
무인 이송장치의 위치측정을 위한 반사체의 매칭 기법

정은국* · 정경훈* · 조현학** · 김정민*** · 김성신****

Reflector Matching Mechanism for Localization of Automatic guidance system

Eunkook Jung* · Kyunghoon Jung* · Hyunhak Cho** · Jungmin Kim*** · Sungshin Kim****

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 로봇 전문 인력양성 프로그램
지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C7000-1001-0009))

요 약

본 논문은 레이저 내비게이션의 위치측정을 위한 반사체 매칭방법을 제안한다. 레이저 내비게이션은 벽면에 부착된 반사체의 각도와 거리를 측정하는 장치이고 위치를 측정하기 위해서는 반사체의 매칭 기법이 필요하다. 대표적인 매칭 방법으로는 측정된 반사체의 위치를 이미 알고 있는 반사체의 위치로 평행 이동 한 후, 회전 하면서 매칭 하는 방법이었다. 하지만 이 방법은 연산량이 많고 외란에 약하다는 단점이 있다. 이에, 본 논문에서는 연산량을 줄이고 외란에 강인한 반사체 매칭 방법을 제안한다. 제안된 방법은 계측된 반사체들의 위치를 설치된 반사체의 실제 위치로 생성한 후, 계측된 반사체들을 회전하면서 매칭하는 방법이다. 실험은 직접 설계한 AGV를 이용하였으며 조향각과 주행속도를 변화 시키면서 위치측정 정밀도를 비교하였다.

ABSTRACT

This paper presents the matching method of reflectors for localization of laser navigation. The laser navigation is a device that measures distance and angle of reflector. The conventional major matching using the laser navigation is method that moves position of measured reflectors to position of installed reflectors and then rotate moved reflectors. However, it is difficult to use the industry because it has high computational complexity and high errors. To solve those problem, The proposed matching is method that create position of measured reflectors to assume that the position of installed reflectors is position of AGV and then rotate the position of installed reflectors. For experiment, we used AGV which was designed by ourselves, and compared positioning accuracy when AGV moves according to varying steering angle and driving speed.

키워드

레이저 내비게이션, 매칭, 위치측정, 반사체, AGV

Key word

laser navigation, matching, localization, reflector, AGV

* 준회원 : 부산대학교 로봇협동과정 석사과정
** 준회원 : 부산대학교 로봇관련협동과정 석사과정
*** 정회원 : 부산대학교 전자전기공학과 박사과정
**** 정회원 : 부산대학교 전자전기공학부 교수 (교신저자)

접수일자 : 2011. 05. 27
심사완료일자 : 2011. 05. 27

I. 서론

‘최근에는 인건비 절감을 위해, 반복적인 작업이 필요한 공장이나 유통창고에서 AGV의 사용이 크게 증가되고 있다. AGV는 무인 자율주행 기술의 집약체로서 위치측정과 자율주행, 경로계획 기술 등을 필요로 하며, 그 중에서도 정밀한 위치측정 기술이 매우 중요하다.

기존의 대표적인 위치측정 방식에는 GPS와 유선, 마그네틱 유도 방식들이 있었다. GPS 유도 방식은 인공위성을 이용함으로써 건물 사이나 실내 환경에서 전파의 수신이 어렵다. 이에 반해, 유선 유도와 마그네틱 유도 방식은 실내에서 위치측정 정밀도가 높고 반응속도가 빠르지만 센서를 바닥에 매설하기 때문에 유지·보수가 어렵다는 단점이 있다[1]. 이와 같은 문제를 해결하기 위해, 레이저 유도 방법이 대두되었다. 레이저 유도 방법은 벽면에 설치된 반사체의 위치를 미리 저장하고 설치된 반사체의 거리와 각도를 측정하여 미리 저장된 반사체의 정보와 매칭시켜 위치를 측정하는 방법이다.

기존의 매칭 방법은 레이저 내비게이션에서 측정된 반사체들을 미리 알고 있는 실제 반사체의 한 점에 평행 이동시켜 그 점을 중심으로 회전하면서 매칭하는 방법이다[2-7]. 하지만 이 방법은 연산량이 높고 외란에 약한 단점을 가지고 있다. 이에, 본 논문에서 연산량이 비교적 적고 외란에 강인 반사체 매칭방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장과 3장은 각각 실험에 사용되는 계측 시스템과 제안한 매칭 방법에 대해 이야기 한다. 4장은 제안된 방법의 성능 실험에 대해 기술하였고, 마지막 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 기술하였다.

II. 계측 장치

2.1. 테스트용 AGV

제안된 방법의 실험을 위해, 사용된 AGV는 차축 구동 방식이며 ㈜CLACK의 전동식 유인 지게차를 무인으로 개조하였다. 제작된 AGV는 그림 1과 같다.

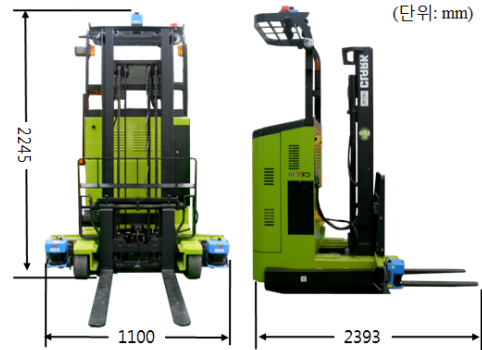


그림 1. 사용된 지게차 AGV
Fig. 1 used fork-lift AGV

제작된 AGV의 크기는 2245 × 1100 × 2393 mm이며, 반사체의 계측을 위해서 SICK사의 NAV200을 AGV의 최상단에 설치하였다.

2.2. 기구학

AGV의 주행을 위해 조향을 담당하는 조향부와 주행을 담당하는 주행부를 구분되어 있다. 조향부는 주행 바퀴(driving wheel)와 보조 바퀴(caster wheel)로 구성되어 있으며, 주행 바퀴의 위치는 그림 2와 같이 AGV의 중심축의 왼쪽에 위치해 있다. 이러한 특성을 고려하여 기구학을 설계하였다. 그림 2는 지게차 AGV의 기구학 모델을 나타낸 것이며, O-X-Y와 o-x-y는 각각 절대 좌표계와 상대 좌표계를 의미한다[8-9].

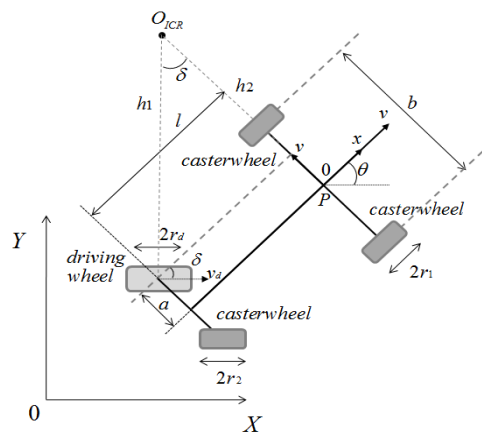


그림 2. AGV의 기구학
Fig. 2 Kinematics of AGV

차축 구동 방식의 주행은 주행 바퀴의 조향과 속도에 의해 결정된다. 그림 2에서 h_l 은 AGV의 회전 중심축 O_{ICR} 과 주행 바퀴의 중심의 거리를 나타내며, 식 (1)에 의해 계산된다.

$$h_1 = \frac{l}{\sin\delta} \quad (1)$$

여기서, l 은 포크를 제외한 차체의 길이를 나타내며, 슬립현상이 없다고 가정하고 주행바퀴의 각도 변화량 $\dot{\delta}$ 은 식 (1)에서 구한 h_l 을 이용하여 다음과 같이 구해진다.

$$\dot{\delta} = \frac{v_d}{h_1} = \frac{v}{h_1 \cos\delta + a} \quad (2)$$

a 는 주행 바퀴의 중심과 자체의 중심라인 사이의 거리이고 v_d 는 주행 바퀴의 속도를 의미하며, 이는 식 (3)에 의해 계산된다.

$$v_d = r_d w_d \quad (3)$$

위의 수식에서 r_d 는 주행 바퀴의 반지름 크기이고 w_d 는 주행 바퀴의 각속도이다. 따라서 AGV의 속도는 식 (4)에 의해 계산될 수 있다.

$$v = r_d w_d \left(\cos\delta + \frac{a \sin\delta}{l} \right) \quad (4)$$

AGV의 주행 바퀴에 대한 각도 및 속도를 이용하여 AGV의 위치 정보인 (\dot{X} , \dot{Y} , $\dot{\theta}$)를 측정할 수 있다. 식 (5)는 AGV의 위치 정보를 나타낸 수식이다.

$$\begin{aligned} \dot{X} &= v \cos\theta = r_d w_d \left(\cos\delta + \frac{a \sin\delta}{l} \right) \cos\theta \\ \dot{Y} &= v \sin\theta = r_d w_d \left(\cos\delta + \frac{a \sin\delta}{l} \right) \sin\theta \\ \dot{\theta} &= \frac{r_d w_d \sin\delta}{l} \\ \dot{\delta} &= w_s \end{aligned} \quad (5)$$

III. 위치측정을 위한 매칭 방법

레이저 내비게이션은 헤더가 360°로 회전하면서 계측된 반사체의 거리를 측정하기 때문에 반사체들의 각도와 거리는 레이저 내비게이션의 위치를 원점으로 극좌표계 형태로 계측된다. 또한, 반사체는 작업공간에 미리 설치되어야 한다. 표 1은 본 논문에서 사용된 레이저 내비게이션의 주요 사양을 보여준다.

표 1. 레이저 내비게이션의 주요 사양
Table 1. Major specifications of laser navigation

Item	Specification
Laser navigation (NAV200)	power supply: 24V
	scanning frequency: 8 Hz
	operating range: 1.2~28.5m
	angular resolution: 0.1°

레이저 내비게이션은 미리 설치된 반사체의 실 위치를 저장하고 있어야 한다. 이는 레이저 내비게이션이 설치된 AGV가 주행하면서 계측한 반사체를 이미 알고 있는 반사체의 실제 위치와의 매칭을 통해 위치를 계산하기 때문이다. 따라서 이들을 매칭을 위해서는 극좌표계를 직교좌표계로 변환하여야 한다. 그림 3은 직교좌표계로 변환된 반사체의 실제 위치와 계측된 반사체의 위치를 보여준다.

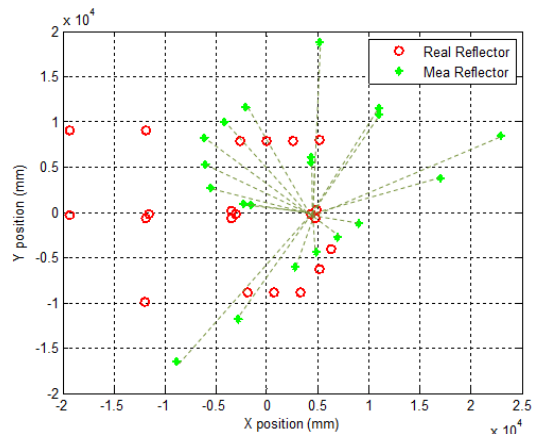


그림 3. 직교좌표계로 변환된 반사체의 위치들
Fig. 3 position of reflectors transformed into rectangular coordinates

그림에서 원과 십자가는 각각 설치된 반사체의 실제 위치와 계측된 반사체의 위치를 보여준다. 또한, 계측된 반사체의 위치를 직교좌표계로 표현하기 위해서 임의의 반사체의 실제 위치를 원점으로 설정하였다. 계측된 반사체들의 원점은 AGV의 위치가 되고, 이를 계산하기 위해서는 반사체의 실제 위치와 계측된 반사체의 위치와의 매칭이 필요하다.

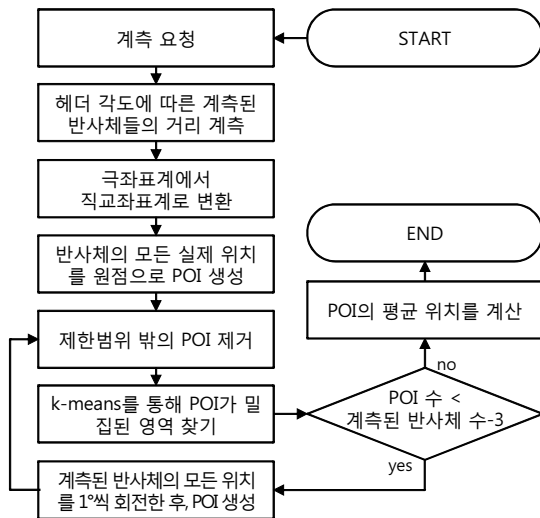


그림 4. 제안한 매칭 알고리즘
Fig. 4 Proposed matching algorithm

제안된 방법은 반사체를 계측하기 위해서 레이저 내비게이션에 계측 요청을 보내게 된다. 계측 요청을 받은 레이저 내비게이션은 헤더를 0°에서 359°까지 회전시키며, 헤더 각도에 따라 계측된 반사체들의 거리를 전송해준다. 다시 말해, 헤더가 한 번 회전한 후에 반사체가 계측된 시점의 헤더 각도와 레이저 내비게이션과 반사체 사이의 거리를 전송해준다. 이 때, 계측된 반사체들은 원점을 알 수 없기 때문에 극좌표계로 표현된다. 반사체의 실제 위치와의 매칭을 위해, 극좌표계를 직교좌표계로 변환한다. 이 때, 원점은 반사체의 모든 실제 위치들을 원점으로 하여 POI(point of interest)를 생성한다. 생성된 POI의 개수는 (설치된 반사체 수 × 계측된 반사체 수)가 된다. 하지만 레이저 내비게이션의 위치는 반사체들의 안에 존재해야한다. 또한, 의미 없는 POI는 연산 속도를 저하시키기 때문에 제한 범위 밖의 POI를 제거해야한

다. POI의 생성이 완료되면, k-means를 통해 POI가 밀집된 영역을 찾는다. 만약, 밀집된 영역의 POI의 수가 (계측된 반사체의 수-3)보다 적다면 계측된 반사체의 모든 위치를 1° 회전 시킨 후에 POI를 다시 생성한다. 그렇지 않다면, 밀집된 영역의 POI들의 평균 위치를 계산하여 AGV의 위치로 사용한다.

IV. 실험 및 결과

4.1. 실험 환경

제안한 매칭의 성능 분석을 위해, 레이저 내비게이션이 장착된 실제 AGV를 이용하였다. 실험 방법은 AGV의 조향을 0°, 30°, 45°, 60°로 고정하고 24 cm/s와 36 cm/s, 48 cm/s의 속도로 주행할 때의 각각의 상황을 5회씩 반복 실험하였다. 그림 5는 실험 환경을 보여준다.

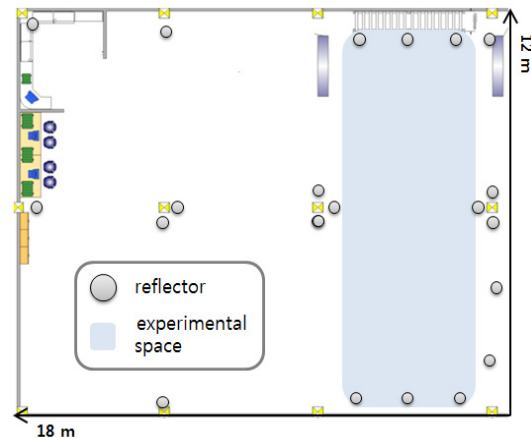


그림 5. 실험 환경
Fig. 5 Experimental environment

레이저 내비게이션의 성능은 반사체의 수와 부착된 위치에 영향을 크게 받는다. 본 논문에서는 21개의 반사체가 설치된 12 m × 18 m 넓이의 공간에서 실험하였다. 성능 비교를 위해, 제안한 방법과 기존 방법인 측정된 반사체의 위치를 평행 이동시켜 회전하면서 매칭하는 방법의 위치측정 정밀도 성능을 비교 하였다.

4.2. 실험 결과

제안한 방법(①)과 기존 방법(②)의 위치측정 정밀도 실험의 전체 결과는 표 2와 같다.

표 2. ①과 ②의 전체 실험 결과
Table 2. total experimental result of ① and ②

(unit: mm)

속도	조향	제안한 방법(①)		기존 방법(②)	
		RMSE	variance	RMSE	variance
24 cm/s	0°	68.61	455.8	69.43	582.6
	30°	64.21	514.2	68.36	682.6
	45°	68.58	584.7	78.31	632.6
	60°	69.69	655.8	75.60	695.1
36 cm/s	0°	77.08	590.1	77.45	605.8
	30°	71.69	621.1	84.41	635.8
	45°	77.61	664.6	84.23	605.1
	60°	80.09	697.2	98.10	701.2
48 cm/s	0°	75.08	680.6	90.08	715.8
	30°	82.69	899.3	104.4	895.2
	45°	87.37	919.3	105.9	937.8
	60°	97.69	993.1	114.0	999.6
average		76.70	689.6	87.52	724.1

제안된 방법과 기존 방법의 평균 RMSE는 각각 70.70 mm, 87.52 mm을 나타내었고, 분산의 평균은 각각 689.6 mm와 724.1 mm을 나타내었다. 그림 6과 7은 각각 AGV의 속도와 조향이 36 cm/s와 45°일 때의 주행 결과와 36 cm/s와 0°일 때의 주행 결과를 보여준다.

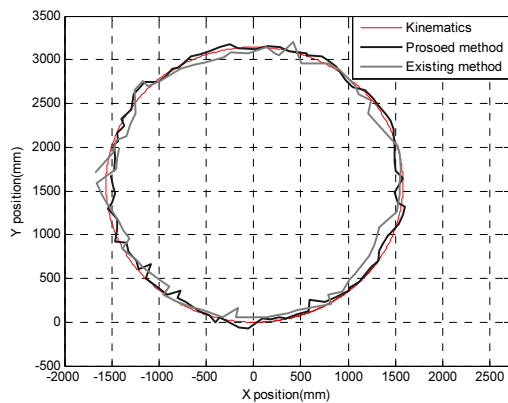


그림 6. 회전주행 위치측정결과
Fig. 6 Results of localization on rotation driving

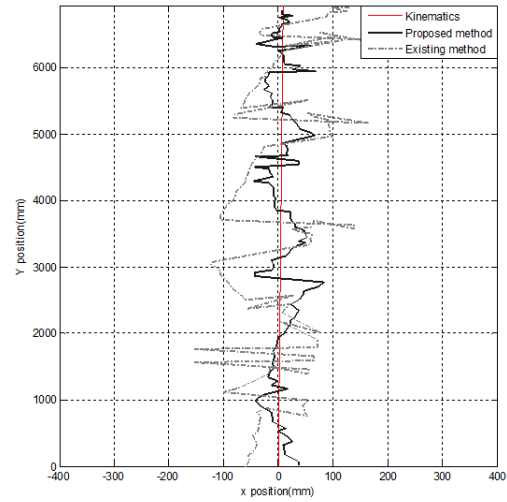


그림 7. 직선주행 위치측정 결과
Fig. 7 Results of localization on straight driving

회전주행은 조향각도가 고정되어 있기 때문에 원에 가까게 그리는 것이 좋고 직선주행은 직선에 가까게 그려지는 것이 좋은 결과이다. 그림 6을 보면, ②보다 ①의 주행 결과가 더 원에 가까운 것을 확인 할 수 있다. 마찬가지로 그림 7도 ②보다 ①의 주행 결과가 직선에 가까게 주행하는 것을 확인 할 수 있다. 두 실험 결과는 기구학을 통해 나온 주행 경로와 비교하면 되지만, 실제로는 실험환경 상의 제약으로 AGV의 완벽한 위치는 알 수 없다. 그림 8은 그림 6 결과의 시간에 따른 오차 변화를 보여준다.

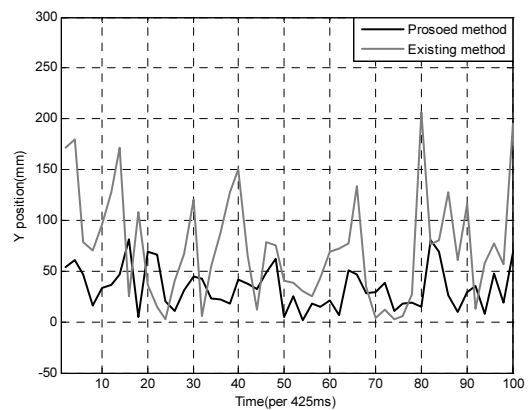


그림 8. 그림 6의 오차 변화
Fig. 8 Error transition on Fig. 6

①과 ②의 위치측정 평균오차는 각각 51.31 mm와 70.52 mm이었고 정밀도는 각각 ± 82.16 mm과 ± 201.78 mm을 가지는 것을 확인하였다. 전체적인 실험 결과, ①은 ②에 비해 위치측정 정밀도가 27.3% 이상 향상됨을 확인 할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문은 레이저 내비게이션을 위한 반사체 매칭 방법을 제안하였다. 레이저 내비게이션은 반사체의 거리를 측정하는 장비이다. 이러한 레이저 내비게이션을 이용하여 위치를 측정하기 위해서 매칭 방법이 필요하다. 기존의 가장 많이 사용한 방법은 반사체 실제 위치에 측정된 반사체의 위치를 평행 이동시켜 회전 하면서 매칭하는 방법이었다. 하지만 느린 연산 속도와 외란에 영향을 크게 받는 문제를 가지고 있었다. 이에, 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 매칭 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 계측된 반사체들의 위치를 설치된 반사체의 실제 위치로 생성한 후, 계측된 반사체들을 회전하면서 매칭하는 방법이었다. 제안된 방법의 성능을 검증하기 위해, 레이저 내비게이션을 장착한 실제 AGV를 이용하여 기존의 방식과 제안한 방법의 위치측정 정밀도 성능을 비교하였다. 실험 결과, 제안된 방법이 기존의 방법에 비해 27.3% 이상 성능이 향상되었음을 알 수 있었다. 향후 연구로는 더욱 정밀한 위치측정을 위해 확률론적 기법을 통한 정밀 위치측정 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 로봇 전문 인력양성 프로그램 지원사업의 연구 결과로 수행되었음”
(NIPA-2010-(C7000-1001-0009))

참고문헌

- [1] S.Kamewaka and S.Uemura, “A magnetic guidance method for automated guided vehicles,” *IEEE Transactions of Magnetics*, vol. 23, no. 5, pp. 2416-2418, 1987.
- [2] M.Atallah, Y.Génin, and W.Szpankowski, “A pattern matching image compression: Algorithmic and empirical results,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 21, no. 7, pp. 618-627, 1999.
- [3] W.Hyun, “A development of map building sensor system for mobile robot using low cost photo sensor,” *Int. J. of Maritime Information and Communication Sciences*, vol. 7, no. 3, pp. 281-285, 2009.
- [4] S.Lenser and M.Veloso, “Sensor resetting localization for poorly modelled mobile robots,” *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 1225-1232, 2000.
- [5] C.R.Clark and D.E.Schimmel, “Scalable pattern matching for high speed networks”, *Proc. 12th Ann. IEEE Symp. Field Program. Custom Comput. Mach. (FCCM)*, pp. 249 - 257, 2004.
- [6] Z.K.Baker and V.K.Prasanna, “Time and Area Efficient Pattern Matching on FPGAs,” *Proc. of the 2004 ACM/SIGDA 12th International Symposium on Field Programmable Gate Arrays*, pp. 223-232, 2004.
- [7] W.Hyun, “A development of map building sensor system for mobile robot using low cost photo sensor,” *Int. J. of Maritime Information and Communication Sciences*, vol. 7, no. 3, pp. 281-285, 2009.
- [8] 정경훈, 김정민, 박정제, 김성신, 배선일, “센서융합을 이용한 AGV의 라인 트래킹 방법,” *한국지능시스템학회*, 20권, 1호, pp. 54-59, 2010.
- [9] 우승범, 정경훈, 김정민, 박정제, 김성신, “중량물 운송을 위한 AGV의 주행 제어 방법,” *한국지능시스템학회*, 20권, 3호, pp.394-399, 2010.

저자소개



정은국(Eunkook Jung)

2010년 신라대학교 자동차기계
전자공학부(공학사)
2010년~현재 부산대학교
로봇협동과정 석사과정

※ 관심분야: 지능 시스템, 지능형 로봇



김성신(Sungshin Kim)

1986년 연세대학교 전기공학과
(공학석사)
1996년 Georgia Inst. of Technology,
전기및컴퓨터공학과
(공학박사)

1998년~현재 부산대학교 전자전기통신공학부 교수
※ 관심분야: 지능 시스템, 지능형 로봇, 고장 예측 및
진단



정경훈(Kyunghoon Jung)

2008년 신라대학교 컴퓨터공학과
(공학사)
2009년~현재 부산대학교
로봇협동과정 석사과정

※ 관심분야: 신호처리, 지능제어, 지능형 로봇



조현학(Kil-Dong Hong)

2011년 신라대학교 컴퓨터정보
공학부(공학사)
2010년~현재 부산대학교 로봇
관련협동과정 석사과정

※ 관심분야: 신호처리, 지능 시스템, 지능형 로봇



김정민(Jungmin Kim)

2006년 신라대학교
컴퓨터공학과(공학사)
2008년 부산대학교
전기공학과(공학석사)

2008년~현재 부산대학교 전자전기공학과 박사과정
※ 관심분야: 신호처리, 지능 시스템, 지능형 로봇