

---

저자 (Authors)	박성훈, 이수영, 정길도, 성영휘 SeongHoon Park, SooYeong Yi, Kilto Chong, Youngwhee Sung
출처 (Source)	<a href="#">제어로봇시스템학회 합동학술대회 논문집</a> , 2003.12, 337-340(4 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">제어로봇시스템학회</a> Institute of Control, Robotics and Systems
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02035686">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02035686</a>
APA Style	박성훈, 이수영, 정길도, 성영휘 (2003). 이족 보행 로봇 개발과 그네 운동 구현. 제어로봇시스템학회 합동학술대회 논문집, 337-340
이용정보 (Accessed)	서울과학기술대학교 203.246.81.*** 2021/01/19 23:00 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

## 이족 보행 로봇 개발과 그네 운동 구현

### Development of Biped Walking Robot and Its Swing Motion

박 성훈<sup>\*</sup>, 이 수영<sup>\*</sup>, 정 길도<sup>\*</sup>, 성 영휘<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>국립 전북대학교 전자정보공학부, <sup>\*\*</sup>국립 금오공과대학교 전자공학부

SeongHoon Park<sup>\*</sup>, SooYeong Yi<sup>\*</sup>, Kildo Chong<sup>\*</sup>, Youngwhee Sung<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Div. of Elec. and Info. Eng, Chonbuk Nat'l. Univ, <sup>\*\*</sup>Dept. of Elec. Eng, Kumoh Nat'l Inst. of Tech.

**Abstract** A new small humanoid robot system is developed in this paper. The humanoid robot has total 20 DOFs : 6 DOFs in each legs, 3 DOFs in each arms, and 2 DOFs in head, 34cms in height, and 2kgs in weight. The robot has the following characteristics: (1) PDA as host controller (2) network-based joint controller (3) wireless camera attached in robot's head (4) mechanism design by CATIA and high speed laser prototyping (5) graphic MMI(Man-Machine Interface) utilizing the CATIA data. By using ADXL inclination sensor, we implement the rope swing with the robot leg motion as well as walking.

**Keywords:** humanoid, PDA, serial network-based control, rope swing motion, acceleration/inclination sensor

#### 1. 서 론

최근의 로봇 개발 분야는 과거 산업현장에서 쓰이던 단순 반복 작업 로봇 형태에서 벗어나 개인용 로봇을 중심으로 많은 변화하고 있다. 인간의 모습을 한 인간형 2족 보행 로봇, 강아지 형상을 한 엔터테인먼트 로봇, 홈 서비스 로봇 등이 많이 연구 개발되고 있다. 이러한 로봇 개발은 제어기 개발뿐만 아니라 지능 알고리즘, 휴먼-컴퓨터 인터페이스, 통신, 기계 설계 등 다양한 분야들이 결합된 다학제적인 학문 분야이다. 기존 소형 보행 로봇에 사용한 상용 RC 서보 모터는 사용이 간편하고 제어하기가 쉽다는 장점이 있지만 부정확성, 배선의 복잡함등 많은 단점을 가지고 있다. 또한 보행 로봇이 움직이기 위한 과정에서 원격 제어 방식과 오프라인 방식이 많이 적용되고 있는데 원격 제어 방식은 호스트 컴퓨터에서 로봇의 움직임에 필요한 데이터를 생성하여 원격지에서 무선으로 명령 데이터를 전달하는 방식으로 연산량이 적지만 전송 오류의 부담을 안고 있다. 오프라인 방식은 미리 호스트 컴퓨터에서 연산을 수행하는 방식으로 로봇이 이동시 발생할 수 있는 사건 처리능력이 없다는 단점을 가지고 있다. 이는 소형 보행 로봇의 경우, 로봇 자체가 소형이라는 특성 때문에 경량이면서 보행 로봇의 움직임 생성을 위한 연산 처리능력이 높은 사양의 프로세서가 없기 때문이다. 이를 개선하고자 본 연구에서는 최근의 급격한 무선 통신망의 보급으로 많은 수요자를 확보하고 있는 PDA를 주

제어기로 이용하였다.

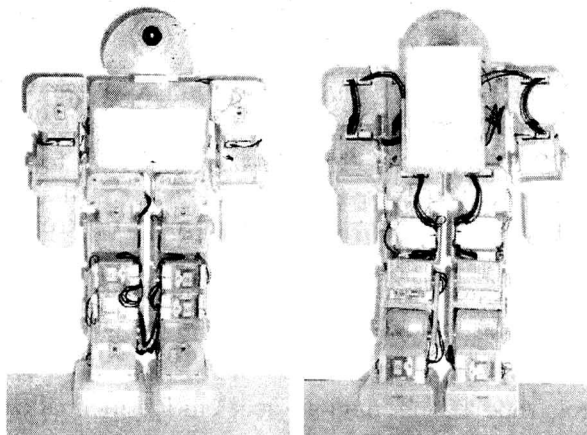
#### 2. 이족 보행로봇 시스템 구성

본 로봇 시스템은 로봇 몸체 기구와 로봇의 보행 궤적 생성을 위한 주 제어기, 네트워크를 통해 각 관절 모터의 위치를 제어하기 위한 보조 제어기, 그리고 로봇 보행 궤적의 타당성을 검증하고 사용자와의 인터페이스가 가능한 MMI(Man-Machine Interface) 도구로 이루어져 있다.

##### 2.1. 기구 설계

본 논문에서 개발된 로봇은 전체 키는 34cm, 몸무게 2kg이며, 1족당 6개의 자유도를 가지며 1수당 3자유도 그리고 목에 2자유도를 가져서 총 20자유도를 갖는 소형 인간형 로봇이다. 로봇의 목은 pan과 tilt가 가능한 구조로 구성되어 있고 머리에는 무선카메라를 장착하고 있어 로봇의 주변 화상 데이터를 원격지에 있는 호스트 컴퓨터에 전송할 수 있다. 등에는 실시간으로 로봇의 보행 궤적 생성을 위한 주제어기 PDA를 탑재할 수 있게 설계되어 있다. 팔은 세 개의 자유도가 pitch-roll-pitch 구조로 이루어져 있고, 다리의 6 자유도는 yaw-roll-pitch-pitch-pitch-roll 구조로 되어 있어 인간의 기본 보행인 직진 보행 및 회전 보행이 가능한 구조로 설계하였다. 관절 액츄에이터는 Geared DC motor에 회전각 검출을 위한 센서로 포텐쇼메터를 장착하고 보조제어

기를 부착하여 자체 개발된 DC 서보 모터를 이용하였다. 로봇의 구동 전원 공급을 위해 배터리를 로봇발의 형상으로 설계 제작하였다. 다음은 실제 로봇의 모형이다.



(a) 앞모습 (b) 뒷모습

그림 1. 실제 로봇의 모습

## 2.2. 제어부 구성

로봇에 탑재되는 제어기로는 로봇이 추종할 궤적 데이터를 생성하여 보조 제어기에 네트워크를 통해 명령을 전달하고, 로봇의 머리 부분에 있는 무선카메라에서 보내진 영상 데이터를 원격지에 있는 호스트 컴퓨터에서 영상 처리하여 로봇의 주변 상황을 무선 통신을 통해 로봇이 수신하여 로봇의 다음 동작을 생성하기 위한 주제어기 PDA와 주 제어기에서 생성된 로봇의 궤적 데이터를 직렬 네트워크를 통해 수신하고 그에 따른 관절 모터의 회전량을 제어하기 위한 네트워크 기반 DC 서보 모터 제어기인 보조 제어기로 구성되어 있다.

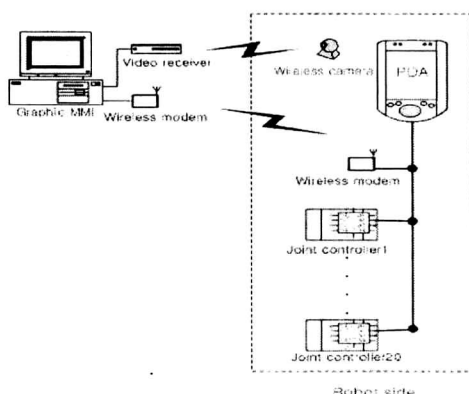


그림 2. 네트워크 제어기 구성도

PDA는 독자적인 운영체제와 전용의 마이크로 프로세서를 사용하고 있어 데스크탑 컴퓨터와 동일한 데이터 처리능력을 가진다. 또한 소형이기 때문에 이동성이 자유롭다는 점과 어느 곳이든 자유롭게 탈부착이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이런 PDA만의 이점 때문에 PDA를 주 제어기로 사용하여 빠른 로봇 보행 걸음새 생성 및 네트워크를 통해 보조 제어기와 통신을 주관하는 서버 역할을 한다. 다음은 네트워크 구성을 나타낸 그림이다.

보조 제어기는 각 로봇 관절 모터의 회전각을 제어하고, 또한 각각의 보조 제어기와 주 제어기 간에 직렬 네트워크를 구성함으로써 전체적인 배선의 간단화를 꾀했다. 마이크로 프로세서로는 DC 모터 PWM 제어를 위해 2개 이상의 10-bit PWM, 포텐쇼메터의 아날로그 신호를 디지털로 변환시켜주는 10-bit ADC, 네트워크 직렬 통신을 위한 UART 그리고 20msec 샘플링 타이밍을 위한 타이머가 자체 내장되고 ISP(In-System Programmable flash memory) 기능이 있어 개발 환경이 간편하고 처리 속도가 빠른 RISC 방식의 Atmel사의 AVR 마이크로 프로세서를 사용하여 설계하였다. 네트워크 구성은 EMI노이즈를 고려하여 노이즈에 강인하면서 전송거리가 긴 RS-485 통신을 하였고 모터 드라이버는 단락 회로 보호 기능, 과전압 보호 기능 및 1.5A의 전류 허용 용량을 가지는 Toshiba사의 TA8050P를 사용하였다. 제어기는 PID 제어기로 설계하였고, 모터 구동 방식은 PWM 구동 방식을 채택하였다.

## 3. 이족 보행로봇을 이용한 그네 운동

본 논문에서 개발된 이족 로봇을 이용하여 사람의 그네 운동을 구현하였다. 그네 운동을 모델링하고 시뮬레이션을 통하여 그네 운동을 지속시키기 위한 로봇 발의 운동을 생성하였으며, 실제 로봇에 적용하였다.

### 3.1. 시스템 구성

이족 보행로봇에 ADXL(가속도)센서를 장착하여 로봇이 스윙 운동을 하는 동안 위치를 추적할 수 있게 하였다. ADXL센서의 신호를 받아서 주제어기로 전송하기 위해서 별도의 보조제어기인 AVR 프로세서를 사용하였으며 측정되어진 위치 데이터를 이용하여 주제어기인 386보드에서 관절의 위치에 대한 데이터를 생성하였다. 생성된 데이터는 시리얼통신을 통해 각 모터의 보조 제어기로 전송한다. 20개의 모터와 1개의 센서를

네트워크로 연결하기 위해서 패킷통신을 하는데 전송속도와 모터의 회전속도를 계산하여 20ms의 polling방식을 사용하고 있다.

표 1. 시스템의 주요 제원

그네 길이	로봇무게	로봇길이 (무릎관절-발바닥)	로봇다리무게
0.65m	2kg	0.1m	0.5kg

### 3.2. 동력학 모델

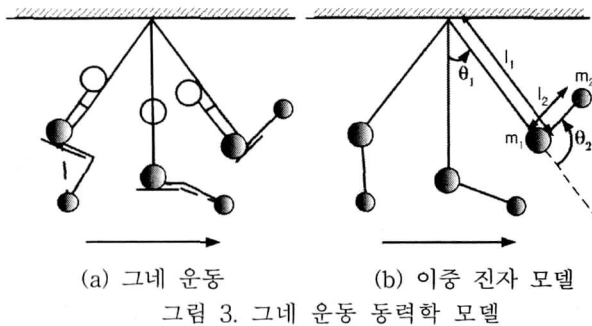


그림 3은 사람의 그네 타는 모습을 기준으로 다리부분의 움직임을 묘사한 모델이다. 양 정점을 기준으로 속도가 증가하는 방향으로 관성력을 높이기 위해 무게중심을 진행방향으로 이동 시킴으로써 지속적인 왕복운동을 만들어내고 있다. 이러한 운동을 모델링하기 위해서 가진력을 가진 2축 로봇으로 근사화하였다. 첫 번째 링크는 자유 진동을 하게되며 두 번째 링크(무릎관절)에 토크를 가함으로써 실제 모델의 다리 운동을 묘사하였다. 2축 로봇의 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} &= \mathbf{M}(\theta) \ddot{\theta} + \dot{\mathbf{M}}(\theta) \dot{\theta} \\ &\quad - \frac{1}{2} \frac{\partial (\dot{\theta}' \mathbf{M}(\theta) \dot{\theta})}{\partial \theta} + \frac{\partial P}{\partial \theta} \quad (1) \\ &= \mathbf{M}(\theta) \ddot{\theta} + \mathbf{V}_m(\theta, \dot{\theta}) \dot{\theta} + \frac{\partial P}{\partial \theta} \\ &= \tau \end{aligned}$$

여기서  $\theta = [\theta_1, \theta_2]^T$ 이고, Lagrangian,  $L$ 은 다음 식 (2)와 같으며, 관성 행렬,  $\mathbf{M}(\theta)$ 과 위치 에너지,  $P(\theta)$ 는 식 (3), (4)와 같다:

$$L = K(\theta, \dot{\theta}) - P(\theta) \quad (2)$$

$$= \frac{1}{2} \dot{\theta}' \mathbf{M}(\theta) \dot{\theta} - P(\theta)$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} m_{11} &= (m_1 + m_2)l_1^2 + m_2l_2^2 + 2m_2l_1l_2\cos\theta_2 \\ m_{12} &= m_2l_2^2 + m_2l_1l_2\cos\theta_2 \\ m_{21} &= m_{12} \\ m_{22} &= m_2l_2^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\theta) &= m_1gy_1 + m_2gy_2 \\ &= -(m_1 + m_2)l_1\cos\theta_1 \\ &\quad - l_2m_2\cos(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \quad (4)$$

수식(1)에 마찰력에 대한 조건이 추가되고 토크를 인가하기 위해서 계획된 궤적과 이 계획된 궤적을 추종하도록 PD제어기를 사용하였다. 여러 가지 실험을 통해서 필요한 움직임을 찾아냈으며 이를 로봇에 적용함으로써 움직임을 구현하였다.

### 3.3. 위치추적

현재 로봇의 위치를 파악하고 로봇의 자세를 알아내기 위해서 ADXL 센서를 사용하고 있다. ADXL 센서는 직각을 이루는 두 축의 가속도 및 기울기 성분을 PWM 형태로 만들어준다. 데이터를 필터링을 통해서 로봇의 현재 위치를 찾아내서 스윙 할 지점을 결정한다. 센서에서 나오는 신호는 잡음 성분이 섞여있기 때문에 2차 필터를 사용해서 사용 가능한 신호로 처리하였다.

### 3.4. 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험

최적의 운동궤적을 찾아내기 위해서 모델링을 통해서 얻어진 수식으로 시뮬레이터를 제작하였다. 시뮬레이터는 OpenGL을 이용하여 모든 매개변수들을 재설정 가능하도록 만들었다. 시뮬레이션을 통해서 최적의 운동궤적을 찾아낸다. 실제 그네와 유사한 조건을 만들기 위해서 여러 가지 구속조건을 매개변수로 설정하였다.

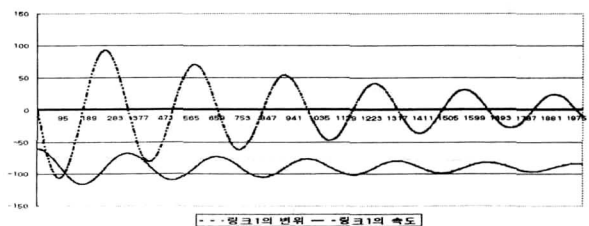


그림 4. 마찰력이 존재하는 경우

그림 4에서는 마찰력이 존재하므로 감쇠운동을 하고 있다.

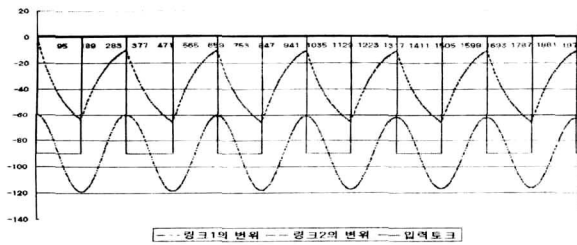


그림 5. 링크 2에 대해 PD 제어를 하는 경우

그림 5는 같은 마찰력하에서 일정한 운동을 하도록 PD제어를 해주는 링크2에 의해서 링크1의 수렴속도가 현저하게 줄어드는 것을 보여주고 있다.

표 2. 각 매개변수 변화에 따른 지속시간변화

damping	0.1	0.1	0.1
상부무게(kg)	2.0	2.0	2.0
하부무게(kg)	0.5	0.5	1.0
kp(비례게인)	2	0	2
kd(미분게인)	1	0	1
3°감소시간(sec)	37.36	26.25	180

위의 표 2는 컴퓨터 시뮬레이션 상에서 로봇 링크의 매개 변수 변화에 대한 그네 운동의 영향을 분석한 것이다. 상부무게와 하부무게의 차이가 적고 PD제어를 했을 때 가장 오래 지속된다는 것을 알 수 있다. 실제 로봇에 장착된 가속도 센서의 진폭이 변함으로써 자유 진동시 그네의 정점 위치가 낮아지고 있음을 알 수 있다. 다음 그림 6과 그림 7은 다리 운동에 따른 그네 운동의 진폭 변화를 실험을 통해 관측한 결과이다.

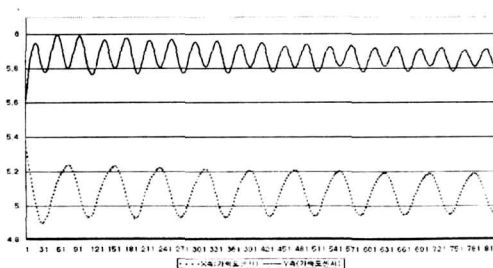


그림 6. 자유 진동을 하는 경우

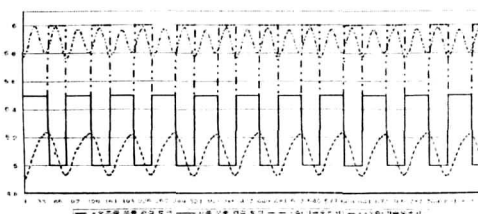


그림 7. 로봇이 다리 운동을 하는 경우

그림 7에서 가속도 센서를 이용하여 찾아낸 정점을 기준으로 다리 운동을 하는 경우 그림 6과는 달리 정점의 위치가 낮아지지 않고 지속운동이 가능하다는 것을 볼 수 있다.

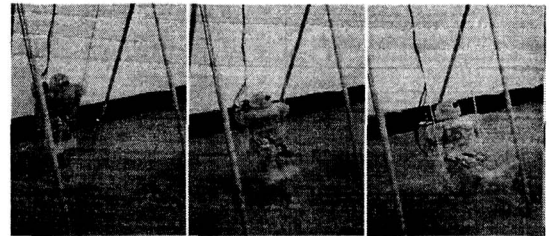


그림 8. 실험

#### 4. 결론

본 논문에서는 탐재형 PDA 주제어기, 직렬 네트워크 기반 관절 제어기, CATIA 설계 데이터를 활용한 그래픽 MMI로 이루어지는 새로운 소형 휴머노이드 로봇을 소개하였다. 또한 본 휴머노이드 로봇에 대해서 그네 힌지의 마찰을 보상하고 지속적으로 진동할 수 있는 발 동작을 계획함으로써 그네 운동을 구현하였다. 현재는 사람의 움직임을 분석하여 발 동작을 계획하였지만, 향후 보다 정량적인 모델에 의해 시스템 에너지 관점에서 그네 운동을 지속할 수 있는 로봇 몸체와 발의 움직임을 계획할 것이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] M.A Pinsky, A.A. Zevin "Oscillations of a pendulum with a periodically varying length and a model of swing", international journal of Non-Linear mechanics, 34, 105-109, 1999
- [2] F.L. Lewis, C. T. Abdallah "Control of robot manipulators" Macmillan Publishing Company, 1993
- [3] J.H. Jin, "A study of small-sized humanoid robot system", master's degree thesis, Chonbuk Nation univ, 2002
- [4] Zilang Zhou, Chad Whiteman "Motion of a double pendulum" nonlinear analysis, theory, method, application. vol 26 No 7 pp. 1177-1191, 1996
- [5] 김주환, 이승건, 주우진, "그네의 원리", 생명과학을 위한 물리학. 탐구과제, 서울대학교, 2001