

# 수동형 밀리미터파 영상과 가시 영상과의 정합 및 융합에 관한 연구

정회원 이 형\*, 이동수\*, 종신회원 염석원\*<sup>o</sup>,  
정회원 손정영\*, 블라드미르 구신\*, 종신회원 김신환\*

## Image Registration and Fusion between Passive Millimeter Wave Images and Visual Images

Hyoung Lee\*, Dong-Su Lee\* *Regular Members*, Seokwon Yeom\*<sup>o</sup> *Lifelong Member*,  
Jung-Young Son\*, Vladimir P. Guschin\* *Regular Members*, Shin-Hwan Kim\* *Lifelong Member*

### 요 약

수동형(passive) 밀리미터파(millimeter wave) 영상은 의복 등에 은닉된 물체의 탐지가 가능하며 악천후의 상황에서도 감쇄도(attenuation)가 낮아 식별이 가능한 영상을 획득할 수 있다. 그러나 영상 시스템의 공간 해상도(spatial resolution)가 낮고 수신신호가 미약하여 잡음의 영향이 크고 시스템의 온도 분해능(temperature resolution)에 따라 영상의 질이 달라진다. 본 논문에서는 수동형 밀리미터파 영상과 일반 카메라부터 획득되는 영상의 정합(registration)과 은닉된 물체의 시각화를 위한 영상 융합(fusion)을 연구한다. 영상의 정합은 추출된 몸체 경계 간의 상호상관도를 최대화 하는 어파인 변환(affine transform)으로 수행되며 융합은 영상 분해를 위한 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform), 융합 법칙(fusion rule), 영상을 복원하기 위한 역 이산 웨이블릿 변환의 3단계로 구성된다. 실험에서는 수동형 밀리미터파 영상 시스템에 의해 칼, 도끼, 화장품, 그리고 휴대폰과 같은 금속 또는 비금속의 다양한 물체가 탐지됨을 보인다. 또한 정합과 융합된 영상의 결과로부터 가시 영상으로부터 얻은 얼굴과 의복 등의 대상자의 신원 정보와 밀리미터파 영상으로부터 획득한 은닉된 물체의 정보를 동시에 시각화할 수 있음을 보인다.

**Key Words** : Millimeter wave imaging, Image fusion, Image registration, Concealed object detection, Feature extraction, Discrete wave transforms

### ABSTRACT

Passive millimeter wave imaging has the capability of detecting concealed objects under clothing. Also, passive millimeter imaging can obtain interpretable images under low visibility conditions like rain, fog, smoke, and dust. However, the image quality is often degraded due to low spatial resolution, low signal level, and low temperature resolution. This paper addresses image registration and fusion between passive millimeter images and visual images. The goal of this study is to combine and visualize two different types of information together: human subject's identity and concealed objects. The image registration process is composed of body boundary detection and an affine transform maximizing cross-correlation coefficients of two edge images. The image fusion process comprises three stages: discrete wavelet transform for image decomposition, a fusion rule for

※ 이 논문은 2009학년도 대구대학교 학술연구비 일부지원에 의한 논문임.

\* 대구대학교 정보통신공학부(yeom@daegu.ac.kr), (<sup>o</sup>: 교신저자)

논문번호: KICS2010-10-511, 접수일자: 2010년 10월 28일, 최종논문접수일자: 2011년 5월 31일

merging the coefficients, and the inverse transform for image synthesis. In the experiments, various types of metallic and non-metallic objects such as a knife, gel or liquid type beauty aids and a phone are detected by passive millimeter wave imaging. The registration and fusion process can visualize the meaningful information from two different types of sensors.

## I. 서 론

밀리미터파(millimeter wave) 영상은 보안 및 군사 분야에서 활용도가 크다. 밀리미터 파장은 3 mm 와 8 mm 범위에서 악천후 상황에서 감쇠가 매우 낮다. 또한 밀리미터 파장은 의류, 직물, 종이, 플라스틱과 같은 물질을 투과하는 특성을 지니고 있다<sup>1-3</sup>. 이러한 이유로 밀리미터파 영상은 의복 또는 가방 등에 의하여 은닉된 물체를 탐지할 수 있다. 밀리미터파 영상은 은닉물체 탐지 이외에도 해상구조, 항공기 착륙 보조 장치, 기름 유출 탐지, 화재 발생 시 사람의 탐지와 같은 군사 및 산업분야에서 광범위하게 응용되고 있다<sup>4,5</sup>.

수동형 밀리미터파 영상은 물체가 절대 온도에 비례하여 방사하고 있는 열잡음 중 밀리미터파를 광대역에 걸쳐서 수신·증폭·검파하여 영상을 얻는 것이다. 발전기가 필요 없고, 비 간섭성의 파를 수신하기 때문에 간섭의 영향이 없으나 수신신호가 매우 미약한 열 신호이기 때문에 저잡음과 고감도의 수신기가 요구된다. 일반적으로 밀리미터파 영상의 공간 해상도와 신호대잡음비는 일반 가시(visual)영상보다 현저히 떨어진다. 그러므로 영상 정합(registration)과 융합(fusion) 과정은 사람의 신원과 같은 가시영역의 정보와 숨겨진 물체 정보를 동시에 시각화한다. 영상정합은 다양한 영상센서로부터 얻어진 영상들의 동일한 공간영역을 일치하는 기술이며 융합은 의미 있는 정보들을 동시에 시각화하는 기술이다<sup>6,7</sup>. 영상정합과 융합은 서로 다른 분광 또는 공간 해상도를 포함하는 가시영역과 적외선 영상, 위성 영상, 의료 영상분야에서 활발히 연구되어 왔다<sup>8,9</sup>.

본 논문에서는 가시 영역과 밀리미터 파장영역의 영상들을 정합과 융합을 이용하여 각 영상시스템으로부터 얻은 의미 있는 정보를 동시에 시각화 한다. 융합된 영상은 은닉물체소지자의 탐지 후 경보를 울리고 소지자를 추적하는 보안과정에서 유용하게 사용될 수 있다.

먼저 영상 정합과정에서 경계(edge)검출과 상호 상관계수(cross-correlation coefficient)를 이용하여 밀리미터파 영상의 몸체 영역을 가시영상의 몸체 영역과 일치시킨다. 정합된 밀리미터파 영상과 가시영상은 각

각 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform: DWT)으로 분해(decomposition)되고 융합 법칙(fusion rule)과 역 변환으로 최종 영상으로 복원된다. 본 연구에서는 이산 웨이블릿 변환의 여러 기저함수 중에서 노이즈 제거와 특징 추출에 선호되는 Symlets 웨이블릿 기저함수를 적용하였다<sup>10</sup>. 근사계수(approximation coefficients)에는 최대값을 적용시키고, 상세계수(detail coefficients)에는 위치에 따라 다른 가중치를 적용하는 융합법칙으로 사람의 신원정보인 얼굴과 은닉물체 영역을 강조하여 시각화 한다.

실험에서 수동형 밀리미터파 영상 시스템에 의해 나이프, 손도끼와 TSA(Transportation Security Association)<sup>11</sup>에서 항공기 탑승 시 규정한 최대용량인 3 온스(ounce)에 가까운 부피의 크림 또는 액체 내용물의 화장품, 휴대폰과 같은 다양한 형태의 물체들을 탐지하고 가시 영상과 융합하였다. 융합된 영상은 의류에 의해 은닉된 물체와 함께 얼굴과 의복정보를 성공적으로 가시화할 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2절에서는 수동형 밀리미터파 영상 시스템을 설명하며, 3절에서는 영상 정합과 융합 과정을 설명한다. 실험 및 시뮬레이션 결과는 4절에 보이고 5절에서는 결론을 내린다.

## II. 수동형 밀리미터파 영상 시스템

본 연구에 사용된 수동형 밀리미터파 시스템은 8 mm 영역의 밀리미터파 영상을 획득할 수 있는 시스템이다. 0.5 m의 Cassegrain형 접시 안테나를 사용하

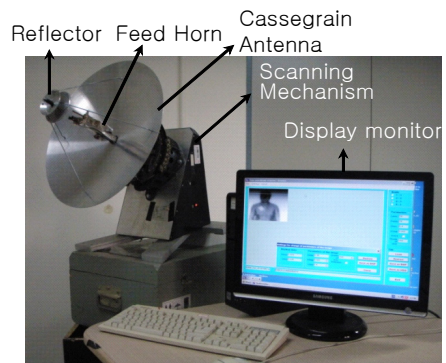


그림 1. 수동형밀리미터파 영상 시스템

며 Dicke 수신기 방식을 사용한다. 피드 혼(feed horn) 안테나는 초점 평면에 설치되어 있어 래스터 스캐닝에 의하여 영상을 획득한다. 수신 단은 단일채널로 피드 혼 안테나, Dicke 변조기, 3개의 MMIC (monolithic microwave integrated circuit), Schottky diode 검지기로 구성되어있다. 그림 1은 수동형 밀리미터파 영상 시스템을 보여준다.

### III. 영상 정합과 융합

정합과 융합을 위하여 가시영상과 밀리미터파 영상의 전처리가 선행된다. 상호 상관도 (cross-correlation coefficient)를 기반으로 밀리미터파 영상을 가시영상에 정합시키고 이산 웨이블릿 변환과 융합법칙을 이용하여 영상을 융합을 한다. 그림 2는 영상 정합과 융합 과정을 나타낸다.

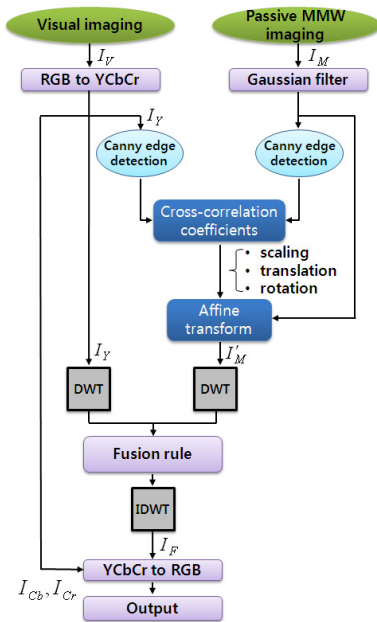


그림 2. 영상 정합 및 융합

#### 3.1 영상 정합

전처리 과정에서 가시 영역의 영상은 RGB 컬러모델에서 YCbCr 컬러모델로 변환을 한 후, 휘도성분 영상을 이용하여 Canny 경계 검출기에 의해 물체의 윤곽선을 추출한다. 밀리미터파 영역의 영상은 잡음의 감소를 위한 가우시안(Gaussian) 저역 통과 필터에 의해 전처리되고 Canny 경계 검출기에 의해 물체의 윤곽선을 추출한다. 영상의 크기변환(scaling), 이동

(translation), 회전(rotation) 변수들을 변화시키면서 어파인 변환(affine transform)에 의하여 두 윤곽선 영상간의 최대상호상관 계수를 구한다. 최대 상호상관 계수의 크기변환, 이동, 회전 값들을 이용하여 밀리미터파 영상이 변환되어 가시 영상에 정합된다. 그림 2에서  $I_M$ 은 밀리미터파 영상이고  $I'_M$ 은 정합 후 밀리미터파 영상을 나타낸다. 본 논문은 두 영상시스템이 수평하다는 가정 하에 최대 상호상관도 계수를 얻기 위하여 크기와 이동에 대한 변환만을 고려하였다<sup>12)</sup>.

$$[x \ y \ 1] = [v \ w \ 1] T \quad (1)$$

식 (1)은 어파인 변환을 나타내며  $v$ 와  $w$ 는 원본 영상의 화소 좌표이고  $x, y$ 는 변형된 영상에서 대응되는 화소 좌표를 나타낸다.  $T$ 는 공간 좌표의 변환행렬이다. 크기와 이동에 대한 변환행렬은 식 (2)와 같다<sup>13)</sup>.

$$T = \begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

#### 3.2 영상 융합

영상 융합은 분해과정, 융합법칙, 복원과정의 3단계로 구성되어있다. 분해 과정에서는 식 (3)과 같이 Symlets 웨이블릿을 사용하여 두 영상  $I_V(x, y)$ 와  $I'_M(x, y)$ 을 웨이블릿 변환( $W$ )한 후 계수를 융합 법칙( $\emptyset$ )에 의거하여 융합한다. 이러한 과정 후, 역 웨이블릿 변환 ( $W^{-1}$ )의해 융합된 이미지  $I_F(x, y)$ 로 복원한다<sup>12)</sup>.

$$I_F(x, y) = W^{-1}(\emptyset(W(I_V(x, y)), W(I'_M(x, y)))) \quad (3)$$

식(4)와 식(5)는 융합법칙을 나타낸다.

$$C_{Fa}(x, y) = \max(|C_{Ya}(x, y)|, |C_{Ma}(x, y)|) \quad (4)$$

$$C_{Fd}(x, y) = \left(\frac{y-1}{N-1}\right) C_{Yd}(x, y) + \left(\frac{N-y}{N-1}\right) C_{Md}(x, y) \quad (5)$$

위의 식에서  $C_Y$ 와  $C_M$ 는 영상  $I_Y$ 와  $I'_M$ 의 웨이블릿 계수이며,  $C_F$ 는 융합 법칙이 적용된 후의 계수를 나타낸다. 아래첨자  $a$ 와  $d$ 는 각각 근사와 상세계수를 표현

한다.  $N$ 은 영상의  $y$ 방향의 크기를 나타낸다. 본 논문에서의 영상 융합 법칙은 근사계수는 최대값을 이용하고 상세계수는 위치에 따른 가중치를 적용하였다. 위치에 따른 가중치를 부여한 융합 법칙은 수동형 밀리미터와 영상의 은닉된 물체부분을 강조하고 가시영상에서 얼굴부위를 강조하는 방법이다. 역변환을 통하여 복원된 영상은 가시영상의 채도성분이 더하여져 컬러융합영상으로 얻어진다.

#### IV. 실험 결과

본 절에서는 수동형 밀리미터와 영상 시스템으로 은닉물체를 탐지하고 정합과 융합을 실험한다. 그림 3에서 은닉된 금속물체는 나이프, 도끼, 지퍼 라이터, 잭나이프이고 상단 좌측 그림은 의류에 의해 은닉된 모습이다. 수동형 밀리미터와 영상 시스템에 의하여 각각의 물체들은 하단의 밀리미터와 영상과 같이 탐지됨을 알 수 있다. 그림 4에서는 크림 형태의 화장품, 액체 형태의 화장품, 링거 팩, 휴대폰 순서로 비금속 물체를 탐지한 밀리미터와 영상을 보여주고 있다. 영상은 약 23°C의 실내에서 주간에 자연광하에서 획득되었다. 인체와 시스템간의 거리는 약 1.4 m이고 스캐닝 스텝의 크기는 0.4°, 적분 시간(integration time)은 80 ms이다. 탐지된 영상의 크기는 75×76 화소이다.

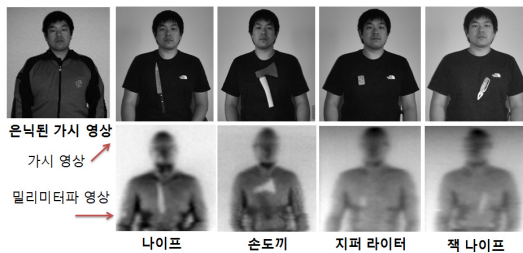


그림 3. 수동형 밀리미터와 영상 시스템에 의해 탐지된 은닉 물체의 예 (금속류)

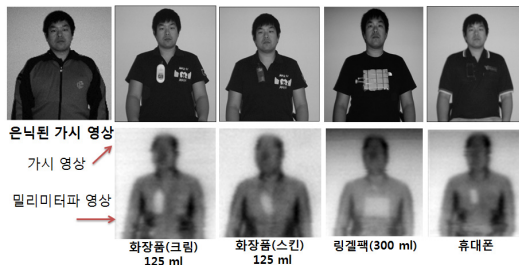


그림 4. 수동형 밀리미터와 영상 시스템에 의해 탐지된 은닉 물체의 예 (비금속류)

그림 5는 영상 정합 과정을 보여준다. 그림 5(a)와 5(b)는 각각 밀리미터와 영상과 컬러 가시 영상이다. 그림 5(c)와 5(d)는 각각 그림 5(a)와 5(b)에서 추출된 몸 경계 영상이다. 그림 5(e)는 몸 경계 영상들의 상호

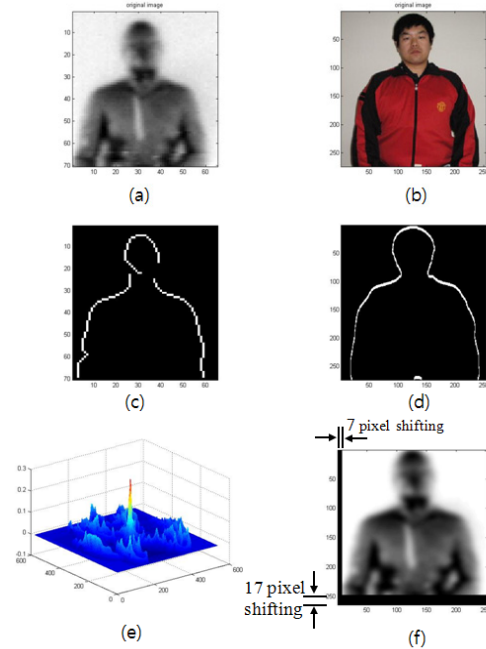


그림 5. 영상 정합 과정. (a) 밀리미터와 영상, (b) 가시 영상, (c) 몸 경계 영상(밀리미터파), (d) 몸 경계 영상(가시영상), (e) 상호상관 계수, (f) 밀리미터와 영상의 크기변환 및 이동

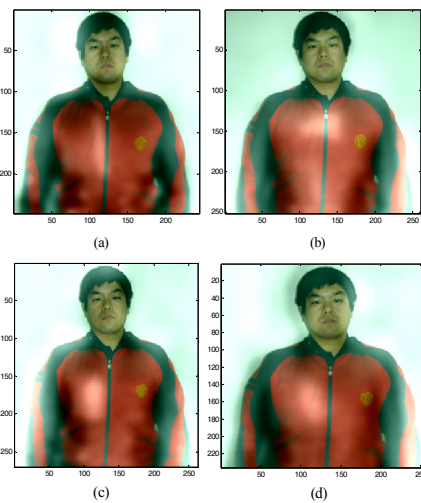


그림 6. 영상 융합 결과. (a) 칼 융합 영상, (b) 손도끼 융합 영상, (c) 화장품(크림형태) 융합 영상, (d) 화장품(스킨형태) 융합 영상

상관 계수이고 상호 상관계수가 최댓값인 경우의 크기변환, 이동에 의하여 그림 5(f)와 같이 밀리미터파 영상이 변환된다.

그림 6은 가시 영상과 밀리미터파 영상을 정합한 후 융합한 결과이다. 각각 나이프와 손도끼, 크립과 스킨 형태의 화장품을 융합한 영상으로 얼굴과 의복과 같은 은닉 대상자의 신분과 은닉물체를 동시에 시각화 할 수 있었다. 이러한 영상은 보완요원에 의하여 모니터링 되어 즉각적인 검색 및 정보발령, 추적 등 사후 조치에 이용될 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서 수동형 밀리미터파 영상 시스템을 이용하여 의류에 의해 은닉된 금속물체와 비 금속물체를 탐지 및 시각화 하였다. 가시 영상과 밀리미터파 영상은 몸체영역의 경계검출과 상호상관계수를 최대로 하는 어파인 변환에 의하여 정합 과정을 거친 후 이산 웨이블릿 변환과 융합 법칙에 의해 융합되었다. 융합된 영상은 가시 영상의 신원 정보와 밀리미터파 영상의 은닉 물체에 대한 정보를 동시에 시각화 한다. 추후 주성분 분석과 같은 통계적 분석을 이용한 융합 법칙의 연구를 수행할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] L. Yujiri, M. Shoucri, and P. Moffa, "Passive millimeter-wave imaging," *IEEE microwave magazine*, Vol.4, pp.39-50, September, 2003.
- [2] J. Son, V. P. Gushin, S. Yeom, S. Kim, and H. Lee, "Stereo images in millimeter-wave regime," *Proc. SPIE 7329, 73290L*, April, 2009.
- [3] M. R. Fetterman, J. Grata, G. Jubic, W. L. Kiser, Jr., and A. Visnansky, "Simulation, acquisition and analysis of passive millimeter-wave images in remote sensing applications," *Optics Express*, Vol.16, No.25, pp.20503-20515, 2008.
- [4] K. B. Cooper, R. J. Dengler, N. Llombart, T. Bryllert, G. Chattopadhyay, I. Mehdi, and P. H. Siegel, "An approach for sub-second imaging of concealed objects using terahertz (THZ) radar," *Int. J. Infrared Millim. Waves*, Vol.30, pp.1297-1307, 2009.
- [5] T. W. D. Bosq, J. M. Lopez-Alonso, and G.

- D. Boreman, "Millimeter wave imaging system for landmine detection," *Applied optics*, Vol.45, No.22, pp.5686-5692, 2006.
- [6] G. Pajares and J. M. de la Cruz, "A wavelet-based image fusion tutorial," *Pattern Recognition*, Vol.37, No.9, pp.185-1872, 2004.
- [7] P. Hill, N. Canagarajah, and D. Bull, "Image fusion using complex wavelets," *Proc. the 13th British Machine Vision Conference*, Isaac Councill, San Francisco, pp. 287-296, 2002.
- [8] Z. Xue, R. S. Blum, and Y. Li, "Fusion of visual and IR images for concealed weapon detection," *Proc. IEEE information fusion*, Vol.2, pp.1198-1205, 2002.
- [9] X. Qing, X. Shuai, T. Bing, L. Jiansheng, and G. Zexun, "Complex wavelet and application to image fusion," *ISPRS, Commission III, WG III /6*.
- [10] E. G. Swee and S. Elangovan, "Applications of Symlets for denoising and load forecasting," *Proc. IEEE signal processing workshop*, Madison, Wisconsin, pp.165-169, 1999.
- [11] <http://www.tsa.gov/311/311-carry-ons.shtm>
- [12] H. Lee, S. Yeom, J. Son, and V. P. Gushin, "Image Registration and fusion of MMW and visual images for concealed object detection," *Proc. SPIE defense, security, and sensing*, Orlando, Vol.7670, 76700H, April 2010.
- [13] R. C. Gonzalez, *Digital Image Processing 2/E* (Prentice-Hall Inc., 2003).

이 형 (Hyoung Lee)

정회원



2008년 대구대학교 정보통신공학부 졸업  
2010년 대구대학교 정보통신공학부 석사  
2010년~현재 한국과학 기술연구원 영상미디어 센터연구원 <관심분야> 밀리미터파, 신호처리, 3차원 영상

이 동 수(Dong Su Lee)

정회원



2007년 대구대학교 정보통신  
공학부 졸업  
2009년 대구대학교 정보통신  
공학부 석사  
2009년~현재 대구대학교 정보  
통신 공학부 박사과정  
<관심분야> 신호처리, 통신공학

블라드미르 구신 (Vladmir P. Guschin)

정회원



1966년 Taganrog 대학교 전자  
공학과 졸업  
1971년 Taganrog 대학교전자  
공학과 석사  
2006년~현재 대구대학교 첨단  
영상센터 연구원  
<관심분야> 3차원 적외선 영상,  
레디오메트릭 시스템, 프로젝션 타입 LCD TV

염 석 원(Seok Won Yeom)

중신회원



1997년 한국전력 사원  
1999년 고려대학교 전자공학과  
석사  
2006년 코네티컷 대학교 전자  
공학과 박사  
2006~2007년 코네티컷 대학  
교 박사 후 연구원

2007년~현재 대구대학교 정보통신공학부 조교수  
2009년~현재 Marquis Who's Who in America  
<관심분야> 신호 및 영상처리, 광정보처리, 패턴인  
식, Target tracking

김 신 환 (Shin-Hwan Kim)

중신회원



1975년 한국항공대학교 통신공  
학과 졸업  
1983년 전북대학교 전기공학과  
석사  
1988년 동경대학교 전자공학과  
박사  
1983년~현재 대구대학교 정보  
통신공학부 교수

<관심분야> 영상 및 비디오 코딩, 스테레오 영상  
처리

손 정 영 (Jung Young Son)

정회원



1973년 한국항공대학교 전자  
공학과 졸업  
1982년 테네시대학교 전자공학  
과 석사  
1985년 테네시대학교 응용광학  
과 박사  
1985년~1989년 테네시대학교

박사 후 Space Institute 선임연구원  
1989년~2002년 한국과학기술연구소 책임 연구원  
2002년~2006년 한양대학교 연구교수  
2004년~현재 SPIE Fellow  
2006년~현재 대구대학교 정보통신공학부 석좌교수  
<관심분야> 3차원 영상, 전자 홀로그래피, 레이저  
기반 광학 측정