

의사결정기법을 이용한 산불탐지 기법 연구

A Study of Forest Fire Detection with Decision Rule

박우진, 허용, 유기윤, 김용일

서울대학교 공간정보연구실

WooJin Park, Yong Huh, KiYun Yu, YongIl Kim

Spatial Informatics & Systems Lab. Seoul National Univ.

초 록

위성영상을 이용한 산불탐지기법은 단순한 화재의 유무뿐만 아니라 온도, 면적, 상태 등과 같은 다양한 정보를 얻을 수 있는 수준으로 개발되었다. 하지만 실제 적용결과에 있어서는 서로 다른 탐지결과를 보이기 때문에 어떤 탐지기법을 선택하고 기법에 사용되는 임계값들을 어떻게 결정해야 하는가라는 문제점이 발생한다. 본 연구에서는 의사결정기법을 이용하여 개별 탐지기법의 결과를 분석하여 최적해를 얻고자 하였다. 이를 위하여 국내에서 발생한 산불에 주요 탐지기법을 적용, 정확도를 평가한 후 의사결정기법을 적용하여 보다 정확한 결과를 얻는 연구를 수행하였다. 그 결과 단일 탐지기법에서 발생하는 오류(false alarm)를 일정부분 보완할 수 있었다. 하지만 충분한 실측자료가 부족하여 정확한 평가 및 검증에는 한계가 있었다.

1. 서 론

산불은 국지적으로는 산림자원과 인접 지역의 거주자에게 심각한 피해를 일으킬 수 있는 재난이며, 거시적으로는 이산화탄소의 흡수기능을 수행하는 산림을 파괴함과 동시에 생물자원 연소로 다량의 이산화탄소를 발생시켜 온실효과를 가중시키는 원인이 되고 있다.

시베리아나 알래스카 같은 광활한 산림 지역에서는 국내처럼 감시인력을 투입하기에는 비용 및 효율성의 문제점이 있어 위성영상을 이용하여 화재를 탐지, 대응하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 결과 다양한 탐지기법이 개발되었다. 이러한 탐지기법의 적용 결과를 분석해보면 대형산불은 비교적 쉽게 탐지하는 반면 소형산불의 경우 임계값을 조정함에 따라 상당한 commission error가 발생하는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 본 연구에서는 의사결정기법을 이용하여 서로 다른 탐지결과를 종합하여 보다 향상된 탐지성과를 얻고자 하였다.

2. 배경이론

1) 산불탐지기법

산불의 발생은 다음과 같은 2가지 휘도온도(Brightness temperature)상의 변화를 가져온다. 첫째 고온으로 인한 휘도온도 자체의 증가와 둘째, $4\ \mu m$ 와 $11\ \mu m$ 대 휘도온도 차이의 증가이다.

센서에 감지되는 에너지는 산불과 지표면이 방출하는 복사에너지의 합으로 결정되는데 플랑크함수에 의하면 고온의 물체일수록 단파장대, 여기서는 $4\ \mu m$ 에서 복사하는 에너지가 급격하게 증가하게 된다.

그 결과 파장대별로 휘도온도를 측정하였을 경우 단파장대일수록 과장된 휘도온도가 측정되며, 고온일수록, 산불의 면적이 클수록 휘도온도의 차이는 증가한다. 따라서 $4\ \mu m$ 의 휘도온도(T_4), $11\ \mu m$ 의 휘도온도(T_{11})를 이용하여 다음 식 (1)과 (2)를 만족하는 화소를 산불로 탐지한다.

$$T_4 \text{ or } T_{11} \geq \text{threshold}_1 \quad (1)$$

$$T_4 - T_{11} \geq threshold_2 \quad (2)$$

하지만 대상지역의 기후나 자연환경에 따라 각각 최적화된 임계값을 찾아내야하는 문제점과 한 영상의 공간적 범위가 넓은 경우 상이한 주변환경을 무시하고 고정된 임계값을 적용하는 문제점이 발생한다. 이를 보완하기 위한 방안으로 일정한 탐색범위 내에서 휘도온도의 통계적인 분포에 의하여 임계값이 결정되는 Contextual 탐지기법이 있다. 식 (1),(2)의 임계값을 탐색범위 내 비산불화소의 휘도온도, 그리고 휘도온도차의 평균(μ_4, μ_{4-11})과 표준편차(σ_4, σ_{4-11})를 연산하여 자동으로 결정하는 기법이다. 식(3)과 (4)에서 α 와 β 는 특정 상수를 의미한다.

$$T_4 \geq \mu_4 + \alpha \sigma_4 \quad (3)$$

$$T_{4-11} \geq \mu_{4-11} + \beta \sigma_{4-11} \quad (4)$$

2) 의사결정기법

의사결정기법은 여러 개의 규준으로부터 도출한 결과를 바탕으로 특정 선택을 수행하는 일련의 과정으로 정의된다. 본 연구에서는 복수의 산불탐지기법의 결과, 즉 산불과 비산불화소로 분류된 서로 다른 영상들을 이용하여 특정 화소에서의 산불유무를 판단하고자 한다.

다수자료법(Majority Rule)은 의사결정기법중 가장 기본적인 판별법으로 개별 탐지 결과 중 가장 다수인 결과를 선택하는 것이다. 물론 이 과정에서 가중치를 적용할 수도 있다. n개의 탐지기법을 사용했을 때 i 번째 결과(DN_i)가 산불일 경우를 1, 비산불일 경우를 0으로 표현하면 최종적인 판단(DN_{*w})은 다음과 같이 결정된다. 이때 w_i 는 각각의 가중치이며 l 은 임계값이다.

$$\sum DN_i \cdot w_i \geq l, \text{ then } DN_{*w} = 1 \quad (5)$$

$$\sum DN_i \cdot w_i < l, \text{ then } DN_{*w} = 0 \quad (6)$$

가중치를 결정하는 방법에는 다음과 같은 방법이 사용될 수 있다. 먼저 식(7)과 같은 비율법(rating method)은 사용자가 임의의 가중치를 적용하는 것으로, 본 연구에서는 탐지기법별 정확도(a_i)를 적용하였다. 식(8)은 순위총합가중치(rank sum weights) 방법으로 탐지기법별 우선순위(r_i)를 이용하며, 식(9)는 순위상호가중치(rank reciprocal weights)방법으로 순위의 역수를 이용하며, 식(10), 순위지수법(rank exponent method)은 순위에 지수를 적용하는 방법이다.

$$w_i = \frac{a_i}{\sum(a_i)} \quad (7)$$

$$w_i = \frac{n-r_i+1}{\sum(n-r_i+1)} \quad (8)$$

$$w_i = \frac{1/r_i}{\sum(1/r_i)} \quad (9)$$

$$w_i = \frac{(n-r_i+1)^p}{\sum(n-r_i+1)^p} \quad (10)$$

3. 실험 및 분석

1) 연구방법

연구의 전체 흐름은 그림 1과 같이 산불탐지기법의 적용과 정확도평가 및 가중치 결정으로 구성된다.

전처리는 ENVI 3.5를 이용하여 기하보정 및 Subset 추출, 그리고 휘도온도계산을 수행하였다. 밴드별 휘도온도를 계산하기 위하여 먼저 메타데이터에 포함된 Offset과 Scale 정보를 이용하여 밴드별 밝기값을 복사휘도($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)로 변환한다. 이후 플랑크 함수를 이용하여 휘도온도를 계산하였다. 정밀한 계산을 위해서는 파장대별 센서의 Relative Spectral Response를 고려해야하나 편의상 위스콘신대학 CIMSS (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies)에서 공개한 변환식을 이용하였다.

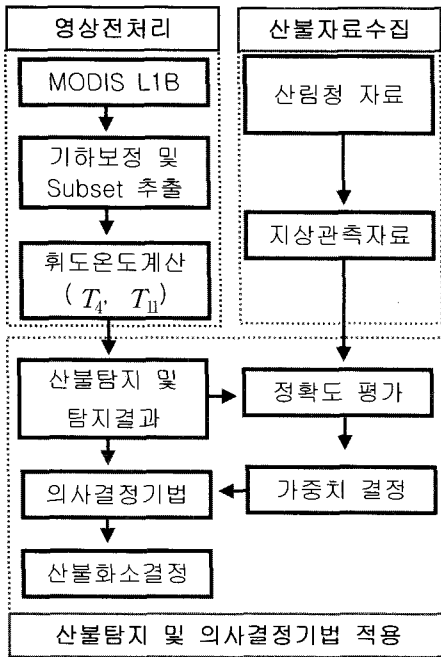


그림 1. 연구 흐름도



그림 2. 2005년 4월 5일 영상

다음으로 정확도평가를 위한 현지산불 실측 자료를 수집, 선정하는 것으로 산림청 자료를 이용하여 화재발생지역의 발생시각, 위치, 피해면적을 고려하였다.

마지막으로 모두 5개의 산불탐지기법을 적용·평가하고 각자의 정확도에 기초한 가중치를 사용하여 다수자료법을 이용한 의사결정을 수행하였다.

2) 연구자료

본 연구에서 사용된 자료는 AQUA MODIS L1B영상으로 현재 한국항공우주연구원 위성정보처리그룹에서 직수신한 한반도 영상을 이용하였다. 최근 양양, 고성에서 산불이 발생한 2005년 4월 5일, 그리고 한해 전인 2004년 09월 영상을 이용하였다. 이들 영상은 영상전체에 구름이 없으면서 bow-tie 현상에 의한 기하왜곡이 적은 영상을 기준으로 선정하였다.

정확도평가를 위한 산불발생자료는 산림청 산불통계정보 관리시스템에서 제공하는 자료를 이용하였다. 이 자료에는 산불발생지, 발생 및 진화시간, 피해면적, 발생원인이 기록되어있다.

표 1. 2005년 4월 5일 산불자료(일부)

산불발생지	발생 시각	진화 시각	피해면적 (ha)	발생원인
경북 고령 다산 월성 산99	14:10	16:50	1.50	어린이 불장난
충남 태안 태안 산후 산 216	13:00	14:40	0.50	성묘객 실화
경기 하남 하산곡 산18-1	12:40	14:45	0.3	입산자 실화
경북 예천 예천 생천 산2-3	13:45	23:00	5.00	성묘객 실화

하지만 산불발생지의 경우 좌표가 아닌 행정주소로 기록되어 있다. MODIS 영상의 1 km 공간해상도를 고려하여 주변지역에 산불로 오분류될 가능성이 있는 곳, 공장지대 또는 쓰레기 소각장 등이 없다는 조건을 만족할 경우 좌표상의 증대한 오류가 발생하지 않을 것이라고 가정하였다. 또한 실제 지도를 이용하여 대략적인 경위도 좌표를 찾고 ENVI 3.5에서 제공하는 MODIS 기하보정 모듈을 이용한 결과와 비교하여 좌표를 찾았다.

이 때 AQUA위성은 한반도를 13시 30분경에 촬영하므로 이 시각에 발생한 산불만을 사용해야한다. 그런데 산불자료의 피

해면적은 실제 산불의 크기보다 수십 배에서 수백 배에 이를 수 있다. 이론적으로 MODIS영상이 감지할 수 있는 최소한의 산불은 온도가 800-1000 K일 때 100 m²으로 0.01 ha에 해당하며 약 50%의 정확도를 가진다. 본 연구에서는 피해면적이 0.1 ha 이상일 경우 MODIS 영상을 이용한 산불탐지 정확도평가에 사용할 수 있다고 가정하였다.

3) 산불탐지기법 적용

다음과 같은 5가지 산불탐지기법을 이용하였다. ①과 ②는 일반적인 형태의 multi-threshold, ③, ④, ⑤는 Contextual 기법이 된다. 실제 사용되는 Contextual 산불탐지에서는 multi-threshold기법도 같이 병행되나 본 연구에서는 단순히 탐색범위 내의 평균과 표준편차만을 이용하였다.

$$\textcircled{1} \quad T_4 > 315K, \quad T_4 - T_{11} > 15K \quad (11)$$

$$\textcircled{2} \quad T_4 > \mu(T_4) + 3.5\sigma(T_4) \quad (12)$$

$$\textcircled{3} \quad T_4 - T_{11} > \mu(T_4 - T_{11}) + 3.5\sigma(T_4 - T_{11}) \quad (13)$$

$$\textcircled{4} \quad T_4 - T_{11} > \mu(T_4 - T_{11}) + 6K \quad (14)$$

이 때 사용하는 임계값 및 상수는 Giglio (2003)가 제안한 산불탐지기법을 바탕으로 결정하였다. 그림 3, 4, 5는 각각 ①, ②, ③을 적용한 결과영상이다.

Contextual 기법을 이용한 결과는 서로 유사한 결과를 보였으며, 영상 전체적으로 산불을 과다하게 탐지하는 문제점이 발생하였다. 그에 반해 multi-threshold의 경우 임계값에 따라 탐지결과에 많은 차이가 발생하였다.

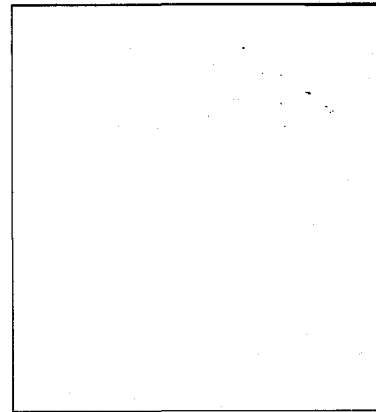


그림 3. 식(11)의 탐지결과

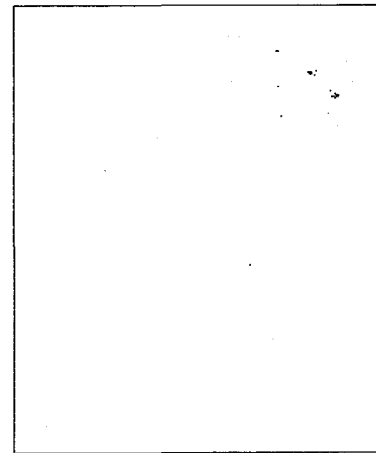


그림 4. 식(12)의 탐지결과

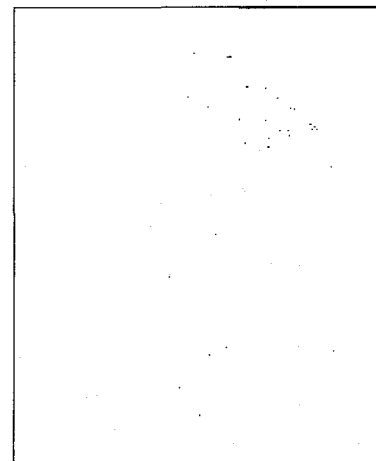


그림 5. 식(13)의 탐지결과

4) 의사결정기법 적용 및 평가

산불자료를 이용하여 각 탐지기법별 정확도 평가결과는 표 2와 같다. 2005년 4

월 5일과 2004년 4월 9일에 발생한 산불 건수는 12건이었으나 산불 화소수는 양양, 고성외의 대규모 산불로 인하여 19개였다.

탐지기법을 적용하였을 때 산불로 탐지된 화소수, 그리고 그 중 실제 산불인 화소수를 이용하여 사용자 정확도(user's accuracy)를 계산하였다. 영상 전체에서 산불로 탐지된 화소수는 0.1%에도 미치지 못한다. 또한 omission, commission error에 의한 오분류 개수도 극히 미미하기 때문에 전체 정확도(overall accuracy)를 계산하였을 경우 과대 측정되는 문제점이 있었다.

표 2. 탐지기법별 정확도

탐지기법	산불 화소	실제 산불	Commission	Omission	정확도 (%)
①	31	14	17	5	45.16
②	27	17	10	2	62.96
③	28	16	12	3	57.14
④	35	16	19	3	45.71

의사결정기법에 사용되는 가중치는 비율법에 사용자 정확도를 사용하여 결정하였다. 이 때 탐지기법별 가중치는 순서대로 0.2141, 0.2987, 0.2708, 0.2167이었다.

최종적인 산불탐지는 다음 식(15)의 조건을 만족하였을 경우 산불로 선택하였다. 어떤 탐지기법의 결과(DN_i)는 산불일 경우 1, 비산불일 경우 0으로 표현되며, 이 수치에 가중치를 곱하여 4가지 탐지기법의 결과를 모두 합하였다.

$$DN_1 \cdot w_1 + \dots + DN_4 \cdot w_4 \geq l \quad (15)$$

이 때 임계값 l 은 0.5, 0.7, 0.75, 0.8까지 임의의 수를 적용해보았으며 그 결과는 표 3과 같았다. 이 때 사용자 정확도는 각각 85.71%, 68.42%, 63.64%, 56.60%였다. 임계값은 0.8로 했을 경우 수치상 정확도가 가장 높았으나 너무 많은 omission error가 발생하였다. 이에 반해

0.75를 사용했을 때 가장 오분류된 화소의 개수가 적으면서 사용자정확도는 68.42%로 높았다.

표 3. 임계값에 변화에 따른 탐지결과

l	산불 화소	실제 산불	Commission	Omission
0.8	7	6	1	13
0.75	19	13	6	6
0.7	22	14	8	5
0.5	25	14	11	5

하지만 임계값을 0.75, 0.7로 적용했을 때 실제 산불화소 19개중 각각 13개와 14개만을 탐지하는 문제점을 가지고 있었다.

4. 결론 및 고찰

본 연구는 의사결정기법을 적용하여 산불탐지의 정확도를 향상시키고자 하였다. 이를 위하여 4가지 탐지기법을 적용한 결과에 의사결정기법을 적용하여 산불탐지결과를 도출하였다. 비록 탐지된 산불화소의 개수는 줄었으나 산불이 아님에도 산불로 탐지되는 오분류(Commission Error)는 개별 탐지기법에 비해 분명하게 줄어들었다. 하지만 전반적으로 Omission Error가 증가하는 문제점이 발생하였다. 이는 소형산불의 경우 4가지 탐지기법에서 모두 산불로 탐지될 확률이 매우 낮음으로서 발생하는 현상으로 판단된다.

정확한 산불탐지를 위해서는 오분류를 줄이면서 보다 많은 산불을 탐지할 수 있어야만 한다. 이를 위해서는 보다 많은 영상에 탐지기법을 적용하고 일반화할 수 있을 정도의 평가를 수행해야 한다. 하지만 본 연구에서 사용된 산불자료 및 영상은 정확도 및 수량에서 매우 미흡하였다. 따라서 추후 연구를 통하여 한계점을 보완하는 것이 필요하다.

참고문헌

1. Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C. O. Kaufman, Y. J., (2003). An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS. Remote Sensing of Environment, 87, 273-282.
2. Justice, C. O., Giglio, L. etc., (2002). The MODIS fire products. Remote Sensing of Environment, 83, 244-262.
3. Malczewski, J. (1999). GIS and Multi-criteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, Inc.
4. MODIS Science Team, (1998). Algorithm Technical Background Document-MODIS Fire Product
5. Seielstad, C. A., Riddering, J. P., etc.,(2002). Testing the Sensitivity of a MODIS-like Daytime Active Fire Detection Model in Alaska using NOAA/AVHRR Infrared Data. RE&RS Vol.68, No.8, 831-838