

Exoskeleton 형태의 모션 캡처 장치를 이용한 이동로봇의 원격 제어

Teleoperated Control of a Mobile Robot Using an Exoskeleton-Type Motion Capturing Device Through Wireless Communication

전 풍우, 정 슬*
(Poong-Woo Jeon and Seul Jung)

Abstract : In this paper, an exoskeleton-type motion capturing system is designed and implemented. The device is designed to have 12 degree-of-freedom entirely to represent human arm motions. Forward and inverse kinematics of the device are analyzed to make sure of its singular positions. With the designed model parameters, simulation studies are conducted to verify that the designed motion capturing system is effective to represent human motions within the workspace. As a counterpart of the exoskeleton system, a mobile robot is built to follow human motion restrictively. Experimental studies of teleoperation from the exoskeleton device to control the mobile robot are carried out to show feasible application of wireless man-machine interface.

Keywords : exoskeleton robot, motion capturing device, teleoperated control, man-machine interface, boxing robot

I. 서론

인간과 로봇간의 다양하고 효율적인 인터페이스에 관한 연구는 수년에 걸쳐 다양하게 연구되고 발전되어 왔다. 최근에는 과학 기술의 발달과 필요에 의해 인간과 로봇과의 기계적이고 수동적인 관계를 벗어나 서로의 감정을 교환하는 능동적인 관계로 전환되어 교감의 실현가능성을 보여주고 있다.

이러한 인간-기계 인터페이스(man-machine interface)에 관한 다양한 연구의 일환으로 사람의 동작을 효율적으로 검출하기 위한 모션 캡처 장치에 관한 연구도 다방면에 걸쳐 다양하게 진행되어왔다. 한 예로서 핵폐기물을 처리하는 곳이나 지뢰와 같은 폭발물이 있는 곳처럼 사람이 직접 작업할 수 없는 위험한 공간에서, 작업로봇을 조종하기 위해 모션 캡처 장치가 응용되기도 하고, 게임 산업이나 애니메이션 영화 산업 등에서도 주인공들의 동작을 실제 사람의 그것과 유사하도록 설정하기 위해 모션 캡처 장치 등이 응용되고 있는 실정이다. 이와 같이 여러 방면에서 연구되고 있는 모션 캡처 장치는 응용되는 분야나 연구 목적에 따라 다양한 형태로 설계되는데 대표적으로 다음과 같은 형태로 분류된다[1-4].

- 자이로, 가속도 센서 등에 의한 동작 검출 형태
- 자기장을 이용한 형태
- 비전 시스템을 이용한 형태
- Exoskeleton 메커니즘 형태

물론 이외에도 스트레인 게이지 등이 내장된 신소재 의복 형태의 장치 등도 최근에 발표되고 있다[5].

이처럼 모션 캡처 기능의 장치는 많은 연구와 논문에서 발표되고 있는데, 본 논문에서는 장착형(Exoskeleton) 메커니즘 형태의 모션 캡처 장치를 설계, 제작하게 되었다.

장착형 (Exoskeleton)장치는 다른 형태의 장치들에 비해 비교적 복잡한 구조로 설계되고 하드웨어적 제한에 의해 실제

로 동작의 제한을 받을 수 있는 가능성이 크지만, 주위 환경의 변화에 민감하지 않으므로 빛의 변화나 전자파, 자기장 등의 변화와 같은 환경적 요인의 변화에도 비교적 정확한 동작을 검출할 수 있다는 장점을 가지고 있다[6-7].

그림 1은 이러한 장착형(Exoskeleton) 형태의 모션 캡처 장치를 이용한 로봇의 원격제어에 대한 전체적인 개념도이다.

그림 1에서 보는 바와 같이 사람의 움직임을 모션 캡처 장치에 장착된 다양한 센서를 통해 획득한 후, 무선 통신을 통해 로봇에게 전달하여 원격지의 로봇을 동작시키는 구조이다.

본 논문은 이와 같은 장착형(Exoskeleton) 형태의 모션 캡처 장치를 기반으로 한 인간-기계 인터페이스(man-machine interface)에 관한 연구로서 장착형(Exoskeleton) 형태로 설계, 제작된 모션 캡처 장치에 관한 기구학적 분석 및 시뮬레이션 등을 통해 장치의 효율성을 검증해 보았다. 또한 이러한 모션 캡처 장치와 인터페이스가 가능한 비교적 간단한 로봇 시스템과 연계하여 실제로 인터페이스에 관한 실험을 수행해 봄으로써 현재 설계된 장치의 문제점을 파악 하고 보완하여 추후에는 극한 환경에서의 원격 작업과 같은 실제 응용에 대한 가능성도 알아보려고 한다.

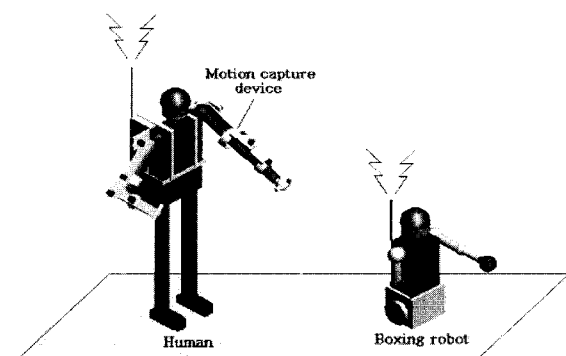


그림 1. 전체 시스템의 개념도.
Fig. 1. Overall system concept.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 2. 6., 채택확정 : 2004. 1. 14.

전풍우, 정 슬 : 충남대학교 메카트로닉스공학과
(windrainer@hanmail.net/jungs@cnu.ac.kr)

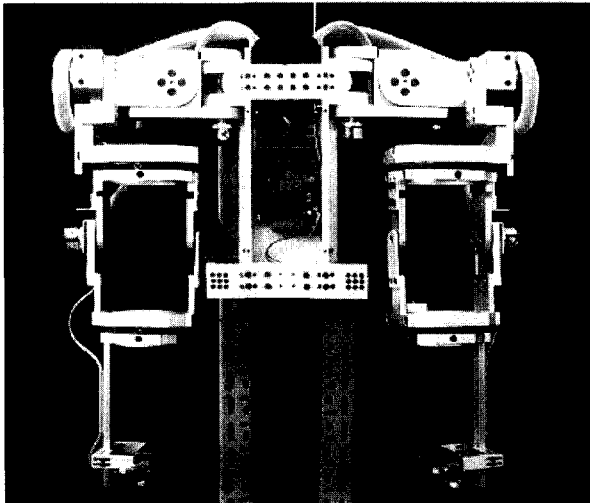


그림 2. Exoskeleton 형태의 모션 캡처 장치.
Fig. 2. Motion capturing device.

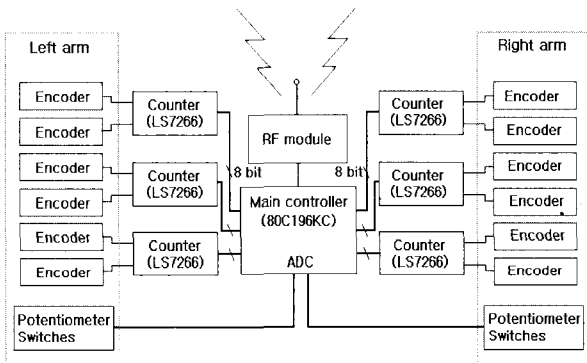


그림 3. 모션 캡처 장치의 내부 제어 구조.
Fig. 3. Control block of a motion capturing device.

II. 모션 캡처 장치

1. 전체 구조

그림 2는 본 연구에서 제작된 Exoskeleton 형태의 모션 캡처 장치를 나타낸다.

그림 2에서 보는 바와 같이 한쪽 팔에 6개씩, 총 12개의 자유도를 갖도록 설계하였고, 각각의 조인트에는 회전식 엔코더를 장착하여 동작을 검출하도록 하였다. 그리고, 작동자의 이동성을 고려하여 휴대가 가능하도록 하였고, 서로 다른 작동자의 체형을 고려하여 어깨의 넓이나 팔의 길이를 작동자의 체형에 맞게 조절할 수 있도록 설계하였다.

그림 3은 본 장치의 내부적인 제어 구조를 나타낸 것이다. 본 모션 캡처 장치에는 사람의 동작을 검출하기 위해 회전식 엔코더, 포텐셔미터, 스위치 등의 센서가 사용되고 있다. 대부분의 동작은 엔코더 센서에 의해 검출되고 포텐셔미터와 스위치 센서 등은 장치의 초기화에 사용되거나 원격지의 로봇 시스템을 동작시키기 위한 보조적인 역할로 사용하게 된다. 각 조인트의 엔코더는 카운터 칩에 의해 독립적으로 제어되고, 이러한 카운터는 메인 컨트롤러인 80C196KC와 데이터 버스(Data bus)를 통해 데이터(Data)를 주고받게 된다.

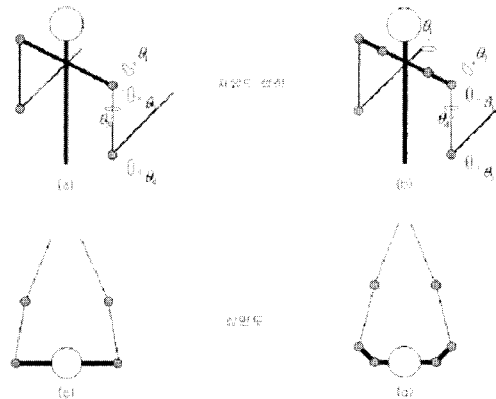


그림 4. 제안된 장치의 자유도 설정.
Fig. 4. Joint configuration of an exoskeleton device.

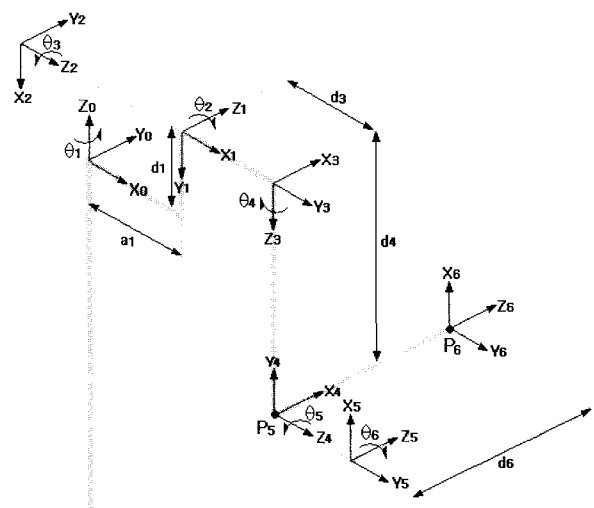


그림 5. D-H 표현 방식에 따른 좌표계의 설정.
Fig. 5. Coordinate representation of D-H parameter.

포텐셔미터와 스위치센서의 센서 값은 컨트롤러의 A/D컨버팅 기능을 이용하여 처리된다. 이렇게 획득된 각각의 센서 값들은 로봇 시스템이나 그 외의 다른 시스템을 동작시키기 위해 무선 통신을 통해 전송된다.

2. 자유도 설정

이러한 모션 캡처 장치의 개발에 있어서 자유도의 설정에 관한 사항은 매우 중요한 요소가 되기 때문에 여러 연구에서 다양한 방법으로 자유도를 설정하고 있다.

손목의 자유도를 제외한 어깨와 팔의 자유도는 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 대부분의 연구에서 4자유도를 갖도록 설계하는 것이 일반적이다[8-13]. 이러한 구조의 형태는 원격으로 제어되는 로봇 시스템의 3차원 작업 공간에 대한 자유도에 대한 적용으로는 매우 타당한 자유도의 배치라 할 수 있다. 그러나, 그림 4(a)와 같은 구조는 그림 4(c)에서 보는 바와 같이 가슴을 오므리거나 펴는 동작을 수행할 때 동작의 범위에 제한이 있어 원활한 동작을 행하기가 어렵다. 본 논문에서는 이와 같은 제약을 해결하고자 그림 4(b)와 같이 어깨 부위에 하나의 자유도를 추가하였다[14]. 이러한 자유도의

추가는 실제 동작 실험에서 그림 4 (d)에서 보는 바와 같이 어깨와 가슴 부위의 동작을 표현하는데 기존의 방법보다 원활한 동작이 가능하였다.

이처럼 작동자의 다양한 동작에 대한 원활한 움직임의 검출 및 원격 로봇과의 효율적인 제어 메커니즘 구현, 나아가 모션 캡처 기능을 기반으로 하는 햅틱 장치로의 용이한 확장성 등을 고려하여 그림 4 (b)와 같은 구조의 모션 캡처 장치를 구현하게 되었다.

III. 기구학 분석

1. 순기구학 분석

그림 5는 본 모션 캡처 장치의 기구학적 모델로서 각 조인트의 좌표계의 설정은 Denavit-Hartenberg의 표현 방식을 적용하였다[15].

표 1은 본 장치의 D-H 변수와 사람의 실제 동작 가능 범위를 나타낸 것이다.

표 1. D-H 변수들.

Table 1. D-H parameters.

Joint	θ_i	α_i	a_i	d_i	Joint range(degree)
1	0	-90	a_1	d_1	-45 to 45
2	90	90	0	0	-90 to 90
3	90	90	0	d_3	80 to 270
4	0	-90	0	d_4	-90 to 90
5	90	90	0	0	0 to 160
6	0	0	0	d_6	-90 to 90

위의 D-H 변수들로부터 각 조인트의 변환 행렬은 다음과 같이 구할 수 있는데, 다음 6개의 행렬들은 각각 기구학 모델 및 D-H 변수 등을 적용하여 기준 좌표계로부터 엔드이펙터(End-effector)의 좌표계까지, 각각의 조인트에 대해 순차적으로 나타낸 변환 행렬들이다.

$$\begin{aligned}
 {}^0A_1 &= \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & a_1C_1 \\ S_1 & 0 & C_1 & a_1S_1 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} {}^1A_2 = \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & -C_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^2A_3 &= \begin{bmatrix} C_3 & 0 & S_3 & 0 \\ S_3 & 0 & -C_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} {}^3A_4 = \begin{bmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^4A_5 &= \begin{bmatrix} C_5 & 0 & S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & -C_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} {}^5A_6 = \begin{bmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

단 $c_i = \cos \theta_i, s_i = \sin \theta_i$ 이다.

위의 변환 행렬로부터 기준 좌표계로부터 End-effector의 좌

표계까지의 최종 변환 행렬을 구할 수 있는데, 이는 다음과 같다.

$${}^0T_6 = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

단, 여기서

$$\begin{aligned}
 n_x &= C_1[C_2C_3(C_4C_5C_6 - S_5C_6 - S_4S_6) + S_2(S_4C_5C_6 - C_4S_6)] \\
 &\quad - S_1[C_3S_5C_6 + S_3(C_4C_5C_6 - S_4S_6)] \\
 n_y &= S_1[C_2C_3(C_4C_5C_6 - S_5C_6 - S_4S_6) + S_2(S_4C_5C_6 + C_4S_6)] \\
 &\quad + C_1[C_3S_5C_6 + S_3(C_4C_5C_6 - S_4S_6)] \\
 n_z &= C_2[C_4S_6 + S_4C_5C_6] + S_2[C_3(S_4S_6 - C_4C_5C_6) + S_3S_5C_6] \\
 s_x &= C_1[C_2(C_3S_5S_6 - C_3S_4C_6 - C_3C_4C_5C_6) + S_2(C_4C_6 - S_4C_5S_6)] \\
 &\quad + S_1[C_3S_5S_6 + S_3(S_4C_6 + C_4C_5S_6)] \\
 s_y &= S_1[C_2(S_3S_5S_6 - C_3S_4C_6 - C_3C_4C_5S_6) + S_2(C_4C_6 - S_4C_5S_6)] \\
 &\quad - C_1[C_3S_5S_6 + S_3(S_4C_6 + C_4C_5S_6)] \\
 s_z &= C_2[C_4C_6 - S_4C_5S_6] + S_2[C_3(S_4C_6 + C_4C_5S_6) - S_3S_5S_6] \\
 a_x &= C_1[C_2C_3C_4S_5 + S_2S_4S_5 + C_2C_3C_5] + S_1[C_3C_5 - S_3C_4S_5] \\
 a_y &= S_1[C_2C_3C_4S_5 + S_2S_4S_5 + C_2S_3C_5] - C_1[C_3C_5 - S_3C_4S_5] \\
 a_z &= C_2S_4S_5 - S_2(C_3C_4S_5 + S_3C_5) \\
 p_x &= C_1[C_2(d_3 + C_3d_4 + C_3C_5d_6 + C_3C_4S_5d_6) + S_2S_4S_5d_6 + a_1] \\
 &\quad + S_1[C_3(d_4 + C_5d_6) - S_3C_4S_5d_6] \\
 p_y &= S_1[C_2(S_3d_4 + S_3C_5d_6 + C_3C_4S_5d_6) + S_2(S_4S_5d_6 + d_3) + a_1] \\
 &\quad - C_1[C_3(d_4 + C_5d_6) - S_3C_4S_5d_6] \\
 p_z &= C_2[d_3 + S_4S_5d_6] - S_2[C_3C_4S_5d_6 + S_3(d_4 + C_5d_6)] + d_1
 \end{aligned}$$

2. 역기구학 분석

역기구학 분석은 로봇의 원하는 End-effector의 위치와 방향 각에 대한 정보로부터 각각의 조인트의 값을 역으로 계산하는 방법으로서 로봇의 위치를 제어하기 위해서는 반드시 필요하다.

역기구학에 대한 분석은 다양한 방법에 의해 연구되어 왔는데, 그 중에서도 Pieper[1968]는 PUMA560로봇처럼 로봇 조인트의 기본이 되는 처음 3개의 조인트($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)와 3축이 한 점에서 만나는 구조의 나중 3개의 조인트($\theta_4, \theta_5, \theta_6$)로 구성된 로봇에 대한 역기구학 분석 방법을 제시하였다[15].

본 논문에서는 이러한 Pieper의 방법을 이용하여 역기구학해를 구하였다.

2.1 처음 세 조인트 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$

그림 5로부터 5번째 조인트 좌표의 원 점 p_5 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 p_5 &= p_6 - d_6a \\
 &= \begin{bmatrix} (d_4C_2S_3 + d_3S_2 + a_1)C_1 + (d_4C_3)S_1 \\ (d_4C_2S_3 + d_3S_2 + a_1)S_1 + (-d_4C_3)C_1 \\ -d_4S_2S_3 + d_3C_2 + d_1 \end{bmatrix} \quad (3)
 \end{aligned}$$

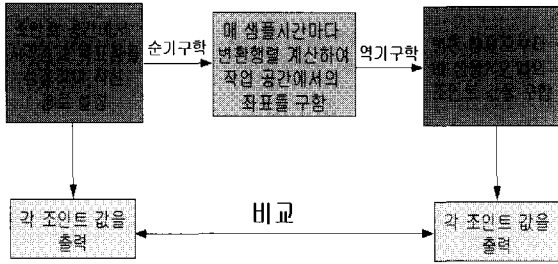


그림 6. 시뮬레이션을 통한 역기구학 검증.
Fig. 6. Inverse kinematics checking block diagram.

단, $a = [a_x \ a_y \ a_z]^T$ 이고 엔드 이펙터에서의 접근방향벡터(approach vector)를 의미한다.

역기구학 해는 $\sin \theta_2$ 의 값에 따라 $\theta_2 = 0$ 인 경우와 $\theta_2 \neq 0$ 인 경우로 나누어 분석하였고 이에 대한 각각의 결과는 (4)-(9)와 같다.

[$\theta_2 = 0$ 일 때]

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{Bp_{5x} \pm A\sqrt{A^2 + B^2 - p_{5x}^2}}{-Ap_{5x} \pm B\sqrt{A^2 + B^2 - p_{5x}^2}} \right] \quad (4)$$

$$\theta_2 = 0 \quad (5)$$

$$\theta_3 = \sin^{-1} \left[\frac{-E}{2D} \right] \quad (6)$$

[$\theta_2 \neq 0$ 일 때]

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{Bp_{5x} \pm A\sqrt{A^2 + B^2 - p_{5x}^2}}{-Ap_{5x} \pm B\sqrt{A^2 + B^2 - p_{5x}^2}} \right] \quad (7)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left[\frac{FH \pm G\sqrt{G^2 + H^2 - F^2}}{-FG \pm H\sqrt{G^2 + H^2 - F^2}} \right] \quad (8)$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \left[\pm \frac{d_3 C_2 + d_1 - p_{5z}}{\sqrt{1 - (d_3 C_2 + d_1 - p_{5z})^2}} \right] \quad (9)$$

단,

$$A \equiv d_4 C_2 S_3 + d_3 S_2 + a_1$$

$$B \equiv d_4 C_3$$

$$D \equiv d_4 C_2 a_1$$

$$E \equiv a_1^2 + d_4^2 - p_{5x}^2 - p_{5y}^2$$

$$F \equiv 2d_3 a_1$$

$$G \equiv 2a_1 (d_1 - p_{5z})$$

$$H \equiv p_{5x}^2 + p_{5y}^2 - d_4^2 - d_3^2 + (d_1 - p_{5z})^2 - a_1^2$$

2.2 나중 세 조인트 $\theta_4, \theta_5, \theta_6$

나머지 3개의 조인트인 $\theta_4, \theta_5, \theta_6$ 는 다음과 같다.

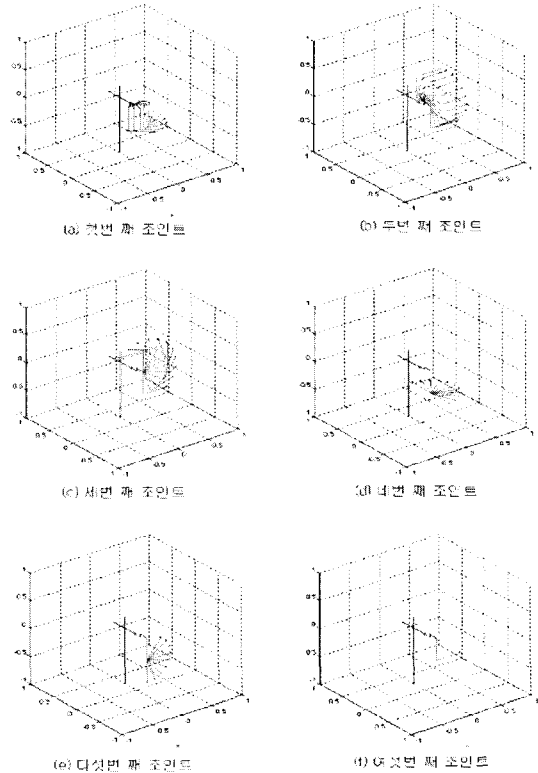


그림 7. 시뮬레이션을 통한 역기구학 검증.

Fig. 7. Simulation results of inverse kinematics.

$$\theta_4 = \tan^{-1} \left[\frac{I}{J} \right] \quad (10)$$

$$\theta_5 = \tan^{-1} \left[\frac{K}{L} \right] \quad (11)$$

$$\theta_6 = \tan^{-1} \left[\frac{M}{N} \right] \quad (12)$$

단,

$$I \equiv C_1 S_2 a_x + S_1 S_2 a_y + C_2 a_z$$

$$J \equiv (C_1 C_2 C_3 - S_1 S_3) a_x + (S_1 C_2 C_3 + C_1 S_3) a_y - S_2 C_3 a_z$$

$$K \equiv [(C_1 C_2 C_3 - S_1 S_3) C_4 + C_1 S_2 S_4] a_x + [(S_1 C_2 C_3 + C_1 S_3) C_4 + S_1 S_2 S_4] a_y + (-S_2 C_3 C_4 + C_2 S_4) a_z$$

$$L \equiv (C_1 C_2 S_3 + S_1 C_3) a_x + (S_1 C_2 S_3 - C_1 C_3) a_y - S_2 S_3 a_z$$

$$M \equiv -(C_1 C_2 C_3 - S_1 S_3) S_4 + C_1 S_2 C_4] n_x + [-(S_1 C_2 C_3 + C_1 S_3) S_4 + S_1 S_2 C_4] n_y + (S_2 C_3 S_4 + C_2 C_4) n_z$$

$$N \equiv -(C_1 C_2 C_3 - S_1 S_3) S_4 + C_1 S_2 C_4] s_x + [-(S_1 C_2 C_3 + C_1 S_3) S_4 + S_1 S_2 C_4] s_y + (S_2 C_3 S_4 + C_2 C_4) s_z$$

3. 시뮬레이션을 통한 역기구학 검증

역기구학에 의해 계산된 이론적인 조인트 값의 유효성을 검증하기 위해 그림과 같은 방법을 이용하여 시뮬레이션하여 검증하였다.

각각의 조인트의 프로그램적 제한은 실제 사람의 동작 가능 범위를 고려하여 표 1처럼 설정하였고 샘플 개수는 각각

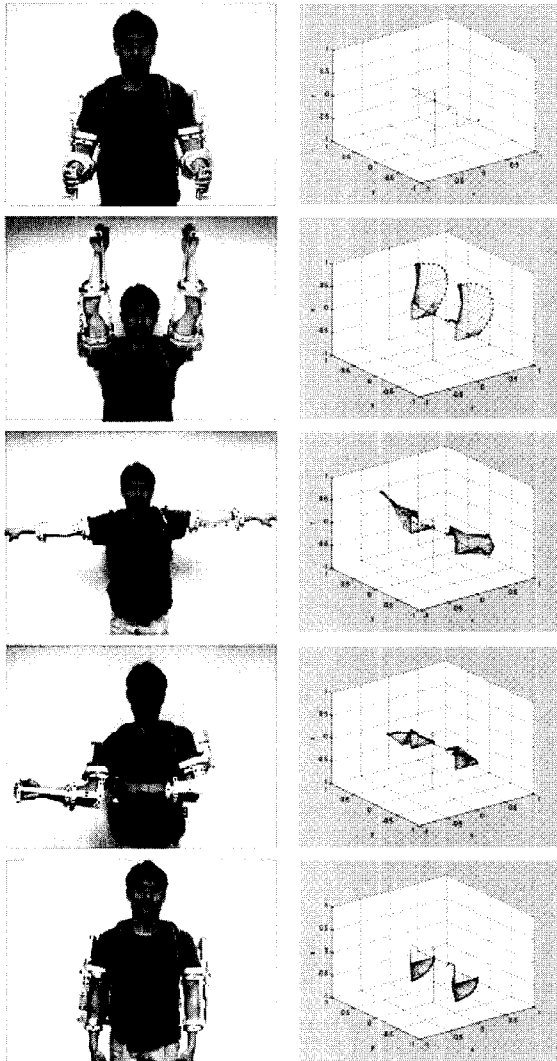


그림 8. 실제 실험을 통한 순기구학 검증.
Fig. 8. Experimental results of forward kinematics.

의 구간에 대해 20개씩 설정하여 실험하였다.

그림 7은 θ_1 부터 θ_6 까지의 각각의 조인트를 순차적으로 증가시키면서 순기구학을 통해 로봇의 자세에 대한 최종 변환행렬을 구하고, 이로부터 다시 역기구학 분석을 이용하여 각각의 조인트의 값을 역으로 계산하여 그 결과를 출력한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 제한된 동작 범위 내에서는 역기구학의 분석이 올바르게 진행되었음을 확인해 볼 수 있다.

4. 실제 실험을 통한 순기구학 검증

그림 8은 작동자가 실제로 모션 캡처 장치를 착용한 후, 다양한 기본적인 동작을 수행하여 획득된 데이터를 순기구학 분석을 통해 그래프로 나타낸 것이다.

측정된 데이터들은 시리얼 통신을 통해 컴퓨터로 전달되고 Visual C++ 프로그램을 이용하여 획득된 데이터를 처리한 후, 최종적으로 MATLAB 프로그램으로 나타내었다. 실제 실험에서도 알 수 있듯이 제안된 모션 캡처 장치가 실제로 동작이 가능한 범위 내에서는 원활하게 동작을 검출할 수 있음을 확인하였다.

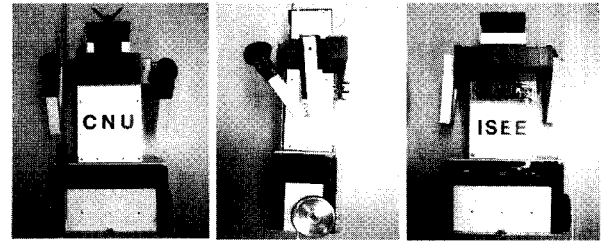


그림 9. 복싱로봇.
Fig. 9. Boxing robot.

IV. 로봇과의 인터페이스

1. 복싱 로봇

로봇과의 인터페이스 실험을 위해 사용된 로봇은 그림 9에서 보는 바와 같이 복싱이라는 스포츠형 로봇의 형태로 구현된 시스템이다. 로봇 복싱 경기는 센서가 장착된 장갑을 착용한 두 명의 작동자에 의해 원격 제어되는 두 대의 복싱 로봇이 실제로 복싱 경기를 하는 것이다[16,17]. 본 논문에서는 센서가 장착된 장갑대신 정착형(exoskeleton) 형태의 모션 캡처 장치를 착용하여 로봇을 원격으로 제어해 봄으로써 제안된 모션 캡처 장치와 인간-기계 인터페이스(man-machine interface)의 효율성을 검증해 보고자 한다[18].

그림 9에서 보는 바와 같이 복싱로봇의 외형은 인간과 유사한 모습으로 구성되어 있다. 특히, 상반부는 실제 사람의 다양한 팔 동작과 유사하도록 동작시키기 위해 양쪽 어깨와 팔, 그리고 허리에 자유도를 부가하도록 설계하였다.

표 2는 로봇의 전체적인 제원 및 구동기의 제원을 나타낸 것이다. 로봇의 각 부위의 크기는 인간의 각 부위의 비율과 유사하게 설정하였다.

표 2. 로봇의 전체적인 제원.

Table 2. Parameters of a boxing robot.

파라미터		제원
높이		50 cm
폭	하단 부	28 cm (바퀴 포함)
	허리	14 cm
	어깨	27 cm
두께		12 cm
중량	로봇 중량	3.2 Kg
	총 중량	6.5 Kg (배터리 포함)
팔 길이(가슴으로부터)		26 cm
주행 속도	최대	1 m/sec
	평균	0.5 m/sec
전류 소비량	최대	2.5 A
	평균	1.5 A

2. 실험 환경

실험 환경은 그림 10에서 보는 바와 같다.

제안된 모션 캡처 장치에 의해 사람의 동작이 검출된 후, 움직임에 관한 정보는 무선 통신에 의해 복싱로봇으로 전달되고 로봇은 전달된 정보에 따라 사람의 움직임과 유사하게 동작하게 된다. 모션 캡처 장치와 복싱로봇 모두 자체 배터



그림 10. 실험 환경.
Fig. 10. Experimental setups.

리로 동작 가능하므로 외부 전원을 인가하면서 발생하는 물리적 동작의 제한에 자유로우며 두 시스템 모두 자체 컨트롤러에 의해 독립적으로 동작되므로 컴퓨터와 같은 외부 시스템의 도움 없이 자체적으로 실험이 가능하다.

그림 11은 모션 캡처 장치와 복싱 로봇간의 무선 인터페이스를 위한 전체 제어 구조를 나타낸 것이다. 우선, 모션 캡처 장치와 복싱 로봇을 초기 자세로 유지하기 위한 초기화 작업 후, 모션 캡처 장치로부터 매 샘플링마다 엔코더 및 각종 센서들의 측정값들을 읽어 들여 현재 작동자의 동작을 결정한다. 이러한 정보는 무선 통신을 이용해 로봇으로 전달되고 로봇 측의 메인 컨트롤러에서는 수신된 명령을 분석하여 각각의 구동부의 제어를 담당하고 있는 보조 컨트롤러에 명령을 하달하여 동작을 하게 된다.

그런데, 현재 설계되어진 모션 캡처 장치는 각각의 팔에 6개의 자유도를 가진 반면 본 복싱로봇은 각각 2개의 자유도만을 가지고 있다. 따라서 이러한 자유도의 차이에 의해 두 시스템의 움직임에 관한 맵핑 관계가 일대일 대응이 되지 못한다. 이러한 로봇의 자유도의 제한을 고려하여 본 실험에서는 모션 캡처 장치의 6개의 자유도 중, 로봇의 실제 동작 가능한 2개의 자유도와 동일한 형태로 움직임이 이루어지는 2개의 자유도만을 맵핑하는 형식을 취하였다. 즉, 모션 캡처 장치의 6개의 자유도 중 로봇과 맵핑되는 2개의 자유도를 제외한 4개의 자유도는 본 실험에서는 사용되지 않는다.

또한, 복싱로봇의 경우, 허리에도 하나의 자유도가 존재하는데, 본 실험에서는 단순한 동작 가능함을 보였을 뿐 자유도의 맵핑과는 무관하다.

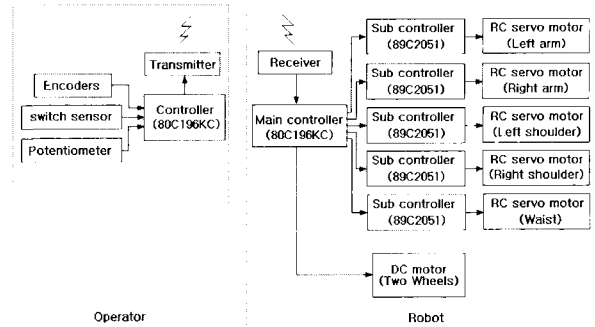


그림 11. 인터페이스를 위한 제어 구조.
Fig. 11. Control block for interface.

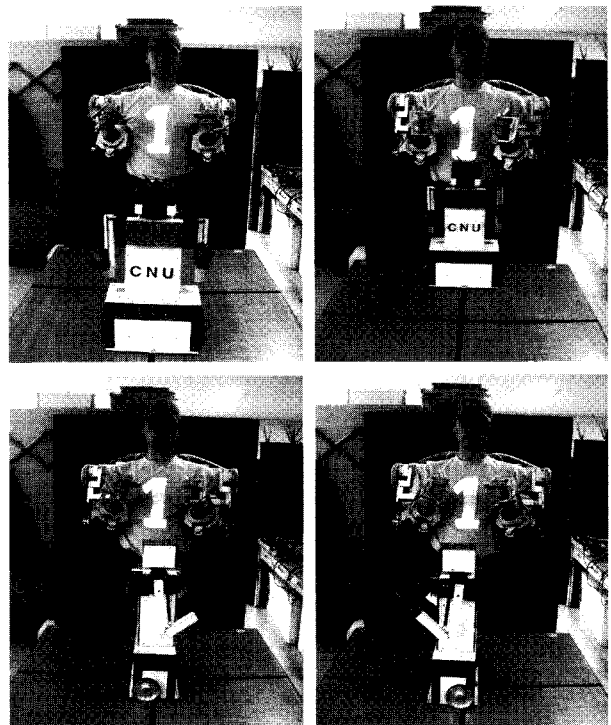


그림 12. 로봇의 바퀴 구동 실험.
Fig. 12. Control of wheels.

V. 실험 결과

1. 로봇의 바퀴 구동 제어

로봇 바퀴의 구동은 그림 12에서 보는 바와 같이 모션 캡처 장치의 손목 부위에 장착되어 있는 포텐셔미터를 이용하여 구동하게 된다. 즉, 모션 캡처 장치의 메인 컨트롤러는 양쪽 팔 각각에 장착되어있는 포텐셔미터의 아날로그 신호를 디지털신호로 바꾸어 로봇으로 전송하면 로봇은 그에 상응하는 속도로 양쪽바퀴를 구동하게 된다.

2. 로봇의 팔과 어깨 제어

그림 13은 사람의 다양한 동작에 따라 복싱 로봇이 제한된 자유도내에서 그와 유사한 동작을 취하고 있는 모습을 나타낸 것이다.

제한된 모션 캡처 장치의 경우, 이동성을 고려하여 휴대가 가능하도록 가벼운 알루미늄 합금 소재를 이용하여 제작하였으나 장시간 착용하기에는 무리가 있다. 로봇의 경우에는,

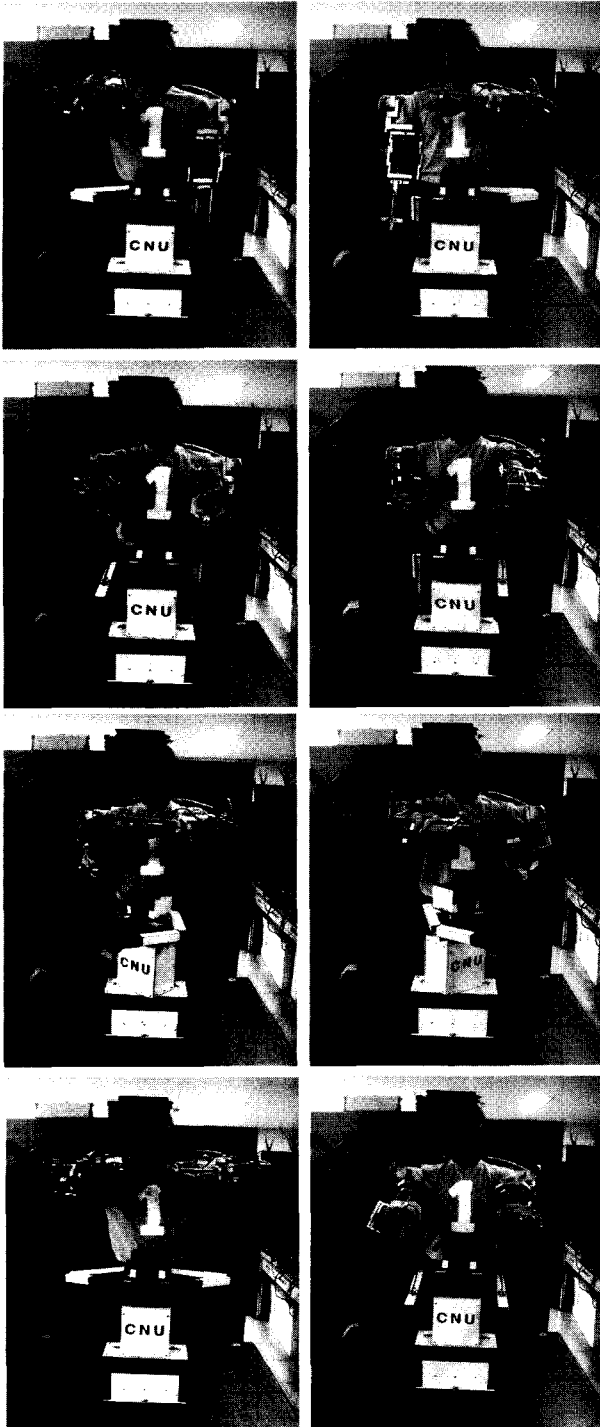


그림 13. 로봇의 다양한 동작 구현 실험.
Fig. 13. ovements of robot arms.

실제로 구현된 로봇의 자유도가 복잡한 인간의 운동 자유도에 비해 많은 제한을 가지도록 설계되어 있어 원격 제어 실험을 통해서 제안된 모션 캡처 장치의 효율성을 증명하기에는 부족함이 많았다. 그러나, 이러한 제한된 동작 범위 내에서는 그림에서 보는 바와 같이 비교적 실제 사람의 동작과 유사하게 동작됨을 확인해 볼 수 있다. 또한, 이러한 실제 실험으로부터, 비록 제한된 범위이긴 하지만, 제안된 모션 캡처 장치가 사람의 다양한 동작을 비교적 원활하게 수행할 수 있

도록 설계되었음을 확인할 수 있었다.

이러한 모션 캡처 장치와 로봇간의 원격 제어에 관한 실험으로부터, 극한상황에서 원격지의 로봇에 대한 원격 제어를 통해 작업을 수행하는 분야나 게임과 같은 오락 산업으로의 적용 가능성을 확인해 볼 수 있었다.

VI. 결론

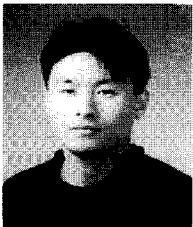
본 논문에서는 man-machine interface에 관한 연구의 일환으로서, 사람의 다양한 동작을 효과적으로 검출할 수 있는 exoskeleton 형태의 모션 캡처 장치 시스템을 개발하였다. 이러한 exoskeleton 메카니즘 형태로 설계, 제작된 모션 캡처 장치에 대한 기구학적 분석 및 시뮬레이션 등을 통해 장치의 효율성을 검증해 보았다. 또한, 비교적 간단한 구조로 설계된 복싱로봇 시스템과의 무선 인터페이스 실험을 통해 현재 설계된 모션 캡처 장치의 문제점을 파악하고 개선 방향을 제시하였다. 물론, 실험에 사용된 로봇 시스템이 자유도의 제한으로 비교적 단순한 동작만을 구사할 정도의 형태로서 제안된 모션 캡처 장치의 효율성을 효과적으로 입증하기에는 부족한 점이 있었다.

추후 과제로는 사람의 다양한 자유도와 모션 캡처 장치의 자유도, 나아가 원격 로봇의 자유도의 차이에 의한 움직임의 맵핑 관계에 관한 연구가 필요하다. 또한, 추후에 사람의 다양한 움직임을 효과적으로 표현할 수 있도록 더욱 다양한 자유도를 가진 로봇을 구현하고, 사람의 움직임을 더욱 다양하고 정밀하게 검출할 수 있는 센서의 조합 및 응용 기술을 보완하여 본 모션 캡처 장치의 문제점 등을 보완하면 더욱 효율적인 man-machine interface에 관한 연구가 될 것이다.

참고문헌

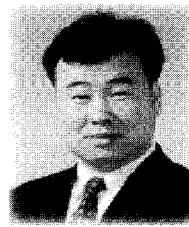
- [1] W. S. Harwin, T. Rahman, and R. A. Foulds, "A review of design issues in rehabilitation robotics with reference to north american research", *IEEE Trans. on Rehabilitation Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 3-13, 1995.
- [2] T. Mori, K. Tsujioka, and T. Sato, "Human-like action recognition system on whole body motion-captured file" *IEEE Conf. on International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2066-2073, Hawaii, USA, 2001.
- [3] T. Emura, M. Kumagai, R. Nomura, "Development of motion capture system using rotating magnetic field and differential magnetic field" *Proceedings of the 40th SICE*, pp. 204-209, 2001
- [4] S. Arimoto, "Linear controllable systems," *Nature*, vol. 135, pp. 18-27, July, 1990.
- [5] K. B. Lee, D. S. Kwon, "Wearable master device using optical fiber curvature sensors for the disabled" *IEEE Conf. on International Conference on Robotics and Automation*, pp. 892-896, Seoul, Korea, 2001.
- [6] J. H. Choi, J. H. Song, J. T. Kim, C. W. Lee, J. O. Park, J. H. Park, "Human arm-like hybrid master arm for dexterous teleoperation", *Korean Automatic control Conference*, pp. 1807-1810, Korea, 1998.
- [7] 최대성, 이수용, 김문상, 송재복, "Teleoperation for humanoid robot" *Korean Automatic Control Conference*, pp. 2059-2062, Korea, 1998.
- [8] D. W. Repperger, S. J. Remis, G. Merrill, "Performance measures

- of teleoperation using an exoskeleton device" *IEEE Conf. Robotics and Automation*, pp. 552-557 vol. 1, 13-18 May 1990.
- [9] M. Bergamasco, B. Allotta, L. Bosio, L. Ferretti, G. Parrini, G. M. Prisco, F. Salsedo, G. Sartini, "An arm exoskeleton system for teleoperation and virtual environments applications" *IEEE Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1449-1454 vol.2, 8-13 May 1994.
- [10] D. G. Caldwell, O. Kocak, U. Andersen, "Multi-armed dexterous manipulator operation using glove /exoskeleton control and sensory feedback" *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 567-572, vol.2, 5-9 Aug 1995.
- [11] B. M. Jau, "Anthropomorphic exoskeleton dual arm/hand telerobot controller", *IEEE International Workshop on Intelligent Robots*, pp. 715-718, 31 Oct-2 Nov 1988.
- [12] N. Tsagarakis, D. G. Caldwell, G. A. Medrano-Cerda, "A 7 DOF pneumatic muscle actuator (pMA) powered exoskeleton" *Robot and Human Interaction, RO-MAN*, pp. 327-333, 1999.
- [13] Y. S. Kim, S. Y. Lee, C. H. Cho, M. S. Kim, C. W. Lee, "A new exoskeleton-type master arm with force reflection based on the torque sensor beam" *IEEE Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2628-2633, vol. 3, 21-26 May, Korea, 2001.
- [14] L. Herda, P. Fua, R. Plankers, R. Boulic, D. Thalmann, "Skeleton-based motion capture for robust reconstruction of human motion" *Computer Animation*, pp. 77-83, 2000.
- [15] K. S. Fu, R. C. Gonzalez, and C. S. G. Lee, "ROBOTICS : control, sensing, vision, and intelligence", McGraw-Hill, 1, chap 1,2, 1990.
- [16] 전풍우, 조현택, 장평수, 조기호, 김정구, 송덕희, 최영권, 정슬, "인간과 로봇간의 움직임의 무선 인터페이스 구현" *International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 195-199, Jeju, Korea, 2001.
- [17] S. Jung, P. W. Jeon, and H. T. Cho, "Interface between robot and human: application to boxing robot", *IFAC International Conference on Mechatronics System*, pp. 851-856, 2002.
- [18] P. W. Jeon, P. S. Jang, S. Jung, "Implementation of human motion following robot through wireless communication interface" *International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 136-141, Muju, Korea, 2002.



전 풍 우

1975년 12월 17일생. 2001년 충남대 메카트로닉스공학과 졸업. 2003년 동대학 석사졸업. 현재 박사과정 및 원자력 연구소 석사 후 연구원. 관심분야는 로봇 설계 및 제어, Man-machine 인터페이스, 이동로봇의 힘제어.



정 슬

1964년 9월11일생. 1988년 웨인주립대학교 전기 컴퓨터 공학과 (학사). 1991년 캘리포니아대학 데이비스 전기공학과 (석사), 1996년 캘리포니아대학 데이비스 전기공학과(박사, 지능 로봇 전공). 1997년~현재 충남대학교 메카트로닉스 공학과 부교수. 관심분야는 로봇 설계, 제작, 및 제어, 지능 제어 및 하드웨어 구현, 로봇의 힘제어 및 응용.