

초분광영상의 분광반사 패턴을 이용한 표적탐지 알고리즘 개발

Development of a Target Detection Algorithm using Spectral Pattern Observed from Hyperspectral Imagery

신정일*

Jung-Il Shin

이규성*

Kyu-Sung Lee

Abstract

In this study, a target detection algorithm was proposed for using hyperspectral imagery. The proposed algorithm is designed to have minimal processing time, low false alarm rate, and flexible threshold selection. The target detection procedure can be divided into two steps. Initially, candidates of target pixel are extracted using matching ratio of spectral pattern that can be calculated by spectral derivation. Secondly, spectral distance is computed only for those candidates using Euclidean distance. The proposed two-step method showed lower false alarm rate than the Euclidean distance detector applied over the whole image. It also showed much lower processing time as compared to the Mahalanobis distance detector.

Keywords : Target Detection(표적탐지), Hyperspectral Imagery(초분광영상), Spectral Pattern(분광반사특성)

1. 서론

초분광영상은 백 개 이상의 연속된 밴드 또는 채널로 구성된 분광해상도가 매우 높은 영상으로 화소마다 지표물의 완전한 분광반사특성을 획득할 수 있다는 장점을 갖고 있다^[1]. 초분광영상의 높은 분광해상도는 다중분광영상으로 감지가 어려운 미세한 분광반사특성 정보를 기반으로 정확한 지표 성질의 분석에 유용하게

활용될 수 있으며, 최근 그 수요가 증가하고 있다^[2,3]. 특히 군사목적의 위장체 탐지를 위하여 다양한 자연 지물, 인공물, 위장체의 분광반사특성을 측정하고 이를 기반으로 초분광영상으로부터 위장체를 탐지하는 연구가 진행된 바 있다^[4~8].

표적탐지는 영상에서 표적과 배경을 구별하는 이분법적인 의미이며, 표적(target)은 영상 전체에서 극소수로 존재하거나 존재하지 않으며 배경(background)은 영상에서 대부분을 차지하고 다양한 종류의 피복을 포함한다는 가정을 갖고 있다^[9,10]. 앞에서 언급한 표적의 분포에 대한 가정에 의해 기존 통계학적 감독분류 기법을 표적탐지에 적용할 경우 필요한 충분한 수의 훈련 집단(training sample)을 영상 내에서 확보하기 어렵

† 2011년 9월 19일 접수~2011년 11월 25일 게재승인

* 인하대학교 지리정보공학과(Department of Geoinformatic Engineering, Inha University)

책임저자 : 신정일(jishin@inha.edu)

다^[9]. 또한 분광라이브러리와 같이 한 개 또는 몇 개의 스펙트럼으로부터 표적의 분광반사특성을 획득할 경우 그 한계는 더욱 커진다고 할 수 있다. 따라서 각각의 화소를 몇 개의 클래스로 구분하는 기존의 토지피복분류(영상분류) 기법과는 다른 접근이 필요하다.

기존에 주로 사용되던 표적탐지 기법의 핵심은 분광특징정합(spectral feature matching) 알고리즘으로 이는 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 기준 분광반사곡선과 각 영상 화소 간의 분광 거리(spectral distance)를 이용하는 방법으로 대표적으로 유클리드 거리(ED : Euclidean Distance)를 들 수 있으며 수학적으로는 각 밴드별 차의 절대값의 합으로 표현할 수 있다^[11]. 두 번째로 영상의 공분산(covariance) 또는 상관계수(correlation coefficient)와 같은 통계값을 이용하는 방법으로 대표적으로 유사도(likelihood ratio), Mahalanobis 거리, Adaptive matched filter 등이 있다^[9]. 마지막으로 분광각을 이용하는 기법으로 각 화소값을 영상의 밴드 수만큼의 차원을 갖는 벡터로 가정하여 기준 분광반사곡선과의 각을 측정하는 원리를 이용하며 Spectral Angle Mapper(SAM) 알고리즘으로 잘 알려져 있다^[9]. 기존 분광특징정합 알고리즘 중에서 분광거리와 분광각을 이용하는 경우 처리속도가 빠르고 통계값을 계산할 필요가 없다는 장점을 갖고 있지만 실제 영상에서 나타나는 잡음(noise)이나 획득 조건에 따른 변이에 안정적이지 않다는 단점이 있다^[11]. 통계값을 이용하는 기법들의 경우 배경에 해당하는 화소값이 정규분포를 이룬다는 가정 하에 개발되었는데 그 이유는 수학적으로 간단하고 많은 경우에 있어 좋은 성능을 보여주기 때문이다^[10]. 그러나 초분광영상의 경우 수 백 개의 밴드에 대한 통계값을 계산하는데 시간이 많이 소요되고 정규분포 가정에 해당하지 않는 경우도 많이 있으므로 비효율적이라고 할 수 있다. 표적탐지 알고리즘에 있어 분광특징정합의 결과는 정합 점수로 나타나게 되며 임계값을 사용자가 결정하여 표적과 비표적(배경)을 구별하게 된다. 이 과정에서 탐지 정확도를 향상시키기 위해 임계값을 조정하는 경우 오탐지율이 함께 증가하는 현상이 나타나게 되며 이 과정에서 사용자의 개입이 증가한다.

본 연구에서는 다음과 같은 목적을 만족시키는 초분광영상을 위한 표적탐지 알고리즘을 개발하고자 한다. 우선 수학적 연산과정을 단축하여 처리속도 향상시키되 오탐지율을 낮추고자 한다. 또한 임계값 결정 과정에서 유연성을 향상시키고, 잡음에 대한 안정성을

확보하는 알고리즘을 개발하려 한다.

2. 제안하는 표적탐지 알고리즘

제안하는 표적탐지 알고리즘은 첫째 분광차분(spectral derivation)을 이용한 분광반사곡선의 증감패턴을 기준 자료와 영상에서 각각 산출하고, 둘째 산출한 증감패턴 간의 정합비율을 이용하여 표적 후보를 추출하고, 마지막으로 추출된 표적 후보에 대한 분광특징정합의 3단계 처리과정을 갖고 있다(Fig. 1).

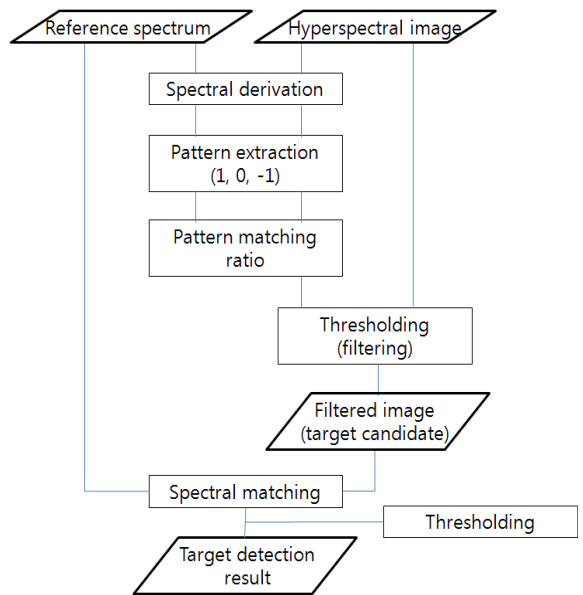


Fig. 1. 분광반사곡선의 증감패턴을 이용한 단계적 분광특징정합 알고리즘의 흐름

가. 분광반사곡선의 증감패턴 산출

인간이 분광반사곡선의 패턴을 인식하는 가장 기본적인 방법은 분광반사율이 증가하거나 감소하는 패턴을 비교하는 것이다. 이러한 패턴인식의 방법을 이용한 알고리즘이 이진부호화(binary encoding)인데 정해진 값보다 작거나 같으면 0, 크면 1로 나누는데 실제 영상에서는 작은 노이즈나 변이(variation)에 너무 민감하게 반응한다는 문제점이 있다^[12]. 이러한 문제를 해결하기 위해 증가와 감소에 범위(buffer)를 주어 민감도를 낮추고 증가, 불변, 감소(1, 0, -1)의 세 가지 코드로 나누었다. Fig. 2는 동시에 동일 물체에 대해 지상에서

측정한 분광반사곡선과 항공 초분광 영상에서의 분광 반사곡선을 보여주고 있는데 동일한 물질을 동일 시간에 측정하였음에도 불구하고 절대적인 분광반사율의 차이와 다른 형태의 잡음을 보여주고 있다. Fig. 3은 두 분광반사곡선에 1차 미분을 적용하여 나타난 증감 패턴을 보여주고 있으며 증감패턴의 일치도는 73%를 보여주고 있다.

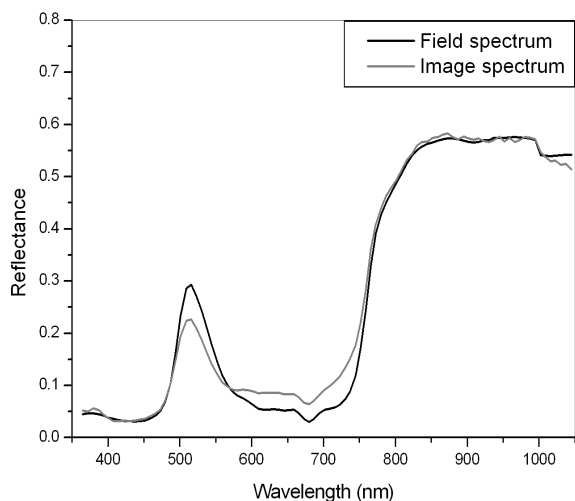


Fig. 2. 동시에 획득한 지상 측정 분광반사곡선과 항공 초분광 영상의 분광반사곡선(표적 : 녹색부직포)

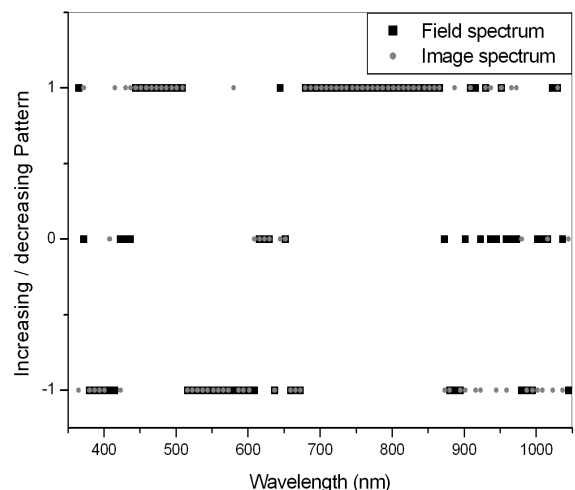


Fig. 3. 지상 측정 분광반사곡선과 영상 분광반사곡선의 증감 패턴 비교(1 : 증가, 0 : 변화없음, -1 : 감소; 정합비율 = 73%)

나. 증감패턴의 정합비율을 이용한 표적후보 추출

위와 같이 2개의 기준 분광반사곡선과 각 화소의 분광반사곡선을 증감패턴으로 변환한 후 정합비율을 이용하여 표적후보를 추출할 수 있다. 즉 밴드별 기준 스펙트럼과의 증감패턴 정합비율이 임계값보다 높을 경우 표적의 후보가 되는 것이다. 이때 정합비율에 대한 임계값은 사용자가 부여하여야 한다.

다. 분광특징정합(spectral matching)

분광특징정합은 영상의 각 화소와 기준 스펙트럼 간의 유사도를 측정하는 것으로 분광거리 또는 정합점수와 같은 수치로써 유사도를 나타낸다. 표적탐지 알고리즘에 있어 가장 많은 시간을 요하는 부분이 분광특징정합인데 제안하는 알고리즘에서는 미리 추출한 표적후보에 대해서만 분광특징정합을 수행함으로써 처리 시간을 단축할 수 있다. 본 연구에서는 분광특징정합 기법 중 수학적으로 가장 간단하면서 처리속도가 빠른 유클리드 거리를 이용하였으며 아래 식과 같이 표현할 수 있다.

$$ED(\text{Euclidean Distance}) = \sum |\rho_{\text{image}} - \rho_{\text{ref}}|$$

여기에서 ρ_{image} 는 영상의 분광반사율, ρ_{ref} 는 기준 분광반사곡선의 분광반사율을 의미한다.

유클리드 거리의 경우에 각 화소마다 기준 분광반사곡선과의 분광거리를 화소값으로 갖게 되며 거리가 작을수록 두 분광반사곡선이 유사하다는 것을 의미한다.

3. 연구자료 및 실험방법

가. 연구자료

연구자료는 2010년 10월 26일에 촬영한 항공 초분광 영상인 CASI-1500 영상을 이용하였고 촬영지역은 인천광역시 인하대학교 교정으로 영상의 상세 촬영사항은 Table 1과 같고 Fig. 4는 CASI-1500 영상을 보여주고 있다. CASI 영상은 촬영과 동시에 지상에서 측정한 11개 피복의 분광반사율을 이용하여 실험적 대기보정을 실시하여 radiance를 reflectance로 변환하였다.

표적탐지에 사용한 표적은 녹색부직포로 Fig. 4에와 같이 6m × 6m 1개, 6m × 9m 1개, 3m × 6m 2개의 총 4개의 표적을 녹색 옥상과 잔디밭에 설치하였다. 배경을 녹색 옥상과 잔디밭으로 결정 한 이유는 표적과 배

Table 1. CASI-1500 영상의 상세 촬영사항

촬영지역	인천
촬영일자	2010년 10월 26일
촬영시각	04:34 ~ 04:46(UTC)
촬영고도	2500m
촬영면적	800m × 700m(620 × 550pixels)
공간해상도	1.25m
파장영역	365.2 ~ 1044.6nm
밴드수	96
밴드폭	7.2nm
기하보정	GPS/INS를 이용한 기하보정 1m DEM을 이용한 정보보정
좌표계/타원체	UTM zone 52 / WGS-84
복사보정	Radiance($\mu\text{W} / \text{cm}^2 \text{sr nm}$) × 1000
Format	unsigned integer(16bit)

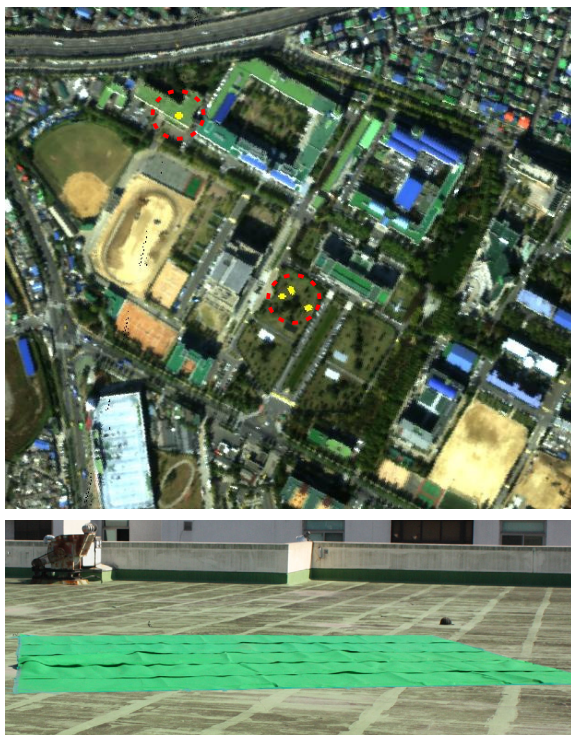


Fig. 4. 인하대학교 지역의 CASI-1500 영상과 표적 위치(상), 표적 설치 모습(하)

경의 분광반사특성이 유사한 상황에서 표적을 탐지하기 어렵다. 표적의 기준 분광반사곡선은 영상 촬영과 동시에 지상에서 ASD FieldSpec-3 spectro-radiometer를 이용하여 측정하였다. Fig. 5는 표적인 녹색부직포와 배경 중 표적과 유사한 분광반사특성을 갖는 녹색 옥상과 잔디밭, 활엽수의 분광반사곡선을 보여주고 있다.

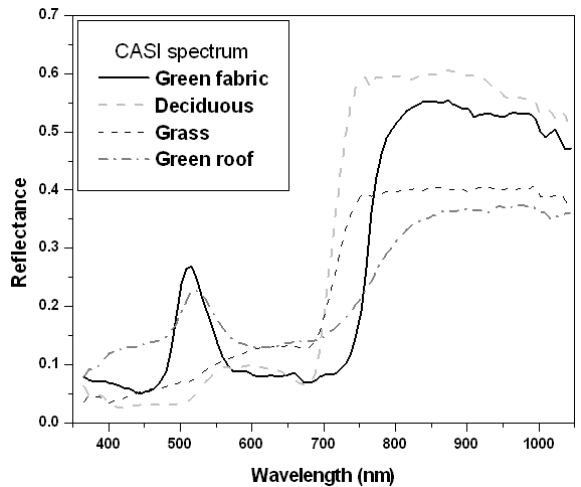


Fig. 5. 녹색 부직포와 녹색 옥상, 잔디밭, 활엽수의 분광반사곡선

나. 실험방법

앞에서 제안한 표적탐지 알고리즘에 의해 기준 분광반사곡선과 영상의 각 화소에 대한 분광반사율의 증감 패턴을 산출한 후 정합비율의 임계값을 0.5(50%)로 정하여 표적 후보를 추출한 후 유클리드 거리를 계산하였다. Fig. 6은 추출된 표적후보와 그에 대한 유클리드 거리 영상을 보여주고 있는데 녹색부직포를 비롯한 녹색 지붕이나 식물이 포함되었으며 표적후보들이 낮은 유클리드 거리를 갖고 있는 것을 볼 수 있다.

제안한 알고리즘에 의한 표적탐지 결과에 대한 비교 대상으로써 Table 2와 같이 CASI 원영상에 유클리드 거리를 적용한 경우와 Mahalanobis 거리(M-dist.)를 적용한 경우를 사용하였으며 탐지 정확도와 처리시간 각각에 대하여 비교하였다. 제안한 알고리즘을 포함하여 세 가지 방법은 모두 Matlab 2007을 이용하여 구현하였고 처리환경은 CPU core2duo 2.4GHz, RAM 2GB이다. 탐지정확도를 계산하기 위한 기준 표적의 위치는 영상의 육안판독을 통해 파악하였고 총 70개의 화소가

기준 표적으로 선정되었다. 위의 기준 표적과 탐지 결과를 이용한 탐지정확도는 아래 두 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{정탐지율} = \frac{\text{탐지된 화소 중 정탐지된 화소 개수}}{\text{기준 표적의 화소 개수}}$$

$$\text{오탐지율} = \frac{\text{탐지된 화소 중 오탐지된 화소 개수}}{\text{탐지된 화소 개수}}$$

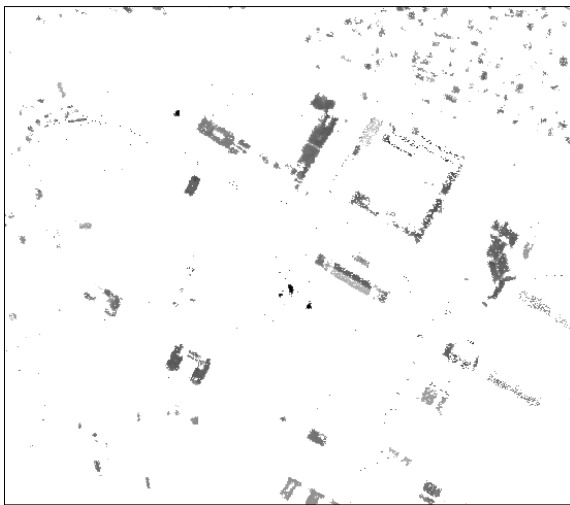
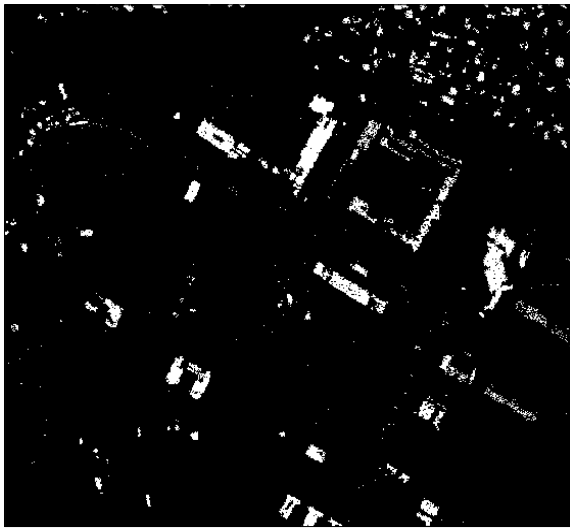


Fig. 6. 분광반사율의 증감추세(정합비율 임계값 = 0.5)를 이용하여 추출한 표적 후보 영상(상)과 표적후보에 대한 유클리드 거리 영상(하)

Table 2. 제안한 알고리즘에 의한 표적탐지 결과를 비교하기 위한 대상 및 항목

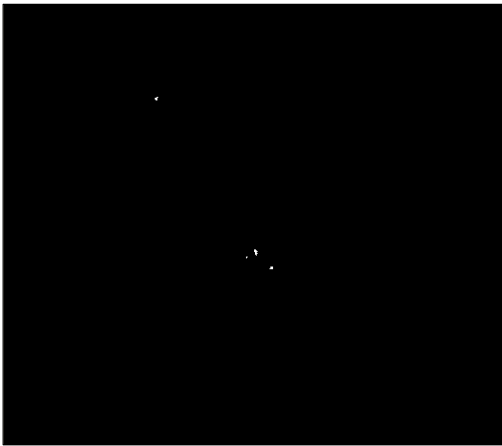
비교대상	비교항목 (방법)
(1) CASI-1500 원영상 & ED	임계값에 따른 정탐지율, 오탐지율(임계값의 민감도)
(1) CASI-1500 원영상 & M-dist. (2) CASI-1500 원영상 & ED	최적 임계값에서의 처리속도, 정탐지율, 오탐지율

4. 연구결과 및 고찰

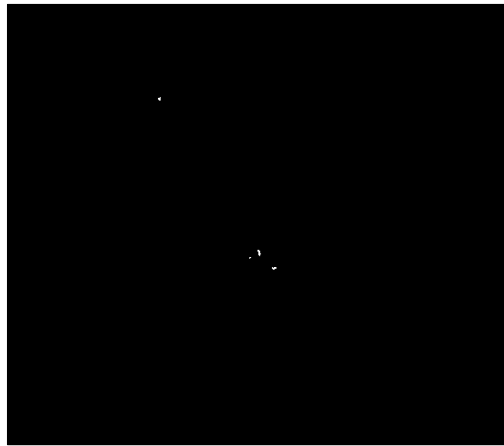
제안한 알고리즘에 대한 첫 번째 비교항목으로써 임계값에 따른 탐지정확도(정탐지율, 오탐지율)를 비교하였으며 비교대상은 CASI-1500 원영상에 유클리드 거리만을 적용한 결과이다. Fig. 7은 유클리드 거리의 임계값에 따라 탐지된 표적의 영상을 보여주고 Table 3은 정탐지율과 오탐지율을 보여주고 있는데 두 경우에 있어 임계값에 따른 정탐지율은 유사한 수준을 보여주고 있다. 오탐지율 측면에서 원영상의 경우 탐지정확도를 향상시키기 위해 임계값을 증가시킬 경우 오탐지율이 급격하게 증가하여 임계값 7에서 이미 80% 이상의 오탐지율을 보여주고 있다. 그러나 제안한 알고리즘에 의한 표적후보 영상의 경우 임계값에 따라 상대적으로 낮은 오탐지율의 증가를 보여주고 있다. 이는 표적후보를 추출하는 전처리 과정을 거쳤기 때문에 오탐지의 가능성을 억제함으로써 사용자가 정해야하는 임계값에 유연성을 부여하였다고 할 수 있다.

Table 3. 임계값에 따른 탐지정확도(정탐지율, 오탐지율)

표적탐지 기법	임계값	정탐지율	오탐지율
CASI 원영상 & ED	6	60.0%	0.1%
	7	77.1%	80.3%
	8	87.1%	96.5%
	9	94.3%	98.4%
제안한 방법	6	60.0%	0.1%
	7	77.1%	26.0%
	8	85.7%	51.2%
	9	92.9%	69.5%



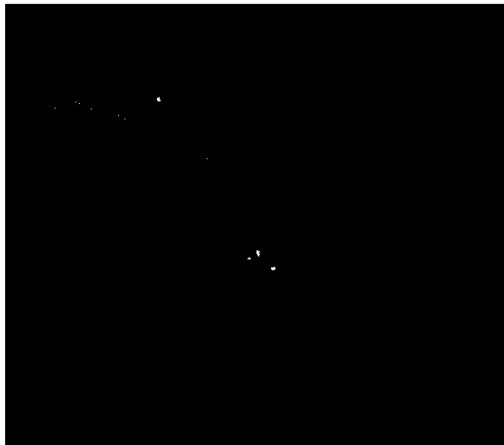
Euclidean distance(threshold 6)



Proposed(threshold 6)



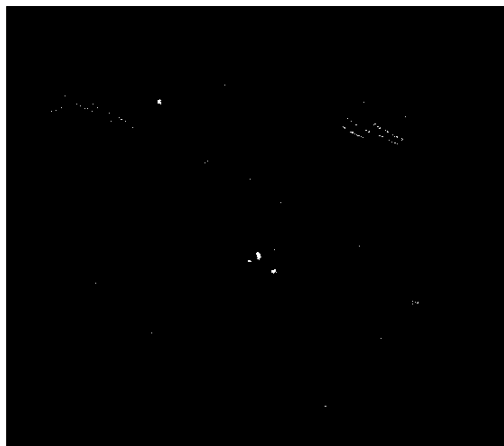
Euclidean distance(threshold 7)



Proposed(threshold 7)



Euclidean distance(threshold 9)



Proposed(threshold 9)

Fig. 7. CASI-1500 원영상에 ED를 적용한 방법(좌)과 제안한 방법(우)에 의한 표적탐지 결과

두 번째 비교항목으로써 처리속도를 비교하였다. 제안한 방법에 대한 비교 대상은 앞의 Table 2에서와 같이 원영상에 유클리드 거리를 적용한 방법, 원영상에 Mahalanobis 거리를 적용한 방법이다. Table 4는 세 알고리즘에 대한 처리시간과 최적의 임계값에서 탐지 정확도를 보여주고 있는데 Mahalanobis 거리의 경우 처리시간이 837초로 제안한 알고리즘의 처리시간인 26초에 비해 매우 긴 시간이 소요되었다. 이는 영상 통계값인 covariance를 계산하는데 420초가 소요됨으로써 통계값을 계산할 경우 처리시간이 크게 지연되는 것을 볼 수 있었다. 원영상에 직접 유클리드 거리를 적용한 처리시간에 비해 제안한 알고리즘은 3초의 처리시간이 더 요구되었지만 낮은 오탐지율을 획득할 수 있다는 측면에서 3초의 처리시간의 지연이 심각한 수준은 아니라고 판단된다. 또한 탐지 정확도 측면에서 Mahalanobis 거리가 제안한 알고리즘과 유사한 오탐지율 수준에서 더욱 높은 정탐지율을 보여주고 있으나 처리속도 측면과 영상 통계값을 사용할 수 없는 상황을 고려하였을 때 제안한 알고리즘이 더욱 효율적이라고 할 수 있다.

Table 4. 제안한 알고리즘과 원영상에 ED, M-distance 각각을 적용한 처리시간 및 최적 임계값에서의 정확도 비교

	Proposed	ED	M-distance
처리시간	26초	23초	837초
정탐지율	77.1%	77.1%	98.6%
오탐지율	26.0%	80.3%	26.3%

* M-distacne는 covariance 계산에 420초 소요

5. 결론

본 연구에서는 다중분광영상에 비해 초분광영상에서 잘 나타나는 분광반사곡선의 패턴을 이용하기 위해 인간의 분광패턴 인식 방법과 가까운 증감패턴을 이용하여 표적후보를 추출한 후 분광특징정합 기법을 적용하는 표적탐지 알고리즘을 제안하였다. CASI-1500 영상에 대해 제안한 표적탐지 알고리즘과 기존의 표적탐지 알고리즘을 비교한 결과 빠른 처리속도와 낮은 오탐지율의 표적탐지 결과를 얻을 수 있었다. 또한 분광특징

정합 기법의 결과물에서 표적을 추출하기 위한 임계값의 결정에 있어 유연성을 향상함으로써 정탐지율을 향상시키기 위해 임계값을 조절할 때 함께 상승하는 오탐지율을 억제할 수 있었다. 따라서 제안한 알고리즘은 향후 빠른 처리속도와 높은 정확도를 요구하는 초분광영상을 이용한 (준)실시간 표적탐지 알고리즘의 성능 향상에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

초분광영상의 획득이 매우 제한적인 국내 상황을 고려하였을 때 향후 추가적인 자료 획득을 통하여 다양한 상황 하에서 제안한 알고리즘을 검증할 필요가 있다. 또한 제안한 알고리즘에서 사용자의 임계값 결정에 대한 유연성을 향상하였지만 임계값의 범위가 사용하는 자료에 따라 달라지므로 사용자는 경험에 의해 최적의 임계값을 선정하여야 하는 단점이 있다. 따라서 향후 자동으로 최적의 임계값을 결정할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다.

후 기

본 연구는 한국과학기술원 영상정보특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다.(계약번호 UD10006CD)

이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

References

- [1] Goetz, A. F. H., "Imaging Spectrometry for Studying Earth, Air, Fire and Water", EARSel Advances in Remote Sensing, Vol. 1, No. 1, pp. 3~15, 1991.
- [2] 김선화, 이규성, 마정림, 국민정, "초분광 원격탐사의 특성, 처리기법 및 활용 현황", 대한원격탐사학회지, Vol. 21, No. 4, pp. 341~369, 2005.
- [3] 허아영, 최승원, 이재훈, 김태형, 박동조, "초분광 분해기의 광학계 설계 및 영상 처리", 한국군사과학기술학회지, Vol. 13, No. 2, pp. 328~335, 2010.
- [4] Bubner, T. P., Kempinger, S. K. and Shettigara, V. K., An Investigation of Target Detection Ability using Spectral Signatures at Hyperspectral Resolution, DSTO Electronics and Surveillance Research Laboratory, Salisbury, Australia, 2001.

- [5] Chandler, J. W. and Lyon, S. E., "Spectral Mixing of Camouflaged Targets", Master Thesis of Naval Postgraduate School in California USA, 1994.
- [6] Haran, T. L., "Short-wave Infrared Diffuse Reflectance of Textile Materials", Master Thesis of Georgia State University in Georgia USA, 2008.
- [7] Leong, H. C., "Imaging and Reflectance Spectroscopy for the Evaluation of Effective Camouflage in th SWIR", Master Thesis of Naval Postgraduate School in California USA, 2007.
- [8] Shaw, G. A. and Burke, H. K., "Spectral Imaging for Remote Sensing", Lincoln Laboratory Journal, Vol. 14, No. 1, pp. 3~28, 2003.
- [9] Mhanolakis, D. and Shaw, G., "Detection Algorithms for Hyperspectral Imaging Applications", IEEE Signal Processing Magazine, pp. 29~43, January 2002.
- [10] Mhanolakis, D., Marden, D., and Shaw, G. A., "Hyperspectral Image Processing for Automatic Target Detection Applications", Lincoln Laboratory Journal, Vol. 14, No. 1, pp. 79~116, 2003.
- [11] Chang, C. I., Hyperspectral Imaging : Techniques for Spectral Detection and Classification, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 2~35, 2003.
- [12] Jia, X. and Richards, J. A., "Binary Coding of Imaging Spectrometer Data for Fast Spectral Matching and Classification", Remote Sensing of Environment, Vol. 43, No. 1, pp. 47~53, 1993.