

논문 2008-45IE-4-3

다족형 로봇의 자세 제어 시스템 설계 및 구현에 관한 연구

(A Study On Design & Implementation of An Attitude Control System of a Lot of Legs Robots)

남 상 엽*, 홍 성 호**, 김 석 중**

(Sang-Yep Nam, Sung-Ho Hong, and Suk-Joong Kim)

요 약

본 연구는 다족 로봇용 자세제어장치(ACS - Attitude Control System)인 관성측정 시스템(IMU)의 H/W 설계와 자세제어 알고리즘 S/W을 설계하여 다관절용 로봇의 IMU 통합시스템을 구현 후 이 시스템의 동작성능을 검증하기 위해 Mtx와 MTx와의 성능을 비교 및 검증을 하고자 한다. ACS는 자이로와 가속도계 그리고 지자기 센서를 이용하여 항체의 롤, 피치각 자세를 제어하는 시스템이다. 일반적인 저가형 MEMS 관성센서로는 오차가 심하게 발생하여 항체의 정확한 위치를 계산하기 힘들다. 본 연구에서는 ACS를 개발하기 위하여 상용의 MEMS 가속도계 및 자이로 센서, 추가적으로 지자기 센서를 사용하여 관성측정 시스템(IMU)을 구현한다. 구현된 IMU 시스템에 자세계산 프로그램을 내장하여 일정 성능을 보장하는 롤, 피치, 요 자세각 알고리즘을 설계하여 시스템에 포팅한다. 본 연구에서는 자이로와 가속도계 출력을 혼합하여 롤, 피치각을 보상함으로써 지속적으로 일정 수준이상의 성능을 보장하는 ACS를 구현하기위해 목표 플랫폼에 적재하여 실시간으로 구동하여 포팅하고 검증하였다.

Abstract

This study is implementation of attitude control system(ACS - Attitude Control System). for a multi legs robot. This study designs H/W of Inertial Measurement Unit (IMU) and attitude control algorithm S/W. Compare performance with Mtx and MTx in order to verify action performance of this system after implementation, and will verify a system integrated IMU of a multi-legs robot. ACS uses Gyro and an accelerometer and an earth magnetism sensor, and it is a system controlling a roll, pitch angle attitude of an object. Generally, low price MEMS is difficult to calculate a correct situation of an object as an error occurs severely the Inertial sensor. This study implements IMU in order to develop ACS as use MEMS, accelerometer, Gyro sensor and earth magnetism sensor. Design algorithm each a roll, pitch, yaw attitude guaranteeing regular performance, and do poting in a system as include an attitude calculation program in an IMU system implemented. Mixed output of Gyro and an accelerometer, and recompensed a roll, pitch angle, and loaded in this study on a target platform in order to implement the ACS which guaranteed performance more than a continuously regular level, and operated by real time, and did porting, and verified.

Keywords : IMU, ACS, MEMS, 관성제어 알고리즘, 로봇시뮬레이터

I. 서 론

다족용 로봇에 사용되는 센서는 저가이며 소형인 MEMS형 관성센서를 이용한다. 일반적으로 저가의 MEMS 관성센서는 사용목적에 따라 동적 출력 특성과 측정 가능한 범위가 제한되어 있을 뿐만 아니라 기술적

한계로 제한된 성능에 의해 제한된 목적으로만 사용되는 경우도 있다.^[1] 자동차 에어백의 충돌감지용 가속도계는 측정하는 가속도 범위가 매우 크기 때문에 해상도가 크며, 차량 DR항법용 자이로 센서는 차량의 방위각 변화량이 작기 때문에 대체로 +/-50deg/sec 정도만 측정 가능하며, 또한 카메라 손 떨림 방지용으로 제작된 MEMS 자이로는 기준 전압의 불안정성 등으로 항법용으로 사용하기에 부적합하다^[2].

본 연구에서는 IMU 시스템의 H/W 설계와 자세제어 알고리즘 S/W을 설계하여 다관절용 로봇의 IMU 통합

* 정희원, 국제대학
(KookJe College)

** 정희원, (주)ED
(ED Co. Ltd)

접수일자: 2008년8월21일, 수정완료일: 2008년12월1일

시스템을 구현 후 이 시스템의 동작성을 검증하기 위해 M_{tx} 와 MT_x 와의 성능을 비교 및 검증을 하고자 한다.^[3] 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장은 IMU 시스템의 설계, III장은 다족용 로봇의 자세제어 알고리즘 설계, IV장은 구현 결과 및 검토, V장은 결론으로 구성되어 있다.

II. IMU 시스템의 설계

IMU(Inertial Measurement Unit)의 시스템 구현을 위하여 센서 및 CPU를 선택하여 센서 인터페이스 폼웨어를 작성하고 센서 바이어스 및 환산계수를 추정하여 구현하고자 한다.

1. IMU의 센서 모듈 및 CPU 모듈설계

센서모듈은 다족용 로봇의 동적 움직임 특성을 감지할 수 있는 상용 MEMS 센서를 검토하여, 동적 동작 범위를 만족할 수 있는 상용의 센서를 선택하여 사용하

표 1. 다족용 로봇의 IMU 센서
Table 1. An IMU sensor of multi-robot.

	업체/모델명	대표 사양	비고
가속도계	STMicroelectronics / LIS302DL	$\pm 2\text{ g}$ or $\pm 8\text{ g}$ / 100 or 400 Hz	3 축, I2C
자이로	Murata / ENC03M	$\pm 300\text{ deg/sec}$ / 50 Hz	수평 2 축, Analog
	Seiko-Epson / XV3500CB	$\pm 100\text{ deg/sec}$ / 200 Hz	Z 축, Analog
지자기 센서	Honeywell / HMC6032	$\pm 6\text{ Gauss}$ / 10 kHz	수평 2 축, Analog
	Honeywell / HMC1041Z	$\pm 6\text{ Gauss}$ / 5 MHz	Z 축, Analog
온도 센서	National Semi. / LM35DZ	0 ~ 100 °C	Analog

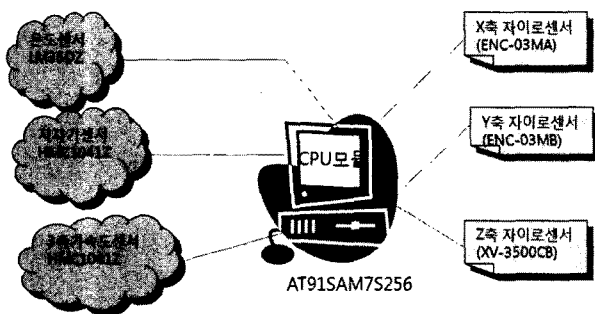


그림 1. IMU 시스템 구조
Fig. 1. IMU System Architecture.

였다.

다관절용 로봇에 stand-alone으로 장착하기 위하여 IMU 자체에서 자세계산을 수행하기 위하여 ATmel사의 AT91SAM7S256을 사용하였다. AT91SAM7S256은 ARM7 코어를 기반으로 한 프로세서로서 최대 55MHz의 클럭을 이용하며, 작은 크기에도 불구하고 플래시와 SRAM이 내장되어 있기 때문에 자체적으로 자세계산이 가능하다.

센서 부분에서는 아날로그 형태로 신호를 출력하는 센서에 대하여 저역 통과 필터를 설계하고, AD 변환시 전원 잡음에 의한 오차를 최소화하기 위하여 아날로그, 디지털 전원 및 접지 분리 회로를 설계하였으며, IMU 보드를 다족형 로봇에 장착하기 위하여 최소한의 사이즈로 제작하였다.

2. 센서 바이어스 및 환산계수 조정

IMU에서 획득되는 가속도계와 자이로 센서의 측정값은 매 측정마다 일정하게 유지되는 정규 오차(deterministic error)와 확률적 특성을 갖는 불규칙 오차(random error)를 포함하고 있다. 정규 오차의 주요 원인은 가속도계와 자이로의 바이어스 오차와 환산계수 오차, 비정렬 오차 등이 있으며 이러한 오차들은 IMU 다위치 시험(multi position test)을 통해 그 오차 계수를 추정한 후 항법 알고리즘 수행 전에 정규 오차 보상 알고리즘에서 보상해 주어야 한다. 반면 불규칙 오차는 시간에 따라 불규칙적으로 변화하므로 필터링 기법을 이용하여 확률적으로 가장 적합한 오차를 추정하여 보상하고자 한다.^[4]

본 연구에서는 특히 MEMS 가속도계와 자이로의 환산계수와 바이어스가 일정하지 않고 온도에 따라 변화하는 특성이 심하며 같은 센서라도 센서마다 개별적으로 환산계수와 바이어스 오차가 다르므로 온도보상을 실시하고 레이트 테이블(rate table)을 이용하여 센서 바이어스 및 환산계수를 추정하고자 한다.

■ 센서 데이터 디지털 저주파 통과 필터 설계

하드웨어 저역 통과 필터를 설계함으로써 여러 잡음 원인에 의한 일정 대역이상의 고주파 잡음을 제거할 수 있지만, 다족형 로봇의 동적 특성을 고려하여 디지털 필터를 추가로 설계한다.

■ 센서 온도보상 알고리즘 설계

일반적으로 저가형 관성센서는 온도에 의해 큰 오차

가 발생한다. 그러므로 온도 센서로 측정된 온도를 이용하여 자이로와 가속도계 데이터를 보정해야 함으로 센서 온도보상 알고리즘이 필요하다.

3. IMU 가속도계 다위치 설계

저가형 관성센서를 이용한 IMU를 제작하는 경우 온도보상이 끝난 경우 가장 주요한 오차는 관성센서의 비정렬 오차와 환산계수 오차 그리고 바이어스 오차이다. 가속도계의 비정렬 오차 및 환산계수 오차, 바이어스 오차는 다음 식 (1)과 같이 모델링을 할 수 있다^[5].

$$\begin{bmatrix} f_{bx} \\ f_{by} \\ f_{bz} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} m_{xx} & m_{xy} & m_{xz} \\ m_{yx} & m_{yy} & m_{yz} \\ m_{zx} & m_{zy} & m_{zz} \end{bmatrix}}_{M_a} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{ax} \\ b_{ay} \\ b_{az} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 f_{bx}, f_{by}, f_{bz} 는 각각 동체좌표계 x, y, z축 가속도계가 측정하는 측정치이며, a_x, a_y, a_z 는 각 축에서 나타나는 비력(specific force)이다. IMU가 x, y축이 지면에 대하여 수평이고 z축이 지면에 수직인 그림 3의 (e)와 같이 놓여 있다면, 입력되는 비력은 이론적으로는 x, y, z축 각각 0 [g], 0 [g], 1 [g] 이다. 그리고 M_a 는 비정렬 오차 계수를 나타내는 행렬이며, 대각 성분인 m_{xx}, m_{yy}, m_{zz} 가 각각 x, y, z 축 가속도계의 환산계수이다. 나머지 b_{ax}, b_{ay}, b_{az} 는 각각 x, y, z축 가속도계의 바이어스이다.

다위치 시험은 그림 2와 같이 6가지의 위치에서 입력되는 f_{bx}, f_{by}, f_{bz} 값과 각 위치에서의 비력을 알고 있다는 사실을 이용하여 위의 M_a 행렬과 b_{ax}, b_{ay}, b_{az} 을 계산하는 것이다.

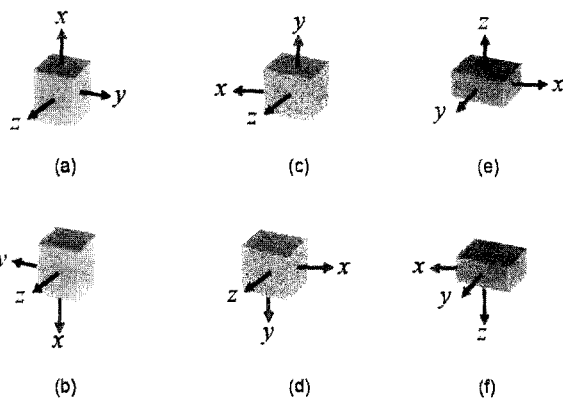


그림 2. 가속도계 다위치 설계방법
Fig. 2. An accelerometer multi-position design method.

4. IMU 자이로 다위치 설계

가속도계와 마찬가지로 자이로의 경우도 식 (2)와 같이 모델링을 할 수 있다. 식(2)에서 w_{bx}, w_{by}, w_{bz} 는 각각 동체좌표계 x, y, z축 자이로가 측정하는 측정치이며, g_x, g_y, g_z 는 각 축에 인가한 각속도(angular velocity)이다. 가속도계 다위치 설계와 달리 이 경우에는 일정한 각속도를 유지하면서 IMU를 회전시켜야 하기 때문에 레이트 테이블과 같이 정밀한 장비를 이용하여 시험을 실시하여야 한다.

$$\begin{bmatrix} w_{bx} \\ w_{by} \\ w_{bz} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} m_{xx} & m_{xy} & m_{xz} & b_{gx} \\ m_{yx} & m_{yy} & m_{yz} & b_{gy} \\ m_{zx} & m_{zy} & m_{zz} & b_{gz} \end{bmatrix}}_{M_g} \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

본 연구에서는 본 연구팀이 보유한 1축 레이트 테이블을 이용하여 각 축에 대하여 시계 방향과 반시계 방향으로 100 [deg/sec]로 회전하여 얻은 측정치를 w_{bx}, w_{by}, w_{bz} 로 이용하였다. 즉, 그림 3의 (a)와 같이 시험하였다면, g_x, g_y, g_z 은 이론적으로는 x, y, z축 각각 +100 [deg/sec], 0 [deg/sec], 0[deg/sec] 이다. 그리고 M_g 는 비정렬 오차 계수를 나타내는 행렬이며, 대각 성분인 m_{xx}, m_{yy}, m_{zz} 가 각각 x, y, z 축 자이로의 환산계수이다. 나머지 b_{gx}, b_{gy}, b_{gz} 는 각각 x, y, z축 자이로의 바이어스이다.

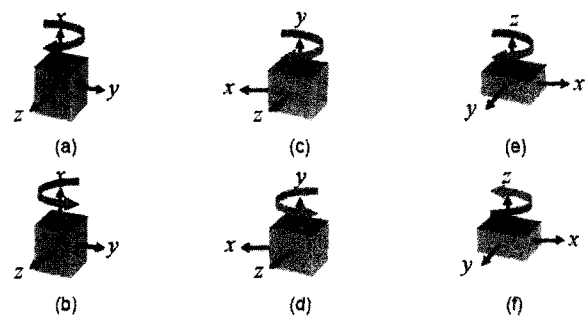


그림 3. 자이로 다위치 설계 방법
Fig. 3. Gyro multi position design method.

III. 다족용 로봇의 자세제어 알고리즘 설계

1. 다족용 로봇의 초기 정렬 알고리즘 설계

관성센서를 이용하여 자세계산을 수행하기 위해서는 초기자세를 알아야 한다. 이를 초기정렬이라고 하며 초기정렬은 개략정렬과 정밀정렬로 나뉜다. 그러나 저가

형 센서의 경우 필터를 이용하여 수행하는 정밀정렬은 의미가 없으며 일반적으로 개략정렬만을 수행한다.

개략정렬 알고리즘은 2 단계 정렬 알고리즘으로 롤과 피치 각을 먼저 계산하고 요각을 계산한다. 개략정렬은 정지 상태에서 수행되어야 하며 0.2초간 수행하도록 설정 하였다. 롤과 피치 계산은 0.2초간의 가속도계의 출력을 평균하여 중력가속도 벡터를 찾는 방식으로 수행된다. 정지 상태에서 가속도계 출력은 롤과 피치에 의해 식 (3)과 같이 주어진다.^[6]

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix} = C_n^b \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g \sin \theta \\ -g \sin \phi \cos \theta \\ -g \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

이로부터 롤과 피치를 계산하면 각각 다음과 같다.

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{-g \sin \phi \cos \theta}{-g \cos \phi \cos \theta} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{f_x}{f_z} \right) \quad (4)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{g \sin \theta}{g \cos \theta} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{f_x}{\sqrt{f_y^2 + f_z^2}} \right) \quad (5)$$

일반적으로 정렬시 요각을 계산하기 위해서는 자이로 데이터를 이용해 지구자전을 측정한다. 그러나 저가형 자이로는 지구자전 속도를 측정할 수 없으므로 지자기 센서를 이용하여 방위각을 설정한다. 그러나 지자기 센서를 이용하지 않을 경우의 초기 개략정렬은 초기 각을 0[deg]로 설정하고 계산한다.

실제 센서는 켜고 나서 150 샘플간은 초기화 과정이 필요하다. 초기의 센서 데이터는 전원 안정화에 소요되는 시간 등의 이유로 비정상적인 데이터를 출력하기 때문에 140샘플간은 버리고 10샘플간의 데이터(0.2초간)의 데이터를 이용하여 개략정렬을 수행한다. 이 0.2초간 동체가 정지해 있으면 초기자세계산 성능을 조금 더 향상시킬 수 있다.

2. 롤, 피치, 요각 자세 알고리즘 설계

ACS는 롤과 피치를 계산하는 장치로 자이로와 가속도계를 이용하여 정확한 동체의 자세를 계산한다. 일반적으로 동체의 자세는 자이로를 이용하여 동체의 각속도를 측정 후 적분 계산을 수행하여 얻는다. 그러나 저가형 자이로의 출력에는 센서 오차가 포함되어 있으므로 정확한 각속도 측정이 불가능하다. 그리고 자이로에 포함된 매우 작은 오차도 적분과정을 거치면서 자세 오차가 기하급수적으로 커져 발산하게 된다. 그래서 일

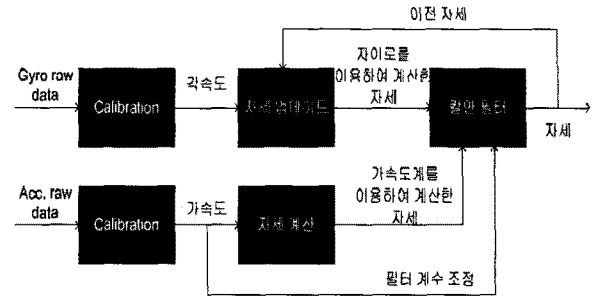


그림 4. 가속도계를 이용한 자세보정 알고리즘 설계
Fig. 4. The attitude calibration algorithm design that used an accelerometer.

반적인 ACS는 자세계산을 위하여 가속도계를 이용한 보정 과정을 거치게 된다.

본 연구에서는 이 알고리즘을 바탕으로 자이로와 가속도계 출력을 혼합하여 롤, 피치 각을 보상함으로써 지속적으로 일정 수준이상의 성능을 보장하는 ACS를 구현하도록 설계했다. 그리고 알고리즘은 최종적으로 ANSI-C언어로 구현되어 목표 플랫폼에 적재되어 실시간으로 구동될 수 있도록 포팅 과정을 거치고 검증을 실시하고자 한다.

3. 요각에 대한 자세 보상 알고리즘 설계

롤과 피치각과 마찬가지로 일반적인 요각 계산 알고리즘 역시 자이로 적분을 통해 계산을 수행한다. 자이로를 이용하여 자세를 계산하면 단시간의 회전각은 상대적으로 정확한 계산이 가능하나 자이로 오차의 누적에 의해 장시간 계산을 수행하면 자세오차가 매우 커지게 된다. 요각을 계산하는 또 다른 방식은 지자기 센서를 이용하는 것이다. 지자기 센서는 발생하는 오차가 일정 범위 내에 한정되어 있기 때문에 장기적으로 자이로보다는 신뢰할 수 있으나 자성체(ferromagnetic) 등에 의하여 외란을 쉽게 받기 때문에 단기적인 자세는 상대적으로 불안정하다.

따라서 본 연구에서는 칼만 필터를 이용하여 자이로와 지자기 센서의 출력을 결합하는 알고리즘을 설계하였다.^[8] 측정치는 지자기로부터 측정되는 방위각과 자이로 적분을 통한 방위각 두 가지를 이용하고자 한다.

IV. 구현 결과 및 검토

1. 다족용 로봇의 IMU 모듈 구현

다관절 로봇용의 IMU의 시스템은 그림 5과 같으며, CPU와 센서 부분 보드를 구현하였다.^[9]

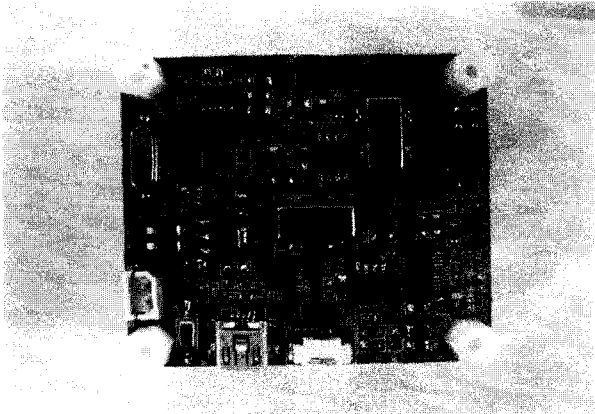


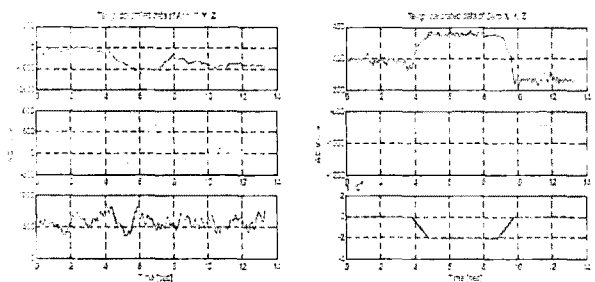
그림 5. 다관절 로봇의 IMU 시스템 구현
Fig. 5. IMU system implementation of a multi legs robot.

2. 가속도계 및 자이로의 모듈 보상실험

가속도계 및 자이로의 비정렬 오차, 환산계수, 바이어스 오차를 보정한 시험 결과를 보면 다음과 같다.

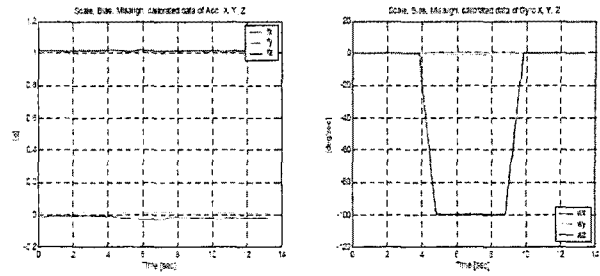
먼저, 그림 6의 (a), (b)는 레이트 테이블에서 z축을 중심으로 반시계 방향으로 100 [deg/sec]의 속도로 400 [deg]를 회전한 시험에 대하여 각각 가속도계와 자이로의 출력을 디지털 변환한 후 디지털 필터링과 온도보상을 수행한 결과 값이다. 그림 19에서 보면 알 수 있듯이 회전이 없는 x, y축의 자이로도 작은 값의 각속도가 인가된 것을 알 수 있는데, 이것은 교정 후 남아있는 비정렬 오차 때문이다.

위의 데이터를 앞에서 시험하여 계산한 비정렬 계수, 환산계수, 바이어스 등을 보상하여 출력한 그림이 그림 7이다. 그림 7을 보면 알 수 있듯이, 자이로의 바이어스 및 환산계수가 교정되어 z축 자이로를 중심으로 반시계 방향으로 -100 [deg/sec]의 각속도로 회전한 것을 알 수 있다. 반면에 환산계수 오차는 어느 정도 남아 있으며, 가속도계의 경우 약간의 바이어스가 존재함을 알



(a) 교정 전 가속도계 (b) 교정 전 자이로계

그림 6. 교정 전 관성 센서 데이터
Fig. 6. Inertial sensor data before calibration.



(a) 교정 전 가속도계 (b) 교정 전 자이로계

그림 7. 교정 전 관성 센서 데이터
Fig. 7. Inertial sensor data before calibration.

수 있는데, 이것은 저가 MEMS 가속도계의 특징상 크게 나타나는 센서의 불규칙 오차로 랜덤 상수 바이어스 오차가 존재하기 때문이다.

3. 자세제어 프로그램 탑재 실험

본 연구에서 획득한 센서 출력의 디지털 필터링, 온도보상 알고리즘, 환산계수, 바이어스 교정, 자세계산 프로그램을 ANSI-C코드를 기준으로, 실시간으로 수행할 수 있도록, 개발한 하드웨어 플랫폼에 맞게 수정 보완하여 AT91SAM7S256에 내장된 플래시 메모리에 탑재하였다. 이때 소프트웨어 개발환경으로는 ARM사에서 개발한 ADS 1.2 컴파일러 및 통합 개발환경 툴을 사용하였다.^[10]

실시간으로 교정되는 센서 출력을 검증하기 위하여 MTx 및 MTi의 출력과 비교하는 시험을 실시하였다.

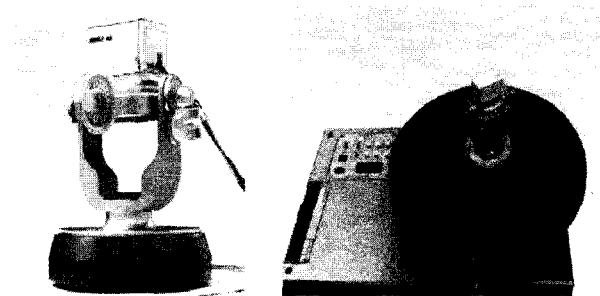


그림 8. ACS 치구장착 및 검증실험
Fig. 8. ACS jig mounting and verification experiment.

4. IMU에 내장된 자세 계산 프로그램 검증실험

제작한 IMU 보드로부터 획득한 자세 정보를 분석하여 자세계산 프로그램이 목표로 하는 플랫폼에 오류 없이 구현되었음을 검증하기 위하여 임의의 자세를 측정하는 실험을 수행하였다. 먼저 정지 상태에서 지자기 센서의 정보를 사용하지 않았을 때 테이블 위에 수평으

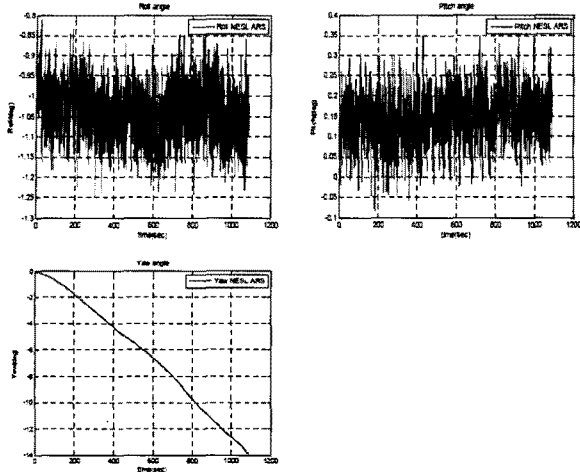
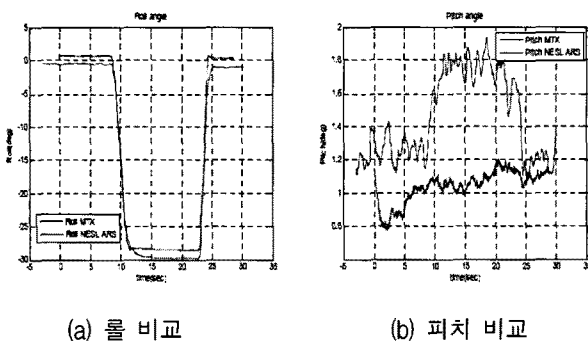


그림 9. 정지 상태에서의 자세 출력(롤, 피치, 요)
Fig. 9. An attitude is displayed in stop state.
(roll, pitch, yaw)

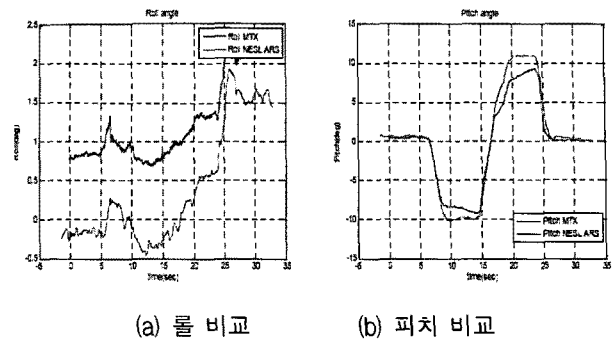
로 놓고 약 1100초간 자세를 계산했을 때의 결과이다. 그림 9를 보면 자이로가 측정한 각속도만으로 자세 계산을 수행하여 오차가 발산한 요약과는 달리 0.3[deg] 내외에서 안정한 것을 알 수 있다. 그리고 롤과 피치각이 각각 1[deg] 와 0.15[deg] 정도의 오차를 갖는데 이는 앞에서 살펴 보았던 가속도계 오차와 테이블의 오차가 원인이다. 테이블을 정확히 수평으로 맞추고 시험하는 것이 거의 불가능하기 때문에 MTi와의 자세 비교를 통해 조금 더 정확한 성능을 알아 볼 수 있다. 가속도계의 랜덤 상수 오차로 인해 발생하는 오차는 가관측하지 않기 때문에 실시간으로 보정할 수 없으므로 자세계산 중에 지속적으로 영향을 미친다. 이 오차를 줄이기 위해서는 가속도계를 조금 더 성능 좋은 모델로 변경해야만 한다.

다음은 롤을 30[deg] 회전시켰을 때의 결과이다. 이번에는 상대적인 자세 정확도를 알기 위하여 MTi의 자



(a) 롤 비교 (b) 피치 비교

그림 10. 롤을 -30[deg] 돌렸을 때의 자세 출력
Fig. 10. A -30 [deg] turned a roll, and an attitude of a case is displayed.



(a) 롤 비교 (b) 피치 비교
그림 11. 피치를 10[deg]씩 돌렸을 때의 자세 출력
Fig. 11. Attitude output of time for by 10 [deg] to have changed pitch.

세 출력과 비교를 해보았다. 실험은 NESL ARS와 MTi 센서를 서로 붙여 놓고 동시에 데이터를 받는 방식으로 진행 되었다^[11].

결과를 보면 회전각 -30[deg]를 1.5[deg] 이내의 정확도로 찾아가는 것을 볼 수 있다. 초기오차와 피치의 오차는 치구와의 장착오차와 MTi와 NESL ARS의 장착 오차에 의해 발생한다.

다음은 x, y축이 지면과 수평으로 정지한 상태에서 피치축으로 10[deg]씩 회전 시켰을 때의 결과이다. 먼저 피치각을 -10[deg]로 회전 후 바로 반대 방향으로 20[deg]를 회전하여 10[deg]를 만들었다가 다시 지면과 수평인 상태로 되돌린 후 실험을 종료하였다.

장착오차가 존재하는 롤각과는 달리 피치각은 매우 정확한 자세를 출력한다. 정확히 10[deg]씩 회전했으므로 MTi보다 더 좋은 성능을 보여주는 것으로 분석 할 수 있다.

5. NESL ARS와 MTi 와 자세 출력 성능 비교

NESL ARS와 MTi 에서 출력되는 자세 정보에 대하여 성능을 비교한다. 이때 MTi 의 자세 정보를 참값으로 하여 NESL IMU의 성능을 비교하고, 자세오차 등의 성능이 목표로 제시한 사양에 부합하는지를 최종적으로 확인한다. 자세 결과의 저장은 Window GUI 프로그램을 이용하였다. NESL ARS의 자세 데이터와 MTi 의 자세 데이터를 비교할 때 물리적으로 시각을 정확히 동기 시킬 수 없기 때문에 RMS오차 등을 계산하는 것은 의미가 없다. 따라서 피크(peak)에서 보이는 대략적인 오차의 크기만을 비교해 보았다.

그림 12의 실험은 레이트 테이블에서 회전을 가해 가속도 데이터에 중력 가속도 이외의 가속도 값이 외란으로 입력될 경우 얼마나 강건(robust)한지를 알아보는

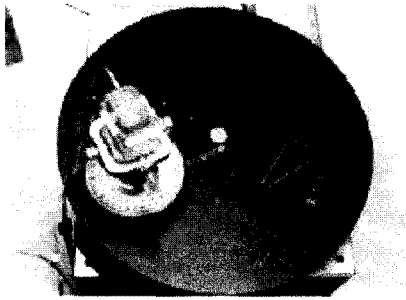
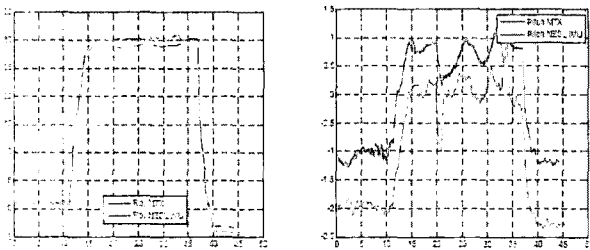


그림 12. 실험 장면
Fig. 12. experiment scene.



(a) 롤 비교 (b) 피치 비교

그림 13. 외부 가속도가 입력될 때의 자세 출력
Fig. 13. Attitude output of the time that external acceleration speed is input.

시험이다.

그림 13은 레이트 테이블 중심에서 15cm떨어진 곳에 센서를 위치시키고 정지 상태에서 롤을 30[deg] 회전시킨 후 레이트 테이블을 작동 시켜 60[deg/sec]의 등속 회전을 가한 결과이다.

레이트 테이블이 회전하면 원심력에 의한 가속도가 발생하여 회전 구간에서 롤 축으로 측정치에 외란이 발생한다. 그림 13을 보면 본 연구에서 개발된 알고리즘이 외란에 거의 영향을 받지 않고 안정한 출력을 내는 것을 볼 수 있다. 이는 외란이 작용하면 가속도계 값의 높이가 측정치의 R에 설정한 문턱값 기준을 넘게 되고 R 값이 순간적으로 상승하여 가속도계에 의한 자세를 신뢰하지 않게 만들어 얻은 결과이다.

동적인 상태에서 정확한 자세의 정확도를 측정하기 위해서는 레이저 스캐너 등의 고가 장비를 사용해야 하는 단점이 있으므로 본 연구에서는 동적 상태에서는 정확한 자세 오차는 비교할 수 없었다.

요각 계산 알고리즘 역시 시험을 통하여 검증하였다. 실험은 NESL ARS 모듈과 MTx를 수평 상태에 놓고 ±90[deg]로 회전시키면서 요각에 변화를 주었다.

그림 14은 ±90[deg]부근의 각을 확대한 것이다. MTx와 NESL ARS 모두 0[deg]일 때보다는 부정확한 결과를 내었다. +90[deg]에서는 NESL ARS가 더 나은 성능

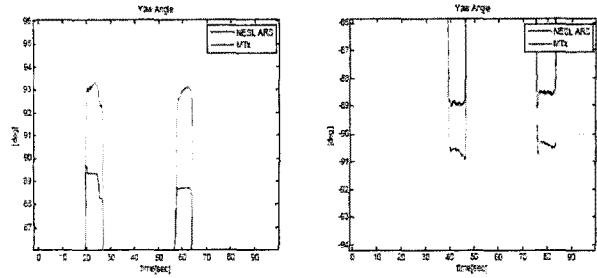


그림 14. 90[deg]씩 요각 회전 시 요각 출력 확대
Fig. 14. When a yaw angle turns, by 90 [deg] enlarges yaw angle output.

을 보이나 -90[deg]에서는 MTx가 더 나은 성능을 보였다. 이는 지자기 센서의 비선형적 특성과 바이어스, 환산계수의 부정확성 때문에 기인한다. NESL ARS의 경우 90[deg]에서 평균 1.2[deg], -90[deg]에서 1.4[deg] 오차가 발생하였다.

V. 결론

본 연구에서는 IMU 시스템 구현 위하여 센서 및 CPU 사양을 결정하고 시스템을 설계하였다. 동시에 자세계산 알고리즘을 설계하여 IMU시스템 디버깅을 수행하기 위하여 센서 인터페이스 알고리즘을 설계하였다. 구현한 IMU시스템의 신호처리를 위하여 1차 디지털 필터와 온도보상을 실시하였다. 그리고 센서 바이어스와 환산계수를 교정하기 위한 다위치 시험을 실시하였다. 이와 동시에 자세계산 알고리즘을 C코드로 구현한 후, MTx 또는 MTi 센서의 출력 데이터를 이용하여 자세계산 알고리즘을 검증하였다. 센서 인터페이스 프로그램과 자세계산 프로그램의 검증을 실시하여, 완성된 IMU에 해당 알고리즘을 내장하여 IMU 시스템을 구현하였다. 완성된 IMU 시스템을 이용하여 MTx 또는 MTi을 이용하여 본 연구에서 설계된 자세계산 알고리즘 성능을 비교하여 검증하였다. 지자기 외란을 검출하는 것은 간단하지만 이를 보상하는 것은 현실적으로 어려운 일이므로, 정확하고 강건한 방위각을 찾는 알고리즘을 구성하는 것은 차후 연구할 필요성이 있다.

본 연구를 통해 목표 스펙을 만족하는 ACS제작을 성공적으로 구현하였다. 추후 성능을 개선하기 위하여 지자기 센서를 이용한 자세 보상 알고리즘과 자세계산 알고리즘을 실시간으로 구현하기 위한 연구와 가속도계 초기 랜덤 상수 오차 개선 방법 및 자이로 오차 실시간 보정 방법에 대한 연구를 수행할 필요성이 있다.

참고 문헌

- [1] S. Y. Cho and C. G. Park, "A Calibration Technique for a 2-axis Magnetic Compass in Telematics Devices", ETRI Journal, Vol.27, No.3, pp. 280-288, June 2005.
- [2] Jonathan M. Roberts, Peter I. Corke, Gregg Buskey, "Low-Cost Flight Control System for a Small Autonomous Helicopter", 2002 Australasian Conference on Robotics and Automation, Auckland, 27-29 November, 2002.
- [3] 남상엽, 이효영, 김석중, "지능형 로봇 설계 및 개발을 위한 로봇 시뮬레이터의 구현에 관한 연구", 대한전자공학회 합동학술대회, pp113-116, May, 2007.
- [4] Robert C. Nelson, "Flight Stability And Automatic Control", McGrawHill, 1998.
- [5] Alan V. Oppenheim, Alan S. Willsky, "Signal & systems", Prentice Hall, 1998.
- [6] Brooks, R. A., "Intelligence without representation," Artificial Intelligence, Vol.47, pp.139-160, 1991.
- [7] D.H. Titterton, J.L.Weston, "Strapdown inertial navigation technology", IEE, 1997.
- [8] Aekyung Moon, Hyoungsun Kim, Hyun Kim, Soowon Lee, "Context-Aware Active Services in Ubiquitous Computing Environments", ETRI Journal, Volume 29, Number 2, April 2007.
- [9] Jinwook Huh, Woong Sik Chung, Sang Yep Nam, and Wan Kyun Chung, "Mobile Robot Exploration in Indoor Environment Using Topological Structure with Invisible Barcodes", ETRI Journal, Vol.29, No.2, pp189-200, April 2007.
- [10] Sang Yep Nam, Keun-Eun Kim, Yi-Chui Kang, Hyo-Young Lee, Suk-Joong Kim, "Study on the URC robot simulation that used intelligent robot simulator", URAI 2007, pp644-647, 22 Nov, 2007
- [11] 남상엽, 이효영, 김석중, 강이철, 김근은, "지능형 로봇 시뮬레이터를 이용한 URC 로봇 시뮬레이션에 관한 연구", 2007년도 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집II, 제31권 제2호 p858-859, 24. Non. 2007.

— 저 자 소 개 —



남 상 엽(정회원)
2002년 단국대학교 전자공학과
박사 졸업.
1987년~1992년 삼성종합기술원
정보시스템연구소
주임연구원
1992년~1998년 (주)모토로라반도
체통신 기술연구소 차장

1998년~현재 국제대학 정보통신과 교수
<주관심분야 : 지능형로봇, 임베디드 시스템,
USN/RFID, 홈네트워크>



홍 성 호(정회원)
2006년 한밭대학교 전자공학과
박사 졸업.
1999년~2005년 한울로봇틱스
연구소 로봇개발.
2005년~현재 (주)ED 기술연구소
로봇개발팀 팀장

<주관심분야 : 지능형로봇, 시뮬레이션SW>



김 석 중(정회원)
1992년 국민대학교 전자공학과
박사 졸업.
1994년 국민대학교 전자공학과
석사 졸업.
1994년~2001년 터보테크
CNC개발

2001년~현재 (주)ED 기술연구소 본부장/이사
2004년~현재 지능형로봇개발 총괄 병행
<주관심분야 : 로봇틱스, USN/RFID>