

GPU를 이용한 높이맵 기반 카툰 액체 시뮬레이션

The Heightfield Based Cartoon Liquid Simulation Using GPU

송기원, 류승택*
한신대학교, 한신대학교*

Song gi-won, Ryoo seung-tack*
Hanshin Univ., Hanshin Univ.*

요약

본 연구는 액체의 유동과 광학적 특징에 대해 알아보고 높이맵 기반 액체 시뮬레이션을 GPU를 이용하여 만화적으로 표현하는 것을 목표로 하고 있다. 현재까지 컴퓨터 그래픽스에서 기체와 액체에 대한 NPR적 표현 연구는 많이 진행되었다. 본 연구에서 유체의 유동을 비 물리학적 방법인 간단한 알고리즘을 사용하여 표현하였고, 액체의 광학적 표현에서 반사와 굴절 값의 비는 프레넬 방정식을 이용하여 구했다. 액체의 만화적인 표현은 기존의 방법과 달리 환경맵 상의 반사와 굴절 값을 분할했다. 외곽선 검출은 액체의 점프 에지(jump edge)만을 표현하였다. 그 결과, 액체 시뮬레이션을 만화적으로 표현할 수 있었다.

Abstract

The goal of this study is to represent heightfield-map based cartoon liquid simulation using GPU. To do this, we examine the optical and flow features of liquid. So far, NPR represent study for gas and liquid advanced in computer graphics. In this study the flow of fluid represent using a trivial algorithm using a non-physical method, and optical of liquid represent ratio of value of reflection and refraction using fresnel equation, Cartoon represent of liquid different from the existing method, that the value of reflection and refraction on the environment map. Edge detection represent jump edge of liquid. As a result, the liquid simulation could represent a cartoon.

I. 서론

콘텐츠 개발에 있어 액체 시뮬레이션과 카툰 렌더링은 애니메이션, 게임, 영화와 같은 많은 콘텐츠 분야에서 각광받고 있다. 액체 시뮬레이션의 경우 시간과 공간 그 외 여러 제약 조건들을 극복하기 위해 이용되고 있다. 영화 '캐리비안의 해적-세상의 끝(2007)'에서 보여주었던 거친 소용돌이가 일어나는 바다의 모습이 좋은 예이다. 카툰 렌더링은 콘텐츠의 분위기 연출과 함께 콘텐츠 개발 비용을 절감할 수 있어 유용하다. 넥슨 사의 온라인 레이싱 게임인 '카트라이더'의 경우 카툰 렌더링을 이용하여 캐주얼 게임의 아기자기함을 살리는 것과 함께 이미 모델링된 3D 객체들을 이용하여 간단하게 게임 환경을 구성하여 비용을 절감했다.

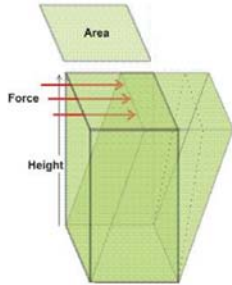
본 연구는 액체 표현에 있어 중요한 액체의 유동과

광학적 특징에 대해 알아보고, 콘텐츠 분야에서 유용하게 이용되고 있는 액체 시뮬레이션과 카툰렌더링을 접목시켜, 높이맵 기반 액체 시뮬레이션을 GPU를 이용하여 만화적으로 표현하는 것을 목표로 하고 있다.

II. 관련 연구

유체란 물리학적으로 임의의 크기로 전단응력을 받았을 때, 연속적으로 변형하는 물질이라 정의 된다. 단위 면적당 힘인 전단응력은 그림 1과 같이 물체의 표면에 접선방향의 힘이 작용할 때 발생 된다. 강철과 같은 고체에 전단응력이 작용하면, 처음에는 아주 작은 변형이 생기지만 그 변형이 지속되지 않는다. 물이나 기름, 공기와 같은 유체는 위에서 언급한 유체의 정의를 만족한

다. 즉, 전단응력을 받으면 변형의 연속성인 즉, 유동이 유지된다[1].



▶▶ 그림 1. 전단응력

유체는 비압축성 유체와 압축성 유체로 나누어 설명할 수 있다. 액체와 같이 일반적으로 일정한 밀도를 갖는 유체를 비압축성 유체라 하고, 밀도가 압력과 온도의 변화에 따라 현저하게 변할 수 있는 공기, 산소, 질소와 같은 기체의 경우 압축성 유체라 한다[1].

위와 같은 유체 성질을 이용한 많은 연구들이 진행되고 있다. 본 연구와 부합되는 유체의 만화적 표현에 대한 연구도 상당 부분 진행이 되어 있는 상태이다.

2004년 스탠퍼드 대학에 앤드류 셀레(Andrew Selle)와 기타 여러 연구자들은 연기를 물리학적 기반으로 하여 깊이에 따른 색 분할과 간단한 외곽선 검출을 이용하여 만화적으로 표현했다[3].

위 연구 외에도 2006년 브라운 대학의 모건 맥과이어(Morgan McGuire)와 기타 여러 연구자들을 통해 연기의 만화적 표현에 대한 연구는 많이 진행 되어 왔다[3]. 하지만, 위 연구 결과들은 액체가 아닌 기체를 표현 했다는 점에서 본 연구와 차이점을 보여준다.

액체에 만화적 표현에 대한 연구는 2007년 버클리 대학에 애슐리 에덴(Ashley M. Eden)과 기타 여러 연구자들의 연구 결과가 있다. 이 연구는 물리적 기반에 3차원 액체 시뮬레이션을 바탕으로 액체의 움직임을 표현하였고, 외곽선 검출과 빛의 따른 색 분할과 함께 물의 깊이에 따른 색 분할을 적용하여 액체를 만화적으로 표현하였다[4].

국내 연구 결과를 살펴보면 2009년 한국과학기술원(KAIST)에 유미의 석사 학위 논문이 있다. 이 연구는 아티스트의 시점에서 물의 광학적인 특성인 투명성, 반사, 굴절 등을 이용하여 ‘cartoon water shader’라는 새로운 셰이더 기법을 사용했다[5].

본 연구는 위 연구들과 마찬가지로 액체의 특징들을 찾아내어 이를 만화적으로 표현했다.

III. 액체 시뮬레이션의 만화적 표현

1. 유체의 유동

유체의 유동 계산은 비 물리학적 방법과 물리학적 방법으로 나뉜다. 비 물리학적 방법은 높이맵을 이용하여 표 1과 같이 특정 함수로 초기화 된 위치 값들의 배열 u 와, 주변 위치 값들과의 편차의 값으로 유동 값을 주는 배열 v 를 이용한다[6].

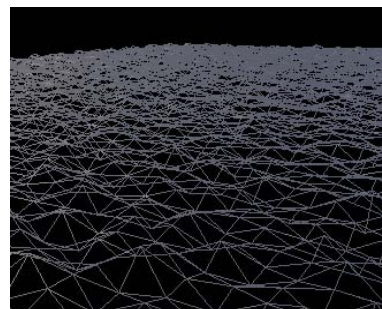
표 1. 유체 유동의 간단한 알고리즘 (비 물리적 방법)

```

forall ij do u[i,j] = u0[i,j]; v[i,j] = 0;
loop
forall ij do v[i,j] += (u[i-1,j] + u[i+1,j] + u[i,j-1] + u[i,j+1])/4 - u[i,j];
forall ij do v[i,j] *= 0.99;
forall ij do u[i,j] += v[i,j];
endloop
    
```

물리학적 방법은 뉴턴의 운동 제 2법칙을 기반으로 하는 유체의 운동 방정식을 이용하는 방법이 있다. 유체의 운동 방정식에는 베르누이 방정식, 오일러 방정식, 나비에-스토크스 방정식 등이 있다.

본 연구에서는 그림 2와 같이 지형맵을 초기 값으로 하는 비 물리학적 방법을 이용했다.



▶▶ 그림 2. 비 물리학적 방법을 이용한 유체의 유동표현

2. 유체의 광학적 특징

빛은 진행 방향에 장애물이 없으면 직진을 하는 성질을 가지고 있다. 만약 공기라는 매질에 있는 빛이 공기와는 다른 액체라는 매질을 만나게 되면 빛은 반사, 굴절, 흡수 등에 현상이 발생한다.

실시간적으로 반사와 굴절을 구현하려 할 때 주로 쓰이는 기법은 환경 매핑 기법이다. 환경 맵은 구와 정육면체 모델을 이용하여 원점을 중심으로 사방을 둘러싸고 있는 환경을 묘사 한 것이다. 본 연구에서는 그림 3과 같은 정육면체 모양의 환경 맵을 이용하여 반사와 굴절을 표현했다.



▶▶ 그림 3. 환경 맵

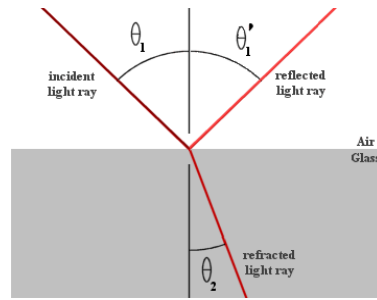
본 연구에서 반사와 굴절의 표현을 식 1과 같이 굴절과 반사, 그리고 프레넬 항으로 이루어진 방정식을 이용하여 표현했다.

$$Result = Fresnel * Refraction + (1 - Fresnel) * Reflection \quad (1)$$

굴절된 광선은 공기와 물 사이의 굴절률과 수면 법선에 의해서 결정된다. 수면은 공기와 물 사이의 경계면이다. 스넬의 법칙 통해서 시선으로부터 굴절된 광선을 얻으면 굴절된 광선이 어떤 지점에서 교차가 되었는지를 구한다.

스넬의 법칙은 그림 4와 같이 굴절률이 n_1 과 n_2 서로 다른 두 매질이 맞닿아 있을 때, 그 매질을 통과하는 빛의 경로는 매질마다 광속이 다르므로 휘게 되는데, 그 휘 정도를 빛의 입사 평면상에서 각도로 표시하면 θ_1 과 θ_2 가 된다. 이 때 스넬의 법칙은 식 2와 같이 정의된다[7].

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2)$$



▶▶ 그림 4. 공기(n_1)에서 물(n_2)로 진행되는 빛의 굴절

굴절과 반사에 관련된 항들을 계산한 후에는 그것들을 하나의 프레넬 항으로 결합해야 한다. 프레넬 방정식은 광선의 입사각과 표면의 굴절을 이용해서 가중치를 계산한다.

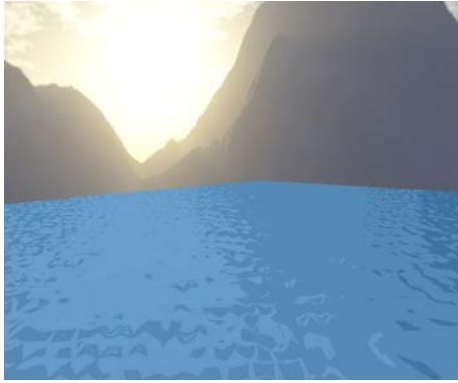
프레넬 항을 이용하여 색상 값을 구하는 방식은 굴절항과 반사 항 사이의 혼합 계수로 적용하여 구하는 방법이 있지만, 본 연구에서는 계수를 하나로 통일한 다음 반사 맵과 곱하여 그림 5와 같이 결과를 도출했다.



▶▶ 그림 5. 프레넬 방정식을 이용한 액체의 유동 표현

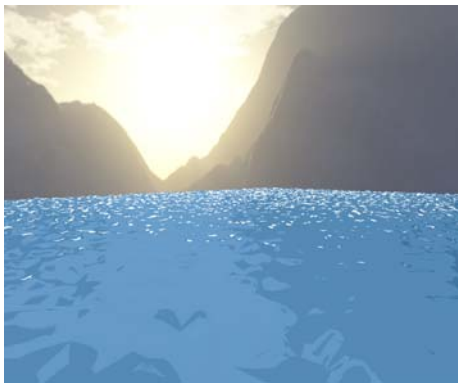
3. 유체의 만화적 표현

물체를 만화적으로 표현하기 위해서는 난반사와 정반사의 연산 값을 불연속적으로 표현해야 한다. 하지만 본 연구에서는 조명 모델을 사용하지 않고 환경 맵을 이용하였기 때문에 환경 맵에서 가져오는 반사와 굴절 값들을 불연속적으로 만들어주어 액체를 그림 6과 같이 만화적으로 표현했다.



▶▶ 그림 6. 반사와 굴절 값을 이용한 유체의 만화적 표현 (채색)

외곽선은 점프 에지(jump edge)와 주름 에지(crease edge)로 구분이 된다. 점프 에지는 관찰자 눈에 보이는 물체의 테를 말하며 주름 에지는 폴리곤과 폴리곤 사이에 경계를 말한다. 본 연구에서는 시점과 액체 평면의 사이 각이 90도 보다 커지면 보이지 않는다는 특성을 이용하여, 점프 에지를 검출하여 최종적으로 그림 7과 같은 구현 결과를 얻었다.



▶▶ 그림 7. GPU를 이용한 높이맵 기반 카툰 액체 시뮬레이션 (채색 + 선화)

IV. 결론 및 향후 연구

본 연구는 액체의 유동과 광학적 특징에 대해 알아보고 높이맵 기반 액체 시뮬레이션을 GPU를 이용하여 만화적으로 표현했다.

액체의 유동은 간단한 알고리즘을 이용하여 비 물리적인 방법으로 표현했다. 액체의 광학적 표현은 환경 맵을 이용하여 액체의 반사, 굴절 등을 표현하였지만 수심과 시점의 거리에 따라 빛이 액체에 흡수되는 현상은 구현하지 못했다. 액체의 만화적 표현에서는 기존의 난반사, 정반사의 연산 값의 불연속적으로 표현하는 방법은 조명 모델을 사용하지 않아 구현하지 못했다. 그 대신 환경 맵에서 가져오는 반사와 굴절 값 들을 불연속적으로 표현했다. 외곽선 추출은 시점과 액체의 표면의 입사각을 이용하여 점프 에지만을 표현하였다. 그 결과, 액체 시뮬레이션을 만화적으로 표현 할 수 있었다.

향후 액체의 유동을 비 물리학적 방법이 아닌 물리학적 방법으로 개선하고, 액체의 광학적 표현에서 구현하지 못한 빛의 흡수에 대한 구현을 할 것이다. 또한, 만화적 표현에서 구현하지 못한 주름 에지의 구현과 더 나은 만화적 표현 방식을 연구할 예정이다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] Donaldo F. Young 외 공저, 고희종의 공역, “계 배우는 유체 역학”, pp. 1-2, pp. 42- 45, 흥릉과학출판사, 2006
- [2] Andrew Selle, Alex Mohr, Stephen Chenney, “Cartoon Rendering of Smoke Animations”, Proceedings of the 3rd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering, pp. 57-60
- [3] Morgan McGuire, Andi Fein, “Real-time rendering of cartoon smoke and clouds”, Proceedings of the 4th international symposium on Non-photorealistic animation and rendering, pp. 21-26
- [4] Ashley M. Eden, Adam W. Bargteil, Tolga G. Goktekin, Sarah Beth Eisinger, James F. O'Brien., “A method for cartoon-style rendering of liquid animations”, Proceedings of Graphics Interface 2007, pp. 51-55.
- [5] 유미, “물에 대한 2D 애니메이션 스타일의 렌더링”, 한국 과학 기술원, 석사 논문, pp. 46, 2009

- [6] Robert Bridson, Matthias Muller-Fischer, "FLUID SIMULATION", pp. 60-63, SIGGRAPH 2007 Course Notes, 2007
- [7] wikipedia, Snell's law, http://en.wikipedia.org/wiki/Snell_law
- [8] Richard S. Wright, Jr Benjamin Lipchak 외, "OpenGL SUPERBIBLE", pp. 1177, 정보문화사, 2005
- [9] Fernando, "The Cg Tutorial: The Definitive Guide to Programmable Real-Time Graphics", Addison-Wesley Professional, pp. 336, 2003

※ 이 논문은 2008년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2008-331-D00511)