

자연스러운 춤 동작 생성을 위한 분절화와 전이기법

(Segmentation and Transition Techniques for Plausible
Dance Motion Generation)

강경규[†] 정유진[†] 한광파[†] 김동호^{**}

(Kyung-Kyu Kang) (Yujean Choung) (Kwangpa Han) (Dongho Kim)

요약 본 연구에서는 긴 춤 시퀀스를 춤 세그먼트들로 분절하는 방법과 이 춤 세그먼트들의 자연스러운 연결을 위한 전이 방법을 제안한다. 제안하는 분절화(segmentation) 방법은 라반 운동 분석(LMA)을 기반으로 한다. 춤 세그먼트 안에서 춤추는 캐릭터 외형의 변화가 일정한 패턴을 이루며 발생하는 것에 착안하여, 패턴이 변화되는 구간에서 춤 세그먼트의 경계를 찾는다. 이 방법은 춤 시퀀스에서 얻어낸 LMA의 외형 곡선에서 키 자세(key pose)를 찾고, 나타나는 패턴을 분석하여 수행된다. 제안하는 전이(transition) 방법은 춤과 같이 유사도가 낮은 모션을 대상으로 하고 있다. 이 방법은 선형 보간 방법을 기본으로 이용하고, 발에 발생하는 제약사항을 만족하도록 중간 자세를 생성하고, 전이 구간 중간의 키 프레임으로 사용하여 전이를 완성한다. 우리가 제안하는 방법들은 기존의 춤 모션 데이터를 사용한 새로운 춤 시퀀스 합성에 활용이 가능하다.

키워드 : 캐릭터 애니메이션, 춤 동작, 동작 분석, 동작 분절화, 동작 합성

Abstract This paper presents novel segmentation and transition techniques for dancing motion synthesis. The segmentation method for dancing motions is based on Laban Movement Analysis (LMA). We assume a dance sequence as a set of small dancing motions. To segment a dancing motion is a subjective, psychological, and complex problem, so we extract the shape factor of LMA from a dance motion and observe shape's changes to find the boundaries of dance segments. We also introduce a transition method that meets constraints on the feet. This method that is based on a linear interpolation modifies the intermediate posture motion after analyzing footprint positions. The posture could be a key-frame between source motion and target motion on the transition. With the proposed techniques, it would be easy for multimedia applications to generate plausible dance motions.

Key words : Character animation, Dance motion, Motion analysis, Motion segmentation, Motion synthesis

· 본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 이루어졌음

† 학생회원 : 숭실대학교 미디어학과

rcrookie@ssu.ac.kr

yjchoung@ssu.ac.kr

kwangpa88@ssu.ac.kr

** 종신회원 : 숭실대학교 미디어학부 교수

dkim@ssu.ac.kr

논문접수 : 2007년 12월 14일

심사완료 : 2008년 5월 3일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 시스템 및 이론 제35권 제8호(2008.8)

1. 서론

많은 연구자들이 캐릭터 애니메이션 제작 기술에 대한 연구를 진행하고 있다. 이 기술은 게임, 영화, 가상현실 등 다양한 그래픽스 콘텐츠 분야에서 이용되고 있다. 또한 최근에는 춤 동작에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 춤에 대한 연구 분야는 춤 동작을 분석하여 춤추는 사람의 감정 요소를 추출하는 연구로부터 배경 음악에 어울리는 춤 동작을 자동으로 생성하는 연구까지 다양한 분야가 존재한다[1-7]. 특히 게임 콘텐츠 분야에서 춤과 관련된 콘텐츠가 사용자들에게 인기를 얻으면서 춤 관련된 연구의 관심도가 높아지고 있다.

본 연구에서는 춤 모션 데이터를 재활용하여 새로운

춤 동작을 생성하기 위한 방법을 제안한다. 프로 댄서로부터 특정 대중 가요의 춤 모션 데이터를 획득했다면, 대부분의 춤 모션 데이터는 대략 3분 이상의 긴 춤 시퀀스일 것이다. 이렇게 긴 춤 시퀀스에서 분절화 과정을 통하면 재활용 가능한 춤 세그먼트들을 얻을 수 있다. 여기서 춤 세그먼트는 춤으로서 의미 있는 짧은 춤 동작이다. 그리고 수동 혹은 자동으로 춤 세그먼트들이 잘 어울리도록 다시 조합한 후, 이들을 부드럽게 연결하면 새로운 춤 시퀀스를 생성할 수 있다. 우리는 이 과정에서 필요한 기술들 중에서 춤 시퀀스를 춤 세그먼트로 나누는 분절화(segmentation) 방법과 춤 동작들을 자연스럽게 연결하기 위한 전이(transition) 방법을 제안한다.

춤 동작에 대한 분절화는 주관적이며 어려운 작업이다. 우리는 라반 움직임 분석법(Laban Movement Analysis, LMA)에서 기본 아이디어를 얻었다[1,5]. LMA와 관련된 연구인 Chi의 연구[5]에서는 춤으로부터 외형(shape) 요소를 추출하여 춤을 분석하는데 이용했다. 제안하는 분절화 방법에서도 춤 동작의 외형 요소를 모션 데이터로부터 측정하여 분절화의 기준으로 이용한다. 여기서 외형 요소는 캐릭터의 3차원 볼록 포체(3D convex hull)가 이용된다. 춤의 키 자세(key pose)가 춤 세그먼트 안에서 일정한 패턴을 이루며 발생하는 것에 착안하여, 외형의 시간 함수인 외형 곡선(shape curve)에서 키 자세를 찾고 나타나는 패턴의 변화가 심한 곳을 세그먼트의 경계로 한다.

전이는 동작과 동작을 자연스럽게 연결하기 위한 방법이다. 기존의 연구들은 위치, 자세, 방향이 유사한 프레임들을 연결 대상으로 선택하고 있고, 그 대표적인 연구가 모션 그래프(motion graph)를 이용하는 것이다 [7-11]. 그러나 우리가 원하는 것은 어떠한 춤 동작이라도 타겟 모션(target motion)으로 선택 가능해야 한다는 것이다. 이런 경우의 전이를 위해서는 유사도(similarity)가 낮은 프레임들을 위한 새로운 방법이 필요하다. 제안하는 전이 방법은 기본적으로 선형 보간(linear interpolation) 방법을 이용한다. 전이 구간 동안에 발생하는 발의 제약사항(constraints)을 만족하도록 중간 자세를 생성하여 전이 과정에서 키 프레임으로 사용한다. 이 방법은 전이 구간 중 발에서 발생하는 오류를 방지할 수 있어 자연스러운 전이를 만들 수 있다.

2. 관련 연구

2.1 춤 동작 분석 관련 연구

Wang의 연구[12]와 Kahol의 연구[13]에서는 은닉 마코프 모델(Hidden Markov Model)을 사용하여 춤 동작의 분석을 진행했다. 춤은 특수한 인간 동작의 하나이다. 춤에는 정보, 감정 등 전달하려는 다양한 정보가 내

포되어 있다. 실험결과 춤에서 추출한 춤에 내포된 감정(분노, 두려움, 슬픔, 즐거움)과 관객이 춤을 보고 느낀 감정이 비슷했다[4]. 감정과 같은 정보들을 춤으로부터 추출하기 위해서 Hachimura의 연구 [1]에서는 LMA에 기초하여 작용력(effort)과 외형(shape)의 흐름의 요소를 수식화함으로써 춤을 분석할 수 있었다. 이 연구에서는 외형의 흐름을 분석하는 방법으로 3차원 볼록 포체를 사용하였는데, 본 연구에서도 외형 요소로써 이 포체를 사용한다. Assa의 연구[14]에서는 모션 시퀀스에서 키 자세를 찾아내는 방법을 제안했는데, 이 방법은 우리가 제안하는 분절화 방법에서 키 자세를 찾는 방법과 유사하다.

2.2 춤 동작의 분절화 관련 연구

Zaho의 연구[3]에서는 모션 데이터로부터 인체 부위들의 낮은 차원의 데이터(속도, 가속도, 에너지)들을 계산하고 그것들의 변화들에 근거하여 동작을 분절한다. 이 방법은 매 프레임마다 인체의 각 부분들의 속도를 구하고 그 속도 그래프의 지역 최소값(local minima)을 선택하여 동작 세그먼트의 경계로 정한다. Weingaertner의 연구[15]에서는 상태공간모델(State Space Model)을 사용하여 동작 시퀀스를 동작 세그먼트로 분절하였다. 기계 학습 방법을 이용하여 이미 분절화된 다양한 동작 세그먼트의 예제로부터 학습한 다음, 두 프레임 사이가 세그먼트의 경계가 될 확률을 구하고, 경계로 적당한지 여부를 결정하는 것이다. Kahol의 연구[2]에서는 계층적 운동 분절(Hierarchical Activity Segmentation)이라는 알고리즘을 소개하였다. 여기서는 신체를 동적 계층 구조(Dynamic Hierarchical Layered Structure)로 나눈 후, 각 계층마다 낮은 차원의 데이터들의 합의 최소치를 분절의 기준으로 한다. Barbic의 연구[16]에서는 주성분분석(Principle Component Analysis)방법을 이용해서 동작 시퀀스를 걷기, 뛰기 등의 동작 세그먼트로 분절화했다. 앞서 설명한 방법들은 모두 속도, 가속도, 에너지 등 낮은 차원의 데이터들에 의존하므로, 간단한 동작들을 대상할 때 좋은 결과를 얻을 수 있다. 하지만 춤 동작은 사람들의 주관에 의해 창작되어 복잡한 동작의 흐름이 무작위로 이어지기 때문에 낮은 차원의 데이터만 가지고는 춤을 분절하기 어렵다. 그래서 우리는 춤 시퀀스로부터 LMA에서의 외형 요소의 흐름을 계산하여 세그먼트의 경계를 찾는다.

2.3 인간 모션 블렌딩 및 전이 관련 연구

새로운 동작 데이터를 얻기 위해서는 모션 캡처 시스템을 사용할 수 있으나, 비용이 많이 든다. 그래서 기존의 모션 데이터를 재사용하여 다양한 가상환경에 이용 가능한 새로운 모션으로 합성하는 연구가 많이 진행되고 있다. 가장 활발한 연구 중 하나는 모션 그래프

(motion graph)를 이용하는 것이다[7-11]. 모션 그래프에는 각 모션 클립을 대표하는 노드(node)들과 그들 사이의 전이를 대표하는 에지(edge)들로 구성된다. 에지는 노드의 프레임과 다른 노드의 프레임 중에서 유사도가 높은 프레임들을 연결한 것이다. 그래서 모션 그래프를 적당한 경로로 탐색하게 되면 자연스러운 새로운 모션을 합성할 수 있다.

소스 모션의 어느 프레임으로부터 타겟 모션의 어느 프레임으로 전이를 할 것인가를 결정하는 것도 중요 문제이다. Kovar의 연구[8]와 Park의 연구[17]에서는 블렌딩 하려는 두 프레임 중 한 프레임을 2차원 변환(rigid 2D transformation)을 거치고 거리 제곱의 가중치 합(weighted sum of squared distance)을 이용하여 두 프레임 사이의 유사도를 구한다. 그리고 그 유사도가 기준치에 접근하면 두 프레임을 블렌딩하여 전이를 이루었다. Ikemoto의 연구[18]에서는 미리 가능한 전이들을 모두 생성하고 실행 단계에서 가장 자연스러운 전이를 자동으로 선택한다. Kovar의 연구[19]에서는 프레임들 사이에 최소 거리 합을 가진 두 모션 사이의 시간변형(timewarp) 곡선을 만들고 다시 Park의 연구[17]에서 소개된 방법에 의해 가중치에 의한 블렌딩을 한다. 자연스럽게 연결해주는 중간 동작을 시공간 방법(spacetime method)을 이용하여 만들고 전이구간에 삽입하는 방법도 있다[20]. Safonova의 연구[21]에서는 두 모션 사이를 선형 보간을 수행할 때 단지 약간의 캐릭터의 위치를 수정하는 것만으로도 결과 모션이 물리적 법칙에 맞게 할 수 있음을 증명했다. 우리가 제안하는 전이 방법 역시 선형 보간을 전이에 이용하면서 제약사항을 만족하기 위한 중간 자세를 생성하고 캐릭터 위치 조정을 수행한다.

3. 분절화 방법

춤은 안무가에 의해서 배경음악과 어울리도록 만들어진다. 안무가는 무수히 많은 짧은 춤 동작을 기억하고 있으면서 이것들이 서로 잘 어울리도록 나열한 다음 적당한 반복을 통해서 긴 춤을 만든다. 우리는 이렇게 만들어진 최종 춤을 춤 시퀀스라고 하고, 이것을 구성하는 짧은 춤 동작들을 춤 세그먼트(dance segments, 춤 분절)라고 한다. 춤에 있어서 분절화 과정은 춤 시퀀스를 안무가의 관점에서 춤 세그먼트들로 나누는 작업이다. 우리는 이러한 관점을 바탕으로 분절화를 위한 가정을 다음과 같이 할 수 있다. 첫째, 춤 세그먼트는 키 자세들의 연결로 구성되어 있다. 여기서 키 자세는 안무가가 보여주려는 주요한 자세이다. 둘째, 하나의 세그먼트를 구성하는 키 자세들이 나타나는 시간 간격은 규칙적이다. 셋째, 키 자세와 이웃한 키 자세 사이에서 세그먼트

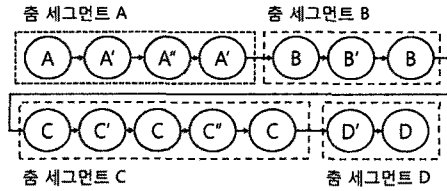


그림 1 춤 시퀀스 구성의 예. 키 자세(원)들을 배치하여 춤 세그먼트(점선박스)를 만들고, 이 세그먼트들이 모여 춤 시퀀스가 된다.

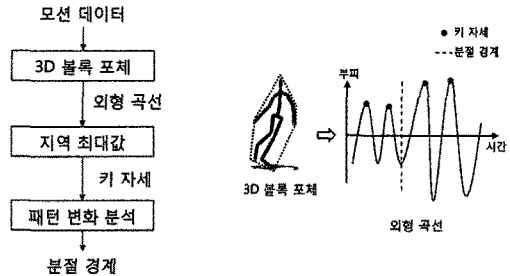


그림 2 분절화 절차. 우리는 모션 데이터로부터 3차원 볼록 포체를 계산하고 이 포체의 부피의 변화 곡선에서 키 자세를 찾고 이 자세가 나타나는 패턴의 변화가 발생하는 곳을 세그먼트의 경계로 선택한다.

의 경계가 존재한다. 이러한 가정을 도식화하면 그림 1과 같다.

모션 시퀀스에서 키 자세(key pose)를 찾기 위해 Assa의 연구[14]에서는 모션 곡선(motion curve)에서 극한점(extreme point)을 찾는 과정을 수행했다. 그러나 우리는 모션 곡선을 이용하는 대신 캐릭터의 3차원 볼록 포체(3D convex hull) 부피가 시간에 따라 변화하는 외형 곡선(shape curve) 그래프를 이용하여 외형 곡선의 지역 최대값에서 키 자세를 찾고, 키 자세가 발생하는 패턴의 변화가 발생하는 곳을 찾아 세그먼트의 경계로 한다(그림 2).

LMA 관련 연구에서 춤추는 캐릭터의 외형(shape)의 흐름을 찾기 위해서 캐릭터의 경계볼륨(bounding volume)의 부피변화에 주목하고 있다[1]. 특히 축 기반 경계볼륨(oriented bounding box)보다는 3차원 볼록 포체를 이용하는 방법이 효과적이라고 소개하고 있다. 축 기반 경계볼륨은 계산이 간단하고, 몸이 수평, 수직, 깊이 중 어느 방향으로 움직이는지 알아내는 것에 효과적이지만, 관절의 작은 움직임 변화를 잡아내지 못한다. 그러나 3차원 볼록 포체는 축 기반 경계볼륨보다 계산은 복잡하지만, 자세의 변화에 대하여 민감하다는 장점을 갖고 있다. 그래서 우리는 분절화 과정에서 캐릭터의 3차원 볼

록 포체를 만들어 외형의 흐름을 분석하는데 이용한다.

3.1 키 자세 추출

모션 데이터는 시간에 따른 캐릭터의 자세를 나타내는 시간 함수로 정의하게 된다. 시간 t 에서 자세를 다음과 같이 표현할 수 있다. $m(t)=(p_0(t), q_0(t), \dots, q_j(t), \dots, q_J(t))$, 여기서 $p_0(t)$ 는 캐릭터 루트 관절의 위치를 나타내고, $q_j(t)$ 는 관절의 회전 값을 나타내며, J 는 관절의 개수이다. 우리는 $m(t)$ 를 외형 변화의 관찰이 쉬운, 시간에 따른 관절들의 위치가 저장된 형태인 $m_p(t)$ 로 변환한다. $m_p(t)=(p_0(t), \dots, p_j(t), \dots, p_J(t))$, 여기서 $p_j(t)$ 는 시간 t 에서 j 번째 관절의 월드 좌표상의 3차원 위치를 나타낸다. $m_p(t)$ 의 차원은 $R^{(J+1) \times 3}$ 로 외형의 변화를 관찰하기에는 여전히 높은 차원의 데이터이다. $p_j(t)$ 는 3차원 공간상의 점이므로, $m_p(t)$ 는 시간 t 에서 $J+1$ 개의 점들이 모인 점 구름 형상이다. 이 구름의 외형은 가장 외곽 점들에 의해서 결정할 수 있다. 이러한 외곽 점들은 3차원 볼록 포체를 구하는 과정에서 찾을 수 있다. 우리는 $m_p(t)$ 로부터 3차원 볼록 포체를 구하고 이 포체의 부피 $v(t)$ 를 구한다. 최종으로 우리는 고차원의 모션 데이터를 저차원으로 낮추는 스켈라 함수 $v(t)$ 을 분절화에 이용한다.

$$v(t) = \text{volume}(\text{convexhull}(m_p(t))), \quad (1)$$

여기서 convexhull함수는 점 구름에서 3차원 볼록 포체를 구한다. 볼록 포체를 찾는 알고리즘은 증가형 구성 방법(incremental constructions)을 채용했다[22]. 우리는 3차원 볼록 포체를 계산하면서 부피만이 중요한 정보이기 때문에, 증가형 구성 방법에서 사면체의 모음으로 포체를 구성하게 되는데, 계산 중에 만들어진 사면체들의 부피의 합이 volume 함수를 통해 반환 된다.

외형 곡선에서 키 자세를 찾는 방법은 Assa의 연구 [14]에서 소개된 방법과 유사하다. $v(t)$ 와 $v(t)$ 의 평균 곡선 $g(t)$ 의 거리의 차로 $d(t)$ 곡선을 만들고 이 곡선에서 지역최대값을 찾으면 이것이 키 자세가 된다. $d(t)$ 와 $g(t)$ 를 계산하는 것은 다음과 같다.

$$d(t) = v(t) - g(t), \quad (2)$$

$$g(t) = \frac{1}{2k} \int_{t-k}^{t+k} v(t) dt, \quad (3)$$

여기서 k 는 시간 범위이고 구현에서 0.5초를 사용했다. 키 자세를 찾기 위해서 $v(t)$ 를 사용하지 않고 대신 $d(t)$ 를 사용하는 이유는 춤 동작의 고주파 성분으로써 변화가 심한 춤 동작에서 안무가가 의도한 동작의 분석이 용이하기 때문이다. 우리는 함수 $d(t)$ 를 외형 곡선이라 한다.

3.2 세그먼트 경계 찾기

우리는 외형 곡선에서 키 자세가 발생하는 패턴을 분

석하여 세그먼트의 경계를 찾는다. 외형 곡선의 지역 최대값은 안무가가 보여주려는 키 자세라고 가정하면, 이웃한 두 키 자세가 발생한 시간 사이에 위치한 지역 최소값은 전이 과정 중의 한 자세가 된다. 만약 이 두 키 자세가 서로 다른 세그먼트에 속한다면 이 지역 최소값이 세그먼트의 경계가 된다. 키 자세가 출현하는 패턴은 동일 춤 세그먼트 안에서 일정하게 나타나므로 해당 패턴이 달라지는 지역 최소값을 찾아야 한다. 패턴은 다음과 함수 f 로 정의할 수 있다.

$$f(l_n) = \frac{1}{r} \sum_{n=l-r}^l \|k_n - k_{n-1}\| + \frac{1}{r} \sum_{n=l-r}^l \|d(k_n) - d(k_{n-1})\|, \quad (4)$$

여기서 k_n 은 n 번째 키 자세가 나타난 시간이며, l_n 은 n 번째 지역 최소값이 나타난 시간을 의미한다. k_n 과 l_n 은 시간상 이웃하고 있다. r 은 패턴을 테스트할 시간 구간을 나타내며 구현에서 3초를 사용했다. $f(l_n)$ 은 l_n 에서 앞과 뒤 각각 $r/2$ 시간 동안의 키 자세와 다음 키 자세가 나타난 시간 차의 평균(주기 평균)과, 키 자세가 나타난 시간의 $d(k_n)$ 와 그 다음 이웃한 지역 최소값이 나타난 시간에서 $d(l_n)$ 의 차의 평균(진폭 평균)의 합을 의미한다.

$$\|f(l_n) - f(l_{n+1})\| > a \quad (5)$$

식 (5)와 같이 $f(l_n)$ 함수와 $f(l_{n+1})$ 의 차가 a 보다 큰 l_n 이 세그먼트의 경계가 되는 것이다. 우리는 구현에서 a 의 값으로 0.6을 이용했다. 이 값은 함수 f 를 구성하는 주기 평균과 진폭 평균을 $[0,1]$ 범위로 정규화 했을 때 사용할 수 있다. 이 평균들을 미리 계산하여 최대값이 1이 된다. 분절화 과정에서 세그먼트의 길이가 지나치게 짧아지거나 길어지는 것을 방지하는 방법은 다음과 같다. 세그먼트의 경계로 우선 지목된 지역 최소값의 인접한 지역 최소값에서 경계를 찾지 않아야 하는 것과, 수식(3, 4, 5)의 상수 변수 k, r, a 를 적절히 조정하는 것이다.

4. 전이 방법

데이터 기반의 모션 합성 연구 분야에서 자연스러운 전이를 만드는 것은 어려운 문제이다. 춤 동작과 춤 동작이 연결될 때 대부분의 경우에 소스 모션의 마지막 프레임(소스)과 타겟 모션의 처음 프레임(타겟) 유사도가 현저하게 낮기 때문에 자연스럽게 보이는 전이를 만들기 어렵다. 제안하는 전이 방법은 기본적으로 선형 보간을 이용한 전이에 기반을 두고 있다. 이 방법은 애니메이션 분야에서 전통적으로 사용되어온 합성 방법으로 구현이 쉽고, 수행시간도 짧다. 우리는 선형 보간 기법을 이용하면서 여기에 약간의 수정을 가하여 제약사항을 만족하는 전이를 만든다. 중간자세(시공간 제약사항)

를 생성하고 전이 과정에 추가하면 자연스러운 전이가 가능하다.

제안하는 전이 방법은 다음과 같은 순서로 진행된다. 첫째, 소스와 타겟에서 제약사항을 찾는다. 춤 동작에서 제약사항은 발이 바닥에 닿아있는가 하는 정보가 된다. 춤 동작에서는 이 제약사항이 만족된다면, 몸의 다른 부분에 약간 오류가 있더라도 자연스럽게 보이는 전이를 만들 수 있다. 둘째, 제약사항을 만족시키기 위한 중간 자세를 생성한다. 이 자세는 전이 구간에서 시공간적 제약사항이 된다. 제약사항을 만족시키기 위해서 중간 자세를 수정해야 하는 경우도 있다. 셋째, 전이 구간에서의 제약조건을 만족하기 위해 캐릭터의 위치 조정한다. 소스의 캐릭터 위치와 제약사항에 따라서 타겟과 중간 자세의 위치를 조정한다. 마지막으로 고정된 길이의 전이 구간에서 가중치 함수를 이용하여 소스 모션에서 중간 자세로, 중간 자세에서 타겟 모션으로 블렌딩(blending)하면서 전이를 완성한다(그림 3).

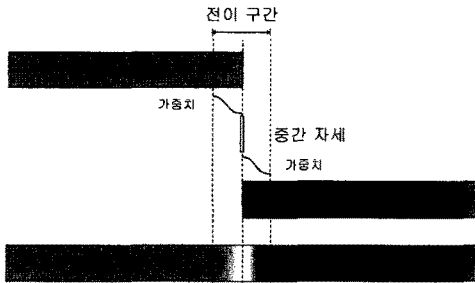


그림 3 전이 과정. 선형 보간 기반 전이 방법에 제약사항을 만족시키기 위한 중간 자세를 추가하여 전이를 완성한다.

4.1 제약사항 탐색

제약사항은 소스와 타겟에서 발이 땅에 닿아 있는지는 여부이다. 관측자들은 사람의 발에 발생하는 미끄러짐 현상에 민감하기 때문이다[18]. 제안하는 전이 방법에서는 소스와 타겟에서 발의 제약사항을 탐색하여 전이과정에서 준수하게 된다. 우리는 간단히 발과 바닥의 거리를 계산하여 임계값 이하이면 붙은 발로, 그 이상이면 떴은 발로 고려한다. 이 테스트 과정을 보다 정교하게 수행하고 싶다면 Ikemoto의 연구[23]에서 제안된 방법을 채용하면 된다.

우리는 소스와 타겟 각각에서 발의 제약사항이 반드시 하나 이상 존재한다는 가정하에 전이를 진행한다. 소스에서의 발 제약사항은 전이에 큰 영향을 주지 못함으로 제약사항의 유무만 확인한다. 타겟의 제약사항이 전이 과정에 중요한데 그것은 전이 구간의 마지막에서는 항상 이 제약사항을 만족해야 하기 때문이다. 우리는 제

약사항을 두 가지로 분류해서 사용한다. 만약 타겟에서 두 발에 모두 제약사항이 있다면, 한 발은 강한 발, 그 반대 쪽 발은 약한 발로 나눈다. 강한 것은 발에 신체의 무게가 많이 실려 있는 것으로 전이과정 중에 움직이면 안 된다. 캐릭터의 무게 중심의 바닥 투영 점과 거리가 상대적으로 가까운 발이 강한 것으로 선택된다. 약한 것은 그 반대이며, 약한 발은 구간에서 제약사항이 느슨해질 수 있다. 만약 한발에만 제약사항이 존재한다면 이는 강한 발이다. 예를 들어, 그림 4에서처럼 타겟의 약한 발은 전이 구간에서 발을 떴었다 붙이는 과정에서 제약사항이 사라졌다가 생성된다. 또한 그림 5(a)는 소스의 제약 사항이 계속 유지 되지만, 그림 5(b)에서 타겟의 붙은 발의 조건을 만족하기 위해서 소스의 제약사항은 전이 과정 중에 사라진다.

4.2 중간 자세 생성 및 수정

이 과정은 전이 과정 중에 시공간적 제약사항을 생성하는 것이다. 기본적으로 중간 자세는 소스와 타겟을 가중치 0.5로 선형보간 계산하여 생성된 자세이다. 이 계산에서는 캐릭터의 위치는 고려하지 않고, 캐릭터 위치 조정 단계에서 위치를 생성한다.

중간 자세의 수정이 필요한 상황은 다음과 같다. 전이 구간에서 모든 발에서 제약사항이 존재한다면, 발의 궤적을 생성하는 과정에서 발 미끄러짐 현상이 발생할 수 있다. 타겟의 강한 발을 소스 모션 동일한 쪽 발 위치에 고정하고, 타겟의 약한 발의 제약사항을 전이 구간에서 잠시 동안 제거하여 해결할 수 있다(그림 4). 이것은 중간 자세의 하체에 대한 수정을 의미하며, 약한 발에 해당하는 중간 자세의 발을 들어 올리게 한다. 최종적으로 한발을 들어올렸다 내려놓는 동작을 만들기 위해서이다. 하체를 수정하기 위한 방법으로는 예제 모션을 주거나 역동역학(inverse kinematics) 방법[24] 등이 있다.

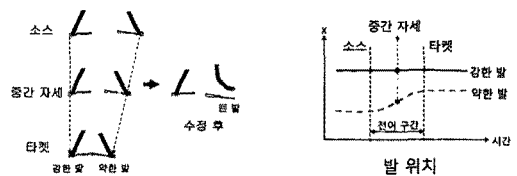


그림 4 중간 자세 수정. 제약사항 만족을 위한 중간 자세 수정은 오류를 방지하는 수단으로 발을 들어 올렸다 내리는 자세가 생성되도록 수정한다. 오른쪽 그래프는 전이 과정에서 중간 자세 수정 후, 발의 위치의 변화를 보여주고 있다.

4.3 캐릭터 위치 조정과 블렌딩

캐릭터 위치 조정은 제약사항을 만족시키기 위해서 필요하다. 기본적인 캐릭터의 위치 조정은 타겟과 중간 자

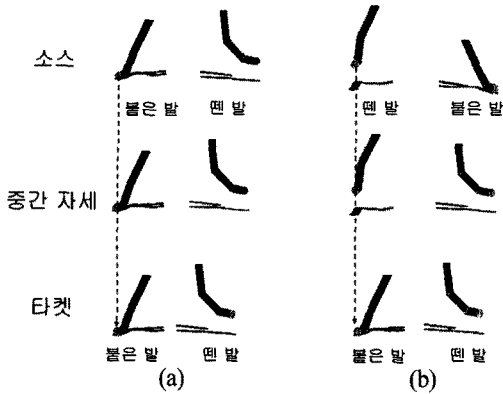


그림 5 제약 조건과 캐릭터 이동. 같은 쪽 발에 제약사항이 있다면 해당 발의 위치가 일치하도록 캐릭터를 이동한다(a). 서로 다른 쪽에 제약사항이 있다면 소스의 뗀 발이 착지 예상 지점에 타겟의 붙은 발이 위치하도록 한다(b).

세를 대상으로 하고 있고 타겟의 제약사항을 준수하도록 한다. 타겟에서 두 발이 모두 붙어 있다면 강한 발(그림 4)과 같은 쪽의 소스의 발에 일치하도록 한다. 타겟에서 붙은 발이 소스의 붙은 발과 같은 쪽 발이라면 그림 5(a)와 같이 붙을 발을 동일한 위치로 이동한다. 그림 5(b)와 같이 소스와 타겟의 붙은 발이 서로 다른 쪽일 때, 타겟의 붙은 발의 위치를 소스의 뗀 발이 착지할 예상 위치로 이동하도록 하면 된다. 뗀 발의 착지 예상 위치P'를 찾는 것은 소스에서 뗀 발의 속도 V와 바닥으로부터의 거리h에 비례하도록 다음 식을 만들어 찾는다.

$$P' = P + \beta Vh, \tag{6}$$

여기서 β 는 비례상수이며 P는 소스에서 발의 위치이다. P'를 다시 바닥에 투영하면 예상 위치가 된다. 중간 자세는 전이 구간에서 제약사항이 만족하도록 위치시킨다. 기본적으로 중간 자세는 강한 발과 붙은 발의 위치에 자신의 발이 일치하도록 위치시킨다. 그림 5(b)와 같은 경우에는 소스와 타겟에서 캐릭터의 위치의 중간 위치에 놓는다.

중간 자세 생성과 캐릭터의 위치 조정 후 마지막 절차로 블렌딩을 수행한다. 중간 자세가 전이 구간 중간의 키 프레임이 되도록 그림 3과 같이 가중치를 주어 보간을 진행한다. 이 과정에서 가중치는 곡선 함수를 이용하여 부드러운 전이를 만든다. 이 구간의 시간 길이(length)는 고정길이인 2/3초를 주었다. 이 길이는 Kovar의 연구[8]에서 사용한 길이의 2배로, 소스와 타겟의 유사도에 따른 동적인 길이 변화가 필요할 수 있다.

5. 실험 결과

5.1 분절화 결과

본 연구의 실험에 사용된 춤 시퀀스는 프로댄서에게 획득된 3분 가량 모션 데이터 3개이다. 춤의 장르는 한국 대중가요의 댄스가요의 배경 춤으로 매우 역동적인 동작을 가진다. 본 논문의 방법으로 이 춤들을 나눈 결과, 평균 약 3초 정도의 길이를 가진 춤 세그먼트들이 만들어진다는 것을 표 1에서 볼 수 있다. 데이터 2의 분절화 결과 중에서 하나의 세그먼트의 경계와 전후 키 자세들을 그림 6에서 볼 수 있다.

우리는 사용자 실험을 통해 우리의 방법이 얼마나 정확한지를 알아보기 위해서, 데이터2의 분절화 결과 중 약 25초를 테스트에 사용했다. 실험대상자 5명은 모두 대중가요의 춤을 자주 접할 수 있는 20대의 일반 남녀이다. 우리는 각 사람에게 동일한 모션데이터를 주고 그것을 분절하도록 하여, 우리의 방법으로 나눈 결과와 비교하였다. 그 결과 얻은 데이터를 우리의 방식으로 분절된 결과와 1/2초의 오차범위를 두어 비교하였다. 그림 7

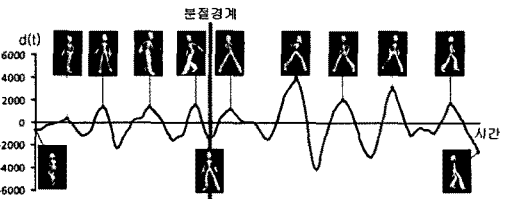


그림 6 데이터 2의 분절화 결과 예제. 약 10초 가량의 외형 그래프와 키 자세를 보여주고 있다. 세그먼트 내에서 춤이 반복되는 모습이 키 자세에서 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

표 1 3개의 춤 시퀀스에 대한 분절화 결과

데이터	길이	분절 수	평균 길이
데이터 1	186초	63	2.9초
데이터 2	228초	68	3.3초
데이터 3	213초	64	3.3초

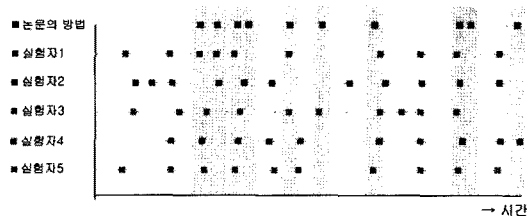


그림 7 사용자 실험 결과. 가장 위에 제안된 방법으로 분절화 결과 이고 아래로 5명의 사용자들의 결과를 보여주고 있다.

표 2 그림 7의 사용자 실험의 적중률 표. 사용자가 찾은 세그먼트의 경계와 제안된 방법으로 찾은 세그먼트의 경계가 약 46% 비슷하다.

사용자	#1	#2	#3	#4	#5	평균
적중(%)	60	30	50	50	40	46

은 각 실험자들의 분절화 결과를 시간에 따라 나타내고 있고, 분홍색 박스로 오차범위를 나타내고 있다. 표 2의 적중률은 논문에서 얻어낸 결과에서 1/2초의 오차범위를 주었을 때, 각 실험자의 세그먼트 경계가 오차범위 내에 존재하는 경우를 세어, 논문에서 얻어낸 세그먼트 경계의 총 개수로 나눈 값을 %로 나타낸 것이다. 그 결과 우리가 제안한 방법은 사용자들이 나눈 곳에 대해 46%의 적중률을 보였다(표 2).

5.2 전이 결과

그림 8-10은 제안된 전이 방법으로 만든 전이 과정의 발의 위치변화를 1/10초 간격으로 보여주는 그림들이다. 중간 자세의 수정이 필요한 전이의 결과를 그림 8에서 보여준다. 그림 8(a)가 제안된 방법의 전이로 발을 들어 올렸다 내려 놓는 것을 볼 수 있다. 점선은 강한 발이 전이 동안 고정되어 있음을 보여준다. 그림 8(b)는 위치 조정과 중간 자세 수정을 수행하지 않는다. 양 발에서 발 미끄러짐 현상이 발생한 것을 알 수 있다. 캐릭터의 위치 조정만으로 발 미끄러짐 오류의 발생을 막을 수 있음을 그림 9에서 보여주고 있다. 소스와 타겟에서 붙은 발이 전이 과정에서 제약사항이 되어 전이 구간에서 고정되고 있는 것을 볼 수 있다(그림 9(a)). 그림 9(b)에

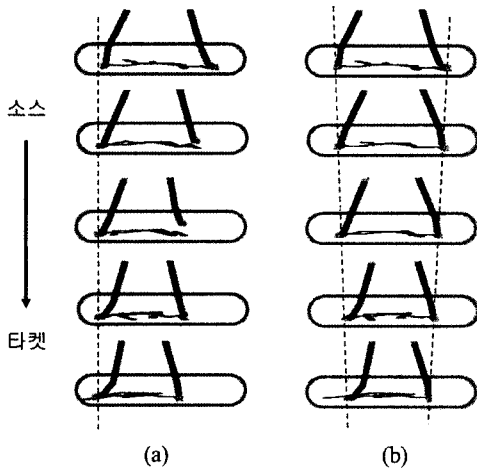


그림 8 중간 자세 수정 과정이 포함된 전이 결과. (a)는 중간 자세 수정과 캐릭터 위치 조정이 포함된 전이 결과이다. (b)는 중간 자세 수정과 캐릭터 위치 조정 과정을 생략한 결과이다.

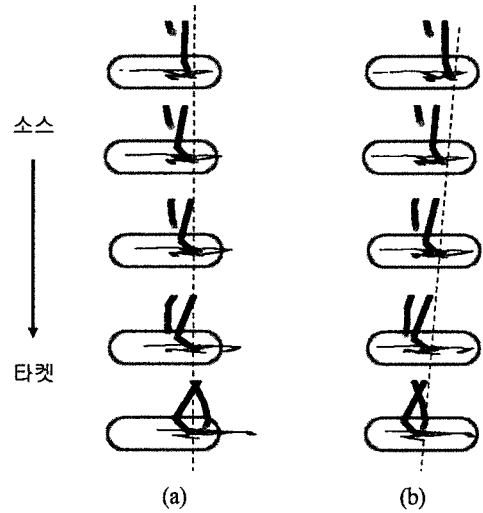


그림 9 캐릭터 위치 조정으로 발 미끄러짐이 방지된 전이 결과. (a)가 위치 조정이 수행된 것이고 (b)는 수행되지 않은 결과이다.

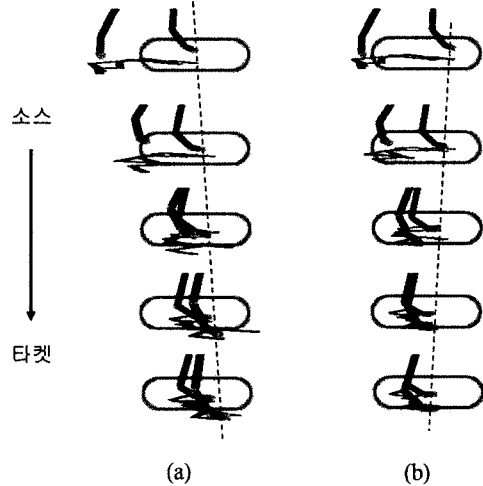


그림 10 소스의 뜬 발의 착지 예상 위치를 찾아서 캐릭터 위치 조정을 수행한 전이 결과. (a)가 위치 조정이 수행된 것이고 (b)는 수행되지 않은 결과이다.

서는 위치 조정을 수행하지 않았기 때문에 발 미끄러짐 오류가 발생하고 있다. 발의 착지 예상 위치를 찾아서 캐릭터의 위치를 수정해야 하는 전이 결과를 그림 10에서 보여주고 있다. 소스와 타겟에서 붙은 발이 서로 다른 쪽 발이기 때문에 전이 과정에서 그림 10(a)와 같이 캐릭터가 약하게 앞으로 점프하는 자연스러운 결과를 보여주고 있다. 반대로 그림 10(b)는 위치 조정 과정이

생략되었기 때문에 뒤로 미끄러지는 어색한 결과를 보여주고 있다. 제안한 알고리즘은 간단하기 때문에 결과들을 얻기 위한 수행시간은 1/30초 이하로 실시간에 가깝다.

6. 토의 및 결론

본 논문에서는 이미 획득된 춤 시퀀스로부터 새로운 춤 시퀀스를 합성하기 위한 필수 기술인 분절화 기법과 전이 기법을 제안했다. 제안한 분절화 방법은 먼저 캐릭터의 외형 곡선을 모션 데이터로부터 측정하고, 이 곡선에서 키 자세를 찾은 다음 키 자세에서 나타나는 패턴의 변화가 심한 곳을 세그먼트의 경계로 한다. 외형 곡선은 캐릭터의 3차원 볼록 포체 부피의 시간 함수를 이용하였고, 이 함수의 크기 변화가 분절화에 이용될 수 있음을 보였다. 춤의 세그먼트의 경계는 관찰하는 사용자의 주관적인 판단에 의해서 크게 다를 수 있기 때문에 사용자에게 분절화의 매개변수를 조절 할 수 있는 인터페이스를 제공해야 한다. 우리가 사용하고 있는 춤의 소스는 모두 프로 댄서를 고용해서 획득한 춤 동작 데이터이다. 이 모션 데이터는 팔과 다리를 움직이는 동작이 크기 때문에 키 자세를 명확히 구분 할 수 있다. 그러나 키 자세가 불명확하고 매우 정적인 춤에서는 제안하는 분절화 방법을 이용하기 힘들다.

춤 동작의 전이 기법에서는 상체의 오류보다는 하체에서 발생하는 오류를 최소화 하기 위해서 중간 동작을 생성하고 캐릭터의 위치를 적당히 이동하여 이전 동작과 연결 시킴으로써 자연스러운 전이가 이뤄지는 방법을 소개했다. 전이 과정은 전이 구간에서 제약사항을 찾고 중간 자세와 캐릭터의 위치를 수정하고, 소스에서 중간 자세를 지나 타겟으로 블렌딩 되도록 했다. 결과에서 확인한 것처럼 선형 보간 기법에 약간의 수정을 가해서 실시간에 가까운 수행 시간에 좋은 전이 결과를 얻을 수 있다. 이 결과는 합성된 모션에서 몸 전체의 무게중심이 어긋난 동작이 되어 자연스러움은 부족할 수 있지만, 발 미끄러짐 현상은 제거됨을 보였다. 또한 제안한 전이 기법은 동작의 하체 이외에 발생하는 오류가 관객들에게 큰 영향을 주지 않는 응용프로그램에 적용 가능하다. 제안한 전이 방법에서는 캐릭터의 회전이나 이동 속도는 고려하고 있지 않지만 향후 연구로 이와 같은 요소들도 고려한 전이 방법을 고안할 것이다. 또한, 전이 구간의 길이를 Wang의 연구[25]와 비슷하게 소스와 타겟의 유사도에 따라서 동적으로 변화시킨다면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] K. Hachimura, K. Takashina and M. Yoshimura,

"Analysis and Evaluation of Dancing Movement Based on LMA," 2005 IEEE International Workshop on Robots and Human Interactive Communication, pp. 294-299, 2005.

- [2] K. Kahol, P. Tripathi and S. Panchanathan, "Automated Gesture Segmentation from Dance Sequences," The Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 883-888, 2004.
- [3] L. Zhao, "Synthesis and Acquisition of Laban Movement Analysis Qualitative Parameters for Communicative Gestures," PhD dissertation, University of Pennsylvania, 2006.
- [4] A. Camurri, I. Lagerlöf and G. Volpe, "Recognizing Emotion from Dance Movement Comparison of Spectator Recognition and Automated Technique," International Journal of Human-Computer Studies, Vol.59, No.1, pp. 216-225, 2003.
- [5] D. Chi, M. Costa, L. Zhao and N. Badler, "The EMOTE Model for Effort and Shape," SIGGRAPH 2000, pp. 173-182, 2000.
- [6] T. Nakata, T.Mori and T.Sato, "Analysis of Impression of Robot Bodily Expression," Journal of Robotics and Mechatronics. Vol.14, No.1, pp. 27-36, 2002.
- [7] T. Kim, S.I. Park and S.Y. Shin. "Rhythmic-motion Synthesis Based on Motion-beat Analysis," ACM Transactions on Graphics. Vol.22, No.3, pp. 392-401, 2003.
- [8] L. Kovar, M. Gleicher and F. Pighin, "Motion Graphs," ACM Transactions on Graphics, Vol.21, No.3, pp. 473-482, 2002.
- [9] O. Arikian and D. Forsythe, "Interactive Motion Generation from Examples," The 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 483-490, 2002.
- [10] J. Lee, J. Chai, P. S. A. Reitsma, and J. K. Hodgins, N.S. Pollard, "Interactive control of avatars animated with human motion data," ACM Transactions on Graphics, Vol.21, No.3, pp. 491-500, 2002.
- [11] O. Arikian and D. A. Forsyth, "Interactive Motion Generation from Examples," ACM Transactions on Graphics, Vol.21, No.3, pp. 483-490, 2002.
- [12] T. S. Wang, H. Y. Shum, Y. Q. Xu and N.N. Zheng, "Unsupervised Analysis of Human Gestures," Lecture Notes in Computer Science, Vol.2195, pp. 174-181, 2001.
- [13] K. Kahol, P. Tripathi, and S. Panchanathan, "Recognizing Whole Body Movements and Gestures through Activities in Human Anatomy," International Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, 2005.
- [14] J. Assa, Y. Caspi and D. Cohen-Or, "Action Synopsis: Pose Selection and Illustration," ACM Transactions on Graphics, Vol.24, No.3, pp. 667-

676, 2005.

[15] T. Weingaertner, S. Hassfeld and R. Dillmann, "Human Motion Analysis: A Review," 1997 IEEE Workshop on Motion of Non-Rigid and Articulated Objects. 1997.

[16] J. Barbic, A. Safonova, J. Y. Pan, C. Faloutsos, J. K. Hodgins, N. S. Pollard, "Segmentation Motion Capture Data into Distinct Behaviors," Graphics Interface 2004, pp. 185-194, 2004.

[17] S. I. Park, H. J. Shin and S. Y. Shin, "On-line Locomotion Generation Based on Motion Blending," ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation, pp. 105-111, 2002.

[18] L. Ikemoto, O. Arikan and D. Forsyth, "Quick Transitions with Cached Multi-way Blends," ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, pp. 145-151, 2007.

[19] L. Kovar and M. Gleicher, "Flexible Automatic Motion Blending with Registration Curves," ACM SIGGRAPH/ Eurographics Symposium on Computer Animation, pp. 214-224, 2003.

[20] C. Rose, B. Guenter, B. Bodenheimer, and M. F. Cohen, "Efficient Generation of Motion Transitions using Spacetime Constraints," SIGGRAPH 1996, pp. 147-154, 1996.

[21] A. Safonova and J. K. Hodgins, "Analyzing the Physical Correctness of Interpolated Human Motion," ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation, pp. 171-180, 2005.

[22] K. L. Clarkson, K. Mehlhorn, and R. Seide, "Four Results on Randomized Incremental Constructions," Computational Geometry: Theory and Applications, Vol.3, No.4, pp. 185-121, 1993.

[23] L. Ikemoto, O. Arikan and D. Forsyth, "Knowing When To Put Your Foot Down," ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Interactive 3D Graphics, pp. 49-53, 2006.

[24] L. Kovar, M. Gleicher, and J. Schreiner, "Footskate Cleanup for Motion Capture Editing," ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation 2002, pp.97-104, 2002.

[25] J. Wang and B. Bodenheimer, "Computing the Duration of Motion Transitions: An Empirical Approach," ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, pp. 335-344, 2004.



정 유 진

2007년 숭실대학교 미디어학부 졸업(학사). 2007년~현재 숭실대학교 미디어학과 석사과정. 관심분야는 애니메이션, 실시간 렌더링



한 광 파

2006년 연변과학기술대학교 컴퓨터학과(학사). 2007년~현재 숭실대학교 미디어학과 석사과정. 관심분야는 실시간 렌더링



김 동 호

1990년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사). 1992년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 2002년 조지워싱턴대학교 전산학과 졸업(박사). 1993년~1994년 (주)큐닉스컴퓨터 연구원. 1995년~1997년 (주)삼성전자 연구원. 2003년~현재 숭실대학교 미디어학부 조교수. 관심분야는 실시간 렌더링, 게임공학, 애니메이션, 인터랙티브 아트



강 경 규

2004년 숭실대학교 컴퓨터학부 졸업(학사). 2006년 숭실대학교 미디어학과 졸업(석사). 2006년~현재 숭실대학교 미디어학과 박사과정. 관심분야는 애니메이션, 실시간 렌더링