



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년02월13일
(11) 등록번호 10-2768592
(24) 등록일자 2025년02월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G08B 29/18 (2006.01) G01D 21/02 (2006.01)
G08B 17/00 (2014.01) G08B 17/12 (2014.01)
(52) CPC특허분류
G08B 29/185 (2013.01)
G01D 21/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0152607
(22) 출원일자 2023년11월07일
심사청구일자 2023년11월07일
(56) 선행기술조사문헌
CN112697279 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
강유진
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
성태준
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
임정호
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인(유한)아이스스

전체 청구항 수 : 총 19 항

심사관 : 최영준

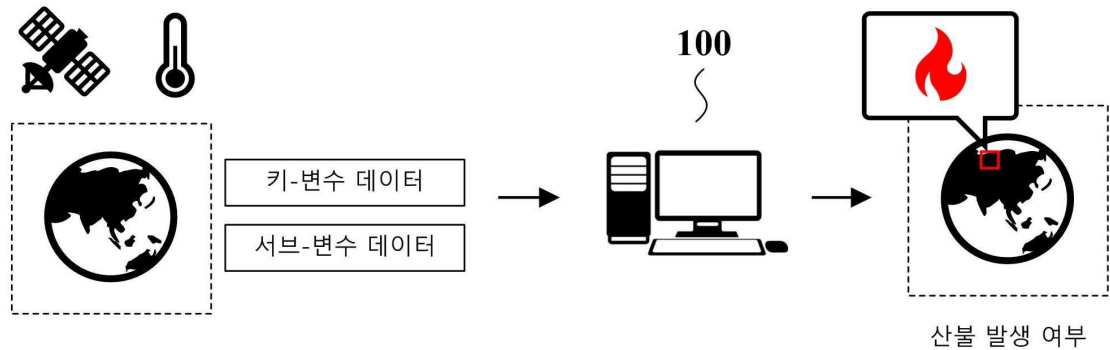
(54) 발명의 명칭 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법

(57) 요약

관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법은 산불 탐지 장치가 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터를 획득하는 단계; 상기 산불 탐지 장치가 상기 키-변수 데이터를 전처리하는 단계; 상기 산불 탐지 장치가 상기 전처리된 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터를 분석모델에 입력하는 단계; 및 상기 산불 탐지 장치가 상기 분석모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단하는 단계; 를 포함한다.

대표도

인공위성 수치모델자료



(52) CPC특허분류

G08B 17/005 (2013.01)

G08B 17/125 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

CN116863628 A*

KR102532738 B1*

KR1020210118695 A

KR1020220095092 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

산불 탐지 장치가 키-변수(Key-Variables) 데이터 및 서브-변수(Sub-Variables) 데이터를 획득하는 단계;

상기 산불 탐지 장치가 상기 키-변수 데이터를 전처리하는 단계;

상기 산불 탐지 장치가 상기 전처리된 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터를 분석모델에 입력하는 단계; 및

상기 산불 탐지 장치가 상기 분석모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단하는 단계; 를 포함하되,

상기 키-변수 데이터는 밝기온도(Brightness temperature) 데이터를 포함하고,

상기 전처리는 상기 키-변수에 포함된 밝기온도 데이터로부터 주파수에 따른 밝기온도 차이 및 공간에 따른 밝기온도 차이를 계산하는 것이고, ,

상기 서브-변수 데이터는 상대 습도(Relative humidity) 데이터, 표면 온도(Skin Temperature) 데이터, 토지 피복(Land Cover) 데이터, 위성 천정각(Satellite zenith angle) 데이터 및 태양 천정각(Solar zenith angle)를 포함하고,

상기 분석모델은 제1 모듈, 제2 모듈 및 제3 모듈을 포함하고,

상기 제1 모듈은 상기 전처리된 키-변수 데이터의 공간적 패턴을 중심으로 산불 탐지에 필요한 특징(Feature)을 추출하고,

상기 제2 모듈은 상기 서브-변수 데이터의 값을 중심으로 산불 탐지에 필요한 특징을 추출하고,

상기 제3 모듈은 상기 제1 모듈 및 상기 제2 모듈의 출력값을 기반으로 산불의 발생 가능성을 계산하는,

관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터는 인공위성 및 수치모델자료에서 제공되는 데이터이며,

상기 인공위성은 정지궤도 위성(Geostationary Satellite) 또는 극궤도 위성(Polar-Orbit Satellite)인, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 밝기온도 데이터는 서로 다른 주파수 대역에서 측정된 밝기온도 데이터를 포함하는, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 토지 피복 데이터는 바이오메스(Bio-Mass)에 따라 분류된 서브 클래스에 따라 서로 다른 값중 하나를 가지는, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전처리는 키-변수에 포함된 밝기온도 데이터로부터 주파수에 따른 밝기온도 차이 및 공간에 따른 밝기온도 차이를 계산하는 것인, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 주파수에 따른 밝기온도 차이는 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기온도와 $3.85\mu\text{m}$ 파장이 아닌 다른 파장에서의 밝기온도와의 차이인, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 $3.85\mu\text{m}$ 파장이 아닌 다른 파장에서의 밝기온도는 $9.63\mu\text{m}$, $10.45\mu\text{m}$, $11.20\mu\text{m}$ 및 $12.25\mu\text{m}$ 파장 중 적어도 하나의 파장에서의 밝기온도를 포함하는, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 공간에 따른 밝기온도 차이는 중심(Center) 픽셀에서의 밝기온도와 주변(Surround) 픽셀의 밝기온도의 평균과의 차이인, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 9

제5항에 있어서,

상기 공간에 따른 밝기온도 차이는 중심 픽셀에서의 주파수별 밝기온도 차이인 제1 값과 주변 픽셀에서의 주파수별 밝기온도 차이의 평균 값의 차이인 제 2 값과의 차이(제1값 - 제2값)인, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 산불 탐지 장치가 전처리된 키-변수 데이터를 기반으로 잠재적 화재 픽셀(potential fire pixels)을 선택하는 단계;를 더 포함하고,

상기 분석모델은 상기 선택된 잠재적 화재 픽셀에 대해서만 산불 발생 가능성을 계산하는, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 잠재적 화재 픽셀을 선택하는 것은 상기 전처리된 키-변수 데이터에 포함된 값과 미리 설정된 임계값을 비교하는 것인, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 분석모델은 레퍼런스 데이터를 포함하는 학습데이터를 기반으로 학습된 모델이고,

상기 레퍼런스 데이터는 하기 (a) 및 (b) 과정을 통해 선택된 활성 산불 데이터를 기반으로 구축된 데이터인, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

(a) 극궤도 위성으로부터 획득한 활성 산불 데이터(Active Wildfire Product) 중 미리 설정된 기간 동안 미리 설정된 횟수 만큼 산불이 있는 것으로 탐지된 산불 데이터만을 선택

(b) 정지궤도 위성으로부터 획득한 활성 산불 데이터 중 상기 미리 설정된 기간 동안 지속적으로 산불이 있는 것으로 탐지된 활성 산불 데이터만을 선택

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 레퍼런스 데이터는 하기 (c) 및 (d) 을 더 포함하는 과정을 통해 선택된 활성 산불 데이터를 기반으로 구축된 데이터인, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

(c) 활성 산불 데이터 중 신뢰도(Confidence)가 높은 활성 산불 데이터만을 선택

(d) 활성 산불 데이터 중 산불이 발생할 가능성이 없는 지역에 대한 활성 산불 데이터를 제외

청구항 14

삭제

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 제1 모듈은 CNN(Convolution Neural Network)기반의 모듈인, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 16

제1항에 있어서,

상기 제2 모듈은 다중 은닉 레이어(Multiple Hidden layer)를 포함하는, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 17

제1항에 있어서,

상기 산불 탐지 장치가 상기 판단한 산불 발생 여부를 보정하는 단계를 더 포함하되,

상기 보정하는 것은 높은 반사율(High reflective), 식생이 없는 지역(Non-vegetated) 및 구름에 가까운 지역(Near-Cloud area)에 대하여 산불이 발생되었다고 판단한 경우, 산불이 발생되지 않는 것으로 보정하는 것인, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법.

청구항 18

키-변수(Key-Variables) 데이터 및 서브-변수(Sub-Variables) 데이터를 입력 받는 입력장치;

상기 키-변수 데이터를 전처리하고, 전처리된 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터를 분석모델에 입력하고, 상기 분석모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단하는 연산장치; 및

상기 분석모델을 저장하는 저장장치;를 포함하되,

상기 키-변수 데이터는 밝기온도(Brightness temperature) 데이터를 포함하고,

상기 전처리는 상기 키-변수에 포함된 밝기온도 데이터로부터 주파수에 따른 밝기온도 차이 및 공간에 따른 밝기온도 차이를 계산하는 것이고,

상기 서브-변수 데이터는 상대 습도(Relative humidity) 데이터, 표면 온도(Skin Temperature) 데이터, 토지 피복(Land Cover) 데이터, 위성 천정각(Satellite zenith angle) 데이터 및 태양 천정각(Solar zenith angle) 포함하고,

상기 분석모델은 제1 모듈, 제2 모듈 및 제3 모듈을 포함하고,

상기 제1 모듈은 상기 전처리된 키-변수 데이터의 공간적 패턴을 중심으로 산불 탐지에 필요한 특징(Feature)을 추출하고,

상기 제2 모듈은 상기 서브-변수 데이터의 값을 중심으로 산불 탐지에 필요한 특징을 추출하고,

상기 제3 모듈은 상기 제1 모듈 및 상기 제2 모듈의 출력값을 기반으로 산불의 발생 가능성을 계산하는 , 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 장치.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 전처리는 키-변수에 포함된 밝기온도 데이터로부터 주파수에 따른 밝기온도 차이 및 공간에 따른 밝기온도 차이를 계산하는 것인, 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 장치.

청구항 20

제1항에 기재된 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법을 실행하기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 이하 설명하는 기술은 인공지능 모델을 이용한 산불 탐지 방법에 대한 것이다.

배경 기술

[0002] 산불(Wildfire)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 인공지능 기반의 모델을 이용해 산불을 탐지하는 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법은 산불 탐지 장치가 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터를 획득하는 단계; 상기 산불 탐지 장치가 상기 키-변수 데이터를 전처리하는 단계; 상기 산불 탐지 장치가 상기 전처리된 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터를 분석모델에 입력하는 단계; 및 상기 산불 탐지 장치가 상기 분석모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단하는 단계; 를 포함한다.

[0007] 상기 키-변수 데이터는 밝기온도(Brightness temperature) 데이터를 포함한다.

[0008] 상기 전처리는 상기 키-변수에 포함된 밝기온도 데이터로부터 주파수에 따른 밝기온도 차이 및 공간에 따른 밝기온도 차이를 계산하는 것이다.

[0009] 상기 서브-변수 데이터는 상대 습도(Relative humidity) 데이터, 표면 온도(Skin Temperature) 데이터, 토지 피복(Land Cover) 데이터, 위성 천정각(Satellite zenith angle) 데이터 및 태양 천정각(Solar zenith angle) 중 적어도 하나를 포함한다.

발명의 효과

- [0010] 이하 설명하는 기술을 이용하면 인공위성에서 측정한 데이터를 이용해 산불을 자동으로 탐지할 수 있다.
- [0011] 이하 설명하는 기술을 이용하면 인공위성에서 측정한 데이터의 주파수별, 공간적 특성을 고려하여 산불을 자동으로 탐지할 수 있다.
- [0012] 이하 설명하는 기술을 이용하면 관측 조건 및 환경 조건을 고려하여 산불을 탐지함으로써 산불 탐지의 효율성을 높일 수 있다.
- [0013] 이하 설명하는 기술을 이용하면 분석모델 학습에 필요한 레퍼런스 데이터를 구축할 수 있다.
- [0014] 이하 설명하는 기술을 이용하면 빠른 시간 내 산불을 자동으로 탐지하여 산불에 대해 빠른 조치를 할 수 있다.
- [0015] 이하 설명하는 기술을 이용하면 오탐지를 최대한으로 줄여 산불을 정확하게 탐지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도1은 산불 탐지 장치(100)가 산불 탐지 방법을 수행하는 전체적인 과정이다.
- 도2는 산불 탐지 방법의 실시예 중 하나의 순서도(200)이다.
- 도3은 분석모델의 일 실시예이다.
- 도4는 인공위성에서 측정한 데이터를 기반으로 분석모델을 구축할 때 필요한 레퍼런스 데이터를 구축하는 실시예 중 하나의 순서도(300)이다.
- 도5는 레퍼런스 데이터를 구축하는 실시예 중 하나이다.
- 도6은 분석모델을 구축하는 전체적인 과정이다.
- 도7은 분석모델의 성능 평가를 위한 학습데이터를 위하여 선정된 지역을 보여준다.
- 도8은 학습데이터의 소스와 그에 대한 설명이다.
- 도9는 학습데이터에 포함된 데이터를 키-변수 데이터와 서브-변수 데이터로 나눈 결과이다.
- 도10은 실험에 이용된 분석모델의 구조이다.
- 도11은 분석모델의 성능 평가를 위한 대조군 모델의 구조이다.
- 도12는 잠재적 화재 픽셀(potential fire pixels)을 선택한 실시예 중 하나이다.
- 도13은 분석모델과 대조군 모델의 성능을 비교평가한 결과이다.
- 도14는 지역별로 분석모델 및 대조군 모델의 성능을 비교평가한 결과이다.
- 도15는 분석모델이 EA2지역에서 산불을 탐지한 결과를 종래 산불 탐지 방법과 비교한 결과이다.
- 도16은 분석모델의 전이성을 테스트한 결과이다.
- 도17 및 도18은 서브-변수에 따른 분석모델의 신뢰도를 분석한 결과이다. 도17은 대조군 Control 모델에 대한 것이다. 도18은 분석모델(DM)에 대한 것이다.
- 도19는 산불 탐지 장치(400)의 실시예 중 하나의 구성이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 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 특정 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니다. 따라서 이하 설명하는 기술의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등, 불 내지 대체 물이 이하 설명하는 기술에 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0018] 다양한 구성요소들을 설명하기 위해서 제1, 제2, A, B 등의 용어가 사용될 수 있다. 하지만 상기 용어는 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소들과 구별하기 위해서 사용될 뿐, 상기 용어로 해당 구성요소들을 한정하려고 하는 것이 아니다. 예를 들어, 이하 설명하는 기술의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. “및/또는”이라는 용어는

복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

- [0019] 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.
- [0020] 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.
- [0021] 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, 각 과정들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0023] 이하 산불 탐지 장치가 관측 조건 및 환경 조건을 고려한 산불 탐지 방법(이하, 산불 탐지 방법)을 수행하는 전체적인 과정을 살펴본다.
- [0024] 도1은 산불 탐지 장치(100)가 산불 탐지 방법을 수행하는 전체적인 과정이다.
- [0025] 산불 탐지 장치(100)는 물리적으로 다양한 형태로 구현될 수 있다. 예를 들어 산불 탐지 장치(100)는 PC, 노트북, 스마트기기, 서버 또는 데이터처리 전용 칩셋 등의 형태를 가질 수 있다.
- [0026] 산불 탐지 장치(100)는 키-변수(Key-Variables) 데이터 및 서브-변수(Sub-Variables) 데이터를 기반으로 산불 발생 여부를 탐지하는 장치일 수 있다.
- [0027] 구체적으로, 산불 탐지 장치(100)는 키-변수(Key-Variables) 데이터 및 서브-변수(Sub-Variables) 데이터를 획득할 수 있다. 산불 탐지 장치(100)는 키-변수 데이터를 전처리할 수 있다. 산불 탐지 장치(100)는 전처리된 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터를 분석모델에 입력할 수 있다. 산불 탐지 장치(100)는 분석모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단할 수 있다.
- [0028] 키-변수 데이터는 밝기온도(Brightness temperature) 데이터를 포함할 수 있다.
- [0029] 전처리는 키-변수에 포함된 밝기온도 데이터로부터 주파수에 따른 밝기온도 차이 및 공간에 따른 밝기온도 차이를 계산하는 것일 수 있다.
- [0030] 서브-변수 데이터는 상대 습도(Relative humidity) 데이터, 표면 온도(Skin Temperature) 데이터, 토지 피복(Land Cover) 데이터, 위성 천정각(Satellite zenith angle) 데이터 및 태양 천정각(Solar zenith angle) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0032] 이하 산불 탐지 방법에 대해 구체적으로 설명한다.
- [0033] 도2는 산불 탐지 방법의 실시예 중 하나의 순서도(200)이다.
- [0034] 산불 탐지 장치는 키-변수(Key-Variables) 데이터 및 서브-변수(Sub-Variables) 데이터를 획득할 수 있다 (210).
- [0035] 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터는 인공위성 및 수치모델 자료에서 제공하는 데이터일 수 있다. 인공위성은 정지궤도 위성(Geostationary Satellite) 또는 극궤도 위성(Polar-Orbit Satellite)일 수 있다.. 예를 들어 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터는 정지 궤도 위성인 Himawari-8 및 GK2A에 부착된 AHI(Advanced Himawari Imager) 및 AMI (Advanced Meteorological Imager) 센서로부터 측정된 데이터 일 수 있다. 또는 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터는 극궤도 위성에 부착된 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 및 VIIRS(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) 센서로부터 측정된 데이터일 수 있다.
- [0036] 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터는 서로 다른 공간 해상도(Spatial Resolution) 또는 시간 해상도(Temporal Resolution)를 가질 수 있다. 이는 어떤 인공위성의 센서로부터 측정된 데이터냐에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어 Himawari-8 AHI로부터 측정된 키-변수 데이터는 2km의 공간해상도 및 10분의 시간 해상도를 가질 수

있다. 또는 MODIS로부터 측정된 서브-변수 데이터는 500m의 공간해상도 및 1일의 시간 해상도를 가질 수도 있다.

- [0037] 키-변수 데이터는 산불 탐지에 중심적인 역할을 하는 변수를 의미할 수 있다. 키-변수 데이터는 산불의 광학 및 열적 특성을 대표하는 변수를 의미할 수 있다.
- [0038] 키-변수 데이터는 공간적 패턴(Spatial Pattern)을 분석할 필요가 있는 변수를 포함할 수 있다. 공간적 패턴은 공간상에서 변수 값들이 어떻게 위치하고 있는지를 의미할 수 있다. 일 실시예로 공간적 패턴은 중심 픽셀과 주변 픽셀의 차이를 포함할 수 있다. 구체적으로 산불 발생시, 중심 픽셀의 밝기온도 값은 주변 픽셀의 밝기온도 값보다 큰 공간적 패턴을 보여준다. 따라서 산불 발생 여부를 판단하기 위하여, 위와 같은 공간적 패턴을 분석할 필요가 있다.
- [0039] 키-변수 데이터는 밝기온도 데이터를 포함할 수 있다.
- [0040] 밝기온도는 측정된 복사휘도(Radiance)를 흑체에서 방출되었을 때로 가정한 뒤, 플랑크(Planck) 법칙을 역으로 계산하여 얻은 온도일 수 있다.
- [0041] 밝기온도 데이터는 지구 상 특정 위치에서의 밝기온도에 대한 데이터를 포함할 수 있다. 일 실시예로 밝기온도 데이터는 밝기온도 형태의 인공위성 영상일 수 있다. 밝기온도 형태의 인공위성 영상은 인공위성 영상의 각 픽셀(Pixel)마다 밝기온도에 대한 정보가 반영된 영상일 수 있다.
- [0042] 밝기온도 데이터는 서로 다른 주파수(또는 파장) 대역에서 측정된 밝기온도 데이터를 포함할 수 있다. 예를 들어 가시광선부터 적외선 까지를 측정할 수 있는 16개 채널(Channel)을 가지고 있는 Himawari-8 AHI 센서를 이용하여 밝기온도를 측정하는 경우, 밝기온도 데이터는 16개의 채널마다의 값을 가질 수 있다.
- [0043] 서브-변수 데이터는 산불 탐지에 보조적인 역할을 하는 변수를 의미할 수 있다. 서브-변수는 관측 조건(Observing Condition) 및 환경 조건(Environmental Condition)을 대표하는 변수를 의미할 수 있다. 서브-변수는 배경적인 정보(Background Information)를 제공해주는 변수를 의미할 수 있다.
- [0044] 서브-변수 데이터는 공간적 패턴보다 그 값 자체가 더 중요한 변수를 포함할 수 있다. 즉 서브-변수 데이터는 키-변수 데이터와는 달리 공간적 패턴을 분석할 필요가 없는 데이터일 수 있다.
- [0045] 서브-변수는 상대 습도(Relative humidity, RH) 데이터, 표면 온도(Skin Temperature, ST) 데이터, 토지 피복(Land Cover, LC) 데이터, 위성 천정각(Satellite zenith angle, SAZ) 데이터 및 태양 천정각(Solar zenith angle, SOZ) 데이터 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0046] 상대 습도 데이터는 대기가 습하거나 건조한 정도를 나타내는 상대 습도에 대한 데이터일 수 있다. 상대 습도 데이터는 현재 온도에서 포화 수증기양 대비 현재 수증기 양의 비율을 기반으로 계산될 수 있다.
- [0047] 표면 온도 데이터는 지구의 표면 온도를 의미한다. 표면 온도 데이터는 지표면 온도를 의미할 수 있다.
- [0048] 표면 온도 데이터 및 상대 습도 데이터는 시간과 위도(latitudes)에 따라 영향을 받을 수 있다. 예를 들어 낮 시간에 표면 온도는 높게, 상대 습도는 낮게 측정되나 밤 시간에는 표면 온도는 낮게, 상대 습도는 높게 측정된다. 또한 위도가 낮을수록 표면 온도와 상대 습도는 높게, 위도가 높을수록 표면 온도와 상대 습도는 낮게 측정될 수 있다. 따라서 표면 온도 데이터 및 상대 습도 데이터를 더 활용함으로써 모델의 성능을 더 향상시킬 수 있다.
- [0049] 토지 피복 데이터는 지구 표면을 구성하고 있는 물리적인 물질 구성 또는 그 물질의 분포 현황을 의미할 수 있다.
- [0050] 토지 피복 데이터는 IGBP(International Geosphere-Biosphere Program)에 따라 17개의 서브 클래스 중 하나일 수 있다. 17개 서브 클래스는 ENF(Evergreen Needleleaf Forests), EBF(Evergreen Broadleaf Forests), DNF(Deciduous Needleleaf Forests), DBF(Deciduous Broadleaf Forests), MXF(Mixed Forests), WSA(Woody Savannas), SAV(Savannas), CSH(Closed Shrublands), OSH(Open Shrublands), GRL(Grasslands), CRL(Croplands), PWL(Permanent Wetlands), URB(Urban and Built-up), CRM(Cropland Vegetation Mosaic), SNI(Snow and Ice), BSV(Barren or Sparsely Vegetated) 및 WAT(Water)을 포함할 수 있다.
- [0051] 토지 피복 데이터는 클래스에 따라 0, 1 및 2 중 하나의 값을 가질 수 있다. 일 실시예로 토지 피복 데이터가 높은 바이오매스(Biomass)을 가지는 ENF, EBF, DNF, DBF, MXF, WSA 및 SAV 서브 클래스 중 하나인 경우, 토지

피복 데이터는 2값을 가질 수 있다. 또는, 토지 피복 데이터가 중간 바이오메스를 가지는 CSH, OSH, GRL 및 CRL 서브 클래스 중 하나인 경우, 토지 피복 데이터는 1값을 가질 수 있다. 또는, 토지 피복 데이터가 낮은 바이오메스를 가지는 PWL, URB, CRM, SNI, BSV 및 WAT 서브 클래스 중 하나인 경우, 토지 피복 데이터는 0의 값을 가질 수 있다

- [0052] 천정각(Zenith Angle)은 연직선 위쪽에서 지표면으로 내려서 측정한 각을 의미한다.
- [0053] 태양 천정각 데이터는 태양이 있는 방향으로 이루는 각을 의미한다. 태양 천정각 데이터는 일주기(Diurnal pattern)에 대한 정보를 반영할 수 있다.
- [0054] 센서 천정각 데이터는 위성이 있는 방향으로 이루는 각을 의미한다. 센서 천정각 데이터는 정지위성의 현재 위치를 알려줄 수 있다.
- [0055] 서브-변수 데이터 중 위성 천정각 데이터는 인공위성과 직접적으로 연관이 있는 데이터이다. 서브-변수 데이터 중 표면 온도 데이터, 상대 습도 데이터 및 태양 천정각 데이터는 인공위성과 간접적으로 연관이 있는 데이터이다.
- [0056] 산불 탐지 장치는 키-변수 데이터를 전처리할 수 있다(220).
- [0057] 전처리는 키-변수에 포함된 밝기온도 데이터로부터 주파수에 따른 밝기온도 차이 및 공간에 따른 밝기온도 차이를 계산하는 것을 포함할 수 있다. 즉 전처리된 키-변수는 주파수에 따른 밝기온도 차이 및 공간에 따른 밝기온도 차이를 포함할 수 있다.
- [0058] 주파수에 따른 밝기온도 차이는 서로 다른 파장에서의 밝기온도의 차이일 수 있다. 이는 산불이 발생하였을 경우, 특정 파장의 밝기온도가 비 정상적으로 변화하는 것을 파악하기 위한 것일 수 있다.
- [0059] 일 실시예로 주파수에 따른 밝기온도 차이는 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 3.85 μm 파장이 아닌 다른 파장에서의 밝기온도와의 차이일 수 있다. 구체적으로 주파수에 따른 밝기온도 차이는 하나의 픽셀에서 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 해당 픽셀에서의 9.63 μm , 10.45 μm , 11.20 μm 및 12.25 μm 파장 중 적어도 하나의 파장에서의 밝기온도 차이를 포함할 수 있다(3.85 μm -9.63 μm , 3.85 μm -10.45 μm , 3.85 μm -11.20 μm 및 3.85 μm -12.35 μm). 이때 3.85 μm 파장에서의 밝기온도는 3.85 μm 파장이 아닌 다른 적외선 파장에서의 밝기온도와는 다르게 산불이 발생한 지역에서 급격하게 변한다. 이에 3.85 μm 파장에서의 밝기온도를 중심으로 다른 파장에서의 밝기온도와의 차이를 계산할 수 있다.
- [0060] 공간에 따른 밝기온도의 차이는 특정 지역의 밝기온도와 주변 지역에서의 밝기온도의 차이일 수 있다. 이는 산불이 발생하였을 경우, 해당 지역은 주변 지역보다 높은 밝기온도를 보여주기 때문이다.
- [0061] 일 실시예로 공간에 따른 밝기온도 차이는 중심(Center) 픽셀에서의 밝기온도와 그 주변(Surround) 픽셀의 밝기온도의 평균과의 차이를 의미할 수 있다. 예를 들어 11 X 11 윈도우(Window)에서, 중심 픽셀의 밝기온도와 중심 픽셀을 제외한 나머지 10개 픽셀의 밝기온도와의 차이를 계산하여 공간에 따른 밝기온도로 할 수 있다. 이때 윈도우의 크기는 다양할 수 있다. 예를 들어 윈도우의 크기는 9 x 9부터 15 x 15까지 다양할 수 있다.
- [0062] 일 실시예로 공간에 따른 밝기온도의 차이는 특정 주파수 대역에서의 밝기온도의 차이를 의미할 수 있다. 예를 들어, 3.85 μm 에서의 공간에 따른 밝기온도의 차이를 의미할 수 있다. 전술한 바와 같이 3.85 μm 파장에서의 밝기온도는 산불이 발생한 지역에서 급격하게 변하기에 3.85 μm 파장에서의 밝기온도를 이용하는 것이 바람직할 수 있다.
- [0063] 일 실시예로 공간에 따른 밝기온도 차이는 중심 픽셀에서의 주파수별 밝기온도 차이와 주변 픽셀에서의 주파수별 밝기온도 차이의 평균 값의 차이일 수 있다. 예를 들어 공간에 따른 밝기온도 차이는 중심 픽셀에서의 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 9.63 μm 파장에서의 차이를 계산한 제1 값($\text{Center}_{\text{BT}_{3.85\mu\text{m}}} - \text{Center}_{\text{BT}_{9.63\mu\text{m}}}$)과, 주변 픽셀에서의 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 9.63 μm 파장에서의 밝기온도 차이를 계산한 값의 평균값인 제2 값($\text{mean}(\text{Surround})_{\text{BT}_{3.85\mu\text{m}}} - \text{mean}(\text{Surround})_{\text{BT}_{9.63\mu\text{m}}}$)의 차이일 수 있다(제1값 - 제2값). 또는 공간에 따른 밝기온도 차이는 중심 픽셀에서의 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 11.20 μm 파장에서의 밝기온도 차이를 계산한 제1 값($\text{Center}_{\text{BT}_{3.85\mu\text{m}}} - \text{Center}_{\text{BT}_{11.20\mu\text{m}}}$)과, 주변 픽셀에서의 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 11.20 μm 파장에서의 밝기온도 차이를 계산한 값의 평균값인 제2 값($\text{mean}(\text{Surround})_{\text{BT}_{3.85\mu\text{m}}} - \text{mean}(\text{Surround})_{\text{BT}_{11.20\mu\text{m}}}$)의 차이일 수 있다(제1값 - 제2값).
- [0064] 필요한 경우, 산불 탐지 장치는 전처리된 키-변수 데이터를 기반으로 잠재적 화재 픽셀(potential fire pixel

s)을 선택할 수 있다. 이에 분석모델은 선택된 잠재적 화재 픽셀에 대해서만 산불 발생 가능성을 계산할 수 있다.

- [0065] 잠재적 화재 픽셀은 산불이 발생할 가능성이 있는 픽셀을 의미할 수 있다. 즉 잠재적 화재 픽셀을 선택하는 것은 산불이 발생할 가능성이 있는 픽셀을 선택하는 것일 수 있다.
- [0066] 잠재적 화재 픽셀은 키-변수에 포함된 밝기온도 데이터를 기반으로 선택될 수 있다. 더 구체적으로 잠재적 화재 픽셀은 전처리된 키-변수에 포함된 주파수에 따른 밝기온도 차이 및 공간에 따른 밝기온도 차이를 기반으로 선택될 수 있다.
- [0067] 잠재적 화재 픽셀은 미리 설정된 값을 기준으로 선택될 수 있다. 즉 잠재적 화재 픽셀은 전처리된 키-변수의 값이 미리 설정된 값 이상인지를 기준으로 선택될 수 있다. 만약 전처리된 키-변수의 값이 여러 개라면 그 중 하나라도 미리 설정된 값 이상이라면 잠재적 화재 픽셀로 선택할 수도 있다.
- [0068] 일 실시예로 잠재적 화재 픽셀은 전처리된 키-변수에 포함된 주파수에 따른 밝기온도 차이가 특정 백분위수(percentile) 이상인지를 기준으로 선택될 수 있다. 예를 들어, $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기온도와 $9.63\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기온도 차이($BT_{3.85\mu\text{m}} - BT_{9.63\mu\text{m}}$) 또는 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기온도와 $11.20\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기온도 차이($BT_{3.85\mu\text{m}} - BT_{11.20\mu\text{m}}$)가 백분위수 90이상인 픽셀을 잠재적 화재 픽셀로 선택할 수 있다.
- [0069] 일 실시예로 잠재적 화재 픽셀은 전처리된 키-변수에 포함된 공간에 따른 밝기온도 차이가 특정 백분위수 이상인지를 기준으로 선택될 수 있다. 예를 들어, 중심 픽셀에서의 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기온도와 $9.63\mu\text{m}$ 파장에서의 차이를 계산한 제1 값($\text{Center}BT_{3.85\mu\text{m}} - \text{Center}BT_{9.63\mu\text{m}}$)과, 주변 픽셀에서의 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기온도와 $9.63\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기온도 차이를 계산한 값의 평균값인 제2 값($\text{mean}(\text{Surround})BT_{3.85\mu\text{m}} - \text{mean}(\text{Surround})BT_{9.63\mu\text{m}}$)의 차이(제1값 - 제2값)가 백분위수 90이상인 픽셀을 잠재적 화재 픽셀로 선택할 수 있다.
- [0070] 일 실시예로 중심 픽셀에서의 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기온도와 $11.20\mu\text{m}$ 파장에서의 차이를 계산한 제1 값($\text{Center}BT_{3.85\mu\text{m}} - \text{Center}BT_{11.20\mu\text{m}}$)과, 주변 픽셀에서의 $3.85\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기온도와 $11.23\mu\text{m}$ 파장에서의 밝기온도 차이를 계산한 값의 평균값인 제2 값($\text{mean}(\text{Surround})BT_{3.85\mu\text{m}} - \text{mean}(\text{Surround})BT_{11.20\mu\text{m}}$)의 차이(제1값 - 제2값)가 백분위수 90이상인 픽셀을 잠재적 화재 픽셀로 선택할 수 있다.
- [0071] 분석모델은 잠재적 화재 픽셀에 대해서만 화재 발생 가능성을 계산할 수 있다. 이에 분석모델은 모든 픽셀에 대해서 화재 발생 가능성을 계산할 필요가 없다. 이를 통해 분석모델이 계산해야 하는 계산량을 감소시킬 수 있으며, 컴퓨팅 시간을 단축하고, 궁극적으로 발생되는 오경보를 완화할 수 있다.
- [0072] 분석모델은 입력되는 데이터를 기반으로 산불 발생 가능성을 계산하도록 학습된 모델일 수 있다. 구체적으로 분석모델은 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN) 기반의 모델일 수 있다.
- [0073] 분석모델은 인공위성 및 기상 관측소에서 측정한 데이터를 학습데이터로 하여 구축된 모델일 수 있다. 학습데이터에는 레퍼런스(Reference) 데이터로 인공위성에서 측정한 값을 기반으로 파악한 활성 산불 데이터가 포함되어 있을 수 있다. 인공위성에서 측정한 데이터를 기반으로 분석모델을 구축할 때 필요한 레퍼런스 데이터를 구축하는 과정은 이하에서 설명한다.
- [0074] 산불 탐지 장치는 전처리된 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터를 분석모델에 입력할 수 있다(230).
- [0075] 도3은 분석모델의 일 실시예이다.
- [0076] 분석모델은 제1 모듈, 제2 모듈 및 제3 모듈을 포함할 수 있다.
- [0077] 제1 모듈은 전처리된 키-변수 데이터를 입력 받을 수 있다. 제1 모듈에 입력되는 전처리된 키-변수는 2D 이미지일 수 있다.
- [0078] 제1 모듈은 전처리된 키-변수 데이터의 공간적 패턴을 중심으로 산불 탐지에 필요한 특징(Feature)을 추출할 수 있다. 일 실시예로 제1 모듈은 키-변수 데이터의 공간적 패턴을 파악하기 위하여 CNN(Convolution Neural Network)기반의 모듈일 수 있다.
- [0079] 제2 모듈은 서브-변수 데이터를 입력 받을 수 있다.
- [0080] 제2 모듈은 서브-변수 데이터의 값을 중심으로 산불 탐지에 필요한 특징을 추출할 수 있다. 일 실시예로 제2 모듈은 다중 은닉 레이어(Multiple Hidden layer)를 포함할 수 있다.

- [0081] 제3 모듈은 제1 모듈 및 제2 모듈이 추출한 특징을 입력 받을 수 있다. 일 실시예로 제3 모듈은 제1 모듈 및 제2 모듈이 추출한 특징을 결합(Concatenation)하여 생성한 벡터를 입력 받을 수 있다.
- [0082] 제3 모듈은 입력 받은 값을 기반으로 산불의 발생 가능성을 계산할 수 있다. 일 실시예로 제3 모듈은 완전 연결 레이어(Fully Connected Layer)기반의 모듈일수 있다.
- [0083] 산불 탐지 장치는 분석모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단할 수 있다(240).
- [0084] 산불 발생 여부는 인공위성 영상의 하나의 픽셀에서 산불이 발생했는지 아닌지에 대한 이진 분류(Binary Class)를 의미할 수 있다. 산불 발생 여부는 특정 픽셀에서 산불이 발생하였는지 여부를 포함할 수 있다.
- [0085] 필요한 경우 산불 탐지 장치는 판단한 산불 발생 여부를 보정할 수 있다.
- [0086] 산불 발생 여부를 보정하는 것은 산불이 발생될 수 없는 조건임에도 산불이 발생된 것으로 판단된 결과를 보정하는 것을 의미할 수 있다.
- [0087] 일 실시예로 산불 탐지 장치는 높은 반사율(High reflective), 식생이 없는 지역(Non-vegetated) 및 구름에 가까운 지역(Near-Cloud area)에 대하여 산불이 발생되었다고 판단한 경우, 이를 산불이 발생되지 않는 것으로 보정할 수 있다. 오탐지 알람이 발생할 가능성을 방지 하기 위함이다.
- [0089] 이하 인공위성에서 측정된 데이터를 기반으로 분석모델을 구축할 때 필요한 레퍼런스 데이터를 구축하는 과정에 대해 설명한다.
- [0090] 레퍼런스 데이터를 구축하는 과정은 신뢰성 테스트(Certainty Test), 토지 피복 테스트(Landcover test), 주기성 테스트(Frequency test) 및 지속성 테스트(Continuity test)를 통과한 데이터를 레퍼런스 데이터로 하는 과정일 수 있다
- [0091] 도4는 인공위성에서 측정된 데이터를 기반으로 분석모델을 구축할 때 필요한 레퍼런스 데이터를 구축하는 실시예 중 하나의 순서도(300)이다. 하지만 반드시 도4와 같은 순서로만 레퍼런스 데이터를 구축할 필요는 없으며, 필요에 따라 순서를 변경하여 레퍼런스 데이터를 구축할 수 있다.
- [0092] 먼저 신뢰성 테스트를 수행할 수 있다. 이에 인공위성에서 측정된 밝기온도 데이터를 기반으로 계산한 활성 산불 데이터(Active Wildfire Product) 중 신뢰도(Certainty)가 높은 활성 산불 데이터만을 선택할 수 있다(310).
- [0093] 인공위성은 극궤도 위성 또는 정지 궤도 위성 일 수 있다. 극궤도 위성에서 측정된 밝기온도 데이터는 높은 공간 해상도를 가지나 낮은 시간 해상도를 가질 수 있다. 반대로 정지 궤도 위성에서 측정된 밝기온도 데이터는 낮은 공간 해상도를 가지나 높은 시간 해상도를 가질 수 있다.
- [0094] 활성 산불 데이터는 산불이 발생된 데이터를 의미한다. 활성 산불 데이터는 인공위성에서 측정된 밝기온도와 임계값을 비교한 뒤, 밝기온도가 임계값 이상이라면 이를 산불로 취급한 데이터를 의미할 수 있다.
- [0095] 토지 피복 테스트를 수행할 수 있다. 이에 활성 산불 데이터 중 산불이 발생될 가능성이 없는 지역에 대한 활성 산불 데이터는 제외할 수 있다(320).
- [0096] 주기성 테스트를 수행할 수 있다. 이에 극궤도 위성으로부터 획득한 활성 산불 데이터 중 미리 설정된 기간 동안 미리 설정된 횟수만큼 산불이 있는 것으로 탐지된 활성 산불 데이터만을 선택할 수 있다(330). 예를 들어 도 5와 같이 활성 산불 데이터 중에서 2일 동안 적어도 2번 산불이 있는 것으로 탐지된 활성 산불 데이터만을 선택할 수 있다. 전술한 바와 같이 극궤도 위성은 낮은 시간 해상도를 가질 수 있기 때문이다.
- [0097] 지속성 테스트를 수행할 수 있다. 이에 정지 궤도 위성으로부터 획득한 활성 산불 데이터 중 상기 미리 설정된 기간 동안 지속적으로 산불이 있는 것으로 탐지된 활성 산불 데이터만을 선택할 수 있다(340). 예를 들어 도5와 같이 2일 동안 적어도 2번 산불이 있는 것으로 탐지된 극궤도위성으로부터 획득한 활성 산불 데이터 중 2일동안 지속적으로 산불이 있는 것으로 탐지된 활성 산불 데이터만을 선택할 수 있다. 이를 위하여 정지 궤도 위성으로부터 획득한 활성 산불 데이터를 이용할 수 있다. 정지궤도 위성은 높은 시간 해상도를 가질 수 있기 때문이다.
- [0098] 위와 같은 과정을 통해 공간 해상도가 높은 극궤도 위성으로부터 획득한 활성 산불 데이터를 기반으로 레퍼런스 데이터를 구축할 수 있다. 구축된 레퍼런스 데이터는 시간 해상도가 높은 정지궤도 위성으로부터 획득한 활성 산불 데이터를 이용해 선택된 데이터로써 신뢰성이 높다.

- [0099] 또한 위와 같은 과정을 통해 세계적으로 공통된 산불 발생여부에 대한 레퍼런스 자료를 구축할 수 있다. 또한 위와 같은 과정을 통해 획득한 레퍼런스 데이터를 통해 학습된 분석모델은 보다 넓은 지역에 대해서도 산불을 잘 탐지할 수 있다.
- [0101] 이하 분석모델을 구축하고, 구축한 모델의 성능을 평가한 실험 결과에 대해 살펴본다. 도6은 분석모델을 구축하는 전체적인 과정을 보여준다.
- [0103] 분석모델의 구축 및 성능 평가를 위한 학습데이터는 동아시아 및 호주 지역에 대한 데이터를 이용하였다.
- [0104] 도7은 선정된 지역을 보여준다. 구체적으로 동아시아 지역에서 총 5개의 지역(EA 1, EA2, EA3, EA4 및 EA5)을 선택하고, 해당 지역에 대한 데이터를 이용하였다. 또한 모델의 전이성 테스트(model's transferability test)를 위하여 호주에서 산불이 자주 발생하는 지역 3곳(AUS1, AUS2 및 AUS3)을 선택하고, 해당 지역에 대한 데이터를 이용하였다. 또한 현장 테스트(in situ test) 데이터로써 한국 지역이 선택되었다.
- [0106] 분석모델 구축 및 성능 평가를 위한 학습데이터는 인공위성에서 관측한 자료 및 수치모델에서 제공되는 자료를 이용하였다.
- [0107] 도8은 학습데이터의 소스와 그에 대한 설명이다.
- [0108] 구체적으로 Himawari-8 AHI(Advanced Himawari Imager)에서 측정한 스펙트랄 데이터(Spectral data), Himawari-8 AHI에서의 태양 천정각(Solar zenith Angle) 데이터 및 위성 천정각(Satellite Zenith Angle) 데이터, Himawari-8 AHI 기반의 활성 산불 데이터(Active Wildfire products), MODIS 기반의 토지 피복 데이터, VIIRS(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) 기반의 활성 산불 데이터, ERA5(The European Center for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis v5)-LAND 기반의 표면 온도 및 상대 습도 데이터가 활용되었다.
- [0109] Himawari-8 AHI는 16개의 채널을 가진다. 각 채널은 열적외선 영역(thermal infrared)으로부터 가시광선(visible) 영역대를 가진다. 밝기온도 데이터는 산불이 있는 경우 열적외선대 대역보다 중적외선 대역에서 빠르게 상승한다. 따라서 키-변수 중 하나인 주파수에 따른 밝기온도 차이는 중적외선 대역인 3.85 μm (7번 채널)와 2개의 열 적외선 대역인 9.63 μm (12번 채널) 및 11.20 μm (14번 채널)의 차이로 설정되었다.
- [0111] MODIS, VIIRS, AHI 및 AMI 기반의 산불 데이터는 분석모델의 성능 비교 평가(Comparative Models)를 위한 종래 산불 탐지 방법에 활용될 수도 있다.
- [0112] MODIS 및 VIIRS 기반의 활성 산불 데이터는 레퍼런스 데이터(종속변수 (Dependent variable))를 구축(Reference sample construction)하는데 활용될 수 있다.
- [0113] MODIS 및 VIIRS 기반의 활성 산불 데이터는 극궤도(Polar-Orbit) 위성으로부터 획득한 데이터이다. 따라서 MODIS 및 VIIRS 기반의 활성 산불 데이터는 높은 공간 해상도를 가지나 다소 낮은 시간 해상도를 가진다. 반면에 Himawari-8 AHI 및 GK2A AMI기반의 활성 산불 데이터는 정지 궤도 위성으로부터 획득한 데이터이다. 따라서 Himawari-8 AHI 및 GK2A AMI기반의 활성 산불 데이터는 다소 낮은 공간 해상도를 가지나 높은 시간 해상도를 가진다.
- [0114] 따라서 레퍼런스 데이터를 구축하기 위해서 다음과 같은 과정을 거친다.
- [0115] 먼저 MODIS 및 VIIRS 기반의 활성 산불 데이터에서 신뢰도(Confidence)가 낮은 데이터는 제외하였다.
- [0116] 이후 MODIS 및 VIIRS 기반의 활성 산불 데이터에서 2일 동안 적어도 2번 활성 산불로 탐지된 활성 산불 데이터만 추출하였다.
- [0117] 이후 산불이 발생될 수 있는 지역의 활성 산불 데이터만 추출하였다. 즉 토지 피복을 기반으로 공장 등의 지역은 제외하고 식생지역의 활성 산불 데이터만 추출하였다.
- [0118] 이후 정지 궤도 위성으로부터 측정한 Himawari-8 AHI 데이터에서 10분 간격으로 산불이 있는 것으로 추측되는 활성 산불 데이터만을 추출하였다.
- [0120] 도9는 학습데이터에 포함된 데이터를 키-변수 데이터와 서브-변수 데이터로 나눈 결과이다. 구체적으로 도9는 학습데이터에 포함된 키-변수를 전처리한 것과 서브-변수를 보여준다.
- [0121] 전처리된 키-변수는 주파수에 따른 밝기온도 차이인 BT07-12 및 BT07-114를 포함한다.
- [0122] BT07-12는 7번 채널에서(3.85 μm)의 밝기온도와 12번 채널에서(9.63 μm)의 밝기온도 차이를 의미한다. BT07-14는

7번 채널에서(3.85um)의 밝기온도와 14번 채널(11.20um)에서의 밝기온도 차이를 의미한다.

- [0123] 전처리된 키-변수는 공간에 따른 밝기온도 차이인 SP07-12 및 SP07-14를 포함한다.
- [0124] SP07-12 및 SP07-14는 중심 픽셀에서의 제1값과 주변 픽셀에서의 제2의 차이를 포함한다. 제1 값은 중심 픽셀에서의 BT07-12 또는 BT07-14를 의미할 수 있다. 제2 값은 주변 픽셀에서의 BT07-12 또는 BT07-14의 평균(mean)을 의미할 수 있다. 이때 공간에 따른 밝기온도 차이를 계산하기 위해서 11 X 11 윈도우를 이용하였다.
- [0125] 서브-변수는 태양 천정각 데이터(SOZ), 위성 천정각 데이터(SAZ), 표면 온도 데이터(ST), 상대 습도 데이터(RH) 및 토지 피복 데이터(LC)를 포함한다.
- [0127] 도10은 실험에 이용된 분석모델의 구조이다. 분석모델은 Dual module CNN(DM CNN)이라고 부를 수도 있다.
- [0128] 분석모델의 제1 모듈은 CNN기반의 모듈이다. 제1 모듈은 전처리된 키-변수를 입력 받을 수 있다. 제1 모듈에 입력되는 값은 4개의 채널을 가진다. 전처리된 키-변수는 도9에서 서술한 바와 같이 BT07-12, BT07-14, SP07-12 및 SP07-14이다. 제1 모듈은 컨볼루션 연산을 통해 입력 받은 값에서 특징을 추출한다. 제1 모듈은 총 64차원의 특징 벡터를 추출할 수 있다.
- [0129] 분석모델의 제2 모듈은 일반 적인 제2 모듈은 서브-변수 데이터를 입력 받을 수 있다. 제2 모듈에 입력되는 값은 총 5개의 채널을 가진다. 서브-변수는 도9에서 서술한바와 같이 SOZ, SAZ, ST, RH 및 LC이다. 제2 모듈은 입력 받은 값에서 중앙값(Center)만을 취하여 하나의 벡터로 만들 수 있다. 이를 기반으로 16차원의 특징 벡터를 추출할 수 있다.
- [0130] 제1 모듈 및 제2 모듈에서 추출된 특징은 결합될 수 있다. 이에 총 80(64+16)차원의 특징 벡터가 생성될 수 있다. 80차원의 특징 벡터는 제3 모듈에 입력될 수 있다. 제3 모듈은 입력 받은 값을 기반으로 특정 픽셀에서 산 불이 발생하였는지 여부를 판단할 수 있다.
- [0132] 도11은 분석모델의 성능 평가를 위한 대조군 모델의 구조이다.
- [0133] 대조군 모델은 분석모델과는 달리 제2 모듈을 가지지 아니하며, 제1 모듈 및 제3 모듈만을 가진다.
- [0134] 대조군 모델의 제1 모듈은 키-변수만을 입력 받거나, 키-변수와 서브-변수를 입력 받을 수 있다.
- [0135] 키-변수만을 입력 받는 경우 4개(N=4)의 채널을 가지는 데이터가 제1 모듈에 입력될 수 있다. 키-변수만을 입력 받는 대조군 모델은 Control CNN이라고 부를 수 있다. 대조군 모델인 Control CNN은 서브-변수가 모델에 미치는 영향을 파악하기 위해 이용되었다.
- [0136] 키-변수와 서브-변수를 입력 받는 경우 총 9개(N=9)의 채널을 가지는 제1 모듈에 입력될 수 있다. 키-변수와 서브-변수를 입력 받는 대조군 모델은 Single Module CNN(SM CNN)이라고 부를 수 있다. 대조군 모델인 SM CNN은 듀얼 모듈 구조가 미치는 영향을 파악하기 위하여 이용되었다.
- [0138] 도12는 잠재적 화재 픽셀(potential fire pixels)을 선택한 실시예 중 하나이다.
- [0139] 도12(a)는 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 9.63 μm 파장에서의 밝기온도 차이($BT_{3.85\mu\text{m}} - BT_{9.63\mu\text{m}}$)를 계산한 결과이다.
- [0140] 도12(b)는 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 11.20 μm 파장에서의 밝기온도 차이($BT_{3.85\mu\text{m}} - BT_{11.20\mu\text{m}}$)를 계산한 결과이다.
- [0141] 도12(c)는 중심 픽셀에서의 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 9.63 μm 파장에서의 차이를 계산한 제1 값($\text{Center}BT_{3.85\mu\text{m}} - \text{Center}BT_{9.63\mu\text{m}}$)과, 주변 픽셀에서의 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 9.63 μm 파장에서의 밝기온도 차이를 계산한 값의 평균값인 제2 값($\text{mean}(\text{Surround})BT_{3.85\mu\text{m}} - \text{mean}(\text{Surround})BT_{9.63\mu\text{m}}$)의 차이(제1값 - 제2값)를 계산한 결과이다.
- [0142] 도12(d)는 중심 픽셀에서의 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 11.20 μm 파장에서의 차이를 계산한 제1 값($BT_{3.85\mu\text{m}} - BT_{11.20\mu\text{m}}$)과, 주변 픽셀에서의 3.85 μm 파장에서의 밝기온도와 11.20 μm 파장에서의 밝기온도 차이를 계산한 값의 평균값인 제2 값($\text{mean}(\text{Surround})BT_{3.85\mu\text{m}} - \text{mean}(\text{Surround})BT_{11.20\mu\text{m}}$)의 차이(제1값 - 제2값)를 계산한 결과이다.
- [0143] 도12(a) 내지 도12(d) 각각에서 그 값이 90 백분위수 이상인 픽셀을 선택하여 잠재적 화재 픽셀로 선택할 수 있

다. 즉 각 이미지에서 그 값이 90 백분위수 이상이라면 픽셀이라면 (조건을 하나라도 만족하면) 잠재적 화재 픽셀로 선택될 수 있다.

- [0144] 도12(e)는 잠재적 화재 픽셀을 선택한 결과이다. 분석모델은 선택된 잠재적 픽셀에서 산불이 발생하였는지를 탐색한다.
- [0146] 도13은 분석모델과 대조군 모델의 성능을 비교평가한 결과이다. 성능 평가를 위한 지표로는 OA(Overall accuracy), P(Precision), R(Recall) 및 F1(F1 score)가 이용되었다.
- [0147] 대조군 모델인 SM CNN은 또 다른 대조군 모델인 Control CNN보다 성능이 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는 SM CNN모델이 서브-변수를 제대로 활용하지 못하고 있기 때문이다.
- [0148] 분석모델인 DM CNN은 대조군 모델인 SM CNN보다 성능이 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 분석모델인 DM CNN모델은 대조군 모델인 SM CNN모델보다 서브-변수를 제대로 활용하고 있기 때문이다.
- [0149] 즉 분석모델은 관측 조건 및 환경 조건을 더 잘고려하는 것을 확인할 수 있다. 또한 관측 조건 및 환경 조건은 산불 탐지하는데 중요한 역할을 하는 것을 확인할 수 있다.
- [0151] 도14는 지역별로 분석모델 및 대조군 모델의 성능을 비교평가한 결과이다.
- [0152] 도13(a)는 대조군 모델(Control CNN)의 성능을 평가한 결과이다. 도13(b)는 분석모델(DM CNN)의 성능을 평가한 결과이다.
- [0153] 분석모델의 F1-score는 순서대로 EA3, EA2, EA5, EA4 및 EA1지역에서 높은 것을 확인할 수 있다. 분석모델의 Precision는 모든 지역에서 0.96 내지 0.99인 것을 확인할 수 있다. 분석모델의 Recall은 0.60부터 0.94로 다양한 것을 확인할 수 있다.
- [0154] 각 지역에 대한 태양 천정각은 EA1, EA4, EA2, EA3 및 EA5순서대로 작아진다. 이는 분석모델의 성능과는 반대의 경향성을 가진다. 즉 태양 천정각이 가장 큰 EA1(75° 이상)은 높은 탐지 각도(scan angle) 및 위도(latitude) 때문에 가장 높은 오탐지 확률을 보인다. 이는 높은 탐지 각도에서는 경로가 길어 신호가 약하기 때문에 산불을 탐지하는 것이 힘들기 때문이다. 추가적으로 EA1 지역에서의 토지 피복(LC)의 이질성(heterogeneity) 및 불일치(discrepancy)는 다른 지역보다 다소 높다. 이는 복잡한 지역에 의한 다양한 배경 온도는 주변 지역과 화재 신호를 구별하기 어렵게 한다.
- [0155] OA 및 F1-Score를 보면 모든 지역에서 분석모델은 대조군 모델보다 높은 것을 확인할 수 있다. 몇몇 지역에서 분석모델의 Precision이 감소되었으나, 분석모델의 recall은 전반적으로 향상된 것을 확인할 수 있다. 분석모델이 관측 및 환경 조건을 고려하여 약간의 Precision이 희생됨으로써 Recall이 상승한 것을 확인할 수 있다. 따라서 서브-변수는 분석모델의 성능뿐만 아니라 강인성(Robustness)도 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0156] 분석모델의 Recall의 표준 편차(Standard deviation, Std)는 대조군 모델보다 다소 감소하는 것을 확인할 수 있다. Precision에 대한 표준편차가 동일하게 유지됨에도 불구하고, Recall의 눈에 띄는 감소로 인하여 분석모델의 F1-score의 표준편차가 눈에 띄게 감소한 것을 확인할 수 있다. 따라서 서브-변수는 대조군 모델의 사이트마다 탐지 능력이 다른 약점을 향상시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있다.
- [0158] 도15는 분석모델이 EA2지역에서 산불을 탐지한 결과를 종래 산불 탐지 방법과 비교한 결과이다.
- [0159] 종래 산불 탐지 방법은 임계값 기반의 산불 탐지 방법이다. 종래 탐지 방법은 인공위성에 부착된 센서에 의해 측정된 밝기온도와 임계값을 비교한 뒤 산불이 발생하였는지를 탐지하는 방법이다.
- [0160] 도15(a)는 MODIS 센서로부터 측정된 밝기온도를 기반으로 산불을 탐지한 결과이다. 도15(b)는 VIIRS센서로부터 측정된 밝기온도를 기반으로 산불을 탐지한 결과이다. 도15(c)는 분석모델(DM CNN)을 이용하여 산불을 탐지한 결과이다. 도15(d)는 AHI센서로부터 측정된 밝기온도를 기반으로 산불을 탐지한 결과이다. 도15(e)는 AMI센서로부터 측정된 밝기온도를 기반으로 산불을 탐지한 결과이다.
- [0161] 낮은 공간 해상도(2km)를 가지는 AHI, AMI기반의 산불 탐지 방법은 높은 공간 해상도(1km, 375m)를 가지는 MODIS 및 VIIRS기반의 산불 탐지 방법보다 많은 산불을 탐지하지 못하는 것을 확인할 수 있다. 또한 더 높은 공간 해상도를 가지는 VIIRS기반의 산불 탐지 방법은 보다 낮은 공간해상도를 가지는 MODIS기반의 산불 탐지 방법보다 더 많은 산불을 탐지한 것을 확인할 수 있다.
- [0162] 분석모델이 탐지한 산불의 공간 분포는 MODIS 및 VIIRS 기반의 산불 탐지 방법으로 탐지한 산불 공간 분포와 유

사한 것을 확인할 수 있다.

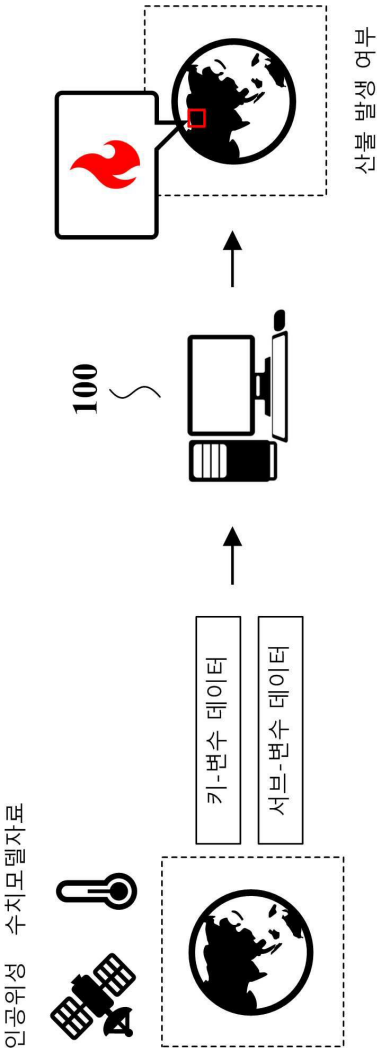
- [0163] 분석모델은 입력 데이터로 낮은 공간 해상도를 가지는 AHI에서 측정한 밝기온도 데이터를 이용하였다. 하지만 분석모델은 학습 과정에서 높은 공간 해상도를 가지는 MODIS 또는 VIIRS 기반의 활성 산불 데이터를 이용하였다. 따라서 분석모델은 AHI 또는 AMI기반의 산불 탐지 방법보다 더 효율적으로 산불을 탐지할 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 분석모델이 키-변수뿐만 아니라 서브-변수 까지 함께 이용하기 때문으로도 볼 수 있다.
- [0165] 도16은 분석모델의 전이성을 테스트한 결과이다. 구체적으로 도16은 분석모델이 호주에서의 산불을 탐지한 결과와 종래 산불 탐지 방법이 산불을 탐지한 결과를 비교한 결과이다.
- [0166] AHI의 기반의 산불 탐지 방법의 탐지 비율(Detection rate)은 37% 내지 58%이다. 반면에 분석모델의 높은 탐지 비율은 43% 내지 64%이다. 따라서 분석모델의 탐지 비율은 AHI 기반의 산불 탐지 비율보다 높다. 이는 AMI 기반의 산불 탐지 방법과 비교해봐도 마찬가지다.
- [0167] 도16을 통해 분석모델이 한국에서 발생하는 작고 약한 산불뿐만 아니라도 충분히 산불을 탐지할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 즉 분석모델의 전이성이 높다는 것을 확인할 수 있다.
- [0169] 도17 및 도18은 서브-변수에 따른 분석모델의 신뢰도를 분석한 결과이다. 구체적으로 도17 및 도18은 하위 변수의 범위에 따라 모델이 화재 확률을 계산한 결과이다.
- [0170] 도17은 대조군 Control 모델에 대한 것이다. 도18은 분석모델(DM)에 대한 것이다.
- [0171] 비 화재 샘플의 경우(Non Fire Sample) 확률(Probability)이 낮을수록, 해당 모델의 신뢰도가 높다는 것을 보여준다.
- [0172] 몇 가지 이상 값을 제외하고는 화재가 아닌 샘플(Non-Fire sample)은 모두 0으로 수렴한 것을 확인할 수 있다.
- [0173] 화재 샘플의 경우(Fire Sample) 확률(Probability)가 높을수록, 해당 모델의 신뢰도가 높다는 것을 보여준다.
- [0174] 대조군 Control 모델과 비교할 때 분석모델은 변수의 범위와 관계 없이 비교적 안정적인 성능을 보인다는 것을 확인할 수 있다. 이는 위성 센서와 간접적으로 관련된 데이터인 상대습도 데이터, 표면온도 데이터 및 태양 천정각 데이터는 모델의 성능을 향상시키는데 도움을 준다는 것을 보여준다. 또한 위성 센서와 직접적으로 연관된 위성 천정각 데이터는 모델의 성능을 향상시키는데 중간정도 영향을 주는 것을 확인할 수 있다.
- [0176] 이하 도19를 통해 산불 탐지 장치에 대해 설명한다.
- [0177] 도19는 산불 탐지 장치(400)의 실시예 중 하나의 구성이다.
- [0178] 산불 탐지 장치(400)는 도1에서 설명한 산불 탐지 장치(100)에 해당할 수 있다. 즉 산불 탐지 장치(400)는 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는 장치일 수 있다.
- [0179] 산불 탐지 장치(400)는 입력장치(410), 저장장치(420), 연산장치(430), 출력장치(440), 인터페이스 장치(450) 및 통신장치(460)를 포함할 수 있다.
- [0180] 입력장치(410)는 일정한 명령 또는 데이터를 입력 받는 인터페이스 장치(키보드, 마우스, 터치스크린 등)를 포함할 수도 있다. 입력장치(410)는 별도의 저장장치(USB, CD, 하드디스크 등)를 통하여 정보를 입력 받는 구성을 포함할 수도 있다. 입력장치(410)는 입력 받는 데이터를 별도의 측정장치를 통하여 입력 받거나, 별도의 DB를 통하여 입력 받을 수도 있다. 입력장치(410)는 통신장치(460)을 통해 데이터를 유선 또는 무선 통신으로 입력 받을 수도 있다.
- [0181] 입력장치(410)는 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는데 필요한 정보를 입력 받을 수 있다. 입력장치(410)는 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는데 필요한 모델을 입력 받을 수 있다. 입력장치(410)는 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터를 입력 받을 수 있다. 입력장치(410)는 분석모델을 입력 받을 수 있다
- [0182] 저장장치(420)는 일정한 정보를 저장하는 장치가 될 수도있다. 저장장치(420)는 입력장치(410)를 통해 입력 받은 정보를 저장할 수 있다. 저장장치(420)는 연산장치(430)가 연산하는 과정에서 생성되는 정보를 저장할 수 있다. 즉 저장장치(420)는 메모리를 포함할 수 있다.
- [0183] 저장장치(420)는 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는데 필요한 정보를 저장할 수 있다. 저장장치(420)는 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는데 필요한 모델을 저장할 수 있다. 저장장치(420)는 키-변수 데이터 및 서브-변수 데

이터를 저장할 수 있다. 저장장치(420)는 분석모델을 저장할 수 있다.

- [0184] 연산장치(430)는 데이터를 처리하고, 일정한 연산을 처리하는 프로세서, AP, 프로그램이 임베디드된 칩과 같은 장치일 수 있다. 연산장치(430)는 산불 탐지 장치(400)를 제어하는 제어신호를 생성할 수 있다. 연산장치(430)는 산불 탐지 장치(400)에 포함된 입력장치(410), 저장장치(420), 출력장치(440), 인터페이스 장치(450) 및 통신장치(460)을 제어하는 제어신호를 생성할 수 있다.
- [0185] 연산장치(430)는 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는데 필요한 연산을 할 수 있다. 연산장치(430)는 키-변수 데이터를 전처리할 수 있다 연산장치(430) 전처리된 키-변수 데이터 및 서브-변수 데이터를 분석모델에 입력할 수 있다. 연산장치(430) 분석모델의 출력값을 기반으로 산불 발생 여부를 판단할 수 있다.
- [0186] 출력장치(440)는 일정한 정보를 출력하는 장치가 될 수도 있다. 출력장치(440)는 데이터 과정에 필요한 인터페이스, 입력된 데이터, 분석결과 등을 출력할 수도 있다. 출력장치(440)는 디스플레이, 문서를 출력하는 장치, 스피커등과 같이 물리적으로 다양한 형태로 구현될 수도 있다. 력장치(440)는 저장장치(430)에 저장된 정보를 출력할 수 있다. 출력장치(440)는 연산장치(430)가 연산하는 과정에서 생성된 정보를 출력할 수 있다. 출력장치(440)는 연산장치(430)가 연산한 결과를 출력할 수 있다. 출력장치(440)는 산불 탐지 결과를 출력 할 수 있다.
- [0187] 인터페이스 장치(450)는 외부로부터 일정한 명령 및 데이터를 입력 받는 장치일 수 있다. 인터페이스 장치(450)는 산불 탐지 장치(400)를 제어하기 위한 제어신호를 입력 받을 수 있다. 인터페이스 장치(450)는 산불 탐지 장치(400)가 분석한 결과를 출력할 수 있다. 인터페이스 장치(450)는 물리적으로 연결된 입력 장치 또는 외부 저장장치로부터 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는데 필요한 정보를 입력 받을 수 있다.
- [0188] 통신장치(460)는 유선 또는 무선 네트워크를 통해 일정한 정보를 수신하고 전송하는 구성을 의미할 수 있다. 통신장치(460)는 Wi-Fi(Wireless Fidelity), Wi-Fi Direct, 블루투스(Bluetooth), UWB(Ultra Wide Band) 또는 NFC(Near Field Communication), USB(Universal Serial Bus), 혹은 HDMI(High Definition Multimedia Interface), LAN(Local Area Network) 등과 같은 네트워크 통신을 수행할 수 있다. 통신장치(460)는 산불 탐지 장치(400)를 제어하는데 필요한 제어 신호를 수신할 수 있다. 통신장치(460)는 산불 탐지 장치(400)가 분석한 결과를 전송할 수 있다. 통신장치(460)는 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는데 필요한 정보를 수신받을 수 있다. 통신장치(460)는 전술한 산불 탐지 방법을 수행하는데 필요한 모델을 수신 받을 수 있다.
- [0190] 전술한 산불 탐지 방법은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 실행가능한 알고리즘을 포함하는 프로그램(또는 어플리케이션)으로 구현될 수 있다.
- [0191] 상기 프로그램은 일시적 또는 비일시적 판독 가능 매체(non-transitory computer readable medium)에 저장되어 제공될 수 있다.
- [0192] 상기 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, SDRAM) 및 직접 램버스 램(Direct Rambus RAM, DRRAM) 과 같은 다양한 RAM을 의미한다.
- [0193] 상기 비일시적 판독 가능 매체는 레지스터, 캐쉬, 메모리 등과 같이 짧은 순간 동안 데이터를 저장하는 매체가 아니라 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.
- [0194] 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.

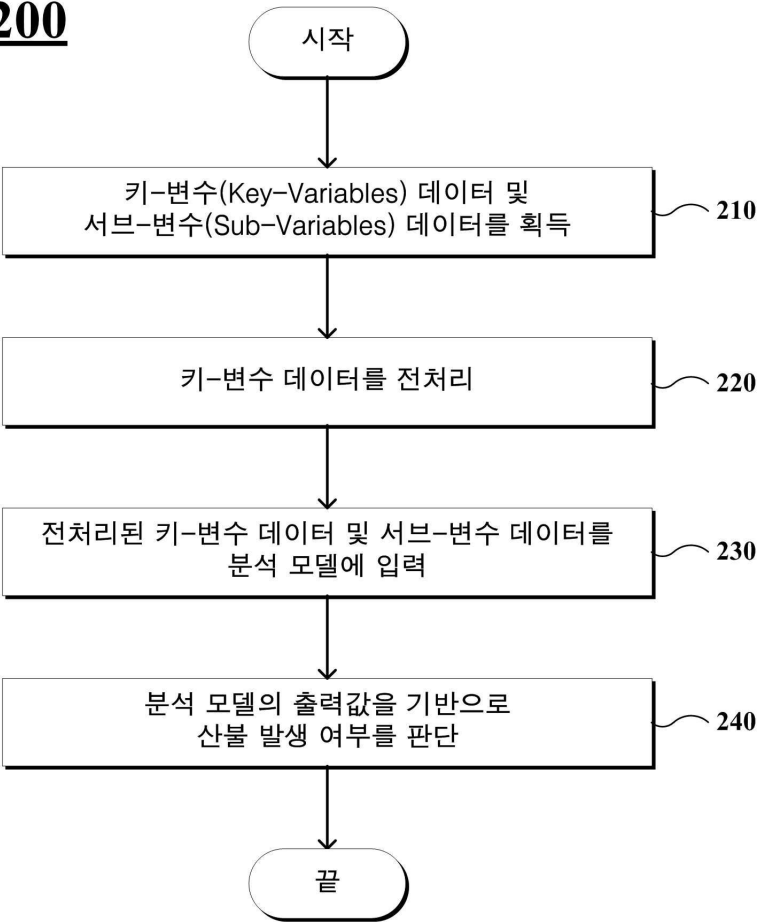
도면

도면1

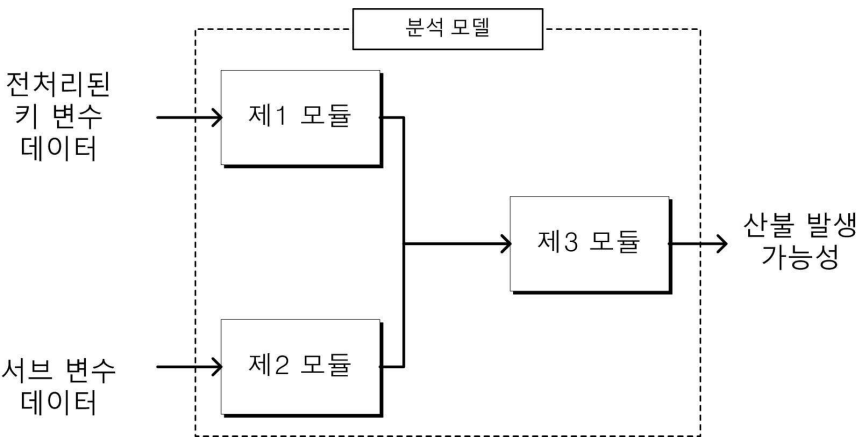


도면2

200

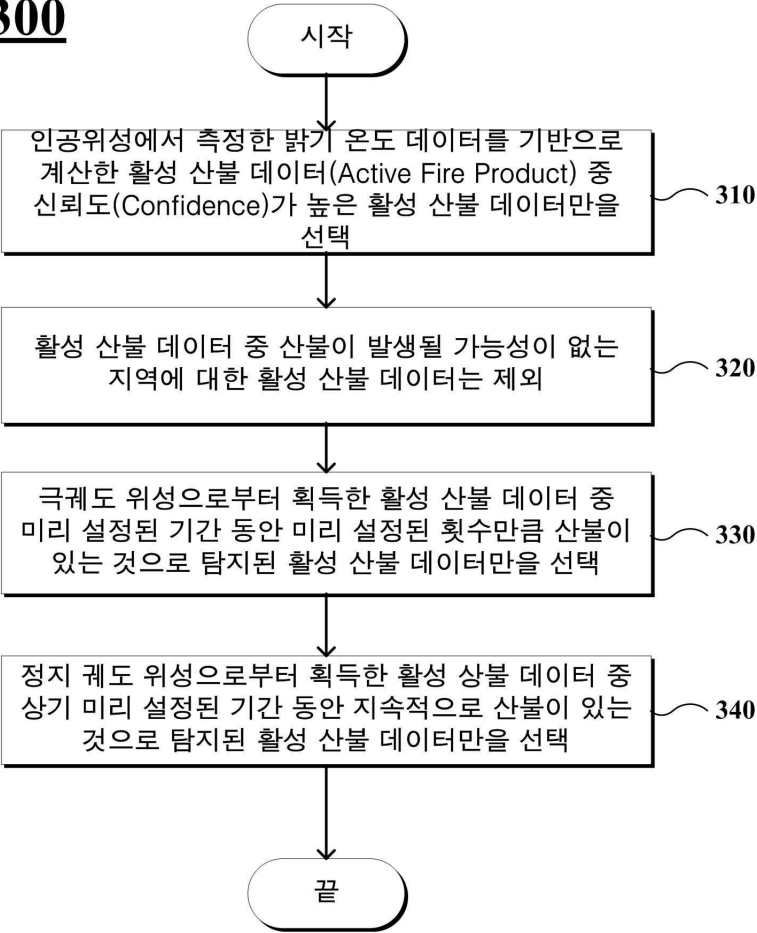


도면3

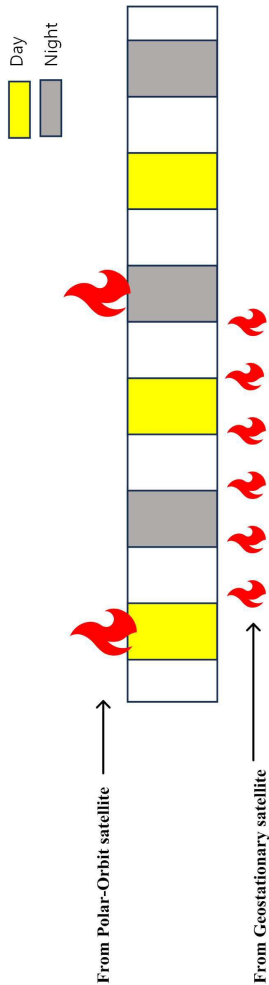


도면4

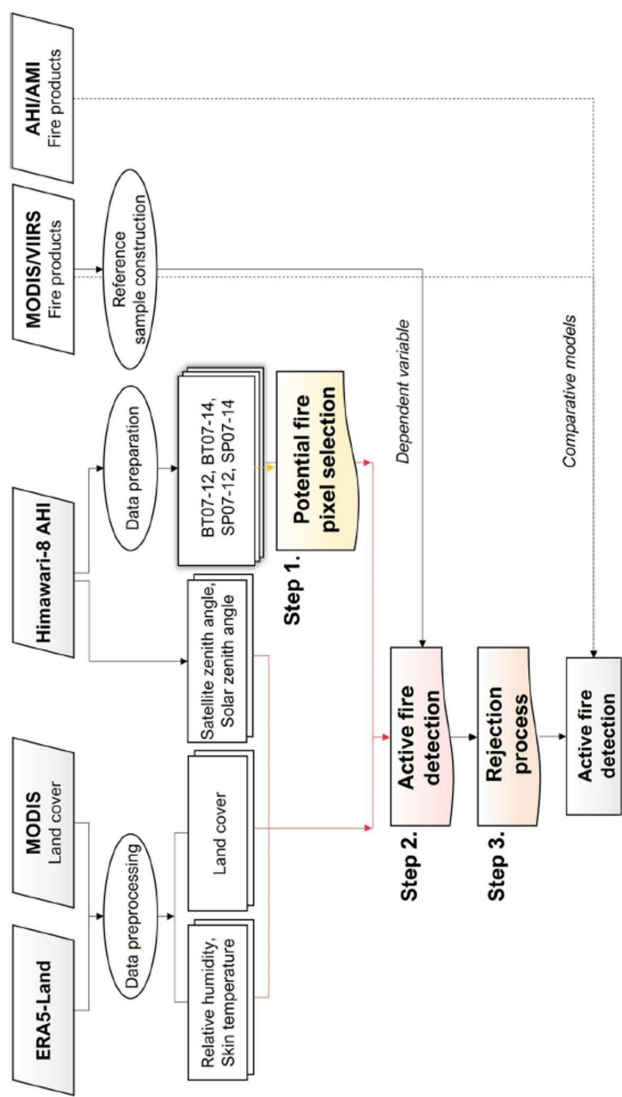
300



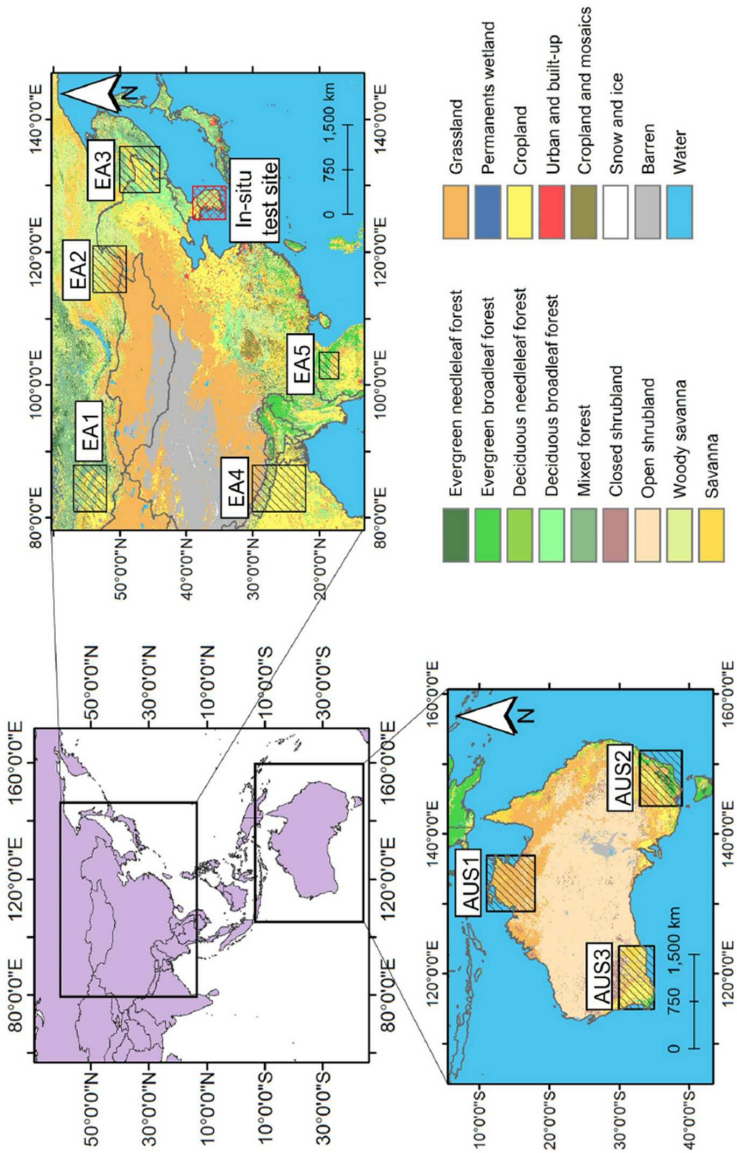
도면5



도면6



도면7



도면8

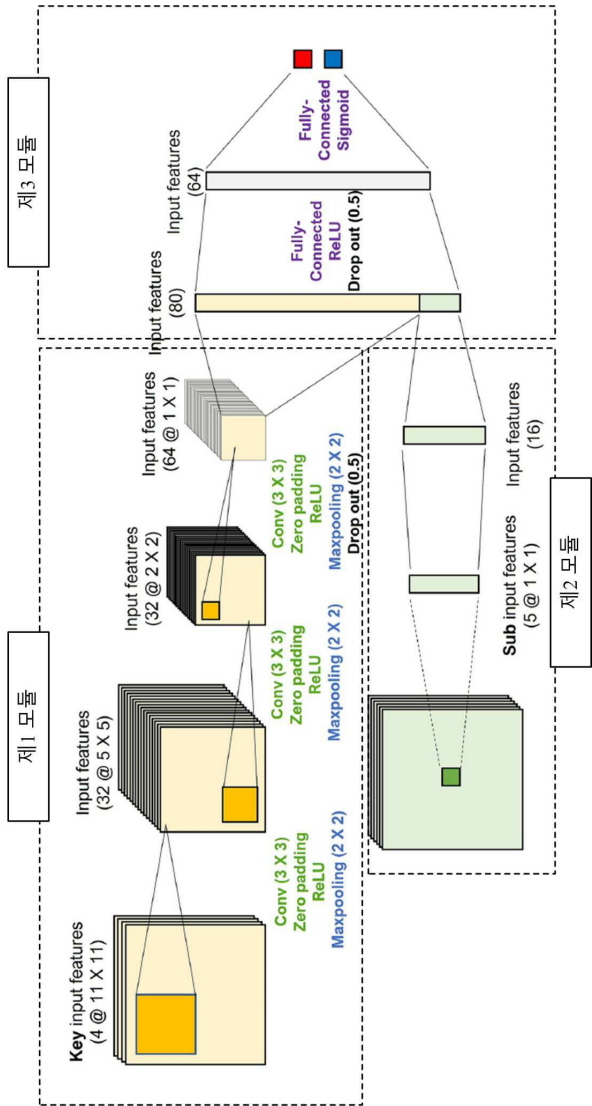
Source	Type	Description	Spatial resolution	Temporal resolution
Himawari-8 AHI	CH01	Reflectance at center	1 km	10 min
	CH03	wavelength 0.455, 0.645 nm	500 m	
	BT07	Brightness temperature	2 km	
	BT12	at center wavelength		
	BT14	3.85, 9.63, 11.20 μm		
	SOZ	Solar zenith angle		
	SAZ	Satellite zenith angle		
GK2A AMI	AHI AF	AHI active fire products	2 km	10 min
	AMI AF	AMI active fire products		
Terra, Aqua MODIS	MODIS	MODIS active fire	1 km	4 times/day
	AF	products		
Suomi, NOAA VIIRS	LC	Land cover	500 m	1 year
	VIIRS	VIIRS active fire	375 m	4 times/day
	AF	products		
ERA5-Land	ST	Skin temperature	9 km	1 h
	RH	Relative humidity		

도면9

Type	Abbreviation	Description
Key variables	BT07-12	Spectral difference between brightness temperature of 7th channel and the 12th channel
	BT07-14	Spectral difference between brightness temperature of 7th channel and the 14th channel
	SP07-12	Spatial difference between center and the surrounding area in BT07-12
	SP07-14	Spatial difference between center and the surrounding area in BT07-14
Sub-variables	SOZ	Solar zenith angle
	SAZ	Satellite zenith angle
	ST	Skin temperature
	RH	Relative humidity
	LC	Land cover

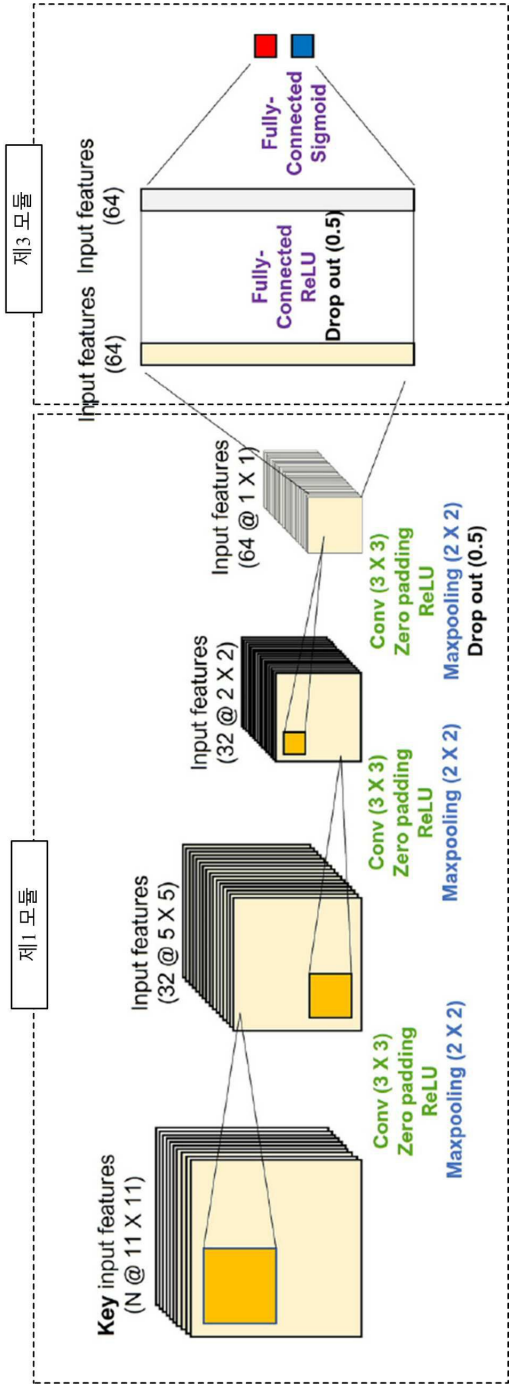
도면10

Dual-module CNN (DM CNN)

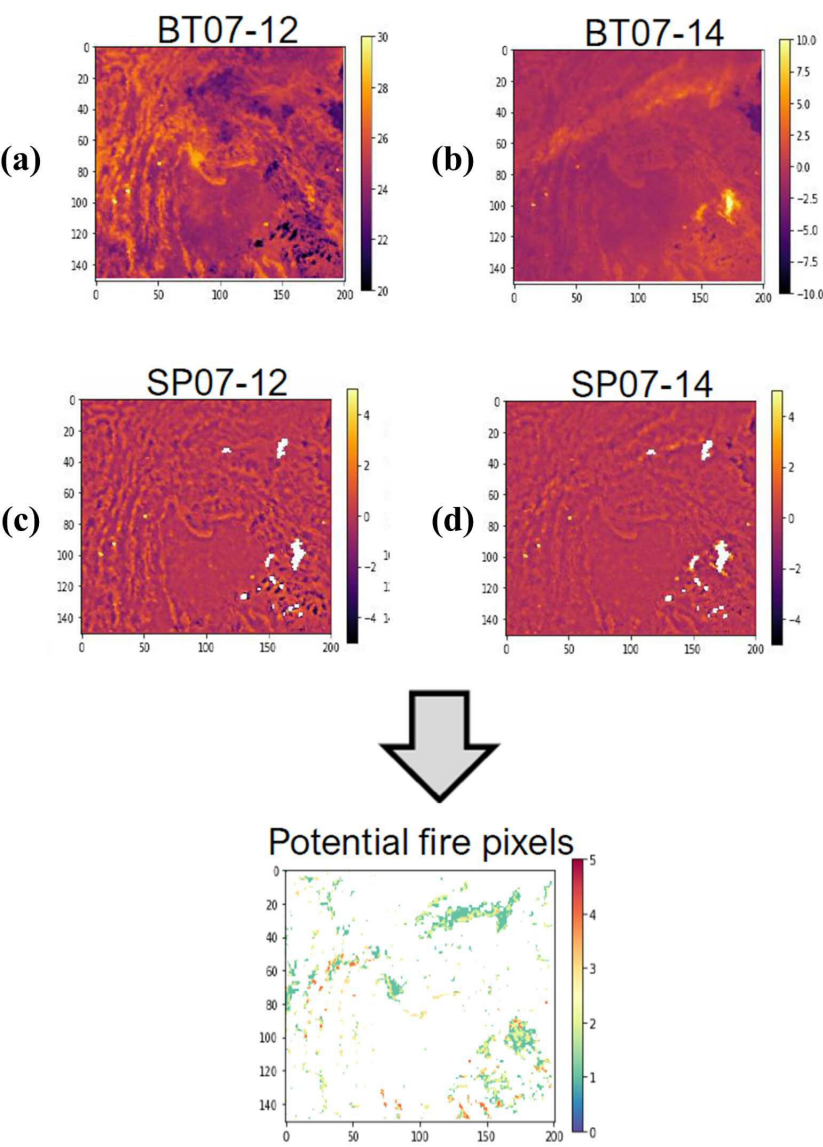


도면11

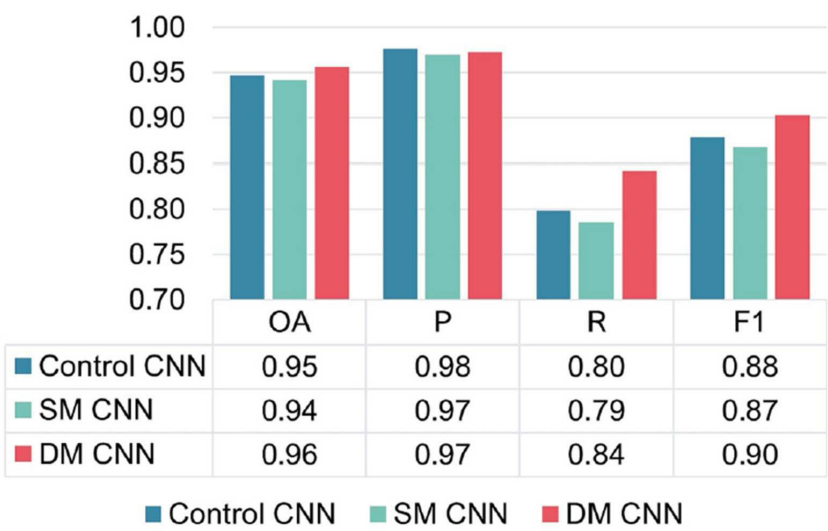
Control CNN (N =4)
Single-module CNN (DM CNN, N=9)



도면12



도면13



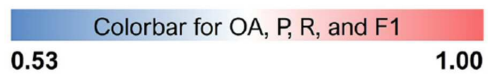
도면14

(a)

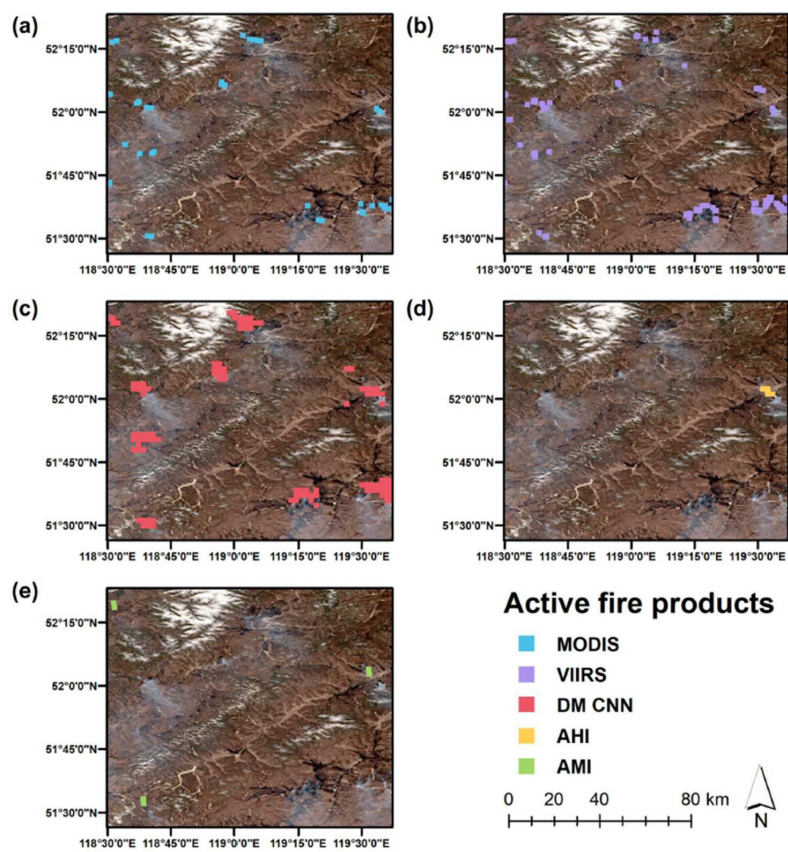
Control	EA 1	EA 2	EA 3	EA 4	EA 5	Std
OA	0.88	0.97	0.96	0.92	0.94	0.032
P	0.99	0.98	0.99	1.00	0.96	0.012
R	0.53	0.90	0.88	0.65	0.80	0.140
F1	0.69	0.94	0.93	0.79	0.88	0.093

(b)

DM	EA 1	EA 2	EA 3	EA 4	EA 5	Std
OA	0.89	0.98	0.98	0.95	0.95	0.030
P	0.97	0.97	0.98	0.99	0.96	0.011
R	0.60	0.92	0.94	0.77	0.87	0.126
F1	0.74	0.95	0.96	0.86	0.91	0.079



도면15

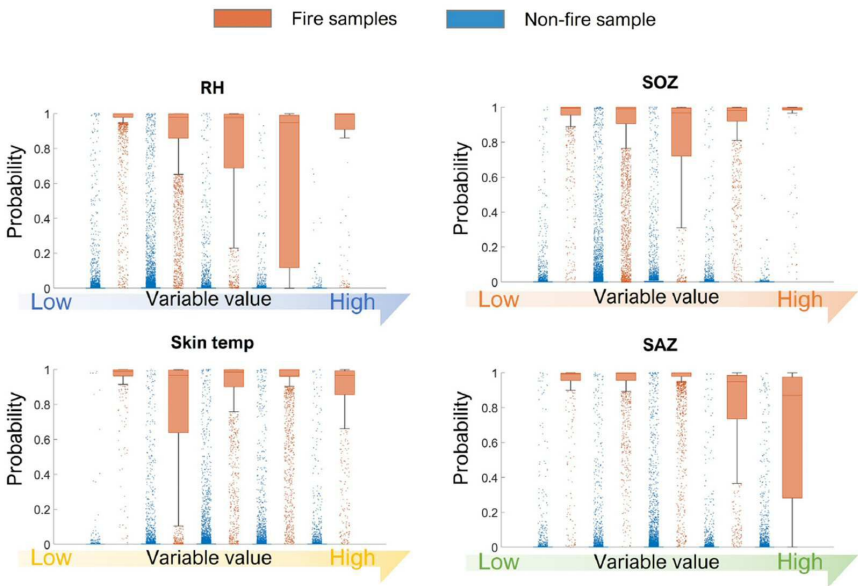


도면16



도면17

Control

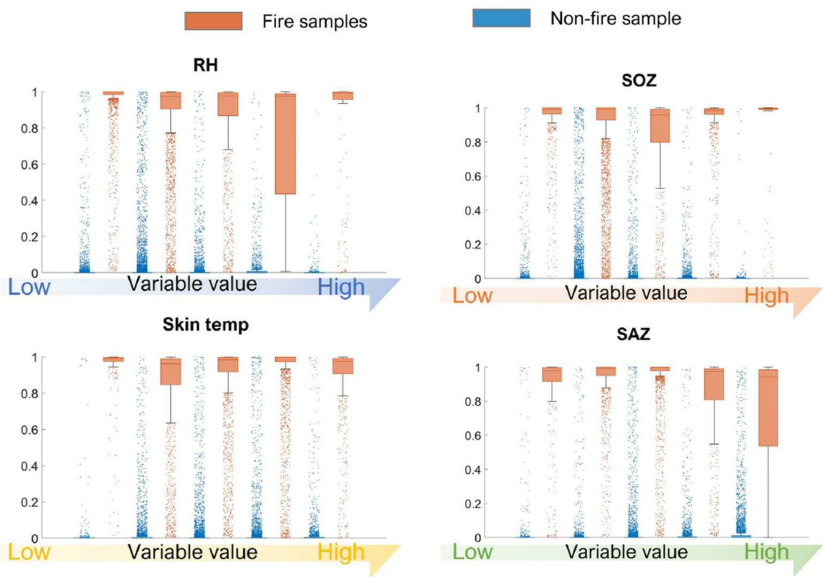


Range	RH	Skin temp
R1 (Low)	[0,20)	[250,270)
R2	[20,40)	[270,280)
R3	[40,60)	[280,290)
R4	[60,80)	[290,300)
R5 (High)	[80,100)	[300,350)

Range	SOZ	SAZ
R1 (Low)	[0,40)	[40,50)
R2	[40,80)	[50,58)
R3	[80,100)	[58,65)
R4	[100,140)	[65,75)
R5 (High)	[140,180)	[75,90)

도면18

DM CNN



Range	RH	Skin temp
R1 (Low)	[0,20)	[250,270)
R2	[20,40)	[270,280)
R3	[40,60)	[280,290)
R4	[60,80)	[290,300)
R5 (High)	[80,100)	[300,350)

Range	SOZ	SAZ
R1 (Low)	[0,40)	[40,50)
R2	[40,80)	[50,58)
R3	[80,100)	[58,65)
R4	[100,140)	[65,75)
R5 (High)	[140,180)	[75,90)

도면19

