

인간형 로봇 플랫폼 KHR-2의 설계 및 하드웨어 집성

김정엽[†] · 박일우* · 오준호**

Design and Hardware Integration of Humanoid Robot Platform KHR-2

Jung-Yup Kim, Ill-Woo Park and Jun-Ho Oh

Key Words : Humanoid(인간형로봇), KHR-2(카이스트 휴머노이드 로봇 2)

Abstract

In this paper, we present the mechanical, electrical system design and system integration of controllers including sensory devices of the humanoid, KHR-2 (KAIST Humanoid Robot - 2). We have developed KHR-2 since 2003. Total number of DOF of KHR-2 is 41. Each arm including a hand has 11 DOF and each leg has 6 DOF. Head and trunk also has 6 DOF and 1 DOF respectively. In head, two CCD cameras are used for eye. To control all axes efficiently, distributed control architecture is used to reduce computation burden of main controller and to expand devices easily. So we developed the sub-controller as a servo motor controller and a sensor interfacing devices using microprocessor. The main controller attached its back communicates with sub-controllers in real-time by CAN (Controller Area Network) protocol. We used Windows XP as its OS (Operation System) for fast development of main control program and easy extension of peripheral devices. And RTX HAL extension commercial software is used to realize the real-time control in Windows XP environment.

1. 서 론

로봇(Robot)이란 단어는 1921년에 최초로 연극이름에서 사용되었고, 체코어인 *robot*(강제노동)와 *robotik*(노동자)의 합성어이다. 이러한 로봇은 현대 사회에서 보통 산업용 로봇을 뜻한다. 곧, 공장에서 하기 힘든 반복적인 일들을 인간을 대신하여 작업하는 기계들을 가리켜 로봇이라고 하였다. 그런데 최근에 와서 컴퓨터와 각종 기계, 전자 산업이 발전하면서 로봇이라는 의미가 공장안의 매니플레이터에서 점차 지능적이고 인간 생활환경에서 적응하고 인간과 친근할 수

있는 지능형 로봇으로 바뀌어 가고 있다. 대표적으로 휴머노이드(Humanoid)라는 인간과 닮은 2족 보행로봇을 예로 들 수 있다. 이미 일본에서는 1970년대에 와세다 대학에서 WABOT-1이라는 최초의 전신 휴머노이드 로봇을 개발하였고⁽⁴⁾, 1980년대부터 혼다사에서 EO를 시작으로하여 꾸준한 연구결과로써 2000년도에 아시모(ASIMO)라는 자율보행이 가능한 첨단 휴머노이드 로봇을 개발한 바 있다^{(1),(2)}. 이밖에도 일본의 소니(SONY)사의 SDR 시리즈 등 여러 대학과 연구기관에서 휴머노이드에 대한 연구가 활발한 실정이다⁽³⁾. 반면 우리나라의 경우 1990년대 중반부터 인간형 로봇에 대한 연구가 조금씩 시작되었다. 그러나 아직 인간크기의 휴머노이드 플랫폼의 구현에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 논문에서는 생활환경에서 인간과 같이 생활하며, 궁극적으로 인간을 도울 수 있는 휴머노이드 로봇의 개발을 목표로 하여, 인간형 로봇 플랫폼 KHR-2를 개발 하였다^{(5),(6)}. 로봇이 인간 생활에 적응하기 위해서는 우선 인간과 흡사한 외

^{†,*} 한국과학기술원 기계공학과 박사과정

E-mail : kirk1@mclab3.kaist.ac.kr

E-mail : mrquick@mclab3.kaist.ac.kr

TEL : (042)869-3263 FAX : (042)869-3263

** 한국과학기술원 기계공학과 교수

E-mail : jhoh@ohzlab.kaist.ac.kr

TEL : (042)869-3223

형을 가져야 하며 인간의 동작을 따라 할 수 있는 자유도를 가져야 한다. 또한 인간이 느끼는 감각정보를 측정할 수 있는 센서를 갖추고 있어야 한다. 따라서 KHR-2 는 실용성과 효율성 및 인간 친화성을 고려하여 외형적으로 어린이 크기의 로봇으로 설계하였다. 총 자유도는 41 개로써 인간이 걸을 때 필요한 최소한의 관절과 기본적인 동작을 행할 수 있는 관절을 갖도록 설계되었고, 각각 사람의 눈과 전정기관에 해당하는 스테레오 비전 시스템과 관성 센서 시스템을 갖추고 있다. 또한 동적 걸음 시 발바닥의 ZMP(Zero Moment Point) 를 측정하기 위해 힘/모멘트센서를 발바닥에 각각 장착하였다. 이러한 힘/모멘트 센서는 손목에도 장착되어 악수하기와 같이 인간과의 상호작용 시 사용할 수 있도록 하였다.

2. 기구학적 설계

2.1 설계 철학

KHR-2 를 설계하는 데에 있어서 설계 철학은 다음과 같이 5 가지로 요약 할 수 있다.

- 1) 인간의 외형을 가지며 인간의 동작을 모사할 수 있는 설계
- 2) 고출력, 소형, 경량, 적은 백래시 특성을 갖는 구동기
- 3) 외부 배선이 없이 독립적으로 구동가능
- 4) 기구학적으로 간단한 구조
- 5) 저전력 소모

위의 설계 철학에 맞추어 Fig. 1 과 같이 120 cm 의 키를 가지고 인간과 형상과 비율이 같은 어린이 크기의 인간형 로봇을 제작하였다. 총 중량은 약 56k 이고 41 개의 자유도를 가지고 있다. 모든 관절의 구동기로써 DC 모터를 이용하였다. 구동기로서 DC 모터는 하드웨어를 구축하기 용이하고, 작은 크기의 비교적 높은 출력을 가지고 있기 때문이다. 또한 각 관절의 감속기로써 하모닉 드라이브를 사용하여 백래시를 최소화 하였다. KHR-2 에는 주 제어기 및 모든 하위 제어기들과 센서 모듈들이 장착되어 있고, 배터리 또한 내장되어있어 외부에서의 전기적인 배선이 없이 독립적인 구동이 가능하도록 하였다.

마지막으로 저전력과 공간의 효율적 활용성을 실현시키기 위해 불필요한 구조물을 없애고 부품의 크기와 배치를 최적화하였다. Table 1.에 KHR-2 의 전반적인 사양을 표시하였고, Table

2.에 KHR-2 가 가지는 자유도를 표시하였다. 아래의 그림(Fig. 1, 2)들은 각각 KHR-2 의 전체사진과 관절구조를 보여준다.



Fig. 1 Photograph of KHR-2

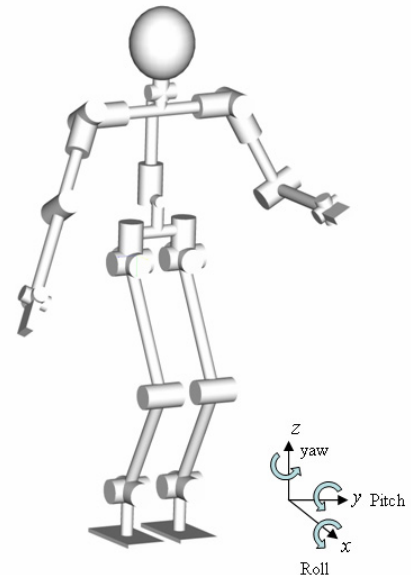


Fig. 2 Joint structure of KHR-2

Table 1. Specification of KHR-2

키	120 cm
중량	56 Kg
보행속도	0 ~ 1.0 Km/h

보행주기	0~0.98 초	
약력	약 0.5Kg/finger	
액츄에이터	DC 서보모터, 하모닉 드라이브 기어 감속기, 구동장치	
제어장치	걸음새 제어장치, 위치제어장치, 데이터 전송장치	
센서	힘/모멘트 센서(발, 손목) 각속도/가속도 센서(몸통)	
전원부	배터리 (Ni-MH)	24V/8AH, 12V/12AH
	외부전원	12V, 24V
조종부	키보드/마우스, 무선랜을 이용한 외부 컴퓨터	

Table 2. DOF(Degree of freedom) of KHR-2

머리	목(Pan/Tilt)	2 DOF
	눈 (Pan/Tilt)	2 DOF × 2 눈 = 4 DOF
팔	어깨(Roll/Pitch/Yaw)	3 DOF
	팔꿈치(Pitch)	1 DOF
손	손목(Roll/Pitch)	2 DOF
	손가락(Pitch)	1 DOF × 5 DOF
		7 DOF × 2 손 = 14 DOF
몸통	Yaw	1 DOF
다리	고관절(Roll/Pitch/Yaw)	3 DOF
	무릎(Pitch)	1 DOF
	발목(Roll/Pitch)	2 DOF
		6 DOF × 2 다리 = 12 DOF
총 DOF		41 DOF

2.2 상체 설계

KHR-2의 상체는 머리, 팔, 손 그리고 몸통으로 구성되어있으며, 총 29 개의 자유도를 가지고 있다. 서보 제어기, 주 제어기와 대용량 배터리 및 스위치 패널 등이 장착되므로 하체에 비해 공간 활용도가 매우 중요한 부분이다. 따라서 구조적으로 간결하면서 충분한 강성을 지닐 수 있는

구조로 설계하였다. KHR-2의 경우 ‘口’형 프레임이 가슴에 위치하고 상체와 하체는 인간의 척추를 대신하는 두꺼운 기둥(Column)으로 지지되어 있다. 각각의 상체 구성 요소들은 세부적으로 다시 설명할 것이다.

2.2.1 머리

KHR-2의 머리에는 총 6 개의 자유도로 이루어져 있다. 목과 눈이 각각 팬-틸트(Pan and Tilt) 구조를 이루고 있고, CCD 카메라 2 대가 장착되어 스테레오 비전 시스템이 구성되어 있다. CCD 카메라에서는 NTSC 출력신호를 주 제어기에 전송하게 되고, 이를 프레임 그라버(Frame Grabber)에서 디지털화하여 이미지 영상을 처리하게 된다. 또한 머리의 모든 관절을 제어할 제어기는 머리의 뒷부분에 장착된다. Fig. 3는 머리의 입체도를 보여준다. 목과 눈의 틸트(Tilt) 구동은 폴리-벨트 방식으로 구동되며 팬(Pan) 구동은 모터-감속기의 직접 구동방식으로 구동된다.

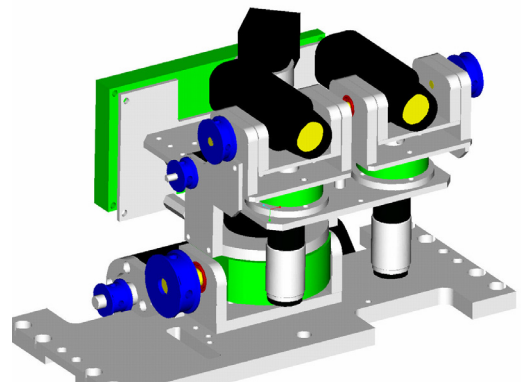


Fig. 3 3-D model of the head

2.2.2 손

KHR-2의 손은 사람과 같이 5 개의 손가락과 손목을 가지고 있다. 각 손은 총 7 개의 자유도를 가지고 있고, 손가락당 1 개의 자유도, 손목에는 2 개의 자유도를 가지고 있다. 손은 기능적인 측면을 강조하기 보다는 구동기의 수를 줄임과 동시에 인간의 외형 및 운동을 모방하기 위하여 1 자유도의 손가락 5 개로 설계하였다. Fig. 4는 손의 입체도를 나타낸다. 각 손가락은 1 개의 구동기를 갖고 있으며 이는 폴리-벨트 구동방식으로 연동되어 작동한다. Fig. 9와 같이 손목에 3축 힘/모멘트 센서가 있다. 이는 손에 작용하는 힘과 모멘트를 측정할 수 있으며 악수하기, 간단한 형상의 물건 집기와 같은 동작의 용이한 제어를 위한 것이다. 이를 위하여 추가적으로 손가락 끝에는 압력센서를 장착할 수 있도록 설계하였다. 물체를 잡을 때의 물체로부터의 반력을 측정하여

적정한 힘을 작용하도록 하기 위함이다.

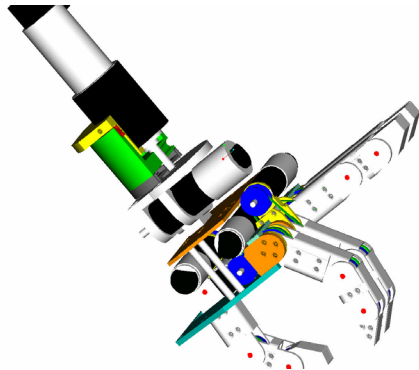


Fig. 4 3D Model of the hand

2.3 하체 설계

KHR-2의 가장 큰 특징은 2족 보행으로서 합리적인 하체의 설계는 로봇의 구동 및 운동에 있어서 매우 중요하다. 구동기의 마찰 및 구동축의 비틀어짐과 같은 현상을 방지하여 설계함으로써 구동기의 구동 효율을 높임과 동시에 구동기에 무리한 하중이 전달되지 않도록 설계하는 것이 중요하다. 또한, 하체 각 관절의 움직임 범위를 적절히 선정해야 할 것이며, 조인트의 구동 속도 및 부하에 의거하여 구동기를 선정한다. Table 3., 4. 에 하체의 구동 범위와 장착되는 구동기 형태를 각각 정리하였다. 모든 하체의 감속기는 하모닉 감속기를 사용하여 백래시를 제거하였다. 고관절의 요(Yaw) 관절을 제외한 모든 하모닉 감속기는 하우징 일체형인 유닛 타입을 이용하여 비교적 부피가 크지만 견고하여 동력전달이 원활하도록 하였고, 고관절 요(Yaw)관절의 경우 상체와의 연결공간 문제 및 다양한 하중 조건을 만족시키는 하우징을 설계하여 장착하였다. 이 때의 다양한 하중 조건은 로봇이 보행할 때 고관절 요(Yaw)에 축방향 압축력과 인장력 및 로봇의 균형 유지를 위한 모멘트가 주기적으로 작용하게 된다. 따라서 고관절 요(Yaw)를 지지하는 베어링은 축 하중 및 모멘트에 강한 앵글러 콘택트 베어링쌍(Angular Contact Bearing Couple)을 사용하였다. 무릎관절에는 걸음 시 가장 많은 하중이 작용하는 부분으로써 Fig.5와 같이 같은 종류의 DC 모터 2개를 병렬로 연결하여 충분한 토크출력을 낼 수 있도록 하였다. 공간 활용성과 조작의 편의성 및 감속비의 조정의 용이성을 모두 만족시키기 위해 모든 관절의 하모닉 드라이브 입력단은 폴리/벨트 메커니즘으로 설계하였다. 그리고 적당한 장력을 부가하기 위해 각각 장력조절장치를 장착하였다. Fig.6에 KHR-2의 하체사진을 나타내었다.

Table 3. Movable angle range of lower body joints

		Movable angle range(deg)
고관절	Roll	-90 ~ + 38
	Pitch	-90 ~ + 90
	Yaw	-77 ~ + 60
무릎		0 ~ + 150
발목	Roll	-40 ~ + 23
	Pitch	-90 ~ + 90

Table 4. Actuator types in lower body

		동력 전달 방식	DC 모터 용량
고관절	Roll	Harmonic drive gear + Pulley/Belt	24V/150W
	Pitch		24V/150W
	Yaw		24V/90W
무릎		Pulley/Belt	24V/150W ×2
발목	Roll		24V/90W
	Pitch	24V/90W	

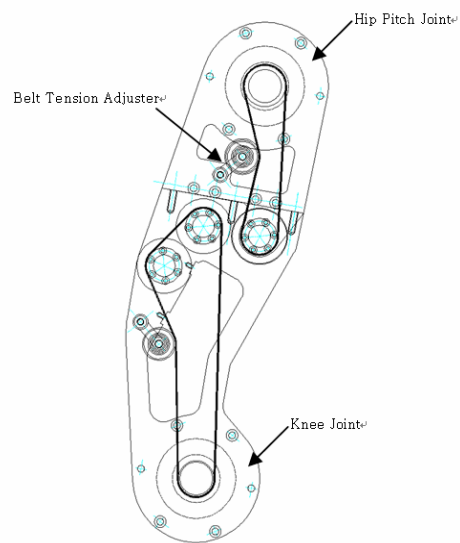


Fig. 5 Thigh Design (Hip Pitch Joint & Knee Pitch Joint)

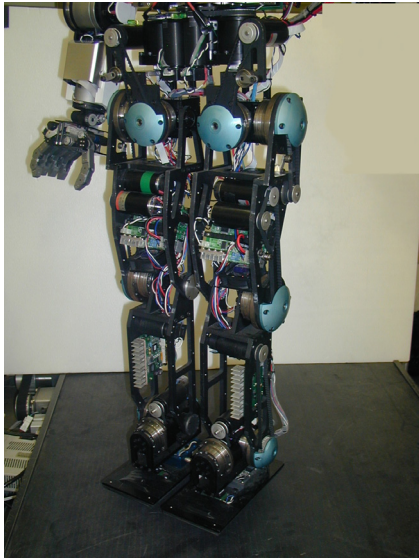


Fig. 6 Photograph of the lower body

3. 시스템 집성

로봇의 자유도가 매우 커지면서 주 제어기의 계산량을 줄일 필요가 있기 때문에 KHR-2 는 실시간 분산 제어 방식으로 이루어져 있다. 주 제어기의 OS 를 윈도우를 사용함으로써 비전 시스템과 같은 어플리케이션을 용이하게 개발할 수 있도록 하였다. 여러 센서모듈 및 자유도의 쉬운 확장성 등을 고려하여 CAN 통신을 기반으로 하여 분산 제어방식을 사용하였다. KHR-2 는 시스템을 총괄하는 주 제어기와 이것의 명령 받아 각각의 제어 및 신호 처리를 수행하는 하위 제어기가 존재한다. 이 두 장치의 통신은 전술한 바와 같이 CAN 통신을 사용한다. 주 제어기의 윈도우 기반 실시간 제어를 위하여 윈도우즈에 RTX(Real Time Extension)를 사용하였다. Fig.7 은 전체 시스템 구성도이다.

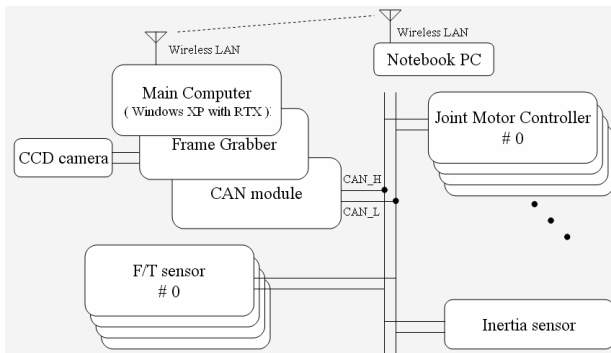


Fig. 7 Overall system configuration of KHR-2

3.1 주 제어기 (Main Controller)

KHR-2 의 주 제어기로서 산업용 싱글보드컴퓨터(Single Board Computer)를 사용하였다. 제어기 하드웨어로서 PC 를 사용함으로써 친숙한 개발환경인 Windows XP 를 OS 를 사용할 수 있게 되었다. 이의 목적은 다루기 쉬운 인터페이스 환경으로부터 개발 속도를 최대한 늘리는 데에 있다.

3.1.1 CAN(Controller Area Network) 통신 프로토콜

주 제어기와 다수의 하위 제어기 사이의 데이터 통신 시스템을 구축하기 위해서 통신 속도와 통신 데이터의 신뢰성을 고려하였다. 따라서, 이미 자동차 산업에서 검증된 CAN 프로토콜을 이용하였으며 이의 특징은 아래와 같다.

- 1) Multi-Master/ Multi-Slave
- 2) 빠른 통신 속도 (1Mbit/sec)
- 3) 탁월한 오류 처리와 오류 제한
- 4) 결함 메시지의 자동적인 재전송
- 5) 물리적 결함이 추정되는 노드들의 자동적인 버스 연결 절단

3.1.2 주 제어기의 실시간성

주 제어기에서 명령송신과 데이터 수신을 정확한 시간간격으로 주고받기 위해서는 윈도우 XP 에서 실시간성이 보장되어야 한다. 윈도우 OS 는 기본적으로 실시간 OS 가 아니므로 만약 응용프로그램에서 윈도우 타이머를 쓰게 된다면, 시스템 대기시간(Latency)으로 인해 실시간이 보장되지 않을 것이다. 따라서 RTX 을 이용하여 윈도우즈의 HAL(Hardware Abstraction Layer)을 확장시켜 윈도우즈 기반 실시간 제어를 구현하였다.

3.2 하위 컨트롤러

3.2.1 관절모터제어기(JMC, Joint Motor Controller)

KHR-2 에는 총 14 개의 CAN 통신이 가능한 관절모터제어기가 장착되어 있다. 관절모터제어기는 다시 두 가지 타입으로 나뉜다. 첫 번째 타입은 손과 머리에 장착되며 각각 7 개의 소용량 DC 모터를 제어한다. 추후에 장착될 압력센서를 위하여 5 개의 A/D 변환 포트가 있고, 약 48W/Ch 의 용량을 가지고 있다. 두 번째 타입은 손과 머리를 제외한 나머지 관절을 제어하는데 쓰이는데 각각 2 개의 대용량 DC 모터를 제어한다. 이 제어기는 여분의 2 개의 A/D 변환포트가 설치되어 있으며, 약 400 W/Ch 의 용량을 가지고 있다. Fig.8 에서 관절 모터 제어기의 사진을 보여주고 있다.

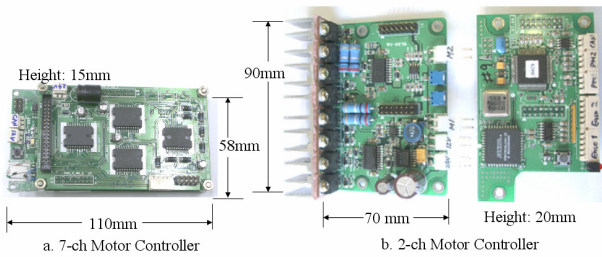


Fig. 8 Joint motor controller

3.2.2 힘/모멘트 센서

KHR-2 에는 총 4 개의 3 축 힘/모멘트 센서가 장착되어 있으며 2 개는 손목, 2 개는 발목에 장착되어 있다. 1 개의 수직력과 2 개의 모멘트(롤(Roll), 피치(Pitch))를 측정할 수 있다. 손목에 장착된 센서는 측정 최대 수직력 300N, 최대 모멘트 10Nm 이며 악수하기와 같이 인간 및 외부 환경과의 상호작용을 위한 것이다. 발목에 장착된 센서는 측정 최대 수직력 1000N, 모멘트 30Nm 이며 동적 걸음 시 ZMP(Zero Moment Point)를 측정하기 위해 사용된다. Fig.9 에 힘/모멘트 센서 모듈의 사진을 나타내었다.

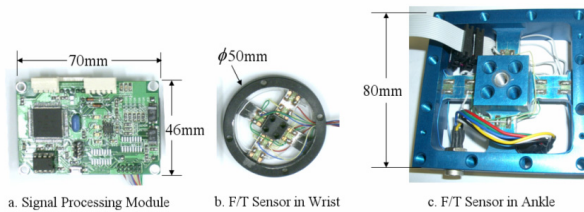


Fig. 9 F/T sensor module

3.2.3 관성센서

KHR-2 에는 몸체의 자세 정보를 알아내기 위하여 관성센서를 이용한다. 관성센서에는 3 축 가속도센서와 3 축 각속도 센서가 장착되어있고, 이 두 가지 종류의 센서를 적절한 주파수대역에서 혼합하여 로봇의 자세를 알아낸다. 최대 측정 기울기 각도는 각 축에서 15° ~ -15° 이다. Fig.10 에 관성 센서 모듈의 사진을 나타내었다.

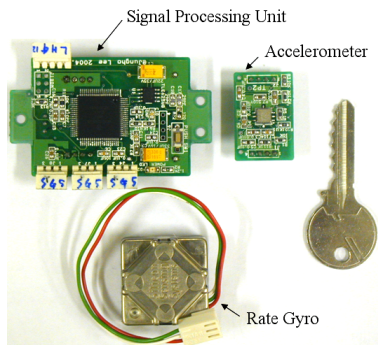


Fig. 10 Inertia sensor module

4. 결론

본 연구에서는 제시되었던 설계 개념에 맞추어, 인간형 로봇인 KHR-2 를 개발하였다. 2D/3D CAD 를 이용하여 KHR-2 의 기계 설계를 하였고, 시뮬레이션을 통한 모터, 감속기 및 구동 메커니즘을 선정하여 기계구조를 완성하였다. 분산제어시스템의 주 제어기로서 싱글 보드 컴퓨터를 선정하였고, RTX HAL 확장 프로그램을 이용하여 실시간성을 확립하였다. 하위제어기로서, 각종 관절 모터 제어기와 힘/모멘트 센서모듈 및 관성센서 시스템을 개발하여 KHR-2 에 가장 알맞도록 장착하였다. 주 제어기와 하위 제어기들과의 통신을 위하여, 고속 직렬 통신인 CAN 통신 프로토콜을 사용하였다. 또한 로봇의 시각센서로서 CCD 카메라를 2 대를 장착하고 프레임 그레버를 이용하여 초당 약 15 프레임을 전송함으로써, 스테레오 비전시스템을 구축하였다.

참고문헌

- (1) K. Hirai, M. Hirose, Y. Haikawa, and T. Takenaka, 1998, "The Development of Honda Humanoid Robot," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automations*, pp.1321~1326.
- (2) Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki, and K. Fujimura, 2002, "The intelligent ASIMO: System overview and integration," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2478~2483.
- (3) S. Kagami, K. Nishiwaki, J. J. Kuffner Jr., Y. Kuniyoshi, M. Inaba and H. Inoue, 2002, "Online 3D Vision, Motion Planning and Biped Locomotion Control Coupling System of Humanoid Robot : H7," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2557~2562.
- (4) H. Lim, Y. Kaneshima, and A. Takanishi, 2002, "Online Walking Pattern Generation for Biped Humanoid Robot with Trunk," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation*, pp. 3111~3116.
- (5) J. H. Kim, S. W. Park, I. W. Park, and J. H. Oh, 2002, "Development of a Humanoid Biped Walking Robot Platform KHR-1 Initial Design and Its Performance Evaluation," in *Proc. of 3rd IARP Int. Work. on Humanoid and Human Friendly Robotics*, pp. 1421.
- (6) J. H. Kim, I. W. Park, and J. H. Oh, 2002, "Design of Lower Limbs for a Humanoid Biped Robot," *International Journal of Human Friendly Welfare Robotic System*, Vol.2, No.4, pp.5~10.