특집논문 (Special Paper)
방송공학회논문지 제22권 제2호, 2017년 3월 (JBE Vol. 22, No. 2, March 2017)
https://doi.org/10.5909/JBE.2017.22.2.207
ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

멀티스펙트럴 재조명을 이용한 균일 조명 색상 보정

심 규 동[a], 박 종 일[b]‡

Color Correction for Uniformity Illumination using Multispectral Relighting

Kyudong Sim[a] and Jong-Il Park[a]‡

요 약

다수의 조명을 이용한 멀티스펙트럴 이미징을 정확히 수행하기 위해서는 영상 내 조명의 세기가 균일해야 한다. 멀티스펙트럴 이미징이 아니더라도 정확한 색 정보가 필요한 영상 획득에서는 조명이 정확해야 하고, 정확한 조명 특성을 위해 평면 광원을 사용하거나 조명 캘리브레이션을 수행한다. 본 논문에서는 조명의 세기가 균일하지 않은 영상을 조명의 세기가 균일하도록 색상을 보정하는 방법을 제안한다. 우선 비균일 조명에서 얻은 두 영상으로 멀티스펙트럴 이미징을 수행하여 반사 스펙트럼을 획득하고 획득한 반사 스펙트럼을 형광등이나 태양광과 같은 평면광에서 획득한 영상의 조명 특성으로 재조명한다. 재조명으로 얻은 영상과 평면광 영상의 조도 분포의 차이를 이용해서 비균일 조명 영상을 균일한 영상에서 획득한 영상처럼 색상 보정을 수행한다. 실험 결과로 조명의 비균일성이 균일하게 보정되었는지 확인하고, 이 결과를 통해 영상의 색 정보를 취득하는 데 조명의 제약사항을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

In order to accurately perform multispectral imaging using a multiplexed illumination, intensity of illumination in a scene must be uniform. For image acquisition that requires accurate color information, even if not multispectral imaging, the illumination information must be accurate, and a flat light source or illumination calibration is performed for accurate illumination characteristics. In this paper, we propose a method of color correction to uniformly illuminate an image with non-uniform illumination intensity. The proposed method uses multispectral imaging instead of illumination calibration for color correction. First of all, we perform multispectral imaging with two images obtained from non-uniformity illumination to acquire spectral reflectance. The obtained reflection spectrum is relit as the illumination characteristic of the image obtained from general planar light such as fluorescent light or sunlight. By comparing the image obtained by relighting with the uniformly illuminated image, the non-uniformity of the illumination is confirmed, and the color correction is performed as the image obtained from the uniform image. It is expected that the experimental results will confirm whether the non-uniformity of the illumination is uniformly corrected and reduce the restriction of illumination in obtaining the color information of the image.

Keyword : Multispectral imaging, Color correction, illumination uniformity, illumination calibration

Copyright ⓒ 2017 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.
“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

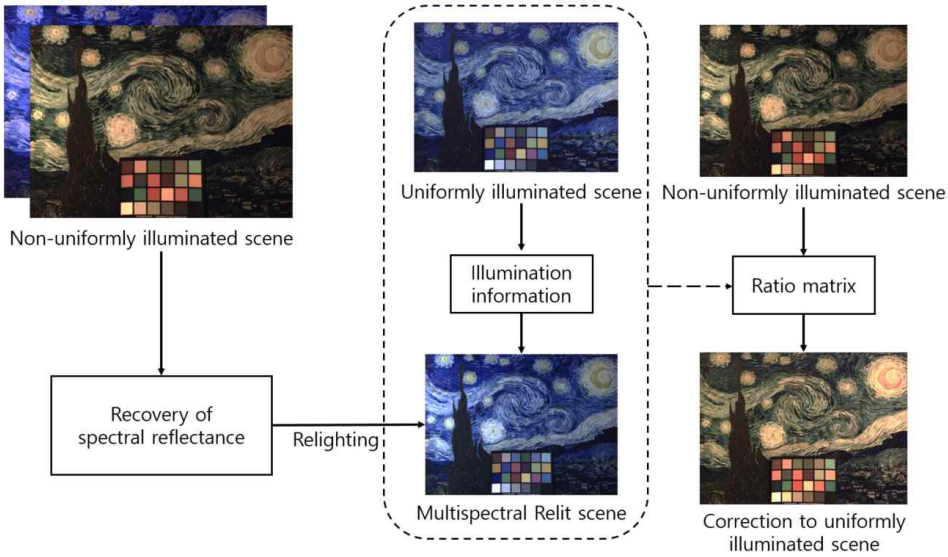

그림 1. 제안하는 방법의 흐름도
Fig. 1. Flowchart of suggested method

Ⅰ. 서 론

카메라를 이용한 디지털 영상 획득의 빈도는 점차 많아지고 있고 획득한 영상은 디지털 정보로서 다양하게 활용된다. 특히, 디지털 정보가 물체의 정확한 정보를 포함하기 위해서는 조명과 카메라의 정보를 함께 아는 것은 중요하다. 카메라의 센서와 렌즈에 따라 획득한 영상의 색감이 달라지고 조명의 밝기, 세기 분포, 스펙트럼 특성에 따라서 획득한 영상의 RGB(red, green, blue) 값이 달라지기 때문이다. 특정 광원에 대한 카메라의 센서와 조명의 스펙트럼 특성은 고정된 값을 갖지만 조명의 밝기와 위치에 따른 세기 분포는 조명의 위치와 강도에 따라 변한다. 그러므로 정확한 색상 데이터를 위한 영상 획득에서는 조명의 세기가 균일하게 분포되도록 하는 것이 좋다. 균일 조도 환경은 방송 제작현장에서도 필요해서 기존에 이용하던 텅스텐 광원 대신 다른 광원으로 텅스텐과 같은 균일한 조도와 조명의 색을 구현하는 연구가 진행되고 있다[1].

조명의 세기가 고르게 분포되도록 하는 방법으로는 조명만으로 밝기가 균일하도록 조명 장치를 설계하는 방법과 조명의 조도 분포를 알아낸 후 획득한 영상을 보정하는 방법이 있다. 조명 장치를 설계하는 방법으로는 투사 대상이 조명을 균일하게 받도록 조명을 설계하는데 일반적으로 평면광을 제공하기 위해 충분한 크기의 조명 장치가 필요로 된다. 평면광 조명의 설계가 어려운 경우에는 조명의 조도 분포를 구해서 보정하는데, 조도 분포 획득은 화이트보드 같은 단일 색을 가진 물체를 사용해서 조도 분포를 분석하고 색 보정을 한다. 하지만 화이트보드를 사용한 색 보정은 영상 취득 대상과 조명의 기하학적 관계를 정하는데 정확성이 떨어진다.

본 논문에서는 화이트보드를 따로 사용하지 않고 조명의 세기가 균일하지 않은 특정 조명에서 획득한 영상을 조명의 세기가 균일한 영상으로 보정하는 방법을 제안한다. 이 과정에서 조명의 세기가 균일한 일반 조명으로 획득한 영상과 균일하지 않은 조명을 사용한 영상의 색상을 비교하기 위한 반사 스펙트럼 복원과 스펙트럼 단위의 재조명인 멀티스펙트럴 재조명이 사용된다. 반사 스펙트럼은 물질이

a) 한양대학교 컴퓨터소프트웨어학과(Dept. of Computer and Software, Hanyang University)
b) 한양대학교 컴퓨터공학부(Dept. of Computer Science and Engineering, Hanyang University)
‡ Corresponding Author : 박종일(Jong-Il Park)
E-mail: jipark@hanyang.ac.kr
Tel: +82-2-2220-4368
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1000-4067
※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2016년도 문화기술 연구개발 지원사업으로 수행되었음.
· Manuscript received February 9, 2017; Revised March 22, 2017; Acepted March 22, 2017.

빛을 반사하는 물리적 특성으로 조명과 카메라의 특성에 상관없이 색을 결정하는 고유한 물질의 특성이다. 반사 스펙트럼의 복원은 두 LED(light emitting diode) 조명세트를 이용한 방법과 다수의 카메라를 사용하는 방법 등이 있다[2, 3,4]. 또한 멀티스펙트럴 재조명은 카메라의 센서 특성, 조명의 파워 스펙트럼, 물체의 반사 스펙트럼을 이용한 스펙트럼 단위의 재조명으로 높은 정확도로 RGB값을 재조명한다. 스펙트럼 단위의 색 보정 및 획득은 색의 정확도를 높이기 때문에 디모자이킹이나 영상 융합 등에 사용된다[5,6].

본 논문에서는 LED를 이용한 반사 스펙트럼 복원 방법으로 균일하지 않은 조명에서 획득한 영상의 스펙트럼을 복원하고 복원한 스펙트럼을 균일한 조명과 같은 조건으로 재조명 한다. 재조명된 영상과 조명의 세기가 균일한 영상을 비교해서 조명의 세기가 균일하지 않은 영상을 균일한 영상으로 보정한다. 이 과정은 그림 1의 흐름도에서 확인할 수 있다.

Ⅱ. 반사 스펙트럼 복원

반사 스펙트럼을 복원하는 방법 중 2종류의 LED를 이용한 방법은 스펙트럼 복원 정확도가 높고 전용 장비가 필요하지 않아 비교적 활용하기 쉬운 반사 스펙트럼 복원 방법이다[2, 3]. RGB값을 이용해서 반사 스펙트럼을 복원하기 위해서는 스펙트럼과 RGB값의 변환식이 필요하다. 반사 스펙트럼을 포함한 아날로그 정보들을 디지털 정보인 RGB값으로 변경하는 방법으로 식 1과 같은 선형 디지털 카메라 모델이 사용된다.

$$I = \int s(\lambda)c(\lambda)p(\lambda)d\lambda \tag{1}$$

식 1의 $p(\lambda)$는 조명의 파워 스펙트럼, $c(\lambda)$는 카메라의 응답특성, $s(\lambda)$는 물체의 반사 스펙트럼, λ는 파장이다. RGB값은 주로 가시광선 영역에서 결정되고 각 스펙트럼 특성을 가시광선 영역에서 표현하기 위해서는 많은 정보가 필요하다. 하지만, 반사 스펙트럼의 모양은 가능한 모든 형태로 나타나지 않아서 더 적은 정보로 스펙트럼을 나타낼 수 있다. 반사 스펙트럼을 식 2와 같이 기저함수와 계수의 선형결합으로 표현하면 더 적은 변수로 스펙트럼을 나타낼 수 있고, 반사 스펙트럼의 주성분 분석을 통해 얻은 Parkkinen 기저함수 8개를 이용하면 정확도 99%의 반사 스펙트럼 복원이 가능하다[7].

$$s(\lambda) = \sum_{k=1}^{K_s} \sigma_k b_k(\lambda) \tag{2}$$

여기서 σ_k는 기저함수의 계수이고 $b_k(\lambda)$는 기저함수이다. 식 1에 식 2를 이용하여 반사 스펙트럼을 기저함수와 계수로 표현하고 적분식을 하나의 행렬로 나타내면 식 3, 4와 같이 된다.

$$I = \sum_{k=1}^{K_s} \sigma_k \int b_k(\lambda)c(\lambda)p(\lambda)d\lambda \tag{3}$$

$$\mathbf{I} = \sigma\mathbf{F} \tag{4}$$

식 4의 $\mathbf{F}$는 스펙트럼 성분들의 적분값을 하나의 행렬로 나타내고 많은 수의 스펙트럼 정보를 기저함수 개수에 따라 결정된 행렬의 크기만큼 적은 정보로 줄여준다. 변수는 줄었지만 행렬 $\mathbf{F}$는 스펙트럼 정보를 갖는 행렬로 조명의 특성과 카메라 센서의 스펙트럼 특성 정보를 갖는다. 식 4의 $\mathbf{F}$의 역함수가 존재하면 식 2와 식 4를 이용해 식 5와 같이 반사 스펙트럼을 획득하는 식을 얻을 수 있다.

$$\mathbf{B}\mathbf{F}^{-1}\mathbf{I} = \mathbf{B}\sigma = \mathbf{R} \tag{5}$$

식 5를 통해 기저함수 $\mathbf{B}$, $\mathbf{F}$의 역행렬과 RGB값 $\mathbf{I}$로 반사 스펙트럼 $\mathbf{R}$을 획득할 수 있다. 여기서 행렬 $\mathbf{F}^{-1}$는 식 5를 통해 획득할 수 있다. 컬러 체커 같이 반사 스펙트럼이 알려진 도구를 이용하면 기저함수, RGB값, 반사 스펙트럼을 알고 있기 때문에 행렬 $\mathbf{F}^{-1}$를 획득할 수 있다. 획득한 $\mathbf{F}^{-1}$행렬을 이용해서 같은 조명과 카메라에서 획득한 RGB값과 기저함수를 이용해 영상 내 전 영역의 스펙트럼을 획득할 수 있다.

Ⅲ. 영상 재조명과 영상 밝기 보정

본 논문에서는 균일 조명 환경으로 색을 보정하기 위해

서 화이트보드를 사용하는 대신 평면광에서 획득한 영상을 사용한다. 화이트보드를 이용해서 평면광과 같은 균일 조명환경으로 보정하는 방법은 화이트보드에 비춰진 조명 세기를 비교해서 조명 세기 분포를 확인한다. 화이트보드가 단색이므로 조명이 밝을수록 밝은 색임을 확인할 수 있지만 화이트보드같이 단색이 아닌 물체를 사용하면 조명이 어두운지 색이 어두운지 판단이 불가능해서 화이트보드와 같은 방법을 사용할 수 없다. 다른 방법으로, 같은 조명을 사용한 비균일 조명 영상과 균일 조명 영상이 있으면 RGB 크기 비교로 조도 분포를 알 수 있지만 각 영상이 다른 조명을 사용하면 보이는 색이 다르기 때문에 RGB 비교로 알 수 없다. 이처럼 조명의 색이 다르고 물체가 단색이 아닌 문제를 반사스펙트럼을 획득하는 멀티스펙트럴 이미징과 멀티스펙트럴 재조명으로 극복할 수 있다.

반사 스펙트럼은 객체가 받은 조명과 카메라의 스펙트럼 특성에 영향을 받지 않는 독립적인 값이지만 스펙트럼을 복원하는 과정에서 복원된 스펙트럼 값은 조명의 영향을 받는다. 왜냐하면 스펙트럼을 복원하는 과정에서 조명의 특성을 컬러체커로 획득하는데, 균일 조도를 갖는 조명이 아닌 경우 컬러체커보다 조명이 어두운 영역과 밝은 영역인 조명의 세기가 다른 영역이 생긴다. 조명이 컬러체커 영역보다 어두운 영역은 스펙트럼 값이 전체적으로 작게 복원되고 조명이 밝은 영역은 높게 복원된다. 이렇게 스펙트럼의 크기가 다르게 복원된 반사 스펙트럼에 식 1을 이용해서 특정 조명과 카메라 특성으로 멀티스펙트럴 재조명을 하면 RGB 색상을 획득할 수 있는데, 재조명으로 얻은 영상의 RGB 크기는 스펙트럼의 크기, 즉 스펙트럼을 복원할 때 사용한 조명 밝기의 영향을 받는다.

비균일 조명 영상에서 재조명된 영상의 RGB값은 조도 분포를 확인하고 균일 조명환경으로 색 보정을 하는데 사용된다. 태양광과 같은 평면광에서 획득한 영상의 조명 특성으로 비균일 조명에서 획득한 영상에 멀티스펙트럴 재조명을 수행하면 같은 조명 색을 가지는 영상이 되는데 평면광 영상과 달리 비균일한 조명의 특성이 그대로 남는다. 재조명으로 얻은 영상과 평면광에서 얻은 영상의 색상 비교를 통해 비균일 조명에서 조명 세기의 분포를 확인할 수 있다. 비균일 조명 영상을 균일 영상으로 보정하는 보정 행렬은 식 6와 같이 RGB값들의 평균 비로 획득한다.

$$R(x,y) = I_{rec}(x,y)/I_{flat}(x,y) \tag{6}$$

여기서 $R(x,y)$는 세기 보정 비율 행렬이고 $I_{rec}(x,y)$는 복원된 영상의 RGB 평균, I_{flat}은 균일한 조명에서 획득한 영상의 RGB평균, x, y,는 픽셀 좌표이다. 보정 비율 행렬을 이용해 조명이 균일하지 않은 영상을 균일한 영상으로 보정할 수 있다.

Ⅳ. 실 험

실험에는 그림 2와 같이 조명의 밝기가 균일하지 않고 밝은 영역이 좌측으로 치우친 영상과 그림 3과 같이 조명의

그림 2. 조명의 밝기가 균일하지 않은 영상
Fig. 2. Non-uniformly illuminated scenes

그림 3. 조명의 밝기가 균일한 영상
Fig. 3. Uniformly illuminated scene

밝기가 균일한 조명인 형광등에서 획득한 영상을 사용했다.

조명의 밝기가 균일하지 않은 영상을 이용해서 반사 스펙트럼을 획득하고, 획득한 반사 스펙트럼은 조명의 비균일성이 반사 스펙트럼의 세기로 나타난다. 획득한 반사 스펙트럼을 균일 조도에서 획득한 영상과 같게 멀티스펙트럴 재조명을 하고 균일 조도 영상과 비교 자료를 그림 4에서 확인할 수 있다. 반사 스펙트럼의 세기가 변했기 때문에 재조명으로 획득한 영상의 좌측은 더 밝고 우측은 더 어두워졌음을 확인할 수 있다.

재조명 한 영상과 조명이 균일한 영상과 비교를 통해 보정 비율 행렬을 획득한다. 획득한 보정 비율 행렬을 이용해 색상 보정을 수행하고 그림 2와 같은 비균일 조도 영상을 그림 5와 같은 균일 조도 영상으로 변환시킬 수 있다.

그림 4. 멀티스펙트럴 재조명으로 획득한 영상(좌)와 상단에 균일조도 영상과 하단에 재조명 영상을 함께 나타낸 영상(우)
Fig. 4. Scene obtained by multispectral relighting(left) and uniformly illuminated scene on upper side and relit scene on down side(right)

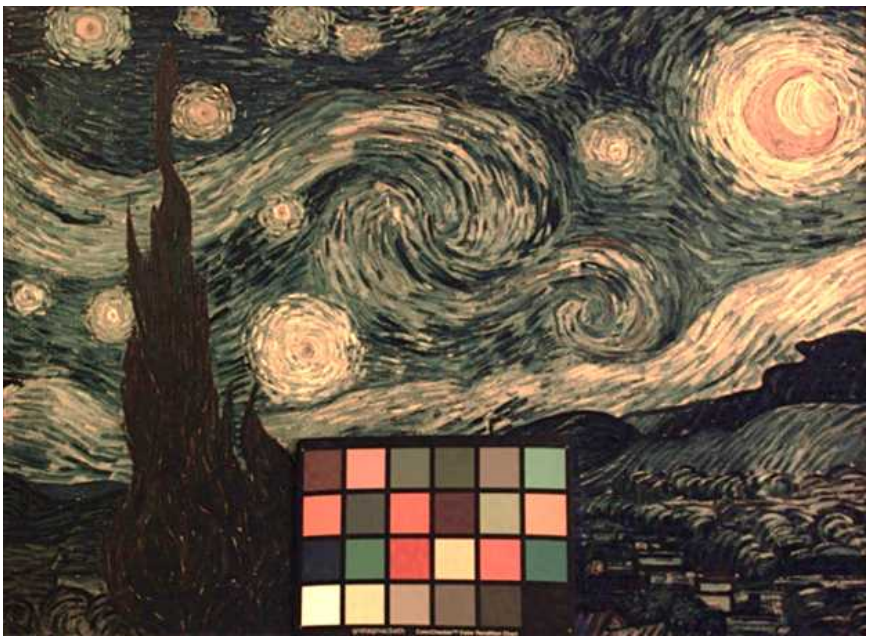

그림 5. 제안된 색상 보정으로 균일 조도 조건으로 변환된 영상
Fig. 5. Converted scene to uniformity illumination by suggested color correction

균일 조명 조건으로 색상 보정이 제대로 수행 되었는지 확인하기 위해서 컬러체커를 좌측과 우측에 둔 영상을 각각 색상 보정을 수행하고 색 차이를 확인했다. 그림 6에서 색상 보정이 수행되기 전 영상과 수행된 후의 영상을 확인할 수 있다.

색상 보정이 정확할수록 좌우의 컬러체커의 색은 같은 색이어야 한다. 표 1은 색상 보정 전후 각각에서 좌우 컬러체커 24색의 평균 RGB차이를 나타낸다. 이 결과를 통해 색상 보정이 제대로 수행되어서 좌우 컬러체커의 색상이 같도록 보정 되었음을 확인할 수 있다.

표 1. 좌우 컬러체커의 평균 RGB 차이
Table 1. Average RGB difference between left and right color checker

	Blue	Green	Red
Before correction	23.39814	40.12501	66.00003
After correction	4.98149	2.86574	11.73617

그림 6. 색상 보정 전 컬러체커 비교(좌)와 색상 보정 후 컬러체커 비교(우)
Fig. 6. Comparison of color checker before color correction(left) and comparison of color checker after color correction(right)

V. 결 론

본 논문에서는 균일 조도가 아닌 환경에서 획득한 영상을 균일 조도에서 획득한 영상과 같게 색 보정 하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 균일하지 않은 조명에서 획득한 영상으로 반사 스펙트럼을 복원하였고 복원한 반사 스펙트럼을 평면광에서 획득한 영상의 조명환경으로 멀티스펙트럴 재조명을 하였다. 같은 조명으로 재조명된 영상과 평면광에서 획득한 영상을 비교해서 보정 행렬을 획득하였고 보정 행렬을 이용해서 균일 조도가 아닌 영상을 균일 조도가 되도록 색상 보정을 하였다. 색상 보정 전후를 비교해서 색상 보정이 균일 조도와 같게 수행되었음을 확인할 수 있었고, 이를 통해 일반적이지 않은 조명을 사용할 때 조명 하드웨어 설계나 조명 캘리브레이션의 어려움을 줄일 것으로 기대된다.

참 고 문 헌 (References)

[1] Kim Young-Jin, Park Gooman, “A Study on Color Reproduction and Flatness of the LED Light Source in Broadcasting Lighting” , JBE, Vol. 21 , No. 4, pp.538-551, July, 2016.

[2] J. Park, M. Lee, M. D. Grossberg, and S. K. Nayar, “Multispectral imaging using multiplexed illumination”, IEEE 11th International Conference on Computer Vision, pp. 1-8, 2007.

[3] S. W. Seoung, M. S. Brown, M. Pollefeys, and S. J. Kim, “Do It Yourself Hyperspectral Imaging with Everyday Digital Cameras”, Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016.

[4] J. Jun, and J. Gu, “Recovering spectral reflectance under commonly available lighting condition”, Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2012.

[5] Lee Young-Gun,Kuk Jung-Gap,Cho Nam-Ik, “A Wavelet-Domain IKONOS Satellite Image Fusion Algorithm Considering the Spectrum Range of Multispectral Images” , JBE, Vol. 16, No.1, pp.14-22, January, 2011.

[6] Shin Jeong-Ho, “Multi-spectral Imaging-based Color Image Reconstruction Using the Conventional Bayer CFA”, JBE, Vol. 16,No. 3, pp.561-565, May, 2011.

[7] J. P. Parkkinen, J. Hallikainen, and T. Jaaskelainen, “Characteristic spectra of Munsell colors,“ Journal of the Optical Society of America A, Vol. 6, No. 2, pp.318-322, 1989.

저 자 소 개

심 규 동

- 2015년 : 한양대학교 융합전자공학부 공학사
- 2015년 ~ 현재 : 한양대학교 컴퓨터소프트웨어학과 공학석박사과정
- ORCID : http://orcid.org/0000-0001-6405-0099
- 주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 컬러보정, 증강현실

박 종 일

- 1987년 : 서울대학교 전자공학과 공학사
- 1989년 : 서울대학교 전자공학화 공학석사
- 1995년 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 1992년 ~ 1994년 : 일본 NHK 방송기술연구소 객원연구원
- 1995년 ~ 1996년 : 한국방송개발원 선임연구원
- 1996년 ~ 1999년 : 일본 ATR지능영상통신연구소 연구원
- 1999년 ~ 현재 : 한양대학교 공과대학 컴퓨터공학부 교수
- ORCID : http://orcid.org/0000-0003-1000-4067
- 주관심분야 : 증강현실, 계산사진학, 3차원 컴퓨터비전, 인간컴퓨터상호작용