

바퀴기반 인간형 로봇의 개발 및 자세 제어

Development of a wheel-based humanoid robot and its balancing strategies

*최무성, 양광웅, 이종재, #김홍석

*M. S. Choi, K. W. Yang, J. J. Lee, #H. S. Kim(hskim@kitech.re.kr)

한국생산기술연구원 지능·운동 연구팀

Key words : humanoid robot, service robot, ZMP

1. 서론

대표적인 서비스 로봇 중 하나인 2족형 인간형 로봇[1][2]은 일본을 중심으로 수십년 전부터 연구되어져 왔지만 안정성 및 실용성면에서 본다면 아직 만족스러운 수준이 아니다. 또 다른 서비스 로봇의 형태인 모바일 매니플레이터 시스템[3][4]은 2족형 인간형 로봇에 비해 안정적이지만 작업 가능 영역이 매니플레이터 높이로 한계가 있기 때문에 가능한 서비스가 매우 제한적이다.

본 연구에서는 이러한 서비스 로봇의 단점을 보완하여 좀더 실용적인 형태의 플랫폼 개발을 목표로 하였다. 바퀴기반의 인간형 로봇 SEROPI(Service ROBot Platform Initiative)는 시스템 자체가 매우 안정적이고, 따라서 제어가 어렵지 않으며 인간과 같은 작업 영역을 갖고 있어서 인간이 수행하는 서비스의 대부분이 가능하다.

본 논문에서는 SEROPI에 대한 하드웨어적인 구조와 안정된 시스템을 위해 가장 필수적인 요소인 자세 제어 방법에 대해 설명한다.

2. 하드웨어의 구조

인간과 같은 작업영역을 갖고 서비스를 하기 위해서는 바닥과 테이블 위의 물체를 모두 핸들링 할 수 있어야 하고, 이를 위해서는 앉고 서는 동작이 가능해야 한다. 일단 인간 환경의 변경 없이 생활이 가능해야 하고 친숙한 이미지여야 하기 때문에 인간형으로 이미지를 잡았고, 안정적이고 신속한 서비스를 위하여 바퀴기반의 이동체를 채택하였다. 또한 앉고 서는 동작을 위해서 허리와 무릎 관절을 포함시켰다.

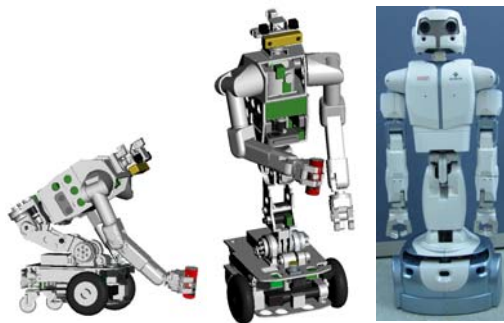


Fig. 1 SEROPI

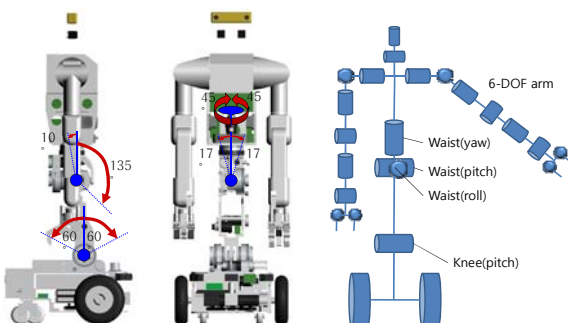


Fig. 2 Working areas of body joints

바퀴기반의 모바일베이스는 두 개의 구동바퀴와 두 개의 보조바퀴, 전원장치, 센서류 등으로 구성되어 있으며, 그 상판 위에 무릎관절이 위치한다. 로봇의 중앙에 위치한 허리 관절은 세 개의 관절(pitch, yaw, roll)로 구성된다. 허리관절 위의 몸통에는 로봇 전체의 운영 프로그램이 있는 상위 제어기와 내부 모터제어기 간 통신, 외부 통신 장치 등이 탑재되어 있으며 양 팔과 머리가 장착되어 있다. 양 팔은 (주)로봇앤디자인의 6자유도 휴머노이드형 암을 사용하였다. SEROPI의 세부 사양은 표 1과 같다.

표 1 SEROPI의 사양

크기	450×450×1250 mm
무게	55 kg
자유도	팔 6DOF × 2
	핸드 2DOF × 2
	몸통 4DOF
모바일베이스 구동방식	differential drive
속도	max. 2 m/s
지면 접촉 다각형의 면적	76800 mm ²
전원	24VDC 30Ah Li-polymer battery
상위 제어기	P4-M SBC
통신 인터페이스	CAN / RS-232(내부), Ethernet(외부)

3. 자세 제어

SEROPI는 이족 보행 로봇에 비하여 안정된 시스템이지만 모바일베이스의 지면 접촉 다각형의 면적이 크지 않기 때문에 상체의 자세에 따라 넘어질 수 있으며 이를 방지하기 위하여 자세 제어 알고리즘이 필요하다. 이러한 알고리즘의 구현을 위해 모바일베이스의 앞의 좌·우, 뒤의 좌·우 부분에 하중 측정용 로드셀(load cell)이 장착되어 있으며, 여기서 측정된 네 지점의 하중 데이터를 이용하여 수식 (1)로 ZMP(Zero Moment Point)의 위치를 계산한다.

$$x_{ZMP} = \frac{\sum_{i=fl, fr, bl, br} F_i \times d_{x,i}}{\sum_{i=fl, fr, bl, br} F_i} \quad (1)$$

$$y_{ZMP} = \frac{\sum_{i=fl, fr, bl, br} F_i \times d_{y,i}}{\sum_{i=fl, fr, bl, br} F_i}$$

여기서 *fl, fr, bl, br*은 각각 전방 좌·우, 후방 좌·우의 로드셀을 의미하며, F_i 는 해당 로드셀에서 측정된 힘이고, $d_{x,i}$ 와 $d_{y,i}$ 는 로드셀 위치의 x 좌표, y 좌표이다. ZMP는 로봇의 동적인 상태까지 고려된 값이며, 이 값이 지면 접촉 다각형의 안전 영역에 있으면 로봇은 넘어지지 않는다고 판단한다.

지면 접촉 다각형의 면적이 이족 보행 로봇에 비하여 상대적으로 크고, 팔의 무게가 몸통 무게의 30% 이하이기 때문에 팔의 움직임이 로봇의 안정성과 큰 관련이 없으며, 따라서 몸통의 움직임으로 안정성을 확보할 수 있다고 가정한다.

몸통은 무릎 1자유도(pitch), 허리 3자유도(pitch, yaw, roll)로 구

성되어 있으며, 여기서 pitch방향의 자세 제어는 무릎의 pitch축을 이용하고, roll방향의 자세 제어는 허리의 roll축을 이용한다.

로봇의 동작 모드는 크게 두 가지이다. 첫째는 작업 모드이며, 물건을 집거나 기타 다른 이유로 로봇 팔을 사용하고 자세의 높낮이를 조절하기 위해 허리를 이용하는 경우이다. 이때에는 무릎 pitch축과 허리 roll축은 자세 제어를 담당하고 나머지 관절은 작업 명령을 따른다. 둘째는 이동 모드이고, 네비게이션 시에 사용하는 모드로서 기본적으로 몸통의 자세 제어 알고리즘은 동작하고 있는 상태이며 가속, 감속을 할 때 자세를 낮춤으로써 ZMP의 급격한 변화를 줄여 주어 제어를 용이하게 해준다. 자세를 낮추는 동작은 허리의 pitch축을 이용하며, 모바일베이스의 이동 속도에 비례하여 회전시킨다.

4. 실험

실험은 정지하여 작업할 때와 이동할 때를 나누어 실시하였다. 작업시 실험 조건은 무게중심을 최대한 중심에서 멀어지게 하기 위해 양팔을 앞으로 90도 올렸을 때로 하였고, 이동시에는 2m 전진 동작을 실시하며 실험을 수행하였다. 기본적으로 PD제어기를 사용하였으며 원하는 ZMP 위치를 제어 입력으로 하였다.

i) 정지시(작업시)

SEROPI에서 이족 보행 로봇에 비해 상대적으로 안정한 시스템이기 때문에 양팔을 앞으로 90도 올리는 동작은 로봇의 안정성을 크게 해치지 않는다. Fig. 3는 시간에 대해 ZMP의 x좌표와 y좌표의 변화를 보여준다. Fig. 4은 자세 제어용 축인 무릎 관절과 허리(roll) 관절의 제어 동작을 보여준다.

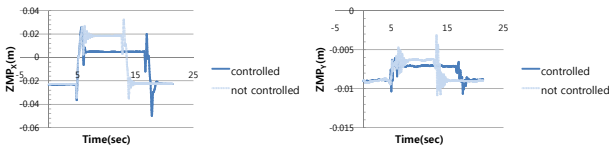


Fig. 3 ZMP(controlled/not controlled)

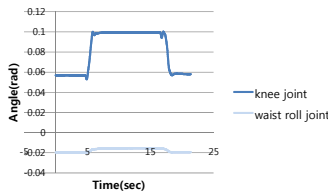


Fig. 4 Joints for control

ii) 이동시

최대 속도 0.7m/sec, 가속도 0.3m/sec² 로 앞으로 2m 이동시켰을 때 결과를 보면 아래와 같다. Fig. 6은 ZMP의 궤적을 나타내며 자세 제어를 하지 않았을 경우에도 ZMP가 안전 영역 내부에 있지만 ZMP의 변위 폭이 커짐을 볼 수 있고, 이로 인해 다소 불안한 것을 알 수 있다.

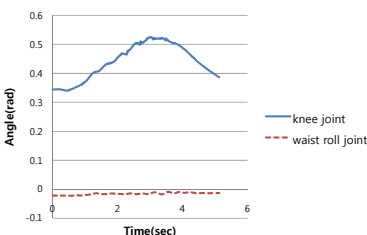


Fig. 5 Joint for control (on moving)

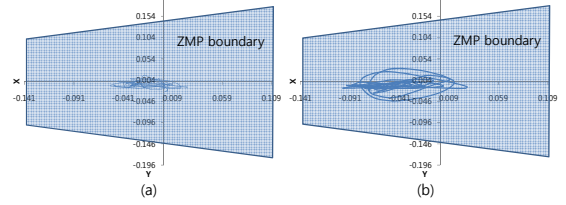


Fig. 6 ZMP(x-y plot, (a): controlled, (b): not controlled)

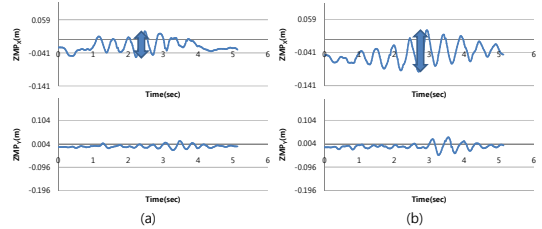


Fig. 7 ZMP((a): controlled, (b): not controlled)

5. 결론

본 논문에서는 안정성, 실용성 측면에서 기존 서비스 로봇의 단점을 보완한 바퀴기반의 인간형 로봇인 SEROPI를 소개하였고, 안정성 확보를 위한 자세 제어의 방법을 설명하였다. 동작 모드를 작업할 때와 이동할 때로 나누어 실험을 수행하고 자세 제어를 적용했을 때 보다 안정적인 움직임을 보여준다는 것을 실험 결과를 통해 입증하였다.

향후 좀 더 강인한 제어 방법에 대한 연구가 필요하며, 보다 자연스러운 움직임을 위해 제어 입력을 경우에 따라 바꾸는 방법도 고려해야 한다. 또한 시스템의 안정성에 대한 이론적인 해석도 진행해야 할 부분이다.

후기

본 연구는 산업자원부 퍼스널 로봇 기반기술 개발 과제 의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Sakagami, Y., Watanabe, R., Aoyama, C., Matsunaga, S., Higaki, N., Fujimura, K., "The intelligent ASIMO: system overview and integration", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, vol. 3, p2478-p2483, 2002
2. Kaneko, K., Kanehiro, F., Kajita, S., Yokoyama, K., Akachi, K., Kawasaki, T., Ota, S., Isozumi, T., "Design of prototype humanoid robotics platform for HRP", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, vol. 3, p2431-p2436, 2002
3. Hatano, M., Obara, H., "Stability evaluation for mobile manipulators using criteria based on reaction", SICE 2003 Annual Conference, vol. 2, p2050-p2055, 2003
4. Yamamoto, Y., iaoping Yun, "Task space analysis of multiple mobile manipulator system", IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, p338-p344, 1999
5. 최영진, 류제훈, 오용환, 유범재, 오상록, "소형 휴머노이드 '베이비봇' 개발," 제어·자동화·시스템공학논문지, p29-p34, 2004