

동역학 시뮬레이션을 이용한 인간형 관절체 애니메이션

박민제¹, 김수환², 정일권³
한국전자통신연구원^{1 2 3}
{mjpark¹, kimsoohwan², jik³}@etri.re.kr

Animating Human-like Figures Using Dynamics Simulation

Min Je Park¹, Soohwan Kim², Il-Kwon Jeong³
Electronics and Telecommunications Research Institute^{1 2 3}

요약

본 연구에서는 영화나 게임 등에서 사용되는 인간형 관절체의 움직임에 만들어내기 위하여 동역학 시뮬레이션을 이용하는 방법을 제안한다. 동역학을 이용하여 동작을 생성하는 방법은 실제 배우가 연기하기 힘들어서 동작 포착을 활용할 수 없는 경우, 키프레임 방식에 비해 보다 사실적이고 효과적으로 동작을 만들어 내는 장점이 있다. 하지만 시간이 많이 소요되고 결과 동작을 예측하거나 제어하기 힘들기 때문에 지금까지 활용도가 낮았다. 본 연구에서 제안하는 방법은 복잡한 최적화나 컨트롤러 모델링과정 없이 동작 포착 데이터를 이용한 비례 미분 제어를 통해서 포착된 동작과 유사한 패턴을 가지는 관절 제어를 만들어낸다. 특히, 내부 관절 제어기뿐만 아니라 최상위 관절에 작용하는 가장제어를 생성하여 포착된 동작의 관절 궤적을 보다 효과적으로 흉내 낼 수 있게 한다. 생성된 제어기의 매개변수를 조정함으로써 여러 가지 효과를 만들어 낼 수 있으며, 동시에 다양한 동작 패턴도 적용 가능하다. 마지막으로 제어기를 통해 시뮬레이션 되는 동작과 원래 동작 포착된 결과를 혼합하거나 보간함으로써 최종 동작을 생성한다.

Keyword : Computer Graphics, Character Animation, Dynamics Simulation

1. Introduction

동작 포착 기술의 발전으로 인해 기존의 키프레임 방식에서 벗어나서 보다 효율적으로 인간형 관절체에 대한 동작을 생성할 수 있게 되고 있다. 하지만, 동작 포착 기술을 사용하는 데 있어서도 제약이 존재한다. 먼저 동작 포착 장비에 의한 시간과 공간상의 제약이 있다. 그리고, 현실에서의 배우의 움직임을 그대로 복제하는 것이기 때문에 위험한 연기를 하기 힘들다. 지금까지 개발된 동작 재활용 기술들의 발전에 의해 포착된 동작을 상황에 맞게 변형하고는 있지만, 동작 재활용 기술들의 기본이 되는 것이 키프레임 기술과 유사하

기 때문에 생성된 동작의 질은 재활용 기술을 적용하여 동작을 변형하는 애니메이터의 능력에 크게 의존하고 있다. 뿐만 아니라, 생성된 동작의 사실성을 유지시키기 위해서는 원래 동작을 최소로 변형시켜야만 하기 때문에 그 적용범위가 제한적이다.

실제 사람의 움직임 역시 물리세계의 법칙을 따라야 한다는 기본 전제에 따라 인간형 관절체의 움직임을 물리 시뮬레이션을 이용해서 만들려는 다양한 시도들이 있었다. 물리 시뮬레이션, 특히, 강체의 움직임을 생성하는 동역학 시뮬레이션의 경우 현재 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특히, 영화나 게임에서 부서지는 건물, 가상의 자동차나

비행기의 움직임을 생성하고자 할 때 사용되고 있으며 그 결과 또한 대단히 사실적이다. 하지만 이러한 동역학 시뮬레이션을 이용해서 생명체의 움직임을 생성하는 것은 조금 다른 문제이다. 특히, 인간형 관절체의 움직임의 경우 단순히 동역학을 적용해서 넘어지지 않고 걸어가는 가상의 캐릭터를 만들고자 할 경우, 생성된 움직임이 마치 로봇과 같이 경직되고 부자연스럽다. 이러한 결과가 생성되는 이유는 다양한 원인이 있는데, 실제 사람이 강체들의 집합이 아니라는 것, 사람의 움직임은 오랜 기간의 학습에 의한 것이기 주변 상황만 바라보는 시뮬레이션의 결과가 아니라는 것 등이다. 이러한 제한 때문에 동역학 시뮬레이션만을 단독으로 사용하여 인간의 움직임을 만들어내기 보다는 동역학 시뮬레이션을 부수적인 기술로 사용하고자 하는 시도가 지속되고 있다. 동역학을 이용한 동작 필터링 기법이나 동작 변형기법들이 대표적인 것들이다.

본 연구에서 제안하는 기법 역시 동역학 시뮬레이션만을 이용해서 인간형 관절체의 사실적인 움직임을 생성하는 것이 아니라 동작 포착의 결과에 동역학 시뮬레이션을 부수적으로 사용하여 동작 포착의 활용범위를 보다 넓히고자 하는데 있다. 이를 위해서 포착된 동작과의 자연스러운 연결, 시뮬레이션과 동작 포착 결과의 혼합 방식을 제안한다. 제안된 방법은 적응 비례미분 제어기(adaptive proportional-derivative controller)를 사용하고 있으며, 기본 관절 이외에도 최상위 관절에 적용되는 가상관절을 이용하여 포착된 동작과의 연결 및 혼합을 용이하게 해준다.

2. Related Work

동작포착 및 재적용 기술에 대해서는 지금까지 많은 연구가 이루어져 왔다. 기존에는 단일 동작을 변형하거나 재적용 하는 것이 일반적이었으나 최근에서 다수의 동작을 이용하여 보다 동작 재적용의 범위를 넓혀가고 있다. 여기서는 본 연구와 직접적으로 관련된 연구 결과들에 대해서만 살펴 보겠다. Bruderlin 과 Williams[Bruderlin and Williams

1995]는 동작 변이맵(motion displacement mapping)을 이용하여 원래 동작의 디테일을 유지하면서 전체적인 형태만을 변형시키는 동작 변형기법을 제안하였으며, Witkin 과 Kass [Witkin and Kass 1995], Cohen[Cohen 1992], Gleicher[Gleicher 1998], 그리고 Lee 등[Lee et al. 1999]이 동작을 변형시키는 다양한 기법들을 제안하였다. 뿐만 아니라, Rose 등[Rose et al. 1996]이나 Park[Park et al. 2004]등은 여러 개의 포착된 동작을 동시에 적용하여 사용자가 원하는 동작을 생성하였다.

동역학을 적용하여 동작을 생성하거나 변형하는 기법은 Cohen[Cohen 1992]이 제안한 시공간제약조건을 이용한 동작생성방식을 시작으로, Popovic 과 Witkin[Popovic and Wikin 1999]이 복잡한 구조의 인간형 관절체를 동역학적인 입장에서 보다 단순하게 구성하여 제어하는 방식을 제안하였고, Tak 등[Tak et al. 2000]은 기존의 동작을 사용자가 변형하였을 때 변형된 동작이 물리적인 법칙, 특히, ZMP(zero moment point)를 이용한 밸런싱을 유지시키도록 후처리하는 기법을 제안하였다. 이외에도 Liu 와 Popovic[Liu and Popovic 2001]은 사용자가 정의한 동역학적 제약조건 만족하는 새로운 동작을 기존의 동작으로부터 만들어내는 기법을 제안하였으며, Fang 과 Pollard[Fang and Pollard 2003]나 Redon 등[Redon et al. 2005]은 여기에 사용되는 동역학 시뮬레이션에 필수적인 계산들을 가속화시키는 기법을 제안하였다.

앞에서 기술한 방식들이 기본적으로 최적화를 이용한 접근방법들임에 비해 최근에는 보다 간단하고 안정된 방식을 적용하여 동작을 생성하고자 하는 기법들이 제안되고 있다. 이 영역에 속하는 동작 생성 기법들은 기본적으로 비례미분제어기를 사용하고 있다. Kokkevis 등[Kokkevis et al. 1996]은 사용자의 요구조건, 특히, 사용자가 지정하는 공간상의 궤적을 만족하는 관절체의 움직임을 생성하는 기법을 제안하였다. Hodgins 등[Hodgins et al. 1995]은 이러한 개념을 바탕으로 다양한 운동선수의 움직임을 수식적으로 만들어내는 방식을 제안하였다. 하지만 위에서 설명한 기법들은 기본적으로 기존의 키프레임 애니메이션의 결과나 수식적

으로 잘 구상된 움직임에 기본을 두고 있기 때문에 생성된 동작의 사실성 입장에서 보면 그 결과가 만족스럽지 못하였다. 최근에는 Zordan 등 [Zordan et al. 2005]이 비례미분제어기를 이용해 포착된 동작을 쉽고 빠르게 변형시키는 기법을 제안하여 물리 법칙에 강하게 지배되는 동작, 예를 들면, 충격을 받았을 때의 반응 동작 등을 생성하는데 사용하였다.

본 연구는 Kokkevis 와 Zordan 의 연구와 유사한 방식을 취하고 있다. 각각의 장점을 취해서 비례미분제어기를 이용한 동작 생성의 활용범위를 넓히고자 한다. Zordan 등의 방식의 경우 동역학 시뮬레이션에 의해 생성되는 동작이 매우 적은 부분(100ms 단위)이고 대부분의 동작은 동작 포착의 결과를 따르게 되는 단점과, 원하는 결과를 얻기 위한 비례미분제어기를 생성하기 위해서는 제어기 매개변수를 미리 잘 조정해야 하는 단점이 있다. 이러한 단점들을 Kokkevis 등의 적응 비례미분제어기를 활용하고 또한 동작 레벨에서의 혼합이 아니라 제어기 레벨에서의 혼합 방식 및 최상위 관절에 적용하는 가상 관절 제어기를 이용해서 동작 포착 결과와의 연결을 용이하게 만든다.

3. System Description

그림 1 은 제안된 시스템의 구성도이다. 크게 포착된 동작을 이용하여 가상 캐릭터의 움직임을 제어하는 부분, 충돌처리 및 시뮬레이션엔진부분, 그리고 사용자의 입력에 의해 제어기의 매개변수를 조정하는 부분으로 구성되어 있다. 포착된 동작을 이용하여 생성되는 제어기는 다시 내부관절 제어를 위한 관절제어기(joint controller)와 최상위관절에 가상의 힘을 주어 기존의 동작과 자연스러운 연결을 가능하게 하는 가상관절제어기(virtual actuator)로 구성된다. 제어기 매개변수 조정부는 제어기의 이득을 직접조정하거나 제어기의 반응시간을 조정함으로써 발생하는 힘이나 토크의 양을 조정한다. 본 연구에서 사용된 시뮬레이션 엔진은 Open Dynamics Engine(ODE)이다[ODE]. 비례미분제어기를 사용하는 방법에서는 제어기의 매개변수를

조정해서 사용자가 지정하는 자세로 근접하게 갈 수는 있으나 정확하게 일치시킬 수는 없다. 따라서 마지막 단계에서 동작데이터와의 부드러운 연결을 위해서 시뮬레이션의 결과와 연결된 동작의 시작자세 사이를 부드럽게 이어주어야 한다. 물론 이 과정에서 시뮬레이션에 의한 사실성이 다소 저하될 수 있으나, 혼합이나 보간이 일어나는 구간이 적기 때문에 크게 영향을 미치지 않는다.

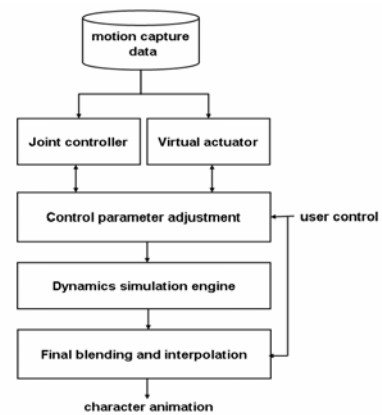


그림 1: 시스템 구성도

4. Dynamic Control

4-1. Joint Controller

본 연구에서 관절의 제어를 위해 사용된 관절제어기는 가장 일반적으로 사용되는 비례미분제어기이다. 원하는 궤적을 추적하기 위한 제어기의 식은 다음과 같다.

$$\tau = k_p(\theta_d - \theta) + k_v(\dot{\theta}_d - \dot{\theta})$$

여기서 θ_d 와 $\dot{\theta}_d$ 는 각각 포착된 동작으로부터 얻어낸 현재 관절의 각도와 각속도이며, k_p 와 k_v 는 제어기의 매개변수들로서 각각 스프링과 감쇠의 정도를 결정하는 상수이다. 최종적으로 발생하는 토크는 τ 이다. k_p 와 k_v 를 적절하게 조정함으로써 임계 감쇠(critically damped) 상태로 만들어서 최상의 궤적추적이 되게 할 수 있다. 실제 구현에 있어서 ODE 에 있는 추가적인 기능을 이용해서 직접적으로 속도를 조정하는 방식을 취하였다.

4-2. Virtual Actuator

4-1 절에서 설명한 관절 제어기는 인간형 관절체의 각 관절의 로컬 좌표 입장에서 기술된 것이다. 간단히 생각해보면 원래 관절의 회전을 정확하게 재연하는 힘을 각 관절에서 발생시킬 수 있다면 동역학을 이용한 가상의 배우 역시 포착된 동작과 동일한 궤적을 만들어내는 동작을 생성할 수 있을 것이라 생각될 수 있지만 실제로는 그렇지 못하다. 왜냐하면 비록 각 관절의 각도는 원래대로 유지하려 하나 중력과 지면과의 마찰에 의한 반발력의 영향이 실제 동작 포착 시 사용된 배우의 정확한 물리적인 정보(실제 사람의 정확한 물리특성)의 부재 등의 이유로 다르기 때문이다. 따라서 글로벌 좌표에서 본 가상의 배우는 다른 동작을 취하게 된다. 이를 보완하기 위해서는 중력의 영향을 상쇄시켜주기 위한 추가적인 힘을 주어서 배우의 궤적을 추적할 필요가 있다. 물론 이러한 가상의 힘을 작용시키는 것이 실제 물리세계의 특성을 무너뜨리게 되나 애니메이션 목적에서 바라본다면 크게 영향을 미치지 않다고 판단되며, 이를 활용하면 쉽게 포착된 동작으로의 연결도 만들 수 있다. 최상위 관절에 작용되는 가상의 힘은 다음과 같이 생성된다(토크는 관절 제어기의 식과 동일하다).

$$f = k_p(p_d - p) + k_v(\dot{p}_d - \dot{p})$$

관절 제어기와 마찬가지로 k_p 와 k_v 를 적절하게 조정함으로써 임계 감쇠 상태로 만들 수 있다.

4-3. MRAC (Model Reference Adaptive Control)

궤적추적에 있어서 비례미분제어기를 사용할 때 발생하는 가장 큰 단점 중에 하나는 임계 감쇠가 일어나게 하는 상수의 선택이 어렵다는 것이다. 특히, 사람의 동작 추적과 같이 궤적의 시공간적 특성이 지속적으로 변화하는 경우는 한번 설정된 매개변수가 다른 동작에서도 성공적으로 적용될 수 있다는 보장이 없다. 따라서, 본 연구에서는 적응 비례미분제어기를 이용해 이러한 점을 극복하고자 한다. 적응 비례미분제어기는 사용자가 원하는 반응특성을 시스템이 자동으로 제어기의 매개

변수를 지속적으로 변화시켜서 만족시키도록 한다. 이 제어기를 사용할 경우 제어를 위한 매개변수가 k_p 와 k_v 에서 시스템의 안정화 시간인 t_s 로 줄어 들게 된다. 본 연구에서 사용된 적응 비례미분제어기에 대한 자세한 사항은 Kokkevis 를 참고하기 바란다[Kokkevis et al. 1996].

4-4 Control parameter adjustment

생성된 제어기를 적용하여 원래 포착된 동작으로부터 동역학 시뮬레이션을 이용해서 새로운 동작을 만들고자 할 때 사용자가 관여할 수 있는 것은 일반적으로 주변 환경의 설정이나 외력의 설정 그리고 제어기 매개변수의 조정이다. 시스템 이득을 늘리거나 안정화 시간을 줄일수록 보다 강력한 힘이 발생되어 보다 원래 동작을 지키려고 하는 경향을 띠게 되며, 이득을 줄이면 줄일수록 보다 외력에 지배되는 동작을 하게 된다. 그리고 다수의 포착된 동작으로부터 생성된 제어기를 적용하게 되면 각각의 동작특성이 사용자가 원하는 만큼 혼합된 결과를 생성할 수도 있고, 신체 부위에 따라 다른 동작으로부터 생성된 제어기를 적용해서 새로운 동작을 만들어 낼 수도 있다.

일반적으로 포착된 동작에서 동역학 시뮬레이션으로의 연결은 매우 쉽다. 하지만 그 반대의 경우는 대단히 어려운데, 이는 동역학 시뮬레이션에서 사용자는 초기조건이나 경계조건만을 조정할 수 있지 시뮬레이션 중간에 개입할 수 없기 때문이다. 기본적으로 이러한 연결을 만들기 위해서는 시뮬레이션 최종결과를 원하는 형태로 제어할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 시뮬레이션이 종료되기 전의 일정 시간 동안 관절 제어기와 가상 제어기에 충분한 이득을 주어서 원하는 자세를 만들게 하고 이를 다음에 연결될 동작의 첫 번째 자세와 혼합하거나 보간하여 이러한 문제를 해결하였다 [Zordan et al. 2005].

5. Experimental Results

사용된 인간형 관절체는 23 개의 관절을 가지고 각각의 관절에서 3 개의 DOF 과 최상위 관절에서

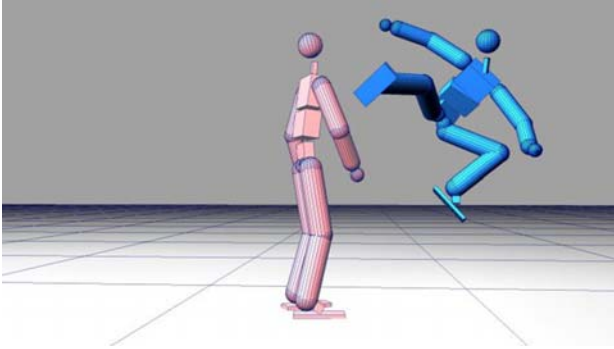


그림 2: 가상 캐릭터와 동역학 시뮬레이션 결과

3 개의 추가적인 DOF 를 가진다. 동역학 시뮬레이션과 충돌처리를 위해 사용된 것은 Open Dynamics Engine (ODE)이다[ODE]. 각각의 관절에는 연결을 위한 ‘Ball-and-Socket’ 관절과 비례미분 제어기를 이용하여 힘을 발생시키기 위한 ‘Angular Motor’ 관절을 설정하였다. 그리고 인체측량학적 데이터를 이용해서 관절의 회전범위와 최대 발생시킬 수 있는 힘의 크기를 제한하였다. 사용된 동작은 100 FPS 으로 샘플링 된 것이며 이는 시뮬레이션의 시간간격인 0.01 초와 일치한다. 이외의 인간형 관절체의 기하학적 특성이나 물리적인 특성은 가장 적절한 형태의 결과를 발생시키기 위해 사용자에게 의해 조정되었으나 일반적으로 알려진 인체측량학적 데이터를 기반으로 만들어졌다.

그림 2 는 생성된 가상 캐릭터와 이를 이용해 만들어진 동역학 시뮬레이션의 결과를 보여준다.

그림 3 은 장애물을 넘는 동작을 다양한 환경에서 다른 동작 패턴을 적용시켜서 생성한 결과이다. 가장 위의 것은 원본 동작을 보여주는 것으로 동역학 시뮬레이션을 하지 않을 경우 장애물을 넘지 못하고 통과해버리게 된다. 중간은 지면에 단단히 고정된 장애물의 경우이며 제어기를 적용하지 않았을 때의 결과를 보여준다. 관절체는 벽에 부딪혀 힘없이 넘어지는 결과이다. 가장 아래의 것은 넘어질 수 있는 장애물에 원래 동작을 따르도록 하는 제어기를 설정하였을 경우이다. 장애물이 넘어짐에 따라 생성된 힘에 따라 이를 딛고 뒤로 넘어지는 동작을 취하게 된다.

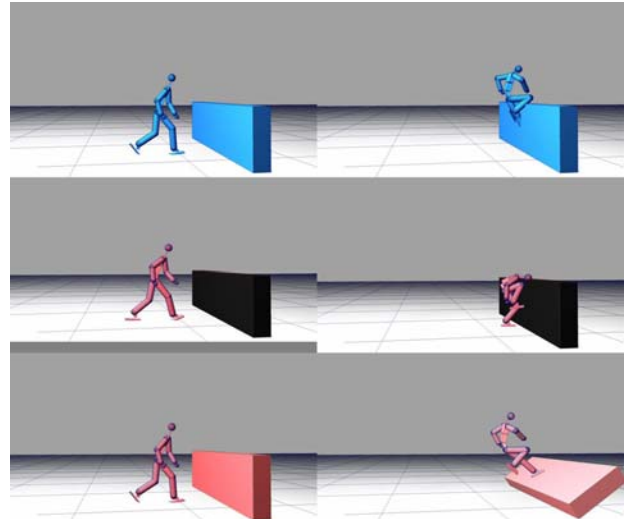


그림 3: 다양한 환경에서 동작이 변형된 결과

그림 4 는 두 개의 관절체간의 상호작용을 보여주는 것이다. 아래와 위의 그림의 차이는 발과 얼굴이 닿는 순간의 충격량을 조절한 것이다. 위의 결과가 상대적으로 약한 충격량이고 아래의 결과는 강한 충격량이 가해졌을 경우이다.

이외에도 자동차와의 충돌, 난간에서 떨어지는 장면, 다수의 강체에 충돌하는 장면 등 동작포착만으로 얻을 수 없는 위험한 동작들을 본 연구에서 제안한 방법으로 쉽게 획득할 수 있다.

6. Conclusion and Future Work

본 연구에서는 동역학 시뮬레이션을 이용하여 기존의 동작 데이터를 재사용하는 방식을 제안하였다. 제안된 방법은 기존의 방식에 비해서 직관적이며 비교적 길이가 긴 동작에 대해서도 적용 가능하다는 장점이 있다. 특히, 적응 제어기와 가상 관절제어기의 도입으로 원하는 동작을 생성하기 위해서 사용자가 관여해야 되는 시간과 노력을 줄였으며 동작 데이터에서 동역학 시뮬레이션으로의 자연스러운 전환뿐만 아니라 동역학 시뮬레이션에서 다시 동작 데이터로의 전환 역시 가능하도록 하였다.

그러나 본 연구는 동작 포착 데이터를 기본으로 하기 때문에 원래 데이터가 가지는 행동패턴에서 벗어나는 동작을 생성하지 못한다는 한계를 가지

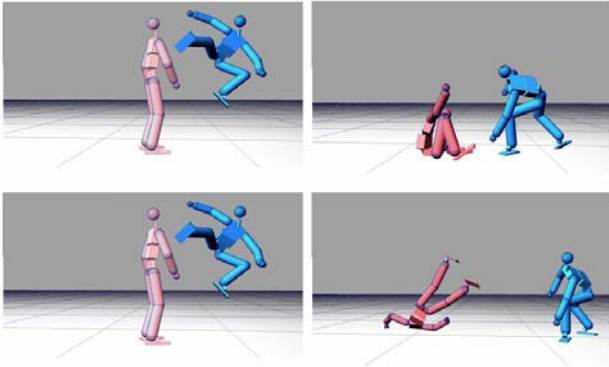


그림 4: 두 개의 관절체 간의 상호작용

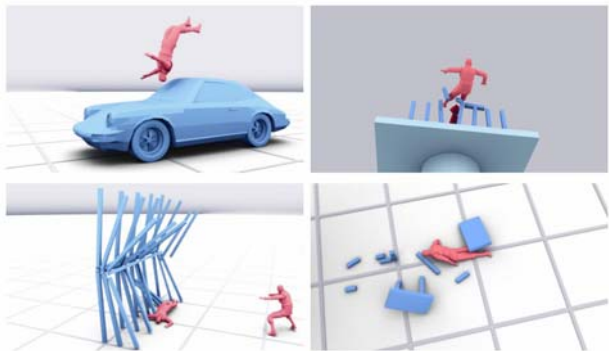


그림 5: 다양한 동역학 시뮬레이션 결과

고 있다. 또한 본 연구가 제시한 적응 제어기와 가상 관절 제어기로는 수동적인 입장에서 원래 데이터를 흉내 낼 수는 있지만 능동적으로 가상 캐릭터가 걸거나 뛰게 하기는 힘들다. 이를 위해서는 학습을 이용한 방법이나 로봇제어 등에서 쓰이는 지금과는 다른 형태의 설계된 제어기가 필요하다.

REFERENCES

A. Bruderlin and L. Williams, Motion signal processing, *Proceedings of SIGGRAPH1995*, 1995.

A. C. Fang and N. C. Pollard, Efficient synthesis of physically valid human motion. *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH2003)*, vol22(3), 2003.

A. Witkin and M. Kass, Spacetime constraints, *Proceedings of SIGGRAPH1988*, 1988.

A. Witkin and Z. Popovic, Motion warping, *Proceedings of SIGGRAPH1995*, 1995.

C. K. Liu, A. Hertzmann, and Z. Popovic, Learning physics-based motion style with nonlinear inverse

optimization, *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH2005)*, vol24(3), 2005.

C. K. Liu and Z. Popovic, Synthesis of complex dynamic character motion from simple annotations, *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH2002)*, vol21(3), 2002.

C. Rose, B. Guenter, B. Bodenheimer, and M. F. Cohen, Efficient generation of motion transitions using spacetime constraints, *Proceedings of SIGGRAPH1996*, 1996.

E. Kokkevis, D. Metaxas, and N. Badler, User-controlled physics-based animation for articulated figures, *Proceedings of Computer Animation Conference*, 1996.

J. K. Hodgins, W. L. Wooten, D. C. Brogan, and J. F. O'Brien, Animating human athletics, *Proceedings of SIGGRAPH1995*, 1995.

J. Lee and S. Y. Shin, A hierarchical approach to interactive motion editing for human-like figures. *Proceedings of SIGGRAPH1999*, 1999.

M. F. Cohen, Interactive spacetime control for animation, *Proceedings of SIGGRAPH1992*, 1992.

M. Gleicher, Retargeting motion to new characters, *Proceedings of SIGGRAPH1998*, 1998.

Open Dynamics Engine(ODE), <http://ode.org>.

S. I. Park, H. J. Shin, and S. Y. Shin, On-line motion blending for real-time locomotion generation, *Proceedings of Computer Animation and Social Agents*, 2004.

S. Tak, O. Song, and H. Ko, Motion balancing filtering, *Computer Graphics Forum*, vol9(3), 2000.

V. B. Zordan, A. Majkowska, B. Chui, and M. Fast, Dynamic response for motion capture animation, *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH2005)*, vol24(3), 2005.

Z. Popovic and A. Witkin, Physically based motion transformation, *Proceedings of SIGGRAPH1999*, 1999.