무선 센서 네트워크를 이용한 ZMP측정에 의한 휴머노이드 로봇의 걸음새 구현

The Implementation of Walking for a Humanoid Robot by ZMP measurement using Wireless Sensor Network

이보희*, 서규태*, 황병훈**, 공정식**, 김진걸**
Bo-Hee Lee, Kyutae-Tae Seo, Byung-Hun Hwang, Jung-Shik Kong, Jin-Geol Kim

Abstract - This paper deals with the implementation of walking for a humanoid robot by ZMP measurement using wireless sensor network. ZMP is measured by FSR sensors which are mounted at each corner of a sole. The wireless sensor network collects the sensor data according and exchanges robot information between host PC and a robot system. The master controller mounted on robot body receives trajectory data from the host PC via sensor network and drives the joint motor based on trajectory data. The time scheduler of the master controller controls the events at the ratio of 100ms. With this configuration, the walking of the humanoid robot KHR-1 could be realized successfully.

Key Words : Humanoid Robot, Wireless Sensor Network, ZMP, FSR Sensor

1. 서 론

로봇공학의 관심이 높아지면서 로봇 기술의 향상과 실생활에서의 활용도가 확대되고 있으며 그 중에서도 지능형 로봇에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 주위 환경에 제약이 적고 응용도가 높은 보행 로봇의 형태로 바뀌어 가고 있으며, 인간친화적인 형태로 발전하면서 휴머노이드 로봇의 연구가 가속화되고 있다. 휴머노이드 로봇이 실제 환경에서 적응하여 자율적인 보행과 동작을 위해서는 외부 환경을 인식할 수 있는 센서 시스템과 데이터를 처리하는 연산부, 연산된 데이터에 의해 모터를 구동 시킬 수 있는 구동기 제어부가 필요하게 된다. 또한 휴머노이드 로봇은 보행 중에 외부 환경에 대해 불안정성을 내포하고 있기 때문에 안정도 판단을 ZMP를 통해 판단할 수 있다. 기구학 해석을 통한 ZMP는 실제 환경에서 제약조건이 많기 때문에 안정적인 보행이 어려워져 최근에는 ZMP를 센서를 통해 데이터를 얻어 제어하는 방법에 관한 연구가 이루어져 있다[1-2].

본 논문에서는 휴머노이드 로봇의 안정적인 보행을 위해 FSR 센서를 이용하여 ZMP를 측정하였으며 실시간으로 센서를 감지할 수 있고 개체를 무선으로 연결할 수 있는 무선 센서 네트워크 모듈을 탑재하였다. 이 모듈은 TinyOS를 기본 코어로 사용하였고 로봇 및 제어부에 관련된 하드웨어 및 프로그램을 구축하였다. 본 연구에서는 새로운 로봇을 전체 설계하기는 가격 및 시간적으로 많은 문제가 있기 때문에 기존의 로봇 시스템에 센서 네트워크가 가지는 독립적인 요소들을 추가하여 데이터 분산 처리를 가능하게 하였으며 FSR 센서를 이용하여 ZMP를 측정하여 로봇의 걸음새를 구현하였다.

저자 소개
* 이 보 희 : 세명대학 전기공학과 부교수
* 서 규 태 : 세명대학 전기공학과 석사과정
** 황 병 훈 : 인하대학 전기공학과 석사과정
** 공 정 식 : 인하대학 전기공학과 박사과정
** 김 진 걸 : 인하대학 전기공학과 정교수

2. 시스템 설계

2.1 전체 시스템 설계

소형 휴머노이드 로봇인 KHR-1[3]을 사용하였으며 로봇의 구조는 각 다리에 5자유도, 각 팔에 3자유도, 머리에 1자유도의 총 17자유도를 가진다. 그림 1은 PC와 로봇간에 무선 센서 네트워크를 이용하여 상호 인터페이스를 구현한 것이다.

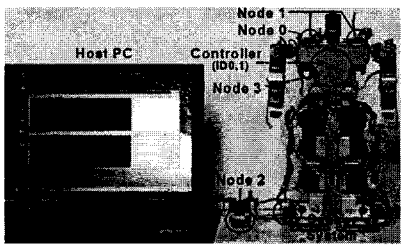


그림 1 로봇의 구성
Fig. 1 Configuration of robot

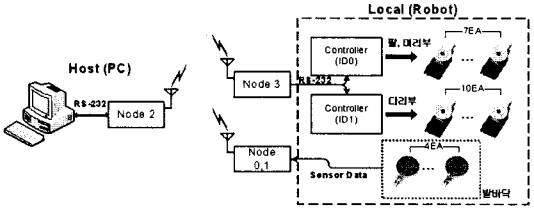


그림 2 시스템 기능 블록도
Fig. 2 System function diagram

그림 2는 전체 시스템 블록도이다. 로봇 내부에는 2개의 구동부 컨트롤러(ID0,1)가 내장되어 있으며 팔과 머리부(ID0), 다리부(ID1)를 각각 제어한다. 센서 네트워크 모듈 4개를 사용하여 발바닥 센서부에 2개(Node0,1), PC에 1개(Node2), 로봇 컨트롤러에 1개(Node3)를 각각 장착하여 PC와 로봇간에 데이터를 무선으로 처리할 수 있게 설계하였다. 발바닥에 4개의 FSR 센서를 부착하여 ZMP를 측정하였다.

2.2 무선 센서 네트워크 설계

버클리 대학에서 개발한 TinyOS[4-5]를 기본 코어로 사용하였으며 2.4GHz의 대역폭을 가지는 Sensor Network Node를 로봇과 PC에 장착하였다. TinyOS는 Sensor Network를 위해 개발된 OS로 자체 내에 스케줄러만 있어 크기가 작고 Event-driven 방식으로 처리하기 때문에 실시간으로 센서를 감시할 수 있어 로봇 시스템에 적합하며, 다수간의 개체를 연결할 수 있는 네트워크 관리 기능을 보유하고 있다. 그림 3은 무선 센서 네트워크를 이용하여 센서 값에 의한 ZMP 측정에서 궤적 계획까지의 일련의 데이터 흐름을 보여주고 있다.

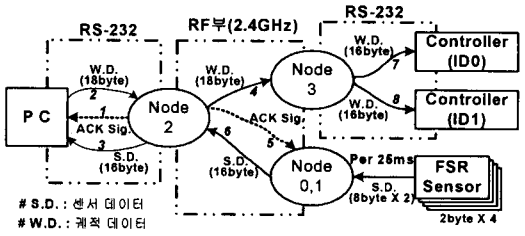


그림 3 센서 네트워크 데이터 흐름도
Fig. 3 Data flow of a sensor network

로봇 시스템은 초기화된 후 슬립모드로 대기하고 있으며 Node2의 ACK 신호로 동작을 하게 된다. 처음에 Node2에서 PC로 ACK 신호를 보내면(1) PC 프로그램에서 타이머가 동작을 하고 타이머의 동기(100ms)에 맞추어 모든 시스템이 동작을 하게 된다. PC에서 Node2로 18byte의 궤적 데이터를 보내면(2) Node2는 이 데이터를 Node3에게 보내고(4) 동시에 Node0,1에게 센서 데이터를 보내라는 ACK 신호를 보낸다(5). Node3은 궤적 데이터를 Controller(ID0,1)의 데이터 패킷에 맞게 변환(16byte)해서 보내어(7,8) 로봇을 구동시킨다. Node0과 1은 25ms마다 센서 값을 받아 버퍼에 저장하고 있다가 ACK신호를 받으면 Node2로 버퍼에 저장되었던 가장 최근의 센서 데이터를 보낸고(6) Node2는 센서 데이터를 PC로 보내고(3) PC에서는 ZMP를 계산한다. 위의 과정을 100ms 마다 반복적으로 수행하게 된다.

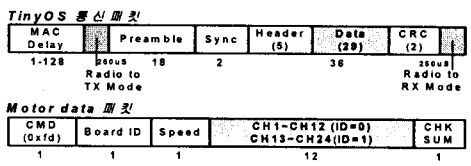


그림 4 통신 패킷 구조
Fig. 4 Wireless packet architecture

그림 4는 센서 네트워크의 통신 패킷 구조로 센서 데이터는 TinyOS 통신 패킷의 Data 29byte중 16byte를 사용하고 궤적 데이터는 18byte를 사용하여 전송한다. Node3에서 궤적 데이터를 Motor data 패킷으로 변환하여 모터를 구동한다.

2.3 센서 시스템 설계

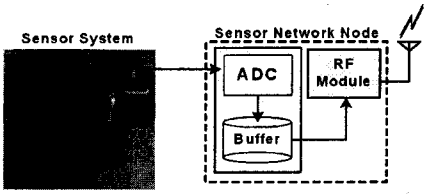


그림 5 센서 시스템
Fig. 5 Sensor system

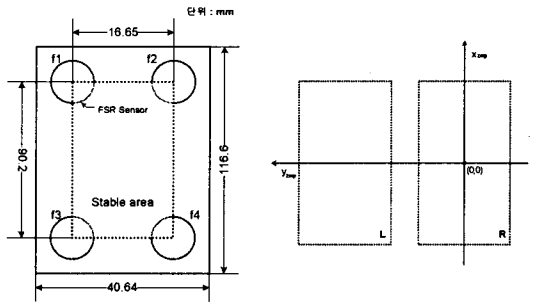
그림 5는 발바닥에 장착된 FSR 센서를 이용하여 ZMP를 측정하기 위한 시스템 구성도이다. 발바닥의 센서 모듈은 4개의 FSR 센서와 센서의 출력 값을 전압으로 변환하는 드라이버로 구성되며 각 센서 모듈에 하나의 Node를 장착하였다. Node 내부의 A/D 변환기를 이용하여 센서 하나당 2byte, 총 8byte의 센서 데이터를 버퍼에 저장한다. Node의 RF Module로 저장된 센서 데이터를 전송하여 PC에서 ZMP를 구하게 된다. 사용된 센서는 Interlink사의 FSR™의 #402이다[6].

3. ZMP 측정 및 궤적 계획

3.1 ZMP 측정

FSR 센서를 이용할 경우 센서에 작용하는 힘을 측정할 수 있기 때문에 그림 5처럼 로봇의 발바닥에 부착된 센서의 위치 $\{x_i, y_i\}$와 센서에 의해 측정된 값 f_i를 이용하여 식(1)로 ZMP의 위치를 구할 수 있다.

$$x_{ZMP} = \frac{\sum_{i=0}^{4} f_i x_i}{\sum_{i=0}^{4} f_i}, \qquad y_{ZMP} = \frac{\sum_{i=0}^{4} f_i x_i}{\sum_{i=0}^{4} f_i} \quad (1)$$



(a) (b)

그림 6 센서의 구조(a)와 ZMP 좌표계(b)
Fig. 6 Structure of Sensor(a) and ZMP coordinate(b)

ZMP의 안정영역은 그림 6(a)와 같이 각 부분의 중앙을 기준으로 설정하였다. 발바닥의 사이즈는 116.6×40.64mm이고 측정가능 영역 또는 안정영역은 90.2×16.65mm이다. 그림 6(b)는 로봇이 앞으로 진행하는 방향을 x축, 왼쪽 방향을 y축으로 설정하였고 오른쪽 발바닥의 중앙을 (0,0)의 기준으로 하여 센서 데이터에 의한 ZMP의 위치 값을 나타내기 위해 좌표계를 설정하였다.

3.2 궤적 계획

로봇의 궤적 계획은 초기 보행 자세를 취하는 것을 시작으로 하여 오른쪽 발을 먼저 앞으로 내딛고 다음에 다시 내딛을 때까지 궤적 계획을 세웠다. 8구간으로 나누었고 단계 당 2초씩 총 16초 동안 동작시켰다. 초기 조건으로 좌우 무게중심 이동거리는 23.25mm, 보폭은 50mm, 발을 드는 높이를 20mm로 하였다. 초기에 보행 자세에 들어갈 때 초기 자세에서 무릎을 30mm를 굽히게 하였다. 보행 순서는 초기자세에서 보행자세로 이동 후 '좌측으로 무게중심 이동→우측 다리가 앞으로→우측으로 무게중심 이동→좌측 다리가 앞으로'를 1 step으로 하였다.

4. 동작 실험

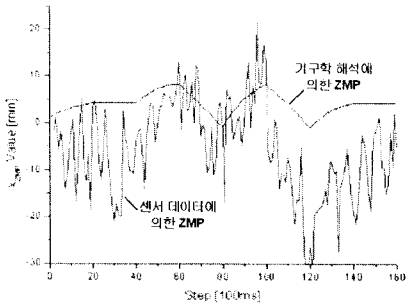


그림 7 x_{ZMP} 궤적

Fig. 7 Trajectory of x_{ZMP}

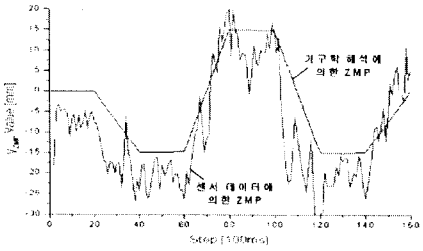


그림 8 y_{ZMP} 궤적

Fig. 8 Trajectory of y_{ZMP}

역기구학 해석을 통해 궤적을 생성하였으며 기구학 해석을 통한 ZMP와 궤적 데이터로 로봇을 동작 시켰을 때 센서 데이터에 의한 ZMP를 그림 7, 8에서 비교하였다. 그림 7은 ZMP의 x축을 그림 8은 ZMP의 y축을 나타낸 것이다. x축은 초기 자세에서 보행 자세로 이동할 경우 무릎을 약간 굽히게 되므로 무게중심이 약간 앞으로 이동하게 되고 발을 앞으로 내딛을 때는 좀 더 앞으로 이동하게 된다. 몸체가 이동하는 경우에는 발이 기준점 뒤에 있으므로 뒤쪽으로 이동하게 된다. y축은 오른 발을 앞으로 내딛어야 할 경우 우선 몸체를 왼쪽으로 이동시켜야 한다. 발바닥을 기준으로 로봇의 움직임을 볼 경우 y축의 (-)방향으로 발을 이동시켜야 몸체가 왼쪽으로 움직이게 된다. 왼 발을 앞으로 내딛어야 할 경우는 그 반대가 된다.

센서 데이터에 의한 ZMP를 보면 그림 7과 8에서 보는 바와 같이 센서의 민감성 문제와 모터가 떠는 현상으로 인하여 ZMP가 많이 흔들림을 볼 수 있지만 기구학 해석을 통해 얻은 ZMP와 비슷한 경향성 가지고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 휴머노이드 로봇이 안정적인 보행을 위해 FSR 센서를 이용한 ZMP 측정과 로봇의 분산처리를 목적으로 무선 센서 네트워크가 탑재된 로봇의 걸음새 구현에 대해 다루었다. 4개의 FSR 센서를 사용하여 네 모서리 부분에 부착하여 로봇의 발바닥을 제작하였고 TinyOS를 이용한 무선 센서 네트워크를 PC와 로봇에 장착하였다. 발바닥의 센서 값에 의해 ZMP의 위치 값을 실험적으로 구하였으며 센서 네트워크의 스케쥴러에 의해 센서 값을 일정 시간마다 측정하여 센서 데이터 및 궤적 데이터를 무선으로 처리하여 로봇을 제어할 수 있었다. 센서 네트워크가 로봇 제어부로서 유용성을 보였으며 PC에서 다수의 로봇을 제어하거나 로봇간의 데이터 처리도 가능하다는 것을 알 수 있었다. 향 후 구현된 OS를 적용하여 한 개가 아닌 다수의 로봇을 군 관리로 제어하는 것과 다수의 로봇이 상호간의 데이터를 처리할 수 있는 연구가 필요하게 되며 좀 더 정확한 ZMP를 얻기 위해 센서 데이터를 보상해 주는 알고리즘이 필요하다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10364-0) 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] Kemalettin Erbatur, Akihiro Okazaki, Keisuke Obiya, Taro Takahashi and Atsuo Kawamura, "A Study on the Zero Moment Point Measurement for Biped Walking Robots," International Workshop on Advanced Motion Control, pp. 431-436, 2002

[2] Genichiro Kinoshita, Tomonori Kimura and Makoto Shimojo, "Dynamic Sensing Experiments of Reaction Force Distributions on the Sole of a Walking Humanoid Robot," IEEE Intl. Conference on Intelligent Robot and Systems, p1413-1418, 2003

[3] www.kondo-robot.com

[4] www.tinyos.net

[5] 서규태 외 7인, "무선 네트워크를 이용한 OS가 탑재된 사족 보행로봇의 동작 구현", 정보 및 제어 학술대회 논문집, pp499-501, 2004. 11.12

[6] Interink, www.Interlinkelec.com