

RGBD 센서를 이용한 실시간 사용자 동작 생성 및 보정

구태홍⁰

김운미

김종민

권태수*

한양대학교, 강원대학교

(gestoru, kimunmi7, kimjongminnew, taesoobear@gmail.com)

Real-time user motion generation and correction using RGBD sensor

Tae Hong Gu⁰

Un Mi Kim

Jong Min Kim

Tae Soo Kwon*

Hanyang University, Kangwon National University

요약

본 연구는 사용자의 자세를 모니터링하고 수정하기 위해 3D 피트니스 프로그램에 사용할 수 있는 몇 가지 기술을 제안한다. 첫 번째로 사용자와 전문가의 레퍼런스 동작간의 차이를 알기위해 두 가지 다른 신체 구조 사이의 리타게팅 기법을 연구했다. 두번째로 복잡한 운동 동작을 표현하는데 생기는 저가형 깊이 센서의 문제인 자기가림(Self-occlusion) 문제를 예제 데이터베이스와 시간 일관성을 활용하여 해결하였다. 마지막으로 사용자가 취하는 자세가 코치의 자세와 얼마나 다른지 알 수 있도록 피드백 해주는 UI를 제작하였다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 사용자의 신체적 차이를 고려하여 사용자의 자세를 평가 한 다음 사용자의 자세에 대한 피드백을 받을 수 있도록 한다.

Abstract

We propose several techniques which can be employed in a 3D fitness program for monitoring and correcting user's posture. To implement a 3D fitness program, improved reference motion generating techniques and visualizing techniques are necessary. First, in order to understand the difference between the user and the reference movement of a professional, a retargeting method between two different body shapes are studied. Second, the problem of self-occlusion, which occurs when using a low-cost depth sensor to represent complex motions, is solved by using a sample database and time consistency. The system proposed in this paper evaluates the user's posture considering the physical characteristics of the user, and then provides feedback to the user.

키워드: RGBD 센서, 리타게팅, 데이터 보정, 자세 추적

Keywords: RGBD Sensor, Retargeting, Data interpolation, Pose tracking

1. 서론

현대에는 과도한 업무로 앉아있는 시간이 길고, 여가 시간에도 PC를 이용한 다양한 취미생활로 앉아있는 시간을 연장할 뿐 서서 운동을 하는 시간을 갖는 경우는 많지 않다. 많은 사람들이 운동 부족의 심각성을 인지하고 있지만, 바

쁘고 지친 일상으로 인해 따로 운동할 여유를 갖기가 어렵다. 본 연구는 사용자의 동작을 인식하여 제시된 전문가의 동작과의 일치여부를 판단하고 피드백을 줌으로써 기존 피트니스 콘텐츠의 한계를 극복하고자 한다.

이러한 피트니스 프로그램은 제시된 전문가의 동작을 사용자가 정확하게 따라할 때 가장 큰 효과를 볼 수 있다. 이를

*corresponding author: Insung Ihm/Sogang University(ihm@sogang.ac.kr)

Received : 2017.11.8./ Review completed : 1st 2017.11.22. / Accepted : 2017.12.7.

DOI : 10.15701/kgcs.2017.23.5.67

ISSN : 1975-7883(Print)/2383-529X(Online)

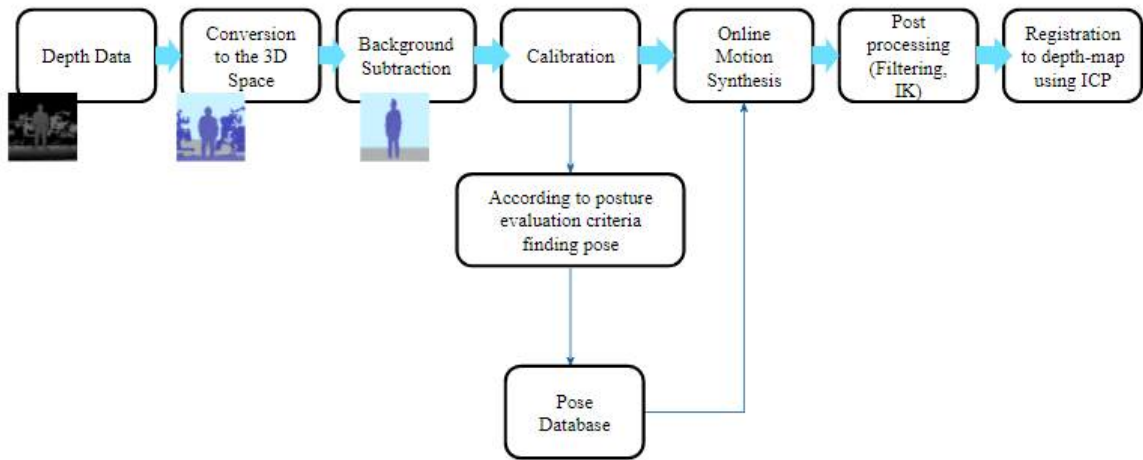


figure 1. System overview

위해서는 전문가의 신체조건으로부터 제시된 모범 운동 동작을 사용자의 신체조건에 맞게 변형한 사용자 맞춤 레퍼런스 동작과 사용자의 실제 동작과의 오차를 실시간으로 계산하고 화면을 통해 피드백을 줄 수 있어야 한다. 이 때 사용자의 동작 감지를 위한 입력 장치로서 저가형 RGBD 센서를 이용하게 되는데, 사용자 동작의 복잡도가 증가함에 따라 센서로부터 입력된 동작이 figure 1 과 같이 부정확해질 수 있고, 이는 부정확한 피드백과 운동효과 감소로 이어진다. 따라서 본 연구에서는 예제 데이터베이스, 동작의 시간 일관성, 역 기구학 기법 등을 활용하여 사용자가 자기가림(Self-occlusion)이 포함된 복잡한 동작을 수행할 때 생기는 부정확한 인체 관절 위치 정보를 보정하는 방법을 제시하였다. 또한 전문가의 레퍼런스 동작을 가상공간에 아바타로 재현하고 리타게팅 기법을 이용하여 아바타와 사용자 모션 간 차이를 정합하였다. 맞춰진 레퍼런스 모션과 사용자 아바타의 깊이 정보를 비교하였고 비교한 결과를 화면에 표시해줌으로써 사용자가 레퍼런스 동작과의 차이를 피드백 받을 수 있도록 하였다.

2. 관련연구

컴퓨터 애니메이션 분야에서의 주된 연구목표 중 하나는 실시간으로 사용자의 움직임을 최대한 반영하는 자연스러운 동작을 생성하는 것이다. 이러한 자연스러운 동작 생성을 실시간으로 생성하기 위해 모션 캡처 시스템을 통해 획득한 모션 데이터와 통계학적 방법을 활용한 연구가 많이 소개되었다. Park과 Hodgins는 모션 캡처를 위해 수백 개의 마커(Marker, 모션 캡처에서 인체 모델의 움직임을 인식하는 데

쓰이는 센서)와 여러 대의 카메라를 사용하였다[1]. 후에 Anguier et al.은 이를 개선하여 오로지 수십 개의 마커만을 이용하여 기존 연구와 동일한 품질의 메시(mesh) 데이터를 얻는 데에 성공하였다[2]. Badler et al.은 4개의 자기 센서(Magnetic sensors)와 역기구학(Inverse kinematics)을 이용하여 전신 인체 모델의 서 있는 자세를 컨트롤하는 기법을 연구하였다[3]. Lee et al.은 컴퓨터 비전을 기반으로 한 기술을 이용하여 단일 카메라를 통해 전신동작을 캡처하는 기술을 개발하였고[4], Chai와 Hodgins는 수십 개의 광학식 마커와 두 개의 비디오 카메라를 이용하여 인체 동작을 재구성화하는 기술을 연구하였다[5].

현재까지 동작 생성 기술 중에서도 마커 기반의 모션 캡처 기술은 캡처 대상(실제 사람)의 피부가 떨리는 현상[6]이나 착용한 의상이 펄럭이는 현상[7]까지도 포착해낼 수 있을 정도로 발전하였다. 하지만 이러한 기술 발전 현황과는 달리, 비윤리적·실용적 측면에서 볼 때 현실적으로 마커 기반의 모션 캡처 기술은 보급화가 어려운 경향이 있다. 실제로 마커 기반의 모션 캡처 기술의 사용은 전문적인 컴퓨터 그래픽스 기술이 동원되는 영화나 게임과 같은 거대 산업에서만 찾아볼 수 있으며, 일상생활에서는 찾아보기 어렵다. 최근 이러한 보급화 측면에서의 한계를 극복하기 위해, 일반인도 쉽게 접할 수 있는 저가형 동작 감지 하드웨어가 개발되었다. 대표적인 예로 닌텐도(Nintendo)에서 개발한 위(Wii), 소니(SONY)에서 개발한 플레이스테이션 무브(Playstation move), 그리고 마이크로소프트(Microsoft)에서 개발한 키넥트(Kinect™)가 있다. 위(Wii)는 가속도계와 비주얼 센서를 이용하여 사용자의 동작을 감지하고, 플레이스테이션 무브(Playstation move)는 관성 센서를 이용하여 컨트롤러(Controller)의 3

차원 위치를 추적한다. 특히 키넥트(Kinect™)는 본 연구에서도 사용될 예정인 동작 감지 하드웨어로, 별도의 하드웨어 장비 없이 3차원 아바타(3-dimensional avatars)를 생성할 수 있다. 저가형 동작 감지 하드웨어는 비용적 측면에서 보급화에 성공적이라는 장점이 있지만, 반대로 성능에 한계가 있다는 단점이 있다. 특히 키넥트(Kinect™)의 경우에는 다음과 같은 기술의 한계점이 다수의 연구들에서 공통적으로 제기되었다. 그 첫 번째는 해상도가 낮다는 것이고, 두 번째는 노이즈(Noise)가 많은 데이터의 경우 처리가 부정확하다는 것이다. 세 번째 한계점으로는 센서가 깊이(depth)를 인식하는 축을 기준으로 물체가 겹칠 때 이를 제대로 인식하지 못하는 자기가림(Self-occlusion) 문제를 들 수 있다.

최근에는 앞서 언급한 저가형 동작 감지 하드웨어의 기술적 한계점을 보완하기 위한 연구가 진행되는 추세이다. Shotton et al.이 제시한 자세 추적 기법은 현재 키넥트(Kinect™)에 적용되어 있는 자세 추적 방식으로, 하나의 거리 카메라만을 사용하여 사용자 관절의 3차원 위치를 실시간으로 추적한다[8]. Baak et al.은 다익스트라 알고리즘(Dijkstra algorithms)을 이용해 최적화 된 로컬 자세와 예제 동작 검색을 결합하여 실시간으로 사용자의 자세를 추적할 수 있도록 하였다[9]. 아이피아이 모션(iPi motion)은 사용자의 3D 자세를 추적하고 이에 대응하는 사실적인 3D 애니메이션을 제작해주는 상용화 된 제품이다. 이 제품은 1대 또는 2대의 키넥트(Kinect™)를 이용하여 사용자의 동작을 촬영하고(모션 캡처), 자동 필터링(Automatic filtering) 과정을 거쳐 촬영한 동작 데이터를 향상시킨 후 다시 수동 필터링(Manual filtering) 과정을 거쳐 최종적으로 3D 애니메이션을 생성한다. 다시 말해, 아이피아이 모션(iPi motion)은 실시간으로 애니메이션을 제작하는 것이 아니라, 사람의 수작업을 거쳐 애니메이션을 제작하는 제품이다. Caillet et al.은 기존의 자세 추적 알고리즘을 향상시켜 더 빠르고 복잡한 동작 또한 실시간으로 추적할 수 있도록 하였다[10]. 그는 몬테 카를로 베이지안 프레임워크(Monte-Carlo Bayesian framework)에 기반하여 사용자의 자세가 시간에 따라 불연속적으로 추적되는 현상을 제거함으로써 기존 알고리즘을 개선하였는데, 다수의 사용자를 동시에 추적하지는 못 한다는 한계가 있었다. Kwok et al.은 두 대의 키넥트(Kinect™)를 사용하여 실시간으로 보다 향상된 자세를 추적하는 기법을 연구하였다[11]. 이 기법은 각 키넥트(Kinect™)로부터 자세 추적 결과를 받고 이를 제한 조건이 있는 최적화 문제(Constrained optimization problems)로 변환하여 자세를 추적하는데, 이 때 골격의 기본 길이를 제한 조건 함수(Constrained function)으로 지정한다. 하지만 직접 자세 추적 알고리즘을 개발한 것이 아니며, 자기 가림 현상이 자주 발생하는 동작의 경우에는 자세 추적 결과가 여전히 부정확하다는 문제가 있다.

3. 레이블 셔플링된 예제 동작 데이터베이스 구축

본 연구에서 사용되는 키넥트 SDK(Kinect SDK)로부터 입력되어지는 특징 벡터들은 figure 1 과 같이 정보가 모호하고 불완전하기 때문에 사람의 동작을 3D 공간상에 재생성 하기에는 충분하지 않다. 센서에서 입력되는 정보가 일부 관절의 부정확한 위치 정보로 제한되기 때문에, 이를 기존의 IK 알고리즘 등을 통해 고자유도 모델에 그대로 적용할 경우 부자연스러운 동작이 생성된다. 인체의 동작을 3D 공간상에 재 생성하는데 문제가 되는 요인들로는 분류가 되어 있지 않은 입력들, 조인트의 누락, 인체의 앞과 뒤를 구별하지 못하는 문제점 등이 있다. 본 연구에서는 이와 같이 부정확하고 누락되는 정보들을 극복하기 위하여 레이블 셔플링(Shuffling)된 예제 동작 데이터베이스를 구축하여 문제를 해결하였다. 레이블 셔플링이란 후술할 모션 추적 기술의 기반이 되는 개념으로 하드웨어의 구분되어 입력되는 인체 특징 벡터의 좌, 우 레이블을 특정하지 않는 것이다. 예를 들면 왼쪽 팔, 오른쪽 무릎 등의 정보를 팔, 무릎과 같은 좌우 레이블링을 제거하는 형태를 뜻한다.

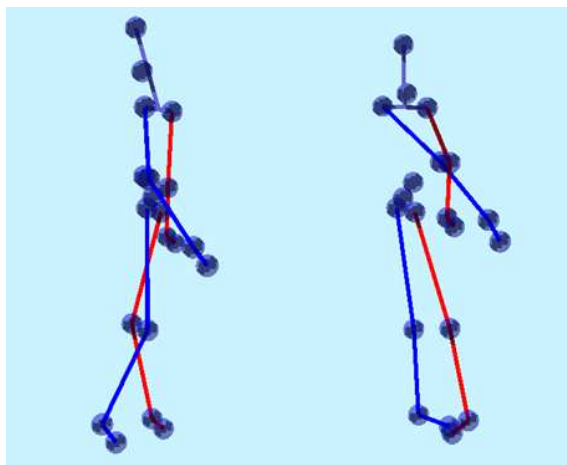


figure 2. Self-occlusion problem in Kinect SDK

본 연구에서 사용된 레이블 셔플링 된 예제 동작 데이터베이스는 센서로부터 입력되어지는 특징벡터의 좌우를 분간하기 힘들기 때문에 고안됐으며 예제 동작 데이터베이스의 좌우를 셔플링 함으로써 특징벡터의 확실하지 않은 좌우에 대응할 수 있도록 하였다. 예제 동작 데이터베이스의 레이블을 셔플링 함으로써 모호해지는 사용자 동작과 모션 간 앞, 뒤 매칭은 아래에 언급할 시간 일관성을 이용하여 해결할 수 있도록 하였다

4. 사용자 깊이 정보와 레퍼런스 동작 매칭 및 보정

4.1 자기가림 문제를 해결하기 위한 다중 가설 기반 모션 추적 기술

본 연구에서는 단안 센서의 깊이 정보의 한계인 자기가림 문제를 극복하기 위해, 다중 가설 기반 모션 추적 기술을 개발하였다. 다중 가설 기반 모션 추적 기술이란, 한정되어진 깊이 데이터 및 특징 벡터를 이용하여 각각도로 데이터를 평가, 추측하여 모션을 추적할 수 있도록 하는 기술이다. 첫 번째로 혼합된 인체 특징을 통해 하나의 피쳐 벡터(Feature vectors)가 아닌 여러 개의 피쳐 벡터를 이용할 수 있도록 하였다. 이는 예제 데이터베이스에서 최대한 많은 동작을 검색하기 위해서이며 동작 후보군이 많을수록 사용자 동작과의 비정합 확률이 낮아진다.

두 번째로 이렇게 추출되어진 동작 자세 집합을 텍스처에 투영시켜 사용자 깊이 정보와 비교하여 그중 제일 나은 자세를 평가하는 자세 평가 기술을 포함한다.

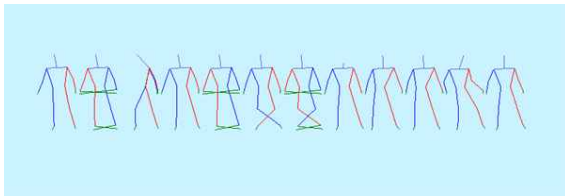


figure 3. The human body shuffling feature vectors retrieved using the inverse distance-based weighting

전문가의 레퍼런스 동작과 사용자의 동작을 비교하기 위하여 RGBD 센서에서의 입력을 통하여 추측되어지는 사용자의 관절 정보를 이용하여 예제 동작 데이터베이스에서의 가장 유사한 동작을 찾을 수 있도록 해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 역 거리기반 보간(Inverse distance weighting interpolation) 방법을 사용하여 사용자의 관절 정보를 이용하여 예제 동작 데이터베이스에서 가장 비슷한 동작을 찾을 수 있도록 하였다. 역 거리기반 보간 방법은 값을 알 수 없는 어떤 포인트가 입력으로 들어왔을 때, 이미 값을 알고 있는 여러 개의 포인트 집합으로부터 이 포인트의 값을 알아내는 보간 방법이다. 이 보간 방법의 일반화된 수식은 다음과 같다.

$$u(x) = \frac{\sum_{i=1}^N w_i(x) u_i}{\sum_{i=1}^N w_i(x)} \quad \text{Equation 1.}$$

$$\text{where } w_i(x) = \frac{1}{d(x, x_i)^p}$$

Equation 1에서의 $w_i(x)$ 함수는 특징벡터의 한 점과 예제 데이터베이스의 특징벡터들 간의 거리를 역으로 계산하는 함수이며 특징벡터별로 나열되어지는 $u(x)$ 를 큰 값으로 정렬하면 입력되어진 특징벡터와 유사한 포즈를 찾을 수 있다. 이 방법으로 생성되어진 사용자 특징벡터를 기준으로 모션 데이터베이스의 자세들과 입력되어진 i 번째 자세와의 유사함을 평가할 수 있게 된다.

이렇게 검색되어진 후보 자세군들 중 실제 사용자 포즈와 가장 비슷한 포즈를 선택하기에는 현재 가지고 있는 저자유도 센서 입력만으로는 제약조건이 부족하며, 기존에는 없었던 새로운 자세 평가 기준을 제시함으로 본 문제를 해결하였다.

$$E = w_1 E_p + w_2 E_q + w_3 E_g \quad \text{Equation 2.}$$

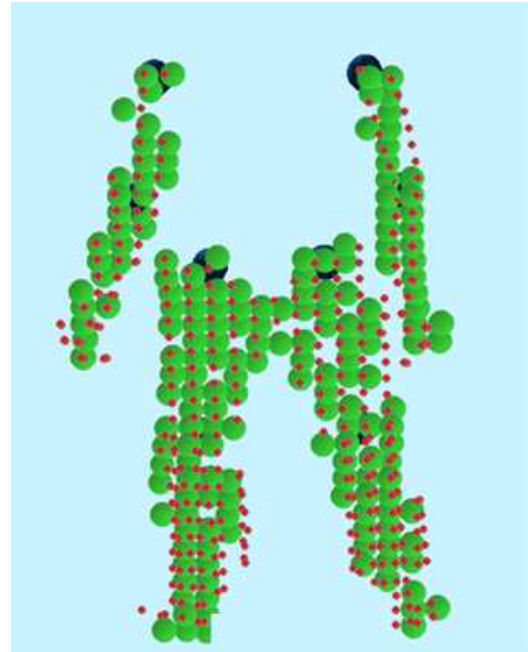


figure 4. Determine the suitability of motion depth buffer and depth data

Equation 2 는 자세 평가 기술을 수식화 하여 나타낸 것이다. 본 연구에서 제시하는 자세평가 기술은 검색되어진 예제 데이터베이스의 자세들을 Equation 2 의 수식과 같이 3 가지의 기준으로 가중치 계산하여 현 자세와의 적합도를 판단하는 것이다. 수식에서의 E_p 는 특징 벡터의 시간 일관성이며, E_q 는 자세의 시간 일관성이고 E_g 는 뎀스맵(Depth map) 적합도이다.

자세 평가 기준의 첫 번째 단계는 이전 프레임들의 특징 벡터의 위치정보들을 시간 일관성을 통해 고려하는 것이다. 사용자가 프레임과 프레임 사이에 이동할 수 있는 거리가 한정되어 있다는 가정 하에 이전 프레임에서의 사용자 동작을 기준으로 예제 데이터베이스 동작과의 차이를 포인트와 포인트 간의 위치정보 차이를 이용해 계산한다.

두 번째 단계는 이전 프레임의 각도 정보와 추출되어진 예제 데이터베이스의 각도정보의 비교이다. 각도정보도 위치정보와 같이 프레임 간의 사용자가 움직일 수 있는 범위가 한정되어 있다.

세 번째 단계는 후보 자세군을 영상에 투영시켜 현재 센서로부터 입력되는 깊이 정보와의 적합도를 판단하는 단계이다. 예제 동작 데이터베이스에서 사용자의 포즈와 가장 유사하다고 판단되는 동작을 찾은 후, 사용자의 제약 조건에 따라 동작을 변화시킬 경우, 이 조건을 만족시키는 변형된 동작을 생성하기 위해서 역운동학을 이용한 동작 변형기법이 필요하다. 역운동학이란 인체의 마지막 특징 벡터가 특정 한 장소에 위치하기 위한 관절각 파라미터간의 역학 방정식을 의미한다.

역운동학을 이용해 최종적으로 얻어진 자세를 저가형 깊이 센서의 깊이 영상에 더 잘 맞도록 보정하는 재귀적 오차 분석 성능 개선 기법을 개발하였다. 실제 사용자가 취하는 동작으로부터 얻어지는 깊이 영상의 포인트 클라우드 집합에 역운동학을 이용해 최종적으로 얻어진 자세의 깊이 버퍼를 투영한 포인트 클라우드 집합을 ICP(Iterative closest point)를 이용하여 맞춰주며 동시에 실시간 오차 정보를 획득하였다. ICP는 한 포인트 클라우드는 고정된 상태로 유지되고, 다른 포인트 클라우드는 기준과 가장 잘 일치되도록 변형된다. 변형 알고리즘은 일반적으로, 포인트 클라우드 간 거리를 최소화 하는데 필요한 변환이 반복적으로 수행된다.[12][13] 본 논문에서의 ICP 입력은 Kinect SDK의 사용자 깊이 정보와 보정 절차를 거친 동작 데이터의 깊이 정보이며 출력은 두 포인트 클라우드들 간의 정합 정보이다. 위와 같은 3가지의 평가 기준을 세우고 구현함으로써 Kinect SDK 의 자기 가림 문제를 해결하였다.

4.2 예제 동작 데이터베이스 검색 및 사용자 포즈의 보정

다양한 레퍼런스와 실제 RGBD 센서간 깊이 적합도를 평

가하는 과정을 CPU에서 처리하게 되면 시간이 매우 오래 걸리게 되어 자연스럽지 못한 영상이 획득될 위험이 있기 때문에 위의 과정을 GPU에서 처리하는 방법을 고안했다. 키넥트 좌표계와 모델 좌표계의 정합을 투영 행렬을 이용하여 그래픽 파이프라인의 질차에 맞게 구현하였으며 RTT(Render to texture)를 생성하여 지 버퍼(Z-buffers)를 렌더링했다. 여기서 RTT란, 이미지 텍스처에 실시간으로 렌더링하는 기술로 러닝타임(Running time)에 생성 및 갱신되는 특수한 텍스처이다. 일반적인 방법으로 지 버퍼(Z-buffer)를 CPU로 전송하는 방법은 시간이 오래 걸리기 때문에 프래그먼트 셰이더(Fragment shader)를 제작하여 칼라 버퍼를 읽어오는 방식으로 속도향상을 꾀했다.

실시간 오차 정보는 평균 제곱근 편차(Min squared error)를 이용하여 획득하였으며, 평균 제곱근 편차는 모델 혹은 추정 값에 의해 예측된 값과 실제로 관찰 된 값 간의 차이를 측정하는 척도이다. ICP를 활용하여 오차 정보를 획득 후, 정기구학(FK, Forward Kinematics)를 통하여 관절각을 보완하여 실제 사용자 동작에 맞도록 보정하였다. 정기구학은 운동 방정식을 이용하여 지정된 관절 매개변수의 값에서 말단장치(End effector)의 직교좌표상의 위치와 방향(Orientation)을 구하는 문제로, 말단장치의 위치만으로 나머지 관절각을 구하는 역기구학에 비해 연산하기가 상대적으로 간단하다.

레퍼런스 동작과 최종적으로 보정된 사용자 동작 간 실시간 오차 정보 획득은 레퍼런스 동작을 보정된 사용자 동작으로의 리타게팅을 통해 획득할 수 있다. 리타게팅이란 동작 데이터가 갖고 있는 커브로 표현된 각각의 관절을 새로운 조건에 맞도록 피팅(Fitting)하는 방법으로서 이를 통하여 사용자의 특징에 따라 특정 모델에 맞도록 사용자의 자세를 재구성할 수 있는 방법이다.

이러한 방식으로 전체 동작 데이터를 수정하게 되는 수치를 얻어 넘으로써 보정된 사용자 동작과 레퍼런스 데이터와의 오차를 구할 수 있다.

5. 결과

Figure 5 와 같이, 체험자가 실시간으로 오차정보를 확인할 수 있도록, 레퍼런스 데이터, 보정된 사용자 동작과 깊이 버퍼, RGBD 센서의 깊이 데이터를 한 화면에 표시할 수 있도록 개발하였다. 또한 보정된 사용자 동작을 RGB 이미지에 오버레이(Overlay)하여, 보정된 사용자 동작이 얼마나 실제 사용자 동작과 일치하는지 화면을 통해 확인할 수 있으며 실제 피트니스 프로그램에서 자세 보정 피드백 용도로 쓰일 수 있을 것이다.

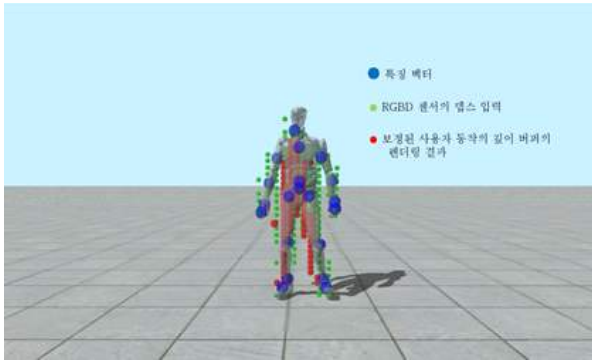


Figure. 5. Depth information of feature vector and RGBD sensor, output screen of result of rendering depth buffer of motion

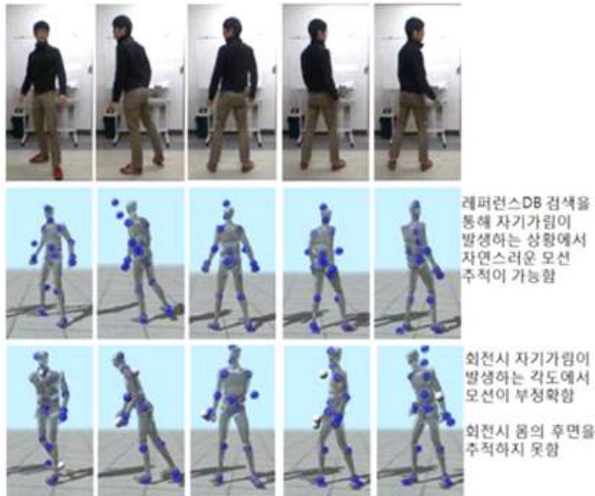


figure 6. Motion tracking system that accurately tracks motion even in case of self-occlusion

figure 6 에서 실험된 데이터는 제자리에서 왼쪽, 오른쪽으로 도는 동작이며 마이크로소프트 (Microsoft)에서 개발된 Kinect SDK에서는 figure 2 와 같이 자기가림(Self-occlusion)현상과 함께 자세가 매우 일그러지는 것을 확인할 수 있으나 본 연구에서 개발된 방법을 사용하여 자연스럽게 도는 동작을 확인할 수 있다. 또한 견고하지 못한 입력으로 인하여 발생하는 라벨링 오류를 실시간으로 수정하기 위하여 리셋 버튼을 추가하여 앞, 뒤의 오류를 수정할 수 있도록 하였다. 본 연구는 깊이 센서를 이용한 인체 추적 방법의 고질적 문제인 자기가림 문제를 해결하고, 사용자 동작과 레퍼런스 동작 사이의 차이를 표현해주는 방법을 포함하는데 의의가 있다.

하지만 예제 데이터베이스 검색을 기반으로 하는 방법이

때문에 예제 데이터베이스 의존성이 높다는 단점을 가지고 있으며 데이터베이스의 크기가 커질 경우 검색 속도가 선형으로 늘어난다는 한계 역시 가지고 있다. 따라서 좀 더 일반적인 자기가림 문제 해결 방안을 위해 본 연구에서 제안된 예제 데이터베이스를 대체하거나 새로운 방법으로 활용할 방법이 필요할 것이다.

감사의 글

본 논문을 작성하며 많은 도움을 주셨던 권태수 교수님, 김종민 교수님과 같이 연구실 생활을 하며 어려운 일, 힘든 일들을 같이 겪었던 성진욱, 정진욱 두 진욱이들과 물심양면으로 많은 도움을 줬던 강다은, 김희민 학생들에게 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

Acknowledgement

본 연구는 학제간융합지원사업/씨앗형 과제의 지원을 받아 수행되었음.

References

- [1] Park, Sang Il, and Jessica K. Hodgins. "Capturing and animating skin deformation in human motion." *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. Vol. 25. No. 3. ACM, 2006.
- [2] De Aguiar, Edilson, et al. "Marker-less deformable mesh tracking for human shape and motion capture." *Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. CVPR'07. IEEE Conference on*. IEEE, 2007.
- [3] Badler, Norman I., Michael J. Hollick, and John P. Granieri. "Real-time control of a virtual human using minimal sensors." (1993).
- [4] Lee, Jehee, et al. "Interactive control of avatars animated with human motion data." *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. Vol. 21. No. 3. ACM, 2002.
- [5] Chai, Jinxiang, and Jessica K. Hodgins. "Performance animation from low-dimensional control signals." *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. Vol. 24. No. 3. ACM, 2005.
- [6] Vlasic, Daniel, et al. "Articulated mesh animation from multi-view silhouettes." *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. Vol. 27. No. 3. ACM, 2008.
- [7] Loper, Matthew, Naureen Mahmood, and Michael J. Black.

"MoSh: motion and shape capture from sparse markers." A CM Transactions on Graphics (TOG) 33.6 (2014): 220.

- [8] Shotton, Jamie, et al. "Real-time human pose recognition in parts from single depth images." Communications of the ACM 56.1 (2013): 116-124.
- [9] Baak, Andreas, et al. "A data-driven approach for real-time full body pose reconstruction from a depth camera." Consumer Depth Cameras for Computer Vision. Springer London, 2013. 71-98.
- [10] Caillette, Fabrice, Aphrodite Galata, and Toby Howard. "Real-Time 3-D Human Body Tracking using Variable Length Markov Models." BMVC. 2005.
- [11] Kwok, Tsz-Ho, Kwok-Yun Yeung, and Charlie CL Wang. "Volumetric Template Fitting for Human Body Reconstruction from Incomplete Data." Journal of Manufacturing Systems 33.4 (2014): 678-689.
- [12] P. J. Besl and N. D. McKay, "A method for registration of 3-D shapes," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 14, no. 2, pp. 239-256, Feb. 1992.
- [13] Yang Chen, Gérard Medioni, Object modelling by registration of multiple range images, In Image and Vision Computing, Volume 10, Issue 3, 1992, Pages 145-155, ISSN 0262-8856

〈저자소개〉



구 태 홍

- 2015 한양대학교 컴퓨터공학부 학사
- 2015~현재 한양대학교 지능형 로봇학과 석사과정



김 윤 미

- 1981 한양대학교 무용학과 학사
- 1984 서울대학교 대학원 석사
- 1991 한양대학교 대학원 박사
- 1992~현재 한양대학교 예술학부 무용학과 교수



권 태 수

- 2000 서울대학교 컴퓨터과학 학사
- 2002 서울대학교 컴퓨터공학 석사
- 2007 한국과학기술원 컴퓨터공학 박사
- 2008 서울대학교 이동연구소(Movement Research Lab) 연구교수
- 2012 카네기 멜론 대학교(Carnegie Mellon University) 로봇 연구소 연구교수
- 2013~현재 한양대학교 소프트웨어학과 교수



김 종 민

- 2006 한국과학기술원 전자전산학 학사
- 2014 서울대학교 전기컴퓨터공학 박사
- 2015 한양대학교 임베디드소프트웨어 연구소 연구교수
- 2016 뉴질랜드 웨타디지털 (Weta Digital) 모션 캡처 연구원
- 2017 뉴질랜드 웨타디지털 (Weta Digital) 모션 캡처 자문위원
- 2017~현재 강원대학교 IT대학 컴퓨터과학전공 조교수