

증강현실 환경을 이용한 효율적인 물리기반 형상변형 기술

An Effective Physics Based Deformation Technique Using Augmented Reality Environments

최한균, Han Kyun Choi*, 김현수, Hyun Soo Kim**, 박민기, Min Ki Park***, 이관행, Kwan H. Lee***

요약 ~ 물리기반 형상변형 기술은 게임 및 시뮬레이션과 같은 분야를 중심으로 점차 그 사용이 증가하는 추세이고 이에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 하지만 아직까지 3 차원 객체와 물리기반 변형기술간의 상호작용을 증대시키기 위한 연구는 원활이 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 사용자의 몰입감을 증가시키고 변형의 효율성을 높이기 위해서 증강현실 환경을 이용한 물리기반 형상변형을 제안한다.

증강현실 환경 하의 시스템에서 3 차원 객체와 사용자의 효율적인 상호작용을 위해서는 물리기반 형상변형이 실시간으로 이루어져야 한다. 제안된 방법에서는, RBF(Radial Basis Function) [1] 와 LSM (Lattice Shape Matching) [2, 3]방법을 조합해서 메쉬 모델에 적용하였다. 또한, 물리기반 형상변형을 위해 lattice shape matching 의 동적 움직임을 계산하였다. 최종적으로, 이러한 방법들을 증강현실 환경 하에서 구현하였다.

The use of physics based deformation methods is continuously increasing in computer graphics area such as game and simulation. Many researchers have worked on this method. However, relatively few researchers have considered the development of the user interaction to the 3D objects. This research proposes a physics-based deformation technique using AR (Augmented Reality) environments to enhance user immersion and the effectiveness of the deformation.

In the AR circumstances, the physics based deformation should be accomplished in real-time. In the proposed method, we combine RBF (Radial Basis Function) [1] and LSM (Lattice Shape Matching) [2, 3] and apply it to polygonal models for real-time user interaction. The dynamics of the LSM is also calculated to trace the movement of each lattice. Finally these algorithms are implemented in AR environments.

핵심어: *Physics based deformation, Lattice shape matching, Augmented reality.*

This research is supported by the NRL (National Research Laboratory) funded by the Ministry of Education, Science and Technology of Korea and the CTI development project funded by the MCST and KOCCA in S. Korea

*최한균 : GIST 기전공학과; e-mail: korwairs@gist.ac.kr

**김현수 : GIST 기전공학과; e-mail: hskim@gist.ac.kr

***박민기 : GIST 기전공학과; e-mail: minkp@gist.ac.kr

****이관행 : GIST 기전공학과 교수; e-mail: khlee@gist.ac.kr.

1. 서론

모델의 변형기술 및 물리기반 변형기술은 게임, 군사 시뮬레이션, 가상 수술 시스템 등 많은 분야에서 그 사용이 점차 증가하는 추세이고 기술 역시 많은 발전을 이루었다

[4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. 그럼에도 불구하고, 사용자는 좀더 몰입감을 가지고 3 차원 객체와 상호작용할 수 있는 시스템을 요구하고 있다. 이런 가상화 시스템을 증강현실 환경 하에서 구축하면 사용자는 보다 사실적이고 효율적으로 상호작용 할 수 있다 [11,12].

하지만 증강현실을 이용한 시스템에서 가장 큰 문제는 실시간 계산이다. 특히, 물리기반 형상변형과 같이 비교적 계산량이 많은 시스템에서는 더욱 그 중요성이 커진다. 때문에 본 연구에서는 보다 빠른 변형을 위해서 FastLSM (Fast Lattice Shape Matching) [3]을 사용하였다. Meshless 방법 중의 하나인 Lattice 기반 방법을 사용하면 샘플링 된 정점 대신에 격자의 정점을 이용하여 위치, 속도 및 변형량을 계산한다. 격자의 위치가 결정되면 메쉬 모델의 정점 위치는 RBF (Rational Basis Function) [1]을 통해 계산한다.

2. 전체 절차

본 연구에서는 제안된 시스템의 효율적인 시뮬레이션을 위해 사용자가 물체를 던지는 시나리오를 구축하였다. 이는 사용자가 물체를 던질 때와 유사하게 마커 (marker)가 일정속도 이상 가속하면 가상물체는 마커에서 분리되어 동적인 움직임을 갖는다. 이때, 충돌이 발생하게 되면 물체는 충돌하는 힘에 비례하여 변형하게 된다. 전체적인 절차는 Fig. 1 에 설명되어있다. 그림에서, V_1 은 마커의 속도를 V_2 는 미리 정의된 한계속도 (threshold velocity)를 의미한다. 각 단계의 세부사항은 아래와 같다.

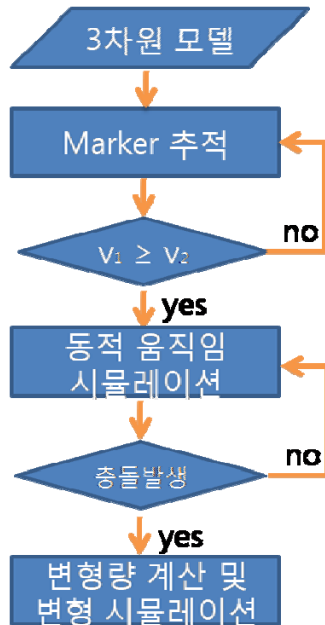


Fig. 1. The overall procedure of the proposed method

첫째, 마커의 속도가 한계속도보다 클 경우 마커의 방향벡터와 속도를 계산하여 각각 물리엔진의 초기 방향벡터와 초기속도로 대입한다.

둘째, 초기값을 통해서 가상물체의 동적인 궤적을 구하고 시뮬레이션 한다.

셋째, 물체가 미리 정한 지면과 충돌할 경우 변형 시뮬레이션이 실행된다. 이때의 변형은 FastLSM 방법에 의해서 계산된다.

넷째, 격자의 변형을 물체의 변형으로 전이하기 위해서 각 격자의 변형을 RBF 기반 변형방법의 조정점 (control point)에 대입하면 최종적인 물리기반 형상변형이 시뮬레이션 된다.

3. 증강현실 환경 하의 Lattice Shape Matching 방법을 이용한 물리기반 형상변형

효과적인 물리엔진을 위해 본 연구에서는 가상객체를 여러 개의 격자로 나뉜 뒤 격자 각각의 동적인 움직임과 변형을 계산하고 fast summation 방법을 통해 합하는 FastLSM 방법을 이용하였다.

때문에 변형은 격자 단위로 일어나게 된다. 격자의 변형을 가상객체의 곡면에 적용하기 위해 RBF 기반 변형방법을 가상현실 공간에서 구현하였다.

3.1 물리엔진 초기화

사용자가 초기위치 (X_0)에서 나중위치 (X_1)로 마커를 물체를 던지듯이 빠르게 이동시키면 물리엔진은 초기속도

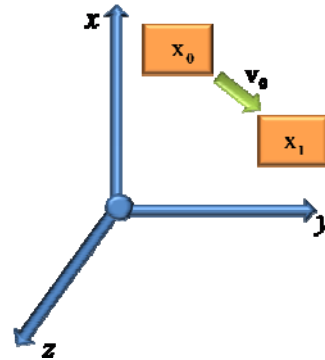


Fig. 2. The initialization of the physics engine with initial velocity and moving vector using marker tracking

(V_0)와 방향벡터 (P)는 아래와 같다 (c.f. Fig. 2).

$$P = X_1 - X_0, \quad V_0 = \frac{\|X_1 - X_0\|}{t}, \quad (1)$$

여기에서, t 는 마커가 움직이는데 걸린 시간을 의미하며 초기속도는 한계속도 보다 커야 한다. 한계속도는 사용자가 임의로 각 상황에 맞게 결정한다.

3.2 증강현실 환경에서의 객체변형

RBF 는 공간상에 임의로 분산된 데이터를 보간 하는데 주로 이용되는 방법이다 (자세한 내용은 [1]에 설명되어

있다). 3 차원 공간에서의 RBF 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$d(x) = \sum w_i \cdot b(\|c_i - x\|) + p(x), \quad (2)$$

여기에서 b 는 basis function 을 c_i 는 중심점의 집합을 그리고 w_i 는 가중치를 나타낸다. 또한, $p(x)$ 는 coefficients 로 저 차원 다항식이다.

증강현실 공간에서 RBF 기반 변형방법을 구현한 예는 Fig. 3 에 설명되어있다.

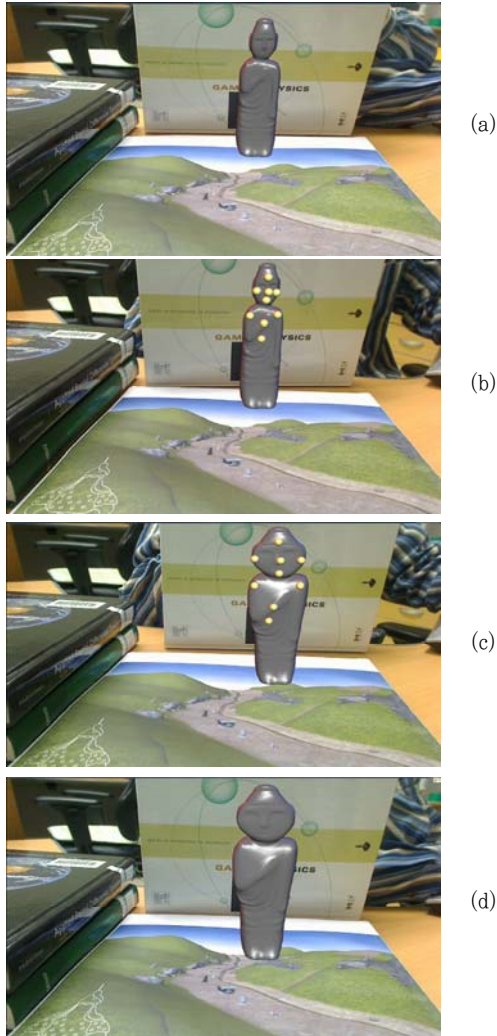


Fig. 3. The example of RBF based deformation system in AR. (a): the original model, (b): initial control points, (c) deformation visualization with control points, (d): deformation visualization without control points.

3.3 증강현실 공간에서의 FastLSM

증강현실 환경 하에서 객체변형 시스템이 완성되면 각각의 조정점은 lattice 안에 존재하게 된다. Lattice 안에서 임의의 정점에 대한 동적인 거동은 강체의 거동과 비슷하다. 만약 격자 정점의 위치를 X_i 라고 하고 목표위치 g_i 라 하면 속도 V_i 는 식(3)을 통해 계산할 수 있다.

$$v_i(t+h) = v_i(t) + \frac{g_i(t) - x_i(t)}{h} + h \frac{f_{ext}(t)}{m_i} \quad (3)$$

$$x_i(t+h) = x_i(t) + h v_i(t+h)$$

식 (3)에서 $f_{ext}(t)$ 는 외부에서 작용된 힘을 나타내며 m 은 질량을 나타낸다.

Lattice 가 지면과 충돌하여 발생하는 변형은 FastLSM 방법을 이용하였다 (자세한 내용은 [3]에 기술되어 있다). 이 방법은 fast summation 방법을 사용하여 기존의 방법보다 계산 시간을 단축하였다.

4. 결과

제안된 시스템의 실험결과는 Fig. 4 에 설명되었다. 앞에서 설명하였듯이 사용자는 마커를 던지듯이 빠르게 이동시켰다. 실험결과 가상객체가 마커의 속도와 방향을 고려했기 때문에 현실세계에서 물체를 던지는 듯한 느낌을 얻을 수 있었다.

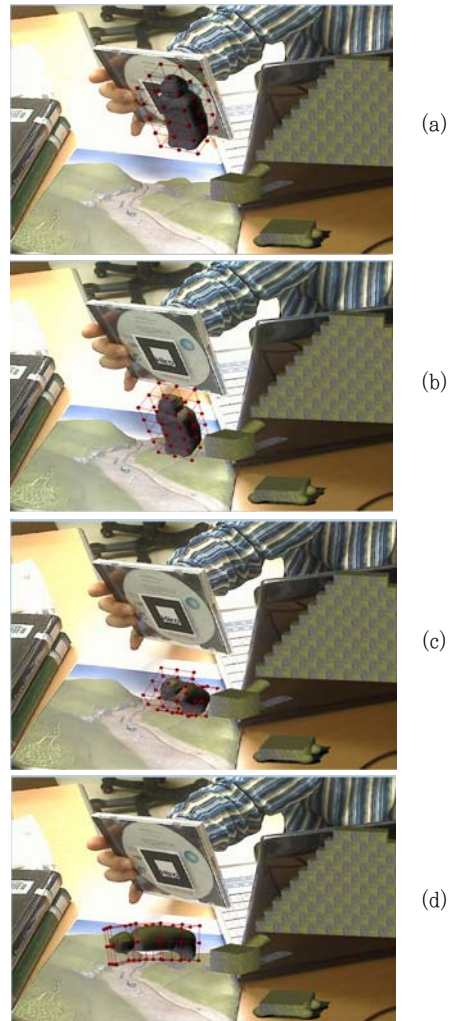


Fig. 4. The example of physics-based system in AR. (a): initial position, (b): Activation of physics engine, (c) collision and deformation, (d): deformation after collision

Fig. 4 의 (a)는 마커의 초기위치를 나타낸다. 사용자가 만약 (b)와 같이 마커를 빠르게 이동시키면 미리 정의된 한계속도 이상으로 물체가 가속되어 물리 엔진이 활성화된다. (c)는 가상객체가 지면에 충돌 하였을 때 발생하는 변형을 나타낸다. 이때, 지면은 미리 사용자가 정의해 둔다. (d)는 충돌 후 압축된 물체의 탄성에너지가 풀리면서 물체가 늘어나는 변형을 보여준다.

5. 결론

우리는 증강현실 공간에서 물체의 변형 및 이를 이용한 물리기반 변형 방법을 제안하였다. 본 연구를 통해 사용자가 가상 공간에서 물체를 변형 하는 것 보다 증강현실 속에서 마커를 이용해서 객체를 회전 또는 이동하면서 변형 하는 것이 더욱 효율적인 것을 알 수 있었다.

또한 증강현실 공간에서 물체에 동적인 움직임과 변형을 가능하게 하면 다양한 시나리오에서 활용될 수 있다. 본 연구에서는 물체를 던지는 시뮬레이션을 구현하였고 실험결과 가상공간 속 물리기반 형상변형 보다 증강현실 속 변형이 사용자에게 좀더 몰입감을 줄 수 있음이 확인되었다.

하지만, 변형객체와 또 다른 변형객체간의 상호작용은 가상공간상에서는 실시간으로 구현 되지만 증강현실 공간에서는 약간의 시간 지연이 일어나기 때문에 최적화에 대한 연구가 향후 이루어져야 하며 유체나 연기 등의 물리현상을 모듈화 하여 많은 시나리오에 다양하게 활용될 수 있도록 해야 한다.

[1] BOTSH M., KOBELT L.:Real-Time Editing using Radial Basis Functions, Computer Graphics Forum 2005, Vol. 24, pp.611-624.

[2] M LLER M., HEIDELBERGER B., TESCHNER M., GROSS M.:Meshless deformations based on shape matching, ACM TOG(July 2005), Vol. 24, pp.471-478

[3] RIVERS A., JAMES D.:FastLSM: fast lattice shape matching for robust real-time deformation, ACM TOG(July 2007), Vol. 26, 82.

[4] O' BRIEN J. F., HODGINS J. K.: Graphical modeling and animation of brittle fracture. In Proceedings of SIGGRAPH 1999 (1999), pp. 287 296.

[5] DEBUNNE G., DESBRUN M., CANI M.-P., BARR A.: Dynamic real-time deformations using space & time adaptive sampling. In Computer Graphics Proceedings (Aug. 2001), Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH 2001, pp. 31 36.

[6] M LLER M., DORSEY J., MCMILLAN L., JAGNOW R., CUTLER B.:Stable real-time deformations. In Proceedings of the 2002 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation (2002), pp. 49 54.

[7] WU X., DOWNES M. S., GOKTEKIN T., TENDICK F.: Adaptive nonlinear finite elements for deformable body simulation using dynamic progressive meshes, Eurographics (Sept. 2001), pp.349 358.

[8] GRINSPUN E., KRYSL P., SCHR DER P.: CHARMS: A simple framework for adaptive simulation. In Proceedings of SIGGRAPH 2002 (2002), pp. 281 290.

[9] M LLER M., TESCHNER M., GROSS M.: Physically-based simulation of objects represented by surface meshes. In Proceedings of Computer Graphics International (CGI) (Jun 2004), pp. 26 33.

[10] PFISTER H., ZWICKER M., VAN BAAR J., GROSS M.: Surfels: Surface elements as rendering primitives. In Siggraph 2000, Computer Graphics Proceedings (2000), pp. 335 342.

[11] SANTHANAM A., FIDOPIASTIS C., HAMZA-LUP F., ROLLAND J., IMIELINSKA C.: Physically-based deformation of high-resolution 3D lung models for augmented reality based medical visualization, presented at the AMI-ARCS Conf., Rennes, France, 2004

[12] HAMZA-LUP F., SANTHANAM A., IMIELINSKA C., MEEKS S., ROLLAND J.: Distributed Augmented Reality with 3-D Lung Dynamics A Planning Tool Concept, IEEE Transaction on Information Technology in Biomechanics 2007, Vol. 11, pp. 40-46.

참고문헌