

# 1-축 자이로센서를 이용한 진북 추종 알고리즘 특성에 관한 연구

## Study on the Algorithm Characteristic of True North-Finding Utilizing 1-axis Gyro Sensor Equipment

최주호\*† · 권 영\* · 이대철\*\* · 정한식\*\*\* · 정효민\*\*\*

Ju-Ho Choi\*† , Young Kwon\* , Dae-Chul Lee\*\* , Han-Shik Chung\*\*\*  
and Hyo-Min Jeong\*\*\*

(Received 27 February 2015, Revision received 17 April 2015, Accepted 17 April 2015)

**Abstract:** The true north-finding equipment utilizing gyro sensor is used for INS(Inertial Navigation System) and has an increasing preference for gyro compass system due to compact size, lightening, low power and price. The purpose of this experiment is to research gyro compass system providing high performance in the field of manned or unmanned gyro compass system which proposes the accuracy of 1% utilizing experimented equipment at true north of the earth. Unlike the conventional system, the proposed gyro sensor system indicates to be applied in the various and specific equipment using multiple technique and method.

**Key Words :** FOG gyroscopes, Gyrocompassing, North-finding, Azimuth, Heading, Carouseling, Maytagging

### 1. 서 론

자이로는 특정 운반체의 회전 각속도를 감지하는 센서로서 과거 오랫동안 선박이나 항공기 그리고 로켓 등의 항법장치에 활용되어 왔다.

초기 개발된 기계식 자이로(mechanical gyro)는 고속으로 회전하는 회전체의 세차운동(precession) 현상을 이용한 것으로 구조가 복잡하고 생산가격이 높기 때문에 주로 군사적 응용분야에만 사용되어 그 활용도가 제한적이었다.<sup>1,2)</sup> 그러나 최근

에 이르러 전통적인 기계식 자이로에 비해 구조가 단순하고 신뢰도가 높으며 측정범위가 넓고 상대적으로 가격이 저렴한 광학식 자이로(optical gyro)와 마이크로자이로(micro gyro)가 개발되어 군사 분야는 물론 우주선, 민간 항공기, 자동차, 무인로봇, 휴대폰 및 축전지를 이용한 소형선박 전기추진 시스템에 이르기까지 산업 전 분야에 걸쳐 자이로의 적용영역이 급속히 확대되는 추세이다. 그중 가장 유망한 응용분야중 하나가 자이로 콤파스 시스템(진북추종장치)으로 여기서 자이

\*† 최주호 : (주)씨엔지 연구개발본부

E-mail : muse4118@naver.com, Tel : 055-600-6203

\*권 영 : (주)씨엔지 연구개발본부

\*\*이대철 : 큐알피테크 기술연구소

\*\*\*정한식 : 경상대학교 에너지기계공학과, 해양산업연구소

\*\*\*정효민 : 경상대학교 에너지기계공학과, 해양산업연구소

\*† Ju-Ho Choi : C&G Co., Ltd.

E-mail : muse4118@naver.com, Tel : 055-600-6203

\*Young Kwon : C&G Co., Ltd.

\*\*Dae-Chul Lee : QRP Tech, The Institute of Technology

\*\*\*Han-Shik Chung : Department of Energy and Mechanical Engineering, The Institute of Marines Industry, Gyeongsang National University.

\*\*\*Hyo-Min Jeong : Department of Energy and Mechanical Engineering, The Institute of Marines Industry, Gyeongsang National University.

로는 지구 자전 각속도 센서로 이용된다. 자이로 콤파스 시스템에 자이로를 활용할 경우에는 몇 가지 중요한 장점(소형, 경량화, 신속한 가동, 저전력 소모 및 저렴한 가격 등)을 갖는다.<sup>3,4,5)</sup>

일반적으로 자이로는 회전각이나 상대방위는 탐지할 수 있으나 방위각(azimuth)은 찾아낼 수 없다. 그러므로 자이로를 자이로 콤파스 시스템에 적용하려면 지구회전축 방향(즉, 진북방향)을 식별할 수 있어야 한다. 따라서 자이로 콤파스 시스템에서는 자이로를 회전시키고, 자이로의 감지축(sensing axis)이 지구 자전 각속도의 수평투사(horizontal projection)를 주사(scanning)하도록 한다. 이렇게 하여 얻은 신호를 Earth signal(자이로를 회전시킬 때 동, 서, 남, 북 각 방향에 따라 측정되는 지구 자전 각속도의 크기)이라 하며, 이 신호의 정보를 이용하여 진북방향을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 Earth signal의 수학적 모델을 해석하고, Earth signal의 데이터를 활용할 수 있는 최적의 장비를 개발하고 개발된 장비로부터 진북추종 알고리즘 및 이를 이용한 진북추종 장비를 구현하고자 한다.

## 2. 자이로 콤파스 적용 원리

Earth signal의 데이터를 이용한 자이로 콤파스 시스템은 Carouseling과 Maytagging 방법을 포함하여 접근한다. 이 두 가지 방식의 자이로 콤파스는 지리적 방향을 찾기 위해서 관성 센서를 회전시켜 지구의 자전과 중력벡터의 감지를 통해 북쪽이나 동쪽을 찾는다. 북쪽과 수평방향 사이의 각도는 시계 방향으로 북으로부터의 방위각  $\sigma$ 로 정의하고 북쪽이 0°이면 동쪽은 90°이다.

지상 또는 해상에서의 방위각은 각 대상의 수평방향을 기준으로 정의한다. 방위각이 1~4 mrad 이내의 50% 오차 범위의 정밀도를 가지기 위해서는 대상 위치 오차는 1 km 거리(d)에서 1~4 m의 이내의 위치오차를 가져야 한다.<sup>4,6)</sup>

위 설명에 대한 각도 오차(또는 Heading) 거리의 배율은 아베 방식(또는 추측항법(dead reckoning))에서 사인 오차라고 함)에서 다음과 같다.<sup>5)</sup>

$$\epsilon = d \sin \sigma \tag{1}$$

수평각도(방위각)를 찾기 위해 지구 회전 벡터의 수평 성분은 자이로스코프에 의해 측정된다. 지구의 자전속도  $\Omega_E$ 의 크기는 15.041067°/hr(약 0.0042°/sec) 이지만 수평성분  $\omega_h$ , 위도 $\phi$ 에 의존한다.

$$\omega_h = \Omega_E \cos \phi \tag{2}$$

예를 들어, 인공위성 관련 비행 모델의 시험이 위도 37°에서 수행된다고 가정할 경우 지구 회전에 의한 각속도는 Fig. 1과 같이 계산될 수 있다.

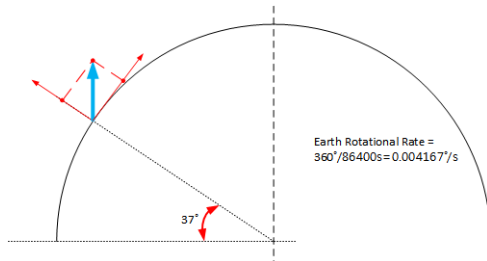


Fig. 1 Estimation on earth rotation rate

지구 자전축 방향으로의 각속도는

$$360^\circ / 86,400 \text{ sec} = 0.00417^\circ / \text{sec}$$

와 같이 계산되며, 위도 37° 지표면에서 회전 진북 방향을 바라보고 수평 방향의 각속도는 지구 회전 각속도의 코사인 성분입니다

$$360^\circ / 86,400 \text{ sec} \times \cos 37^\circ \approx 0.00333^\circ / \text{sec}$$

의 값을 가진다. 지표면 수직방향의 각속도 성분은 지구 회전 각속도의 사인 성분입니다

$$360^\circ / 86,400 \text{ sec} \times \sin 37^\circ \approx 0.00251^\circ / \text{sec}$$

의 값을 가짐을 알 수 있다. 진북 방향에 대해서 직각을 이루는 동쪽 또는 서쪽 방향으로의 각속도는 0°/sec이며, 만약 좌표계의 한 축이 지표면과 같은 방향으로 놓이게 되면 그 방향의 각속도 및 극성은 확인할 수 없게 된다.

방위각  $\alpha$ 는 자이로의 센서 측정 방향과 지표면이 수평하게 정렬하여 측정 위치에서의 중력 성분의 영향을 고려하여 방위각을 검출한다. 실험을 단순화하기 위해서는 감지축의 모든 측정은 “동쪽”으로 위치하고 중력에 수직 벡터성분을 가지고, 평면으로부터 접선(수직)면에서 수행되도록 지표면에 평행하게 유지되도록 하면 Fig. 2와 같이 표현된다. 이때 자이로스코프에 출력되는 지구와의 수직성분 벡터의 측정값은 다음과 같다.

$$w = w_h \cos \alpha = \Omega_E \cos \phi \cos \alpha \quad (3)$$

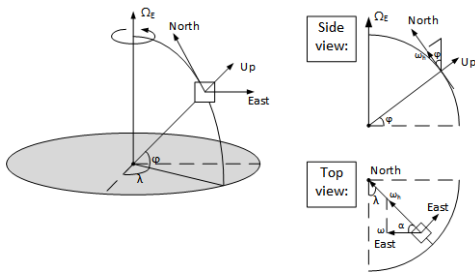


Fig. 2 Definition of azimuth, latitude, in a local horizontal plan for gyrocompassing applications.

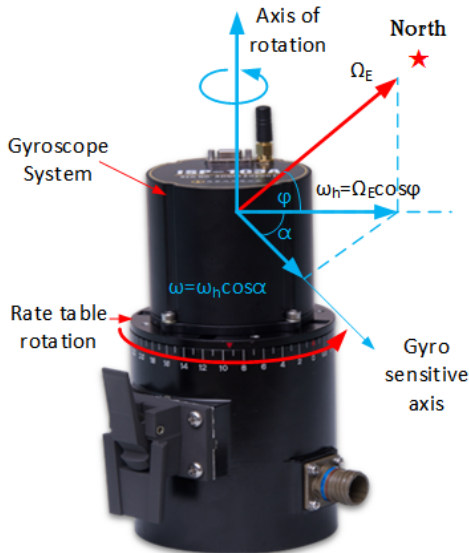


Fig. 3 The north-finding system, with the axis of sensitivity parallel to the horizontal component of the Earth's rate vector

진북 추종 구현 시스템은 물리적으로 방위각의 북쪽에 셋업이 가능하고, 이로부터 식 (3)의 북쪽 방향( $\alpha=0^\circ$ )으로 정렬된 자이로스코프의 지구 벡터,  $w_h$ 는 최대 측정값으로 출력되는 것을 알 수 있다. 대조적으로 자이로스코프가 동쪽을 가리킬 때는 ( $\alpha=90^\circ$ )  $0^\circ/\text{hr}$ 로 출력된다. 이로부터 알고리즘은 최대값 보다는 0을 가리키는 동쪽을 참조하는 것이 더 효과적이기 때문에 이러한 이유로 초기 자이로스코프 시스템은 실제로 대부분 동쪽을 추구한다.<sup>7)</sup> 이러한 시스템은 출력이 0으로 감지될 때까지 지표면의 수직축에 대해 가장 민감한 축인 동쪽으로 자이로스코프를 정렬하여 회전시킨다.

자이로스코프 세팅시 물리적인 회전을 수행하지 않고 방위각을 결정하기 위해서는 지표면에 대해 수직, 수평 각 방향의 2개의 자이로를 활용하여 방위각을 산출한다. 이때  $\cos(\alpha+90^\circ) = -\sin \alpha$ 를 적용할 경우 중력에 대한 자이로스코프 출력값은 다음과 같다.<sup>8)</sup>

$$\begin{aligned} \omega(0) &= \omega_h \cos \alpha, \\ \omega(90) &= -\omega_h \sin \alpha \end{aligned} \quad (4)$$

이로부터 (4)값을 이용하여 다음과 같이 계산한다.

$$\alpha = \arctan \left[ -\frac{\omega(90)}{\omega(0)} \right] \quad (5)$$

이처럼 방위각  $\alpha$ 를 구하는 식들로부터 기본 방위각을 찾을 수 있으나 실제로는 자이로스코프의 바이어스에 의한 드리프트 현상으로 인하여 생기는 오차가 발생하는데 이를 해결하기 위해서는 새로운 접근 방식이 요구된다. 그 중 연속회전 또는 Carouseling 이라는 방식은 드리프트에 의한 오차와 스케일 벡터 오류성분을 포함하지만 방위각 식별을 보다 신속하게 할 수 있는 장점이 있다. Carouseling 방식을 적용한 회전 플랫폼은 Fig. 3과 같이 구성되고 지표면과 평행축 요소인  $w_h$ 의 변화량은 독립된 바이어스 성분  $b$ ,를 포함한 회전 장치는 지구의 자전축과 자이로스코프의 측정되는 입력축 사이의 각 변화량에 영향을 준다. 이로부터 표현되는 회전하면서 측정되는 시간변화에 따른 방위각은 다음과 같이 표현된다.

$$\omega(t) = \omega_h \cos(\Omega t + \alpha) + b$$

이때, 자이로스코프의 신호는 남쪽 방향에서 최소값이 되고 북쪽 방향에서는 최대값이 출력된다. 자이로센서의 신호 출력은 정현파 형태의 방위각 ( $\alpha$ )을 360°로 순간 위치에서 정현파 형태로 위상을 감지하여 데이터로 출력된다. 회전 주파수에 따른 위상과 자이로센서에서 출력되는 진폭에 의한 방위각의 위상이 동시에 나타나며 이로부터 바이어스 오차를 추출할 수 있다.<sup>9,10</sup> 이런 진폭 추종 방식 알고리즘 적용의 시스템은 3축 자이로센서를 이용하거나 혹은 2축 자이로센서를 이용함으로써 만들어진다. 여기서 정밀도 부분에 서도 크게 중요하지 않은 시스템에서는 MEMS 자이로센서를 활용함으로써(사이즈 축소, 정밀도 감소) 방위각을 추종하고, 정밀도를 요구하는 시스템에서는 FOG 자이로를 활용함으로써(사이즈 증가 정밀도 증가) 기 장비의 시스템에서는 사이즈와 정밀도를 동시에 만족하는 시스템을 찾을 수 없는 실정이다.

본 논문에서는 기존의 장비에서의 상호 보안적인 부분을 해소하여 최적의 장비를 제안하고, 제안된 장비에서 회전시 발생하는 오차를 최소화할 수 있는 장치를 제작하여 그로부터 자이로센서에서 출력되는 데이터를 추출 진폭 방향 및 방위각을 추출할 수 있는 특성화된 장비를 고안하였다. 특성화된 장비를 검증하기 위해 Fig. 4와 같이 시험 장비를 구성하였다.



Fig. 4 Gyroscope characteristic verification Test Equipment system

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 구현장비의 설정 및 특성

자이로스코프의 특성 확인을 위해 본 실험에서는 Maytagging 방식을 적용하여 시험 장비를 구성하였다. 또한 자이로센서의 특성을 파악하기 위하여 시뮬레이션을 통해 회전시 측정되는 센서의 측정값을 랜덤으로 생성하고 90도 간격으로 1 sigma(신뢰도 66.5% 수준) 값을 생성하도록 모델링 하였다. 모델링의 값을 기준으로 실제 자이로데이터의 정확도를 높이기 위한 주기 설정을 할 수 있으며 Fig. 5와 같이 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다.

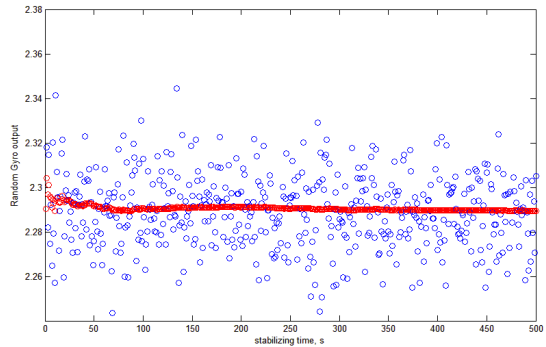


Fig. 5 Gyro stability time

이 방법을 근거로 하여 시스템의 회전시 적용한 자이로센서의 권장 회전 주기는 490°/sec이지만 보다 정밀한 값을 얻기 위해 본 실험에서는 360°/sec 이상의 회전 주기를 적용하여 데이터를 획득하였다.

이를 토대로 Fig. 6은 자이로센서를 360° 회전시키면 지구 방위각이 정확히 출력되는지 확인하기 위해 1°단위로 자이로센서의 값을 검출하여 450° 구간에 대한 방위각의 변화를 그래프로 나타낸 것이다.

이상과 같이 자이로에서의 지구의 방위각 데이터가 나오는 것을 확인하였으며, 적용된 자이로센서의 랜덤워크에 따른 안정화 시간은 각 포인트에서 데이터 획득 수집 시간에 따라 자이로 데이터의 정확도가 달라지는 것을 확인할 수 있었다.

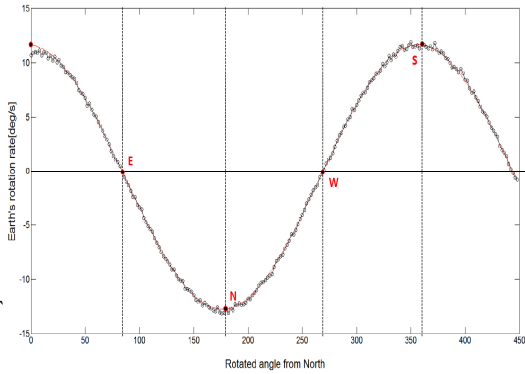


Fig. 6 Azimuth gyro data according to the display format

이러한 결과는 자이로센서를 360° 회전시킬 경우 순간적인 데이터 획득 시에도 지구의 방위각 검출이 가능하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 360°를 회전속도 1 rps(round per second)로 설정하고 이때 출력되는 자이로센서의 데이터를 획득하여 그에 따라 분석한 결과이다.

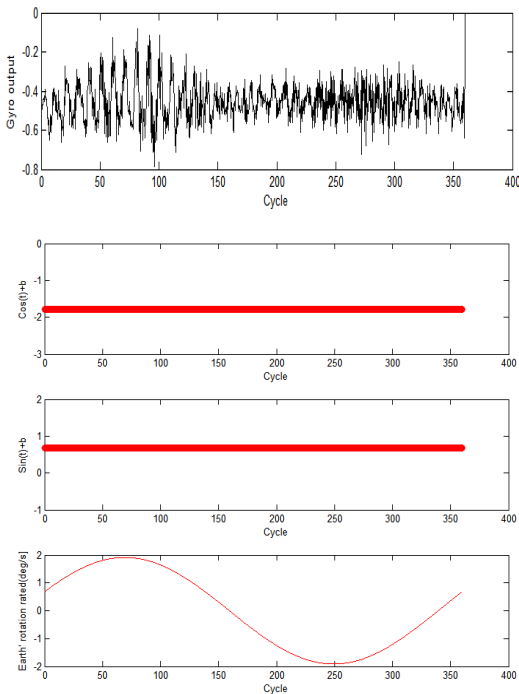


Fig. 7 Earth azimuth rotation according to the gyro data 1rps

설정된 주기에 맞춰 자이로센서의 출력이 지구의 진북을 가리키는 데이터로 나오는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 360°를 회전속도 0.5 rps로 설정하여 이때 출력되는 자이로센서의 데이터를 획득하고 그에 따른 데이터를 분석한 결과 설정한 주기에 맞춰 자이로센서의 출력이 지구의 진북을 가리키는 데이터로 나오는 것을 확인할 수 있다.

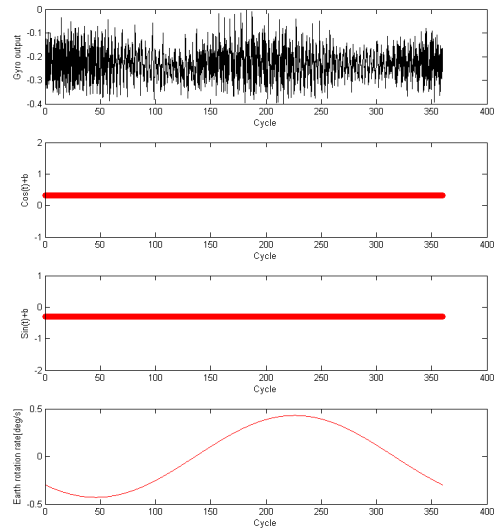


Fig. 8 Earth azimuth rotation according to the gyro data 0.5rps

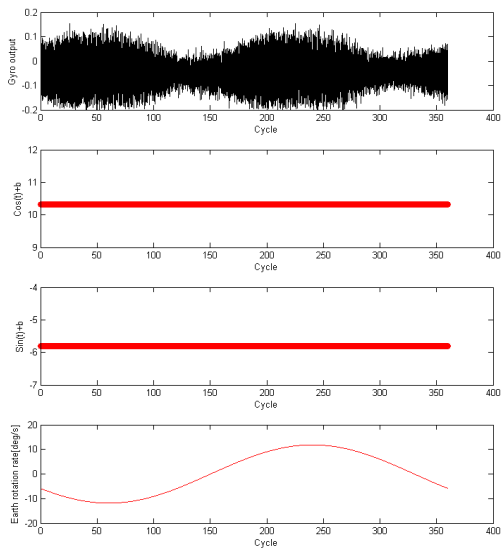


Fig. 9 Earth azimuth rotation according to the gyro data 0.1rps

Fig. 9는 360°를 회전 속도 0.1 rps로 설정하여 이때 출력되는 자이로센서의 데이터를 획득하고 그에 따른 데이터를 분석한 결과 설정한 일정 주기에 맞춰 자이로센서의 출력이 지구의 진북을 가리키는 데이터로 나오는 것을 확인할 수 있다.

각 데이터에서 지구의 방위각을 나타내는 데이터를 확인하면서 자이로센서에서 가지는 안정화 시간에 준하여 진북 추종 오차는 회전 속도가 느릴수록 동쪽에 대한 자이로센서의 출력 값이 0으로 수렴해 가는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 1축 자이로센서를 이용한 진북 추종 구현장비에 관하여 각 포인트별로 안정화 시간까지 데이터를 습득하는 것이 아니라 자이로센서를 360° 회전시켰을 경우 랜덤 워크의 데이터를 검출하고, 이를 토대로 지구의 방위각을 찾는 알고리즘을 간소화 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 진북 추종 구현 장비는 전통적인 기계식 자이로 콤파스보다 선호도가 높은 디지털 방식이 상대적으로 고가이므로 시스템의 접근이 쉽지 않다. 본 논문에서는 자이로 콤파스 시스템에 대처하면서 최적의 조건으로 동일한 기능을 구사하여 그에 따른 활용도와 부가 가치를 더욱 높일 수 있는 구현 장비를 제안하였다.

2) 각 포인트 별 안정화 시간까지의 데이터 습득을 통해 자이로센서 및 자이로 콤파스 방식에 있어서 각 시스템에 요구되는 정밀도의 수준은 그 시스템의 사용 조건에 따라 달라지지만 지구의 방위각 추종이 언제나 가능하다는 것을 확인하였다.

3) 회전시 검출된 데이터로부터 확인할 수 있듯이 회전 속도를 낮추어 구동하면 자이로센서의 데이터 정밀도가 더욱 정확해지고 데이터 획득 시간이 동일할 경우 획득 구간이 클수록 데이터 정밀도가 정확해질 것으로 판단되며, 이로부터 적정 속도를 찾아냄으로써 각 분야에 요구되는 성능에 맞게 자이로 시스템 구성이 가능하다는 것을 확인하였다.

#### References

1. G. T. Schmidt, "S. Arimoto, "INS/GPS Technology Trends", NATO RTO Education Notes EN-SET-64, Advance in Navigation Sensor and Integration Technology, p. 1-1 (2004).
2. B. Culshaw and I. P. Giles, "Fiber optic gyroscopes", Selected Papers on Fiber Optic Gyroscopes, R. B. Smith, SPIE Milestone Series Vol. MS 8, pp. 28-38, SPIE Optical Eng. Press, 1989.
3. A. Lawrence, Modern Inertial Technology. New York, NY, USA: Springer-Verlag, 1998.
4. J. Pritchett, C. Lange, and J. Warren, "System design trades in gimbaled MEMS northfinding systems," in proc. JSDE/ION JNC, Jun. 2012, pp. 25-30.
5. T. Y. Jeong and S. K. Jeong, 2011, "Comparison Analysis on Efficiency and Operating Characteristic between Induction and BLDC Motor according to the Load Variation Based on Battery Power Source for Electric Propulsion System of Small Ships", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 78-83.
6. (Aug. 2006). Datasheet for Honeywell  $\mu$ point HMR3600 Digital Magnetic Compass [Online]. Available : [http://www.51.honeywell.com/aero/common/documents/myaeroaccatalog-documents/Defense\\_Brochures-documents/Honeywell\\_Magnetic\\_Sensors\\_and\\_Compassing\\_Solutions.pdf](http://www.51.honeywell.com/aero/common/documents/myaeroaccatalog-documents/Defense_Brochures-documents/Honeywell_Magnetic_Sensors_and_Compassing_Solutions.pdf)
7. A. Lawrence, Modern Inertial Technology. New York, NY, USA : Springer-Verlag, 1998.
8. A. Meyer and D. Rozelle, "Milli-HRG inertial navigation system," in proc. IEEE/ION PLANS, Apr. 2012, pp. 24-29
9. S. Zotov, M. Rivers, A. Trusov, and A. Shkel, 2011, "Folded MEMS pyramid inertial measurement unit," IEEE Sensor J, Vol. 11, No. 11, pp. 2780-2789.
10. Igor P. Prikhodko, Sergei A. Zotov, and Alexander A. Trusov, 2013, "What is MEMS Gyrocompassing Comparative Analysis of Maytagging and Carouseling," IEEE/MIC SYSTEMS, Vol. 22, No. 6, pp. 1257-1266