동물 걸음에 대한 상호적인 운동기능의 효율적인 생성*

원정담[0], 이제희
서울대학교 컴퓨터공학부
(jungdam, jehee)@mrl.snu.ac.kr

Efficient Construction of Interactive Motor Skills for Animal Locomotion

Jungdam Won[0], Jehee Lee
Dept. of Computer Science, Seoul National University

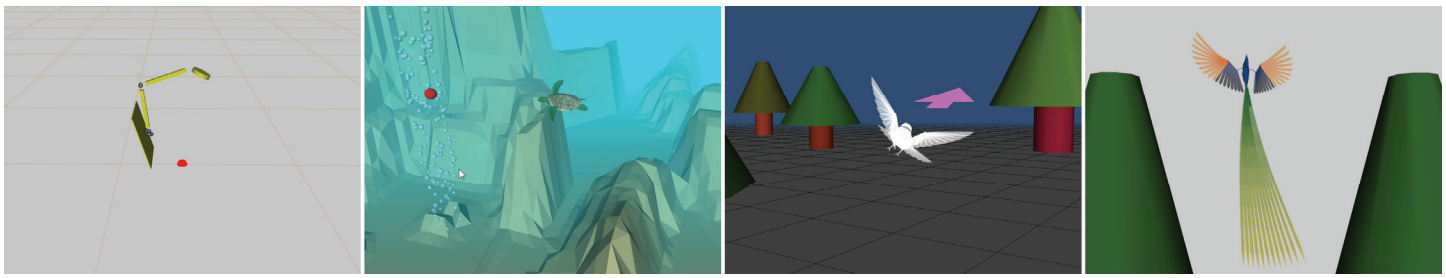

그림 1: luxo, 거북이, 새가 가상의 물리적 환경에서 시뮬레이션 되고 제어가 되는 모습.

요약

본 논문에서는 가상의 캐릭터들을(점프하는 luxo, 물속에서 헤엄치는 거북이, 하늘을 나는 새) 물리에 기반 하여 시뮬레이션 하고 제어하는 방법에 대해서 다룬다. 시뮬레이션 되는 캐릭터들은 걸음을 위한 매개화된 운동기능을 가지고 있다. 우리는 매개화된 운동기능을 생성하기 위하여 캐릭터들 주변에 목표 지점들로 이루어진 격자를 만들고 각각의 목표 지점에 대하여 비선형(nonlinear), 비컨벡스(non-convex) 형태의 최적화문제를 CMA(covariance matrix adaptation) 최적화기법을 이용하여 풀었다. 그런데 우리는 각각의 목표 지점에 대한 문제들 간의 긴밀한 관련성을 이용하여 전체문제를 효율적으로 풀 수 있었다. 이 방법은 또한 임의의 형태와 환경에서 시뮬레이션 되는 캐릭터에 대하여 쉽게 적용가능하고, 우리는 이를 3개의 다른 형태와 다른 환경에 존재하는 캐릭터들을 통해서 보여주려 한다.

1. 서론

사실적으로 움직이는 캐릭터를 만드는 것은 컴퓨터 애니메이션을 연구하는 사람들의 궁극적인 목표중 하나이다. 우리는 그러한 방법들 중 캐릭터를 물리 시뮬레이션 하고, 제어하는 방법에 대하여 관심이 있다. 사람[1; 2; 4; 5]이나 동물[6; 7]의 움직임에 대하여 많은 사람들이 시뮬레이션하고 제어할 수 있는 다양한 방법들을 제시했다. 우리는 그러한 방법들이 사용자가 실시간에 상호적으로 사용할 수 있을 만큼 시뮬레이션이 충분히 빠르고 동시에 외력에 대해서도 강건한 제어기가 필요하다고 생각한다. 이를 위해 우리는 주어진 기본 제어기가 있을 때 이로부터 자동적으로 매개화된 제어기를 빠르게 생성하는 방법을 제시한다.

2. 시뮬레이션과 운동기능

책상 스탠드 모양의 점프하는 luxo는 다 관절체 형태의 캐릭터로, 총 3개의 강체(머리, 다리, 밑받침)로 이루어져 있다. 머리와 다리는 1자유도, 다리와 밑받침은 2자유도의 관절로 각각 연결되어 있다. luxo의 물리적인 상태는 밑받침의 위치와 방향으로 정의 하였다. 우리는 각각의 관절에 대하여 참조궤적(reference trajectory)을 정현파의 형태로 주고 이를 PD제어를 이용하여 움직이도록 했다. 참조궤적은 4개의 매개변수를 이용하여 변형 가능하도록 만들었다.

물속에서 수영하는 거북이는 몸통과 두 개의 팔로 이루어져 있다. 각각의 팔은 몸통과 3자유도의 관절로 연결되어 있다. luxo와 비슷하게 거북이의 물리적 상태도 몸통의 위치와 방향으로 정의하였고, 관절의 움직임을 위하여 13개의 매개변수로 이루어진 참조궤적을 만들었다[5].

하늘을 비행하는 새의 경우에는 [2]에서 제시된 비둘기 모델을 사용하였다. 해당 모델은 7개 강체와 14개의 관절 그리고 48개의 깃털로 구성되어 있다. 자연스러운 새의 날개짓 동작을 얻기 위해 데이터베이스[3]를 이용하였고, 한 번의 날개짓에 29개의 매개변수를 사용하였다. 또한 새의 물리적 상태는 이전과 마찬가지로 몸통의 위치와 방향으로 정의하였다.

---

* 구두발표논문
* 본 논문은 요약논문 (Extended Abstract) 으로서, 본 논문의 원본 논문은 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics에 제출되었음.
* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.

3. 제어

3.1. 제어 적응

우리는 매개화된 참조궤적을 이용하여 캐릭터를 움직일 수 있도록 만들었다. 처음 주어진 매개변수를 기본 제어기라고 한다면, 제어 적응이란 우리가 원하는 물리적 상태를 얻기 위하여 기본 제어기를 변형하는 것을 뜻한다. 우리는 이 문제를 에너지 최소화 문제로 만들었다. 최적화를 위한 에너지 함수는 다음과 같이 3가지 항목을 포함한다.

$$E = E_{task} + E_{effort} + E_{regul}$$

E_{task}는 우리가 원하는 물리적 상태와 실제 물리적 상태간의 차이가 적은 것을 선호하기 위함이고, E_{effort}는 그 중에 캐릭터를 움직이는데 필요한 돌림힘을 적게 사용하는 것을 선호하기 위함이다. 마지막으로 E_{regul}는 새롭게 만들어지는 제어기가 기본 제어기와 너무 많이 다르지 않기를 기대하는 것으로, 이는 최적화 문제의 탐색 공간을 제한함과 동시에 기본 제어기에 내제된 걸음 스타일을 최대한 유지하기 위한 것이다. 이 최적화 문제는 비선형(nonlinear), 비컨벡스(non-convex) 형태이기 때문에 우리는 이런 문제를 효과적으로 잘 해결할 수 있다고 알려진 CMA 최적화 기법을 사용하였다.

3.2. 제어 매개화

우리는 캐릭터 주변에 격자 형태로 목표 지점들을 만들었다. 원기둥 좌표계 상에서 상대간의 거리가 거의 동일하도록 목표지점을 지정하였다. luxo의 경우에는 2차원의 원 형태로, 거북이와 새의 경우에는 3차원의 원기둥 형태로 만들었다. 이렇게 만들어진 각각의 목표 지점들에 대하여 제어 적응을 실시하였고, 만들어진 제어기들 중에서 캐릭터들을 안정적으로 제어할 수 있는 것만을 골라내었다. 앞선 과정을 통하여 최종적으로 남은 제어기들을 가지고 k 근접 회기를 이용하여 제어기를 매개화 하였다.

3.3. 효율적인 생성

제어기를 매개화하기 위해서는 각각의 목표 지점에 대하여 제어 적응을 수행해야 한다. 그런데 한 번의 제어 적응을 위해서는 많은 시뮬레이션을 수행해야 한다. 결론적으로 아주 많은 양의 시뮬레이션이 필요하고 이는 캐릭터의 복잡도에 따라, 최신의 컴퓨터에서 적에는 수십분 많게는 수 일 이상이 걸릴 수 있다. 그런데 우리는 각각의 제어 적응 문제들 간에 긴밀한 관련성이 있음을 발견하였다. 새로운 문제를 해결하는데 있어서 이전의 제어 적응 문제를 풀기 위하여 수행하였던 시뮬레이션 결과들을 재활용함으로써 시뮬레이션 횟수를 줄임과 동시에 더 양질의 결과를 얻을 수 있었다.

3.4. 실험결과

이전의 시뮬레이션 결과를 재활용하는 방법과 그렇지 않는 방법에 대하여 매개화를 위한 격자를 생성하는데 필요한 시간, 수렴속도 그리고 목표지점의 밀도와 제어기의 능력간의 관계에 대한 실험을 수행 하였다. 시간에 있어서, 우리의 방법이 재활용 하지 않는 방법보다 6배 이상 빠른 것을 확인했다. 수렴속도는 4~8배정도 빠르고, 목표 지점의 밀도가 증가할수록 생성된 제어기의 제어 능력이 향상되지만 일정수준 이상에서는 제어 능력이 수렴하는 것을 확인하였다.

3. 결론

우리는 최적화에 기반 하여 기본 제어기로부터 자동적으로 매개화된 제어기를 생성하는 방법을 제시했다. 이 방법은 최대한 걸음 스타일을 유지하며 기본 제어기를 변형한다. 따라서 적당한 다른 기본 제어기를 주면 해당 스타일 형태의 매개화된 제어기를 또한 생성할 수 있다. 그리고 제안된 방법은 사람[6]이나 네발달린 동물[1]에 대하여 소개된 적이 있는 되먹임(feedback)이 포함된 최신의 제어기를 기본 제어기로 사용한다면, 해당 캐릭터들에 대하여도 적당한 양의 샘플만으로도 적용 가능할 것으로 생각된다.

우리의 방법은 제어를 위하여 수학적인 모델을 사용하지 않았기 때문에 비선형적인 움직임 공간을 가진 캐릭터에 대하여 잘 동작한다. 즉, 캐릭터의 형태와, 시뮬레이션 되는 환경에 훨씬 덜 민감하다. 또한 움직임 데이터로부터 기본 제어기를 만들고 이로부터 최적화를 사용하는 방법을 사용했기 때문에 두 방법의 장점을 잘 혼합한 형태라고 할 수 있다.

참고문헌

[1] COROS, S., KARPATHY, A., JONES, B., REVERET, L., AND VAN DE PANNE, M. 2011. Locomotion skills for simulated quadrupeds. *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2011)* 30, 4.

[2] Ju, E., Won, J., Lee, J., Choi, B., Noh, J., Choi, M. G. 2013. Data-driven control of flapping flight. *ACM Transactions on Graphics*.

[3] SNU-DB. SNU motion database,. http://mrl.snu.ac.kr/~mdb/.

[4] WITKIN, A., AND KASS, M. 1988. Spacetime constraints. P*roceedings of SIGGRAPH '88* 22, 4, 159–168.

[5] WU, J.-C., AND POPOVI´C, Z. 2003. Realistic modeling of bird flight animations. *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2003)* 22, 3, 888–895.

[6] LEE, Y., KIM, S., AND LEE, J. 2010. Data-driven biped control. *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2010)* 29, 4.

[7] LIU, L., YIN, K., VAN DE PANNE, M., AND GUO, B. 2012. Terrain runner: control, parameterization, composition, and planning for highly dynamic motions. *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH Asia 2012)* 31, 6.