

# 퍼지제어를 이용한 이동 물체 추적 스테레오 카메라 시스템

논 문
59-8-14

## Moving Object Tracking using Fuzzy Control of Stereo Camera System

염 승 훈<sup>†</sup> · 유 제 연<sup>\*</sup> · 김 진 환<sup>\*\*</sup> · 허 옥 열<sup>\*\*\*</sup>  
(Seung-Hoon Yeom · Je-Yeon Yoo · Jin-Hwan Kim · Uk-Youl Huh)

**Abstract** - In this paper, we proposed that stereo camera system using fuzzy control for moving object tracking. We extract some features of the moving object from overall image. This informations send to the PC and the PC calculate the coordinate of the object in the image frame. To make the object set in the middle of the image, the step motor should be controlled accurately and rapidly with the location information received by the PC. Then we design a fuzzy logic system for controlling stereo camera system. To verify the better performance of the proposed algorithm, we exemplified by experimental results.

**Key Words** : Stereo vision, Fuzzy control, Object tracking

### 1. 서 론

최근, 무인 감시 분야 시스템, 인터넷을 이용한 원거리 감시 시스템 그리고 이동로봇의 증가와 더불어 비전센서(vision sensor)를 이용한 지능형 로봇의 이동물체 인지 및 추적 연구가 활발하게 되고 있다. 이러한 미래형 로봇은 산업용 로봇과는 달리 사람과 동일한 공간에서 활동하면서 사람의 일과 업무를 도와주고 가족이나 공동체의 한 구성원으로 활동하면서 특수한 목적을 수행하는 기능들이 주어지고 있으며, 사람들에게 보다 친숙하고 감성적인 느낌을 줄 수 있도록 인간 친화적 상호작용이 가능하도록 제어되어지고 있다. 따라서 로봇에게 사람의 행동을 통해 명령을 전달하거나 사람의 동작을 통해 사용자의 감성을 인식하고자 하는 경우, 신체의 일부를 인식하여 추적하고 운동 특성을 분석하는 기술이 필수적으로 되고 있으며, 주위환경에 대한 다양한 정보와 사람들의 명령을 관측하고 분석할 수 있는 능력을 로봇에 탑재하여야 한다. 그래서 로봇은 많은 종류의 센서들을 장착하고 수집된 센서 정보들을 분석하여 필요한 정보를 감지하고 인식하기 위한 기술이 필수적으로 되고 있다. 특히, 지능형 로봇에서 주위 환경에 대한 다양한 정보와 환경을 관측하고 분석을 할 수 있는 센서는 가장 중요한 요소이다. 비전센서를 이용한 시각기술은 다른 센서에 비해 다양한 정보를 취득할 수 있다는 장점이 있고 컬러 인식, 삼차

원 영상 복원, 패턴 및 물체 인식, 목표물 추적, 얼굴 인식, चेस्चे 인식, 감성 및 표정 인식 등의 다양한 영상처리 기술로 이용되고 있다. [1]~[9]

비전센서는 카메라의 수에 따라서 양안시(binocular)방식과 단안시(mono)방식으로 나뉘어진다. 양안시는 인간 시각계처럼 양쪽 눈으로 사물을 바라보는 방식과 유사하다. 인체에서의 양안시는 좌우안의 망막상이 뇌에서 하나로 인식되며, 두 눈을 마치 한 눈같이 사용하여 시생활을 누리는 것을 말한다. 일반적으로 사물을 인지할 때 인체는 한 쪽 눈만 사용한다. 그리고 나머지 눈은 거리를 감지할 때 사용된다. 이를 로봇에 응용하여 사물을 감지함과 동시에 물체와의 거리를 유추할 수 있다. 하지만 단안시의 경우 3차원의 공간을 2차원의 카메라에 투영함으로써 정보의 손실이 발생하게 된다. 그러므로 지능형 로봇 제어에 필요한 정보를 영상으로부터 복원하기 위해 2대 이상의 카메라를 이용한 스테레오 비전(stereo vision)이 많이 사용되고 있다.

본 연구에서는 스테레오 카메라의 중앙에 물체를 위치시키면서 물체를 추적하는 것을 목표로 한다. 스테레오 카메라는 좌·우 영상을 이용하여 추적하려는 물체를 인식하고 카메라의 이미지 평면상의 좌표를 이용하여 3차원 위치정보를 추출한다. 추출한 정보를 통해 추적하려는 물체를 카메라의 중심에 위치시키기 위해 스텝모터를 이용한 페닝 시스템을 사용한다. 물체를 카메라의 중심에 위치시키는 과정에서 각속도를 빠르게 하면 모터의 회전에 의해 영상이 떨리는 현상이 발생하고, 이를 줄이기 위해 각속도를 느리게 하여 동작시키면 움직이는 물체를 영상에서 놓치게 된다.[10] 본 논문에서는 퍼지제어를 설계하여 움직이는 물체를 추적하는 스테레오 카메라 시스템의 빠르면서 부드러운 제어를 제안한다.

† 교신저자, 준회원 : 인하대학교 IT공대 전기공학과 석사 졸업  
E-mail : honey210@nate.com

\* 준 회원 : 인하대학교 IT공대 전기공학과 석사졸업

\*\* 정 회원 : 인하공업전문대학 전기정보과 교수

\*\*\* 펠로우회원 : 인하대학교 IT공대 전기공학과 교수

접수일자 : 2009년 12월 23일

최종완료 : 2010년 6월 24일

## 2. 이동 물체 추적 시스템

### 2.1 스테레오 카메라 시스템

스테레오 비전 시스템의 기본 원리는 스테레오 영상내의 인식된 물체 정보와 실제 정보와 실제 공간상의 물체와의 기하학적 삼각법을 이용하여 물체의 위치를 추적하는 것이다.

그림 1은 평행식 스테레오 비전을 나타낸 것이다. 카메라 내부의 이미지 센서와 렌즈간의 거리를  $f$ 를 focal length라 하며  $b$ 는 두 카메라의 각각의 렌즈 중심에서 중심 사이의 거리이며 baseline이라고 한다. 카메라 내부의 픽셀 길이와 초점 거리간의 삼각비와 두 카메라와 물체의 거리 간의 삼각비는 서로 닮은꼴이므로 식(1)과 같이  $x, z$  값을 구할 수 있다.

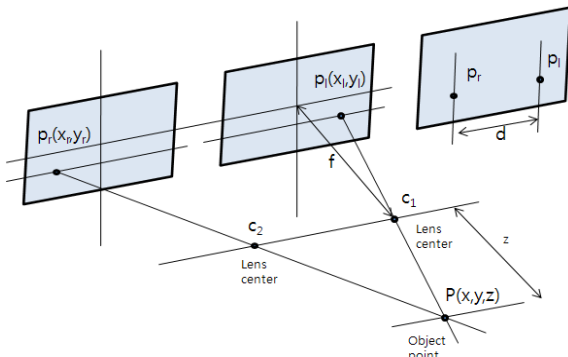


그림 1 물체와 스테레오 카메라의 좌표

Fig. 1 Stereo coordinate system

$$x = \frac{b \cdot (x_l + x_r)}{2 \cdot (x_l - x_r)} \quad (1)$$

$$z = \frac{f \cdot b}{x_l - x_r}$$

- b: base line(C1와 C2 사이의 거리)
- d: disparity
- f: focal length

#### 2.1.1 퍼지 제어 시스템

퍼지제어시스템(Fuzzy control system)은 스테레오 카메라로부터 받아들인 영상 내 물체와 카메라 중심에서부터 거리와 카메라와 물체의 상대속도를 입력신호로 사용하고, 스테레오 카메라의 팬 모션을 움직이는 스텝모터의 각속도를 출력 신호로 사용한다.

여기서 퍼지제어시스템의 입력변수 및 출력변수를 다음과 같이 정의한다.

[입력]

- 1) Distance : 추적하려는 물체와 이미지 위치
- 2) Velocity : 카메라와 추적하려는 물체간의 상대속도

$$Velocity = (D_n - D_o) / t \quad (2)$$

t: 영상처리하는데 걸리는 시간 (0.5sec)

Dn: 현재 Distance

Do: t시간 전의 Distance

[출력]

- 1) Angular Velocity : 스텝모터의 각속도

그림 2는 변수설정을 도식화하여 표현한 것으로 t시간동안에 이동하는 물체에 대하여 Distance와 Dn와 Do의 개념에 대하여 나타낸다.

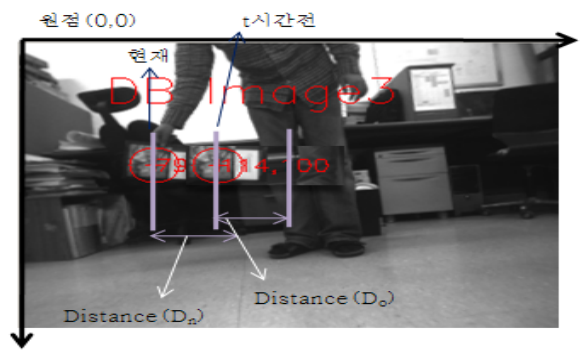


그림 2 퍼지제어를 위한 변수

Fig. 2 Variables for fuzzy control

추적하려는 물체의 움직임은 아주 불규칙적이므로 이 움직임에 따라 정확히 모터의 속도를 제어하는 것은 아주 힘들다. 또한, 기존의 수치적 값에 의한 제어는 정확한 수치에 일치하지 않을 경우, 계속해서 모터에 0이 아닌 제어 신호를 전달하게 되므로 모터의 미세한 떨림 현상을 유발한다. 이것은 다시 스테레오 카메라의 진동을 초래하며, 결과적으로 영상의 떨림현상을 가져온다. 이러한 현상을 줄이기 위하여 퍼지제어시스템을 적용한다.

퍼지제어시스템을 적용함으로써 불필요한 모터의 떨림현상을 줄일 수 있으며, 아울러 추적이 시작될 때 가속 그리고 원하는 위치에 물체가 가까이 오면 감속한다. 그리고 현재 물체를 쫓아가는 카메라의 입장에서 물체가 멀어지는지와 가까워 지는가를 판단하고 또한 그 때의 물체 속도를 고려하여 스텝모터 각속도를 제어하려고 한다. 이러한 가·감속 제어를 통하여 목표물의 갑작스런 움직임에 대한 추적실패 대신에 안정적인 추적을 보장할 수 있다.

그림 3은 입력 Distance의 멤버십 함수를 보여준다. Distance는 목표영역의 끝 좌표부터 물체까지 떨어진 거리로서 영상내의 pixel값이다. 320\*240의 영상이기 때문에 -160과 160사이의 값을 NB, N, ZE, P, PB으로 나타내었다. 영상의 중심과 매우 가까운 영역인 ZE에 대한 멤버십 함수의 범위를 작게하여 영상의 중심에서 먼 물체를 빠르게 따라갈 수 있도록 하였다.

그림 4은 입력 Velocity의 멤버십 함수를 보여준다. 초당 pixel간의 이동 거리로 영상처리의 신호는 초당 2회의 전송

이 이루어진다. 멤버십 함수는 NB, NS, ZE, PS, PB로 5개의 함수로 구성되어 있다.

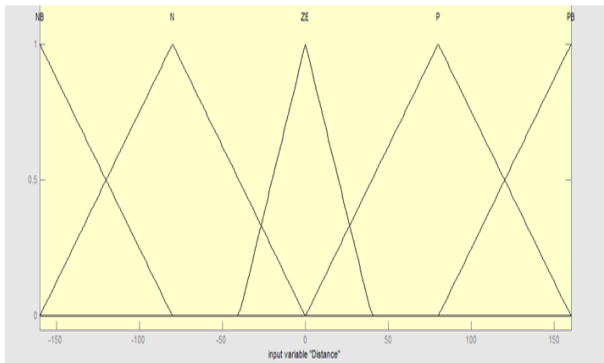


그림 3 입력변수 Distance의 멤버십 함수  
Fig. 3 Membership functions of Distance

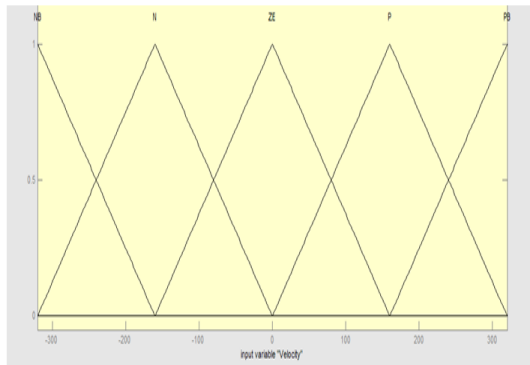


그림 4 입력변수 Velocity의 멤버십 함수  
Fig. 4 Membership functions of Velocity

그림 5은 출력변수 멤버십 함수를 보여준다. 영상의 중심에 가까이 있을 때 불필요한 모터의 움직임을 제어하기 위하여 멤버십 함수 중 ZE의 멤버십 함수의 영역을 넓게 설정하였다.

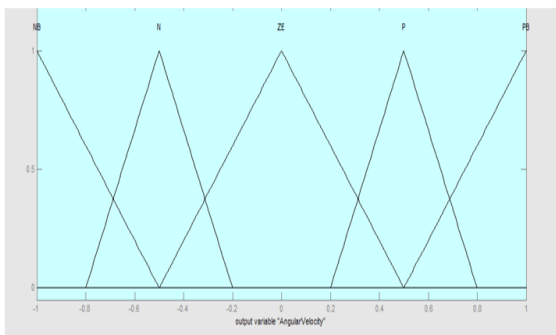


그림 5 출력변수 Angular Velocity의 멤버십 함수  
Fig. 5 Membership functions of Angular Velocity

룰 베이스는 표 1과 같다. 입력변수 Distance의 함수 5개, Velocity의 함수 5개로 구성되어 있으며 출력 변수의 함수는 5개로 구성되어있다. 그리고 이 Rule을 문법으로 표현하면 25개로 정한다.

표 1 룰 베이스  
Table 1 Rule base

D \ Vel	NB	N	ZE	P	PB
NB	PB	PB	P	ZE	N
N	PB	P	ZE	N	N
ZE	PB	P	ZE	N	NB
P	P	P	ZE	NB	NB
PB	P	ZE	N	NB	NB

그림 6는 퍼지 추론에 의한 결과이다. 기존 시스템은 추적하고자하는 물체의 중심과 카메라의 중심이 완전 일치할 수 없는 기구학적인 문제로 인하여 거리오차가 아주 적은 경우에도 계속 추적 제어를 수행함에 따라 모터가 떨리는 현상을 야기시켰다. 제안한 퍼지제어시스템에 의해서는 어느 정도 가까이 있을 때는 불필요한 추적 제어를 하지 않고 정지시킴으로써 모터의 떨림 현상을 줄일 수 있었다.

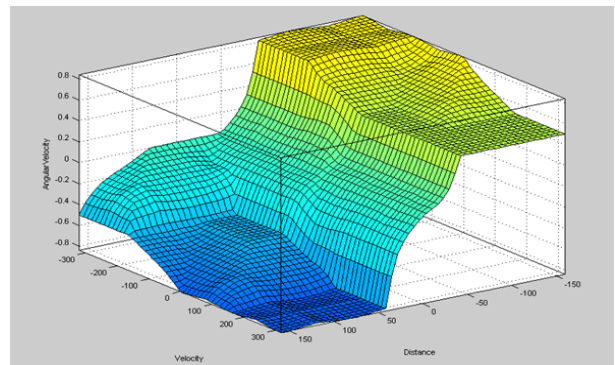


그림 6 퍼지 추론에 의한 결과  
Fig. 6 Control surface of the fuzzy control

### 3. 실험

#### 3.1 실험장치의 구성

실험장치의 전체적인 구성은 그림 7과 같다. 실험에 사용한 장치는 비전센서인 스테레오 카메라, 스테레오 카메라의 팬 모션을 구동시키는 스텝모터, 스텝모터 드라이버, 제어를 구현하는데 필요한 AVR 보드, 그리고 영상처리 및 데이터 처리에 필요한 PC로 구성된다. 스테레오 카메라는 Point Grey 사의 Bumblebee BBS-03S2를 사용하였고 제어 및 구동회로는 AVR계열의 ATMEGA128를 통하여 제어 알고리즘과 스텝모터 패닝시스템을 제어하였다. 처리되는 신호의

흐름은 스테레오 카메라로부터 수집된 영상신호는 컴퓨터에 의해서 처리된다. 이때 처리되는 데이터는 스텝모터의 팬 모션을 제어하기 위한 프로세서에 전달하는 값으로써, 화면의 중심과 물체의 중심 간의 거리의 변화량을 프로세서에 전달한다. 이를 직렬 통신으로 전달받은 프로세서는 거리에 따른 적절한 제어 신호를 스텝모터에 전달한다. 스텝모터 구동 후 얻어진 카메라의 방향 및 위치는 다시 스테레오 카메라를 통한 획득된 영상신호를 통해 피드백 된다. 이를 기반으로 이동하는 물체를 추적하기 위한 하드웨어 시스템이 구성된다.

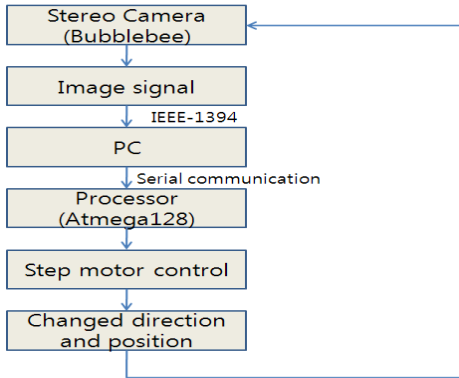


그림 7 실험 장치의 구성도  
Fig. 7 Block diagram of stereo camera control system

3.2 실험 및 고찰

본 논문의 실험은 물체를 일정 위치에 두고 P제어기와 퍼지제어기를 적용한 후의 실험결과를 비교하였다. 그림 8은 두 제어기를 비교한 실험결과를 나타낸다. P제어기를 사용하였을 때 가장 문제점은 물체의 중심과 화면의 중심이 근접해 있음에도 불구하고 화면의 중심과 물체의 중심을 일치시키기 위하여 정지된 물체에 대해서도 카메라가 흔들리는 현상이 나타났다. 2.5초 이후 카메라의 중심에 물체가 근접하였음에도 그 이후에도 계속 카메라가 좌, 우로 회전됨을 확인할 수 있었다. 이러한 움직임에 의해 카메라가 심하게 떨리는 현상과, 급격한 위치 변화에 따라 입력된 영상의 밝기의 차가 커져서 물체를 찾지 못하고 놓치는 현상도 야기시켰다.

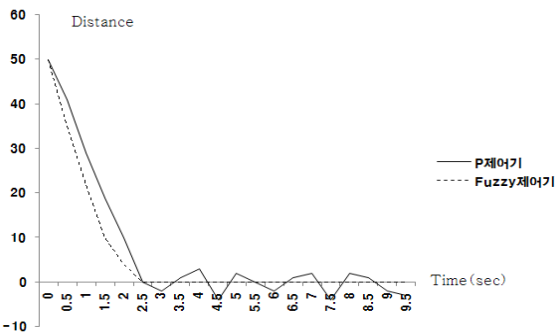


그림 8 P제어기와 퍼지제어기 실험 결과  
Fig. 8 Implementation result of P and Fuzzy control

제한한 퍼지제어기를 적용한 결과는 카메라 중심에 물체가 멀리 떨어져 있을 때는 각속도가 빨라지고 가까워지면 각속도가 줄어드는 가·감속제어와 함께 화면중심에 물체가 근접하였을 때 불필요한 제어가 없이 근접된 상태에서 정지함을 확인할 수 있었다.

다음 그림 9는 P제어기를 사용한 시스템의 카메라에 들어온 영상 화면을 캡처한 사진이다.



그림 9 P제어기를 적용한 시스템의 영상 화면  
Fig. 9 Camera image of using P control system

그림 9에서 확인할 수 있듯이 정지하고 있는 물체에 대해서 물체와 화면 중심에 일치시키기 위하여 모터가 계속 회전하게 된다. 이러한 회전으로 인하여 물체의 위치 좌표 x, y가 계속 변화하고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 위치 좌표의 변화는 불필요한 신호를 처리하는 현상을 발생시켰다. 이러한 불필요한 신호처리에 의해서 스텝모터의 회전으로 영상면이 흔들리며 영상의 밝기가 크게 변화되면 물체를 놓치는 현상이 발생되었다. 이러한 불필요한 신호 처리는 이동하는 물체와 이동하는 로봇 사이에서는 더욱 추적이 어려울 것이라 예상이 된다. 제안하는 퍼지제어기를 사용한 시스템의 결과는 P제어기를 이용한 시스템보다 카메라의 중앙에 가까운 영역에서 모터를 정지시켰다. 이는 P제어기에 비하여 불필요한 제어에 따른 모터에 의한 흔들림을 줄이며 물체의 밝기 값에 변화에 따른 민감한 반응을 줄여줄 수 있었다.

본 논문에서 제안하는 퍼지제어시스템을 사용하여 스테레오 카메라의 팬 모션을 제어함으로써 P제어기를 사용함으로써 생기는 모터의 떨림 현상으로 인한 영상 오차를 줄일 수 있었다. 또한 이동 물체와 카메라 사이의 상대속도와 이동 변화량에 따르는 팬 모션의 가감속으로 추적이 빠르고 부드러워져 보다 안정화되었다.

**감사의 글**

본 연구는 2009년도 과학재단 특정기초 연구 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

**참 고 문 헌**

- [1] Kenichi Kanatani, Naoya Ohta, and Yoshiyuki Shimizu, "3D reconstruction from uncalibrate-camera optical flow and its reliability evaluation", Systems and Computers in Japan, Vol 33, pp. 1 ~ 10, 2002
- [2] Sang-Kyoung Lee, Dong-Sik Jang, "Translation, rotation and scale invariant pattern recognition using spectral analysis and a hybrid genetic-neural-fuzzy networks", The Korean Operations Research and Management Science Society, Vol 1, pp. 587 ~ 599, 1995
- [3] Rafeal C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital image processing", Second Edition, Prentice Hall, 2002
- [4] R. Chellappa, C. Wilson, S. Sirohey, "Human and machine recognition of faces: a survey", Proceedings of the IEEE, Vol. 83, pp. 705 ~ 741, 1995
- [5] Kentaro Hayashi, Yoshinori Kuno, Nobutaka Shimada, and Yoshiaki Shirai, "Recovery of human postures using robust dynamic calibration", Electronics and Communications in Japan, Vol. 86, pp. 52 ~ 61, 2003
- [6] Zhencheng Hu., Uchimura, K., "Moving objects detection from time-varied background: an application of camera 3D motion analysis", IEEE Proceedings. Second International Conference, pp. 59 ~ 67, 1998
- [7] Ren C. Luo., Tse Min Chen, "Autonomous mobile target tracking system based on grey-fuzzy control algorithm", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 47, pp. 920 ~ 931, 2000
- [8] Clark F. Olson, "Selecting landmarks for localization in natural terrain", Autonomous Robots, Vol. 12, pp. 201 ~ 210, 2002
- [9] Nikolaos P. Papanikolopoulos, Pradeep K. Khosla, Takeo Kanade, "Visual tracking of a moving target by a camera mounted on a robot: a combination of control and vision", IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 9, pp. 14 ~ 35. 1993
- [10] Kefisi Laid, "Integrated Sensor based Hybrid Stepping Motor Fuzzy Speed Servo System", ICEMS 2001 Proceedings of the Fifth International Conference on Vol. 2, 2001

**저 자 소 개**



**염 승 훈 (廉承勳)**

2008년 2월 인하대학교 전자공학부 졸업. 2010년 2월 인하대학교 전기공학과(석사) 졸업. 관심분야는 Mobile robot, Intelligent Control, Humonoid robot.



**유 제 연 (柳制延)**

2008년 2월 인하대학교 전자공학부 졸업. 2010년 2월 인하대학교 전기공학과(석사) 졸업. 관심분야는 Mobile robot, Intelligent Control, Humonoid robot



**김 진 환 (金眞煥)**

1991년 2월 인하대학 전기공학과(학사) 졸업. 1993년 2월 인하대 전기공학과(석사) 졸업. 1996년 2월 동 대학원(박사) 졸업. 1997년 3월~2001년 8월 두원공과대학 근무. 2001년 9월~현재 인하공업전문대학 전기정보과 부교수. 주관심 분야는 Adaptive Predictive Control, Fuzzy Theory, Neural Networks.



**허 욱 열 (許旭烈)**

1974년 2월 서울대학교 전기공학과(학사) 졸업. 1978년 2월 서울대 전기공학과(석사) 졸업. 1982년 8월 서울대 전기공학과(박사) 졸업. 1977년~1980년 서울대학교 조교. 1980년~현재 인하대학교 전기공학부 교수, 1985~1986년 (美)일리노이대학 전기 및 컴퓨터 공학과 방문교수. 2004년 2월~2006년 1월 한국과학재단 전기정보 전문위원.