

ICP 알고리즘을 이용한 2 차원 격자지도 보정

2D Grid Map Compensation using an ICP Algorithm

이 동 주, 황 요 섭, 윤 열 민, 이 장 명*
(Dong-Ju Lee¹, Yu-Seop Hwang¹, Yeol-Min Yun¹, and Jang-Myung Lee^{1,*})

¹Department of Electrical Engineering, Pusan National University

Abstract: This paper suggests using the ICP (Iterative Closet Point) algorithm to compensate a two-dimensional map. ICP algorithm is a typical algorithm method using matching distance data. When building a two-dimensional map, using data through the value of a laser scanner, it occurred warping and distortion of a two-dimensional map because of the difference of distance from the value of the sensor. It uses the ICP algorithm in order to reduce any error of line. It validated the proposed method through experiment involving matching a two-dimensional map based reference data and measured the two-dimensional map.

Keywords: ICP (Iterative Closet Point) algorithm, map building, mobile robot, laser scanner

I. 서론

이동로봇이 주어진 작업을 진행하려면 필요한 지역까지 이동할 수 있는 능력이 있어야 하며, 이러한 능력을 위하여 이동로봇은 현재 자신의 위치를 알아야 한다. 이동로봇은 주행 중 센서를 통해 연속적으로 주변 환경을 인식하고, 이의 결과를 일종의 지도로 표현하여 저장함으로써 위치추정, 경로계획과 같은 자율주행의 필수적 요소를 구현하기 위한 정보를 제공한다. 이동로봇이 자신의 위치를 알기 위해서는 지도가 필요하며, 동시에 위치추정(SLAM)은 중요한 연구 테마가 되었다[1]. 이동로봇을 위한 지도 작성은 센서와 데이터 저장 방법에 따라 점유 격자지도(occupancy grid map), 특이점 지도(feature based map), 위상지도(topological map), 스캔 매칭지도(scan matching map)로 나눌 수 있다[2-7].

기존의 2차원 지도 작성의 경우 확장 칼만 필터(extended kalman filter), 파티클 필터(Particle filter)와 같은 알고리즘을 적용한다. 거리정보 데이터를 정합하면서 중복되는 부분을 제거하는 통합(integration)을 하게 되는데, 이를 위해 세밀하고 정확하게 정합하는 과정과 정합된 데이터를 최적화 하는 과정이 필요하다. 가장 대표적인 최적화 방법은 ICP (Iterative Closest Point : 반복 최근 점점) 알고리즘이다[8].

본 논문에서는 레이저 스캐너 데이터로 2D-Map을 작성하였다. 하지만 일반적인 2D-Map을 작성하고 난 후에 2D-Map을 보면 라인의 오차가 존재한다는 것을 알 수 있다. 작성한 2D-Map의 라인 오차를 보정하기 위해서 다른 좌표시스템에서 정의된 두 데이터 집합을 정합할 수 있는 ICP 알고리즘을 사용하여 작성한 2D-Map의 라인의 오차를 줄인다.

논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 실제 이동로봇의 시스템 구성과 하드웨어 대한 소개를 하고 ICP 알고리즘에 대해 서술한다. III 장에서는 본 논문에서 제안하는 2D-Map의 라인 오차 보정을 실내에서 실험을 통하여 검증하고, 마지막으로 IV 장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 본론

1. 시스템 구성

본 논문에서 2D-Map을 작성하기 위한 데이터 추출을 위해 구성된 주행 로봇 시스템이다.

표 1은 실험을 위한 이동로봇의 정보로서 이동로봇 위에 Laser scanner와 노트북을 설치한다. 그리고 표 2는 거리정보를 얻기 위해 사용되는 레이저 거리센서에 대한 정보이다

이동로봇의 진행방향에 적용하여 IMU (Inertial Measurement Unit) 센서는 Roll축에 자이로와 Pitch축에 가속도 센서를 배치하여 시스템을 구성하였다[9-13].

그림 2는 전체 시스템 블록을 나타낸 것이다. IMU 센서는 3축 가속도 1개와 1축 자이로 센서 2개로 구성되고 주 제어 보드를 담당하는 MCU는 Atmel사의 Atmega128을 사용하여 이동로봇을 구성하였다. 3축 가속도 센서는 VTI Technologies사의 SCA3000-D 01($\pm 2g$), 자이로 센서는 Analog Devices사의 ADIS6100($\pm 300^\circ/s$)를 사용한 모듈로 구성된다. 크게 2부분으로 나누어지며 센서 수집은 ARM과 Data 처리하는 부분은

표 1. 이동로봇 정보

Table 1. Data of mobile robot.

제품명	속도	무게	모터
NT-TANK	20.5M/min	12kg	10W DC

표 2. 레이저 거리센서 정보

Table 2. Data of laser range finder.

제품명	통신	측정범위	측정거리
URG-04LX	RS-232	0.36° 간격 240° 스캔	4,000mm

* Corresponding Author

Manuscript received July 7, 2014 / revised September 10, 2014 / accepted September 15, 2014

이동주, 황요섭, 윤열민, 이장명: 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 (dongju7379@pusan.ac.kr/mmx001@pusan.ac.kr/yeolmin7379@pusan.ac.kr/jmlee@pusan.ac.kr)

※ 본 논문은 2014 제 29회 ICROS 학술대회에 초안이 발표되었음.

※ 본 연구는 산업통상자원부가 지원하는 산업융합·연계형 로봇창의인재양성사업의 연구결과로 수행되었음(N0001126).

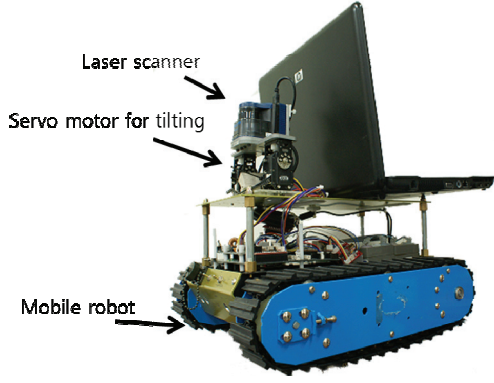


그림 1. 실험을 위한 이동로봇.
Fig. 1. The mobile robot for experiment.

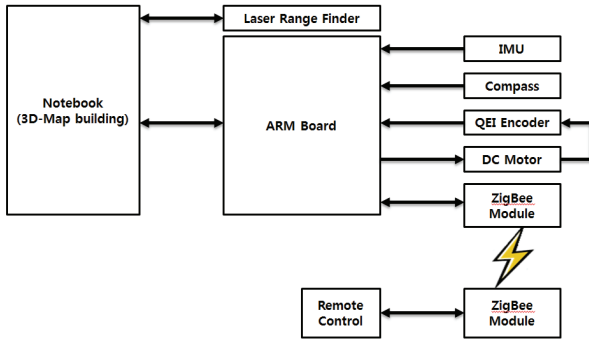


그림 2. 전체 시스템 블록도.
Fig. 2. Overall system block diagram.

컴퓨터를 사용하였다. 센서 수집 부분에서는 Encoder를 이용하여 이동로봇의 거리를 측정하였다. 이동로봇의 방위를 알기 위해서 IMU 센서를 이용하였다. Zig-Bee를 이용한 리모트 컨트롤을 통해 이동로봇을 제어하였다[14].

2. 2차원 데이터 측정

일반적으로 단일 LRF의 레이저 스캐너 데이터를 이용하여 2D-Map을 작성하기 위해서는 식 (1), (2)와 같이 X축과 Y축의 방향성을 구한다.

$$X = \cos(\phi) \tag{1}$$

$$Y = \cos(\theta) \tag{2}$$

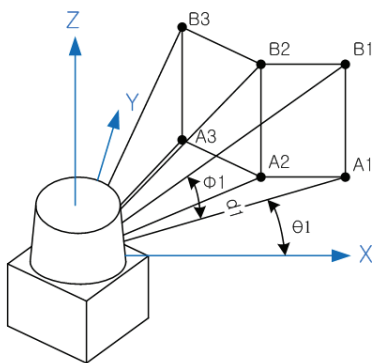


그림 3. X, Y 측정원리.
Fig. 3. The measuring principle of X, Y Coordinates.

ϕ 은 서보모터의 기울기, θ 은 LRF의 스캔 각도, d_i 은 LRF의 측정거리를 나타낸다. LRF에서 0° 를 기준 값으로 정하고 측정거리를 이용하여 스캔 각도에 따른 거리 값을 보정하였다. 또한 LRF가 스캔 한 240° 의 데이터 중 본 논문에서는 $0^\circ \sim 180^\circ$ 범위의 데이터만을 사용하였다.

3. ICP 알고리즘

ICP 알고리즘은 영상처리에서 사용되던 기술로, 이를 주행 알고리즘에 적용하면서 가장 대표적인 점과 점 스캔 매칭 알고리즘으로 발전하였다. ICP 알고리즘은 거리 센서에 의해서 얻은 새 데이터와 기존 데이터에서 유클리드 거리가 가장 가까운 데이터들의 일치 쌍을 계산한다. 그리고 F.Lu가 제안한 closed-form solution 방법은 현재 로봇의 정확한 위치를 보정하고 지도를 작성한다[15].

우선적으로 독립적인 3D 데이터를 얻는다. \hat{M} (model set, $|\hat{M}| = N_m$) 과 \hat{D} (data set, $|\hat{D}| = N_d$) 은 단일 형태에 대응된다. 여기서 R(회전행렬)과 t(이동행렬)로 구성된 변환행렬 (R, t) 를 찾아야 한다[16].

다음 식은 Error Function이다.

$$E(R, t) = \sum_{i=1}^{N_m} \sum_{j=1}^{N_d} w_{i,j} \left\| \hat{m}_i - (R\hat{d}_j + t) \right\|^2 \tag{3}$$

여기서 $w_{i,j}$ 는 \hat{M} 의 i번째 점이 \hat{D} 의 j번째 점과 같으면 1의 값이 할당 되고, 아니면 0의 값을 준다. 위의 식을 간단히 하면 다음과 같은 식이 된다.

$$E(R, t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|m_i - (Rd_i + t)\|^2 \tag{4}$$

여기서 m_i 는 기준 데이터, d_i 는 기준 데이터에 매칭하는 측정된 데이터이다. 위의 식을 풀기 위해 매칭에 사용되는 점들의 평균을 구한다.

$$c_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i \tag{5}$$

$$c_d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \tag{6}$$

그리고 데이터 값에 데이터 평균의 값을 뺀다.

$$M' = \{m'_i = m_i - c_m\}_{1, \dots, N} \tag{7}$$

$$D' = \{d'_i = d_i - c_d\}_{1, \dots, N} \tag{8}$$

위의 식 (7), (8)을 식 (4)에 대입하면 식 (4)는 다음과 같은 식이 된다.

$$\begin{aligned} E(R, t) &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|m'_i - Rd'_i - (t - c_m + Rc_d)\|^2 \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|m'_i - Rd'_i\|^2 - \frac{2}{N} \tilde{t} \cdot \sum_{i=1}^N (m'_i - Rd'_i) + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|\tilde{t}\|^2 \end{aligned} \tag{9}$$

여기서 $\tilde{t} = t - c_m + Rc_d$ 이다.

식 (9)을 최소화하기 위해 모든 구간이 최소화 되어야 한다. 모든 값이 중심을 나타내면 두 번째 항의 값은 0이 되고 \tilde{t} 가 0이되면 세 번째 항도 0이 된다.

Algorithm ICP

```

1: for i=0 to max Iterations do
2:   for all  $d_i \in D$  do
3:     find the closest point within a range  $d_{max}$  in the set M
       for point  $d_i$ 
4:   end for
5:   Calculate transformation (R, t) that minimizes the error
       function
6:   Apply the transformation found in previous step to the
       data set D
7:   Compute the difference of the quadratic error before and
       after the application of the transformation
8:   If this difference falls below a threshold  $\epsilon$ , terminate.
9: end for

```

그림 4. ICP 알고리즘 의사코드.

Fig. 4. ICP algorithm Pseudo-code.

$\tilde{t} = 0$ 이면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$t = c_m - Rc_d \quad (10)$$

여기서 t 는 이동행렬이다. 그러므로 첫 번째 항을 최소화하면 된다. 식 (9)는 회전행렬로 표현할 수 있다.

$$E(R, t) \propto \sum_{i=1}^N \|m'_i - Rd'_i\|^2 \quad (11)$$

이제 R (회전행렬)을 구해야 한다. 회전행렬은 Arun, Huang und Blostein이 발견한 방법인 Singular Value Decomposition을 사용한다. 여기서 회전행렬은 orthonormal 행렬로 표현된다. 이론은 다음과 같다. 최적 회전은 다음의 식으로 계산된다.

$$R = VU^T \quad (12)$$

V 와 U 는 상관행렬 H 의 singular value decomposition에 의해 파생된다.

$$H = U\Lambda V^T \quad (13)$$

상관행렬 H 는 다음과 같다.

$$H = \sum_{i=1}^N m_i'^T d_i' = \begin{pmatrix} S_{xx} & S_{xy} & S_{xz} \\ S_{yx} & S_{yy} & S_{yz} \\ S_{zx} & S_{zy} & S_{zz} \end{pmatrix} \quad (14)$$

결론적으로 R (회전행렬)로 t (이동행렬)을 구함으로써 매칭을 할 수 있다[17].

그림 4는 기본 ICP 알고리즘 의사코드를 나타낸 것이다.

그림 4에서의 Line 5는 ICP 알고리즘을 이용하여 에러 최소값을 계산하고 Line 8은 직진오차와 회전오차가 임계값보다 크면 스캔 매칭을 다시 실행하고, 임계값보다 작으면 수렴하였다고 판단하여 스캔 매칭을 종료한다. ICP 알고리즘을 이용한 스캔 매칭은 N 개의 기준데이터와 N 개의 새 데이터를 일대일로 비교해야 한다[18].

III. 실험

본 논문에서는 2D-Map의 오차를 줄이기 위해 일반적인 LRF의 데이터를 가지고 ICP 알고리즘을 사용하여 오차를 줄



그림 5. 실험 환경.

Fig. 5. The experimental environment.

였다. 기준 데이터의 2D-Map과 같은 위치를 스캔한 일반적인 2D-Map을 ICP 알고리즘을 사용한 매칭을 통해 오차를 보정한다. 그림 5는 2D-Map을 위해 사용된 실험 환경을 나타낸 사진이다. 실내 복도에서 실험을 하였으며, 실험 환경은 화장실 입구와 엘리베이터 등의 환경을 포함하고 있다. ICP 알고리즘의 오차 보정을 보기 위해 실험 환경을 측정하고 난 후의 일반적인 2D-Map과 ICP 알고리즘을 적용한 2D-Map을 비교하였다.

그림 6은 실험 환경을 바탕으로 만든 기준 데이터의 2D-Map 그림이다. 이 2D-Map을 기준으로 하여 ICP 알고리즘을 적용한다.

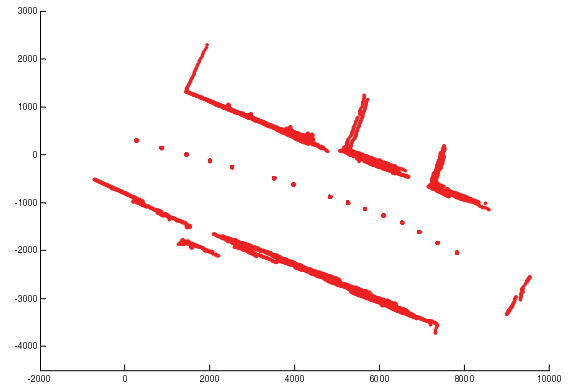


그림 6. 기준 데이터의 2D-Map.

Fig. 6. 2D-Map of reference data.

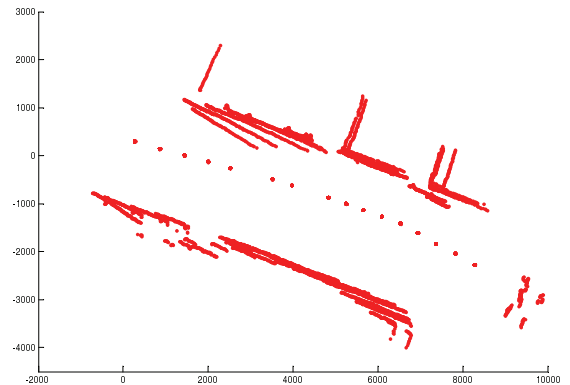


그림 7. 측정된 2D-Map.

Fig. 7. Measured 2D-Map.

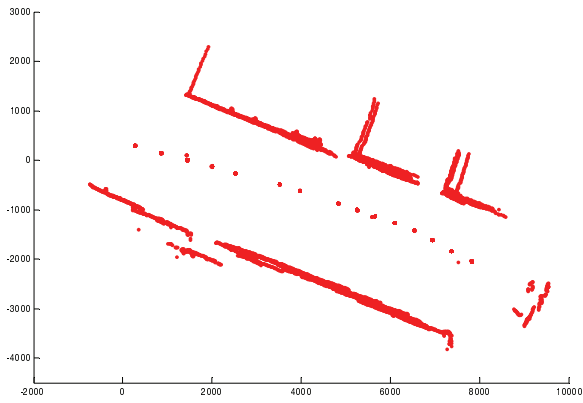


그림 8. ICP 알고리즘을 적용한 2D-Map.
Fig. 8. 2D-Map with ICP algorithm.

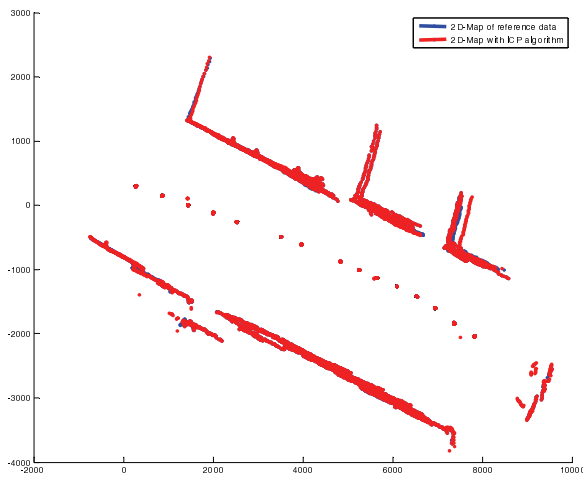


그림 9. 측정된 2D-Map과 ICP 알고리즘이 적용된 2D-Map의 비교.
Fig. 9. Comparison of Measured 2D-Map and 2D-Map with ICP algorithm.

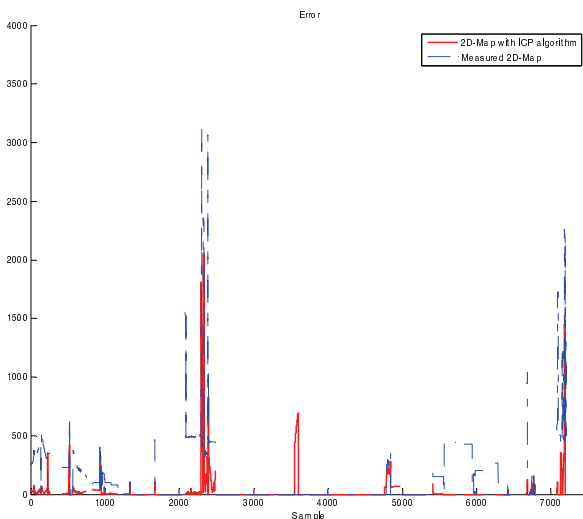


그림 10. 측정된 2D-Map과 ICP 알고리즘이 적용된 2D-Map의 거리 오차.
Fig. 10. Distance error of Measured 2D-Map and 2D-Map with ICP algorithm.

그림 7은 실험 환경에서 LRF의 데이터로 만든 2D-Map 그림이다. 그림에서 보면 데이터들간의 오차로 인하여 2D-Map에서 라인들이 흩어져 있고, 정확하지 않음을 보여준다.

그림 8은 기준 데이터의 2D-Map과 측정된 2D-Map에 대해서 ICP 알고리즘을 적용한 그림이다. 측정된 2D-Map을 기준 데이터의 2D-Map에 ICP 알고리즘을 적용하면 측정된 2D-Map에서의 라인들의 오차가 보정되는 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 측정된 2D-Map과 ICP 알고리즘을 적용한 2D-Map을 기준 데이터의 2D-Map를 비교한 그림이다.

그림 10는 측정된 2D-Map과 ICP 알고리즘을 적용한 2D-Map을 기준 데이터의 2D-Map과의 거리오차를 비교한 그림이다. 그림에서 보면 파란색 점선 부분이 측정된 2D-Map이고 오차가 크다는 것을 알 수 있다. 거기에 비해 빨간색 실선 부분인 ICP 알고리즘 적용 2D-Map의 거리오차가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 이동로봇이 자율주행을 위한 지도 작성을 수행하기 위해서 영상처리에 사용되는 ICP알고리즘을 적용함으로써 일반적인 2D-Map이 가지는 라인의 오차를 줄이는 기술을 제안하였고, 제안된 알고리즘은 실험을 통해 일반적인 2D-Map building과 비교하여 성능의 우수성을 검증하였다. 기존의 레이저 스캐너 데이터로 2D-Map을 작성하면 데이터 간격의 차이로 인해서 지도의 라인들이 오차가 생긴다. 본 논문에서 제안한 ICP 알고리즘을 적용하면 기존 데이터의 2D-Map에 스캔 매칭이 됨으로써 측정된 2D-Map에 대한 라인의 오차를 줄일 수 있다. 앞으로의 연구에서는 ICP 알고리즘과 다른 알고리즘을 융합하여 라인의 오차를 줄일 수 있는 방법을 강구할 것이며, ICP 알고리즘 기반의 3D-Map을 작성하는 시스템을 구현할 예정이다.

REFERENCES

- [1] T. Tsubouch, "Nowadays trends in map generation for mobile robot," *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pp. 828-833, 1996.
- [2] J. Borenstein and L. Feng, "Measurement and correction of systematic odometry errors in mobile robots," *IEEE Trans on Robotics and Automation*, vol. 12, no. 6, pp. 869-880, 1996.
- [3] K. Lee, C. Chung, and W. Chung, "Accurate calibration of kinematic parameters for two wheel differential mobile robots," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 25, no. 6, pp. 1603-1611, 2011.
- [4] Y.-K. Kwon, "A path generation method for a autonomous mobile robot based on a virtual elastic force," *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 1, pp. 149-157, 2013.
- [5] Y.-S. Moon, S.-H. Roh, K.-H. Jo, and Y.-C. Bae, "Robot localization and monitoring using OpenRTM in outdoor environment based on precision GPS," *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 2, pp. 425-431, 2012.
- [6] T.-B. Kwon, J.-B. Song, and S.-C. Kang, "Extraction and matching of elevation moment of inertia for elevation map-based localization of an outdoor mobile robot," *Journal of*

Institute of Control, Robotics and Systems, vol. 15, no. 2, pp. 203-210, 2009.

- [7] K.-S. Yoon, "Improved localization algorithm for ultrasonic satellite system," *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 5, pp. 775-781, 2011.
- [8] S.-H. Kim, C.-W. Jho, and H.-K. Hong, "Automatic registration method for multiple 3D range data sets," *Journal of KISS : Software and Application*, vol. 30, no. 11,12, pp. 1239-1246, 2003.
- [9] T.-B. Kwon, J.-B. Song, and S.-C. Kang, "Extraction and matching of elevation moment of inertia for elevation map-based localization of an outdoor mobile robot," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 15, no. 2, pp. 203-210, 2009.
- [10] T. Fuita and Y. Kondo, "3D Terrain measurement system with movable laser range finder," *2009 IEEE International workshop on (SSRR)*, no. 2, pp. 1-6, Nov. 2009.
- [11] K. Ohno and S. Tadokoro, "Dense 3D map building based on LRF data and color image fusion," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2792-2797, 2005.
- [12] H. Surmann, K. Lingemann, A. Nuchter, and J. Hertzberg, "A 3D laser range for autonomous mobile robots," *Proc. of the 32nd ISR*, pp. 153-158, 19-21 Apr. 2001.
- [13] D. Oritin, J. Neira, and J. M. M. Montiel, "Relocation using laser and vision," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 1505-1510, 2004.
- [14] Y.-S. Hwang, H.-W. Kim, T.-J. Kim, and J.-M. Lee, "Impulse noise removal of LRF for 3D map building using a hybrid median filter," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 18, no. 10, pp. 970-976, 2012.
- [15] S.-W. Noh, T.-G. Kim, and N.-Y. Ko, "Map building using ICP algorithm based a robot position prediction," *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 4, pp. 575-582, 2013.
- [16] P. Besl and N. McKay, "A method for Registration of 3-D shapes," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, no. 2 pp. 239-256, 1992.
- [17] K. S. Arun, T. S. Huang, and S. D. Blostein, "Least square fitting of two 3-d point sets," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 9, no. 5, pp. 698-700, 1987.
- [18] S.-W. Noh, T.-G. Kim, and N.-Y. Ko, "Map building using icp algorithm based a robot position prediction," *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 4, pp. 575-582, 2013.
- [19] D.-J. Lee, Y.-M. Yun, and Y.-S. Hwang, "2D grid map building using ICP algorithm," *Proc. of 2014 29th ICROS Annual Conference*, Daegu, pp. 93-94, May 2014.



이 동 주

2013년 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2013년 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과입학(공학석사). 현재 동 대학원 전자전기공학 석사과정 재학 중. 관심분야는 Map building, 실내 위치 인식, SLAM, 이족 로봇.



황 요 섭

2010년 경남과학기술대학교 메카트로닉스과 졸업. 2012년 부산대학교 로봇대학원 공학석사. 현재 동 대학원 전기전자 박사과정. 관심분야는 Haptics, 이족 로봇제어, Navigation and Localization 시스템.



윤 열 민

2014년 경남과학기술대학교 메카트로닉스과 졸업. 2014년 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과입학(공학석사). 현재 동 대학원 전자전기공학 석사과정 재학 중. 관심분야는 지능제어, Navigation and Localization 시스템



이 장 명

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1982년 동 대학원 공학석사. 1990년 UCS (미국 남가주대학교) 공학박사. 1992년~현재 부산대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 지능로봇시스템 설계 및 제어, 마이크로프로세서 응용, 특수 환경 Navigation and Localization.