

지능형 센서 퓨전 시스템을 이용한 이족보행 로봇의 동적보행 구현

고재원  
유한대학

Implementation of Dynamic Walking of Biped Walking Robot using Intelligent Sensor Fusion System

Jae-Won Kho  
Yuhan University

**Abstract** - 본 논문은 로봇이 처한 환경의 실시간 상황 인식을 위한 지능형 센서 인터페이스를 연구 개발하여 다양한 환경에서의 안정되고 유연한 이족 보행 로봇의 동적 보행 제어를 수행하였다. 자이로 및 가속도 센서를 적용한 실험을 통하여 간단한 보상만으로도 로봇의 안정도가 확연히 개선되는 사실을 알 수 있었다. 미지의 외력이 가해져 로봇이 불안정한 상태가 계속될 때 상체의 기울기 보정이 무게중심을 보다 안정된 영역쪽으로 이동시켜 곧바로 균형을 잡아준다. 또한 압력센서를 이용한 ZMP 측정과 이를 통한 균형 제어 실험 결과 뛰어난 보행을 구현할 수 있었다. 불규칙적인 지면에서도 발바닥에 가해지는 압력 분포가 변화하는 것을 이용하여 ZMP가 항상 로봇의 발바닥 지지 영역 안으로 오도록 제어하였다. 이것을 통해 로봇은 경사면을 보행하거나 기울기가 변하는 바닥에서 쓰러지지 않고 안정한 상태를 유지하였다.

보행은 로봇이 보행 중에 무게중심의 지지영역 이탈을 허용하는 걸음걸이로서 이 경우 무게중심이 아닌 ZMP(Zero Moment Point)가 안정된 지지영역 내에 위치해야 한다. 이족 로봇에 대한 보상 모델링의 개념은 그림 1과 같다. 로봇의 상체는 항상 수직 상태를 유지해야 하고, 그렇지 않으면 로봇은 불안정한 상태가 된다. 이렇게 해서 만약 로봇이 쓰러지거나 외력에 의해 기울어지면 이때 발생하는 각속도만큼 로봇의 상체를 반대로 보정해준다. 각속도에 대한 위상의 보상은 발목, 무릎 그리고 골반의 피치 관절에서 이루어진다. 다시 말하면 상체가 기울어진 만큼 로봇의 안정도도 떨어지게 되고 시간이 지날수록 로봇은 불안정한 상태에 있게 되는데, 이때 기울어지는 각속도만큼 특정 관절을 반대로 보상하여 무게중심이 안정한 지지영역 안쪽으로 이동되도록 하여 균형을 잡는 것이다.

1. 서 론

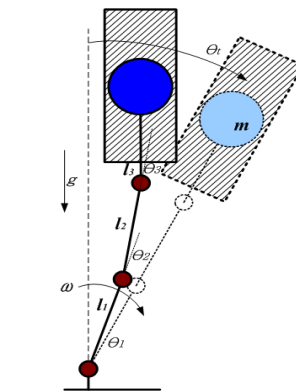
이족 보행 로봇에 대한 연구는 그 목적에 따라 크게 두 가지로 나누어 질 수 있는데, 그 첫째는 이족 보행 로봇의 순수 제어에 관련된 연구이고, 둘째는 걸음새의 안정화에 관련된 연구이다 [1][2]. 또한 로봇이 쓰러지지 않고 안정하게 걸을 수 있는 각 관절의 궤적 생성 역시 중요한 문제로서 기존 궤적의 생성 방법에 따라서는 다음과 같은 내용의 연구가 진행되어 왔다. 페시브 다이나믹스(passive dynamics)를 이용한 방법으로서 무동력 상태에서 경사를 내려오는 걸음걸이 생성방법[3], 역진자 모델에 기초한 형태로서 로봇 트렁크가 추종하게 될 기준 경로 및 각 관절의 지면과의 기구학적인 관계로부터 기준 궤적을 구하는 방법, 뉴럴 오실레이터를 이용하여 일정한 주기의 반복 함수를 생성하고 외부 센서로부터의 입력 데이터에 따라 보정하여 기준 경로를 생성하는 방법[4], 모의 실험이나 또는 실제 제작한 로봇에 대하여 적절한 걸음걸이가 생성될 때까지 반복적으로 보행을 시켜가면서 기준 경로를 보정하는 방법[5], 그밖에 정역학 및 동역학을 고려하고 ZMP(Zero Moment Point), 자이로센서, 기울기센서, 지면과의 임팩트 등 센서 입력을 참조하여 걸음걸이를 보상하면서 기준 경로를 추종하는 방법[6][7] 등 여러 방법의 연구가 이루어져 왔다.

또한 이족 보행 로봇의 제어에 있어서 로봇의 관절 제어를 어렵게 하는 요인은 관절에 실리는 부하와 마찰 등이 보행 주기에 따라 매우 크게 변화한다는 점이다. 여기에 파라미터와 같은 동적 특성의 변화에 대한 적응 능력이 떨어지는 선형 PID 피드백 제어기 등의 일반적인 선형 제어기를 적용한다면 보행의 각 단계마다 오차가 생기는 정도가 달라져 전체적인 걸음을 안정화시키는 이득값을 찾기는 대단히 힘들 것이다. 따라서 로봇이 처한 환경의 실시간 상황 인식을 위한 지능형 센서 인터페이스를 연구 개발하여 다양한 환경에서의 안정되고 유연한 이족 보행 로봇의 동적 보행 제어를 보이고자 한다.

본 논문에서는 이와 같은 지능형 센서 인터페이스 제어기법을 25자유도를 가지는 이족 보행 로봇에 적용하여 기준 궤적 추종 작업을 수행함으로써 제안된 제어 기법의 안정도 보장 및 외부 환경에 대한 강인성을 평가하고자 한다.

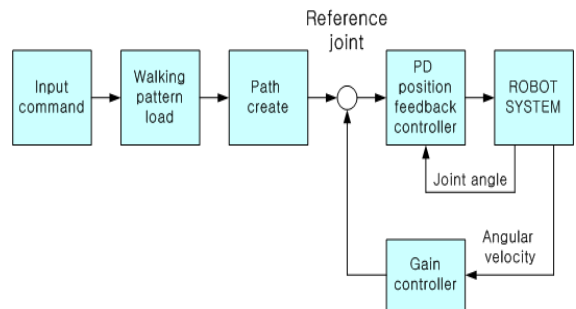
2. 로봇 보행 및 제어 알고리즘

이족 보행 로봇의 걸음걸이는 정적인 보행과 동적인 보행으로 나눌 수 있다. 정적인 보행은 로봇의 무게중심의 수직 투영점(VPCG : Vertically projected Point of the Center of Gravity)이 안정된 지지영역 내에 항상 존재하는 보행방식이다. 반면 동적인



<그림 1> 이족 로봇 보상 모델링

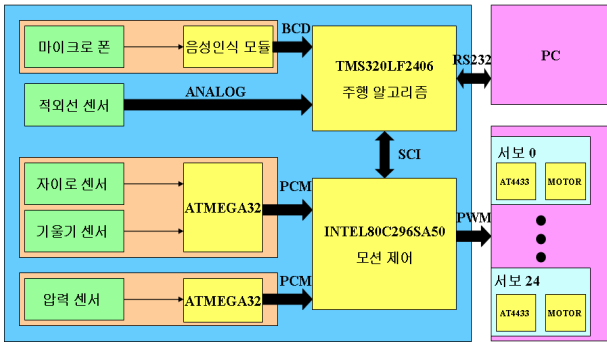
본 연구에 적용된 로봇 제어 알고리즘은 그림 2와 같다. 먼저 상위 메인 제어기에서 하위 모션 제어기에 명령을 내리면 하위 제어기는 미리 저장해 놓은 테이블에서 해당 동작을 위한 패턴 정보를 가져온다. 패턴정보는 로봇의 움직임에 몇 개의 구분동작으로 나누어 저장해 놓은 각각의 관절 각도 데이터이다. 그 다음 단계인 궤적 생성부(Path create)에서는 연속되지 않은 두개의 패턴 정보로부터 로봇의 각 관절이 움직여야 하는 속도와 위상을 계산한다. 한편 이득제어부(Gain controller)는 로봇의 상체에 탑재된 자이로 및 가속도센서로부터 측정된 정보를 적절한 보상값으로 환산한다. 궤적 생성부에서 생성된 위상은 이득 제어부의 보상 데이터에 의해 재조정되어 로봇의 각 관절 제어기에 전달된다. 로봇의 각 관절은 PD제어기에 의해 위상이 제어된다.



<그림 2> 로봇 제어 알고리즘

### 3. 지능형 센서 시스템 구성 및 실험

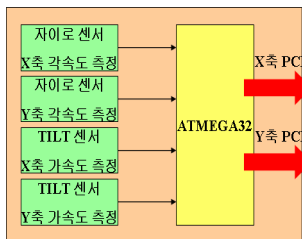
제한된 지능형 센서 인터페이스는 25자유도를 가지는 이족 보행 로봇에 적용하였다. 그림 3은 본 연구에서 사용된 이족 로봇의 전체 제어시스템 구성도이다. 시스템의 구성은 메인 제어기, 모션 제어기, 센서 인터페이스 제어기, 로봇 기구부, PC로 이루어졌다. 메인 제어기는 TMS320LF2406A를 사용하여 음성과 장애물을 인식하여 주행을 계획하고 처리하는 기능을 담당한다. 이렇게 처리된 결과는 여러 개의 명령으로 모션 제어기에 보내진다. INTEL80C296SA로 이루어진 모션제어기는 해당 모션 데이터를 로드하여 25개의 관절을 동시에 제어한다. 시스템내의 센서 인터페이스를 담당하는 두개의 센서 제어기는 ATMEGA32를 사용하여 자이로와 가속도 센서, 그리고 압력센서의 정보를 통합한다. 모션 제어기는 센서 정보를 PCM방식으로 전송받아 균형을 잡거나 안정된 상태를 유지하는데 사용한다.



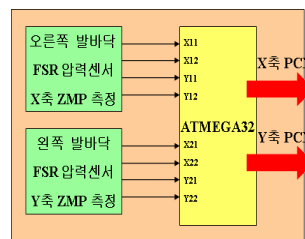
〈그림 3〉 전체 제어시스템 구성도

한편, 본 연구에서는 효율적으로 센서 정보를 처리하기 위해 별도의 센서 인터페이스 제어기를 제작하였다. 그림 4는 로봇의 안정성을 보장하기 위한 안정도 제어 시스템도이다. 자이로와 가속도 센서를 측정하는 정보의 종류가 서로 상이하지만 로봇의 급격한 움직임이나 자세 변화를 억제하는 등의 서로 같은 기능을 담당하고 있다. 측정되어 가공된 이 두 데이터는 로봇의 다리에 적용되어 로봇의 X축 방향(앞뒤 진행 방향)과 Y축 방향(좌우 측면 방향)으로 무게중심을 이동하는데 사용된다. 본 연구에서 사용된 센서에 있어서 자이로 센서의 경우 일본 무라타사의 ENV-05G 모델로서 1축의 회전 각속도를 측정할 수 있고, 가속도 센서의 경우 SA1 모델로 이것은 가속도를 측정할 수 있는 초소형 기울기 센서이다.

그림 5는 로봇이 균형을 잡는데 사용되는 균형 제어 시스템도이다. 각 발바닥에 4개씩 장착되어 있는 FSR 압력센서 데이터를 이용하여 로봇의 ZMP를 측정한다. 측정된 ZMP를 이용하여 경사면이나 알 수 없는 불규칙한 지형에서 로봇의 균형을 유지하도록 한다. 본 연구에서는 이 FSR 압력센서를 사용하여 로봇의 실제 ZMP를 측정하였다. 출력 전압/힘의 출력 특성은 거의 선형성을 유지하고 있어 ZMP 계산을 위한 수식에 바로 적용하였다.

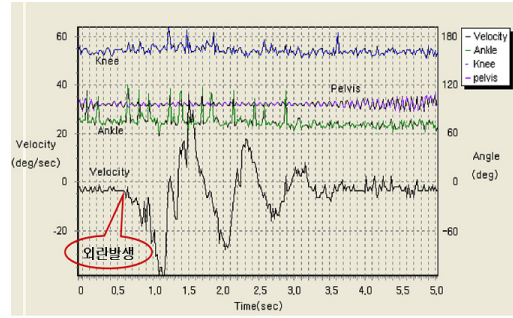


〈그림 4〉 로봇 안정도 제어시스템

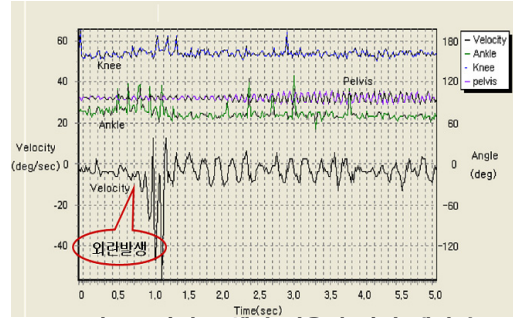


〈그림 5〉 로봇 균형 제어시스템

센서 인터페이스 적용에 대한 실험은 이족 로봇이 정지해 있는 상태에서 수행되었다. 매우 짧은 시간에 일어나는 보상은 보행과 정지 상태 모두 같다는 조건에서 이루어졌다. 자이로 센서가 없을 때의 외력에 대한 반응 속도와 자이로 센서를 적용할 때의 외력에 대한 반응 속도를 비교하였다. 그림 6과 그림 7에서 그래프는 무릎, 골반, 발목 그리고 자이로 센서 출력의 계측 순으로 나열되었다. 먼저 그림 6은 센서가 적용되지 않았을 때의 결과를 보여주고 있다. 외란발생 시점부터 로봇이 앞으로 심하게 흔들리다 약 3초가 지난 후에서야 안정된 상태가 된다. 로봇의 흔들림 정도는 상체 자이로 센서로부터의 각속도이다. 반면 자이로 센서를 적용한 그림 7의 실험결과에서는 약 0.5초 만에 안정된 상태가 되는 것을 확인할 수 있다. 실제 실험에서 로봇의 불안정한 흔들림은 머리를 기준으로 했을 때 약 10cm 이상으로 확연하게 차이를 보였다.



〈그림 6〉 자이로 센서 비적용시 관절 데이터



〈그림 7〉 자이로 센서 적용시 관절 데이터

### 4. 결론

본 논문은 제한된 환경에서만 이동할 수 있는 기존의 로봇에 비해 인간이 생활하는 환경에 적용하기가 보다 적합한 로봇으로서 이족 보행 로봇을 제어 대상으로 정하였고, 로봇이 처한 환경의 실시간 상황 인식을 위한 지능형 센서 인터페이스를 연구 개발하여 다양한 환경에서의 안정되고 유연한 이족 보행 로봇의 동적 보행 제어를 수행하였다. 자이로 및 가속도 센서를 적용한 실험을 통하여 간단한 보상만으로도 로봇의 안정도가 확연히 개선되는 사실을 알 수 있었다. 미지의 외력이 가해져 로봇이 불안정한 상태가 계속될 때 상체의 기울기 보정이 무게중심을 보다 안정된 영역쪽으로 이동시켜 곧바로 균형을 잡아준다. 또한 압력 센서를 이용한 ZMP 측정과 이를 통한 균형 제어 실험 결과 뛰어난 보행을 구현할 수 있었다. 불규칙적인 지면에서도 발바닥에 가해지는 압력 분포가 변화하는 것을 이용하여 ZMP가 항상 로봇의 발바닥 지지 영역 안으로 오도록 제어하였다. 이것을 통해 로봇은 경사면을 보행하거나 기울기가 변하는 바닥에서 쓰러지지 않고 안정한 상태를 유지하였다.

향후 연구과제는 어떠한 상황 및 환경에서도 이족 보행 로봇이 유연하게 대처하여 넘어지지 않고 걸음을 행할 수 있도록 하는 좀 더 지능화된 보행 알고리즘 및 센서 인터페이스에 대한 연구이다.

### [참고 문헌]

- [1] C. Chevallereau and Y. Aoustin, "Optimal reference trajectories for walking and running of a biped robot," *Robotica*, vol. 19, no. N5, pp. 557-569, 2001.
- [2] J.W.Grizzle, G. Abba and F. Plestan, "Asymptotically stable walking for biped robots:analysis via systems with impulse effects," *IEEE Trans. Auto. Contr.*, vol.46, pp.51-64, Jan. 2001.
- [3] Tad McGeer, "Passive dynamic walking," *Int. Journal of Robotic Research*, vol. 9, no. 2, pp. 62-82, 1990.
- [4] W. Ilg, J. Albiez, H.J edele, K.Berns, R.Dillmann, "Adaptive periodic movement control for the four legged walking machine BISAM dynamic walk of a biped," *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.2354-2359, May 1999.
- [5] J. Pratt, P. Dilworth and G. Pratt, "Virtual model control of a bipedal walking robot," *IEEE Conf. on Robotics and Automation*, pp.193-198, 1997.
- [6] G. Kinoshita, T. Kimura and M. Shimojo, "Dynamic sensing experiments of reaction force distributions on the sole of a walking humanoid robot," *IEEE Int. Conf. on Intelligent Robot and Systems*, pp. 1413-1418, 2003.
- [7] Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki, and K. Fujimura, "The intelligent ASIMO : System overview and integration," *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2478-2483, 2002.