

# 스weep 기반 인체 형상 모델링 및 변형

현대은<sup>0</sup> 윤승현<sup>1</sup> 성준경<sup>1</sup> 장정우<sup>1</sup> 김명수<sup>1</sup> Bert Jüttler<sup>2</sup>

삼성전자 디지털미디어 연구소<sup>0</sup>  
서울대학교 컴퓨터공학부<sup>1</sup>

Institute of Analysis, University of Linz<sup>2</sup>  
{denny, shyun, swallow, jw98}@3map.snu.ac.kr, mskim@cse.snu.ac.kr  
[Bert.Juettler@jku.uni-linz.ac.at](mailto:Bert.Juettler@jku.uni-linz.ac.at)

## Sweep-based Human Modeling and Deformation

Dae-Eun Hyun<sup>0</sup> Seung-Hyun Yun<sup>1</sup> Joon-Kyung Seong<sup>1</sup>

Jung-Woo Chang<sup>1</sup> Myung-Soo Kim<sup>1</sup> Bert Jüttler<sup>2</sup>  
Samsung Electronics<sup>0</sup>

School of Computer Science and Engineering  
Seoul National University<sup>1</sup>  
Institute Analysis  
Johannes Kepler University of Linz<sup>2</sup>

### 요 약

본 논문에서는 sweep에 기반하여 인체 형상을 모델링하고 변형하는 방법을 제시한다. 본 방법은 다각형 메쉬 형태로 주어진 3차원 인체 형상을 sweep 기반의 형상 구조로 재구성하여, 형상을 모델링하고 변형한다. 인체 형상의 팔, 다리, 몸통 등 각 부분을 근사하는 sweep 곡면을 생성하고 다각형 메쉬 상의 꼭지점들을 인접한 sweep 곡면과 연결하며, sweep 곡면이 만나는 팔, 다리와 몸통 사이에서는 꼭지점마다 연결된 sweep 단면들을 블렌딩한다. 이를 통해 sweep을 제어하여 이와 연결된 인체 형상의 자연스러운 변형을 얻어낼 수 있다. 본 논문에서는 몇 개의 애니메이션 예들을 통하여 제시한 인체 변형 방법이 자연스러운 인체 동작 생성에 효과적임을 보인다. 본 논문의 결과들은 sweep 기반의 인체 형상 변형 방법이 실시간에 상당히 사실적이고 자연스러운 형상 변형이 가능함을 보여주어, 캐릭터 skinning 방법으로서 적절한 대안임을 보여준다.

### 1. 서론

3차원 인체 형상은 컴퓨터 애니메이션 뿐만 아니라 가상 현실과 컴퓨터 게임에서도 매우 중요한 콘텐츠 객체이다. 이런 응용들에서는 3차원 인체 형상을 변형하고 움직이는 것이 필수적인데, 현재까지 제시된 3차원 인체 형상 변형 기법 중 가장 뛰어난 결과를 보인 방법은 해부학에 기반한 방법이다. 해부학에 기반한 인체 형상 변형 기법들은 자동적인 알고리즘에 의해 사실적인 인체 형상의 변형과 동작들을 표현할 수 있지만, 매우 복잡한 계산을 요구하므로 실시간에 수행되어야 하는 작업들에는 적합하지 않다. 따라서, 실시간이 요구되는 작업들을 위해서는 캐릭터 설정 과정에서 많은 사용자의

간섭이 따르는 대신에 계산 시간이 빠른 vertex blending에 기반한 방법들이 널리 쓰여지고 있다. 본 논문에서는 이런 방법들의 대안으로서 실시간에 자연스러운 변형이 가능하면서 캐릭터 설정 단계에서 상대적으로 사용자의 수고가 적은 sweep(sweep) 기반의 인체 형상 모델링 방법을 제시한다.

사용자들이 3차원 캐릭터를 모델링 하기 위해 취하는 일반적인 방법은 외부로부터 얻은 캐릭터 형상을 모델링 도구를 이용하여 자신이 원하는 형태나 구조의 형상 모델로 변형하는 것이다. 이러한 방법은 사용자의 모델링 도구에 대한 숙련도나 사용하는 모델링 도구의 수준에 의해서 그 결과가 많이 좌우된다. 따라서, 본 방법은

사용자가 보다 손쉽게 원하는 인체 형상 구조로 변형하는 것을 목표로 한다.

최근에 Allen등[1,2]은 3차원 스캔 데이터로부터 인체 형상을 복원하고 매개화하여, 애니메이션 골격 구조를 지닌 인체 형상 모델을 자동적으로 만드는 방법을 제시하였다. 본 논문에서도 이와 같이 3차원 스캐너나 3차원 모델링 시스템으로부터 얻어진 인체 형상 데이터들로부터 애니메이션 가능한 인체 형상 모델을 자동적으로 생성한다. Allen등[1]과 Mohr와 Gleicher의 방법[12]에서는 다양한 자세에서 사실적으로 변형하는 인체 형상을 만들기 위해서 여러 개의 자세로부터 얻어진 예제 형상 데이터들을 이용하였다. 그러나, 본 방법에서는 하나의 자세로부터 얻어진 인체 형상을 가지고 자연스러운 여러 자세에서의 형상을 자동적으로 생성한다. 하나의 형상을 조절하여 자동적으로 생성된 형상들은 예제를 기반으로 생성된 형상들보다 사실감이 떨어질 수 있으나, 직관적인 형상 변형 도구를 지원하면 보다 사실적인 형상으로 쉽게 수정될 수 있다.

본 논문에서 제시한 인체 모델링 기법은 Karla등[9]과 Hyun등[8]이 제시한 팔, 다리 모델링 및 변형 기법과 유사하다. 그러나, 본 논문에서는 팔, 다리 형상뿐 만 아니라 몸통까지 모두 스윙에 기반한 구조로 나타낸다. 다각형 메쉬 형태로 주어지는 각 인체 부분 형상들은 형상을 근사하는 스윙 곡면과 그 displacement map으로 복원될 수 있다. 각 형상 부분들이 만나는 어께나 엉덩이의 부분은 그 부분에서 만나는 스윙 곡면과 displacement map을 블렌딩하여 자연스럽게 연결한다. 또한, 본 논문에서는 스윙 곡면을 이용하여 근육이나 뼈의 돌출과 같은 해부학적인 특징들을 표현하여 보다 사실적인 인체 형상들을 생성한다. 본 논문에서 제시한 방법의 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 스윙에 기반한 인체 형상 조절을 통해 팔, 다리, 몸통, 목등을 구부리거나 비트는 동작을 자연스럽게 표현할 수 있다.
- 실시간 상에서 인체 형상 변형이 가능하여 가상 현실이나 3차원 게임을 위한 사실적인 인체 애니메이션을 생성하는 데 효과적이다.

- 스윙을 이용한 해부학적 특징의 표현이 가능하며 다양한 해부학적 특징들을 추가할 수 있어 사실적인 인체 애니메이션 생성 및 시뮬레이션에 적용될 수 있다.



그림 1. 발레 동작을 하는 'Victoria' 모델.

## 2. 스윙 기반 인체 형상 모델링

Hyun등이 제시한 방법[8]에서 보였듯이 인체의 팔, 다리 형상은 스윙 곡면으로 쉽게 근사될 수 있다. 같은 방식으로 인체의 몸통과 목 형상 등을 모델링 할 수 있는데, 문제점은 이렇게 각기 모델링 된 부분들을 부드럽게 연결하는 것이다. 특히, 다각형 기반의 형상을 근사할 경우 이 형상이 가지고 있는 텍스처 좌표 등의 성질을 유지하며 부드럽게 연결해 주어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 다각형 메쉬 형태로 주어지는 인체 형상의 각 부분을 근사하는 스윙을 생성하고, 다각형 메쉬의 꼭지점들을 해당하는 스윙에 연결하여 인체 형상을 조절하는 방법을 택한다. 이렇게 기존의 다각형 메쉬 구조를 유지함으로써 vertex blending과 유사한 블렌딩 방법을 이용할 수 있으며, 스윙 단면이나 경로 곡선들을 제어하여 직관적으로 인체 형상을 제어할 수 있다. 그림 2(d)는 인체 형상 부분 중에서 머리, 손, 발을 제외한 부분들을 근사하는 5개의 스윙 곡면들을 보여준다. 각각의 스윙곡면은 형상의 주요한 단면들을 근사하는 키(Key) 타원체들을 보간하여 얻어진다.

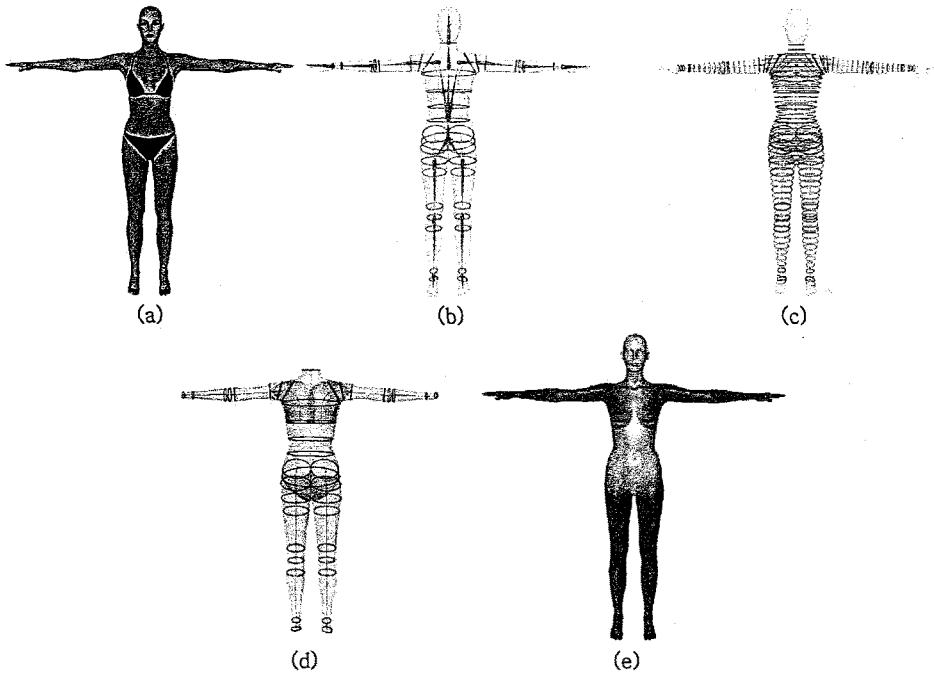


그림 2. (a) 주어진 다각형 메쉬 구조의 인체 형상 모델, (b) 스윙 곡면을 이루는 키 타원체들과 골격구조, (c) 키 타원체들을 보간하여 생성한 움직이는 타원체들, (d) 인체 형상의 전반적인 변형을 제어하는 스윙 곡면, (e) 다각형 메쉬 꼭지점들을 제어하는 스윙 곡면들의 가중치를 색깔로 나타낸 모습, 팔, 다리, 몸통의 연결부분에서 색깔이 부드럽게 변함을 볼 수 있다.

인체 형상의 특징점 등을 이용하여 애니메이션을 위한 골격 구조가 형성되면, 골격의 각 관절마다 키 타원체들을 설정하고 관절이 비선형적으로 변형되는 부분의 경계에 추가로 키 타원체들을 설정한다. 즉, 그림 2(b)와 같이 관절 부근에 키 타원체들을 설정하는데, 키 타원체들의 중심 위치와 방향은 인접한 관절들의 위치와 방향들을 내분한 값으로 정한다. 이를 통해 키 타원체들은 관절들의 움직임에 따라 움직이게 된다. 예를 들어, 팔꿈치 쪽에는 3개의 키 타원체들  $E_{lower}$ ,  $E_{elbow}$  그리고  $E_{upper}$  가 설정되는데  $E_{elbow}$  의 위치와 방향은 팔꿈치 관절의 위치와 방향으로 설정되며  $E_{lower}$  는 팔꿈치 관절과 손목 관절의 변형 값의 내분한 값으로 설정하고  $E_{upper}$  는 팔꿈치 관절과

어깨 관절 변형 값을 내분한 값으로 정해진다. 몸통 및 다리 부분의 키 타원체들도 이와 같은 방식으로 설정될 수 있다. 또한, 각각의 키 타원체들의 크기는 해당하는 위치의 단면에 타원체 맞춤을 통해서 단면을 정확하게 근사할 수 있는 값으로 정해진다. 이렇게 얻어진 키 타원체들의 위치, 방향, 크기들을 B-spline 함수를 이용하여 보간하는데, 이를 통해 그림 2(c)와 같이 골격을 따라 스윙하는 타원체의 운동을 얻어낼 수 있다. 키 타원체들의 중심 위치는 3차 B-spline 곡선으로 보간되며, 키 타원체들의 방향을 나타내는 쿼터니언들은 piecewise B-spline 곡선을 이용하여 보간된다. 다각형 메쉬 상의 꼭지점들은 그림 3과 같이 인접한 스윙 단면상으로 사영되어 매핑된다. 이 매핑 과정을 통해 다각형상의 각 꼭지점들이 해당하는 스윙 단면 곡선상의 매개변수 값  $u$  와 스윙

동작에 대한 매개변수 값  $t$ 가 구해져 변수 값  $(u, t)$ 로 매개화된다.

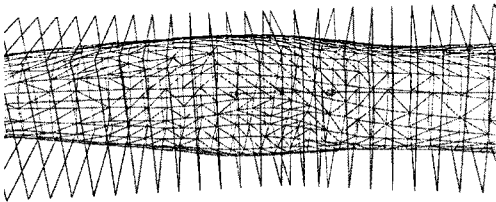


그림 3. 다각형 상의 꼭지점들을 스윙의 단면상으로 사영하여 매개화하는 모습.

팔, 다리, 몸통 단면 상의 점들은 별 모양의 구조로 연결되어서 단면을 근사하는 타원체와 이에 대한 displacement map으로부터 정확하게 복원될 수 있다. 그러나, 팔이나 다리가 몸통과 만나는 부분은 단면 상의 점들이 그림 4와 같이 2개나 3개의 타원체들에 연결되어 있어 각각의 타원체들이 움직일 때 이들의 움직임을 적절히 블렌딩 해서 점들을 움직여 주어야 한다. 여기에서는 기존의 vertex blending 기법과 같이 각각의 꼭지점들에게 연결된 타원체들에 대한 가중치를 주어서 타원체들의 변형 값들을 가중치에 따라 선형 결합한 값으로 움직이게 한다.

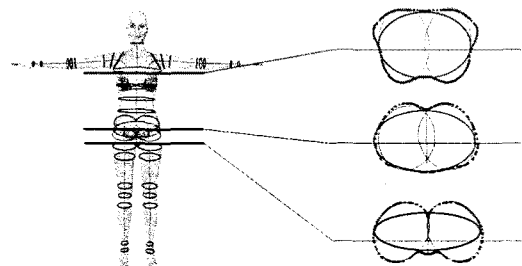


그림 4. 스윙이 만나는 부분의 단면들과 여러 개의 스윙 상으로 매핑되는 단면상의 꼭지점들.

각 타원체에 대한 가중치들은 팔과 몸통, 몸통과 다리 등의 경계를 짓는 평면을 두고 이들 평면에 대한 거리를 기준으로 쉽게 정할 수 있다. 보다 좋은 결과를 위해서 이들 가중치 값들을 Maya[20]에서 제공하는 브러쉬 도구와 유사한 인터페이스를 통하여 사용자가 수정할 수 있다. 그림 2(e)는 가중치 값에 따라서

다르게 색칠해진 인체 형상 메쉬를 보여주는데, 서로 만나는 스윙 곡면의 경계를 따라 부드럽게 색깔이 변하고 있음을 알 수 있다. 이를 통해서 팔, 다리, 몸통들이 만나고 있는 부분을 부드럽게 변형시킬 수 있다.

### 3. 스윙 기반 형상 변형

하나의 자세에서 인체 형상을 타원체 스윙 구조로 재구성하면, 애니메이션 골격을 조절하여 다양한 자세의 인체 형상들을 얻어낼 수 있다. 애니메이션 상에서 골격이 움직이면 이에 연결된 키 타원체들과 이들을 보간하여 얻어지는 스윙도 바뀌게 되며, 이들에 연결된 다각형 메쉬의 꼭지점들도 따라서 부드럽게 움직이게 된다. 그림 6은 어깨 관절을 조절하여 팔을 올릴 때 일어나는 키 타원체들의 움직임과 형상의 변형을 보여준다. 이렇게 스윙 구조를 이용하여 형상을 변형하면 매우 부드럽게 변형된 형상을 얻어낼 수 있지만, 형상의 물리적인 성질이나 충돌 등은 고려하지 않았으므로 생성된 형상은 다소 사실감이 떨어질 수 있다.

따라서, 보다 사실적인 형상을 생성하기 위해서는 때론 사용자가 형상을 직접 제어하여 수정할 수 있어야 하는데 본 방법에서는 사용자가 키 타원체를 조정하여 형상을 쉽게 수정할 수 있도록 한다. 그림 5는 키 타원체의 위치를 조정하여 보다 사실적인 형상으로 수정한 모습을 보여주는데, 이렇게 사용자가 원하는 부분의 타원체를 지정하여 이 타원체의 위치나, 방향, 혹은 크기를 수정하여 보다 사실감 있는 형상을 만들어 낼 수 있다.

또한, 스윙 곡면을 이용하여 인체 형상의 해부학적인 특징을 표현하면 보다 사실적으로 형상을 변형할 수 있다. 인체 형상이 움직일 때의 사실감은 주로 피부 아래의 근육과 뼈의 움직임에 기인하는데, 이런 근육과 뼈의 움직임은 관절의 움직임에 따라 일어나게 된다.

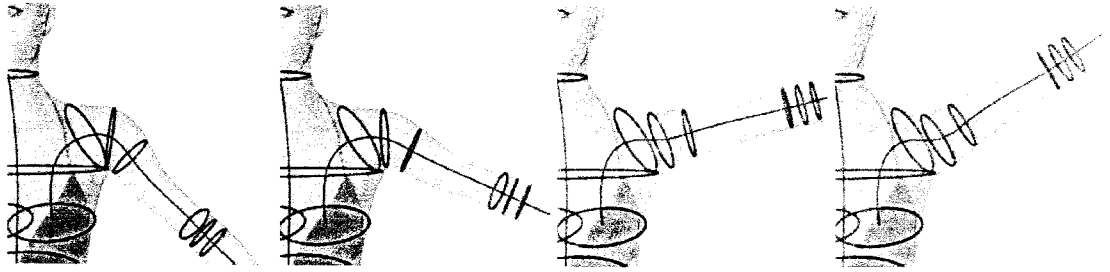


그림 6. 왼쪽 팔을 들어 올리는 동작에서 키 타원체들의 움직임.

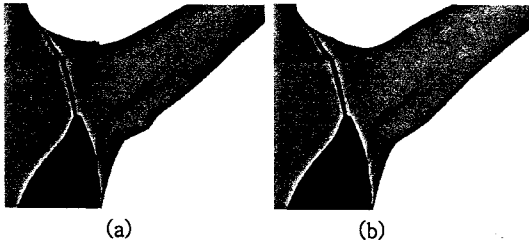


그림 5. 스윙을 조절하여 형상을 수정한 모습: (a) 자동적으로 생성된 어깨 형상, (b) 키 타원체의 위치를 조절하여 보다 자연스럽게 수정된 어깨 형상.

본 방법에서는 주요한 근육을 스윙 곡면을 이용하여 근사하고 뼈와 피부와의 충돌이 일어나는 부분을 스윙 곡면을 이용하여 빠르게 감지함으로써 손쉽게 해부학적인 특징들을 흉내 낼 수 있다. 그림 7은 스윙 곡면들을 이용하여 팔 부분의 해부학적인 특징을 표현한 모습을 보여준다. 우선 이두박근을 근사하는 스윙 곡면을 만들고 이를 팔꿈치 관절의 움직임에 따라 수축, 이완하게 함으로써 이두박근의 움직임을 표현하며, 팔꿈치 뼈와 팔꿈치 피부가 만나는 부분을 뼈 메쉬와 팔꿈치 부분을 근사하는 스윙 곡면간의 충돌 감지를 통해 계산하여 뼈가 나온 부분만큼 해당하는 부분의 피부를 움직여 준다. 가슴 근육이나 다리의 근육, 정강이 뼈의 돌출 등도 비슷한 방법을 통하여 표현할 수 있는데, 보다 사실적인 해부학적인 특징 표현을 위해서는 실제 근육과 뼈 형상에 가까운 스윙 곡면이 필요하게 된다.

일반적으로 인체 형상의 초기 자세(팔을 벌리고 있는

자세)에서는 스윙 곡면에 자기-교차 현상(self-intersection)이 일어나지 않는다. 하지만, 관절이 움직임에 따라 관절 부근의 형상에 자기-교차가 발생하게 된다.

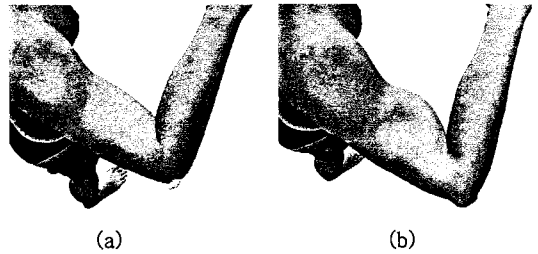


그림 7. 해부학적인 특징을 표현한 모습: (a) 기본적인 방법을 이용하여 팔을 구부린 모습, 팔꿈치 뼈가 피부 바깥으로 나온 것을 볼 수 있다. (b) 스윙 곡면을 이용하여 이두박근의 수축과 팔꿈치 뼈의 돌출을 표현한 모습.

또한, 실제 인체 형상은 팔을 구부리거나 어깨를 내릴 때 관절 부근의 피부가 겹치면서 주름이 발생하게 된다. 본 방법에서는 이러한 현상을 스윙 변수들을 조절하여 표현한다. 즉, 관절 부근의 타원체들이 서로 교차하지 않도록 위치나 방향 등을 조절하고, 접히는 부분에 있는 타원체들을 인접하게 배치하여 피부에 생기는 주름 등을 흉내 낸다. 그림 8은 팔꿈치 관절에 하나의 경계면을 설정하고 이를 기준으로 타원체들이 겹치지 않도록 방향을 유지하여 구부렸을 때 주름이 잡히는 현상을 표현한 모습을 보여준다.

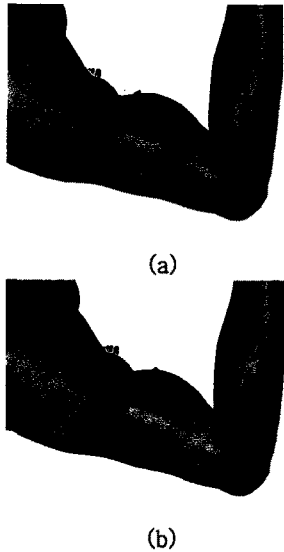


그림 8. 팔을 구부릴 때 발생하는 곡면의 자기-교차를 회피한 모습: (a) 자기-교차 회피 없이 생성된 형상, 팔꿈치 부분의 다각형들이 서로 파고들어감을 볼 수 있다. (b) 경계면을 중심으로 키-타원체들의 방향을 조절하여 자기-교차를 회피한 모습.

#### 4. 구현 및 실험

본 논문에서 제시한 방법은 Pentium IV 2GHz 컴퓨터 상에서 구현되어 실험되었다. 본 실험에 사용된 인체 형상들은 'Victoria'와(그림 9(a)) 'Michael'로서(그림 9(b)) 모두 상업용으로 제공되고 있는 형상들이다[21]. 각각의 모델들은 총 72,712개의 꼭지점들과 143,444개의 삼각형으로 이루어져 있다.

각 캐릭터들의 골격을 지정하고 스윙의 키 타원체들을 지정하는 데에는 약 30분이 소요되었으며, 이들로부터 스윙을 생성하고 다각형 메쉬의 점들을 곡면으로 매핑하는 과정은 약 30초가 소모되었다. 이미 스윙 구조로 구성된 기존의 캐릭터와 유사한 형상 구조를 가지고 있는 캐릭터의 경우 이 작업은 보다 빠르게 수행될 수 있다.

실제 구현에서는 스윙 곡면을 이용하여 직접 캐릭터 형상을 조정하는 대신, 스윙 곡면을 생성하는 단면 곡선과 단면의 이동, 회전, 축척 곡선들을 이용하여 캐릭터 형상을 제어한다. 캐릭터 형상의 팔, 다리

몸통마다 스윙을 구성하는 4개의 곡선이 존재하며, 다각형 메쉬의 점들은 해당되는 단면 곡선상의 매개변수  $u$  와 스윙 동작의 매개변수  $t$  값을 별도로 저장하게 된다. 해부학적인 특징을 표현할 경우 근육이나 뼈에 해당하는 스윙에 대한 정보가 추가적으로 필요하게 된다. 따라서, 부가적으로 필요한 정보의 양은 다각형 메쉬 점들의 매개변수 값 ( $u, t$ ) (최대 3쌍)와 각 스윙 곡면을 구성하는 스윙 동작 및 단면 곡선들의 정보들이다. 본 실험에서는 각 팔, 다리, 몸통 부분마다 4개의 곡선이 쓰여서 총 20개의 B-spline 곡선들이 사용되었다.

그림 9는 이들 캐릭터에 맞게 리타캐팅된 모션 캡처 데이터를 적용하여 생성한 애니메이션 장면들을 보여주는데, 해부학적인 특징들을 계산하지 않을 경우 렌더링 시간을 포함하여 1초당 10 frame의 속도로 생성되었다. 이 속도는 자체적으로 구현하여 동일한 형상 모델에 적용한 vertex-blending기반의 캐릭터 애니메이션 방법과[20] 속도와 유사하다. 그림에서 볼 수 있듯이 발레와 같이 복잡한 동작에서도 관절 부분들이 매우 자연스럽게 변형됨을 알 수 있으며, 모델의 크기나 형태에 관계 없이 자연스러운 형상 변형을 생성할 수 있음을 알 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 다각형 메쉬 구조의 인체 형상을 변형하고 제어하기 위해서 스윙 곡면을 이용하는 방법을 제시하였다. 본 방법에서는 다각형 메쉬 상의 꼭지점들을 인체 형상을 근사하는 스윙 곡면과 연결하고, 팔이나 다리가 몸통과 만나는 부분에서는 스윙 곡면들과 displacement map을 부드럽게 블렌딩함으로써 빠른 시간 안에 자연스럽게 인체 형상을 변형할 수 있었다. 본 방법은 일반 사용자가 쉽고 빠르게 캐릭터 애니메이션을 생성하고, 다양한 캐릭터 형상을 모델링하는데 효과적인 것으로 보이며, 3차원 디자이너나 애니메이터들에게도 캐릭터 모델링

및 애니메이션 작업 시간을 단축하는데 도움을 줄 것으로 기대된다. 향후 연구로는 스윙 기반의 방법을 통해 인체 형상의 해부학적인 특징을 보다 정확하게 표현하고 시물레이션하는 문제가 남아 있으며, 본 방법을 인체 형상 뿐만 아니라 다양한 가상 물체들을 변형하고 제어하기 위한 도구로 확장할 수 있을 것으로 보여진다.

### Acknowledgement

실험에 사용된 모션 캡처 데이터를 제공하여 주신 NCubic사의 오중록씨께 감사사를 드립니다.

### 참고문헌

[1] B. Allen, B. Curless, and Z. Popović. Articulated Body Deformation from Range Scan Data. *ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2002)*, pp.612-619, 2002.

[2] B. Allen, B. Curless, and Z. Popović. The space of human body shapes: reconstruction and parametrization from range scans. *ACM Transactions on Graphics*. pp.587—594, 2003.

[3] A. Aubel and D. Thalmann. Interactive modeling of the human musculature. In *Proceedings of Computer Animation 2001*, 2001.

[4] M. Botsch and L. Kobbelt. Multiresolution surface representation based on displacement volumes. *Computer Graphics Forum 22( 3)*, pp. 483—491, 2003.

[5] J. Chadwick, D. Haumann, and R. Parent. Layered construction for deformable animated characters. *ACM Computer Graphics* . pp.243—252. 1989.

[6] F. Dong, G. Clapworthy, M. Krokos and J. Yao. An anatomy-based approach human muscle modeling and deformation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 8(2)*, pp.154—170, 2002.

[7] A. Hilton, J. Starck, and G. Collins. From 3D shape capture to animated models. In *Proceedings of 3D PVT 2002*. 2002.

[8] D.-E. Hyun, S.-H. Yoon, M.-S. Kim and B. Jüttler. Modeling and deformation of arms and legs based on ellipsoidal sweeping. *Pacific Graphics 2003*, pp.204—212, 2003.

[9] P. Karla, N. Magnenat-Thalmann, L. Moccozet, G. Sannier, A. Aubel and D. Thalmann. Real-time animation of realistic virtual humans. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp.42—56, 1998.

[10] P. Kry, D. James, and D. Pai. Eigenskin: Real time large deformation character skinning in hardware. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*, pp.153—160, 2002.

[11] J. Lewis, M. Cordner and N. Fong. Pose space deformations: a unified approach to shape interpolation and skeleton-driven deformation. *ACM Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2000)*. pp.165-172, 2000.

[12] A. Mohr and M. Gleicher. Building efficient, accurate character skins from examples. *ACM Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2003)*, pp.562—568, 2003.

[13] P. Sand, L. McMillan and J. Popović. Continuous capture of skin deformation. *ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2003)*, pp.578—586, 2003.

[14] F. Scheepers, R. Parent, W. Carlson and S. May. Anatomy-based modeling of the human musculature. *ACM Computer Graphics(Proceedings of SIGGRAPH1997)*. pp.163—172, 1997.

[15] K. Singh. Realistic Human Figure Synthesis and Animation for VR Applications, PhD thesis, Ohio State University. 1995.

[16] P. Sloan, C. Rose, and M. Cohen. Shapes by example. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics 2001*, pp. 135—143, 2001.

[17] J. Starck, G. Collins, R. Smith, A. Hilton, and J. Illingworth. Animated statues. *Machine Vision and Applications 14(4)*, pp.248—259, 2002.

[18] X. Wang, and C. Phillips. Multi-weight enveloping : Least-squares approximation techniques for skin animation. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation 2002*, pp.129—138, 2002.

[19] J. Wilhelms, and A. Gelder. Anatomically based modeling. *ACM Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 1997)*, pp.173—180, 1997.

[20] Alias-Wavefront Technology. *Maya 5.0 user manual*. <http://www.alias.com>, 2003.

[21] DAZ Productions, Inc. <http://www.daz3d.com>, 2004.

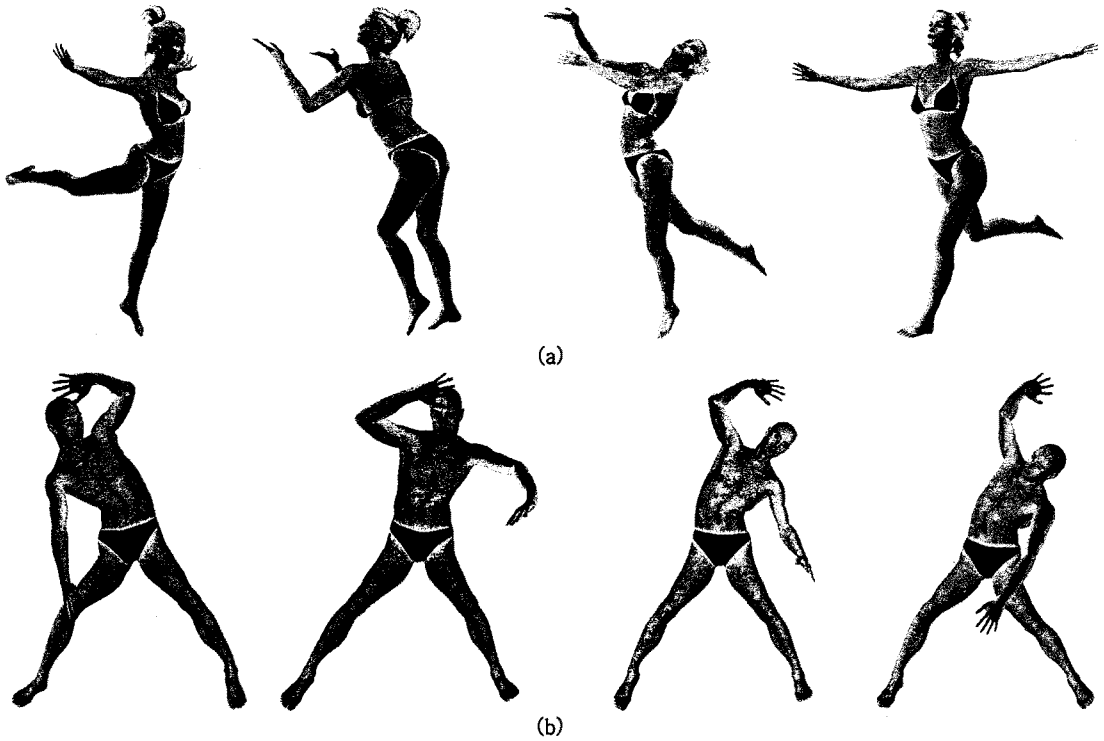


그림 9. 모션 캡처 데이터를 이용하여 생성한 애니메이션의 장면들: (a) 발레 동작을 하는 'Victoria', (b) 테크노 댄스 동작을 취하는 'Michael' model.