

SPOT 영상을 이용한 Landsat-7의 SLC-off 영상 복원 Restoration of Landsat ETM+ SLC-off Gaps Using SPOT Image

김혜진¹⁾ · 유기윤²⁾ · 김용일³⁾

Kim, Hye Jin · Yu, Ki Yun · Kim, Yong Il

¹⁾ 서울대학교 지구환경시스템공학부 공간정보연구실 박사과정(E-mail:vicky2@snu.ac.kr)

²⁾ 서울대학교 지구환경시스템공학부 공간정보연구실 교수(E-mail:kiyun@snu.ac.kr)

³⁾ 서울대학교 지구환경시스템공학부 공간정보연구실 교수(E-mail:yik@plaza.snu.ac.kr)

Abstract

On May 31, 2003, Landsat 7 experienced an anomaly causing the Scan Line Corrector(SLC) to stop functioning normally. The SLC-off causes individual scan lines to alternately overlap and then leave large gaps at the edge of the image. A many scientists with ongoing experience using ETM+ data evaluated the scientific usability and validity of Landsat 7 products containing the SLC anomaly. The best reference scene for gap-filling is the other SLC-on Landsat scene that provide same resolution, few changes, and similar data acquisition. But receiving of Landsat imagery is not stable in Korea. So SPOT image can be another alternative solution because it is a steady-state multispectral satellite image as Landsat image. In this study, we filled the SLC-off gaps of 2, 3, 4 bands using SPOT image by a local regression technique, and assigned the optimum spectral value to gaps of 1, 5, 7 bands based on a spectral adjacency. Through this process, we could restore Landsat SLC-off image and evaluated the accuracy of the results.

1. 서 론

Landsat-7의 ETM+는 SLC(Scan Line Corrector)의 기계적 결함 문제로 인하여 현재 SLC-off 모드 상태에서 영상을 취득하고 있으며 이로 인해 데이터의 약 25%정도가 손실된 상태로 관측된다. 때문에 추가적인 보정작업을 거치지 않고는 Landsat-7 영상의 정상적인 활용이 어려운 상태이며 SLC-off 영상을 보정하기 위한 여러 가지 연구가 진행되어 왔다. 그 중 가장 일반적인 방법은 Landsat-5 영상 혹은 과거 비슷한 시기에 취득된 SLC-on 영상을 기준(reference) 영상으로 활용하여 데이터가 누락된 영역을 채우는 것이다. 기준 영상은 그 취득 시기와 해상도, 분광대역 등이 ETM+ 영상과 유사할수록 좋으며 따라서 Landsat 시리즈 영상이 가장 활용도가 높지만, 국내에서는 충분한 수의 Landsat-7 SLC-on 영상이나 Landsat-5 영상을 안정적으로 확보하기 어려우므로 SPOT 영상을 이용한 보정이 또 하나의 해법이 될 수 있을 것으로 보인다.

이에 본 연구에서는 유사한 시기에 관측된 동일 지역의 SPOT 다중분광 영상을 이용하여 Landsat SLC-off 영상의 gap을 보정하고 결과를 평가하였다. 이를 위하여 SPOT 영상과의 지역적인 회귀(regression) 보정 기법을 적용하여 Landsat 2, 3, 4 번 밴드의 SLC-off 보정을 수행하고 복원된 세 밴드의 분광 화소값을 토대로 하여 손상 화소와 동일한 분광치를 갖는 정상화소를 지역적으로 검색하여 나머지 1, 5, 7번 밴드의 SLC-off 손상 화소에 할당함으로써 열밴드를 제외한 Landsat의 모든 다중분광 영상을 복원하였다.

2. 연구 배경

2.1 Landsat ETM+의 SLC-off

Landsat-7의 ETM+ 센서는 2003년 5월 31일 발생한 SLC(Scan Line Corrector) 결함 문제로 인하여 현재 SLC-off 모드 상태로 가동되고 있다. SLC는 whiskbroom 방식의 센서가 위성 진행 방향과 직각으로 회전하며 스캔함으로 인해 발생하는 zig-zag 패턴을 보정하기 위한 보정 장치이며 이러한 SLC 기능의 손상으로 영상은 zig-zag 상태로 중복(overlap) 스캔되고 따라서 데이터의 약 25%정도가 관측되지 않게 되었다. SLC-off 영상은 그림 1과 같이 영상의 가장자리로 갈수록 누락 화소가 증가하는 형태로 관측된다. 탑재체의 기계적 결함으로 발생한 문제이기 때문에 근본적인 해결책을 제시하기 어려우며 후처리를 통해 보정하여 사용하여야 한다.

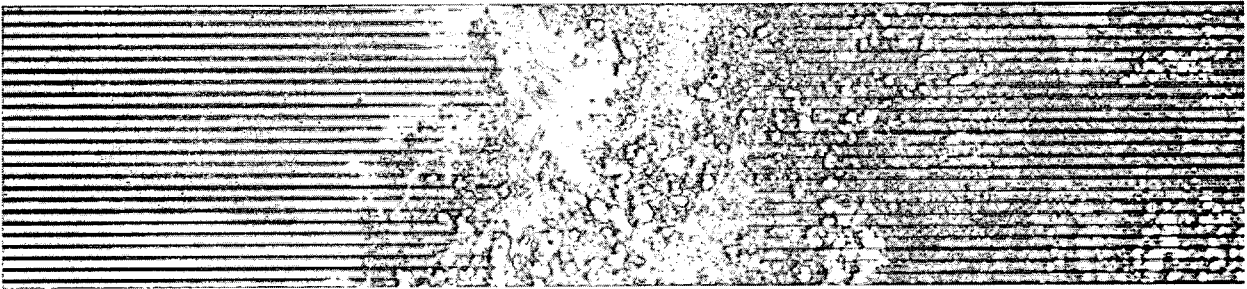


그림 1. Landsat-7 ETM+의 SLC-Off 영상

2.2 연구 동향

Landsat-7의 SLC-off 영상을 보정하기 위한 방법은 여러 가지가 이미 제시되어 있다. 가장 간단한 방법으로는 손실 지역 주변 화소값들을 이용한 보간을 통하여 손실 영역을 채우는 것이지만 SLC-off로 인한 gap은 최대 13 화소에 이므로 보간만으로 이를 보정하기에는 무리가 있다. 이에 USGS에서는 과거 관측된 ETM+ 영상이나 인접한 SLC-off 영상들 간의 중첩을 통해 손실영역을 채우는 기법을 제안하였다. USGS에서 제안한 기법은 크게 두 가지로 하나는 지역적인 윈도우(local window)를 이용한 히스토그램 선형 매칭 기법이며 다른 하나는 가변적인 크기의 윈도우에 회귀식(regression)을 적용하여 보정하는 기법이다. 이 외에 비슷한 시기의 취득된 Landsat-5의 영상이나 SLC가 손상되기 이전의 Landsat-7 영상에 segmentation 모델을 적용하여 정보 손실 영역을 채우는 기법도 연구된 바 있다(Susan Maxwell, 2004, USGS). 이러한 기법들은 모두 손상 지역의 화소값을 제공할 수 있는 기준 영상을 필요로 하며 2003년 5월 이전에 관측된 Landsat-7의 SLC-on 영상은 동일한 관측 파장대와 해상도로 인해 가장 효율적인 기준영상이 될 수 있으나 Landsat-7의 SLC-on 영상은 점차 시간적인 차이가 벌어져 대상 지역의 피복 변화를 반영할 수 없다는 단점을 갖는다. Landsat-5 위성은 현재 운용중이며 ETM 센서의 관측파장대가 ETM+ 센서의 파장대역과 유사하여 보정을 위한 기준(reference) 자료로 활용하기에 적합하다. 그러나 우리나라의 경우 충분한 수의 Landsat-5 영상을 확보할 수 없기 때문에 Landsat 영상을 이용한 지속적인 보정작업은 어려운 실정이다.

3. 자료처리 및 분석

3.1 실험 데이터

SLC-off 영상의 보정 후 정확도 평가를 위해 본 실험에서는 정상 상태로 취득된 Landsat-7의

SLC-on 영상에 인위적으로 SLC-off 형태의 데이터 손실을 가한 뒤 사용하였다. 사용된 Landsat-7 대상영상은 2000년 9월 4일에 관측된 영상으로 한반도 중서부를 포함하고 있는 영상이다. gap을 채우기 위한 기준영상으로는 Landsat-7 대상 영상과 비슷한 시기에 동일한 지역을 관측한 SPOT-2 영상을 기준 영상으로 활용하였으며 관측일은 2000년 9월 29일이다. 대상 영상과 기준 영상 간의 정밀한 기하보정(image to image registration)을 수행하였고 SPOT 영상은 nearest neighbor 기법을 통해 공간해상도를 30m로 재배열(resampling)하였다. 두 영상의 중복 영역 중 구름이 존재하지 않는 서울 동부 지역(약 16km X 16km)을 추출하여 사용하였으며 실험 영상의 제원은 아래와 같다.

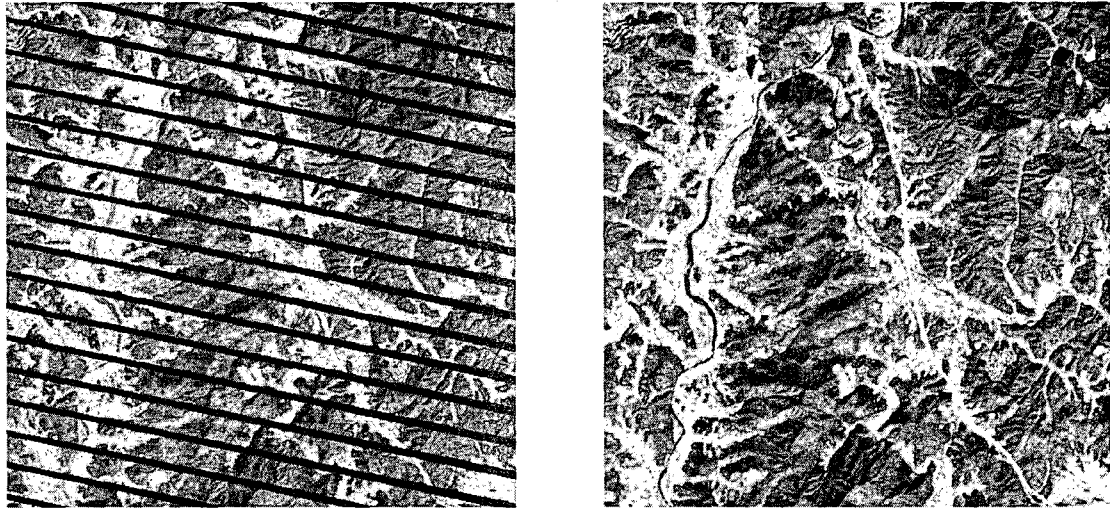


그림 2. 좌) Landsat-7 SLC-off 영상, 우) SPOT-2 영상

표 1. Landsat-7과 SPOT-2 영상의 제원

	대상 영상		기준 영상	
탑재체	Landsat-7		SPOT-2	
관측 센서	ETM+		HRV	
관측 일시	2000 / 9 / 4		2000 / 9 / 29	
관측 위치	Path:116 / Row:34		GRSk:304/GRSj:275	
공간 해상도(다중분광)	30m		20m	
밴드 수(다중분광)	7		3	
분광 대역(μm)	밴드1	0.450-0.515	밴드1	0.500-0.590
	밴드2	0.525-0.605		
	밴드3	0.630-0.690	밴드2	0.610-0.680
	밴드4	0.750-0.900		
	밴드5	1.550-1.750	밴드3	0.79-0.89
밴드7	2.080-2.350			

3.2 SLC-off 보정

Landsat-7 다중분광 영상은 7개 밴드인데 반해 SPOT-2 영상은 3개의 밴드만을 가지므로 SPOT 영상을 통한 SLC-off gap의 보정은 유사한 분광대의 2, 3, 4 밴드에 대해서만 가능하다. 때문에 본 연구에서는 SPOT 영상과 Landsat 영상에 가변 윈도우 기반 지역적 회귀 모델을 적용하여 2, 3, 4 밴드의 손상 화소값을 추출한 후 나머지 광학 밴드인 1, 5, 7밴드의 손상 화소는 보정된 2, 3, 4 밴드의 화소값들을 기준으로 하여 동일한 분광특성을 갖는 정상화소의 분광값을 할당하는 방법을 사용하여 보정하였다.

3.2.1 가변 윈도우 기반 지역적 회귀 모델

지역적 회귀 모델은 SLC-off 손상 화소를 중심으로 하는 $n \times n$ 윈도우를 대상영상과 기준영상에 동일 지역에 적용하여 윈도우 내의 정상 화소들간의 상관회귀식을 최소제곱법으로 구하여 대상영상의 손상 화소값을 추출하는 기법이다.(USGS, 2004) 이 때, 윈도우의 크기 n 은 최소 3에서 시작하여 윈도우 내의 정상 화소 수가 손상 화소의 수보다 많을 때까지 순차적으로 증가시켰다. 이러한 SPOT의 화소값을 이용한 Landsat 2, 3, 4 밴드의 보정 과정은 그림 3과 같다.

3.2.2 분광 인접성을 이용한 손상 화소 복원

위의 과정을 통해 얻어진 보정 영상의 SLC-off 손상 영역은 2, 3, 4 밴드는 보정된 분광 화소값을 갖고 나머지 1, 5, 7 밴드의 화소값은 null인 상태이다. 이를 복원하기 위하여 본 연구에서는 인접하여 존재하는 화소들은 유사한 분광값을 갖는다(T. M. Chen, 1987)는 분광 인접성(spectral adjacency) 가정을 기반으로, 손상 화소의 복원된 2, 3, 4 밴드의 분광 화소값과 동일한 화소값을 갖는 정상 화소를 지역적으로 검색하여 그 정상 화소의 1, 5, 7 밴드의 화소값을 손상 화소에 할당하였다. 비할당 화소가 발생하는 것을 막기 위하여 2, 3, 4번 밴드의 화소값이 정확하게 일치하는 화소를 검색하지 못했을 경우에는 화소값간의 차가 가장 작은 정상 화소의 화소값을 이용하여 복원하도록 하였다.

3.3 실험 결과

다음은 본 연구에서 제시한 기법을 통하여 복원한 Landsat 영상이다.

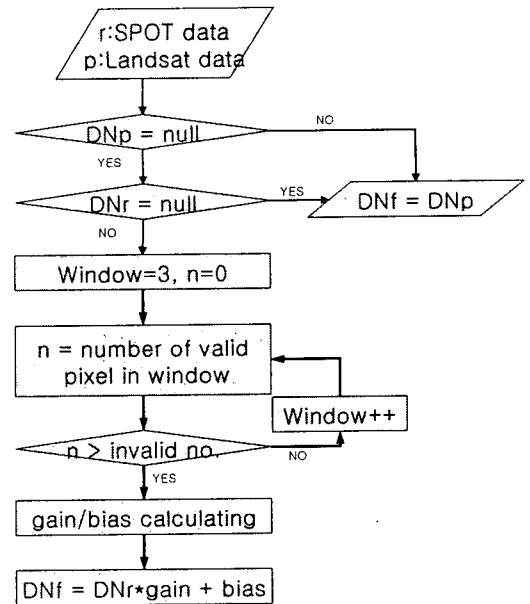


그림 3. 가변윈도우 기반 지역적 회귀보정 (DNp:대상영상 화소값, DNr:기준영상 화소값, DNf:보정영상 화소값)

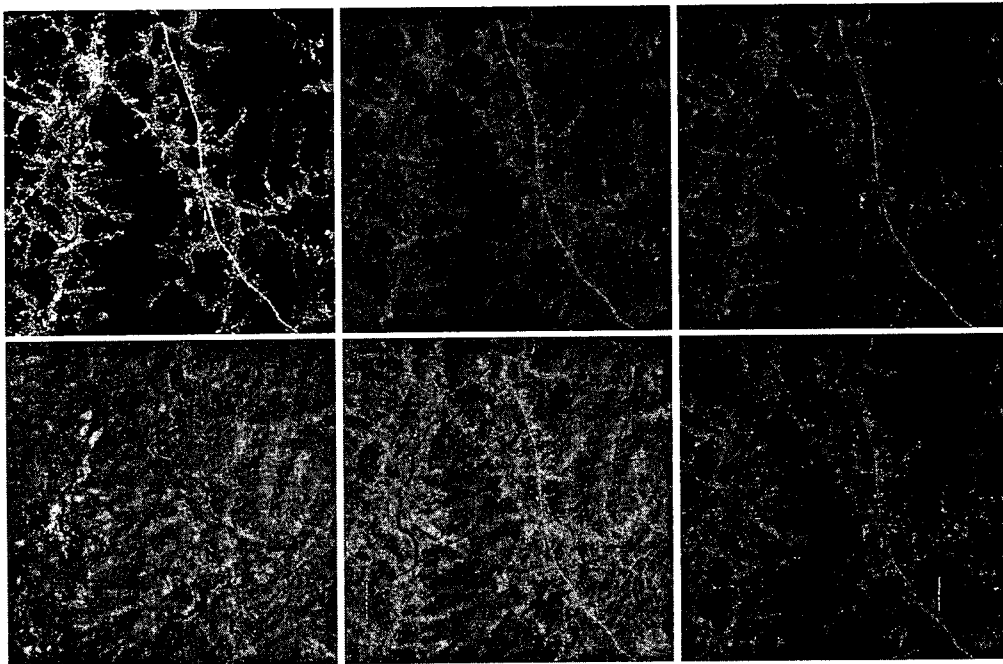


그림 4. 복원된 Landsat 영상(좌측, 상단부터 밴드 1, 2, 3, 4, 5, 7)

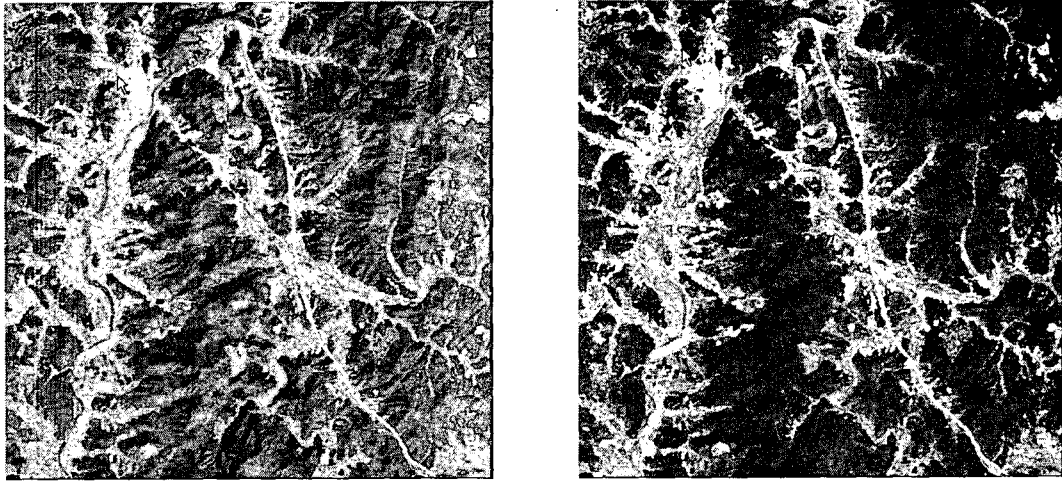


그림 5. 복원된 Landsat 영상 좌) R:밴드4, G:밴드3, B:밴드2, 우) R:밴드3, G:밴드2, B:밴드1

실험 결과를 시각적으로 평가해보면 두 결과 모두 SLC-off 데이터 누락 영역이 손실(missing) 화소 없이 보정되었으며 부자연스러운 노이즈 없이 본래의 SLC-on 영상과 유사한 형태로 시각적으로 위화감 없는 영상이 생성되었다. 그러나 산악 지역의 경우 SLC-off gap 형태를 따라 약간의 뭉개짐(blurring)이 확인되는데 이러한 현상은 NIR 밴드인 4번 밴드에서 가장 도드라진다. 이는 원 영상인 SPOT과 Landsat 영상이 촬영당시의 관측각 및 고도차 등으로 인해 그림자가 서로 다른 방향으로 드리워져 있기 때문으로 보인다. 표 2는 정량적 평가를 위해 SLC-off 영역의 복원된 화소값과 실제 SLC-on 영상의 화소값들간의 RMSE를 각 밴드별로 구한 결과이다. SPOT을 이용하여 보정한 2, 3, 4 밴드의 결과 중에서는 NIR 밴드인 4번 밴드의 정확도가 가장 낮으며, 분광 인접성을 이용한 복원 결과에서는 블루 밴드인 1번 밴드의 결과가 가장 좋음을 확인할 수 있다.

표 2. Landsat-7 SLC-off 지역의 보정 화소값 RMSE(DN)

	Local Regression		Spectral Approximation
band 2	7.2105	band 1	7.5929
band 3	9.9128	band 5	16.1989
band 4	11.4248	band 7	14.5791

4. 결론

본 연구에서는 SPOT의 다중분광 영상을 이용하여 Landsat-7의 열밴드를 제외한 6개 밴드영상의 SLC-off gap 복원을 수행하였다. 이를 위하여 가변 윈도우 기반의 지역적 회귀 보정을 통해 1, 2, 3 밴드를 보정하고 그 결과를 이용하여 분광치 추정을 통해 1, 5, 7 밴드의 화소값들을 복원하는 방법을 제시하였다. 실험 결과 시각적으로 자연스러운 Landsat 다중분광 영상을 생성할 수 있었으나 분광학적으로 신뢰할 만한 수준의 정확도를 얻을 수는 없었다. 이는 이중 센서의 영상을 이용하여 영상을 보정할 경우 태양각 및 관측각, 해상도 차이 등으로 인해 발생하는 영상간 기하학적 불일치를 완전하게 제거할 수 없기 때문이며 정사보정된 영상을 사용하면 보다 향상된 결과를 얻을 수 있을 것이다.

본 연구는 SPOT을 통한 Landsat-7의 보완 가능성을 평가해보기 위한 실험적인 연구로 이를 토대로 향후 소규모 구름과 같이 지역적으로 발생한 영상 손상에 대한 보정 기법 연구 등에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- USGS (2004), SLC-off gap-filled products : gap-fill algorithm methodology,
<http://landsat.usgs.gov/documents/L7SLCGapFilledMethod.pdf>
- USGS (2003), Enhanced thematic mapper plus scan line corrector geometric processing algorithm theoretical basis, http://landsat.usgs.gov/documents/SLCOff_Processing_ATBDV1.1.pdf
- NASA (2003), Landsat 7 science data users handbook,
http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html
- Pat Scaramuzza, Esad Micijevic, Gyanesh Chander (2004), SLC Gap-filled products phase one methodology
- Susan Maxwell (2004), Filling Landsat ETM+ SLC-off gaps using a segmentation model approach, PE&RS Volume 70, No. 10
- T. M. Chen, D. H. Staelin, and R. B. Arps (1987) Information content analysis of landsat image data for compression," IEEE Trans. Geosci.Remote Sensing, vol. GE-25, pp. 499-501
- Nasir D. Memon, Khalid Sayood, and Spyros S. Magliveras (1994), Lossless Compression of Multispectral Image Data, IEEE Trans. Geosci.Remote Sensing, vol. 32, no. 2
- Adams, R., and Bischof, L. (1994) Seeded region growing. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Vision, 16, 641-647