

1. 서론

현대전의 양상은 정보 및 전자 전장화되는 추세이며 24시간 실시간 은밀 감시정찰, 표적 탐지, 정밀 추적 및 타격이 요구된다. 감시정찰 부문에서는 표적 및 지형 정보에 대한 정밀성, 정확성 및 직시성이 필히 요구되고 있다. 전자광학 영상센서는 가시성뿐 아니라 정밀성이 뛰어나 감시정찰 분야에서 꾸준한 역할을 수행하고 있다.

전자광학 영상센서의 개발은 주로 공간 해상도와 복사 해상도를 향상시키는 방향으로 발전되어 왔다. 그러나 최근에는 전자광학 영상센서에 대응하기 위한 피탐 개념이 적용되면서 해상도 측면의 성능 발전이 표적의 탐지나, 식별, 분류 관점에서 그 효율도가 저하되고 있다. 가장 쉽고 대표적인 전자광학 피탐 방법은 표적을 주변환

처 반사 또는 흡수에 의한 고유한 파장 정보를 포함하므로 특정 물체의 파장 정보를 이용할 경우 물체의 식별, 분류가 가능하다.

초분광 영상센서는 군용으로 항공 및 위성 등에 탑재되어 표적획득, 식별에 활용되어 왔으며, 현재는 민수용으로도 그 용도가 확대되어 광물/식생의 분포 등 지구환경 원격탐사분야, 위조지폐 감별 및 마약단속 등 경찰민생 분야, 피부암 및 자궁경부암 진단 등 의료분야에 널리 활용되고 있다.

본고에서는 초분광 영상센서의 영상획득 원리와 장비의 종류를 소개하고 초분광 영상처리를 위한 요소기술을 간략히 설명한다. 아울러 초분광 획득영상을 이용하여 물체를 식별하는 예를 제시하고 마지막으로 군사적 활용시 요구되는 연구 과제등을 전망해 보며 결론을 맺고자 한다.

특집 1 ■ 국방광기술

초분광 영상기술의 군사적 활용

김연수*

경과 유사한 위장막으로 은폐하는 것으로 기존의 단일 혹은 다중대역(Multi-Spectral) 영상으로는 가시적 정보가 변형되어 영상자료에 의한 표적 판독 능력은 감소된다. 특히 중·장거리 표적 탐지용 전자광학 감시정찰센서의 경우 HW적으로 해상도를 증가시키는 것은 물리적 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위한 수단으로 특정 대역에서의 파장 구간을 100~수백개의 미세파장으로 분광하여 각 파장별 영상을 획득하는 초분광 영상센서 기술이 널리 알려지기 시작하였다.

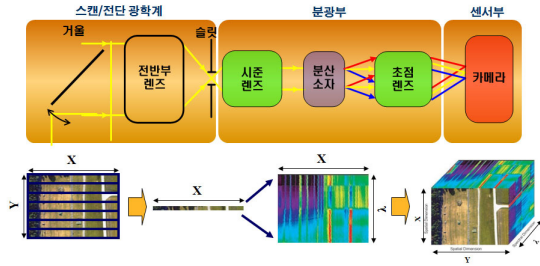
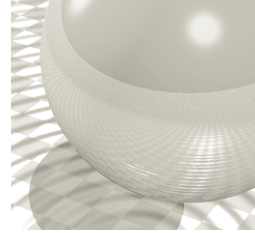
모든 물체는 가시광선으로부터 적외선 파장영역에 걸

2. 초분광 영상 센서의 원리 및 종류

초분광 영상센서는 2차원 배열의 검출소자를 사용하여 2차원 공간영상의 각 공간지점에 대하여 파장 정보를 얻는 장치이다. 이러한 3차원 정보(2차원 영상정보+1차원 스펙트럼 정보)는 그림 1 과 같이 공간에 해당하는 x, y 그리고 파장에 해당하는 λ 의 축으로 이루어진 3차원의 data set을 구성하게 된다.

일반적인 초분광 영상센서의 구성은 크게 주사 및 전단광학계, 분광부 그리고 센서부로 이루어지며, 이들 중

* 국방과학연구소 제3기술연구본부



초분광 영상센서의 분광 원리

분광부내 분산소자의 형태에 따라 파장 분해 능력 및 감도 성능을 좌우하게 된다. 분산소자는 통상 Grating을 이용한 방법, 프리즘을 이용하는 방법이 대표적이며 두 가지 방법을 적절히 혼용하는 PGP(Prism Grating Prism) 방법도 알려져 있다. 최근에는 반사 Grating 방법에 홀로그래프를 접목하여 파장 분해 능력을 손쉽게 끌어 올리고 있다.

초분광 영상센서는 탑재 운용되는 대상 플랫폼에 따라 구성에 약간의 차이는 있으나, 보다 근본적인 차이는 지상에서 고고도의 대공으로 올라갈수록 분광 반사되는 복사량이 적어지므로 시스템 SNR 측면과 영상의 공간 해상도 관점에서 충분한 고려가 필요하다는 것이다.

항공기 및 위성에 탑재되는 센서의 동작개념은 그림 2와 같다. “Pushbroom” 방식으로 일반적인 초분광 영상센서의 주사부가 필요 없게 된다.

가장 대표적인 항공기 탑재 초분광 센서는 1983년 미국 NASA JPL에서 개발된 AIS(Airborne Imaging Spectrometer)를 개량하여 1987년에 소개된 “AVIRIS”로서 400~2,500nm 파장구간에서 224개 분광 밴드로 촬영이 가능하다. 이외에도 상업용으로 개발된 CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) 와

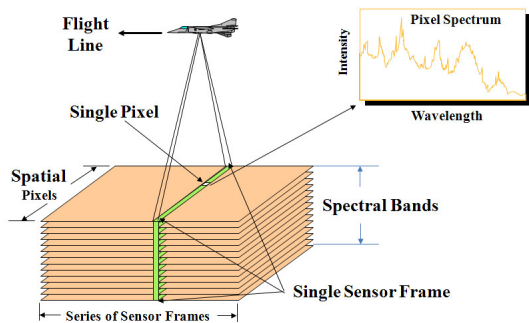


그림 2. 항공탑재 초분광 영상센서 운용개념

HyMap(Hyper Spectral Mapper) 그리고 AISA(Airborne Imaging Spectrometer for Application) 모델이 대표적이다. 군사용 목적의 센서는 미국 해군 연구소(NRL)에서 개발된 HYDICE 모델이 있으나 센서의 능력이나 용도는 정확히 알 수가 없다.

위성탑재형 센서의 경우는 미국 NASA에서 2000년도에 개발된 Hyperion 센서가 대표적이며, 400~2,500nm 파장구간에서 242개 분광밴드, 분광폭이 10nm 급이다. 705km 고도에서 운용되며 공간해상도는 30m 정도로 일반적인 EO/IR 탑재 센서에 비해 우수하지 못하다. 이밖에 유럽 우주국에서 발사한 실험위성에 탑재된 CHRIS 모델이 있으며, 미국 방부에서 군사용 목적으로 발사한 MightSAT 위성에 탑재된 FTHSI(Fourier Transform Hyperspectral Imagin) 센서가 탑재되어 약 145개 분광밴드로 영상을 제공하는 것으로 알려져 있다. 지상용의 경우는 주로 약품감지나 화학적 분석, 대마초와 같은 특정 식물 탐지, 그리고 지뢰탐지 등의 군사용 목적으로 활용되고 있다. 대표적인 모델에는 SOC(Surface Optics Corporation)사의 SOC-700이며 가시광선 대역에서 120개의 분광밴드로 영상촬영이 가능하다.

3. 초분광 영상처리 요소기술

초분광 영상은 수백개의 분광 영상획득에 따른 대용량 자료이며 정보획득 과정이 기존 영상센서와 다르므로 특화된 영상처리기술의 적용이 필요하다. 특히 정확한 분광특성 추출을 위해서는 대기보정, 대역별 검출기의 선형성 보정과 같은 전처리 과정이 매우 중요하며, 특정 물체를 분류 식별하기 위한 기법 또한 다른 접근이 요구된다.

가. 자료압축(data compression) 기술

자료량이 상대적으로 많으므로 자료압축기술은 반드시 필요하며 크게 그 양을 줄이기 위한 압축기법과 특징정보 추출을 위한 자료변환 과정을 포함하는 압축 기법으로 나눌 수 있다. 양을 줄이기 위한 압축기법은 기존 영상처리기법과 유사한 방법을 사용하나, 분광 특성의 유실이 없도록 변형 개발되고 있다. JPEG의 변형인 DPCM(Differential pulse code modulation)이 대표적

초분광 영상기술의 군사적 활용

인 압축기법으로 사용되고 있다.

특정정보 추출을 위한 압축기법에는 직교함수(orthogonal function)를 통한 변환기법들로 압축뿐 아니라 영상의 잡음(noise) 처리와도 관련된 것으로 PCA(Principle Component Analysis), MNF(Maximum Noise Fraction), NAPC(Noise Adjusted Principal Components) 방법 등이 있다. 이러한 기법들은 분광 밴드별 잡음 및 신호의 분산을 계산후 잡음이 최소화되고 신호의 분산이 최대가 되도록 변환한다.

나. 보정(correction) 기술

초분광 센서에 있어 보정기술은 크게 대기효과에 대한 보정과, 대역별 검출기 및 분광광학계 등 센서 HW의 파장별 비선형성을 보정하기 위한 센서 보정기술 등이 필요하다. 물체 또는 배경의 분광 반사값(spectral reflectance)이 초분광 영상센서가 획득하는 주요 정보라 할 수 있으므로 물체의 분광 반사특성을 분석하기 위해서는 물체와 센서간 대기에 의한 영향을 최소화 하거나 대기 영향력을 파악하여 순수한 표면 반사율로 변환하는 대기효과 보정이 필수적이다. 대기효과 보정은 대기 복사모델(MODTRAN 등)에 의해 대기입자의 산란 및 흡수량을 추정하고 센서로부터 획득된 복사량에서 가감하는 절대적 대기보정 방법이 주로 사용된다. 따라서 이러한 방법을 적용하기 위해서는 초분광 영상센서의 영상획득 시점의 대기상태와 관련된 자료획득도 매우 중요하다. 초분광 센서 HW 자체도 파장별 감도 특성이나 분광광학계 특성에 기인한 왜곡이 발생되며, 이는 검출소자의 비선형성 및 분광 광학계의 왜곡으로부터 기인한다. 이러한 왜곡은 초분광 영상센서 설계시부터 고려되어야 하며 광학적 특성에 관련된 다양한 복사보정 연구가 필요하다.

다. 분광 혼합 분석(spectral mixture analysis) 기술

공간 해상도에 따른 화소당 파장 분광 정보는 단일물질로 구성되어 있기 보다는 두가지 이상의 물질로 구성되어 있다는 가정으로 물질 혼합의 형태로 구성된 화소를 분석하기 위한 분광 혼합 분석이라는 개념이 제시되었다. 분광혼합분석 기법은 단위 화소에 포함된 여러 물

질의 점유비율(fraction)을 해석하는 기법이다. 하나의 물질로 구성된 단일의 순수한 화소를 “endmember“라 칭하며, 각 화소는 여러 endmember의 구성비율의 합으로 나타낼 수 있다. 분광혼합분석기법은 화학분야에서 분광측정(spectroscopy)에 적용되던 기법으로, 근래에 수백개 이상의 분광정보를 제공하는 센서기술의 발달로 본격적인 연구가 시작되었다.

라. 분광특성 정합(spectral matching) 기술

대상물체의 기준 분광 반사값을 이용하여 초분광 영상에서 얻어지는 반사값과의 유사성을 분석하여 대상 물체의 종류 및 함유량을 정의하는 방법이다. 기준 분광 반사곡선과 초분광 영상의 반사곡선간의 유사도를 찾는 방법에 따라 다양한 기법이 제안되고 있으며, 대표적 기법으로는 SDS(Spectral Distance Similarity) 기법, SCS(Spectral Correlation Similarity) 기법, SAM(Spectral Angle Similarity) 기법 및 SSV(Spectral Similarity Value) 기법등이 있다.

마. 특징 선택 및 추출기술

초분광 영상은 인접한 밴드간 상관관계에 따라 정보의 중복율이 높고, 특정 분광정보 혹은 분광밴드를 적절히 선택하여 사용하는 과정이 필수적이다. 이와같이 수많은 분광 정보에서 특정 정보만을 추출하는 기법을 특징 추출기법이라 하며, 밴드선택 혹은 특징 선택과 함께 이용된다. 초분광 영상에 적용되고 있는 대표적 기법은 PCA, DBFE(Decision Boundary Feature Extraction), SSA(Spectral Shape Analysis) 등이 있으며, 수많은 밴드를 효과적으로 줄이면서 특징 추출이 가능한 기법이 DBFE 기법으로 알려져 있다.

4. 초분광 영상자료의 분석

초분광 영상자료는 물체 고유의 분광 반사값을 이용하므로 은폐/모의/위장표적에 대한 식별력이 우수하다. 그림 3은 기초연구과제를 통해 제작한 초분광 영상센서로 획득된 영상으로 파장영역 400-950nm, 분광 밴드수는

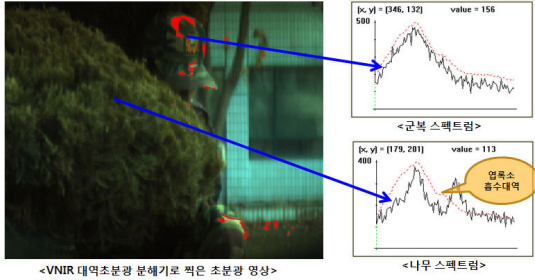
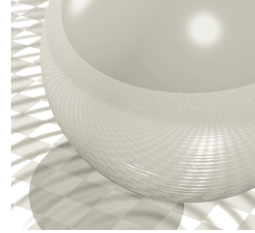


그림 3. SAM 기법을 이용한 위장표적(군복) 식별

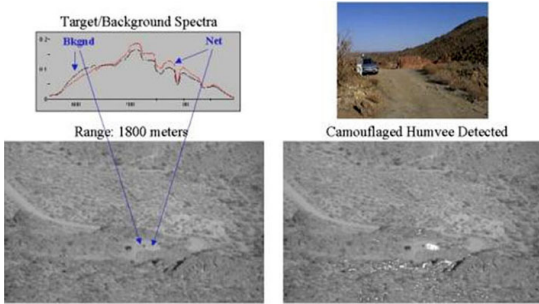


그림 4. 분광정합기법에 의한 위장표적(차량)식별

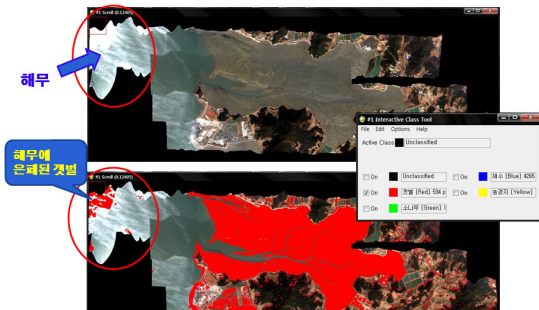


그림 5. 자연환경에 은폐된 지역 식별

120개로서 분광 파장폭은 5nm이다. 나무 뒤에 은폐한 병사를 탐지하는 예로, 표적정보 분석에는 SAM 기법을 적용하여 나무와 군복의 스펙트럼 각도 차이를 이용하였다. 초분광 영상에서 빨간색으로 표시된 부분이 군복의 스펙트럼 영역으로서, 자연적인 나무의 스펙트럼과 다른 특성을 보여주고 있다. 이것은 나무의 엽록소 흡수 파장대역의 영향인 것으로 분석되었다.

그림 4는 배경과 유사한 위장막으로 은폐된 차량을 분광특성 정합기법에 의해 식별한 또 다른 예이다. 배경의 스펙트럼과 위장막의 스펙트럼간의 차이를 통해 위장 표적과 배경을 분리시켜 영상내 표적의 위치를 판독 가능하다.

그림 5의 경우는 항공 탑재형 센서인 Specim사의 AISA-eagle 모델로 획득된 영상으로, 자연환경(해무)에 대해 은폐될 수 있는 표적에 대한 영상 분석이다. 이 경우는 단순히 피복 분류에 의해서도 쉽게 식별될 수 있는 예로, 만약 해무 등의 영향이 심한 해안지역의 군사적 동향을 파악하고자 한다면 그 효용성은 매우 높아질 것으로 판단된다. 이러한 표적 식별은 기존의 전자광학 영상 기반으로는 매우 어려운 작업이며 그 식별 가능성 역시 현저히 줄어든다.

5. 군사적 활용시 요구되는 연구과제

현재까지 군사적 영상정보는 광대역(Broadband)의 스테레오 영상으로부터 영상 판독관의 수작업으로 이루어지고 있으며, 표적의 형태, 크기, 배치 및 특징 등을 보고 판단한다. 광대역 파장 영상은 은닉 기술을 이용하는 저대조비 표적을 식별할 수 있는 충분한 정보를 제공하지 못한다. 따라서 정밀성은 뛰어나나 분해 불가능한 표적이거나 위장, 은닉 및 기만 표적은 정확한 탐지 및 식별이 곤란하였다. 따라서 초분광의 군사적 활용은 주로 위장이나 은닉 또는 기만 표적의 탐지가 될 것이다.

초분광 영상장비는 물체의 형태나 크기 등 외관적 특징이 아니라 물체 고유의 파장별 반사 또는 방사 특성 정보를 이용하여 anomaly를 탐지한다. anomaly는 영상내에서 주변 화소와 분광 특성이 다른 화소 또는 화소의 집합체를 말한다. 현재 높은 분광 분해능과 넓은 파장대역을 갖는 초분광 센서를 이용하여 분광 특성만으로 군사적 표적을 자동 탐지하기 위한 연구가 지속적으로 수행되고 있으며 높은 오경보를 줄이기 위한 연구가 해결 과제로 남아 있다.

군사적인 활용을 증대시키기 위하여 해결해야 할 또 하나의 문제는 적시성이다. 분광영상 연구는 자연 배경하에 인공 물체의 존재가 내는 anomaly 탐지를 이용하였다. 판독관은 한 번에 한 영상을 이용하여 은닉된 영상을 빨리 찾을 수 있을 것이다. 대다수 군사적 운용에 anomaly 탐지가 충분하다고 하지만 그것은 처리할 수 없을 정도로 무수한 영상 데이터를 단지 일부 줄여줄 수 있을 뿐이다. 영상에서 anomaly가 나타날 때마다 점검하는 것은 엄청난 시간과 노력을 요한다. 이는 군사적 활

초분광 영상기술의 군사적 활용

용에서 중요한 적시성을 떨어뜨리는 요소가 될 수 있다. 따라서 보다 정교한 자동 표적 탐지 알고리즘이 개발되어야 한다.

초분광 영상 탐지에서 중요한 또 한가지는 분광 변화 탐지이다. 여러 지상 전투시설의 운용 상태를 감시하는 임무를 수행할 경우, 평상시 거의 대부분은 대다수 군 차량이 운용상태에 변화없이 제자리에 있을 것이다. 광대역 영상으로는 알아채기 곤란할 정도로 주요 변화가 없이 유사하게 보이는 모사체(decay)로 각 차량을 교체하여 운용 움직임을 증가시키게 되면 오랫동안 거의 변화 없는 물체를 보고 있던 영상 관독관은 미묘한 분광 차이를 간과할 것이다. 따라서 미세한 분광 변화를 탐지할 수 있는 분광 변화 탐지 알고리즘 개발이 요구된다.

끝으로 전자광학 영상장비는 기상조건이나 은폐 물질에 따라 표적 식별 능력이 제한을 받게 된다. 이는 전자광학 영상장비가 단독으로 운용되기 보다는 레이더등과 복합 운용되어야 효과가 증대되는 것을 의미한다. 따라서 다중 센서간 정보 융합에 기반한 표적 탐지 및 식별기술 연구도 필요하다.

5. 결론

분광 영상자료를 획득하고 처리하는 초분광 영상센서 기술은 기존 전자광학 영상센서의 대상 물체 식별이나 분류의 한계를 극복하기 위한 새로운 접근 방법이다. 또한 초분광 영상은 다수의 연속적인 분광영상자료이므로 기존 영상처리기법들을 그대로 적용하는데 어려움이 있다. 또한 분광 반사의 측정은 사용되는 센서의 종류, 기상(대기)조건, 표본의 종류 및 적용되는 측정 방법에 따라 민감한 결과로 나타날 수 있으므로 표준 측정 방안에 대한 마련이 필요하고 표준적인 분광 데이터 베이스를 구축할 필요가 있다.

국내의 경우 아직 초분광 영상센서 기술 연구가 부족하나 해외의 경우 가시광선 영역은 물론 중/원적외선 영역의 초분광 영상센서가 개발되고 있으며 분광 분해능 향상 및 소형화, 고속 처리화가 빠르게 진행되고 있다. 또한, 분광 영상자료를 이용한 전처리 및 식별/분류기법에 대한 다양한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

초분광 영상센서는 파장 분광 해상도를 증가시켜 초분

광에서 극초분광(Ultra Spectral) 개념으로 발전되고 있으며, 검출소자 및 신호처리기술 발전에 따라 원거리 측정용 고감도 센서로 발전할 것으로 판단된다. 분광처리 가능 파장영역도 적외선 영역으로 확장되어 주/야간 물체의 영상획득은 물론 적외선 영역에서의 분광 반사, 흡수 특성을 활용함으로써 물체의 분류/식별력이 획기적으로 증가될 것으로 예측된다. 이러한 기술 발전추세는 원격탐사 등 민수적 활용은 물론 모의/위장/은폐 표적 식별 및 정밀 위치추적기술과 연동한 상시 정찰감시를 위한 군사적 활용성에 더욱 큰 효과를 기대할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 홍석민, "초분광 영상감지장비를 이용한 영상획득 및 분석", 한국군사과학기술학회, 2002년도 종합학술대회 논문집 II권, pp591~594, '02. 9.
- [2] 박경윤, 기술동향분석보고서, "고정밀 위성영상 처리기술 개발동향", 한국과학기술정보연구원, '04. 1.
- [3] 이규성 외, "초분광 원격탐사의 특성, 처리기법 및 활용 현황", Korea journal of Remote Sensing, Vol.21 No.4, pp341~369, '05. 8.
- [4] 박동조 외, 영상정보특화연구센터(전자광학센서연구실) 기술현황 분석보고서, '07. 6.
- [5] 박동조 외, 영상정보특화연구센터(전자광학센서연구실) "초분광 분해기 설계기술 연구" 2단계 결과보고서, '08. 7.
- [6] M.E.Fay, An analysis of hyperspectral imagery data collected during operation desert radiance, 1995
- [7] S.M.Bergman, The utility of hyperspectral data to detect and discriminate actual and decoy target vehicles, 1996
- [8] R.J.Behrens, Change detection analysis with spectral thermal imagery, Naval Postgrade School, 1998
- [9] 이주형 외, "초분광 영상센서의 원리 및 기술발전 동향", 제3회 감시·정찰·정보 학술대회, '12.7.12

약 력

김연수



- 1988년 2월~현재 국방과학연구소 책임연구원
- 1996년 3월~2002년 2월 한국과학기술원 물리학과, 이학박사
- 1984년 3월~1988년 1월 (주)선경
- 1982년 3월~1984년 2월 한국과학기술원 물리학과, 이학석사
- 1977년 3월~1981년 2월 서울대학교 물리교육과, 이학사