
가상 탁본 시뮬레이션의 Height Map을 이용한 힘 셰이딩

Force Shading using Height Map for Virtual Tak-bon Simulation

박예슬, Yeseul Park*, 박진아, Jinah Park**

요약 근래에 인간과 컴퓨터의 상호작용을 통하여 사용자에게 직관적인 정보를 제공하는 기술들이 발전하고 있으며, 그래픽 기술의 비실사 렌더링을 이용한 미술 기법을 사실감 있게 가상 체험하기 위한 어플리케이션이 제안되고 있다. 본 논문은 미술 기법 중 방망이를 이용한 탁본 기법을 가상의 환경에서 모사하기 위해 탁본의 방망이를 통한 힘 셰이딩을 새롭게 고안하여 제안한다. 햅틱 커서의 포인트와는 달리 탁본 방망이의 면적이 접촉하는 부분에서 생기는 문제점을 해결하기 위하여 Height map으로 사용된 Canny Edge Detection 이미지를 통해 Height map을 부분적으로 재 정의하고 힘의 계산에 적용하여 충돌된 방망이의 힘 셰이딩을 가능하게 하는 것이 원리이다. 그래픽 렌더링 효과와 함께 실시간으로 사용자에게 햅틱 장치를 이용하여 촉감 정보를 전달함으로써 다양한 미술 교육적 효과를 체험할 수 있는 방안을 제공할 것으로 기대된다.

핵심어: Haptic Device, Tak-bon, Force shading, 햅틱 장치, 탁본, 힘 셰이딩

본 논문은 2007년 학술진흥재단 기초연구과제 지원 사업(과제번호: KRF-2006-311-D00803)의 지원에 의하여 연구되었음.

*박예슬 : 한국정보통신대학교 Computer Graphics and Visualization Lab e-mail: ystopia@icu.ac.kr

**박진아 : 한국정보통신대학교 교수 Computer Graphics and Visualization Lab e-mail: jinah@icu.ac.kr

1. 서론

현대 그래픽 렌더링 기술은 비실사 렌더링을 통한 미술 기법들의 실시간 재생이 가능하게 되면서, 실제 미술 기법인 수채화, 유화, 판화 등을 가상공간에서의 시뮬레이션을 통하여 스타일을 중시한 다양한 미술적인 효과를 실시간으로 나타내고 있다. 이러한 가상 속 미술적 체험은 사용자에게 시각적 정보의 제공이 주된 목표가 되고 있다. 그러나 실제 미술활동은 시각적 정보뿐만 아니라 인간에게 촉각적 체험을 제공한다. 따라서 가상 속 미술적 체험이 사용자에게 직관적으로 접근하기 위해서는 인간의 여러 감각기관을 동시에 만족시킬 수 있어야 한다. 이에 따라 인간과 컴퓨터의 상호작용이 더욱 원활한 그래픽 기술로서의 미술 기법으로 시각적 정보와 촉각적 정보가 함께 기반된 모사 방법이 제안되고 있다. 현재 많이 활용되고 있는 촉각적 피드백을 전달하기 위한 장치인 햅틱 장치는 특히 지렛대 방식을 이용하고 있

어서 도구를 이용한 미술기법의 가상 체험 접근이 가능하다.

본 연구는 미술기법들 중 탁본 기법을 가상의 환경에서 대표적인 촉각 피드백 장치인 PHANTom Omni를 탁본 방망이로 이용하여 시각적 정보와 더불어 미술적 체험을 극대화시키는 것에 주된 목표를 두고 있다. 가상 탁본체험을 위한 탁본 방망이의 촉각적 피드백을 어떻게 정의할 것인지에 대하여 본 연구는 탁본 방망이가 충돌하는 위치의 촉각적 피드백을 정의하고, 사용자에게 실시간 가상 탁본을 통한 햅틱 셰이딩을 탁본 방망이를 통해 전달하고자 한다. 이 때, 햅틱 커서는 탁본 방망이가 접촉하는 면적과 위치를 고려하여 모든 Edge값이 저장된 Height map으로 힘의 크기를 결정해야 하고, Height map의 값이 Edge인 위치에서 보다 강한 힘의 촉각적 피드백이 정의되어야한다.

2. 관련 연구

실제 미술 기법들의 비실사 렌더링 방식을 통한 모사 방법들은 시각적인 정보만을 제공하는 것과 추가적으로 촉각적인 정보를 제공하는 것으로 나누어 관련된 예들을 살펴볼 수 있다. 먼저 비실사 렌더링의 시각적인 정보를 제공하는 방법에 있어서 물리적 시뮬레이션이 있는데 이것은 미술 기법 요소들의 물리적인 움직임을 기반으로 사실적인 물성을 고려한 시각적 효과를 생성하고 있다. 물리적 비실사 렌더링의 예로 Chu와 Tai에 의해 연구된 Moxi[1]와 같이 먹물의 흡수력 있는 종이로의 번짐 시뮬레이션이 있다. 또한 촉각적인 정보를 추가적으로 제공하는 예로는 Kim과 Park의 햅틱 조각 기법을 통한 햅틱 렌더링[2]을 들 수 있다.

본 연구의 중점이 되는 모양 감지를 위한 햅틱 셰이딩에 대한 관련 논문으로 Morgenbesser와 Srinivasan의 햅틱 환경에서 모양 감지를 위한 힘 셰이딩[3]이 있다.

3. 가상 탁본 시뮬레이션의 개요

3.1 탁본 방향이

탁본 방향이는 가상 탁본을 하기 위한 햅틱 장치의 의미하며, 방향이의 모델은 그림 1과 같다.

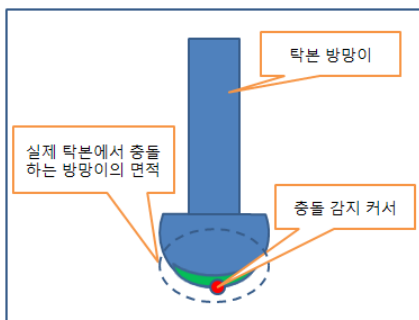


그림 1 탁본 방향이 모델

탁본 방향이의 충돌을 감지하는 위치는 한 포인트에 해당하는 커서이지만 실제 탁본에서의 방향이는 방향이의 특성에 의해 표면에 닿을 때 한 면적이 충돌된다. 따라서 충돌된 면적은 계산의 오버헤드를 줄이기 위하여 가로, 세로 2R값을 갖는 정사각형이라고 정의한다. R은 방향이의 충돌 면적을 원형으로 가정했을 때의 반지름을 의미하며, 구현에서는 정사각형으로 간주하였다. 그리고 충돌하는 면적 가로, 세로 2R의 중심인 (R,R)의 위치에 충돌 감지 커서, 즉 디스플레이 커서가 위치한다고 정의한다.

3.2 탁본 대상

탁본 대상은 방향이를 통해 촉감 정보를 전달하기 위한 Height map을 갖는다. Height map은 이미지 전체 표면의 Bump값을 저장한 것으로 이것의 단면은 그림 2(오른쪽)와 같다. 평평한 바닥에 부분적으로 돌출된 Bump를 방향이를 통한 힘 피드백으로 전달하기 위해 본 Height map은 Canny Edge Detection 알고리즘으로 구해진다. Height map의 Bump는 이미지의 검출된 Edge와 거의 흡사하므로 검출된 Edge를 돌출된 Bump과 동일하다고 간주하였다.

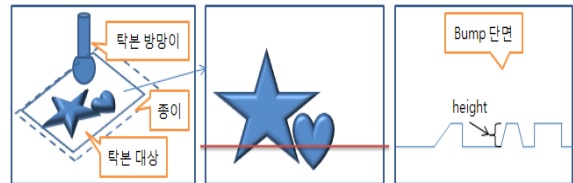


그림 2 탁본 대상의 Height map

검출된 Edge의 결과 이미지는 Edge가 가장 뚜렷할수록 255의 값을 갖고 Edge가 없으면 0의 값을 갖는다. Edge의 0에서 255까지의 색깔 값을 높이 값에 매핑하여 Height map으로 결정된 것이다. 예를 들면, 그림 3은 Canny Edge Detection 후의 이미지로서 흰색 Edge인 255의 값을 가장 많이 돌출된 부분으로, 0의 값을 돌출되지 않은 평평한 부분으로 정하였다. 곧, 돌출된 부분의 힘 셰이딩을 하기 위한 입력으로 Height map의 값이 255일 때 가장 강한 힘을, 0일 때 가장 약한 힘을 느끼게 한다.



그림 3 본래 이미지와 Canny Edge Detection 후의 이미지

본 논문에서 제안한 탁본 방향이가 닿은 면적은 가로, 세로 2R값을 갖는 정사각형이라고 정의하였기 때문에, 이미지의 Height map에 충돌된 부분도 가로, 세로 2R의 정사각형으로 정의된다. 마찬가지로 Height map의 충돌 면적 2Rx2R의 중심인 (R,R)은 디스플레이 커서가 닿을 위치이며, 그 위치의 Height값으로부터 힘을 계산한다. Edge 정보로부터 Height 값을 지정하기 때문에 탁본을 할 때 사용자가 경계면을 잘 느낄 수 있는 장점이 있는 반면 실제로 돌출되어 있는 넓은 면적 부분 (예를 들어 그림 3에서 사람의 코트 부분)에 대해서는 배경과 구분이 되지 않기 때문에 본 논문에서

서는 이 부분을 보완하는 새로운 알고리즘을 제안한다.

3.3 가상 탁본 시뮬레이션의 디자인 구성

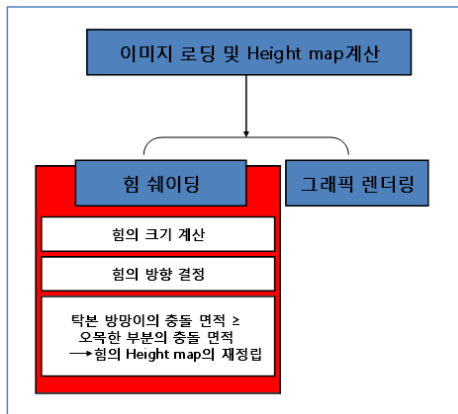


그림 4 디자인 구성도 및 힘 셰이딩 절차

본 연구의 디자인 구성은 그림 4와 같다. 가상 탁본 시뮬레이션을 하기 위해서, 먼저 이미지 로딩 후 이미지의 Height map를 통한 Edge값의 입력으로 힘 셰이딩과 그래픽 렌더링을 해야한다. 힘 셰이딩을 통해 사용자에게 탁본을 하면서 방향의 힘 피드백을 전달하고 그래픽 렌더링을 통해 탁본의 시각적 결과물을 보여지게 된다. 본 연구는 힘 셰이딩 방식에 대한 내용을 다루므로, 가상 탁본 시뮬레이션의 구현을 위해 힘의 크기와 방향을 계산하는 절차가 필요하다.

힘의 크기와 방향을 결정하는 과정은 다음 내용에서 자세히 다룰 것이다.

4. Height map을 이용한 힘 셰이딩

4.1 문제점

햅틱 장치의 커서가 감지하는 충돌과는 다르게 앞에서 제시한 탁본 방향이 모델은 탁본 대상의 표면에 닿았을 때의 방향이 면적을 고려하여 힘의 크기를 새롭게 결정해야한다. 커서가 아닌 방향의 면적을 적용시키면 방향이 닿은 부분이 오목하게 들어간 곳일 때, 탁본 방향이 양쪽의 Height 사이에 걸려서 햅틱 장치의 커서가 어떤 Height 값에도 도달하지 않을 경우, 힘의 크기가 0이 된다. 그러나 실제 탁본에서는 방향이 오목한 곳에서 바닥에 닿지 않더라도 힘의 크기를 갖기 때문에 이 경우, 힘의 재정의가 필요하다. 그림 5는 탁본 방향의 힘 셰이딩에 새롭게 정의되어야 할 부분에 대한 예이다.

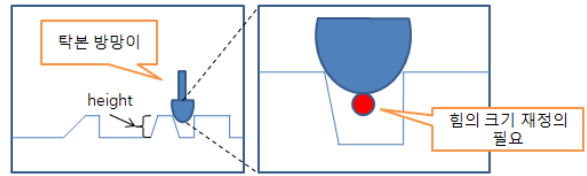


그림 5 탁본 방향이 다른 부분의 힘 피드백이 갖는 문제점

4.2 Height map을 이용한 힘의 계산 및 구현

탁본 대상의 Height map이 이미지의 Edge로 정해진 후, 이 값들은 햅틱 장치인 탁본 방향의 힘 셰이딩에 적용된다. Height map에 탁본 방향의 디스플레이 커서가 닿았을 때, 그 Height를 필요에 따라 새롭게 정의하여 재 정의된 Height map으로 힘을 다르게 적용시키는 것이 본 연구의 원리이다. 이를 구현하기 위해서 먼저 방향의 디스플레이 커서가 Height에 닿는지를 확인해야한다. 이는 그림 6과 같이 충돌한 탁본 방향의 면적과 오목한 부분의 면적을 비교하여 Height에 도달 여부와 그 위치를 확인할 수 있다.

충돌된 위치에서는 그림 7에서와 같이 디스플레이 커서의 자리와 실제커서의 자리의 변위에 계수를 곱한 식 (1) [3]에 의해 힘의 크기를 계산한다. 디스플레이 커서는 화면에 보여지고, Height map과 같은 위치에 있다. z값은 실제 커서가 위치한 값이고 Height map과 같이 방향이 아래로 내려갈수록 그 값이 작아진다. 따라서 Height map과 z의 차이가 두 커서의 변위를 가리킨다. 이와 더불어 힘의 방향은 이미지의 Normal 방향으로 정하였다. 이 때, 탁본 방향의 충돌 면적보다 오목한 부분의 충돌 면적이 같거나 작으면, 커서가 위치한 (x, y)에서의 Height map을 디스플레이 커서의 높이까지 올려서 새롭게 정의된 Height map으로 변위 계산을 하도록 한다. 이렇게 갱신된 변위로 방향을 통한 힘의 크기가 어느 정도 느껴지도록 한다.

본 논문에서 제안한 탁본 방향과 이미지의 Height map이 서로 충돌한 면적은 $2R_x \times 2R_y$ 이므로 이 충돌 면적 내부에서 앞서 설명한 계산이 이루어진다. 면적의 중앙이 되는 위치는 $2R_x \times 2R_y$ 의 중심이 (R, R)이며, 여기에 디스플레이 커서가 위치한다고 정의하였기 때문에, 탁본 방향이 이미지에 충돌한 부분인 (R, R)의 디스플레이 커서가 Height에 닿았는지 확인한 다음, 닿지 않았을 경우에는 $2R_x \times 2R_y$ 에서 계산된 탁본 방향의 충돌한 위치의 Height를 바꾸고 닿은 경우 Height를 그대로 하여 힘의 계산이 이루어진다. 이 때, 오목한 부분이 $2R_x \times 2R_y$ 보다 같거나 작을 경우 (R, R)에서 Height에 닿지 않은 것이고, 크거나 충돌된 그 외의 경우는 Height에 닿은 것으로 판정한다.

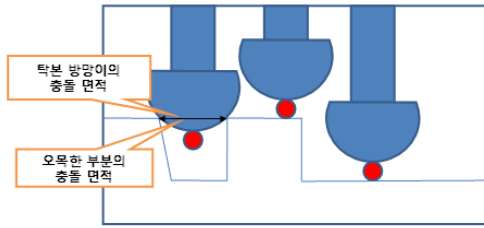


그림 6 탁본 방향이 면적에 의한 충돌 조건

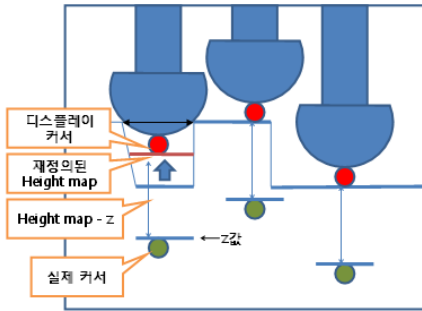


그림 7 Height map을 이용한 힘 셰이딩

$$\text{Magnitude of Force}(x, y, z) = k * (\text{height}(x, y) - z),$$

$$\text{if } \text{height}(x, y) - z > 0 \quad (1) [3]$$

5. 결과 및 분석



그림 8 본래 이미지와 Height map의 입력 (1과 2의 경우)

그림 8의 본래 이미지를 Canny Edge Detection을 통해 경계선을 검출하면 그 경계선 값들이 Height map의 높이를 의미하며, Height map의 1과 2의 경우에 힘의 크기의 결과를 분석하면 다음 그림과 같다.

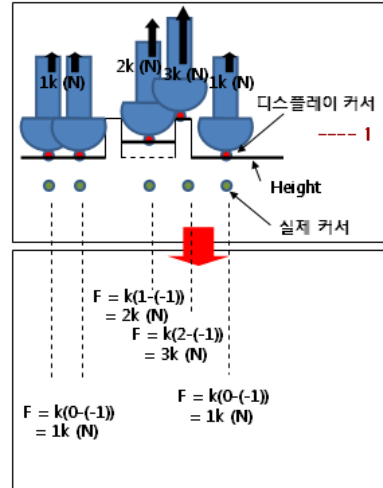


그림 9 1의 경우 힘의 크기 결과

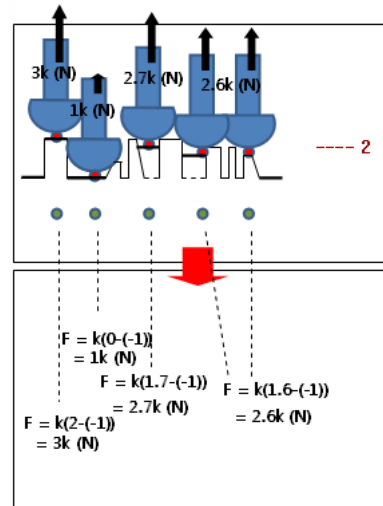


그림 10 2의 경우 힘의 크기 결과

일정한 크기의 탁본 방향이는 여러 경우의 Height에 도달하게 되는데 이 때, Height에 따른 힘의 크기 변화를 파악하기 위해 실제 커서의 위치, 즉 z 를 모두 같다고 가정한다. 또한 방향이가 이미지에 수직으로 충돌한다고 가정한다. 그림 9에서 1의 경우 결과는 충돌된 위치에서 가장 큰 Height 값에서 $3k(N)$ 의 크기를 갖는 반면에 Height가 0인 값에서는 $1k(N)$ 의 힘이 느껴진다. 그리고 힘의 방향은 모두 탁본 방향이의 수직 반대방향을 가리킨다. 그림 10, 2의 경우 결과에서도 그림 9와 같이 Height값이 높을수록 큰 힘을 갖고 낮을수록 작은 힘을 갖는다. 그리고 본 연구에서 제시한 방법으로, 탁본 방향이의 너비에 의해 Height에 닿지 않는 커서는 Height를 재 정의한 후 계산하여 힘의 크기가 0이 될 경우를 피할 수 있었다.

6. 결론

본 연구는 기존의 시각적 효과를 통한 경험과 더불어 햅틱 장치의 촉각적 효과를 통해 실시간 미술 기법인 방망이를 이용한 탁본을 시뮬레이션 하는데 목적을 두고, 탁본의 실제적인 가상 체험을 위하여 Edge 정보가 저장된 Height map을 이용한 힘의 계산 방법을 제안하였다. 인간의 촉각은 시각과 청각에 비해 더 넓은 대역폭을 갖고 있으며, 시각과 청각과는 다르게 인간의 조작과 시뮬레이션 엔진 사이에서 양방향으로 정보와 에너지를 렌더링 한다. 따라서 인간과 컴퓨터의 상호작용 측면에서 인간에게 직관적인 정보를 전달할 수 있다는 의미를 갖으며, 다양한 미술적 효과를 위한 도구로써 확장시킬 수 있는 방안을 제공하고자 한다.

본 시스템의 검증을 위한 사용자 평가를 실시하고자 하며, 앞으로 탁본 방망이의 힘의 분포를 보다 사실적으로 쉐

이딩하는 방법을 연구할 계획에 있다.



참고문헌

- [1] Nelson S. -H. Chu, Chiew-Lan Tai, "Moxi: Real-Time Ink Dispersion in Absorbent Paper", ACM Transactions on Graphics, Vol. 24, No. 3, August 2005.
- [2] Laehyun Kim, Se Hyung Park, "A Haptic Sculpting Technique Based on Volumetric Representation", F.J. Perales and B.A. Draper Ed., AMDO 2004, LNCS 3179, pp. 14-25, 2004.
- [3] Hugh B. Morgenbesser, Mandayam A. Srinivasan, "Force Shading for Shape Perception in Haptic Virtual Environments", RLE Technical Report No. 606, December 1996.