

3축 MEMS 가속도 센서의 이득 및 오프셋 자동 교정법

송 기 무, 이 진 우
 세종대학교, 두원공과대학

Autocalibration Method of Three-axis Micromachined Accelerometers

Ci-Moo Song, Jin-Woo Lee
 Sejong University, Doowon Technical College

ABSTRACT

This paper deals with a novel autocalibration method of three-axis micromachined accelerometers applied to a new intelligent putter for golfers. This putter can help golfers monitor and analyze their putting posture and therefore modify their putting action to get better score and enjoy their lives through golf. The micromachined accelerometers to get information of the motion are the essential part of the putter to measure the three-axis acceleration as accurately as possible. This paper presents autocalibration algorithm to find the offset and sensitivity of accelerometers only by using six different static measurement data. The experimental results shows the validity of the algorithm for the new smart putter.

1. 서 론

MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)기술의 발전과 더불어 가속도 센서의 응용분야도 더욱 확대되고 있으며, 가속도 센서는 크게 자동차 산업과 가전산업에 적용되어 움직임을 모니터링하고 상황을 검출하는 분야와 종래에 상대적으로 고가의 미소 기계부품을 사용하는 제품과 항공 및 관성항법 산업에 적용되는 계측 제어 분야로 나눌 수 있다. MEMS 제품이 자동차 산업에서 성공을 거두는 데는 거의 20년이 걸렸으며, 오늘날 성숙한 기술을 바탕으로 한 저가의 양산을 통하여 전통적인 관성 응용분야와 새롭게 부각하는 응용분야에서 성공적으로 적용되기에 이르렀다^[1].

3축 가속도 센서와 자이로(gyro) 센서를 활용하여 항체의 회전 각속도와 가속도를 측정할 수 있으며, 측정된 값을 활용한 연산을 통하여 움직이는 항체의 자세, 속도, 위치 등의 운동에 관한 정보를 얻을 수 있다. 이러한 개념을 바탕으로 한 새로운 응용분야로서 소형 MEMS 센서를 골프 퍼터(putter)에 적용하여 감각에 의존하던 종래의 훈련방법에서 벗어나 시계추 스윙(swing) 이론에 기초한 신제품(Dixx)을 개발 중에 있다. 이 제품은 과학적인 훈련이 가능하도록 하여 올바른 Set-up 자세, 방향의 정확성, 거리의 정확성 등의 안정적인 퍼팅 스킬(putting skills)을 익히는데 큰 역할을 할 것으로 예상된다.

최근 반도체 집적기술과 MEMS기술의 발달로 저가의 소형 센서가 개발되고 있으나 센서의 오차 특성이 나빠서 이를 파악

하고 보상하는 것이 필요하며, 온도에 따른 특성을 분석하고 보상하는 방법이 제시되었다^[2].

본 논문에서는 퍼터의 다양한 기능 구현과 관련하여 저가의 소형 3축 MEMS 가속도 센서를 사용하는데 있어서 기초가 되는 오프셋(offset)과 감도(sensitivity)를 6쌍의 측정 데이터를 이용하여 교정하는 방법을 제안하고 실험을 통하여 제안한 방법의 타당성을 보이고자 한다.

2. 가속도 센서의 자동교정 방법

2.1 MEMS 가속도 센서

MEMS 기술을 사용한 저가의 소형 3축 가속도센서는 오프셋이 온도에 따라 변하며, 감도도 변동하는 특성을 가지고 있다. 표 1에 나타난 Kionix사의 3축 가속도 센서인 KXM52-1050은 -40℃~125℃의 온도 범위에서 0g 오프셋 변동이 최대 ±167mV이고 감도 변동은 ±5%이며, 3.3V 전원에 대한 오프셋 전압이 1.65V로서 온도에 따른 영향이 크다. 따라서 온도에 따른 적절한 보상을 하여야 정밀한 오프셋전압을 얻을 수 있으며, 감도에 대해서도 정밀한 측정을 위한 보정이 필요하다.

표 1 KXM52-1050 가속도 센서의 주요 사양

Range	±2.0[g]	-
Sensitivity	660[mV/g]	@3.3V
0g Offset vs. Temp	±100[mV]	-40℃~85℃
Sensitivity vs. Temp	±2.0[%] typical (±3.0[%] max)	-40℃~85℃
Span	±1320[mV]	@3.3V

2.2 정지상태 측정값을 이용한 자동교정 방법

MEMS 가속도 센서의 오프셋과 감도를 보정하는 방법은 온도에 따른 데이터를 사용하는 방법이 있으나 이 방법에 의해서는 온도외의 요인에 의한 변동을 보정할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 이를 해소하는 방법은 필요시 오프셋과 감도를 구할 수 있는 방법을 적용하는 것이다. 즉 사용초기에 초기화를 통하여 자동교정하거나 사용 중에 동작조건이 변동한 경우에 다시 자동교정을 한 후 사용한다면 정밀한 가속도 값을 계속하여 측정하는 것이 가능하며, 퍼터와 같이 사용조건이 까다롭지 않은 경우에 적절할 것으로 보인다. 또한 제품 생산시 공정 중

에 사용하면 시간과 비용을 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

직각 좌표계 상의 3축에 위치한 각각의 가속도 센서의 구조 때문에 센서가 정지한 상태일 때 임의의 자세에서 측정된 각축의 가속도 값을 이용하면 항상 중력가속도 g 를 구할 수 있으며, 이것은 지표상에서 중력이 시간에 관계없이 항상 일정한 크기로 지표에 대해서 수직으로 작용하기 때문이다. 여기서 가속도 센서는 운동에 의한 가속도 성분과 중력가속도 성분을 구분하지 않고 동시에 측정하기 때문에 완전히 정지한 상태에서 측정된 값을 사용하여야 중력가속도를 정확하게 구할 수 있다. 그러므로 자기측정 센서에 사용하는 자동교정 방법을 적용하는 것이 가능하다^[3].

완전히 정지한 상태에서 이상적인 3축의 가속도 센서로 측정된 가속도 성분을 각각 g_x, g_y, g_z 라 하면 중력가속도 g 는 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$g_x^2 + g_y^2 + g_z^2 = g^2 \quad (1)$$

식 (1)은 오프셋과 감도에 대한 오차가 없는 이상적인 센서인 경우에 성립하는 것으로 이 조건을 활용하면 각 센서의 오프셋과 감도를 구할 수 있기 때문에 각 센서의 오차를 보정하는 것이 가능하다.

3축 가속도 센서의 오프셋과 감도를 각각 $a_{x0}, a_{y0}, a_{z0}, s_x, s_y, s_z$ 라 하면 각 센서의 출력 전압은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} a_x &= s_x \frac{g_x}{g} + a_{x0} [V] \\ a_y &= s_y \frac{g_y}{g} + a_{y0} [V] \\ a_z &= s_z \frac{g_z}{g} + a_{z0} [V] \end{aligned} \quad (2)$$

먼저 식 (2)를 정리하여 식 (3)을 얻고 이를 식 (1)에 대입하면 식 (4)와 식 (5)를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{g_x}{g} &= (a_x - a_{x0})/s_x \\ \frac{g_y}{g} &= (a_y - a_{y0})/s_y \\ \frac{g_z}{g} &= (a_z - a_{z0})/s_z \end{aligned} \quad (3)$$

$$\left\{ \frac{g_x}{g} \right\}^2 + \left\{ \frac{g_y}{g} \right\}^2 + \left\{ \frac{g_z}{g} \right\}^2 = 1 \quad (4)$$

$$\frac{(a_x - a_{x0})^2}{s_x^2} + \frac{(a_y - a_{y0})^2}{s_y^2} + \frac{(a_z - a_{z0})^2}{s_z^2} = 1 \quad (5)$$

3축 센서의 출력전압 측정치 a_x, a_y, a_z 는 항상 식 (5)를 만족하여야 한다. 따라서 식 (5)를 이용하여 각 센서의 오프셋 전압 a_{x0}, a_{y0}, a_{z0} 와 감도 s_x, s_y, s_z 를 구할 수 있다.

정지한 서로 다른 자세에서 6쌍의 출력 전압을 측정하고 이

를 다음과 같이 나타내기로 한다. 여기서 6쌍의 데이터를 얻는 중에 센서의 오프셋과 감도는 일정하다고 가정한다.

$$(a_{xi}, a_{yi}, a_{zi}), \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (6)$$

(i), ($i+1$) 번째 측정치를 식 (5)에 대입하여 정리하고 차이를 구하면 식 (7)과 같다.

$$a_i a_{x0} + b_i k_1 a_{y0} + c_i k_2 a_{z0} + d_i k_1 + e_i k_2 = f_i \quad (7)$$

$$a_i = 2(a_{xi} - a_{xi+1}), \quad d_i = -(a_{yi}^2 - a_{yi+1}^2)$$

$$b_i = 2(a_{yi} - a_{yi+1}), \quad e_i = -(a_{zi}^2 - a_{zi+1}^2)$$

$$c_i = 2(a_{zi} - a_{zi+1}), \quad f_i = (a_{xi}^2 - a_{xi+1}^2)$$

$$k_1 = \frac{s_x^2}{s_y^2}, \quad k_2 = \frac{s_x^2}{s_z^2}, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5$$

위의 식에서 미지수는 a_{x0}, a_{y0}, a_{z0} 와 k_1, k_2 의 5개이고 방정식이 $i = 1, 2, 3, 4, 5$ 의 5개이므로 연립방정식의 해를 구하면 각 센서의 오프셋 전압 a_{x0}, a_{y0}, a_{z0} 과 k_1, k_2 를 구할 수 있으며, 이를 식 (5)에 대입하여 감도 s_x 를 구하고 s_x 와 k_1, k_2 의 관계로부터 감도 s_y, s_z 를 구하면 3축 MEMS 가속도 센서의 오프셋 전압과 감도를 모두 구할 수 있으며, 이를 이용하여 식 (2)에 의한 가속도를 측정하면 센서에 의하여 정확한 각축의 가속도 정보를 얻을 수 있다. 한편 식 (7)의 연립방정식의 해는 수치해석법인 가우스 소거법(Gauss elimination method)을 적용하여 구한다^[4].

3. 실험 결과 및 검토

퍼터의 가속도 측정시스템은 TI사의 DSP320VC550 DSP와 표 1에 나타난 Kionix사의 3축 가속도 센서인 KXM52-1050를 사용하여 구성하였으며 A/D는 TI사의 12-bit ADS7829를 사용하였다. 그림 1은 측정 시스템의 제어 보드(control board)이고,

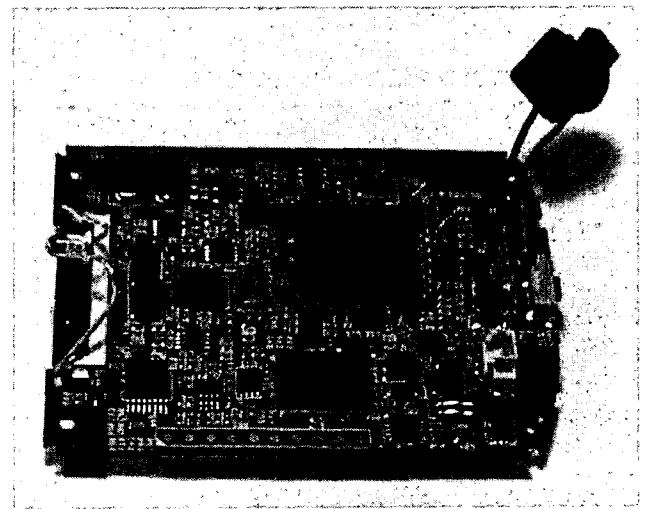


그림 1 가속도 측정 시스템의 제어보드

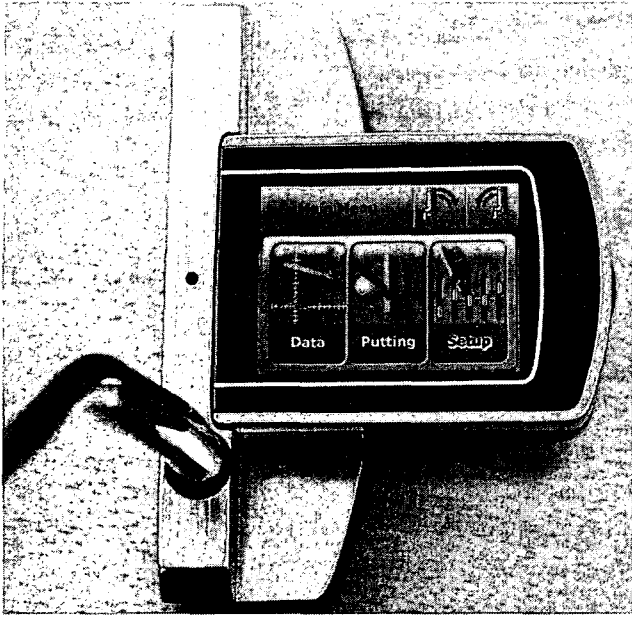


그림 2 퍼터의 가속도 측정 시스템

그림 2는 조립된 제품상태에서 퍼터에 장착한 사진이다. 실험은 완전히 조립된 제품(Dixx)을 사용하여 진행하였으며 측정의 정밀도를 높이기 위하여 1024개의 데이터를 평균한 값을 측정하였다. 표 2는 가속도 센서의 디지털 측정값이고 표 3은 표 2의 데이터를 사용한 가우스 소거법에 의한 해이다.

표 2 가속도 센서의 측정값

i	1	2	3	4	5	6
x	2033	2154	2892	2199	1972	2880
y	2184	1303	2066	2255	1317	2055
z	1166	1907	1902	1183	1836	1822

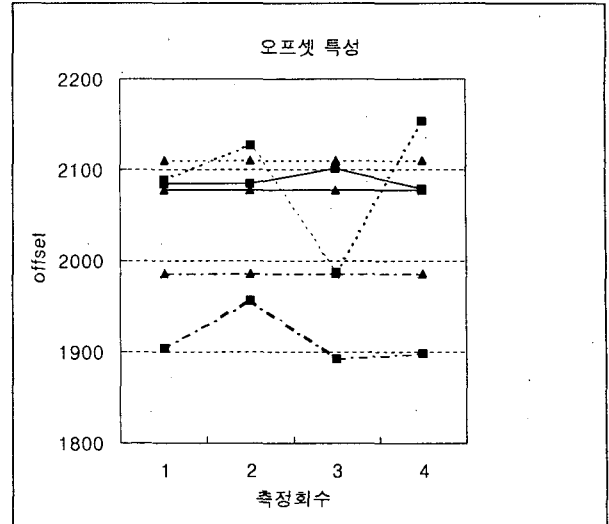
표 3 가우스 소거법의 해

$a_{x0} =$	2084
$a_{y0} =$	2127
$a_{z0} =$	1956
$k_1 =$	1
$k_2 =$	1

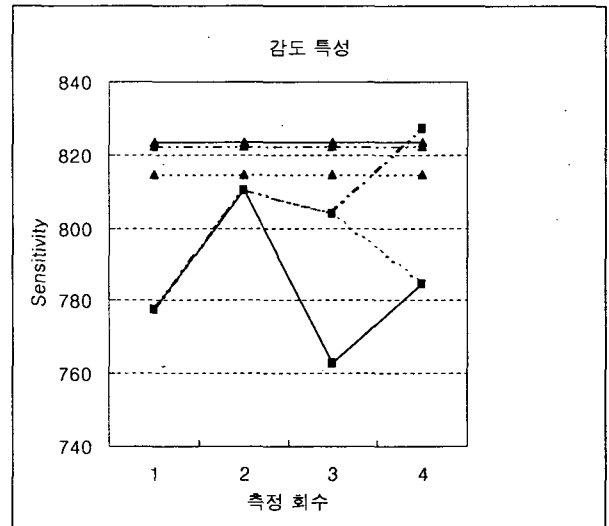
그림 3은 3개의 모드에 대하여 수작업 측정에 의한 측정치와 제안한 방법에 의한 계산치를 나타낸 것으로 오프셋전압과 감도가 대체적으로 잘 일치함을 보이고 있으며, 제안한 방법의 적용 가능성을 보이고 있다. 그러나 실험결과에서 보여 주듯이 제안한 방법에 의한 값의 편차가 발생함을 알 수 있으며, 이 부분은 추가적인 연구가 필요하다고 보인다.

4. 결 론

본 논문에서는 저가의 소형 MEMS 가속도센서의 측정 정밀도를 개선하기 위한 오프셋과 감도를 정지한 상태에서 측정된 6쌍의 데이터를 이용하여 구하는 방법을 제안하고 실험을 통하여 타당성을 검증하였다. 향후 편차를 줄이기 위한 연구가 요구된다.



(a) 오프셋 특성



(b) 감도 특성

그림 3 가속도 센서의 특성(모드 1:실선, 모드 2: 점선, 모드 3: 일점쇄선, ▲: 측정치, ■: 제안한 방법에 의한 계산치)

참 고 문 헌

- [1] J.M. Stauffer, "Market Opportunities for Advanced MEMS Accelerometers and Overview of Actual Capabilities vs. Required Specifications", IEEE Position Location and Navigation Symposium, PLANS 2004, pp. 78-82, 2004, April.
- [2] 진용, 박찬국, 지규인, "온도에 따른 저급 IMU의 특성 분석 및 보상", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2365-2367, 2000, 7.
- [3] Application Note: Autocalibration algorithms for FGM type sensors, Speaker & Co Limited, pp. 1-6.
- [4] Curtis F. Gerald, *Applied Numerical Analysis: Second Edition*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1978.