

감시, 경계, 수송용 다족형 보행로봇 시스템 개발

한국생산기술연구원 | 소병록 · 원대희 · 김태주 · 권오홍 · 박상덕 · 손웅희

1. 서론

급격하게 변모하는 미래의 전장 환경에 대처하기 위해서 인명 손실을 최소화하면서 군인을 대신하여 작전 수행이 가능한 무인 무기체계의 도입이 여러 나라에서 추진되고 있다. 이러한 무인 무기 체계는 최근까지 비약적으로 발전한 로봇 기술 분야와 결합하여 활발하게 연구되고 있다. 그 분야는 크게 무인 지상로봇, 무인 비행로봇, 그리고 무인 수중로봇으로 구분할 수 있다. 특히 무인 지상로봇은 크게 차륜형/궤도형과 다족형으로 구분될 수 있으며, 그 중 다족형 이동로봇은 모래나 진흙과 같은 불규칙 노면, 급경사 지형, 산악지형 등 다양한 험지에서 차륜형/궤도형 이동로봇에 비해 이동성이 우수하기 때문에 전시 작전 수행용으로 관심이 집중되고 있다.

기존의 다족형 로봇 연구들을 살펴보면, 2족형 로봇에 비해 큰 이동성과 안정성을 가지는 4족형 로봇에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다[1-8]. 그러나 기존에 개발된 4족형 로봇은 관절 액추에이터의 낮은 출력으로 인하여 무거운 짐을 빠르게 옮기는 데 한계를 지니고 있었으나, 최근 들어 공압 및 유압 액추에이터를 이용한 4족형 로봇이 개발되어 다양한 제어 방법이 제시 되고 있다[9,10]. Guihard et al.은 공압을 이용한 바퀴와 다리로 구성된 혼합된 로봇을 개발하였으나, 공압시스템의 높은 비선형 특성으로 인하여 제어하기 어렵다는 문제점을 지니고 있다[3]. Playter et al.은 거친 지형에서 걷고 뛰어 오르며, 무거운 하중을 옮길 수 있는 유압시스템 기반의 4족 로봇을 개발하였다. 이 로봇은 가솔린 엔진이 유압시스템을 구동하여 동력을 발생시키며, 로봇의 다리는 동물의 관절과 유사한 구조의 관절을 가지고 있고 충격을 흡수하는 탄성요소를 가지고 있어서 한 스텝에서 다음 스텝까지 에너지를 순환시킨다[2].

본 논문에서는 국방로봇에 대해 살펴보고, 그 중 다족형 로봇 시스템의 역할과 국내외 개발현황에 대해

알아본다. 그리고, 현재 개발중인 모터구동식 감시용 다족형 로봇과 유압구동식 수송용 다족형 로봇의 시스템의 하드웨어/소프트웨어 구성 및 제어 모듈에 대해 알아본다.

2. 국방로봇 정의 및 필요성

2.1 국방로봇의 정의

국방 로봇은 미래 전장 환경에서 무인 수색/정찰 등 획기적인 정보수집 능력을 바탕으로 병사 또는 유인 시스템을 대행하고, 인명 손실을 최소화함으로써 적을 무력화시키는 전투 및 비전투 시스템으로 정의된다. 국방로봇은 운용환경, 임무 등을 기준으로 무인지상로봇(Unmanned Ground Vehicle), 무인 비행로봇(Unmanned Aerial Vehicle)과 무인 수중로봇(Unmanned Underwater Vehicle)으로 구분할 수 있다. 무인지상로봇(UGV)은 30kg급 휴대용로봇, 3톤급 경전투로봇, 8톤급 중전투용로봇, 다족형 로봇으로 구분하며, 무인비행로봇은 초소형 비행로봇(MAV)과 고도에 따른 저고도(~305m), 중고도(306m~7.5km), 고고도(7.6km~19km) 로봇으로 분류 하며, 무인수중로봇은 수상로봇(USV), 잠수로봇(UUV) 등으로 그림 1과 같이 각각 분류 할 수 있다.

2.2 국방로봇의 필요성

그림 2와 같이 미래의 전장 환경에서는 먼저 보고

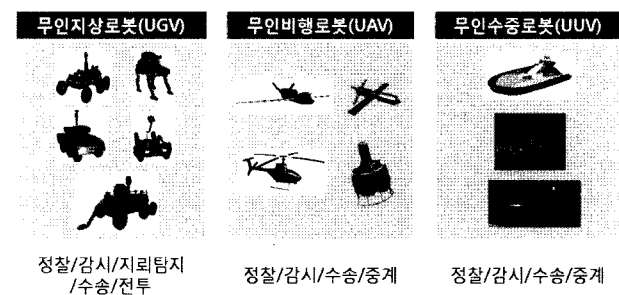


그림 1 군사 로봇의 분류

먼저 판단하고 먼저 제압하는 신속한 전투개념을 실현할 수 있는 무기체계가 필요하며, 감시·정찰, 지뢰 탐지, 전투 등의 다양한 임무에서 병사의 생존성을 향상시키기 위해 국방로봇의 필요성이 커지게 된다. 국방로봇 개발은 고도화된 지능 및 자율기술 개발로 군사기술 혁신 및 국가 위상을 제고하여 선진국 군사기술에 대응하는 것이 목적이다. 또한, 첨단 국방로봇의 재래식 무기시장 대체로 방산산업 활성화 및 기술고도화에 따른 고부가가치 수익을 창출할 수 있다.

미래 전쟁은 有·無人 플랫폼(Vehicle)과 지상/공중/해상이 통합 연계된 환경에서, 무인화되는 非접촉적/원격戰으로 발전될 것으로 예상되며, 有·無人 플랫폼(Vehicle)이 실시간 공격, 간접화력, 방공, 정찰, 감시, 표적획득, 전투지휘 및 통신임무를 수행하여야 한

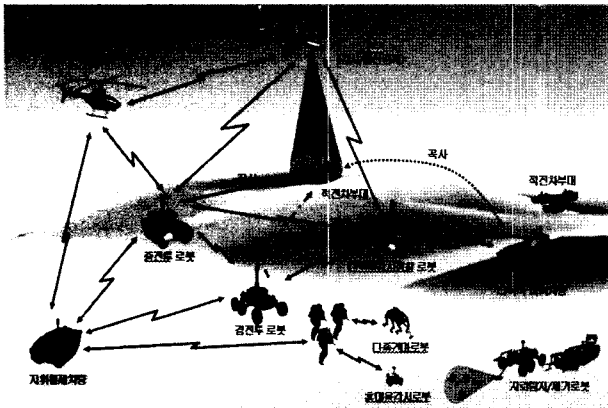


그림 2 미래 전장환경 개념

다. 또한, 무기체계는 더욱 정밀화, 인공 지능화되며, 무인화가 가속될 것으로 판단된다. 또한, 유인차량 그룹, 무인차량 그룹, 다목적 로봇, 군인 등이 네트워크를 통해 통합 연계하여 가장 효과적인 전투체계 유지할 수 있으리라 본다.

3. 다족형 보행 로봇 시스템의 국내외 개발현황

무인지상로봇(UGV)은 무선원격 조종 및 자율지능에 의해 운반, 탐지, 감시 및 정찰 등을 수행할 수 있는 다족형 및 바퀴형 다목적 보행 로봇으로 그 중 다족형 로봇 시스템은 국내외 연구진들에 의해 1980년대부터 활발히 연구가 진행되고 있다. 그림 3을 살펴보면, 미국의 경우 1980년대 군용 로봇 ASV, 화성 탐사용 로봇 AMBLER등의 개발을 위해 대규모 연구비를 투입한 바 있으며, 1990년대 개발한 화산 탐사용 로봇 DANTE II의 경우 실제 알라스카의 화산 탐사에 사용되었고, 일본의 경우 동경공업대학에서 TITAN 시리즈를 통해 건설/토목 작업을 위한 로봇을 개발하였으며, 원자력 발전소 내부에서 위험 작업을 수행할 수 있는 보행 로봇을 포함한 대형 국책 과제를 수행되었다. 이외에 많은 보행 로봇들이 대학/연구소/기업등지에서 개발되어 선박 건조, 벌목/수송 등에 사용된 바 있다. 국내의 경우, 한국과학기술원에서 4족 보행로봇인 KAISER I/II를, 한국과학기술연구원에서 CENTAUR를 개발하였으며 대학들을 중심으로 소형 보행 로봇을 개발하였다.

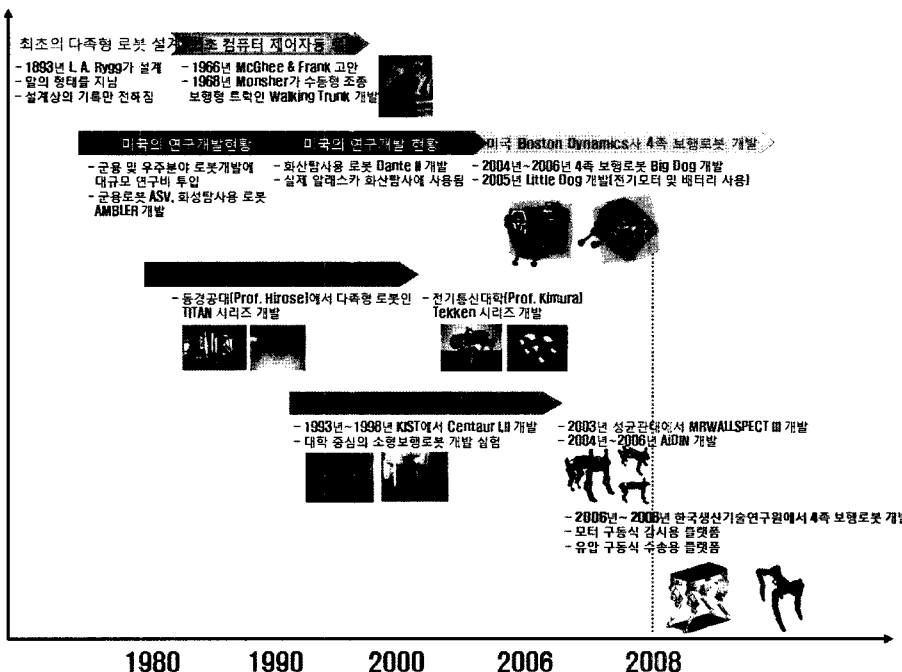


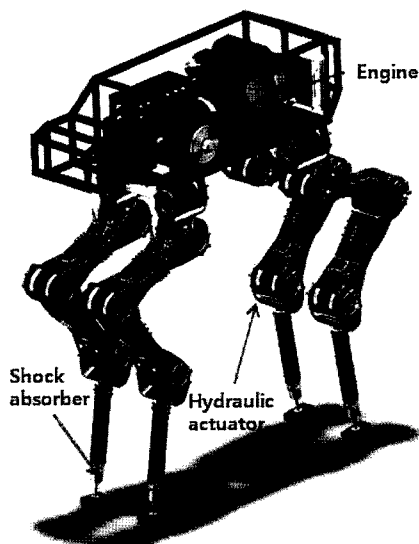
그림 3 다족형 보행 로봇의 국내외 개발현황

이와 같은 수많은 연구 개발에도 불구하고 다족형 보행 이동 방식은 평지에서의 이동 능력이 바퀴/무한궤도형 이동 방식에 비해 크게 떨어지고, 험지에서도 특수한 지형 조건을 제외하고는 높은 기술수준을 요구하기 때문에 산업화 수준에 이르지 못하였으나, 컴퓨팅 파워의 기하급수적인 증대, 저중량 고효율 구동장치 등의 기술적 발전과 최근 2족 보행로봇인 일본의 ASIMO나 QRIO, 한국의 HUBO, MAHRU/AHRA 등의 개발을 통해 보행 로봇에 대한 관심이 증대되고, 미국의 BIG DOG 프로젝트 등으로 인해 보행 로봇의 산업 적용 가능성에 대한 기대가 높아지고 있다.

4. 감시, 경계, 수송용 다족형 보행 로봇 시스템 개발 현황

4.1 개발현황

현재 한국생산기술연구원을 주축으로 이루어진 국내 연구진에 의해 모터 구동식 경비용 다족형 로봇 플랫폼과 유압 구동식 수송용 다족형 로봇 플랫폼 개발이 진행 중에 있다. 그림 4에 나타난 개발 중인 플랫폼에 대해 자세히 살펴보면, 모터구동식 감시용 다족형 로봇 플랫폼은 고속 주행을 위해 생체 모방형 메커니즘을 가지며, 민수시장에서의 적용 및 응용을 목표로 개발이 진행 중이다. 또한, 유압구동식 수송용 플랫폼은 가반중량 60kg에 자체중량 100kg를 목표로, 엔진을 동력원으로 탑재하여 초소형 고효율의 회전형 유압 액추에이터를 구동함으로써 평지 및 험지에서 군병력의 수송지원을 위해 개발되고 있다.



(a) 유압구동식 수송용 다족형 보행 로봇

4.2 H/W 구성

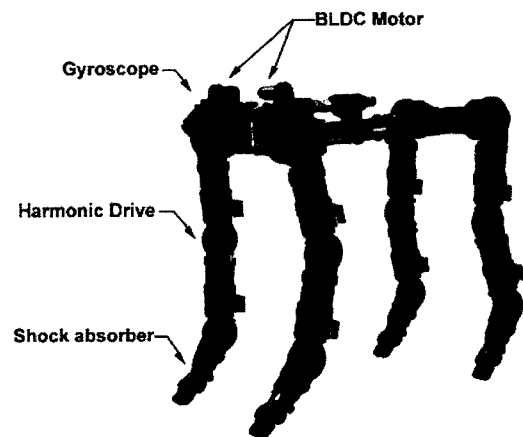
유압구동식 수송용 다족형 보행 로봇은 1.2m × 1m × 0.4m (높이 × 길이 × 폭)의 크기를 가지고 있으며, 총 20자유도를 가지고 있다. 한 다리모듈은 5자유도를 가지며, 2개의 힙관절, 1개의 어깨관절, 1개의 무릎관절, 1개의 충격흡수장치로 구성되어 있다.

그림 5(a)는 본 유압 구동식 다족형 로봇 시스템에서 사용한 회전형 유압 서보 시스템의 회전형 액추에이터와 유압서보제어기를 나타내며, 사용된 유압 액추에이터는 무게는 1.63kg이고, 210bar의 공급압력 조건에서 400Nm의 토크를 발생하도록 설계되었으며, 120도의 작동각을 갖는다. 또한 보행 및 자세제어를 위해 각 관절마다 토크셀과 엔코더가 부착되어 있다. 그리고, 모델기반 유압서보 제어 알고리즘이 내장되어 있으며, CAN을 이용하여 데이터를 주고받는다. 또한, 유압 파워 공급 시스템은 최대 210bar에서 40lpm 공급이 가능하며, 압력 제어가 가능하도록 설계되었다.

그림 6은 다족형 로봇 시스템의 제어/센서 시스템의 하드웨어 구성도를 나타내고 있다. 센서 시스템은 Vision, AHRS, Laser range finder, 지면접촉센서(Ground contact sensor)로 구성되며, 자세 및 보행 제어, 환경인식을 위해 사용된다. 구동모듈은 모터구동식 다족형 로봇은 배터리와 모터로 구성되며, 유압구동식 다족형 로봇은 엔진과 유압파워공급모듈, 회전형 유압 액추에이터로 구성된다.

4.3 제어시스템

전마로봇의 제어기는 크게 태스크레벨 제어기와 행동레벨제어기 그리고, 로컬제어기로 구성되는 3단계



(b) 모터구동식 감시용 다족형 보행 로봇

그림 4 개발된 다족형 보행 로봇 시스템

의 제어시스템으로 구성되어 있다.

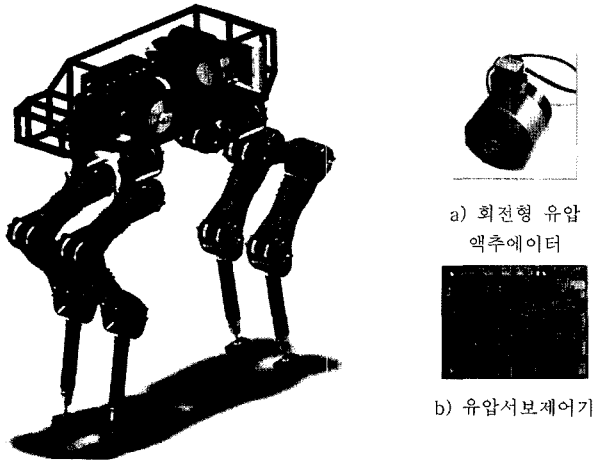


그림 5 견마로봇 및 유압서보시스템

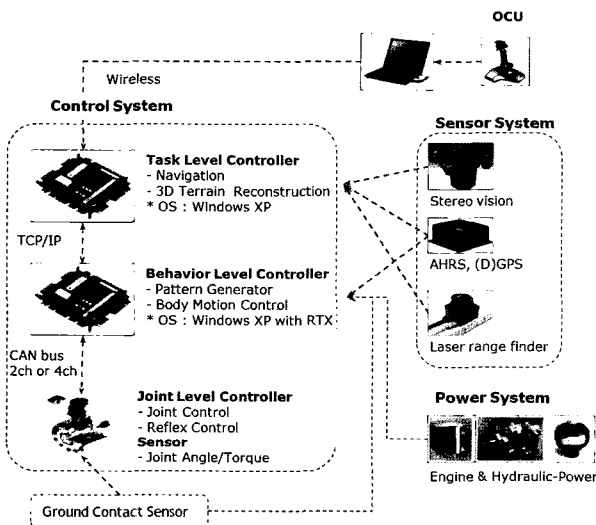


그림 6 제어/센서시스템 H/W 구성도

고차원의 행위를 포함하는 태스크 레벨 제어기는 비전기반 외부 환경인식, 네비게이션, 음성인식 등 최상위 알고리즘의 추가 및 확장이 용이하고, 행동레벨 제어기는 로봇의 실시간성이 보장되어야 하는 자세제어, 보행 알고리즘 등을 수행하며, 보다 안정적으로 실행하기 위해 real-time OS를 탑재하였다. 또한 로컬 제어기는 16개 이상의 관절제어 및 상태 정보 수집기능을 수행하며, 향후 군에서의 유지보수 용이성을 고려하여 CAN기반 분산제어 방식을 채택하였다. 이렇게 견마로봇의 제어시스템은 로봇에 탑재되는 알고리즘의 연산량, 실시간성, 확장성 등 각 알고리즘의 특성을 반영, 그 효율성을 극대화하기 위해 3단계의 제어시스템 구조를 가지고 있으며, 그림 7은 견마로봇의 제어시스템 소프트웨어 아키텍처를 나타낸다.

각 제어시스템의 세부기능은 다음과 같다. 먼저 태스크레벨 제어기는 외부 조종기인 OCU(Operation Control Unit)으로부터 명령을 전달받아 이를 해석하고, 네비게이션 및 3D 환경 재통합기능 등 고차원의 행위를 기반으로 로봇이 수행해야하는 목표와 태스크를 계획하여 행동레벨 제어기가 로봇의 행동을 제어할 수 있도록 목표를 제공하게 된다. 행동레벨 제어기는 태스크레벨 제어기로부터 얻은 목표를 수행하기 위해 패턴발생기, 자세 및 보행제어, 유압 파워공급모듈 제어 등의 저차원 행위를 기반으로 로봇의 실질적인 행동을 실행하게 된다. 그리고, 관절레벨 제어기는 회전형 유압 액추에이터의 서보밸브제어 및 반사(Reflex)제어 기능을 수행하고, 관절 및 지면접촉 센서 등의 정보를 수집하여 태스크/행동레벨 제어기로 전송하는 기능을 하게 된다. 또한, 동력시스템의 엔진 rpm 및 유압 공

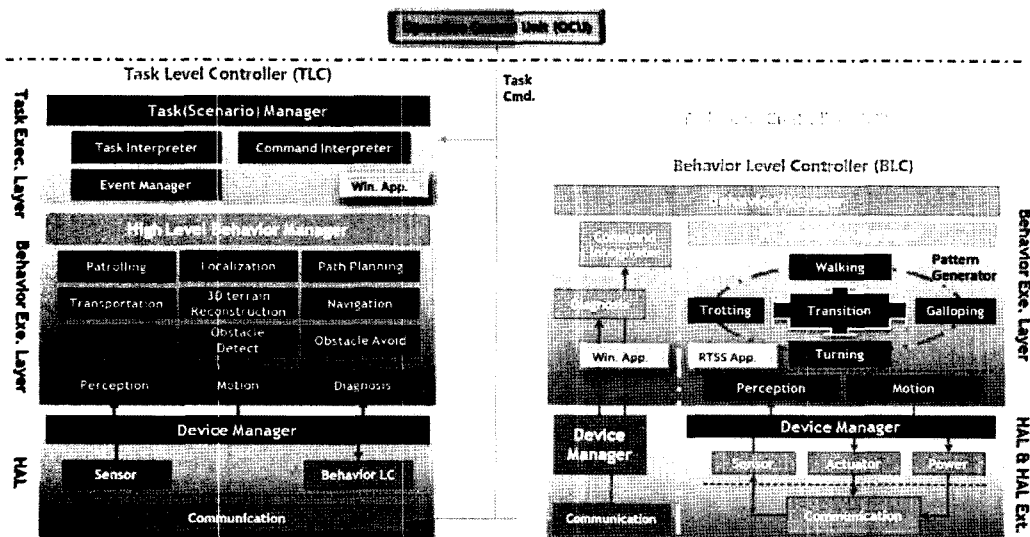


그림 7 제어시스템 S/W 아키텍처

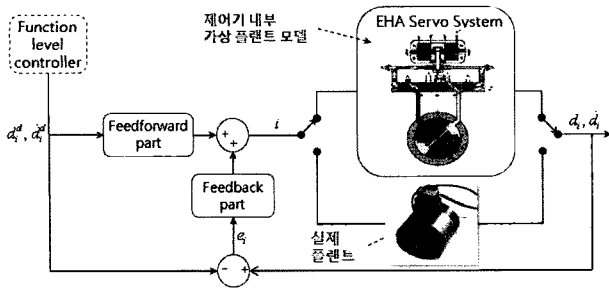


그림 8 유압서보제어알고리즘

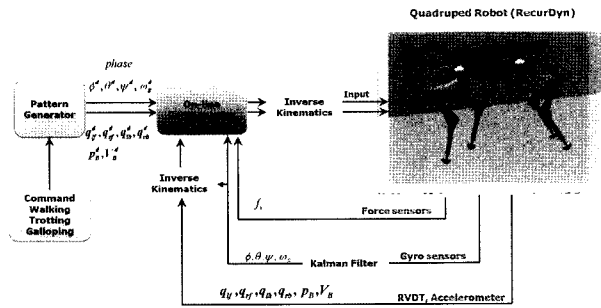


그림 9 자세 및 보행제어 알고리즘 블록도

급압력제어와 작동유의 압력, 온도, 유량 등 동력/유압파워공급 시스템의 제어와 상태 모니터링을 위한 기능을 포함하고 있다.

4.4 보행제어 시스템

보행/자세 제어기는 보행 패턴 생성기와 실시간 보행 패턴 보상기로 구성된다. 안정성을 향상시키기 위하여 근사적인 동역학 모델 기반으로 로봇의 운동궤적을 생성하는 보행 패턴 생성기는 보행 속도나 방향 전환등과 같은 상위 명령 및 주위환경과 상황에 따라서 상체와 다리의 보행 패턴을 오프라인으로 생성하고, 역기구학을 이용해 관절의 궤적으로 변환해준다. 변환된 관절 궤적에 따라 움직일 때, 실시간 보행 패턴 보상기는 자세(AHRS) 센서를 통해 로봇의 자세를 측정하고, 액추에이터의 여러 가지 센서들의 정보를 이용해 실시간으로 넘어지지 않도록 로봇의 자세를 제어하게 된다. 그림 8은 모델기반의 유압서보제어 블록도이며, 그림 9는 보행/자세제어 알고리즘의 블록도를 나타내고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 미래 전장 환경에서 군인을 대신할 수 있는 국방로봇으로서의 다족형 로봇 시스템에 대해서 알아보았다. 그리고, 개발된 모터구동식 감시·정찰용 다족형 로봇과 유압구동식 수송용 다족형 보행로봇의 하드웨어/소프트웨어 구성 및 제어시스템에

대해 설명하였으며, 평탄하지 않은 야지에서 원활한 임무 수행을 위해서 다양한 센서정보들을 이용하여 넘어지지 않기 위한 실시간 보행 및 자세 제어를 적용하고, 고출력 시스템을 위해 초소형 회전형 유압 액추에이터를 개발하였다.

추후 계획으로는 목적지까지의 안전한 경로 계획과 기구의 최적화, 부품의 경량화 문제를 해결할 계획이다.

참고문헌

- [1] R. Kurazume, S. Hirose, and K. Yoneda, "Feed-forward and Feedback Dynamic Trot Gait Control for a Quadruped Walking Vehicle," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 3172–3179, 2001.
- [2] R. Playter, M. Buehler, and M. Raibert, "BigDog," Proc. Of SPIE, Vol. 6230, 2006.
- [3] M. Guihard, P. Gorce, and J. G. Fontaine, "SAPPHYR: Legs to pull a wheel structure," IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, pp. 1303–1308, 1995.
- [4] L.R. Palmer III and D. E. Orin, "3D Control of a High-Speed Quadruped Trot," Industrial Robot: An International Journal, Vol. 33, No. 4, pp. 298–302, 2006.
- [5] M. H. Raibert, "Trotting, Pacing, and Bounding by a Quadruped Robot," Journal of Biomechanics, Vol. 23, No. 1, pp. 79–98, 1990.
- [6] S. Peng, "A Biologically Inspired Four Legged Walking Robot," Doctoral thesis, Murdoch University, 2006.
- [7] H. Tsukagoshi, S. Hirose, and K. Yoneda, "Maneuvering Operations of the Quadruped Walking Robot on the Slope," IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 863–869, 1996.
- [8] Y. Fukuoka, H. Kimura, and A. H. Cohen, "Adaptive Dynamic Walking of a Quadruped Robot on Irregular Terrain Based on Biological Concepts," The International Journal of Robotics Research, Vol. 22, No.3–4, pp. 187–202, 2003.
- [9] C. Ridderstrom, "Legged Locomotion: Balance, Control and Tools—from Equation to Action," Doctoral thesis, Royal Institute of Technology, 2003.
- [10] J. A. Smith, "Galloping, Bounding and Wheeled-Leg Modes of Locomotion on Underactuated Quadrupedal Robots," Doctoral thesis, McGill University, 2006.



소 병 록

1997 한양대학교 제어계측공과(공학사)
 2000 한양대학교 대학원 제어계측공과(공학석사)
 2006 한양대학교 대학원 전자전기제어계측공학과
 (공학박사)
 2006~현재 한국생산기술연구원 로봇기술본부
 지능/운동연구팀 선임연구원

관심분야: 인간형 로봇 모델링 및 제어, 병렬형 메커니즘 해석, impact control

E-mail : newmal@kitech.re.kr



원 대 희

2000 고려대학교 제어계측공과(공학사)
 2002 한양대학교 대학원 정밀기계공학과(공학석사)
 2002~현재 한국생산기술연구원 로봇기술본부
 제어/인식연구팀
 2007~현재 한양대학교 대학원 전기공학과 박사
 과정

관심분야: 비선형시스템 제어 및 최적 추정이론, 4족 보행로봇, DSP

E-mail : daehee@kitech.re.kr



김 태 주

2002 한양대학교 제어계측공과(공학사)
 2004 한양대학교 대학원 제어계측공과(공학석사)
 2004~현재 한국생산기술연구원 로봇기술본부
 지능/운동 연구팀

관심분야: 4족 보행로봇, 햅틱 시스템, 최적설계

E-mail : re94@kitech.re.kr



권 오 흥

1999 한양대학교 기계공학부(공학사)
 2001 한양대학교 정밀기계공학과(공학석사)
 2003 한양대학교 기계공학과 박사수로
 2007~현재 한국생산기술연구원 로봇기술본부
 지능/운동 연구팀

관심분야: 보행 궤적 생성 알고리즘, 힘 제어

E-mail : ohung210@kitech.re.kr



박 상 덕

1988 영남대학교 기계설계과(공학사)
 1990 포항공과대학교 기계공학(공학석사)
 2000 포항공과대학교 기계공학(공학박사)
 1989~2003 (재)포항산업과학연구원 기전연구팀
 책임연구원

2004~현재 한국생산기술연구원 로봇기술본부

수석연구원

관심분야: 4족 보행로봇 설계 및 제어, 비행로봇 설계 및 제어, 설비진
 단용 이동로봇 시스템 설계, 유연구조물 및 유엔로봇 진동해석
 및 제어

E-mail : sdpark@kitech.re.kr



손 응 희

1988 서울산업대 기계설계학과(공학사)
 1993 한양대학교 기계설계학과(공학석사)
 1997 과학기술부 기계/차량 기술사
 1987~1990 한국과학기술원 기계공학과 연구원
 1990~현재 한국생산기술연구원 로봇기술본부
 수석연구원

관심분야: 필드형 로봇, 생체역학, 수송기계

E-mail : shon@kitech.re.kr

Korean Database Conference 2008(KDBC 2008)

- 일 자 : 2008년 5월 1일~2일
- 장 소 : 한국산업기술대학교
- 주 관 : 데이터베이스 소사이어티
- 상세안내 : <http://dbultra.yu.ac.kr/kdbc2008/index.php>