
상·하체 분리 매개화를 통한 블렌딩 기반의 모션 합성

Decoupled Parametric Motion Synthesis Based on Blending

하동욱, DongWook Ha*, 한정현, JungHyun Han**

요약 추상적인 매개공간을 예제모션들로 표본추출(sampling)하고, 그것들을 보간하여 주어진 입력 매개변수(parameters)와 대응되는 블렌딩 가중치(blend weights)를 계산하는 블렌딩 기반의 매개화된 합성기법은 뛰어난 제어력과 효율성 때문에 널리 쓰이고 있다. 그러나 보다 세부적인 모션 제어를 위해 매개공간의 차원을 증가시킬수록, 표본추출을 위해 필요한 예제모션의 수가 기하급수적으로 늘어나게 된다. 본 논문은 상체모션과 하체모션의 분리된 생성 및 제어를 위해 두 개의 매개공간(parameter spaces)을 사용하는 방법론을 제안한다. 즉, 매 애니메이션 프레임마다 각 매개공간으로부터 두 개의 바탕프레임(source frames)이 추출되면, 하나로부터의 상체를 다른 하나의 하체에 접합(splicing)하여 실시간으로 목적모션을 생성한다. 이를 통해 사용자가 입력한 상체제약과 하체제약을 모두 만족하는 모션을 생성할 수 있을 뿐만 아니라 매개공간의 차원 복잡도에서 기인하는 문제를 해결할 수 있다. 본 논문을 통해, 우리는 두 개의 매개화된 모션공간으로부터 시간적 상호관계가 고려된 모션을 생성하기 위한 새로운 시간왜곡(time-warping)기법을 제안한다. 또한 상체의 공간적 특성을 기반으로 예제모션들을 매개화할 경우, 접합되는 하체에 따라 변경되는 예제모션들의 매개변수를 빠르게 근사하기 위한 기법을 소개한다.

Abstract The techniques, which locate example motions in abstract parameter space and interpolate them to generate new motion with given parameters, are widely used in real-time animation system for its controllability and efficiency. However, as the dimension of parameter space increases for more complex control, the number of example motions for parameterization increases exponentially. This paper proposes a method that uses two different parameter spaces to obtain decoupled control over upper-body and lower-body motion. At each frame time, each parameterized motion space produces a source frame, which satisfies the constraints involving the corresponding body part. Then, the target frame is synthesized by splicing the upper body of one source frame onto the lower body of the other. To generate corresponding source frames to each other, we present a novel scheme for time-warping. This decoupled parameterization alleviates the problems caused by dimensional complexity of the parameter space and provides users with layered control over the character. However, when the examples are parameterized based on their upper body's spatial properties, the parameters of the examples are varied individually with every change of its lower body. To handle this, we provide an approximation technique to change the positions of the examples rapidly in the parameter space.

핵심어: *Character Animation, Motion Capture, Parameterized Motion, Motion Blending*

본 연구는 문화관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 2007문화콘텐츠기술(CT)개발지원사업의 연구결과로 수행되었음.

*주저자 : 고려대학교 컴퓨터학과 석사과정; e-mail: dwookha@gmail.com

**교신저자 : 고려대학교 컴퓨터학과 교수; e-mail: jhan@korea.ac.kr

1. 서론

사용자의 입력에 반응하여 자연스럽게 움직이는 캐릭터는 비디오 게임, 실시간 방송, 가상현실 어플리케이션(applications) 등에서 필수적이며, 이를 위해 모션캡처 장비를 통해 얻어진 데이터를 활용하여 실시간으로 제어 가능한 캐릭터를 생성하는 연구들이 최근까지 활발하게 진행되고 있다. 접근 방식에 따라 짧은 예제모션조각들을 이음매없이 연결하여 긴 모션을 생성하는 모션 재배열 기법(motion rearrangement)과 서로 유사한 예제모션조각들을 가중치 벡터(blending weights)를 기반으로 서로 혼합하여 새로운 모션을 생성하는 모션 블렌딩 기법(motion blending)으로 나눌 수 있다. 특히 블렌딩 기법은 직관적인 제어를 위해 매개화된 모션공간(parameterized motion space)을 생성하는 기법과 결합되어 사용자에게 추상적인 감정 또는 특정 관절의 목적위치를 입력으로 모션을 제어할 수 있도록 해준다.

이미 존재하는 모션 데이터를 효과적으로 재사용하는 또 다른 방법으로는 접합기법(splicing)이 있다. 예를 들어, 박수를 치면서 걷는 캐릭터의 모션이 필요하다면, 걷는 모션으로부터 하체를 떼어내고, 박수치는 모션으로부터 상체를 떼어내어 서로 결합하는 것이다. 이러한 조합을 통해, 예제기반의 모션합성 시스템에서 필요한 모션 데이터의 양을 효과적으로 줄일 수 있다.

본 논문은 블렌딩 기반의 매개화된 합성기법을 사용할 경우 매개공간의 차원이 증가할수록, 표본추출을 위해 필요한 예제모션의 개수가 지수적으로 증가하는 문제를 해결하기 위한 방법론을 제안한다. 캐릭터의 오른손과 왼발의 목적위치를 입력으로 모션을 합성한다고 가정하면, 3차원의 위치정보가 2개이므로, 필요한 매개공간의 차원은 6이 된다. 매개공간의 한 축을 표본추출하기 위해 필요한 예제모션의 개수가 N 개라고하면, 매개화된 모션공간을 생성하기 위해 모두 N^6 개의 예제모션이 필요하다는 의미이다. 그러나 상체제어를 위한 매개공간과 하체제어를 위한 매개공간을 분리하여, 두 개의 모션공간을 생성하면, 필요한 예제모션의 수를 $2N^3$ 개로 줄일 수 있다. 즉, 매 애니메이션 프레임마다 두 개의 모션공간으로부터 각각 상체제어 매개변수와 하체제어 매개변수를 만족하는 두 개의 바탕프레임을 생성하고, 하나로부터 떼어낸 상체를 다른 하나의 하체에 접합하여 목적프레임을 생성하게 된다.(그림 1 참조)

우리는 두 개의 매개화된 모션공간으로부터 시간적 상호관계가 고려된 프레임을 추출하기 위한 새로운 시간왜곡(time-warping)기법을 소개한다. 그리고 상체의 공간적 특성을 기반으로 예제모션들을 매개화할 경우, 하체제어 매개변수에 따라 종속적으로 변하는 예제모션들의 매개변수를 빠르게 근사하는 기법을 제안한다.

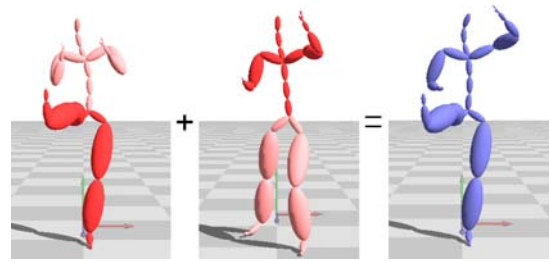


그림 1. 목적프레임을 합성하기 위한 접합과정

2. 관련 연구

블렌딩 기법은 서로 유사한 예제모션집합을 주어진 가중치 벡터를 기반으로 혼합하여 새로운 모션을 만들어 낸다 [1]. 그러나 각 예제모션에 대한 가중치만으로 결과 모션을 예측하기 힘들고, 사용자가 모션 제어를 위해 가중치 벡터를 일일이 입력하는 것은 거의 불가능하기 때문에 직관적인 제어를 위해 주로 매개화 기법과 결합된다[2-6]. 모션 매개화는 가중치 벡터를 입력으로 매개변수를 알려주는 매개화함수(parameterization function)를 정의하고, 이것의 역함수를 계산함으로써 수행된다. 그러나 역함수를 정확히 구하는 것은 잘 정의되지 않은 문제(ill-posed problem)이기 때문에 [6], 가중치벡터/매개변수 쌍이 알려진 예제모션들을 사용하여 매개공간을 표본추출한 뒤, 산포된 자료 보간법(scattered data interpolation)을 이용하여 역-매개화함수를 근사한다. Rose 등은 주어진 매개변수와 대응되는 가중치 벡터를 계산하기 위해 방사형 기저 함수(RBF)를 사용하였으며[3], Kovar와 Gleicher는 k -최근접물 보간법(k -nearest-neighbors interpolation)를 도입하였다[6].

예제 모션들 사이의 시간적 상호관계를 맞추기 위한 시간 왜곡(time-warping) 기법은 성공적인 모션 블렌딩을 위한 가장 중요한 부분 중 하나이다. Rose 등은 예제모션들을 시간에 대해 정규화하기 위해 모션의 중요한 순간을 키-타임(key times)으로 설정하고, 그것을 기준으로 실제시간(actual time)에서 총칭시(generic time)로 변환하여 예제모션들 사이에 대응되는 프레임을 찾는 방식을 제안하였다[3]. 이것을 확장하여 Park 등은 가중치 벡터가 변함에 따라 발생할 수 있는 실제 시간의 역행 현상을 방지하는 증분적 시간왜곡(incremental time-warping) 기법을 제안하였다[4]. 또한 동적 계획법(dynamic programming)을 사용하여, 대응되는 프레임들 사이의 거리가 최소가 되도록 하는 시간왜곡 곡선을 구하는 기법이 Bruderlin과 Williams에 의해 제안되었으며[7], 이것을 확장하여 시간왜곡 곡선이 항상 증가하는 형태를 갖추도록 동적 계획법 매칭법(dynamic time-warping)을 사용하는 기법이 Kovar 등에 의해 제안되었다[1].

캐릭터 동작의 주체를 두 부분 혹은 여러 부분으로 나누고, 여러 예제모션들로부터 각 부분에 해당하는 움직임을 떼어와 서로 접합을 하면 새로운 캐릭터 모션을 만들 수 있다. 이러한 조합 과정을 통해 적은 양의 데이터를 가지고 보다 풍부한 움직임을 표현할 수 있으므로, 새로운 애니메이션을 만들어야 하는 수고와 비용을 절감할 수 있다. 초기 연구들에서는 접합을 위해 단순히 캐릭터의 자유도(Degrees Of Freedom)를 공유하는 방식을 사용하였다[8,9]. 그러나 이러한 단순 접합은 접합 대상들 사이의 상호관계를 전혀 고려하지 않기 때문에 부자연스러운 결과를 내기 쉽다. 최근에 Heck 등은 상반신 모션과 하반신 모션의 접합을 위해 바탕모션들 내부의 시간적, 공간적 관계를 고려하는 기법을 제안하였다[10]. 그들은 두 바탕모션 사이의 시간적 상호관계를 맞추기 위해서 전위 주기의 국면을 일치시키는 방법을 제안하였으며, 공간적 상호관계를 보존하기 위해서 골반(pelvis)의 방위(orientation)를 적절히 수정한다.

본 논문은 서로 접합하게 되는 두 바탕모션의 생성을 위해서 Kovar와 Gleicher가 제안한 블렌딩 기반의 매개화된 합성 기법을 사용한다[6]. 그들은 큰 모션 집합으로부터 서로 유사한 모션 조각들을 추출하는 방법과 함께 예제모션들의 공간적 특성을 기반으로 매개화된 모션공간을 생성하는 자동화된 기법을 제안하였다. 우리는 또한 주어진 두 프레임으로부터 상체와 하체를 자연스럽게 접합을 위해서 Heck 등이 제안한 기법을 사용한다[10].

3. 상·하체 분리 매개화를 통한 모션 합성

우리의 목적은 사용자로부터 주어진 상체제어 매개변수와 하체제어 매개변수를 모두 만족하는 목적모션 M_T 를 실시간으로 합성하는 것이다. 이를 위해 Kovar와 Gleicher[6]가 제안한 블렌딩 기반의 매개화된 합성 기법을 사용하여, 두 개의 매개화된 모션공간 P_U 와 P_L 을 생성한다. P_U 와 P_L 은 각각 예제모션집합 $\mathcal{E}_U = \{M_1^U, M_2^U, \dots, M_{N_U}^U\}$ 와 $\mathcal{E}_L = \{M_1^L, M_2^L, \dots, M_{N_L}^L\}$ 을 기반으로 생성된다. 매 애니메이션 프레임마다, P_U 와 P_L 로부터 각각 상체제어 매개변수와 하체제어 매개변수를 만족하는 두 개의 프레임 m_U 와 m_L 이 추출되면, m_U 의 상체를 m_L 의 하체에 접합하여 목적모션 M_T 의 한 프레임을 구성한다.

본 논문에서 사용하는 캐릭터의 뼈대 계층구조(skeleton hierarchy)는 골반(pelvis)관절을 기준으로 상체와 하체로 구분되며, 골반관절은 루트(root)관절과 직접적으로 연결되어 있다. 이를 바탕으로, 상체와 하체의 자연스러운 접합 작업을 위해서 Heck 등[10]이 제안한 기법을 사용한다. 그들은 두 바탕모션이 가지는 공간적인 문맥을 최대한 보존하기

위해 공간정합(spatial alignment)과 자세전이(posture transfer)라는 두 단계에 걸쳐 접합지점인 골반에 대해 매 프레임 회전변환을 수행한다.

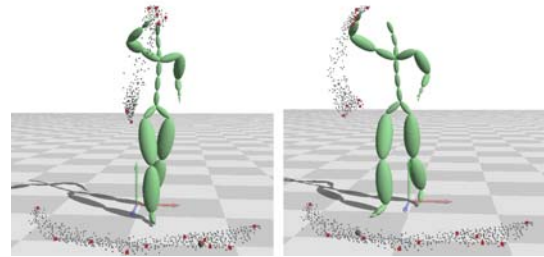


그림 2. 각 매개공간 상의 표본들을 시각화한 것으로, 상체제어 매개공간 상의 표본들의 위치가 하체제어에 따라 변함을 알 수 있다.

예제모션들을 공간적인 특성을 기반으로 매개화하면, 캐릭터의 특정 신체부위의 목표위치를 입력으로 모션을 직관적으로 제어 할 수 있다. 그러나 두 개의 매개공간을 사용하는 우리의 접근방식에서는 그림 2처럼 상체제어 매개공간에서 각 표본들의 위치가 접합되는 하체에 따라 각기 변하는 문제가 발생한다. 이는 상체의 공간적 특성이 하체에 의존적이며, 우리가 사용하는 접합조작이 상·하체의 상호관계를 고려하여 접합지점의 방위를 능동적으로 수정하기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위한 가장 간단한 방법은 하체제어 매개변수가 변할 때마다 상체제어 매개공간을 다시 표본추출하는 것이다. 그러나 이 방법은 계산시간이 너무 오래 걸리기 때문에 실시간 모션 합성 기법으로는 부적합하다.

이 절을 통해, P_U 와 P_L 로부터 시간적 상호관계가 고려된 두 바탕모션을 추출하기 위한 새롭고 간단한 시간왜곡기법을 소개한다. 또한 공간적 특성을 기반으로 모션을 매개화할 때, 하체제어 매개변수가 변할 때마다 P_U 를 재매개화해야 하는 비효율적인 작업을 피하기 위해, 각 표본들의 매개변수를 실제매개변수(actual parameter)로 빠르게 근사시키는 기법을 제안한다.

3.1 시간왜곡

주어진 가중치 벡터로 예제모션집합 \mathcal{E}_L 을 블렌딩을 하기 위해서 기존의 방식들과[1,11,12] 유사하게 예제모션들 사이의 시간적 대응관계를 정립한다. 먼저 예제모션들 중에 하나를 골라 참조모션(reference)으로 사용한다. 참조모션은 다른 예제모션들과의 프레임 대응관계를 구하기 위해 사용되며, 프레임 대응관계는 서로 짝이 되는 프레임 사이의 거리가 최소가 되도록 동적 계획법 매칭법을 사용하여 구해진다. 우리는 첫 번째 예제모션조각 M_1^L 을 \mathcal{E}_L 의 참조모션으로 선택한다. 구해진 조밀한 프레임 대응관계를 기반으로, 시간왜곡함수 $C_{L,i}(\cdot)$ 를 계산할 수 있다. $C_{L,i}(t)$ 은 참조모션에

서의 시간 (참조시간) t 와 대응되는 i 번째 모션에서의 시간이다. $T_L|_{n-1}$ 이 $n-1$ 번째 애니메이션 프레임의 참조시간이라고 할 때, 다음 애니메이션 프레임의 참조시간은 시간역행 현상을 막기 위해서 $T_L|_n = T_L|_{n-1} + \Delta T_L|_{n-1}$ 과 같이 증분적으로 구해지며, 증가량 $\Delta T_L|_{n-1}$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\Delta T_L|_{n-1} = \left(\sum_{i=1}^{N_L} w_L|_i(n-1) \frac{dT_L|_{n-1}}{dC_L|_i} \right) \Delta t \quad (1)$$

여기서 $w_L|_i(n-1)$ 는 M_i^L 의 $n-1$ 번째 프레임 시간에서의 가중치이며, Δt 는 프레임 당 실제시간이다. 마찬가지로 예제모션집합 ε_U 에 대해서도 첫 번째 예제모션 M_1^U 을 참조모션으로 선택하여, 시간왜곡함수 $C_U|_i(t)$ 를 구할 수 있다. $n-1$ 번째 애니메이션 프레임의 참조시간을 $T_U|_{n-1}$ 이라 하고, 가중치 벡터가 w_U 로 주어졌을 때, 참조시간 증가량 $\Delta T_U|_{n-1}$ 은 수식(1)과 같은 방식으로 구해진다.

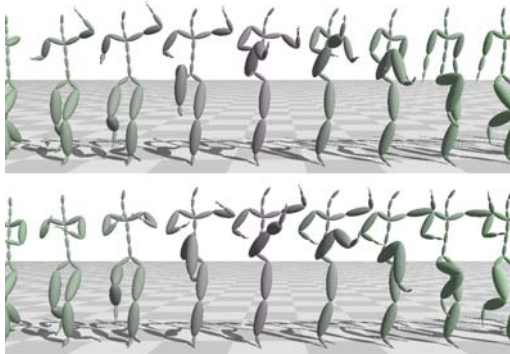


그림 3. 위(a): 시간적 대응관계를 고려하지 않았을 때의 동작. 아래(b): 시간왜곡기법을 적용한 결과로서 손 동작과 발동작이 자연스럽게 조화를 이룬다.

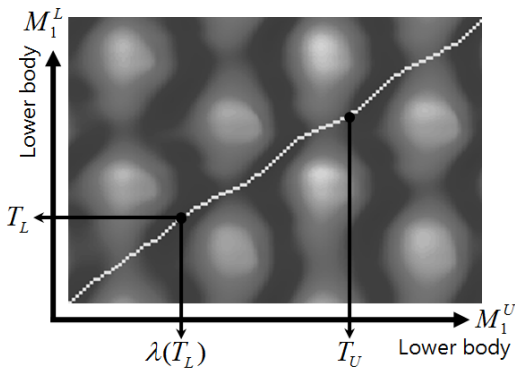


그림 4. 두 참조모션 사이의 최적 시간정렬경로.

이렇게 구해진 두 참조시간의 흐름 $T_L|_{1\dots n\dots}$ 과 $T_U|_{1\dots n\dots}$

은 서로 시간적 상호관계가 결여되어 있다. 자연스러운 M_T 를 생성하기 위해서는 둘 사이에 시간적인 대응관계를 정립해야 한다. 그렇지 않으면, 그림 3(a)처럼 M_T 의 상체모션과 하체모션은 조화를 이루지 못하며, 그 길이도 다르게 된다.

우리는 두 개의 매개화된 모션 사이에 시간흐름을 정렬하기 위한 새로운 시간왜곡기법을 제안한다. 이를 위해, 두 모션의 전위주기 곡면을 일치시키는 방법을 사용한다[10]. 전위주기 곡면을 일치시키기 위한 시간정렬곡선 λ 는 각 집합의 참조모션 M_1^L 과 M_1^U 을 기준으로 만들어지며, 둘 사이의 대응되는 시간을 알려준다. 예를 들면, 그림 4에서처럼 $M_1^L(T_L|_i)$ 와 대응되는 M_1^U 에서의 프레임은 $M_1^U(\lambda(T_L|_i))$ 이다. 매 애니메이션 프레임, 수식(1)으로부터 계산되는 $T_L|_i$ 과 $T_U|_i$ 는 다음과 같이 λ 와 그것의 역함수를 사용하여 시간적 상호관계를 정립할 수 있다.

$$T_U|_i \leftarrow \frac{\lambda(T_L|_i) + T_U|_i}{2} \quad (2)$$

$$T_L|_i \leftarrow \lambda^{-1}(T_U|_i) \quad (3)$$

위 과정을 통해 새롭게 구해진 참조시간들을 사용하면, 전위주기가 일치된 바탕프레임들을 생성할 수 있다. 따라서 그림 3(b)처럼 자연스러운 모션이 생성된다. 우리의 방법은 시간정렬곡선 λ 상에서 따로 흐르던 두 참조시간을 그 중간값으로 동기화한 것이다. 정렬 전의 두 참조시간이 항상 증가하는 방향으로 흐르므로, 새롭게 구한 참조시간 흐름도 항상 증가하는 방향으로 흐른다. 따라서 결과모션의 시간 역행 현상은 발생하지 않는다. 중간값을 택하는 수식(2) 대신에 $T_U \leftarrow \alpha \lambda(T_L) + (1-\alpha) T_U$, $0 \leq \alpha \leq 1$ 을 사용하여, 사용자에게 α 값을 통해 결과모션의 추세를 제어하도록 할 수 있다.

3.2 매개공간의 근사적 재구성

특정 관절의 목표위치를 입력으로 캐릭터의 상체 움직임을 제어하기 위해 ε_U 의 예제모션들을 공간적 특징을 기반으로 매개화한다고 가정하자. 이런 경우, 입력매개변수와 그로부터 합성되는 모션의 실패개변수가 정확히 일치될 필요가 있다. 왜냐하면 감정과 같은 추상적인 특성과 달리 공간적 특성의 차이는 눈으로 쉽게 파악할 수 있기 때문이다. 이를 위해 Kovar와 Gleicher[6]가 제안한 방식을 도입하여, 예제모션들을 효율적인 방법을 통해 수십에서 수백으로 증대하여, 매개공간의 조밀하고 균일하게 표본추출한다(자세한 내용은 [6] 참조). 이러한 추가적인 표본추출을 통해 상체제어

매개변수 표본 $(p_1^U, w_1^U), \dots, (p_n^U, w_n^U)$ 들이 계산된다. 여기는 p_i^U 는 i 번째 표본의 3차원 매개변수이고, w_i^U 는 i 번째 표본의 가중치 벡터이다.

불행하게도 그림 2처럼 하체제어 매개변수가 변함에 따라 p_i^U 들이 제각기 변하는 문제가 있다. 하체제어 매개변수가 접합되는 하체를 결정하고 이에 따라 상체의 공간적 특성도 변하기 때문이다. 만약 하체제어 매개변수가 변함에 따라 골반의 전역위치(global position)와 전역방위(global orientation)가 모든 예제모션들에 대해 동일하게 변한다면 새로운 p_i^U 들은 동일한 강체변환을 통해 빠르고 쉽게 구해질 수 있다. 그러나 우리는 앞에서 언급한 두 단계에 걸친 접합 조작을 사용하기 때문에, 골반의 전역위치는 동일하게 변경되지만 전역방위는 각 표본에 대해 각기 다르게 변한다. 결국, 하체제어 매개변수가 변할 때마다 처음부터 표본추출을 다시 수행하거나, 가중치 벡터 $w_1^U, w_2^U, \dots, w_n^U$ 들은 그대로 둔 채 매개변수 $p_1^U, p_2^U, \dots, p_n^U$ 들만이라도 다시 구해야 한다. 그러나 두 방식 모두 계산시간을 많이 소모하기 때문에 실 시간 모션 합성에 적합하지 않다.

$Q_1 = (q_1^1, q_2^1, \dots, q_n^1)$ 과 $Q_2 = (q_1^2, q_2^2, \dots, q_n^2)$ 를 하체제어 매개변수가 초기상태에서 각각 c_1 과 c_2 로 변했을 때, 고정된 w_i^U 들에 대해 발생한 골반 방위의 변화를 표현하기 위한 변량벡터라고 하자. 우리는 두 변량벡터 사이의 거리를 켄널 수 있지만, 내부적인 변량들 사이의 관계는 크게 변하지 않고 유지됨을 관찰하였다. 즉, 매개공간 상에서 각 표본들 사이의 상대적인 위치가 거의 변하지 않고 유지된다는 것이다. 이러한 성질을 이용하면, 기존 표본들의 위치를 동일한 강체변환을 통해 새로운 표본들의 위치로 근사시킬 수 있다. 이를 가장 잘 근사시키는 강체변환 행렬은 다음과 같이 찾을 수 있다(그림 5 참조).

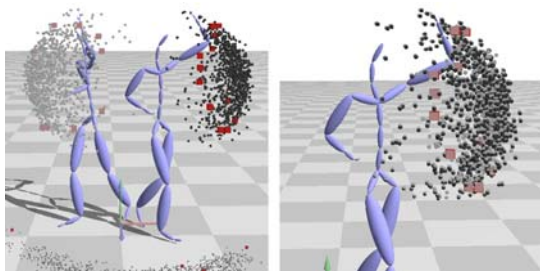


그림 5. 왼쪽: 표본들의 기존 매개변수값(회색)을 새로운 매개변수값(검은회색)으로 최대한 근사하는 하나의 강체변환 행렬을 찾는다. 오른쪽: 큰 오차없이 근사된 결과.

우선 전처리 단계에서 임의의 초기 하체제어 매개변수를 기반으로 상체제어 매개공간상의 표본들 $(p_1^U, w_1^U), \dots, (p_n^U, w_n^U)$ 을 미리 구한다. 그리고 각 표본들의 매개변수를 루트(root) 좌표계가 원점 좌표계와 일치하도록

이동 및 회전변환을 하여 (p_1^U, \dots, p_n^U) 로 저장해 둔다. 대응되는 가중치 벡터들인 (w_1^U, \dots, w_n^U) 도 계속해서 사용되므로 따로 저장한다. 합성 단계에서 하체제어 매개변수가 변하게 되면, 사용자가 정한 k , ($1 \leq k \leq n$)만큼 실제 접합조작을 통해 각 w_1^U, \dots, w_k^U 와 대응되는 실매개변수들을 구하고, 이를 다시 루트 좌표계가 원점 좌표계와 일치하도록 이동 및 회전변환을 하여 (p_1, \dots, p_k) 를 구한다. k 는 대략 8~12로 정하면 충분하며, 이는 개수가 수백에 달하는 전체 표본들의 개수보다 훨씬 적기 때문에, 위의 실매개변수를 구하는 작업은 매우 빠르게 수행된다. 이를 통해 우리는 두 개의 대응되는 점 뭉치(point clouds) (p_1^U, \dots, p_k^U) 와 (p_1, \dots, p_k) 를 생성하였다. 다음에 할 일은 전자를 후자로 최대한 근사시키는 회전변환을 찾는 것이다. Horn[13]이 제안한 기법을 사용하여, 대응되는 두 점 사이의 제곱거리 합이 최소가 되게 하는 회전 R 를 구한다. 그리고 모든 (p_1^U, \dots, p_n^U) 에 대해 R 만큼 회전을 하고, 이를 다시 원점 좌표계가 캐릭터의 루트좌표계와 일치하도록 회전 및 이동변환을 하면 각 표본들의 매개변수를 실매개변수로 근사하게 된다.

4. 결과

실험을 위해 Intel Core2 Duo 6600과 2GB 메모리를 가지는 시스템을 사용하였다. 여기서 사용된 모션 데이터는 「CMU Graphics Lab Motion Capture Database」으로부터 얻어진 것이다. 모든 모션 조각들을 초당 60프레임으로 다운샘플링하여 사용하였으며, 접합조작을 위해 골반관절이 추가하였다. 캐릭터의 총 자유도는 65이다.

두 개의 매개화 모션공간을 생성하는 일은 전처리 단계에서 한번만 이루어진다. 이것은 각 모션집합을 위한 시간왜곡 함수를 구하는 작업과 매개공간을 조밀하게 표본추출하는 작업으로 구성된다. 시간왜곡함수를 구하는 작업은 모든 프레임들 사이의 거리를 구해야 하므로 가장 많은 시간이 소요되며, 우리의 실험들에서는 1~2분 가량 소요되었다. 표본 작업은 각 매개공간에 대해 1000개의 표본을 추출하는데 약 1~2초 정도 필요했다.

「기본에 따른 걷기」 모션을 생성하기 위해, 총 12개의 걷는 예제모션조각을 사용하였다. 이 중 10개는 여러 방향으로 걷는 모션으로 하체제어를 위해 사용되며, 나머지는 각각 기쁘고, 슬프게 걷는 모션으로 상체제어를 위해 사용되었다. 하체모션은 왼발의 최종위치를 기반으로 매개화되고, 상체모션은 매개화없이 사용자가 기쁨-슬픔 가중치값을 직접 제어하도록 했다. 상체모션의 속도와 하체모션의 속도가 서로 영향을 주고받기 때문에 기쁨 가중치가 클수록 전체적인 모션의 속도가 빨라짐을 알 수 있다.

표 1. 상·하체로 분리된 매개화 기법의 실험

	매개화		예제모션 개수	
	상체	하체	상체	하체
기본에 따른 걷기	감정	원발 위치	2	10
왼손으로 막으면서 앞으로 전진하기	왼손 위치	원발 위치	12	12
왼손으로 막으면서 오른발차기	왼손 위치	오른발 위치	12	11

「왼손으로 막으면서 앞으로 전진하기」 모션을 생성하기 위한 실험에서는 각각 12개씩의 예제모션을 사용하여 두 개의 모션공간을 생성하였다. 상체모션은 왼손의 위치를 기반으로 매개화했으며, 하체모션은 원발의 위치를 기반으로 매개화하였다. 이 예제를 통해, 사용자는 캐릭터의 전진방향과 왼손의 막는 위치를 입력으로 새로운 모션을 실시간으로 생성할 수 있다.

마지막으로 「왼손으로 막으면서 오른발차기」 모션 생성을 위해서 12개의 왼손막기 모션조각들과 11개의 오른발차기 모션조각들을 사용하였다. 두 집합이 완전히 상이한 하체모션을 가지고 있기 때문에, 둘 사이의 시간정렬곡선 생성을 위해 동적 계획법 매칭법을 사용하는 대신 키-타임 기반의 시간왜곡기법을 사용하였다. 키-타임은 모두 3개를 사용하였으며, 왼손의 막는 순간과 오른발의 타격순간을 동기화하였다.

5. 결론

본 논문을 통해, 우리는 두 개의 블렌딩 기반의 매개화된 모션공간을 사용하여, 상·하체 분리된 제어가 가능한 실시간 모션 합성 기법을 제안하였다. 상체제어와 하체제어를 위한 매개공간을 분리함으로써 모션공간 구성을 위해 필요한 예제모션의 양을 크게 줄일 수 있었으며, 각 모션공간은 여러 조합을 통해 재활용이 가능했다.

접합과정을 통해 결과 모션이 생성되기 때문에 그로부터 오는 한계가 존재한다. 이를 최소화하기 위해, 상체부분과 하체부분으로 조합될 두 개의 모션공간은 신중히 선택되어야 한다. 기본적으로 시간적 상호관계 정립을 위해 하체모션의 전위주기, 길이 등이 서로 유사해야 한다.

향후 연구로 연속적인 모션 생성을 위한 방법론을 개발하고 있다. 이를 위해, Heck과 Gleicher[14] 그리고 Shin과 Oh[12]가 제안한 기법들이 응용될 수 있다. 그 밖에 상체제어와 하체제어를 동시에 할 수 있는 인터페이스 및 기법의 연구도 필요하다. 이러한 향후 연구가 수행되면 게임, 가상 현실 등에서 연속적으로 제어 가능한 캐릭터 동작 표현을 위해 응용될 수 있다.

참고문헌

- [1] L. Kovar and M. Gleicher, "Flexible automatic motion blending with registration curves," In SCA '03: Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp. 214~224, 2003.
- [2] D. J. Wiley and J. K. Hahn, "Interpolation synthesis of articulated figure motion," IEEE Comput. Graph. Appl., Vol.17(6), pp. 39~45, 1997.
- [3] C. Rose, M. F. Cohen and B. Bodenheimer, "Verbs and adverbs: Multidimensional motion interpolation," IEEE Comput. Graph. Appl., Vol.18, No.5, pp. 32~40, 1998.
- [4] S. I. Park, H. J. Shin and S. Y. Shin, "On-line locomotion generation based on motion blending," In SCA '02: Proceedings of the 2002 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp. 105~111, 2002.
- [5] T. Mukai and S. Kuriyama, "Geostatistical motion interpolation," In: SIGGRAPH '05: ACM SIGGRAPH 2005 Papers, pp. 1062~1070, 2005.
- [6] L. Kovar and M. Gleicher, "Automated extraction and parameterization of motions in large data sets," In SIGGRAPH '04: ACM SIGGRAPH 2004 Papers, pp. 559~568, 2004.
- [7] A. Bruderlin and L. Williams, "Motion signal processing," Computer Graphics 29(Annual Conference Series), pp. 97~104, 1995.
- [8] K. Perlin and A. Goldberg, "Improv: A system for scripting interactive actors in virtual worlds," Computer Graphics 30(Annual Conference Series), pp. 205~216, 1996.
- [9] L. Ikemoto and D. A. Forsyth, "Enriching a motion collection by transplanting limbs," In: SCA '04: Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp. 99~108, 2004.
- [10] R. Heck, L. Kovar and M. Gleicher, "Splicing Upper-Body Actions with Locomotion," Computer Graphics Forum, Vol.25, No.3, pp. 459~466, 2006.
- [11] S. I. Park, H. J. Shin, T. H. Kim and S. Y. Shin, "On-line motion blending for real-time locomotion generation: Research articles," Comput. Animat. Virtual Worlds, Vol.15, pp. 125~138, 2004.
- [12] H. J. Shin and H. S. Oh, "Fat graphs: constructing an interactive character with continuous controls," In SCA '06: Proceedings of the 2006 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp. 291~298, 2006.
- [13] B. K. P. Horn, "Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions," Journal of the Optical Society of America A Vol.4, pp. 629~642, 1987.
- [14] R. Heck and M. Gleicher, "Parametric motion graphs," In: I3D '07: Proceedings of the 2007 symposium on Interactive 3D graphics and games, pp. 129~136, 2007.