

실시간 재생을 위한 인위적인 바람 모델

이남경¹, 백낙훈², 이종원³, 유관우⁴

¹경북대학교 컴퓨터공학과

²경북대학교 정보통신학과

³조지워싱턴대학교 전산학과

An Artificial Wind Model for Real-time Display

¹Nam Kyung Lee¹, Nakhoon Baek², J. Won Lee³, Kwan Woo Ryu⁴

¹Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

²Dept. of Information & Communication, Kyungpook National University

³Dept. of Computer Science, The George Washington University

요 약

실세계에서의 바람은 크게 자연 현상으로서의 바람과, 사람의 입, 선풍기, 에어컨, 환풍기 등에서 생성되는 인위적인 바람으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 인위적으로 생성되는 바람을 컴퓨터 그래픽스 분야에서 사용하기 위한 모델을 제안한다. 또, 가상 환경에서 이 모델을 이용하여 생성된 바람이 물체와 부딪쳐서 만들어내는 힘을 효과적으로 반영하는 방법을 제시한다. 새로 제안한 방법은 가상 현실 환경과 같이, 실시간 처리를 필요로 하는 분야들에서도 적용 가능하도록 설계되었으며, 자연적인 바람에 대한 기존 연구 결과들과 통합되면 종합적인 가상 바람 생성 시스템으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서 론

컴퓨터 그래픽스의 응용 분야가 넓어짐에 따라, 자연 현상(natural phenomena)을 컴퓨터 그래픽스 기법으로 표현하여야 할 필요성은 더욱 증가하고 있다[1]. 반면에 자연 현상들은 수학적 모델링이 어렵기 때문에, 그리 많지 않은 수의 연구 결과들이 알려져 있다. 특히, 바람(wind)의 경우에는 유체의 흐름을 다루어야 하는 어려움이 있다.

컴퓨터 그래픽스 분야에서의, 바람에 대한 이제까지의 연구 결과들은 자연 현상으로서의 바람을 표현하는 데에 초점을 맞추어 왔다[2,3,4,5]. 반면에, 실세계에서의, 바람에 관계된 현상들 중에는 인위적으로 생성되는 경우도 상당한 비중을 차지한다. 즉, 인간의 입으로 생성할 수 있는 바람이나, 선풍기, 에어컨, 환풍기 등에서 만들어지는 바람은 자연적으로 생성된 바람들과는 다르게 모델링되어야 할 것이다.

본 논문에서는 인위적으로 생성되는, 방향성을 가지는 바람에 대한 모델을 제시하고, 이 모델을 이용하여 가상 환경에서 바람에 의한 힘(force)을 효과적으로 반영하는 방법을 제안하고자 한다. 본 논문이 제시하는 방법은 인공적인 바람을 가상 현실(virtual reality)이나, 컴퓨터 애니메이션 등에서 효과적으

로 다룰 수 있도록 하는 데에 목적을 둔다. 특히, 가상 현실에서의 적용을 고려하여 실시간 처리(real-time processing)가 가능하도록 하였다. 이 모델은 자연적인 바람에 대한 기존의 연구 결과들과 상호 보완적으로 쓰일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 바람에 관련된 지금까지의 연구들을 소개하고, 3절에서는 본 논문에서 사용하는 바람 모델과, 이를 이용하여 바람이 물체에 가하는 힘을 계산하는 방법을 제시한다. 4절에서는 가상의 바람에 의해 영향을 받는 물체들을 효과적으로 찾는 방법을 제시한다. 마지막으로 5절에서 앞으로의 연구 방향과 결론을 기술한다.

2. 관련 연구

이제까지 컴퓨터 그래픽스 분야에서의 바람에 대한 연구는 자연 현상을 표현하는 데에 치중하여 왔다. 따라서, 바람은 주어진 환경 전체에 영향을 끼치는 장(field)의 형태로 표현되어 왔다.

Reeves는 structured particle system을 이용하여 나무와 숲을 표현하는 과정에서 간단한 바람 모델을 제시하였다[2]. 이 방법에서는 작은 돌풍(turbulence)을 무작위로 생성하여, 시간에 따른 풀잎이나 나뭇잎의 움직임을 표현하였지만, 세밀한 제어는 어렵다.

Wejchert는 공기역학(aerodynamics)에 기초하여 유체 속에서의 물체의 움직임을 시뮬레이션했다[3]. 이 방법은 낙엽과 같은 가벼운 물체가 바람에 의해 움직이는 현상을 비교적 자

1) 본 논문의 2번째 저자의 결과는 부분적으로 정보통신부의 정보통신 연구진 담교수 채용기금 조성사업에 의하여 수행된 것입니다.

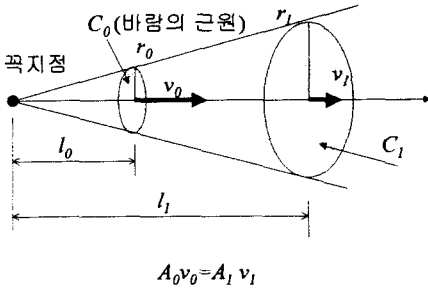


그림 1. 바람 모델

연스럽게 표현할 수 있다. 반면에 바람의 장(wind field)이 고정된 형태로 제한되어, 자연 현상으로서의 바람이 가지는 무작위성(randomness)을 제대로 표현할 수 없다는 단점이 있다.

Shinya는 건축 공학의 자료를 바탕으로 바람의 확률적인(stochastic) 성질을 이용한 모델을 제안했다[4]. 이 바람 모델은 나무나 풀을 움직이게 하는 바람을 만들어 낼 수 있다. 이 방법은 건축 공학에서의 결과에 바탕을 두었기 때문에 인위적인 바람을 표현하기에는 적합하지 않다.

Stam은 바람과 같이, 흐르는 유체 내에서의 연기(smoke) 흐름을 표현하는 방법을 제안했다[5]. 이 방법에서는 우선 전체 바람의 장(wind field)를 설정하고, 세부적으로는 Fourier 분석에 기초한 돌풍(turbulence)을 삽입하는 방식으로 구현되고 있다.

3. 가상 바람

가상의 바람을 생성하기 위해서는 크게 3가지 문제를 다루어야 한다. 우선, 가상의 바람이 진행해 나가는 형태를 전체적으로 모델링하는 방법이 필요하다. 또, 이 바람이 물체에 부딪혔을 때, 해당 물체에 가해지는 힘을 계산할 수 있어야 한다. 마지막으로, 어느 물체가 바람의 영향을 받는 지를 알아낼 수 있는 방법이 필요하다. 이 절에서는 가상 바람의 전체적인 모델을 제시하고, 이 모델에 의해 물체에 가해지는 힘을 계산하는 방법을 보인다. 바람의 영향을 받는 물체를 알아내는 방법은 4절에서 다룬다.

기존의 연구 결과들은 자연 현상으로서의 바람을 모델링하였기 때문에, 환경 전체에 걸친 바람의 장(wind field)을 설정하였다. 반면에, 사람의 입에서 나오는 바람이나, 선풍기가 만들어내는 인위적인 바람은 국지적으로 영향을 끼친다고 가정할 수 있으므로, 국지적인 바람 모델을 사용할 수 있다. 이 경우는 계산량의 감소로 빠른 처리가 가능하다는 장점을 가질 수 있다.

본 논문에서는 인위적으로 생성되는 바람이 그림 1에서와 같이, 그 근원(source)으로부터 원뿔 모양으로 퍼져 나간다고 가정한다. 바람의 근원(source of wind)은 반지름 r_0 의 원으로 정의되고, 이 원의 중심에서 l_0 의 거리에 원뿔의 꼭지점이 위치한다. 가상 바람은 주어진 원으로부터 $v_0(t)$ 의 풍속(風速)으로 꼭지점에서 멀어지는 방향으로 퍼져나간다. 풍속은 시간에 따라 변할 수 있으므로, 시간 t 에 대한 함수로 정의된다. $r_0, l_0, v_0(t)$ 는 바람의 형태를 조정하기 위해, 사용자가 설정할 수 있다.

바람은 본질적으로 공기라는 유체의 흐름이다. 가상 바람을

효과적으로 모델링하기 위해, 본 논문에서는 공기는 비점착성(invscid)의 압축되지 않는 유체이고, 이 유체의 흐름은 주어진 원뿔 내로 폐쇄된다고 가정한다. 이러한 가정은 정상 풍속의 바람에 적용될 수 있다[3]. 가상 바람의 근원을 면적 A_0 를 가지는 단면 C_0 라 하면, 그림 1의 원뿔 모델에서 면적 A_1 을 가지는 임의의 단면 C_1 을 설정할 수 있다. 폐쇄된 유체의 흐름에서는 단위 시간에 단면 C_0 와 C_1 을 각각 통과하는 유체의 질량이 같아야 한다. 따라서, 이 두 단면 사이에서의 유체의 흐름은 연속 방정식(continuity equation)으로 다음과 같이 표현할 수 있다[6].

$$A_0 v_0 = A_1 v_1 \quad (1)$$

이 때, 두 단면 C_0, C_1 에 대하여, $l_0 : l_1 = r_0 : r_1$ 이고, 식 1로부터 풍속 v_0, v_1 의 관계를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{A_0}{A_1} = \frac{\pi r_0^2}{\pi r_1^2} = \frac{\pi l_0^2}{\pi l_1^2} = \frac{l_0^2}{l_1^2} \quad (2)$$

위와 같이 모델링된 바람이 물체에 부딪혔을 때, 해당 물체에 작용하는 힘을 계산하기 위해서는 다음과 같은 스토크 항력 방정식(Stoke drag equation)을 사용할 수 있다[3].

$$\vec{F}_{stoke} = \rho A v^2 (\vec{n}_v \cdot \vec{n}_a) \vec{n}_a \quad (3)$$

여기서, A 와 v 는 각각 바람을 받는 부분의 표면적과 풍속이다. 또, \vec{n}_v 와 \vec{n}_a 는 각각 유체의 흐름을 나타내는 단위 벡터와 물체 표면의 단위 법선 벡터이다. ρ 는 유체의 밀도를 나타내는데 바람의 경우는 상수값이 된다.

그림 1에서 제시한 바람 모델에서는, 스토크 항력 방정식으로부터, 단면 C_1 에 위치한 면적 A 를 가지는 평면에 작용하는 힘은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\vec{F}_{stoke} = \rho A v_1^2 (\vec{n}_v \cdot \vec{n}_a) \vec{n}_a \quad (4)$$

또, 유체의 흐름 방향을 나타내는 단위 벡터 \vec{n}_v 는 원뿔의 꼭지점에서 물체의 해당 지점을 연결한 벡터를 정규화(normalize)하여 구할 수 있다.

단면 C_1 에서의 풍속 v_1 은 식 2를 이용하여 단면 C_0 에서의 풍속 v_0 로 표시할 수 있으므로, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{F}_{stoke} &= \rho A \frac{A_0}{A_1} v_0^2 (\vec{n}_v \cdot \vec{n}_a) \vec{n}_a \\ &= \alpha A \frac{v_0^2}{A_1} (\vec{n}_v \cdot \vec{n}_a) \vec{n}_a \end{aligned} \quad (5)$$

식 5에서 v_0 는 사용자의 설정에 따라 바람의 형태를 결정하는 데에 사용된다. 또, 상수값 α 는 원뿔의 형태에 따라 미리 계산되어질 수 있다. 단면적 A , 꼭지점으로부터의 거리 l_1 , 단위 벡터 \vec{n}_v 와 \vec{n}_a 들은 해당되는 평면에 따라 손쉽게 계산되어질 수 있다. 따라서, 가상의 바람이 물체 표면에 가하는 힘은 실시간으로 계산되어질 수 있고, 가상 현실 등의 실시간 응용에서 사용할 수 있다.

실제 세계에서의 인위적인 바람은 물체와 부딪치면서 굴절하거나 회절하는 현상이 일어날 수도 있다. 특히, 상대적으로 작은 물체의 뒷부분에는 회절된 바람이 영향을 미칠 수도 있다. 또, 바람 자체가 가지는 무질서성을 반영하여야 할 필요도 있다. 본 논문에서는 이러한 점들을 고려하기 위해, 식 5에서 계산한 힘에 무질서한 항을 더하여 최종적으로 다음과 같은 식을 사용한다.

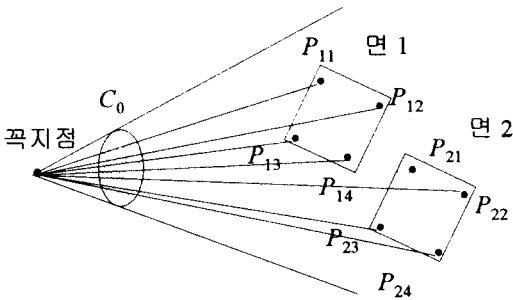


그림 2. 바람의 영향을 받는 면의 추출

$$\vec{F}_{wind} = \vec{F}_{stoke} + \vec{F}_{rand} \quad (6)$$

무질서하게 더해지는 \vec{F}_{rand} 는 사용자가 정의하는 상수값 β 를 이용하여, $|\vec{F}_{rand}| < \beta |\vec{F}_{stoke}|$ 의 관계를 만족시키도록 설정된다. \vec{F}_{rand} 의 방향은 무작위로 설정된다.

4. 바람의 영향을 받는 면 추출

3절에서 바람의 전체적인 모델과, 특정 물체에 가하는 힘을 계산하는 방법을 보였다. 가상 바람의 처리에 있어서는 어느 물체가 실제로 바람을 받게 되는지를 처리하는 것이 역시 상당한 비중을 차지한다. 본 논문에서는 가상 바람의 실시간 처리를 위하여, 바람이 물체에 직접 부딪히는 경우에만 힘을 가한다고 가정한다.

3절에서 제시한 바람 모델에서는 원뿔의 내부에 포함되는 면에만 힘이 가해지게 된다. 또, 특정한 면이 다른 물체에 의해 가려지는 경우에는 바람의 직접적인 영향을 받지 않으므로, 힘이 가해지지 않는다. 따라서, 바람의 영향을 받는 면들은 원뿔의 꼭지점으로부터 가시(visible)적이고, 원뿔의 내부에 포함된다는 조건을 만족시킨다.

본 논문에서는 바람의 영향을 받는 면들을 알아내기 위해서 가시면 추출 방법(visible surface detection)을 응용한다[7]. 가시면 추출 방법에서의 카메라의 위치는 바람 모델의 원뿔의 꼭지점에 대응시키고, 바람의 근원에 해당하는 단면 C_0 를 포함하는 평면을 카메라 필름의 위치에 대응시킨다. 원뿔 내에 포함되는 지의 여부는 단면 C_0 에 대응되는 원의 내부에 포함되는 지를 묻는 2차원 문제가 된다.

컴퓨터 그래픽스에서 사용되는 가시면 추출 방법들에는 여러 가지가 있지만, 본 논문에서는 처리 시간을 향상시키기 위해 깊이 버퍼 기법(depth buffer method)을 사용한다. 이 방법은 하드웨어로 지원을 받을 수 있다는 장점이 있다.

원래의 깊이 버퍼 기법에서는 가시면들이 표시된 화면이 최종 결과가 되지만, 바람 모델의 경우에는 어느 면이 보이는 지를 찾아내야 한다. 이를 위해서, 깊이 버퍼에 면의 색상 정보 대신, 어느 면인지를 나타내는 인덱스 값을 저장하도록 하고, 처리가 끝난 깊이 버퍼에서 이 인덱스값들을 읽어들이기 시면들이 어느 것인지 찾아낼 수 있다.

또, 바람의 모델링에 있어서는 그 특성상 면 상에서 영향을 받는 부분을 정확히 찾아낼 필요는 없다. 본 논문에서는 각각

의 면 위에 표본점들을 분포시킨 후, 각 표본점들이 대응되는 면 상의 일정 부분의 가시성을 결정하도록 하여 처리 속도를 향상시켰다. 그림 2는 이러한 처리의 예로, 면 1의 경우는 표본점 4개가 모두 보이지만, 면 2에서는 하나의 표본점 P_{21} 이 보이지 않으므로, 면 2의 P_{22}, P_{23}, P_{24} 에 대응되는 부분에만 바람에 의한 힘이 작용한다.

이 과정을 통해 바람의 영향을 받는 것으로 결정된 면 상의 각 부분에는 3절에서 제시한 방법으로 계산된 힘이 적용된다. 이 힘들에 의해 면은 이동하거나 회전하는 운동을 하게 된다.

5. 결론

실세계에서의 바람은 크게 자연 발생적인 것과 인위적으로 생성되는 것으로 나눌 수 있다. 이제까지의 연구 결과들은 주로 자연 현상으로서의 바람을 모델링했다. 본 논문에서는 사람의 입이나 선풍기, 환풍기, 에어컨 등에 의해 생성되는 바람을 모델링하기 위한 바람 모델을 제시하였다.

본 논문이 제안한 바람 모델은 가상 현실과 같은, 실시간 처리가 필요한 분야에서도 사용하기 위해서 계산량을 줄일 수 있도록 설계되었다. 또, 주어진 환경에서 가상의 바람을 받게 되는 물체와, 그 물체에 가해지는 힘을 계산하는 방법을 제시하였다. 이러한 방법들은 인위적으로 생성된 바람이 주어진 환경에 미치는 영향을 효과적으로 반영할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 제시한 방법은 기존 연구들에서 제안한, 자연 발생적인 바람의 모델링과는 서로 보완적인 역할을 담당한다. 따라서 앞으로는 두 모델들간의 통합이 필요하다. 이를 통해 종합적인 바람 생성 모델을 설계할 수 있을 것으로 기대된다. 동역학에 기초한 애니메이션 시스템과의 통합 역시 앞으로의 연구 과제이다.

참고 문헌

- [1] Foley, van Dam, Feiner and Hughes, "Computer Graphics - principles and practice", Addison Wesley, (1996).
- [2] W. T. Reeves and R. Blau, "Approximate and Probabilistic Algorithms for Shading and Rendering Structured Particle System", SIGGRAPH'85, pp.313-322, (July 1985).
- [3] J. Wejchert and D. Haumann, "Animation Aerodynamics", SIGGRAPH'91, pp.19-22, (July 1991).
- [4] M. Shinya and A. Fournier, "Stochastic Motion - Motion Under the Influence of Wind", In Proceedings of Eurographics'92, pp.119-128, (September 1992).
- [5] Jos Stam and Eugene Fiume, "Turbulent Wind Fields for Gaseous Phenomena", SIGGRAPH'93, pp.369-376, (August 1993).
- [6] Victor L. Streeter and E. Benjamin Wylie, "Fluid Mechanics", McGraw-Hill, (1998).
- [7] D. Hearn and M. P. Baker, "Computer Graphics", Prentice-Hall, Inc., (1997).