

옴니 카메라의 전방향 영상을 이용한 이동 로봇의 위치 인식 시스템

Omni Camera Vision-Based Localization for Mobile Robots Navigation Using Omni-Directional Images

김 종 록, 임 미 섭, 임 준 홍*
(Jongrok Kim¹, Mee-Seub Lim², and Joonhong Lim¹)

¹Hanyang University

²Kyonggi Institute of Technology

Abstract: Vision-based robot localization is challenging due to the vast amount of visual information available, requiring extensive storage and processing time. To deal with these challenges, we propose the use of features extracted from omni-directional panoramic images and present a method for localization of a mobile robot equipped with an omni-directional camera. The core of the proposed scheme may be summarized as follows : First, we utilize an omni-directional camera which can capture instantaneous 360° panoramic images around a robot. Second, Nodes around the robot are extracted by the correlation coefficients of Circular Horizontal Line between the landmark and the current captured image. Third, the robot position is determined from the locations by the proposed correlation-based landmark image matching. To accelerate computations, we have assigned the node candidates using color information and the correlation values are calculated based on Fast Fourier Transforms. Experiments show that the proposed method is effective in global localization of mobile robots and robust to lighting variations.

Keywords: omni-directional camera, panoramic images, localization, mobile robots

I. 서론

로봇 기술이 발달함에 따라 단순 반복 기능의 산업 로봇에서, 인간의 일상생활에 도움 주는 서비스 로봇, 엔터테인먼트 로봇으로 발전하고 있다. 특히 서비스 로봇 분야의 눈부신 발전에 의해 청소로봇, 경비로봇 등의 지능 로봇이 가정이나 공공장소에서 점차 선보이고 있다. 이러한 로봇에 가장 필요한 기술 중 하나는 로봇 스스로 현재위치를 파악하고 목적지까지 경로 추적을 통해 이동하는 능력, 즉 자율주행 (autonomous navigation) 기능을 갖추고 있어야 한다는 것이다. 신뢰성 있는 자율주행을 위해서는, 환경을 모델링하여 지도를 생성하는 기능(map building), 로봇 자신의 위치를 추정할 수 있는 기능(localization), 목표점까지 이동할 최적의 경로를 생성하는 기능(path plan), 장애물을 회피하는 기능(collision avoidance) 등이 기본적으로 필요하다[1-5]. 이 중 이동 로봇의 자율주행을 위한 가장 근본적인 기술은 사전 움직임 정보 없이 자신의 위치를 인식할 수 있는 전역위치인식기술(Global Localization) 이라고 할 수 있다.

로봇이 자신의 위치를 인식하기 위한 기술은 크게 실외와 실내로 나눌 수 있는데, 실외의 경우 GPS, DGPS 등과 같은 위성항법장치를 이용해 위치를 파악할 수 있다. 실내의 경우는 초음파 시스템, 레이저 스캐너, sonar와 같은 거리 센서를

이용하는 방법[2,3]과, 비전 센서 시스템(vision system)을 이용한 방법[4,5] 등이 있다. 전자인 레이저 스캐너 등의 능동 센서로부터 얻은 거리 및 각도 정보를 사용하는 방법은 로봇의 위치를 정확하게 검출할 수 있지만, 센서의 높은 가격과 비전센서 보다 상대적으로 제한된 정보량 때문에 로봇의 위치 인식을 위한 효율적인 시스템의 구성에 어려움이 많다고 볼 수 있다. 비전 시스템은 보다 풍부한 공간 정보를 얻을 수 있고 상대적으로 저가로 구현할 수 있기 때문에 자율주행 기술을 확보하기 위한 궁극적인 해법으로 생각되어 많은 연구가 진행되고 있다[6-8].

Ishiguro 등 [6]은 두 대의 전방향 카메라를 스테레오로 구성한 전방향 비전 시스템(stereo omni-directional vision system)을 이용하여 로봇의 위치를 인식하였고, Matsui 등 [7]과, Yoon 등 [8]은 한대의 전방향 카메라를 이용하여 기존에 구축되어있는 지도 영상과 임의의 위치에서 로봇이 없는 전방향 영상 간의 상관관계를 이용한 방법으로 수평면선을 매칭, 로봇의 자기 위치를 인식하였다. 하지만 전자의 전방향 스테레오 시스템은 스테레오 카메라의 확장으로써 전체 시스템이 상당히 커지고, 스테레오 영상으로부터 3차원 정보를 계산하기 때문에 많은 시간이 필요하다는 단점이 있고, 후자의 경우도 전방향 수평면선 매칭 시 계산 시간이 많이 필요할 뿐만 아니라 매칭 시 오차에 의해 로봇 위치 인식에 많은 오차가 유발되는 단점이 있다.

본 논문에서는 앞서 기술한 문제를 해결하기 위하여 위치 인식이 기준이 되는 각 노드에서 구해진 수평면선 지도를 작성하고 이 지도에 FFT (Fast Fourier Transform) 전처리 과정을 통하여 이후 임의의 위치에서 얻은 수평면선과의 매칭 시

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 11. 15., 수정: 2010. 12. 5., 채택확정: 2010. 12. 20.

김종록: 한양대학교 전자전기 제어계측공학과(kimjongrok@korea.com)

임미섭: 경기공업대학 메카트로닉스공학과(mslim@kinst.ac.kr)

임준홍: 한양대학교 전자시스템공학과(jhlim@hanyang.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부의 기술혁신사업의 국가플랫폼기술개발사업(과제번호 10033784)에 의해 지원되었음.

계산하는 시간을 줄인다. 이후 얻어진 임의의 수평면선과 지도 수평면선과의 상관관계를 비교하여 위치를 인식한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서 전방향 시스템의 구성과 파노라믹 영상의 생성에 대해 설명하고 III 장에서는 로봇의 위치 인식을 위한 수평면선 지도 작성 알고리즘과 수평면선 지도의 전처리 과정, 후보 노드의 지정 및 주변 노드의 상관관계를 이용한 로봇 위치를 구하는 방법을 기술한다. IV 장에서는 III 장에서 제안된 방법의 실험 및 결과를 설명하고, 결론 및 추후과제는 V 장에서 기술한다.

II. 전방향 영상 비전 시스템

1. 전방향 카메라의 개요

그림 1은 전방향 카메라 시스템이다. 연구에 사용된 Ladybug2 카메라의 이미지 센서는 1024×768 프로그레시브 스캔을 지원하고 1/3" CCD Sony ICX204 6개를 20mm 간격으로 배치, 각각 470만 화소를 제공한다.

렌즈는 2.4mm 마이크로 렌즈를 사용해 6개의 카메라로부터 전체 구면의 75%에 대한 영상을 촬영 한다. 생성된 영상은 IEEE 1394b 인터페이스를 이용해 JPEG으로 실시간 압축 저장한다. 30FPS의 속도로 영상을 촬영해 전달, 이미지 스티어링 데이터에 대해 실시간 JPEG 압축을 수행해 800Mbps의 속도로 저장한다. 중첩 영역에 대해 stitching 작업을 통하여 화면을 연결해 구면 영상 화면을 만든다.

2. 파노라믹 영상 생성

전방향 카메라에서 얻어진 원시(raw) 이미지에서 파노라믹 영상을 생성하기까지의 순서도를 그림 2에 표시 한다.

아래 그림에 표시된 각 과정에 따른 설명은 다음과 같다.

- (a) Image Capture: 6개의 카메라에서 동기화 되어 추출된 각각의 이미지는 게인(gain)값 조절, 자동노출 조절(auto-

exposure), 화이트 밸런스 조절 등 아날로그 디지털 변환의 이미지 처리 과정을 거친다.

- (b) JPEG Compression: JPEG 압축은 선택과정으로 PC에 빠른 프레임 속도로 이미지를 전송한다. 이미지는 FireWire 케이블을 통해 PC에 전송된다.
- (c) Decompression: 추가 처리를 위해 원시 이미지 포맷으로 다시 디코딩 된다.
- (d) Color Processing: RGB 이미지의 전체 배열을 만들기 위해 원시 이미지를 보정 후 PC용 그래픽 카드에 로드 시킨다.
- (e) Rectification: Ladybug2 렌즈로 인한 원주로 왜곡된 영상을 조정한다. 지정된 좌표 시스템으로의 투영(projection)과 중복된 이미지의 경계선 오차를 최소화 하기 위한 융합(blending) 처리를 거친다.

6개의 렌즈로부터 추출된 영상은 위의 처리 과정을 통해 파노라믹 이미지로 처리 되는데 최종 stitching된 영상은 그림 3과 같다.

III. 상관관계를 이용한 최단 노드 인식

1. 기준 노드 위치의 수평면선 추출

앞서 설명한 것과 같이 로봇의 위치 인식을 위한 수평면선 지도(circular horizontal line map)를 구축하기 위해 지정된 노드에서의 수평면선(CHL)을 추출한다. 수평면선은 그림 3(a)에서 보여지는 것처럼 파노라믹 영상의 수평 축 방향으로 왜곡이 없는 부분의 붉은색 수평면선을 기준으로 한다. 이 붉은색 수평면선은 로봇이 이동하여도 늘 같은 높이의 수평면 상의 평면을 결상하므로 항상 동일한 정보를 얻을 수 있다[8].

수평면선을 추출하는 과정은 다음과 같다. 먼저 로봇의 전



그림 1. 전방향 카메라 시스템.
Fig. 1. Omni-directional camera system.

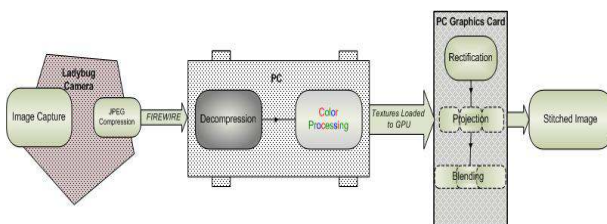
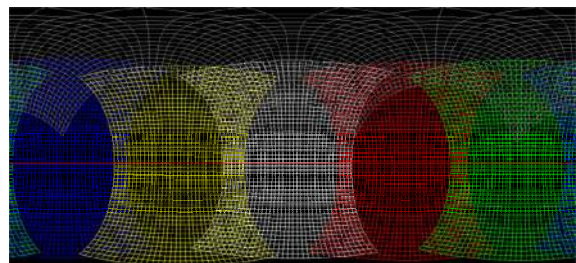
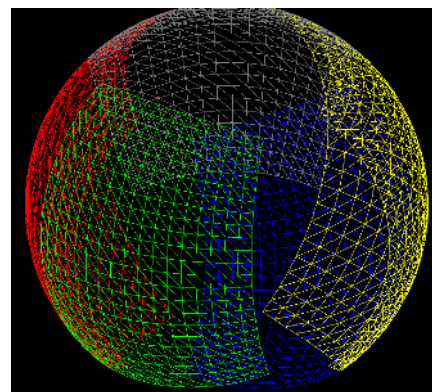


그림 2. 전방향 카메라의 파노라믹 이미지 처리과정.
Fig. 2. Panoramic imaging process of omnidirectional camera.



(a) 2-dimensional polygon mesh.



(b) 3-dimensional polygon mesh.

그림 3. 추출된 파노라믹 영상과 구면 영상.
Fig. 3. Stitched image of panoramic and spherical view.



그림 4. 파노라믹 이미지와 수평면선.

Fig. 4. Circular horizontal line on panoramic imaging.



(a) Circular horizontal line at the Node.



(b) Generated CHL map.

그림 5. 생성된 수평면선과 수평면선 지도.

Fig. 5. Generated CHL and CHL map.

체 운동영역에 대해 미리 지정된 각 노드 점에서 전방향 영상을 추출한다. 추출된 전방향 영상은 시간 및 장소의 변화에 따른 빛의 변화에 강인한 출력영상을 주도록 히스토그램 평활화(histogram equalization)과정과 노이즈 제거(gaussian filter) 과정을 거친다. 이렇게 생성된 영상은 그림 4와 같다.

전 처리된 각 노드 에서의 전방향 파노라믹 영상은 이후 로봇 위치에서의 전방향 영상과의 비교를 위해 그림 5(a)와 같은 1×1024 픽셀의 수평면선 데이터를 수집하고, 최종적으로 그림 5(b)와 같은 수평면선 영상 지도를 만들어 준다.

2. 수평면선 지도의 전처리 과정

본 논문에서는 각 노드에서의 추출된 영상과 현재 로봇의 위치 영상을 비교하기 위해 로봇 위치의 수평면선과 지도 노드들의 수평면선과의 상관관계(correlation)를 상관계수(correlation coefficient)를 사용하여 결정한다. 상관 계수는 상관관계가 높을 수록 1, -1에 가까우며 상관관계가 낮을수록 0에 가까운 값을 갖는다. 각각의 R, G, B 컬러 성분에 대하여 상관계수를 구한다음 이 값을 합하여 최종의 상관계수 값을 구한다. 상관계수 값 ρ 는

$$\rho(\tau) = \frac{C_{xy}(\tau)}{\sqrt{C_{xx}(0) \cdot C_{yy}(0)}} \quad (1)$$

와 같이 정의 된다. 여기서 τ 는 이동각이다.

이렇게 수평면선의 상관 관계를 이용한 매칭 방법은 Matsui [7]에 의해 먼저 제안되었다. 하지만 이동각(τ)를 찾기 위해 수평면의 해상도 만큼 신호를 움직이면서 상관관계를 구해야 하기 때문에 계산 시간이 오래 걸려 실시간으로 자기 위치를 보정하고 주행하는 이동로봇에 적용하기에 어려운 단점이 있게 된다.

Yoon [8]등에 의해 제안된 FFT를 이용한 상관계수 방법에서 correlation 값은

$$Corr(x, y)_j = F^{-1} \{F(x)F^*(y)\} \quad (2)$$

을 이용하여 구한다. 이 방법은 Matsui 에 의한 방법 보다 적은 계산으로 이동각과 상관계수를 구할 수 있는 장점이 있다.

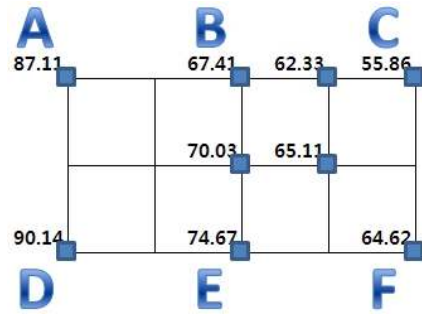


그림 6. 컬러 평균 값 지도 예시.

Fig. 6. Example of average color map.

위의 식 (2)에 보여지는 것과 같이 x, y 의 상호상관은 값의 이동량 j 에 대하여 구해지기 때문에 모든 이동각에 대하여 상관계수가 구해진다. 하지만 이방법도 모든 노드에 대해 상관관계를 비교해야 한다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 위의 FFT를 이용한 상관계수를 구할 때 그림 6과 같이 먼저 구해진 컬러 성분에 대한 평균값 비교를 통하여 주변의 4개의 최단 노드 후보를 검출하여 상관관계를 비교함으로써 많은 기준 노드가 존재 하더라도 빠른 처리 시간의 장점을 가지는 방법을 제안 한다.

여기서 컬러 성분의 평균값이란 기준 노드 및 현재 로봇이 위치하고 있는 수평면선의 컬러 성분을 추출 R, G, B 성분의 평균을 구한 값이다. 예를 들어 컬러 성분의 평균 값이 63인 곳에 로봇이 위치해 있다면, 최단 노드 후보는 B, C, E, F 네 점으로 인식되고, 이후 상관계수를 비교 함에 있어 B, C, E, F 네 점의 상관관계를 비교함으로써 모든 노드의 계수를 비교하는 시간을 단축시킨다.

3. 상관관계 계수를 이용한 로봇의 위치 인식

로봇의 위치는 상관관계 계수의 비교를 통해 이루어 진다. 앞서 구해진 4개의 최단 노드 후보의 수평면선 영상들과 임의의 로봇의 위치에서 얻어진 영상의 수평면선 간의 유사도를 측정하여 최종 이동 로봇의 위치를 추정한다. 이동 로봇의 위치 추정 흐름도는 아래의 그림 7과 같다.



그림 7. 제안된 이동 로봇의 최단 노드 결정 흐름도.

Fig. 7. Flow chart of the finding near nodes around a mobile robot.

IV. 이동 로봇의 위치 인식 실험

본 연구에서 제안된 기법들을 평가하기 위하여 실제 실내 연구실 환경에서 실험을 수행한다. 실험 환경은 그림 8과 같으며, 2m×2.8m의 공간에 60cm 격자로 나누어 총 11개의 노드를 정한다. 5개의 인공 장애물을 설치하였으며, 정확한 실험을 위해 그림 8 노란색 지역에 표시된 것과 같이 주요 관심 지역의 15개의 노드를 추가하여 각각의 상관관계 계수 비교를 통해 로봇의 위치 인식 실험을 수행한다.

그리고 각 노드에서 얻은 전방향 파노라믹 영상을 전처리하여 그림 9와 같은 수평면선 지도를 구성한다.

각각의 수평면선은 R, G, B 컬러 성분에 대하여 임의의 로봇 위치와의 수평면선과 상관 계수를 구하고, 각노드와의 상관관계 계수 비교를 통해 로봇의 위치를 결정한다.

그림 10은 인접한 두 점(L5, L5_a1)과 떨어져 있는 점(L1)의 컬러 성분에 대한 그래프이다. 그림 10의 X축은 픽셀 수를, Y축은 컬러 성분의 강도를 나타낸다.

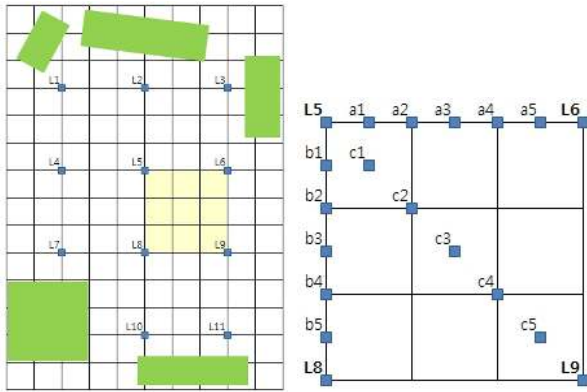


그림 8. 실험에 사용된 노드점의 위치.

Fig. 8. Nodes in the working space.



그림 9. 실험 수평면선 지도.

Fig. 9. The CHL map in the working space.

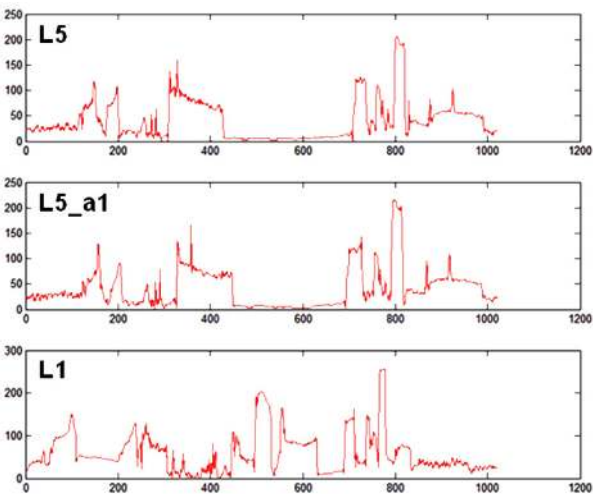


그림 10. R, G, B 컬러성분 비교 결과 그래프.

Fig. 10. Result of color components comparison.

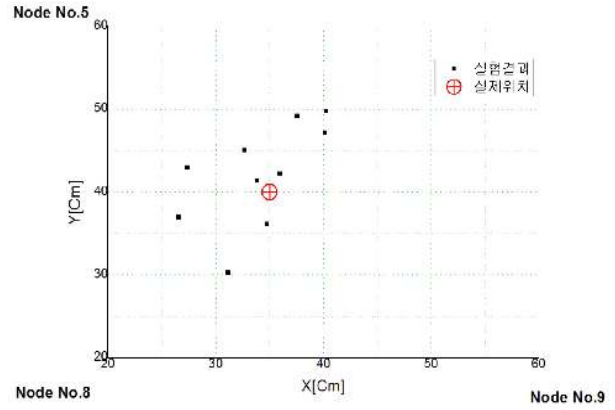


그림 11. 로봇 위치의 참값과 실제실험결과와의 최종위치.

Fig. 11. True value and experimental results of the final position.

표 1. 제안한 시스템의 실험 결과.

Table 1. Experimental result of the system.

실험횟수	위치오차	
	X[cm]	Y[cm]
1	8.5	3
2	-5.2	-9.8
3	-2.5	-9.2
4	7.7	-3.6
5	-0.9	-2.3
6	-5.1	-7.2
7	1.2	-1.4
8	2.4	-5.1
9	0.3	3.8
10	3.9	9.7
평균(절대값)	3.77	5.48

그림 11은 본 논문에서 제안된 방법을 이용하여 로봇의 위치 인식 실험결과를 보여준다. 노드 번호 5, 6, 7, 8 사이에 위치한 로봇이, 현재 자신의 위치를 어디로 파악하는가를 그래프 상에 나타내었다.

표 1은 제안된 시스템의 실험 결과를 보여준다. 실험 결과로부터 본 논문에서 제안한 위치 인식 시스템은 X축 오차가 8.5cm 이하 Y축 오차가 9.8cm 이하 인 것을 볼 수 있다. 측정 오차의 크기의 평균은 X축이 3.77cm Y축이 5.48cm로 나타났다.

V. 결론

본 논문에서는 옵니 카메라의 전방향 영상을 이용하여 수평면선을 추출, FFT상관 계수 방법으로 로봇의 위치 인식을 수행하는 방법을 제안한다. 사전에 로봇의 위치 정보 없이 로봇의 위치인식을 수행하는 전역 위치인식은 기존 실시간으로 자기위치를 보정하는데 있어 오랜 시간이 걸린다는 단점이 있어 주행하는 이동 로봇에 적용하기 어려움이 있었다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 제안된 FFT상관 계수 방법과 색상 평균값 비교를 통한 노드 후보군 지정 방법은 빠르면서도 조명의 변화에 강인한 특성을 가지고 있다. 또한 본 연구는 인위적으로 구성된 모의 환경이 아니라 자연 채광이 존재하는 실제의 환경에서의 무표식 자기 위치 인식을 수행

하였다. 또한 제안된 알고리즘을 실제 환경에 적용하여 로봇의 자기 위치 인식 성능의 우수성을 보였다.

향후 로봇의 실제 주행을 위하여 본 연구의 위치인식을 기반으로 하는 효율적인 경로계획, 장애물 회피방법 등의 연구가 필요하다고 할 수 있다. 특히 본 연구에서 수동으로 작성된 영상지도를 로봇 스스로가 자동적으로 지도를 작성해야 하는 과제를 해결하여야 한다. 이러한 자기 위치 인식 시스템은 향후 로봇 시장에서 서비스 및 홈 로봇에 널리 응용될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

참고문헌

- [1] 이희성, 김은태, “외향 기반 환경 인식을 사용한 이동 로봇의 위치인식 알고리즘,” 전자공학회논문지, 제41권 CI 편, 제6호, PP 47-53, Nov. 2004.
- [2] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, “A probabilistic approach to concurrent mapping and localization for mobile robots,” *Machine Learning and Autonomous Robots*, vol. 5, pp. 253-271, 1998.
- [3] M. Montemerlo, S. Thrun, D. Koller, and B. Wegbreit, “Fast SLAM : A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem,” doctoral dissertation, tech. report, CMU-RI-TR-03-28, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Jul. 2002.
- [4] S. Se, D. Lowe, and J. Little, “Mobile robot localization and mapping with uncertainty using scale-invariant visual landmarks,” *International Journal of Robotics Research*, vol. 21, no. 8, pp. 735-758, Aug. 2002.
- [5] A. J. Davision, “Real-time simultaneous localisation and mapping with a single camera,” *IEEE Conference on Computer Vision (ICCV)*, vol. 2, pp 1403-1410, Oct. 2003.
- [6] H. Ishiguro and S. Tsuji, “Image-based memory of environment,” *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems*, vol. 2, pp. 634-639, Nov. 1996.
- [7] T. Matsui, H. Asoh, and S. Thompson, “Mobile robot localization using circular correlations of panoramic images,”

Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 1, pp. 269-274, 2000.

- [8] S. Yoon, W. Han, S. K. Min, and K. S. Roh, “Global localization of mobile robot using omni-directional image correlation,” *Lecture Notes in Computer Science 4319*, pp. 433-441, 2006.



김 종 록

2009년 한양대학교 전자정보시스템공학과 졸업. 2011년 한양대학교 대학원 전자전기제어계측공학과 석사과정 졸업. 2011년~현재 삼성전기 근무. 관심분야는 로봇비전, 영상처리, 시스템공학.



임 미 섭

1986년 한국항공대학교 전자공학과(공학사). 1989년 동 대학원 전자공학과(공학석사). 2000년 한양대학교 전자공학과(공학박사). 1991년~2001년 한국과학기술연구원 지능제어연구센터 선임연구원. 2001년~현재 경기공업대학 메카트로닉스공학과 교수. 관심분야는 서비스로봇 제어, 영상기반 모션제어, LED Control.



임 준 흥

1979년 서울대학교 전자공학과(공학사). 1981년 한국과학기술원 전자공학과(공학석사). 1986년 Univ. of Iowa 전자공학과(공학박사). 1981년~1989년 한국항공대학 항공전자공학과 조교수. 1989년~현재 한양대학교 전자시스템공학과 교수. 관심분야는 제어공학, 시스템공학, 로봇비전.