

수술 시뮬레이션을 위한 매스-스프링 기반 변형 모델링

남상아, 김명희
이화여자대학교 공과대학 컴퓨터학과

Mass-Spring based Deformable Modelling for Surgical Simulation

Sang-Ah Nam, Myoung-Hee Kim
Dept. of Computer Science and Engineering, Ewha Womans University

요 약

수술 시뮬레이션은 의학 교육, 수술 훈련, 수술 계획과 정확한 수술을 위해 그 중요성이 더해지고 있다. 본 논문은 물리적 모델을 기반으로 3차원 객체의 변형을 인터랙티브하게 수행할 수 있는 인체 내장 기관에 대한 수술 시뮬레이터의 개발을 목적으로 한다.

물리적 모델은 컴퓨터 애니메이션과 컴퓨터 그래픽 모델에 대한 새로운 시도로써 많이 연구되고 있으며, 본 논문에서는 심장에 대한 3차원 자료를 매스-스프링 모델로 구현 및 변형을 수행하였다.

본 연구의 결과는 일차적으로는 심장 수술 시뮬레이션에 적용 가능하며 나아가 다른 내장 기관의 수술 시뮬레이션 및 non-rigid한 객체에 대한 변형에 적용 가능하다.

1. 서론

수술 시뮬레이터는 의사 및 의학도에게 효과적인 수술 훈련도구이다. 수술 시뮬레이터는 의사의 행동, 행동에 의한 대상 기관의 변화, 대상물의 바이오 시그널 추적 등 다양한 부분에 대한 훈련이 지원 가능하며[2],

수술의 기본 행동은 당김, 누름, 자름, 봉합, 고정 등으로 구성된다.

본 연구에서는 수술 시뮬레이션 중 수술 과정을 기본 행동의 집합으로 나누어 행동에 대한 수술 대상 기관의 변화를 보여주는 것에 중점을 두고, 인체 기관 중 많은 수술이 이루어지고 있는 심장을 대상으로 좌심실에 대한 변형 모델을 구현한다.

본 연구는 정보통신기술 국제공동연구지원사업의 연구비 지원에 의해 이루어짐.

2. 객체 변형 관련 연구

컴퓨터는 모델링과 시뮬레이션의 중요한 도구가 되었으며, 컴퓨팅 능력의 향상에 따라 실제성에 대한 요구가 높아지고 있다. 이러한 경향은 좀 더 세밀한 기하학적 형태와 복잡한 물리적 환경에서의 객체 모델링으로 나타나고 있으며, 비물리적 방법에서부터 연속 역학에 기반한 방법까지 객체 변형 다양한 방법적 접근이 이루어지고 있다[3].

2.1 비물리적 방법

비물리적 방법은 물리기반 방법에 비해 설계자의 기술에 의존적인 방법이지만 계산 효율은 높은 방법이다. 이에 속하는 대표적인 방법으로 스플라인과 패치를 이용한 방법과 자유형태변형(free-form deformation)이 있다.

모델 변형의 많은 초기 연구들은 Computer Aided Geometric Design(CAGD) 분야에서 이루어졌으며, 설계자들은 수치적으로 명시된 곡선과 표면, 객체들의 변형과 개량에 대한 직관적인 방법을 필요로 하였다. 이러한 요구로부터 Bezeir 곡선과 이를 이용한 B스플라인, NURBS 등 다른 변형들이 등장하였다. 이러한 표현에 있어 곡선이나 표면은 일련의 제어점의 집합으로 표현된다. 매개변수기반 객체표현은 계산이 효과적이며 인터랙티브한 변형을 지원하며, 많은 제어점으로 구성된 객체는 미세한 변형까지 표현 가능하게 한다. 그러나 정교한 곡선이나 표면의 명세나 변형을 위해선 많은 제어점에 대해 작업이 반복적으로 일어나야 하는 문제를 갖는다.

자유형태변형은 객체가 놓여진 공간을

변형시킴으로써 객체를 변형시키는 방법이다. 이 기술은 점, 다각형, 스플라인, implicit 표면 등 많은 그래픽표현 방법에 이용될 수 있다. Barr는 3차원 공간의 geometric mapping으로 변형을 시도하였다. 이러한 공간 와핑 방법은 강력한 설계 도구를 제공하였으나, 변형의 영역과 형태에 제한을 가졌으며, 변형을 위한 사용자 제어가 직관적이지 못한 문제를 갖고 있으며, 이를 극복하기 위한 연구들이 진행되었다.

2.2 물리기반 방법

비물리적 변형 방법 변형을 위한 계산의 효율성에도 불구하고 사람 얼굴과 같이 복잡한 대상의 모델링이 어렵다는 문제를 극복하기 위해 물리기반 방법들이 사용되기 시작하였다. 물리기반 방법은 기하학적 기술만을 사용한 모델에서는 불가능하거나 어려운 복잡한 물리적 과정의 실제적인 시뮬레이션을 가능하게 한다. 대표적인 물리적 모델링 방법으로 매스-스프링 모델, 유한요소 방법(FEM) 등의 방법이 있다.

매스-스프링 모델은 움직임에 대한 간단한 물리적 모델로, 구성이 용이하고 연속적인 방법에 의해서는 불가능한 속도로 애니메이션 될 수 있으며 노드 사이의 인터랙션이 지역적으로 이루어진다. 그러나 매스-스프링 모델은 이산 모델로 연속적인 객체에서 일어나는 실제 물리적 상황을 근사시킨 것으로 변형을 주도하는 격자는 스프링 상수로 구현되며, 이들 상수의 적합한 값은 항상 측정된 물체의 속성으로부터 쉽게 유도되지 못 할

수도 있다는 문제를 갖고 있다.

유한요소 방법은 좀더 정교한 물리적 모델은 연속적인 변형 모델을 다룬다[1]. 동적 시스템 분석에 있어 수치적분방법은 이산 시간 간격에서 시스템을 근사시키는 것으로 연속 모델이라 하여도 유한 상태 벡터에 의해 매개변수화되며, 변형 모델링에서 상태 벡터는 물체내의 상응하는 점의 위치와 속도를 표현한다. 객체 변형은 객체에 작용 힘들과 객체 속성의 함수로 객체는 잠재적 에너지가 최소화되는 평형상태에 다다르게 되는 것이다. 유한요소 방법은 그 변형의 세밀함에도 불구하고 계산 요구량 때문에 제한을 갖는다. FEM을 실시간 시스템에 적용하는 것은 힘 벡터와 질량, 강성 행렬 계산이 객체에 대한 적분계산을 통해 이루어지며, 객체 변형을 위해서는 이들이 매번 재평가되어야 하나 이러한 계산의 실시간 처리는 거의 불가능하다.

3. 변형 모델링

본 연구에서는 인체 기관의 실제적이고 인터랙티브한 변형을 지원하기 위해 매스-스프링을 이용한 모델을 구현하였다.

3.1 매스-스프링 모델

본 연구에서 구현한 매스-스프링 모델은 그림 1과 같다. 매스는 질량을 갖는 위치로 표면 자료를 구성하는 다각형의 꼭지점에 해당한다. 스프링은 질량을 갖지 않는 0이 아닌 길이의 스프링으로 표면 자료의 다각형 모서리에 의한 구조 스프링과 객체 중심과 꼭지점을 연결하는 형태 스프링으로 구성된

다. 스프링 상수는 스프링이 갖는 강성을 나타낸다. 즉, 스프링 상수가 커질수록 모델은 전체적으로 탄성을 잃게 되며 나아가 변형이 제한되고 변형계산 비용이 높아지게 된다. 본 연구에서 구현된 매스와 스프링은 비정규 형태를 지원함으로써 매쉬 간략화 등의 최적화된 표면 모델에 대해서도 적용 가능하다.

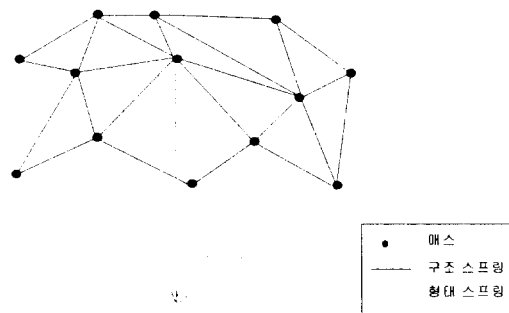


그림 1. 구현 매스-스프링 모델

3.2 변형

매스-스프링 모델의 변형은 탄성력, 제동력, 기타 환경에 의한 힘들에 의해 나타난다. 본 모델은 수술 시뮬레이션을 위한 것으로 사용자에게 의해 모델이 변형되기에 충분한 힘이 작용됨을 가정한다. 따라서 모델에 작용하는 힘은 사용자의 의도대로 모델을 움직이게 하기에 충분하므로 모델이 최종적으로 변형된 위치로부터 역으로 모델에 가해진 힘의 크기를 유도할 수 있다.

모델 변형 시 적합한 이산 시간 간격의 선택, 스프링의 과잉 신장 방지 등을 통해 변형의 왜곡을 차단해야 한다.

만일 변형을 추적하는 데 있어 긴 시간 간격의 선택은 변형 위치의 변화를 가져올 수 있으며, 너무 짧은 시간 간격은 과잉 계

산에 의한 실행 속도 저하를 초래한다. 적합한 시간 간격은 스프링 상수에 의존적으로 상수가 커질수록 짧은 간격이 요구된다.

스프링의 과잉 신장은 모델 변형 형태의 왜곡을 가져온다. 이를 해결하기 위한 방법으로으로는 스프링 상수의 값을 크게 하여 시간 간격을 축소하는 것이 있으나, 이 방법은 계산 비용의 증가를 가져와 바람직 한 방법이 못 된다. 본 연구에서는 이를 위해 Provot[4]가 제안한 스프링 변형률을 도입하였다. 스프링 변형률은 스프링 신장 비율을 정의한 것으로 위치 변화량이 스프링이 최대 신장 길이를 벗어나게 되면 주변 매스의 스프링에 대해서도 스프링의 길이에 변화를 반복적으로 가져오게 된다.

4. 구현 결과 및 향후 연구

본 연구에서는 심장 수술 시뮬레이터 개발을 위한 기반 작업으로 3차원 Angiography 영상으로 부터 심장의 좌심실에 대한 분할과 3차원 재구성을 통해 얻어진 표면 자료에 대해 매스-스프링 모델을 적용하고, 당김, 누름, 절단 및 복원에 대한 변형을 구현하였다(그림 2참조). 본 시스템은 플랫폼 독립적으로 개인용 컴퓨터, Sun 워크스테이션, 실리콘 그래픽스 워크스테이션 등에서 실행 가능하다.

본 연구의 향후 계획으로 절단 시 의미 있는 정보를 제공하기 위해 볼륨 자료를 함께 보여 주는 것과 좀 더 세밀한 절단과 여러 변형들이 조합을 통한 통합적 시뮬레이션의 제공을 위한 연구가 이루어질 것이다.

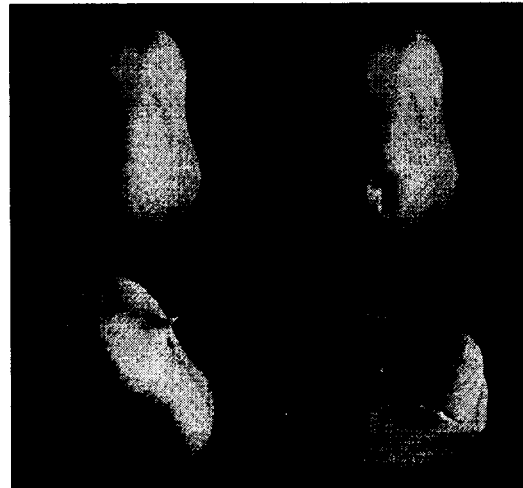


그림 2. 심장 좌심실에 대한 변형

참고 문헌

- [1] Lee, Y., Terzopoulos, D., Waters, K., "Realistic Modeling for Facial Animation", Proc. of SIGGRAPH 95, pp 55-62, 1995.
- [2] Gibson, S., et. al., "Volumetric Object Modeling for Surgical Simulation", A Mitsubishi Electric Research Laboratory, TR-97-12, Nov., 1997.
- [3] Gibson, S., Mirtich, B., "A Survey of Deformable Modeling in Computer Graphics", A Mitsubishi Electric Research Laboratory, TR-97-19, Nov., 1997.
- [4] Provot, X., "Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior", Proc. Graphics Interface, pp 147-154, 1995.