

액체 속 공기방울의 애니메이션

홍정모 김창현
고려대학교 그래픽스 연구실
(saden, chkim)@korea.ac.kr

Animation of Bubbles in Liquid

Jeong Mo Hong Chang Hun Kim
Korea University Graphics Laboratory

요약

본 논문에서는 액체와 기체가 상호작용 하는 현상들에 대한 새로운 유체 애니메이션 기법을 액체 속 공기방울의 예를 사용하여 제시한다. 기존의 자유표면 시뮬레이션 기법들과는 달리 액체와 기체를 함께 시뮬레이션 할 경우에는 기체의 유동과 액체의 유동을 동시에 다루어야 하며 비중 차에 의한 부력과 경계면에서의 표면장력 등을 추가적으로 고려해야 한다. 유체의 토폴로지 변화를 쉽게 다루면서도 수치적 분산을 막기 위하여 유체 역학 분야의 VOF (Volume of Fluid) 기법과 프론트 추적 (Front-tracking) 기법을 혼합하여 사용하였다. 액체와 기체의 경계면은 마칭 큐브즈 알고리즘을 사용하여 폴리곤으로 복원된 후 버텍스 셰이더 기술들을 사용하여 액체-기체 경계면의 광학적인 특성을 표현할 수 있었다.

1. 서론

컴퓨터 그래픽스 분야에서는 액체를 사실적으로 애니메이션을 하기 위한 많은 연구가 수행되어왔다. 우리는 여기에 액체의 유동현상 속에서 쉽게 접할 수 있는 공기 방울이라는 새로운 소재를 도입하고자 한다.

사실적인 애니메이션 결과를 보여주고 있는 최근의 연구들[1, 2, 3]은 기본적으로 전산유체 역학 분야에서 개발된 MAC (Marker and Cell) 기법[4]을 응용하고 있다. MAC 기법은 액체의 자유표면을 시뮬레이션 하기 위해 고안된 것으로서 유동을 매우 섬세하게 표현할 수 있으나, 근본적으로 액체 주변 공기의 존재를 무시하고 있기 때문에 액체 속에서 공기방울이 솟아오르는 것과 같이 액체와 기체를 동시에 다루어야 하는 경우에 대해서는 취약하다. 본 연구에서는 공기방울을 시뮬레이션 하기 위하여 VOF (Volume of Fluid) 표현법[5]을 사용하였다. VOF 표현법은 마칭 큐브즈 알고리즘과 함께 유체의 토폴로지 변화를 손쉽게 다룰 수 있고, 수치적 분산 현상을 막는데 유리하다.

자유표면 시뮬레이션과는 달리 액체와 기체를 함께 시뮬레이션 할 경우 추가적으로 고려해야 할 물리 현상들이 있다. 공기방울 안의 기체의 유동과 밖의 액체의 유동, 비중 차에 의한 부력, 표면장력 등은 공기방울의 움직임과 변형에 많은 영향을 끼친다. 우리는 이 현상들을 시뮬레이션 하기 위하여 다상 유동 현상에 관한 연구 결과[6]를 응용하였다.

2. 시뮬레이션 방법

우리는 액체와 기체를 하나의 시뮬레이션 시스템에서 다루기 위하여 VOF 표현법을 사용하였다. 그림 1의 (a)와 같이 물과 공기가 분포되어 있는 공간을 생각하여 보자. 이 공간을 동일한 크기의 사각 격자로 이산화 하게 되면 그림 1의 (b)와 같은 형태로 나타나게 된다. VOF 표현법에서는 한 격자 안에 물이 얼마나 담겨있는지를 각 격자에 저장하고 이를 시뮬레이션에 사용한다. 즉, 물이 가득 차 있는 격자에는 1이 저장될 것이고, 공기로 가득 차 있는 격자에는 0이 저장될 것이다. 0과 1사이의 값을 갖는 격자 안에서 공기와 물의 경계면이 생성될 것임을 알 수 있다. 우리는 이 값을 통하여 재질장(Material Field)를 정의할 수 있다. 랜더링에 사용된 경계면은 이 재질장으로부터 마칭큐브즈 알고리즘을 사용하여 구성되었다. 재질장의 정보를 바탕으로 각 격자의 비중이나 점성 등을 결정할 수 있으므로 다상 유동 현상에 대하여 Navier-Stokes 시뮬레이션이 가능하다. 시뮬레이션의 구체적인 수학적 모델과 유한차분법은 [6]에 구체적으로 설명되어 있다.

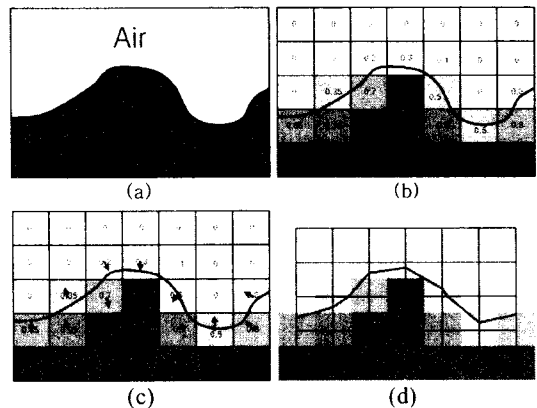


그림 1: 시뮬레이션 방법

표면장력은 공기방울의 움직임과 변형을 다루는 데 있어서 빠질 수 없는 요소이다. [6]과 같은 프론트 추적(Front-tracking) 기법들에서는 표면장력을 계산하기 위하여 경계면의 기하정보를 사용하고 있다.

그러나, 재질장으로부터 경계면이 생성된다는 점을 생각해 보면 경계면 구성을 거치지 않고 재질장으로부터 바로 표면장력을 계산해내는 것이 더 효율적임을 알 수 있다. 한 격자에 가해지는 표면장력을 추정하기 위해서는 그 격자와 주변 격자들의 재질 값의 차이를 참고하여 마칭 큐브 알고리즘으로 구성될 경계면의 굽곡을 예측하면 된다. 그림 1의 (c)는 실제로 계산된 표면장력을 보여주고 있다.

VOF 표현법을 사용하였을 때 얻을 수 있는 장점 중 액체 애니메이션에 가장 유리한 것은 수치적 분산을 쉽게 막을 수 있다는 것이다. [1]에서는 수치적 분산을 막기 위하여 파티클의 도움을 받아야 했으나, VOF 표현법에서는 시뮬레이션 시스템에서 유체의 부피가 직접적으로 드러나기 때문에 수치적 분산을 막기가 매우 쉽다. 즉, 재질장의 값들을 합하면 유체의 부피를 알 수 있으며 수치적 분산이 일어났을 경우 적당한 보정을 통하여 시뮬레이션의 안정성을 확보할 수 있다.

3. 결론

그림 2는 액체 속의 공기 방울의 움직임을 애니메이션 한 결과이다. 초기에 두 개의 작은 물방울들이 합쳐지는 것을 매우 자연스럽게 손쉽게 묘사하고 있다. 이후 표면장력과 부력이 평형을 이루게 되면 거의 변형이 없이 상승하게 된다. 주변의 작은 물방울들은 파티클 시스템으로 처리되었으며, Navier-Stokes 시뮬레이터가 생성해 낸 속도장을 따라서 움직이게 하였다. 광학적인 굴절, 반사, 분산 효과들은 버텍스 셰이더를 통하여 렌더링 되었다.

참고문헌

- [1] D. Enright, S. Marschner and R. Fedkiw, "Animation and rendering of complex water surfaces", *SIGGRAPH 2002, ACM TOG*, 21, 736-744, (2002)
- [2] N. Foster and D. Metaxas, "Realistic animation of liquids", *Graphical Models and Image Processing*, 58, 471-483 (1996)
- [3] N. Foster and R. Fedkiw, "Practical animation of liquids", *SIGGRAPH 2001*, 23-30 (2001)
- [4] F. H. Harlow and J. E. Welch, "Numerical calculation of time-dependent viscous incompressible flow of fluid with free surfaces", *Phys. Fluids*, 8, 2182-2189 (1965)
- [5] C. W. Hirt and B. D. Nichols, "Volume of Fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries", *J. Comput. Phys.*, 39, 201-255 (1981)
- [6] S. Shin and D. Juric, Modeling, "Three-dimensional multiphase flow using a level contour reconstruction method for front tracking without connectivity", *J. Comput. Phys.*, 180, 427-470 (2000)



그림 2: 액체 속에서 상승하는 공기방울