

프랙탈 차원 및 Continuum Removal 기법을 이용한 Hyperion 영상의 노이즈 밴드 제거

장안진 · 김용일[†]

서울대학교 공과대학 건설환경공학부

Noise Band Elimination of Hyperion Image using Fractal Dimension and Continuum Removal Method

Anjin Chang and Yong Il Kim[†]

Department of Civil & Environmental Engineering, Seoul National University

Abstract : Hyperspectral imaging is used in a wide variety of research since the image is obtained with a wider wavelength range and more bands than multispectral imaging. However, there are limitations, namely that each band has a shorter wavelength range, the computation cost is increased in the case of numerous bands, and a high correlation between each band and noise bands exists. The previous analysis method does not produce ideal results due to these limitations. Therefore, in the case of using the hyperspectral image, image analysis after eliminating noise bands is more accurate and efficient. In this study, noise band elimination of the hyperspectral image preprocessing is highlighted, and we use fractal dimension for noise band elimination. The Triangular Prism Method is used, being the typical fractal dimension method of the curved surface. The fractal dimension of each band is calculated. We then apply the Continuum Removal method to normalize. A total of 35 bands are estimated by noise band with a threshold value that is obtained empirically. The hyperion hyperspectral image collected on the EO-1 satellite is used in this study. The result delineates that noise bands of the hyperion image are able to be eliminated with the fractal dimension and Continuum Removal method.

Key Words : Fractal, Hyperion, Hyperspectral, Continuum Removal, Noise Band.

요약 : Hyperion, AVIRIS 등의 초분광 영상은 기존의 다중분광 영상보다 넓은 파장대의 영상을 좁은 폭의 많은 밴드로 취득하기 때문에 다양한 분야의 연구에 이용되고 있다. 하지만 밴드별로 취득하는 파장대가 짧고 밴드수가 많아 계산량이 증가하며, 밴드간의 높은 상관관계 및 노이즈 밴드가 발생하는 한계가 존재한다. 이런 한계로 인해 기존에 알려진 분석기법의 적용결과가 제대로 도출되지 않는 경우도 발생한다. 따라서 초분광 영상을 사용할 경우, 노이즈가 포함된 밴드를 제거한 후 영상분석을 하는 것이 보다 정확하고 효율적이다. 본 연구에서는 초분광 영상(Hyperspectral Image)의 전처리 과정 중 노이즈 밴드 제거에 초점을 맞추었으며, 이를 위해 프랙탈 차원을 이용하였다. 프랙탈 차원 측정방법 중 대표적인 곡면차원 측정 방법인 삼각기둥 표면적 기법을 이용하였다. 각 밴드별 프랙탈 차원을 측정하고, 이를 정규화 하기 위해

Continuum Removal 기법을 적용한 뒤 경향을 살펴보았다. 경험적으로 구한 임계값을 통해 상대적으로 정보량이 적은 35개 밴드를 노이즈 밴드로 판단하여 제거하였다. 실험 영상으로는 EO-1 위성에서 취득되는 Hyperion 초분광 영상을 사용하였다. 실험 결과 프랙탈 차원 및 Continuum Removal 기법을 통해 Hyperion 초분광 영상의 노이즈 밴드를 추출하여 제거할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

Hyperion, AVIRIS 등의 초분광 영상은 기존의 전정색 영상 및 다중분광 영상보다 많은 밴드를 통해 넓은 범위의 파장 영역을 관측할 수 있다. 최근 지상의 속성 추출(김선화 등, 2005; Yoon 등, 2007), 변화 탐지(Frank 등, 2003; Nielsen 등, 2005) 등 다양한 분야의 연구에서 이용되고 있다. 하지만 초분광 영상의 경우 짧은 밴드폭(10~20 nm)과 많은 수의 밴드로 인해 영상 분석 적용 시 계산량이 기하급수적으로 늘어나고, 노이즈 밴드 존재 및 인접 밴드간의 높은 상관관계로 인해 기준에 알려진 원격 탐사 분석 기법의 적용결과가 제대로 도출되지 않는 한계점이 존재한다. 따라서 초분광 영상을 이용할 경우 효과적인 밴드 선택 또는 노이즈 밴드 제거를 통해 불필요한 밴드를 줄이는 전처리 작업이 중요하다.

기존의 연구에서는 분류, 변화탐지 등을 목적으로 하는 초분광 영상의 유효밴드 추출, 선택 등의 연구가 진행되어 왔다(김대성 등, 2007; 장안진 등 2006; 한동엽 등, 2003, 2006). 밴드 선택은 크게 영상의 트레이 과정을 통해 추출된 샘플의 분리도를 이용하여 필요한 밴드를 추출하는 감독 방법과 영상에 포함된 정보의 양을 통계적으로 측정하거나 많은 정보를 포함하는 축으로 변화하여 순위를 부여하는 방식으로 밴드를 추출하는 무감독 방법으로 나뉜다(김대성 등, 2007). 대표적인 감독 밴드선택 방법으로는 DAFE(Discriminant Analysis Feature Extraction), DBFE(Decision Boundary Feature Extraction), Instance Based Method, Regression Tree(Landgrebe, 2003; Bajcsy 등, 2004) 등이 있으며, 무감독 밴드 선택 방법으로는 Information Entropy, Spatial Contrast, Correlation, PCA(Principle Component Analysis), SNR(Signal-to-Noise Ration), 극단화소비(Extrema Ration) 등이 있다(Bajcsy 등, 2004; 한동엽 등, 2006; 김대성 등 2007).

특히 Hyperion 영상의 밴드 선택결과로는 대기 보정 기법 및 민감도 지수를 이용하여 155개의 안정적인 밴

드를 선택한 연구가 진행되었다(Datt, 2003). Goodenough 등 (2003)은 분류를 위해 수분 흡수 파장대와 SNR 특성을 보이는 밴드를 제거하여 162개 밴드를 선택하였고, 극단 화소비를 이용하여 133개 밴드를 추출한 연구(한동엽 등, 2006)와 PIF 추출을 통해 141개 밴드를 추출한 연구(김대성 등, 2007)도 진행되었다.

하지만 감독 밴드 추출의 경우 자동으로 작업을 진행하기 어렵고, 사용자의 개입 여부에 따라 결과가 달라지며, 무감독 밴드 추출의 경우 노이즈 밴드가 유효 밴드로 선택되는 문제점이 존재한다. 따라서 특정한 목적이 아닌 일반적인 분석을 위해 초분광 영상을 이용할 경우 유효 밴드 선택이 아닌 노이즈 밴드를 추출하여 제거하는 전처리 과정이 보다 효율적일 수 있다.

따라서 본 연구에서는 대표적인 초분광 영상 중 하나인 Hyperion 초분광 영상의 노이즈 밴드를 추출하여 제거하기 위하여 무감독 밴드 추출 방식을 이용하였고, 밴드의 순위를 부여하기 위한 척도로 프랙탈 차원을 계산하였다. 각 밴드별로 측정된 프랙탈 차원을 분석하기 위하여 프랙탈 차원-밴드 곡선에 Continuum Removal 기법을 통해 정규화 하여 분석하였다. 경험적으로 노이즈 밴드를 판단하는 임계값을 설정하였고, 시각적 평가를 통하여 제거된 노이즈 밴드를 확인하였다.

2. 연구 방법

1) 프랙탈 이론 및 프랙탈 차원

일반적인 유클리드 기하학에서는 선은 1차원, 면은 2차원, 입방체는 3차원 등의 정수 차원만을 가지지만, 프랙탈 차원은 일반적인 기하학으로 설명할 수 없는 물성의 복잡성을 대표하는 변수이다.

프랙탈 차원은 대상체의 복잡성을 나타내는 변수로서, 대상체의 복잡성이 증가할 수록 프랙탈 차원이 증가한다. 즉 프랙탈 기하학에서는 선의 경우 1과 2사이의 값으로 나타나고, 면은 2와 3사이의 소수차원을 가진

다. 이러한 프랙탈 차원을 영상의 밴드에 적용하여 해당 밴드의 프랙탈 차원을 결정할 수 있다. 프랙탈 차원 측정에 주로 사용되는 방법에는 박스계수법(Box Counting Method), 배리오그램 분석법(Variogram Method), 삼각기둥 계산법(Triangular Prism Method), Isarithm 기법 등이 있다.

본 연구에서는 밴드(면)의 프랙탈 차원을 계산하기 위해 대표적인 곡면 프랙탈 차원 측정법인 삼각기둥 계산법(Jaggi et al., 1993)을 사용하였다. 삼각기둥 계산법은 대상체 위의 사각형 꼭지점 값을 높이로한 삼각기둥의 각 꼭지점과 4개의 꼭지점의 평균값을 사각형의 중심점으로 설정하고, 이를 이용하여 프랙탈 차원을 측정한다. 4개의 꼭지점과 중심점으로 구성되는 4개의 사각형의 넓이를 모두 더하여 대상 전체에 대해 면적을 계산한다. 이때 사각형의 크기를 다르게 하면서 삼각형 면적의 합을 구하게 된다. 면적의 합은 4개의 꼭지점의 높이값 분포에 따라 달라지는데, 높이값의 차이가 클수록 넓이의 합이 커진다(Fig. 1).

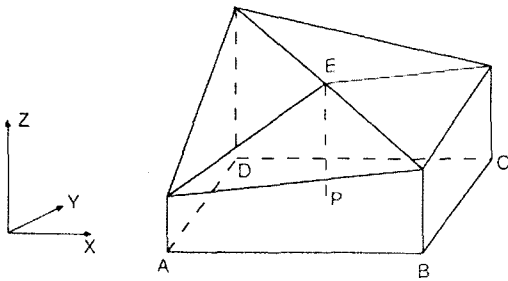


Fig. 1. Triangular Prism Method.

사각형의 크기를 다르게 하면서 생성된 삼각형 면적의 합을 대상 전체에 대해 계산한다. 사각형의 크기와 삼각형 면적에 합에 로그함수를 취한 후 회귀분석을 이용하여 기울기를 구한다. 여기서 계산된 기울기를 정수 2에서 뺀 값이 해당 밴드의 프랙탈 차원이 된다.

대상체의 곡면이 복잡하지 않을 경우 사각형 크기에 따른 삼각형 전체 넓이의 차이가 크지 않게 되고, 회귀분석의 기울기가 0에 가까워진다. 이러한 경우 결과적으로 곡면의 프랙탈 차원은 작아진다. 만약 대상체의 곡면이 복잡할 경우 반대 현상으로 인해 프랙탈 차원이 큰 값으로 계산된다.

노이즈 밴드의 경우 영상 전체 픽셀 값의 분산이 아주 작거나, Strip 노이즈, 무작위 노이즈 등이 존재하기

때문에 프랙탈 차원이 작은 값을 가지고, 정보를 많이 포함한 밴드의 경우 프랙탈 차원이 큰 값을 가진다고 할 수 있다. 각 밴드별로 프랙탈 차원을 통해 대상체의 공간적 복잡성을 측정하여 포함 정보량을 판단하는 척도(Quattrochi 등, 1997)로 가정하여 프랙탈 차원이 작다고 판단되는 밴드를 노이즈 밴드로 분류하고 제거하였다. 본 연구에서는 영상에 삼각기둥 표면적 기법을 적용하기 위해, 픽셀의 화소값을 사각형 각 꼭지점의 높이로 간주하여 프랙탈 차원을 측정하였다.

2) Continuum Removal 기법

Continuum Removal 기법은 주로 스펙트럼 곡선(Spectral Curve) 분석에 이용된다. 특정 스펙트럼 곡선에 국소 최대값을 갖는 극대점을 이용한 외삽법으로 몇 개의 직선을 구할 수 있다. 이 직선들을 기준으로 각 파장의 반사값의 비율을 통해 각 파장의 반사값을 정규화된 값을 얻을 수 있다. 그 식은 다음과 같다.

$$D = \frac{R_b}{R_c}$$

여기서 D는 Continuum Removal Value, R_b 는 스펙트럼 곡선, R_c 는 외삽 곡선을 나타낸다.

영상에서 각 밴드의 특성 및 파장에 따른 반사 특성이 모두 다르기 때문에, 절대적인 기준을 적용하여 노이즈 밴드를 추출하는 것은 타당하지 않다. 따라서 본 연구에서는 Continuum Removal 기법을 통해 정규화하여 분석하였다. 삼각기둥 표면적 기법을 이용하여 계산된 프랙탈 차원-밴드 그래프 곡선에 Continuum Removal 기법을 이용하여 정규화하고, 시각적 평가를 통해 경험적으로 얻어진 임계치를 통해 노이즈 밴드를 추출하여 제거하였다.

3. 알고리즘 적용

1) 연구 흐름도

본 연구는 Hyperion 영상의 노이즈 밴드 제거를 위하여 프랙탈 차원을 적용하였다. Hyperion 영상의 각 밴드별로 프랙탈 차원을 측정하고, Continuum Removal 기법을 적용하여 정규화 한 후 임계값을 설정하여 노이즈 밴드를 제거 하였다. 노이즈 밴드로 제거된

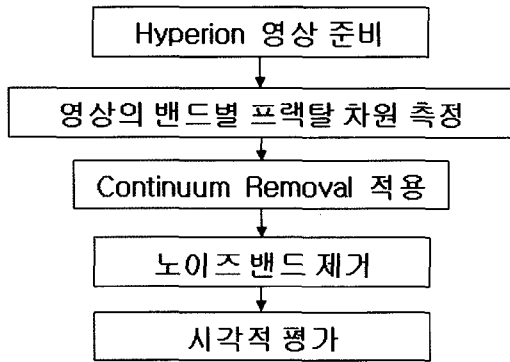


Fig. 2. Flow chart.

밴드는 시각적 평가를 통해 확인하였다. 본 연구의 연구 흐름도는 Fig. 2와 같다.

2) 사용 데이터

본 연구에서는 2000년 11월 발사된 EO-1 위상에서 취득된 Hyperion 초분광 영상을 사용하였다. Hyperion 영상은 공간해상도 30m로 242개의 밴드로 구성되어 있다. 사용된 영상은 Fig. 3과 같이 총 3개의 영상이며, 각각의 영상에 대한 제원은 Table 1과 같다. 본 연구에서는 나사(NASA)에서 기본적으로 제공하는 정보를 통해 보정되지 않은 밴드를 제거한 198개의 밴

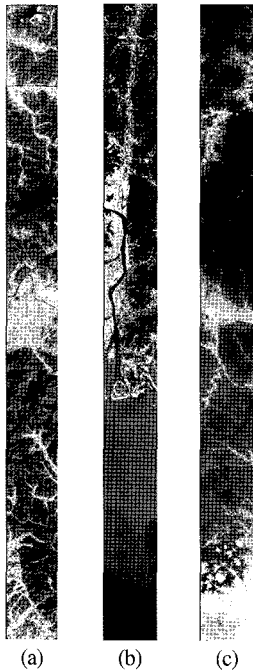


Fig. 3. The Hyperion images.

Table 1. Data specification

영상	취 득 일	영 상 크 기
(a)	2002년 12월 17일	3129(row) ×
(b)	2003년 12월 20일	256(Column)
(c)	2002년 9월 3일	×198(Band)

드를 추출하여 알고리즘을 적용하였다.

2) 프랙탈 차원 측정

본 실험에서는 앞에서 언급한 것과 같이 각 픽셀의 화소 값을 높이로 간주하여 각 밴드에 삼각기둥 계산법을 적용하였다. 각 영상의 밴드별 프랙탈 차원을 계산하였고, 그 결과를 프랙탈 차원-밴드 그래프로 나타내었다(Fig. 4).

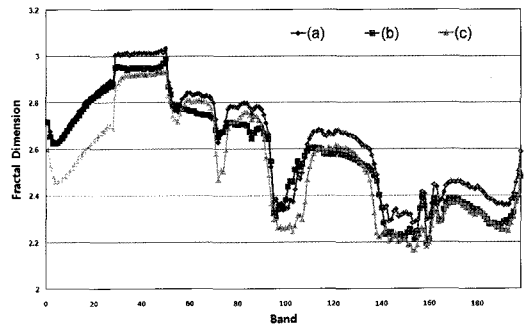


Fig. 4. Fractal Dimension-Band Graph.

3) Continuum Removal 적용 결과

밴드/프랙탈 차원으로 나타낸 곡선을 Continuum Removal 기법을 적용하여 정규화 하였다. 그 결과는 Fig. 5와 같다.

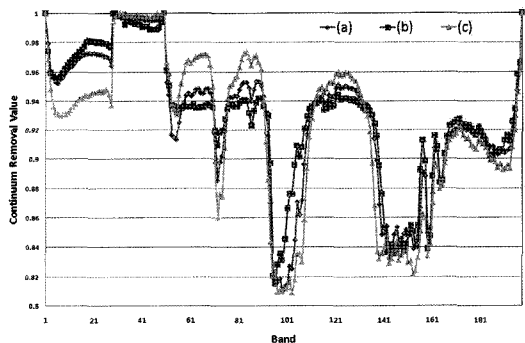


Fig. 5. Continuum Removal Value-Band Graph.

4) 노이즈 밴드 제거

Continuum Removal 기법을 통해 정규화 된 프랙탈 차원에 임계값을 적용하여 노이즈 밴드를 제거한다. 임계값을 경험적으로 취득하였으며, 0.9 이하의 값을 갖는 밴드를 노이즈 밴드로 추출하였다.

영상 (a), (b), (c)에서 각각 44개, 35개, 61개의 노이즈 밴드가 제거 되었고, 영상별 추출 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. The result of noise band extraction

	노이즈 밴드 수	노이즈 밴드 번호
(a)	44	89, 99, 120~134, 164~187, 190~192
(b)	35	120~130, 165~182, 184~187, 190, 191
(c)	61	97~100, 119, 120~135, 162~192, 211~219
공통 노이즈 밴드	35	120~130, 165~182, 184~187, 190, 191

4. 결과

1) 노이즈 밴드 추출

각 영상의 밴드별 프랙탈 차원을 측정하여 프랙탈 차원-밴드 그래프를 도시해본 결과, Fig. 4에서 확인해 볼 수 있듯이 실험에 사용된 3가지 영상의 각 밴드별 프랙탈 차원이 비슷한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 이는 Hyperion 센서에서, 각 밴드별로 측정하는 파장대가 동일하기 때문에, 각 밴드가 영상이 취득된 시간 및 장소에 관계없이 비슷한 경향의 프랙탈 차원을 가지고 있는 것으로 판단된다. 절대적인 프랙탈 차원의 경우 영상 (a)의 40번 전후 밴드의 프랙탈 차원이 3이상의 값이 측정되었고, (c)에서 영상 (a), (b)보다 작은 값을 나타냈지만, 이는 영상이 취득된 지역적 특성이 반영된 것으로 생각된다.

노이즈 밴드의 추출에 있어 절대적인 프랙탈 차원을 고려할 경우 각 밴드별 특성이 반영되지 않기에 정상적인 밴드가 노이즈 밴드로 분류될 수 있다. 이는 센서의 특성에 의해 후반 밴드로 갈수록 프랙탈 차원이 전체적으로 낮아지는 경향을 나타내기 때문이다.

따라서 Continuum Removal 기법을 프랙탈 차원-밴드 곡선에 적용하여 프랙탈 차원 곡선을 정규화 하게 되면, Fig. 5에서 나타나는 낮은 값들은 절대적인 프랙탈 차원 값이 주변 밴드에 비해 낮은 프랙탈 차원을 가

진 밴드인 것을 확인할 수 있다(Fig. 4). Continuum Removal 기법을 통해 정규화 한 결과를 통해 주변에 비해 낮은 프랙탈 차원을 나타내는 밴드를 보다 정확하게 제거할 수 있었다.

노이즈 밴드를 추출하기 위하여 시각적인 평가를 통해 낮은 프랙탈 차원을 가진 밴드부터 살펴본 후 노이즈 밴드로 간주 할 수 있는 임계값을 설정하였다. 그 결과 본 실험에서는 Continuum Removal Value 가 0.9 이하인 밴드를 노이즈 밴드로 분류하였다.

3개의 영상에서 각각 44, 35, 61개의 노이즈 밴드가 추출 되었고, (b) 영상에서 노이즈 밴드로 선택된 35 밴드가 3개 영상 모두에서 노이즈 밴드로 선택되었다. 노이즈 밴드로 분류된 밴드를 시각적으로 평가한 결과 영상의 화소 값의 분산이 작거나, Strip 잡음이 존재하였다. 이는 나사(NASA)에서 기본적으로 제공하는 보정되지 않은 밴드 이외에도 수십개 이상의 노이즈 밴드를 제거할 수 있음을 나타낸다.

2) 기존 연구와의 비교

본 연구 결과를 기존의 밴드 추출 연구와 비교 하였다. 대표적인 Hyperion 영상 밴드 추출 연구인 Datt 등 (2003)와 김대성 등(2007)의 연구 결과와 비교하였다. 추출된 노이즈 밴드 목록 및 기존연구와 비교 결과는 Table 3, Table 4와 같다. 본 연구를 통해 추출된 노이

Table 3. The noise bands list of previous and proposed researches

연구	노이즈 밴드 목록	공통 노이즈 밴드
Datt 등 (2003)	1~9, 58~80, 98~100, 120~133, 165~181, 222~224 (69개)	120~130, 165~181 (28개)
김대성 등 (2007)	1~10, 56~82, 97~100, 120~133, 165~182, 184~186, 218~224 (83개)	
제안 기법	120~130, 165~182, 184~187, 190, 191 (35개)	

Table 4. The comparison between previous and proposed researches

연구	구분	미선택 밴드	개수
Datt 등 (2003)	추가선택	1~9, 58~80, 98~100, 131~133, 222~224	41
	미선택	182, 184~187, 190~191	7
김대성 등 (2007)	추가선택	1~10, 56~82, 97~100, 131~133, 218~224	51
	미선택	187, 190~191	3

즈 밴드의 상당 부분이 기존 연구에서 노이즈 밴드로 판단된 밴드와 중복되었다. 또한 시각적으로 평가해본 결과 기존에 제안된 기법으로 추출되지 않은 노이즈 밴드가 추출되었다(187, 190, 191번 밴드).

기존 연구의 경우 60개 이상의 노이즈 밴드를 제거하였기 때문에 본 실험에서 나타난 결과와 어느 정도 차이를 나타낸다. 이는 본 실험에서는 확실한 노이즈 밴드만을 추출하기 위하여 상대적으로 적은 수의 노이즈 밴드를 추출하였기에 나타난 결과로 판단된다. 임계값 조정을 통해 보다 많은 노이즈 밴드를 추출할 경우 기존의 연구와 동일하거나 우수한 결과가 나타날 것으로 기대된다.

하지만 본 알고리즘의 한계가 존재한다. Continuum Removal 기법은 첫 번째 값과 마지막 값을 기준으로 외삽 직선을 설정하기 때문에, 처음과 마지막 Continuum Removal Value가 1로 나타나게 된다. 그 결과 앞부분 및 끝부분에서 높은 값을 갖게 된다. 따라서 Hyperion 영상의 전반 및 후반 밴드가 노이즈 밴드로 추출되지 않는 문제점이 발생한다. 이는 향후 다중 임계값 등을 이용하면 해결 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 초분광 영상의 전처리 과정 중 노이즈 밴드 제거에 초점을 맞추어 진행되었다. EO-1 위성에서 취득되는 Hyperion 초분광 영상의 노이즈 밴드 선택을 위해 프랙탈 차원을 이용하였고, 측정된 프랙탈 차원-밴드 그래프에 Continuum Removal 기법을 적용하여 밴드별 프랙탈 차원 경향을 분석하였다. 분석 결과 Continuum Removal Value가 0.9 이하인 밴드를 노이즈 밴드로 분류하였고, 각 영상별로 44, 35, 61개의 노이즈 밴드가 제거되었다. 전체적으로 35개의 공통 노이즈 밴드를 추출할 수 있었고, 시각적 평가를 통해 추출된 밴드에 노이즈가 존재함을 확인하였다.

기존 연구 결과와 비교 결과 Continuum Removal 기법의 한계로 인해 전반 및 후반 밴드가 추출되지 않았지만, 이외의 밴드에서는 기존의 밴드와 동일하거나 더 우수한 노이즈 밴드 제거 결과를 나타내었다. 본 연구의 결과를 이용하여 초분광영상의 노이즈 밴드를 효율적으

로 추출할 수 있을 것으로 생각된다.

향후 더욱 다양한 영상에 적용할 필요가 있으며, Continuum Removal 기법의 한계등으로 인해 노이즈 밴드이면서 추출되지 않은 밴드를 추가적으로 제거할 수 있는 연구를 수행하고자 한다. 또한 노이즈의 종류에 따라 프랙탈 차원에 미치는 영향을 규명해야할 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 2008년 대한원격탐사학회 춘계학술대회에 “프랙탈 차원을 이용한 Hyperion 초분광 영상의 자동 노이즈 밴드 제거”란 제목으로 사전 연구가 발표되었습니다.

참고문헌

- 김대성, 김용일, 어양담, 2007, 변화탐지를 위한 Hyperion 초분광 영상의 자동 기하보정과 밴드 선택에 관한 연구, 한국측량학회지, 25(5): 383-392.
- 김선화, 이규성, 마정림, 국민정, 2005, 초분광 원격탐사의 특성, 처리기법 및 활용 현황, 대한원격탐사학회지, 21(4): 341-369.
- 김용일, 서병준, 구본철, 2000, 위성영상의 해상력에 따른 지리정보의 판독 - 판독가능성과 프랙탈 차원을 중심으로, 지형공간정보학회지, 8(2): 171-182.
- 장안진, 김용일, 2008, 프랙탈 차원을 이용한 Hyperion 초분광 영상의 자동 노이즈 밴드 제거, 대한원격탐사학회 춘계학술대회, 서울, March 21: 219-223.
- 장안진, 최재완, 유기운, 김용일, 2006, 프랙탈 분석을 이용한 Hyperion 영상의 밴드 추출, 2006, 한국공간정보시스템학회 추계학술대회, 서울, November 16: 241-246.
- 한동엽, 조영욱, 김용일, 이용용, 2003, Hyperion 영상의 분류를 위한 밴드 추출, 대한원격탐사학회

- 지, 19(2): 171-179.
- 한동엽, 김대성, 김용일, 2006, 극단화소를 이용한 Hyperion 데이터의 노이즈 밴드 제거, 대한원격탐사학회지, 22(4): 275-284.
- Bajcsy, P. and P. Groves, 2004, Methodology for Hyperspectral Band Selection, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(7): 793-802.
- Datt, B., T. R. McVicar, T. G. V. Niel, D. L. B. Jupp, and J. S. Pearlman, 2003, Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(6): 1246-1259.
- Frank, M. and M. Canty, 2003, Unsupervised Change Detection for Hyperspectral Images, JPL Publication, 8th publication.
- Goodenough, D. G., A. Dyk, K. O. Niemann, J. S. Pearlman, H. Chen, T. Han, M. Murdoch, and C. West, 2003, Processing Hyperion and ALI for Forest Classification, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, 41(6): 1321-1331.
- Huang, R. M. He, 2005, Band Selection Based on Feature Weighting for Classification of Hyperspectral Data, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 2, No. 2, pp. 156-159.
- Jaggi, S., Dale A. Quattrochi, and Nina Siu-Ngan Lam, 1993, Implementation and Operation of three Fractal measurement algorithms for analysis of remote-sensing data, *Computers & Geosciences*, 19(6): 745-767.
- Landgrebe, D. A., 2003, *Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing*, Wiley-Interscience, NJ, USA.
- Nielsen, A. A. and M. J. Canty, 2005, Multi- and Hyper-spectral Remote Sensing Change Detection with Generalized Difference Images by the IR-MAD Method, *International Workshop on the Analysis fo Multi-Temporal Remote Sensing Images*, IEEE, Mississippi, USA, pp. 169-173.
- Quattrochi, D. A. and Michael F. Goodchild, 1997, *Scale in Remote Sensing and GIS*, CRC Press.
- Yoon, Y. and Y. Kim, 2007, Application of Hyperion Hyperspectral Remote Sensing Data for Wildfire Fuel Mapping, *Korean Journal of Remote Sensing*, 23(1): 21-32.