

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제25권 제4호, 2020년 7월 (JBE Vol. 25, No. 4, July 2020)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2020.25.4.528>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

인터랙티브 공연·전시를 위한 RGB-D 카메라 기반 휴머노이드 로봇의 실시간 동작 생성 방법

서 보 형^{a)b)}, 이 덕 연^{a)}, 최 동 운^{a)}, 이 동 육^{a)‡}

Real-Time Motion Generation Method of Humanoid Robots based on RGB-D Camera for Interactive Performance and Exhibition

Bohyeong Seo^{a)b)}, Duk-Yeon Lee^{a)}, Dongwoon Choi^{a)}, and Dong-Wook Lee^{a)‡}

요 약

휴머노이드 로봇 기술이 발전함에 따라서 로봇을 공연에 활용하는 사례가 늘어나고 있다. 이에 따라서 로봇의 동작을 사람처럼 자연스럽게 표현하여 공연에서의 활용범위를 보다 높이기 위한 연구들이 진행되고 있다. 이 중 모션캡쳐 기술을 이용하는 방식이 많이 사용되고 있는데, 일반적으로 모션 캡쳐를 하기 위해서 신체에 각 부위에 부착된 IMU 센서 혹은 마커들과 정밀한 고성능 카메라가 요구되는 등 준비하는 데에서 환경적인 불편함이 존재한다. 또한, 공연기술에 사용되는 로봇의 경우에는 실시간으로 돌발상황이나 관객의 반응에 따라서 실시간으로 대응해야 하는 문제가 존재한다. 본 논문에서는 위에서 언급한 문제들을 보완하고자 다수의 RGB-D 카메라를 이용한 실시간 모션캡쳐 시스템을 구축하고, 모션 캡쳐된 데이터를 이용하여 사람 동작과 유사한 자연스러운 로봇 동작을 생성하는 방법을 제안한다.

Abstract

As humanoid robot technology advances, the use of robots for performance is increasing. As a result, studies are being conducted to increase the scope of use of robots in performances by making them natural like humans. Among them, the use of motion capture technology is often used, and there are environmental inconveniences in preparing for motion capture, such as the need for IMU sensors or markers attached to each part of the body and precise high-performance cameras. In addition, for robots used in performance technology, there is a problem that they have to respond in real time depending on the unexpected situation or the audience's response. To make up for the above mentioned problems, in this paper, we proposed a real-time motion capture system by using a number of RGB-D cameras and creating natural robot motion similar to human motion by using motion-captured data.

Keyword : Motion capture, Robot motion, RGB-D camera, Interactive performance, Real-time

I. 서 론

휴머노이드 로봇 기술의 발달에 따라 최근 공연, 전시 등 의 분야에서 사람을 닮은 로봇들을 활용한 사례가 많이 등장하고 있으며 관련 연구가 진행되고 있다. 미국 월트디즈니사에서는 애니멀 킹덤이라는 테마파크에서는 아바타 월드(Avatar World)라는 주제로 아바타 영화에 나온 캐릭터들을 실제 모습과 유사하게 로봇으로 제작하여 영화 속의 생생한 장면을 고객들이 체험할 수 있게 하고 있으며^[1], 일본 오사카대 Ishiguro 교수는 뉴스 진행자 또는 호텔이나 공항에서 고객 대응이 가능한 액트로이드(Actroid)라는 로봇을 개발하고 있다^[2]. 본 연구팀도 인간의 여성을 닮은 에버(EveR)를 개발하여 대구 오페라하우스에서 인간 배우들과 오페라 공연을 하는 등^[3] 로봇을 이용한 첨단공연, 전시 분야에서의 활용 시도는 점차 늘어나고 있다.

첨단공연 전시 분야에서 캐릭터들의 관객과 실시간 상호 작용을 함으로써 재미와 몰입도를 높이는 방법이 활용되고 있다. 미국 Epcot이라는 테마파크의 Turtle Talk라는 어트랙션에서는 관객들의 행동과 목소리에 따라 실시간 반응하는 애니메이션 캐릭터를 통하여 관객들과 실감이 나는 대화를 할 수 있게 하고 있다^[4]. 이 애니메이션 캐릭터를 조종하는 것은 무대 뒤의 배우로서, 배우는 무대 뒤에서 관객들의 모습을 카메라로 지켜보면서 실시간으로 동작과 목소리로 반응을 하고 있다.

a) 한국생산기술연구원 로봇응용연구부문(Applied Robot R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology)

a) 한양대학교 컴퓨터공학부(Dept. of Computer Engineering, Hanyang University)

‡ Corresponding Author : 이동우(DongWook Lee)

E-mail: dwlee@kitech.re.kr

Tel: +82-31-820-6312

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3814-5929>

※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2019년도 문화기술연구개발 지원사업 및 한국생산기술연구원 “인간-로봇 공존형 케어로봇 개발을 위한 소프트 로보틱스 기술 개발” 과제(과제번호: EO200005)의 연구결과로 수행되었음.

※ This research was supported by Ministry of Culture, Sports and Tourism(MCST) and Korea Creative Content Agency(KOCCA) in the Culture Technology(CT) Research & Program 2019, and by the Korea Institute of Industrial Technology as under “Development of Soft Robotics Technology for Human-Robot Coexistence Care Robots” (KITECH EO200005).

· Manuscript received June 2, 2020; Revised July 21, 2020; Accepted, July 21, 2020.

휴머노이드 로봇의 동작을 생성하는 방법은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫 번째는 작업이나 보행 등 동작의 과정보다는 결과에 중심을 두어 동작을 생성하는 방법이다^{[5][6]}. 이 방법은 환경과 물체에 대한 정확한 인식을 바탕으로 동작을 정밀하게 계산할 필요가 있다. 두 번째 방법은 춤 또는 대화 과정에서의 제스처 등 비언어적 정보전달을 목적의 동작을 생성하는 방법으로 동작의 결과보다는 과정에 더 중점을 두어 동작을 생성하는 방법이다^{[7][8]}. 로봇을 공연, 전시 분야에 활용하기 위해서는 정밀한 계산을 통한 동작 생성보다는 인간의 감성표현이 가능하도록 인간의 동작을 모사하여 로봇의 동작을 만드는 것이 필요하다. RGB-D 카메라의 개발에 따라 캐릭터나 로봇의 동작을 모사하여 만드는 연구에 RGB-D 카메라가 활용되고 있다^{[9][10]}.

본 논문에서는 휴머노이드 로봇이 공연이나 전시 중에 관객들과 실시간 상호작용을 위하여 실시간 동작을 따라 할 수 있는 시스템 개발을 목적으로 한다. 기존에 로봇이나 애니메이션 캐릭터의 동작을 생성하기 위하여 모션 캡처 스튜디오에서 인간의 동작을 캡처하거나 인간의 관절 각을 측정 할 수 있는 전용 슈트를 입고 모션 캡처를 진행하였다. 또한, 많은 연구에서 사람의 동작을 로봇의 동작으로 바꾸는 과정에서 모션 데이터 처리를 따로 하면서 실시간으로 처리를 하지 못하였다. 또한, 기존의 모션 캡처 방식은 실시간 구현이 어렵거나 전용 슈트를 입어야 하는 등의 불편함이 있다. 본 연구에서는 비디오 게임 등에서 인간의 동작을 인식하는데 활용하는 대표적인 RGB-D 카메라인 Kinect를 이용하여 실시간으로 인간의 모션을 캡처함으로써 로봇의 실시간 동작 구현이 가능한 방법을 제안한다. 2장에서는 한 대의 카메라를 이용하였을 때 동작에 따라서 관절이 가려지는 것을 막기 위하여 두 대의 카메라를 이용하여 인간 동작을 로봇이 모사하여 동작을 생성하는 과정에 관해 설명한다. 3장에서는 생성된 동작에 대해서 실험을 통하여 로봇의 모사한 동작에 대한 적합성을 입증한다. 이후 4장에서는 실험 및 결과에 대한 성과, 문제점 및 향후 과제에 대한 결론을 서술한다.

II. 로봇의 인간 동작 모사 동작 생성

1. RGB-D 카메라를 이용한 관절 좌표 추출

본 연구에서는 침단공연 전시 분야에서 휴머노이드 로봇이 실시간으로 인간의 비언어적인 춤이나 제스처를 유사하게 따라 하는 시스템 개발을 목적으로 하였다. 따라서 동작의 정밀도 보다는 실시간성과 편의성을 더 중시하였다. 따라서 스튜디오에서 모션 캡처하는 것과 비교하면 정밀도 면에서는 다소 부족하지만 실시간성을 확보하며, 전용 슈트를 입는 시스템에 비교해서는 동등한 정밀도 수준에서 슈트를 입지 않고 모션을 따라 할 수 있는 편의성을 확보하도록 하였다. 이를 위하여 슈트를 착용하지 않고 인간의 동작을 촬영하여 관절 좌표를 구할 수 있는 RGB-D의 하나인 Kinect V2를 사용하였다.

Kinect V2는 기존의 2D 카메라로부터 얻을 수 있는 RGB 이미지뿐만 아니라, IR 센서를 ToF 방식으로 이용하여 depth map을 얻을 수 있다. 이를 이용하면 어깨, 팔꿈치, 손목 등의 관절 부위 3차원 좌표를 구할 수 있다. 하지만 카메라와 사람 사이의 거리(depth 정보)는 IR센서의 특성상 RGB 카메라의 2차원(x-y) 좌표보다 정확도가 떨어지고 노이즈가 많이 발생한다^[11]. 이러한 노이즈를 줄이기 위해서 이전 상태정보로 현재 상태정보를 예측하고 갱신해나가는 kalman filter를 사용한다^[12]. Kinect V2는 사전에 random forest 방식으로 학습된 데이터를 토대로 인체의 스켈레톤을 추출하는 방법이 개발되어 있다^[13]. 이러한 방식으로 Kinect V2를 이용하여 그림 1과 같이 총 25개의 스켈레톤 관절값 추출할 수 있다. 본 연구에서는 로봇의 상체 동작 구현을 목적으로 하므로 로봇의 상체 부분에 속하는 10개의 관절 좌표값을 사용하였다.

- (1) : head
- (2) : shoulder_mid
- (3) : spine_mid
- (4) : spine_base
- (5) : shoulder_left
- (6) : elbow_left
- (7) : wrist_left
- (8) : shoulder_right
- (9) : elbow_right
- (10) : wrist_right

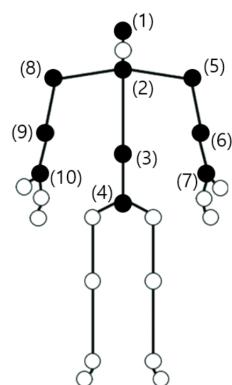


그림 1. Kinect V2 스켈레톤 전체 관절(원) 및 사용된 관절(채워진 원)
Fig. 1. Kinect V2's entire joints (circles) and selected ten joint positions (black colored circles)

본 연구에서 사용하는 휴머노이드 로봇은 그림 2와 같은 팔의 관절 구조로 되어 있다. 한쪽 팔에는 어깨와 팔꿈치, 손목의 3개의 관절을 가지고 있으며 그림과 같이 4개의 방향으로 회전한다. 각 회전하는 방향의 관절 각도는 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 로 구성되어 있으며 각 관절의 동작 범위는 그림 2의 우측에 나와 있는 것과 같다. 관절의 정확한 좌표를 알고 있다면 역기구학(Inverse Kinematics)을 통하여 4개의 관절 각도를 구할 수 있다^[14].

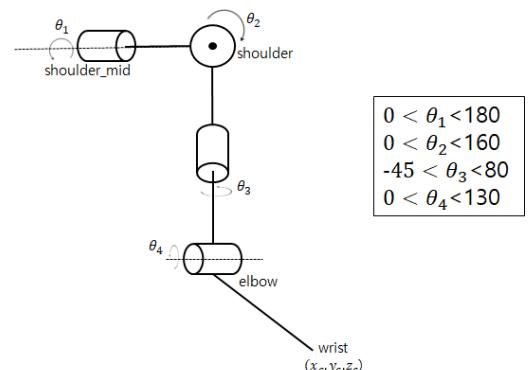


그림 2. 휴머노이드 로봇 팔의 관절각 구성 및 범위
Fig. 2. Configuration of joint angles of humanoid robot arm

2. 시스템 구성

그림 3은 휴머노이드 로봇이 사람의 동작을 모사하는 시스템의 구성도이다. 두 대의 카메라를 이용하여 사람의 관절의 움직임을 측정하고 실시간으로 로봇의 관절 각도를 구한다. 두 대의 카메라를 사용하는 이유는 한 대의 카메라에서 팔의 관절이 가려질 때 다른 카메라에서 보정하기 위함이다. 로봇의 관절 각도를 구하는 순서는 다음과 같다. 먼저 Kinect A와 Kinect B에서 각각 사람의 관절 좌표값을 구한다. Kinect B에서 구한 좌표값을 Kinect A의 좌표값과 통합하여 하나의 대표 관절 좌표값을 구한다. 이후 로봇의 역기구학을 풀어 로봇의 관절 각도를 구한다.

관절이 가려질 때의 발생하는 문제를 확인하기 위하여 카메라를 사람의 정면(90도 방향)과 측면(45도 방향)에 두고 T Pose와 앞으로나란히 자세를 취하여 각각의 각도를 구해보았다. T-pose의 경우 팔을 옆으로 벌리는 동작으로 θ_1 의 각도만 0도에서 90도까지 움직인다. 정확한 동작의 참조 구현을 위하여 사람이 자세를 취하는 대신 본 연구팀

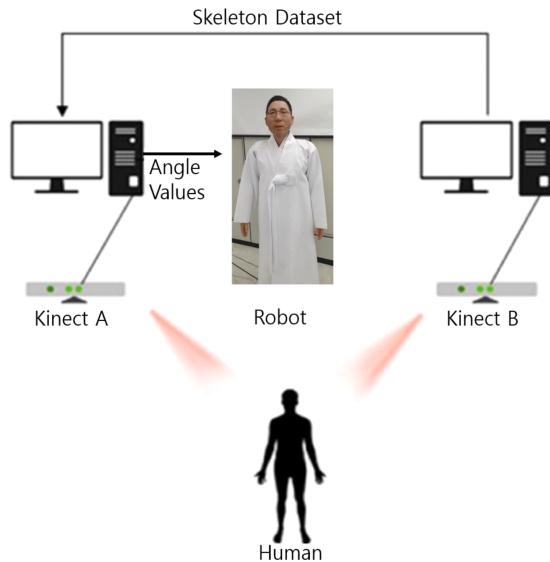


그림 3. 두 대의 RGB-D 카메라로 구성된 실시간 모션캡처 시스템 구조
 Fig. 3. The architecture of a real-time motion capture system consisting of two RGB-D cameras

이 개발한 김구 선생님의 외형을 갖는 휴머노이드 로봇이 자세를 취하도록 하였다. 그림 4의 (a)는 T-pose 동작에서 θ1의 변화를 나타낸 그래프이다. 보라색 선이 김구 로봇이 취한 T-Pose 동작의 관절 각이고 (1)번 선은 측면의 카메라로부터 구한 관절 각, (2)번 선은 정면의 카메라로부터 구한 관절 각이다. 그림 4 (b)는 앞으로나란히 동작의 θ2 변화를 나타낸 그래프이다. 측면 카메라(2) 번 선)보다 정면 카메라((1)번 선)의 오차가 더 크게 나오는 것을 알 수 있다.

3. 2대의 RGB-D 카메라를 이용한 관절 좌표의 보정 방법

Kinect V2 기기에서 본 논문에서 사용하는 관절은 그림

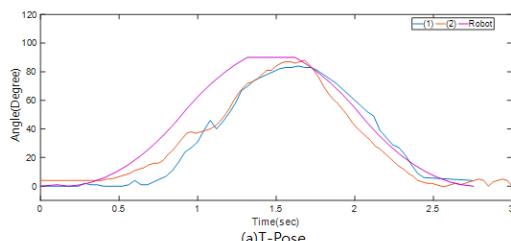


그림 4. 한 대의 카메라로 특정하였을 경우의 관절 각도 값: (1) 측면 카메라, (2) 정면 카메라
 Fig. 4. Joint angle value with using a Kinect V2: (1) side view (2) frontal view

1의 10개의 Joint를 사용하였고 각각 다른 각도에 있는 두 대의 기기를 사용하였기 때문에 좌표값은 Kinect A와 Kinect B에서 각각 다른 좌표로 추출되게 된다. 따라서 두 기기에서 나온 좌표를 하나의 좌표로 통합하여 상호 보완적인 관계를 맺게 해주어야 한다.

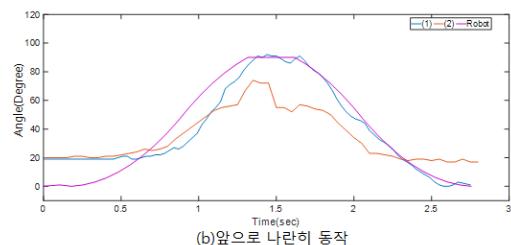
Kinect A에서 획득된 관절에서 $[x, y, z]^T$ 좌표 벡터를 가지고 관절의 번호를 j 라고 하여 d_{jA} 라고 열벡터를 정의한다. 그리고 D_A 를 Kinect A에서 나오는 관절 값들의 데이터 세트라고 정의하면 $d_{jA} \in D_A$ 이고 D_A 는 3×10 행렬로 표현해줄 수 있다. 이 행렬의 열값은 좌표값을 나타내며 행 값은 관절 번호(index)를 의미한다. 예를 들어서 $D_A(2,3)$ 이라고 표기한다면 *shoulder_mid(2)*의 z 좌표를 의미하게 된다. 이와 마찬가지로 Kinect B에서 검출되는 스켈레톤 데이터 또한 3×10 행렬 D_B 로 표기해줄 수 있다.

관절 통합과정은 다음과 같이 최적화 문제로 전환하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{minimize} : f(\theta, \Phi, \psi, t_x, t_y, t_z) &= \sum_{i=1}^{10} \|d_{iA} - \hat{d}_{iA}\|^2 \\ \hat{d}_{iA} &= \begin{bmatrix} c_\theta - s_\theta 0 \\ s_\theta c_\theta 0 \\ 0 0 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_\phi & 0 & s_\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_\phi & 0 & c_\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_\psi - s_\psi \\ 0 & s_\psi & c_\psi \end{bmatrix} d_{iB} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

θ, Φ, ψ 는 회전(rotation) 행렬의 변수들이고 t_x, t_y, t_z 는 이동(translation) 벡터의 변수들이며, c_*, s_* 의 표기들은 $\cos(*)$, $\sin(*)$ 을 표현한 수식이다. 위의 수식은 d_{iB} 를 회전 및 이동을 해준 \hat{d}_{iA} 와 d_{iA} 의 차이를 최소로 하는 6개의 변수를 찾는 최적화 문제로 해결할 수 있다.

이 과정을 도식적으로 설명하면 다음과 같다. 그림 5에서 (a)와 (b)는 각각 두 대의 카메라에서 추출된 스켈레톤 좌표



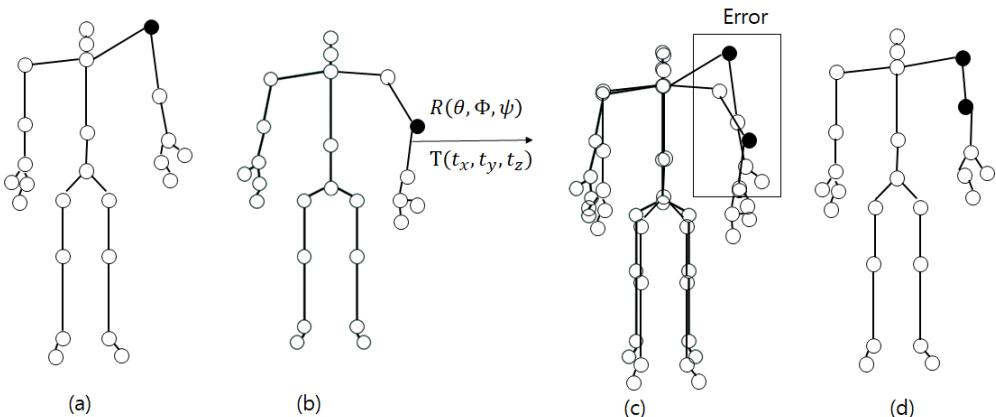


그림 5. 로봇의 관절 통합과정: (a) 정면에서의 스켈레톤, (b) 측면에서의 스켈레톤, (c) 관절 통합과정 중의 어깨 관절값에서의 오차, (d) 관절 통합과정 후의 보정된 스켈레톤

Fig. 5. The process of matching robot joints: (a) skeleton joints from facade, (b) skeleton joints from side, (c) error on shoulder joints during joints matching process, (d) tuned skeleton joints after joints mathing process

값이고, (a)에서는 어깨(shoulder)의 좌표값이 (b)는 팔꿈치(elbow)의 좌표값에서 오류가 나타났다고 가정해보자. (a)의 좌표값을 회전 및 이동을 하여 (b)와 가장 일치하는 (오차를 최소로 하는) 회전 및 이동에 대한 6개의 변수 $(\theta, \Phi, \psi, t_x, t_y, t_z)$ 를 최적화 기법을 이용하여 구한다. d_{iB} 를 회전과 이동을 하여 구한 \hat{d}_{iA} 와 d_{iA} 값의 평균을 취하여 (d)와 같이 보정된 좌표값을 구한다. 이때 실제로는 어떤 관절 좌표에 오류가 있는지 알 수 없으므로 평균값을 취하여 오차를 줄여주는 방법을 택하였다. 이렇게 보정되고 통합된

하나의 스켈레톤 좌표값을 역기구학을 이용하여 로봇 동작에 필요한 관절의 각도 값들을 구한다^[14]. 이후 구한 관절 각도들을 실시간으로 유/무선 통신을 이용하여 로봇에 전송하면 실시간으로 로봇이 사람의 동작을 모사하도록 한다.

III. 실험 및 결과

실험 구성은 II. 2절의 그림 3과 같다. 다만 실험 중 시연

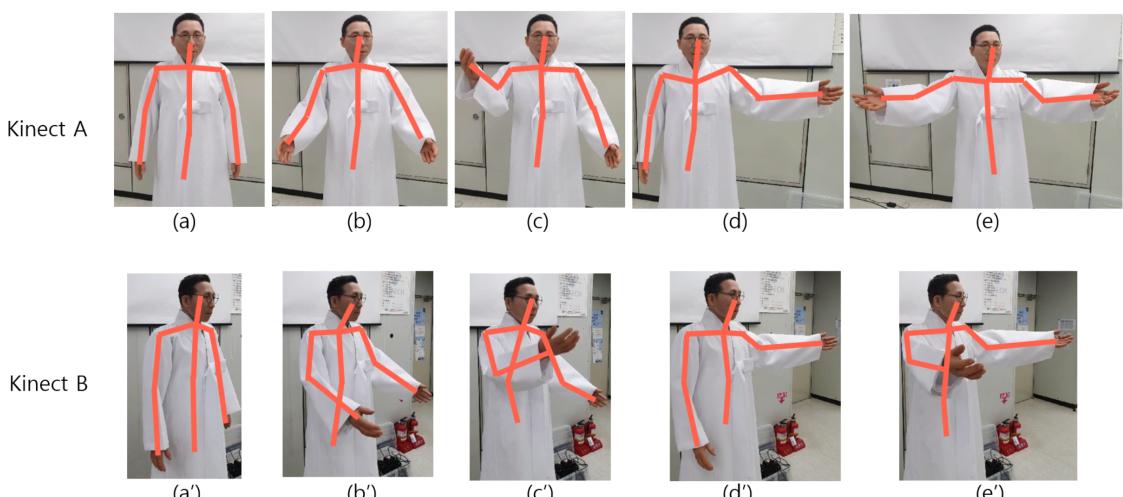


그림 6. 다른 각도로 설치된 두 대의 Kinect 기기에서 관측한 로봇
Fig. 6. The robot from the two Kinects placed at the different angles

자 동작의 관절 각도 값의 레퍼런스를 알 수 없으므로 그림 4의 실험에서와 같이 사람 대신 김구 로봇이 대신 동작을 취하고 본 논문에서 제안한 방식으로 획득된 관절값이 김구 로봇이 취한 관절값과 얼마나 유사 한지를 비교하는 방식으로 실험을 진행하였다.

실험에 사용한 동작은 연설할 때 팔을 뻗거나 펼치는 동작으로 하였다. 이 동작은 카메라의 위치에 따라 관절이 가려지는 부분이 발생하는 동작이다. 그림 6은 각각 정면과 대각선 측면에서 김구 로봇의 연설 동작을 각각 3.3초 단위로 촬영한 이미지 및 스켈레톤을 보여준다.

그림 7은 그림 6의 연설 동작에 대하여 카메라 한 대와 두 대를 이용하여 구한 오른쪽 팔의 관절값을 비교한 그래프이다. 그림 8은 이때 방식별 발생한 오차를 나타낸 그래프이다. 각 그래프의 (1)번은 정면에 있는 Kinect A를 이용하여 측정한 관절값의 변화이고, (2)번은 대각선 측면에 있는 Kinect B에서 측정한 관절값의 변화이다. (3)번은 제안한 방식으로 보정한 관절값, (4)번은 로봇의 레퍼런스 관절값을 나타낸다.

그림 7의 (a)를 보면 5~8초 구간과 11~14초 구간에서 θ_1 의 값이 커지는 데 이것은 팔을 앞으로 뻗는 동작을 취했기 때문이다. 이 구간은 그림 6에서 각각 6.6초 구간인

(c)/(c')와 13.2초 구간인 (e)/(e')에 해당한다. 그림 6의 (c)/(c')에서는 정면에 있는 Kinect A에서 본 팔꿈치 관절의 depth 정보가 부정확하고 (e)/(e')에서는 Kinect B에서 본 팔꿈치 관절의 depth 정보가 부정확하다. 이에 따라 그림 7 (a)에서는 5~8초 구간에서 (1)번 라인이 (4)번에 비하여 많이 벗어나 있으며 11~14초 구간에서는 (2)번 라인이 (4)번과 비교하면 많이 벗어나 있다. 반면 제안한 방법으로 보정한 (3)번 라인은 (4)번과 유사하게 따라가고 있음을 알 수 있다.

그림 8은 그림 7의 각 값에 대한 레퍼런스와의 오차값을 나타낸 그래프이다. 모든 관절 각도에서 (1), (2)보다 (3)에서의 오차가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 특히 시간의 흐름에 따라 관절의 가려짐이 발생하는 구간에서는 오차가 많이 줄어들며 가려짐이 없는 구간에서는 큰 차이가 없어서 전반적으로 하나의 카메라를 사용했을 때 보다 성능을 개선하는 효과를 보여준다.

그림 9는 제한한 방법을 이용하여 사람의 동작을 로봇이 모사하는 것을 보여주는 예이다. 기본동작인 T-Pose와 앞으로나란히 동작, 대화 및 연설 동작을 실시간으로 따라하는 것을 실험을 통해 검증해 보았다.

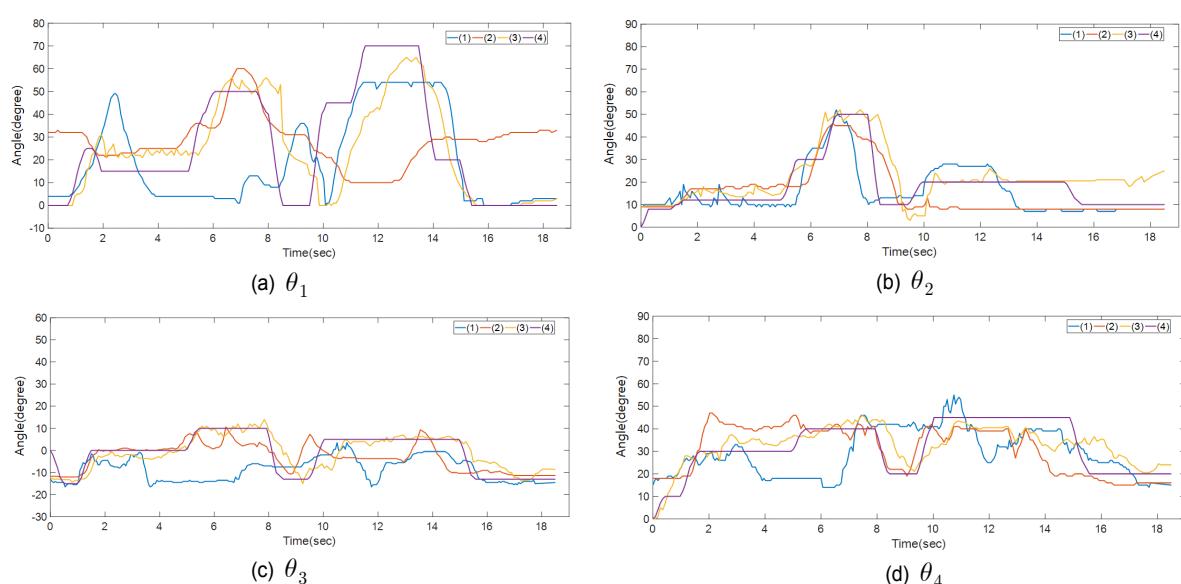


그림 7. 정해진 로봇 동작에 의한 각 관절 각도값 비교 그래프 : (1) kinect A, (2) kinect B, (3) kinect v2 2대 사용, (4) 로봇 관절값
 Fig. 7. The graph of comparing joint angles with fixed robot motion : (1) kinect A, (2) kinect B, (3) two Kinect V2, (4) robot joint angles

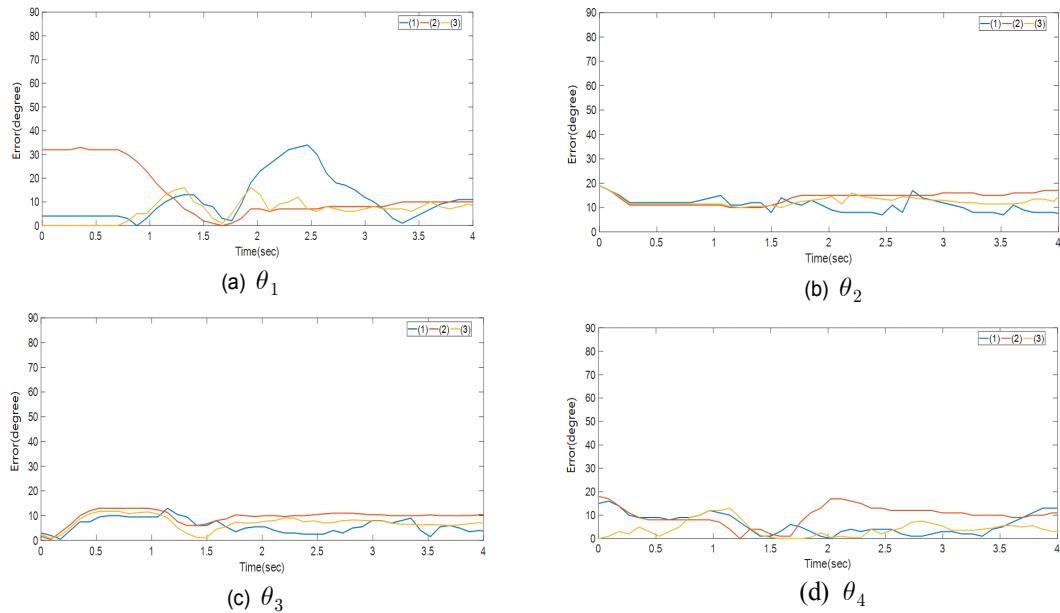


그림 8. 각 관절 각도 값 오차 그래프 : (1) kinect A, (2) kinect B, (3) kinect 2대
Fig. 8. The graph of error of joint angles: (1) kinect A, (2) kinect B, (3) two Kinect

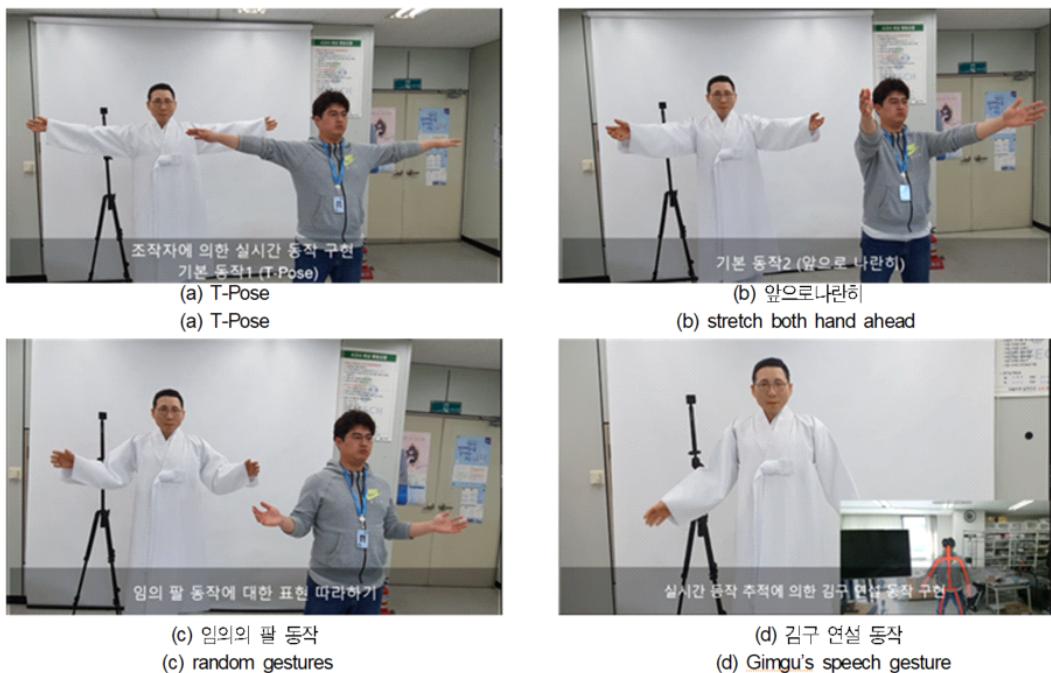


그림 9. 여러 가지 시연자의 동작에 따른 로봇 동작 모사
Fig. 9. Robot's mocking motions according to various gestures of demonstrator

IV. 결 론

본 논문에서는 두 대의 RGB-D 카메라를 사용하여 시연자의 동작에서 검출된 스켈레톤으로 휴머노이드 로봇이 동작을 실시간으로 모사하는 방법을 제안하였다. 두 대의 카메라를 사용함으로써 한 대의 카메라를 사용했을 때와 비교하여 가려지는 관절로 인한 오차값을 줄일 수 있었다. 또한, 휴머노이드 로봇이 시연자의 동작을 실시간으로 따라하는 시연을 통하여 인터랙티브 공연, 전시 분야에서 활용 가능함을 확인하였다. 차후로 표정 인식기를 활용하여 동작뿐만 아니라 다양한 감정표현도 따라 할 수 있도록 하여 실제 공연이나 전시에 적용할 계획이다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] Amazing Shaman animatronic in Na'vi River Journey, Pandora - The World of Avatar, Walt Disney World, https://www.youtube.com/watch?v=_p4mn5BstQo
- [2] Shuichi Nishio, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita, "Geminoid : Teleoperated Android of an Existential Person.", Humanoid Robots: New Developments, pp. 343 - 352, June 2007, doi:10.5772/4876
- [3] Robots vs humans on the opera stage "My score is~", News A, Channel A, 2018. 3. 1 http://www.ichannelsa.com/news/main/news_detailPage.do?publishId=000000081857
- [4] Turtle Talk - Turtle Talk, Walt Disney World, <https://www.tokyodisneyresort.jp/kr/tds/attraction/detail/246/>
- [5] Oscar Efrain Ramos Ponce, "Generation of the whole-body motion for humanoid robots with the complete dynamics.", Robotics [cs.RO].
- [6] Universite Toulouse III Paul Sabatier, pp. 52-59, 2014
- [7] Yiming Yang, Wolfgang Merkt, Henrique Ferrolho, Vladimir Ivan, and Sethu Vijayakumar "Efficient Humanoid Motion Planning on Uneven Terrain Using Paired Forward-Inverse Dynamic Reachability Maps", IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 2, no.4, 2017.
- [8] Guoyu Zuo, Yongkang Qiu, and Tingting pan, "Attitude algorithm of human motion capture system for teleoperation of humanoid robots," 2018 Chinese Automation Congress (CAC) Automation Congress (CAC), pp. 3890-3895, Nov 2018.
- [9] Rongkai Liu, Liang Peng, Lina Tong, Kaizhi Yang, and Bingyang Liu, "The Design of Wearable Wireless Inertial Measurement Unit for Body motion Capture System," 2018 IEEE International Conference on Intelligence and Safety for Robotics (ISR) Intelligence and Safety for Robotics (ISR), IEEE International Conference on, pp. 557-562, Aug 2018.
- [10] Kun Qian, Jie Niu, and Hong Yang, "Developing a Gesture Based Remote Human-Robot Interaction System Using Kinect," Internal Journal of Smart Home, vol. 7, no. 4, pp. 203-208, Jul. 2013
- [11] Van Vuong Nguyen, Joo-Ho Lee, "Full-Body Imitation of Human Motions with Kinect and Heterogeneous Kinematic Structure of Humanoid Robot", 2012 IEEE/SCIE International Symposium on System Integration (SII), pp.93-98, Dec. 2012.
- [12] Lin Yang, Longyu Zhang, Haiwei Dong, Abdulhammed Alelaiwi, and Abdulmotaleb El Saddik, "Valuating and Improving the Depth Accuracy of Kinect for Windows v2", IEEE Sensors Journal, vol. 15, no. 8, pp. 4275-4285, Aug. 2015.
- [13] G. Welch, G. Bishop, "An introduction to the Kalman filter.", pp. 41-95, 1995.
- [14] Jamie Shotton, Andrew Fitzgibbon, Mat Cook, Toby Sharp, Mark Finocchio, Richard Moore, Alex Kipman, and Andrew Blake, "Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images", IEEE CVPR 2011, pp.1297-1304, 2011.
- [15] Mark W. Spong, Seth Hutchinson, and M. Vidyasagar, Robot Modeling and Control First Edition, pp. 85-98, 2005.

저 자 소 개



서 보 형

- 2016년 2월 : 세종대학교 컴퓨터공학과 공학사
- 2019년 8월 : 한양대학교 컴퓨터공학과 공학석사
- 2019년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 컴퓨터공학과 박사과정
- 2019년 9월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 로봇응용부문 학생연구원
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-8813-9634>
- 주관심분야 : 컴퓨터비전, 인공지능, 인간-로봇 상호작용

저자소개

이덕연



- 2004년 2월 : 명지대학교 정보공학 공학사
- 2007년 7월 : 한양대학교 컴퓨터공학 공학석사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 로봇응용연구부문 선임연구원
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-4311-8987>
- 주관심분야 : 안드로이드로봇, 센서, 임베디드시스템

최동운



- 2007년 2월 : 한양대학교 기계공학과 공학사
- 2009년 2월 : 한양대학교 기계공학과 공학석사
- 2010년 7월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 로봇응용연구부문 선임연구원
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-3933-7615>
- 주관심분야 : 로봇 설계 및 제어

이동욱



- 1996년 2월 : 중앙대학교 제어계측공학과 공학사
- 1998년 2월 : 중앙대학교 제어계측학과 공학석사
- 2000년 8월 : 중앙대학교 제어계측학과 공학박사
- 2002년 4월 ~ 2004년 4월 : 중앙대학교 전자통신연구원 연구전담교수
- 2004년 8월 ~ 2005년 7월 : 테네시대학교 박사후 연구원
- 2015년 12월 ~ 2018년 12월 : 한국생산기술연구원 로봇그룹 그룹장
- 2005년 11월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 로봇응용연구부문 수석연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교(UST) 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-3814-5929>
- 주관심분야 : 감성로봇, 공연전시용 로봇, 안드로이드, 인간-로봇 상호작용