

## 멀티센서 퓨전 기법을 활용한 방위 측정 알고리즘의 설계

김태영<sup>1</sup>, 김영철<sup>2</sup>, 송문규<sup>3</sup>, 정길도<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 전자정보공학부, <sup>2</sup>군산대학교 기계자동차공학부, <sup>3</sup>원광대학교 전자및제어공학부

### Development for the Azimuth Measurement Algorithm using Multi Sensor Fusion Method

Tae Yeong Kim<sup>1</sup>, Young Chul Kim<sup>2</sup>, Moon Kyou Song<sup>3</sup> and Kil To Chong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Electronics and Information Department, Chonbuk National University

<sup>2</sup>Mechanical and Automotive Engineering Department, Kunsan National University

<sup>3</sup>Electronics and Control Department, Wonkwang University

**요약** 현재 선박의 자동운항을 위해서는 항체의 위치정보 및 방위정보가 반드시 필요하다. 그 중에서도 방위정보는 자동조타 시스템에 필수적인 요소로 측정 장비로는 자이로컴퍼스, 마그네틱 컴퍼스 그리고 GPS 컴퍼스가 있다. 자이로컴퍼스는 주로 GMDSS(Global Maritime Distress & Safety System)의 대형선박에 사용되고 있으며 정밀도와 신뢰도가 우수하지만 부피가 크고 고가라는 단점이 있다. 그리고 마그네틱 컴퍼스는 비교적 정확하고 저렴하지만 선박의 철제 구조물 등과 같은 자성물체에 의한 영향을 많이 받는다는 단점을 가지고 있다. GPS컴퍼스의 경우는 위치정보의 변화에 따라 진북을 가리키지만 항체가 정지해있거나 오차범위 내에서 운동을 할 경우 정확한 방향을 얻을 수 없다.

본 논문에서는 이러한 방위각 센서의 상호보완을 위해서 least-square curve fitting 방법을 이용하여 GPS 컴퍼스의 성능을 향상시키고 이를 마그네틱 컴퍼스와 공분산 오차의 크기에 따른 가중치를 적용하여 방위각의 정밀도를 향상시키는 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통하여 제안된 알고리즘의 특성을 분석하고 성능을 검증하였으며 실험 결과를 통해 제안된 알고리즘의 적용 가능성을 보여주었다.

**Abstract** Presently, the location and direction information are certainly needed for the autonomous vehicle of the ship. Among them, the direction information is a essential elements to automatic steering system. And the gyro-compass, the magnetic-compass and the GPS compass are the sensor indicating the direction. The gyro-compasses are mainly used in the large-sized ship of the GMDSS(Global Maritime Distress & Safety System). The precision and the reliability of the gyro-compasses are excellent but big volume and high price are disadvantage. The magnetic-compass has relatively fine precision and inexpensive price. However, the disadvantage is in the influence by the magnetism object including the steel structure of a ship, and etc. In the case of the GPS compass, the true north is indicated according to the change of the location information but in case of the minimum number of satellites or stopping of a ship or exercise in the error range, the exact direction cannot be obtained.

In this paper, the performance of the GPS compass was improved by using the least-square curve fitting method for the mutual trade off of the angle sensor. The algorithm which improves the precision of an azimuth by applying the weighted value according to the size of covariance error was proposed with GPS-compass and magnetic compass. The characteristic and the performance of the proposed algorithm were analyzed and verified through experimentation. The applicability of the proposed algorithm was shown through the experimental result.

**Key Words** : Magnetic-compass, GPS-compass, Least-square Curve fitting

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업과 지식경제부, 한국산업기술진흥원, 호남광역경제권 선도산업지원단의 광역경제권 선도산업 육성사업으로 수행되었음.

\*교신저자 : 정길도(kitchong@jbnu.ac.kr)

접수일 11년 01월 05일

수정일 11년 02월 06일

게재확정일 11년 02월 10일

## 1. 서론

최근 조선 산업 및 해양스포츠 산업의 발전에 따라 선박의 내비게이션 및 자동항법 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 선박의 자동항법을 위해서는 항체의 위치정보 및 방위정보가 반드시 필요하다. 특히 방위정보는 선박의 자동조타에 있어서 필수적인 요소로 무인선박기술에 기반이 되는 기술이다.

선박의 방위각 측정에 사용되는 센서로는 크게 자이로 컴퍼스, 마그네틱 컴퍼스, GPS 컴퍼스로 나누어진다[1]. 상대방위를 이용한 자이로컴퍼스는 주로 GMDSS (Global Maritime Distress & Safety System)의 대형선박에 사용되고 있으며 우수한 정밀도를 가지고 있지만 초기설정 시간이 길고, 부피가 크고 무거우며 고가라는 단점이 있다. 마그네틱 컴퍼스는 지구의 자기장을 이용하여 비교적 정확하고 저렴하게 자북을 표시하지만 외부 간섭 자기장에 민감하여 측정환경에 따른 영향을 많이 받는다. GPS컴퍼스의 경우는 위성을 통해 측정된 위치정보의 변화에 따라 진북을 가리키지만 미국 국방성에 의해 제어되고 있기 때문에 미국 종속적이고, 가시위성수가 부족할 경우 측위가 어렵다.

일반적으로 방위각 정보에 대한 개선 노력은 선박을 선회시켜 자차(Deviation)를 획득하는 선박선회에 의한 방법(Swinging Method)이 있지만 넓은 안전해역이 필요하고, 번거롭다는 단점이 있다[2]. 이후 GPS를 이용해 자기센서의 바이어스를 추정 보정하는 방법[3], GPS와 자기 센서를 병행적으로 사용하여 디지털 컴퍼스를 구성하는 방법에 대한 연구가 진행되었다[4]. 하지만 이들 방법의 경우 항체가 오차범위 내에서 운동을 할 경우 정확한 방위정보를 얻을 수 없다.

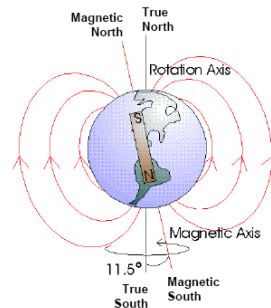
따라서 본 논문에서는 이러한 문제점의 극복을 위해서 측정데이터를 누적시켜 하나의 창으로 구성하고 least-square curve fitting을 수행하는 방법을 이용하여 GPS 컴퍼스의 성능을 향상시키고 이를 마그네틱 컴퍼스와 공분산 오차의 크기에 따른 가중치를 적용하여 방위각의 정밀도를 향상시키는 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘의 특성을 분석하고 성능을 검증하였으며 실험 결과를 통해 제안된 알고리즘의 유효성을 보였다.

## 2. 방위각 측정 방법

### 2.1 마그네틱 컴퍼스

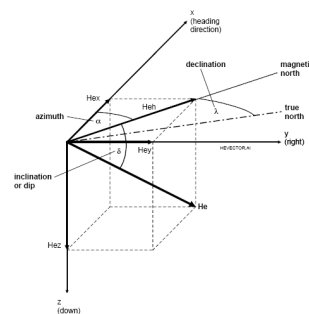
마그네틱 컴퍼스는 지자기를 검출하여 자북을 기준으로 360°의 방위를 나타낸다. 자자기는 0.5G (Gauss) 정도로 미소하지만 반도체형 지자기 센서를 통해 검출할 수 있다.

지자계의 분표는 그림 1과 같다. 여기서 중요한 점은 지구의 자북과 진북은 지축의 회전에 따라 약 11.5°의 차이가 있다는 것이다. 따라서 마그네틱 컴퍼스를 사용할 경우에는 진북과 자북의 오차 보정이 필요하다[5,6].



[그림 1] 지구의 자계 분표

그림 2는 지구 자기장 벡터를 3차원으로 나타낸 것이고, 방위각  $\alpha$ 는 수식 (1)을 통해 구한다.



[그림 2] 지구 자기장 벡터

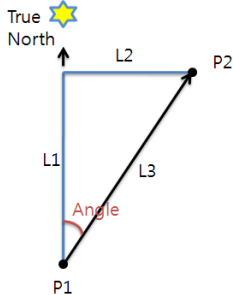
$$\alpha = \arctan \frac{Hey}{Hex} \quad (1)$$

### 2.2 GPS 컴퍼스

GPS컴퍼스는 위성을 통해 측정된 위치정보의 변화에 따라 진북을 가리키지만 가시위성수가 부족할 경우 측위가 어려우며 항체가 정지해있거나 오차범위 내에서 운동을 할 경우 정확한 방위정보를 얻을 수 없다.

GPS compass는 그림 3에서와 같이 위치 P1 점과 P2 점을 알고 있다면 진북에 대한 방위각 Angle 값은 식(2)

와 같이 계산된다. 또한 두 점 사이의 거리는 식(3)을 통해 얻는다.



[그림 3] GPS 방향각 측정

$$\tan(\angle) = \frac{\Delta L2}{\Delta L1} \tag{2}$$

$$L3 = \Delta L1 \times \sec(\angle) \tag{3}$$

### 3. 방위각 보정

#### 3.1 Least-square curve-fitting Method

본 논문에서는 GPS의 오차범위 내에서 항체가 운동할 경우에도 정확한 방향각 정보를 얻기 위해 현재 상태의 방향 데이터뿐만 아니라 이전상태의 값들을 누적시켜 하나의 창으로 구성하고 Curve Fitting을 사용해서 오차를 감소시킨다.

일반적으로 Curve Fitting은 현실적으로 얻을 수 있는 데이터를 이용하여 그 데이터들을 표현할 수 있는 가장 이상적인 수학적인 직선, 혹은 곡선을 얻어내는 기술을 말한다[6].

다항식의 차수가  $m-1$ 일 경우  $n$ 개의 데이터  $(x_i, y_i)(i = 1, 2, \dots, n)$ 에 대한 Curve fitting 함수는 식(4)와 같고 그에 대한 기저 함수(basis function)는 식(5)로 표현된다[7,8].

$$f(x) = \sum_{j=1}^m a_j x^{j-1} \tag{4}$$

$$f_j(x) = x^{j-1}, \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{5}$$

이를 least-squares fit을 이용해 파라미터  $a_j(j = 1, 2, \dots, m \ m < n)$ 에 대해 최소화 하면 식(6)으로 나타난다.

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - \sum_{j=1}^m a_j f_j(x_i)]^2 \tag{6}$$

따라서, 파라미터의 최적값은 식(7)의 해가 된다.

$$\frac{\partial S}{\partial a_k} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, m \tag{7}$$

식 (7)을 함수의 1차 결합으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(x) = a_1 f_1(x) + a_2 f_2(x) + \dots + a_m f_m(x) \tag{8}$$

#### 3.2 제안 데이터 결합 방법

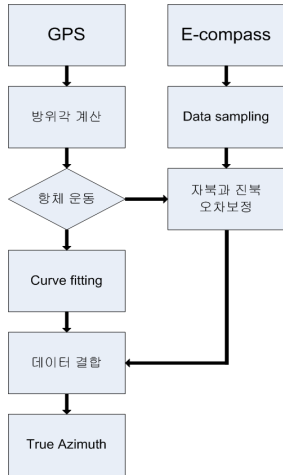
GPS 컴퍼스는 진북방향을 비교적 정확하게 측정하지 만 항체가 정지해 있거나 오차범위 내에서 운동할 경우 정확한 방위정보를 제공하지 못한다는 단점을 지니고 있다. 그리고 마그네틱 컴퍼스는 계산과정이 간소하고 저렴한 가격으로 방향정보를 얻을 수 있지만 주변 자기장에 영향을 많이 받고 자북방향을 가리키기 때문에 진북방향과의 오차를 보정해주어야 한다[9,10]. 따라서 여기에서는 두 가지 센서의 데이터 보정을 통해 보다 정밀한 선수 방위각을 측정하는 방법을 제안한다.

GPS compass의 경우 그 자체만으로는 방위각 계산이 불가능하기 때문에 정지 상태에서는 E-compass 에서 sampling된 방위각 정보를 통해 항체의 방위각을 결정하고 다음의 단계를 수행한다.

- 가) 초기 상태에서 전자컴퍼스의 방위각  $\Psi_c$ 를 항체의 방위  $\Psi_{true}$ 로 결정하고 그 공분산을  $C_c$ 라 한다.
- 나) 시간  $t$  에서의 방위각  $\Psi_{true}$ 를 구하기 위해 시간  $t-9$  에서  $t$  까지 GPS data를 하나의 창으로 구성한다.
- 다) 구성된 창의 data를 가지고 least-square curve fitting을 수행하여 방위각  $\Psi_s$ 을 구하고 그 공분산을  $C_s$ 라 한다.
- 라)  $\Psi_s$ 의 값과  $\Psi_c$ 의 값의 공분산의 값에 따른 가중치를 부여하고  $\Psi_{true}$ 를 다음과 같이 계산한다.
 
$$\Psi_{true} = \frac{C_c}{C_s + C_c} \times \Psi_s + \frac{C_s}{C_s + C_c} \times \Psi_c \tag{11}$$
- 마) 계산된  $\Psi_{true}$  값에 대해 filtering을 수행하여 노이즈를 제거한다.

바) 위의 과정을 반복하여 방위각 정보를 갱신한다.

그림 4는 방위각을 측정하는 과정을 나타낸다.



[그림 4] 방위각 결합 알고리즘

제한한 방법을 사용할 경우 가시위성 수가 부족한 경우에도 방위각의 측정이 가능하고 축적된 데이터를 기반으로 하기 때문에 정밀도가 향상되며 기존에는 항체가 저속으로 운동할 경우에는 GPS compass를 사용할 수 없었으나 저속운동에도 적용 가능하다는 장점이 있다.

## 4. 실험 및 고찰

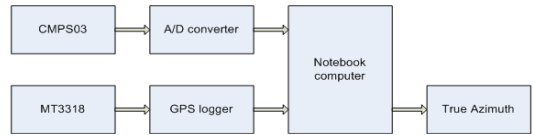
### 4.1 실험환경 및 장치 구성

실험은 둘레 400m 크기의 운동장에서 수행하였으며, 1번 레인을 3회 주행하는 데이터를 획득하였다. 그림 5는 실험환경에 대한 위성사진이다. x 표시 점에서 출발하여 왼쪽 방향으로 이동하였다.



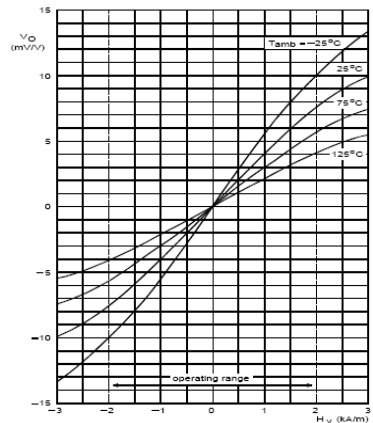
[그림 5] 운동장 위성사진

주행 실험하는 동안 평균 속도는  $1.327\text{ m/s}$  이고 그림 6은 실험 장치의 시스템 구성을 나타낸다.



[그림 6] 시스템 구성

실험에 사용된 GPS 수신기는 MT3318 칩셋을 이용한 ASCEN 사의 GPS740 모델로 1초 간격으로 데이터를 업데이트 하고 초기설정 시간이 짧으며 지원 NMEA 형식은 GGA, GSA, GSV, RMC 이다. 그리고 지자기 센서는 KMZ-51과 KMZ-52 MR센서로 구성된 CMPS03을 기반으로 한 SE-CMPS로  $0.1^\circ$ 의 분해능으로 방위각을 표시하고 방위각 캘리브레이션 기능을 가지고 있다. 그림 7은 지자기 센서출력의 특성곡선을 나타낸다.

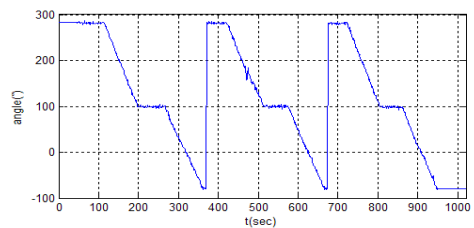


[그림 7] 지자기 센서출력의 특성곡선

### 4.2 실험 데이터 분석

#### 4.2.1 마그네틱 컴퍼스

그림 8은 마그네틱 컴퍼스를 통해 측정된 방위 정보이다.  $280^\circ$ 에서 출발하여  $-80^\circ$ 까지 3주기의 데이터로 나타낸다.

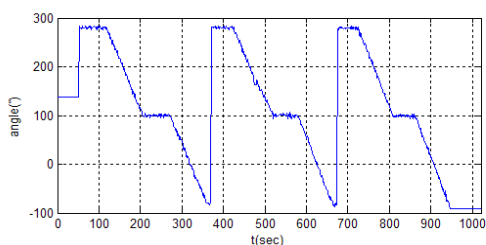


[그림 8] 마그네틱 컴퍼스 데이터

측정결과 최대 오차는 4.07°이고, RMSE(Root Mean Square Error)는 1.87°이다. 마그네틱 컴퍼스에 의한 방위 데이터는 지구의 자기장을 이용하여 비교적 안정적이고 저렴하게 자북을 가리킨다. 하지만 외부 간섭자기장에 민감하여 측정환경에 따른 많은 영향을 받으며 항체가 기울어지거나 주변 잡음에 영향을 받고 또한 진북과 자북의 오차를 보정해줄 필요가 있다.

#### 4.2.2 GPS 컴퍼스

그림 9는 GPS 컴퍼스를 통해 측정된 방위 정보이다. 280°에서 출발하여 -80°까지 3주기의 데이터로 나타낸다.

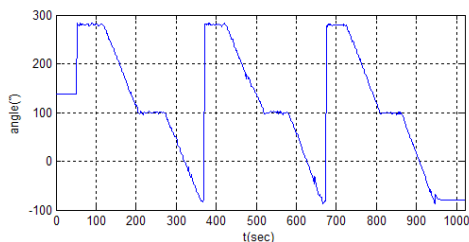


[그림 9] GPS 컴퍼스 데이터

측정결과 최대 오차는 4.30°이고, RMSE(Root Mean Square Error)는 2.07°이다. GPS 컴퍼스는 수신기의 위치 변화를 이용하여 진북방향을 찾아낸다. GPS 자체적으로 가지는 전리층 오차, 위성시계 오차, 다중경로 오차, 대류권 오차 등으로 오차가 발생한다. 또한 항체가 정지해 있거나 오차범위 내에서 운동할 경우 방위 정보를 제공할 수 없으며, 이를 그림 8에서 0 ~ 52 초 사이의 데이터 값을 통해 확인할 수 있다.

#### 4.2.3 curve-fitting을 이용한 GPS 컴퍼스

그림 10은 least-square curve-fitting을 적용한 GPS 컴퍼스를 통해 측정된 방위 정보이다. 280°에서 출발하여 -80°까지 3주기의 데이터로 나타낸다.

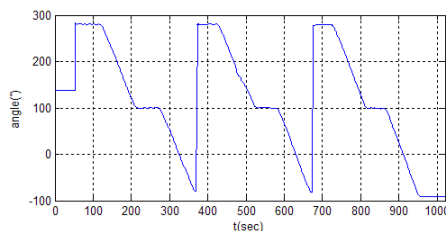


[그림 10] curve-fitting을 적용한 GPS 컴퍼스 데이터

측정결과 최대 오차는 4.04°이고, RMSE(Root Mean Square Error)는 1.39°이다. least-square curve fitting을 적용할 경우 실험 데이터에 대한 이상적인 곡선을 적용해 새로운 데이터를 구하기 때문에 GPS 컴퍼스와 비교에 오차가 감소한다. 다만 GPS 자체적으로 가지는 오차의 영향과 항체가 정지해 있는 경우에 대한 오차는 여전히 존재한다.

#### 4.2.4 노이즈 필터링 후 curve-fitting 적용 데이터

그림 11은 GPS 데이터를 기반으로 least-square curve-fitting을 적용하여 측정된 방위 정보이다. 280°에서 출발하여 -80°까지 3주기의 데이터로 나타낸다.

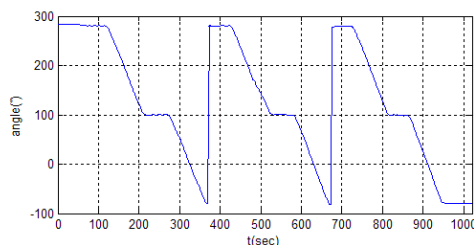


[그림 11] 노이즈 필터링 후 데이터

측정결과 최대 오차는 1.16°이고, RMSE(Root Mean Square Error)는 0.55°이다. 노이즈 필터링을 통해서 GPS 자체적으로 가지 오차에 대한 영향을 줄이고 보다 정확한 GPS의 위치 정보를 얻는다. 그에 따라 least-square curve fitting을 통해 측정 데이터에 대한 방위각 오차 역시 감소한다.

#### 4.2.5 제안 데이터 결합 방법을 적용한 방위 데이터

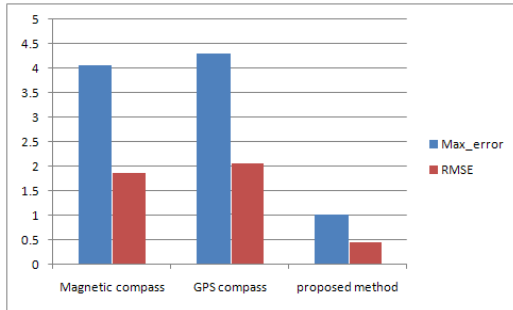
그림 12는 3.2절에서 제안한 데이터 결합 방법을 이용하여 측정된 방위 정보이다. 280°에서 출발하여 -80°까지 3주기의 데이터로 나타낸다.



[그림 12] 결합 방법을 적용한 방위 정보

측정결과 최대 오차는 1.02°이고, RMSE(Root Mean

Square Error)는 0.46°이다. 제안된 방법을 사용할 경우 마그네틱 컴퍼스와 GPS 컴퍼스의 데이터 결합 과정을 포함하고 있기 때문에 항체가 정지해 있거나 GPS 수신기의 오차범위 내에서 운동을 할지라도 방위 정보를 얻는다.



[그림 13] 측정 방법에 따른 오차

그림 13은 기존 단일 방위각 측정 방법과 제안한 데이터 결합방법에 따른 최대 오차와 RMSE를 나타낸 그래프이다. 제안한 방법을 통해 방위 정보를 측정할 경우 least-square curve fitting과 공분산 오차에 대한 가중치를 적용하여 마그네틱 컴퍼스 데이터와 GPS 컴퍼스 데이터 결합으로 오차를 보정하기 때문에 오차가 확연히 작아진 것이 그래프와 수치적으로 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 마그네틱 컴퍼스와 GPS 컴퍼스의 방위 정보의 상호보완을 위해 least-square curve fitting 방법을 이용하여 GPS 컴퍼스의 성능을 향상시키고 이를 마그네틱 컴퍼스와 공분산 오차의 크기에 따른 가중치를 적용하여 방위각의 정밀도를 향상시키는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 실험을 통하여 측정 알고리즘의 성능을 해석하였고 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

제안한 방법을 사용할 경우 저가, 소형의 형태로 외부 간섭 자기장에 대한 영향을 줄일 수 있고, 축적된 데이터를 기반으로 하기 때문에 정밀도가 향상되며 항체가 오차 범위 내에서 운동하거나 정지할 경우에도 적용 가능한 전자 컴퍼스 시스템을 구축 할 수 있다.

향후에는 제안한 알고리즘을 이용하여 실제 선박 시스템에 적용시키고, 또한 해양에서 발생할 수 있는 다양한 환경에 대한 더 발전된 방위각 측정 시스템을 구현하는 연구를 할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] 이상집, 항해계기학, 세종출판사, pp.1-130, 1986.
- [2] Alfred Hine, Magnetic Compasses and Magnetometers, Adam Higer Ltd., Great Britain, pp. 267-303, 1968.
- [3] 이경민, 천세범, 이은성, 이영재, 강태삼, 지규인 "GPS를 이용한 운항중 자기센서 보정", 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, pp. 224-227, 2004.
- [4] 윤계준, "GPS수신기와 지자기센서 병행식 디지털 전자컴퍼스에 대한 연구", 목포해양대학교 대학원 석사논문, pp. 51-56, 2005..
- [5] Application Note, "Electronic compass Design using KMZ51 and KMZ52", Philips Semiconductors.
- [6] 홍창현, 선박용 지자기 보정 기능을 갖는 이동식 전자컴퍼스 개발, 대한전기학회 학술대회 논문집, vol. 2007, No.10, pp. 381-382, 2007.
- [7] Steven C. Chapra, Numerical Methods for Engineers, McGraw-Hill, pp. 385-424, 2005.
- [8] Jaan Kiusalaas, Numerical Methods in Engineering with MATLAB, Cambridge univ. press, pp. 123-170, 2007.
- [9] Yuanlian Zhang, "GPS/DR Data Fusion Methods for Mobile Robot Localization and Navigation", Chonbuk National Univ., pp. 68-80, 2009.
- [10] 손은호, "로봇의 위치보정을 통한 경로계획", 대한전기학회 학술대회 논문집, Vol.2006, No.10, pp. 527-529, 2006.

김태영(Tae-Yeong Kim)

[준회원]



- 2009년 2월 : 전북대학교 전자공학과 (공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전자정보공학부 석사과정

<관심분야>

Navigation, Robotics, Filtering

**김 영 철**(Young-Chul Kim)

[정회원]



- 1993년 2월 : 전북대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1998년 4월 : Tohoku univ. 대학원 기계전자과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 2004년 12월 : 대불대학교 전기전자공학부 조교수
- 2005년 4월 ~ 현재 : 군산대학교 기계자동차공학부 부교수

<관심분야>

기계전자, 조선IT, 로봇응용, 유한요소해석 등

**송 문 규**(Moon Kyou Song)

[정회원]



- 1988년 2월 : 고려대학교 전자공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 전자및제어공학부 교수

<관심분야>

무선통신, 디지털통신

**정 길 도**(Kil To Chong)

[정회원]



- 1984년 2월 : Oregon State University 기계공학 (공학사)
- 1986년 2월 : Georgia Institute of Technology 기계공학 (공학석사)
- 1992년 2월 : Texas A&M University 기계공학 (공학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 전자정보 교수

<관심분야>

Marine Navigation, Time-Delay, Robotics, 인공지능, Web 기술