

매개변수로 제어가능한 운전자의 안전벨트 벨칭 모션 생성

서혜원*, 코디에프레데릭**, 최우진***, 최형연****

Parametrized Construction of Virtual Drivers' Reach Motion to Seat Belt

Hyewon Seo*, Frederic Cordier**, Woo-Jin Choi*** and Hyung-Yun Choi****

ABSTRACT

In this paper we present our work on the parameterized construction of virtual drivers' reach motion to seat belt, by using motion capture data. A user can generate a new reach motion by controlling a number of parameters. We approach the problem by using multiple sets of example reach motions and learning the relation between the labeling parameters and the motion data. The work is composed of three tasks. First, we construct a motion database using multiple sets of labeled motion clips obtained by using a motion capture device. This involves removing the redundancy of each motion clip by using PCA (Principal Component Analysis), and establishing temporal correspondence among different motion clips by automatic segmentation and piecewise time warping of each clip. Next, we compute motion blending functions by learning the relation between labeling parameters (age, hip base point (HBP), and height) and the motion parameters as represented by a set of PC coefficients. During runtime, on-line motion synthesis is accomplished by evaluating the motion blending function from the user-supplied control parameters.

Key words : Digital human, Motion blending, Principal component analysis, Radial basis function, Time-warping

1. 서 론

지난 수십 년간 차량 시뮬레이터의 현실성 제고를 위한 다양한 연구가 수행되어 왔으며, 외부 힘에 대한 차량의 반응을 사실적으로 계산하기 위한 물리기반 수치계산 방법이 그 중심을 이루었다. 최근에는 운전자 중심의 차량 설계에도 초점이 맞추어져, 차량의 인체공학적 설계 요소들 - 운전자의 시점에서 감지하는 조도, 운전자의 신체조건에 따른 운전석의 가하학적 설계 등에 대한 연구도 주목을 받게 되었다. 그러나, 아직까지 인간공학적 설계의 주류는 설문조사 등과 같이 주관적인 평가에 의존하는 경우가 많아 연구 방법의 효용성과 객관성에 논쟁의 여지가 있는 현실이

다. 이에 대한 대안으로 인체와 차량을 함께 시뮬레이션하는 방법들이 개발되었으나, 인체가 가지는 물리적 복잡성으로 인해 정확한 수치 모델링이 어렵고, 계산시간도 많이 드는 것이 단점으로 남아 있다. 이에 따라 최근에는 측정용 통해 획득한 정보를 시뮬레이션에 적용하는 데이터 기반 방법들도 시도되고 있다. 일례로, 운전자의 다양한 모션을 캡처한 후 이를 시뮬레이션 환경에서 재생함으로써 가상 운전자의 자연스러운 동작을 용이하게 시뮬레이션할 수 있다. 이 방법은 실제 운전자의 동작 데이터를 사용하므로 현실성 확보가 용이하나, 모션 캡처 환경과 시뮬레이션 환경이 다른 경우, 혹은 모션 캡처의 대상인 운전자와 신체조건이 다른 운전자에 적용하는 경우에 대한 적절한 처리 기술이 확보되지 않으면 그 활용 범위가 매우 제한적일 수밖에 없다.

본 연구에서는 측정 데이터에 기반하면서 다양한 매개변수에 의해 제어 가능한 인체 모션 생성 방법을 연구, 개발하였다. 측정 데이터로는 노령자를 포함한 다수의 운전자의 안전벨트 벨칭 동작을 모션어날

*정회원, LSHT, University of Strasbourg
**비회원, University of Haut Alsace
***비회원, 홍익대학교 기계공학과
****교신저자, 비회원, 홍익대학교 기계공학과
- 논문투고일: 2010. 08. 30
- 논문수정일: 2011. 04. 08
- 심사완료일: 2011. 04. 11

리시스 시^[1]의 광학식 모션캡처 장비로 캡처한 데이터를 사용하였다. 그리고 해당 모션의 주요 속성들에 대한 제어가 가능하도록 모션 데이터의 속성에 대한 연속 함수화, 속성 매개변수에 따른 온라인 모션 합성기 개발을 수행하였다. 결과적으로, 사용자가 주요 속성을 입력하면 이에 해당하는 안전벨트 펼침 동작을 거의 즉시 생성할 수 있다. 본 연구 결과는 차량 시뮬레이터 등에 사용되어 인체 동작의 현실성, 계산 효율성 및 사용자 제어 모듈을 확보할 수 있음을 보이는 좋은 예가 된다.

1.1 기존연구

모션캡처에 데이터에 내재하는 현실성을 최대한 보존하면서, 시뮬레이션 중 다양한 상황에 자동적으로 적용하거나 사용자 제어가 가능한 모션을 생성하는 문제는 컴퓨터 그래픽스/컴퓨터 애니메이션 분야에서 최근 많은 연구자들이 연구해 왔다. 이를테면, Witkin 등^[2], Chai 등^[3]는 모션편집을 최적화 문제로 형식화하여 해결하려 하였다. 즉, 캡처 데이터에 내재되어 있는 사실성을 최대한 보존하면서 외부 환경이나 사용자에 의해 정의되는 제한조건을 만족시키도록 모션 데이터를 변경하는 것이다. 그러나, 최적화 문제를 포함하는 방법들은 계산시간이 많이 소요되기에 실시간 모션 생성에는 부적합하다. 이러한 단점을 보완하기 위한 다른 접근 방법으로, 예제 모션들을 직접 변경하는 대신 적당하게 블렌딩하는 기술들이 소개되었다. Rose 등은 방사기저함수와 다항함수의 합으로 블렌딩 함수를 구축하고, 사용자가 제어하는 모션 속성에 따라 예제 모션의 적당한 조합을 계산하였다^[4]. Troje는 건기 동작을 대상으로 주기함수를 이용한 간결한 표현과 선형모델을 이용한 매개변수화와의 매핑에 관하여 연구하였다^[5]. 그러나, Troje의 경우 건기 모션의 주기적인 성질을 매개변수화하기 위해 삼각함수를 사용한 반면 본 연구에서 대상으로 하는 모션은 주기적이지 않다. 모션데이터도 본 연구에서는 조인트의 관절각을 사용한 반면 Troje는 피부표면에 부착된 마커 데이터를 직접 사용하였고, 블렌딩 함수를 계산하는 방법도 상이하다.

그 외 모션캡처 데이터를 이용한 모션합성에 관한 선행연구에 대한 자세한 조사는 Pejsa와 Pandzic의 최근 논문^[6]에서 찾아볼 수 있다.

1.2 연구개요

본 연구에서 개발한 데이터 기반 유전자 모션 생성

기는 크게 세 단계로 나눌 수 있다. 먼저 전처리 과정에서는 속성이 라벨링된 모션데이터들을 대상으로 데이터베이스를 구축하고 주성분 분석 등을 통하여 차원을 줄이는 단계(3장), 그리고 모션데이터베이스에 기반하여 주요 속성에 대한 연속적인 블렌딩함수를 구축하는 단계(4장)를 수행하였다. 온라인 모션 합성 단계에서는 사용자가 입력한 모션 속성 함수를 입력으로 하여 미리 구축된 모션함수로부터 해당 모션을 생성하게 된다(5장).

2. 모션 데이터

실험에 참여한 대상은 6,70대의 고령자와 20대 중년층으로 나뉘며, 운전자가 운전석에 착석한 상태에서 안전벨트를 매기 위해 오른손을 왼쪽 어깨쪽으로 가져가는 안전벨트 착용준비 동작을 캡처한 것이다. 신장, 성별, 연령 등이 알려진 동일한 실험참여자 HBP(hip base point)를 달리하면서 4,5회 동작을 반복하였고, 각 동작이 하나씩의 모션클립 파일로 저장되었다. 이렇게 저장된 모션클립 파일은 중년층이 98개, 고령자가 87로 총 185개의 모션클립 파일(.bvh, BioVicon 파일형식)이 본 연구에 사용되었다. 저장된 모션파일들의 프레임간 시간격은 0.03333(1/30)초로, 초당 30프레임의 속도로 캡처되었으며, 한 모션클립은 약 2~3초 정도의 길이(60~90프레임)이다.

2.1 골격구조

본 연구에서 사용한 골격구조는 Fig. 1과 같이 총 23개의 세그먼트들이 계층적으로 연결된 구조를 가지고 있다. 이 구조는 bvh 파일 형식으로 저장된 모션클립을 적용할 수 있는 3ds max의 Bipcd 기본 모델로부터 온 것이다.

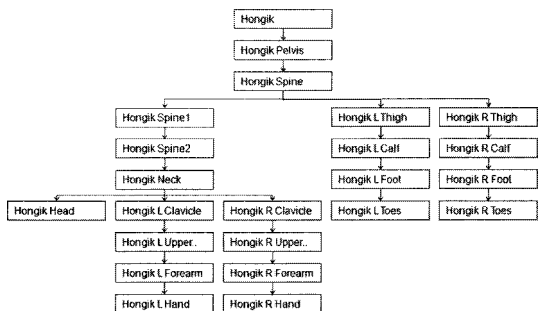


Fig. 1. 본 논문에서 사용된 골격의 계층구조.

3. 모션데이터의 시간 정규화 및 압축

3.1 오일러 표현방법의 쿼터니언(quaternion)으로의 변환

bvh 파일 형식으로 저장되어 있는 모션클립 안에서 각 관절은 오일러각(euler angle) 표현으로 기록되었다. 이를 3ds max의 biped 모델로 불러들여 그래픽스 화면에 가시화하고, 3ds max 플러그인 프로그램 안에서 내부적으로 오일러각으로 표현된 관절각을 쿼터니언 표현으로 변환하였다. 오일러각은 직관적이지만 표현이 유일(unique)하지 않은 이유로 인해 (동일한 회전을 표현하는 여러 다른 표현이 존재함) 보간(interpolation)에 적합하지 않은 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 사용한 bvh 데이터 파일 안에서 관절각은 움직이는 축(moving axis description)에 기반한 Euler-XYZ 순서로 기록되어 있으며, 이를 쿼터니언으로 변환하는 변환식만을 증명없이 쓰면 다음과 같다:

$$q = \begin{bmatrix} q \cdot x \\ q \cdot y \\ q \cdot z \\ q \cdot w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\phi/2)\cos(\theta/2)\cos(\psi/2) + \sin(\phi/2)\sin(\theta/2)\sin(\psi/2) \\ \sin(\phi/2)\cos(\theta/2)\cos(\psi/2) - \cos(\phi/2)\sin(\theta/2)\sin(\psi/2) \\ \cos(\phi/2)\sin(\theta/2)\cos(\psi/2) + \sin(\phi/2)\sin(\theta/2)\cos(\psi/2) \\ \cos(\phi/2)\cos(\theta/2)\sin(\psi/2) - \sin(\phi/2)\sin(\theta/2)\cos(\psi/2) \end{bmatrix}$$

위의 식에서 ϕ, θ, ψ 는 각각 x, y, z축을 기준으로 하는 회전각이다. 자세한 변환 과정 등은 참고문헌^[7] 등을 참조하기 바란다.

3.2 모션커브의 비연속성 제거

변환 후의 쿼터니언 값은 경우에 따라 비연속성을 보였는데, 이는 모션의 비연속성과는 무관하였으며, $q \cdot x, q \cdot y, q \cdot z$ 값과 $q \cdot w$ 값이 동시에 그 부호를 바꾸는 규칙성을 보였다(Fig. 2). 이는 쿼터니언의 antipodal 문제^[8]와 같은 축성의 문제로, 쿼터니언 q 와 $-q$ 가 동일한 회전을 표현하는 현상(회전축과 회전각의 부호를 모두 반대로 바꾸면 결과적으로 동일한 회전을 표현)에서 기인한다. 이러한 비연속성은 이후 전처리 단계에서 바람직한 성질이 아니므로, 변환과 동시에 이러한 비연속성을 자동으로 인식하고 제거하도록 하였다. 우선, 매 프레임마다 이전 프레임에서의 q_{i-1} 과 현재 프레임의 q_i 를 확인하여 두 쿼터니언의 내적 $q_{i-1} \cdot q_i$ 의 부호가 음수이고 $q_i \cdot | -q_i |$ 이면 현재 프레임

q_i 의 부호를 바꾸어 $-q_i$ 로 대체하였다. 그 결과 Fig. 3에서처럼 비연속성을 제거할 수 있었으며, 이 때 물론 표현하는 모션 자체에는 변화가 없다.

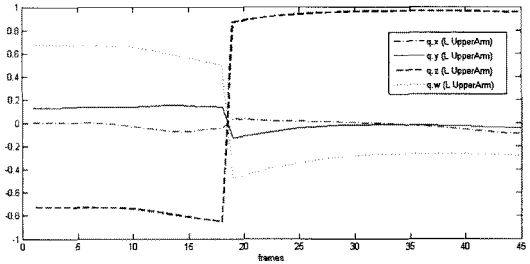


Fig. 2. antipodal 문제를 보여주는 관절각 데이터의 비연속성.

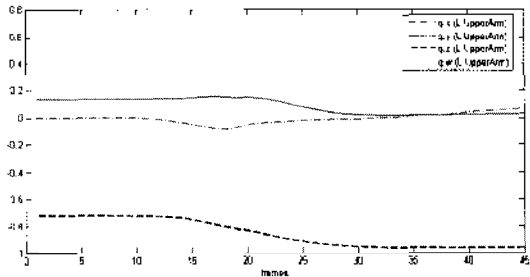


Fig. 3. 비연속성 제거 후의 쿼터니언 그래프.

3.3 평균자세 및 아이겐자세 계산을 통한 모션데이터 압축

하나의 모션클립은 다음과 같은 형식으로 표현되는 프레임들의 순서가 있는 집합으로 볼 수 있다.

$$f_i = (x^i, y^i, z^i, q_{1x}^i, q_{1y}^i, q_{1z}^i, w_1^i, q_{2x}^i, q_{2y}^i, q_{2z}^i, w_2^i, \dots, q_{dx}^i, q_{dy}^i, q_{dz}^i, w_d^i)^T, \quad i = 1, \dots, n$$

위의 표현에서 f_i 는 i 번째 프레임을 나타내며, 본 연구에서 사용된 골격 구조는 23개이므로 $d=23$, 위치(3개 좌표로 표현)와 회전(쿼터니언 표현: 회전축과 회전각으로 표현)을 모두 가지는 루트를 제외한 나머지 조인트는 쿼터니언으로부터 4개의 자유도를 가지므로 $f_i \in R^{95}$ 이다.

각 모션클립의 이웃한 프레임들 사이의 자세는 매우 비슷하여, 프레임간 중복이 많은 데이터라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 중복을 줄이고 간결한 형태로 동일한 모션데이터를 표현하기 위하여 각 모션클립의 프레임 데이터셋에 대하여 주성분 분석(Principal Component Analysis)을 수행하였다. 주성분 분석은 광학의 거의 모든 분야에 걸쳐 널리 쓰이고

있는 다변량 통계 분석 방법으로, 상호관계를 가지는 변수로 이루어진 대량의 데이터집합에 대해 분산과 같은 통계적 성질을 최대한 보존하면서 데이터의 차원을 획기적으로 줄이는 선형변환이다. 이 변환은 우선 다변수 집합의 공분산행렬로부터 아이겐벡터(고유벡터, eigenvector)들을 구하여 이들 아이겐벡터로 이루어진 직교 기저(orthogonal basis)를 찾은 후, 원래 벡터를 직교 기저 공간으로 투영함으로써 이루어진다. 이 때, 원래 공간의 차원보다 훨씬 작은 개수의 고유 벡터만을 사용하여도(대응하는 eigenvalue, 즉 고유값이 큰 순서대로 선택한다) 원래 데이터에 매우 가까운 벡터를 표현할 수 있게 된다. 본 절과 다음 3.4 절에서 설명할 데이터 압축과 시간 정규화는 전처리의 주요 과정을 이루며, 이를 아래 Fig. 4에 도시화하였다. 동일한 모션클립을 구성하는 프레임(자세벡터)셋에 대하여 주성분 분석을 수행하여 아이겐벡터들로 이루어진 직교 기저 공간을 찾을 수 있는데, 이

들 아이겐벡터(주성분)를 이후에 나오는 모션클립간의 아이겐벡터들과 구별하기 위해 '아이겐자세'라고 지칭하겠다. 이제 각각의 프레임(자세) 벡터는 다음과 같이 평균자세 p_0 와 아이겐자세 p_k 들에 대한 가중치 선형결합으로 표현된다.

$$f_i = p_0 + \sum_{k=1}^{94} c_k^i \cdot p_k$$

위 식에서 p_0 와 p_k 는 모든 프레임들에 대하여 동일하므로 각각의 프레임은 다음과 같이 일련의 아이겐계수만으로도 표현할 수 있다.

$$\hat{f}_i = (c_1^i, c_2^i, \dots, c_m^i)^T, \quad m \ll 95$$

본 연구에서는 10개의 주성분만이 원 데이터의 복원에 사용되었다($m=10$). 모션클립마다 차이는 있으나 평균적으로 10개의 주성분은 약 98%의 분산을 커

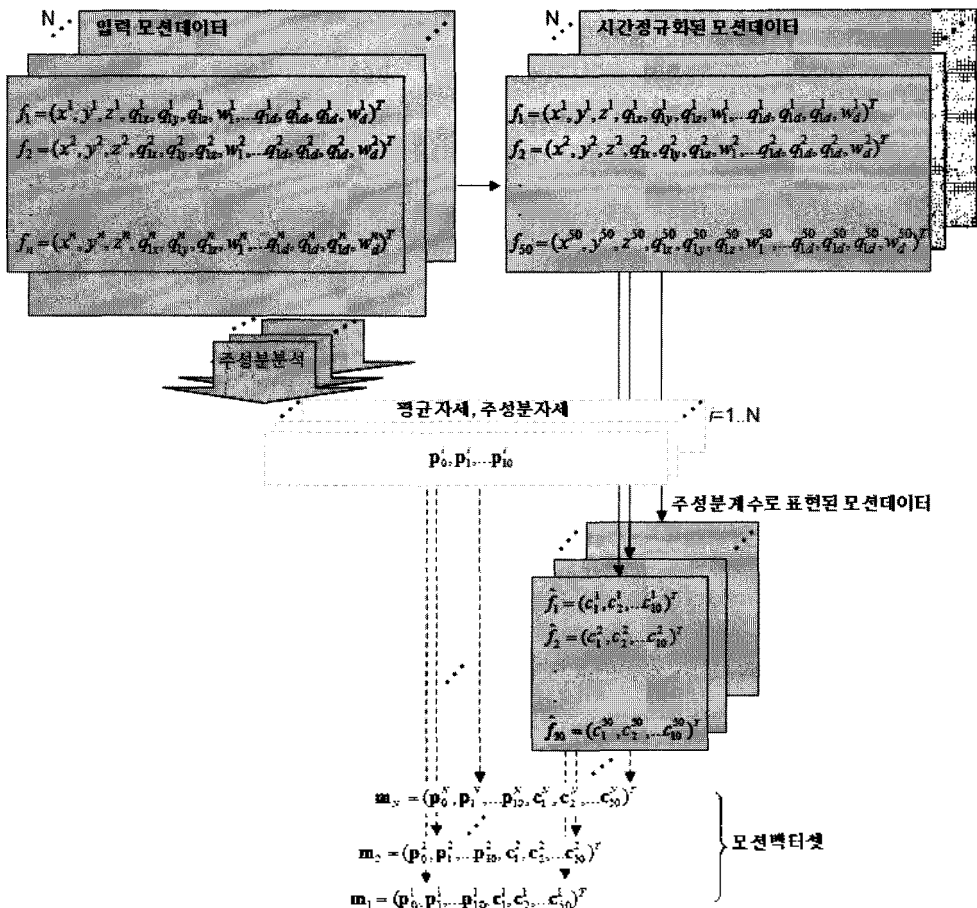


Fig. 4. 주성분 분석을 통한 모션 압축 및 시간정규화를 통한 모션클립 간 상응관계 확립.

버하였다. 즉,

$$\frac{\sum_{p=1}^{10} \lambda_p^i}{\sum_{p=1}^n \lambda_p^i} \approx 0.98, \text{ for all } i$$

위 식에서 λ_p^i 는 i 번째 모션클립에 대한 주성분분석에 의해 계산된 아이겐값들을 크기가 큰 것에서 작은 것 순으로 나열한 것이다.

위의 아이겐자세는 모션클립마다 상이함에 유의하자. 이제 각각의 모션클립은 평균자세, 10개의 아이겐자세, 그리고 프레임 당 10개의 아이겐계수들로 표현할 수 있게 되며(3.5절 참조), 이로써 원래 데이터보다 훨씬 적은 양의 데이터로 동일한 모션을 표현할 수 있다는 큰 장점이 생긴다. 이를테면, 50개의 프레임으로 이루어진 모션 클립 하나를 표현하는 데 원데이터에서는 $95 \times 50 (\approx 5000)$ 개의 부동소수가 사용된 반면, 주성분 분석 이후에는 $95 \times 11 + 10 \times 50 (\approx 1500)$ 개의 부동소수만으로 가능하므로 약 70%의 데이터 양을 줄이는 효과를 가져온다. 이러한 데이터압축 효과는 모션 클립을 구성하는 프레임의 수가 많을수록(즉 모션 동작 시간이 길수록), 그리고 모션 클립을 구성하는 자세의 변화가 직을수록 높아진다.

이제 이렇게 보다 간단해진 모션클립 데이터셋을 대상으로 또 한 번의 주성분분석을 수행하여 하나의 모션클립을 표현하는 데 필요한 데이터의 양을 더욱 획기적으로 줄이고자 하였다. 그러나, 모션 클립마다 프레임 갯수가 각각 다르니 특정 프레임의 시퀀스도 제각각이기 때문에, 모션 클립 간의 상용관계 확립을 포함한 시간 정규화가 선행되어야 한다. 다음 3.4절에서 이에 대한 내용을 설명하겠다.

3.4 모션시간 정규화

본 연구에서 사용된 모션 클립은 측정 환경이나 측정 대상에 따라 각각이 서로 상이한 프레임 수로 이루어져 있다. 이렇게 서로 다른 길이의 모션데이터에 대하여 총괄적인 통계적 분석을 수행하기 위해서는, 우선 이들 사이에 시간적인 상용 관계가 확립되어야 한다. 다시 말해, 모든 모션 데이터가 동일한 수의 프레임들로 이루어져야 하며, 전체 모션 클립에 걸쳐 동일한 프레임 번호에 해당하는 프레임들은 모션의 내용상으로 특정 · 동일한 자세를 취해야 한다.

본 연구에서는 각 모션클립을 준비 단계, 액션 단계, 마무리 단계의 세 개의 세그먼트로 구분, 세그먼트의 경계에 해당하는 자세들을 자동으로 추출하고,

이들을 기준으로 하여 나뉘는 각각의 모션 세그먼트를 시간왜곡(time-warping) 함으로써 프레임간 상용관계를 성립하였다. 기준이 되는 프레임 시각을 자동으로 추출하기 위하여, 어깨 관절각의 가속도 프로파일을 분석하였다(Fig. 5).

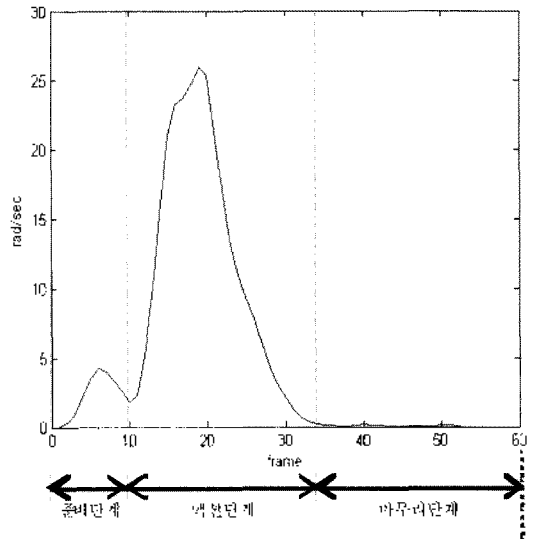


Fig. 5. 어깨관절(upper arm)의 가속도 프로파일.

관절각의 쿼터니언 표현으로부터 가속도는 다음과 같이 유도하였다. 즉, 가속도를 구하려는 프레임에서의 회전각을 q_2 , 바로 이전 프레임을 q_1 이라고 하면,

$$\begin{aligned} \frac{dq}{dt} &= \frac{1}{2} \omega q \\ &= \frac{q_2 - q_1}{dt} = \frac{1}{2} \omega q_1 \\ \therefore \omega &= \frac{2(q_2 - q_1) * q_1^{-1}}{dt} \end{aligned}$$

위 식에서 $q^{-1} = q^* / \|q\|^2$, *는 쿼터니언곱이며, q^* (conjugate)는 q 의 축의 부호를 바꿈으로서 얻는다. 가속도가 최대 속도에 이르면 점차 줄어들어 0에 근접하게 되는 시점을 마무리 단계의 시작점 t_2 로 간주하였다. 최대 속도에 이르기 전의 지역 최소값을 준비 단계와 가속 단계의 분기점 t_1 으로 간주하였다.

또한 주목할 점은, 오른 어깨와 팔 부분의 관절가만으로 이루어진 모션 데이터를 대상으로 주성분 분석한 후 주성분 계수로 표현된 모션커브의 변화를 관측함으로써 앞서 설명한 방법과 유사한 결과를 얻을 수 있다는 점이다. 예를 들면, 첫 번째 주성분 (PC1)의

전역 최소값, 두 번째 주성분(PC2)의 최초의 zero-crossing, 그리고 세 번째 주성분(PC3)의 전역 최소값은 t_1 과 일치하는 경향을 보였다. 또한 PC2의 전역 최대값 이후 최초로 나타나는 로컬 최소값은 t_2 와 일치하는 경향을 보였다(Fig. 6). 이는 주성분 분석을 이용한 모션시퀀스의 세그멘테이션에 관한 기존연구^[9]의 결과와 일관된 것으로 볼 수 있다.

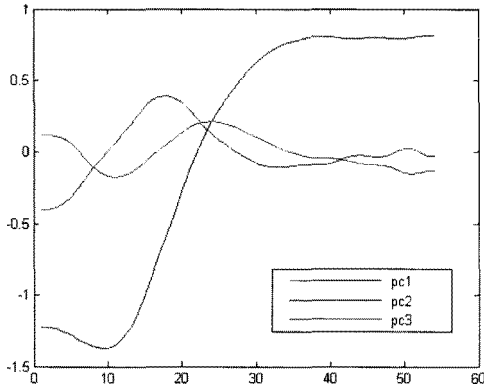


Fig. 6. 첫 3개의 주성분에 내용하는 계수들의 그래프.

준비 단계, 액션 단계, 그리고 마무리 단계의 경계를 이루는 두 프레임 시점이 모든 모션클립에 대하여 일치하도록 단계별 선형 스케일링(piecewise linear scale)하여 시간 정규화(time normalization)를 시행하였다. 이렇듯 상호간에 상용관계가 확립된 모션들은 프레임들을 순서대로 나열하여 벡터로 표현하였을 때 그 차원이 동일하므로, 이들에 대한 평균 모션 계산을 비롯한 각종 통계적 분석이 가능하게 된다.

시간-정규화된 클립에서 준비 단계와 가속 단계의 경계시간 t_1 및 마무리 단계의 사작 시간 t_2 , 그리고 전체 수행 시간 길이 t_{end} 는 전체 모션클립의 평균 시간들로 정하였다. 본 연구에서 사용한 모션 클립으로부터 계산한 t_1 의 평균시간 \bar{t}_1 은 6, \bar{t}_2 는 29, \bar{t}_{end} 는 50 (단위: 프레임)이었다.

3.5 평균모션 및 아이겐모션 계산을 통한 모션데이터 압축

시간 정규화를 거친 각각의 모션 클립을 주성분 분석을 수행을 통해 차원을 줄인 형태는 다음과 같다:

$$m_j = (p'_0, p'_1, \dots, p'_{10}, c'_1, c'_2, \dots, c'_{50})^T,$$

$$p' \subseteq R^{95}, c' \subseteq R^{10}, \quad j = 1, \dots, N$$

이렇게 하나의 모션클립 데이터를 표현하는

$m_j \in R^{1545}$ 들을 본 논문에서는 ‘모션벡터’라고 명명하였다. 본 연구의 모션클립 데이터는 185개의 모션 벡터셋을 구성하며($N=185$), 이들은 모두 동일한 동작에 대한 데이터이므로 역시 주성분 분석을 수행함으로써 데이터의 차원을 줄일 수 있다. 즉, 아이겐 모션벡터들로 이루어진 직교 기저 공간을 찾은 뒤, 각각의 모션벡터는 다음 식과 같이 평균모션벡터 m_0 와 아이겐모션벡터 m_k 의 가중치 선형결합으로 표현된다.

$$m_j = m_0 + \sum_{k=1}^{1544} d_k^j \cdot m_k$$

위 식에서 m_0 와 m_k 는 모든 프레임들에 대하여 동일하고, 아이겐모션벡터를 처음의 몇 개만 사용하여도 원래 벡터의 통계적 성질을 잘 복원할 수 있으므로 하나의 모션클립은 다음과 같이 선택된 몇 개의 아이겐 계수만으로 표현할 수 있다.

$$\hat{m}_j = (d_1^j, d_2^j, \dots, d_m^j)^T, \quad m \ll 1545$$

본 연구에서 데이터의 복원에 사용된 아이겐계수는 앞의 모션클립 내 주성분분석의 경우와 마찬가지로 10이다($m=10$). 첫 번째 주성분이 전체 분산의 50.6%를 차지하였고, 10개의 주성분을 모두 사용할 경우 전체 분산의 77.9%를 커버하였다. 위의 계수로 이루어진 벡터를 모션벡터와 구분하기 위하여 ‘모션 계수벡터’라고 칭하도록 한다.

위와 같은 방법으로 각각의 모션클립은 10개의 아이겐계수들로 표현함으로써 원래 데이터보다 훨씬 적은 양의 데이터로 동일한 모션을 표현하였다. 50개의 프레임으로 이루어진 모션 클립 하나를 표현하는 데 원데이터에서는 $95 \times 50 (= 5000)$ 개, 프레임벡터 간 주성분 분석 이후에는 $95 \times 11 + 10 \times 50 (= 1500)$ 개의 부동소수로 표현하였는데, 모션벡터 간 주성분 분석 이후에는 10개만의 부동소수만으로 표현이 가능하므로 원 데이터 대비 약 2%의 양으로 압축하는 효과를 얻었다.

4. 모션속성에서 모션클립으로의 매핑함수 유도

두 번째 전처리 단계의 목표는 간결해진 모션 클립 데이터들에 대하여 모션 속성과 모션 클립 사이의 연속 함수를 유도, 임의의 새로운 모션 속성 파라미터에 대한 모션 클립의 계산을 가능하게 하는 것이다. 본 연구에서는 각 모션 클립 데이터들에 대하여 알려진

모션 속성셋을 이용하여 다차원 방사기저 함수(radial basis function)의 파라미터를 계산함으로써 속성 기반 모션 블렌딩함수를 유도하였다(Fig. 7).

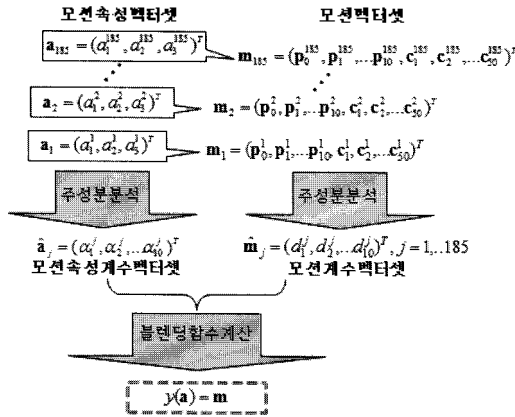


Fig. 7. 블렌딩함수의 유도에 사용된 모션속성계수셋(입력)과 모션계수벡터셋(출력).

4.1 모션 속성의 정규화

본 연구에 사용된 각 모션클립에 대하여 다음과 같은 속성들이 알려져 있다: 모션 행위자의 연령, HBP, 그리고 신장. 이들은 모두 자연스럽게 수치로 표현되는 속성들이긴 하나, 매개 변수들이 상호 독립이라고 보기는 어렵다. 예를 들면, HBP(운전자의 엉덩이 관절 중심점으로부터 시트벨트 중앙 지점까지 시선방향 거리)는 신장이나 연령과 어느 정도 상관관계가 있다고 볼 수 있다. 또한 모션속성들 간 상호 독립이 보장된다 하더라도, 4.2 절에서 설명할 방사기저함수의 입력으로 직접 사용할 경우, 입력 변수의 norm distance에 따라 가중치값이 결정되는 방사기저 함수의 특성상 절대값이 큰 속성에 의해 함수값이 지배(dominant)될 수밖에 없다.

따라서, 본 연구에서는 모션 속성셋에 대하여도 주성분분석을 통해 적교기저 공간을 찾은 후, 이 정규화된 공간에서의 좌표로 원래 모션속성 공간에서의 좌표를 대신하도록 하였다. 이 새로운 좌표 안에서 속성 벡터는 상호독립이며, 따라서 다음 절에서 설명할 방사기저 기반 블렌딩 함수의 입력으로 사용하기에 적합하다.

4.2 블렌딩 함수 계산

다음으로 임의의 속성이 주어졌을 때 이에 상응하는 모션을 생성해 내는 모션 함수를 계산하기 위해서, 데이터베이스에 있는 모션 예제들을 보간점으로

사용하는 다차원 블렌딩 함수를 계산하였다. 이 함수의 정의역은 정규화된 모션속성 공간(R^3)이며, 치역은 모션계수벡터 공간(R^m)이다. 예제에 기반한 블렌딩 함수를 계산하기 위해서 scattered data interpolation 방법(예제가 많지 않고 매핑의 성격이 비선형적인 성질을 다소 포함하고 있는 경우)이나 선형매핑 모델을(예제데이터가 충분히 많고 매핑의 성격이 선형적인 성질을 가지는 경우)을 고려할 수 있다. 좋은 성질의 블렌딩 함수를 계산해내기 위해서는 주어진 예제의 성격에 따라 적당한 매핑함수를 선택하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 방사기저함수에 기반한 scattered data interpolation 방법을 사용하여 블렌딩 함수를 구축하였다^[10]. 방사기저함수는 중심점으로부터의 거리에 의해 함수값이 결정되는 특징을 가지며, 본 연구에서 사용된 블렌딩 함수는 다음 식과 같이 가우시안 함수의 선형결합과 차수가 낮은 다항식의 합으로 구성하였다.

$$y(a) = \sum_{i=1}^N \omega_i \cdot \exp(-\|a - a_i\|^2 / \sigma^2) + p(a)$$

위 식에서 σ 는 방사기저함수의 거리에 따른 영향력의 감소의 정도를 결정하는 상수이며, a_i 간의 최소거리의 약 2배 정도로 정하는 것이 일반적이다. 예제모션으로부터 획득한 모션속성계수벡터, 모션계수벡터 쌍을 각각 위 함수식의 입력과 출력으로 대입하면, 아래와 같이 N 개의 식으로 구성된 행렬식을 푸는 문제로 귀착된다.

$$y(a_j) = \sum_{i=1}^N \omega_i \cdot \exp(-\|a_j - a_i\|^2 / \sigma^2) + p(a_j) - m_j$$

$$j = 1, \dots, N$$

여기에 다항식을 포함함으로써 늘어난 미지수의 개수만큼 아래와 같은 제한조건을 추가하면 블렌딩 함수의 모든 변수 ω, p 를 결정할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^N \omega \cdot q(a_j) = 0, \text{ for all } q \in \Pi_m$$

블렌딩 함수에 대한 계산이 완료되면 모션데이터베이스에 존재하지 않는 새로운 속성을 매핑함수에 입력하였을 때 기존의 모션들을 적당히 블렌딩하여 새로운 속성에 대응하는 모션을 생성해 낼 수 있다. 예제 속성들에 대한 입력 속성의 정규화공간에서의 거리에 반비례하여 모션계수의 블렌딩에 사용되는 가중치가 정해진다. 물론, 기존 모션클립의 알려진 속성을

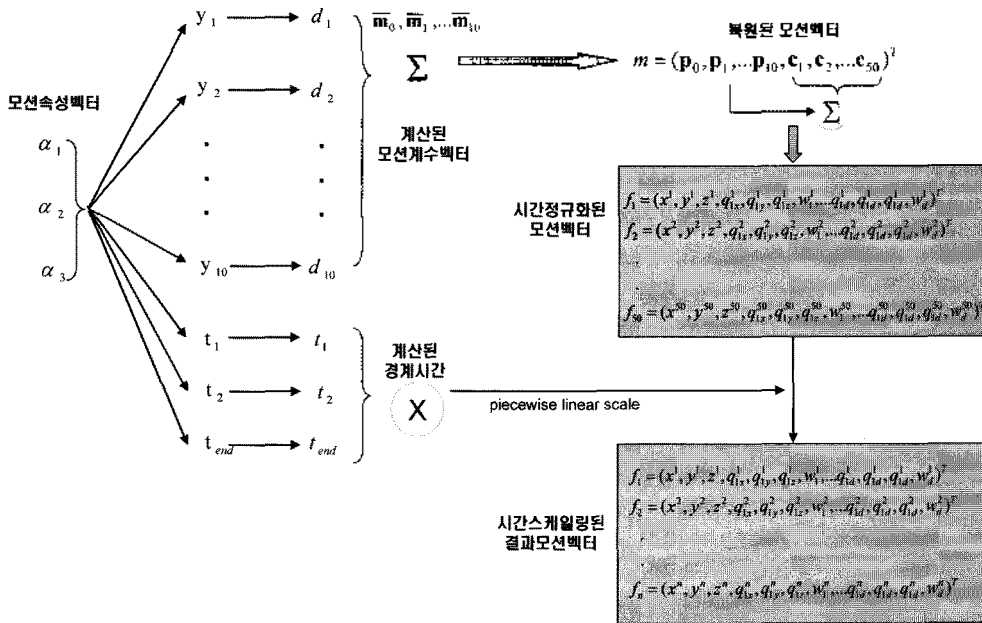


Fig. 8. 온라인 모션 블렌딩 과정 요약도.

입력했을 경우 해당 예제 모션을 그대로 출력한다.

4.3 뿔침동작 시간

블렌딩 함수에 사용된 모션클립들은 시간 정규화를 거쳤기 때문에 결과 모션데이터는 항상 일정한 수행시간(50프레임)을 가지게 된다. 본 연구에서는 모션 속성과 안전벨트 뿔침 동작의 수행 시간 사이에도 상관관계가 있을 것이라고 가정하고, 모션 수행 시간에 대한 블렌딩 함수셋도 함께 구축하였다. 이들 수행시간 함수셋은 모션속성을 공통 입력으로 하여, 각각 준비 단계와 액션 단계의 분기 시간인 t_1 , 마무리 단계의 시작시간인 t_2 , 그리고 마무리 모션의 종료 시간인 t_{end} 를 프레임 번호 단위로 계산한다. 이렇게 계산된 시간을 정규화된 모션 클립을 스케일링하는 데 사용함으로써, 블렌딩에 의해 계산된 수행시간이 모션 속성에 따른 실제 모션 수행시간을 반영하도록 하였다.

5. 온라인 모션 블렌딩

블렌딩 함수 계산이 끝난 후에는 사용자로부터 입력한 모션 속성에 대응하는 적절한 모션계수벡터를 즉시 계산할 수 있다. 계산된 모션계수벡터와 전처리 과정에서 계산된 평균 및 아이겐모션벡터를 사용하여 해당 모션을 표현하는 모션벡터를 복원하였다. 복원

된 모션벡터를 다시 평균 자세 및 아이겐자세, 그리고 정규화된 프레임 데이터(아이겐계수)로 분리한 뒤 이들을 조합하여 정규화된 프레임셋으로 복원하였다. 마지막으로, 모션속성 입력으로부터 수행시간을 계산하여 정규화된 프레임셋을 적절하게 타임스케일링하여 즉시 재생 가능한 모션데이터를 계산하였다. Fig. 8에 온라인 모션 블렌딩 과정을 도시화하였다.

5.1 사용자 인터페이스

아래 Fig. 9에 실시간 모션 블렌딩 프로그램 “MotionBlender”의 사용자 인터페이스를 보였다. “Prepare blending” 버튼을 눌러 전처리 결과를 파일로부터 읽어들이 블렌딩함수를 셋업하고, ‘Parameter’ 그룹에 속한 모션 속성 파라미터 값을 입력한 후 “Computer motion” 버튼을 누르면 계산된 모션이 그래픽 화면에서 재생된다.

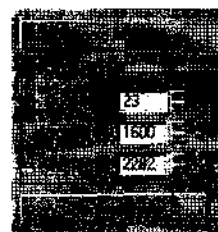


Fig. 9. 모션블렌더 프로그램의 사용자 인터페이스.

5.2 제어 속성의 정규화

진처리 과정에서 계산된 모션 블렌딩 함수는 정규화된 모션속성벡터를 입력으로 한다. 사용자가 입력한 속성값은 따라서, 다음과 같이 정규화된 후 방사기저함수의 입력으로 사용하였다.

$$x = (a_1 a_2 a_3)^T, a_i = (q - q_0) \cdot q_i, i = 1, 2, 3$$

즉, 입력된 속성값을 각각의 원소로 하는 속성벡터 q 에서 평균속성벡터 q_0 를 뺀 것을 아이겐속성벡터 a 내적하여 i 번째 정규화 속성원소를 획득하였다.

5.3 모션복원

앞 절에서 설명한 방사기저함수 기반 모션 블렌딩 함수에 정규화된 속성벡터를 입력으로 하여 계산한 결과 10개의 부동소수로 이루어진 모션계수들을 획득할 수 있다. 이들 계수들을 다음과 같이 진처리과정에서 계산해 둔 평균 모션벡터 및 아이겐모션 벡터와 결합하여 결과 모션벡터를 생성하였다. 즉,

$$m(x) = m_0 + \sum_{k=1}^{10} d_k(x) \cdot m_k, m \in R^{1545}$$

계산된 모션벡터의 처음 95개, 그 다음 95×10개, 그리고 마지막 10×50개 원소를 각각 평균자세, 처음 10개의 아이겐자세, 그리고 10개의 아이겐 계수로 표현된 프레임 50개의 데이터로 분리하였다. 이어 각각의 프레임을 표현하는 아이겐 계수들을 해당하는 아이겐자세 벡터에 곱하여 더한 후 평균자세 벡터를 합하여 즉시 재생이 가능한 쿼터니언으로 표현된 관절 각 형태의) 프레임 데이터로 복원하였다.

복원된 프레임 데이터는 시간 정규화된 것이다(50 프레임). 이 프레임데이터를 재생하되 모션 속성에 따른 모션 수행 시간을 반영하기 위하여, 모션클립 예제들로부터 계산된 방사기저함수 기반 블렌딩 함수를 evaluate하여 준비단계와 액션단계의 경계시간 $t_1(x)$, 마무리 단계의 시작 시간 $t_2(x)$, 그리고 모션클립의 전

채수행 시간 $t_{end}(x)$ 을 계산한 후, 결과모션이 이를 반영하도록 다음과 같이 구간별 선형(piecewise linear) 시간 스케일을 적용하였다.

$$s(t) = \begin{cases} \frac{t_1}{6} & (1 \leq t \leq 6) \\ \frac{t_2 - t_1}{29 - 7} & (7 \leq t \leq 29) \\ \frac{t_{end} - t_2}{50 - 30} & (30 \leq t \leq 50) \end{cases}$$

6. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 운전자의 벨트 착용 준비 모션을 대상으로 한 데이터기반 모션생성 방법을 연구하고 개발하였다. 우선 각 모션클립에 나타난 운전자의 오른쪽 어깨관절각의 속도변화에 근거하여 모션구간을 자동추출한 후, 전체 모션클립에 걸쳐 이 구간들이 시간 축 상에서 서로 일치하도록 구간별 선형스케일(piecewise scale)하여 프레임간 상응 관계를 확립하였다. 또한 각각의 모션클립을 구성하는 프레임셋에 대해 주성분분석을 수행하여 평균자세벡터와 아이겐자세벡터, 그리고 프레임당 10개씩의 아이겐계수들로 원래의 모션데이터를 대신함으로써 중복을 제거하고 보다 간결한 형식으로 모션클립을 표현하였다. 이어 이러한 형식으로 표현한 모션클립셋에 대하여 또 한 번의 주성분분석을 수행, 아이겐모션에 대응하는 일련의 계수들만으로 원래 모션 데이터를 표현함으로써 차원을 획기적으로 줄일 수 있었다. 마지막으로, 각 모션클립의 속성과 아이겐계수셋을 보간점으로 하는 방사기저함수를 계산함으로써 모션클립 속성과 아이겐계수셋 사이의 상관관계를 연속함수 형태로 표현하였다. 결과물인 모션 블렌딩 함수를 이용하여 사용자가 원하는 모션속성에 대응하는 벨트 착용 준비 모션을 온라인으로 생성할 수 있었다.



Fig. 10. 블렌딩 결과 생성된 모션(나이 23세, 신장 175 cm, HBP 355 mm의 파라미터 입력).

본 연구에서는 운전자의 신장을 제외한 다른 외형에 대한 처리는 하지 않았다. 즉, 관절각의 시간에 따른 변화로 표현되는 모션데이터에 대한 매개변수화 및 속성변수에 따른 블렌딩만을 수행하였고, 운전자의 다리길이, 어깨 너비 등의 체형과 관련된 다양한 속성들은 템플릿 모델에 의해 고정되었다. 따라서, 동작의 종류에 따라서 골격들 간의 충돌 내지는 통과와 같은 문제점이 나타날 수도 있고, HBP나 신장처럼 체형과 직접적인 연관이 있는 속성들이 가시화되지 않는 단점도 존재한다. 향후 이러한 문제를 해결하기 위해 외형과 동작을 하나로 통합하여 모델링할 것이다.

본 연구에 사용된 데이터셋은 20대와 6,70대의 모션으로 치우쳐 있다. 따라서, 모션생성기에서 생성한 모션이 의미가 있으려면 사용자 입력 파라미터의 연령대를 데이터가 뒷받침된 연령대, 즉, 20대와 6,70대만으로 제한하는 것이 옳을 것이다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 입력 연령대에 특별한 제한을 가하지 않았는데, 그렇게 획득된 중간 연령대의 모션들은 눈으로 확인하기에는 자연스러워 보이지만 과연 해당 연령대의 모션 특성을 반영하는가에 대해서는 판단하기 어렵다. 따라서, 동작의 연령에 따른 일반적인 경향을 수치적으로 표현하고, 중간 연령대를 입력으로 하여 생성한 동작들이 과연 해당 연령대의 모션을 반영하는가에 대해 검증하는 것이 본 연구의 후속 과제로 남아있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(06교통핵심 C01)에 의해 수행되었음.

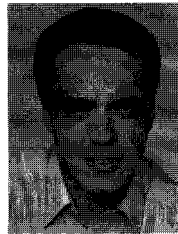
참고문헌

1. 모션어널리시스, <http://motionanalysis.co.kr/>
2. Witkin, A. and Kass, M., "Spacetime Constraints," *Proc. ACM Siggraph*, pp. 159-168, 1988.
3. Chai, J. and Hodgins, J. K., "Constraint-based Motion Optimization Using a Statistical Dynamic Model", *ACM Transaction on Graphics*, Vol. 26, No. 3, 2007.
4. Rose, C., Cohen, M. F. and Bodenheimer, B., "Verbs and Adverbs: Multidimensional Motion Interpolation", *IEEE Computer Graphics and Application*, Vol. 18, No. 5, pp. 32-40, 1998.
5. Troje, N. F., "Decomposing Biological Motion: A Framework for Analysis and Synthesis of Human Gait Patterns", *Journal of Vision*, Vol. 2, pp. 371-387, 2002.
6. Pejsa, T. and Pandzic, I. S., "State of the Art in Example-Based Motion Synthesis for Virtual Characters in Interactive Applications", *Computer Graphics Forum*, Vol. 29, No. 1, pp. 202-226, 2010.
7. Conversion between Quaternions and Euler Angles, Wikipedia.
8. Lee, J., "Representing Rotations and Orientations in Geometric Computing", *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 28, No. 2, pp. 75-83, 2008.
9. Barbic, J., Safonova, A., Pan, J.-Y., Faloutsos, C., Hodgins, J. K. and Pollard, N. S., "Segmenting Motion Capture Data into Distinct Behaviors," *Proc. Graphics Interface*, pp. 185-194, 2004.
10. Carr, J. C., Fright, W. R. and Beatson, R. K., "Surface Interpolation with Radial Basis Functions for Medical Imaging", *IEEE Trans. on Medical Imaging*, Vol. 16, No. 1, pp. 96-107, 1997.



서 혜 원

1996년 KAIST 전산학 학사
 1998년 KAIST 전산학 석사
 1998년~1999년 스위스 제네바대학
 MIRALab 교환연구원
 2004년 스위스 제네바대학 전산학 박사
 2004년~2009년 충남대학교 전기정보통신공학부 조교수
 2009년~현재 프랑스 국립과학연구원(CNRS) 소속 연구원(근무처: 프랑스 스트라스부르대학)
 연구분야: 실측데이터 기반 인체모델링, 인간과 컴퓨터 상호작용, 가상 현실 등



쿠디에프레데릭

1996년 프랑스 리옹 1대학(University of Claude-Bernard Lyon I) 전산학 학사
 1998년 프랑스 리옹 1대학(University of Claude-Bernard Lyon I) 전산학 석사
 2004년 스위스 제네바대학 전산학 박사
 2004년~2005년 KAIST 컴퓨터그래픽스 연구실 Postdoc연구원
 2005년~2007년 KAIST 문화기술대학원 초빙교수
 2007년~현재 프랑스 University of Haut Alace 조교수
 관심분야: 실시간 옷감 시뮬레이션, 스케치 입력 기반 모델링 및 텍스처매핑 등



최 우 진

2007년 홍대학교 기계공학과 학사
 2009년 홍대학교 기계공학과 석사
 현재: LG 이노텍 근무
 관심분야: 생체역학, 인간공학, 전산 모의해석 등



최 험 연

1986년 서울대학교 기계공학과 학사
 1987년 미국 스탠포드대학 기계공학과 공학석사
 1991년 미국 스탠포드대학 기계공학과 공학박사
 1991년~현재 홍익대학교 공과대학 기계시스템디자인공학과 교수
 2004년~2005년 미국 버지니아주립대학교 방문교수
 2000년~현재 프랑스 ESI Group 기술고문
 2007년~현재 (사)한국자동차안전학회 기획이사
 2009년~현재 신차안전도평가프로그램 자문위원
 관심분야: 생체역학, 인간공학, 전산모의해석, 충돌안전 등