ITRC 4th workshop 제 2-1 세부과제

가상 물체의 실시간 거동 및 반응 시뮬레이션과 시각적 실사렌더링 기술 개발

Technique Development of Realtime Movement, Reaction and Photorealistic Rendering of Virtual Objects

지중현, JoongHyun Ji, 윤동호, DongHo Yun, 고광희, KwangHee Ko

요약 1차년도에는 햅틱 시나리오의 비주얼 쓰레드로서의 환경을 구축하여 햅틱 렌더링과 그래픽 렌더링의 연동을 위한 연구를 수행하였고 햅틱 장비로부터 오는 다양한 데이터 처리를 위한 데이터 로딩 기법을 연구하고 이를 멀티 코어 CPU를 이용하여 단일 조명상에서 광선 추적하는 알고리즘을 개발하였다. 당해연도에는 1Khz의 속도를 가진 햅틱 렌더링과의 불연속성을 해결하기 위하여 GPU를 이용한 보다 빠른 고품질의 광선 추적 알고리즘을 개발하고자 한다. 이를 위하여 NVIDIA의 범용 솔루션인 CUDA를 통해 병렬 처리를 통해 실시간으로 다중 광원을 가진 Dynamic한 장면을 갱신할 수 있도록 한다. 또한 심장, 폐, 간과 같은 반투명한 재질을 가진 신체 장기 표현을 위해 각 재질에 맞는 양방향의 표면 내부 산란 분포함수를 간략화하여 차후 년도의 연구에 반영한다.

본 연구는 2008년 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음
(IITA-2008-C1090-0804-0002)

1. 1차년도의 연구 요약

1.1 연구 환경 구축

햅틱 장치로부터 나오는 정보에 대한 햅틱 렌더링을 그래픽 렌더링으로 연동하기 위해 〈그림 1〉과 같은 필수 정보 도출 및 정립을 위한 비주얼 쓰레드로서의 그래픽 렌더링 환경을 구축하였다.

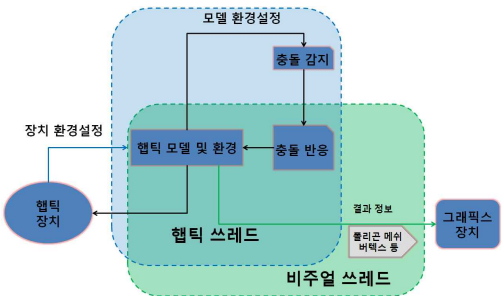

그림 1. 햅틱 환경과 그래픽 환경의 상관 관계

1.2 단일 광원을 이용한 실시간 광선추적 기법 개발

햅틱 장비로부터 오는 다양한 데이터를 처리하기 위하여 메쉬 기반의 데이터를 읽어들인 후 변환하여 저장하는 로딩 방법을 연구하고 멀티코어 CPU로 가속하는 광선 추적 기반의 그래픽 렌더링 알고리즘을 개발하였다.

1.3 연구 결과

〈그림 2〉는 단일 조명하에서의 본 연구에서 개발된 실시간 광선추적기의 성능을 보여준다. 하지만 복잡한 물체에서 20 FPS 정도의 렌더링 속도를 가지고 시시각각 미묘하게 변화하는 장면을 실재감있게 표현하는 것은 한계가 있었다.

Scene name	삼각형 수	1차광선	2차광선
Happy Buddha	1.087M	38 fps	21 fps
Kitchen	174K	30 fps	12 fps

그림 2 광선 추적 기반의 렌더링 알고리즘

2. 당해연도의 연구 목표

2.1 GPU를 이용한 가속 알고리즘 개발

1Khz 이상의 실시간 햅틱 렌더링의 촉각 정보를 시각적으로 나타내기 위해서 60FPS 이상의 속도가 보장되어야 하지만 전년도의 CPU 기반의 알고리즘으로는 그 속도가 현저하게 느리기 때문에 촉각 정보와 시각 정보 사이에 불연속성이 발생하여 몰입감의 저하를 야기한다. 이를 해결하기 위하여 GPU를 이용하여 병렬 처리를 통한 광선 추적의 가속화를 위하여 최적화된 트리 탐색/구조 환경과 광선/삼각형의 교차검사 알고리즘 및 프레임워크를 제안한다.

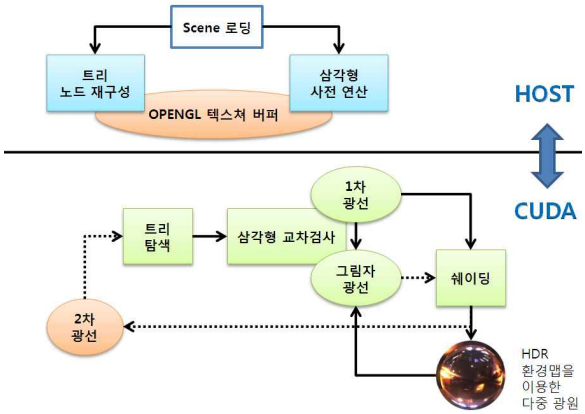

그림 3 광선추적 시스템 개관

사실적 표현을 위한 광선추적 알고리즘의 전체적인 모듈의 구조는 〈그림 3〉과 같이 구현되어진다. NVIDIA의 범용 GPGPU 솔루션인 CUDA 프레임워크를 이용하여 스택 구조가 없는 GPU에서 CPU 방식의 트리 탐색을 구현하여 복잡한 장면의 렌더링을 지원하고자 한다.

우선 단일 광원에 대하여 실시간의 광선추적을 할 수 있도록 하고 차후에 사실적 빛-물체 상호작용을 위하여 HDR 환경매핑을 이용하여 수 만개 이상의 광원 효과를 근사화 할 수 있게 할 예정이다. 또한 말단 삼각형의 교차검사를 CUDA를 이용하여 구현한다. 전체 시스템은 SIMD(Single Instruction Multiple Data) 기반의 광선 패킷을 응용하여 기하요소당 여러 개의 광선들을 병렬적으로 추적한다.

2.2 고차원의 재질 함수 도입

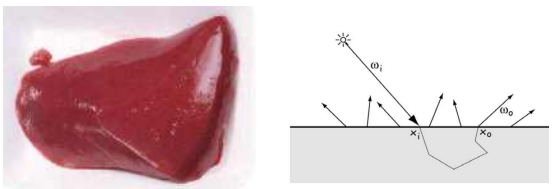

그림 4 반투명한 재질과 내부 산란 현상

기본적인 GPU 가속의 광선추적 시스템은 다음으로 의료 시뮬레이터에 연계된다. 인체의 장기같은 부분은 반투명하며 복잡한 빛-물체 상호작용에 의한 표면 내 산란(subsurface scattering) 현상을 수반하기 때문에 모델링 및 렌더링에 어려움이 따른다. 일반적으로는 가능한 모든 영역에 대한 광원과 확률에 따른 경로 및 분포를 샘플링하는 몬테카를로 광선추적법을 이용하여야 한다. 하지만 이 방법은 연산량이 엄청나게 복잡하기 때문에 Jensen et al. [Jensen 01]에 의하여 비교적 균질한 반투명 물체를 렌더링 할 수 있는 〈그림 5〉같은 간단한 수학적 재질 모델이 등장하였다. 하지만 이러한 재질 모델도 여전히 높은 6~8차원의 복잡도를 가지므로 특정한 재질에 대한 렌더링에 집중한 저차원의 함수를 모델링하고 GPU에서 반구 샘플링을 가속화 할 수 있는 기반 기술 및 프레임워크를 개발한다.

$$R_d(r) = -D\frac{(\vec{n}\cdot\vec{\nabla}\phi(x_s))}{d\Phi_i} = \frac{\vec{\alpha}}{4\pi}\left[(\sigma_{tr}d_r+1)\frac{e^{-\sigma_{tr}d_r}}{\sigma_t' d_r^3} + z_{v(}(\sigma_{tr}d_r+1)\frac{e^{-\sigma_{tr}d_r}}{\sigma_t' d_r^3}\right]$$

$$S_d(x_i,\vec{w_i};x_0,\vec{w_0}) = \frac{1}{\pi}F_t(\eta,\vec{w_i})R_d(\|x_i-x_0\|)F_t(\eta,\vec{w_0})$$

$$S(x_i,\vec{w_i};x_0,\vec{w_0}) = S_d(x_i,\vec{w_i};x_0,\vec{w_0}) + S^{(1)}(x_i,\vec{w_i};x_0,\vec{w_0})$$

$$L_0(x_0\vec{w_0}) = \int_A\int_{2\pi} S(x_i,\vec{w_i};x_0,\vec{w_0})L_i(x_i,\vec{w_i})(\vec{n},\vec{w_i})dw_i d_A(x_i)$$

그림 5 Dipole diffusion model

3. 결론 및 향후 연구 방향

2년차 연구에서는 기본적으로 고성능의 GPU를 이용하여 병렬적인 광선추적 알고리즘을 개발하고 다양한 광원과 재질들에 대한 확장을 통하여 기본적인 렌더링 프레임워크를 구축하는 데 목적이 있다.

기본적인 프레임워크가 구축이 되면 차 년도에는 햅틱 환경 내에서 물체의 움직임과 변형하는 모습을 적응하여 표현하기 위한 실시간 Heuristic 기반의 동적 장면 구축 알고리즘을 개발하고 모듈화하여 장착함으로서 사용자의 몰입감을 증대시킬 수 있는 방안을 연구할 예정이다. 그리고 실시간 반투명 볼륨 렌더링이 가능한 모듈을 제작 및 완성하여 다양하고 복잡한 재질에 대한 전역적인 조영의 렌더링이 가능하도록 한다.

참고문헌

[Jensen 01] H. W. Jensen, S. R. Marschner, M. Levoy and P. Hanrahan "A Practical Model for Subsurface Light Transport", Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001.