

논문 2012-49SC-4-3

Loop-Up Table과 필터 중첩영역 버퍼링 기법을 이용한 컨벌루션 영상처리 고속화

(Accelerated Convolution Image Processing by Using Look-Up Table
and Overlap Region Buffering Method)

김 현 우*, 김 민 영**

(Hyun-Woo Kim and Min Young Kim)

요 약

컨벌루션 기법은 디지털 영상처리 분야에서 블러링(blurring), 샤프닝(sharpening), 에지 검출(edge detection), 잡음 제거(noise reduction) 등 다양한 목적을 위해 사용되고 있으며, 상황에 따라 다양한 필터 마스크 값을 가지고 적용된다. 본 논문은 영상처리에서 다양하게 응용되는 컨벌루션 영상처리 기법을 2차원 Look-Up Table(LUT)와 필터의 중첩영역 버퍼링 기법을 통하여, 이의 영상처리 속도를 고속화하는 방법을 제안한다. 첫째, 사전에 필터의 마스크 값과 영상 화소 값의 곱셈 연산 결과 값을 2차원 LUT에 저장하여, 연산에 대한 결과를 참고 하였다. 둘째, 대부분의 컨벌루션 필터가 가지는 필터 대칭성 특징에 의해 연산이 중복 수행되는 부분을 효율적으로 연산하기 위해, 중첩영역 처리 결과를 버퍼 공간에 임시 저장하고, 다음 연산에서 사용할 때 버퍼의 값을 가져오는 방식으로 중첩 영역의 불필요한 반복 연산을 최소화한다. 제안하는 알고리즘은 실시간 처리를 필요로 하는 PC환경과 제한된 컴퓨팅 자원을 가지는 임베디드 시스템 환경에서 연산량을 최소화함으로써 기존 컨벌루션 알고리즘 보다 고속화된 성능 결과를 확인할 수 있었다.

Abstract

Convolution filtering methods have been widely applied to various digital signal processing fields for image blurring, sharpening, edge detection, and noise reduction, etc. According to their application purpose, the filter mask size or shape and the mask value are selected in advance, and the designed filter is applied to input image for the convolution processing. In this paper, we proposed an image processing acceleration method for the convolution processing by using two-dimensional Look-up table (LUT) and overlap-region buffering technique. First, based on the fixed convolution mask value, the multiplication operation between 8 or 10 bit pixel values of the input image and the filter mask values is performed a priori, and the results memorized in LUT are referred during the convolution process. Second, based on symmetric structural characteristics of the convolution filters, inherent duplicated operation region is analysed, and the saved operation results in one step before in the predefined memory buffer is recalled and reused in current operation step. Through this buffering, unnecessary repeated filter operation on the same regions is minimized in sequential manner. As the proposed algorithms minimize the computational amount needed for the convolution operation, they work well under the operation environments utilizing embedded systems with limited computational resources or the environments of utilizing general personnel computers. A series of experiments under various situations verifies the effectiveness and usefulness of the proposed methods.

Keywords : Convolution filtering, Overlap region buffering, Look-up table, Embedded system

* 학생회원, ** 정회원-교신저자, 경북대학교 IT대학 전자공학부
(School of Electronics Engineering, IT College)

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 휴먼인지환경사업본부-신기술융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2011K000659)

접수일자 : 2011년12월23일, 수정완료일 : 2012년6월26일

I. 서론

영상과 컴퓨터를 이용하여 실시간 처리하는 기술은 얼굴의 인식, 신용카드, 신분증을 이용한 개인인증 시스템 및 로봇비전, 휴먼 컴퓨터 인터페이스 등을 포함하는 다양한 자동화 시스템에서 유용하게 활용되고 있다.^[1~2]

실시간 시스템 또는 자동화 시스템에서 연산 시간 및 계산량은 중요한 요소 중에 하나이며, 특히 영상 신호는 일반적으로 2차원 이상의 신호이므로 데이터량과 연산량이 방대하여, 실시간 연산을 위해서는 고속의 필터 연산이 필수적이다.

대표적인 필터 연산인 컨벌루션 기법은 출력 영상의 새로운 화소 값을 결정하기 위해 해당 화소뿐만 아니라 그 주위의 화소들도 함께 고려하는 공간 영역 연산으로서 공간 영역에서 이웃 화소 값들의 가중치 합을 구하는 기법으로 수행된다.

컨벌루션 기법은 영상 블러링(blurring), 샤프닝(sharpening), 에지검출(edge detection), 잡음제거(noise reduction)등 디지털 영상처리 분야에서 그 목적과 여건에 따라 다양하게 쓰이며, 기법을 적용하는 방법은 모두 동일하고, 단지 필터(filter)의 값만 달라지게 된다.^[3~6]

영상처리에서 가장 많이 사용되는 연산 중의 하나인 필터 연산을 고속화 함으로써 특정한 알고리즘에 국한되지 않고, 앞에 언급한 블러링, 샤프닝, 에지검출, 잡음제거 등에서 영상처리 연산 시간을 줄이기 위해 다양하게 활용될 수 있다.

일반적인 필터 연산의 경우 필터의 크기는 3x3이 가장 많이 사용되며, 5x5 또는 그 이상 크기의 필터도 종종 사용된다. 대표적인 필터들의 경우, 대칭성이 중요한 특징이며, 가로, 세로 혹은 대각선 대칭되는 필터 계수를 가지게 된다. 그리고 컨벌루션 연산의 특징으로 필터의 크기에 비례한 다수의 곱셈 연산이 사용되며, 이러한 곱셈은 필터의 연산 시간을 증가시킨다.

본 논문에는 컨벌루션 연산처리의 고속화를 위해 필터 연산에서 곱셈 연산을 사용하지 않고, 대신 2차원 LUT를 이용하는 방법^[7]과 대칭에 따른 중첩부분의 결과값을 Buffer의 공간에 저장하고, 다음 중첩 부분에서 Buffer의 값을 사용하는 ORB(Overlap Region Buffering)을 사용하여 연산량을 줄였고^[8], PC와 임베디

드 환경에서 기존의 컨벌루션 기법의 연산 시간과 비교하였을 때 3x3필터에서 약 2배, 5x5필터에서 1.5배 향상된 결과를 확인할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서 일반적인 컨벌루션 기법에 대해 설명하고, III장에서는 필터를 이용하여 2차원 LUT를 생성하는 방법과 2차원 LUT를 이용한 컨벌루션 기법을 설명한다. IV장에서는 대칭성을 가지는 필터의 종류와 중첩 부분을 처리하는 방법을 설명하고, V장에는 일반적인 컨벌루션 기법과 제안한 컨벌루션 기법을 PC환경과 임베디드 환경에서 실험한 결과를 설명한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 컨벌루션(Convolution)

컨벌루션 기법은 입력 영상의 각 화소에 대한 출력 화소 값을 구하기 위하여 입력 화소와 그 주위의 화소들의 값에 공간 필터 값을 곱한 다음 그 합을 구한다.

그림 1은 일반적인 컨벌루션 기법을 나타내고 있다. 3x3필터 값과 입력 영상의 화소 값을 각각 곱한 다음 그 합을 구하면 Out에 해당하는 결과 값을 구할 수 있다.

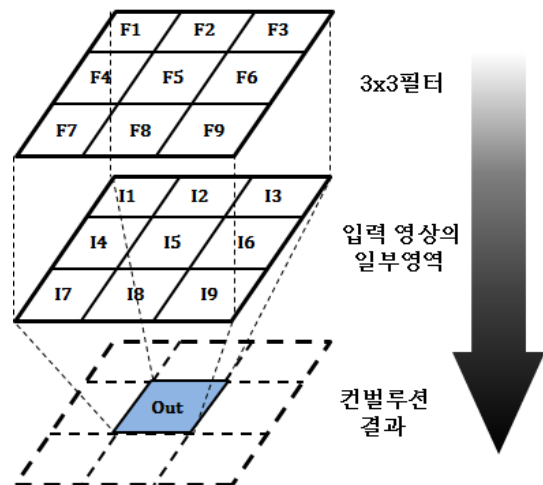


그림 1. 3x3필터의 컨벌루션
Fig. 1. Convolution of 3x3 filter.

일반적으로 3x3필터의 컨벌루션에서 입력 화소의 값을 각각 $I_{(x-1,y-1)}, I_{(x-1,x)} \cdots I_{(x+1,y+1)}$ 이라 할 때 다음과 같이 정의한다.

$$Out_{(x,y)} = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 I_{(x+i,y+j)} \times F_{(i,j)} \quad (1)$$

수식 1에서 x, y는 입력 영상의 좌표 값, Out(x,y)는 I(x,y)에 대한 결과 화소 값, I는 입력 영상의 화소 값, F는 3x3필터 값을 나타낸다.

III. 2차원 LUT(Look-up Table)

LUT는 주어진 연산에 대해 미리 계산된 결과들의 집합을 말한다. LUT는 주어진 연산에 대한 결과를 계산하는 시간보다 더 빠르게 값을 취득해 갈 수 있도록 레퍼런스(reference)로 사용된다.^[6] LUT는 주로 실시간 데이터 취득, 실시간 임베디드 시스템에서 사용되는 방식이다.

그림 2에서 2차원 LUT는 필터의 값과 0 ~ 255까지 밝기 값을 곱한 결과를 LUT에 저장한다. 3x3필터이면 Filter Index는 0 ~ 8까지 9개의 행, 8Bit 영상이면, 0 ~ 255값을 가지는 256개의 열을 가지는 2차원 LUT를 만들게 된다. LUT의 각 요소들을 L(i,j)라고 할 때 다음과 같이 정의한다.

$$L_{(i,j)} = Filter(i) \times Pixel(j) \quad (2)$$

수식 2에서 만들어진 LUT를 이용하여 수식 1에서 정의된 컨벌루션을 다음과 같이 정의한다.

$$Out_{(x,y)} = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 L_{(I_{(x+i,y+j)}, F_{(i,j)})} \quad (3)$$

수식 3에서 x, y는 입력 영상의 좌표 값, Out(x,y)는

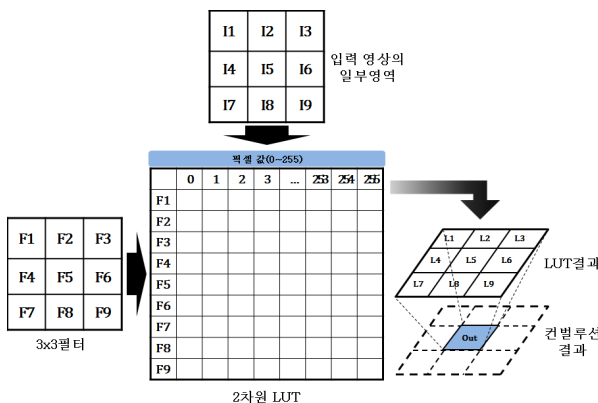


그림 2. 2차원 LUT를 이용한 컨벌루션
Fig. 2. Convolution using the two-dimensional LUT.

I(x,y)에 대한 결과 화소 값, L은 2차원 LUT의 참조 값, I는 입력 영상의 화소 값, F는 3x3필터 값을 나타낸다.

IV. 필터(Filter)의 중첩부분 처리

입력 화소에 대하여 주위 화소들을 고려할 때, 각 방향으로 대칭되게 하기 위해서 필터의 크기는 홀수이다. 일반적으로 필터의 크기는 3x3이 가장 많이 사용되며, 5x5 또는 그 이상 크기의 필터도 종종 사용된다.

그림 3에서 대부분 필터는 상하, 좌우 또는 대각선 대칭을 가지며, 본 논문에서는 필터의 상하, 좌우 대칭에 대해서 중첩되는 부분을 그림 4의 방법을 사용하여 연산량을 줄였다.

그림 4에서 대칭을 가지는 3번째 열의 결과 값을 Buffer라는 공간에 저장하고, 다음 수행 때 중첩되는 1번째 열의 값을 Buffer에서 가져오는 방식으로 반복 연산을 수행한다.

수식 3에서 정의된 LUT를 상하 대칭 또는 좌우 대

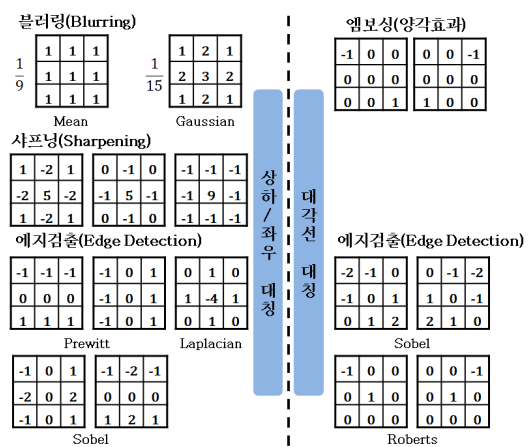


그림 3. 필터의 종류와 대칭성
Fig. 3. Type of filter and symmetry of filter.

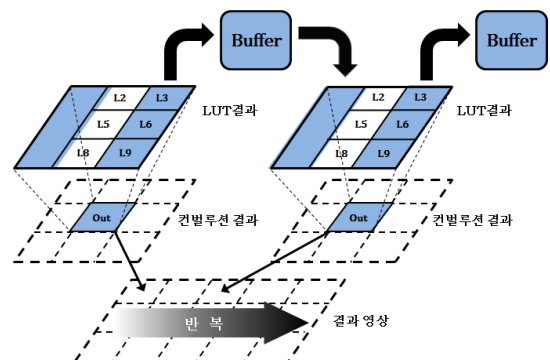


그림 4. 좌우대칭에 대한 필터의 중첩처리
Fig. 4. Filter overlap processing for bilateral symmetry.

칭에 대해서 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned}
 Out_{(x,y)} &= \sum_{i=-1}^1 L1(I_{(x-1,y+i)}, F_{(0,i)}) \\
 &+ \sum_{j=-1}^1 L2(I_{(x,y+j)}, F_{(1,j)}) \\
 &+ \sum_{k=-1}^1 L3(I_{(x+1,y+k)}, F_{(2,k)})
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 Out_{(x,y)} &= \sum_{i=-1}^1 L1(I_{(x+i,y-1)}, F_{(i,0)}) \\
 &+ \sum_{j=-1}^1 L2(I_{(x+i,y)}, F_{(i,1)}) \\
 &+ \sum_{k=-1}^1 L3(I_{(x+k,y+1)}, F_{(k,2)})
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

위 수식에서 x, y는 입력 영상의 좌표 값, Out(x,y)는 I(x,y)에 대한 결과 화소 값, I는 입력 영상의 화소 값, F는 3x3필터 값을 나타낸다.

수식 4는 좌우 대칭에 대하여 정의하며, L1, L2, L3는 1열, 2열, 3열에 해당하는 2차원 LUT의 연산 결과를 나타낸다. 수식 5는 상하 대칭에 대하여 정의하며, L1, L2, L3는 1행, 2행, 3행에 해당하는 2차원 LUT의 연산 결과를 나타낸다. 최종적으로 L1, L2, L3의 합으로서 Out을 구하게 된다.

V. 실험 및 결과

본 논문의 실험에서 제안하는 방법의 성능 평가를 위하여 AMD 패넘II-X6 1055T Processor 2.80Ghz, 4GB RAM을 장착한 Windows 7기반의 PC와 ARM Cortex-A8 600Mhz, 128KB RAM, WinCE기반의 OMAP3530 임베디드 시스템에서 입력 영상의 크기와 필터의 크기에 따른 컨벌루션 연산 시간을 비교 분석하였다.

그림 5에서 필터의 과정의 초기화(initialize), 영상 입력(input image), 영상 확장(extend image), 컨벌루션(convolution), 출력 영상(output image)로 나눌 수 있다. 초기화 단계에서 필터의 크기와 값을 지정해주고, 필터를 이용하여 2차원 LUT를 만들게 된다. 영상 입력 단계에서 사용된 영상은 256x256, 512x512, 950x950크기를 가지는 Gray Lena영상을 사용하였다.

영상 확장 단계에서 입력 영상을 컨벌루션 할 수 있

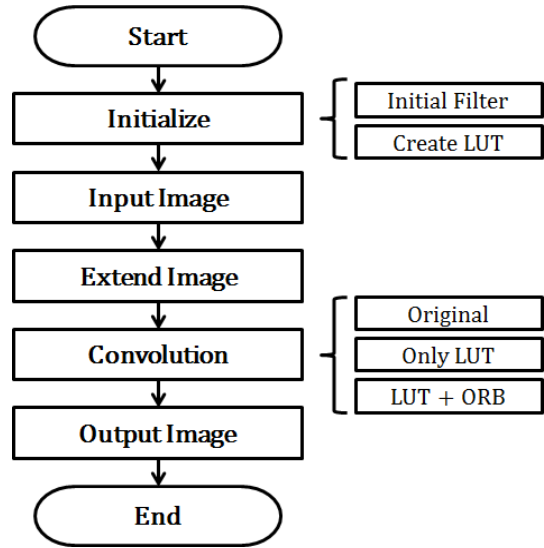


그림 5. 필터연산 과정
Fig. 5. Filter Operating Process.

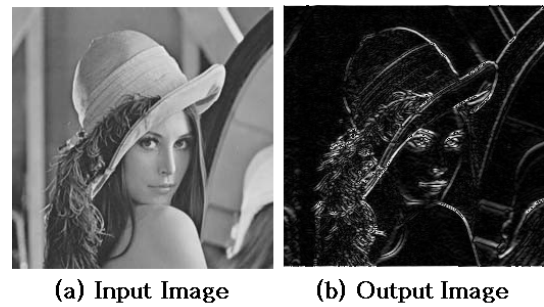


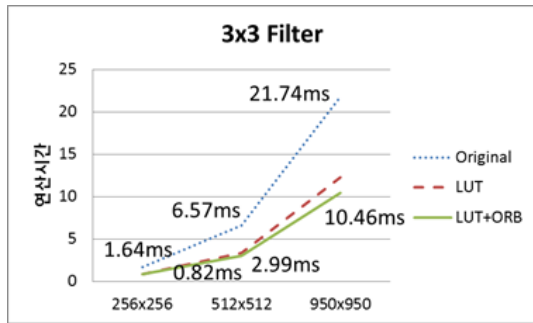
그림 6. 에지검출의 입력영상과 결과영상
Fig. 6. Input Image and Result Image for Edge Detection.

도록 필터의 크기에 따라서 입력 영상 크기를 확장한다. 확장된 부분은 0이나 255 또는 주위 화소와 비슷한 값으로 처리한다. 컨벌루션 단계에서 일반적인 컨벌루션 기법과 2차원 LUT를 사용한 컨벌루션 기법, 2차원 LUT와 ORB를 결합한 컨벌루션 기법을 적용하여 실험을 하였다.

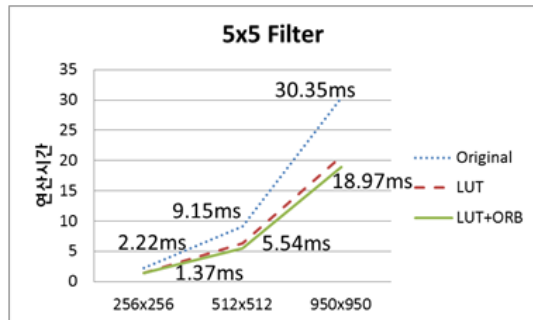
그림 6에서 (a)는 입력영상, (b)는 Prewitt-Y필터를 이용한 에지검출에 대한 컨벌루션 결과 영상을 나타낸다.

그림 7에서 (a)와 (b)는 PC, 그림 8에서 (a)와 (b)는 임베디드 시스템에서 컨벌루션 연산 시간을 나타내고 있다.

그림 7, 8에서 실험 결과는 2차원 LUT의 경우 PC와 임베디드 시스템 또는 필터의 크기에 따라 연산 시간 감소 폭의 차이가 크다. 하지만 본 논문에서 제안한 2

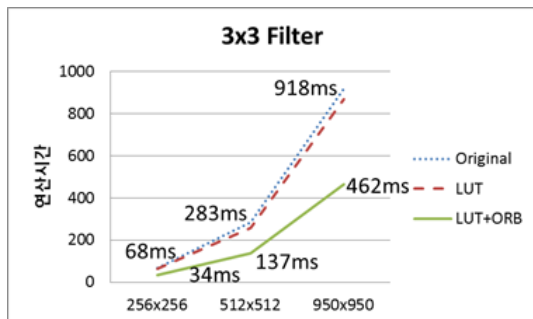


(a) PC - 3x3 Filter

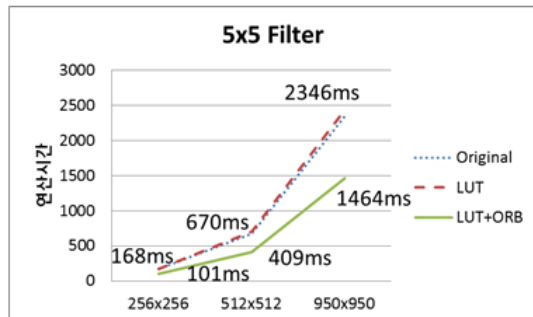


(b) PC - 5x5 Filter

그림 7. PC에서 컨벌루션 연산 시간
Fig. 7. Convolution operation time in PC.



(a) ARM - 3x3 Filter



(b) ARM - 5x5 Filter

그림 8. 임베디드 시스템에서 컨벌루션 연산 시간
Fig. 8. Convolution operation time in embedded system.

차원 LUT와 ORB를 결합한 방법은 PC와 임베디드 시스템 모두 일반적인 컨벌루션 기법 보다 연산 시간이 3x3필터일 때 약 2배, 5x5필터일 때 약 1.5배 향상된 결과를 확인할 수 있었다.

VI. 결 론

본 논문은 컨벌루션 기법에서 2차원 LUT과 필터의 중첩부분 처리를 통하여 컨벌루션의 연산 속도를 개선하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 PC와 임베디드 시스템에 적용시켜 일반적인 컨벌루션 보다 연산 속도가 향상되는 것을 확인 하였다.

향후 계획은 대각선 대칭에 대해서도 처리할 수 있는 방법을 연구하며, 제한된 자원을 가지는 임베디드 시스템에서 2차원 LUT과 ORB를 이용한 실시간 얼굴인식 시스템을 개발하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Chellappa, C. L. Wilson and S. Sirohey, "Human and machine recognition of faces: a survey," Proc. Of IEEE, vol, 83, no. 5, pp. 705-740, May 1995.
- [2] M. H. Yang, D. J. Kriegman and N. Ahuja, "Detecting faces in images: a survey," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 1, pp. 34-58, January 2002.
- [3] 정신철, 송병철, "영역별 특성을 고려한 적응적 영상 보간 방법," 전자공학회논문지, 제49권, 제5호, 111-119쪽, 2009년 9월
- [4] 배정민, 이영현, 송태엽, 구분화, 전승선, 고한석, "Edge와 Intensity 기반의 특징을 이용한 얼굴 검출," 대한전자공학회 2009년 하계종합학술대회, 967-968쪽, 2009년 7월
- [5] Boguslaw Cyganek and J. Paul Siebert "An Introduction to 3D Computer Vision techniques and Algorithms," Wiley, pp. 95-127, March 2008.
- [6] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, no. 6, pp. 679-698, Nov. 1986.
- [7] C. Gatta, A.Rizzi and D. Marini, "Local linear LUT method for spatial colour-correction algorithm speed-up," IEE Proc.-Vision, Image and Signal Processing, vol. 153, no. 3, pp. 357-363, June 2006.
- [8] 최우영, 박래홍, "네 방향 마스크를 가진 Sobel 연

산자의 고속처리 방법,” 전자공학회논문지, 제23권,
제6호, 957-960쪽, 1986년 11월

저 자 소 개



김 현 우(학생회원)
2010년 경일대학교
전자정보통신공학부
학사 졸업.
2010년~현재 경북대학교 IT대학
전자전기컴퓨터학부
석사 과정.

<주관심분야 : 임베디드 시스템, 로봇 비전, 스마트 자동차>



김 민 영(정회원)-교신저자
1996년 KAIST 기계공학과
학사 졸업.
1998년 KAIST 기계공학과
석사 졸업.
2004년 KAIST 기계공학과
박사 졸업.

2004년~2005년 미래산업(주) 선임연구원
2005년~2009년 고영테크놀러지(주) 책임연구원
2009년~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부
조교수

<주관심분야 : 로봇 비전, 광기전공학, 로봇센서
및 구동 시스템, 인간로봇 상호작용>