

영상 처리를 이용한 소형 이족 보행 로봇의 임무 수행

김남훈* · 하종은**

Performing Missions of a Small Biped Walking Robot using Image Processing

Nam-Hun Kim* · Jong-Eun Ha**

요 약

본 논문에서는 영상 처리를 이용한 소형 이족 로봇의 임무 수행에 대해 다루도록 한다. 주어진 지도상에서 안정적인 보행을 위해서는 위치 인식이 필요하게 된다. 주행 경로상의 경계를 추출하여 로봇의 위치 정보를 추정하도록 한다. 평면상에서 운동하는 경우 위치와 방향으로 이루어진 세 개의 인자의 추정이 필요하다. 본 논문에서는 주행 경로상의 수직 방향의 로봇의 위치와 진행 방향등 두 개의 인자를 추정하여 위치 추정을 하도록 한다. 장애물 검출을 위해서는 칼라 정보를 이용하도록 하며 안정적인 검출을 위해 정규화된 값을 이용하도록 한다.

ABSTRACT

This paper deals with performing missions of a small biped robot using image processing. Localization is required for stable walking under a given map. Localization of the robot is done by extracting boundary on a driving course. Estimation of three parameters including location and orientation is required when walking on a plane. In this paper, two parameters including the location of the robot along the vertical direction of robot's walking direction and an orientation is estimated for localization. Color is used for the detection of obstacles and normalized values are used for the stable detection.

키워드

Biped Walking Robot, Localization, Robot Vision
이족 보행 로봇, 위치 추정, 로봇 비전

1. 서론

본 연구에서는 영상 처리를 이용한 소형 이족 로봇의 주어진 임무 수행에 대해 다루도록 한다. 출발점에서 보행을 시작하여 장애물 회피, 장애물 넘기, 탁구공 차기등의 다양한 임무를 수행후 안정적으로 최종 지점까지 가는 것이 목표이다. 로봇의 자율 주행을 위

해서는 위치 추정, 장애물 회피 및 경로 계획등 다양한 기능이 요구된다[1-2]. 이족 보행 로봇의 위의 기능과 더불어 안정적인 보행을 위한 다양한 연구가 진행되었다[3-10].

본 논문에서는 카메라 한대를 이용하여 소형 이족 보행 로봇의 영상 처리를 기반으로 한 임무 수행에 대해 다루도록 한다. 주어진 경기장에서 위치 추정 및 장

* 서울과학기술대학교 자동차공학과 대학원 (skagns121@naver.com)

** 교신저자 : 서울과학기술대학교 기계·자동차 공학과

• 접수일 : 2016. 11. 12
• 수정완료일 : 2016. 12. 13
• 게재확정일 : 2016. 12. 24

• Received : Nov. 12, 2016, Revised : Dec. 13, 2016, Accepted : Dec. 24, 2016

• Corresponding Author : Jong-Eun Ha

Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology,

Email : jeha@seoultech.ac.kr

애물 검출을 통해 최종 목적지에 빠른 시간에 도달하는 것이 최종 목표이다. 이를 위해서 칼라를 이용한 장애물 검출과 주행 경로상의 외곽 경계 직선 추출을 통한 위치 추정 방법을 이용하도록 한다. 그림 1은 전체 처리 과정을 보여주고 있다. 그림 2는 소형 이족 로봇, 실제 경기장 지도와 관련 미션들을 보여주고 있다.

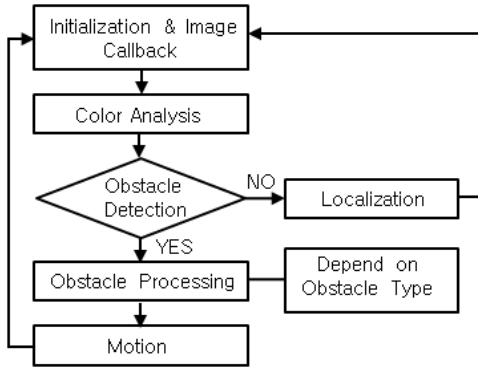


그림 1. 처리 흐름도
Fig. 1 Processing flowchart

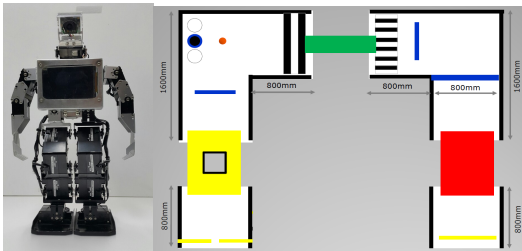


그림 2. 로봇, 경기장 지도 및 미션들
Fig. 2 Robot, stadium map and missions

II. 경계 직선을 이용한 위치 추정

경기장내의 보행 가능 경로에서 안정적인 임무 수행을 위해서는 로봇의 정밀한 위치 추정이 요구된다. 그림 2에서 알 수 있듯이 주어진 경기장의 경우 보행 경로의 양쪽 끝단에 구분을 용이하게 하기 위해 검정색 띠를 배치하고 있다. 위치 추정을 위해 이러한 경기장의 검정색 외곽선을 이미지상에서 찾은후 이용하도록 한다. 일반적인 위치 추정 방법의 경우, 전체 경기장에 대한 로봇의 위치 정보는 위치와 진행 방향을 포함하는 (x, y, θ) 의 세 개의 인자를 추정해야 한다.

본 연구에서는 주행 경로상에서 측방향 기준 로봇의 위치와 진행 방향등 두 개의 인자만을 추정하여 위치 추정을 수행하도록 한다.

입력 영상에서 로봇의 팔 부분을 제외한 나머지 영역에 대해 이진화 처리를 한 후 흰색 영역 이후로 연속적으로 일정 개수 이상의 검은 영역이 검출되면 경계로 판단하도록 한다. 추출된 에지들중 가장 왼쪽 에지 픽셀의 좌표를 (X_l, Y_l) 라고 하고, 가장 오른쪽 에지 픽셀의 좌표를 (X_r, Y_r) 라고 할때 로봇의 전진 방향에 대한 상대적인 자세 정보인 θ 와 로봇과 경계 부분 사이의 상대적인 거리인 P 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Y_l - Y_r}{X_r - X_l} \right) \quad (1)$$

$$P = \frac{Y_l + Y_r}{2} \quad (2)$$

θ 가 양수이면 로봇이 전방 방향을 기준으로 오른쪽, 음수이면 왼쪽으로 회전되어 있는 상태에 해당한다. 그림 3은 원 이미지와 추출된 에지를 보여주고 있다.

위의 방법은 경계 부분에 해당하는 에지 부분만 관심 영역에 존재한다는 가정을 사용하고 있다. 이진화 후 관심 영역상에 경계 부분에 의한 에지 이외에 다른 에지 성분이 존재하는 경우 위의 방법은 문제를 발생하게 된다. 이는 그림 4에 나타나있다. 그림 4-(a)는 원 이미지를 나타내며 그림 4-(b)는 에지 처리 결과이다. 경계 부분과 함께 주행 경로상의 장애물에 의한 에지 성분도 같이 검출되었음을 알 수 있다. 그림 4-(c)는 직선 추출 결과이다. 실제 외곽선이 아니라 두 에지들의 평균적인 위치를 지나는 직선을 구함을 알 수 있다.



그림 3. Edge 추출 이미지 (a)원 이미지 (b)에지 추출 결과
Fig. 3 Image to extraction edge (a)original image (b)result of edge extraction

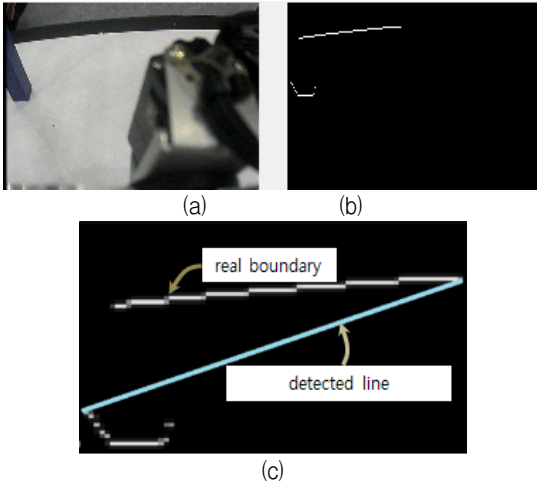


그림 4. 장애물에 의해 외곽선 검출이 잘못된 경우
 (a)원 이미지 (b)에지 추출 결과 (c)직선 추출 결과
 Fig. 4 Failure of outline detection by obstacle
 (a)original image (b)result of edge extraction (c)result of line extraction

이러한 문제점은 각각의 에지들을 연결 정보를 이용하여 그룹핑한후 이후 다양한 방법을 적용하여 외곽 경계에 해당하는 에지들을 찾으므로써 해결할 수 있다. 그러나, 이와 같은 방법은 계산 시간이 과다하고 많은 추가적인 인자들을 요구하는 단점이 있다. 본 연구에서는 간단하면서 빠르게 계산할 수 있는 다음과 같은 방법을 제시한다.

원 이미지상에서 처리 영역상의 모든 에지점들을 이용하여 직선을 추출하고 이 직선을 이용하여 추가로 에지들을 두 그룹으로 분류한 뒤 경계에 해당하는 에지들만을 이용하여 직선을 추정하여 사용하도록 한다. 관심 영역상의 에지의 좌표를 (x_i, y_i) 라고 할 때 n 개의 에지들을 모두 이용한 직선은 최소자승 추정 (Least Squares Estimation)을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \frac{N \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{N \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3)$$

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n y_i}{N \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (4)$$

θ 와 P 는 추정하는 직선의 기울기와 y 절편이다.

그림 6은 제시된 방법에 의한 결과를 보여주고 있다. 관심 영역상의 모든 에지 픽셀들을 이용하여 구한 직선의 기울기와 y 절편을 각각 θ_1, P_1 이라고 할 때, 그림 5에서 검은색 직선이 해당하는 직선이다. 다음으로, 경기장에서 외곽선은 관심 영역의 가장 외곽에 존재한다는 가정을 이용하도록 한다. 이는 에지의 좌표를 (x_i, y_i) 이라고 할 때 y_i 값이 작은 그룹에 해당하는 에지 픽셀들에 해당한다고 볼 수 있다. θ_1, P_1 을 이용한 직선의 방정식을 이용하여 이 직선과 에지 픽셀들의 y_i 값을 이용하여 직선위에 존재하는 에지 픽셀들을 가려내도록 한다. 새롭게 선택된 에지 픽셀들을 이용하여 추출된 직선의 기울기와 y 절편을 각각 θ_2, P_2 라고 한다.

진행 경로의 횡방향을 기준으로 로봇을 중앙에 위치시키기 위한 절차는 다음과 같다. 로봇을 중앙에 위치시킨 뒤 여러 장의 이미지를 취득하여 분석한 결과 경계 부분의 직선의 기울기와 y 절편을 각각 θ_{ref}, P_{ref} 라고 할때, 이들 값은 $-0.05 < \theta_{ref} < 0.05, 20 < P_{ref} < 40$ 의 범위를 가진다. 현재 위치에서의 인자값 (θ_2, P_2) 와 기준 인자값 (θ_{ref}, P_{ref}) 을 비교하여 로봇의 회전과 이동을 통해서 중앙으로 위치시키도록 한다. 이 때 회전을 통해서 θ_2 값을 변화 시키면 그에 따라서 이동양에 해당하는 P_2 값도 변화기 때문에 항상 회전을 우선순위로 하여 진행하도록 한다.

P_{ref} 가 전체 영상의 해상도 180 x 120 픽셀에 비해 작은 값, 즉 조금만 왼쪽으로 이동하게 되면 외곽선이 보이지 않기 때문에, 이러한 경우는 항상 로봇이 경기장의 왼쪽에 치우쳐져 있다는 가정하에 로봇을 오른쪽으로 이동시킨 후 동일한 작업을 수행하도록 한다.

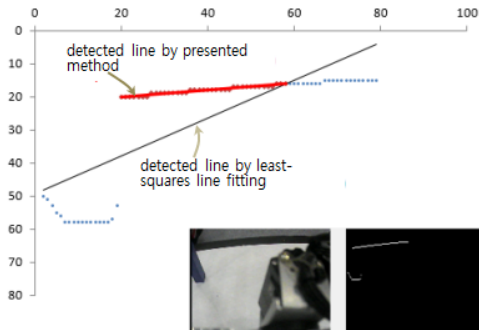


그림 5. 두 단계 직선 추정을 이용한 경계 직선 추출
Fig. 5 Extraction of line using estimation of line in two steps

II. 색상구분을 통한 장애물 검출

진행 경로상의 각각의 장애물들의 검출은 칼라 성분을 이용하도록 하며, 처리 시간 단축을 위해 전체 이미지 영역에 대해서가 아니라 로봇과 가까운 부분인 영상의 하단 부분에 ROI(Region Of Interest)를 설정하여 이용하도록 한다. 이를 통해 가장 가까운 장애물에 대해서만 인식하게 하였으며 추가로 장애물 인식에 대한 처리속도를 향상시켰다.

경기장 내 각각의 장애물들은 노랑, 빨강, 파랑, 초록, 주황, 검정과 같이 특정 색상으로 이루어져 있으므로 색상 성분을 이용하여 구분이 가능하다. 카메라에서 받아오는 이미지는 RGB 형식이며 이를 다음과 같이 정규화시켜 사용하였다.

$$R_n = \frac{R}{R+G+B} \quad (5)$$

$$G_n = \frac{G}{R+G+B}$$

R, G, B 는 각각 빨강, 녹색, 청색 계열의 밝기값이며 R_n, G_n 은 정규화된 빨강과 녹색 밝기값이다.

턱이 있는 장애물의 경우 로봇이 보행만으로는 지나갈 수 없다. 이를 위해 덤블링이나 계단을 오르는 등의 모션을 통해 이를 극복하게 된다. 이 때 장애물과 밀착되어 있는 상태일 때가 모션의 성공 확률이 높기 때문에 영상처리를 통해 밀착되어 있는지를 판

단하게 한다. 이를 위해 카메라의 각도를 하단을 향하게 하여 로봇의 발 바로 앞에 해당하는 영역을 ROI로 설정해 그 영역에 장애물이 판단될 때까지 보행을 하도록 한다. 그림 6은 카메라 각도를 하단으로 조정하였을 때 장애물 이미지들을 보여주고 있다.



그림 6. 장애물 이미지들 예
Fig. 6 Examples of the image of obstacles

다음으로는 로봇의 진행 경로중 90도로 꺾이는 부분에 대한 대응 방안이다. 경기장을 반시계방향으로 주행하는 점을 이용하여 전방의 외곽선 인식후 좌측의 외곽선 인식의 순서로 코너를 판단하였다. 좌측의 외곽선을 인식하는 이유는 외곽선이 아닌 다른 장애물을 코너로 인식할 경우를 대비한 것이다. 하지만 이 경우 코너를 인식하기 위해 보행하는 시간이 오래 걸린다는 점과 로봇이 경기장의 우측에 위치해 전방의 외곽선을 잘못 인식했을 때 좌측 외곽선이 보이지 않는 경우가 생겨 코너로 인식할 수 있다는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 주어진 경기장의 구조를 알고 있으므로 코너 이전의 장애물을 통과한 후에 90도 회전을 하여 코너를 인식하고 탈출하도록 하였다.

다음으로는 미션들중 좁은 폭을 가진 다리 부분에 대한 대응 방안을 기술하도록 한다. 좁은 폭의 다리를 안정적으로 건너기 위해서는 다리 상에서 로봇의 위치 추정시 높은 정밀도가 요구된다. 이전 절에서 기술된 외곽 경계를 추출후 직선 추정을 통한 방법을 이용할 경우 일정거리 이동 후 동일 방법을 반복적으로 적용함으로써 해결할 수 있다. 하지만 빠른 이동을 위해 이동거리를 길게 설정하면 실패할 확률이 증가하게 되고, 이동거리를 짧게 하면 수행 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 전진을 하면서 현재 위치를 파악하는 방법을 제시하였다.

위치 추정 처리가 느리면 장애물에서 떨어질 확률이 있기 때문에 직선의 방정식을 이용한 위치 추정 방법보다 빠른 방법이 필요하다. 카메라 각도를 바닥으로 향하게 하여 로봇이 중앙에 위치했을 때 장애물 영역을 설정하고, 그 이외의 지역에 장애물이 검출되

는 경우 로봇의 위치가 틀어져 있다는 것을 알 수 있다는 사실을 이용하여 현재 위치를 파악하였다. 주어진 경기장에서의 다리의 좌우 폭 값을 측정한 결과 20~160픽셀 사이에 위치하였으며, 지정된 픽셀이외의 지점에 해당 다리의 색상영역이 일정 영역이상 검출이 된다면 그 지점의 방향으로 회전하며 이동하였다. 그림 7에서와 같이 160~180 픽셀 사이에 100 픽셀 이상의 장애물 색상영역이 검출이 된다면, 오른쪽으로 회전하면서 전진하여 좁은 폭의 다리를 이동하는 방식이다.

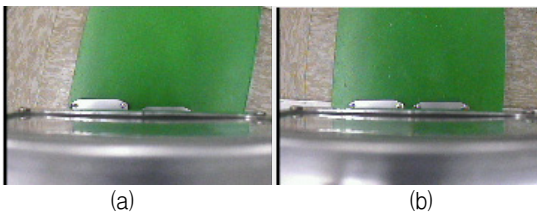


그림 7. 다리 위에서의 이미지 (a) 왼쪽으로 치우친 경우 (b)중앙에 위치한 경우
Fig. 7 Image over the bridge (a) case of left side (b) case of center

IV. 실험 결과

칼라 정보를 이용한 장애물 구분을 위해서 각 색상 별로 다수의 이미지를 획득후 표 1과 같은 역치값을 이용하였다. 그림 8은 조명 변화등이 있는 경우에 대해 각각 RGB를 이용한 경우와 정규화된 R, G를 이용한 경우의 검출 결과를 보여주고 있다. 정규화된 R, G를 이용하는 경우 보다 강인하게 조명 변화에 대응함을 알 수 있다.

색상구분을 이용한 장애물 인식의 경우, 실제 경진 대회에서 총 22번의 경기장 주행 결과 장애물을 잘 인식하지 못해 실패한 경우는 발생하지 않았다. 다만, 카메라의 자동 화이트밸런스에 의해서 빨간색이 초록색으로, 초록색이 빨간색으로 잡히는 경우가 생겨 색상인식을 못한 경우는 종종 발생하였다. 이를 해결하기 위해 해당 색상이 많은 영역에 걸쳐 이미지에 분포하는 경우 화이트밸런스를 최소화시키는 방향으로 카메라 각도를 조절하여 대응하였다.

표 1. 색상 별 정규화 R, G 값의 범위
Table 1. Range of normalized R and G

Color	Chanel	Range
Red	R_n	0.36~0.80
	G_n	0.20~0.32
Green	R_n	0.20~0.30
	G_n	0.40~0.60
Blue	R_n	0.20~0.30
	G_n	0.20~0.35
Yellow	R_n	0.40~0.60
	G_n	0.40~0.60
Orange	R_n	0.50~0.70
	G_n	0.30~0.50

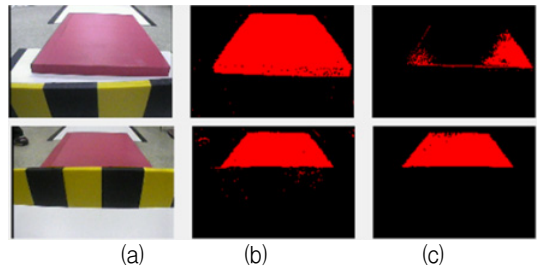


그림 8. 조명 변화에 따른 RGB와 Normalized RG의 검출 결과 비교 (a) 원이미지 (b) normalized RG에 의한 결과 (c) RGB에 의한 결과

Fig. 8 Comparison of detection result when using RGB and normalized R and G according to illumination variation (a) original image (b) result by normalized RG (c) result by RGB

코너 주행시 개선전의 알고리즘은 장애물보다 먼저 코너를 인식하여 장애물을 수행하지 않고 회전하는 경우가 발생하였으며, 개선된 알고리즘을 통해 1회~2회 정도의 보행을 줄여 수행 속도에 있어서도 개선하였다. 색상영역의 위치를 이용한 위치 추정 기법은 다리를 건너는 장애물 이외에도 다리를 올라가기 전 다리의 위치 추정, 경기장에 랜덤하게 설치되는 게이트의 위치 추정, 함정의 위치 추정에도 사용하여 장애물의 위치를 빠르게 파악하여 주행 시간을 단축시켰다.

IV. 결론

본 논문에서는 단일 카메라에 의한 영상 처리를 이용한 소형 이족 로봇의 임무 수행에 대해 다루었다. 주어진 환경내에서 안정적인 보행을 위해 주행 가능 영역의 경계선을 검출후 위치 추정을 수행하는 방법을 제시하였다. 또한, 칼라 정보를 이용하여 다양한 색상을 가지는 장애물에 대해 대응을 수행하였다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음

References

[1] S. Noh, N. Ko, and T. Kim, "Implementing Autonomous Navigation of a Mobile Robot Integrating Localization, Obstacle Avoidance and Path Planning," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 1, 2011, pp. 148-156.

[2] Y. Moon, S. Roh, S. Lim, and Y. Bae, "An Implementation of the Control System of the Mobile Robot using ROS," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 1, 2013, pp. 1713-1718.

[3] M. Vukobratovic and B. Borovac, "Zero Moment Point-thirty five years of its life," *Int. J. of Humanoid Robotics*, vol. 1, no. 1, 2004, pp. 157-173.

[4] J. Kim, I. Park, and J. Oh, "Experimental realization of dynamic walking of biped humanoid robot KHR-2 using ZMP feedback and Inertial measurement," *Advanced Robotics*, vol. 20, no. 6, 2006, pp. 707-736.

[5] S. Kwon and Y. Oh, "On the Estimation of the Center of Mass of an Autonomous Bipedal Robot," *J. of Institute of Control, Robotics, and Systems*, vol. 14, no. 9, 2008, pp. 886-892.

[6] J. Kim and J. Hodgins, "Joint position control using ZMPbased gain switching algorithm for a hydraulic biped humanoid robot," *J. of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 15, no. 10, 2009, pp. 1029-1038.

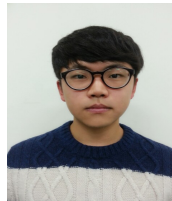
[7] D. Choi, J. Kim, and J. Kim, "Walking Control Using Phase Plane of a Hydraulic Biped Humanoid Robot," *J. of Institute of Control, Robotics, and Systems*, vol. 17, no. 3, 2011, pp. 269-276.

[8] J. Kim, "Biped Walking of Hydraulic Humanoid Robot on Inclined Floors," *J. of Institute of Control, Robotics, and Systems*, vol. 18, no. 3, 2012, pp. 258-266.

[9] G. Park, J. Yun, Y. Choi, and J. Kim, "Development of Android Applications for Wireless Control of Omnidirectional Biped Walking of Humanoid Robot," *J. of Institute of Control, Robotics, and Systems*, vol. 20, no. 2, 2014, pp. 223-231.

[10] J. Byun and Y. Choi, "An Efficient Stair Locomotion Method of Quadruped Robot with Mechanism of Insectile Leg," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 3, 2015, pp. 395-402.

저자 소개



김남훈(Nam-Hun Kim)

2016년 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과 졸업(공학사)
 2016년~현재 서울과학기술대학교
 자동차공학과 대학원 석사과정
 ※ 관심분야 : 무인자율주행, 무인감시, 머신비전



하종은(Jong-Eun Ha)

1992년 서울대학교 기계공학과 졸업(공학사)
 1994년 서울대학교 대학원 기계공학
 학과 졸업(공학석사)
 2000년 한국과학기술원 대학원 기계공학과 졸업(공학박사)
 2000년~2002년 삼성코닝
 2002년~2005년 동명대학교 멀티미디어공학과
 2005년~현재 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과 교수
 ※ 관심분야 : 무인자율주행, 지능로봇, 머신비전