

Exoskeleton 형태의 모션 캡처 장치를 사용한 다관절 로봇의 원격제어

이운규, 전풍우, 정슬

충남대학교 메카트로닉스공학과 지능시스템 및 감성공학실험실

1. 서론

최근에 인간과 로봇과의 관계는 기계적이고 수동적인 관계를 벗어나 서로의 감정을 교환하는 능동적인 관계로 전환되고 있다[1]. 이러한 Man machine interface에 관한 다양한 연구의 일환으로 사람의 동작을 효율적으로 검출하기 위한 모션 캡처 장치에 관한 연구도 다방면에 걸쳐 다양하게 진행되어왔다[2][3]. 그중 Exoskeleton 형태의 장치는 다른 형태의 장치들에 비해 비교적 복잡한 구조로 설계되고 하드웨어적 제한에 의해 실제로 동작의 제한을 받을 수 있는 가능성이 있다. 하지만, 다른 형태들에 비해 주위 환경의 변화에 민감하지 않으며, 비교적 정확한 동작을 검출할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 인간의 움직임을 그대로 로봇에게 전달하기 위해 인터페이스와 로봇의 움직임제어를 구현하고자 한다. 최근에 디지털 기술이 발달함에 따라 FPGA의 활용도가 높아지고 있는 실정이다[4]. 일반적으로 FPGA는 주 프로세서를 보조하는 기능으로 사용된다. 즉 통신 방법이 다른 두 가지 디지털 통신 인터페이스 사이의 브리지 역할이나 간단한 신호의 전처리 모듈 등으로 사용된다. 하지만, 요즘 생산되는 FPGA의 경우 처리용량이 높아짐에 따라 좀 더 복잡한 목적에 사용이 가능해졌다. 본 연구에서는 FPGA를 이용해 비교적 복잡한 인터페이스인 Exoskeleton 메카니즘 형태의 모션 캡처 장치와 다관절 로봇사이의 인터페이스를 구현했다. 그림 1은 본 논문에서 구현된 모션 캡처 장치를 이용한 로봇의 원격제어에 대한 전체적인 개략도를 나타낸다.

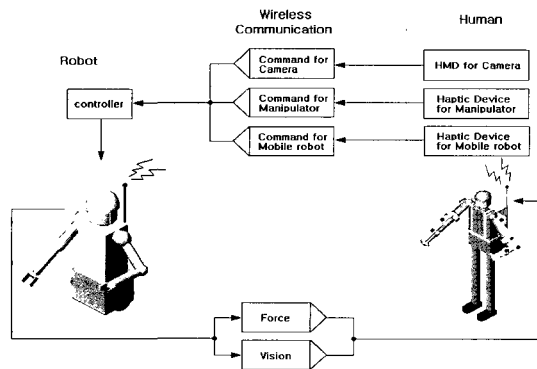


그림 1. 사람과 로봇간의 인터페이스.

2. 모션 캡처 장치

2.1. 모션 캡처 장치의 구조

그림 2는 본 연구에서 제작된 Exoskeleton 형태의 모션 캡처 장치이다.

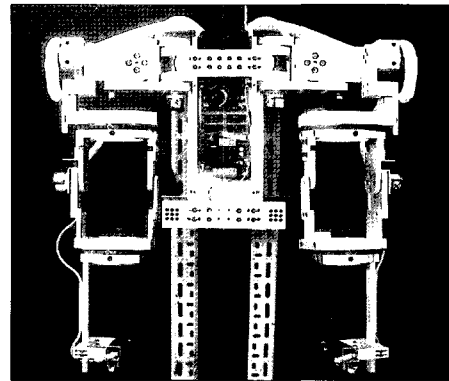


그림 2. Exoskeleton 형태의 모션 캡처 장치.

그림에서 보는 바와 같이 한쪽 팔에 6개씩, 총 12개의 자유도를 가지고 각각의 조인트에는 회전식 엔코더를 장착하여 동작을 검출한다. 그리고 손끝에는 로봇의 이동이나 시스템의 초기화와 같은 간단한 로봇 조종이 가능하도록 스위치와 포텐션미터와 같은 센서들이 부착되어 있다. 또한, 서로 다른 작동자의 체형을 고려하여 어깨의 넓이나 팔의 길이를 작동자의 체형에 맞게 조절할 수 있다. 그림 3은 AutoCAD를 이용하여 정밀하게 설계한 것이다.

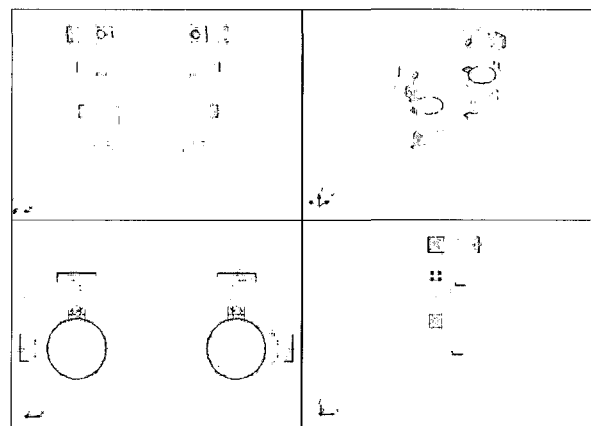


그림 3. 정밀 설계.

그림 4는 본 모션 캡처 장치의 각 조인트를 순차적으로 움직이면서 동작의 원활함 및 동작 제한 범위 등을 프로그램 상에서 시험해본 것이다. 그림에서와 같이 우선 프로그램적 모델링으로 동작을 검증한 후 오류를 수정하고 보완하여 실제 시스템을 구현하였다.

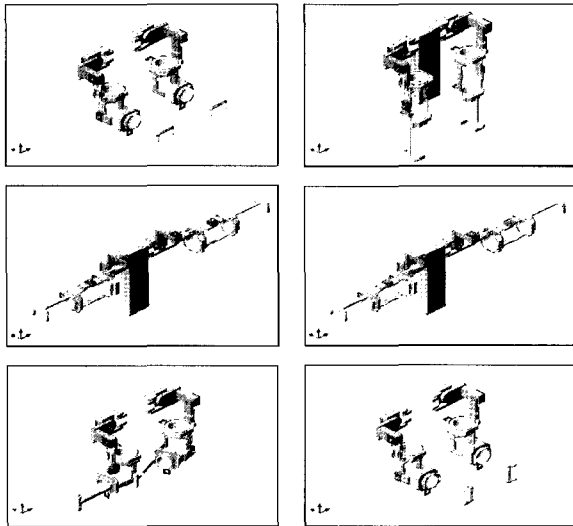


그림 4. 다양한 동작 검증.

각 관절의 동작 범위는 아래 표와 같이 주어졌다.

표 1. 각 관절의 동작 범위.

Joint	Joint range(degree)
1	-45 to 45
2	-90 to 90
3	80 to 270
4	-90 to 90
5	0 to 160
6	-90 to 90

그림 2의 모션 캡처 장치의 기구학을 구하여 시뮬레이션을 통해 이미 작업공간을 검증하였다[5][6].

2.2. 모션 캡처 장치의 신호 처리

모션 캡처 장치의 엔코더 신호처리에는 ALTERA사의 EPM7128SLC 84-1을 사용하였다. 이 칩에 엔코더의 신호를 받아 32bit의 수치 데이터로 바꾸어주는 모듈과 이 수치 데이터를 시리얼 데이터로 변환하여 전송하는 모듈을 설계하였다. EPM7128SLC84-10은, EEPROM기반으로 2,500개의 Gate로 구성되어 있으며, 84개의 IO핀을 가지고 있다. 이 칩을 프로그래밍하기 위해서 MAX+II를 사용했다. MAX+II는 PLD와 FPGA 설계 전용 프로그램으로 그래픽 Editor 및 VHDL 등의 여러 가지 형태의 프로그래밍 방법을 제공하며, 프로그래밍 결과를 미리 확인할

수 있는 시뮬레이션까지 지원하므로 PLD나 FPGA의 설계에 유용하게 사용할 수 있다.

엔코더를 카운팅하는 모듈의 출력은 32bit의 데이터이고 시리얼을 통해 출력되는 데이터는 8bit이다. 32bit의 데이터를 완전하게 전송하기 위해서는 엔코더 데이터 값을 4번에 나누어 전송해야 한다. 하지만 본 연구에서는 각 관절의 가동 범위를 8bit의 데이터로 표현하고 그 가동범위 안에 있는 8bit 만의 데이터를 사용했다. 이렇게 함으로써 샘플링 시간을 줄일 수 있었다. 이것은 상황에 따라 각 관절의 동작 범위를 32bit의 데이터로 표현함으로써 보다 정밀한 제어를 할 수도 있으며, 단지 8bit의 범위로 표현함으로써 통신 속도를 증가하여 빠른 응답을 하도록 할 수도 있다. 각 관절의 수치 데이터는 각각 독립적인 선로를 따라 전달되게 된다. 즉 각 EPM7128SLC84-1 모듈마다 3개의 시리얼 데이터 출력이 나오며 총 12개의 시리얼 데이터 라인이 출력된다.

3. 다관절 로봇

3.1. 로봇의 구조

다관절 로봇은 앞서 설명한 모션 캡처 장치와 같은 구조를 가진 형태로 제작되었다. 그림 5는 설계 그림이고 그림 6은 실제로 제작된 로봇의 모습이다.

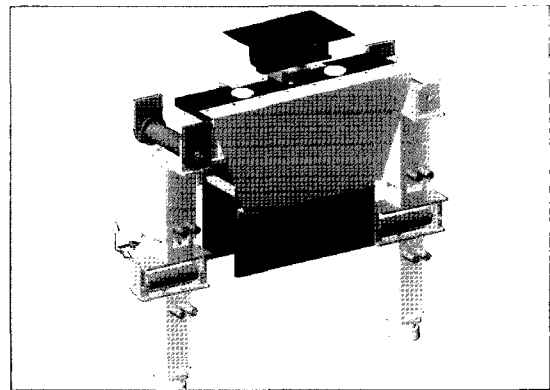


그림 5. 로봇의 정밀설계.

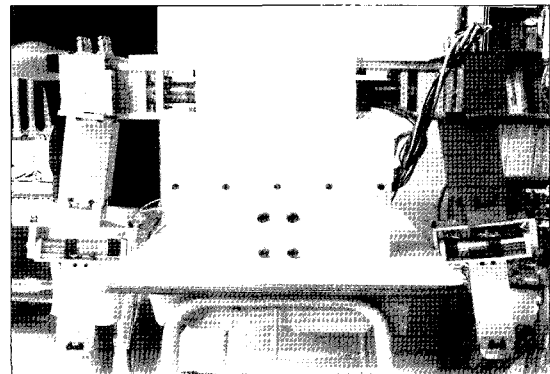


그림 6. 다관절 로봇.

로봇은 그림 2의 모션 캡처 장치와 매칭되도록 설계되었으며, 모두 12자유도를 나타낸다. 각 관절을 제어하기 위해 12개의 모터를 사용하였다. 모든 DC모터는 별도의 동력 전달 장치 없이 관절에 직접으로 연결되어 있다. 각 조인트의 모터의 사양은 다음과 같다.

표 2. 로봇의 제원.

순번	DC모터					기어				엔코더	
	모델	무게 (g)	파워 (W)	구동전압 (V)	최대전류 (A)	모델	무게 (g)	기어비	최대속도 (rpm)	모델	분해능
손목	2342S-012CR	88	12	12	1.4	26/1	161	134	2500	IE2-128	128
팔꿈치	3042W-012C	156	16	12	1.55	30/1	203	134	3500	HEDS5500 C	100
윗팔	3042W-012C	156	16	12	1.55	30/1	203	159	4500	HEDS5500 C	100
어전1	3863H-024C	400	90	24	3.8	38/1	336	134	4500	HEDS5500 C	100
어전2	3863H-024C	400	90	24	3.8	38/1	335	159	5300	HEDS5500 C	100
어전3	3863H-024C	400	90	24	3.8	38/1	335	159	5300	HEDS5500 C	100

3.2. 다관절 로봇의 제어

다관절 로봇의 제어 모듈은 매 샘플링 시간마다 원하는 각도를 시리얼 통신으로 전달받은 후, 그 각도로 각 관절이 움직이게 된다. 위의 모션 캡처 장치의 신호처리에서 나타나듯이 각 관절의 데이터는 독립된 선로를 따라 전송된다. 즉, 총 12개의 독립적인 시리얼 데이터 라인으로 전송된다. 그리고 총 12개의 DC 모터를 제어해야 한다. 일반적인 마이크로프로세서나 PC로는 이 모든 과정을 동시에 처리하기 힘들다. 물론, 여러 개의 마이크로프로세서를 병렬로 사용하는 방법도 있지만, 여러 가지 외부 장치가 필요하므로 공간적 효율이나 비용 측면에서 어려움이 있다. 이러한 이유로 이 과정을 처리하는 프로세서 역시 FPGA를 사용했다. 그림 7은 제어구조를 보여준다.

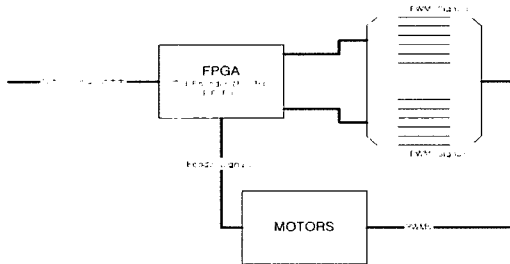


그림 7. 로봇의 제어블록 다이어그램.

매 샘플링 시간마다 모션 캡처 장치의 각 관절 데이터가 시리얼 통신에 의해 로봇 제어부로 전달되고 로봇 제어부는 모션 캡처 장치의 각 관절 데이터에 따라 각 관절을 움직인다. 이 시스템의 샘플링 주파수는 약 1ms 이다. 이 정도의 샘플링 주파수 한도 안에서 각 관절의 제어는 충분하였다. 로봇의 제어를 위해 그림 8의 제어 보드를 제작하여 사용했다. 이 제어 보드는 로봇의 제어를 위한 제어 모듈인 EP20K300EQC240-2와 모터 드라이버로 구성되어 있다. 모터 드라이버는 소형 DC 모터 드라이버에 주로 사용되는 18200드라이버를 사용했다.

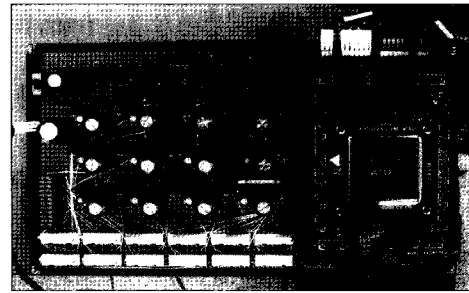


그림 8. 개발된 로봇의 제어 보드.

Exoskeleton의 각 관절은 시리얼 통신을 통해 그 데이터를 로봇 제어 모듈로 전송하게 된다. 즉 각 관절은 모두 독립된 시리얼 통신 선로를 가지게 되므로 총 12개의 시리얼 통신회선을 가지게 된다. 이러한 경우, 하나의 시리얼 선로에 이상이 생기더라도 거기에 해당되는 관절을 제외한 나머지 관절은 정상적으로 동작할 수 있다는 장점이 있다.

4. 실험 결과

아래 그림은 모션 캡처 장치를 이용한 다관절 로봇의 각 관절의 각도 제어의 결과를 나타낸다. 로봇의 양팔은 서로 완벽하게 대칭이 되므로 왼쪽 팔의 움직임만을 제어하였다. 오른쪽 모션 캡처 장치의 움직임에 따라 왼쪽의 로봇이 움직이는 것을 볼 수 있다.

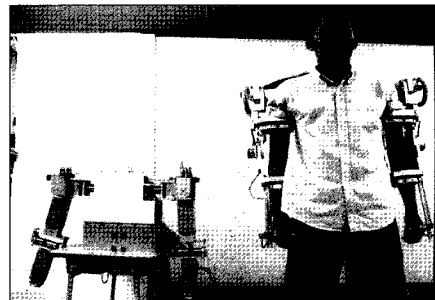


그림 9. 초기 위치.

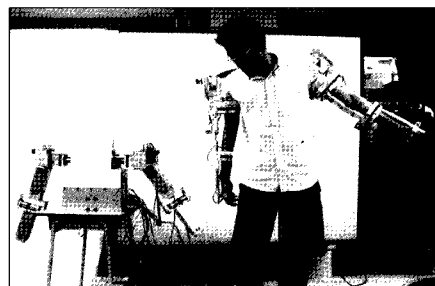


그림 10. 팔을 뺐었을 때.

모든 6개의 관절의 움직임을 보기 위해 아래와 같은 동작을 취했다. 그림 11과 12를 통해 모든 관절의 움직임을 나타낸다.

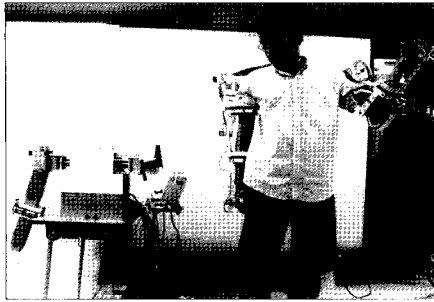


그림 11. 팔을 굽혀 올렸을 때.

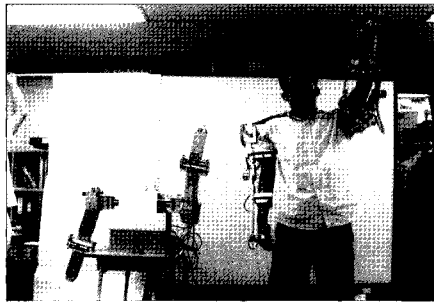


그림 12. 팔을 들어 올렸을 때.

5. 결론

본 연구의 최종 목표는 사람의 다양한 동작을 효과적으로 검출할 수 있는 모션 캡처 기능을 기반으로 하는 시스템을 개발하고, 검출된 사람의 다양한 움직임을 효과적으로 표현 가능한 로봇 시스템을 제작하여 상호간에 인터페이스가 가능하도록 제어하는 것이다. 또한, FPGA를 범용 컨트롤러를 사용함으로써 부가적인 제어 프로세서가 부착되더라도 다른 부가적인 인터페이스 없이 시스템을 구동할 수 있도록 하고자 한다.

본 논문에서는 다른 상위 프로세서 없이 FPGA만을 이용하여 Exoskeleton 모션 캡처 장치와 다관절 로봇의 인터페이스를 구현했다. 모션 캡처 장치를 이용하여 원격으로 다관절 로봇의 자세를 제어함으로써 유비쿼터스 네트워크 기반으로 발전할 수 있음을 확인하였다. 차후의 연구 과제로는 정확한 움직임을 구사하도록 제어 알고리즘에 대해 연구하고 좀더 가벼운 다른 형태의 모션 캡처 장치를 개발하는 것이다.

[알림] 본 연구는 과학재단 과제 05-2003-000-10389-0의 지원에 의해 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. T. Mori, K. Tsujioka, and T. Sato, "Human-like Action Recognition System on Whole Body Motion-

captured File," *IEEE conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2066-2073, Hawaii, USA, 2001.

2. T. Emura, M. Kumagai, R. Nomura, "Development of motion capture system using rotating magnetic field and differential magnetic field," *SICE 2001*, pp. 204-209, 2001.

3. 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.

4. 김성수, 정슬, "FPGA를 이용한 범용 모션 컨트롤러 개발," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 10권 1호, pp. 73-80, 2004.

5. 전풍우, 정슬, "Exoskeleton 형태의 모션 캡처 장치의 설계 : 기구학 분석, 시뮬레이션, 제작," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 10권 5호, pp. 434-441.

6. 정 슬, "로봇 공학", 충남대학교 출판부, 2004.

..... 저자약력



《이윤규(seeuspace@hotmail.com)》

- 1977년 11월 25일생.
- 2003년 충남대학교 메카트로닉스공학과 졸업.
- 현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 대학원 석사과정.

- 관심분야 : 햅틱디바이스, 다관절 로봇, FPGA, Neural Network 응용.



《전풍우(windrainer@hanmail.net)》

- 1975년 12월 17일생.
- 2001년 충남대 메카트로닉스공학과 졸업.
- 2003년 동대학 석사졸업. 현재 박사과정 및 원자력 연구소 석사 후 연구원.

- 관심분야 : 로봇 설계 및 제어, Man-machine 인터페이스, 이동로봇의 힘제어.



《정 슬(jungs@cnu.ac.kr)》

- 1964년 9월 11일 생.
- 1988년 미국 웨인 주립대학 전기 컴퓨터 공학과 졸업.

- 미국 캘리포니아 데이비스 대학 전기공학과 석사 박사 (지능 로봇 전공)졸업.
- 1997년 현재충남대 메카트로닉스공학과 부교수.
- 관심분야 : 로봇 설계, 제작 및 제어, 지능 시스템 및 감성 공학, 임베디드 제어기 설계.