

날개짓 비행의 데이터 기반 제어방법*

주은정⁰ 원정담, 이제희 최병국, 노준용 최민규
한국과학기술연구원 서울대학교 한국과학기술원 광운대학교
(ejjoo12@gmail.com (jungdam, jehee)@mrl.snu.ac.kr (litlpoet, junyongnoh)@kaist.ac.kr (mgchoi)@kw.ac.kr

Data-driven Control of Flapping Flight

Eunjung Ju⁰ Jungdam Won, Jehee Lee Byungkuk Choi, Junyong Noh Min Gyu Choi
KIST Seoul National University KAIST Kwangwoon University



그림 1: 제어를 통하여 가상의 물리환경에서 시뮬레이션 되는 새의 모습.

요약

본 논문에서는 가상의 물리환경에서 날개짓 동작을 하며 날고 있는 새를 균형을 유지하며 제어하는 방법에 대해서 이야기 하고자 한다. 시뮬레이션 되는 새의 몸은 다 관절 강체로, 깃털은 공기역학에 의해서 생기는 현상을 재현하기 위해서 변형 가능한 얇은 쉘로 모델링하였다. 그리고 사실적인 새의 날개짓 데이터를 얻기 위해, 실제 새의 동작을 마커기반의 광학식 모션캡처 카메라와 초고속 카메라를 이용하여 얻었고 그 데이터로 부터 매개화를 통해 한 번의 자연스러운 날개짓을 만들어 냈다. 이 날개짓은 시뮬레이션 과정에서 새가 따라가야 하는 기본 날개짓으로 사용된다. 그러나 모션캡처 자체의 제약조건들과 캡처 대상이 새라는 특수한 상황 때문에 이로부터 얻어진 데이터는 매우 제한적일 수밖에 없다. 따라서 우리는 제한적인 데이터를 좀 더 일반화 시킬 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 이를 통해 가상 공간에 존재하는 새가 사실적이면서 물리적으로도 적합한 날개짓 동작을 가능하도록 하였고, 또한 원하는 방향으로 자유롭게 새를 제어할 수 있게 되었다. 또한 제어기는 새를 거의 실시간으로 제어하고, 외부의 환경 변화에서도 잘 동작한다.

을 재현하는 것에 대하여 많은 사람들이 관심이 있어 왔다. 사람에 관해서는 많은 연구가 이루어져 왔고, 두 발로 걷는 동작을 2차원[1], 3차원[2] 물리 시뮬레이션 환경에서 제어한 연구가 있었다. 또한 주어진 길을 따라가는 새 동작에 관한 연구도 있었다[3]. 그러나 이 연구에서는 동작이 사람이 손으로 만든 것에 기반하고 있고 주어진 길을 따라가도록 하는 동작을 만들어내는데 최적화 기법을 사용하고 있기 때문에 몇 초 분량의 동작을 만들어내는데 수 시간이 필요하다. 또한 유체역학을 고려하여 물속의 가상 생물체를 최적화 방법을 통하여 동작을 구하는 연구 또한 있었다[4].

그 중에서 특히 새와 같이 날개짓을 하여 공중에서 움직이는 생물체들은 그 아름답고 독특한 동작 때문에 더욱더 관심을 받아왔다. 그러나 이러한 생물체를 물리적으로 재현하는 것은 그리 쉬운 문제가 아니다. 공중에서 날개짓에 의해 움직이는 것은 공기역학에 의한 힘으로 움직이는 것인데, 이 힘의 크기나 방향이 미묘하게 달라지더라도 쉽게 균형을 잃을 수 있다. 본 논문에서는 공기역학이 존재하는 가상의 물리환경에서 날개짓을 하는 새를 균형을 유지하면서 제어할 수 있는 방법에 대해서 이야기 하고자 한다.

1. 서론

컴퓨터 그래픽스 분야에서 살아있는 생물체들의 동작

2. 접근 방법

2.1. 새 모델링

가상환경에서 시뮬레이션 하기 위해서는 새의 특징들을 잘 표현할 수 있는 모델이 필요하다. 우리는 새의 몸은 다 관절 강체로 표현하였다. 관절은 어깨(3자유도), 팔꿈치(2자유도), 손목(1자유도) 그리고 꼬리(2자유도)로

* 구두발표논문

* 본 논문은 요약논문 (Extended Abstract) 으로서, 본 논문의 원본 논문은 Siggraph Asia 2012에 제출되었음.

이루어져 있다. 새의 깃털은 비행을 하는데 있어서 필수적인 중요한 요소이다. 따라서 초고속 카메라 데이터로부터 깃털의 동작을 분석한 결과를 바탕으로 변형 가능한 얇은 셸로 만들어졌다. 몸과 깃털의 연결은 주변 관절에 종속적인 1자유도의 관절로 만들었는데, 주 깃털의 연결부분은 날개의 상승과 하강 운동 시에 회전운동이 일어나는 특징을 반영하기 위하여 1자유도의 제한된 움직임을 가진 일반 관절을 추가해 주었다.

2.2. 데이터 취득 및 분석

우리는 새의 동작을 두 가지 방법을 이용하여 얻었다. 첫 번째 방법은 마커기반의 광학식 모션캡처 카메라를 이용하였다. 이 방법은 사람의 동작을 얻어내는데 일반적으로 많이 사용되는 방법이다. 사람과 마찬가지로 새 또한 이를 통하여 각각의 관절과 몸의 동작을 얻었다. 총 28대의 카메라를 이용하였고, 각각의 카메라는 240 fps 로 촬영하였다. 두 번째 방법은 초고속 카메라를 이용하였다. 새의 동작에서 관절과 몸의 움직임뿐만 아니라 깃털의 움직임 또한 매우 중요하다. 그런데 마커기반의 광학식 모션 캡처에 사용되는 마커가 새의 움직임을 방해할 수 있기 때문에 우리는 최소의 마커만을 사용했다. 따라서 마커기반의 광학식 모션캡처에서 얻지 못한 세밀한 깃털의 움직임을 얻기 위해 4대의 초고속 카메라를 이용하여 500~2000 fps 로 촬영하였다.

2.3. 시뮬레이션

새의 몸과 깃털의 무게의 차이는 매우 심하다. 따라서 몸과 깃털을 같은 물리적 체계 안에서 해결할 경우에 매우 불안정하게 된다. 따라서 우리는 몸과 깃털의 무게비가 매우 크다고 가정하였고 매 시간 간격마다 두 물체를 각각 다른 체계에서 시뮬레이션하고 깃털에 의해서 발생한 힘을 연결된 몸에 전달하도록 하였다. 몸은 일반적인 강체 시뮬레이션을 이용하였고, 깃털의 경우에는 모달 와핑 기법을 이용한 얇은 셸 시뮬레이션[5]을 이용하였다. 또한 새의 몸이 주어진 기본 날개짓을 따라가기 위해 관절에 대하여 Proportional Derivative (PD) 제어 기법을 사용하였고, 공기역학에 의한 힘을 계산하기 위해서는 항력과 양력만을 고려한 단순화된 공기역학[3]을 이용하였다. 우리의 새는 PD제어 방법을 통하여 기본 날개짓 동작을 잘 따라하고, 단순화된 공기역학에 의한 날개의 변형 또한 캡처 데이터와 비교하였을 때 유사하게 시뮬레이션 된다. 하지만 기본 날개짓만 할 경우에 동작이 좌우 대칭임에도 불구하고 공중에 떠서 움직이는 새의 특성과 시뮬레이션을 하는 과정에서 누적되는 오차 때문에 새는 몇 번의 날개짓 후에 균형을 잃는다.

2.4. 제어

우리는 제어를 위해서 상태-행동 모델을 이용하였다. 새의 상태를 나타내기 위해서 몸통의 물리적 상태만을 고려하였고 여기서 무시되는 부분들의 상태를 고려하기 위해서 추가인 시뮬레이션을 한 번 더 수행하는 방법을 사용했다. 날개짓은 기본 날개짓에 대하여 크기, 변위, 시간에 대하여 매개화 하였고 행동은 매개화 하는데 사

용했던 매개변수들로 표현하였다. 우리는 캡처 데이터로부터 몇 백개 정도의 상태-행동 쌍을 취득했지만, 이는 새의 상태와 행동을 나타내는 차원을 생각해 보았을 때 매우 부족하고, 캡처된 데이터의 다양성 또한 매우 부족하다. 그래서 새를 제어하는데 필요한 상태-행동 쌍을 더 만들기 위해서 우리는 캡처된 날개짓 데이터를 제어 방향 공간에 사영하여 영역을 구분하여 구분된 각각의 영역 안에서 임의로 데이터를 추출하는 방법을 선택하였다. 이렇게 해서 모아진 데이터를 가지고 k 근접 회기 방법을 이용하여 새를 안정적으로 제어할 수 있었다. 추가적으로 제어의 범위를 늘리기 위해서 앞에서 얻어진 제어기를 가지고 다양한 범위를 시뮬레이션 하여 얻어진 날개짓을 제어 방향 공간에서 분석하여 추가로 필요한 부분을 추출했다. 이렇게 해서 만들어진 제어기는 처음 단계에서 만들어진 제어기보다 더 큰 범위를 안정적으로 제어할 수 있게 되었다(그림 1).

3. 결론

우리는 가상의 물리적 환경에서 시뮬레이션 되는 새를 모델링하고, 균형을 유지하며 사실적인 동작을 만들어 낼 수 있는 제어방법을 제시하였다. 이 방법을 이용하면 컴퓨터 애니메이션에서 날개짓 동작이 필요할 때 손쉽게 물리적으로 타당한 사실적인 동작을 만들 수 있다. 또한 거의 실시간으로 계산가능하기 때문에 게임이나 기타 실시간 응용분야에서도 사용이 가능할 것이다.

본 논문에는 새의 동작을 일반적인 날개짓 동작만으로 제한하였는데, 다양한 동작을 만들어낸다는 관점에서 생각해 보면 이륙, 착륙 혹은 곡예를 하는 비행 동작을 제어할 수 있는 방법에 대해서 생각해 볼 수 있을 것이다. 또한 다양한 모델을 만든다는 관점에서 생각해 보면 캡처나 애니메이터로부터 얻은 몇 개의 동작만으로 균형을 유지하면서 원하는 동작을 만들어 낼 수 있는 제어방법에 대해서 생각해 볼 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Kwang Won Sok, Manmyung Kim, Jehee Lee, Simulating biped behaviors from human motion data, *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2007)*, 26, 3, 107:1-107:9, 2007.
- [2] Yoonsang Lee, Sungeun Kim, Jehee Lee, Data-driven biped control, *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2010)*, 29, 4, 129:1-129:8, 2010.
- [3] Jia-chi Wu, Zoran Popovic', Realistic modeling of bird flight animations, *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2003)*, 22, 3, 888-895, 2003.
- [4] Tan Jie, Gu Yuting, Turk Greg, Liu C. Karen, Articulated swimming creatures, *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2011)*, 30, 4, 58:1-58:12, 2011.
- [5] Min Gyu Choi, Seung Yong Woo, Hyeong-Seok Ko, Real-time simulation of thin shells. *Computer Graphics Forum (EURO-GRAPHICS 2007)*, 26, 3, 349-354, 2007.