

합성곱 신경망을 이용한 이미지 기반 화재 감지 시스템의 구현

방상완*

Implementation of Image based Fire Detection System Using Convolution Neural Network

Sang-Wan Bang*

요 약

화재 재해를 예방하기 위해 조기 화재 탐지 기술의 필요성이 증대되고 있다. 화염 및 연기를 감지하기 위해 열, 연기 및 불꽃에 대한 센서 감지 장치가 널리 사용되고 있으나, 이 시스템은 센서 주변 환경의 요소에 따라 제한된다. 이 문제들을 해결하기 위해 다수의 이미지 기반 화재 탐지 시스템이 개발되고 있다. 본 논문에서는 카메라 입력 이미지로 부터 합성곱 신경망을 이용하여 연기 이미지와 불꽃 이미지에 대한 학습을 통해 특징 맵을 추출하고, 이를 사용하여 다른 입력 이미지를 연기와 불꽃으로 분류하는 이미지 기반 화재 감지 시스템을 구현하였다. 다양한 조건의 이미지를 대상으로 실험한 결과 연기와 불꽃으로 분류하는데 우수한 성능을 보여주었다.

ABSTRACT

The need for early fire detection technology is increasing in order to prevent fire disasters. Sensor device detection for heat, smoke and fire is widely used to detect flame and smoke, but this system is limited by the factors of the sensor environment. To solve these problems, many image-based fire detection systems are being developed. In this paper, we implemented a system to detect fire and smoke from camera input images using a convolution neural network. Through the implemented system using the convolution neural network, a feature map is generated for the smoke image and the fire image, and learning for classifying the smoke and fire is performed on the generated feature map. Experimental results on various images show excellent effects for classifying smoke and fire.

키워드

Artificial Intelligence, Fire Detection, Deep Learning, Convolution Neural Network
인공 지능, 화재 탐지, 딥 러닝, 합성곱 신경망

1. 서 론

화재로 인한 인적 피해와 물적 피해들이 발생하기 전에 화재 요소를 감지하고 진압하는 것은 재난을 예

방하고 인명과 재산을 구하는 데 중요한 역할을 한다.

이러한 화재로 인한 피해를 감소시키기 위해 건축

물 실내 환경에서는 열과 연기 감지 센서들이 광범위하게 설치되어 있지만, 일반적으로 다음과 같은 이

* 교신저자 : 송원대학교 컴퓨터정보학과
• 접 수 일 : 2017. 02. 13
• 수정완료일 : 2017. 04. 13
• 게재확정일 : 2017. 04. 24

• Received : Feb. 13, 2017, Revised : Apr. 13, 2017, Accepted : Apr. 24, 2017
• Corresponding Author : Sang-Wan Bang
Dept. of Computer Information, Songwon University,
E-mail : durinet@songwon.ac.kr

유로 인해 많은 양의 연기와 불이 일어난 후 정보가 늦게 울리는 경우와 울리지 않는 등의 오작동이 일어날 수 있다.

열, 연기 감지기의 감지 방법은 감지 센서에 열이나 연기가 유입되거나 흡입되어야 한다는 것이 단점이며, 이러한 단점 때문에 감지시간이 지연되며 실내의 용적이 큰 실내, 높은 천정 및 기류가 형성되는 장소에서 화재 감지가 적합하지 않다. 불꽃 감지기는 화염에서 발생하는 적외선, 자외선의 특정 파장을 검출하는 센서에 의해 감지하므로 열이나 연기의 유동에 따른 단점은 없지만, 불꽃이나 불티가 감지기의 투과 경로에서 벗어나는 경우 동작할 수 없으며 가격이 비싸다. 또한 이러한 장치들은 건축물, 숲, 야생 지역 등 대규모 실외 환경에 배치하여 감지확률을 높이기 위해서는 다량의 센서를 사용해야 하므로 실용적이지 못하다는 단점이 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 실내외 환경에서도 사용할 수 있는 이미지 기반의 화재 탐지 시스템이 다양한 이미지처리 기법을 사용하여 개발되어지고 있다.

기존의 이미지 기반 화재 감지를 위한 연구에서 제안된 방법들은 다음과 같이 화재 이미지가 다른 피사체와 비교하여 매우 특정한 특성을 갖고 있기 때문에 색상 모델, 동작, 공간 및 일시적인 특징들을 사용한 방법들을 주로 사용하였다.

화재의 특성 분석을 통하여 불의 형태학적 접근방법으로 불꽃 영역의 중심부터 불꽃 색상의 차이를 중심으로 그레이 색상모델로 변환하여 그 중심 원부분에 그 주변부에 비해 높은 대비를 보이거나, 불꽃 색상 변화를 가지는 영역들이 원형 모양으로 겹치는 경우 화재로 판단하였다[1]. 불꽃의 특성 중 화염은 시간에 따라 크기가 점점 커진다는 전제로 이를 이용한 연구에서는 화재는 붉은 빛 색깔을 갖고 있으므로 화재 영역에 대한 RGB/HSI 컬러 모델로 화재 영역을 검출하고, 그 영역에 대한 연속된 프레임의 차를 통해 화재 영역의 크기 변화를 검출하고 감지하였다[2]. 또 화염 퍼지필터를 이용하여 화재의심 영역을 검출하고 히스토그램 분석을 통해 동적 특성과 비교하여 화재를 감지하였다[3-4]. 배경과 입력된 두 컬러 이미지의 명도값 차를 이용하여 픽셀의 움직임 검출하고, 화재 컬러 픽셀 값을 세팅하여 그 값을 비교하여 화염 영역을 검출하는 하는 방법과 검출된 영역에 대한 시

간적 웨이블릿 분석과 공간적 웨이블릿 분석 또는 GMM(: Gaussian Mixed Model)을 통해 화재를 판별 하방법들이 있었다[5-7]. 이러한 방법들은 외부 요인에 의한 검출 오류와 불꽃과 연기를 명확히 구별하는 작업이 어려운 단점이 있다[8].

이러한 단점을 극복하기 위하여 본 연구에서는 딥러닝을 이용한 화재 감지 시스템을 구현하였다. 딥러닝은 현재 과적합(Overfitting)문제 해결, 빅데이터(Big Data)의 활용, GPU(: Graphic Processing Unit)를 이용한 하드웨어의 성능 향상으로 인공지능 분야에서 각광을 받고 있다. 특히 합성곱 신경망(Convolution Neural Network)은 이동 및 크기, 회전 등에 대해 내성을 갖기 때문에 이미지 데이터의 학습과 분류에 적합하다[9]. 본 논문에서는 불꽃과 연기같은 화재 이미지를 합성곱 신경망을 통하여 학습하고, 이를 감지하는 시스템을 구현하였다.

본 논문은 2장에서 합성곱 신경망에 대해 개략적으로 알아보고, 3장에서 시스템의 구현과 실험을, 4장에서 결론으로 구성하였다.

II. 합성곱 신경망

합성곱 신경망(Convolution Neural Network)은 동물의 시각 처리 과정을 모방하여 이미지 데이터의 처리에 적합한 구조로 만들어진 신경망으로, 1990년대에 LeCun이 gradient-based learning algorithm을 성공적으로 적용함으로써 현실 문제에 다양하게 사용되고 있다[10-11].

합성곱 신경망은 심층 신경망 중에서 다층 퍼셉트론의 한 종류이다. 퍼셉트론은 각 노드들의 가중치와 입력치가 곱해지고, 활성화 함수에 의해서 각 뉴런이 활성화되고 그 여부에 따라서 결과가 출력되는 선형 분류기이다.

합성곱 신경망은 기존의 일반적인 심층 신경망들과 각 노드의 형태가 2차원 필터와 같은 형태로 이루어져 있으며, 퍼셉트론에서는 노드들의 가중치가 단순히 곱해지는 형태이며 각각의 가중치가 입력치와 합성곱이 된다. 합성곱 신경망은 그림 1과 같이 합성곱 계층과 풀링 계층, 완전연결 계층으로 구성된다.

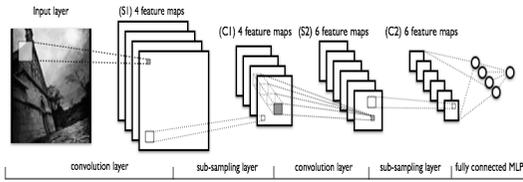


그림 1. 합성곱 신경망의 구조
Fig. 1 Structure of convolution neural network

합성곱 계층의 각각의 필터들이 입력 이미지에 합성곱이 되면서 여러 가지 특징 값들이 추출되고 풀링(pooling) 계층에서는 생성된 특징 맵을 서브 샘플링한다. 풀링 계층은 방식에 따라서 몇 가지 종류가 있다. 서브샘플링을 할 때 어떤 데이터를 남길지 정해야 하는데, 가장 큰 값을 남기는 최대값 풀링, 가장 작은 값을 남기는 최소값 풀링, 평균값으로 남기는 평균값 풀링 등이 있다. 특히 최대값 풀링(max pooling)은 그림 2와 같이 각 부분 영역에 대해 최대값을 가지므로써 최대값이 아닌 값은 제거하고 차원수를 줄여서 상위 계층에 대한 계산을 감소시키는 것으로, 합성곱 신경망에서 많이 사용하는 비선형(non-linear) 다운샘플링 기법이다.

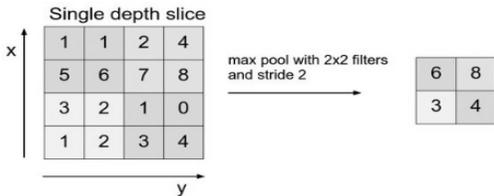


그림 2. 합성곱 신경망에서 최대값 풀링
Fig. 2 Max pooling in convolution neural network

합성곱 계층과 풀링 계층에서 특징 추출과 topology invariance를 얻기 위해 필터와 서브 샘플링을 거치며, 보통 이 과정을 여러 번을 반복적으로 수행하여 local feature로부터 global feature를 얻어낸다. 실질적인 분류는 완전연결 계층에서 이루어져 이미지 인식의 결과를 출력한다. 가장 마지막 계층은 분류하고자 하는 클래스의 수와 같은 출력을 가지며, 예측되는 클래스가 가장 높은 값을 가지게 된다.

분류 단계는 학습을 통해 다양한 경우에 적용할 수 있도록 해주는 것이 목표이며, 기존 신경망과 동일한 구조를 갖는다.

특징 벡터를 추출하는 완전연결 계층은 일반적인

인공신경망에서의 은닉층과 동일하며 합성곱 계층과 풀링 계층을 통해 추출된 지역적인 특성들을 모두 한 곳으로 모으는 역할을 하며 목적 함수에 따라 자유롭게 weight 파라미터를 변환시켜 성능을 끌어올릴 수 있다. 본 논문에서는 학습에 사용되는 활성화 함수를 기준에 많이 사용되던 시그모이드(Sigmoid) 함수 대신 ReLU를 사용하였다[12]. 그리고 화재 유무를 판단하는 부분은 교사 학습(supervised learning) 방법을 사용하였다. 화재 학습에 사용된 이미지 데이터는 연기와 불꽃 이미지를 입력하여 사용하였다. 학습이 진행됨에 따라 이 두가지(연기, 불꽃)를 분류하기 위해 연결강도가 조절된다.

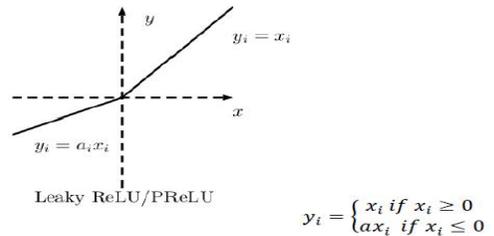


그림 3. ReLu: (Rectified Linear Unit)
Fig. 3 ReLu: (Rectified Linear Unit)

합성곱 신경망 처리 과정은 단순하게 분류기로 구성이 된 것이 아니라 특징을 추출하는 단계가 내부에 포함이 되어 있기 때문에, raw image에 대해 직접 operation이 가능하며, 기존 알고리즘과 달리 별도의 전처리 단계를 필요로 하지 않는다.

이러한 합성곱 신경망을 이용하여 입력된 데이터에 대한 학습과정과 테스트 과정을 그림 4에 보였다.

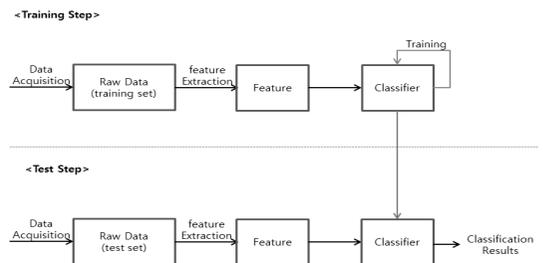


그림 4. 합성곱 신경망에서 학습 및 테스트
Fig. 4 Training and classification test in convolution neural network

III. 화재 감지 시스템의 구현과 실험

화재 발생 유무를 감지하기 위해서는 화재 발생시 나타나는 연기와 불꽃에 대한 학습과 감지의 단계 과정을 거쳐야 한다. 학습 단계에서는 연기와 화재 이미지를 합성곱 신경망에 입력으로 통과시켜서 각각의

특징 맵을 추출한 후, 연기와 불꽃으로 학습한다. 감지 단계에서는 카메라를 통해 입력되는 이미지에서 연기 또는 불꽃으로 의심되는 영역 이미지를 검출하여 이전에 학습되어진 합성곱 신경망으로 통과시켜 화재의 발생 유무를 결정하게 된다.

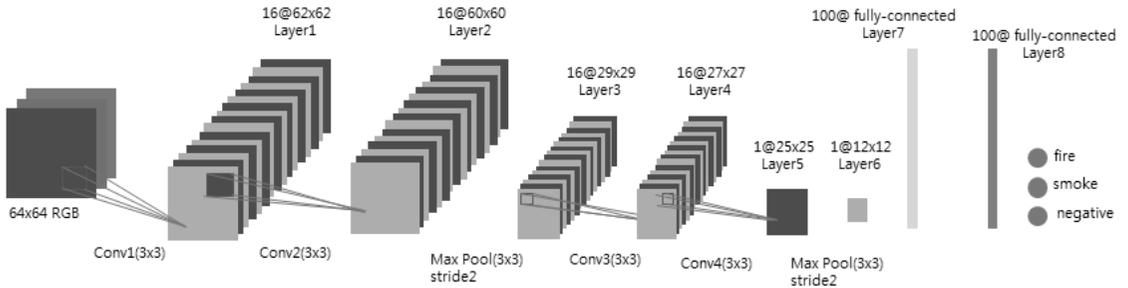


그림 5. 논문에 사용된 분류기를 위한 합성곱 신경망의 구조
 Fig. 5 Our classification architecture for convolution neural network

본 논문에 사용된 합성곱 신경망의 구조를 그림 5에 나타내었다. RGB 컬러 이미지는 크기가 3x3인 커널을 사용하여 연속적으로 두개의 합성곱 연산을 수행한다. 스트라이드 2를 갖는 3x3의 최대 풀링은 2번째 층과 5번째 층에 적용되고, 1에서 4번째 층까지는 16개의 특징 맵을, 5번째와 6번째 층은 하나의 특징 맵을 갖게 된다. 7번째와 8번째는 완전연결 계층으로 구성하며, 마지막으로 완전히 연결된 레이어의 출력은 3 개의 클래스 라벨(fire, smoke, negative)로 분류되어진다.

실험 수행은 표 1과 같은 하드웨어 환경에서 이루어졌으며, 학습과 실험은 Linux 운영체제의 Caffe 환경에서 Cuda 7.5와 cuDNN 4 그리고 OpenCV 3.0으로 수행하였다.

표 1. 실험 환경
 Table 1. Environment of experiment

CPU	Intel i7 5960x
Memory	128GB
Graphic Card	GTX 1080 8GB
OS	Ubuntu 14.04 x64
Tool Kit	Caffe, Cuda 7.5, cuDNN 4, OpenCV 3.0
Language	Python

이 실험에서 분류의 목적은 화재 발생 여부를 알기 위해 이미지에 불꽃 또는 연기가 포함되어 있는지를 판단하는 것이므로, 레이블이 지정된 이미지들을 학습에 사용한다. 이를 위해 인터넷으로부터 수집한 불꽃 이미지 1340개, 연기 이미지 1512개를 64x64 크기로 잘라 학습에 사용하였으며, 과적합(overfitting)을 피하기 위해 두개의 완전연결 계층에서 0.5의 drop-out을 사용했다. 학습에 사용된 이미지 데이터의 예를 그림 6에 나타내었고, 분류를 위한 테스트 영상을 그림 7에 나타내었다.

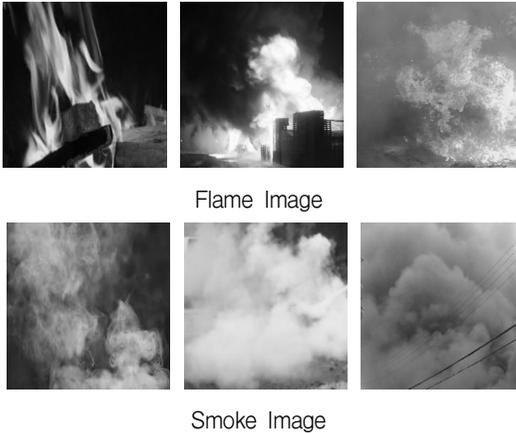


그림 6. 학습 이미지 예
Fig. 6 Example of traing images

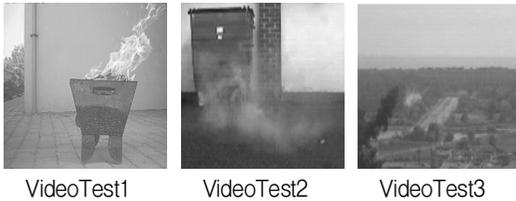


그림 7. 테스트 영상 예
Fig. 7 Example of test videos

구현한 시스템의 성능을 평가하기 위해 그림 7과 같은 불꽃이 발생하는 영상, 연기가 발생하는 영상, 그리고 기타 영상들에 대해 테스트를 진행하였는데, 화재 발생 프레임에 대하여 화재가 발생했다고 인식하였을 경우의 프레임수 비율인 True Positive Rate와 화재 미발생 프레임을 화재가 발생했다고 오인식하였을 경우의 프레임수 비율인 False Positive Rate, 그리고 화재 발생 프레임을 화재가 발생하지 않았다고 오인식했을 경우의 프레임수 비율인 Missing Rate를 성능평가척도로 사용하여 그 결과를 표 2에 나타내었다.

테스트 영상 VideoTest1의 경우 외부공간에서 발생하는 불꽃이 시각적으로도 명백하게 구별되는 것처럼 가장 높은 정확성을 나타내었다. VideoTest2에서의 화재 정탐지율은 97%이고, VideoTest3에서는 90.5%를 나타내었다. VideoTest3에서 오탐지율이 높았는데, 실제 연기와 주변 배경요소를 연기로 잘못 판단되었기 때문이다.

표 2. 실험 결과
Table 2. Result of experiment

	TPR	MR	FPR
VideoTest1	100%	0%	0%
VideoTest2	97%	0%	2%
VideoTest3	90.5%	0%	9%

*TPR(True Positive Rate) *MR(Missing Rate)
*FPR(False Positive Rate)

IV. 결 론

기존에 화재 발생 감지를 위해 센서를 사용하여 화재 발생 여부를 탐지하던 방법의 단점을 극복하기 위해 카메라 영상 입력으로부터 연기와 불꽃 감지를 할 수 있는 시스템을 본 논문에서 구현하였다. 연기와 불꽃 이미지를 합성곱 신경망을 이용하여 학습한 후, 추후 입력되는 영상으로부터 화재가 발생하였는지를 학습된 신경망을 통하여 불꽃과 연기로 분류하여 화재 유무를 알 수 있었다. 이러한 카메라를 통한 화재검출 알고리즘을 이용하게 되면 화재의 발화점과 원인을 비교적 정확하게 알 수 있기 때문에 화재진압시 신속한 대비 태세를 갖출 수 있다는 장점이 있다. 앞으로 화재의 오탐지율을 줄이고, 정탐지율을 높이기 위해서는 다양한 환경에서의 화재 관련 이미지를 학습하여 빅데이터화 하여야 할 것이다. 합성곱 신경망은 현재 2D입력을 처리하는 데 한계가 있어 프레임 단위로만 비디오 입력을 처리한다. 향후 연구에서는 3D 합성곱 신경망을 사용하여 이 방법을 개선 할 것으로 기대한다.

References

- [1] C. Liu and N. Ahuja, "Vision Based Fire Detection," *Proc. of the 17th Int. Conf. on Pattern Recognition*, Cambridge, UK, Aug. 2004, pp. 134 - 137.
- [2] D. Zhang, S. Han, J. Zhao, and Z. Zhang, "Image based forest fire detection using dynamic characteristics with artificial neural networks," *Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence*, Hainan Island, China, Apr. 2009, pp. 290-293.
- [3] T. Celik, H. Ozkaramanlt, and H. Demirel, "Fire

pixel classification using fuzzy logic and statistical color model," *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 1, no. 2, 2007, pp. 1205-1208.

- [4] T. Hhen and P. Hu, "An Early Fire Detection Method Based on Image Processing," *Int. Conf. on Image Processing*, Singapore, Oct. 2004, pp. 1707-1710.
- [5] B. Töreyna and Y. Dedeoğlub, "Computer vision based method for real-time fire and flame detection," *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, issue 1, 2006, pp. 49-58.
- [6] J. Park, H. Kim, and Y. Yu, "Video Based Fire Detection Algorithm using Gaussian Mixture Model," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 2, 2011, pp. 206-211.
- [7] H. Kim and J. Park, "Fire Detection in Outdoor Using Statistical Characteristics of Smoke," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 2, 2014, pp. 149-154.
- [8] S. Mang and J. Kim, "Survey for Early Detection Techniques of Smoke and Flame using Camera Images," *J. of the Korea Society of Computer and Information*, vol. 16, issue 4, 2011, pp. 43-52.
- [9] K. Cheoi, "An Intelligent Fire Learning and Detection System Using Convolutional Neural Networks," *Korea Information Processing Society Trans. Software and Data Engineering*, vol. 5, no. 11, Nov. 2016, pp. 607-614.
- [10] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition," *Proc. of the IEEE*, vol. 86, issue 11, Nov. 1998, pp. 2278-2324.
- [11] E. Lee and W. Lee, "Recognition of characters on car number plate and best recognition ratio among their layers using Multi-layer Perceptron," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 1, 2016, pp. 73-80.
- [12] A. L. Maas, A. Y. Hannun, A. Y. Ng, "Rectifier Nonlinearities Improve Neural Network Acoustic Models," *Proc. of the 30th Int. Conf. on Machine Learning*, Atlanta, USA, June 2013.

저자 소개



방상완(Sang-Wan Bang)

1993년 조선대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)

1995년 조선대학교 대학원 컴퓨터 공학과학과 졸업(공학석사)

2001년 조선대학교 대학원 컴퓨터공학과 수료(공학 박사)

1997년 ~ 현재 송원대학교 컴퓨터정보학과 재직 중

※ 관심분야 : 인공지능 및 이미지 인식 시스템