

온도에 따른 저급 IMU의 특성 분석 및 보상

진 응*, 박찬국*, 지규인**
 *광운대학교 제어계측공학과, **건국대학교 전자공학과

Temperature Compensation and Analysis of an Low-cost IMU

Yong Jin*, Chan Gook Park*, Gyu In Jee**
 *Kwangwoon University, **Konkuk University

Abstract - The deterministic errors of semi-conductor gyros and accelerometers must be estimated and compensated to develop the low-cost IMU using them. Generally, the dominant errors of the low-cost IMU are bias and misalignment errors. Bias is sensitive to temperature. Therefore, in this paper, the effect on temperature of bias is analyzed and temperature compensation are carried out. It is shown by experiment that the compensation is efficient.

1. 서 론

IMU(Inertial Measurement Unit)는 관성센서인 자이로와 가속도계를 이용하여 항체의 회전 각속도와 선형 가속도를 측정할 수 있다. IMU의 각속도와 가속도 정보는 적분 과정 등을 통하여 자유공간에서 움직이는 항체의 자세, 속도, 위치 정보를 제공할 수 있다. 이러한 IMU는 매우 정밀하면서 고가의 장비로 군수 산업이나 우주 산업 등의 제한된 분야에서만 사용되어 왔다. 그러나 최근에 반도체 집적 기술과 MEMS(Micro Electronic Mechanical System) 기술의 발달로 반도체형 자이로와 가속도계가 개발되고 있으며 이를 이용한 다양한 응용 제품이 연구 개발되고 있다. 현재 개발되고 있는 반도체형 관성센서는 크기는 작으나 오차 특성이 나빠서 항법 보다는 제어 분야에서 주로 사용되며, 실제 사용을 위해서는 먼저 센서의 오차 특성을 파악하고 이를 보상하여야 한다[1-2].

일반적으로 저급 관성센서는 바이어스 오차가 가장 큰 오차로 알려져 있으며 주파수 진동자나 기타 다른 오차 요인도 존재한다. 특히 저급 관성센서의 바이어스 오차와 환산계수 오차는 온도에 민감하다고 알려져 있다.

본 논문에서는 상용의 반도체형 자이로와 가속도계를 이용하여 차량 항법 시스템 또는 개인 항법 시스템의 보조 항법 정보를 제공하거나 가상 현실 시스템에서 사람의 움직임 측정이 가능한 저급 IMU를 제작하고 IMU의 성능을 향상시키기 위하여 정적 상태에서의 온도에 따른 오차 특성을 분석하고 이를 보상하여 성능을 확인한다.

본 논문의 결과는 저급 관성 센서를 이용한 다양한 응용 분야에서 센서 시스템의 성능 향상을 위하여 사용할 수 있다.

2. 저급 IMU

사용한 자이로와 가속도계는 muRata사의 ENV-05DB와 sumitomo사의 C3A-02-32이다. 한축의 회전 각속도를 측정할 수 있는 ENV-05DB 3개를 서로 직교하게 배치하고 다른 한 평면에 1개의 C3A-02-32를 배치하여 6자유도를 가지는 저급 IMU를 제작한다[3].

표 1. ENV-05DB 센서 사양

Input Range	± 80deg/s
Scale Factor	22.2mV/deg/s
Linearity	± 5%FS
Offset Drift	9deg/sec max

표 2. C3A-02-32 센서 사양

Input Range	± 2g
Scale Factor	1V/g ± 2%
Linearity	± 1%FS
Bias Drift	0.2mg

2.1 관성 센서

ENV-05DB는 저급 진동형 자이로로 분해능이 약 0.1deg/s이다. 이 분해능으로는 지구 자전 각속도는 측정할 수 없고 비교적 큰 회전 각속도만 측정 가능하다. ENV-05DB의 간단한 사양은 표 1과 같다. C3A-02-32 가속도계는 진동형 가속도계로 기계적인 구조를 가지고 있으며 가속도에 따른 전하량 변화를 전압으로 변환하여 제공한다. 가속도계의 Z축은 수평한 곳에 부착시 수직방향을 향하도록 되어 있어 항상 중력 가속도를 측정하게 되어 있으나 C3A-02-32는 Z축의 경우는 1g만큼 보상된 값을 출력하도록 구성되어 있다. 가속도계의 오차 사양을 정리하면 표 2와 같다.

2.2 인터페이스

자이로와 가속도계의 출력은 모두 0-5V 범위의 전압이므로 12bit A/D 변환기를 이용하여 매 50Hz 주기로 샘플링하여 6개의 센서 데이터를 입력 받는다. A/D 변환기는 변환 속도가 100kps인 AD7875를 사용한다. 데이터 처리는 16bit 마이크로 컨트롤러인 80c196kc를 사용하며 내부에서 소프트웨어 타이머를 이용하여 50Hz 주기마다 A/D 변환 채널 0의 시작 신호를 발생시키고 채널 1에서 5는 이전 채널의 변환이 완료되면 데이터를 저장 후 바로 변환을 시작하도록 구성하였다. 변환된 데이터는 RS-232C 비동기 직렬 통신으로 PC로 전송되어 데이터를 분석한다. 그림 1은 실제 제작한 저급 IMU이다.

3. 오차 추정

IMU의 오차를 추정하기 위해서는 매우 정밀하게 회전 각속도와 자세를 제공할 수 있는 레이트 테이블(rate table)이 필요하다. IMU의 정교 오차를 추정하기 위해서는 레이트 테이블에 IMU를 장착하고 다위치 시험이나 레이트 시험에서 정해놓은 특정한 궤적으로 레이트 테이블을 구동시킨 후 저장된 센서 데이터를 분석하여 오차를 추정한다[4-6].

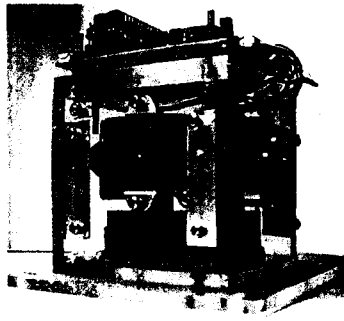


그림 1. 저급 IMU

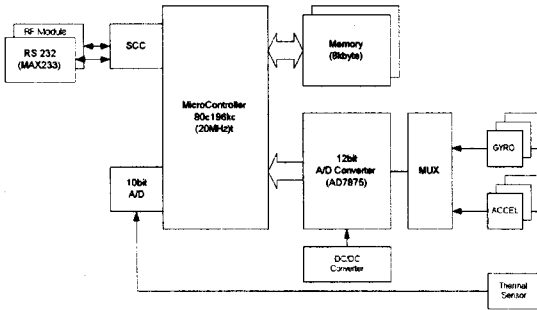


그림 2. 저급 IMU 구성도

3.1 온도 특성 실험

온도 특성 실험은 일반적으로 온도 제어 가능한 챔버(chamber)를 이용하여 일정 온도를 유지하는 상태에서 센서의 출력을 분석하는 방식으로 이루어진다. 본 논문에서는 센서 각각의 특성을 분석하기 위하여 챔버 대신에 12V/30℃의 가열 고무판(heating rubber)과 온도 센서 AD590을 센서의 한 면에 부착한 후 표면 온도를 일정하게 유지하면서 센서 데이터를 저장하여 비교 분석하였다. 온도 센서 데이터는 실제 저급 IMU의 구현 시에 온도 보상을 위하여 필요하므로 80c196k에 내장된 10bit A/D 변환기로 온도를 측정한다. 관성 센서와 온도 센서를 포함한 전체 IMU의 인터페이스 구성은 그림 2와 같다.

3.2 온도 특성 분석

자이로의 온도 특성을 분석하기 위해서 가열 고무판과 온도 센서를 X축 자이로 한면에 부착한 후 온도를 변화시키면서 자이로의 출력을 분석하였다. 자이로의 바이어스는 그림 3과 같다. 그림 3에서 가열 고무판이 부착되지 않은 Y, Z축 자이로의 바이어스 변화는 0.2deg/s 미만인데 비하여 X축 자이로의 바이어스는 3deg/s 이상 변함을 확인할 수 있으며 온도 40℃ 이후에는 온도에 대하여 선형적으로 변화한 온도 범위에서는 비선형적 특성을 보임을 알 수 있다.

가속도계의 온도 특성을 분석하기 위하여 가열 고무판과 온도 센서는 가속도계의 상면부에 부착하였고 실험한 온도 범위는 30℃ - 60℃이다. 그림 4는 온도에 따른 가속도계의 출력이다. 온도에 대한 가속도계 바이어스는 선형적인 특성을 보이며 Y축 가속도계의 변화폭이 크다는 것을 알 수 있다. 이는 가열부와 센서 내부의 배치와 관련이 있다고 가정할 수 있다. 약 30℃의 온도 변화에 대한 가속도계 바이어스의 변화는 X축이 -9.46mg, Y축이 -45.13mg, Z축이 6.45mg이다.

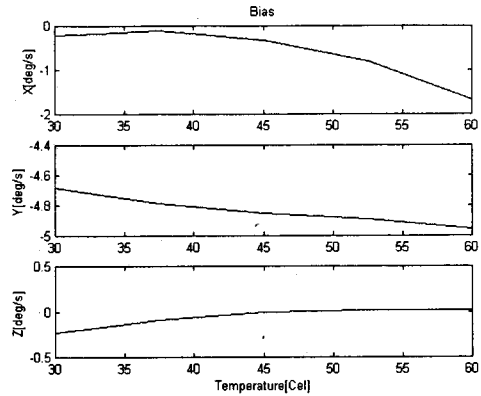


그림 3. 온도에 따른 자이로 바이어스

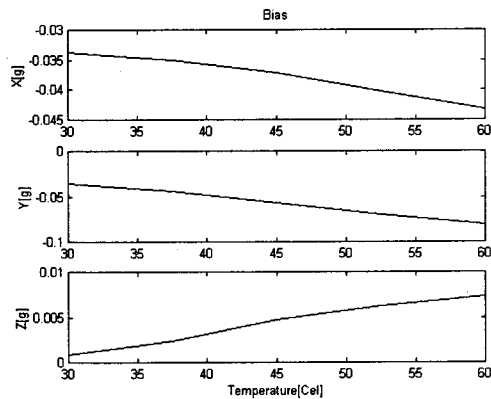


그림 4. 온도에 따른 가속도계 바이어스

이는 센서 오차 사양의 바이어스 드리프트나 실제 정규모차 추정 결과에 비하여 많은 변화량이므로 이를 보상하지 않고 사용하는 경우에는 큰 오차를 유발할 수 있다.

4. 온도 보상

4.1 온도 보상 기법

고급 IMU 등에서 사용하는 온도 보상 기법은 가열(heating) 또는 냉각 장비를 이용하여 일정한 온도를 유지하여 주고 이 온도에서의 오차를 추정하여 사용하는 것이다. 그러나 별도의 온도 제어 회로가 필요하므로 전체 시스템의 크기와 소비 전력을 크게하는 단점이 있다. 따라서 소형, 저전력의 반도체형 관성 센서로 이루어진 저급 IMU에는 적합하지 않다[6].

온도 제어 회로를 사용하지 않는 경우에 환산 계수 오차는 식(1)과 같은 오차 보상을 이용한다.

$$SF_a = SF_c + SFTC(T_a - T_c) \times 10^{-6} \quad (1)$$

여기서 SF_a 는 T_a 온도에서의 환산계수이고 SF_c 는 T_c 에서의 보상된 환산계수이고 $SFTC$ 는 환산계수 온도상수로 단위는 ppm/K이다.

바이어스 오차는 실험으로 추정된 온도에 따른 보상 테이블을 이용하여 현재 측정된 온도에 따라 다른 보상값을 사용한다. 테이블에 존재하지 않는 온도값은 선형 보간법이나 MA(Moving Average)에 의한 보간법을 이용하여 보상값을 추정하여 사용한다.

4.2 온도 보상

본 논문에서는 정적 상태에서의 온도 보상만을 수행한다. 정적 상태에서의 온도 보상시 환산 계수 오차 보상은 고려하지 않고 바이어스 오차만 고려하였다. 온도 보상 효과를 비교하기 위하여 상온에서 추정된 정규 오차를 이용하여 바이어스 오차를 보상한 경우와 온도 보상을 한 경우를 비교하였다.

온도 특성을 고려하지 않은 상태에서 다위치 시험과 레이트 시험을 통하여 추정된 자이로와 가속도계의 바이어스 오차는 표 3과 같다.

온도 보상 효과를 비교하기 위하여 약 67°C에서의 측정된 가속도계의 X축 데이터를 보상하기 전과 온도 보상 후, 그리고 상온에서 추정된 정규 오차를 이용하여 보상한 결과가 그림 5이다. 그림 5에서 온도 보상을 한 경우는 바이어스가 모두 보상된 반면에 상온에서 추정된 정규 오차만을 이용하여 보상한 경우에는 보상전과 후의 차이가 크지 않다는 것을 알 수 있다. 자이로의 경우도 유사하다. 저급 IMU를 개발하는 경우 상온에서 동작하지 않고 온도의 변화가 있는 환경이라면 온도 보상은 반드시 필요함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 최근 개발되고 있는 반도체형 자이로와 가속도계를 이용하여 저가의 IMU를 개발하고 가장 중요한 오차원 중의 하나인 온도에 따른 바이어스 오차를 실험을 통하여 분석하고, 이를 보상한 후, 그 성능을 비교하였다.

반도체형 관성 센서의 온도 특성 실험 결과 온도에 따라 오차가 크게 변함을 확인할 수 있다. 특히 자이로의 경우는 매우 급격하게 오차가 변하므로 반드시 보상을 주어야 함을 알 수 있다.

저급 IMU를 위한 온도 보상은 크기와 전력 문제 때문에 온도 제어 회로를 사용할 수 없다. 따라서 온도 보상 테이블에 의한 보상 기법을 사용한다.

본 논문의 결과는 최근에 많은 연구가 이루어져서 상품화 되고 있는 관성센서들을 이용한 여러 응용 분야에서 성능 향상을 위하여 필요하며 특히 자동차나 민간용 항공기와 같이 온도 변화가 많은 시스템 등에 적용되는 경우에 사용될 수 있다.

표 3. 자이로/가속도계 바이어스

	X	Y	Z
자이로	0.38deg/s	-1.74deg/s	-3.02deg/s
가속도계	6.68mg	17.9mg	75mg

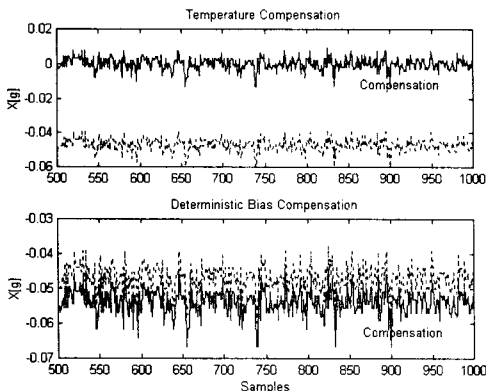


그림 5. X축 가속도계 온도 보상 결과

후 기

본 연구는 1999년도 국가지정연구실 사업 "GPS/INS/CDMA 통신망 통합 복합항법시스템 개발"에 의해 지원되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] J. Seth Randle, Michael A. Horton, "Low Cost Navigation Using Micro-Machined Technology", IEEE Intelligent Transportation System Conference, p1064-1067, 1997. 9
- [2] Wayne Sorhren, Charles Keyes, "Human-Motion Based-Navigation Algorithm Development", IEEE PLANS, 2000
- [3] 박찬국, 진용, 이준호, 지규인, "가상현실시스템을 위한 3차원 움직임 측정모듈 오차보정", 멀티미디어 학술회의 논문집, 권호, 페이지, 2000. 2
- [4] 김상섭, 진 용, 조성윤, 박찬국, 지규인, 이영재, "저급 IMU의 오차 보정", 항공우주학회 춘계학술발표회 논문집, 권호, 페이지, 2000. 5
- [5] 박찬국 외, 관성항법장치 항법 알고리즘 연구 1차년도 보고서, 자동제어특화연구센터, 1996
- [6] D. H. Titterton, J. L. Weston, *Strapdown Inertial Navigation Technology*, IEE