

3축 이동량 측정을 이용한 LED조명과 스마트단말 카메라기반 위치정보 획득 기법

정순호*, 이민우*, 김기윤**, 차재상^o

Position Information Acquisition Method Based on LED Lights and Smart Device Camera Using 3-Axis Moving Distance Measurement

Soon-Ho Jung*, Min-Woo Lee*, Ki-Yun Kim**, Jae-Sang Cha^o

요 약

스마트기기 시대가 도래함에 따라, 최근 스마트폰과 관련한 많은 응용 서비스들이 개발되고 있으며, LBS(Location Based Service) 기술은 위치 기반 서비스를 제공하기 위해 가장 중요한 기술 중의 하나로 인식되고 있다. 일반적으로 스마트폰의 위치인식은 GPS(Global Positioning System), G-Sensor와 같은 위치 인식 시스템 및 센서를 이용하여 위치 정보를 획득하게 된다. 그러나 실내에서는 위성으로부터의 GPS 신호를 수신하기가 거의 불가능하므로 실내 환경을 위한 새로운 LBS 기술이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 LED 조명과 스마트폰의 카메라 센서를 이용한 위치정보 송수신기를 제안한다. 제안 위치 인식 시스템의 실용성 검증을 위해 실험실 환경에서의 실험을 통해 그 가능성을 입증하였다.

Key Words : Smart Device Camera, LED Light, LED AP, Position Recognition, Position Information

ABSTRACT

As the age of smart device has come, recently many application services related to smart phone are developing. The LBS(Location Based Service) technique is considered as one of the most important techniques to support location based application services. Usually the smart phone acquires the information of position by using the position recognition systems and sensors such as GPS(Global Positioning System) and G-Sensor. However, since the GPS signal from the satellite can hardly be received in the indoor environments, new LBS techniques for the indoor environment are required. In this paper, to solve the problem a position information transceiver using LED lights and smart phone camera sensor is proposed. We proved the possibility of the proposed positioning system through the experiments in the laboratory for the practical verification.

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구원진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업[2014-004-051-001, 스마트폰 이미지센서를 이용한 가시광통신 응용시스템 개발]과 정보통신·방송 기술개발사업의 일환으로 수행하였음.

• First Author : Graduate School of NID Fusion Tech., Seoul National University of Science and Technology, ppangppangsk@gmail.com, 학생회원

^o Corresponding Author : Dept. of Electronics & IT Media Eng., Seoul National University of Science and Technology, chajs@seoultech.ac.kr, 중신회원

* Graduate School of NID Fusion Tech., Seoul National University of Science and Technology, alsdny@gmail.com

** Dept. of Electrical Eng., Myongji College, kkim@mjc.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2014-11-463, Received November 18, 2014; Revised December 22, 2014; Accepted December 22, 2014

I. 서 론

전 세계적으로 에너지 부족과 고유가로 인한 대체 에너지 확보 및 에너지 절감 정책의 일환으로 LED의 녹색, 저탄소, 친환경적인 특성을 이용하여 기존 조명이 LED 조명으로 교체되어 LED인프라가 구축되고 있다. 조명원과 IT를 융합하는 기술 연구는 전세계적으로 다양하게 이루어지고 있으며, 일본 게이오대학의 나카가와 연구실에서 가시광 통신기술이 활성화되었고, 영국 캠브리지대학에서 Li-Fi로 명명하여 조명을 이용한 통신에 초점을 맞춰 진행하고 있다. 국내에서는 대학을 중심으로 IEEE 802.15.7a SG-OCC 표준화 활동 및 LED-ID기술 연구를 통하여 조명관련 인프라 구축 및 기술개발 사업이 꾸준히 증가하고 있다^[1].

그러나 국내에서는 가시광 통신기술과 같은 조명원과 IT의 융합 기술은 사용자를 위한 실내 가시광 통신의 송수신 모델 기술이 미미한 수준이며, 일방적인 송신기 전송 기술로 국한되어 다양한 가시광통신기반 서비스가 부족하다. LED 조명을 이용한 위치인식 기술로는 연구가 미흡하게 진행되고 있으며, 실질적인 사용자 위치인지를 위한 LED의 위치가 어디인지를 분별하는 LED 위치인식기술로 발전하여 수신부의 자기위치인식 기술의 알고리즘 연구가 충분히 이루어지고 있지 않다^[2].

이에 본 논문은 위치기반 통신 및 영상인식 측위를 위하여 스마트단말 카메라와 LED조명간 위치정보 송수신 기법에 관한 실험환경 조성 및 실험분석을 제시하였다.

본 논문의 순서는 다음과 같이 구성하였다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 스마트단말 기반 위치인식 관련기술 연구에 대하여 설명하였으며, 3장에서는 스마트단말 기반 위치정보 송수신 기법에 대하여 설명하였으며, 4장에서는 제안하는 스마트 단말과 LED조명을 이용한 위치정보 송수신 기법의 성능을 실험을 통해 확인하였으며, 5장에서는 결론을 내리고 본 논문의

끝을 맺는다.

II. 스마트단말 기반 위치인식 관련 기술 연구

실외에서는 위치 측정 시스템으로 Global Positioning System (GPS)을 사용하기 때문에 위치 오차 수 m 이내의 위치기반 서비스(Location Based Service: LBS)제공이 가능해졌다. 향후에는 사용자의 위치정보를 반영한 지능화 서비스가 점진적으로 활성화될 것이다. 그러나 실내에서는 GPS 신호가 수신되지 못해 위치 정보를 인식할 수 없다. 최근에 실내에서 Wi-Fi의 신호의 세기를 이용한 기술이 개발되어 시범 서비스를 진행하고 스마트폰을 이용하여 실내 위치인식 서비스로 활용되고 있다.

Wi-Fi신호를 이용한 위치인식 기법은 위치 인식 오차가 수 m 정도로 크고, 사전에 무선랜 수신 신호의 세기를 측정하여 데이터를 만들어야 하는 어려움은 있으나, 기존에 구축된 무선랜망을 활용하므로 구축비용이 다른 방식에 비해 상대적으로 저렴하여 실내 위치 인식 시스템(Indoor Positioning System, IPS)으로써 적극적인 연구가 진행되고 있다.

아울러, 2차원 평면에서의 위치 인식 기능뿐만 아니라 3차원 입체 공간에서의 위치 인식 기능도 요구되고 있다. 한편 사용자의 별도 위치송신기에서 신호를 발생하여 사용자의 위치를 인식하는 방식이 있다. 이 방식은 실내 위치인식을 위해 별도의 사용자 단말기를 휴대해야 하므로 단말기의 비용과 휴대의 번거로움으로 그 실용성이 크게 떨어진다. 따라서 현재 거의 모든 사용자가 휴대하고 있는 휴대폰이나 스마트폰을 활용하여 사용자의 실내 위치를 인식하는 방식에 관한 연구가 보다 바람직하다. 따라서 본 논문에서는 스마트 단말에 장착된 카메라와 천장에 설치된 LED조명을 이용하여 실내에서 위치 정보를 취득하는 새로운 기술을 제안한다.

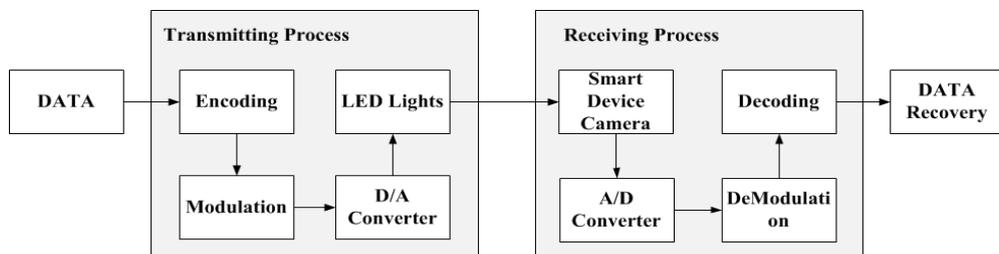


그림 1. 위치정보 송수신 블록 다이어그램

Fig. 1. Block Diagram of Transmitting and Receiving Process for Position Information.

III. 스마트단말 기반 위치정보 송수신 기술 연구

본 논문에서 고려한 LED조명과 스마트단말 카메라 간 위치정보 송수신 환경은 LED AP가 단말기로 데이터를 전송하는 하향 링크와 단말기가 LED AP로 데이터를 전송하는 상향 링크로 구성된다. LED AP는 하나 이상의 LED 소자가 결합되어 실내조명으로써의 역할을 병행하는데, LED AP의 통신 커버리지는 LED 소자가 가진 광각 특성과 조명 영역에 따라 결정된다. 본 논문에서는 LED조명을 통한 위치인식에 적용 가능한 기술로써, LED조명과 스마트단말 카메라를 통한 위치인식 시스템에 대하여 제안하는 기술을 서술하고자 한다. 그림 1은 LED조명을 통한 위치인식 기술의 블록 다이어그램을 나타낸 것으로 송신부에서는 데이터를 인코딩, 변조, 컨버터 과정을 거쳐 수신부에 전송하며, 수신부는 송신부의 역과정을 거쳐 데이터를 복원한다. 본 연구에서는 3색 LED 소자를 사용하였고, 스마트단말 카메라를 통해 영상정보를 수집하여 데이터 전처리를 통한 위치인식을 수행하며, LED를 이용하여 스마트단말 카메라기반의 실내 특정 LED에서 전송되는 부가정보 데이터인 좌표와 매칭하는 알고리즘을 연구하였다. 현재 가시광 무선 통신 기술은 LED의 반도체의 특성을 이용하여 디지털 신호를 송신하고 수신부에서는 PD(Photo Diode)를 통해 빛의 유무를 판단해 광전 변화로 디지털 데이터를 수신한다. 그 중 가시광 통신을 이용한 위치인식 서비스는 다양한 응용서비스 분야에 적용될 수 있는 최근 이슈가 되고 있는 기술이다. 하지만 기존 가시광원을 이용한 위치인식 서비스 기술은 실내 환경에서는 NLOS(Non-Line of Sight)로 인한 기존 무선 통신에 측위 오차가 발생할 수가 있으며, 각각의 광원에서 송신되는 신호 정보로 인한 연산량 과부하가 증가하는 문제가 발생한다. 이에 본 논문에서는 가시광원을 이용한 위치인식 서비스 기술의 복잡도와 신호간섭을 해결하기 위한 알고리즘을 제시한다.

그림 2는 카메라의 기하학적인 모델 측면에서 비전 문제를 다룰 때 사용하는 카메라 바늘구멍 모델(Pinhole model)을 표현한 모델이다. 3차원 공간상의 임의의 점 M_c 의 이미지의 m_r 은 M_c 와 점 C 를 이은 직선이 평면 R 과 만나는 점에 해당된다. 여기서 C 는 광 중심이라고 하며 평면 R 을 망막 평면으로 말한다. 점 C 를 통과하고 평면 R 에 수직인 직선을 생각할 수 있는데 이것을 광축이라고 한다. 일반적으로 점 C 카메라 좌표계의 원점으로 놓으며 광축을 직교 좌표계의 Z 축과 일치시킨다^[2].

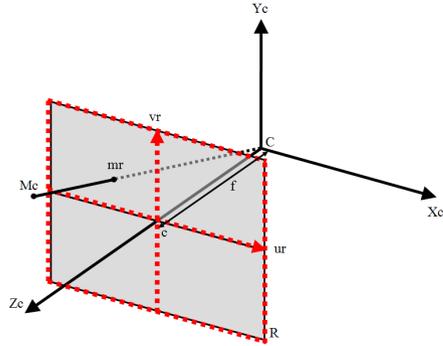


그림 2. 기본 카메라 핀홀 모델
Fig. 2. Basic Camera Pinhole Model

카메라 모델이 결정되면 카메라 구조를 여러 가지 파라미터들의 값으로 표현이 가능하다. 카메라를 기술하는데 사용되는 파라미터는 크게 두 가지로 첫째는 3차원 좌표로 표현되는 카메라 좌표계 상의 점들과 이것이 투영되어 2차원 좌표로 표현되는 망막 평면상의 대응관계를 기술하는 내부 파라미터와 둘째로 카메라 좌표계와 세계 좌표계 사이의 변환 관계를 표현하는 외부 파라미터로 분류한다^[3].

영상 좌표와 카메라에 의해 투사된 3차원 공간 좌표사이의 관계를 나타내는 식은 식 (1)과 같다.

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_1 \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_2 \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$= A[R|t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

식 (1)은 월드 좌표계(world coordinate system) 상의 3D좌표와 월드좌표계를 카메라 좌표계로 변환시키기 위한 회전/이동변환 행렬을 나타낸다.

위의 식에서 $[R|t]$ 는 카메라 외부 파라미터(extrinsic parameter)이며 R 은 회전변환, t 는 평행이동 행렬이다. A 는 내부 파라미터(intrinsic parameter)이며, 카메라 외부 파라미터는 카메라의 설치 높이, 방향(팬, 틸트, 롤링) 등 카메라와 외부공간과의 기하학적 관계에 관련된 파라미터이며, 내부 파라미터는 카메라의 초점 거리, 중심점 등 카메라 자체 내부의 파라미터를 나타낸다. 카메라 내부 파라미터에는 초점 거리(focal length): f_x, f_y 주점(principal point): c_x, c_y 이다^[4-6].

이론적으로 왜곡(distortion)이 없는 렌즈가 존재할

순 있지만 실제 환경의 렌즈는 왜곡이 생기게 되므로, 왜곡 값을 기준으로 하여 이미지센서의 렌즈와 실제 LED와의 실 거리 값을 구할 수가 있다. 영상 평면과 광축의 교점의 u_x 의 실제 거리를 환산하기 위해 식 (2)을 구하였다.

$$\frac{((u - c_x) * z)}{f_x} = x \tag{2}$$

스마트단말 카메라의 해상도 1280x960의 t축 Pixel 값인 1280이 u 가 되며, c_x 는 t축 중심 좌표값이다. z 는 실제 이미지센서와 LED와의 평면상의 높이 값이고, 초점거리에 영상센서의 개별 요소의 t축 크기를 곱한 값인 f_x 를 나누게 되면 실제 x 의 거리 값이 산출된다. y 의 거리를 구하는 것도 동일한 방법으로 산출된다.

$$\frac{((v - c_y) * z)}{f_y} = y \tag{3}$$

Y축 Pixel값인 960이 v 가 되며, c_y 는 Y축 중심 좌표값이며, 초점거리에 영상센서의 개별 요소의 Y축 크기의 곱한 값인 f_y 로 나누게 되면 y 값을 도출하게 된다. x, y 의 실제 거리 값을 통해 이미지센서의 프레임별 캡처된 영상의 좌표값과 비교하여 측정을 시작한 중심 대비 이동에 따른 오차 값을 얻을 수 있다⁴⁾.

IV. 실험 및 고찰

본 절에서는 제안한 LED 조명과 이미지센서를 이용한 실내 위치인식을 위한 자기위치인지 알고리즘을 적용하여 실내에서 모의실험을 하였다. 실험을 위한 환경은 표 1과 같다.

실험 환경은 그림 3과 같이 LED 조명과 스마트단말 그리고 위치인식을 위한 서버 시스템으로 구성되었으며 위치인식을 위한 서버는 MATLAB 2013을 사

표 1. 위치인식 실험 파라미터
Table 1. Positioning Recognition Experiment Parameters

Item	Specification
시뮬레이션 툴	MATLAB 2013
이미지 센서	Smart Device(LG)
LED	LED RGB
카메라와 LED간 거리	200cm

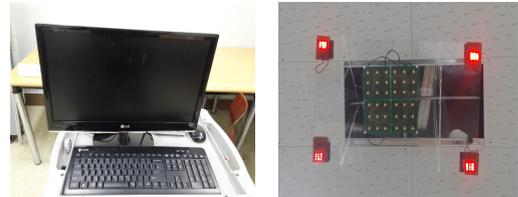
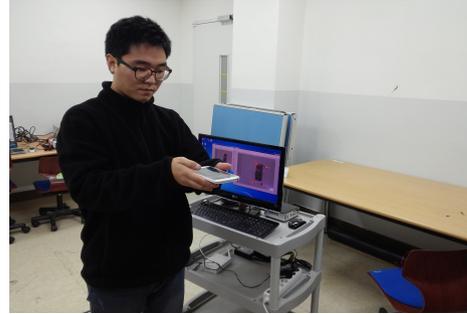


그림 3. 위치정보 송수신 실험 환경
Fig. 3. Experiment Environment of Transmitting and Receiving Position Information.

용하여 알고리즘을 처리하였다.

LED조명과 스마트단말 카메라간의 수직 높이는 200cm로 설정하여 실험을 수행하였다.

그림 3은 LED조명과 스마트단말 카메라간의 위치 정보 획득 실험환경을 보여주고 있다. 본 실험에 사용된 LED조명은 실내 천장에 설치되었으며 조명간 거리는 50cm를 유지하였다.

스마트 단말 카메라의 3축 이동량의 위치 측정 정밀도를 확인하기 위해서 각 축별로 10, 15, 20, 25cm 씩 이동하며 측위를 수행하였으며, 측위 결과와 스마트 단말의 이동량은 표 2와 표 3과 같이 실측 거리와 측정량으로 확인하였다.

스마트 단말 카메라가 3축(x, y, z)으로 이동할 경우에 변화되는 이동량과 위치정보 획득 실험결과는 표 3과 같다.

본 실험에서는 표 2의 x, y, z축 이동거리에 따른 LED조명의 위치정보 획득 결과를 표 3에 제시하였으며, 각 축의 이동거리에 따라 LED조명의 위치인식 정밀도를 확인하였다.

본 논문에서는 스마트단말 카메라와 LED조명기준 이동량을 측정하고, 결과 분석을 통하여 위치인식인 가능함을 입증하였다.

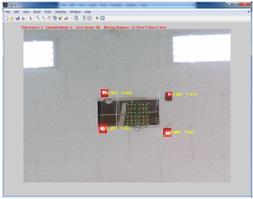
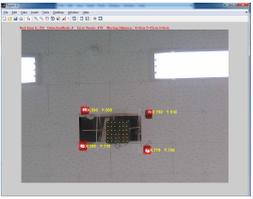
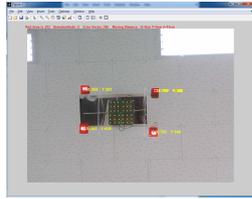
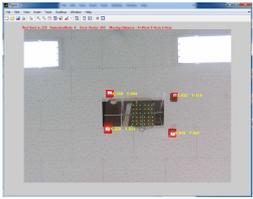
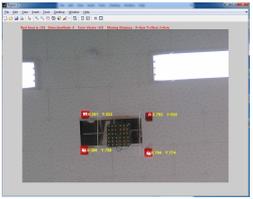
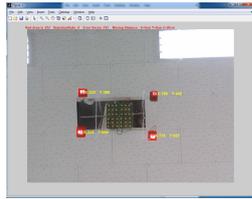
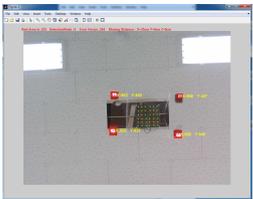
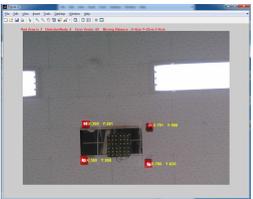
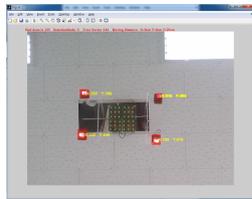
또한, 기존 PD를 이용한 가시광 통신기반 위치인식기술보다 연산량과 복잡도를 줄이게 되었고, 좀 더 효율적이고 저가형 위치인식 인프라를 구축할 수 있는 방안으로 활용 가능할 것으로 사료된다.

표 2. 스마트폰 카메라의 3축 이동량 측정 실험
 Table 2. Experiment of 3-axis travel distance measurement of smart device camera

	X axis	Y axis	Z axis
Default			
10cm			
15cm			
20cm			
25cm			

표 3. 스마트폰 카메라의 3축 이동량 측정을 통한 위치정보 획득 실험
 Table 3. Experiment of positioning information acquisition through 3-axis travel distance measurement of smart device camera

	X axis	Y axis	Z axis
Default			
10cm			

	X axis	Y axis	Z axis
15cm			
20cm			
25cm			

V. 결 론

본 논문에서는 LED조명과 스마트단말 카메라기반의 실내 특정한 위치를 인식하기 위하여 3축 이동량 측정을 통한 위치정보 획득기술을 제안하였다. 또한, 사용자 지향적 친환경 조명원인 LED조명과 휴대성이 용이한 스마트단말 카메라기반의 위치정보 획득기술을 위한 pinhole 카메라 모델을 제안하였으며, 스마트단말 카메라의 3축 이동량과 LED조명기준 이동량 측정을 이용한 LED조명의 위치정보 획득 실험을 통하여 본 제안 기술의 유용성을 입증하였다.

본 논문에서 도출된 결과를 통해 스마트단말 카메라기반 사용자 위치의 LED 통신 연구에 귀중한 참고자료가 될 것으로 사료되며, LED조명 영상인식을 통한 위치인식 정밀성 향상기술에 반영할 수 있을 것으로 예상된다.

References

[1] P. Z. Fan, N. Suehiro, N. Kuroyanagi, and X. M. Deng, "Class of binary sequences with zero correlation zone," *IET Electron. Lett.*, vol. 35, no. 10, pp. 777-779, May 1999.

[2] J. Lee and J. Cha, "A study of VLC channel modeling using user location environment," *J.*

KICS, vol. 36, no. 10, pp. 1240-1245, Oct. 2010.

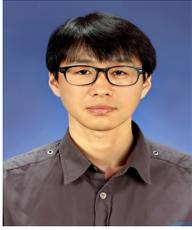
[3] R. Y. Tsai, "A versatile camera calibration technique for high - accuracy 3d machine vision metrology using off-the shelf tv cameras and lenses," *IEEE J. Robotics and Automation*, vol. RA-3, pp. 323-344, 1987.

[4] J. S. Cha, "Class of ternary spreading sequences with zero correlation duration," *IET Electron. Lett.*, vol. 37, no. 10, pp. 636-637, May 2001.

[5] B. Kim, K. Hur, Y. Lee, and S. R. Lee, "Research for applying WUSB over WBAN technology to indoor localization and personal communications in a ship," *J. KICS*, vol. 38C, no. 3, pp. 318-326, Mar. 2013.

[6] S. Lee, J. Lee, and J. Cha, "A study of watermarking data transmission scheme for BPSK-OFDM based LED communication system," *J. KICS*, vol. 36, no. 10, pp. 1246-1251, Oct. 2011.

정 순 호 (Soon-Ho Jung)



1994년~2000년 : LG반도체
ASIC Design 연구원
2000년~2007년 : 승전상사 응용
기술팀 연구원/마케팅
2008년~현재 : 서울과학기술대학
교 NID융합기술대학원박사과
정

<관심분야> LED-IT 융합기술,
유무선 홈 네트워크 기술, 차세대 이동 통신 기술,
USN, 디지털 방송통신기술

차 재 상 (Jae-Sang Cha)



2000년 : 일본 東北대학교 전자
공학과 공학박사
2002년 : ETRI 이동통신연구소
무선전송기술팀 선임연구원
2008년 : 미국 플로리다 대학교
방문교수
2009년~현재 : 서울과학기술대학
교 전자IT미디어공학과 교수

<관심분야> OCC(Optical Camera Communication)기
술, 차세대 이동통신기술, LED-IT 응용기술, 무선
홈 네트워크 기술, 조명IT융합신기술, 대역확산기술

이 민 우 (Min-Woo Lee)



2013년 2월 : 군산대학교 정보통
신공학과 학사졸업
2013년 3월~현재 : 서울과학기술
대학교 NID융합기술대학
원 석사과정

<관심분야> LED-IT 응용기술,
무선통신기술, 대역확산기술

김 기 윤 (Ki-Yun Kim)



2002년 2월 : 성균관대학교 전
기전자컴퓨터공학과 박사
2006년~2007년 : 미국 Univ. of
California, Los Angeles
(UCLA) 전기공학부 박사후
연구원

2001년~2008년 : 삼성탈레스
기술연구소 책임연구원

2008년~현재 : 명지전문대학 공학·정보학부 전기과
부교수

<관심분야> 통신/영상 신호처리, 군통신, 이동통신,
LED 응용 시스템, 의용 공학 시스템 등