

이족보행로보트의 구동부 및 제어부의 설계에 관한 연구

심 인섭, 김 주한, 김 동준, 김 갑일
명지대학교 전기공학과

A study on the driver and controller design of the biped robot

Shim in sup, Kim ju han, Kim dong jun, Kim kab il
Dept. of Electrical Eng. Myongji University

Abstract

The purpose of this paper is to design and construct the compact type joint driver and controller of the biped robot. This biped robot will be designed to be suitable for the practical usages and applications in the work environment, which is not plat floor, like a stairs by taking the stand-alone style that equipped all the parts except power sources.

Generally, highly nonlinear motion dynamics of the biped robot is realized to linear approximations by installing a high-ratio speed reducer at each joint and dividing motions into a several piecewise linear motions, which is realized by the digital controller design techniques. This biped robot has symmetrical structure to get the stable walking ability and also the hierarchical structure to control each joint as well. That is, all of the joint controllers are connected to the main controller in the composition of overall controllers. The driver and controller of each joint uses PI controller that compensates the velocity and position errors by the data of the encoder. And the signal characteristics of each joint controller forms a trapezoid speed profile which is predefined by the values of direction, maximum velocity and position.

1. 서론

현재까지 산업 현장이나 생활에서 실용화되고 있는 로보트는 대부분 작업구조가 잘 정돈되어 있는 곳이나 주위환경이 이동하기에 적합한 곳에서 작업을 하도록 되어 있어, 적은 환경 변화에도 그 환경에 적합한 작업상의 변화를 주어 적용하도록 할 수 밖에 없다. 따라서 공사현장이나 계획지역 같은 작업 환경이 불균형한 곳이나, 인간에게 위험한 오염지역 또는 원자력 발전소 내부에서의 작업 상황 같은 경우에서 이족 혹은 다족보행로보트의 개발은 필연적이다. 특히 이족보행로보트의 경우는 재활의학, 스포츠공학의 활용에서도 그 이용가치가 크다고 할 수 있다.

이러한 면에서 이족보행로보트에 대한 연구는 수년간 지속되어 왔으며, 이족로보트에 대한 이론적인 연구는 많은 연구자들에 의해 약 20여년 전부터 시작되었다[1~4]. 1973년에 세계에서 처음으로 11개의 자유도를 갖는 이족보행로보트인 WL-5에 의해 이족보행이 수행되었다[5]. 이 로보트는 Kato와 그의 연구진들에 의해서 설계, 제작되었으며 무게중심이 최소한 커다란 하나의 발위에 지지되어 걸음새는 정직보행이었다. 후에 이들은 의사동작보행이라는 걸음새를 발전시켰는데, 이것은 정직보행에서 동직보행으로의 과도 단계로 간주되었다. 1984년에 이들은 계속적인 연구로 WL-10RD라는 이족보행로보트로써 한 걸음에 1.3초의 속도를 갖는 동직보행을 실현하였다[6]. 이외에도 Miura와 Shimoyama에 의한 Biper-3과 Biper-4라는 이족보행로보트, Raibert의 이족로보트, Arimoto와 Miyazaki에 의한 Idaten-2라는 7개의 자유도를 갖는 이족로보트, 근래에 와서는 Zheng에 의한 SD-2라는 이족보행로보트와 같이 수많은 연구자들이 다양한 이족보행로보트를 설계하고 제작해 왔다.

이와 같은 이족보행로보트에 대한 연구는 상당히 활발하고 그 수준도 상당하나, 아직 여러가지 제약조건을 해결하지 못하여 단지 실험실 환경에서의 부분적 구현에 머물고 있는 단계이다. 따라서 본 논문에서는 실제 사용에 적합하도록 하기위하여 이족보행로보트를 위한 소형 경량화된 관절 제이거와 주 제이거를 설계하였고, 견고성과 경량성을 지닌 알루미늄 소재의 구조로 전원을 제외한 모든 부분이 탑재된 Stand-alone방식의 이족보행로보트를 설계 및 제작하고자 한다.

본 논문의 2장에서는 이족보행로보트의 시스템 구성에 대해, 3장에서는 관절 제이거의 구동부 및 제어부에 대해 서술하였다. 그리고 4장에서는 관절 제이거의 추종실험 결과를 나타냈으며, 마지막으로 5장에서는 결론과 앞으로의 연구 과제에 대하여 언급하였다.

2. 시스템 구성

본 논문에서의 이족보행로보트는 모두 8개의 관절로 설계되었으며, 각 관절의 효과적인 제이거를 위해 그림 1과 같은 계층적 구조를 형성하였다.

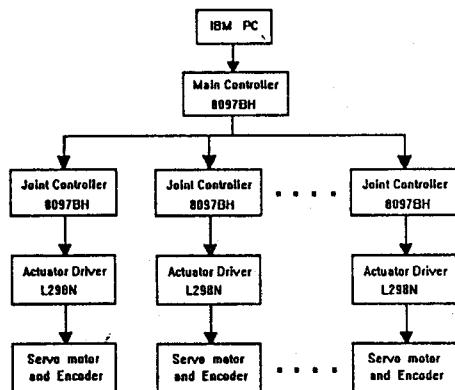


그림 1. 이족보행로보트의 계층적 구조

이족보행로보트의 안정적인 동작과 보행능력을 갖도록 하기 위해 각 관절 동작은 서로간에 연관성이 있어야 하며, 각 명령들은 기계적으로 잘 조화된 방식으로 수행될 수 있도록 운동캐릭터에 따라 계산 되어야 한다. 이를 위해 최상위구조의 PC는 동작 알고리즘을 수행하며 운동캐릭터와 필요한 관절 동작명령을 산출하도록 하고, PC로부터 이러한 동작명령을 받은 주 제어기는 직렬통신을 통해 관절 제어기로 각 명령을 분배하도록 하였다. 각각의 관절 제어기는 주 제어기로부터 받은 명령 즉, 방향, 위치, 최고속도를 디지털 PI제어기를 통해 일정한 가감속 프로파일을 형성하여 이를 추종하도록 하였다.

3. 관절 제어기의 구성

3.1 구동부

(1) Motor의 특징

각 관절에는 일반적인 이족보행로보트의 동력학적인 면에서의 비선형성을 줄일 수 있도록 소형 고정밀도 감속 장치인 하모닉 드라이브와 DC 서보 모터를 조합한 액추에이터를 사용하였다. 고성능 회로류 자석을 채용한 DC 서보 모터는 엔코더부착형이며, 하모닉 드라이브는 기계적으로 적은 백래쉬, 높은 회전강도, 큰 토포크 용량, 고 감속비등의 성능을 가지고 있기 때문에 부드럽고 정확한 동작을 수행할 수 있다.

항 목	
정격 출력	6.2 W
정격 전압	24 V
정격 전류	0.8 A
정격 속도	30 rpm
정격 토포크	20 kg/cm 2.0 N·m
순시최대전류	1.1 A
최대회전속도	50 rpm
관성모멘트	0.15 kg/cm·s ²
감 속 비	1 : 100

표 1. 모터의 기본 사양

항 목	
출력회로	Open collector
분해능	500
출력신호	3-Channel(A,B,Z)
전 원	DC +4.8~12.6 V ±5% 80mA Max.
최대용답 주파수	100[KHz]

표 2. 엔코더의 기본 사양

(2) 드라이버의 구성

파워 증폭부로서는 관절 제어기의 소형화와 경량화를 위해 Full-bridge driver가 내장된 SGS Tomson사의 L298N을 사용하였다. 이러한 Full-bridge driver는 스위칭 영역에서 동작하기 때문에 Linear Power OP-Amp에 비해 전력 효율이 상당히 높고 본 연구에 사용된 L298N은 emitter follower의 구조로서 최대전압이 46V, 최대전류가 4A까지 가능하며 특히 TTL level에서 구동이 가능하기 때문에 회로구성이 용이하다.

PWM의 스위칭 신호입력으로 정·역이 가능하게 구성하였고, Dead time 문제는 제어 프로그램상에서 해결하였다. 또한 전원부와 모터 사이에 35ns의 복원시간을 갖는 Fast recovery diode를 이용하여 플라이 퀼 효과를 낼 수 있도록 하였으며, 과전류로 부터 모터와 드라이버를 보호하기 위해 Comparator를 이용해 전류제한 회로를 구성하였다.

3.2 제어부

모터 제어를 위해 관절 제어기에 사용된 8097BH는 인텔에서 개발된 강력한 입출력 기능을 가진 16bit one-chip microcontroller이다. 이것은 16bit CPU와 232byte의 register file, 고속 I/O system, PWM 출력기능, 양방향 serial port와 16bit timer와 counter, software timer 등의 특징을 가지고 있으며 강력한 interrupt 기능을 제공하여 실시간 처리, 고성능을 요구하는 시스템에 알맞게 설계된 controller이다. 그림 2는 관절 제어기의 구성도를 나타낸다.

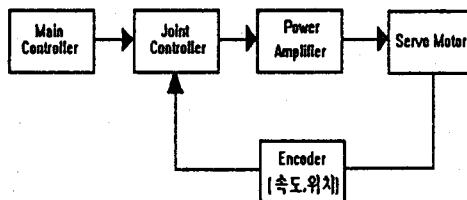


그림 2. 제어부의 구성도

우선 관절 제어기는 주 제어기로 부터 전달받은 최고속도와 위치 값에 따라 삼각이나 사다리꼴 형태의 프로파일을 형성한다. 이 프로파일로 부터 생성된 기준입력과 Encoder로 부터 진출된 모터 출력과의 오차를 보정하기 위해 디지털 PI제어기를 구성하였다. PI제어는 정상상태 오차를 개선하고 과도응답의 오비슈트를 감소시키는 효과를 얻을 수 있으며 다음의 식(1)과 같은 입력력 관계로 표현된다.

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) dt \quad \dots \dots \dots (1)$$

식(1)을 디지털화 하여 반복형 알고리즘으로 유도하면 식(2)와 같이 이산화된 식을 얻는데 이를 적용하였다.

$$U(n) = U(n-1) + K_p [e(n) - e(n-1)] + K_i \cdot e(n) \dots \dots (2)$$

K_p : P Gain , K_i : I Gain ,

$U(n)$: 제어기 출력 , $e(n)$: 오차

Gain값은 다수의 실험을 토대로 정하였고 속도 제이루프는 1ms주기로, 위치 제이루프는 8ms주기를 갖고 제이 인터럽트를 수행하도록 하였다. 또한 Encoder는 감속기로 인하여 1회전당 50000개 펄스의 분해능을 갖고 있기 때문에 정밀한 제이를 할 수 있었다.

4. 실험 결과

다음의 실험 결과에서, 각 관절이 수행해야 할 명령으로 생성된 프로파일에 따라 약 3Kg무게의 부하를 가지고 속도 및 위치제이를 하며 이를 추종함을 보았다. 각 관절의 최고 회전 속도는 38.5 [rpm]이며 가속도 및 감속도는 ± 75.2 [rpm/s]로 0.512초에 최고 속도에 도달하도록 하였다. 다음의 그림 3~6은 추종 결과를 나타내며, 삼각 및 사다리꼴의 면적이 위치를 나타낸다.

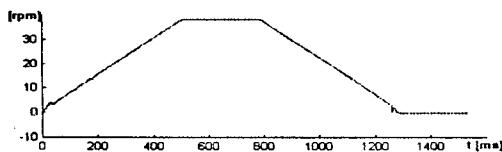


그림 3. 속도 38.5 [rpm]으로 0.5회전 한 결과

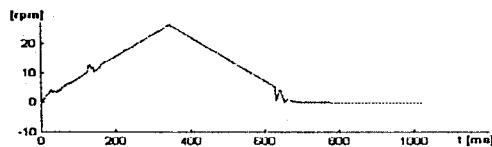


그림 4. 최고 속도까지 0.15회전 한 결과

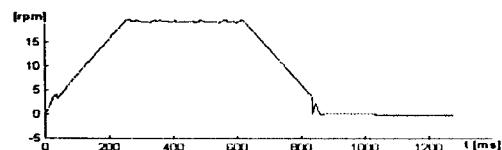


그림 5. 속도 19.25 [rpm]으로 0.2회전 한 결과

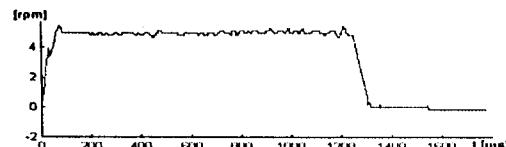


그림 6. 속도 4.8 [rpm]으로 0.1회전 한 결과

5. 결론

본 연구에서는 이족보행로보트의 실용성에 역점을 두어 소형 경량화된 관절제이기를 구성하였고 이들의 효과적인 제어를 위해 계층적 구조의 시스템을 형성하였다. 그리고 실험을 통하여 주제이기로부터 직렬 통신으로 받은 각 관절에서 수행되어야 할 명령들이 생성된 프로파일에 따라 적은 오차를 가지고 최종위치로 추종됨을 보았다.

앞으로 전체적인 이족보행로보트의 세밀한 기계적 설계와 제작이 이루어져야 하며, 제작된 이족보행로보트의 동력학이 분석되어 동작 제어 알고리즘이 선형되어야 할 것이다. 좀더 지능적인 능력을 부여하기 위해서는 접촉센서 및 경사 센서가 장착되어 보다 전보된 보행제어 알고리즘이 연구 되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] M. Vukobratovic, A. A. Frank, and D. Juricic, "On the stability of biped locomotion," IEEE Trans. Bio-Med. Eng., vol. BME-17, no. 1, pp. 25-36, Jan. 1970.
- [2] A. A. Frank and M. Vukobratovic, "On the gait stability of biped machine," IEEE Trans. Automat. Contr., vol. AC-15, no. 6, pp. 678-679, Dec. 1970.
- [3] F. Gubina, H. Hemami, and R. B. McGhee, "On the dynamic stability of biped locomotion," IEEE Trans. Bio-Med. Eng., vol. BME-21, no. 2, pp. 102-108, Mar. 1974.
- [4] H. Hemami and B. F. Wyman, "Modeling and control of constrained dynamic system with application to biped locomotion in the frontal plane," IEEE Trans. Automat. Contr., vol. AC-24, no. 4, pp. 526-535, Aug. 1979.
- [5] I. Kato, S. Ohtera, H. Kobayashi, K. Shirai, and A. Uchiyama, "Information-power machine with sense and limbs," in Proc. 1st CISM-IFTOMM Symp. on Theor. and Pract. of Robots and Manipula. Berlin, Germany : Springer-Verlag, 1974.
- [6] A. Takanishi, M. Ishida, Y. Yamazaki, and I. Kato, "The realization of dynamic walking by the biped walking robot WL-10RD," in Proc. 1985 Int. Conf. on Advanc. Robotics (Tokyo, Japan, Sept. 9-10, 1985), pp. 459-466.
- [7] Yuan F. Zheng and Jie Shen, "Gait Synthesis for the SD-2 Biped Robot to Climb Sloping Surface," IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 6, no. 1, pp. 86-96 Feb. 1990.
- [8] J. Furusho, A. Sano, "Sensor-Based Control of a Nine-Link Biped," Int. J. Robot. Res., vol. 9, no. 2, 1990.
- [9] "Embedded Microcontrollers and Processors," vol. 1, Intel, 1993.