

시각장애인 유도 로봇의 자기 위치 추정을 위한 관성 항법 시스템의 설계 및 구현

심현민, 고민수, *이웅혁, 홍승홍

인하대학교 전자공학과

* 한국산업기술대학교 전자공학과

전화 : 032)868-4691 / 핸드폰 : 019-241-8941

Design and Implementation of INS for Self Localization of the Guidance Robot for the Visually Impaired

Hyeon Min Shim, Min Soo Go, *Eung Hyuk Lee, Seung Hong Hong

Dept. of Electronic Engineering, Inha University

*Dept. of Electronic Engineering, Korea Polytechnic University

e-mail : elecage@hitel.net

Abstract

In this paper we suggest Inertial navigation system(INS) for the guidance robot for the visually impaired. we use 3 gyroscopes and 3 accelerometers and calculate using pentium III computer. we can acquire altitude and position of the guidance robot using this system.

I. 서론

사람은 일생을 살아가는 동안 생활정보의 85% 이상을 시각을 통해 획득하고 있기 때문에 시력을 잃는다는 것은 한 개인의 삶에 심각한 장애를 가져오게 된다. 한국 보건사회 연구원이 2000년에 실시한 장애인 실태조사를 살펴보면 국내 장애인은 약 140만 여명으로 전체 인구의 약 3.09%이며 이중 약 18만여 명이 시각장애인이다.

시각 장애인이 느끼는 생활에서의 불편함은 여러 가지가 있지만 그 중에서도 심각한 부분이 이동권이다. 시각 장애인의 경우 보행에는 보행 폭, 보행 거리, 발바닥의 감촉, 소리 등에 의존할 수 밖에 없어 직선 보도에서는 비교적 편찮으나 구불구불한 길은 어렵고 도로 양측의 위치를 모르

므로 단차나 웅덩이에 떨어질 위험이 있다. 또 신호등이 보이지 않아 위험하고 노상의 장애물을 인식할 수 없으며 위험물을 인식할 수 없는 등 많은 어려움이 있다[6].

따라서 시각 장애인이 보다 편리한 생활을 영위하도록 적절한 보조 장비가 필요한데 이중 전자·전기 기반의 시각 장애인 보행 보조 기기를 ETA(Electrical Travelling Aided)라고 하며 ETA에 로봇 기술을 접목시켜 보다 향상된 기능을 제공하는 시각 장애인 보행 보조 기기를 RTA(Robotic Travelling Aided)라고 한다. 지금까지 연구되어 왔거나 현재에도 연구되고 있는 대표적인 RTA는 미시간 대학의 Guide cane[1], 일본 야마나시 대학의 Harunobu[5] 등이 있다.

RTA는 장애물의 위치를 판별하고 장애물 회피를 유도하며 자신의 위치 정보를 시각 장애인에게 제공하며 시각 장애인이 보다 안전하게 이동할 수 있도록 안내하는 등의 기능이 필요하다.

본 논문은 이러한 기능 중 외부 기준이 없는 상태에서 자신의 위치를 추적할 수 있는 대표적인 항법인 관성 항법을 시각 장애인 유도로봇에 적용하기 위해 관성 항법 시스템(Inertial Navigation System : INS)를 설계하고 구현하였다.

II. 관성 항법 시스템(INS)

INS는 가속도계(accelerometer) 및 각속도계(gyroscope)와 같은 관성 센서를 이용하여 운동하는 동체 내부에 실장된 상태로 자신의 위치를 추정하는 항법 시스템이다. 관성 항법(Inertial Navigation)은 항공기 및 선박, 미사일등에 많이 사용하는 시스템으로서 천체 관측 항법(Celestial navigation), 전파 항법(Radio navigation)등과 달리 외부 기준점을 필요로 하지 않는다. 또한 일반적인 이동 로봇에서 많이 사용하는 방법인 추측 항법(Dead Reckoning : DR)이 주행 노면의 굴곡과 경사, 마찰면의 상태 등에 대한 정보를 획득할 수 없어 이에 대해 큰 오차가 발생하는데 비해 외부 충격에 대한 정보도 감지할 수 있으므로 주행 노면에 굴곡과 경사가 많은 외부 환경에서도 적합한 항법 시스템이라 할 수 있겠다.

INS의 기계화 기법은 1923년 독일의 Schuler가 처음 제안하였는데 그가 제안한 시스템은 지구 반경 전자 기반의 시스템이었다. 가속도 기반의 INS는 1938년 Boykow가 처음으로 제안하였다.

INS는 관성 계측 장치(Inertial Measurement Unit : IMU)와 항법 계산기로 구성되어 있다. IMU는 관성 기준 장치(Inertial Reference Unit : IRU)라고도 불리며 일반적으로 3개의 가속도계와 3개의 각속도계로 구성되어 있다. IMU는 본체의 각속도 운동 및 가속도 운동을 감지하며 1개 혹은 여러 개의 프로세서로 구성된 항법 계산기는 뉴턴의 운동 법칙을 이용하여 현재의 속도 및 위치, 방위 등을 계산한다.

INS는 그 형태에 따라 짐벌(Gimbal)형과 스트랩다운(strapdown) 형으로 구분한다. 초기의 INS는 외부 회전계와 격리된 회전 격자인 짐벌에 센서를 장착하여 관성 인자들을 감지하는 짐벌형 INS가 주를 이루었으나 크기, 소비전력, 기계적 오차의 감소 및 안정성 및 신뢰도의 향상을 위하여 최근에는 스트랩다운 형의 INS(SDINS)가 주를 이루며 본 논문에서 제안하는 INS 시스템 역시 소형, 저전력을 요구하며 저속의 보행에 적합한 신뢰성이 요구되므로 SDINS를 채택하였다.

III. 관성 측정 장치(Inertial Measurement Unit : IMU)

IMU를 구성하는 관성 센서들로는 가속도를

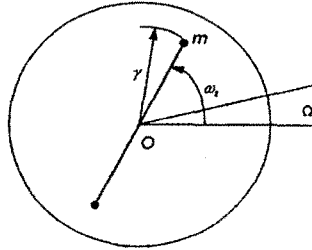


그림 1 코리올리 효과

측정하는 각속도계(gyroscope)와 가속도를 측정하는 가속도계(accelerometer)가 각 좌표축별로 존재하게 된다. 항법 컴퓨터는 IMU에 의해 측정된 가속도 및 각속도를 이용하여 방향, 속도, 거리등을 계산하여 동체의 위치를 계산한다.

3.1 각속도계(gyroscope)

각속도계는 각모멘트를 이용하는 센서, 코리올리 효과를 이용하는 센서, 사냥 효과(Sagnac effect)를 이용하는 센서 등이 있는데 각모멘트를 이용하는 방식의 각속도계는 크기가 크고 제조상의 정밀도를 높이는 데 어려움이 있으며 기계적 오차가 커 신뢰성의 문제가 많으므로 최근에는 잘 사용하지 않는 방식이며 사냥 효과를 이용한 각속도계인 링레이저 자이로(Ring Laser Gyro : RLG)나 광섬유 자이로(Fiber Optic Gyro : FOG)는 정밀하지만 고가이므로 본 논문에서는 코리올리 효과를 이용한 실리콘 진동형 센서를 사용하였다. 실리콘 진동형 센서에서 사용하는 물리적 성질인 코리올리 효과는 다음과 같다.

그림 1과 같이 정지한 평판의 한 점 O를 중심으로 ω의 각속도로 질량 m이 회전하고 있을 때, 평판 자체가 O를 중심으로 천천히 Ω라는 각속도로 돌고 있다면, m이라는 질량에 생긴 원심력 F는 식 (1)과 같이 된다.

$$F = m\omega(\omega + \Omega)^2 = m\omega\omega^2 + 2m\omega\Omega + m\omega\Omega^2 \quad (1)$$

여기서 $v=r\omega$ 이고, 평판을 기준으로 한 m의 회전속도이다. 식 (4-1)의 1항은 평판을 기준으로 한 좌표에서 측정된 경우의 원심력이고, 제 2항은 m의 회전 ω와 평판의 회전 Ω의 벡터곱의 힘이며, 그것은 v와 Ω에 직각 방향의 힘이고 이것이

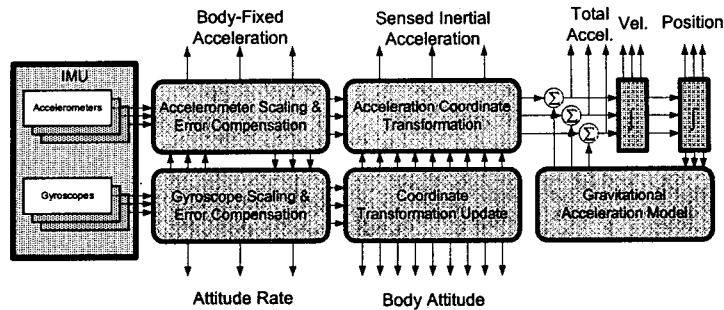


그림 2 Strapdown형 INS 블록 다이어그램

이른바 코리올리의 힘 $2m\omega$ 및 제 3항의 $m\Omega^2$ 이 작용하는 것이다. 이 코리올리의 힘은 $\omega=0$ 일 때는 0이 되고 Ω 의 측정은 제 3항을 검출하는 것이 된다. 보통 Ω 은 작으므로 그 힘도 작다. 그러나 $\omega \neq 0$ 이 되어 $\omega \gg \Omega$ 인 각속도로 회전시켜 두면 $2m\omega\Omega$ 라는 비교적 큰 힘을 검출하여 Ω 값을 측정할 수 있다.

이와 같이 코리올리의 힘을 이용하면 회전하는 물체의 각속도 Ω 를 검출할 수 있다. Ω 자체의 측정을 목적으로 하는 각속도계를 레이트(rate) 센서라고도 한다.

3.2 가속도계(accelerometer)

가속도계가 회전운동을 감지하는 반면 가속도계는 병진운동(並進運動)을 감지하는 센서이다. 가속도계는 INS에서의 가속도 측정 뿐 아니라 수평계, 중력 측정기, 진동계 등에도 사용된다.

가속도계는 뉴턴의 제 2 운동법칙($F=ma$)를 이용하여 표준 질량 상수 m 과 센서에 가해지는 힘 F 로 가속도 a 를 계산한다. 가속도계는 크게 진자형, 진동형, 반도체 압저항형, 반도체 용량형 등이 있다.

진자형 가속도계는 마찰이 적은 피벗 베어링으로 진자를 지지한다. 만약 한쪽 방향으로 가속도가 가해지면 진자는 반대 방향으로 변위하고 이 변위를 측정하여 가속도를 구한다.

진동형 가속도계는 표준 질량 m 을 양측에서 현으로 지지하고 현의 진동수 f_1, f_2 의 차이를 검출한다. 만약 한쪽으로 가속도가 가해지면 현의 장력에 차가 생겨, 그 주파수 차이로 가속도를 구할 수 있다.

진자형이나 진동형 가속도계가 구조가 복잡하고, 크고, 무거우며, 규격 양산이 힘들어 신뢰성이

낮고 가격이 높아 그 활용이 제한되는 반면에 반도체식 가속도선서는 MEMS 기술을 이용하여 집적되어 정교하고, 신뢰성이 높고, 소형·경량이며, 규격화 양산화가 쉬우며 저가이기 때문에 널리 사용되고 있다. 반도체식에는 주로 실리콘을 사용한다.

압저항형의 경우 진동 질량이 캔틸레버(Cantilever) 빔에 매달려 있는 형태로써 압저항 요소 R_a 가 확산층으로 캔틸레버에 형성되어 있다. 만약 가속도가 가해지면 캔틸레버 빔에 힘이 가해지며 이 힘에 대한 저항 변화를 측정하여 가속도를 구할 수 있다.

용량형 센서는 질량의 변위가 움직이는 전극과 고정되어 있는 한쪽 전극 사이의 커패시턴스의 변화로써 측정된다. 상대적인 커패시턴스의 변화는 압저항 센서의 상대적 저항 변화보다 훨씬 클 수 있어 용량형 센서는 높은 감도를 가진다. 그러나 커패시턴스의 값이 매우 작으므로 커패시턴스 검출 회로는 기생 커패시턴스와 잡음의 영향을 피하기 위해 센서 커패시터에 아주 가깝게 위치시켜 주어야 하며 CMOS와 같은 고임피던스 회로를 이용하여 검출한다.

IV. 실제 INS의 구현

본 논문에서 사용한 Strapdown형 INS의 구현은 그림 2와 같다. 먼저 가속도계와 각속도계의 오차를 보정 한 후 자세 계산과 위치 계산을 위한 좌표 변환을 행한다. 이렇게 나온 가속도 및 각속도로부터 속도와 위치를 추출해낸다.

본 논문에서 사용한 가속도계는 Silicon Sensing Systems Japan Ltd.의 세라믹 진동형 가속도계 CRS03-04를 사용하였으며 가속도계는 Analog Device의 ADXL-202E를 사용하였다.

CRS03-04의 공급 전원은 5V이며 입력 임피던스는 100k Ω 이다. 임피던스 매칭을 위해 센서 출력 단에는 100k Ω 의 병렬 저항과 op-amp를 이용한 버퍼를 삽입하였다.

ADXL-202E는 아날로그 출력과 PWM을 이용한 출력이 가능하며 본 논문에서는 아날로그 출력을 이용하였다. 이 경우 출력 임피던스는 32k Ω 이고 역시 32k Ω 의 병렬 저항과 버퍼를 삽입하였다.

데이터 획득을 위해서는 Data Translation의 DT9804 DAQ를 사용하였다. 인터페이스 방식은 USB이며 Visual C++ ActiveX 컨트롤을 제공한다.

데이터 획득 샘플링 시간은 40Hz로 설정하였으며 이때 입력에서의 앨리어징을 방지하기 위해 차단 주파수가 20Hz인 2차 버터워스 LPF를 삽입하였다. 사용한 op-amp는 출력 전압의 swing폭을 최대화하기 위해 rail-to-rail 방식의 op-amp LM-6134를 사용하였다.

데이터를 처리하고 연산하기 위한 메인 프로세서로는 펜티엄 III 600MHz의 노트북을 사용하였으며 연산을 위한 프로그램 환경으로는 Microsoft Visual C++ 6.0을 사용하였다.

V. 실험 및 고찰

그림 3은 실제로 제작한 INS 시스템 중 IMU 부분이다. 크기 90 \times 90 \times 40mm의 알루미늄 케이스 내에 센서와 버퍼 및 필터를 내장하였다.

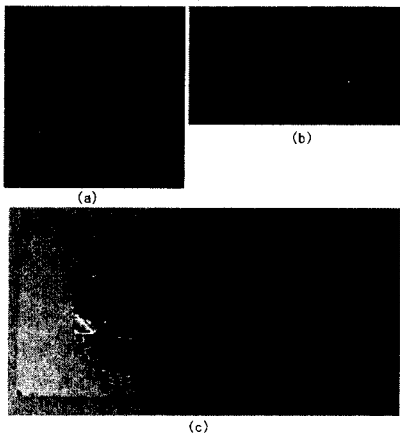


그림 3 제작한 IMU의 사진 (a) 상단면도 (b) 측면도 (c) IMU 내부

그림 4는 IMU로부터 데이터를 획득한 파형이다. 이에 대한 출력 오차는 회전각의 경우 분당 $\pm 10^\circ$ 의 오차를 보였고 거리의 경우 분당 20cm 정도의 오차를 보였다. 이는 센서 출력 및 연산에 아직 많은 오차를 포함하고 있으며 오차 보정을 위한 방안이 필요함을 보인다. 오차의 보정 방법으로는 GPS 등을 이용한 누적 오차의 감소법을 고려해야 할 것이다.

VI. 결론

본 논문에서는 시각 장애인 유도로봇에서의 자기 위치 추정을 위한 INS 시스템을 제시하였다. 향후 연구에서는 누적 오차와 센서 오차의 보정에 대해 다룰 예정이며 기타 이동 로봇의 위치 추정에도 효율적으로 사용되리라 사료된다.

참고 문헌

- [1] I. Ulich and J. Borenstein, "The Guide Cain-Appling Mobile Robot Technologies to Assist the Visually Impaired", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A:Systems and Humans, Vol.31, No. 2, pp.131-136, 2001
- [2] 손병기, "센서공학", 일진사, 1996
- [3] Richard H. Parvin, "Inertial Navigation, Principles of Guided Missile Design", D. Van Nostrand Company, INC., 1962
- [4] Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, and Angus P. Andrews, "Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration", A John Wiley & Sons, 2001
- [5] S. Kotani, T. Nakata, M. Hideo, "A strategy for crossing of the robotic travel aid "Harunobu"", Intelligent Robots and Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE/RSJ International Conference on , Volume: 2, pp. 668-673, 2001
- [6] 오혜경, "장애인 복지학 입문", 아시아미디어 리서치, 1997