

# 원 모션 곡선을 변위로 이용한 효율적인 모션 편집

<sup>1</sup>석길원<sup>0</sup>   <sup>2</sup>이종원   <sup>3</sup>백낙훈   <sup>1</sup>유관우

<sup>1</sup>경북대학교 컴퓨터공학과   <sup>2</sup>KOG   <sup>3</sup>동국대학교 컴퓨터멀티미디어공학과

jini@comeng.ce.knu.ac.kr, wonlee@kogsoft.com, nhbaek@dgu.ac.kr, kwryu@hosanna.net

## An Efficient Motion Editing based on Original Motion Displacement Mapping

<sup>1</sup>Gilwon Seok<sup>0</sup>   <sup>2</sup>Won Lee   <sup>3</sup>Nakhoon Baek   <sup>1</sup>Kwan-Woo Ryu

<sup>1</sup>Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

<sup>2</sup>KOG

<sup>3</sup>Dept. of Computer & Multimedia Engineering Dongguk University

### 요 약

본 논문에서는 모션 캡처 데이터를 변위(displacement)로 해석하여, 원 모션(original motion)과 유사한 움직임들로 변형하거나 상이한 모션들을 통합하는 방법을 제안한다. 이 방법에서는 모션 캡처 데이터가 동작의 세부 특성을 잘 표현할 수 있다는 점을 이용하여, 사실성을 유지하면서도 쉽고 빠르게 모션 데이터를 편집하고자 한다. 본 논문이 제안하는 방법은 시간과 위치를 순차적으로 변형하여 새로운 모션을 표현한다. 우선, 시간 변형 과정에서는 특정 모션에서의 시간 변화를 사용자의 강조 정도에 따라 변형함으로써 모션의 리듬을 변형시킨다. 다음 단계인 위치 보정 과정에서는 원 모션을 변위로 사용하는 모션 치환 맵(motion displacement map) 기법을 이용하여 모션의 데이터 곡선들을 변형 또는 합성한다. 이 방법에서는 원 모션을 움직임에 대한 변위로 해석하여, 원 모션이 가지는 자연스러움을 유지할 수 있을 것으로 기대한다. 모션 편집을 위한 시스템이 구현되었고, 실험을 통하여 이 방법들이 사용될 수 있음을 보였다.

### 1. 서론

모션 조각들(motion segments)을 재사용하기 위해서는 기하학 정보의 수정, 타이밍 조절 그리고 모션 조각들 사이의 이어지는 자연스러운 모션 삽입 등의 작업이 용이하여야 한다[1]. 이러한 작업은 인체 모델들 사이의 기하학적 차이점의 보정, 동작의 스피드 제어, 걷는 동작에서 뛰는 동작 및 앉아있는 모습에서 서있는 모습으로의 변화와 같은 유사 모션 사이의 변형 등이 자연스럽게 이루어져야 한다.

모션 편집에는 일정한 시간 구간에 대해 관절의 자세, 즉 모션 움직임의 위치를 변형시키는 방법이 필요하다. 주어진 모션 데이터를 변형하는 방법들은 원하는 모션 위치를 만들어 두고 이를 만족하는 관절각을 계산하는 역방향 제어기법과 관절각을 변화시키면서 원하는 모션 위치를 찾아내는 순방향 제어기법으로 나눌 수 있다. 역방향 제어기법은 자세를 보정할 필요가 있는 프레임에 제약 조건의 모션을 두고 역운동학 문제를 계산에 의해 해결하는 방법이다. 모션 캡처 데이터 편집 과정에서 사용하는 순방향 제어기법은 관절각이 변해야 하는 변위를 구하는 모션 치환 맵(motion displacement mapping) 기법[1,2]을 사용한다.

spacetime constraint 방법[3]은 역운동학 문제로 물리적인 계산 모델에 의해 모션을 제어하는 방법이다. 이 기술은 모션 캡처 데이터를 편집하는 작업에 널리 사용되는 방법[4,5,6]으로 원하는 모션을 제약조건으로 가진 최적화 문제로 편집한다. 이 방법은 특정 시간대에 대한 관절 위치의 제약 조건을 가지고 시간에 따라 모션 데이터의 움직임을 계산하므로 정확한 제어가 가능하다. 하지만 계산 과정의 복잡함으로 인해 인체와 같은 복잡한 모델에 대한 제어가 쉽지 않다. 모션을 캡처하는 과정이 쉽지가 않기 때문에 애니메이션의 완성을 위해서는 조각 모션 데이터베이스를 대상으로 하는 많은 조각들에 대한 편집이 가능하여야 한다[7]. spacetime constraint 방법으로는 애니메이션을 위한 조각 모션 데이터베이스(motion segment database)내의 다양한 모션을 편집하기가 곤란하다.

모션 치환 맵은 모션의 위치 변경에서 변화가 일어나야 되는 변위를 결정하고, 이 변위들을 통과하는 부드러운 곡선을 만들어 원 모션 곡선에 합하는 모션 편집 기술이다. 변위를 이용한 모션 편집 방법은 원 이미지에 변형을 가하는 작업인 이미지 포핑 기술[8]과 비교할 수 있다. 자세의 변경, 즉 관절각이 변화되는 변위를 결정하고, 변위 곡선을 원 모션에 적용하여 관절의 자세를 변화시키는 방법이다. 이 방법은 원 모션에 대한 구체적인 이해가 필요치 않고, 원 모션의 전체적인 특징 곡선을 보존하는 장점이 있다. 반면에 변위를 계산에 의해 찾아내므로 편집이 직관적이지 않고 원 모션의 자연스러움을 왜곡시킬 가능성이 있다. 그러므로 편집자가 원하는 모션 위치를 얻기 위해서는 반복 작업을 통해 결과를 얻어내야 한다.

본 논문은 모션 치환 맵을 이용한 편집 방법이 가지는 원 모션의 자연스러움을 왜곡시키는 단점을 개선하고자 한다. 이는 모션 치환 맵이 필요로 하는 변위 곡선을 캡처된 원 모션 곡선들로부터 계산해 냄으로써 해결할 수 있다. 이러한 접근 방법에서는 변위가 원 모션 곡선의 자연스러운 동작을 유지함으로써, 프레임 내의 관절 관계가 왜곡되거나, 프레임들 간의 연결이 왜곡되는 현상을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 원 모션 곡선을 변형시킴으로써 모션 편집자가 원 모션 곡선과 변위 사이에 비교가 가능하므로 직관적인 편집이 가능하여 결과 모션을 찾아내기 위한 시행착오를 줄일 수 있다. 결과 모션을 찾는 과정이 직관적이어서 많은 조각 데이터베이스 내의 작업도 가능하게 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서 본 시스템에서 이용하는 모델의 구조 및 표현 방법을 제시한다. 3장에서는 시간 변형 및 원 모션 치환 맵의 특성을 살펴보고, 4장은 이러한 기본 개념을 바탕으로 유사 모션 사이의 변형 및 다른 모션 사이의 합성 방법을 제시한다. 5장에서는 구현 및 결과를 살펴보고, 마지막으로 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

### 2. 모델 구조 및 모션

인물 캐릭터의 전체 모습은 계층적으로 표현된다. 본 시스템에서는 그림 1과 같이 단순화된 골격 모델을 사용한다. 전신은 골반을 정점으로 하는 계층 구조로 모델링하며, 각 노드는 하나의 관절로 구성된다. 계층적으로 정의된 모델 구조에서 각 관절의 위치 및 방향은 계층상의 부모의 지역 좌표계에서 해석되는 값으로 표시한다.

모션은 전체 모델에 대해서는 평행 이동과 회전으로, 각 골격에 대해서는 계층 구조상의 상위에 대한 회전으로 표현된다. 계층 구조에서 최상위인 골반 부분의 평행 이동 및 회전으로 모델의 전체적 위치를 결정하고, 하부 골격들의 회전으로 자세를 표현하게 된다. 본 모델의 모션은 각 관절에 해당하는 모션 곡선들의 집합으로 표현된다. 본 시스템에서는 각 프레임 별로 모션을 편집하는 방식을 이용하므로, 모델의 모션을 시간당 각 관절의 값 자체를 순열로 표현하여 편집을 용이하게 한다.

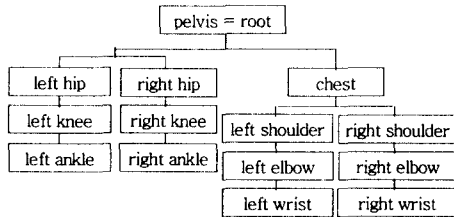


그림 1. 골격 계층 구조

3. 기본 개념

시간과 위치는 모션의 움직임을 결정하는 중요한 두 요소이다. 본 시스템은 모델을 시간에 대한 순열 함수로 표현하고, 시간의 변형과 위치의 변형을 분리하여 시간 변형을 먼저 수행된다. 시간을 변형하는 과정에서는 모델을 시간에 대한 순열 함수로 변화시키고, 이 결과를 이용하여 위치를 변화시키는 과정을 거친다. 즉 모션의 자세 편집은 각 프레임 별로 수행하므로 두 과정이 분리되어 시간과 위치 편집의 순서로 행해진다.

위치 편집은 시간 변형된 데이터가 주어지면, 이 모션 데이터를 치환 맵의 변위로 이용함으로써 자연스럽게 다양한 모션 편집을 효율적으로 수행할 수 있다. 현재의 모션 치환 맵은 순방향 제어 기법을 이용하여 변위를 계산 해내는 편집 방법으로 직관적이지 않다. 반면에 본 논문에서 제안하는 방법은 캡처된 모션을 이용하여 변위를 만들어내므로 시행착오를 최소화하여 다양한 기하학적 변형이 적용된 자연스러운 모션을 만들 수 있다. 즉, 원 모션 곡선을 변화시켜 변위로 이용함으로써 자연스러운 모션을 직관적으로 만들 수 있다.

3.1. 시간 변형

원 모션 치환 맵 연산은 각 프레임 별로 이루어진다. 이때 각 연산에 사용될 프레임을 맞추기 위하여 시간변형이 요구된다. 모션 편집이 프레임 별로 이루어지므로 모션 편집을 위한 데이터의 순열을 맞추는 과정이다. 시간 변형은 그림 2에서와 같이 수행된다.

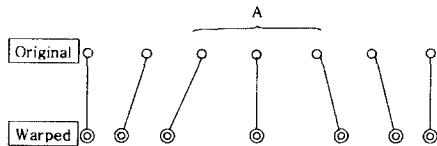


그림 2. 시간 변형

그림 2의 A 부분은 특정 동작을 강조하기 위한 시간 변형이 이루어짐을 나타낸다. 조각 모션의 작은 특징이 편집에 의해 사실상

을 잃지 않고 보존 및 강조되길 원하는 경우가 A에 해당된다. 공을 던질 때 어깨와 허리가 휘는 특징, 반발에 의한 동작의 특징 등이 A의 경우에 해당되어 보존 및 강조가 된다. 동작의 특정 강조는 동작의 시간 할당에 비례한다. 즉 강조를 원하는 모션에 대해서 프레임 수를 늘림으로써 모션 변형에 가중치를 두는 것이다.

시간의 변형은 모션의 두 요소인 시간과 위치 중에서 시간을 변형시킴으로써 모션의 전체적인 특성을 결정한다. 동작이 변형 후에 더 빠른 동작을 원하면 프레임 간격을 더 좁게 하고, 느려지길 원하면 프레임 간격을 더 넓게 한다. 예로 뛰는 동작에서 걷는 동작으로의 변형 시에 전체적인 모션 수행 시간이 늘어나게 되는 것의 표현이 이 경우에 해당된다. 전체적인 동작의 수행 속도 및 수행 시간을 결정하는 역할을 하게 된다.

위의 경우들처럼 변형된 시간의 모션은 위치 편집을 위하여 일정한 간격의 프레임 값으로 맞춰진다. 보간법을 이용하여 모션 곡선을 일정한 간격을 가지는 프레임의 순열 데이터 즉 일정 간격을 가지는 시간 값에 대한 함수로 표현한다.

3.2. 원 모션 치환 맵

모션의 위치를 제어하기 위하여 원 모션 곡선을 변형하는 모션 치환 맵을 이용한다. 원하는 모션  $m_i$ 을 얻기 위한 기본 모션  $m_b$ 과 원 모션을 이용한 변위  $m_d$  사이의 관계식은 아래와 같다.

$$m_i = m_b \oplus m_d$$

원하는 모션은 기본 모션과 원 모션의 보간 연산에 의해 정해진다. 기본 모션은 결과 모션 조각의 기본이 되는 모션으로, 캡처 모션을 변위로 이용하는 연산에서 기저 벡터가 되는 모션이다. 기본 모션은 유사 모션의 변형인 경우에는 인체의 골격이 표현 가능한 동작으로, 뛰는 동작에서 걷는 동작으로의 변형인 경우에는 가만히 서있는 동작이 될 수 있고, 모션의 합성의 경우에는 두 모션 중 어느 하나의 동작이 선택적으로 사용될 수 있다.

원 모션을 변위 곡선으로 사용하여 자연스러운 모션 곡선을 만들 수 있다. 치환 맵이 기본 동작과 캡처 동작의 보간 형태의 연산을 수행하므로 빠른 연산 속도에 자연스러운 동작이 생성 가능한 것이다. 원하는 자세를 얻기 위하여 원 모션의 보간 비율을 조정함으로써 쉽게 찾아낼 수 있다.

4. 모션 편집

본 논문이 제시하는 방법을 이용하여 두 가지 내용을 구현한다. 하나는 서로 상이한 모션에 대한 프레임 내의 합성으로 본 논문에서는 뛰는 동작과 태권도의 발차기 동작을 합성하여 뛰면서 발차는 동작을 만들어 내었다. 또 하나는 캡처된 원 모션을 이용하여 여러 상이한 모션들을 만들어 내는 것으로, 예를들어 뛰는 모습에서 변형된 걷는 모션 등의 유사 동작들을 만들었다.

4.1 모션 합성

모션 합성은 상이한 모션 조각들의 특성을 모두 포함하는 새로운 모션 조각으로 만드는 과정이다. 각  $i$ 번째 프레임에서 두 모션  $m_x$ 와  $m_y$ 에 의한 결과 모션  $m_{L,i}$ 는 다음의 식으로 구한다.

$$m_{L,i} = x \cdot m_{x,i} + y \cdot m_{y,i}$$

$x$ 모션과  $y$ 모션이 각각 기본 동작과 변위가 될 수 있다. 위 식은 모션 치환 맵의 식을 기본으로 한다. 동작 모델의 전체 모션 및 일부 골격 모션을 합성하는 경우 두 캡처 모션 중 하나가 모션의 특징에 따라 기본 동작과 변위로 선택된다.

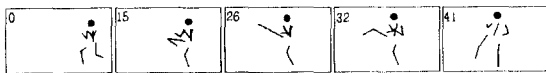
각 모션 조각들의 특성을 보존하기 위하여 두 모션의 보간 형식

을 통하여 합성 모션을 구한다. 여기서 보간 상수  $x$ 와  $y$ 값은 0과 1 사이의 일반적인 보간 상수가 아니라 각 모션의 특성을 반영하는 비율이다. 모션의 특성을 더 강조하기 위하여 1 이상의 값도 사용할 수 있다. 보간 상수  $x$ 와  $y$ 값을 결정하는 과정이 시간 변형과 함께 모션의 특징을 강조하는 결정 요인이 된다. 이 결정 요인을 조정함으로써 모션의 반작용, 모델 변형 등 여러 요인에 의해 변형된 모션의 표현 가능하다. 모션은 힘에 의한 작용이므로 두 모션의 합성 시에 모션의 형성에 필요한 힘의 분배를 적절히 함으로써, 즉 보간 계수를 결정함으로써, 새로운 모션을 합성해 낸다.

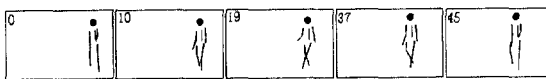
그림 3(b)은 뛰는 모션과 발차기 모션을 합성한 결과이다. 뛰는 동작과 발차기의 동작은 날라차기하는 결과의 모션을 합성해 낼 수 있다. 날라차기를 위해서는 앞으로 전진하고 점프하기 위한 달리기 모션의 힘과 발과 팔의 동작을 결정 짓는 발차기 모션의 힘이 필요하다. 각 골격의 합성에서 기본 동작의 결정은 이와 같은 힘의 우선 순위에서 결정된다.



(a) 뛰는 동작의 원 모션



(b) 뛰는 동작과 발차는 동작의 합성된 모션



(c) 뛰는 모션에서 변형된 걷는 모션

그림 3. 모션 조각 예

#### 4.2 유사모션의 변형

유사 모션 변형은 하나의 모션 조각을 이용하여 이와 유사한 특성을 가지는 모션들로 변형하는 과정이다. 각  $i$ 번째 프레임에서 하나의 모션  $m_x$ 를 변형한 결과 모션  $m_i$ 는 다음의 식으로 구한다.

$$m_{i,j} = m_b + x \cdot m_{x,i}$$

위 식은 모션 치환법의 식을 기본으로 한다.  $m_b$ 가 기본 동작이 되고 시간 변형된 캡처 모션  $m_x$ 가 변위가 된다.

본 시스템에는 모션의 변형을 위하여 기본 모션에 캡처 모션을 이용하여 변위를 구하고 있다. 즉 캡처 데이터를 모션을 편집하기 위한 변위로써 사용하고 있다. 캡처 데이터를 변위에 이용함으로써 자연스러운 동작을 직관적으로 변형할 수 있다. 기본 모션은 동작을 변형하는 기본이 되는 동작으로 신체의 비례 및 특징 등 모델의 기본 골격을 표현하는 데이터이다.

그림 3(c)는 뛰는 동작을 걷는 동작으로 변형한 결과이다. 뛰는 동작에서 걷는 동작으로 변형하는 기본 동작  $m_b$ 는 자연스럽게 서 있는 모션이다. 가만히 서 있는 동작을 기본으로 하여 뛰는 동작에 변위를 결정하는 변수  $x$ 를 캡처 모션  $m_x$ 에 곱하여 줌으로써 변형된 결과  $m_i$ 를 만들 수 있다.

#### 5. 구현 결과

본 편집 기술을 사용함으로써 모션 조각들 내에서 합성 및 변형을 위한 모션이 선택되면 모델링 연산 시간에 대한 실시간적인 응답 시간을 보장받는다. 원 모션을 변위로 사용함으로써 원모션에서 큰 왜곡이 없는 자연스러운 모션을 유지할 수 있다. 모션 캡처의 가장 사실적이라는 특징을 잃지 않는 빠른 연산이 가능하다.

본 기술의 응용 분야로 여러 변형된 모션 데이터베이스 생성, 실시간 반응이 요구되는 모션 응용 및 군집인원의 모션 생성에도 적용할 수 있다. 다양한 유사 모션 생성 가능 및 빠른 연산 속도도 위와 같은 응용 분야에는 매우 효율적이다.

본 시스템은 MS-Windows 시스템에서 Visual C++6.0으로 구현되었으며 3D API로 OpenGL1.2을 사용하였다. 모션 데이터는 초당 10frame이며, 시간 변형의 데이터 곡선을 보간하는 방법으로는 선형 보간법을 이용하였다. 초당 10frame 정도의 조각 모션의 순열을 보간하는 연산에는 선형 보간법이 시간의 연속성과 연산 속도를 보장한다.

#### 6. 결론

본 논문은 모션 캡처 데이터를 빠르고 자연스럽게 편집할 수 있는 간단한 방법을 소개하였다. 캡처 모션 데이터를 치환법에서 변위로 사용하여 왜곡 현상이 없는 자연스러운 편집 결과를 만들어 내었고, 보간 연산을 이용하여 빠른면서도 다양한 결과를 만들 수 있었다. 물론 동작의 자연스러움을 평가하는 척도가 명확하지 않아 본 시스템을 평가하기는 어렵다. 하지만 캡처 모션을 변위로 사용함으로써 자연스러움을 증가시키고자 하였다. 또한 결과를 빠른 속도로 다양하게 만들어 내어서 만족된 결과를 얻기 위한 과정의 어려움을 많이 덜 수 있었다.

치환법의 변위를 원 모션에서 얻어냄으로써 모션 및 골격 구조에 대한 최소한의 개념으로도 편집이 가능해 진다. 캡처 모션이 가장 타당한 인체 모델 및 모션이므로 이를 변위로 이용한 연산은 운동에 따른 모델의 기하학적인 관계에 대한 고려가 모션 편집자에게는 없게 되는 것이다. 기존의 방법과 비교하여 모션이 왜곡되는 현상이 없이 자연스러운 동작의 생성이 가능하다.

본 시스템은 빠르게 자연스러운 모션을 생성하므로 동시에 많은 모델의 변형, 외부 환경과의 관계에 따른 모델의 연산, 실시간 계산 등을 가능하게 한다. 이와 같이 빠른 모션 생성이 필요한 응용들에서 본 논문이 제안하는 방법을 사용할 수 있다.

본 시스템은 프레임 별로 모션을 편집하여 기하학적인 관계를 편집하였으나, 전체적인 모션의 연결 과정에서 떨림 현상을 완전히 제거하는 데에는 한계가 있다. 본 편집 기술의 모션 결과는 미세한 떨림 현상을 나타낸다. 미세한 떨림 현상을 제거하고 전체적인 모션의 부드럽게 이어짐을 만들어 내는 것이 필요하다.

#### [ 참고 문헌 ]

1. Andrew Witkin and Zoran Popovic, "Motion Warping", *SIGGRAPH '95*, pp. 105-108, August 1995.
2. Armin Brudelin and Lance Williams, "Motion Signal Processing", *SIGGRAPH '95*, pp. 97-104, August 1995.
3. Andrew Witkin and Michael Kass, "Spacetime Constraint", *SIGGRAPH '88*, pp. 159-168, August 1988.
4. Charles F. Rose and et al, "Efficient Generation of Motion Transitions using Spacetime Constraints", *SIGGRAPH '96*, pp. 147-154, August 1996.
5. Michael Gleicher, "Motion Editing with Spacetime Constraints", *Interactive 3D Graphics*, pp. 139-148, April 1997.
6. Zoran Popovic and Andrew Witkin, "Physically Based Motion Transformation", *SIGGRAPH '99*, pp. 11-20, August 1999.
7. Douglas J. Wiley and James K. Hahn, "Interpolation Synthesis of Articulated Figure Motion", *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.17, No.6, pp. 39-45, November, 1997.
8. Thaddeus Beier and Shawn Neely, "Feature-based Image Metamorphosis", *SIGGRAPH '92*, pp. 35-42, July 1992.