



등록특허 10-2729255



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년11월11일

(11) 등록번호 10-2729255

(24) 등록일자 2024년11월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06V 20/13 (2022.01) G06N 20/00 (2019.01)

G06N 3/0464 (2023.01) G06V 10/40 (2022.01)

G06V 10/774 (2022.01) G06V 10/98 (2022.01)

G08B 17/00 (2014.01) G08B 17/12 (2014.01)

(52) CPC특허분류

G06V 20/13 (2023.08)

G06N 20/00 (2021.08)

(21) 출원번호 10-2023-0072359

(22) 출원일자 2023년06월05일

심사청구일자 2023년06월05일

(56) 선행기술조사문헌

이달근 외 5인공저, '위성영상과 머신러닝 모델을

이용한 폭염기간 고해상도 기온 추정,' Korea

Journal of Remote Sensing, Vol.36, No.5-4,

2020, pp.1179-1194 (2020.10.30.)

KR1020220053869 A*

KR1020220104613 A*

KR102496741 B1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

임정호

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

강유진

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(74) 대리인

특허법인(유한)아이시스

전체 청구항 수 : 총 12 항

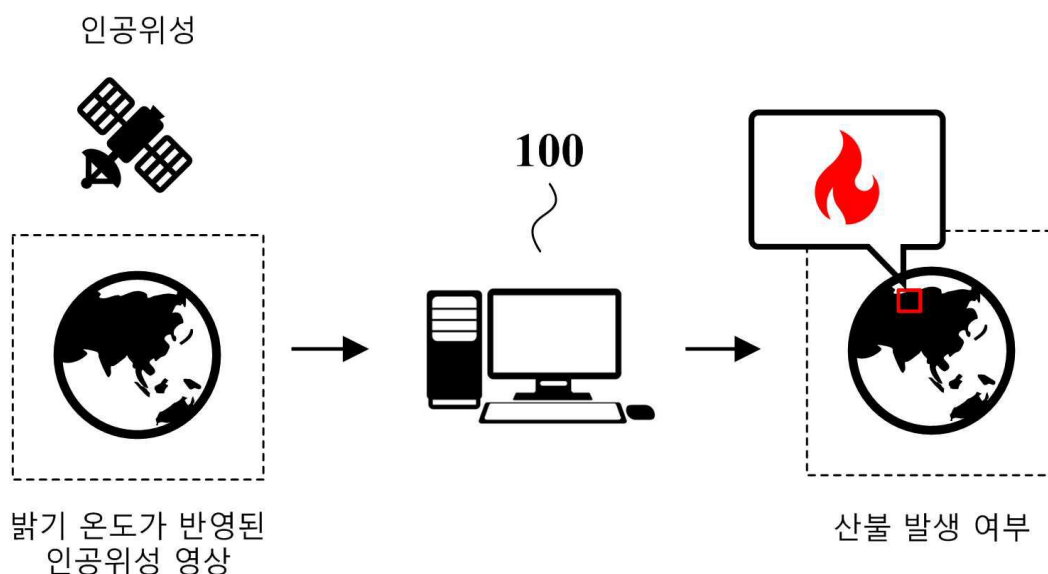
심사관 : 황승희

(54) 발명의 명칭 산불 탐지 방법 및 장치

(57) 요약

산불 탐지 방법은 산불 탐지 장치가 밝기 온도(Brightness Temperature)형태의 인공위성 영상을 입력 받는 단계; 상기 산불 탐지 장치가 상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상으로부터 특징(Feature)을 추출하는 단계; 상기 산불 탐지 장치가 상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 및 상기 추출된 특징을 분석 모델에 입력하는 단계; 및 상기 산불 탐지 장치는 상기 분석 모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단하는 단계;를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06N 3/0464 (2023.01)

G06V 10/40 (2023.08)

G06V 10/774 (2023.08)

G06V 10/98 (2023.08)

G08B 17/005 (2013.01)

G08B 17/12 (2021.01)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

산불 탐지 장치가 밝기 온도(Brightness Temperature)형태의 인공위성 영상을 입력 받는 단계;

상기 산불 탐지 장치가 상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상으로부터 특징(Feature)을 추출하는 단계;

상기 산불 탐지 장치가 상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 및 상기 추출된 특징을 분석 모델에 입력하는 단계; 및

상기 산불 탐지 장치는 상기 분석 모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단하는 단계;를 포함하되,

상기 특징은 주파수에 따른 밝기 온도 차이, 시간에 따른 밝기 온도 차이 및 공간에 따른 밝기 온도 차이를 포함하고,

상기 시간에 따른 밝기 온도 차이는 미리 설정된 과거 기간 동안에서의 밝기 온도의 평균과 현재 시점에서 관측된 밝기 온도의 차이 및 미리 설정된 과거 기간 동안에서의 밝기 온도를 기반으로 예측한 현재 시점의 밝기 온도와 실제 관측한 현재 시점의 밝기 온도의 차이를 포함하는, 산불 탐지 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 주파수에 따른 밝기 온도 차이는 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기 온도와 $3.85\mu\text{m}$ 파장이 아닌 다른 파장에서의 밝기 온도와의 차이인, 산불 탐지 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 $3.85\mu\text{m}$ 파장이 아닌 다른 파장에서의 밝기 온도는 $9.63\mu\text{m}$, $10.45\mu\text{m}$, $11.20\mu\text{m}$ 및 $12.25\mu\text{m}$ 파장 중 적어도 하나의 파장에서의 밝기 온도를 포함하는, 산불 탐지 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 공간에 따른 밝기 온도 차이는 중심(Center) 픽셀에서의 밝기 온도와 주변(Surround) 픽셀의 밝기 온도의 평균과의 차이인, 산불 탐지 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 분석 모델은 상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상의 일부 및 추출된 특징의 일부 영역만 입력 받는, 산불 탐지 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 분석 모델은 학습 데이터를 기반으로 학습된 기계학습 기반의 모델인, 산불 탐지 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 기계학습 기반의 모델은 RF(Random Forest) 또는 CNN(Convolutional Neural Network)기반의 모델인, 산불 탐지 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 학습 데이터는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상의 일부를 샘플링 한 데이터를 포함하되,

상기 샘플링 과정은 하기 (a) 내지 (c) 규칙 중 적어도 하나를 기준을 기반으로 수행되는, 산불 탐지 방법.

(a) 학습 데이터로 활용되는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 전체에서 비-산불을 샘플링 하는 경우, 미리 설정된 기준값 이상의 백분위를 가지는 부분을 더 많이 샘플링.

(b) 학습 데이터로 활용되는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상에서 비-산불을 샘플링 하는 경우, 공간적 분포가 고르게 될 수 있도록 샘플링.

(c) 학습 데이터로 활용되는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상에서 결측값(Missing Value)이 있는 경우, 하나의 윈도우 내의 평균값으로 결측값을 설정.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 분석 모델의 출력값을 기반으로 산불 발생여부를 판단하는 단계는 상기 분석 모델의 출력값을 후처리(Post-processing) 한 뒤 산불 발생 여부를 판단하는 단계를 포함하고,

상기 후처리는 상기 분석 모델의 출력값에 토지 피복 비율(Land cover ratio)에 대한 정보를 통합하여 오탐지를 제거하는 것인, 산불 탐지 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 후처리는 산불이 발생된 것으로 예상된 지역이 하기 (a) 내지 (d)의 규칙 중 적어도 하나를 만족하는 경우 상기 산불이 발생된 것으로 예상된 지역을 오탐지로 처리하는, 산불 탐지 방법.

(a) 조건 1 : 9 x 9 윈도우에서 농업지역(Crops) 비율이 0.4 이상

(b) 조건 2 : 9 x 9 윈도우에서 산림(Forest) 비율이 0.25 이하

(c) 조건 3 : 9 x 9 윈도우에서 시가화지역(Built) 비율이 0.2 이상

(d) 조건 4 : 9 x 9 윈도우에서 수역(Water) 비율이 0.2 이상

청구항 13

밝기 온도(Brightness Temperature)형태의 인공위성 영상을 입력 받는 입력장치;

상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상으로부터 특징(Feature)을 추출하고, 상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 및 상기 추출된 특징을 분석 모델에 입력하고, 상기 분석 모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단하는 분석장치; 및

상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 및 상기 분석 모델을 저장하는 저장장치;를 포함하되,

상기 특징은 주파수에 따른 밝기 온도 차이, 시간에 따른 밝기 온도 차이 및 공간에 따른 밝기 온도 차이를 포함하고,

상기 시간에 따른 밝기 온도 차이는 미리 설정된 과거 기간 동안에서의 밝기 온도의 평균과 현재 시점에서 관측된 밝기 온도의 차이 및 미리 설정된 과거 기간 동안에서의 밝기 온도를 기반으로 예측한 현재 시점의 밝기 온

도와 실제 관측한 현재 시점의 밝기 온도의 차이를 포함하는, 산불 탐지 장치.

청구항 14

제1항 내지 제3항 및 제6항 내지 제12항 중 어느 하나의 항에 기재된 산불 탐지 방법을 실행하기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 이하 설명하는 기술은 인공지능을 이용하여 산불을 탐지하는 방법 및 장치에 대한 것이다.

배경 기술

[0002] 산불(Forest Fires)이 발생되면 수많은 숲과 목지가 사라지고 인명피해가 발생할 수 있다. 산불은 바람 등에 의하여 빠르게 번지기 때문에 이를 진압하는 것은 매우 어렵다. 이에 산불의 발생을 빠르고 정확하게 탐지하는 것이 중요하기에 이를 탐지하기 위한 기술들이 개발되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 10-2108754

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 종래 산불 탐지 기술은 측정된 데이터를 기반으로 산불을 탐지하는 임계값 기반(Threshold-based) 이상 탐지가 많이 사용되었다. 이에 종래 산불 탐지 기술은 측정된 데이터의 시간적, 공간적 특성을 충분히 고려하지 않았기에 감지 오류를 줄이는데 유용하지 아니하였다. 또한 종래 산불 탐지 기술은 서로 다른 환경 및 시간에서 발생하는 산불에 대해 적절한 임계값을 찾아내는 것이 어려웠다.

[0005] 이하 설명하는 기술은 종래 산불 탐지 기술과는 달리 기계학습 기반의 모델을 이용해 산불을 탐지하는 방법을 제공한다. 특히 측정된 데이터의 시간적 및 공간적 특성을 동시에 고려하여 산불을 탐지할 수 있는 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0006] 이하 설명하는 기술은 산불을 탐지할 수 있는 방법 및 장치를 제공한다.

[0007] 산불 탐지 방법은 산불 탐지 장치가 밝기 온도(Brightness Temperature) 형태의 인공위성 영상을 입력 받는 단계; 상기 산불 탐지 장치가 상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상으로부터 특징(Feature)을 추출하는 단계; 상기 산불 탐지 장치가 상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 및 상기 추출된 특징을 분석 모델에 입력하는 단계; 및 상기 산불 탐지 장치는 상기 분석 모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단하는 단계;를 포함한다.

[0008] 산불 탐지 장치는 밝기 온도(Brightness Temperature) 형태의 인공위성 영상을 입력 받는 입력장치; 상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상으로부터 특징(Feature)을 추출하고, 상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 및 상기 추출된 특징을 분석 모델에 입력하고, 상기 분석 모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단하는 분석장치; 및 상기 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 및 상기 분석 모델을 저장하는 저장장치;를 포함한다.

발명의 효과

[0009] 이하 설명하는 기술을 이용하면 인공위성에서 측정된 데이터를 이용해 산불을 자동으로 탐지할 수 있다. 이하 설명하는 기술을 이용하면 인공위성에서 측정된 데이터의 시간적, 공간적 특성을 고려하여 산불을 자동으로 탐

지할 수 있다. 이하 설명하는 기술을 이용하면 빠른 시간 내 산불을 자동으로 탐지하여 산불에 대해 빠른 조치를 할 수 있다. 이하 설명하는 기술을 이용하면 오탐지를 최대한으로 줄여 산불을 정확하게 탐지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010]

도1은 산불 탐지 장치(100)가 산불을 탐지하는 일 실시예의 전체적인 과정이다.

도2는 산불 탐지 방법의 일 실시예에 대한 순서도(200)이다.

도3은 분석 모델에 입력되는 값의 일 실시예를 보여준다.

도4는 백분위를 활용하여 샘플링 하는 예를 보여준다.

도5는 공간적 분포를 고려하여 샘플링 하는 예를 보여준다.

도6은 산불인 경우와 오탐지인 경우의 토지 피복 비율(Land Cover ratio)을 토지 종류에 따라 보여준 것이다.

도7은 연구자가 모델을 구축하고, 성능을 평가한 전체적인 과정을 보여준다.

도8은 스킵에 따라 분석 모델에 입력되는 값을 보여준다.

도9는 실험에 활용된 CNN모델의 구조를 보여준다.

도10은 각 스킵에 따른 분석 모델의 성능을 평가한 결과이다.

도11은 91개의 산불 케이스를 분석 모델이 얼마나 빠르게 또는 정확하게 탐지하는지 확인한 실험결과이다.

도12는 산불을 탐지한 실험결과를 보여준다.

도13은 후처리한 실험결과를 보여준다.

도14는 산불 탐지 장치(300)의 구성의 예이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011]

이하 설명하는 기술은 다양한 변형을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있다. 명세서의 도면에 이하 설명하는 기술의 특정 실시 형태가 기재될 수 있다. 그러나, 이는 이하 설명하는 기술의 설명을 위한 것이며 이하 설명하는 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니다. 따라서 이하 설명하는 기술의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경 물, 균등 물 내지 대체 물이 이하 설명하는 기술에 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0012]

이하 사용되는 용어에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 해석되지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함한다" 등의 용어는 기재된 특징, 개수, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 의미하는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 개수, 단계 동작 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0013]

도면에 대한 상세한 설명을 하기에 앞서, 본 명세서에서의 구성부들에 대한 구분은 각 구성부가 담당하는 주기능 별로 구분한 것에 불과함을 명확히 하고자 한다. 즉, 이하에서 설명할 2개 이상의 구성부가 하나의 구성부로 합쳐지거나 또는 하나의 구성부가 보다 세분화된 기능별로 2개 이상으로 분화되어 구비될 수도 있다. 그리고 이하에서 설명할 구성 부 각각은 자신이 담당하는 주기능 이외에도 다른 구성부가 담당하는 기능 중 일부 또는 전부의 기능을 추가적으로 수행할 수도 있으며, 구성부 각각이 담당하는 주기능 중 일부 기능이 다른 구성부에 의해 전담되어 수행될 수도 있음은 물론이다.

[0014]

또, 방법 또는 동작 방법을 수행함에 있어서, 상기 방법을 이루는 각 과정들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉 방법을 이루는 각 과정은 순서에 상관 없이 시행될 수 있다.

[0016]

이하 산불 탐지 방법에 대한 전체적인 과정을 설명한다.

[0017]

도1은 산불 탐지 장치(100)가 산불을 탐지하는 일 실시예의 전체적인 과정이다.

[0018]

산불 탐지 장치(100)는 밝기 온도(Brightness Temperature)형태의 인공위성 영상을 입력 받을 수 있다. 산불 탐지 장치(100)는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상으로부터 특징(Feature)을 추출할 수 있다. 산불 탐지 장치

(100)는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 및 추출된 특징을 분석 모델에 입력할 수 있다. 산불 탐지 장치(100)는 분석 모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단할 수 있다.

- [0019] 특징은 주파수에 따른 밝기 온도 차이, 시간에 따른 밝기 온도 차이 및 공간에 따른 밝기 온도 차이 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0021] 이하 산불 탐지 방법의 과정을 구체적으로 설명한다.
- [0022] 도2는 산불 탐지 방법의 일 실시예에 대한 순서도(200)이다.
- [0023] 산불 탐지 장치는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상을 입력 받을 수 있다(210).
- [0024] 인공위성은 정지궤도 위성(Geostationary satellite)일 수 있다. 일 실시예로 인공위성은 Himawari-8등의 정지궤도 위성일 수 있다.
- [0025] 밝기 온도는 측정된 복사휘도(Radiance)를 흑체에서 방출되었을 때로 가정한 뒤, 플랑크(Planck) 법칙을 역으로 계산하여 얻은 온도일 수 있다. 밝기 온도 데이터는 지구 상 특정 위치에서의 밝기 온도에 대한 데이터를 포함할 수 있다.
- [0026] 밝기 온도 형태의 인공위성 영상은 인공위성에 장착된 센서에 의하여 측정된 영상일 수 있다. 예를 들어 Himawari-8에 탑재된 AHI(Advanced Himawari Imager)센서에 의하여 측정된 영상일 수 있다.
- [0027] 밝기 온도 형태의 인공위성 영상은 인공위성 영상의 각 픽셀(Pixel)마다 밝기 온도에 대한 정보가 반영된 영상일 수 있다. 일 실시예로 광학 카메라로 촬영한 영상에 밝기 온도에 대한 정보를 색상으로 표시하여 반영한 영상일 수 있다. 예를 들어 특정 픽셀의 밝기 온도가 높은 경우 해당 픽셀은 빨간색으로 표시하고, 특정 픽셀의 밝기 온도가 낮은 경우 해당 픽셀은 파란색으로 표시한 영상일 수 있다.
- [0028] 밝기 온도 형태의 인공위성 영상은 서로 다른 주파수(또는 파장) 영역에서 측정된 밝기 온도 데이터를 포함할 수 있다. 예를 들어 가시광선부터 적외선 까지를 측정할 수 있는 16개의 채널을 가지고 있는 AHI센서를 이용하여 밝기 온도를 측정하는 경우, 밝기 온도 형태의 인공위성 영상은 각 채널마다의 서로 다른 영상이 존재할 수 있다.
- [0029] 산불 탐지 장치는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상으로부터 특징(Feature)을 추출할 수 있다(220).
- [0030] 특징을 추출하는 단계는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상으로부터 분석 모델에 입력할 수 있는 데이터를 생성하는 과정을 의미할 수 있다.
- [0031] 특징을 추출하는 단계는 주파수에 따른 밝기 온도 차이, 시간에 따른 밝기 온도 차이 및 공간에 따른 밝기 온도 차이 중 적어도 하나를 계산하는 과정을 포함할 수 있다.
- [0032] 주파수에 따른 밝기 온도 차이는 서로 다른 파장에서의 밝기 온도의 차이일 수 있다. 이는 산불이 발생하였을 경우, 특정 파장의 밝기 온도가 비 정상적으로 변화하는 것을 파악하기 위한 것일 수 있다.
- [0033] 일 실시예로 주파수에 따른 밝기 온도 차이는 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기 온도와 $3.85\mu\text{m}$ 파장이 아닌 다른 파장에서의 밝기 온도와 차이일 수 있다. 구체적으로 주파수에 따른 밝기 온도 차이는 하나의 픽셀에서 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기 온도와 해당 픽셀에서의 $9.63\mu\text{m}$, $10.45\mu\text{m}$, $11.20\mu\text{m}$ 및 $12.25\mu\text{m}$ 파장 중 적어도 하나의 파장에서의 밝기 온도 차이를 포함할 수 있다($3.85\mu\text{m}$ - $9.63\mu\text{m}$, $3.85\mu\text{m}$ - $10.45\mu\text{m}$, $3.85\mu\text{m}$ - $11.20\mu\text{m}$ 및 $3.85\mu\text{m}$ - $12.35\mu\text{m}$). 이때 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기 온도는 $3.85\mu\text{m}$ 파장이 아닌 다른 적외선 파장에서의 밝기 온도와는 다르게 산불이 발생한 지역에서 급격하게 변한다. 이에 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기 온도를 중심으로 다른 파장에서의 밝기 온도와 차이로 계산할 수 있다.
- [0034] 시간에 따른 밝기 온도의 차이는 과거 시점에서의 밝기 온도와 현재 시점에서의 밝기 온도의 차이일 수 있다. 이는 산불이 발생하였을 경우, 과거에서는 탐색될 수 없었던 비정상적인 밝기 온도의 변화를 파악하기 위한 것일 수 있다.
- [0035] 일 실시예로 시간에 따른 밝기 온도의 차이는 미리 설정된 과거 기간 동안에서의 밝기 온도의 평균과 현재 시점에서 관측된 밝기 온도의 차이를 의미할 수 있다. 예를 들어 시간에 따른 밝기 온도의 차이는 하나의 픽셀에서 과거 15일 동안 측정된 특정 위치에서의 밝기 온도의 평균과 현재 시점에서 관측된 밝기 온도의 차이일 수 있다.
- [0036] 일 실시예로 시간에 따른 밝기 온도의 차이는 미리 설정된 과거 일정 기간 동안에서의 밝기 온도를 기반으로 예

측한 현재 시점의 밝기 온도와 실제 관측한 현재 시점의 밝기 온도의 차이를 의미할 수 있다.

- [0037] 일 실시예로 시간에 따른 밝기 온도의 차이는 특정 파장에서의 시간에 따른 밝기 온도의 차이를 의미할 수 있다. 일 실시예로 $3.85\mu\text{m}$ 에서의 시간에 따른 밝기 온도의 차이를 의미할 수 있다. 특히 전술한 바와 같이 $3.85\mu\text{m}$ 는 산불이 발생한 지역에서 급격하게 변하기에 해당 파장대의 밝기 온도를 이용하는 것이 바람직하다.
- [0038] 공간에 따른 밝기 온도의 차이는 특정 지역의 밝기 온도와 주변 지역에서의 밝기 온도의 차이일 수 있다. 이는 산불이 발생하였을 경우, 해당 지역은 주변 지역보다 높은 밝기 온도를 보여주기 때문이다.
- [0039] 일 실시예로 공간에 따른 밝기 온도는 중심(Center) 픽셀에서의 밝기 온도와 그 주변(Surround) 픽셀의 밝기 온도의 평균과의 차이를 의미할 수 있다. 구체적으로 9×9 윈도우(Window)에서, 중심 픽셀의 밝기 온도와 중심 픽셀을 제외한 나머지 픽셀의 밝기 온도의 차이를 계산하여 공간에 따른 밝기 온도로 할 수 있다.
- [0040] 일 실시예로 공간에 따른 밝기 온도의 차이는 특정 파장에서의 밝기 온도의 차이를 의미할 수 있다. 일 실시예로 $3.85\mu\text{m}$ 에서의 공간에 따른 밝기 온도의 차이를 의미할 수 있다. 전술한 바와 같이 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기 온도는 산불이 발생한 지역에서 급격하게 변하기에 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기 온도를 이용하는 것이 바람직하다.
- [0041] 산불 탐지 장치는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 및 추출된 특징을 분석 모델에 입력할 수 있다(230).
- [0042] 분석 모델은 밝기 온도 형태의 인공위성 영상의 일부 및 추출된 특징의 일부 영역만 입력 받을 수 있다. 도3은 분석 모델에 입력되는 값의 일 실시예를 보여준다. 도3의 (b)와 같이 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 중 일부인 9×9 크기의 픽셀이 분석 모델에 입력될 수 있다. 마찬가지로 도3의 (c) 내지 (f)와 같이 특징 중 주파수에 따른 밝기 온도의 차이는 9×9 크기의 픽셀만이 분석 모델에 입력될 수 있다. 또는 도3의 (a)와 같이 특징 중 시간에 따른 밝기 온도의 차이는 9×9 크기의 픽셀만이 분석 모델에 입력될 수 있다. 만약 분석 모델이 RF기반의 모델인 경우 도3의 도시된 픽셀 중에서 각 그림의 오직 중심 픽셀의 값만이 분석 모델에 입력될 수 있다.
- [0043] 분석 모델은 학습 데이터를 기반으로 학습된 기계학습 기반의 모델일 수 있다. 일 실시예로 분석 모델은 RF(Random Forest) 및 CNN(Convolutional Neural Network)기반의 모델일 수 있다.
- [0044] 학습 데이터는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 및 산불 발생 데이터를 포함할 수 있다. 학습 데이터로 이용되는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상에서 특징을 추출한 뒤, 이를 분석 모델의 학습에 이용할 수 있다. 학습 데이터로 이용되는 산불 발생 데이터는 레퍼런스(Reference) 데이터로 활용될 수 있다.
- [0045] 학습 데이터는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상에서 일부를 샘플링 한 데이터를 포함할 수 있다. 즉 밝기 온도 형태의 인공위성 영상에서 일부를 샘플링 한 뒤, 이를 분석 모델의 학습에 이용할 수 있다.
- [0046] 샘플링은 하기 규칙 중 적어도 하나의 기준을 기반으로 수행될 수 있다.
- [0047] 첫번째 규칙은 밝기 온도 형태의 인공위성 영상에서의 밝기 온도(또는 특징)에 대한 가우시안 분포(gaussian distribution)를 고려하여 샘플링 하는 것이다. 구체적으로 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 전체에서 비-산불(Non-Fire)을 샘플링 할 때 백분위(Percentile Rank)를 활용할 수 있다. 이때 미리 설정된 기준 값 이상의 백분위를 가지는 부분에 대해서는 더 많이 샘플링 할 수 있다. 예를 들어 도4와 같이 값 분포가 0부터 50%까지의 백분위인 경우 넓은 간격으로 샘플링하고, 50%이상인 경우 좀 더 좁은 간격으로 샘플링 할 수 있다. 또는 예를 들어 밝기 온도가 0 내지 80%까지의 백분위인 경우 매 5마다 샘플링 할 수 있다. 또한 밝기 온도가 80 내지 100%까지의 백분위에 대해서는 매 0.05마다 샘플링 할 수 있다. 이렇듯 높은 백분위에서 더 많은 비-산불(Non-Fire) 샘플을 추출하는 것은 오탐지(False alarm)를 줄여주는데 기여를 할 수 있다.
- [0048] 두번째 규칙은 밝기 온도 형태의 인공위성 영상에서 비-산불 샘플을 샘플링 할 때 공간적 분포가 고르게 될 수 있도록 샘플링 하는 것이다. 즉 하나의 위치에서만 샘플링을 수행하지 않고 여러 위치를 고려하여 샘플링을 수행한다. 예를 들어 도5와 같이 우리나라 지역의 경우 특정한 지역만이 아닌 여러 지역을 샘플링 할 수 있다. 이는 밝기 온도는 토지 피복(land cover)의 구성 및 표고(elevation)에 따라 달라질 수 있기 때문에 비-산불을 샘플링 할 때 여러 위치를 고려해서 하는 것이 중요하기 때문이다.
- [0049] 세번째 규칙은 밝기 온도 형태의 인공위성 영상에서 결측값(missing value)가 있는 경우, 하나의 윈도우내의 평균값으로 결측값을 설정하는 것이다. 특히 이는 분석 모델이 CNN모델인 경우 더 잘 활용될 수 있다. 예를 들어 9×9 윈도우에서 결측값 비율(missing value ratio)가 0.4이하라면, 9×9 윈도우의 평균을 결측값으로 할 수 있다. 이 경우 nanmean 함수를 이용할 수도 있다.
- [0050] 산불 탐지 장치는 분석 모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단할 수 있다(240).

- [0051] 산불 발생 여부는 인공위성 영상의 하나의 픽셀에서 산불이 발생했는지 아닌지에 대한 이진 분류(Binary Class)를 의미할 수 있다.
- [0052] 산불 탐지 장치는 분석 모델의 출력값을 후처리(Post-processing)한 뒤 산불 발생 여부를 판단할 수 있다.
- [0053] 후처리는 오탐지(False alarms)을 감소시키기 위한 단계일 수 있다. 후처리 과정은 분석 모델의 출력값에 토지 피복 비율(Land cover ratio)에 대한 정보를 통합하여 오탐지를 제거하는 과정일 수 있다.
- [0054] 후처리 과정은 산불과 오탐지를 구분하기 위하여 토지 피복 비율의 임계값을 설정하는 과정을 포함할 수 있다. 도6은 산불인 경우와 오탐지인 경우의 토지 피복 비율(Land cover Ratio)을 토지의 종류에 따라 보여준 것이다. 토지 피복 비율은 0부터 1사이의 값을 가질 수 있다. 도6의 (a)는 RF모델을 이용한 경우이고, 도6의 (b)는 CNN 모델을 이용한 경우이다. 도6과 같이 산림(Forest)지역의 토지 피복 비율이 낮은 경우 오탐지가 발생할 수 있다. 또는 도6과 같이 농업(Crop)지역의 토지 피복 비율이 높은 경우 오탐지가 발생할 수 있다. 이는 시가지화 지역(Built) 및 수역(water)지역인 경우도 같다.
- [0055] 따라서 도6을 통해 다음과 같은 조건을 설정할 수 있다. 산불이 발생된 것으로 예상된 지역이 하기 (a) 내지 (d)조건 중 적어도 하나를 만족하는 경우에는, 산불이 발생된 것으로 예상된 지역을 오탐지로 처리할 수 있다. 이 경우 해당 지역은 비-산불 지역으로 고려될 수 있다. 이를 통해 오탐지를 감소시킬 수 있다.
- [0056] (a) 조건 1 : 9 x 9 윈도우에서 농업지역(Crops) 비율이 0.4 이상
- [0057] (b) 조건 2 : 9 x 9 윈도우에서 산림(Forest) 비율이 0.25 이하
- [0058] (c) 조건 3 : 9 x 9 윈도우에서 시가지화지역(Built) 비율이 0.2 이상
- [0059] (d) 조건 4 : 9 x 9 윈도우에서 수역(Water) 비율이 0.2 이상
- [0061] 연구자는 분석 모델을 구축하였다. 연구자는 구축한 분석 모델의 성능을 평가하였다. 이하 연구자가 분석 모델을 구축하고, 이를 활용해 산불 발생 여부의 성능을 평가한 실험결과에 대해 살펴본다.
- [0063] 도7은 연구자가 모델을 구축하고, 성능을 평가한 전체적인 과정을 보여준다.
- [0064] 연구자는 일본의 정지 위성인 Himawari-8의 AHI 센서로부터 측정된 밝기 온도 데이터를 이용하였다.
- [0065] Himawari-8은 대상 지역을 10분 간격으로 측정할 수 있다. Himawari는 16개의 채널을 가지고 있다. 16개의 채널은 가시광선 영역으로부터 열 적외선 영역까지의 서로 다른 영역의 주파수영역 각각에 해당한다.
- [0066] 산불에서 발생한 에너지는 구름에 의하여 방해된다. 따라서 광학적 위성 데이터를 이용해서 산불을 탐지하기 위해서 구름이 있는 영역을 제거하는 것은 필수적이다. 이에 연구자는 클라우드 마스킹(Cloud Masking)을 적용하였다
- [0067] 연구자는 밝기 온도 데이터를 전처리하여 주파수에 따른 밝기 온도 차이, 시간에 따른 밝기 온도 차이 및 공간에 따른 밝기 온도 차이를 계산해 모델에 입력할 특징(Input Feature)을 생성하였다.
- [0068] 연구자는 분석 모델의 종류 및 입력되는 특징의 종류가 서로 다른 스킴(Scheme)을 기반으로 모델을 구축하였다(RS1, RS2, RS3, CS1 및 CS2).
- [0069] 도8은 스킴에 따라 분석 모델에 입력되는 값을 보여준다.
- [0070] 총 5개의 스킴(RS1, RS2, RS3, CS1 및 CS2)이 이용되었다.
- [0071] RS1 내지 RS3에서 이용한 분석 모델은 RF(Random Forest)이다. CS1 및 CS2에서 이용한 분석 모델은 CNN(Convolutional Neural Network)이다. 도9는 실험에 활용된 CNN모델의 구조를 보여준다.
- [0072] RS1 내지 RS3, CS1 및 CS2에서의 모델은 입력값으로 3.85 μ m파장에서의 밝기 온도 형태의 인공위성 영상을 입력 받는다.
- [0073] RS1 내지 RS3, CS1 및 CS2에서의 모델은 추출된 특징 중 주파수에 따른 밝기 온도 차이를 입력 받는다. 구체적으로 3.85 μ m에서의 밝기 온도와 9.63 μ m, 10.45 μ m, 11.20 μ m, 12.25 μ m 중 적어도 하나의 파장에서의 밝기 온도 차이를 각각 입력 받을 수 있다(3.85 μ m - 9.63 μ m, 3.85 μ m - 10.45 μ m, 3.85 μ m - 11.20 μ m 및 3.85 μ m - 12.35 μ m).
- [0074] RS2, RS3 및 CS2에서의 분석 모델은 특징 중 시간에 따른 밝기 온도의 차이를 입력 받는다. 구체적으로 3.85 μ m

에서의 밝기 온도에서 과거 15일 동안의 밝기 온도의 평균 값과 현재 시점에서의 밝기 온도 차이를 입력 받을 수 있다($3.85\mu\text{m BT}_{\text{target day}} - 3.85\mu\text{m BT}_{\text{mean}_{\text{past15days}}}$).

- [0075] RS3에서의 분석 모델은 특징 중 공간에 따른 밝기 온도 차이를 입력 받는다. 구체적으로 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 중심 픽셀에서의 밝기 온도와 해당 중심 픽셀 주변 9×9 에서의 밝기 온도의 평균값의 차이를 입력 받을 수 있다.
- [0076] 연구자는 MODIS에서 측정한 토지 피복 종류(Land cover type)으로부터 토지 피복 비율을 계산하였다. 이렇게 계산된 토지 피복 비율은 후처리 과정에서 오탐지 알람을 제거하는데 이용되었다.
- [0077] 연구자는 동일한 지역에서 발생한 산불 발생 데이터를 레퍼런스 데이터로 활용하여 모델을 학습시켰다. 모델을 학습하는 과정에서 5겹 교차검증(5-fold cross validation)방법을 활용하였다.
- [0079] 도10은 각 스킵에 따른 분석 모델의 성능을 평가한 결과이다.
- [0080] 스킵에 따른 모든 분석 모델은 높은 OA(Overall Accuracy)값을 보여준다. 이는 스킵에 따른 모든 분석 모델은 산불과 비-산불을 잘 구별할 수 있다는 것을 보여준다.
- [0081] RS2 및 RS3에 따른 분석 모델은 RS1보다 높은 Recall값을 가진다.
- [0082] RS3은 높은 정밀도(precision)를 보여준다. 이는 공간적 지표를 이용하는 경우 오탐지 알람이 효과적으로 감소할 수 있다는 것을 보여준다.
- [0083] RS3은 다른 RF기반 분석 모델보다 높은 성능을 보여준다. 이는 산불을 탐지함에 있어서 공간적 정보 및 시간 정보를 함께 이용하는 것이 좋다는 것을 보여준다.
- [0084] CS2 및 CS1은 높은 정밀도를 보여준다. 이는 공간적 정보를 활용하는 것이 좋다는 것을 보여준다.
- [0085] 이미지 기반의 CNN기반의 모델은 픽셀 기반의 RF모델보다 전체적인 성능이 좋은 것을 확인할 수 있다. 특히 CS2는 가장 높은 F1-score를 가짐으로써 가장 높은 성능을 보여준다.
- [0087] 도11은 91개의 산불 케이스를 분석 모델이 얼마나 빠르게 또는 정확하게 탐지하는지 확인한 실험결과이다. 도11은 해당하는 시간 내 몇 건의 산불을 탐지하였는지를 보여준다.
- [0088] 실험에 이용된 분석 모델은 전술한 RS3, CS1 및 CS2이다. 대조군으로 종래 산불 탐지 알고리즘(MODIS, VIIRS 및 AHI)이 이용되었다. 종래 산불 탐지 알고리즘은 임계값 기반(threshold-based)의 모델이다.
- [0089] RS3, CS1 및 CS2의 경우 각각 63, 82 및 88건의 산불 케이스를 탐지하였다. 반면 종래 산불 탐지 알고리즘은 10, 16 및 16건의 산불 케이스를 탐지하였다. 즉 종래 임계값 기반의 산불 탐지 알고리즘보다 전술한 기계학습 기반의 산불 탐지 방법의 성능이 더 좋다는 것을 확인할 수 있다.
- [0090] CS2는 RS3와 비교할 때, 0초에서 60분 이내 산불을 탐지한 결과가 더 많다. 즉 CS2는 RS3보다 더 빠른 속도로 산불을 탐지할 수 있다는 것을 보여준다. 이는 도3에서와 같이 9×9 윈도우로 분석 모델에 입력되는 경우 중앙부가 주변부보다 더 높은 분포를 가지고 있기 때문으로 볼 수 있다.
- [0091] CS2는 CS1과 비교할 때, 유사한 속도로 산불을 탐지하였다(약 60분 이내). 양 스킵에서 60분이 넘어 산불을 탐지하는 경우가 있었는데, 이는 구름에 의해 영향을 받은 경우이다.
- [0093] 도12는 산불을 탐지한 실험결과를 보여다. 실험은 전술한 RS3, CS1 및 CS2가 이용되었다. 도12의 (a)는 RS3를 이용한 경우, 도12의 (b)는 CS1를 이용한 경우, 도12의 (c)는 CS2를 이용한 경우이다. 도12의 (d)는 도12의 (c)의 일부를 확대한 것이다. 도12의 (f)는 산불이 발생한 지역에서의 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기 온도를 보여준다. 분석 모델이 산불이 발생한 것으로 탐지한 위치는 색상이 있는 점을 통해 표시되었다. 발생확률이 높을수록 빨간색으로 표시되었다.
- [0094] 도12는 모델이 산불을 오탐지하는 것이 거의 발생하지 않는 것을 보여준다. 반면 도12는 RS3의 경우 산불 중 일부를 탐지하는 것을 실패하였다는 것을 보여준다. 반면에 CS1 및 CS2는 RS3가 탐지하지 못한 산불을 탐지하였다. 따라서 CNN기반의 모델이 RS3모델보다 좀 더 성능이 좋다는 것을 확인할 수 있다.
- [0096] 도13은 후처리 한 실험결과를 보여준다.
- [0097] 도13의 (a)는 후처리 하기 전을 보여준다. 도13의 (b)는 후처리 한 후를 보여준다. 도13의 (c)는 농업 비율(Crop ratio)을 보여준다. 도13의 (d)는 산림 비율(Forest ratio)을 보여준다. 도13의 (e)는 구름 정도를 보여

준다. 도13의 노란색 박스는 1ha 이상의 산불이 발생한 지역을 보여준다.

- [0098] 도13을 통해 후처리 과정을 거치면 오탐지 픽셀이 성공적으로 제거된 것을 확인할 수 있다. 오탐지 픽셀은 대부분 비-산림지역에서 발생하였는데 이것이 모두 제거되었다. 이 중 10개의 픽셀은 해안가나 그룹으로 인하여 제거되었다. 이중 6개는 농업 비율에 의하여 제거되었다. 클라우드 마스킹 후에도 불완전한 마스킹으로 인하여 내륙에 몇몇 오탐지가 남아 있는 것을 확인할 수 있다.
- [0100] 이하 산불 탐지 장치에 대하여 설명한다.
- [0101] 도14는 산불 탐지 장치(300)의 구성의 예이다. 산불 탐지 장치(300)는 도1에서 설명한 산불 탐지 장치(100)에 해당할 수 있다. 즉 산불 탐지 장치(300)는 전술한 산불 탐지 방법을 실행하는 장치일 수 있다.
- [0102] 산불 탐지 장치(300)는 물리적으로 다양한 형태로 구현될 수 있다. 예를 들어 산불 탐지 장치(300)는 PC, 노트북, 스마트기기, 서버 또는 데이터처리 전용 칩셋 등의 형태를 가질 수 있다.
- [0103] 산불 탐지 장치(300)는 입력장치(310), 저장장치(320), 연산장치(330), 출력장치(340), 인터페이스 장치(350) 및 통신장치(360)를 포함할 수 있다.
- [0104] 입력장치(310)는 일정한 명령 또는 데이터를 입력 받는 인터페이스 장치(키보드, 마우스, 터치스크린 등)를 포함할 수도 있다. 입력장치(310)는 별도의 저장장치(USB, CD, 하드디스크 등)를 통하여 정보를 입력 받는 구성을 포함할 수도 있다. 입력장치(310)는 입력 받는 데이터를 별도의 측정장치를 통하여 입력 받거나, 별도의 DB를 통하여 입력 받을 수도 있다. 입력장치(310)는 유선 또는 무선 통신을 통해 데이터를 입력 받을 수 있다.
- [0105] 입력장치(310)는 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는데 필요한 정보 및 모델을 입력 받을 수 있다. 입력장치(310)는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상을 입력 받을 수 있다.
- [0106] 저장장치(320)는 입력장치(310)를 통해 입력 받은 정보를 저장할 수 있다. 저장장치(320)는 연산장치(330)가 연산하는 과정에서 생성되는 정보를 저장할 수 있다. 즉 저장장치(320)는 메모리를 포함할 수 있다. 저장장치(320)는 연산장치(330)가 계산한 결과를 저장할 수 있다.
- [0107] 저장장치(320)는 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는데 필요한 정보 및 모델을 저장할 수 있다. 저장장치(320)는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상을 저장할 수 있다. 저장장치(320)는 분석 모델을 저장할 수 있다.
- [0108] 연산장치(330)는 데이터를 처리하고, 일정한 연산을 처리하는 프로세서, AP, 프로그램이 임베디드 된 칩과 같은 장치일 수 있다. 연산장치(330)는 산불 탐지 장치를 제어하는 제어신호를 생성할 수 있다.
- [0109] 연산장치(330)는 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는데 필요한 연산을 수행할 수 있다. 연산장치(330)는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상으로부터 특징(Feature)을 추출할 수 있다. 연산장치(330)는 밝기 온도 형태의 인공위성 영상 및 상기 추출된 특징을 분석 모델에 입력할 수 있다. 연산장치(330)는 분석 모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단할 수 있다.
- [0110] 출력장치(340)는 일정한 정보를 출력하는 장치가 될 수도 있다. 출력장치(340)는 데이터 과정에 필요한 인터페이스, 입력된 데이터, 분석결과 등을 출력할 수도 있다. 출력장치(340)는 디스플레이, 문서를 출력하는 장치, 등과 같이 물리적으로 다양한 형태로 구현될 수도 있다.
- [0111] 인터페이스 장치(350)는 외부로부터 일정한 명령 및 데이터를 입력 받는 장치일 수 있다. 인터페이스 장치(350)는 물리적으로 연결된 입력 장치 또는 외부 저장장치로부터 밝기 온도 형태의 인공위성 영상을 입력 받을 수 있다. 인터페이스 장치(350)는 산불 탐지 장치(300)를 제어하기 위한 제어신호를 입력 받을 수 있다. 인터페이스 장치(350)는 산불 탐지 장치(300)가 분석한 결과를 출력할 수 있다.
- [0112] 통신장치(360)는 유선 또는 무선 네트워크를 통해 일정한 정보를 수신하고 전송하는 구성을 의미할 수 있다. 통신장치(360)는 산불 탐지 장치(300)를 제어하는데 필요한 제어 신호를 수신할 수 있다. 통신장치(360)는 산불 탐지 장치(300)가 분석한 결과를 전송할 수 있다.
- [0114] 전술한 산불 탐지 방법은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 실행가능한 알고리즘을 포함하는 프로그램(또는 어플리케이션)으로 구현될 수 있다.
- [0115] 상기 프로그램은 일시적 또는 비일시적 판독 가능 매체(non-transitory computer readable medium)에 저장되어 제공될 수 있다.
- [0116] 비일시적 판독 가능 매체는 레지스터, 캐쉬, 메모리 등과 같이 짧은 순간 동안 데이터를 저장하는 매체가 아니

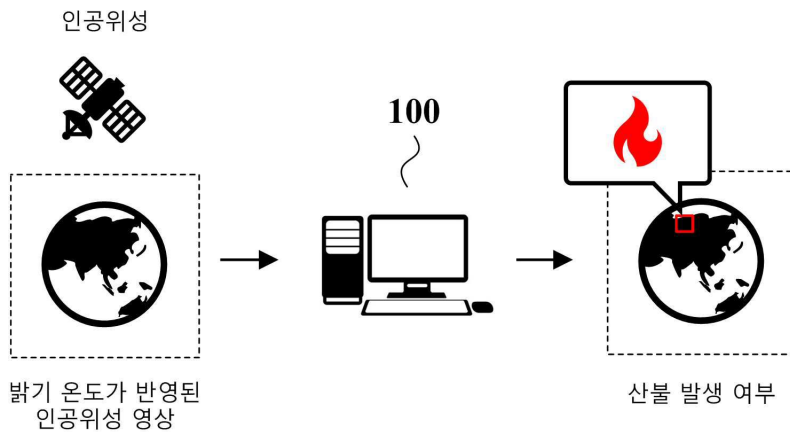
라 반영구적으로 데이터를 저장하며, 기기에 의해 판독(reading)이 가능한 매체를 의미한다. 구체적으로는, 상술한 다양한 어플리케이션 또는 프로그램들은 CD, DVD, 하드 디스크, 블루레이 디스크, USB, 메모리카드, ROM (read-only memory), PROM (programmable read only memory), EPROM(Erasable PROM, EPROM) 또는 EEPROM(Electrically EPROM) 또는 플래시 메모리 등과 같은 비일시적 판독 가능 매체에 저장되어 제공될 수 있다.

[0117] 일시적 판독 가능 매체는 스태틱 램(Static RAM, SRAM), 다이내믹 램(Dynamic RAM, DRAM), 싱크로너스 디램(Synchronous DRAM, SDRAM), 2배속 SDRAM(Double Data Rate SDRAM, DDR SDRAM), 증강형 SDRAM(Enhanced SDRAM, ESDRAM), 동기화 DRAM(SyncLink DRAM, SLD RAM) 및 직접 램버스 램(Direct Rambus RAM, DRRAM) 과 같은 다양한 RAM을 의미한다.

[0118] 본 실시예 및 본 명세서에 첨부된 도면은 전술한 기술에 포함되는 기술적 사상의 일부를 명확하게 나타내고 있는 것에 불과하며, 전술한 기술의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시예는 모두 전술한 기술의 권리범위에 포함되는 것이 자명하다고 할 것이다.

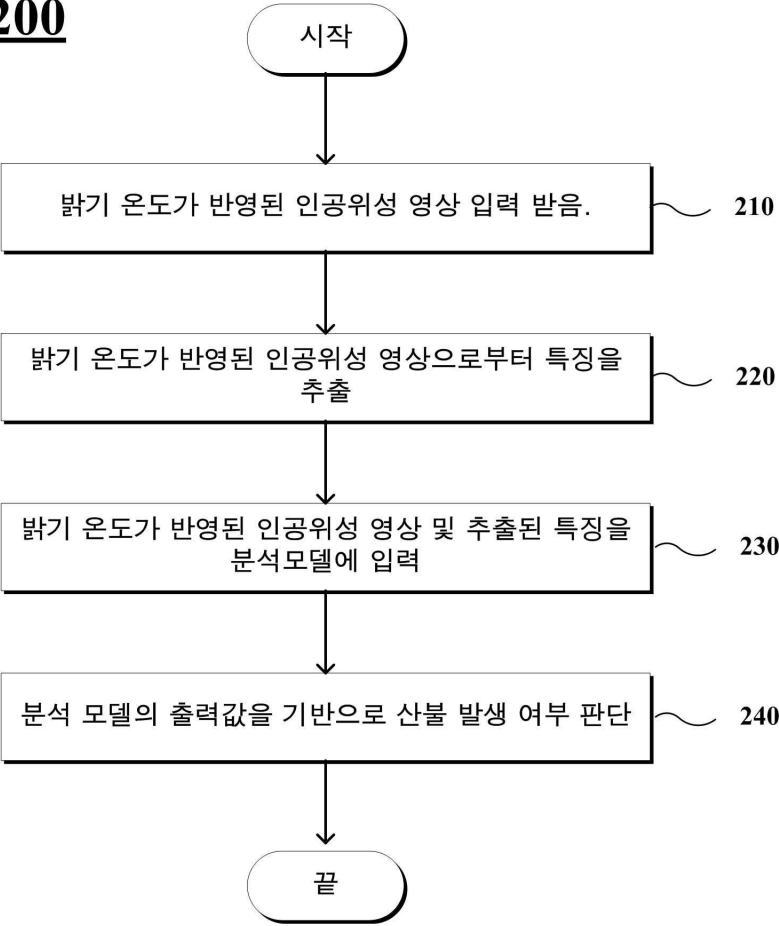
도면

도면1

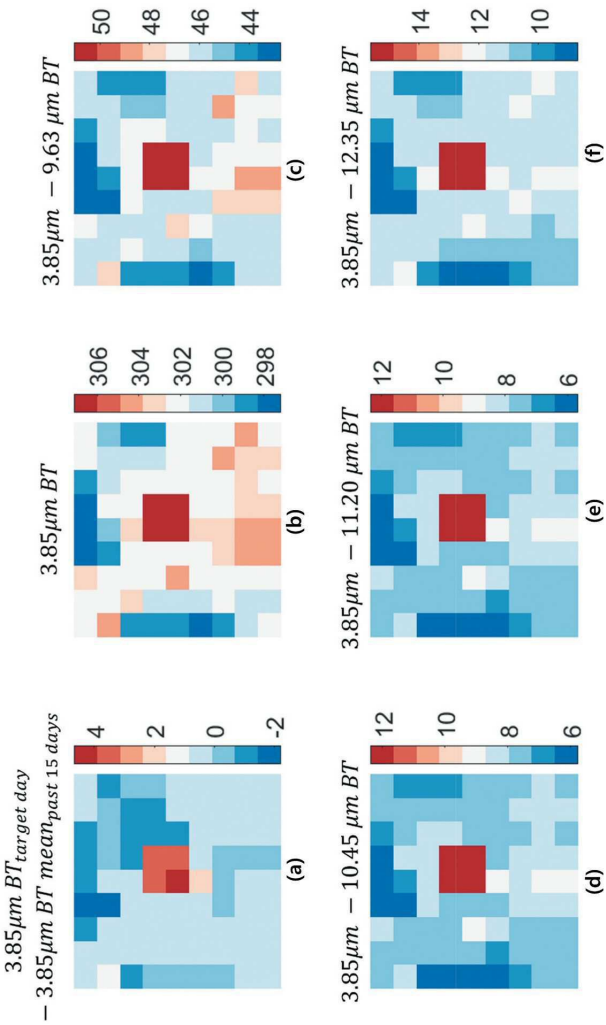


도면2

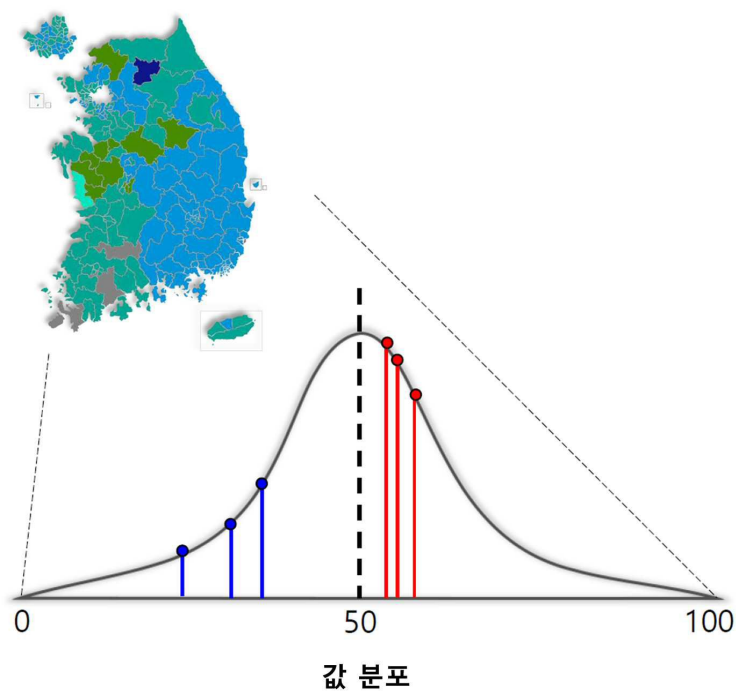
200



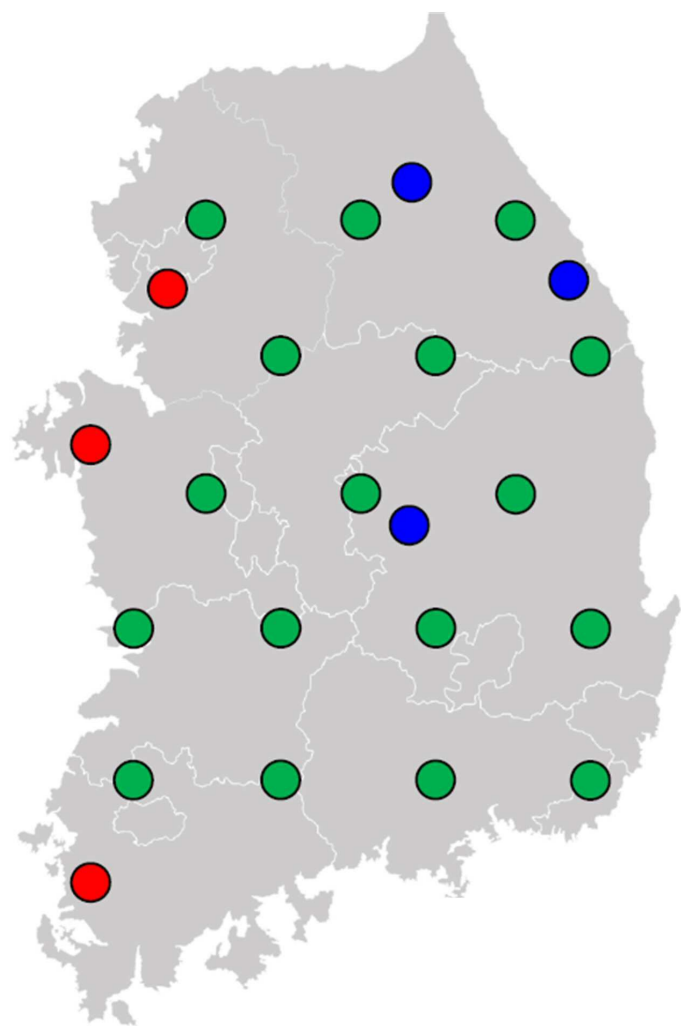
도면3



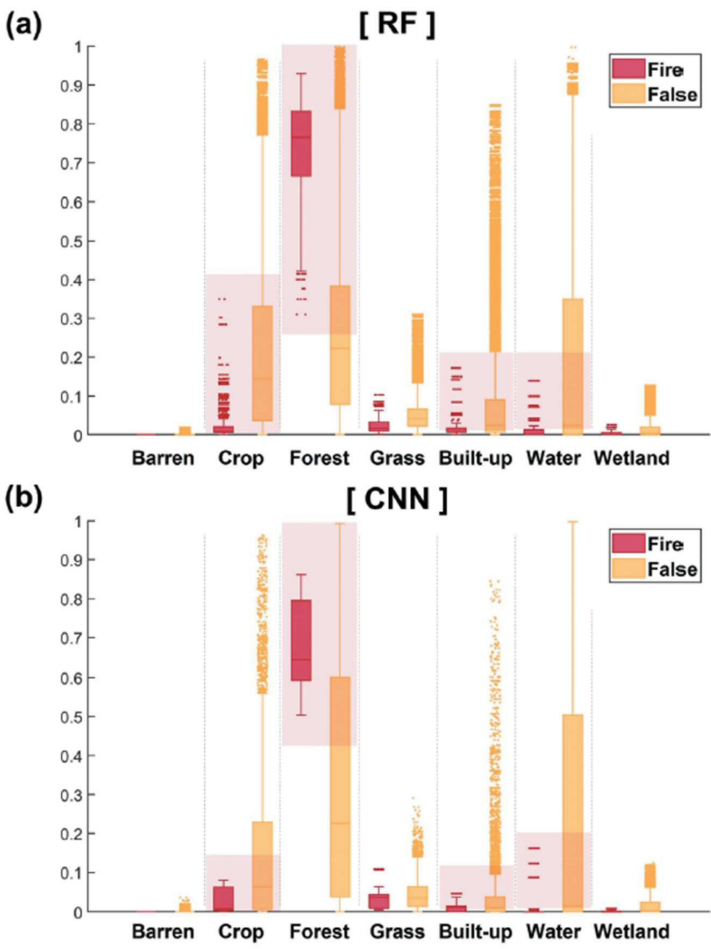
도면4



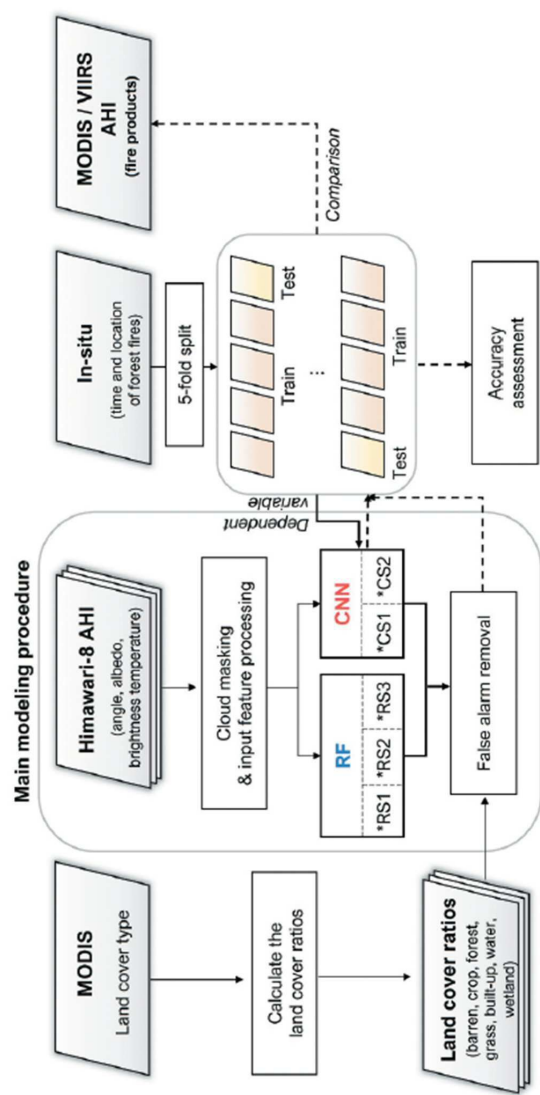
도면5



도면6



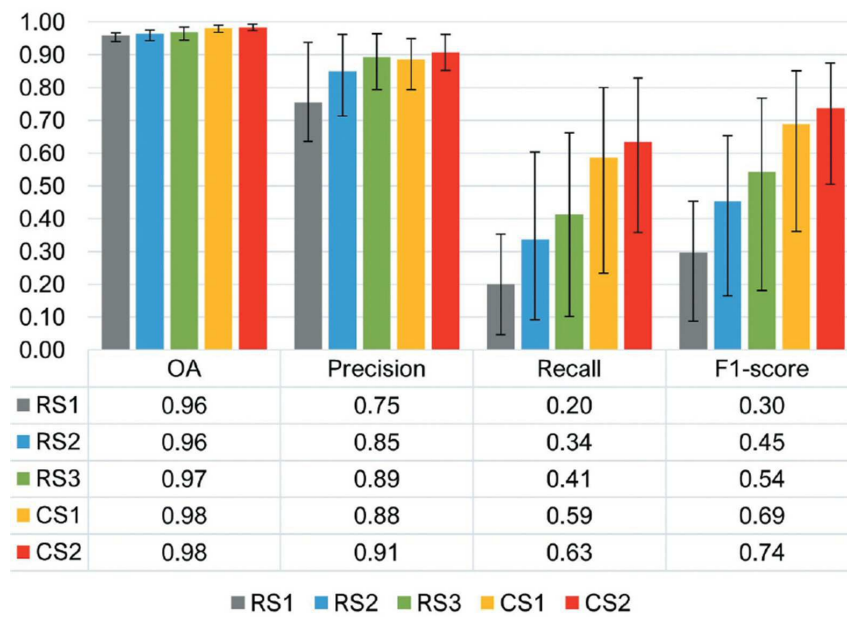
도면7



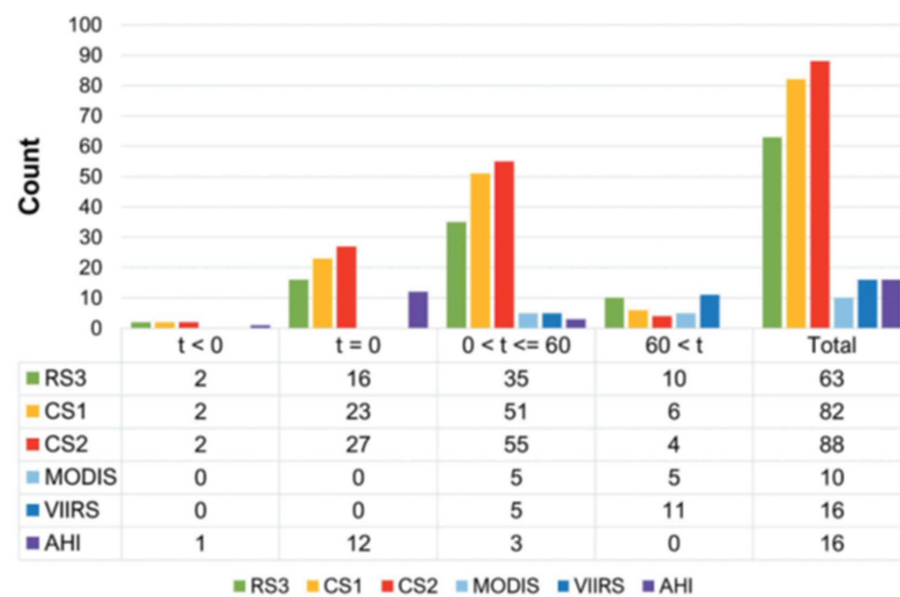
도면8

Input features	Description	RS					CS	
		RS1	RS2	RS3	CS1	CS2		
3.85 μm	Spectral	0	0	0	0	0		
3.85-9.63 μm		0	0	0	0	0		
3.85-10.45 μm		0	0	0	0	0		
3.85-11.20 μm		0	0	0	0	0		
3.85-12.35 μm	Temporal	0	0	0	0	0		
3.85 μm BT _{target day}			0	0	0	0		
- 3.85 μm BT mean _{past5days}								
3.85 μm BT _{center}	Spatial			0				
- 3.85 μm BT _{surrounding mean}								

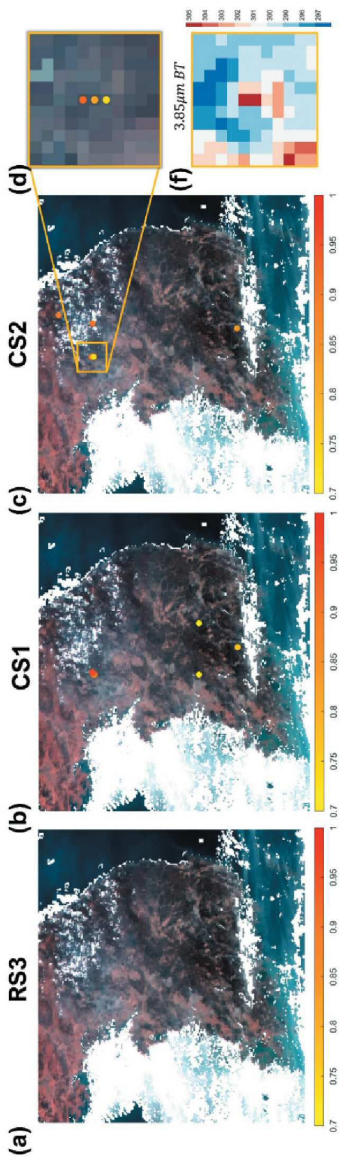
도면10



도면11

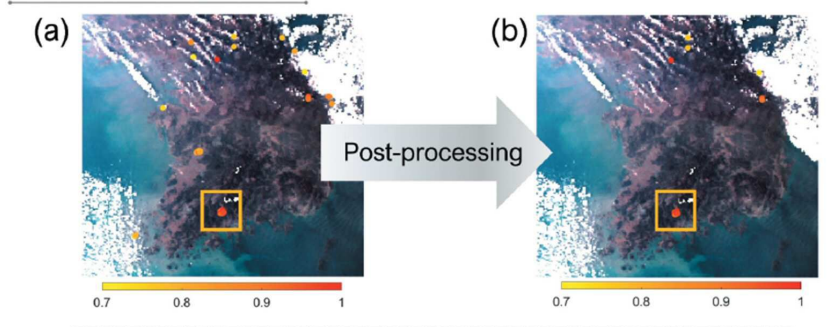


도면12

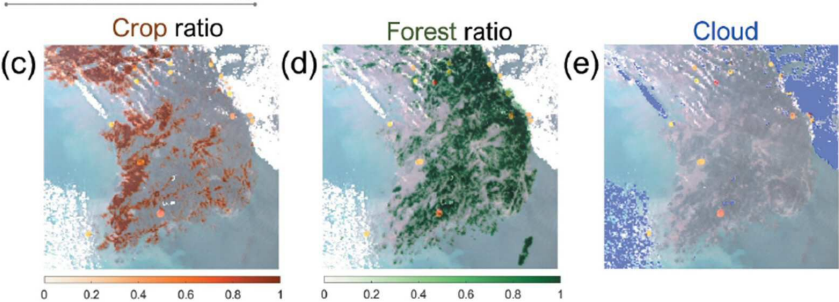


도면13

CS2 mapping result



Post-processing



도면14

