

# MR 기반 3차원 생체 객체 인식 및 정합을 위한 방법 설계와 해석 연구

<sup>1</sup>\*조진표, <sup>2</sup>정용배

## A Study on Design and Analysis of Method for MR-based 3D Biological Object Recognition and Matching

<sup>1</sup>\*Jin-Pyo Jo, <sup>2</sup>Yong-Bae Jeong

### 요약

혼합 현실(MR : Mixed Reality) 기술의 발전은 의료 지원 장비 연구와 개발에 큰 영향을 주고 있다. 특히 현장에서 발생하는 응급 상황에 효과적으로 대응할 수 있도록 지원한다. MR 기술은 가상 정보를 실세계에 결합시켜 사용자가 실세계에서 가상 객체를 볼 수 있게 함으로써 응급 처치 및 현장 지원의 접근을 가능하게 한다. 그러나 장비의 특성 상 가상 객체를 사용자 시각 기준으로 정확히 일치시키는 것은 한계가 있다. 이러한 한계를 개선하기 위해 본 논문은 MR 환경에서의 3차원 생체 객체 인식 및 정합 알고리즘을 제안한다. 실험 결과, 사용자 측면에서 광학 기반 HMD를 장착한 상태에서 가상 오브젝트가 렌더링되어 가시화될 때 사용자의 시야인지 오차를 줄일 수 있었고 스켈레톤 인식 중 관절-Loss 현상을 없앨 수 있었다. 제안 방법은 실제 사용자 시야와 가상 이미지 사이의 오차를 줄이며, 가상 객체 인식 및 정합 과정에서 발생하는 오차를 감소시키는 기초를 제공할 수 있다. 본 연구를 활용하여 응급 처치를 위한 원격 의료 지원 시스템의 정확도를 개선하는 데 이바지할 것으로 기대된다.

### Abstract

The development of mixed reality (MR) technology has a great influence on the research and development of medical support equipment. In particular, it supports to respond effectively to emergencies occurring in the field. MR technology enables access to first aid and field support by combining virtual information with the real world so that users can see virtual objects in the real world. However, due to the nature of the equipment, there is a limitation in accurately matching virtual objects based on user vision. To improve these limitations, this paper proposes a 3D biometric object recognition and matching algorithm in the MR environment. As a result of the experiment, when a virtual object is rendered and visualized while equipped with an optical-based HMD from the user's side, it was possible to reduce the user's field of view error and eliminate the joint-loss phenomenon during skeleton recognition. The proposed method can reduce errors between the real user's field of view and the virtual image and provide a basis for reducing errors that occur in the process of virtual object recognition and matching. It is expected that this study will contribute to improving the accuracy of the telemedicine support system for first aid.

**Keywords:** Mixed Space, Biometric Object, Recognition, Alignment, Emergency Medical Visualization Device

<sup>1</sup>\* 교신저자 (주)일렉콤 이사 (ljich@hanmail.net)

<sup>2</sup> 한국폴리텍 VII 대학 스마트팩토리과 산학겸임교수 (wjddyqo1@naver.com)

## I. 서론

최근 혼합 현실(Mixed Reality, MR) 기술의 발전으로 다양한 기기들이 출시되고 있다. 5G 등 고속 통신망의 발전은 Microsoft의 HoloLens나 Apple의 Apple Vision 같은 첨단 장비를 야외 환경에서도 사용할 수 있는 기반을 마련했다. MR 기술은 가상 정보를 실제 세계와 결합함으로써 사용자가 현실에서 가상 객체를 볼 수 있게 한다. 이를 기반으로 의료 및 응급처치 등의 연구가 활발하게 이루어지고 있다[1][2].

일례로 척추 수술에서 MR 디바이스를 이용하여 척추 객체를 실제 환자의 몸에 디스플레이하여 수술 시 레벨 식별의 정확성을 향상하는 연구가 있으며, 재해 현장에 있는 응급 구조대원이 AR HMD를 이용하여 신체 내부를 시각화하여, 효과적인 응급처치를 수행하는 연구가 있다[3][4].

작전 중인 군인들이 응급 상황 발생 시 전문 의료 지원을 신속하게 받는 것은 어려움을 겪고 있어, 이를 해결하기 위한 원격 의료 지원 시스템의 개발이 필요하다. 하지만 이러한 시스템을 구현하는 과정에서, 가상 객체와 실제 시야 사이에 발생하는 오차로 인해 정확한 의료 지원의 제공에 어려움이 있다.

이 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 광학 기반 HMD(Head-Mounted Display) 장비를 사용할 때 발생할 수 있는, 가상 객체의 위치와 사용자의 실제 시야 사이의 인지 오차를 줄이는 방법을 제안한다. 이를 위해 RGB 카메라를 활용하여 환자의 스켈레톤을 실시간으로 식별하고, 해당 위치 정보를 바탕으로 3D 가상 객체를 정확한 위치에 오버레이 하여 가시화하는 접근 방식을 소개한다. 본 방법은 광학 HMD 장치에서 가상 객체를 실제 세계 공간에 오버레이 할 때 발생하는 인지 오차를 줄이기 위한 새로운 차원의 3차원 생체 객체 인식 및 정합 알고리즘을 제안한다.

## II. 본론

### 2.1 MR 기반 현장 대응 응급의료조치 시스템

MR 기반 현장 대응 응급의료조치 시스템은 그림 1과 같이 MR 디바이스(가시화 디바이스)와 고속 무선통신 등을 이용하여 현장 상황을 의료상황실로 전송하고 현장의 응급처치요원이 의료상황실의 의료 지도를 받아 처치할 수 있는 "MR 기반 원격 의료지원 시스템"과 의료상황실의 지원이 불가능한 응급 상황에서 3차원 공간의 생체객체 인식 및 정합 기술 이용하여 응급처치를 수행할 수 있는 MR 기반의 "현장 의료 대응 시스템"으로 구성하여 연구하였다.

원격 의료 지원 시스템은 현장의 상황을 시각적으로 관찰하고 현장 응급 의료 조치에 대한 원격 가이드 수행 목적으로 시스템은 보안 체계 및 자원의 공유를 지원하는 통신서버, 응용서버, 웹 포털 서버, DB 서버, 음성 서버 등의 서버 시스템들로 구성하였으며, 서비스를 위해 원격 의료진이 접근할 수 있도록 가시화 디바이스, 태블릿, 워크스테이션 등을 활용하여 접근 및 현장 응급조치 상황에 대한 원격 의료 지원을 수행할 수 있도록 설계하였다.

현장 의료 대응 시스템은 휴대용 에지형 컨트롤러와 가시화 디바이스로 구성되며, 가시화 디바이스에서 생체객체 인식 엔진, 정합 엔진, 렌더링 엔진을 동시에 운영하는 경우 발생할 높은 부하를 고려하여 휴대용 에지형 컨트롤러에 생체객체 인식 엔진을 탑재하고, 가시화 디바이스에서는 표준 응급 의료 처치 및 전술적 전투 사상자 처치(TCCC, Tactical Combat Casualty Care)를 기반으로 한 현장응급조치 11종 및 구급차 탑승 후 응급조치 5종의 제작 시나리오 기준 생체객체 인식 정보를 기반으로 응급조치 가이드 도구 및 오브젝트의 정합, 미디어, 음성 명령 등을 반영하여 렌더링을 수행할 수 있도록 하며, 렌더링을 통해 MR 디바이스에서의 시각화로 응급 조치자가 응급 상황에 즉각적 대응하여 응급조치를 수행할 수 있도록 설계하였다.

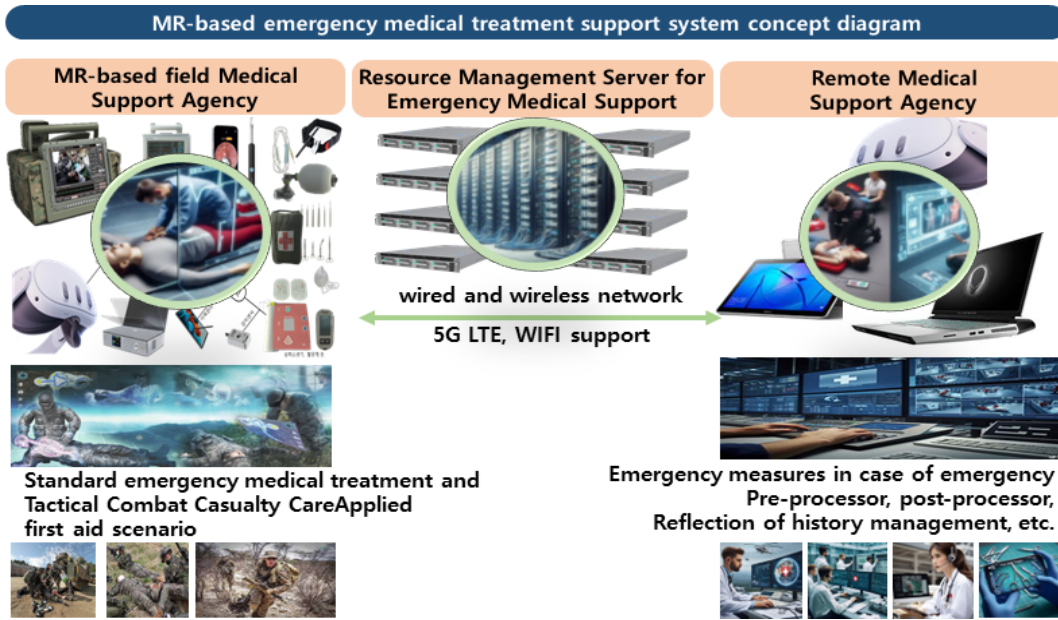


Figure 1. Full structure of MR-based field response first aid system  
 그림 1. MR 기반 현장 대응 응급조치 시스템의 전체 구조

## 2.2 MR 기반 3차원 생체객체 인식

MR 기반 3차원 생체객체 인식은 응급환자를 구분하고 응급환자의 3D 스켈레톤 (Skeleton)을 추출하는 과정으로 응급조치 제작 시나리오에 의한 응급조치 가이드를 표현하는 경우 신체 구조와 응급조치 부위 및 필요한 조치 절차를 명확하게 이해 및 시각화할 수 있도록 필요한 정보를 수집한다[5]. 3차원 생체객체 인식은 휴대용 에지형 컨트롤러에서 수행하며, 가시화 디바이스에서 전송받은 RGB Map 과 Depth Map 을 활용하여 3차원 생체객체 정보를 추출한다. 추출한 정보는 가시화 디바이스로 전송되어 MR 공간에 맞게 보정되고, 요소 오브젝트들과 미디어들을 Overlap 후 렌더링하여 운영 시나리오의 절차로 가시화할 수 있도록 시스템을 그림 2와 같이 설계하여 구현한다[6].

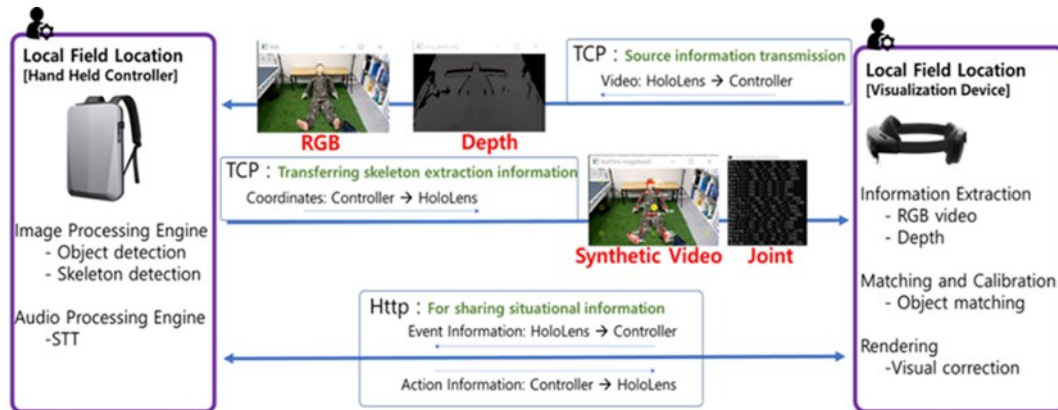


Figure 2. MR-based on-site 3D biometric object recognition system  
 그림 2. MR 기반 현장 3차원 생체객체 인식 시스템 구성

본 논문에서는 현장 대응 응급조치를 목적으로 전쟁, 재난 등 다중 환자 및 응급상황 발생과 같은 환경적 요인과 활용 시스템의 성능, 특성 등의 물리적인 요인을 고려하여 RGB Map의 열화된 영상을 정규화 하는 전처리 단계, OpenPose에 의한 생체 객체 인식 및 2D 스켈레톤을 추출하고,

3D Depth 추정 Map 을 통해 3D 스켈레톤을 생성하는 단계, 3D 스켈레톤 Joints 의 좌표 보정단계로 그림 3 과 같이 구현하였다.

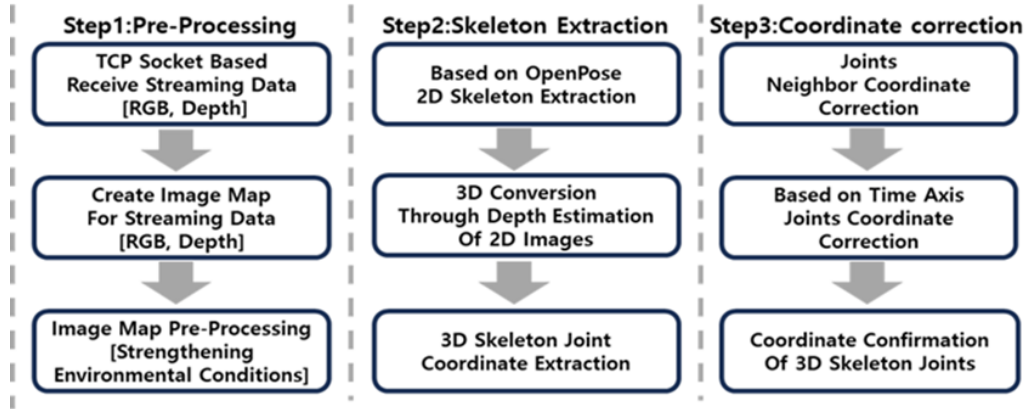


Figure 3. 3D biometric object recognition procedure and 3D skeleton extraction  
그림 3. 3 차원 생체객체 인식 절차 및 3 차원 스켈레톤 추출

그림 3 의 1 단계(Step1:Pre-Processing)에서는 가시화 디바이스를 통해 TCP 소켓 통신으로 획득한 실시간 스트리밍 데이터를 기반으로 RGB Map 과 Depth Map 을 생성한다. 또한 가시화 디바이스의 운영 환경에서 발생하는 RGB Map 의 열화된 이미지를 정규화하는 과정을 적용하여, Depth Map 을 RGB Map 의 해상도로 변환하는 전처리 단계를 수행한다.

그림 3 의 2 단계(Step2: Skeleton Extraction)에서는 2D RGB Map 기반 스켈레톤 추출 및 2D RGB Map 에서 3D Depth Map 추정하여 3D 스켈레톤을 추출하는 과정을 수행한다.

2 차원 공간에서의 생체 객체 인식은 RGB Map 을 기반으로 사람을 인식하는 과정과 스켈레톤을 추출하는 과정으로 구분하여 수행하며, 이러한 경우 인식 및 포즈추적 알고리즘(Pose Tracking Algorithm)으로 상향식의 OpenPose, 하향식의 AlphaPose, 상향 및 하향을 포함한 UniPose+, 경량화한 PoseNet 등 대표적 방법과, 스켈레톤 추출과정에서 누락되는 경우의 보간(Interpolation)은 선형보(Linear), 스플라인(Spline), 쿼터니언(Quaternion), 케이네마틱 인버스(Kinematic Inverse), 딥러닝(Deep Learning) 등이 대표적인 방법이다.

스켈레톤 추출은 다중객체의 발생을 고려하여 실시간 자세 추정에 효과적인 키포인터를 우선 찾은 후 상호 키 포인터를 연결해주는 상향식 OpenPose 방식으로 PCM(Port Confidence Maps) 단계, PAF(Part Affinity Fields) 단계, Bipartite Matching 단계를 적용하였다. PCM(Port Confidence Maps)의 단계는 입력 맵에서 Keypoints 의 확률이 높은 Point 를 나타내는 Confidence Map (2D heat Map)을 학습하고, NMS 를 이용한 Confidence Map 에서의 Keypoints 의 위치추정은 다음 식 2-1 과 같이 정의한다.

$$S_{j,k}^*(p) = \exp\left(-\frac{\|p-x_{j,k}\|_2^2}{\sigma^2}\right), S_j^*(p) = \max_k S_{j,k}^*(p) \quad \text{식 2-1}$$

Confidence Map(S)는 Keypoint 를 정점으로 하는 Gaussian Model 로 j(Port Index), k(Persion Index), p(position of pixels), x(Annotated coordinate points),  $\sigma$ (Status adjustment items)를 나타내며, 동일 픽셀 위치에 다수 객체(사람)의 Part Confidence 가 중첩되어 있을 경우, 가장 큰 Score 의 Person/Part 를 Groud Thuth 로 선정한다.

PAF(Part Affinity Fields)는 Keypoint 와 Keypoint 가 연결될 limb 의 위치와 방향을 나타내는 Affinity Fields 를 학습시키고 원하는 관절과 관절 연결을 결정하는 단계로 다음 식 2-2 와 같이 정의한다.

$$v = (x_{j_2k} - x_{j_1,k}) / \|x_{j_2,k} - x_{j_1,k}\|_2 \quad 0 \leq v(p - x_{j_1,k}) \leq l_{c,k} \text{ and } |v_{\perp}(p - x_{j_1,k})| \leq \sigma_l \quad \text{식 2-2}$$

$v$  는 Keypoint  $j_1$  에서 Keypoint  $j_2$  로 향하는 단위벡터이며,  $j_1$  에서  $j_2$  의 길이보다 작은 단위벡터  $v$  와 수직(orthogonal) 벡터  $v_{\perp}$  에 limb 의 두께보다 좁은 위치  $p$  를 추출한다. 여기서  $L(p)$  는 유효한  $p$  의 위치에서 단위 벡터  $v$  를 가진다.

$$L_{c,k}^*(p) = \begin{cases} v & \text{if } p \text{ on limb } c, k \\ 0 & \text{other wise} \end{cases} \quad L_c^*(p) = \frac{1}{n_c(p)} \sum_k L_{c,k}^*(p)$$

$$E = \int_{u=0}^{u=1} L_c(p(u)) \cdot \frac{d_{j_2} - d_{j_1}}{\|d_{j_2} - d_{j_1}\|_2} du \quad \text{식 2-3}$$

$$p(u) = (1 - u)d_{j_1} + ud_{j_2}$$

Keypoint  $j_1$  과 Keypoint  $j_2$  사이를 연결하는 limb 위에 있을 것으로 추측되는  $p(u)$  의 모든 PAF 값을 적분하여  $E$  값을 산출하며, 이때 limb 위에 있을 것으로 추측되는 pixel 들의 모든 벡터 방향과 두 후보 Keypoint 간의 단위 벡터의 방향이 일치할 수록  $E$  의 값은 커진다.

마지막으로 스켈레톤 시각화는 Bipartite Matching 과정의 결과로 하나의 Keypoint 와 이어질수 있는 Keypoint 는 정해져있다는 조건에서 PCM 과 PAF 를 활용하여 서로 연결을 수행한다[7][8].

그림 3 의 2 단계(Step2: Skeleton Extraction)의 2D 스켈레톤 추출 후 2D RGB Map 으로 부터 3D Depth Map 을 추정하기 위해 '모노 깊이 추정(Mono Depth Estimation)' 기술을 적용한다. 이 기술은 2D RGB 에서 3D Depth Map 을 추정하는 방법으로, 본 시스템에서는 트랜스포머(transformer)를 인코더의 기본 계산 단위로 활용하는 인코더-디코더 구조를 기반으로 하는 'Dense Prediction Transformer (DPT) Large 모델', 즉 밀집 예측 변환기의 대형 모델을 적용하여 3D Depth 추정 Map 을 생성하고, 이 추정 Map 을 이용하여 스켈레톤의 3D 관절을 추출하였다[9][10].

그림 3 의 3 단계(Step3:Coordinate Correction)인 3D 스켈레톤 관절 보정(3D Skeleton Joints Correction)은 3D Depth 추정 Map 에서 추출한 스켈레톤의 3D 관절의 깊이 보정단계, 25 개의 스켈레톤(Skeletons Body-25)기준 각 관절별 휴머노이드의 관절각 구성 범위를 기반으로 누락 및 유효 관절의 추정 단계, 시계열 기준 각 관절의 변화량에 따른 노이즈 보정 단계를 적용하여 골절의 관절을 지속적으로 유지할 수 있도록 설계에 반영하였다. 특히, 3D Depth 추정 Map 에서 추출한 스켈레톤의 3D 관절들의 깊이 보정단계는 추정 Map 의 깊이와 실제 가시화 디바이스에서 추출한 Depth Map 의 오차 보정을 수행하는 단계로 Neck(목)과 MidHip(중심 골반)을 중심 두 Joint 의 깊이차와 상호 추출 값의 크기를 활용하여 깊이 추정 Map 에서 추출한 스켈레톤의 깊이 값을 보정하였다[11].

### 2.3.3 차원 생체 객체 정합

MR 기반 혼합현실 환경에서 가시화 디바이스를 착용한 사용자의 관점에서 응급조치 운영 스켈레톤을 구현하는데 있어, 3D 스켈레톤 정합은 매우 중요한 역할을 가지며, 이는 응급조치에 필요한 다양한 가이드 요소의 도구 위치 및 방향을 결정하는 데 기준 정보로 사용된다. 또한, 사용자가 실제 환경과 가상 환경 사이의 연속성을 경험하게 하며, 이를 통해 몰입감을 향상시키는 중요한 요소로 작용한다. 본 논문에서는 그림 4 과 같이 3 차원 생체 객체의 정합으로 3D 오브젝트(Object)의 시각화를 렌더링(Rendering) 하였다[12][13].

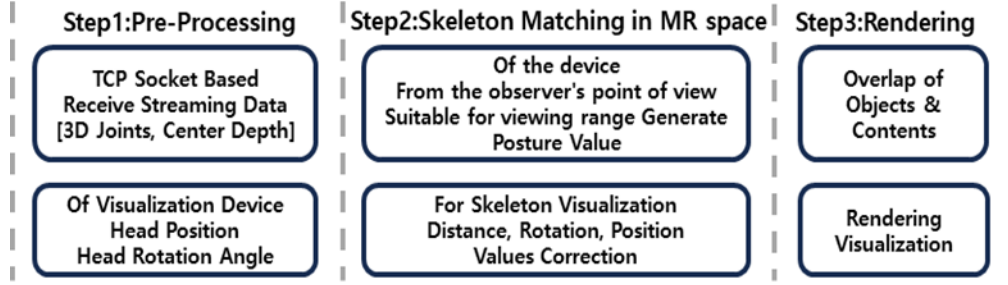


Figure 4. 3D biological object registration and rendering

그림 4. 3 차원 생체객체 정합 및 렌더링

3D 스켈레톤 오브젝트는 관절간 실린더 형성과정으로 가상 응급조치 요소 오브젝트를 오버랩(Overlap)하기 위한 방향과 크기를 설정하는 기준으로 활용되며, 디바이스를 장착한 사용자 시야 관점에서 3 차원 스켈레톤 오브젝트( $O_{skeleton}$ )를 다음 식 2-4 과 같이 생성하고 피사체에 정합할 수 있도록 하였다.

$$O_{skeleton} = MSR_xR_yR_zA \quad \text{식 2-4}$$

여기서 A 는 이동하기전의 스켈레톤 오브젝트의 중심좌표이며, M 은 이동행렬, S 는 스케일링 행렬,  $R_x$  는 x,y,z 축의 회전행렬을 의미한다. 회전은은 디바이스의 회전각을 기준으로 적용하였다.

생성된 오브젝트는 디바이스를 장착한 사용자 시야 관점에서 실제 목적 위치에 정합하기 위해서 실린더의 위치, 크기, 방향 정보를 활용하여 오버랩하도록 구현하여 애니메이션이 포함된 오브젝트( $O_{skeleton}$ )를 다음 식 2-5 와 같이 위치하도록 구현하였다[14].

$$O_{object} = MSR_xR_yR_zA \quad \text{식 2-5}$$

### III. 구현 및 실험

#### 3.1 실험 환경 구성 및 조건

실험에서는 현장 대응 응급조치 시스템을 위해 가상화 디바이스인 '홀로렌즈 2'와 '11 세대 인텔(R) 코어(TM) i7-11370H @ 3.30GHz 프로세서', '16.0GB(15.7GB 사용 가능) DDR4-3200 (1600 MHz) 메모리', 그리고 'NVIDIA GeForce RTX 3070 Laptop GPU'가 탑재된 휴대용 컨트롤러를 제작하였다. 무선 구간 통신 Wifi 5G 를 기반으로 하며, 또한, 다수 서버들(통신, 응용, 웹 포털, 음성, DB)을 구성하여, 이 시스템은 실내 공간에서 그림 5 와 같이 수행되었다.

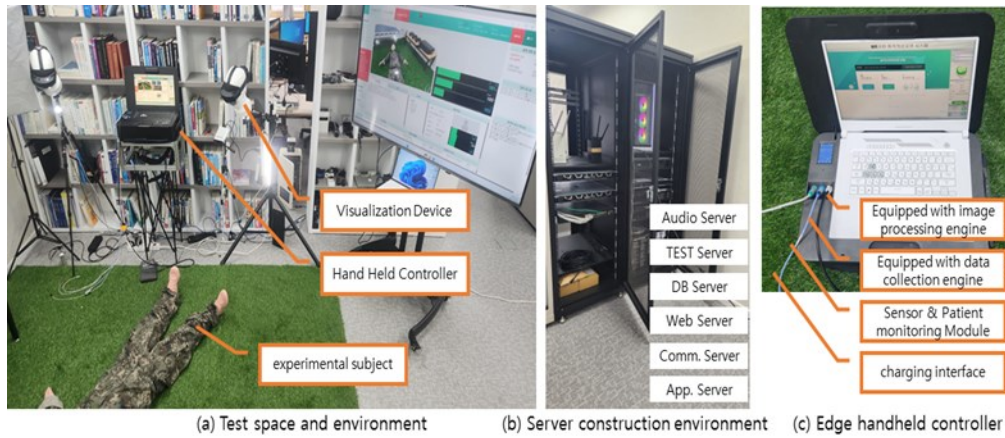


Figure 5. test environment  
그림 5. 시험 환경

### 3.2 실험 결과

MR 기반 현장 대응 응급조치 시스템의 구축 및 시험은 운영 시나리오에 기반하여 진행하였으며, 그림 6-(a)부터 그림 6-(d)까지는 2D RGB Map 에서 스켈레톤을 추출하는 과정이다.

그림 6-(e)부터 그림 6-(h)까지는 Depth Map 으로 부터 관절의 z 값을 매핑하는 과정(Case 1)이며, 그림 6-(i)부터 그림 6-(l)까지는 2D RGB Map 과 Depth Map 의 해상도 및 왜곡 문제를 개선하기 위해 적용된 3D Depth 추정 Map 에서 관절의 z 값을 추출하여 3D 스켈레톤을 생성하는 과정(Case2) 이다.

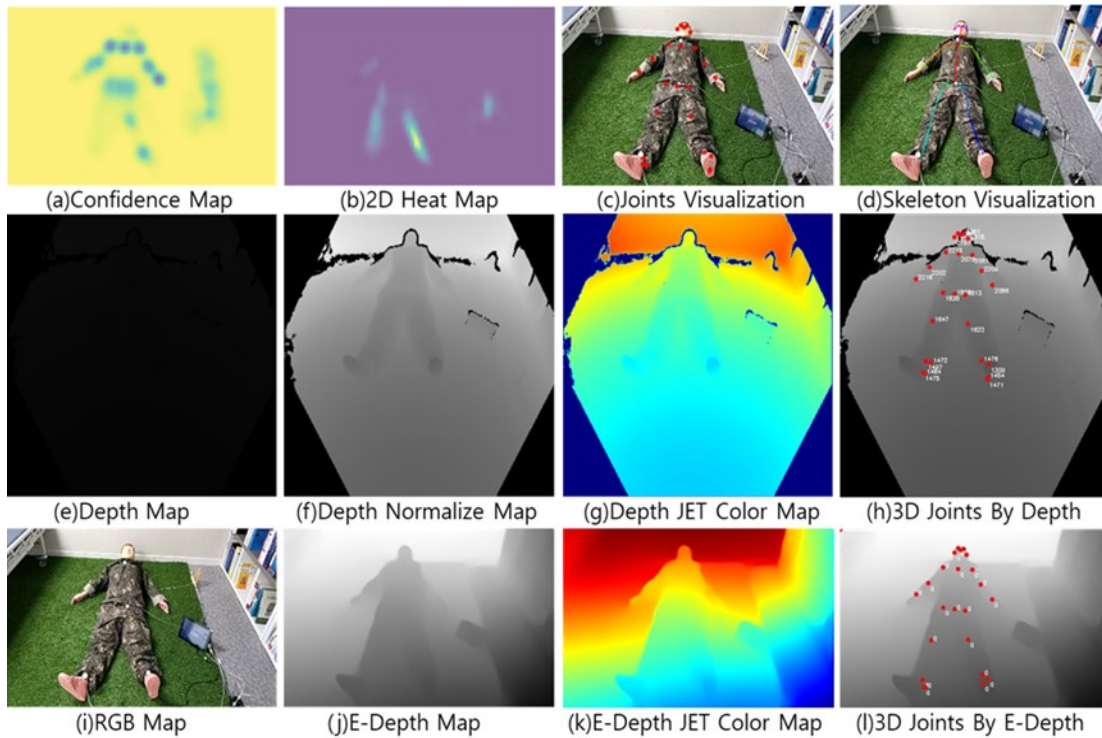


Figure 6. OpenPose-based 3D skeleton extraction process  
그림 6. OpenPose 기반 3D 스켈레톤 추출 과정

표 1 은 피사체(실험대상체)가 누워있는 고정 상태에서 관절의 깊이 값을 기준으로 산출한 거리 결과를 나타내며, 단위는 밀리미터(mm)이다.

'Criteria' 항목은 스켈레톤의 각 관절 좌표에 해당되는 위치의 Depth Map 값 100 개를 추출하여 이를 거리로 환산한 평균값을 의미한다.

'Case1'은 Depth Map 에서 2D RGB Map 으로 부터 추출한 스켈레톤의 관절 좌표를 기준으로 16x16 범위 내의 값을 정렬하여 그 중앙값을 취한 후, 10 프레임에 대한 평균값을 거리로 환산한 결과이다.

'Case2'는 3D Depth 추정 Map 에서 2D RGB Map 으로부터 추출한 스켈레톤의 관절 좌표를 기준으로 추출한 값에 대한 10 프레임에 대한 평균값을 거리로 환산한 결과이다. 이 표에서 10cm 이상의 거리 오차가 발생이 'Case1' 대비 'Case2'의 경우 낮음을 확인할 수 있다.

Table 1. Distance error measure

표 1. 거리오차 측도

Item	Criteria	Case1	Case2	Case1(D)	Case2(D)
Nose	2245	1135	2195	1110	50
Neck	2070	2081	2076	-11	-6
RShoulder	2113	2220	2115	-107	-2
RElbow	2078	2134	2011	-56	67
RWrist	2157	2193	2136	-36	21
LShoulder	2087	2024	2049	63	38
LElbow	2043	2086	1943	-43	100
LWrist	1956	2004	1863	-48	93
MidHip	1746	1828	1755	-82	-9
RHip	1772	1841	1769	-69	3
RKnee	1597	1628	1586	-31	11
Rankle	1378	1408	1288	-30	90
LHip	1746	1836	1755	-90	-9
LKnee	1535	1693	1624	-158	-89
LAnkle	1273	1421	1218	-148	55
Reye	2253	2707	2185	-454	68
Leye	2245	2277	2169	-32	76
Rear	2323	2733	2255	-410	68
Lear	2323	2330	2342	-7	-19
LBigToe	1159	1305	1183	-146	-24
LSmallToe	1168	1274	1157	-106	11
LHeel	1229	1292	1214	-63	15
RBigToe	1325	1428	1275	-103	50
RSmallToe	1325	1414	1271	-89	54
RHeel	1360	1454	1343	-94	17
Measuring the occurrence of distance error over 100mm				9	1

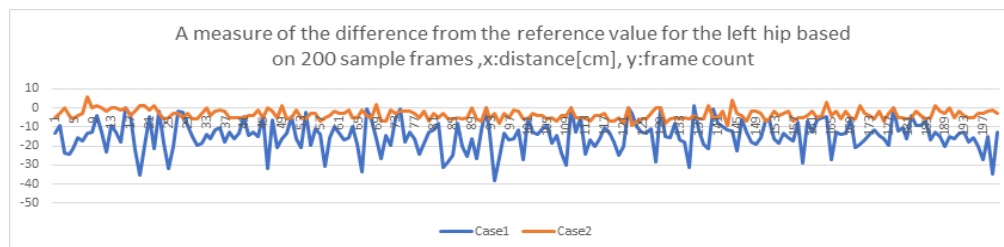


Figure 7. Criteria-based distance error measurement for left hip 3D Joint

그림 7. 왼쪽 엉덩이 골격 좌표 기준 거리오차 측도

그림 7 은 왼쪽 엉덩이(LHip)인 관절의 'Criteria' 기준 실시간으로 추출되는 frame 관점에서 거리 오차 측정 결과이다. 그림 7 의 그래프에서 'Case2'의 최대 거리 오차는 max:6cm, 반면



'Case1'의 최대 거리 오차는 max: -38cm 이다. 이 결과로부터 'Case2'의 방법이 'Criteria' 값에 근사함을 확인할 수 있다.

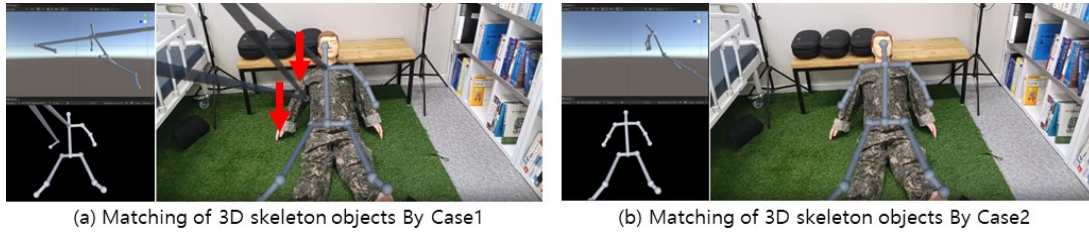


Figure 8. Skeleton object matching results in MR space  
 그림 8. MR 공간에서 스켈레톤 오브젝트 정합 결과

본 연구에서 설정한 'Criteria' 기준은 500mm 이하의 오차 발생 범위를 유효 조건으로 설정한 경우, 2D RGB Map 으로 부터 추출된 스켈레톤의 관절 수 대비 'Case2'에서는 관절-Loss 가 전혀 발생하지 않았다. 반면, 'Case1'에서는 최대 6 개, 평균적으로는 1 개 이상의 관절-Loss 가 발생하는 것으로 관찰되었다. 그림 8은 거리 오차 및 Loss 가 발생했을 때, MR 공간에서 실험 대상체와 어떻게 매칭되는지를 시각적으로 보여준다.

그림 8-(a)에서, 화살표는 Loss 가 발생한 경우에 목적 위치에 해당 관절이 존재하지 않는 것이 확인되며, 이는 MR 공간에서 3D 가상 오브젝트(3D Virtual Objec) 및 콘텐츠(3D Content)의 가시화를 위한 기준 위치 설정에 있어 중요한 요소임을 시사한다.

또한, 그림 8-(a)의 'Case1'과 비교했을 때, 그림 8-(b)의 'Case2'에서는 더 안정된 모습을 확인할 수 있으며, 이는 'Case2' 방법론이 MR 공간에서의 가상 객체 매핑 및 가시화에 있어 더 효과적임을 나타내는 결과로 해석될 수 있다.

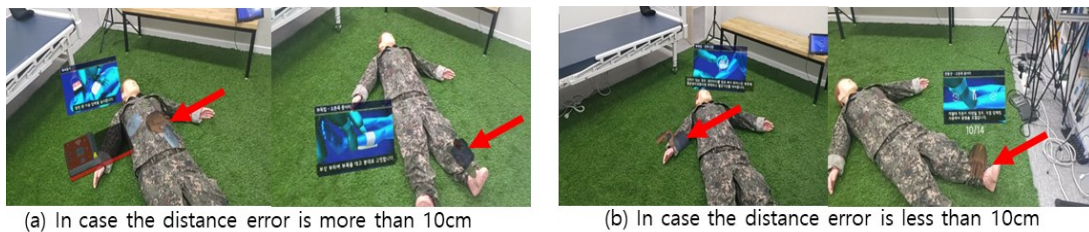


Figure 9. 3D object registration results in MR space  
 그림 9. MR 공간에서 3D 오브젝트 정합 결과

그림 9는 앞서 실험한 결과를 토대로 운영 시나리오에 의한 MR 공간에서 화살표와 같이 3D 가상 오브젝트를 정합할 경우, 가시화 디바이스(Hololens 2)를 장착한 사용자 관점에서 3D 스켈레톤의 거리 오차가 미치는 영향을 시각적으로 표현하고 있다. 그림 9-(a)와 그림 9-(b)를 통해 주관적 관점에서 거리 오차가 작을수록 시각적 표현 능력이 안정적임을 확인할 수 있다.

본 실험을 통해, MR 환경에서 가시화 디바이스를 장착한 사용자의 시야 관점에 기반한 3차원 스켈레톤 정보의 중요성이 입증되었다. 또한 MR 공간에서 3D 스켈레톤의 정확성은 피사체를 기준으로 한 3D 가상 오브젝트와의 오버랩(Overlap) 과정에서 핵심적인 역할을 수행하는 것으로 예상된다.

특히, 본 시스템인 MR 기반 현장 대응 응급조치 시스템에서 제작된 필요요소의 다양한 가상 저작물들은 가시화 디바이스를 장착한 사용자의 시야 관점에서 3D 스켈레톤 추출 및 정합 기술을 기반으로 정확하게 가시화함으로써 운영 시나리오에서 요구되는 행위들을 시각적으로 관찰하고 수행할 수 있을 것으로 예상된다.

## IV. 결론

본 논문에서 개발된 시스템은 현장 응급조치를 지원하기 위해 MR 기반 접근법을 적용하여 의료적 전문지식이 없는 응급조치자가 실시간으로 가상 객체와 미디어를 활용할 수 있도록 구체적인 가이드를 제공함으로써 응급 상황에 대처할 수 있는 능력을 강화할 수 있도록 설계하였다. 본 시스템은 3 차원 스켈레톤 추출 기술을 사용하여 가상 객체를 정확한 위치에 겹쳐 표시함으로써, 응급조치자의 시야 중심에서 실제 응급 대상자와 매칭되도록 하여 현실감을 제공하였으며, 이러한 기술적 진보는 가상 객체와 미디어의 자연스러운 통합을 통해 응급조치자의 몰입감을 증진시키고, 디바이스의 회전 및 위치 변화에 따라 가상 객체를 동적으로 조정하여 사용자 경험을 최적화한다. 이러한 훈련 환경을 통해 응급조치자들은 현장감 있는 훈련을 경험하고, 실제 응급 상황에서 효과적인 대응이 가능하도록 준비할 수 있다. 본 연구는 응급 상황 대응 능력을 혁신적으로 향상시키는 데 중요한 기여를 하며, 응급 의료 분야에서의 기술적 진보에 큰 발판을 마련하고자 한다.

## V. 감사의 글

이 논문은 2020 년도 민간기술협력사업 (3 차원공간의 생체객체인식 및 정합 알고리즘 연구)의 지원으로 수행되었다.

## VI. 참고문헌

- [1] Rebol M, Rebol K, Krzysztof C, Hood C, Rutenberg A, Sikka N, et al. "Collaborative System Design of Mixed Reality Communication for Medical Training." Proceedings of the 56th Hawaii International Conference on System Sciences. 2023 Jan;418–427.
- [2] Burström G, Persson O, Edström E, Elmi-Terander A. "Augmented Reality Navigation in Spine Surgery." *Acta Neurochirurgica*. 2021 Jan;163(3):843–852.
- [3] Ryoma A, Ukei A, Hiraku H, Itsuo W, Takahashi T, Ishibashi T. "Augmented Reality Device for Preoperative Marking of Spine Surgery Can Improve the Accuracy of Level Identification." *Spine Surg Relat Res*. 2022 Nov;6(3):303–309.
- [4] Antevski K, Girletti L, Bernardos CJ, de la Oliva A, Baranda J, Manges-Bafalluy J. A "5G-Based eHealth Monitoring and Emergency Response System: Experience and Lessons Learned." *IEEE Access*. 2021;9:131420–131429.
- [5] Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei, Yaser Sheikh(Carnegie Mellon University), "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity", *Computer Vision and Pattern Recognition*, [v2] Fri, 14 Apr 2017
- [6] M. Andriluka, S. Roth, and B. Schiele, "Monocular 3D pose estimation and tracking by detection.", In *CVPR*, 2010. 1
- [7] Vijay Badrinarayanan, Alex Kendall, and Roberto Cipolla, "A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation.", *IEEE TIP*, 39(12):2481–2495.
- [8] S. Johnson and M. Everingham, "Clustered pose and nonlinear appearance models for human pose estimation.", In *BMVC*, 2010. 1
- [9] JRené Ranftl, Alexey Bochkovskiy, Vladlen Koltun, "Vision Transformers for Dense Prediction," *IEEE International Conference on Computer Vision.*, 24 Mar 2021.
- [10] Vincent Casser, Soeren Pirk, Reza Mahjourian, and Anelia Angelova, "Unsupervised learning of depth and ego-motion: A structured approach." In *AAAI*, 2019.
- [11] Qian-Yi Zhou, Jaesik Park, and Vladlen Koltun. "Open3D: A modern library for 3D data processing". *arXiv:1801.09847*, 2018.
- [12] E. Azimi, L. Qian, N. Navab, and P. Kazanzides. "Alignment of the virtual scene to the 3D display space of a mixed reality head-mounted display". *arXiv preprint arXiv:1703.05834*, 2018.
- [13] L. Qian, E. Azimi, P. Kazanzides, and N. Navab. "Comprehensive tracker based display calibration for holographic optical see-through headmounted display". *arXiv preprint arXiv:1703.05834*, 2017

## 저자소개

---



### 조진표(Jinpyo Jo)

2015 년 10 월~현재 (주)일렉콤 국방사업본부(이사)  
2020 년 08 월 국립한밭대학교 정보통신전문대학원 컴퓨터공학과 석사  
2024 년 02 월 국립한밭대학교 소프트웨어융합대학원 컴퓨터공학과 박사

관심분야: 사물인터넷, 데이터통신, 레이저영상, 데이터 시각화, 가상현실



### 정용배(Yongbae Jung)

2010 년 02 월 경남대학교 대학원 정보통신공학과 박사  
2017 년 11 월~현재 스페이스코어 대표  
2020 년 03 월~현재 한국폴리텍 VII 대학 스마트팩토리과 산학겸임교수

관심분야: 임베디드 시스템, 사물인터넷, 스마트팩토리, 인공지능

---