

## 이족로봇의 방향 및 위치 인식을 위한 관성항법시스템 설계

오성남, 윤동우, 손영익, 김갑일  
 명지대학교 전기공학과

### Design of Inertial Navigation System for Orientation and Localization of Biped Robots

Sung-Nam Oh, Dong-Woo Yun, Young-Ik Son, Kab-Il Kim  
 Dept. of Electrical Eng. Myongji Univ.

**Abstract** - 본 논문의 목적은 이족 로봇이 스스로의 위치, 속도, 자세 등을 판단할 수 있도록 하기 위한 관성항법시스템을 설계하는 것이다. 관성항법시스템은 외부장치의 도움 없이 로봇의 위치, 속도 및 자세 결정이 가능한 독립적인 항법 시스템으로 전과장이나 환경변화에 영향을 받지 않으며, 비교적 정확한 위치정보를 제공한다. 반면 시간이 지남에 따라 오차가 누적된다는 단점이 있으나 좁은 공간에서 단시간 동작하는 이족로봇에 있어 큰 문제가 되지 않는다. 이 관성항법시스템을 이용하여 독립적인 이족 로봇이 위치, 속도 및 자세를 판단 가능하여 보다 지능적인 임무를 수행할 수 있다. 본 연구에서는 관성항법시스템의 구조와 이론적 배경을 통한 설계, 그리고 이족로봇에 적용을 위한 방법을 제시한다.

#### 1. 서 론

인간과 같은 보행방식으로 이동하는 이족로봇은 바퀴를 이용한 것과는 달리 자신의 위치와 자세에 대한 정확한 정보를 얻기 어렵다. 때문에 관성을 이용한 정밀 센서를 장착하는 것으로 문제를 해결할 수 있다. 그중 가속도에 대한 정보는 자이로 센서에 의해 얻어지게 되고 가속도에 대한 정보는 가속도센서에 의해 얻어지게 된다. 관성항법시스템(INS)은 외부장치의 도움 없이 로봇의 위치, 속도 및 자세 결정이 가능한 독립적인 항법 시스템으로 전과장이나 환경변화에 영향을 받지 않으며, 비교적 정확한 위치정보를 제공한다. 관성항법시스템은 관성 센서를 적용하여 미국에서 1966년에 개발 되어 위성레도 진입에 처음 사용되었다. 그리고 고정밀 위치 탐색이나 무인 항공기의 위치 및 방향 인식에 적용되어 그 성능을 여러 연구 결과로 나타나고 있다. 또한 오차를 줄이기 위한 필터기술 및 성능 평가를 위한 연구도 함께 진행되고 있다. 본 논문에서는 칼만필터 관련자료 및 참고문헌 [6][7]의 이론을 바탕으로 센서신호의 잡음을 제거하여 향상된 성능의 관성항법시스템을 설계하였다.

이족 로봇의 제작에 관한 연구는 최초로 KATO의 WL-5를 통한 보행에서 시작하였다.[1] 최근 일본의 ASIMO와 독일의 Johnnie는 인간과 거의 흡사한 걸음으로 2km/h 이상의 보행이 가능하게 되었다.[2] 이와 견줄만한 국내의 로봇들도 뛰어난 성능을 나타내고 있다.[3-5] 그러나 이러한 이족로봇은 보행 성능 위주로 개발되어 인공지능이나 위치인식에서는 많은 개선점이 남아있다. 본 논문의 목적은 이족 로봇이 스스로의 위치, 속도, 자세 등을 판단할 수 있도록 하기 위한 관성항법시스템을 설계하는 것이다. 이 관성항법시스템을 이용하여 독립적인 이족 로봇이 위치, 속도 및 자세를 판단 가능하여 보다 지능적인 임무를 수행할 수 있다. 본 연구에서는 관성항법시스템의 구조와 이론적 배경을 통한 설계와 검증, 그리고 이족로봇에 적용을 위한 방법을 제시한다. 본 논문에서 다루어진 자세 및 위치 인식 연구를 통하여 이족 로봇의 기술을 한 단계 높이는데 기여하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 관성항법시스템 구성

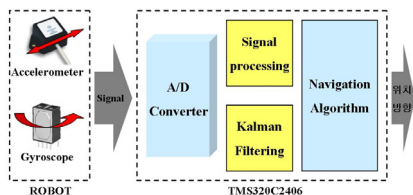


그림 2 관성항법시스템(INS)의 블록도

다음 그림 1은 관성항법시스템의 블록도를 나타내고 있다. 3축의 가속도계와 3축의 각속도계로부터 값을 얻어 칼만 필터를 통해 잡음 섞인 신호에서 순수정보만을 추정한다. 그 다음 항법알고리즘을 사용하여 로봇의 자세와 위치 및 속도 정보를 계산한다. 외부의 도움 없이 INS가 계산한 자세 및 위치 정보는 이족로봇에 전송되어 위치인식이나 MAP 생성 알고리즘에 적용된다.

##### 2.2 전체 시스템의 구성

전체 시스템의 구조는 그림 1과 같다. 각 관절은 내부적으로 위치제어를 할 수 있는 ROBOTIS사의 로봇 전용 서보모터를 사용하였다.

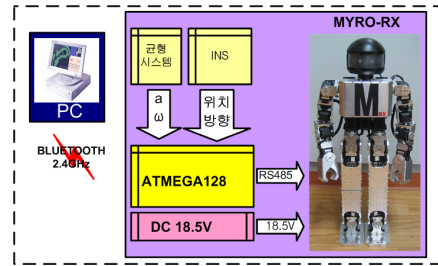


그림 3 전체시스템의 구성

24개의 관절을 제어하기 위한 메인 제어기는 ATMEGA128을 사용하였으며 1Mbps의 속도로 멀티드롭 방식의 통신이 가능하다. 또한 블루투스를 내장하여 외부의 PC에서 근거리 원격 제어를 할 수 있다. 로봇은 INS와 별도의 균형시스템 추가로 보행 시 외란에 강하고 경사면이나 미지의 지형도 보행가능하다.

##### 표 1 로봇(MYRO-RX)의 사양

구분	길이	자유도	무게	모터 토크
머리	90mm	1D.O.F	0.1kg	28kg/cm
팔	240mm	10D.O.F	1.4kg	28kg/cm
몸통(허리)	240mm	1D.O.F	1.3kg	64kg/cm
다리	270mm	12D.O.F	2.2kg	64kg/cm
전체	600mm	24D.O.F	5kg	

##### 2.3 관성항법센서

이족로봇에 탑재가 가능한 소형사이즈로 x,y,z축에 대한 직각을 유지하여 장착할 수 있도록 그림 3과 같이 3축의 가속도계(CXL02LF3) 1개와 1축의 각속도계(CRS-03) 3개로 구성하였다.



그림 4 관성항법센서 모듈

가속도계는 저급 성능으로 미국 Crossbow사의 CXL02LF3이며 가속도계는 일본 Silicon Sensing System사의 CRS-03이다. 센서의 사양은 표2와 표3에 종합하여 나타내었다.

표 2 각속도계(CRS-03)의 사양

Voltage (Vdc)	Range (°/sec)	Scale Factor (mv/°/sec.)	Linearity (%FS)	Bandwidth (Hz)
5	±100	20	0.5	10

표 3 3축 가속도계(CXL02LF3)의 사양

Voltage (Vdc)	Range (g)	Sensitivity (V/g)	Linearity (%FS)	Bandwidth (Hz)	Noise (mg)
5	±2	1	+/-1	0.5	1.5

### 2.4 확장 칼만 필터

칼만 필터는 이미 위성의 궤도결정이나 비행기, 미사일 유도 등 잡음으로부터 신호를 찾아내기 위해 사용되고 있다. 본 연구에서도 사용된 관성센서의 정보는 비선형 특성을 가지므로 보다 정확한 정보를 얻기 위해 칼만 필터를 적용하였다. 비선형의 대상 시스템의 방정식은 일반적으로 다음과 같은 형태로 표현되어진다.

$$x_{k+1} = Ax_k + w_k \quad (1)$$

$$y_k = Cx_k + z_k \quad (2)$$

식(1)과 식(2)에서 x와 y는 상태변수와 측정치를 의미하며 w와 z는 프로세서 잡음과 측정 잡음을 의미한다.

다음은 확장칼만필터로 시간 k에서 측정치가 유입되었을 때 상태변수와 오차공분산의 추정치를 갱신하는 단계로 다음 수식을 사용한다.

$$K_k = AP_k S_k^{-1} \quad (3)$$

$$P_{k+1} = AP_k A^T + Q - AP_k S_k^{-1} P_k A^T \quad (4)$$

$$\hat{x}_{k+1} = A\hat{x}_k + K_k(y_{k+1} - A\hat{x}_k) \quad (5)$$

K는 필터게인, P는 상태변수 오차공분산행렬,  $\hat{x}$ 은 상태변수의 추정치, Q는 프로세서 잡음의 강도 행렬을 나타낸다. 파라미터의 일부는 센서의 잡음 특성을 통하여 선택된다.

### 2.5 Navigation 알고리즘

본 연구에서 다루는 항법시스템은 위성이나 비행기, 자동차와 같이 광범위한 공간을 대상으로 하는 것과 달리 건물이나 일정 공간 내에서 이동하는 이족로봇에 적용되기 때문에 항법 알고리즘은 축소된 파라미터만을 사용한다. 좌표계는 로봇의 기준좌표계와 동체좌표계로만 구성되어 자세 및 속도를 간단하게 계산할 수 있도록 하였다.

#### 2.5.1 초기 정렬 알고리즘

초기 개략정렬은 정지 상태에서의 지구 중력과 가속도 및 지구 자전 각속도를 이용하여 자세를 구하는 과정이다. 수평축 개략정렬 알고리즘으로 기준좌표계와 동체좌표계 사이에서 중력가속도 g를 이용하여 다음 식을 이용한다.

$$f^b = C_n^b f^n \quad (6)$$

$$f^b = \begin{bmatrix} g \sin \theta \\ -g \sin \phi \cos \theta \\ -g \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix} \quad (7)$$

가속도계에서 측정되는 값인  $f^b$ 는 초기 자세와 중력 g와 밀접한 관계로 이루어져 있어 기준좌표계와 동체좌표계 사이의 좌표변환 행렬  $C_n^b$ 로 나타낼 수 있다.

#### 2.5.2 자세계산 알고리즘

본 연구에서는 자세계산은 최소한의 매개 변수(롤, 피치, 요)로 계산 가능한 오일러 각 방법(Euler Angle method)을 사용하였다. 칼만필터로 추정된 방향 정보는 식 (9)의 오일러 각 방법을 사용하여 로봇의 자세를 결정 짓는다.

$$\begin{bmatrix} x'''' \\ y'''' \\ z'''' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi \cos \phi & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (8)$$

$x, y, z$  : 기준좌표계

$x'', y'', z''$  : 동체좌표계

#### 2.5.3 속도 와 위치계산 알고리즘

관성항법시스템은 물체의 움직임을 가속도계와 각속도계로 감지하여

변화된 위치와 방향을 계산하지만 지구에는 중력가속도가 존재하므로 중력가속도 성분을 제거해야한다. 식(7)의  $f^b$ 를 이용하여 다음과 같이 중력가속도 성분을 제거하여 위치를 계산한다.

$$\dot{x} = (v_x + f_x \Delta t) \cos \psi \quad (9)$$

$$x(t + \Delta t) = x(t) + \dot{x} \Delta t \quad (10)$$

$v_x$  : 각 좌표에 대한 속도

### 2.6 칼만필터 시험

칼만 필터의 성능을 분석하기 위하여 실제 측정 환경을 고려한 가상의 신호데이터를 이용하여 로봇의 위치를 추정하였다. 그림 4는 60초 동안 120 Sample을 했을 때 얻어진 위치에 대한 측정치와 추정치 그리고 상대변수를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 추정치에서 현저한 잡음 감소를 확인할 수 있다.

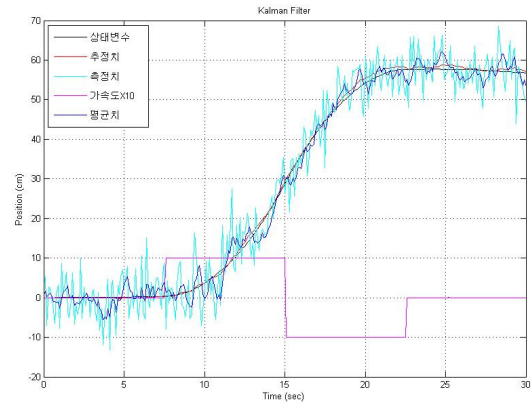


그림 5 칼만필터 성능

### 3. 결론

본 연구는 이족로봇의 자세와 위치 인식을 위해 가속도계와 각속도계를 이용한 관성항법시스템 설계를 기술하였다. 우선 연구를 위해 높이 60cm, 무게 5kg인 중소형 사이즈의 이족로봇을 제작하였고 로봇은 균형 시스템을 가지고 있어 안정적인 보행이 가능하다. 관성항법시스템은 3개의 1축 가속도계와 1개의 3축 가속도계로 이루어졌으며 이족로봇에 장착이 가능하도록 소형으로 제작되었다. 오차 최소화를 위해 칼만필터를 설계하여 잡음에서 신호를 추정하는 시뮬레이션을 통해 그 성능을 입증하였다. 또한 오일러 각 방법을 이용한 간단한 항법알고리즘을 사용해 로봇의 초기 정렬, 자세계산, 위치계산을 위한 알고리즘을 제시했다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 / 한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음 (차세대전력기술연구센터)

#### [참고 문헌]

[1] Jin-ichi Yamaguchi, Atsuo Takanishi, and Ichiro Kato, "Development of a Biped Walking Robot Compensating for Three-Axis Moment By Trunk Motion", Proc. of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp 561-566, Jul. 1993

[2] Loffler, K., Gienger, M. and Pfeiffer, F., "Sensor and Control Design of a Dynamically Stable Biped Robot", IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003,

[3] D.J. Kim and K.I. Kim, "Design of Small Power Biped by Load Sharing of Walking Gait", Proc. of the IEEE International Conference on R & A, Apr. 2000.

[4] J.Y. Kim and J.H. Oh, "Design and Hardware Integration of Humanoid Robot Platform KHR-2", 대한기계학회 2004년도 추계학술논문집, pp 579-584, 2004

[5] 임승철, 김갑일, 손영익, 강환일, 오성남, "소아 크기의 동보행 인간형 로봇의 개발: MHR-1", 대한기계학회 2006년도 추계학술대회 논문집, pp. 729-734, 11.1-11.3, 2006.

[6] 박봉규, 안대성 "칼만필터를 이용한 무중화위성 궤도 결정 성능분석 연구", 한국우주항공학회지, 제18권 제8호, pp 98-108, 2000

[7] S.J. Lee "Performance Analysis of Strapdown Inertion Navigation System", 항공우주기술 제1권 제1호, pp 28-41, 2002