

구름 제거한 일별 식생지수

Cloud Masked Daily Vegetation Index

강용균 (Yong Q. Kang)

부경대학교 해양학과, yqkang@pknu.ac.kr, 051-629-6569

요약 : 원격탐사 근적외선(NIR)과 Red 밴드의 반사도로부터 계산되는 정규식생지수(NDVI)는 구름에 오염된 곳에서는 실제보다 낮은 값으로 계산된다. 식생지수에서 구름오염 문제를 극복하는 기존의 대표적인 방법에는 보름 정도 장기간 식생지수 값 중에서 최대인 값을 취하는 MVC (Maximum Value Composite) 방법이 있다. 하지만 MVC 방법으로는 식생지수의 단기간 변동을 파악할 수 없으며, 장기간 계속 구름으로 오염된 곳은 잘못된 식생지수 값으로 계산되는 문제점이 있다.

가시광 RGB 자료로부터 snapshot 영상자료의 구름을 마스크(mask)하는 새로운 방법인 CIM (Color Index Manipulation) 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘을 사용하면 snapshot 영상자료에서 구름에 오염된 곳은 제외하고 오염되지 않은 곳에 대한 식생지수를 계산할 수 있다. RGB 자료에 대한 정규색상지수 NCI (Normalized Color Index) 3개 성분을 120° 간격으로 벌어진 3개 축상의 좌표로 나타낸 후 이들 3개 값의 벡터합(vector sum) 정보를 이용하여 구름을 식별하는 CIM 방법으로 위성영상에서 두꺼운 구름과 얇은 구름을 구분하여 식별할 수 있다. 이 구름식별 기법을 MODIS snapshot 위성영상 자료에 적용하여 한반도의 일별(daily) 식생지수 자료를 계산하였다. 그리고 수년간의 일별 식생지수 자료로부터 한반도 식생지수의 계절적 변동을 조사하였다.

1. 식생지수와 구름

육상식생의 활동을 나타내는 대표적인 식생지수인 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)는

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

로 정의된다. 여기서 NIR와 Red는 각각 근적외선(near infra-red)과 red의 반사도이다. NDVI는 NOAA AVHRR가 활동을 개시한 1980년 이후 육상식생에 대한 원격탐사에서 중요하게 활용되고 있다. NOAA AVHRR 센서는 NDVI 계산에 필요한 NIR와 Red 밴드를 감지한다. 이에 비해서 2000년 이후부터 작동중인 MODIS 위성자료에는 36개 밴드 자료가 포함되어 있으며, MODIS 자료로부터는 NDVI뿐만 아니라 EVI (Enhanced Vegetation Index)를 계산할 수 있다. EVI는 식

$$EVI = G \frac{NIR - Red}{NIR + C_1 Red - C_2 Blue + L} \quad (2)$$

로 정의된다. 여기에서 G는 gain factor ($G = 2.5$), C_1 과 C_2 는 에어로졸에 의한 Red 밴드 흡수 영향을 고려하기 위하여 blue 밴드를 추가적으로 사용하는데 따른 상수 ($C_1 = 6$, $C_2 = 7.5$), L은 canopy background에 대한 조정 항이다 ($L = 1$) (Waring *et al.*, 2006).

식 (1)이나 (2)에 의한 NDVI나 EVI는 구름에 오염된 지역에서는 실제의 식생지수보다 낮게 나

타난다. 식생지수에서 구름에 오염된 자료를 배제하는 방법으로 현재 널리 사용되는 알고리즘은 MVC (Maximum Value Composite) 방법이다. 여러 날의 식생지수 자료에서 최대인 값을 취하면 구름에 의해 오염된 낮은 식생지수 자료가 빠지게 되므로, 최대치를 취하면 해당기간의 식생을 나타낼 수 있다는 원리를 적용한 방법이다. LPDAAC Web (<https://lpdaac.usgs.gov>)에서 현재 제공하는 MODIS 식생지수 자료는 MVC 방법을 적용하여 도출한 16일 간격 자료이다. MVC 방법으로는 수일간의 단기적 식생지수 변동을 볼 수 없다. 그리고 16일 동안 계속 구름에 오염된 곳에서의 식생지수 값은 실제보다 낮은 값으로 나타난다.

Snapshot 원탑자료에서 구름에 오염된 지역을 식별하여 제거해주면 청명한 지역에 대해서 매일 식생지수를 계산할 수 있다. 가시광(visible light)인 red, green, blue 밴드의 구름 화소에 대한 스펙트럼 특성을 이용하여 snapshot 자료에서 구름을 마스크(mask)하는 새로운 알고리즘인 CIM (Color Index Manipulation) 알고리즘을 만들었다. 미국 농림성 FAS (Foreign Agriculture Service) 프로그램으로 제공하는 한반도의 5년간 (2004-2008) MODIS 자료 자연색 RGB 밴드 자료와 Chs.127 자료에 이 CIM 기법을 적용하여 cloud-free한 일별(daily) NDVI 시계열을 생성하고, 이 자료로부터 한반도 NDVI의 계절적 변동에 대한 예년치(climatology)에 대한 DB를 만들었다. (FAS 웹: <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets>)

2. RGB 영상 Cloud Mask 방법

(1) 정규색상지수(NCI)

R(red), G(green), B(blue)의 밝기(intensity)나 반사도(reflectance)로부터 정규색상지수 NCI (Normalized Color Index)를 아래와 같이 정의하였다.

$$I_R = \frac{2R - G - B}{2R + G + B}, \quad I_G = \frac{2G - B - R}{2G + B + R}, \quad I_B = \frac{2B - R - G}{2B + R + G} \quad (3)$$

여기에서 R, G, B는 각각 red, green, blue의 밝기(또는 반사도)이다. 비슷한 방법으로 C(cyan), M(magenta), Y(yellow)에 대한 color index는

$$I_C = \frac{G + B - 2R}{G + B + 2R}, \quad I_M = \frac{B + R - 2G}{B + R + 2G}, \quad I_Y = \frac{R + G - 2B}{R + G + 2B} \quad (4)$$

이다. 빛의 삼원색 red green, blue에 대한 색상지수와 물감의 삼원색인 cyan, magenta, yellow의 색상지수 간에는 $I_C = -I_R$, $I_M = -I_G$, $I_Y = -I_B$ 관계가 성립한다. 이렇게 정의한 각 색상지수 값 범위는 -1부터 +1이다.

(2) 색상지수환(Color Index Ring)

XY 평면상에서 0° , 120° , 240° 방향으로 120° 만큼 벌어진 3개의 축을 blue, green, red 색상지수인 I_B , I_G , I_R 의 값에 대한 축으로 삼은 색상지수환(Color Index Ring)을 도입하였다 (Fig. 1). 주어진 색에 대하여 식 (3)에 의해 계산된 3개 색상지수는 이 색상지수환에서 해당되는 축상의 벡터로 표시된다. 예를 들어, red, green, blue의 intensity가 서로 같은 grey나 white 경우에는 식 (3)에 의한 red, green, blue의 색상지수 값은 모두 0이며, 3개 축상의 벡터를 합한 CIVS (Color Index Vector Sum)은 0이 된다 (Fig. 2). 다른 예로서, 순수한 blue color 경우 식 (3)에 의한 color index는 $I_B = 1$, $I_G = -1$, $I_R = -1$ 이며 (Fig. 3), 이 3개 color index의 벡터합 CIVS는 blue axis인 0° 방향이고 크기는 2이다 (Fig. 4).

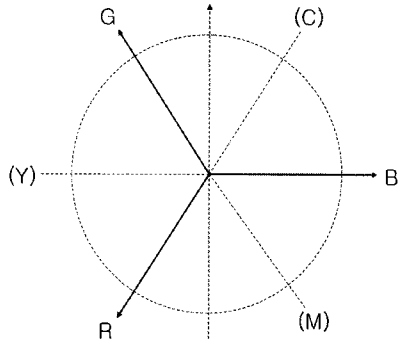


Fig. 1. Definition of color index ring

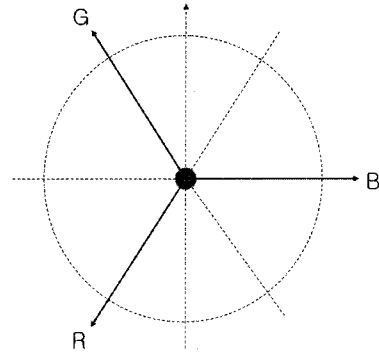


Fig. 2. CIVS of white or grey

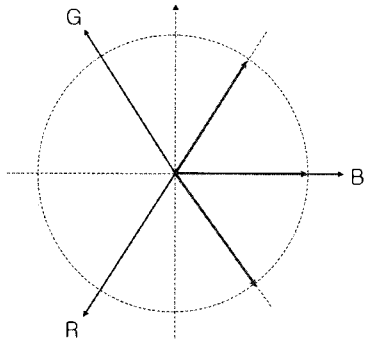


Fig. 3. B, G, R indices of pure blue color.

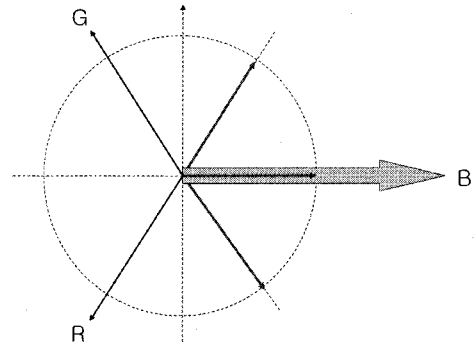


Fig. 4. CIVS of blue natural color

(3) CIVS (Color Index Vector Sum)

3개 색상지수의 벡터합인 CIVS 벡터 (X, Y)는

$$X = \sum_{j=1}^3 I_j \cos \phi_j, \quad Y = \sum_{j=1}^3 I_j \sin \phi_j \quad (5)$$

으로 주어진다. 이 CIVS 벡터 (X, Y)의 크기(Radius)와 방향각 θ 는

$$Radius = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (6)$$

이다. Radius에 대신에

$$M = (2 - Radius)/2 = 1 - Radius/2 \quad (7)$$

로 정의된 혼합지수(Mixing Index) M을 도입하였다. Red, green, blue 중에서 단색일 경우에는 $M = 0$ 이 되고, white나 grey 경우 $M = 1$ 이 된다. 즉 M은 red, green, blue 색이 어느 정도 혼합되어 있는가를 나타내는 척도이다.

(4) CIM (Color Index Manipulation) Cloud Mask

두꺼운 구름(thick cloud)은 red, green, blue에 대한 기준치(threshold) 적용이 간단하므로, 기존 band ratio 방법으로도 쉽게 식별할 수 있다. 하지만 기존의 band ratio 방법으로는 육상과 해상 모두를 포함하는 영상에서 얇은 구름(thin cloud)이나 해상의 썬글린트(sun glints)에 대해서는 제대로 식별해내지 못한다. 이 문제 극복을 위하여 새로 개발된 CIM (Color Index Manipulation)

구름 마스크 방법에서는 얇은 구름이나 썬글린트 식별에 적용하는 혼합지수(M)에 대한 허용치(threshold)를 CIVS 벡터의 방향각(θ)에 따라 다르게 지정해준다. 통상 M 허용치는 'blue' 지역에서는 작은 값을 적용하고 다른 색 지역에서는 큰 값을 적용한다. 예를 들어, 한반도의 NDVI 계산에 사용된 자료의 경우 CIVS 방향각이 0° 인 경우에는 혼합율(M) 기준치를 0.70, 방향각이 60° 인 경우에는 혼합율 기준치를 0.95로 하고, 방향각 $0^\circ \sim 60^\circ$ 범위에서는 0.70~0.95 범위의 선형관계식에 의한 값을 혼합율 기준치로 적용하고, 방향각이 60° 이상인 경우에는 혼합율 기준치로 0.95를 균일하게 적용하였다.

3. 한반도 식생지수 자료 및 방법

Cloud-free한 식생지수 계산에 대한 구체적인 사례로서, 미국 농림성 FAS 프로그램으로 제공되는 2004년 4월부터 2008년 12월까지의 한반도 지역에 대한 MODIS Terra와 Aqua 일별 true color 자료인 Ch.143과 근적외선을 포함하는 Ch.127 영상자료를 사용하였다. 이 중에서 true color의 red, green, blue 밴드 자료를 이용하여 CIM 알고리즘으로 구름을 화소단위로 판별하였다. 그리고 NDVI는 Red 밴드(Ch.1)와 NIR 밴드(Ch.2) 자료로부터 식 (1)에 의해 계산하였다.

이와 같이 계산된 일별 NDVI 자료를 기초로 하여 아래와 같이 NDVI 시계열(time series) 및 예년치(climatology) 시계열을 만들었다. ① 일별 자료로부터 구름에 오염되지 않은 자료에 대한 최대치 방법으로 5일(pentad) 간격 NDVI 시계열 자료를 만들었다. ② 연중 같은 pentad에 속하는 5년간(2004-2008) pentad 자료에 대한 평균으로 NDVI pentad 예년치(climatology) 자료를 만들었다. ③ 자료 개수가 73개인 NDVI pentad climatology 자료 결측부분을 선형보간 방법으로 채워 넣은 후에 low-pass 필터를 적용하여 시간적으로 평활화하였다. 이렇게 생성된 NDVI pentad 예년치 자료는 나중에 NDVI pentad 시계열 자료에서 NDVI anomaly 자료를 생성하는데 있어서 기준치로 사용되었다. ④ 실제의 NDVI pentad 시계열이 NDVI pentad 예년치로부터 벗어나는 정도인 NDVI pentad anomaly 시계열을 만들었다. 여기서 anomaly는 같은 시기의 실제 값과 예년 값 사이의 차이이다. ⑤ Pentad anomaly 시계열의 결측부분을 선형보간 방법으로 보충하였다. ⑥ 결측부분이 보충된 pentad anomalies와 pentad climatology 자료를 결합하여 결측이 없는 NDVI pentad 시계열 자료를 만들었다. 이런 단계를 거치는 여러 단계에서 NDVI 자료에 대한 그림 제시는 생략한다.

4. 논의 및 결론

본 연구에서는 일별(daily) MODIS reflectance 자료로부터 구름에 오염된 부분을 화소 단위로 식별하여 제거한 후에 cloud-free한 화소에 대한 일별 식생지수 분포도를 만드는 방법에 대하여 기술하였다. 그리고 이렇게 만들어진 일별 식생지수 자료로부터 5일 간격 식생분포 시계열 자료를 생성한 사례에 대하여 기술하였다.

MODIS reflectance 250m와 500m 해상도 자료는 일별(daily)과 주별(8-day) 합성자료로 LPDAAC 웹을 통해 준실시간으로 제공된다. 개발된 CIM cloud mask 생성 방법은 snapshot에 해당되는 일별 반사도 자료뿐만 아니라 주별 반사도 자료 경우에서도 효율적으로 적용된다.

본 연구에서 제시하는 CIM cloud mask 방법은 NOAA AVHRR 자료로부터 NDVI를 계산할 경우에는 적용되지 않는다. AVHRR의 가시광 자료에는 red 밴드만 있고 blue와 green 밴드 자료는

포함되어 있지 않기 때문이다. AVHRR 자료의 cloud masking에는 APOLLO 방법 (Kriebel *et al.*, 2003)이나 CECANT 방법 (Cihlar 1996, Cihlar *et al.*, 1999) 방법 등이 사용되고 있다.

본 연구는 국토해양부의 “정지궤도 해양위성 활용연구지원 사업 (II)”의 세부과제인 “해색위성 Cloud Mask 생성연구”의 일부로 수행되었다.

참고문헌

- Cihlar, J. (1996), Identification of Contaminated Pixels in AVHRR Composite Images for Studies of Land Biosphere, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 56, No. 3, 149-163.
- Cihlar, J, R. Latifovic, J. M. Chen and Z. Li (1999), Testing Near Real-Time Detection of Contaminated Pixels in AVHRR Composites, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, 2, 1999; pages 160-170.
- Kriebel, K. T., M. Kaestner and H. Mannstein (2003), The cloud analysis tool APOLLO: Improvements and validations. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 23, No. 12, 2389-2408.
- Waring, R. H., N.C. Coops, W. Fan and J. M. Nightingale (2006), MODIS enhanced vegetation index predicts tree species richness across forested ecoregions in the contiguous U.S.A. *Remote Sensing of Environment*, Vol.103, Issue 2, Pages 218-226.