

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제25권 제1호, 2020년 1월 (JBE Vol. 25, No. 1, January 2020)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2020.25.1.13>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

딥 러닝과 파노라마 영상 스티칭 기법을 이용한 송전선 늘어짐 모니터링 시스템

박 은 수^{a)}, 김 승 환^{a)}, 이 상 순^{b)}, 류 은 석^{a)†}

The Power Line Deflection Monitoring System using Panoramic Video Stitching and Deep Learning

Eun-Soo Park^{a)}, Seunghwan Kim^{a)}, Sangsoon Lee^{b)}, and Eun-Seok Ryu^{a)†}

요 약

한국에는 전력 분배를 위하여 약 9백만 개의 전신주와 1.3백만 킬로미터의 송전선이 있다. 이러한 많은 전력 설비의 유지보수를 위해서는 많은 인력과 시간이 소요된다. 최근 인공지능을 사용한 여러 고장진단 기술들이 연구되어 오고 있기 때문에 본 논문에서는 송전선의 여러 요인으로 인한 늘어짐을 감지하기 위해 기존의 현장에서의 검증 방법이 아닌 카메라 시스템으로 촬영한 영상에서의 인공지능 기술을 활용한 송전선 늘어짐 감지 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 (i) 객체 탐지 시스템을 이용한 송전탑 감지 (ii) 동영상 촬영 데이터의 화질 저하 문제를 해결하기 위한 히스토그램 평활화 기법 (iii) 송전선 전체를 파악하기 위한 파노라마 영상 스티칭 (iv) 송전선 탐지 알고리즘 적용 후 파노라마 영상 스티칭 기술을 이용한 늘어짐 판단 과정으로 진행된다. 본 논문에서는 각각의 과정들에 대한 설명 및 실험 결과를 보인다.

Abstract

There are about nine million power line poles and 1.3 million kilometers of the power line for electric power distribution in Korea. Maintenance of such a large number of electric power facilities requires a lot of manpower and time. Recently, various fault diagnosis techniques using artificial intelligence have been studied. Therefore, in this paper, proposes a power line deflection detect system using artificial intelligence and computer vision technology in images taken by vision system. The proposed system proceeds as follows. (i) Detection of transmission tower using object detection system (ii) Histogram equalization technique to solve the degradation in image quality problem of video data (iii) In general, since the distance between two transmission towers is long, a panoramic video stitching process is performed to grasp the entire power line (iv) Detecting deflection using computer vision technology after applying power line detection algorithm This paper explain and experiment about each process.

Keyword : Object detection, Panoramic video stitching, Power line deflection monitoring system, Fault diagnosis

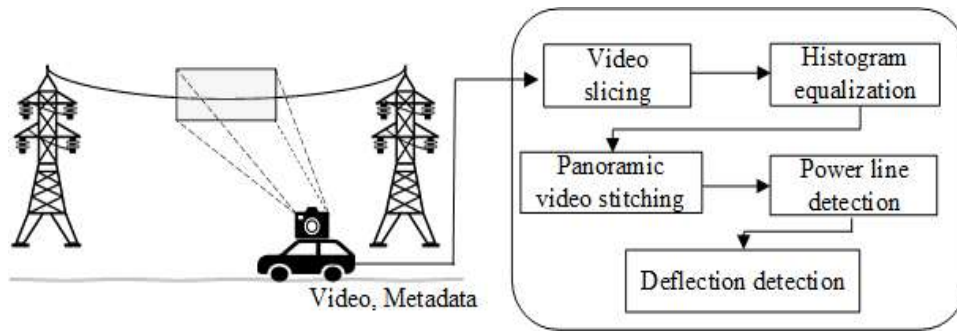


그림 1. 제안하는 딥러닝과 파노라마 영상 스티칭을 이용한 송전선 늘어짐 모니터링 시스템

Fig. 1. Proposed power line deflection monitoring system using deep learning and panoramic video stitching

1. 서론

정부의 ‘신재생에너지기술개발 및 보급·확산 프로그램’을 통해 신재생에너지기술개발에 대한 투자, 그리고 신재생에너지에 대한 발전 차액을 지원하였으며 이를 기초로 한국의 신재생에너지기술 개발이 시작되었다^[1]. 이에 따라 태양광 등의 대체 에너지로 인해 전력 에너지 공급이 증가하면, 여러 외부 요인 및 내부 요인에 의해 선로에 과부하(overload)가 발생할 위험이 높아질 것으로 예상된다^[2]. 선로에 과부하가 발생하게 되면 고압 전선의 장력이 약해져 늘어질 수 있으며, 이는 통행 차량 또는 통행인에게 위협을 가할 뿐만 아니라 전기 전송 효율도 크게 떨어트린다. 따라서 고압 전선들의 유지보수는 필수적이다. 한국전력공사가 2019년에 발표한 한국전력통계에 따르면 한국 배전 설비 기준 약 42,577개의 지지물 (supporter) 및 약 215,988 킬로

미터의 전선이 존재하므로 유지보수에 큰 노력과 시간이 소요된다^[3]. 앞서 언급한 바와 같이 막대한 양의 설비를 모두 사람이 직접 눈으로 확인하는 것은 사실상 불가능하므로, 모니터링 시스템을 도입하여 점검한다. 유지보수 중에서 고장 진단은 주로 센서로부터 데이터 취득, 고장과 관련된 특성 인자 추출, 진단을 위한 분류 경계 결정으로 이루어진다^[5]. 이 부분에서 가장 중요하고 어려운 부분은 고장과 관련된 특성 인자 추출 과정이다. 이 과정은 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 인공지능 기술을 사용하면 손쉽게 고장을 나타내는 특성 인자를 추출할 수 있다^[6]. 따라서 인공지능과 고장 진단 분야가 결합한 연구가 활발히 진행되어 오고 있다^[7-9].

본 논문에서는 그림 1과 같은 송전선 늘어짐 감지 시스템을 제안한다. 이동하는 카메라 시스템을 이용하여 영상을 촬영하고 전선의 늘어짐을 감지하는 방법을 사용한다. 카메라 시스템 (e.g. 드론, 차량)으로 이동 중에 촬영한 이미지는 화질이 통상적으로 좋지 않다. 따라서 컴퓨터 비전 관련 오픈소스 라이브러리인 openCV를 이용한 전처리 과정을 수행한다. 또한 일반적으로 송전탑 사이의 거리는 상당히 멀다. 따라서 파노라마 기술을 활용하여 송전선을 한 번에 파악할 수 있는 이미지를 생성한 후 이를 전선 감지에 활용한다. 파노라마 영상 스티칭 기술을 사용하기 위해서는 이미지의 시작 프레임을 정해야 한다. 이는 객체 인식 프로그램인 You only look once (YOLO) V3 프로그램 (이하 YOLO)을 사용한다^[10]. 처음 감지하는 송전탑을 기준으로 영상 촬영을 시작하고, 다음 송전탑이 감지되면 종료한다. 이후 파노라마 영상 스티칭을 진행한다. 이 과정에 대한 산출물은 전체적인 송전선의 정보를 가진 한 장의 파노라마

a) 성균관대학교 컴퓨터교육과(Department of Computer Education, Sungkyunkwan University)

b) 가천대학교 컴퓨터공학과(Department of Computer Engineering, Gachon University)

‡ Corresponding Author : 류은석(Eun-Seok Ryu)

E-mail: esryu@skku.edu

Tel: +82-2-760-0677

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4894-6105>

※ 본 연구는 한국전력공사의 2016년 선정 기초연구개발과제 연구비에 의해 지원되었음 (과제번호 : R17XA05-68), This research was supported by Korea Electric Power Corporation. (Grant number : R17XA05-68), 이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C1010476).

※ This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2019R1A2C1010476).

· Manuscript received July 3, 2019; Revised January 9, 2020; Accepted January 20, 2020.

이미지다. 전처리 과정을 거친 파노라마 이미지에 송전선 감지 알고리즘을 사용하여 전선을 추출한 후 이미지 변환 기술 등을 사용하여 송전선의 늘어짐을 판단한다.

본 논문은 2장에서 본 연구를 진행하면서 관련된 연구들에 대한 설명, 3장에서 제안하는 시스템의 전체적인 설명을 기술, 4장에서 구현 및 실험 결과를 보이며, 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구에 대한 글로 마무리한다.

II. 관련 연구

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 송전선 늘어짐 감지 시스템에 사용되는 기술들에 대한 설명 및 관련 연구에 관해 기술한다. 1절에서 파노라마 영상 스티칭, 2절에서 이미지 전처리, 3절에서 선 검출 알고리즘을 서술한다.

1. 파노라마 영상 스티칭

이미지 모자이크 또는 멀티뷰 이미지 스티칭이라고도 불리는 파노라마 영상 스티칭(Panoramic video stitching) 기법은 사용자 주변의 다양한 방향에 대하여 영상을 촬영한다. 그 후 주위의 모든 방향을 한 시점에서 바라볼 수 있도록 하기 위해 단일 영상들을 결합하여 합성한 영상을 의미한다. 이 기술은 주위의 모든 방향을 한 시점에서 바라볼 수 있기에, 단일 카메라 영상에서 얻는 화각, 화질, 정보량 등의 한계를 극복할 수 있는 좋은 방법이다. 그렇기 때문에 컴퓨터 비전, 컴퓨터 그래픽스, 로봇틱스 등과 같은 여러 분야에서 해당 기술이 널리 연구되고 있다^[11,12]. 예를 들어 객체가 움직이는 상황^[13], 이미지 프레임 간의 색 보정^[14], 구조화되지 않은 카메라 뷰^[15], 움직이는 디바이스^[16] 등이 있다. 일반적으로 파노라마 영상을 제작하는 데에는 많은 알고리즘 및 기법들이 사용된다.

그림 2는 일반적인 파노라마 영상 생성 과정을 나타낸

것이다^[17]. 파노라마 영상 스티칭 기술은 영상 간의 공통 특징점이 있어야 사용이 가능하다. 따라서 Multi-view 영상 데이터인 경우 영상들을 정렬한다. 그 후 이웃 영상 간의 색차 보정을 통하여 영상 간의 차이를 줄이고, 특징점을 추출하는 알고리즘인 SIFT^[18], SURF^[19] 등을 사용하여 공통 특징점을 찾아낸다. SIFT 알고리즘은 영상의 크기 및 회전에 강인한 특징점 추출 성능을 보인다. 그러나 처리 시간이 길다는 단점이 존재한다. 이를 개선한 알고리즘이 SURF 알고리즘이다. SURF 알고리즘은 Hessian detector를 기반으로 적분 영상과 Fast-Hessian detector를 사용하여 연산 속도를 높였다. 영상 간 공통 특징점을 찾아낸 후 이미지 투시 변환을 통해 공통 특징점을 매칭한다. 마지막으로 이미지 변환을 하며 생기는 변화된 이미지를 디스플레이 환경에 맞게 조절하는 과정을 수행한다.

2. 히스토그램 평활화

파노라마 영상 스티칭을 수행하기 위해서는 첫 이미지와 다음 이미지는 공통 특징점이 있어야 한다. 그러나 이동하면서 촬영을 하게 되면 흐림 현상, 빛에 의한 명도 대비 저하 등으로 영상의 화질이 낮아져 잘못된 인식으로 인해 완벽한 파노라마 이미지를 얻기가 힘들다. 따라서 히스토그램 평활화와 같은 전처리 과정이 필요하다.

히스토그램 평활화는 영상의 그레이 스케일 (Grayscale) 값이 특정 값에 치우쳐져 있는 것을 넓고 고르게 퍼주는 이미지 처리법을 의미한다. 히스토그램 평활화의 공식은 (1) 과 같다.

$$h(v) = \frac{cdf(v) - cdf_{min}}{(M \times N) - cdf_{min}} \times (L - 1) \quad (1)$$

수식 (1) 에서 cdf 는 영상 내에서 해당 그레이 스케일 값을 가지는 픽셀의 빈도수를 표현한 확률밀도함수의 값들을 누적시킨 누적분포함수이다. 일반적으로 cdf_{min} 을 분모, 분

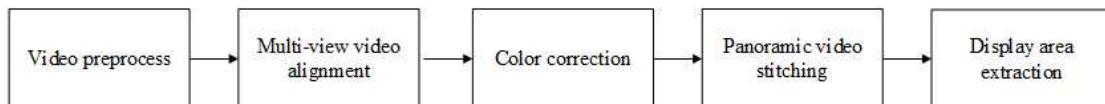


그림 2. 파노라마 영상 스티칭 과정
Fig. 2. Panoramic video stitching process

자에서 빠지 않고 진행하지만, 밝기 범위 전체 사용을 위해 빼고 진행한다. 분모 M , N 은 영상의 가로, 세로 픽셀의 개수이다. $cdf(v)$ 은 해당 그레이 스케일 값에서의 cdf 값이다. L 은 최대 그레이 스케일 값이며 cdf_{min} 은 cdf 값 중 최솟값이다. 영상의 히스토그램이 x 축이 명도, y 축이 빈도수라고 할 때 왼쪽으로 치우쳐져 있으면 해당 그레이 스케일 값이 전체적으로 작아서 영상의 밝기가 어두워진다. 반면 오른쪽으로 치우쳐져 있으면 전체적으로 커서 영상이 밝아진다. 히스토그램이 좁은 범위에 밀집되어 있으면 가장 어두운 명도와 가장 밝은 명도의 차이가 작기 때문에 명암 대비 (Contrast)가 좋지 않다. 히스토그램 평활화를 하게 되면 밀집된 그레이 스케일 값은 더 넓게 분산시키고, 흩어진 그레이 스케일 값은 밀집하게 되는 효과를 내게 된다. 이 과정을 통하여 명암 대비가 향상된다^[20]. 히스토그램 평활화는 BBHE^[20], RMSHE^[21], DSHHE^[22], RSIHE^[23]과 같이 영상 전체에 적용 또는 지역적 적용 이슈 및 재귀 방법에 따른 연구가 진행됐다.

히스토그램 평활화를 영상 전체에 적용할 경우 원 영상의 특성에 따라서 명암 대비의 개선 효과가 다르게 나타난다. 그리고 지역적으로 밝기를 개선할 수 없기 때문에 명암 대비가 감소하거나 화질이 훼손된다^{[24][25]}. 이를 개선하기 위하여 지역 히스토그램 평활화를 사용한다. 지역 히스토그램 평활화는 영상을 서브 블록으로 나누고 블록마다 히스토그램 평활화를 적용한다. 서로 다른 블록들에서 각각 히스토그램 평활화이 적용되기 때문에 그림 3의 (c)와 같이 블록현상이 발생하는 문제점이 있다 (그림 3에서 사용된 사진은 Pixabay 무료 저작권 사이트에서 가져옴). 블록현상을 줄이기 위하여 명암 대비를 제한하는 Contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE)

이 제안되었다^[26]. 본 논문에서는 CLAHE 기법을 사용하여 영상의 화질을 향상시켜 파노라마와 송전선 추적을 용이하게 한다.

3. 선 검출 알고리즘

최근 자율 운전 기술의 발달로 선 검출 알고리즘에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[27][28]}. Canny edge 검출 알고리즘과 허프 변환 알고리즘을 통하여 직선 및 곡선 차선 검출이 가능하다^{[29][30]}. 그러나 해당 논문들은 배경이 간단하거나 단순히 배경선을 추출하는 방법들이다. 또한 배경이 있는 상태에서의 선 추출 방법에 대한 연구들은 정확도를 위하여 LiDAR와 같은 추가 장비가 필요하다^[31].

본 논문에서는 송전선을 검출해야 하기 때문에 참고문헌[4]를 참고하였다. 참고문헌[4]는 라인 템플릿을 사용하였다. 해당 연구는 고압 송전선은 일반적으로 검은색이라는 가정하에 진행된 연구로, 송전선을 추출할 이미지의 송전선에 마우스 클릭을 수행하면 클릭 지점에서 여러 각도로 라인 템플릿이 구현된다. 해당 템플릿 (직선)의 위치를 지나는 영상의 그레이 스케일값의 평균값을 스코어로 하며 가장 낮은 값의 템플릿을 송전선으로 채택한다. 그러나 이 방법은 직선만 가능하다는 단점이 존재한다.

III. 각도 검출을 이용한 송전선 모니터링 시스템

각도 검출을 이용한 송전선 모니터링을 하기 위해 그림 4

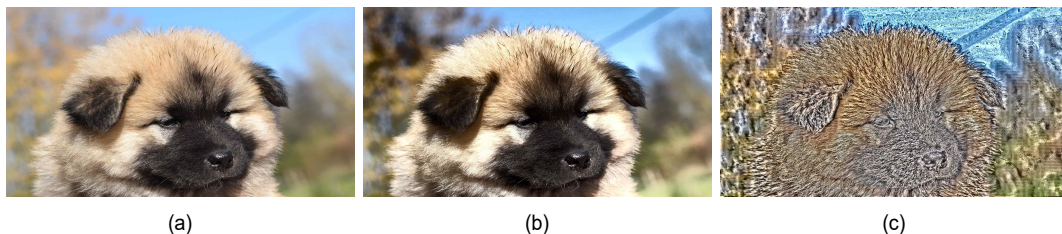


그림 3. 히스토그램 평활화 방법 비교: (a) 원본 이미지 (b) 명암 대비를 제한한 지역 히스토그램 평활화 이미지 (c) 명암 대비를 제한하지 않은 지역 히스토그램 평활화 이미지

Fig. 3. Compare histogram equalization methods: (a) Original image (b) Local histogram equalization image using limited contrast (c) Local histogram equalization image using unlimited contrast

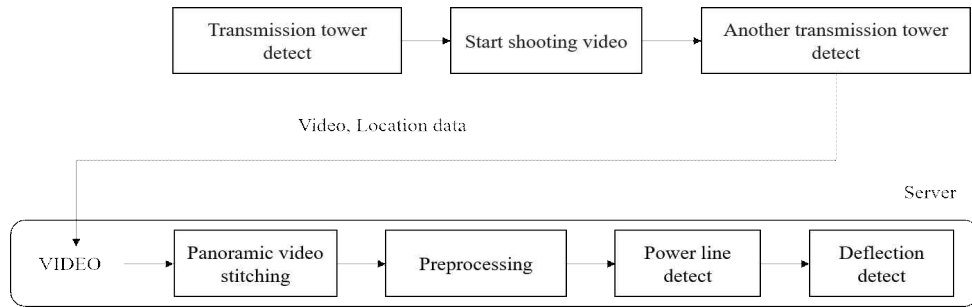


그림 4. 각도 검출을 사용한 송전선 모니터링 시스템 알고리즘
Fig. 4. Power line monitoring system using angle detection flow chart

와 같이 시스템을 설계하였다. 시스템은 클라이언트와 서버로 구성되어 있으며, 3장에서 시스템을 알고리즘 순서대로 설명한다.

1. 클라이언트

제안하는 시스템에서 실시간 객체 감지가 가능한 객체 인식 모델을 이용하여 송전탑을 감지 후 동영상 촬영을 시작한다. 이후 첫 번째 송전탑이 사라지고, 두 번째 송전탑이 감지되면 동영상 촬영을 종료 후 저장한다. 이후 다시 동영상 촬영을 시작한다. 저장된 동영상은 지역 정보와 함께 서버로 전송된다. 지역 정보는 서버에서의 처리 이후 송전선 불량 판정이 되었을 경우 어떤 곳에서 불량이 발생하였는지 알기 위함이다.

2. 파노라마 영상 스티칭 및 전처리

본 논문에서 파노라마 영상 스티칭 기법은 다중 이미지 스티칭이 가능한 참고문헌 [34]를 이용하였다. 참고문헌 [34]는 레지스트레이션 부분과 컴포지션 부분으로 나누어져 있다. 레지스트레이션 부분에서 이미지들을 중간 화질

로 해상도를 맞추는 후 마지막 결괏값의 해상도, 파동 보정과 같은 데이터를 컴포지션 부분으로 전달한다. 컴포지션 부분은 레지스트레이션에서 미흡한 즉, 파노라마 스티칭을 적용하였을 경우의 에러 부분들을 낮은 해상도로 처리하고 블렌딩 기술을 적용 후 최종 파노라마 이미지를 산출한다. 최종 파노라마 이미지는 그림 5의 (a) 와 같이 이미지 간 원근을 조절하기 위해 이미지를 변형하였으므로 이미지의 겹 부분에 여백이 존재한다. 이를 처리하기 위하여 다음과 같은 처리 과정을 진행한다:

- (1) 파노라마 이미지의 모든 면에 10픽셀의 경계를 추가한다.
- (2) 파노라마 이미지를 그레이스케일로 변환 후 변환된 이미지를 임계 값으로 지정 후 이미지 이진화를 진행하여 여백 부분과 파노라마 이미지 부분을 구분한다.
- (3) (1) 에서 설정한 경계 상자를 x축과 y축을 비례하여 축소하며 상자 내부에 여백 부분이 존재하지 않을 때까지 축소한다.

위 과정의 결과물은 그림 5의 (b) 와 같다.

송전선은 얇고 길기 때문에 효과적으로 검출하기 위해서

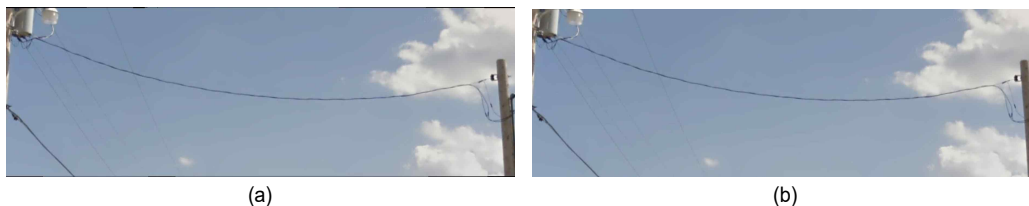


그림 5. 파노라마 영상 스티칭 후처리 과정: (a) 여백이 존재하는 이미지 (b) 후처리된 이미지
Fig. 5. Panoramic video stitching postprocessing: (a) Image with margins (b) Postprocessed image



그림 6. 영상 선명화 작업: (a) 원본 이미지 (b) CLAHE 기술을 적용한 이미지
Fig. 6. Image sharpening processing: (a) Original image (b) Image using CLAHE

전처리과정이 필요하다. 본 논문에서 히스토그램 평활화 기법을 적용하여 송전선의 선명도를 높인다. 이때 송전선은 검은색이라는 가정하에서 진행되었다. 히스토그램 평활화 기법 중 CLAHE를 적용하였고, 결과는 그림 6과 같다. 그림 6에서 송전선이 선명해진 것을 확인할 수 있다.

3. 송전선 검출

마지막으로 송전선 검출 단계는 송전선만을 탐지하는 기법을 사용한다. 앞서 언급된 여러 알고리즘 중 두 가지를 실험하였다. 그림 7과 같이 송전선이 아닌 불필요한 모든 엣지를 감지하였다. 그림 7의 방법들은 제안하는 시스템의 목적과는 다르기 때문에 본 논문에서 송전선만을 감지하는 알고리즘을 제안한다.

제안하는 송전선 탐지 알고리즘은 일반적인 고압 송전선

이 검은색이라는 것을 이용하며, 아래와 같은 순서로 진행된다.

- (1) 송전선의 탐색을 위해, 이미지의 중앙부터 탐색하며 지정된 임계 값을 넘지 않는 검은색 픽셀을 감지한다. 이때 임계 값은 20 픽셀값으로 설정하였다.
- (2) (1) 에서 탐지한 픽셀을 중앙으로, $K \times K$ 크기의 라인 템플릿을 생성한다. 본 논문에서 K 는 10으로 설정하였다.
- (3) 생성된 라인 템플릿에서 90° 방향으로 직선을 생성하고, -90° 방향까지 $-\theta$ 만큼 직선의 기울기를 변경한다. 이때 θ 는 2로 설정하였다.
- (4) 직선과 겹쳐지는 원본의 픽셀값을 계산하여 가장 값이 낮은 직선을 선택한다.
- (5) 직선의 끝부분을 중간으로 설정 후 그림 8과 같이

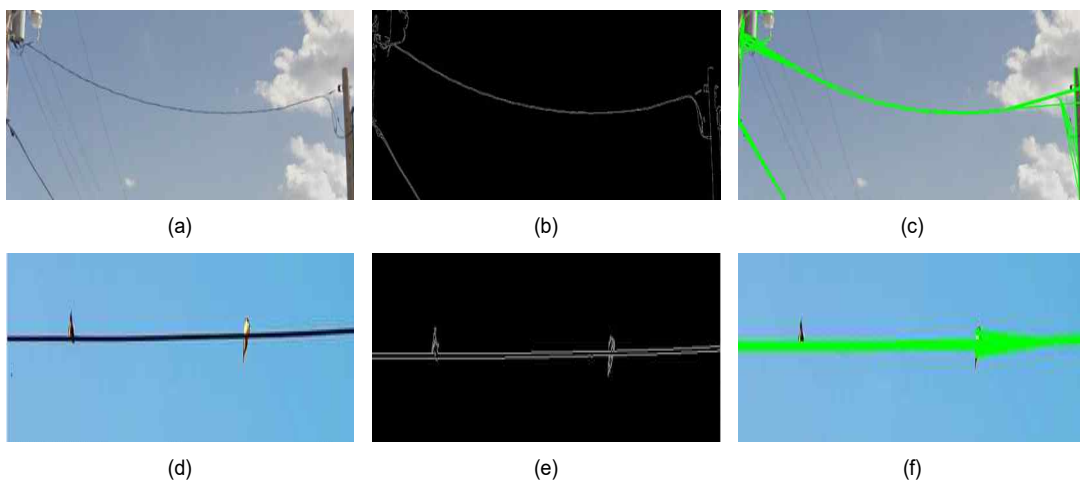


그림 7. 엣지 추출 기법을 통한 송전선 감지: (a), (d) 원본 이미지 (b), (e) Canny edge 알고리즘 적용 (c), (f) 허프 변환 적용
Fig. 7. Power line detection using edge extraction technique: (a), (d) Original image (b), (e) Image using canny edge (c), (f) Image using hough transform

- (2)~(4) 과정을 반복한다.
- (6) 왼쪽으로 진행 중일 때 송전선의 기울기가 음수면 과정을 종료하고, 처음 생성했던 라인 템플릿으로 설정 후 오른쪽으로 (2)~(5) 과정을 진행한다.
- (7) (1)~(6) 과정이 종료된 후 송전선의 왼쪽과 오른쪽 최고점의 정보와 탐지된 송전선의 최저점의 정보를 알 수 있다.

송전선 검출 및 늘어짐 판단 단계에서 제안된 알고리즘을 사용하게 되면 그림 9의 (c)와 같이 탐색이 완료되게 된다. 탐색 완료된 이미지는 모든 픽셀값을 0으로 마스크 한

이미지로 옮겨서 색차에 의한 이미지 처리를 수행할 수 있게 한다. 일반적으로 송전선과 송전탑이 맞물리는 부분은 송전탑마다 선 처리 여부가 달라, 본 논문에서는 그림 9의 (c)와 같이 송전선 감지 도중 가장 높은 점을 기준으로 잡는다. 마지막으로, 탐지된 양 끝 최상단점과 송전선의 최하단점을 이용한 아크 코사인 연산으로 각도를 검출할 수 있다.

IV. 구현 및 실험

본 시스템의 실험 환경은 Ubuntu 18.04 LTS 버전, Intel

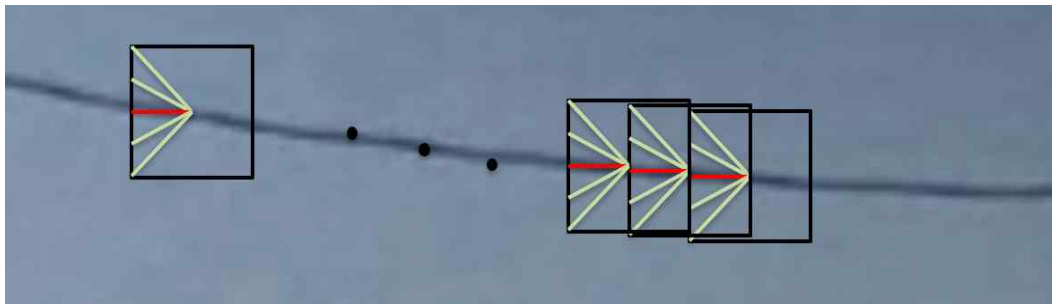


그림 8. 라인 템플릿 기반 송전선 탐지 알고리즘
Fig. 8. Power line detection algorithm based on line template



그림 9. 송전선 영상 전처리 후 각도 검출 기법: (a) Original Image (b) CLAHE를 적용한 이미지 (c) 제안한 방법으로 전선을 탐지 후, 0으로 마스크 한 이미지로 옮기고 양측의 최상단 점과 최하단점을 탐지한 이미지 (d) 그림 (c)에서 구한 각 점의 좌표와 아크 코사인을 사용하여 송전선 늘어짐의 각도 검출한 이미지

Fig. 9. Angle detection technique after power line image preprocessing: (a) Original image (b) Image using CLAHE, (c) Detecting wires by the proposed method and then moving to masked image with 0, image that detected the top and bottom of both sides (d) Angle detection of the power line deflection using the coordinates and arccosine of each point obtained in (c)

Xeon CPU E5-2620 v3 2.40GHz, NVIDIA GTX 1080이다. 4장에서 제안하는 시스템의 각 모듈별 다양한 실험을 진행 후 분석한다.

1. 송전탑 객체 인식 실험

제안하는 시스템에서 트리거 역할을 하는 송전탑 감지를 위하여 본 논문에서는 객체 탐지 딥 러닝 모델을 사용한다. 표 1은 COCO Dataset으로 학습시킨 모델들과 그 모델들의 Mean average precision (mAP) 그리고 Frames per second (FPS) 를 나타낸 것이다. 자료는 참고문헌[32]에 명시되어 있으며 그 중 가장 진보된 모델들을 가져온 것이다. 본 논문에서는 속도와 mAP를 모두 비교 분석한 결과 성능이 제안하는 시스템에 가장 적합한 YOLOv3-320을 사용한다. COCO dataset에 송전탑 클래스가 없으므로 본 논문에서 YOLO의 송전탑 이미지 학습은 구글 이미지 검색 산출물들을 활용하여 수행한다. 또한 표 2는 YOLO를 학습한 epoch에 따른 가중치로 송전탑 객체가 존재하는 이미지를 테스트한 결과이다. 데이터 셋은 총 131개의 이미지 파일로

구성되어 있으며 9:1 비율로 트레이닝 셋과 테스트 셋으로 나누었다. 모델의 실제 검증을 위하여 테스트 셋으로만 비교 분석하였으며, 13개의 파일 중 9개 파일만 명시하였다. 이때 객체 인식의 평균 런타임은 0.34초다.

표 2에서 N weight는 epoch을 N번으로 설정한 후의 가중치 값으로 테스트한 것이다. Percentage, N, RN은 각각 객체 인식 정확도, 감지된 객체 수, 실제 객체 수이다. 데이터 셋이 부족하여 매우 정확한 정확도가 산출되지 않았지만, 1500 epoch에서 사용할 수 있을 만한 정확도가 산출되었다.

2. 파노라마 영상 스티칭 실험

그림 10은 송전탑 사이 이미지를 5분할 한 것으로 각 영상 간 겹치는 영역이 존재한다. 분할된 이미지로 파노라마 영상 스티칭 기법을 실험해본 결과, 배경이 하늘과 같은 특징이 거의 없는 환경에서도 파노라마 영상 스티칭 기술이 잘 적용된 것을 확인할 수 있다. 파노라마 영상 스티칭 및 후처리 런타임은 평균 2.5초가 소요된다.

표 1. COCO 데이터셋을 사용한 모델 성능 비교
Table 1. Model performance comparison using COCO dataset

Model	Train	mAP (Mean average precision)	FPS (Frame per Second)
SSD500	COCO trainval	46.5	19
YOLOv2 608x608	COCO trainval	48.1	40
Retinanet-101-800	COCO trainval	57.5	5
YOLOv3-320	COCO trainval	51.5	45

표 2. 커스텀 데이터 셋을 이용한 epoch 별 송전탑 감지 성능 비교
Table 2. Comparison of detection performance of transmission tower by epoch using custom dataset

File name	1000 weight			1500 weight		
	Percentage	N	RN	Percentage	N	RN
0.jpg	-nan	0	2	-nan	0	2
1.jpg	-nan	0	2	40, 32%	2	2
2.jpg	43%	1	1	42%	1	1
3.jpg	-nan	0	3+	-nan	0	3+
4.jpg	82, 94%	2	2+	95, 33%	2	2+
5.jpg	90, 82%	2	2	85, 36%	2	2
6.jpg	43, 86%	2	2+	96, 97%	2	2+
7.jpg	-nan	0	1	52%	1	1
8.jpg	36, 35%	2	1	81%	1	1

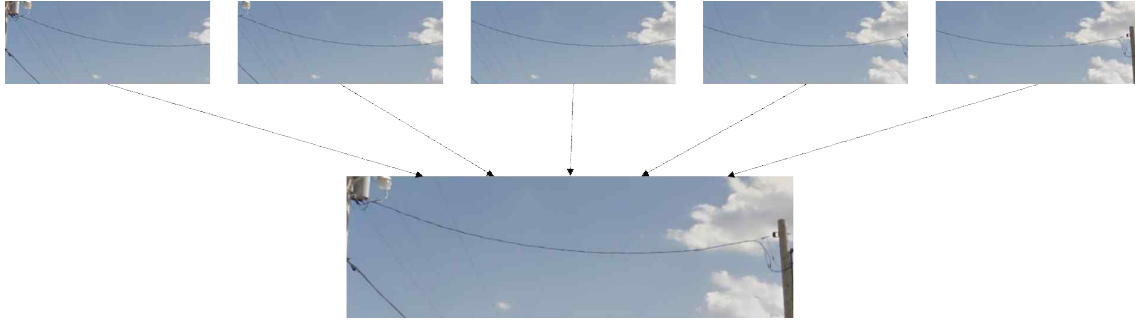


그림 10. 이동차량을 통한 송전선 영상 캡처 후 파노라마 영상 스티칭 실험 결과
Fig. 10. Experimental result of panorama video stitching

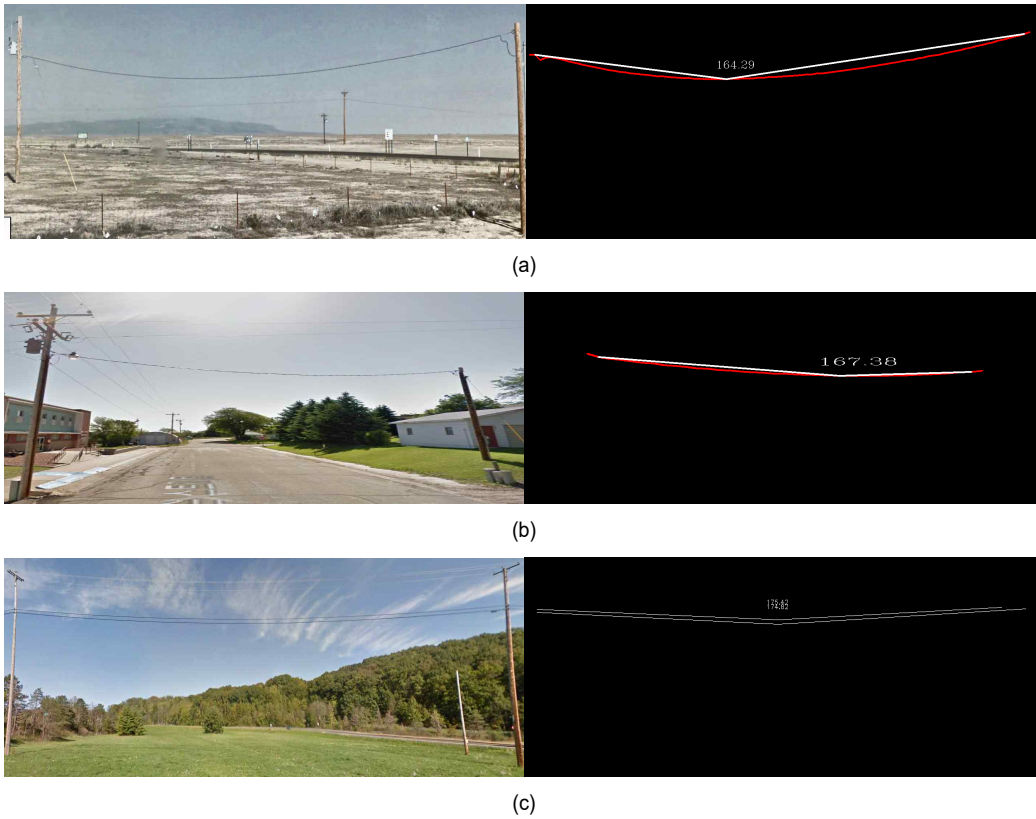


그림 11. 딥 러닝과 컴퓨터 비전 기술을 이용한 송전선 늘어짐 모니터링 시스템 실험 결과 (a), (b) 송전선이 1 줄일 경우 실험 (c) 송전선이 2줄일 경우 실험
Fig. 11. Experimental results of power line deflect monitoring system using deep running and computer vision technology (a), (b) Experimental result with 1 power line (c) Experimental result with 2 power lines

3. 송전선 검출 실험

본 논문에서 설명 및 실험한 과정들을 모두 진행하였을 때 그림 11과 같은 실험 결과를 얻을 수 있다. 사용한 데이

터 셋은 구글 스트리트뷰에서 직접 캡처하여 제작한 데이터 셋으로 총 13장을 테스트하였다. 본 논문에서 시스템의 자동화를 위하여 이미지의 중간지점에서부터 아래로 내려 오면서 임의의 임계 값으로 지정한 검은색 픽셀을 찾고, 송전

선 검출 알고리즘을 시작한다. 검출 종료 후, 각도를 계산하면 그림 11의 (a), (b) 와 같이 각도를 얻을 수 있으며, 그림 11의 (c) 와 같이 여러 개의 송전선을 동시에 검출 할 수 있다. 송전선 검출 알고리즘 런타임은 입력 영상의 크기 및 송전선의 개수에 따라 다르지만, 실험환경에서 7~16초 정도 소요된다.

V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 이동하는 차량 및 드론 등에 탑재된 카메라 시스템을 통하여 송전탑을 딥 러닝으로 인식하고, 영상을 촬영한다. 또한 파노라마 영상 스티칭의 효율을 높이기 위하여 사용하는 카메라 시스템에 탑재되어있는 속도 측정 센서에서 취득한 속도 데이터를 사용한다. 그리고 이미지 간의 공통 특징점을 추출하여 파노라마 이미지를 만들어서 하나의 카메라로 얻을 수 있는 정보의 한계를 극복하고, 제안하는 방법을 이용하여 송전선을 추출 및 늘어짐 진단을 할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 송전선 늘어짐 감지 시스템은 값 비싼 장비를 사용하지 않고, 컴퓨터 비전 기술을 사용하여, 무수히 많은 송전선의 유지보수에 소요되는 인력, 비용 낭비를 줄일 수 있다. 그러나 현재 송전선의 늘어짐 여부 관련한 데이터 셋을 구하는데 한계가 있으므로, 추후에 더 많은 데이터 셋들이 공개가 된다면, 본 논문의 연구를 통하여 더 효과적인 송전선 유지보수 시스템에 관한 연구가 이루어질 것이다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] H. T. Lim and S. Kim, "The Socio-technical Constituency behind New & Renewable Energy Technology Development in a Latecomer: The Case study of New & Renewable Technology Program of Korea," *Journal of Energy Engineering*, Vol.20, No.4, pp.267-277, 2011
- [2] S. Y. Hyun, M. H. Choi, S. H. Bae, and J. S. Ryoo, "A study on the Interconnect Protection of Distributed Generators between Distribution System," *The Korean Institute of Electrical Engineers (KIEE)* pp.551-552, 2015.
- [3] No. 86 (2016) Korea Electric Power Statistics, Korea Electric Power Corporation, 100-101, 2017
- [4] E. S. Cho and K. Kim, "The power line tracking system using image processing algorithm," *Institute of Control, Robotics and Systems*, pp.739-744, 2011.
- [5] A. K. Jardine, D. Lin and D. Banjevic, "A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance," *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.20, No.7, pp.1483-1510, 2006
- [6] S. Kim and S. Lee, "Deep Learning in Mechanical Engineering," *The Korean Society of Mechanical Engineers*, pp.103-104, 2017.
- [7] B. A. Paya, I. I. Esat, and M. N. M. Badi, "ARTIFICIAL NEURAL NETWORK BASED FAULT DIAGNOSTICS OF ROTATING MACHINERY USING WAVELET TRANSFORMS AS A PREPROCESSOR," *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.11, No.5, pp. 751-765, 1997.
- [8] T. M. Khoshgoftaar and D. L. Lanning, "A Neural Network Approach for Early Detection of Program Modules Having High Risk in the Maintenance Phase," *Journal of Systems and Software*, Vol.29, pp.85-91, 1995.
- [9] E. Park, S. Kim, J. Jeong and E-S Ryu, "Overview of AI-based Fault Detection and Diagnostics," *The Korean Institute of Broadcast and Media Engineers*, pp.235-237, 2018
- [10] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp.779-788, 2016
- [11] D. Kim and J. Choi, "View Interpolation Algorithm, for Continuously Changing Viewpoints in the Multi-panorama Based Navigation," *IEIE Journal (SP)*, Vol.40, pp.141-148, 2003
- [12] S. Kim, K. Kim and W. Woo, "Multiple Camera Calibration for Panoramic 3D Virtual Environment," *IEIE Journal (CI)*, Vol.41, pp.137-148, 2004
- [13] C. Xie, X. Zhang, H. Yang, and Z. Gao, "Video Stitching Based on Optical Flow," *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pp.1-5, 2018
- [14] M. T. Ibrahim, R. Hafiz, M. M. Khan, Y. Cho and J. Cha, "Automatic Reference Selection for Parametric Color Correction Schemes for Panoramic Video Stitching," *Advances in Visual Computing. ISVC*, Vol.7431, pp.492-501, 2012
- [15] H. Guo, S. Liu, T. He, S. Zhu, B. Zeng and M. Gabbouj, "Joint Video Stitching and Stabilization From Moving Cameras," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.25, 5491-5503, 2016
- [16] E. Saban, I. Mostafa, K. Ayman and R. Mahmoud, "Improved optimal seam selection blending for fast video stitching of videos captured from freely moving devices," *Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP*, pp.1481-1484, 2011
- [17] W. Xu, "Panoramic Video Stitching," PhD thesis, University of Colorado, Boulder Boulder, 1-1-2012.
- [18] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *International Journal of Computer Vision*, Vol.60, pp.91-110, 2004
- [19] H. Bay, T. Tuytelaars and L. V. Gool, "SURF: Speeded Up Robust Features. Computer Vision and Image Understanding," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.110, pp.346-359, 2008

- [20] Y-T. Kim, "Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.43, pp.1-8, 1997
- [21] S. Chen and A. R. Ramli, "Contrast Enhancement using Recursive Mean-Separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.49, pp.1301-1309, 2003
- [22] Y. Wang, Q. Chen and B. M. Zhang, "Image Enhancement based on Equal Area Dualistic sub-Image Histogram Equalization Method," IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol.45, pp.68-75, 1999
- [23] K. S. Sim, C. P. Tso and Y. Y. Tan, "Recursive sub-image histogram equalization applied to gray scale images," Pattern Recognition Letters, Vol.28, pp.1209-1221, 2007
- [24] R. C. Gonzalez and P. Wintz, "Digital Image Processing," Addison-Wesley Publishing Company 2009.
- [25] J. Y. Kim, L. S. Kim and S. H. Hwang, "An Advanced Contrast Enhancement using Partially Overlapped Sub-Block Histogram Equalization," IEEE Circuits and Systems for Video Technology, Vol.11, pp.475-484, 2001
- [26] K. Zuiderveld, "Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. Graphics Gems IV," Academic Press Professional, Inc., pp.474-485, 1994
- [27] C. H. Park, K. Choi and I. Lee, "Lane Extraction through UAV Mapping and Its Accuracy Assessment," Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol.34, pp.11-19, 2016
- [28] J. S. Lee, H. S. Kim and J. B. Park, "Multi-lane Detection and Driving Lane Information Extraction Algorithm Using Inverse Perspective Mapping," The Korean Institute of Electrical Engineers (KIEE), pp.257-258, 2016
- [29] S. H. Park and Y. G. Kim, "A Study of Detecting Curved Lane by Hough Transform for Autonomous Driving," Korean Institute of Information Scientists and Engineers, pp.2104-2106, 2017
- [30] J. M. Choi and C. Kim, "Interval Hough Transform for Prominent Line Detection" Journal of Korea Multimedia Society, Vol.16, pp.1288-1296, 2013
- [31] W. G. Jeon and B. G. Choi, "A Study on the Automatic Detection of Railroad Power Lines Using LiDAR Data and RANSAC Algorithm," Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol.31, pp.331-339, 2013
- [32] YOLO: Real-Time Object Detection. <https://pjreddie.com/darknet/yolo/> (accessed Mar. 31, 2019).
- [33] Y. H. Lee, J. H. Park and Y. Kim, "Comparative Analysis of the Performance of SIFT and SURF," Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol.12, pp.59-63, 2013
- [34] M. Brown and D. G. Lowe, "Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features," International Journal of Computer Vision, Vol.74, pp.59-73, 2007
- [35] R. Shaoqing, H. Kaiming, G. Ross and S. Jian, "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks", Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS), Vol. 28, 2015
- [36] VaFRIC (Variable Frame-Rate Imperial College) Dataset, <https://www.doc.ic.ac.uk/~ahanda/VaFRIC/index.html> (accessed Jul. 1, 2019)

저 자 소 개



박 은 수

- 2013년 3월 : 가천대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2019년 9월 : 가천대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2019년 9월 ~ 현재 : 성균관대학교 컴퓨터교육과 석사
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2474-3776>
- 주관심분야 : 멀티미디어 통신 및 시스템, 인공지능, 컴퓨터 비전



김 승 환

- 2014년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 컴퓨터공학과 학사
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-7018-5114>
- 주관심분야 : 멀티미디어 통신 및 시스템, 인공지능

저 자 소 개



이 상 순

- 1982년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
- 1986년 2월 : 인하대학교 전자계산학과 석사
- 2005년 2월 : 인천대학교 컴퓨터공학과 박사
- 1994년 2월 ~ 현재 : 가천대학교 컴퓨터공학과 부교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-6680-2637>
- 주관심분야 : 컴퓨터네트워크, 시스템소프트웨어, IOT



류 은 석

- 1999년 2월 : 고려대학교 컴퓨터학과 학사
- 2001년 2월 : 고려대학교 컴퓨터학과 석사
- 2008년 2월 : 고려대학교 컴퓨터학과 박사
- 2008년 3월 ~ 2008년 8월 : 고려대학교 연구교수
- 2008년 9월 ~ 2010년 12월 : 조지아공대 박사후과정
- 2011년 1월 ~ 2014년 2월 : InterDigital Labs Staff Engineer
- 2014년 3월 ~ 2015년 2월 : 삼성전자 수석연구원/파트장
- 2015년 3월 ~ 2019년 9월 : 가천대학교 컴퓨터공학과 조교수
- 2019년 9월 ~ 현재 : 성균관대학교 컴퓨터교육학과 조교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-4894-6105>
- 주관심분야 : 멀티미디어 통신 및 시스템, 비디오 코딩 및 국제 표준, HMD/VR 응용 분야