

이족 보행 로봇의 자세 제어를 위한 지능 연산 기법 응용

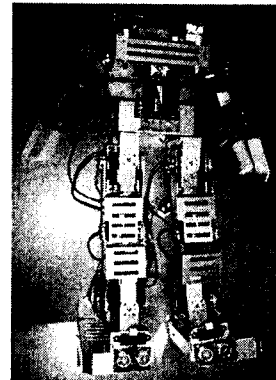
이선구, 송희준, 강태구, 김동원, 박귀태
고려대학교 전기공학과

Use of Intelligent Computing Method for Motion Control of a Biped Robot

Seongu Lee, Heejun Song, Taegu Kang, Dongwon Kim, Gwi-Tae Park
Korea University Electrical Engineering

Abstract - 이족 보행 로봇의 연구는 평지에서 보행에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 현재는 평지뿐만 아니라 비평지, 경사면, 계단 등과 같은 특수한 상황에서의 보행이 연구되고 있지만 대부분 여러 가지 제약조건이 뒤따르고 있다. 그래서 본 논문에서는 퍼지 시스템과 신경망을 이용하여 이러한 제약 조건을 극복하였다. 신경망을 이용하여 이족 보행 로봇의 보행 궤적을 생성하였으며, 퍼지 시스템은 로봇의 자세제어를 하는데 이용되었다. 또한 이족 보행 로봇이 로봇 내부 및 외부의 상황을 스스로 인지하기 위해서 자이로, 압력센서, 적외선, 초음파 센서를 이용하였다.

성되어 있으며 나머지 관절은 HSR-8498HB RC 서보 모터로 구성되어 있다.



〈그림 1〉 제작된 이족 로봇

1. 서 론

현재 이족 보행 로봇의 연구는 평지에서뿐만 아니라 비평지, 경사면과 같은 특수한 상황 하에서의 보행이 연구되고 있지만, 대부분 여러 가지 제약 조건이 따르고 있다. 그래서 지정된 장소에서 미리 계획된 동작이 수행될 수밖에 없다[1-3].

본 논문에서는 이러한 제약 조건을 극복하기 위해서 퍼지 시스템 및 신경망을 이용한 지능적 보행에 관한 연구를 하고자 한다. 즉, 이족 보행 로봇이 복잡한 환경에 적용되어 다양한 작업을 수행할 수 있도록 비평지, 경사면, 계단에서의 보행뿐만 아니라 다양한 형태의 장애물을 회피하여 주어진 미션을 수행할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 이족 로봇이 보행 시에 부딪히는 다양한 환경을 스스로 인지하고 적절한 동작을 스스로 결정함으로써 제약조건 없이 주어진 미션을 수행할 수 있다. 이는 크게 두 가닥의 연구로 구분될 수 있다.

첫 번째는 로봇의 안정적인 보행을 위한 보행 궤적[5] 생성에 관한 연구이다. 초음파 센서, 적외선 센서, 압력 센서, 자이로를 이용하여 이족 로봇 내부 및 주변에 대한 상황을 인지하여 로봇이 안정적으로 보행할 수 있는 로봇하체의 궤적을 생성하는 것이다. 실제로 복잡한 환경 하에서는 기구학을 이용하여 실시간으로 궤적을 생성하기란 매우 어렵기 때문에 본 논문에서는 신경망 학습을 통해서 이를 극복하려고 한다. 각 센서의 정보를 받아서 신경망으로 한 스텝에 대한 발목 및 허리의 초기, 중간, 끝 위치를 구하면 이를 보간법(Polynomial)을 이용해서 허리 및 발목에 대한 전체궤적을 구한다. 무류궤적은 역기구학을 이용해서 구할 수 있다.

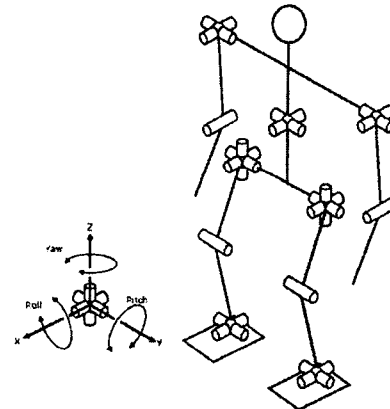
두 번째는 미지의 환경 하에서의 장애물 등에 대처하기 위한 자세 제어에 관한 연구이다. 이족 로봇이 보행 궤적을 따라 동작을 수행할 때, 노면의 상태나, 기구 부 및 센서의 오차 등으로 인해서 에러(외란)이 발생하게 된다. 이를 극복하기 위해서 본 논문에서는 이족 로봇의 상체를 이용하여 에러에 대한 보정을 하였다. 이때 실시간으로 피드백을 하기 위해서 퍼지 시스템을 적용하였다.

위에서 언급한 이족 로봇의 보행 궤적 생성 및 자세 제어를 통해서 이족 로봇은 로봇 내부 및 외부에 대한 상황을 스스로 인지하여 적절한 동작을 수행할 수 있다. 이를 검증하기 위해서 20자유도와 초음파, 적외선, 자이로, 및 압력 센서를 갖춘 소형 이족 로봇을 제작하였다. 실험은 비평지, 경사면 및 계단에서의 보행을 실시하고 있다. 로봇이 주변 상황에 따라 스스로 판단하고 적절한 동작을 수행한다면, 이족 로봇은 인간의 실 환경 하에서도 제약 조건 없이 지능적 보행이 가능할 것이다.

2. 본 론

2.1 전체시스템

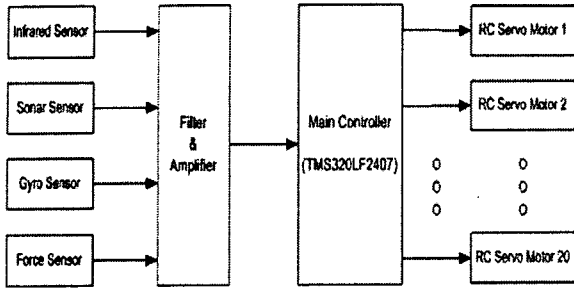
본 논문에서 제안하는 이족 로봇의 지능적 보행을 위해 총 20자유도(DOF)를 갖는 이족 보행 로봇을 그림1 과 같이 설계하였다. 제작된 로봇은 총 46cm이며, 로봇에 장착된 서보 모터 및 센서들을 제어하기 위해서 TMS320LF2407 프로세서[6]를 사용하였다. 또한 로봇은 HSR-8498HB 서보 모터 14개 와 HSR-5995TG 서보 모터 6개로 총 20개서 서보 모터로 구성되어 있다. HSR-8498HB의 정지토크(Stall Torque)는 7.4V 입력 전압에 9.0kg/cm이며, HSR-5995TG의 정지토크는 7.4V 입력 전압에 30kg/cm 이다. 그래서 이족 로봇이 보행 시 큰 토크가 걸리는 관절인 허리의 Roll 축, 발목의 Roll 축과 Pitch 축은 HSR-5995TG RC 서보 모터로 구



〈그림 2〉 로봇의 관절 구성

그림 2는 제작된 로봇의 전체 관절 구성을 보여주고 있다. 발목에 2자유도, 무릎에 1자유도, 골반에 3자유도, 허리에 2자유도, 어깨에 2자유도, 발꿈치에 1자유도를 가지고 있어서 기본적인 보행뿐만 아니라 인간처럼 유연한 동작을 구현할 수 있다. 특히 허리에 2 자유도를 갖고 있기 때문에 이를 이용하여 상체를 Pitch와 Roll방향으로 제어할 수 있다. 그래서 상체를 이용한 로봇의 자세 제어가 가능하다. 또한 그림 3에서 보여주는 것처럼 이족 보행 로봇의 주 제어기로는 DSP를 이용하였다. DSP는 AVR이나 PIC 같은 프로세서들에 비해 매우 빠른 연산 속도를 갖는다. TMS320LF2407은 최대 40MIPS로 한 명령어를 수행하는데 최대 25ns의 빠르기로 수행한다. 그렇기 때문에 매우 복잡한 연산, 많은 RC서보 모터(20개)와 많은 센서(14개)를 동시에 제어할 수 있다. 또한 TMS320LF2407은 다양한 인터럽트 기능과 충분한 내/외부 메모리를 갖고 있기 때문에 충분한 동작 패턴을 생성 및 저장할 수 있다.

그림 3는 이족 로봇의 전체 시스템 구성을 나타내고 있다. 적외선, 초음파, 자이로, 압력 센서에서 들어오는 신호는 필터와 증폭기를 거쳐 주 제어기인 DSP로 입력된다. 주 제어기는 입력된 신호를 바탕으로 로봇 내부 및 주변 환경을 인식하여 로봇에 필요한 동작 패턴을 생성함으로써 로봇의 보행 및 자세제어 가능하다. 제작한 이족 보행 로봇에 사용된 HSR-8498HB와 HSR-5995TG RC 서보 모터는 엔코더가 없기 때문에 실제 모터의 회전 각도를 센싱할 수 없다. 그래서 주 제어기에서 모터로 보내주는 신호만으로

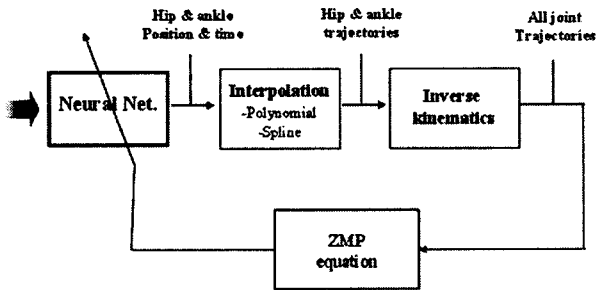


〈그림 3〉 이족 로봇의 전체 시스템 구성

는 로봇의 실제 자세를 알 수 없다. 이를 극복하기 위해 로봇의 허리 부위에 myGyro150EB 자이로 센서 2개(x축, y축)를 장착하였다. myGyro150EB는 최대 $\pm 150/s$ 까지 측정이 가능하기 때문에 자이로 센서를 이용하면 로봇의 보행 시 상태를 알 수 있다.

로봇의 발바닥 앞쪽에는 적외선 센서와 초음파 센서를 장착하였다. 이는 로봇이 보행 시 장애물을 만나게 되면 이를 감지하여 장애물과의 충돌을 회피하기 위함이다. 적외선 센서는 GP2D120을 사용했으며 측정 범위는 4cm-30cm로 근거리 측정에 사용되었다. 초음파 센서는 40Khz를 이용하며 3cm-3M까지 측정이 가능하여 원거리에 있는 장애물 감지에 사용되었다. 또한 로봇의 보행 시 안정도를 평가하기 위해 ZMP(Zero Moment Point)[4]를 이용하였다. 실제 로봇시스템에서 실시간으로 ZMP를 계산하기란 어렵기 때문에 본 논문에서는 FSR 센서를 이용하여 ZMP를 측정하였다. 사용된 FSR은 FlexForce 압력센서(25LB)로써 0kg~11kg까지 측정이 가능하다. 이처럼 제작한 로봇에서 사용한 센서는 그림 3에서 보는 것처럼 적외선 센서, 초음파 센서, 압력센서, 자이로 센서로 총 4 종류의 센서를 사용하였다.

2.2 신경망을 이용한 이족 보행 로봇 궤적 생성



〈그림 4〉 보행 궤적 생성

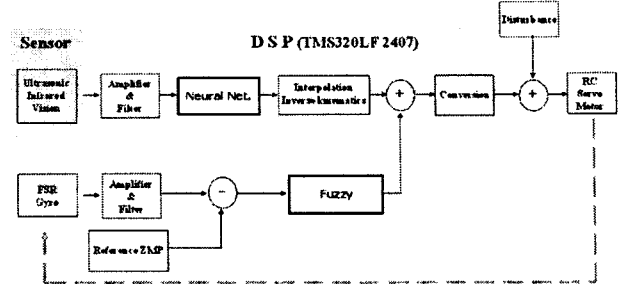
이족 보행 로봇의 지능적 보행(Intelligent Walking)을 구현하기 위해 학습 능력을 갖는 다층 신경망을 이용하여 로봇의 보행 궤적을 생성하였다.

신경망의 입력으로는 로봇의 보행 방향, 경사면 각도, 장애물 종류, 로봇 상태(자세)를 수치화해서 사용하였다. 신경망의 출력으로는 로봇의 다음 스텝에 대한 정보를 출력한다. 만약, 출력으로 로봇의 모든 관절에 대한 정보(좌표)를 출력하면 신경망의 출력 노드가 많아지게 되어 출력에 대한 신뢰성이 떨어질 수 있고 연산 부하가 커지게 되므로 허리(Pitch)와 발목(Pitch)에 대한 시작점, 중간 점, 끝점에 대한 각각의 좌표와 시간을 출력한다. 신경망에 의해 출력된 허리(Pitch) 및 발목(Pitch 좌, 우)의 X축 정보 9개, Y축 정보 9개, Z축 정보 9개를 이용하여 보간법으로 한 스텝에 대한 허리(Pitch) 및 발목(Pitch 좌, 우)의 전체 궤적을 만들 수 있다.

2.3 퍼지를 이용한 이족 보행 로봇의 실시간 자세제어

로봇이 실시간으로 생성된 궤적을 따라 정확하게 동작을 한다면 로봇은 안정적인 보행을 할 수 있다. 하지만, 실제로는 기구부의 오차, 노면의 마찰력 등으로 인하여 실제 궤적을 따라 가기는 어렵기 때문에 안정적인 보행을 보장 할 수 없다. 그래서 기구부의 오차, 노면의 마찰력, 센서의 부정확성 등을 보상하기 위해서 본 논문에서는 퍼지[7]를 이용하여 이족 로봇의 실시간 자세 제어를 하였다.

그림 5에서 보이는 신경망은 Matlab를 통해 학습된 가중치를 갖는다. 외란에 대한 보상은 FSR과 자이로 센서 데이터를 기반으로 퍼지 시스템을 적용하여 외란에 대한 오차를 최소화 하였다. 퍼지 시스템에서의 출력은 로봇의 허리(Pitch, Roll) 및 발목(Pitch) 관절 값이다. 즉, 로봇의 허리과 발목 관절을 이용하여 외란에 대한 보상을 하였다.



〈그림 5〉 이족로봇 제어 시스템

3. 결 론

이족 보행 로봇의 지능적 보행이 가능하다면, 로봇은 보다 더 복잡한 환경에 적용되어 다양한 작업을 수행 할 수 있다. 그래서 본 논문에서는 이족 로봇이 로봇 주변의 상황을 스스로 인지하여 적절한 동작을 결정함으로써 제약 조건 없는 지능적 보행이 가능할 시스템을 제안 하였다. 특히, 지능적 보행을 위해 유연성 있는 궤적 생성은 신경망을 이용하였으며, 이족 로봇의 실시간 제어를 위해서는 퍼지 시스템을 적용하였다. 본 논문에서는 20자유도(DOF)를 갖는 소형 이족로봇에 제어 시스템을 적용하였지만, 실제 인간과 같은 크기의 이족 보행 로봇에 적용하여 제안한 시스템을 검증해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특장기초 연구(R01-2005-000-11044-0) 지원으로 수행된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] J. H. Park, H. C. Cho, "An on-line trajectory modifier for the base link of biped robots to enhance locomotion stability," Proc. of Int. Conf. On Robotics and Automation, pp. 3353-3358, 2000.
- [2] 임신호, 조정산, 이수영, 안희욱, 성영휘, "소형 2족 보행 로봇의 지능형 동작의 구현", 제어자동화시스템공학회는논문지, 1225-9845, 제10권9호, pp.825-832, 2004.
- [3] F. Kanehiro, et. al, "Development of a remotebrained humanoid for research on whole body action," Proc. Of Int. Conf. On Robotics and Automation, pp. 1302-1307, 1998.
- [4] Dongwon Kim, Sam-Jun Seo, and Gwi-Tae Park, "Zero moment point trajectory modeling of biped walking robot using adaptive neuro-fuzzy system," IEE Proc.-Control Theory Appl, vol. 152, no. 4, pp. 411-426, July 2005..
- [5] Ito, D., Murakami, T., Ohnishi, K., "An approach to generation of smooth walking pattern for biped robot", Advanced Motion Control, 2002. 7th International Workshop on pp. 98-103 2002.
- [6] 김동윤, 예제로 배우는 제어용 DSP, 성안당, 2003
- [7] 김동원, 박귀태, "이족 휴머노이드 로봇의 안정적인 보행패턴 분석: 퍼지 모델링 접근방법", 전기학회논문지, vol. 54D, no. 6, pp. 376-382, Jun, 2005.