위해 액츄에이터의 위치를 최적화해야 한다.

우선, 최적화 전의 가상 직물 시뮬레이션의 결과와 타겟 메시의 깊이 차이를 가상 직물의 모든 노드에 대해 구한다. 이후에 각 노드에 대해 가장 가까운 위치의 액츄에이터에 타겟 메시와의 차이를 더하여 모든 액츄에이터에 대해서 주변 노드들의 타겟 메시와의 차이에 대한 평균 값을 얻는다. 이 평균 값을 액츄에이터가 이동해야 할 값으로 할당을 하며 이때 액츄에이터의 움직임은 PBD의 위치제약조건에 의해 제어된다. 이 과정을 타겟 메시와의 차이가 일정 값 이하가 될 때까지 반복한다.

3. 결과

3.1. 가상 직물과 실제 직물 물성치 비교

2.2절에 제시된 방법을 통해 가상 직물에 실제 직물의 물성치를 반영한 후 이를 검증하기 위해 실제 직물의 인장실험과 같은 환경의 시뮬레이션 구성을 통해 가상 직물에도 동일한 인장 실험을 진행하여 가상 직물의 변

형율-응력 그래프를 얻었다. PBD 상에서 응력이 직물의 변형 가속도가 아닌 변형율에 의거하기 때문에 그림 2와 같은 결과를 확인할 수 있다.

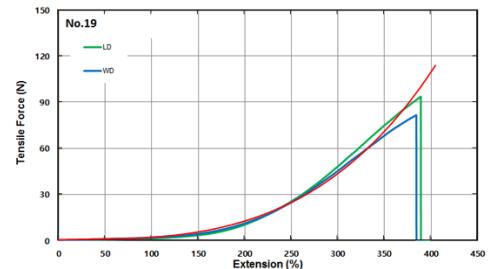


그림 2: 실제 직물의 가로, 세로 방향의 인장 실험 결과 그래프(파랑, 초록)와 등방성 가상 직물의 인장 실험 결과(빨강)

3.2. 가상 직물 형상 최적화 분석

카멜레온 서피스에서는 액츄에이터 말단작용체로 반구를 이용한다. 2.2절에 제안된 최적화 알고리즘을 테스트하기 위해, 반구의 반지름이 1인 시뮬레이션 결과를 타겟 메시로 삼고 동일한 깊이 정보를 가지며 반지름이 0.5인 시뮬레이션을 이에 대해 최적화하였다. 그림 3은 타겟 메시와의 최대 차이를 기준으로 차이의 정도를 시각화 한 결과이며, 이 값이 0.002%이하이면 차이가 없는 것으로 간주하고 파란색으로 표시하였다.

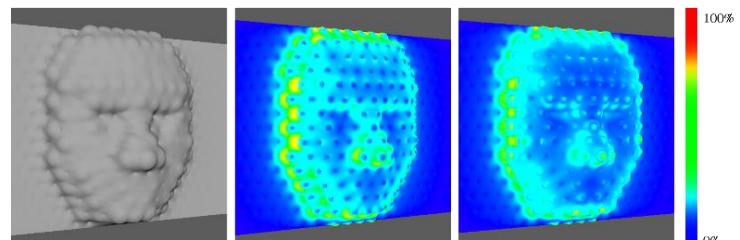


그림 3: 타겟 메시(좌)와 최적화 전(중간)과 후(우)

4. 결론

키네틱 아트 시스템인 카멜레온 서피스에서 액츄에이터에 부착된 직물 스키는 동적 프로젝션 매핑을 효과적으로 하기 위해서 실제 타겟 메시와 유사하게 변형되어야 한다. 본 논문에서는 물리 기반 가상 직물 시뮬레이션에 실제 직물의 물성치를 반영하는 수학적 모델과, 직물 스키 표면이 실제 타겟 메시와 유사하게 변형되도록 액츄에이터의 위치를 최적화하는 방법을 제시하였다.

참고문헌

- [1] M. Müller, B. Heidelberger, M. Hennix, and J. Ratcliff, Position based dynamics, *Proc. Virtual Reality Interactions and Physical Simulations (VRIPhys)*, Eurographics, 71-90, 2006.
- [2] M. Müller, J. Stam, D. James, and N. Thürey, Real Time Physics, *In ACM SIGGRAPH Courses*, 2008.
- [3] E. Sifakis, and J. Barbić, Fem simulation of 3d deformable solids: A practitioner's guide to theory, discretization and model reduction, *In ACM SIGGRAPH Courses*, 2012.