
햅틱 인터페이스와 힘 센서를 이용한 연성 실제 물체의 형태 모델링

Shape Modeling of Soft Real Objects Using Haptic Interface with Force Sensor.

임성훈, Sunghoon Yim*, 최승문, Seungmoon Choi**

요약 본 논문은 힘 센서가 설치된 일반적인 힘 반영 햅틱인터페이스를 이용하여 연성의 실제 물체의 형태 모델을 만들어 내는 방법을 제시한다. 사용자가 실제 물체의 표면을 두드려서 표면의 접촉 점을 얻어낸 뒤 이 점들을 기존의 표면 재구성 알고리즘을 이용하여 물체 표면으로 변환한다. 이를 위해 충돌을 확인하고 정확한 충돌 지점을 찾아내는 알고리즘을 개발하였다.

Abstract We introduce a shape modeling system for soft, deformable real objects, which uses a force-feedback haptic interface and a force sensor. The user taps on the surface of an object to collect contact points and the collected points are used for surface reconstruction. We propose a contact detection method and an algorithm to estimate the contact point.

핵심어: *Haptic interface, Modeling.*

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원과 (No. 2011-0018641, No. 2011-0027953) 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-C1090-1111-0008).

*주저자 : 포항공과대학교 컴퓨터 공학과 햅틱스 및 가상현실 연구실 박사과정 e-mail: algorab@postech.ac.kr

**교신저자 : 포항공과대학교 컴퓨터 공학과 햅틱스 및 가상현실 연구실 부교수 e-mail: choism@postech.ac.kr

1. 서론

모델링은 햅틱스 분야에서 꾸준히 연구되고 있는 요소이다. 이들 모델링은 가상의 모델을 만들어 내는 것과 실제 물체의 특성을 그대로 스캐닝을 하여 모델을 얻어내는 두 가지 부류로 나눌 수 있다. 가상의 모델을 만들어 내는 방법은 소프트웨어 도구를 이용하여 모델을 제작하는 전문가가 모델링을 수행한다. 실제 물체의 특성을 스캐닝을 하는 방법은 특별한 하드웨어를 이용하여 실제 물체의 특성을 직접 모델로 옮기는 것이다.

본 논문에서 우리는 힘 센서와 햅틱 인터페이스를 이용하여 연성의 변형 가능한 물체의 형태를 스캐닝 하여 모델링 할 수 있는 방법을 제시한다. 이를 이용하여 기존의 레이저 또는 비전을 사용하는 고가의 3D 스캐너를 사용하지 않고 햅틱 렌더링에 사용하는 장비만으로 물체의 형태를 측정할 수 있다. 이 방법은 사용자가 직접 물체의 표면을 두드리며 표면 접촉 점을 얻어 내는 방법을 이용하며 그를 통해 연성 물체라도 정확한 충돌 위치를 찾아낼 수 있는 방법을 제시한다. 얻어진 표면 접촉 점은 재구성을 통해 물체의 표면 모델로 변환된다.

2. 하드웨어 구성

전체적인 시스템 구성은 그림 1 과 같다. 임피던스 햅틱 인터페이스인 Sensable 사의 PHANToM Premium 1.5 High Force 모델을 모델링을 위해 이용하였다. 탐침 부에는 ATI 사의 NANO17 6 축 힘/토크 센서를 설치하였다. 시스템은 Windows XP 로 구동되는 PC 로 제어 되었으며 1kHz 의 속도로 힘 값이 샘플링 되었다.

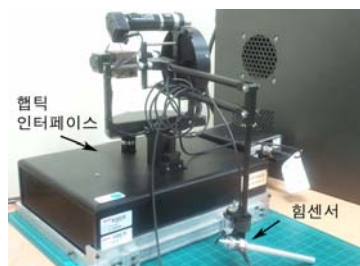


그림 1. 모델링 시스템 구성

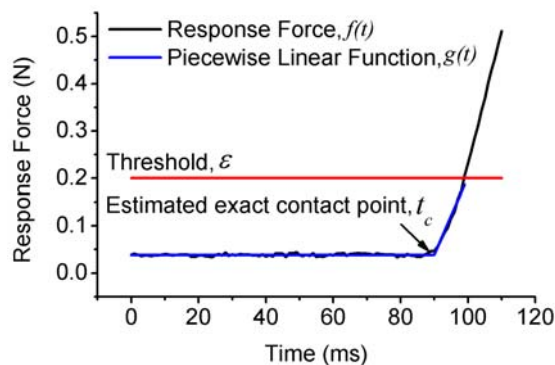


그림 2. 힘-시간 그래프 및, 구간별 선형 함수를 이용한 충돌 시점의 확인.

3. 표면 점의 수집

본 논문의 형태 모델링 시스템은 물체의 표면을 이루고 있는 점들을 수집한 후 이 수집한 점들을 바탕으로 표면으로 재생성 시킨다. 표면 점을 수집하는 과정은 햅틱 인터페이스의 스타일러스를 사용자가 잡고 탐침으로 물체의 표면을 두드리며 수행한다. 각각의 표면 점을 얻어내는 과정은 두 가지 순서로 이루어진다. 먼저 물체의 표면과 탐침 사이의 충돌 여부를 확인한다. 충돌이 일어나면 힘 센서를 통해 기록된 궤적을 역 추적하여 정확한 충돌 시간을 찾아낸다. 강체의 모델링을 할 경우에는 탐침이 물체를 변형 시키지 않으므로 충돌 여부의 확인 만으로도 표면 점을 얻어 낼 수 있다.

물체 표면과 탐침 사이의 충돌 여부 확인은 힘 센서를 통해 측정된 시간 t 의 반응 힘 $f(t)$ 값이 특정한 역치 값 ϵ 를 초과할 경우에 충돌이 되었다고 결정한다. 이 때 우리는 충돌을 선언하고 정확한 충돌 지점을 알아내기 위한 과정을 수행한다.

정확한 충돌 값을 찾아 내는 과정은 다음과 같다. 기본적으로 충돌은 불연속적인 과정이므로 시간 대 반응 힘의 크기 그래프를 그릴 경우 그림 2 에서 볼 수 있듯 충돌 시점에서 그래프의 불 연속 점이 발생한다. 이를 찾아 내기 위해 두 개의 직선으로 이루어진 함수를 이용하여 시간 대 반응 힘 그래프를 function fitting 한다.

$f(t) = \| \mathbf{f}(t) \|$ 이고 범위가 $[t_{d-N}, t_d]$ 인 함수를 정의 한다. t_d 와 t_{d-N} 는 각각 반응 힘이 역치 값을 넘어 충돌이 확인된 시점과 그 시점에서 윈도우의 크기인

N 시간 이전의 시점이다. 이 $f(t)$ 를 두 직선으로 이루어진 함수 $g(t)$ 로 근사한다. 이는 t_c 가 $g(t)$ 의 불연속점이고 t_d, t_c, t_{d-N} 의 $g(t)$ 값이 각각 g_{d-N}, g_c, g_d 일 때 다음과 같이 표현한다.

$$g(t) = \begin{cases} \frac{g_c(t-t_{d-N}) + g_{d-N}(t_c-t)}{t_c-t_{d-N}} & t_{d-N} \leq t \leq t_c \\ \frac{g_d(t-t_c) + g_c(t_d-t)}{t_d-t_c} & t_c \leq t \leq t_d \end{cases} \quad (1)$$

$f(t)$ 와 $g(t)$ 사이의 최소 제곱 오류를 최소화하는 점을 구했을 때의 t_c 값이 정확한 충돌 시점이다. 본 시스템에서는 [1]의 방법론을 이용하여 t_c 의 값을 구한다.

0.15 N/mm 에서 0.74 N/mm 의 강성을 가지는 다양한 물체를 대상으로 정확한 표면의 점을 찾아내는 실험을 수행한 결과 1 mm 이하의 오차를 보여 주었다.

4. 표면 점을 이용한 모델링

앞의 방법을 통해서 얻어진 모델의 점들은 일반적인 표면 재구성 알고리즘을 이용하여 표면으로 재구성할 수 있다. 본 시스템에서는 딜로니 삼각 분할 방식의 α -shape 알고리즘을 이용한다 [2]. 딜로니 삼각 분할 방식 알고리즘은 입력 점들이 충분히 적은 노이즈와 일정한 간격으로 샘플링 되었을 경우 효과적이다. 본 시스템은 일반적인 광학 3D 스캐너 보다 적은 수천 개의 점을 샘플링 하기 때문에 근사법을 이용하기 충분한 숫자의 표면 접촉 점이 없을 경우 문제가 될 수 있다.

모델링에 사용된 물체와 그 결과는 그림 3 과 같다. 기존의 상업적인 3D 스캐너를 이용하여 모델링 한 결과 본 시스템의 결과를 Hausdorff 거리를 이용하여 비교하였을 때 미끈한 표면을 가진 공과 받침의 경우 3mm 이하의 거리 차이를 보였으며 표면의 세부가 존재하는 실리콘 모델의 경우엔 4.2 mm 의 Hausdorff 거리 차이를 보였다.

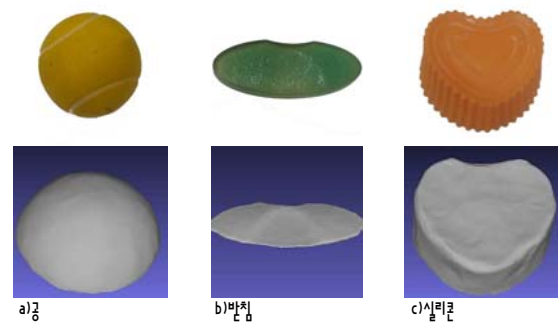


그림 3. 실제 물체 및 그 모델링 결과

5. 결론

본 연구는 햅틱 렌더링에 주로 사용되는 구성의 햅틱 인터페이스와 힘 센서의 조합을 이용하여 연성의 물체를 간단하게 모델링 하는 방법을 제시하였다. 본 연구의 결과는 기존의 3D 스캐너와 비교되는 결과를 얻었으나 표면의 세부를 얻지는 못하였다. 추후엔 본 시스템에 물체의 형태 이외의 물상을 추가하기 위한 방법을 추가하고 힘 센서를 이용하지 않고 형태의 모델링을 할 수 있는 시스템을 개발할 예정이다.

참고 문헌

- [1] A. Cantoni, "Optimal curve fitting with piecewise linear functions" IEEE Transactions on Computers, Vol. C-20, No. 1, pp. 59~67, 1971.
- [2] H. Edelsbrunner and E. P. Mücke., "Three-dimensional alpha shape" In Proceedings of the 1992 workshop on Volume visualization, VVS '92, pp. 75~82, 1992