

산불 진압을 위한 딥러닝 기반 소화탄 투하지점 자동 추천 시스템 가능성 연구

신성균*¹, 김주연*², 장승수**¹, 이민재**², 한상수*³, 최찬호*⁴, 김성겸**³, 조우성**⁴, 이장희**⁵, 김승현***

A Feasibility Study on Deep Learning-based Automatic Extinguishing Bullet Dropping Point Recommendation for Wildfire Suppression

Sung Gyun Shin*¹, Joo Yeon Kim*², Seungsoo Jang**¹, Min-Jae Lee**², Sangsoo Han*³, Chan-Ho Choi*⁴, Sungkyum Kim**³, Woo-Sung Cho**⁴, Janghee Lee**⁵, and Song Hyun Kim***

본 연구는 과학기술정보통신부/산업통상자원부/국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 19DPIW-C153675-01).

요약

일반적으로 산불진화용 무인기는 사람의 원격 조종에 의해 운영되고 있으나, 산불의 특성상 다수 지점의 화재진압 및 통신이 원활하지 않는 산림환경에서는 활용이 어렵다. 이에 무인기를 이용하여 산불진압 임무를 수행하기 위해서는 진화지점의 자동 예측을 통한 무인기 완전 자동화가 필요하다. 본 연구에서는 딥러닝 기술 중 하나인 Semantic Segmentation 기술을 이용하여 소화탄 투하지점 예측 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법을 통하여 기계학습에 사용되지 않은 독립 데이터를 통한 화재 지점 국지화 및 소화탄 투하지점의 추천 평가를 수행하였으며, 90% 이상의 정확도로 소화탄 투하 필요 지점을 예측하였다. 본 연구에서 개발된 방법은 향후 무인기를 이용한 화재진압 완전 자동화를 위해 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

For suppression of wildfire, unmanned aerial vehicles (UAVs) have paid attention. Individual UAV for the fire suppression is generally controlled by human; however, it is difficult to utilize it for the environment including loss of communications as well as requiring large human resources for controlling multiple UAVs. This study aims at developing an automatic estimation system of release point for overcoming the operation problems of UAV in wildfire. For the automatic detection and localization of wildfire, semantic segmentation, which is one of the deep learning techniques, is used; the recommendation algorithm of the release point is proposed using the localization information. After conducting the machine learning, the accuracy on the proposed release point was estimated over 90%, which agrees well with the location proposal of human. It is expected that the algorithm proposed in this study can be utilized for developing fully-automatic system of fire suppression with UAV.

Keywords

drone, forest fire, semantic segmentation, UAV, automatic estimation of release point, deep learning

* 한국전력국제원자력대학원대학교 에너지정책학과

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-4431-412X>

- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0002-7667-4816>

- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0002-4767-8076>

- ORCID⁴: <https://orcid.org/0000-0002-2696-0224>

** 포항공과대학교 첨단원자력공학부

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-6371-8269>

- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0001-7977-6810>

- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0002-5452-8754>

- ORCID⁴: <https://orcid.org/0000-0003-0695-0376>

- ORCID⁵: <https://orcid.org/0000-0001-8229-0029>

*** 한국전력국제원자력대학원대학교 에너지정책학과 조교수 (교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0305-3266>

• Received: Dec. 31, 2020, Revised: Mar. 24, 2021, Accepted: Mar. 27, 2021

• Corresponding Author: Song Hyun Kim

Department of Energy Policy and Engineering, KINGS

658-91 Haemaji-ro, Ulju-gun, Ulsan 45014, Korea

Tel.: +82-52-712-7367, Email: kimsh@kings.ac.kr

I. 서 론

전 국토의 70%가 산림지역으로 구성된 우리나라는 1990년대 이후 산불발생빈도가 지속적으로 증가하고 있으며 그 규모 또한 대형화되고 있다. 산불재난이 발생하면 바람 등과 같은 기상악화 요인과 동반하고, 대형화 된 산불의 경우 연기 등으로 인해 시야 확보가 어려워 소방용 헬기 투입이 불명확해진다. 이에 따라 주로 인력을 투입하여 산불을 진화하고 있으나, 비효율적이며 진화에 어려움이 있다.

산불피해는 산림자원 훼손의 직접적인 문제 외에도 산림 인접시설인 문화재, 가옥 등의 파괴, 최악의 경우 인명피해를 야기한다. 결국 이러한 문제는 국가자원에 대한 사회적, 경제적 손실을 야기하며, 국민의 산불재난에 대한 경각심, 위협을 증대시켜 삶의 질을 저하시키는 요인이 된다. 게다가, 최근 산불재난은 다양화, 대형화, 복잡화 추세로 적극적인 재난방재기술로서의 산불감시 및 진압기술의 개발 필요성이 점차 증가하고 있다.

산불재난은 초기 진화 여부에 따라 그 피해 규모가 결정되므로, 초기진압을 위해서는 최적의 소화약제 투하 지점을 결정하는 것이 중요한 문제이다. 그러나, 산림이라는 환경의 특수성으로 인해 사람 중심의 진화활동으로는 초기진압을 위한 최적 소화제 투입 의사결정은 사실상 불가능하다. 산불진압을 위한 화재감지 혹은 최적 소화제 투입지점 결정 등과 관련한 기술개발동향을 살펴보면, 영상접합기술(Image matching)[1], 헬리캠 영상 GIS 기반 기술[2] 등이 보고되고 있으나, 산불탐지의 수준에만 머무르고 있다. 최근에는 드론 등 무인기를 활용한 산불감시기술의 개발이 보고되고 있으며, 이는 무인기에 다중 센서를 탑재하는 방식으로 다중 센서 데이터를 관리할 수 있는 통합경보 시스템과 연동이 필수적이다[3].

현재 드론을 활용하여 소방용 헬기 투입이 어려운 야간산불감시, 최적의 소화제 투입 지점 의사결정 등의 연구에 일부 가시적인 성과를 거두고 있으며, 이에 따라 산불재난 대응을 위한 드론 수요가 증가하고 있다. 국내 소방 드론 관련 기술개발은 화재진압에만 편중되어 있으며, 특히 소화제 발포 및 발사기술에 집중되어 있다.

최근 들어 화재 대응을 위한 화재의 인지 및 국지화를 위한 연구가 다수 진행되고 있다. 특히 주목할 점은 딥러닝 기술을 적용하여 영상 내 화재지점의 국지화 성능 및 정확성이 상당히 향상되고 있다는 점이다. Dengyi Zhang 외 6인은 영상기반 산불탐지를 위해 인공신경망 기반 탐지 방법을 제안하였다[4]. 또한 Moulay A. Akhloufi 외 2인은 딥러닝 기반 Segmentation 기술을 활용하여 산불을 국지화할 수 있는 방법을 제안하였다[5]. 최근에는 높은 수준의 정확성을 보이는 Segmentation 구조인 DeepLabv3+를 활용한 화재지점 국지화 연구도 수행되었다[6]. 이러한 연구 결과에도 불구하고 아직까지 명확하게 산림지역에서 화재 발생 시 최적 소화탄 투입지점 결정기술에 대하여 명확한 해결책이 제시되지 않고 있다.

현재 딥러닝 등을 적용한 드론 영상분석에서 무인기 스스로 조종과 항행을 담당하는 자율기능까지 인공지능 기술 적용범위가 확대되고 있다. 특히 산불의 진화에 있어 인공지능이 화재 지점을 스스로 파악하고 소화탄 투하 위치를 판단할 수 있다면, 통신이 불가능한 환경 등에서도 드론 인공지능의 자체판단을 통한 탐지 및 화재 진압이 가능할 것이다. 이에 본 연구에서는 딥러닝 기반 산불 영상 이미지 처리를 통한 화재 지점 국지화 및 소화탄 투하지점 추천 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 딥러닝 기반 Semantic Segmentation 방법을 적용하여 화재의 핵심 지역에 소화탄 투하 위치를 추천하는 알고리즘에 관한 것이다. 이를 위해 기존 Semantic Segmentation 신경망 중 하나를 선정하고 거시적 관점에서의 화재지점에 대한 기계학습을 수행하였다. 학습된 신경망 및 제안된 알고리즘을 이용하여 화재의 핵심지점에 소화탄 위치가 적절하게 추천되는지를 분석함으로써 해당 알고리즘의 적용 가능성을 논의하였다.

II. 소화탄 투하위치 추천 알고리즘

본 논문에서는 영상정보만으로 소화탄 투하위치를 스스로 결정할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다. 이를 위해 화재지점을 픽셀 단위로 국지화할 수 있는 Semantic Segmentation 기술을 분석하고, 화재

지역의 국지화 적용 가능성을 분석하였다. 이를 토대로 본 논문에서는 화재지점 소화탄 투하지점 추천 알고리즘을 제안하였다.

2.1 Semantic Segmentation 기술 및 특성 분석

Semantic Segmentation은 컴퓨터비전 분야에서 핵심적인 연구분야 중에 하나이며, 단순한 사진 분류에 그치지 않고 픽셀 단위로 객체를 구별하는 기술이다. 자율주행, 선박인식, 구역인식 등 적용분야가 매우 다양하며, 깊은 신경망(CNN, Convolution Neural Network)을 적용함과 동시에 급격한 발전이 이루어지고 있다.

최근 개발되고 있는 Semantic Segmentation은 Downsampling & Upsampling의 형태를 통해 위의 문제를 해결하고 있다. 또한 2014년 Long et al.에 의해 제안된 FCN(Fully Convolutional Network)를 [7] 활용하는 것이 최근 추세이다. FCN가 나온 후 Fully Connected layer가 없는 CNN이 다수 활용되고 있다. 특히, 이를 통해 다양한 크기의 이미지로도

Segmentation Map을 만들 수 있게 되었으며, 당시 SOTA(State Of The Art)였던 Patch Classification보다 빠른 결과를 도출하였다. 2015년 Ronneberger et al.은 U-Net[8]을 제안하였으며, 기본적인 Downsampling & Upsampling 구조에 Expanding Path 등을 사용하여 세밀한 국지화(Localization)을 달성하였다. PSPNet [9] 및 DeepLab[10][11]은 Atrous Convolution을 사용하여 기존의 방법과 비슷한 연산량을 유지하면서 수용영역(receptive field)을 키움으로써 정확성이나 효율을 향상시켰다.

상기 언급된 딥러닝 기반의 Semantic Segmentation 기술은 기존 비전 기반의 방식과 비교하여 정확성 및 효율성이 상당히 향상되었으며 최근에도 정확성이 향상된 알고리즘이 다수 보고되고 있다[12][13]. 이러한 진보된 Semantic Segmentation 기술들을 기반으로 자율주행 등의 다양한 분야에서의 활용이 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 위에서 언급된 딥러닝 기반의 Semantic Segmentation에서 활용 가능한 화재지점 국지화 및 소화탄 투적위치 추천 알고리즘을 제안하였다.

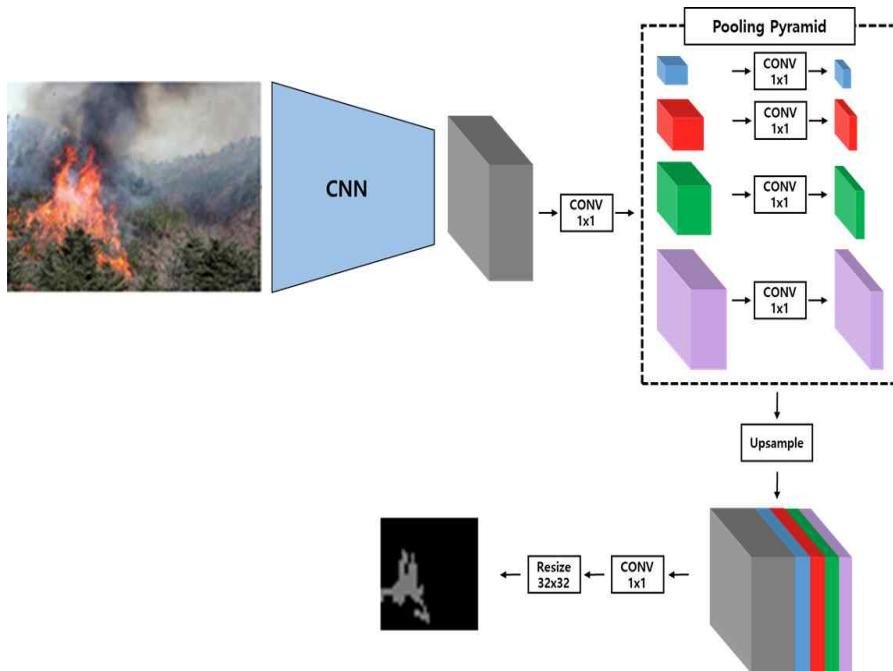


그림 1. 산불 인식에 선정된 PSPNet 신경망 구조
 Fig. 1. PSPNet architecture for fire detection and localization

2.2 화재지점 국지화 딥러닝 활용 전략

이미지 내에서 특정 객체의 위치 및 크기를 정량화 하는 방법은 크게 Object Detection[14][15] 및 Semantic Segmentation 방법이 있다. 산불과 같은 화재 이미지의 경우 객체의 형상과 촬영된 화재 범위가 다양함으로 Object Detection 기술로 화재지점을 인식하는 것은 어렵다. 이에 본 연구에서는 Semantic Segmentation 방법 중 하나를 선정하여 거시적인 형태로서의 산불 지역을 국지화하는 기계학습 방법을 활용하였다.

산불 국지화를 위해 전체 이미지를 32×32 구역으로 나누고 각 구역의 격자 내에 화재지역이 존재하는지를 판단하기 위해 딥러닝 기술을 활용하였다. 최근 발표된 Semantic Segmentation 신경망 중 하나를 선정하였다. 먼저 다양한 Semantic Segmentation 방법 중 PSPNet(Pyramid Scene Parsing Network) [6]을 선정하였다. PSPNet은 Pyramid Pooling Module을 도입하여 기존의 Semantic Segmentation 모델이 가지고 있는 지역적 특징 정보만을 가지고 Segmentation 수행 시 발생하는 문제를 개선한 모델이다. 입력 이미지로부터 특성지도(Feature map)을 추출하고, 이로부터 얻어진 특성지도에서 1, 2, 4, 6의 4가지의 global pooling을 한다. 이후, 네 가지 특성지도를 1x1 Convolution을 적용하여 채널을 조정 한 후 각각의 특성지도의 크기를 이중선형보간법(Bilinear interpolation)을 이용하여 입력 크기로 만들어준다. 마지막으로, 특성지도들을 Concatenate하고 1x1 Convolution을 거쳐 픽셀 단위의 분류를 수행한다.

본 연구는 소화탄 투하지점 위치를 추천하는 것이 목적이며 실제 영상에서 픽셀 단위의 산불지역 국지화가 필요하지 않다. 이에 기존 PSPNet에서는 입력 이미지와 동일한 크기의 정답 라벨을 사용하여 신경망을 학습하였지만, 픽셀 단위의 화재지역 라벨 데이터가 아닌 32×32의 정답 라벨 데이터를 신경망 교육에 사용하였다.

2.3 소화탄 투하지점 추천 알고리즘

2.2절에서의 산불 인식 알고리즘은 이미지를 입력 시 32×32로 나누어진 개별 구역의 산불유무가 판

단된다. 하지만, 모양과 크기가 다양한 산불의 특성 상 다양한 구역에서 화재가 탐지될 가능성이 높다. 이에 영상내에서 화재의 핵심 지역을 선정하고 해당 지역에 소화탄을 투하하는 것이 드론을 활용한 화재진압에 효과적일 것이다.

이에 본 연구에서는 2.1의 신경망을 통해 탐지된 32×32 지역을 이용하여 최적 소화탄 투하지점을 선정하는 알고리즘을 제안하고자 한다. 소화탄 투하 최적위치는 다음과 같은 기본 원칙에 의거하여 개발하였다.

- 선정된 투하 지점은 산불 지점임
- 투하 지점에 다수 산불이 존재 시 진압에 유리
- 산불 발생 지점이 멀수록 소화탄 투하 지양

다수의 소화탄 투하위치 선정 테스트를 통해 다음과 같은 투하 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘은 그림 2와 같으며, 초기 이미지를 32×32 구역으로 나누어진 상태에서 소화탄 투하지점 추천 점수를 계산한다. 2.1의 신경망을 통해 평가된 32×32 구역 중 화재가 탐지된 구역은 1, 탐지되지 않은 구역은 0으로 계산된다. 이를 이용하여 각 구역별 추천점수는 화재유무가 평가된 32×32 구역을 입력값으로 하고, zero-padding을 필터영역 R로 설정한다. 필터 영역이 넓을수록 산불이 좁게 인식된 지역보다 넓게 인식된 지역을 추천할 가능성이 높아진다.

```

Resized_segmentation ← Resize segmentation image (NxN)
Fire_points ← Resized_segementation에서 화재지역 좌표
N_points ← length of Fire_points
R ← Filter Region

For i =1 to N_points
    fire_point = Fire_points[i]
    recommendations[fire_point] +=1

    For j =1 to R
        if (j <= 2) score = 1.0
        else score = 0.5
        recommendations[fire_point-j : fire_point+j+1] += score

Recommed_point ← Max_point(recommendations)
    
```

그림 2. 소화탄 투하 위치 추천을 위한 알고리즘 개요
Fig. 2. Algorithm for proposal of release point

산불로 인식된 픽셀을 중심으로 그림 3의 예시와 같이 필터값으로 추천점수가 더해지고 최대 추천점수를 가지는 지점을 소화탄 투하 위치로 최종 선정한다.

그림 3 상단의 붉은 지점은 Semantic Segmentation 방법을 통해 화재로 국지화된 지점이며, 화재지점 탐지 유무에 따라 1, 0의 값을 가진다. 이를 제안된 필터를 통하여 계산하면 그림 3 하단의 값이 각 구역별로 계산되고, 이 중 최대가 되는 지점 중 하나를 무작위 선정하여 소화탄 투하 위치로 제안한다.

III. 평가 및 검증

3.1 화재지점 국지화 평가

소화탄 투하지점 추천 알고리즘을 테스트하기 위하여 선정된 신경망의 학습을 수행하였다. 화재지점 국지화를 위한 인공신경망 학습을 위하여 이미지 사이즈는 256×256으로 설정하였으며, 출력 이미지 사이즈는 32×32로 설정하였다. Backbone Network는 ResNet-101이며 Adam Optimizer를 사용하였다. Learning Rate Scheduler는 Exponential Decay를 선정하였으며 초기 학습률은 1×10^{-3} , Training Step은 50,000, Decay Rate은 0.9로 설정하였다.

학습을 위한 데이터는 560장, 테스트는 175장의 Annotation 이미지를 이용하였다. 본 연구에서는 소화탄 투하지점 추천 알고리즘과 연동을 위해, 이미지를 32×32 구역으로 나누어 화재 유무를 빠르게 표시할 수 있도록 Annotation 하였다. 해당 데이터 생산은 화재지점을 국지화하여 소화탄 투하 위치를 추천하는 알고리즘의 검증을 위해 사용됨으로써, Smoke 구역을 제외한 Flame 지역만을 사람이 직접 판단해 Annotation을 각 데이터에 대하여 수행하였다.

기계학습 이후 총 175장의 학습에 사용되지 않은 데이터를 이용하여 탐지 정확성을 평가하였고 탐지 결과는 그림 5에 나타내었다. 테스트 데이터를 통한 평가 결과에서 보듯이 화재 지점을 대체적으로 잘 국지화하고 있으나, 그림 5의 두 번째 그림과 같이 (흰색 사각형) 화재지점이 국지화 실패 사례도 존재하였다.

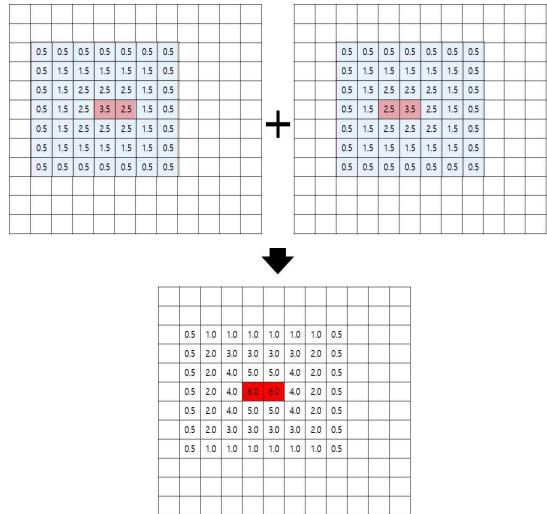


그림 3. 소화탄 투하위치 추천점수 방법 예시
Fig. 3. Algorithm for proposal of release point



그림 4. 화재지역 Annotation
Fig. 4. Annotation for detecting fire region

다양한 독립 데이터를 통해 산불 위치의 평가 결과는 사람이 Annotation한 결과와 비교하여 94% 이상의 정확도를 달성하였으며, 소화탄 투하지점 추정 알고리즘의 가능성을 평가할 수 있는 수준의 학습된 신경망을 확보하였다.

3.2 소화탄 투하지점 추정

그림 5와 같이 32×32 사이즈로 탐지된 화재구역에서 2.3절에서 제안된 소화탄 투하지점 추천 알고리즘을 통해 소화탄 투하지점 추천위치를 평가하였다. 본 연구에서 제안된 소화탄 투하 위치 결정 알고리즘은 새롭게 개발된 방법으로 명확한 정확성 평가 기준이 존재하지 않는다.



그림 5. 산불 국지화 평가 결과
Fig. 5. Result of semantic segmentation on fire region

이에 다음과 같은 평가 절차를 수립하였다. 1) 딥러닝 학습에 사용되지 않은 100개의 화재 이미지를 선정한다. 2) 선정된 이미지를 본 논문에서 제안된 알고리즘을 통해 소화탄 투하 위치를 평가한다. 3) 평가 결과를 토대로 화재지점 투하 여부 및 중심점 투하 여부를 사람이 직접 카운트한다. 4) 3의 기준에 부합하는 여부에 따라 성공/실패를 개별 기록한다. 100 개의 이미지에 대해 소화탄 투하 위치의 평가를 수행하였으며, 결과는 그림 6에 나타내었다.

주어진 정확성 평가 절차에 의거하여 90% 이상의 정확성으로 화재 핵심 위치에 소화탄 투하 위치를 추천하는 것으로 확인되었다. 이는 본 연구의 추가연구를 통해 향후 정확성이 충분히 확보될 경우, 인공지능 기술이 스스로 화재 인지와 더불어 소화탄 투하 위치를 자동으로 결정할 수 있는 핵심기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

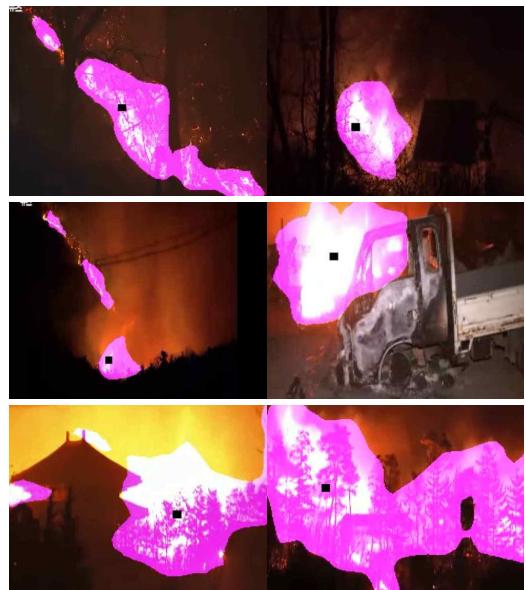


그림 6. 소화탄 투하위치 추천 결과
Fig. 6. Result of proposal on release point of grenade

IV. 결 론

본 연구에서는 산림지역 등에 드론을 이용한 화재 진압을 위한 소화탄 투하지점 추천 자동화 시스템을 제안하였다. 먼저 딥러닝 기반 Semantic Segmentation 기술 중 하나인 PSPNet을 선정하고 이미지를 32×32 로 분할한 구역에서 각 구역의 산불을 탐지할 수 있도록 출력층을 수정하였다. 또한, Semantic Segmentation을 통해 국지화된 산불 탐지 결과로부터 소화탄 투하 위치를 추천할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방식을 토대로 총 560장의 이미지를 이용하여 기계학습을 수행하였으며, 175장의 교육에 사용되지 않은 결과로 탐지 가능성을 평가하였다. 이를 통해 소화탄 투하지점 추천 알고리즘 성능 확인을 위한 화재지역의 국지화 테스트용 샘플데이터를 확보하였다. 학습된 신경망을 통해 100장의 데이터에 대하여 소화탄 투하위치 추천 결과를 분석하였으며, 90% 이상의 정확성으로 핵심 지역에 소화탄 투하 위치를 추천하는 것으로 평가되었다.

제안된 방법은 기존 다양한 Semantic Segmentation 방법을 변형 없이 추가적인 컨볼루션 필터만을 추가하여 소화탄 투하위치를 추천하는 방법으로 다양한 기존 신경망에 적용이 가능하다. 따라서, 향후 최적 신경망의 선정, 충분한 데이터 확보, 알고리즘의 정확성 및 탐지효율 최적화, 드론 대응고도 최적화를 통해 제안된 알고리즘이 드론 등에 탑재된다면, 완전 자율화된 산불 진화 드론의 개발에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 연기 등으로 인한 산불 중심으로의 소화탄 투하지점 추정 실패의 가능성도 상존하는 바, 향후 열화상 카메라 등의 추가 도입을 통한 투하지점 추정 알고리즘을 보완할 계획이다.

References

- [1] S. H. Lee, B. J. Shin, B. D. Song, S. J. An, J. D. Kim, and H. J. Lee, "Wild Fire Monitoring System using the Image Matching", Journal of the Korea Contents Association, Vol. 13, No. 6, pp. 40-47, Jun. 2013. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2013.13.06.040>
- [2] Gyo-Choun Kim, "A study on developing forest fire site real time monitoring system using helicam image GIS", Kyungil University, Doctoral Thesis, 2013.
- [3] Won-Jae Shin and Yong-Tae Lee, "Design and Implementation of Local Forest Fire Monitoring and Situational Response Platform Using UAV with Multi-Sensor", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol. 10, No. 6, pp. 626-632, Dec. 2017. <https://doi.org/10.17661/jkiect.2017.10.6.626>
- [4] Dengyi Zhang, Shizhong Han, Jianhui Zhao, Zhong Zhang, Chengzhang Qu, Youwang Ke, and Xiang Chen, "Image Based Forest Fire Detection Using Dynamic Characteristics with Artificial Neural Networks", 2009 International Joint Conference on Artificial Intelligence, Hainan, China, pp. 290-293, Apr. 2009. <https://doi.org/10.1109/JCAI.2009.79>,
- [5] Moulay A. Akhloufi, Roger Booto Tokime, and Hassan Elassady "Wildland fires detection and segmentation using deep learning", Proc. SPIE, Pattern Recognition and Tracking XXIX, Orlando, Florida, United States, Vol. 10649, Apr. 2018. <https://doi.org/10.1117/12.2304936>.
- [6] H. Harkat, J. Nascimento, and A. Bernardino, "Fire segmentation using a DeepLabv3+ architecture", Proc. SPIE 11533, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXVI, Vol. 11533, Sep. 2020. <https://doi.org/10.1117/12.2573902>.
- [7] Jonathan Long, Evan Shelhamer, and Trevor Darrell, "Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation", Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2015, arXiv:1411.4038v2 [cs.CV], Boston, Massachusetts, pp. 3431-3440, Mar. 2015.
- [8] Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, and Thomas

- Brox, "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation", MICCAI 2015, arXiv:1505.04597v1 [cs.CV], Munich, Germany, pp. 234-241, Oct. 2015.
- [9] Hengshuang Zhao, Jianping Shi, Xiaojuan Qi, Xiaogang Wang, and Jiaya Jia, "Pyramid Scene Parsing Network", CVPR 2017, arXiv:1612.01105v2 [cs.CV], Honolulu, Hawaii, pp. 2881-2890, Jul. 2017.
- [10] Liang-Chieh Chen, George Papandreou, Iasonas Kokkinos, Kevin Murphy, and Alan L. Yuille, "Semantic Image Segmentation with Deep Convolutional Nets and Fully Connected CRFs", arXiv:1412.7062v4 [cs.CV], Jun. 2016.
- [11] Liang-Chieh Chen, Yukun Zhu, George Papandreou, Florian Schroff, and Hartwig Adam. "Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation", ECCV 2018, arXiv:1802.02611v3 [cs.CV], Munich, Germany, pp. 801-818, Sep. 2018.
- [12] Andrew Tao, Karan Sapra, and Bryan Catanzaro, "Hierarchical Multi-scale Attention for Semantic Segmentation", arXiv:2005.10821v1 [cs.CV], 21 May 2020.
- [13] Barret Zoph., Golnaz Ghiasi, Ysung-Yi Lin, Yin Cui, Hanxiao Liu, Ekin D. Cubuk, and Quoc V. Le, "Rethinking Pre-training and Self-training", arXiv:2006.06882v2 [cs.CV], 15 Nov. 2020.
- [14] Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, and Ali Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection", CVPR 2016, arXiv:1506.02640v5 [cs.CV], Las Vegas, Nevada, pp. 779-788, Jun. 2016.
- [15] Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, and Jian Sun, "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks", arXiv:1506.01497v3 [cs.CV], Jan. 2016.

저자소개

신 성 균 (Sung Gyun Shin)



2012년 2월 : 경희대학교
원자력공학과(공학사)
2017년 2월 : 포항공과대학교
첨단원자력공학부(공학박사)
2021년 2월 ~ 현재 : 한국전력
국제원자력대학원대학교
산학협력단 선임연구원, 주식회사

시에라베이스 이사

관심분야 : 딥러닝, 자율주행 드론

김 주 연 (Joo Yeon Kim)



1992년 2월 : 한양대학교
원자력공학과(공학사)
1994년 2월 : 한양대학교
원자력공학과(공학석사)
2009년 2월 : 한양대학교
원자력공학과(공학박사)
2021년 2월 ~ 현재 : 한국전력

국제원자력대학원대학교 산학협력단 책임연구원,
주식회사 시에라베이스 이사

관심분야 : 방사선안전, 방사선융합기술

장 승 수 (Seungsoo Jang)



2016년 2월 : 경북대학교
물리학과(이학사)
2018년 2월 : 포항공과대학교
물리학과(이학석사)
2019년 9월 ~ 현재 : 포항공과
대학교 첨단원자력공학부
박사과정

관심분야 : 딥러닝, 컴퓨터 비전

이 민 재 (Min-Jae Lee)



2017년 2월 : 경희대학교
원자력공학과(공학사)
2019년 2월 : 경희대학교
원자력공학과(공학석사)
2019년 9월 ~ 현재 : 포항공과
대학교 첨단원자력공학부
박사과정

관심분야 : 딥러닝, 자율주행 드론

한 상 수 (Sangsoo Han)



2011년 2월 : 영남대학교
기계설계학과(공학사)
2020년 2월 : 포항공과대학교
첨단원자력공학부(공학박사)
2021년 3월 ~ 현재 : 한국전력
국제원자력대학원대학교
산학협력단 선임연구원, 주식회사

시에라베이스 이사

관심분야 : 딥러닝, 방사성폐기물

이 장 희 (Janghee Lee)



2020년 8월 : 경북대학교
수학과(이학사)
2020년 9월 ~ 현재 : 포항공과
대학교 첨단원자력공학부
석박통합과정
관심분야 : 딥러닝, 컴퓨터 비전

김 송 현 (Song Hyun Kim)



2008년 2월 : 한양대학교
원자력공학과(공학사)
2014년 2월 : 한양대학교
원자력공학과(공학박사)
2021년 2월 ~ 현재 : 한국전력
국제원자력대학원대학교
에너지정책학과 조교수, 주식회사

시에라베이스 대표이사

관심분야 : 딥러닝, 자율주행 드론

최 찬 호 (Chan-Ho Choi)



2010년 2월 : 경일대학교
경영학과(학사)
2021년 2월 ~ 현재 : 한국전력
국제원자력대학원대학교
산학협력단 연구원, 주식회사
시에라베이스 과장
관심분야 : 드론 자율 주행

김 성 겸 (Sungkyum Kim)



2012년 2월 : 경희대학교
원자력공학과(공학사)
2020년 2월 : 포항공과대학교
첨단원자력공학부(공학박사)
2020년 2월 ~ 현재 : 포항공과
대학교 첨단원자력공학부
박사후연구원, 주식회사

시에라베이스 선임연구원

관심분야 : 딥러닝, 이상 탐지

조 우 성 (Woo-Sung Cho)



2020년 4월 : 한국기술교육대학교
메카트로닉스공학부(공학사)
2021년 2월 ~ 현재 : 포항공과
대학교 첨단원자력공학부
석박통합과정
관심분야 : 딥러닝, 자율주행 드론