

전자 나침반과 초음파 센서를 이용한 이동 로봇의 Simultaneous Localization and Mapping

Simultaneous Localization and Mapping of Mobile Robot using Digital Magnetic Compass and Ultrasonic Sensors

김호덕 · 서상욱 · 장인훈 · 심귀보

Ho-Duck Kim, Sang-Wook Seo, In-Hun Jang, and Kwee-Bo Sim

중앙대학교 전자전기공학부

요 약

전자나침반(DMC)은 실내의 전자기적 요소나 강한 자성체 건물구조에서는 쉽게 방해받던 나침반보다 실내에서 간섭에 강한 특징을 가지고 있다. 그리고 초음파 센서는 물체와의 거리를 계산해 줄뿐만 아니라 값싼 센서로서 경제적인 이점을 가지고 있어 Simultaneous Localization and Mapping(SLAM)에서 많이 사용하고 있다. 본 논문에서는 자율 이동 로봇의 구동에서 전자나침반과 초음파 센서를 이용한 SLAM의 구현에 대해 연구하였다. 로봇의 특성상 한정된 센싱 데이터만으로 방향과 위치를 파악하고 그 데이터 값으로 가능한 빠르게 위치 측정을 하여야 한다. 그러므로 자율 이동 로봇에서의 SLAM 적용함으로 위치측정의 구현과 지도 작성을 수행한다. 그리고 SLAM 구현상의 주된 연구 중의 하나인 Kid Napping 문제에 중점을 두고 연구한다. 특히, 위치 측정의 구현을 수행하기 위한 데이터의 센싱 방법으로 초음파 센서를 사용하였고 비슷한 위치의 데이터 값이 주어지거나 사전 정보 없는 상태에서는 로봇의 상태를 파악하기 위해서 전자 나침반을 사용하였다. 그래서 자율 이동 로봇의 위치를 정확하게 측정하기 위해서 활용하였다.

Abstract

Digital Magnetic Compass(DMC) has a robust feature against interference in the indoor environment better than compass which is easily disturbed by electromagnetic sources or large ferromagnetic structures. Ultrasonic Sensors are cheap and can give relatively accurate range readings. So they are used in Simultaneous Localization and Mapping(SLAM). In this paper, we study the Simultaneous Localization and Mapping(SLAM) of mobile robot in the indoor environment with Digital Magnetic Compass and Ultrasonic Sensors. Autonomous mobile robot is aware of robot's moving direction and position by the restricted data. Also robot must localize as quickly as possible. And in the moving of the mobile robot, the mobile robot must acquire a map of its environment. As application for the Simultaneous Localization and Mapping(SLAM) on the autonomous mobile robot system, robot can find the localization and the mapping and can solve the Kid Napping situation for itself. Especially, in the Kid Napping situation, autonomous mobile robot use Ultrasonic sensors and Digital Magnetic Compass(DMC)'s data for moving. The robot is aware of accurate location By using Digital Magnetic Compass(DMC).

Key Words : Simultaneous Localization and Mapping(SLAM), 전자 나침반, 초음파 센서, 위치 측정, 지도 작성, Kid Napping.

1. 서 론

자율 이동 로봇이 오랜 시간동안 부여받은 임무를 수행하기 위해 이동하면서 자신의 위치를 인식하고 모르는 위치의 지도를 작성해야만 한다. 이와 같이 알려지지 않은 장소를 로봇이 이동할 때에는 Simultaneous Localization and

Mapping (SLAM)의 문제가 발생하는데, 이 문제는 몇 십년 동안 로봇을 연구하는 주제로서 가장 중요한 논쟁거리로 많이 언급되고 있다. 지금까지 많은 연구자들이 SLAM의 문제를 해결하기 위해 다양한 방법이 시도되고 있다. Young-Ho Choi는 실내 환경에서 visual sonar 기술을 이용해서 이미지의 거리를 측정하고 Iterative Closer Point 을 기본으로 한 알고리즘을 사용해서 격자의 지도를 만들어서 SLAM을 구현하였다[1]. Mark Pupilli는 필터를 통한 이미지를 이용한 SLAM을 구현하였다[2]. Patric Jensfelt는 서비스 로봇의 프레임에서 물체를 추적하면서 SLAM을 구현하는 연구도 진행되었다[12]. 그리고 한정적이지만 복도환경에서의 전자나침반을 사용해서 SLAM을 구현한 연구나 전자 나침반을 두 개를 사용한 연구도 있다[7,10]. Vision이외에도 초음파 센서, 적외선 센서, 레이저 스캐너 등을 이용하여 SLAM의 문제 해결 연구가 진행되어 지고 있다[3]. 최근에는 한가지의 센서

접수일자 : 2007년 4월 1일

완료일자 : 2007년 7월 28일

* 교신 저자

감사의 글 : 본 연구는 산업자원부의 [총괄과제 : 집단(群) 로봇 기술을 이용한 사회안전로봇 개발, 세부과제 : 로봇 통제 및 환경기술 개발] 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 연구비지원에 감사드립니다.

만을 사용하지 않고 sonar sensor와 스테레오 카메라를 같이 사용한 연구, 카메라와 전자나침반을 이용하는 두 가지 이상의 센서를 같이 사용하여 SLAM의 문제를 해결하려는 연구도 진행되고 있다[4,8]. SLAM의 문제를 해결하기 위해서 측정값들에 의해서 뿐만 아니라 각각의 센서들로부터 얻어진 측정값들을 가지고 Fuzzy, Neural Network, Genetic Algorithm 등의 지능알고리즘을 이용한 연구도 조금씩 연구되고 있다[5,6].

본 논문에서는 두 가지 종류의 센서인 전자 나침반과 초음파 센서들을 사용해서 SLAM을 구현하였다. 자율 이동 로봇의 이동 공간은 이상적이라 가정하고 실내공간에서의 자율 이동 로봇의 SLAM을 목표로 하였다. 특히, 지도 작성에서 위치에 대한 데이터 포맷을 제시하며 로봇의 주행에서 발생하는 Kid Napping 문제 해결을 주된 목표로 세우고 연구를 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 시스템 구성 장치에 대한 설명을 다루고 3장에서는 실험 내용에 대해서 보여준다. 4장에서는 실험 결과 및 차후 진행 내용을 기술하였다.

2. 시스템 구성

2.1 전자 나침반

로봇이 어떤 장소로 이동하는 명령을 받았을 때 그곳을 찾아가기 위해서는 기준이 필요하다. 우리는 그 기준을 방위로 선택하였고 그 방위를 사용하기 위해서 나침반을 사용하였다. 즉, 자율이동 로봇의 이동은 배의 항해와 같다고 할 수 있다. 바다위에서 배는 나침반을 사용하여 자신의 위치를 파악하고 목표 지점까지 찾아가는 것과 같이 자율이동로봇은 이동을 하게 된다. 일반 나침반의 경우 탐침의 흔들림이 심하기 때문에 정확하고 빠른 방위각 측정이 어렵다.

본 논문에서는 나침반 대신에 전자 나침반을 사용하였고 전자 나침반으로 부터 입력받은 방위 정보를 가지고 자율이동 로봇의 운행에 사용하였다. 전자나침반은 OPCEL사의 모듈을 사용하였다. 이 모듈은 2축 방식의 Magnetic Sensor에 의하여 자계를 측정하여 자북(Magnetic North)을 판단하는 모듈이다. 전자 나침반은 지구에 의한 자기장 외에 주위 자기장의 영향을 받는다. 그러나 실내에서는 영향을 크게 받지 않는다는 이상적인 조건을 가정하였다. 그림 1과 같이 전자 나침반 보드를 만들어, 지능형 모바일 로봇에 탑재하여 로봇의 절대 방위를 실시간으로 입력 받을 수 있도록 하였다. 그리고 측정된 방위는 로봇이 가지고 있는 지도에 나타나게 된다.

실험에서 사용하는 전자 나침반도 문제점을 가지고 있지만, 우리는 그 문제에 따라 다음과 같은 해결 방법을 제시하였다. 먼저, 방위각 모듈의 방위각 지시 값은 자북(Magnetic North)를 나타낸다. 정북(True North)과는 반시계방향으로 11.5도 벗어나고 있다. 이것은 소프트웨어적으로 11.5도 보정해 주었다. 둘째로는 전자 나침반 역시 지구의 자력을 이용하기 때문에 간섭들의 의해서 방위각이 일시 또는 장기간 정확한 위치파악을 못하는 경우가 있다. 이 경우에는 초음파 센서를 이용해서 에러 탈출 또는 보정을 할 수 있었다. 전자 나침반의 경우 지구의 수평선과 평행을 유지하지 않으면 값들의 편차를 가질 수 있지만, 실험 공간은 평지로 이루어져있기 때문에 큰 문제는 되지 않는다[9].

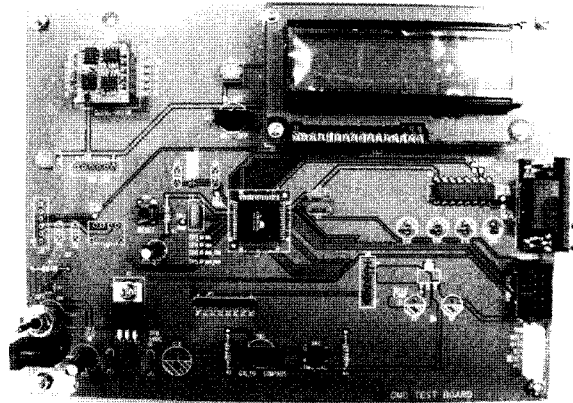


그림 1. 전자 나침반 보드
그림 1. Digital Magnetic Compass Board

2.2 초음파 센서

로봇에서 초음파 센서는 로봇이 장애물을 회피하면서 가려고 하는 곳을 가는데 중요한 역할을 한다. 카메라와 같이 사람 눈의 역할을 한다. 초음파센서는 값이 싸다는 장점을 가지고 있고 비교적 정확한 범위의 측정이 가능하다. 역시 이 실험에서도 초음파 센서는 주위 환경, 장애물에 대한 거리 측정 및 로봇의 위치를 확인하는데 사용된다. 초음파 센서는 폴라로이드사의 6500시리즈를 사용하였고 이 초음파 센서는 송신과 수신에 하나의 트랜스듀서에서 가능하다. 그리고 구동 주파수는 50kHz이며, 15°의 지향 특성을 가지고 있다. 따라서 그림 2와 같이 초음파 센서 12개를 사용해서 전 방위로 측정할 수 있게 배치하여 주변 360°에 대한 거리 정보, 주변의 물체의 위치 등의 주변 환경정보를 획득하였다. 그리고 센서가 구동한 후에 초음파 모듈 양단에 전원이 걸리게 되는데 이 전원을 방전시키기 위해 80ms의 시연 시간을 갖도록 하였다.

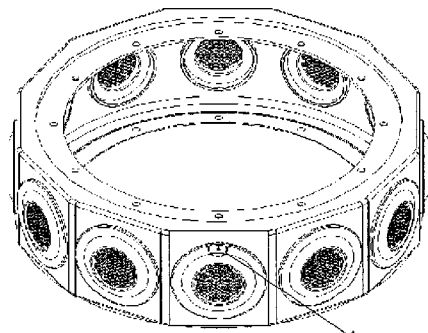


그림 2. 로봇에서 초음파 센서의 위치
그림 2. Built-in ultrasonic sensors in Robot

3. 실험 및 결과

3.1 Data Acquisition

자율이동 로봇은 이동을 위해서 초음파 센서들과 전자 나침반으로부터 센싱 데이터를 입력 받는다. 로봇은 이 입력 받은 데이터를 메인 프로세서에서 처리를 하게 된다. 12개의

초음파 센서의 값들에 의해서 로봇의 주변 환경을 인식해서 이동하게 된다. 그림 3은 초음파에서 나오는 데이터 값을 보여주는 것이다.

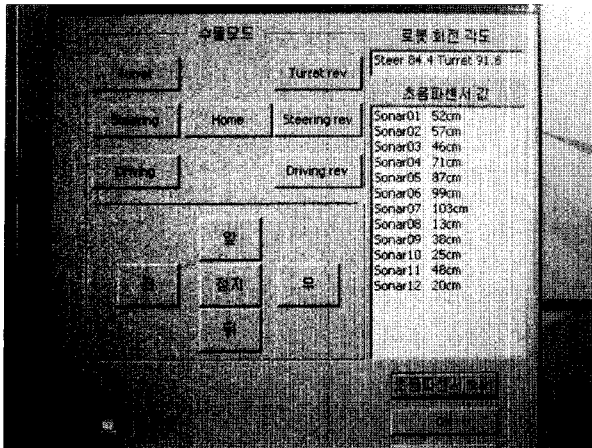


그림 3. 초음파 센서 데이터 값
Fig. 3. The data of ultrasonic sensor

초음파 센서에서 받은 각각의 데이터 값은 로봇의 위치 지정을 위해 각각의 Parameter 값으로 사용된다. 로봇에 사용된 전자 나침반은 0.1°의 분해능을 가지고 있으면 로봇은 전자 나침반으로부터 데이터를 RS-232C를 통해서 입력받게 된다. 그러므로 로봇은 현재의 위치를 지정하는 Parameter들 중의 하나로서 전자 나침반의 방위각 데이터를 사용하였다.

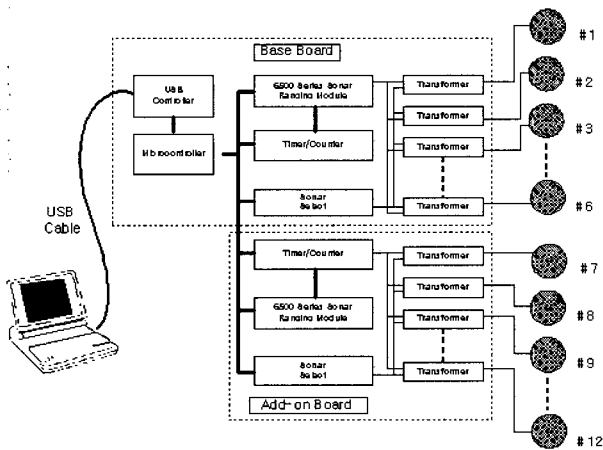


그림 4. 데이터 처리과정
Fig. 4. Data acquisition and processing process

그림 4는 초음파 센서로부터 얻어지는 데이터 값들이 연산되는 과정을 보여주는 것이다. 프로세싱에 의해서 처리된다.

3.2 Localization

자율이동 로봇에서 위치 측정은 좌표계의 변환 문제일 수 있다. 문제 해결을 위해서는 로봇의 최초 위치와 상태에 대한 정보가 필요하다. 지도 작성 이전의 로봇에 대한 데이터는 없다. 최초의 상태를 설정하기 위해서 전자 나침반을 통해 로봇의 방위각 데이터를 활용한다. 그에 따라 Robot의

Position은 식 (1)의 Position M 으로 표현하는 것으로 제한한다. Position M 은 이동 로봇이 현재 가지고 있는 위치에 대한 주변 데이터 값과 좌표의 값을 가지게 된다.

$$M: \langle S_1, S_2, \dots, S_{12}, D \rangle \quad (1)$$

S_1, S_2, \dots, S_{12} 는 로봇의 초음파 센서 값들을 표시한 것이고 D 는 전자 나침반의 데이터 값을 표시한 것이다. 이 모든 데이터들을 가지고 이동로봇의 현재 위치를 인식하게 된다. 그림 5는 자율이동 로봇의 이동에서 자신의 위치 측정에 대한 것을 Block Diagram으로 표현한 것이다.

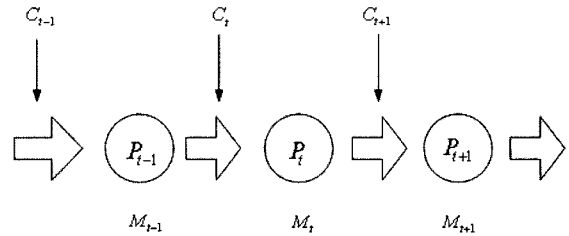


그림 5. 이동 로봇의 Localization
Fig. 5. Localization of mobile robot

Block Diagram에서 C 는 자율이동 로봇의 제어 값이고 P 는 이동 중에 로봇이 sensing할 때의 위치 데이터이며 M 은 Mapping의 상태 데이터이다. 이를 바탕으로 로봇은 위치를 측정하고 인식하게 된다. 현재의 위치를 P_t 라고 하면 과거의 위치는 P_{t-1} 이 되고 다음 위치는 P_{t+1} 이 된다. 현재 위치에서 다음의 위치로 이동하기 위해서 P_{t-1} , C_t 그리고 M_t 의 값에 의해서 로봇은 결정을 한다. 그리고 기존에 위치 인식에 보편적으로 사용되는 Marcov Localization 이라든지 EKF(Extended Kalman Filter) Localization Algorithm을 사용하여 위치 인식을 수행한다. 본 논문에서는 EKF-Localization Algorithm을 사용하여 자율이동 로봇에서 Localization을 수행하는데, EKF-Localization은 Marcov-Localization의 특별한 케이스라고도 할 수 있다. 그리고 그림 6은 이것을 적용한 이동로봇의 운행을 나타낸다.

그림 6은 전자 나침반을 장착하고 EKF-Localization을 적용한 자율 이동로봇의 운행을 보여주고 있다. 과거의 값에 의해서 공분산을 사용해서 계속해서 데이터를 더해가면서 주행을 하게 된다.



그림 6. 전자 나침반을 장착한 이동 로봇의 주행
Fig. 6. Traveling of mobile robot with DMC

3.3 Kid Napping

자율 이동 로봇이 목적 공간을 탐색하여 지도 작성을 수행하거나 지도 작성 후에 특정한 목적을 가지고 이동 중일 때에 외부에서 힘을 가하여 로봇을 현재 운행 중인 위치에서 다른 위치로 옮겨 놓는다면 로봇은 자신의 위치를 알지 못하게 된다. 이러한 로봇의 상태를 Kid Napping이라고 한다. 그 상태에서 로봇은 자신의 위치를 인식하기 위하여 가지고 있던 위치 데이터 값과 지도의 데이터를 바탕으로 옮겨진 위치를 인식해야한다. 그리고 원래의 위치로 복귀할 수 있어야 한다. 그러나 사람과 같은 고도의 지능을 가지지 못한 까닭에 로봇의 위치 지정 능력은 현재의 위치를 파악하는 것만도 상당한 수준의 연산이 필요할 것이고 원래의 위치로 복귀하지 못하여 다시 지도 작성을 다시 수행하여야 한다.

본 연구에서는 자율 이동 로봇에서 Kid Napping 문제의 해결을 위하여 나침반의 방위각 파라미터 값을 적극 활용하는데 먼저 위치 인식을 위한 데이터 포맷으로 앞에서 제시한 식 (1)을 가지고 사용한다. S_1, S_2, \dots, S_{12} 의 초음파 센서의 데이터 Parameter값을 가지게 된다. 이 값들은 지정된 각 위치에 해당하는 일련번호를 부여하게 된다. 그리고 D 는 Robot이 현재 향하고 있는 방향에 대한 Parameter이며 이것은 기준 방위에 대한 로봇의 각도를 나타낸다. 이 값은 나침반의 방위각으로부터 추출될 수 있는 것이다. 이런 데이터에 의해서 로봇은 현재의 위치와 보고 있는 방향 등에 대한 추정을 할 수 있다. 최초의 방향과 위치에 대한 기억과 연동할 수 있다. 그러므로 로봇은 Kid Napping 시에 방위각 데이터를 바탕으로 이미 구축된 지도로부터 현재의 위치 가능한 값을 검색하여 몇 가지의 경우로 리스트 업을 할 수 있으며 초음파 센서로부터의 주변 환경 정보를 활용, 리스트 상의 $S_{1n}, S_{2n}, \dots, S_{12n}$ 등과 비교를 통해 가장 근접하다고 결론이 내려진 위치로 이동하게 된다. 그림 7에서 보면 임의의 위치에서 이동하고 있던 로봇이 Kid Napping 상태가 되게 현재의 P 의 위치로 이동시켰을 때에 로봇은 전자 나침반의 입력 데이터를 이용한다. 현재 가진 D 의 Parameter를 기존의 지도 데이터들과 비교 검색하여 List up한다. List up을 하게 되면 현재의 위치와 비슷한 많은 위치의 검색 데이터들이 목록에 오르게 된다. 그 후에 두 방향의 초음파 센서로부터 입력된 데이터 값으로부터 Parameter를 추출하게 된다.

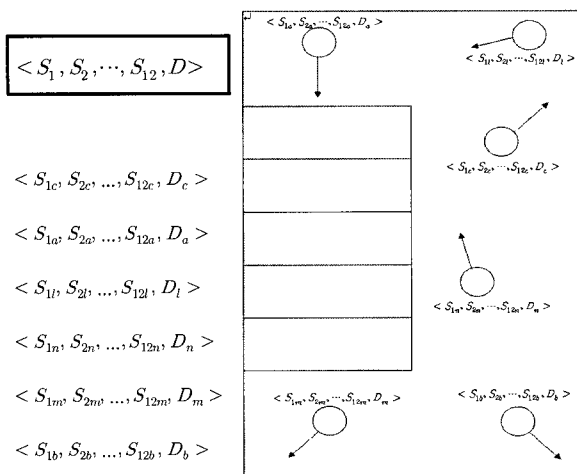


그림 7. 로봇이 kid napping시 Localization
Fig. 7. Localization in kid napping of robot

로봇은 $\langle S_1, S_2, \dots, S_{12}, D \rangle$ 의 데이터 값으로 위치 인식을 할 수 있다. 현재의 Parameter들과 비교해 검색된 유사한 값들 중에 가장 오차가 작은 위치 데이터 P 를 선택하여 현재 P 를 현재의 포인트로 선정하게 된다. 이것을 바탕으로 해서 Kid Napping 직전의 기억된 메모리로부터 Kid Napping Point를 추출하여 현재 포인트와의 연산을 통해 kid napping 되기 전의 위치로 복귀할 수 있다.

4. 결 론

자율 이동 로봇은 SLAM의 문제를 해결하기 위해서 초음파 센서와 전자 나침반을 이용하여 위치 측정과 지도 작성을 같이 수행한다. 우리 실험 환경은 이상적인 실내 환경으로 가정하고 실험실의 복도를 실험 공간으로 사용 하였다. 실험을 통해 로봇은 SLAM을 하였다. 그리고 Robot의 주행 중에 발생하는 Kid Napping 문제가 발생하는데 이런 상황을 만들기 위해 로봇을 인위적으로 이동을 시켰다. 그리고 그때 생기는 Kid Napping 문제 해결하기 위한 방안으로서 먼저 방위각 Parameter를 활용하여 현재 포인트를 추정하도록 하였고, 추정하면서 이동 후에 초음파 센서에 의해서 자신의 주변 환경을 인식한다. 그리고 인식 후에 로봇이 가지고 있는 메모리에서 List up을 하게 된다. List up 후에 가장 비슷한 데이터를 현재 위치라고 인식하고 다시 주행을 하면서 맵을 업데이트 한다. 이 과정에서 로봇의 Kid Napping 문제를 해결하는 데는 EKF-SLAM algorithm을 사용하였다.

실험은 이상적인 실내 환경을 가정으로 로봇을 구동실험을 구현했지만, 사막이나 바다와 같은 넓은 공간에서는 실내와 같은 Parameter를 설정할 수 없어서 다른 것들을 사용해야 할 것이다. 예를 들면 방위 데이터 및 다른 센서들을 통해서 설정하여 사용할 수 있을 것이다. 현재 SLAM 구현 로봇들은 주로 Laser Scanner 등을 사용하여 2D, 3D 등의 지도 작성을 수행하고 있지만, 측정 장비가 고가이고 전체적인 시스템이 커지는 것을 피할 수 없다. 그러나 본 연구에서 제시한 방위각 Parameter를 이용하면 기초적인 수준의 로봇 Navigation을 구현할 수 있으며 Kid Napping 문제에 있어서도 작은 시스템에서 활용할 수 있는 방안을 보일 수 있다. 그러나 구축된 지도 데이터들과의 매칭에 대한 문제가 여전히 존재하기 때문에 위치 추정 과정 중에 지도의 Resolution으로 인한 오차를 보정하기 위하여 추가적인 알고리즘을 사용할 수 있을 것이다. 특히, 본 연구에서는 EKF-SLAM algorithm만을 사용하였으나 향후 인공 신경망 등의 추가적인 알고리즘으로 으로 수행 성능을 향상시킬 수 있을 것이다. 그리고 한 대의 자율이동로봇이 아닌 여러 대의 로봇이 협력 활동을 하면서 SLAM의 정보들을 서로 주고받을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Young-Ho choi, Se-Young Oh, "Grid-based Visual SLAM in Complex Environment," Proc. of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, China, October, 2006.
- [2] Mark Pupilli, Andrew Calway, "Real-Time Visual SLAM with Resilience to Erratic Motion," Proc.

of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol 1, pp.1244-1249, June, 2006.

- [3] Jinwoo Choi, Sunghwan Ahn, Wan Kyun Chung, "Robust Sonar Feature Detection for the SLAM of Mobile Robot," *Proc. of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3415-3420, August, 2005.
- [4] Jinwoo Choi, Sunghwan Ahn, Minyong Choi, Wan Kyun Chung, "Metric SLAM in Home Environment with Visual Objects and Sonar Features," *Proc. of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, China, October, 2006.
- [5] Momotaz Begum, George K. I. Mann, Raymond Gosine, "A Fuzzy-Evolutionary Algorithm for Simultaneous Localization and Mapping of Mobile Robots," *2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, Canada, July, 2006.
- [6] Momotaz Begum, George K. I. Mann, Raymond G. Gosine, "An Evolutionary SLAM Algorithm for Mobile Robots," *Proc. of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, China, October, 2006.
- [7] S. Suksakulchai, S. Thongchai, D. M. Wilkes, K. Kawamura, "Mobile Robot Localization using an Electronic Compass for Corridor Environment," *System, Man, and Cybernetics, 2000 IEEE International Conference*, Vol 5, pp 3354-3359, October, 2000.
- [8] Ho-duck Kim, Dae-Wook Kim, Kwee-Bo Sim, "Simultaneous Localization and Map building using Vision Camera and Electrical Compass," *SICE-ICASE International Joint Conference 2006*, Korea, October, 2006.
- [9] 박경진, 이해강, 장인훈, 심귀보, "음원과 절대 방위를 이용한 지능형 로봇의 목표물 위치 추적 알고리즘," *Proc. of KFIS Autumn Conference*, Vol. 16, No. 2., 2006.
- [10] Xiaomeng Li, Qiuzhan Zhou, Shaofang Lu and Hao Lu, "A New Method of Double Electric Compass for Localization in Automobile Navigation," *Proc. of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, China, June, 2006.
- [11] Mmma Brunskill and Nicholas Roy, "SLAM using Incremental Probabilistic PCA and Dimensionality Reduction," *Proc. of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Spain, April, 2005.
- [12] Patric Jensfelt, Staffan Ekvall, Danica Kragic and Daniel Aarno, "Augmenting SLAM with Object Detection in a Service Robot Framework," *Proc. of the 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN06)*, UK, September, 2006.

저 자 소 개



김호덕(Ho-Duck Kim)
 2005년 : 중앙대학교
 전자전기공학부 졸업 (공학사)
 2006년 : 중앙대학교 대학원
 전자전기공학부 석사과정 재학 중

관심분야 : Evolvable H/W, Emotion Recognition, SLAM, Genetic Algorithm, DARS 등.



서상욱(Sang-Wook Seo)
 2007년 : 중앙대학교
 전자전기공학부 졸업 (공학사)
 2006년 : 중앙대학교 대학원
 전자전기공학부 석사과정 재학 중

관심분야 : Machine Learning, Group Behavior of Swarm Robot, SLAM, Genetic Algorithm, DARS 등.



장인훈(In-Hun Jang)
 2004년~현재: 중앙대학교 대학원
 전자전기공학부 박사과정

[제17권 2호 (2007년 4월호) 참조]

E-mail : inhun@wm.cau.ac.kr



심귀보(Kwee-Bo Sim)
 1990년 : The University of Tokyo
 전자공학과 공학박사

[제17권 3호 (2007년 6월호) 참조]

1991년 ~ 현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수
 2006년 ~ 현재 : 한국퍼지 및 지능시스템학회 회장

E-mail : kbsim@cau.ac.kr
 Homepage URL : <http://alife.cau.ac.kr>