산불 재해 감시를 위한 IoT 기술

ㅁ 고병철 / 계명대학교

Ⅰ. 서 론

최근 지진, 해일, 태풍, 홍수, 산불 등의 자연재해의 빈도와 횟수가 증가되고 있다. 기상학자들은 자연재해의 가장 큰 원인을 지구온난화와 이로 인한 엘니뇨, 라니뇨 등으로 추측하고 있다. 여러 가지 자연재해 중에서 산불의 경우 인적이 없는 산림에서 발생함으로 초기 발견이 어렵고, 확산될 경우 대규모의 인적, 경제적 피해를 가져오는 자연재해 중의 하나이다.

미국 캘리포니아 주는 매년 건조한 날씨 때문에 산불이 자주 발행하는 지역으로 2015년 6월에도 고온 건조한 날씨로 인해 샌버나디노 국유림을 비롯한 산악 지역 곳곳에서 동시 다발적으로 산불이 발생해 여의도 면적의 15배인 1만1천 에이커(44.5㎢)가 소실되었다[1]. 국토의 70%이상이 산으로 이루어진 우리나라도 매년 산불로 인해 수만 ha 면적의 산림과, 인명 피해 및 경제적 손실이 발생하고 있다. 하지만 산불은 초기감지가 빠를 경우 진화가 쉽고 확산을 미연에 방지할 수 있으므로 육안으로 감지하던 고전적인 방법을 벗어나서 최근 10여 년 동안 각종 센서를 이용한 화재감지 기술이 연구되어 오고 있다. 특히 최근에는 센서 네트워크기술을 확장한 사물인터넷(IoT, Internet of Things)기술을 활용하여 산불을 초기에 감지하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 산불 감지를 위한 최근의 IoT연관 기술들을 소개하고 기존 센서 기반의 감지방법의 단점을 개선하여 향후 개발되어야 할 바람직한 산불감지 시스템에 대해 방향을 제시하려고 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 IoT센서 기반의 산불 화재 감지 연구현황과 이를 활용한 산불 감지 시스템의 장단점에 대해 설명한다. Ⅲ장

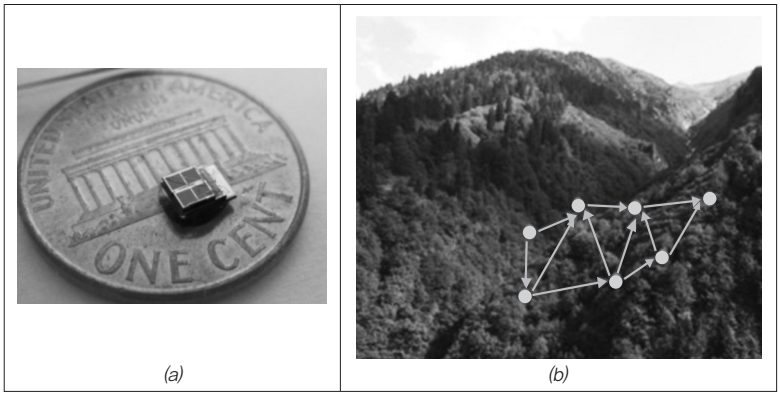
에서는 인공위성 센서를 이용하여 산불을 감지하는 방법에 대해 설명한다. Ⅳ장에서는 기존 IoT센서 기반 시스템의 문제점을 해결하기 위해 카메라를 이용하여 산불을 자동 감지하는 알고리즘에 대해 설명한다. Ⅴ장에서는 각 센서들의 장단점을 정리하고 산불감지를 위해 각 센서들과 알고리즘들이 어떤 방법으로 결합되어야 할지에 대한 대안을 제시한다.

Ⅱ. IoT 센서기반이 산불 화재 감지 연구 현황

산불은 그 특성상 불꽃이 발생하기 전에 연기가 발생함으로 산불의 조기 화재를 위해서는 연기를 감지하는 센서의 개발이 우선되어야 한다. 현재 대부분의 화재 감지 시스템은 광학(optical)센서와 이온(ion)센서를 통해 연기를 감지하고 적외선(Infrared) 센서를 이용하여 불꽃을 감지하고 있다. 광학센서는 광원에서 광센서에 빛을 비추다가 연기가 빛을 차단하면 이에 광센서가 반응하여 연기를 탐지하는 방식이다. 이온 센서는 탐지기 속에 연기 입자가 들어오면 이온들을 끌어당기게 되어 흐르는 전류가 약해지는 효과를 통해 연기를 감지한다. 불꽃 감지를 위한 적외선 센서는 불꽃에서 감지되는 열 온도를 측정하는 방식이다, 하지만 이러한 센서들은 실내 환경에서는 좋은 성능을 보이지만 산과 같이 넓은 영역의 공간에서는 연기나 열이 특정위치에서 가동 중인 센서에 도달하기 어렵기 때문에 감지가 늦어지거나 오 감지하게 되는 문제점이 있다[2].

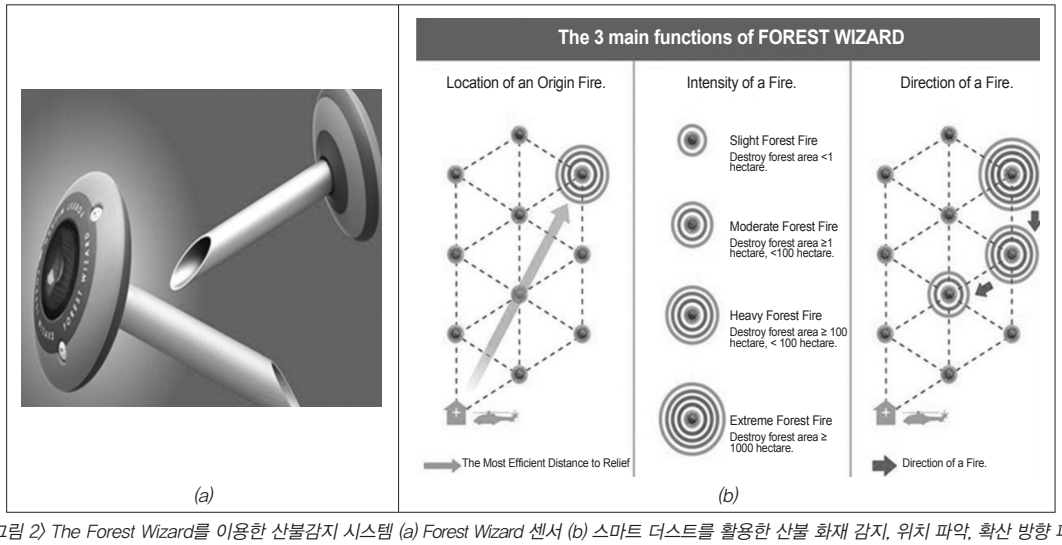
이러한 센서들의 문제점을 해결하기 위해 부산대학교의 이준화 등은[3] USN(Ubiquitous Sensor Network)로 구성된 산불 감시 시스템을 제안하였다. 센서들을 광범위한 산림에 전체적으로 고르게 감시 시스템이 분포되도록 일괄적으로 살포하고 그 장비들이 스스로 통신을 하여 산불이 발생할 때 바로 소방서로 알려주도록 시스템을 구성하였다. USN은 산불감지를 측정하는 노드로서 온도와 가스센서가 장착되어 있는 센서 노드와, 센서 노드에서 감지한 데이터를 한 곳으로 모아 종합하여 전달하는 싱크 노드, 싱크노드에서 데이터를 가져와 산불감지를 하는 사용자 노드를 포함하며, 각 노드 간에는 mesh(그물망)을 이루어 각각의 센싱 값(불의 온도, 센서의 번호, 버전)을 전달하게 된다. 여기서 센서 간에 양방향으로 센싱한 값을 전달하는 것이 아니라, 산불을 감지한 센서가 그 값을 가지고 주변의 다른 센서들에게 값을 넘겨주게 되고 이를 반복하여 최종단계인 산불관제 시스템까지 전달되도록 하는 방식을 제안하였다.

네덜란드 Twente대학의 텔레커뮤니케이션 연구실에서는 스마트 더스트(smart dust)라는 센서를 활용하여 산불을 감지하는 시스템을 연구하고 있다[4]. 스마트 더스트는 미국 캘리포니아 대학의 크리스 피스터 교수가 개발한 1~2mm 크기의 초소형 센서(〈그림 1〉 (a))로 크기는 먼지처럼 작지만 컴퓨팅 능력과 양방향 무선통신 기능 및 태양전지 등의 전력 공급장치를 탑재하고 있음으로 여러 개의 스마트 더스트가 서로 네트워크를 형성하여 상호 통신과 정보교환이 가능한 센서를 말한다[5]. 〈그림 1〉 (b)와 같이 스마트 더스트를 광범위한 산악지역에 설치하고 무선 네트워크를 통해 각각의 스마트 더스트 센서 뿐만 아니라 중앙의 서버에 이상 정보를 전송함으로써 산불의 감지를 쉽게 할 수 있도록 설계되었다.



〈그림 1〉 스마트 더스트를 이용한 산불감지 시스템. (a) 스마트 더스트 센서 (b) 스마트 더스트 설치 방안

The Forest Wizard 장치를 활용한 산불감지 시스템 [6]은 스마트 더스트 기반의 산불 감지 시스템과 유사하게 Forest Wizard 센서를 광범위한 산악 지역에 배치시켜 산불을 감지하지만, 단순히 산불을 감지하는 기능에 그치지 않고, 산불의 크기, 대피 및 진압을 위한 최적의 경로, 화재의 이동 방향 등을 예측하는 복합적인 기능을 제공하고 있다. 구체적으로 시스템은 3가지 목적을 가지고 설계가 되었는데, 첫 번째는 〈그림 2〉와 같이 센서가 연기를 감지하여 화재의 위치를 추정하여 산불 진화를 위한 최적의 경로를 제시하고, 두 번째는 센서의 감도에 따라 산불의 크기를 추정하는 기능이다. 세 번째



〈그림 2〉 The Forest Wizard를 이용한 산불감지 시스템 (a) Forest Wizard 센서 (b) 스마트 더스트를 활용한 산불 화재 감지, 위치 파악, 확산 방향 파악을 위한 알고리즘

기능은 화재의 진원지로부터 어떤 방향으로 화재가 확산되고 있는 지를 추정하는 기능이다. Forest wizard 센서는 태양열을 이용하여 자체 충전하도록 설계되어 있다.

지금까지 살펴본 센서 기반의 산불감지 시스템들은 매우 정확한 산불감지가 가능하지만, 다음과 같은 문제점은 여전히 해결해 되어야 할 숙제로 남아 있다.

① 비용: 산불감지를 위해서는 광범위한 지역에 센서를 설치해야 함으로 초기 설치비용과, 오작동이나 고장을 체크하기 위한 유지한 비용이 많이 드는 문제점이 있다.
② 전력: 전통적인 이온 센서, 광학센서, 적외선 센서를 비롯하여 최근 많이 연구되고 있는 스마트 더스트등의 센서들은 공통적으로 자체 배터리와 이를 충전시키기 위한 집열판을 갖추고 있다. 하지만 산림이 울창한 지역에서는 나뭇잎 등에 의해 집열판이 가려질 수 있고, 장마철에는 배터리가 방전될 위험이 크다. 이를 위해 저전력을 사용하는 센서 들이 개발되고 있지만 여전히 배터리 방전 문제는 센서를 사용한 산불감지에서 해결해야 할 큰 문제점이다.
③ 오작동: 기존의 전통적인 센서 기반의 산불화재감지 기술은 고장 등의 오작동으로 인해 잘못된 알람을 줄 수 있다. 하지만 센서 정보만으로는 오작동인지를 확인할 수 없음으로 사람이 현장에 가서 직접 육안관찰을 해야 하는 문제점이 있다.

최근에는 이러한 센서 기반 산불 감지 시스템들의 단점들을 보완하고 보다 신뢰성 있는 연기 감지를 위해서 CCD 카메라에서 입력되는 영상을 분석하여 연기를 감지하는 방법들이 연구되고 있다.

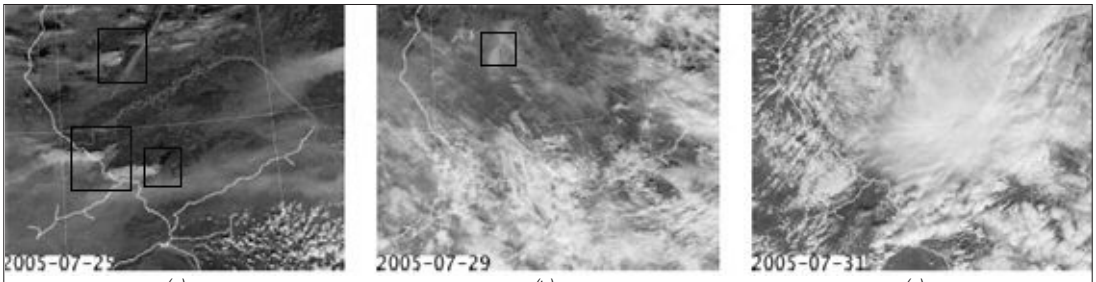
Ⅲ. 인공위성을 이용한 산불 화재 감지

지구궤도를 이동하는 인공위성이나 항공기 등을 이용하여 넓은 지역의 산불을 감시하는 연구는 매우 오래전부터 연구되어 왔다. 초기 연구는 단순히 인공위성이나 항공영상에서 촬영된 영상을 육안으로 관찰하는 방법이었지만 최근에는 인공위성과 항공기에 다양한 광학센서를 부착하여 특별한 스펙트럼 영상을 획득하고 이를 분석하여 자동으로 산불을 감지하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 인공위성이나 항공기를 이용하여 산불을 감시할 경우 센서 기반의 방법에 비해 적은 비용으로 넓은 지역을 감시 할 수 있다는 장점이 있다.

산불을 감지하기 위해서는 인공위성이나 항공기에 장착된 근적외선(Near Infrared) 및 열 영상 카메라(Far Infrared)를 장착하고 지상으로 전송된 영상을 분석하여 산불을 감지한다. 주로 사용되는 방법은 각각의 센서에서 촬영된 영상을 영상처리를 통해 분석하고 열 온도가 주변 지역에 비해 상대적으로 높은 영역을 산불 가능성이 있는 영역으로 판단하는 방법을 사용한다.

인공위성이나 항공기는 넓은 지역을 동시에 감시할 수 있다는 장점이 있지만, 이와는 반대로 다음과 같은 한계점도 동시에 존재한다.

① 대기 간섭: 〈그림 3〉 (a) 에서 보는 것과 같이



〈그림 3〉 대기간섭에 의해 지표면 방사정보가 잘못 입력된 경우 [7] (a) 구름이 적을 경우 산불 예상 핫 스팟 영역 (b), (c) 구름에 의해 산불 예상 영역이 가려진 경우

대기 상태가 좋을 경우는 박스로 표시된 핫 스팟(hotspot)영역이 쉽게 감지가 가능하지만 〈그림 3〉 (b)나 (c)와 같이 구름이 끼었거나 대기 오염 물질이 많은 경우 정확한 지면 방사 정보를 얻지 못할 수도 있다.

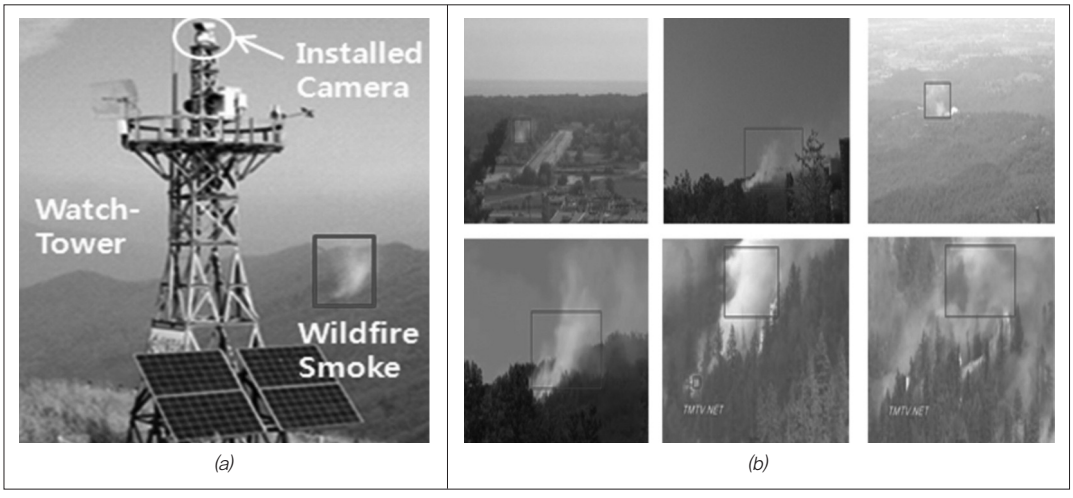
② 주기: 산불 감지를 위해 발사된 대표적인 인공위성인 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)와 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)의 경우 2일의 주기마다 영상을 전송받게 되는데 이럴 경우 실시간으로 산불 화재를 감지할 수 없는 문제점이 있다[8].

③ 해상도: 인공위성이나 항공영상의 경우 넓은 영역을 감지해야 함으로 전송되는 영상의 해상도가 매우 낮다는 문제점이 있다. 특히 MODIS위성의 경우 최대 240m의 해상도를 가지며 지질 탐사 및 해양 오염도 등을 측정하기 위한 다목적 위성인 LANDSAT(Land Satellite)위성의 경우도 30m의 해상도를 갖는다. 따라서 이러한 위성영상을 사용할 경우 초기의 작은 산불 화재를 감지하는데는 한계가 있다.

Ⅳ. 카메라센서 기반의 화재감지 연구

앞서 설명한 일반 센서들과 인공위성의 단점들을 보완하고 보다 신뢰성 있는 산불감지를 위해서는 현재 대부분의 산에 설치되어 있는 일반 감시용 CCD 카메라에서 입력되는 영상을 분석하여 연기와 불꽃 모두를 감지하는 방법들을 연구함으로써 산불 감지의 성능을 향상시키고 추가 장비 설치를 위한 비용을 절감할 수 있다. 카메라를 이용한 산불 감지 시스템의 경우 오 감지가 발생하더라도 사람이 직접 모니터를 통해 현장에 출동하지 않고도 화재 여부를 최종 판단할 수 있음으로 효율적일 뿐 아니라 감시를 위한 시간 및 비용을 절감할 수 있다.

산불감지를 위한 CCD카메라는 〈그림 4〉와 같이 주로 가장 높은 산봉우리에 설치되어 주변 산을 실시간으로 감지한다. 산불은 불꽃보다도 연기가 먼저 발견된다는 사실을 이용하여 주간에는 주로 연기로 산불을 감지하고 야간에는 불꽃으로 산불여부를 판단한다. 카메라에 입력된 영상은 컴퓨터 비전 기술을 통해 산불과 구름, 안개들로 구분할 수 있는데 일반적으로 다음과 같은 단계를 거친다.



〈그림 4〉 카메라 기반 산불화재 감시를 위한 감시탑 (a) [9] 및 컴퓨터 비전 기술을 이용한 산불 감지 결과 (b) [10]

① 배경 모델링을 이용한 움직임을 갖는 불꽃이나 연기 후보 영역을 검출
② 색상 모델을 이용하여 불꽃이나 연기 영역검출
③ 후보영역에서 색상, 모양, 질감, 모션 정보 등의 특징 검출
④ 패턴 분류기나 인공신경망 등을 이용하여 최종 불꽃 및 연기 영역을 검증

인공위성 영상 분석은 주로 정지영상을 이용하지만 카메라로 입력된 영상은 동영상임으로 이를 활용하여 연기의 움직임이나 불꽃의 변화를 통해 보다 정확한 산불 감지가 가능하다. 주간의 연기는 안개나 운무, 구름 등과 유사한 특성을 가짐으로 연기의 특성인 상승 모션과 질감의 불규칙성을 파악하기 위해 시간축상으로 프레임을 누적시키고, 시공간적 특성을 동시에 분석하여 최종 산불 여부를 검증한다. 야간에는 연기 대신 불꽃을 감지한다. 불꽃은 원거리에서 촬영됨으로 움직임이 작은 특성을 가지지만, 불꽃 영역은 시간이 지남에 따라 주변으로 확산되는 경향을 가짐으로 불꽃 영역에 대한 크기와 모양변화를 시간축상에서 분석하여 가로등, 항공기 유도 등과 구분할 수 있다[11].

Ⅴ. 향후 연구방향

지금까지 다양한 IoT 센서들과 인공위성, 카메라 센서들을 이용한 산불 감지 연구에 대해서 살펴보았다. IoT 센서의 경우 광범위한 지역을 실시간으로 정확하게 감지할 수 있다는 장점에 비해, 충전 및 고장을 해결할 수 있는 방안이 필요하고, 인공위성영상의 경우 넓은 지역을 포괄적으로 감시할 수 있다는 장점이 있지만 대기상태에 따라 정보의 손실이나 왜곡이 발생할 수 있고, 촬영주기 때문에 실시간 영상을 획득할 수 없다는 문제점이 있다. 카메라 기반의 경우 산 정상에 설치된 카메라를 통해 입력된 영상을 분석하여 산불을 감시하는 시스템으로 정상적인 날씨에는 비교적 정확성이 높지만 안개나

구름에 의해 오감지가 발생할 수 있고 특히 감시 범위가 4~5킬로미터로 제한적인 단점이 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 각각의 센서들은 많은 장점이 있지만, 반면 개별적인 단점을 가지고 있음으로 이를 해결하기 위해 센서들을 결합하여 사용하는 방법을 생각할 수 있다. 특히 IoT센서들의 경우 고장으로 인한 오작동 여부를 확인할 수 없음으로 주변에 카메라를 설치하여 고장에 의한 오작동 여부인지를 확인할 수 있다. 또한 카메라의 경우 습도 센서 등을 활용하여 구름 등에 의해 오감지가 발생하더라도 습도 정보를 결합하여 오 감지를 방지할 수 있다. 이러한 결합 시스템들은 현재 실험적으로 개발되어 일부가 실제 운영 중에 있다. 특히 백양산 정상과 백양산 숲길에 설치된 스마트 모바일 산불예방시스템 '산불 지킴이'[12]는 높이 4m의 나무기둥에 태양전지판, 건전지, 감지센서, 조명, 고화질 블랙박스, 무선영상전송장치, 스피커, 마이크를 결합하여 구성되었다. 이 시스템에서는 카메라 영상을 육안으로 관찰하여 화재를 감지하고, 센서를 통해 사람이 제한된 시간에 산에 있는지를 확인하여 영상을 관리자에게 스마트폰 등으로 전송하는 제한된 서비스를 하고 있다. 하지만 향후 센서들이 추가되고 컴퓨터비전 기술을 적용한 지능화된 알고리즘이 결합된다면 스마트 산불 감지 시스템의 구현이 머지않아 이루어질 것으로 기대한다.

참고문헌

[1] 연합뉴스, 美 캘리포니아, 극심한 가뭄 속 '산불 비상령' , 2015.06.20

[2] 이인규, 고병철, 남재열, "동적 베이지안 네트워크를 이용한 동영상 기반의 화재연기감지", 한국통신학회 논문지, Vol.34(4), pp. 388-396, 2009.04.01

[3] 이준화, 고명동, 임동판, 이장명, "센서 네트워크 기술을 이용한 산불 감지 시스템", 대한민국 특허등록 10-1033299-0000, 2011. 04.28

[4] Localization in Smart Dust Sensor Networks, http://www.utwente.nl/ewi/te/projects/SRR/Smart_dust/

[5] 세상을 바꾸는 먼지, 스마트 더스트와 함께하는 세상!, http://blog.lgcns.com/717

[6] The Forest Wiza, http://dailylatestdesign.blogspot.kr/2014/07/the-forest-fire-alarm.html

[7] K. Nakau, M. Fukuda, K. Kushida, "Forest fire detection based on MODIS satellite imagery, and Comparison of NOAA satellite imagery with fire fighters' information," Institute of Low Temperature Science Hokkaido University, Japan, 2005, pp.18-23.

[8] A. Alkhatib,"A Review on Forest Fire Detection Techniques," International Journal of Distributed Sensor Networks Vol. 2014, pp. 1-12, 2014.

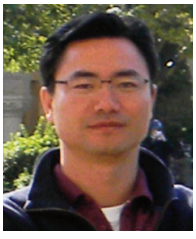
[9] B. C. Ko, S. Y. Kwak, A Survey of Computer Vision-based Natural Disaster Warning Systems, Optical Engineering, Vol. 51(7), pp.1-11,2012.

[10] B. C. Ko, J. O. Park, J. Y. Nam, "Spatiotemporal Bag-of-Features for Early Wildfire Smoke Detection," Image and Vision Computing, Vol. 31(10), pp. 786?795, October 2013.

[11] 고병철, "자연재해저감을 위한 스마트 센서기술과 안전", 국립방재연구원 재난안전지, 여름호 Vol. 167, No. 2, pp. 51-56, 2014

[12] BuviNews, "백양산, 24시간 무인 '산불지킴이' 등장," http://news.busan.go.kr/sub/search_01_view.jsp?arti_sno=201301311703510001, 2013. 01.31

필 자 소 개



고 병 철

– 1998년 : 경기대학교 전자계산학과 졸업(이학사)
– 2000년 : 연세대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(공학석사)
– 2004년 : 연세대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(공학박사)
– 2004년 3월 ~ 2005년 8월 : 삼성전자 통신연구소 책임연구원
– 2005년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 컴퓨터공학과 부교수
– 주관심분야 : 비전기반 화재감지, 영상검색, 의료영상처리, ADAS