

소형 사각 보행로봇의 제작과 정적걸음새의 구현

Design of Small Scale Quadruped Walking Robot and Realization of Static Gait

*배진우(LG전자), 김도현(한국과학기술원), 오준호 (한국과학기술원)

*Gun-Woo Bae (LG Electronics), Doh-Hyun Kim (KAIST), Jun-Ho Oh (KAIST)

Keywords : 사각보행로봇(Quadruped walking robot), 보행로봇(Walking robot), 로봇제어(Robot control), 정적걸음새(Static gait), 걸음새제어(Gait control), 마이크로프로세서(Microprocessor)

Abstract : This paper addresses the design and the gait control of quadruped walking robot. First, we concern the mechanical and electrical(control system) hardware of walking robot, and the second is the results of experiments. The walking robot is the most suitable form to substitute for human being. So walking robot is worthy of research. The quadruped walking robot and control system is the simplest type of walking robot, therefore we designed a small scale robot for realization of static gait. The robot is designed compactly and its legs are constructed parallel link type and able to move freely in space. Control system consists of one upper level controller and four lower level controllers. The upper level controller plans the walking path and commands the low level controllers to follow the planned path. The main function of low level controllers is control of motors. Total number of motors is twelve and they operate four legs. And robot is ordered to walk and realize static wave gait.

1. 서 론

지난 수 십년 동안 마이크로 컨트롤러, 기계 및 전자 부품, 통신 수단의 발전과 더불어 로봇에 대한 연구가 많이 진전되어 왔다. 그 결과로 다리, 바퀴 또는 무한 궤도 구조 등을 이용하여 이동이 가능한 로봇이 나오게 되었는데 장애물, 계단, 도랑 등이 많은 지형에서는 바퀴 구조 보다 보행이 가능한 구조의 로봇이 더 유리하다[1-5].

로봇을 제어하기 위한 대표적 제어 구조는 중앙 집중식 제어 구조와 분산 제어 구조가 있는데 중앙 집중식 제어 구조는 하나의 제어 장치가 필요한 모든 작업을 수행하는 구조이며 분산 제어 구조는 여러개의 제어를 이용하여 제어가 작업을 나누어서 수행하는 구조이다. 보행 로봇의 제어는 많은 관절의 제어와 연산을 동시에 해야 하므로 분산 제어 구조가 유리하다. 보행 로봇이 좋은 성능을 가지려면 무게가 가벼워 공급된 에너지를 효율적으로 이용할 수 있어야 하고 기구학적으로 안정된 구조와 빠르고 정밀한 제어 장치를 가져야 한다. 또한 출력이 큰 구동 장치를 사용하면 작업을 능률적으로 수행할 수 있으므로 유리하다.

본 연구에서는 이런 점을 고려하여 기구학적으로 안정된 기구부와 걸음새 구현에 필요한 연산과 제어가 가능한 제어를 설계, 제작하고 제작한 로봇으로 걸음새를 구현하는 것을 목표로 한다.

로봇이 보행을 자연스럽게 하려면 각 다리가 공간상에서도 임의의 위치에 지지할 수 있어야 하며 이를 위해서는 최소 3자유도 이상의 다리 구조가 필요하다. 3자유도를 갖는 다리 구조는 기계적 요소와 동력 전달 장치를 이용하여 제작 할 수 있으나 이렇게 기계적으로만 각 다리가 동기하도록 제작하려면 아주 복잡한 구조가 되어야 하고 단순한 걸음새만이 가능하며 환경에 적응하는 걸음새를 구현 하기에는 힘이 드는 단점이 있다. 보다 다양한 걸음새가 가능하고 주위 환경에 적응할 수 있는 로봇을 제작하려면 각 다리에 제어가 개별적으로 연결되어 소프트웨어로 제어되도록 설계하여야 한다.

2. 기구부 설계 및 제작

3자유도를 가질 수 있는 구조는 펜트 그래프 구조와 평행

링크 구조 등이 있다. 평행 링크 구조는 펜토 그래프 구조에서 필요한 선형적 운동 장치가 필요하지 않아서 구조를 간단히 제작할 수 있는 장점이 있다.

평행 링크 구조를 크게 제작하면 높은 이동 속도, 큰 보폭을 얻을 수 있는 장점이 있는 반면 토크가 큰 모터를 이용해야 하며 로봇의 중량이 작아야 보행에 유리하다는 단점이 있다. 이 구조의 크기는 이동 속도, 보폭 크기 같은 로봇의 성능에 영향을 주기 때문에 속도와 보폭을 설계 조건으로 이용하여야 한다.

본 연구에서는 소형 사각보행 로봇의 운동속도를 고려하여 다리의 끝점(지지점)의 최고속도와 최대 보폭을 각각 280mm, 280mm/s로 선정하였다.

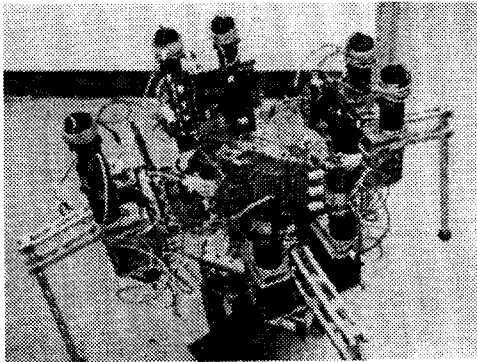


Fig 2.1 제작한 사각보행로봇의 외관

Fig 2.1은 실제 제작한 사각보행로봇의 외관을 나타낸 것이다. 로봇의 몸체는 듀랄루민으로 제작하였고 몸체의 크기는 가로 300mm, 세로 300mm이다. 이 로봇이 가지는 최대 보폭은 280mm이고 지지점의 최고속도는 280mm/s이다. 로봇의 사양을 Table 2.1에 간단히 정리하였다.

| | |
|----------|---------------|
| 최대 보폭 | 280mm |
| 지지점 최고속도 | 280mm/s |
| 몸통 크기 | 300mm x 300mm |
| 링크 길이 | 310mm, 150mm |

Table 2.1 제작한 4각보행로봇의 사양

본 로봇에 사용된 DC서보모터는 SANYO DENKI사의 R406을 사용하였는데 이 모터는 450g의 무게에 2kg-cm의 정격토크를 갖는 60W DC 서보모터이다. 또한 피드백 센서로 1000P/R의 엔코더를 장착하였다. 로봇의 가반중량을 20Kg으로 가정해서 각 모터에 137:1의 감속비를 갖는 감속기를 장착하였다.

3. 제어 시스템

일반적으로 보행을 위한 로봇은 각 다리 운동을 동기시켜야 하므로 모든 관절을 동시에 제어 해야 한다. 또 이와 동시에 궤적 계산도 해야 하므로 분산 제어 구조가 유리하다. 그래서 본 연구에서는 하나의 상위 레벨 제어기와 네개의 하위 레벨 제어기를 이용하여 로봇의 제어시스템을 구축하였다.

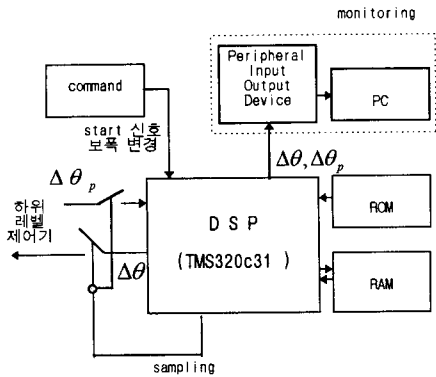
상위 레벨 제어기는 외부의 명령에 따라 특정 걸음새의 궤적을 계산하고 이것의 역기구학을 풀어 각 관절 모터의 위치 명령을 Dual-Port RAM을 통하여 하위 레벨 제어기에게 전달하고 하위 레벨 제어기는 각 다리에 장착된 3개의 DC 서보모터를 제어 하도록 하였다.

3.1 상위 레벨 제어기

상위 레벨 제어기의 프로세서로는 TI(Texas Instruments)사의 32비트 DSP칩인 TMS320C31을 이용하였다. 이 프로세서는 정수 연산 뿐만 아니라 부동 소수점 연산도 고속으로 할 수 있으므로 역기구학 계산에 적합하다.[8] 상위 레벨 제어기는 외부 명령에 따라 특정 걸음새를 위한 경로를 계산하고 경로의 각 점에 대한 역기구학을 구한 후 이 값을 하위 레벨 제어기로 전달한다. 이 때 계산한 값을 직접 보내지 않고 이전 데이터와의 차를 전달하는데, 차를 이용하는 이유는 짧은 시간 동안에 통신할 데이터량이 많으므로 시간을 조금이라도 단축 시키고 필요한 하드웨어를 간단히 하기 위해서이다.

Fig 3.1은 상위 레벨 제어기의 구성을 나타내는 그림이다. Fig 3.1에 나타낸 것처럼 상위 레벨 제어기는 외부의 출발 명령을 기다릴 수 있고 보폭과 속도를 변경할 수도 있다. 외부 명령에 의해서 하위 레벨 제어기에 기준 데이터를 전달하거나

필요한 하위 레벨 제어기의 데이터를 PC와의 인터페이스를 통해 얻을 수도 있다. 상위레벨제어기가 한다리의 역기구학을 계산하는 시간은 0.9ms로서 4다리의 역기구학을 모두 계산하는 데에는 3.6ms의 시간이 소요되었다.



$\Delta\theta$: 상위레벨 제어기가 전달하는 데이터
 $\Delta\theta_p$: 하위레벨 제어기가 전달하는 데이터

Fig 3.1 상위레벨 제어기의 구성

만약 로봇이 등속도로만 움직인다면 보행 시작점과 끝점에서 관성으로 인한 과부하로 다리 기구부가 파손될 수도 있다. 이 문제는 궤적 상 점들의 간격을 일정하게 하지 않고 부드러운 운동이 가능하도록 조정하면 막을 수 있는데 이를 위해 3차 다항식을 궤적 계산에 이용하여 궤적의 스무딩을 구현하였다.

또한 상위레벨제어기는 다리의 역기구학을 계산할 때 전진 방향을 x축으로 놓고 계산하지만 실제 다리는 각각 45°만큼 회전한 방향형 상태가 초기상태이므로 좌표변환을 해야한다.

3.2 하위 레벨 제어기

하위 레벨 제어기의 주 목적은 상위 레벨 제어기에서 보낸 위치값을 실시간으로 추정하도록 모터를 제어 하는 것이다. 따라서 계산을 빨리 하는 프로세서보다 모터 제어에 필요한 기능이 있는 프로세서를 이용하는 것이 유리하다. 인텔사에서 개발한 80c196kc는 내부에서 3개의 PWM(Pulse Width Modulation)신호를 발생하기 때문에 제어기의 구조가 간단해지고, 내부 카운터를 이용하여 정확한 시간의 샘플링이

가능하며, 20MHz까지의 고속 클럭을 사용할 수 있어서 고속연산이 가능하다[7]. 따라서 본 연구에서는 하위레벨 제어기로 80c196kc를 선정하였다. 또한 80c196kc제어기 보드상에 DC서보모터 구동회로도 같이 포함하여 한개의 보드로 3개의 DC서보모터의 동시 제어가 가능하도록 설계하였다. 모터구동 칩으로는 SGS-THOMSON사의 L298을 이용하고, 엔코더 카운터로는 LS7166을 사용하였다.

Fig 3.2은 하위 레벨 제어기의 구성을 나타 낸 것이다. 하위 레벨 제어기는 상위 레벨 제어기의 일기명령에 따라 증분($\Delta\theta$)을 읽어 들인 후 일정 시간 간격마다 세 개의 모터를 제어한다. 하위 레벨 제어기는 상위 레벨 제어기가 전달해주는 증분($\Delta\theta$)를 계속 가산하여 기준명령 위치값으로 하고 모터의 엔코더 값을 피드백하여 그 차를 에러로 하는 비례-미분 제어 방식을 이용 하였다.

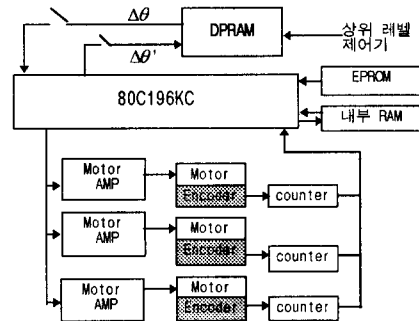


Fig 3.2 하위레벨 제어기의 구성

3.3 제어기간의 통신

보행로봇과 같이 다수의 제어기 이용하여 시스템을 제어하는 경우 제어기 사이에는 서로 통신이 이루어져야 한다. 통신 방법은 크게 직렬 통신과 병렬 통신 방법으로 나눌 수 있는데 본 연구에서 제작한 제어기 사이에는 짧은 시간(5msec) 동안 20바이트 이상의 데이터가 전송 되어야 하므로 속도 면에서 비교 했을 때 병렬 통신 방법이 유리 하였다. 또 제어는 일정 시간 간격마다 이루어져야 하며, 모든 연산도 동시에 수행해야 하므로, 각 제어기가 맡은 역할을 다하면서 서로 통신이 가능한 구조이어야 한다. 이것이 가능하기 위해서는 동기 통신 방법을 이용하기 보다 별도의 통신 규약을 이용한

비동기 통신 방법을 이용하는 것이 바람직하다. 그래서 비동기 병렬 통신을 하기 위해 DPRAM(Dual Port RAM, IDT7130)을 이용하였는데, 본 연구에서는 미리 정한 통신규약에 따라 상위 레벨 제어기와 하위 레벨 제어기 사이의 통신을 구현하였다.

4. 실험 및 결과 고찰

본 장에서는 실제 제작한 4각 보행로봇과 제어기를 이용하여 정적걸음새의 대표적인 걸음새인 물걸음새의 구현실험을 하고 그 결과를 보이고 있다.

보행 성능을 정확하게 평가하기 위해서는 로봇이 운동하는 공간에서 다리의 끝점의 위치 또는 로봇의 상태를 정확히 측정할 수 있어야 한다. 그러나 제작한 로봇은 전체적으로 다리 끝점 위치에 대한 피드백이 없는 구조이며 로봇 자체에서는 지지점 위치 또는 자신의 절대 위치를 알 수 없다. 그래서 제어기의 성능을 평가하는 방법으로 무부하 상태에서 측정된 모터의 회전각으로 나타내었다.

회전각을 읽는 방법으로는 PC를 이용하였는데 가장 확실하고 손쉽게 읽을 수 있는 장점이 있는 반면, 이 방법은 실제 보행 중에는 로봇 무게로 인한 부하로 인하여 적용하기가 어렵다. 따라서 지지대 위에서 무부하로 구동하여 측정된 결과를 나타내었다. 네 다리의 궤적은 로봇 중심 좌표계에서 볼 때 서로 다르지만 phase shift가 있는 전체적으로 비슷한 형상이다. 그래서 3번 다리의 세 모터의 회전각을 측정하여 결과로서 나타내었다.

4.1 물걸음새의 구현실험

본 연구에서 구현한 물걸음새는 아래의 조건으로 행하였다.

| | |
|----------------|-------|
| 걸음새 주기 | 6sec |
| 디딤율(β) | 0.833 |
| 보폭 | 20cm |

각 다리의 지지 상태와 지지점의 형상은 Fig 4.1에 나타내었는데 각 시간 사이(t1-t2, t2-t3, t3-t4, t4-t5, t5-t6, t6-t1)는 1초

이며 swing phase 이외에는 4cm로 일정한 거리를 이동하도록 하였다.

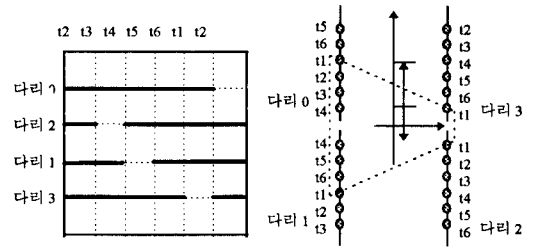


Fig 4.1 물걸음새 선도와 지지점 형상

실험 결과는 Fig4.2-Fig4.4에 각각 두 개의 그림으로 나타내었는데, 위 그림은 입력 기준 신호와 제어 신호를 같이 나타낸 것이고 아래 그림은 오차를 나타낸 것이다. 세로 축은 모터의 회전 각도를 나타내고 가로축은 시간을 나타내는데 200Hz로 하위 레벨 제어기가 전달한 데이터를 상위 레벨 제어기가 읽고 이를 PC에 전달하여 나타낸 것이다. 모터의 각도값이 1000°단위를 나타내는 이유는 감속비가 137:1이기 때문에 다리가 1°만 회전해도 모터는 137°를 회전하기 때문이다.

4.2 결과 고찰

걸음새 제어 실험중에서 standing phase인 경우 다리의 지지점들은 전진 방향으로만 움직이지만 기준(reference) 신호는 좌표변환이 되므로 0번과 2번 모터가 함께 많이 움직인 것을 볼 수 있다. 이상적인 경우 모터의 회전 각도를 감속비로 나누면 다리가 움직인 각도를 알 수 있지만 기어의 백래시 같은 기계적 원인 때문에 서로 다를 수 있다. 그래서 이 그림들은 전체적 로봇의 보행 성능을 나타낸 것이라기 보다 모터 제어기의 성능을 나타낸 것이라 할 수도 있다. PD제어를 했으므로 읍셋 에러가 존재한다. 크기는 모터0이 약 6도, 모터1이 약 10도, 모터2가 약 7도 정도 이다. 이 값들은 감속기를 거쳐서 다리 링크의 읍셋으로 존재하므로 그 크기가 매우 작음을 알 수 있다. 모터1의 읍셋 에러가 큰 이유는 모터1이 주로 로봇을 지지하는데 바닥에 착지하는 순간의 충격을 줄이기 위하여 비례 계인을 모터0, 모터2에 비해 작게

했기 때문이다. 물결 걸음새를 구현한 실험의 결과를 보면 생성된 궤적은 부드럽게 연속적으로 생성 되었음을 알 수 있고 실제 모터제어의 위치 추종 능력이 만족할 만하다고 생각된다.

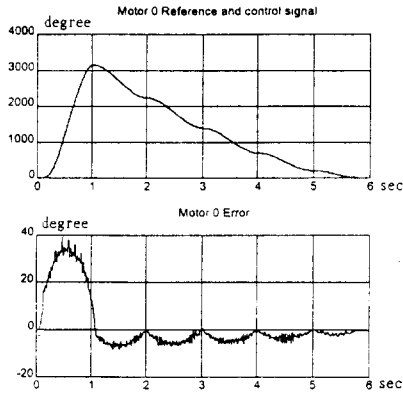


Fig 4.2 모터 0의 결과 (step width : 20cm)

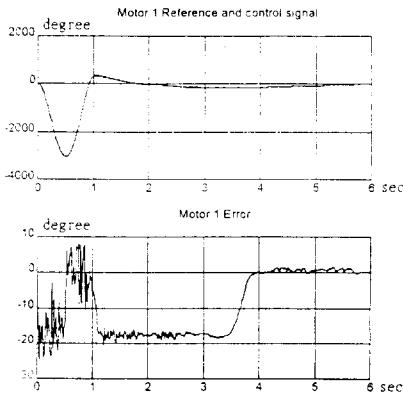


Fig 4.3 모터 1의 결과 (step width : 20cm)

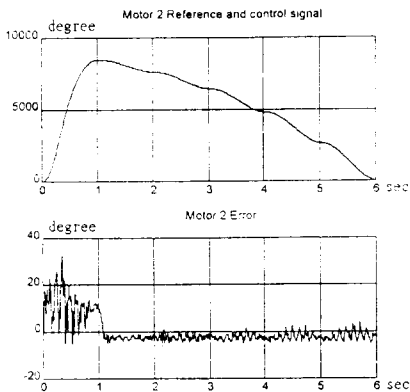


Fig 4.4 모터 2의 결과 (step width : 20cm)

5. 결 론

본 연구에서는 설계 조건에 부합하는 성능의 소형 4각보행 로봇의 기구부를 설계 제작하였다. 또한 기구부를 구동하기 위해 계층구조의 형태를 갖는 분산제어방식의 제어시스템을 제작하였다.

실험으로는 물결걸음새를 구현하였으며 제어기의 성능도 만족할 만한 결과를 얻었다. 제작한 로봇의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 280mm의 보폭을 가지며 지지점 최고 속도를 280 mm/sec까지 구현할 수 있다.
- 간단한 외부 명령을 인식한다.
- PC나 워크스테이션 같은 장치가 없이도 보행이 가능하다.

6. 참고 문헌

- [1] Shigeo Hirose, "A Study of Design and Control of a Quadruped Walking Vehicle," The International Journal of Robotics Research vol.3,no2,summer 1984,pp.113-132.
- [2] McGhee, R. B.,and Frank, A. A. 1968. "On the Stability properties of Quadruped Creeping Gate", Math. Biosci. 3(3): 331-351.
- [3] McGhee, R. B.,et al.1978(Udine,Italy),"Real-time computer control of a hexapod vehicle".Proc. 3rd CISMIFTOMM Symp. Theory and Practice Robots and Manipulator. Amsterdam: Elsevier, pp.323-339.
- [4] 정경민, "사각 보행 로봇의 비주기적 걸음새에 관한 연구",한국 과학 기술원 박사 학위 논문,1995.
- [5] Inagaki and Kobayashi, " A Gait Transition for Quaduped Walking Machine," IEEE J. of Robotics and Automation , Vol. 5,pp.525-531.
- [6]John J.Craig, "Introduction to Robotics", Mechanism and Control,Second Edition,Addison-Wesly Publishing Company.
- [7] "Microprocessor and Peripherals handbook " ,Intel, 1983, vol.2, pp,6_122-6_165.
- [8] "TMS320C3X User's Guide" ,Digital Signal Processing Products, Texas Instruments.1993.
- [9] 박 재춘,송지복,남궁재현공저,"신기계설계학",청문각,pp 752-753.
- [10] 조현균, "사각 보행 로봇의 보행속도와 에너지 효율 개선을 위한 다리 기구부의 최적설계",한국 과학 기술원 석사 학위 논문.1992.