# Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 3:558~567 Mar. 2017

# 다중 키넥트 센서 기반의 운동 자세 추정 시스템 설계 및 구현

조용주<sup>1</sup> · 박경신<sup>2\*</sup>

# Design and Development of the Multiple Kinect Sensor-based Exercise Pose Estimation System

Yongjoo Cho<sup>1</sup> · Kyoung Shin Park<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Computer Science, Sangmyung University, Seoul 03016, Korea

#### 요 약

본 연구에서는 다수의 키넥트 센서를 이용하여 효율적인 실시간 운동 자세 추정 시스템을 설계하고 개발하였다. 이 시스템은 정면과 측면에 키넥트 센서를 사용하여, 한 개로 추적이 어려웠던 사용자의 특정 자세 (예를 들어, 무릎 컬 또는 런지)를 보다 정확하게 측정하고 인식하는 것을 목적으로 한다. 그리고 추후 다양한 자세를 지원할 수 있도록 확장 가능하고 모듈화 된 방법으로 설계되었다. 이 시스템은 여러 클라이언트와 유니티 3D 서버로 구성된다. 클라이언트는 키넥트 골격 데이터를 처리하여 서버로 전송한다. 서버는 다중 키넥트를 보정하고, 각도와 거리를 기반으로 한 특징 값 추출하며 여러 대의 키넥트로부터 계산된 특징 값의 가중 평균을 사용하여 자세 인식 모델을 기반으로 자세 추정 알고리즘을 적용한다. 본 논문은 다중 키넥트 센서를 이용한 인간 운동 자세 추정 시스템의 설계 및 구현 방법을 제시하고, 체험형 유니티 3D 운동 게임에 적용한 예시를 설명한다.

#### **ABSTRACT**

In this research, we developed an efficient real-time human exercise pose estimation system using multiple Kinects. The main objective of this system is to measure and recognize the user's posture (such as knee curl or lunge) more accurately by employing Kinects on the front and the sides. Especially it is designed as an extensible and modular method which enables to support various additional postures in the future. This system is configured as multiple clients and the Unity3D server. The client processes Kinect skeleton data and send to the server. The server performs the multiple-Kinect calibration process and then applies the pose estimation algorithm based on the Kinect-based posture recognition model using feature extractions and the weighted averaging of feature values for different Kinects. This paper presents the design and implementation of the human exercise pose estimation system using multiple Kinects and also describes how to build and execute an interactive Unity3D exergame.

**키워드** : 멀티 키넥트 센서, 운동 자세 추정, 대화형 운동, 운동 응용프로그램

Keyword: Multiple Kinect sensors, Exercise Pose Estimation, Interactive Exercise, Fitness Applications

Received 09 January 2017, Revised 11 January 2017, Accepted 25 January 2017

\* Corresponding Author Kyoung Shin Park (Email: kpark@dankook.ac.kr, Tel:+82-31-8005-3161

Department of Applied Computer Engineering, College of Engineering, Dankook University, Yongin-si, Gyeonggi-do, 16890, Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.3.558

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/ by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

<sup>&</sup>lt;sup>2\*</sup>Department of Applied Computer Engineering, Dankook University, Yongin-si, Gyeonggi-do, 16890, Korea

## Ⅰ. 서 론

최근 의학과 과학의 발달로 인하여 인간의 평균 수명이 연장되고 세계적으로 고령화 사회가 진행됨에 따라노인 인구의 증가에 대비한 다양한 정책 및 연구들이과거에 비하여 많이 진행되고 있다. 이에 따라노인들의 체력 및 인지 향상을 위한 다양한 연구들이 시도되고 있다. 그 중 활발하게 연구되고 있는 분야로 엑서 게임(Exergame)이 있다[1]. 엑서 게임이란 운동과 비디오게임을 결합한 기능성 게임으로 운동을 게임 콘텐츠로만들어 사람들로 하여금 재미있게 운동을 유도하여 건강한 삶을 이끌도록 하고 있다.

90년대 후반 닌텐도 사의 위(Wii)가 대중적 인기를 끌면서 이후 마이크로소프트사 Xbox 게임기에 Kinect 센서나 소니사 Playstation에 PSEye 카메라를 이용한 사용자의 움직임을 기반으로 한 다양한 체험형 게임이 등장했다. 이러한 체험형 게임에서 더 나아가 닌텐도사에서는 Wii Fit Balance Board와 함께 다양한 운동 게임을 제공하였다. 위 핏을 이용해서 게임을 하면 운동량이 기록되며 이렇게 기록된 운동 시간이 많아지면 더 많은 트레이닝 프로그램을 사용할 수 있도록 하여 운동을 유도하였다.

최근 마이크로소프트사에서는 Xbox One 게임기를 출시하며 더욱 성능이 개선된 키넥트 V2 컨트롤러를 제공하였다. 키넥트 V2는 기존 키넥트 컨트롤러에 비해 해상도도 많이 높아지고, 동시 사용할 수 있는 사용자의 숫자도 6명으로 늘었을 뿐만 아니라 다양한 표정이나 인체의 꺾이는 부분에 대한 각도 등을 측정할 수 있도록 성능이 좋아졌다. 그러나 키넥트 한 대를 사용할 경우 사용자 몸의 일부분이 다른 일부분을 가리는 등과 같은 특정 자세에 대하여 떨어지는 인식 성능 때문에 이에 대한 개선이 필요하다.

본 연구에서는 한 대의 키넥트 센서를 사용함으로써 발생되는 가려짐 문제 등을 극복하기 위하여, 다수의 키넥트 센서를 활용하여 사용자의 운동 동작 자세를 인 식하고 판별해서 볼 수 있도록 알려주는 시스템을 설계 개발하였다. 이전 연구에서 키넥트를 이용해서 사용자 의 운동 자세를 인식하는 모델링을 통하여 한 대의 정 면에 위치한 키넥트 만으로 12종 사용자의 운동 자세를 파악하였다[2]. 그러나 정면에 위치한 단일 키넥트 센서 로는 런지(LUNGE)나 무릎 뒤로 감기(KNEE CURL)과



Fig. 1 The multiple kinect sensor-based pose estimation system used in the Unity3D exercise game

같은 자세 판별이 어려운 점을 발견하였다. 이는 키넥 트 센서의 특성 상 사용자 다리나 팔이 몸에 의해서 가려지는 경우에 제대로 인식되지 못함으로써 운동 자세를 추정하는데 제한적인 요소가 되었기 때문이다.

그림 1은 본 연구에서 개발한 시스템을 사용하여 운동 자세 인식을 하고 있는 '총총 스텝 마스터' 체험형운동 게임 콘텐츠를 플레이하고 있는 장면을 보여준다. 그림에서 보이듯이 정면과 오른쪽 측면에 각각 1대의키넥트를 설치하여 보다 다양한 사용자의 운동 자세를 좀 더 정확하게 측정하고 인식하고 있는 모습을 보여준다. 본 시스템은 운동 자세 모델링을 스크립트화 하여비교 분석이 가능하게 함으로써, 추후에 더 많은 다양한 자세를 추가로 지원하는 것이 가능하도록 확장적 모듈 방식으로 개발하였다. 그리고 다수의 키넥트 입력장치를 사용하기 위하여 클라이언트/서버 형태로 구성하였다.

기존의 연구에서 키넥트를 사용한 체험형 운동 게임이 많이 개발되었다. 특히 고령자를 대상으로 한 치매예방용 게임[3, 4]이나 걷기 게임[5]은 특정 입력장치를 사용하거나 사용자의 몸에 특정 장치를 부착할 필요가 없이 전신 동작이나 제스쳐를 기반으로 하여 노인들이 비교적 간단하게 게임을 즐길 수 있게 하였다. 또한 키넥트를 이용한 제스쳐나 인간 동작 인식 처리 연구도 많이 진행되었다[6-8]. 주로 영상처리기법을 이용한 연구가 많았고 사용자의 움직임의 이동량을 이용한 비교적 간단한 동작이나 제스쳐 인식에 대한 연구가 주를 이루었으며, 운동 게임을 위한 사용자의 전신 운동 동

작 자세에 대한 인식 연구는 아직까지 많이 진행되지 않았다.

본 논문에서는 먼저 키넥트 센서를 사용한 체험형 운동 게임 및 자세 인식 처리에 관련된 연구를 살펴본다. 그리고 단일 키넥트로 추정이 어려웠던 운동 자세 (예를 들어, 런지나 니컬) 인식을 위하여 본 연구에서 제안하는 다수의 키넥트 센서에 기반을 둔 사용자 운동 동작 자세 추정 시스템의 설계 및 구현을 설명한다. 또한, 본 시스템을 사용하여 Unity3D 체험형 운동 게임 콘텐츠인 총총 스텝 마스터 운동 시스템 개발에 적용된 사례를 살펴본다. 마지막으로 결론에서는 본 시스템의 활용 및 향후 연구 방향에 대해서 논한다.

#### Ⅱ. 관련 연구

#### 2.1. 키넥트를 사용한 체험형 운동 게임

키넥트를 활용한 치매 예방용 게임은 기존의 치매 예방 및 완화를 위한 기능성 게임 중에서 전신 동작 인식을 통한 개발된 게임 사례가 드물다는 점에서 착안해 개발된 연구이다[3]. 마우스나 키보드 등의 장비를 익힐 필요 없이 키넥트를 통한 동작인식 인터페이스를 사용하여 쉽게 게임을 할 수 있도록 하였다. 이 연구에서는 주요 동작 정의를 위해 사람의 신체 부위 중에서 왼손 오른손과 머리의 관절 좌표 (즉, 오른손의 상하좌우 방향과 왼손의 상하좌우 방향의 8가지, 머리 좌표의 위아래 방향으로 2가지 경우 판단)를 이용하였으며, 청기백기, 사칙연산, 율동 따라하기 게임에 적용하였다.

치매 예방을 목적으로 한 제스쳐 기반의 3차원 기능성 게임 연구에서는 프라임센스(PrimeSense)사의 3차원 깊이 카메라(3D Depth Camera)와 OpenNI SDK를 이용하여 사용자의 관절 정보를 획득하고 이 관절 위치 및 방향을 이용하여 관절의 움직임을 분석하여 사용자의 전신 제스처를 인식하여 마우스 이동, 마우스 클릭등 게임 컨트롤에 사용하였다[4]. 이 연구에서는 15개의 관절의 위치와 방향 변화에 따라 (즉, 각 영상마다 관절 사이의 거리를 측정하여) 21가지의 제스쳐 (즉, 왼팔앞으로, 왼팔 아래로, 왼팔 위로, 왼팔 뒤로, 왼팔 교차등등)의 동작을 인식한다.

고령자를 위한 기능성 걷기 게임인 '팔도강산3' 연구에서는 키넥트 센서를 이용한 사용자의 동작 인식을 이

용하여 시장보기 게임을 개발하였다[5]. 이 게임은 사용자가 시장을 걸어 다니며 가게 앞에서 파는 음식이 등장할 때 주어진 임무에 맞는 음식을 기억하여 왼 손 또는 오른 손으로 그 가게 앞에서 손을 들어 선택하여 물건을 구입하면 점수를 얻는 방식으로, 사용자의 기억력향상과 선택적 반응 능력을 향상시키는 것을 목표로 하였다.

#### 2.2. 키넥트를 사용한 동작 및 자세 인식 처리

키넥트를 이용한 인간 자세 인식 실시간 처리 연구에서는 0.1초 마다 영상을 입력받아 영상처리 기법을 활용하여 인체 영역의 정보만을 추출하고 배경을 제거한후 키넥트 SDK에서 제공하는 Joint Angle 기반 방식과 Virtual 3D Joint를 사용하여 최종적으로 특징점 데이터기반의 골격 모델을 형성한다. 이 특징 값으로 인간의자세 인식을 분류하기 위하여 퍼지 분류기를 사용하였다. 이를 통하여 좌우 걷기, 한손 들고 내리기, 양팔 들고 내리기, 발 들고 내리기와 같은 자세 인식을 하였다[6].

키넥트 센서 기반 슈팅 게임을 위한 팔 제스처 인식 연구에서는 키넥트 SDK를 이용하여 획득된 골격 (Skeleton) 정보를 2-계층 모델로 구성하여 팔 제스처를 인식에 사용한 방법을 제안하였다[7]. 계층 1에서는 HMM(Hidden Markov Model) 알고리즘 기반의 임계치 (Threshold) 모델을 통하여 제스처와 제스처가 아닌 것을 분류하였다. 계층 2에서는 이렇게 추출된 정보에 CRF (Conditional Random Field) 알고리즘을 기반으로 하여 특정 제스처를 인식하였다. 키넥트의 골격 (Skeleton)으로부터 어깨, 팔꿈치, 손목 위치 정보와 관련된 각도를 제스처의 특징으로 추출한 후, 7개의 제스처(Shoot, Reload, Up, Down, Left, Right, Grab)를 정의하여 사용하였다.

3D 콘텐츠 제어를 한 키넥트 기반의 동작 인식 모델 연구에서는 사람 움직임을 추적하고 몸동작 모델 인식을 통하여 3차원 콘텐츠 제어에 사용할 수 있는 기법을 제안하였다[8]. 이 연구에서는 키넥트 SDK를 이용하여 사람의 오른팔과 왼팔의 손목, 팔꿈치, 어깨 움직임의이동 거리 값, 즉 (X, Y, Z) 값의 변화량을 계산하여 사람의 동작 모델을 구한다. 그리고 이 모델을 사용하여 좌, 우, 상, 하, 확, 축소, 선택 등의 7가지 동작 상태를 인식하였다. 예를 들어 좌로 이동은 오른팔을 이용하여

어깨선을 중심으로 손목, 팔꿈치 변화가 좌측으로 이동 하는 방식으로 구한다.

# Ⅲ. 다중 키넥트 기반의 운동 자세 추정 시스템 설계

본 연구에서는 좀 더 복잡하고 다양한 운동 자세를 추정하기 위하여 다수의 키넥트 입력 장치를 통합하여 사용하였다. 본 시스템은 사용자의 운동 동작 자세 추정을 위하여 Microsoft사의 Kinect V2 SDK에서 제공하는 25개 골격 관절 정보를 사용하였다. 그리고 키넥트 V2는 USB 대역폭 등의 문제로 두 개 이상의 키넥트를 한 대의 컴퓨터에서 처리하는 것이 어려우므로, 1개의시스템에 1대의 키넥트 입력 장치만을 사용할 수 있는 Kinect V2 SDK의 한계를 극복하고 다수의 키넥트로부터 입력을 받아 자세 인식에 활용할 수 있도록 클라이언트-서버 구조를 적용하였다.

#### 3.1. 다중 키넥트 카메라 보정

일반적으로 여러 개의 카메라를 사용하는 연구들에서는 체스 보드나 마커 봉 등을 이용해서 다수의 카메라간의 위치 및 방향 정보를 계산하여 일치시키는 카메라 보정(calibration)작업을 먼저 진행한다. 하지만 본 연구에서는 모든 키넥트 카메라에서 보이는 영역 안에서 사용자가 일정 시간 움직인 정보를 활용해서 카메라를 보정하는 방법을 사용하였다. 이를 위해서 먼저 여러개 키넥트를 위치시키고, 사용자로 하여금 약 10~20초정도의 시간동안 자유롭게 움직이도록 하고, 다수의 키넥트에서 추적한 사용자의 골격 정보를 저장한다.

그리고 이러한 사용자 골격 정보에 ICP (Iterative Closest Point) 알고리즘[9]을 적용하여 카메라 간의 외부 변수에 해당되는 행렬을 계산하고, 이를 이용해서다중 키넥트 간의 상대적인 위치 및 방향을 보정한다. ICP 알고리즘은 두 개의 2차원 또는 3차원 점들의 집합을 등록하기 위한 유클리드 변환 알고리즘으로 수많은 응용프로그램에 적용된다. ICP 알고리즘은 반복적으로 점대점 대응 관계들을 추정함으로써 두 개의 점들의 집합간의 기하학적인 변환(즉, 회전 및 이동)을 추정하는 방식이다. 식 (1)과 식 (2)을 사용하여 두 개의 3차원 점들의 집합을 등록한다.

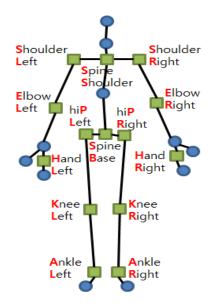


Fig. 2 Kinect-based Posture Recognition Model

$$E(R,t) = \sum_{i=1}^{M} e_i(R,t)^2 = \sum_{i=1}^{M} \| Rx_i + t - y_{j^*} \|^2 \quad (1)$$

$$j^* = \underset{j \in \{1, \dots, N\}}{\operatorname{arg} min} \| Rx_i + t - y_j \|$$
 (2)

위의 식에서 두 점들의 집합 $X = \{x_i\}, i = 1,...,M$  과  $Y = \{y_j\}, j = 1,...,N$  간의 가장 가까운 점으로 등록한  $j^*$ 는 X 집합의 점들의 최적화된 대응점을 의미한다.

#### 3.2. 운동 동작 자세 모델링

운동 게임 콘텐츠에서 사용 가능한 운동 동작 자세를 정확히 인식하기 위하여, 키넥트 기반의 전신 운동 동작 자세 인식 모델을 개발하였다 [2]. 키넥트 V2 SDK에서 3차원 사용자 관절 (Skeleton) 정보를 획득하기 위한 콜백 함수를 등록하고, 매 프레임마다 사용자의 골격 정보를 획득하여 의미 있는 입력 값만을 선택한다. 키넥트 정보로부터 사용자마다 서로 다른 체형에 따른 보정이 필요 없도록 일반화된 운동 동작 자세 인식 모델이 필요하다. 따라서 그림 2과 같이 14개의 사용자 골격 정보를 가지고 자세인식 모델을 구성하였다.

본 연구에서는 운동 동작 자세 인식 모델링을 구성하기 위해 키넥트 2.0 SDK에서 제공하는 신체 주요 관절 25개 중에서 양쪽 손(HL, HR), 양쪽 팔꿈치(EL, ER),

Table. 1 25 Features for Exercise Posture

Symbol	Feature	Description
ELA	$\theta_{(EL-SL,HL-EL)}$	Left elbow angle
ERA	$\theta_{(ER-SR,HR-ER)}$	Right elbow angle
SLA	$\theta_{(SL-SR,HL-SL)}$	Left shoulder angle
SRA	$\theta_{(SR-SL,HR-SR)}$	Right shoulder angle
ULA	$\theta_{(HL-SL,UP)}$	Left arm up angle
URA	$\theta_{(HR-SR,UP)}$	Right arm up angle
DLA	$\theta_{(HL-SL,DOWN)}$	Left arm down angle
DRA	$\theta_{(HR-SR,DOWN)}$	Right arm down angle
FLA	$\theta_{(SL-HL,FRONT)}$	Left arm front angle
FRA	$\theta_{(SR-HR,FRONT)}$	Right arm front angle
KLA	$\theta_{(KL-PL,AL-KL)}$	Left knee angle
KRA	$\theta_{(KR-PR,AR-KR)}$	Right knee angle
KLA90	$90 - \theta_{(KL-PL, AL-KL)}$	Left knee 90 angle
KRA90	$90 - \theta_{(KR-PR,AR-KR)}$	Right knee 90 angle
LLA	$\theta_{(AL-PL,DOWN)}$	Left leg down angle
LRA	$\theta_{(AR-PR,DOWN)}$	Right leg down angle
LLA45	$45 - \theta_{(AL-PL, DOWN)}$	Left leg 45 angle
LRA45	$45 - \theta_{(AR-PR, DOWN)}$	Right leg 45 angle
SSA	$\theta_{(SS-SB, UP)}$	Spine upright angle
THLA90	$90 - \theta_{(KL-PL, DOWN)}$	Left thigh 90 angle
THRA90	$90 - \theta_{(KR-PR, DOWN)}$	Right thigh 90 angle
SHLA90	$90 - \theta_{(AL-K\!L\!,DOW\!N\!)}$	Left shin 90 angle
SHRA90	$90 - \theta_{(AR-KR,DOWN)}$	Right shin 90 angle
HD	$\Delta_{(HL-HR)}$	Both hand distance
AD	$\Delta_{(AL-AR)}$	Both ankle distance

양쪽 어깨(SL, SR), 양쪽 발목(AL, AR), 양쪽 무릎(KL, KR), 양쪽 엉덩이(PL, PR), 그리고 척추(SS, SB) 정보를 사용하였다. 즉, 사용자의 운동 동작 자세 인식에 주요 부분인 14 개 지점의 3차원 (X, Y, Z) 관절 (Skeleton) 정보만을 운동 자세 특징 표현에 사용한다. 이 데이터는 운동자의 동작 및 자세에 관련된 데이터로 이에 기초하여 운동자의 움직임 자세를 판단할 수 있는 근거가될 수 있다.

표 1은 사용자의 운동 동작 분석 및 판별을 위하여 사용하는 25개의 각도 및 거리에 대한 운동 동작 자세의특징을 보여준다. 신체의 골격에 공간적인 위치 정보(즉, X, Y, Z 값)는 이동이나 회전 변화에 민감하기 때문에 위치 정보로부터 벡터를 생성하여 각도를 계산하

여 사용자의 운동 자세 판별에 사용한다. 예를 들어, ELA(Elbow Left Angle)와 ERA(Elbow Right Angle)는 왼쪽 오른쪽 팔꿈치 각도로 팔이 펴진 정도를 보여준다. 각도 계산을 위하여 식 (3)을 사용한다.

$$\vartheta = \cos^{-1}\left(\frac{u}{\parallel u \parallel} \cdot \frac{v}{\parallel v \parallel}\right) \tag{3}$$

위 식에서, θ는 3차원 공간에서 두 벡터 u, v 간의 각 도이며, u와 v는 인접한 관절 벡터(예를 들어, 어깨와 팔 꿈치 사이 또는 팔꿈치와 손목 사이)를 의미하거나 또는 관절 벡터와 정면/위/아래 벡터를 의미한다. 이러한 방식으로 운동 자세에 대한 몸통 및 왼쪽 팔, 오른쪽 팔, 왼쪽 다리, 오른쪽 다리 자세를 표현하는 각도와 양 손, 발, 무릎의 거리에 관한 특징을 사용한다.

#### 3.3. 운동 동작 자세 특징

총총스텝 마스터 운동 게임을 위하여 운동 전문가에 의해 개발된 운동 프로그램에서는 다음 16 가지 운동 동작 자세인 BOTH\_SIDE\_DOWN (차렷), BOTH\_SIDE\_UP (만세), BOTH\_SIDE\_OUT (양팔 벌리기), BOTH\_SIDE\_FRONT (양팔 앞으로), RIGHT\_HAND\_UP (왼팔 위로), LEFT\_HAND\_UP (왼팔 위로), RIGHT\_KNEE\_UP (왼투를 위로), LEFT\_KNEE\_UP (왼무를 위로), RIGHT\_KNEE\_UP (왼무를 위로 감기), LEFT\_KNEE\_UP (왼무를 위로 감기), LEFT\_KNEE\_UP (왼무를 위로 감기), LEFT\_LEG\_AB (왼다리 옆으로 들기), LEFT\_LEG\_AB (왼다리 옆으로 들기), BOTH\_HAND\_CLAP (박수), SQUAT (스쿼트), RIGHT\_LUNGE (오른 무를 앞으로 런지), LEFT\_LUNGE (왼무를 앞으로 런지)가 있다.

표 2는 16가지 운동 동작 자세별로 사용한 특징 값 (Feature points)을 보여준다. 예를 들어, 양팔 벌리기 자세(BOTH\_SIDE\_OUT)는 양쪽 어깨 각도(즉, SLA, SRA), 양쪽 팔꿈치 각도(즉, ELA, ERA), 양쪽 무릎 각도(즉, KLA, KRA)가 모두 평행하게 펴진 상태인지 확인한다. 표 2에서 보이는 자세 인식 특징 값을 이용하여, 본 시스템에서는 키넥트 센서로 실시간 인식된 사용자운동 동작을 해당 운동 동작에 대해 저장된 스크립트와비교 계산한다. 각각의 특징 값마다 실시간 사용자 운동 동작 자세와 스크립트 데이터와의 각도 및 거리에 대하여 식 (4)을 이용하여 일치율을 계산한다.

Table. 2 Feature Specifications for 16 Exercise Posture Estimation

Exercise Posture	Features	Descriptions
BOTH_SIDE_DOWN	ELA, ERA, DLA, DRA, KLA, KRA, LLA, LRA	Degree of both elbows stretched out Degree of both arms toward down side Degree of both knees stretched out Degree of both legs toward down side
BOTH_SIDE_UP	ELA, ERA, ULA, URA, KLA, KRA	Degree of both elbows stretched out Degree of both arms toward up side Degree of both knees stretched out
BOTH_SIDE_OUT	ELA, ERA, SLA, SRA, KLA, KRA	Degree of both elbows stretched out Degree of both shoulders stretched out Degree of both knees stretched out
BOTH_SIDE_FRONT	ELA, ERA, FLA, FRA, KLA, KRA	Degree of both elbows stretched out Degree of both arms toward front side Degree of both knees stretched out
RIGHT_HAND_UP	ERA, URA, DLA, KLA, KRA	Degree of both elbows stretched out Degree of right arm toward up & left arm toward down Degree of both knees stretched out
LEFT_HAND_UP	ELA, ULA, DRA, KLA, KRA	Degree of left elbow stretched out Degree of left arm toward up & right arm toward down Degree of both knees stretched out
RIGHT_KNEE_UP	DLA, DRA, KLA, KRA90, LLA, THRA90	Degree of both arms toward down side Degree of left knee stretched out & right knee right-angled Degree of left leg toward down & right thigh right-angled
LEFT_KNEE_UP	DLA, DRA, KLA90, KRA, THLA90, LRA	Degree of both arms toward down side Degree of right knee stretched out & left knee right-angled Degree of right leg toward down & left thigh right-angled
RIGHT_KNEE_CURL	DLA, DRA, KLA, KRA90, LLA, SHRA90	Degree of both arms toward down side Degree of left knee stretched out & right knee right-angled Degree of left leg toward down & right shin right-angled
LEFT_KNEE_CURL	DLA, DRA, KLA90, KRA, SHLA90, LRA	Degree of both arms toward down side Degree of right knee stretched out & left knee right-angled Degree of right leg toward down & left shin right-angled
RIGHT_LEG_AB	KLA, KRA, LLA, LRA45	Degree of both knees stretched out Degree of left leg toward down & right leg 45-angled
LEFT_LEG_AB	KLA, KRA, LRA, LLA45	Degree of both knees stretched out Degree of right leg toward down & left leg 45-angled
BOTH_HAND_CLOSE	KLA, KRA, AD, HD	Degree of both knees stretched out Distance of both hands & both ankles
SQUAT	KLA90, KRA90, SSA, THLA90, THRA90	Degree of both knees right-angled & spine upright Degree of both thighs right-angled
RIGHT_LUNGE	KLA90, THLA90, SHRA90	Degree of left knee right-angled Degree of left thigh right-angled & right shin right-angled
LEFT_LUNGE	KRA90, THRA90, SHLA90	Degree of right knee right-angled Degree of right thigh right-angled & left shin right-angled

$$M = \sum_{i=1}^{n} \left( 100 \cdot \left( \frac{70}{100} \right)^{\frac{(S_i - P_i)}{R_i}} \right) \tag{4}$$

위의 식에서 각 운동 동작 자세마다 서로 다른 n개의

특징 값을 사용하고, Si는 운동 동작 자세 스크립트에 정의된 기준 특징 값이고 Pi는 실제 사용자의 운동 동작에 대한 특징 값이며 Ri는 기준 특징의 범위 값이다. 실제 운동 자세 특징 값이 기준 특징 값과 비교하여 특징범위 내에서 지수 함수로 70~100 일치율이 계산된다.

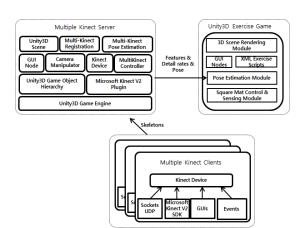


Fig. 3 Overall Architecture for the Multiple Kinect-based Exercise Posture Estimation System

#### 3.4. 다중 키넥트 기반 운동 동작 자세 인식

키넥트 입력 장치는 사용자의 움직임을 추적하면서 움직임의 속도나 가려지는 영역 등에 의해서 신체의 일 부분을 가시화시키지 못할 때 자동적으로 이전 프레임 들을 이용해서 유추하는 형태로 동작한다. 키넥트의 골 격 움직임 데이터를 분석해보면 실제 정상적으로 측정 (Tracked)되는 경우보다는 유추(Inferred)된 데이터를 이용해서 사용자의 움직임을 추적하는 경우가 훨씬 많 았다. 이러한 이유로 키넥트 센서를 한 대만 사용할 경 우 신체의 일부분이 가려진다거나 혹은 움직임이 너무 빨라 추적이 어려운 경우에 대해서 정확하지 못한 자세 로 인지되는 경우들이 자주 나타난다.

하지만 다수의 키넥트 센서를 사용할 경우 예를 들어 정면에서는 가려져서 보이지 않는 신체의 일부분이 측면이나 후면에 놓인 키넥트에서는 보일 수 있어서 좀더 정확하게 사용자의 자세를 측정할 수 있다. 본 연구에서는 서로 다른 위치와 방향에 놓인 키넥트 입력장치마다 사용자 운동 자세의 특징 값마다 서로 다른 가중치를 부여하여 사용자의 운동 자세를 최종적으로 판별한다. 식(5)을 이용하여 운동 동작 자세에 따른 서로 다른 m개의 키넥트의 특징값에 가중치(w)를 사용하여 최종 인식률 평균을 계산한다.

$$\overline{M} = \frac{\sum_{i=1}^{m} (w_i \cdot M_i)}{m} \tag{5}$$

위의 식에서 서로 다른 키넥트의 특징 값에 사용하는 가중치의 합은 1이 되도록 한다. 여러 대의 키넥트를 통합하는 과정에서 각 키넥트마다 가중치를 다르게 부여할 수 있으며, 가중치는 경험적 결과를 통해 얻은 값을 사용하였다. 예를 들어, 오른 무릎 뒤로 감기 자세의 경우 정면보다는 오른쪽 측면 카메라를 통하여 자세 인식이 더 정확히 되므로, 가중치를 정면보다는 측면에 더많이 두고 사용한다.

# Ⅳ. 구현 결과 및 적용

그림 3은 본 연구에서 개발한 다중 키넥트 입력장치를 사용한 운동 자세 추정 시스템의 전체 구조도를 보여준다. 이 시스템은 여러 대의 키넥트 입력 장치가 연결된 클라이언트 프로그램들과 유니티 게임과 연동하는 서버 프로그램으로 구성되어 있다. 이 유니티 서버프로그램은 유니티 운동 게임 콘텐츠의 모듈로써 동작한다.

#### 4.1. 구현 결과

멀티 키넥트 센서를 사용한 운동 동작 자세 추정 시스템의 구성은 키넥트가 연결된 여러 대의 클라이언 트와 유니티 게임과 연동하는 서버 프로그램으로 구성되어 있다. Microsoft사에서 공식적으로 지원하는 Kinect V2 SDK는 1대의 컴퓨터에 1대의 키넥트 입력 장치만을 사용할 수 있다. 따라서 각 키넥트는 클라이언트 시스템에 연결되고, 여기서 입력받는 사용자의 골격 정보를 서버로 전달한다. 유니티로 만든 게임에



Fig. 4 Unity3D Exercise Game called the Chong Chong Step Master

는 다수의 키넥트 클라이언트로부터 골격 정보를 전달받는 서버 모듈이 존재하고, 여기서 이러한 정보들을 취합하여 운동 동작 자세 인식에 사용되는 자세 인식 모듈이 있다.

클라이언트 프로그램은 C# 언어와 Windows Forms 를 이용하여 개발하였다. 그리고 클라이언트 프로그램에는 데이터를 서버로 보내기 위하여 스레드와 네트워크 소켓을 응용한 UDPClient 클래스, 그리고 키넥트로부터의 골격 정보 입력을 처리하기 위한 KinectDevice 클래스로 구성된다. 클라이언트 프로그램은 구동 중인키넥트 입력장치의 리소스를 확보한 후 사용 가능 여부를 화면에 출력한다. 시작버튼이 눌리면 키넥트 장치로부터 초당 30 프레임으로 주요 사용자의 골격 정보를 읽어 들여 서버로 네트워크 전송한다.

서버 프로그램은 Unity3D 게임 엔진을 기반으로 한 응용프로그램으로 개발되었다. 유니티에 Kinect V2 Plugin을 사용하여 단일 키넥트 사용을 할 수 있으며, 다수의 키넥트와 연동하기 위하여 클라이언트 프로그램에서 네트워크로 골격 정보를 전송 받으면 유니티의 GameObject로 구성하여 화면에 나타나게 하였다. 네트워크 서버 클래스와 다른 KinectClient로부터 확보한 골격 정보를 활용하기 위한 보조 클래스로 ClientBody와 ObjectBody가 있다. ClientBody는 Window의 Kinect의 Body라는 골격정보를 대체하여 클라이언트 프로그램에서 전송받은 Bit Stream 형태의 Body 정보를 기록하기 위한 클래스이다. ObjectBody는 유니티에 3차원 객체로 화면에 그리기를 위한 클래스이다.

# 4.2. 적용

그림 4은 유니티 체험형 운동 게임인 총총 스텝 마스터 콘텐츠의 실행을 보여준다. 그림 4의 왼쪽 위는 초기시작 화면이며, 오른쪽 위는 운동 프로그램 선택화면이고, 오른쪽 아래는 제스쳐를 이용하여 초급, 중급, 고급운동프로그램을 선택하는 모습이고, 왼쪽 아래는 선택한 프로그램에 따라 실제로 운동하는 모습을 보여준다. 이 운동 게임 콘텐츠는 균형 감각 증진 및 인지 능력 향상을 목적으로 하는 기능성 게임으로 걷기 동작과 상하반신 운동 동작을 동시에 인식할 수 있는 시스템이다. 발판 센서를 사용하여 사용자의 걷기 동작을 인식하고, 키넥트를 사용한 자세 추정 시스템으로 사용자의 좌우팔 다리 등 운동 동작의 자세를 판별한다[10].

이 콘텐츠를 시작하면 본인이 원하는 아바타를 선 택할 수 있으며, 그 후 운동 프로그램을 선택하고, 초 급 중급 고급 단계를 선택한 후, 운동 게임을 시작한 다. 운동 전문가에 의해 개발된 운동 프로그램은 XML 포맷으로 스크립트화하여 실제 사용자가 취한 운동 동작(걷기 및 팔 다리 운동 동작 자세)과의 비교 분석 에 사용된다. 운동 프로그램은 활력 걷기, 균형감각 증 진 걷기, 인지 능력 향상 걷기, 시지각 향상 걷기로 구 성되어 있으며 각 운동 프로그램은 초급, 중급, 고급으 로 구성되어 있다. 초급 프로그램에서는 10 스텝을 이 동하는 동안 만세, 양팔 벌리기, 차렷 자세를 반복 수 행한다. 중급 프로그램에서는 양팔 벌리기, 무릎 들기, 무릎 컬, 다리 옆으로 들기 등 좀 더 복잡한 운동 자세 를 반복 수행한다. 고급 프로그램에서는 차렷, 양팔 벌 리기, 만세, 스쿼트, 런지와 같은 다양한 운동 자세를 반복 수행한다.

본 연구에서 개발한 다중 키넥트 기반의 운동 자세 추정 시스템은 Unity3D 체험형 운동 게임인 총총 스텝 마스터 콘텐츠에 개선된 자세인식 시스템으로 사용되었다. 이 시스템을 사용한 경험적인 결과로, 2대의 키넥트를 사용한 경우 모든 키넥트 센서가 추적 가능한 영역에서 사용자가 위치했을 때, 사용자가 취한 16가지운동 자세를 효과적으로 인식(인식 실패율은 대략적으로 4% 미만)하는 것으로 나타났다. 사용자의 연령대별로 자세별로 일치율은 다르게 나타나긴 하나 평균 85%이상의 일치율을 보였다. 특히 키넥트 센서가 인식되는 영역 내에서는 거리나 사용자의 키나 체형에 상관없이총총 스템 마스터 게임 콘텐츠의 운동 프로그램에서 필요로 하는 16가지 운동 자세를 모두 인식하는 것으로 판단되었다.

## Ⅴ. 결론 및 고찰

본 연구에서는 유니티 체험형 운동 게임에서 사용 가능한 사용자의 운동 자세 정보를 보다 정확히 인식하기위하여, 여러 개의 키넥트 입력장치를 연동한 클라이언트-서버 구조로 된 운동 자세 추정 시스템을 개발하였다. 키넥트 센서에서 제공하는 골격 정보에서 일부 특징 점을 추출하여 각각의 특징벡터를 생성하여 만든 운동 자세 인식 모델을 사용하였고, 다수의 키넥트 장치

로부터 입력된 골격 정보로부터 특징값에 가중치를 두 고 자세 인식률 계산에 사용하는 방식으로 시스템을 설 계하고 구현하였다.

본 연구에서 개발한 다수의 키넥트 기반의 운동 동작추정 시스템은 인간 골격에 대한 특징 벡터를 생성하여 스크립트에 지정한 기준과 비교하는 방식으로 운동 자세를 정확하게 인식하고 자세 교정에 사용할 수 있는 가능성을 보여주었다. 본 연구에서 개발된 다수의 키넥트 기반의 운동 자세 인식 시스템은 걷기와 함께 상체 팔동작을 동시에 실시하여 뇌의 활성화를 촉진시켜 인지향상을 도와주는 운동 프로그램인 총총 스텝 마스터게임 콘텐츠에 적용하였다.

본 연구에서는 다수의 키넥트를 사용함으로써 이전 단일 키넥트를 사용한 운동 자세 인식 연구[1]에서 인식 되지 못했던 런지나 컬 자세를 추가로 정의할 수 있었 고 모든 키넥트가 인식이 되는 영역 내에서 16가지 운 동 자세 일치율이 비교적 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

또한 스크립트로 운동 자세를 정의할 수 있어서, 추후에 다른 다양한 자세를 추가로 지원하는 것이 가능하도록 확장적 모듈 방식으로 개발하였다. 현재 경험적결과를 통하여 다수의 키넥트를 사용한 운동 동작 자세추정 시스템의 유용성에 대한 가능성을 보았다. 그러나이보다 나아가 추후 연구에서는 본 시스템의 유용성을 증명하기 위하여 키넥트 수의 변화에 따른 인식율 비교를 수행하는 구체적인 실험을 진행할 것이다. 또한 본연구에서 개발된 운동 자세 인식 데이터를 모션 캡쳐데이터와 비교 분석이 가능하도록 할 예정이며, 기계학습을 적용하여 인식 가능한 운동 자세의 개수 증가에도 강인한 운동 자세 간의 분류를 좀 더 명확히 할 예정이다.

#### **REFERENCES**

[1] E. Brox, L.F. Luque, G.J. Evertsen, J.E.G. Hernandez, "Exergames for elderly: Social exergames to persuade

- seniors to increase physical activity," *Proceedings of the*5th IEEE International Conference on Pervasive Computing
  Technologies for Healthcare (PervasiveHealth) and
  Workshops, Dublin, May 23-26, pp. 546-549, 2011.
- [2] K. S. Park, "Development of Kinect-based Pose Recognition Model for Exercise Game," KIPS Transactions on Computer and Communication Systems, vol. 5, no. 10, pp. 303-310, Oct. 2016.
- [3] Y. J. Na, H. Jung, C. Wang, and S. D. Min, "Design of Game Contents for Dementia Prevention using Kinect," in Proceedings of Bio-Medical System Conference, Hoengseong-gun Gangwon-do, pp. 13-15, 2015.
- [4] G.-F. He, J.-W. Park, S.-K. Kang, and S.-T. Jung, "Development of Gesture Recognition-Based 3D Serious Games," *Journal of Korea Game Society*, vol. 11, no. 6, pp. 103-114, Nov. 2011.
- [5] K. S. Kim, Y. J. Lee, and S. S. Oh, "Development of Analysis of a Walking Game 'Paldokangsan3' Using Kinect," *Journal of Korea Game Society*, vol. 14, no. 1, pp. 49-58, Jan. 2014.
- [6] J. G. Kim, S.-G. Kim, Y. H. Joo, and J. B. Park, "Human posture recognition using Kinect sensor" in *Proceedings* of 43rd Annual Conference of the Korean Institute of Electrical Engineers, Jeongseon-gun, Gangwon-do, pp. 1371-1372, 2012.
- [7] S. Cho, H. Byun, H. K. Lee, and J. Cha, "Arm Gesture Recognition for Shooting Games based on Kinect Sensor," *Journal of KIISE: Software and Applications*, vol. 39, no. 10, pp. 796-805, 2012.
- [8] H. S. Choi, "Kinect-based Motion Recognition Model for the 3D Contents Control," *Journal of the Korea Contents Association*, vol. 14, no. 1, pp.24-29, Jan. 2014.
- [9] J. Yang, H. Li, and Y. Jia, "Go-ICP: Solving 3D Registration Efficiently and Globally Optimally," in Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Sydney, Australia, pp. 1457-1464, 2013.
- [10] D. H. Seo, K. S. Park, and D. K. Kim, "Design and Development of Virtual Reality Exergame using Smart Mat and Camera Sensor," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 12, pp.2297-2304, Dec. 2016.



조용주(Yongjoo Cho)

1993년 일리노이대학교 컴퓨터과학과 공학사 1997년 일리노이대학교 전기전자컴퓨터과학과 공학석사 2016년 일리노이대학교 컴퓨터과학과 공학박사 2004년~현재 상명대학교 미디어소프트웨어학과 교수 ※관심분야: 인터랙티브 학습 환경, 가상현실, HCI, 협업환경



# 박경신(Kyoung Shin Park)

1991년 덕성여자대학교 수학과 이학사 1997년 일리노이대학교 전기전자컴퓨터과학과 공학석사 2003년 일리노이대학교 컴퓨터과학과 공학박사

2004년~2007년 한국정보통신대학교(현 한국 과학기술원) 연구교수

2007년~2016년 : 단국대학교 멀티미디어공학 부교수 2016년~현재 : 단국대학교 응용컴퓨터공학 부교수

※관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 가상현실, HCI, 멀티미디어응용, 감성공학, 협업환경