

추계 모델을 이용한 실시간에서의 난류 기체 모델링

서원종, 박찬모

포항공과대학교 정보통신대학원 가상현실감 연구실

Real Time Turbulent Gas Modeling By Using Stochastic Model

Wan-Jong Seo, Chan-Mo Park
VR lab GSIT Pohang University

요 약

본 논문에서는 파티클 시스템(Particle System)을 이용한 실시간 기체 모델링 알고리즘을 제시한다. 일반적으로 그래픽스 분야에서, 주요한 자연현상의 하나인 기체의 운동은 수학적으로 복잡한 모델을 사용하여 그 모델링이 매우 복잡하였다. 따라서 빠른 구현시간을 얻기 위해서는 고성능의 컴퓨터가 요구되어왔다. 이 알고리즘에서는 물리학에서 수학적으로 정의된, 기체의 움직임에 적용되는 요소 각각을 추계 모델(Stochastic Model)로 다시 재 정의하여 기체 입자 각각에 적용시켜 계산과정을 간단히 하였다. 따라서 일반적으로 사용되는 연구용 컴퓨터시스템에서도 실시간 애니메이션의 구현이 가능하다.

1. 서 론

본 논문에서는 파티클 시스템(Particle System)을 기반으로 추계 모델(Stochastic Model)을 적용한 기체 모델링 알고리즘을 제시한다. 일정한 형태가 없는 물체를 모델링하는 것은 애니메이션에서 자연현상을 표현할 때 꼭 필요한 부분이다. 구름, 수증기 같은 기체나 불꽃, 폭포와 같은 물체들은 그 형태가 유동적이기 때문에, 수학적으로는 정의할 수 있는 물체를 모델링하는 일반적인 방법으로는 이들을 표현하기에 많은 어려움이 있다. 이 문제를 풀기 위해 제시된 방법들을 살펴보면, 기체의 움직임에 사실성을 얻기 위해 복잡한 수식을 이용하므로 일반적인 시스템에서는 사용하기 어려운 단점이 있다. 즉, 기체의 내부에서 일어나는 불규칙한 움직임을 구현하기 위하여 난해한 물리학적 지식을 적용시켜왔기에 구현속도와 프로그래밍, 양쪽에서 많은 문제점이 있다.

본 논문에서 제시한 알고리즘에서는 적절한 초기조건을 설정하여 기체운동에 영향을 미치는 여러 가지 요소를 제한된 숫자로 한정하고 그에 의하여 기체의 움직임의 대부분이 결정된다고 가정하여 계산과정을 간단히 한다. 또 수학적으로 정의된, 기체의 움직임에 적용되는 요소 각각을 추계 모델(Stochastic model)로 다시 재 정의하여 기체 입자에 적용시

켜, 시간과 공간에 따라 불규칙하게 변동하는 이들 요소들을 선형적으로 나타내어 계산과정을 단순화하도록 한다. 따라서 일반적으로 사용되는 연구용 컴퓨터시스템에서도 충분히 실시간 애니메이션의 구현이 가능하다.

2. 이전 연구

기체를 모델링하는 방법은 크게 추계 모델(Stochastic Model), 파티클 그룹 모델(Particle Group Model), 환류 모델(N-M Model)의 세 가지로 분류할 수 있다. 이 방법들은 기본적으로 파티클 시스템(Particle System)을 사용하며, 물리학 지식을 기반으로 하여 움직임을 정의한다. 또 원하는 움직임을 얻기 위해 바람(Wind Field)등의 외부조건을 설정한다는 점, 사용자가 자기가 원하는 애니메이션을 얻기 위해서는 초기상태를 정밀히 설정해 주어야 한다는 공통점을 가진다.

추계모델은 복잡한 미분방정식의 각각의 관계들, 일정한 조건, 가정 하에서 선형적인 수식으로 정의한다. 애니메이션터가 초기의 일반적인 흐름에 대한 정보를 설정해 주고 정밀한 부분은 랜덤함수를 이용하는 방법으로, 구현이 간단하고 속도가 빨라 그래픽스들 등에 널리 사용되나 모델의 설정방식에 따라 구현된 기체의 사실성의 차이가 크다[4].

파티클 그룹 모델(Particle Group Model)은 기체를 구성하는 입자가 일정한 밀적을 가지는 유한개의 그룹으로 이루어져 있다고 가정한다[1]. 각각의 그룹에 속한 입자들은 시간, 공간에 따라 다른 운동을 하도록 설정하여 공간에서 불규칙하게(turbulent) 움직이는 기체 운동을 효율적으로 나타낼 수 있다. 그러나 공간에서 기체와 대기와 섞이는 효과를 무시해 예상하기 어려운 움직임을 보일 확률이 높다. 또 각 입자그룹이 사실적으로 움직이게 하기 위해서 물리학적 기반에 의한 지식이 경밀히 적용될 것이 요구되므로 크레이(CrayX-MP)급의 하드웨어가 있어야 만족할 만한 구현속도를 얻을 수 있는 단점이 있다[2].

환류 모델(N-M Model)은 두 방법의 장점을 결합한 것으로, 초기조건을 활용하여 물리적인 수식으로 정의된 요소의 수를 최소화하는 방법이다. 이 방법은 계산속도가 빠르지만 아주 세밀한 애니메이션에서는 사실성이 떨어진다는 단점이 있다[3].

3. 이론적 배경

3.1 기체 운동론

기체를 그래픽스에서 모델링하기 위해서는 먼저 기체 운동에 영향을 주는 요소, 기체의 확산현상의 표현방법의 두 가지 문제에 대한 명확한 정의와 이해가 필요하다. 기체는 공간상에서 일정한 에너지와 힘을 가지고 움직이는 입자들의 집합이라고 정의한다.

기체를 구성하는 입자들의 속도와 방향에 영향을 미치는 요소는 여러 가지가 있다. 먼저 각각의 입자들은 주위의 다른 입자들에게 영향을 받게 되는데 이를 환류현상이라고 한다. 기체의 입자들은 일반적으로 운동에너지가 크기 때문에 진동, 병진, 회전운동 중 회전운동을 하려는 성질이 강해지게 된다. 따라서 그들의 움직임은 공간상에서 소용돌이와 같은 특성을 보이게 된다. 또 기체입자들은 각기 고유 질량을 가지므로 중력의 영향을 받게 된다. 3차원 공간에서 기체의 움직임은, 기체와 섞이는 대기의 압력과 밀도의 차이와 변화 때문에, 속도와 방향이 심하게 변이하는 모습을 보인다. 이 현상을 난류현상이라고 하며 불규칙한 움직임에 영향을 미치는 주요인 요소이다. 이외에도 온도, 습도, 바람과 주변에 있는 물체와의 접촉과 같은 기체를 모델링하고자 하는 환경에 관련된 요인 역시 기체의 움직임에 영향을 미치게 된다[5].

3.2 파티클 시스템(Particle System)

파티클 시스템이란 일정한 형태가 없는 물체를 모델링하기 위해 무수히 많은 미세한 입자들의 집합으로 물체를 표현하는 방법이다. 각 입자들은 미리 지정된 특성에 의하여 움직이고 지정된 조건에 따라 생성, 소멸하게 된다. 파티클 시스템과 다른 그래픽스 기법과의 차이는 대개의 이미지가 다각형(Polygon)이나 평면(Surface)을 그 구성요소로 하는데 비해서, 각각의 입자 그 자체가 구성요소라는 점에서 차이가 있다. 그러므로 입자 각각의 움직임을 조절하여 일반적인 방법에서는 구현하기 어려운 역동적인 이미지를 생성할 수 있는 특징이 있다.

입자의 속성은 일반적인 곡면 등에 비해 수학적으로 단순하게 처리할 수 있으므로 동일한 시간에 훨씬 복잡한 이미지를 처리할 수 있다. 따라서 시간이 경과함에 따라 변화하는 물체를 표현하기가 용이하여 구름이나 수증기 등 구현하고자 하는 대상의 특징이 이 시스템에 적합한 경우에 많이 쓰이고 있다[6].

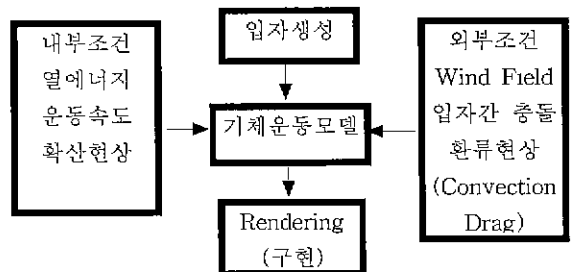
4. 기체입자 생성 모델

4.1 초기조건 설정

기체의 움직임을 표현하는 과정에서, 계산과정을 줄이기 위하여 초기조건을 이용하여 기체입자의 움직임에 영향을 미치는 요소들의 수를 최소화하는 방법이 주로 사용되고 있다. 그러나 이 방법은 모델링하고자 하는 기체의 조건마다 초기조건을 달리해야 하고, 경해진 초기조건을 바꾸지 못하므로 사실성이 떨어지는 효과를 가져왔다. 따라서 이 논문에서는 기체를 발생당시의 에너지와 시간에 따라 그 움직임에 영향을 미치는 주요한 요소들이 달라진다고 가정하고 단계에 따라 다음과 같이 주요 요소들을 설정하였다.

단계에 따라 영향을 미치는 주요 인자들	
1	열 에너지 > 환류현상 > 인력 (Thermal Buoyancy, Convection, Drag Force)
2	환류현상 > 열 에너지 > 인력 > 회전운동력
3	환류현상 > 회전운동력(Vortex Field) > 인력 > 열 에너지, 확산현상(Diffusion)
4	회전운동력 > 확산현상

4.2 파티클 그룹 컨트롤 포인트(Particle Group Control Point)
파티클 시스템을 기반으로 하여 모델링된 기체에 사실성이 부여되려면 초당 6000개 이상의 입자가 생성되어야 한다[6]. 이 과정에서 복잡한 수식이 주로 적용되기 때문에 기체모형의 성밀성이 높아질수록 계산시간이 길어진다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기체입자가 공통적인 물리적 특성을 가지는 입자간의 응집이 이루어진다는 특성을 이용하여 기체입자 그룹이라는 개념을 도입하고, 각 그룹은 그 그룹의 위치와 특성을 대표하는 대표점을 가진다고 가정한다[5]. 모델링 과정에서는 각 그룹의 대표점을 먼저 계산하고 그 대표점에 기준해서 그 그룹에 딸린 나머지 기체입자들의 위치와 움직임을 계산하여 전체 과정을 단순화한다.



<그림 1 기체 생성모델의 구조>

5. 확산현상 모델

5.1 파티클 그룹 콘트롤 포인트(Particle Group Control

Point)를 이용한 확산현상 설계

기체의 난류현상을 구현하기 위해 풀어야 하는 주요한 문제는 확산현상을 표현하는 방법이며 이에 대해 일반적으로 다음 두 가지 방법이 널리 쓰인다. 첫 번째는 물리학의 지식을 이용해 확산현상을 정의한 미분방정식을 수학적으로 풀어나고 이를 다시 산술적인 모델로 간단히 하여 정의하는 방법, 두 번째는 확산현상이 전체 기체의 움직임에 미치는 영향이 미미하다고 보고 환류 및 다른 요소들만으로 표현하는 방법이다[3]. 이 논문에서 제안하는 방법은 기체를 모델링하고자 하는 공간을, 위에서 제시한 파티클 그룹 콘트롤 포인트(Particle Group Control Point)를 이용하여 표현하는 것이다.

일반적으로 확산현상 모델을 기체모델에 적용할 때는, 계산의 편의를 위해 공간을 일정한 크기의 작은 구역으로 나누어 구역마다 입자에 대해 다른 움직임을 정의해 준다. 이 방법은 공간을 균일한 크기로 나누기 때문에 같은 구간 내에서 기체가 다른 형태의 움직임을 보여주지 못하므로, 애니메이션을 만들었을 때 흐름이 연속적이지 못하다는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해서 상자의 크기를 가능한 작게 설정하므로 계산시간이 길어지게 된다[2]. 이를 해결하기 위해 파티클 그룹 콘트롤 포인트를 이용한다. 각 콘트롤 포인트는 하나의 구간내의 입자들을 대표하므로, 그들의 움직임에 따라 위치와 크기가 다른 구간을 공간상에서 설정하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 따라서 연속적인 움직임을 표현할 수 있다.

5.2 확산현상 모델

그래픽스에서 확산(Diffusion)은 입자에 지속적으로 영향력을 주는 힘(Field)에 의하여 입자가 불규칙하게 흩어지는 현상으로 설명할 수 있으며 이는 기체입자의 밀도에 관한 미분방정식을 이용하여 정의할 수 있다.[5]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -u \Delta \rho + k \Delta^2 \rho - \alpha \rho$$

이 방정식은 확산현상이 거시적, 미시적인 관점에서 일어나며 거시적으로는 바람과 같은 대기 운동과, 시간과 공간에 따른 밀도변화의 의해 기체입자가 확산되는 현상이 나타나게 되고, 미시적인 확산현상은 기체입자가 가지는 분자의 성질에 의해 속도 k로 일어나게 됨을 보여준다. 따라서 각각의 요소에 대한 추계 모델(Stochastic model)을 정의하여 그래픽스에서 확산현상을 모델링할 수 있다

거시적인 부분에서 대기운동으로 인한 영향은 환류요소(Convection Field)와 겹치는 부분이므로 계산과정에서 제외하면, 분자의 확산은 분자가 가지는 특성과 시간에 따라 각각 k, α의 속도로 linear하게 입자가 흩어지는 현상으로 설명할 수 있다. 입자는 생성 초기에 열에너지에 의해 높은 상승운동을 보이므로 이때는 상승하는 방향에 대한 움직임은 확산현상보다는 열에너지에 의한 운동이 주가 된다. 따라서 초기에는 상승방향을 제외한 2차원적인 확산만 일어난다고 가정하고 열에너지가 일정기준이하로 떨어지면 3차원적인 확산모델을 대입하여 모델링한다



<그림 2 2차원상의 확산현상>



<그림 3 3차원에서 바람에 의한 기체운동의 예>

6. 결론 및 연구방향

본 논문에서 제시된 알고리즘을 적용하여 그림 2와 그림 3과 같은 결과를 얻었으나 모델에 대한 개선이 필요하다고 여겨진다

참고문헌

- [1] Jos Stam, Eugene Fiume, "Turbulent Wind Fields for Gaseous Phenomena", COMPUTER GRAPHICS, pp. 369-376, 1993.
- [2] Jos Stam, Eugene Fiume, "Depicting Fire and Other Gaseous Phenomena Using Diffusion Processes", SIGGRAPH, pp 129-136, 1995
- [3] Nick Foster, Dimitris Metaxas, "Modeling the Motion of a Hot, Turbulent Gas", SIGGRAPH, pp 181-188, 1997
- [4] Norishige Chiba, Kazunobu Muraoka, Hiromichi Takahashi, Mamoru Miura, "Two-Dimensional Visual Simulation of Flames, Smoke and the Spread of Fire", THE JOURNAL OF VISUALIZATION AND COMPUTER ANIMATION Vol 5. pp.37-54 1994.
- [5] Walter G Vincenti, Charles H Kruger, Jr., "Introduction to Physical Gas Dynamics", John Wiley and Sons, Inc., 1965
- [6] William T. Reeves, "Particle Systems-A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects", Computer Graphics 19(3), pp. 313-322, 1983.