

3축 자세 제어용 센서 시스템의 구현

정종원*, 최우진**, 지식준***, 이기영****, 이준탁*
 *동아대학교 전기공학과, ** (주)사라콤, *** (주)한라 레벨, **** 한국전력공사

Implementation of the 3 axes Attitude Control Sensor System

Jong-Won Jeong*, Woo-Jin Choi**, Suk-Jun Ji***, Ki-Young Lee****, Joon-Tark Lee*
 *Dong-A Univ., ** SARACOM Co.LTD., *** Hanla Level Co. LTD., **** KEPCO

Abstract - In this paper, were developed the 3 axes attitude control sensor system to control and monitoring the moving object. The proposed sensor system has been studied in Japan, America for a year ago. But it is high expensive and has a difficulty in application. To overcome these problems, proposed the 3 axes attitude control sensor system is low cost and easily applied. Proposed sensor system is equipped with the 3 gyro sensors, 2 tilt sensors and 3 MR sensors using 80C51 microprocessor for signal processing. It's output value transmit at long distance using RS232 serial communication protocol. We expect this system shall have a good performances in many applications of control and monitoring the moving object.

의 제어 및 모니터링에 효율적으로 적극 응용할 수 있을 것이다.

2. 3축 자세 제어용 센서 시스템

제안하는 3축 자세 제어용 센서 시스템의 기본적인 블록도는 그림 2.1과 같다.

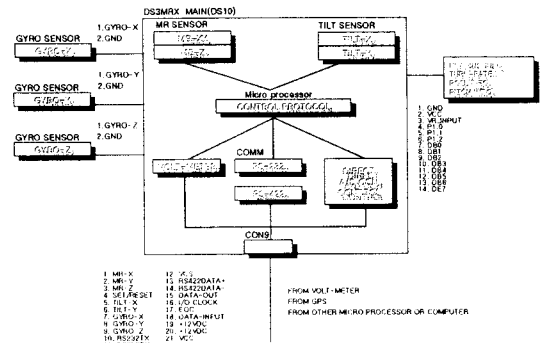


그림 2.1 시스템 기본 블록도

1. 서 론

자동 항법 시스템으로 운용되어지는 선박이나 자동차 및 위성 추적을 위한 지향성 안테나 등에서는 그 정확한 움직임을 모니터링 하는 것이 요구되어진다.

기존의 차량 및 선박 등의 항법 시스템에서 무인 자동 항법 시스템으로의 전환을 위해서는 롤링(Rolling), 요잉(Yawing) 및 피칭(Pitching)과 적산 이동 거리등에 의한 항로의 계산을 요구하고 선박용 지향성 안테나의 경우는 위성을 지향하기 위해 바람, 파도 등으로부터 기인하는 외란 요소에 의한 롤링, 요잉 및 피칭과 같은 선박의 운동에 대해 안테나의 각도를 보상하고, 방위각 및 양각 명령에 대해 안테나를 제어하기 위해 이동체의 정확한 움직임의 모니터링이 요구되어지기 때문이다.

본 연구에서 제작한 3축 자세 제어용 센서 시스템의 경우 2축 경사(Tilt) 센서를 이용하여 이동체의 롤링과 피칭을 감지하고 모듈 내의 함께 사용되어지는 3축 자기 저항(MR : Magneto-Resistive)센서의 기울어짐을 보상하며, 3축 자기 저항 센서를 이용하여 요잉 및 자북을 판별할 수 있도록 하였다. 그리고 급작스런 움직임에 의한 경사 센서의 시간 지연 보상과 자기 변화와 같은 외란에 의한 측정 오차를 줄이기 위하여 3축 각속도 센서를 이용하였다.

개발된 3축 자세 제어용 센서 시스템은 일본, 미국 등과 같은 선진국에서 이미 수년 전부터 그 시작품과 상용 제품이 나와 판매가 되고 있는 실정이지만 아직은 고가인 점과 그 응용이 까다로운 단점이 지적되어 왔다. 이에 본 연구에서 개발되어진 열가형의 3축 자세 제어용 센서 시스템 모듈은 자기 저항 센서, 경사 센서, 각속도(Gyro)센서의 출력을 하나의 보드에 집적화 시키고 80C51 마이크로프로세서 사용하여, 모듈자체의 LCD 패널을 통하여 방위각 및 롤링, 요잉, 피칭 값의 각 값이 확인되는 물론, 원거리의 일반 퍼스널 컴퓨터 혹은 노트북 PC 등으로 RS232 및 RS422 시리얼 통신을 이용하여 각종 센서의 출력 값을 전송 가능케 함으로써 일괄적인 신호처리는 물론이고 각종 다양한 이동 제어 장치

제안된 3축 자세 제어용 센서 시스템은 자자기를 이용하는 자기 저항 센서를 사용하는 절대 방위용 센서의 구성으로서 이는 자이로 센서에 의한 구성에서 나타날 수 있는 드리프트나 랜덤 워크를 피하기 위함이다. 하지만 자기 저항 센서는 자기의 특성에 민감함으로 외부의 자기 외란의 영향을 많이 받게되므로 방위각 및 요잉 측정의 보정용으로 자이로 센서를 함께 사용하였다. 그리고 롤링 및 피칭의 측정을 위하여 절대 기준을 가지는 액체 타입의 2축 경사 센서를 사용하고 이의 보정용으로 자이로 센서의 출력을 이용하였다.

2.1 방위각 및 요각의 측정

방위각 및 요각의 측정을 위해 사용한 센서는 다음의 그림 2.2에서 보이는 Honeywell사의 1축 자기 저항 센서인 HMC1001과 2축 자기 저항 센서인 HMC1002로 감도는 3[mV/V/Gauss]이고 분해능은 ±2[Gauss]이다.



그림 2.2 자기저항 센서

센서는 두 개의 자기적으로 결합된 두 개의 on-chip strap 즉, OFFSET strap와 Set/Reset strap로 구성되어 자기 저항성 소자는 실리콘 wafer상에 NiFe (Permalloy) 박막을 가공하여 저항치가 동일한 4개의 저항성 스트립을 형성하게 하였다. 따라서, 박막 면에 법선

방향으로 외부 자계가 가해지면 인가전류의 각도와 자화 벡터에 직접 관계되는 자기 저항 효과에 의해 Wheatstone 브리지 회로의 저항이 ΔR 만큼 변화하여 출력 전압이 발생한다. 하지만 MR센서는 외부의 자계 변화에 민감하므로 급작스런 자계의 변화에 의한 오차를 유발할 수도 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 각속도 센서를 사용하여 요각의 측정 시에 보정이 되도록 하였다.

일반적으로 지자계는 약 0.5에서 0.6 가우스 정도로 자북의 방향에 대한 이동체의 방향을 3차원으로 분해하면 그림 2.3과 같다.

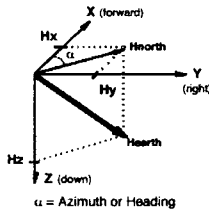


그림 2.3 자기장의 분해

그림 2.3에서 보이는 것과 같이 자북은 x 와 y 축의 분해된 자계의 값만을 이용하면 식 (1)에 의해 결정되어 질 수 있으나 이는 센서가 평행하다는 전제 하에 성립하므로 기울어짐에 대한 보상을 필요로 하며 이를 위해서는 z 축의 값 및 센서의 롤각 및 피치각이 필요하다.

$$\text{Azimuth} = \tan^{-1}(y/x)$$

$$\text{Azimuth}(x=0, y<0) = 90.0$$

$$\text{Azimuth}(x=0, y>0) = 270.0$$

$$\text{Azimuth}(x<0) = 180 - [\tan^{-1}(y/x)] * 180/\pi \quad (1)$$

$$\text{Azimuth}(x>0, y<0) = -\tan^{-1}(y/x) * 180/\pi$$

$$\text{Azimuth}(x>0, y>0) = 360 - \tan^{-1}(y/x) * 180/\pi$$

그림 2.4는 평행한 2차원 지표면에 대해 롤링 및 피칭을 가질 때를 도시한 것으로 이 경우에는 전술되어진 바와 같이 x 와 y 축의 출력 값에 대해 보정이 필요하며 식 (2)에 의해 보정되어진 방위각을 계산한다.

보정에 필요한 롤각과 피치각은 2축 경사 센서에 의한 다.

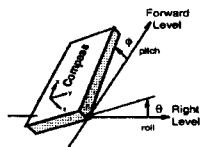


그림 2.4 롤링 및 피칭이 있는 경우

$$X_H = X \cos(\phi) + Y \sin(\theta) \sin(\phi) - Z \cos(\theta) \sin(\phi)$$

$$Y_H = Y \cos(\theta) + Z \sin(\theta) \quad (2)$$

$$\text{Azimuth} = \tan^{-1}(Y_H/X_H)$$

where, ϕ : pitch, θ : roll

방위각의 결정에 있어 또 하나 고려되어야 할 사항은 철제품 등에 의한 지자계의 변화이다. 이를 보상하기 위해서는 철에 의한 영향도를 측정하여 그 값만큼 인위적으로 Offset시키는 것이다. 이 경우 다음의 식 (3)을 이용하여 보상할 수 있다.

$$\begin{aligned} X_{\text{value}} &= X_{sf} \times X_{\text{reading}} + X_{\text{off}} \\ Y_{\text{value}} &= Y_{sf} \times Y_{\text{reading}} + Y_{\text{off}} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, X_{sf} 와 Y_{sf} 는 원과 타원과의 크기를 나타내는 값으로 X_{sf} , Y_{sf} , X_{off} , Y_{off} 는 아래와 같고 각각의 값의 결정은 식 (4)에 의한다.

1. MR센서를 이동체에 탑재하고 원형으로 운전을 한다.
2. 자기센서가 읽은 최대, 최소의 X,Y값을 찾는다.
3. 위의 4가지 값으로서 스케일 팩터와 옴셋값을 구한다.

$$\begin{aligned} X_{sf} &= 1 \text{ or } (Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \text{ 둘중 큰값} \\ Y_{sf} &= 1 \text{ or } (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) / (Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}) \text{ 둘중 큰값} \quad (4) \\ X_{\text{off}} &= [(X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) / 2 - X_{\text{max}}] \times X_{sf} \\ Y_{\text{off}} &= [(Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}) / 2 - Y_{\text{max}}] \times Y_{sf} \end{aligned}$$

그림 2.5와 그림 2.6은 자기 저항 센서의 신호 처리 회로이다. 그림 2.5에서 보여지는 것과 같이 1축 자기 저항 센서인 HMC1001과 2축 자기 저항 센서인 HMC1002를 이용하여 3축 자기 저항 센서를 구성하였으며 각 출력은 TL064 OP AMP로 입력되어 증폭된다. TL064 OP AMP의 출력은 경사 센서와 가속도 센서의 출력과 함께 12-bit, 11-channel AD컨버터인 TLC2543과 80C51 마이크로프로세서로 입력되어지며 모뎀 자체에 부착되어진 LCD에 각 출력값을 나타내고 시리얼 인터페이스를 통해 외부로 전달되어진다.

그림 2.6은 TL064 OP AMP의 기준 전압(2.5[V])을 만들어 주기 위한 회로이다.

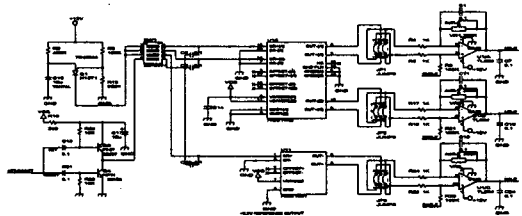


그림 2.5 3축 MR센서의 회로

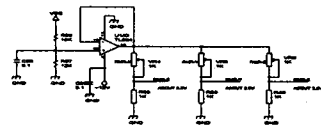


그림 2.6 기준 전압 발생 회로

2.2 롤각 및 피치각의 측정

롤각 및 피치각의 측정에 사용한 경사 센서는 다음의 그림 2.7에 보이는 Spectron사의 SP5003-A-005로 분해능은 $0.005[^\circ]$ 이며, 측정범위는 $\pm 30^\circ$ 이다. 이 센서는 하나의 센서로 2축의 경사각을 측정할 수 있는 장점이 있으나, 이것은 전압의 위상변화를 이용한 센서이므로 특별한 신호처리 회로가 필요할 뿐만 아니라, 응답속도가 느린 단점이 있다. 따라서, 순간적인 움직임의 변화는 보상하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 각속도 센서를 이용하였다. 각속도 센서는 각의 변화를 감지하는 센서로, 순간적인 각운동을 감지한다. 본 연구에서 이용한 각속도 센서는 그림 2.8에서 보는 바와 같이 Murata사의 Gyrostar 시리즈 중 하나인 ENV-05A의 압전 자이로를 사용하였다. 이것은 $0.1[^\circ/\text{sec}]$ 의 분해능을

로 최대 $\pm 90[^\circ/\text{sec}]$ 까지 각속도 측정이 가능한 센서이다. 출력은 유니폴라 아날로그 출력(Unipolar Analogue output)이므로 간단한 RC 로패스 필터를 이용하여 TLC2543의 A/D 채널로 입력하였다.



그림 2.7 경사센서



그림 2.8 각속도 센서

그림 2.9 및 그림 2.10은 경사 센서의 신호 처리 회로이다. 경사 센서는 4[kHz]의 구동파를 8051의 P0.3 포트로 만들어 입력하고, 그 출력을 동기 검파 하여 위상차만큼의 전압을 검출한다. 그리고 액티브 로패스 필터를 거쳐 DC 성분의 아날로그 값으로 만들어 내는 형태로 제작하였다.

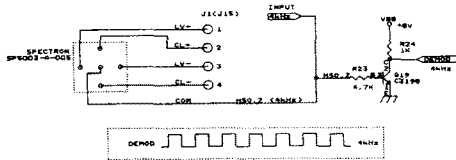


그림 2.9 경사 센서의 구동부(4kHz)

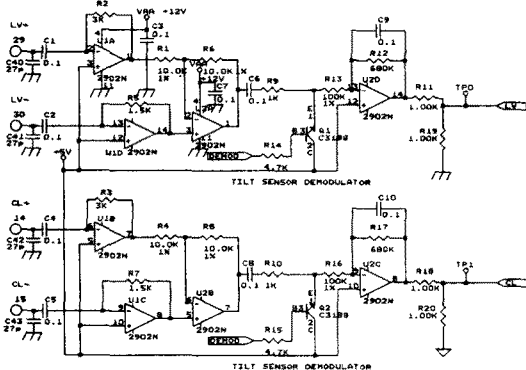


그림 2.10 경사 센서의 신호처리 회로도

이상으로 센서의 특성과 그 신호 처리 방식을 설명하였다. 한편, 제어를 하지 않을 경우 모듈 전체의 회전 방향과 센서의 출력극성의 관계를 살펴보면, 표 1과 같다. 축의 회전 방향은 모듈의 후방에서 바라본 경우를 기준으로 하였다.

그림 2.11, 그림 2.12, 그림 2.13 및 그림 2.14는 제작된 센서 시스템의 실물 사진이다.

표 1. 안테나 동작과 센서 출력 극성의 관계

시스템 센서	CW	CCW	비고
경사 센서(X)	(+)극성	(-)극성	중간값 기준
경사 센서(Y)	(+)극성	(-)극성	중간값 기준
각속도 센서(X)	(+)극성	(-)극성	중간값 기준
각속도 센서(Y)	(+)극성	(-)극성	중간값 기준
각속도 센서(Z)	(+)극성	(-)극성	중간값 기준
MR센서(X)	(+)극성	(-)극성	중간값 기준
MR센서(Y)	(+)극성	(-)극성	중간값 기준
MR센서(Z)	(+)극성	(-)극성	중간값 기준

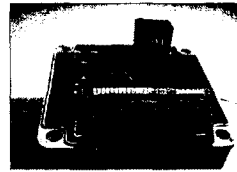


그림 2.11 개발 제품 외형

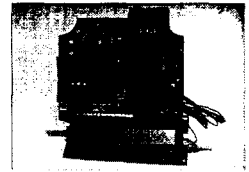


그림 2.12 개발 제품 내형

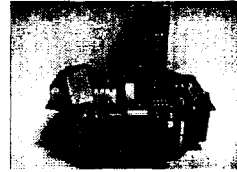


그림 2.13 개발 제품 내형

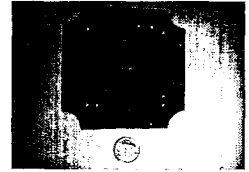


그림 2.14 개발 제품의 PCB

3. 결 론

본 연구에서 개발되어진 3축 자세 제어용 센서 시스템은 기존의 3축 자세 제어 및 모니터링을 위한 센서모듈의 고가격과 응용에의 제한성을 극복하고자 제작되었다. 육상 및 해상 자동 항법 시스템으로의 전환을 위해 절대적인 3축 자세 제어 및 모니터링을 위한 염가형의 센서 모듈의 개발은 해상이나 육상 등의 이동체에 3축 자세 제어용 센서 모듈을 장착함으로써, 고가의 장비를 대체할 수 있을 것을 예상되고 또한 각종 다양한 이동 제어 장치의 제어 및 감시에 효율적이고, 저가로 공급함으로써, 그 효율성을 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 다양한 대상 시스템에 능동적이고 효율적인 인터페이스를 위한 소프트웨어의 개발과 부합되어진다면 다양한 분야에서의 활용 및 적용 가능성이 높을 것이라 사료되어진다.

본 연구는 2000년도 동아대학교 산학협력연구센터의 '산·학·연 공동기술개발 지역컨소시엄 사업'에 따른 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Michael J. Caruso, "Applications of Magnetoresistive Sensors in Navigation Systems", Honeywell Inc.
- [2] 권용수, 김성진, 이상식, 배정철, 이석정, 최우진, "광파이버 자이로컴파스 구동 시스템에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 7, 1996.
- [3] 김상겸, 양승규, 윤득선, 김정하, "자동차 항법용 혼합항법 알고리즘 개발", Proceedings of the 12th KACC, 10, 1997.
- [4] David K. Cheng, "Fundamentals of Engineering Electromagnetics", Addison-Wesley, 1993.
- [5] H. R. Everett, "Sensors for Mobile Robots Theory and Application", A K PETERS, Ltd., pp. 305-326, 1995.
- [6] 정종원, 윤영진, 허남, 이영진, 이만형, "무인자동차 항법용 MR 센서의 특성분석 및 3차원 자립항법 알고리즘에 관한 연구", Proceedings of the 14th Korea Automatic Control Conference, pp. 337-340, October 1999.
- [7] Richard R. Brooks and S. S. Iyengar, "Multi-Sensor Fusion : Fundamentals and Applications with Software", Prentice-Hall, Inc. 1998.
- [8] "magnetic Sensors Data Sheets", Solid State Electronics Center, Honeywell Inc., 1996.