

우리별 3호 영상의 복사학적 보정 알고리즘

신동석¹ · 곽성희¹ · 김탁곤²

Radiometric Correction Algorithm for KITSAT-3 Images

Dongseok Shin¹ · Sunghee Kwak¹ · Tag-Gon Kim²

요 약

본 논문에서는 우리별 3호에 탑재된 지구관측 센서인 MEIS (Multi-spectral Earth Imaging System) 영상의 복사학적 보정 알고리즘에 대해서 기술한다. MEIS 영상은 다른 관측 위성 카메라 영상과 마찬가지로 여러 가지 복사학적 오차를 포함하고 있다. 이러한 오차 중 영상의 질적 측면에 가장 큰 영향을 주는 두가지 원인을 소개하고 이 오차의 보정 알고리즘을 제시한다. 제시된 알고리즘은 우리별 3호 영상의 전처리 소프트웨어에 구현되어 여러 영상에 적용하여 검증하였고, 사용자에게는 이러한 복사학적 보정 알고리즘을 통해 보정된 영상이 제공될 예정이다.

주요어: 복사학적 보정, Illumination fall-off

ABSTRACT

This paper describes an algorithm for the correction of major radiometric errors shown in MEIS (Multi-spectral Earth Imaging System) images on board KITSAT-3. MEIS images contain various radiometric errors as also shown in the images obtained from other remote sensing sensors. This paper introduces the two major radiometric error sources shown in MEIS images and the corresponding correction algorithm. The proposed algorithm was integrated to an operational preprocessing software and validated by applying the algorithm to several tens of MEIS images. This algorithm will therefore applied operationally to raw MEIS images before they are distributed to users.

KEYWORDS: Radiometric Correction, Illumination Fall-off

서 론

우리별 3호는 1999년 5월 26일 발사되어 예정된 730km 고도의 원형 태양동기궤도에 성공적으로 진입되었다. 발사 후 약 20여일동

안 우리별 3호의 초기 운용이 진행되었고 이 기간 동안 대부분의 서브시스템들이 디자인 요구사항을 만족시키는 성능을 보여주었다. 이 기간 중에 우리별 3호에 탑재된 지구관측용

1999년 6월 23일 접수 Received on June 23, 1999

¹ 한국과학기술원 인공위성연구센터 원격탐사연구실 (dshin@krsc.kaist.ac.kr) Remote Sensing Section, SaTRec, KAIST

² 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 Dept. of Electric and Electronic Engineering, KAIST

카메라(MEIS: Multi-spectral Earth Imaging System)를 이용하여 총 16회 지표면 촬영을 시도하였고, 지상으로 송신된 영상데이터를 수신, 저장, 전처리하여 영상의 질적 측면을 분석하였다. 우리별 3호는 본래 실용목적의 원격탐사를 위해 개발된 위성이 아니기 때문에 상용 고해상도 원격탐사 위성의 영상보다 활용도적인 측면에서의 가치는 다소 떨어진다 하더라도 영상의 질적 측면만을 비교할 때는 SPOT, Landsat, IRS, JERS 등의 다대역 영상들과 유사한 수준의 영상을 얻을 수 있었다 (SaTReC, 1999).

MEIS는 3개의 파장대역 영상을 제공하며 (Green: 520~620 μ m, Red: 620~690 μ m, Near-IR: 730~900 μ m), 3456개의 선형 CCD 소자를 사용하여 pushbroom 형태의 촬영으로 영상데이터를 획득한다. 730km의 평균 고도에서 13.8m의 해상도와 48km의 촬영 폭을 제공한다. MEIS에서 촬영하여 지상으로 전송된 영상은 여러 가지 복사학적, 기하학적 오차를 내포한다. 지상국의 영상데이터 처리시스템에서는 이러한 오차를 보정하여 영상을 사용자에게 분배하게 되며 일반적으로 이러한 보정의 단계를 영상제품의 레벨로 구분한다.

본 논문은 MEIS영상의 복사학적 오차의 보정 알고리즘에 대해서 기술한다. 먼저 영상의 복사학적 오차를 발생시키는 원인을 분석하고 이 중 MEIS 영상의 질에 크게 영향을 미치는 원인을 선택한다. 그리고 이러한 원인에 의하여 발생하는 오차의 보정 알고리즘에 대하여 자세히 기술한다.

영상의 복사학적 오차

위성영상의 복사학적 오차의 원인은 매우 다양하며 이 중 몇가지를 정리하면 다음과 같다.

- CCD 각 소자의 반응도 차이
- CCD 소자의 비 선형성
- Thermal noise

- Quantization 오차
- Leakage 전류 (dark current)
- 전자회로부의 반응도 차이
- Illumination fall-off (Vignetting)

먼저 선형 CCD를 사용하는 위성영상에서는 각 CCD 소자의 반응도가 서로 조금씩 다를 수 있으며 이는 우주환경의 방사선 영향 때문에 시간이 지남에 따라 그 정도가 변한다. 이러한 반응도의 차이는 주기적인 calibration에 의하여 결정될 수 있으나 이 경우 위성 내에 on-board calibration source가 있어야 한다. 광학 센서일 경우 calibration source로는 일반적으로 정확한 빛의 양을 발산시키는 전구가 사용되며 많은 상용 관측위성이 이러한 광원을 사용하여 센서의 주기적인 calibration을 수행한다. 우리별 3호에는 이러한 on-board calibration기능이 없으며 차선책으로 균등한 분포를 가지는 지역(예: 바다, 사막 등)을 촬영하여 센서의 반응도를 시험하도록 되어 있다. 하지만 이러한 방법은 촬영 지역의 균일한 성질이 보장될 수 없고, 광량이 너무 어둡거나(바다일 경우) 너무 밝기 때문에(사막일 경우) 정확한 calibration을 수행하기가 매우 어렵다.

CCD 소자의 비 선형성이란 CCD에 입력되는 광량과 이에 따른 출력 전류가 비선형 함수에 의해 관계지어짐을 뜻한다. 하지만 현재 위성센서용으로 사용되는 CCD 소자는 포화지역을 제외하고는 90%이상의 선형성을 보장하고 있기 때문에 이러한 원인으로 발생하는 영상의 복사학적 오차는 거의 무시할 수 있다. Thermal noise는 절대온도 0도가 아닌 어떠한 전자회로에서도 가우시안 분포로 무작위 발생하는 잡음으로서 이를 지상에서 보정하는 것은 불가능하다. Quantization 오차는 아날로그 형태의 전압을 디지털 화소 값으로 바꾸는 과정에서 제거되는 정보를 말하며 이 역시 일단 AD(Analog to Digital) 변환이 이루어졌으면 다시 이를 복원할 수 없다.

CCD 소자가 빛이 전혀 없는 경우에도 주

로 외부 온도에 의해서 발생시키는 전류를 leakage current 또는 dark current라고 한다. 이러한 dark current는 촬영된 영상 전체에 특정한 offset으로 작용하기 때문에 이를 제거해주는 것이 바람직하다. dark current는 빛이 전혀 없는 지역, 예를들어 deep space 또는 야간해양을 촬영함으로써 유추할 수 있다.

CCD 소자에서 출력되는 전류 또는 전압은 서로 다른 전자회로를 거쳐서 디지털 화소값으로 바뀌게 되며 이러한 전자회로의 구성은 센서의 설계에 의존한다. MEIS는 CCD 소자 출력단 중 홀수번째 출력과 짝수번째 출력으로서 다른 전자회로에서 증폭, AD 변환되기 때문에 실제로 영상에서 세로줄이 발생하게 된다. 따라서 이러한 영향을 지상처리 소프트웨어에서 보정해 주어야 한다.

선형 CCD 영상의 중간부분보다 가장자리 부분이 더 어둡게 나타나는 현상을 illumination fall-off 라고 한다. 이러한 현상은 시야각(field of view : FOV)이 증가할수록 더 심해지는데 이는 MEIS의 기계적 구조 때문에 더 심하게 발생한다.

본 논문에서는 MEIS 영상에서 가장 심하게 발생하는 복사학적 오차인 CCD 소자 홀수

열-짝수열 밝기차이 보정과 illumination fall-off 현상 보정에 대하여 기술한다.

홀수열-짝수열 밝기값 차이 보정

MEIS의 CCD 소자 출력 중 홀수열 출력과 짝수열 출력은 각각 다른 전자회로를 거쳐서 증폭되어 디지털 화소값으로 변환된다 (유상근, 1998). 따라서 결과 영상의 홀수열 화소값의 평균과 짝수열 화소값의 평균의 차이가 발생한다. 이러한 차이는 우리별 1, 2호 영상에서도 발견되어 보정되었고(이임평과 김태정, 1996), JERS-1 VNIR 영상에서도 이러한 원인으로 영상의 세로줄이 발생한다(신동석과 이영란, 1998). 이러한 영향은 전체 영상에 골고루 작용하며 이를 보정하기 위해 전체 영상의 홀수열과 짝수열의 평균값을 각각 구해서 이 차이만큼을 홀수열 또는 짝수열에 더해준다. 평균값은 실수 형태로 정확히 구해질 수 있으나 결국 각 화소값의 보정은 정수 단위로 수행되어야 하므로 반올림 만큼의 quantization 오차가 발생한다. 그림 1은 MEIS 영상에 이러한 보정을 적용한 결과를 보여준다.

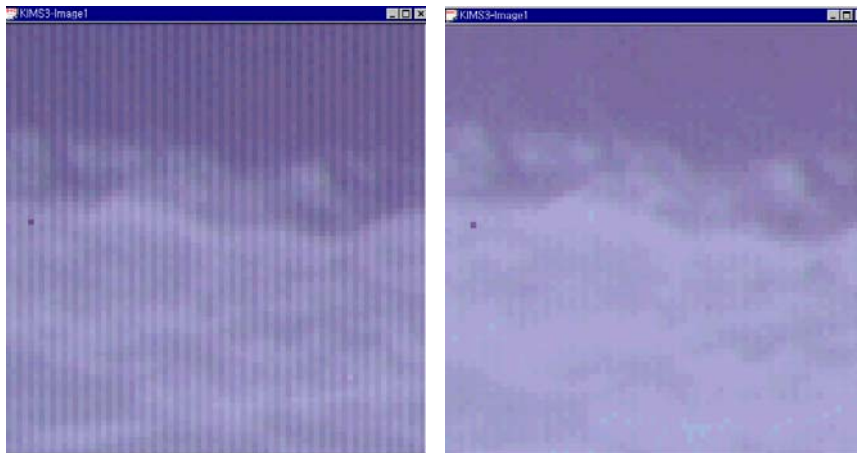


FIGURE 1. Result of even-odd column correction(left : raw image, right : corrected image).

Illumination Fall-off 보정

Illumination fall-off 현상은 CCD 소자가 focal plane의 중심으로부터 떨어진 거리에 비례하여 대칭적으로 발생한다. 광학 중심축으로부터 θ 만큼의 IFOV(Instantaneous Field of View)로 입사된 빛의 양은 중심축으로 입사된 빛의 양에 비해 $\cos^4\theta$ 만큼의 감쇠효과를 가지며 이를 일반적으로 vignetting 효과라고 한다. 이러한 $\cos^4\theta$ 의 영향은 다음과 같이 세분할 수 있다(Lillesand와 Kiefer, 1994).

- 렌즈에 입사되는 광량은 $\cos\theta$ 만큼 감쇠된다.
- 렌즈로부터 focal plane까지의 거리, 즉 초점거리가 $\cos\theta$ 만큼 증가하여 결국 광량이 $\cos^2\theta$ 만큼 감쇠된다.
- 균일한 CCD 소자의 면적에 입사되는 광량이 $\cos\theta$ 만큼 감쇠된다.

MEIS 영상은 이러한 일반적인 카메라의 vignetting 효과에 더불어서 MEIS 카메라가 가지는 기계적인 구조에 의한 vignetting 효과까지 추가된다. 그림 2에서 보듯 θ 의 각도로 렌즈에 입사되는 광량은 실제 렌즈 구경에 $\cos\theta$ 만큼 감쇠되게 된다. 하지만 MEIS 렌즈

앞에는 여러 가지 우주방사능 물질 및 불필요한 광량의 입사를 막기 위해서 baffle이 설치되어 있다. 본래 이러한 baffle은 FOV를 고려하여 앞쪽으로 갈수록 퍼지는 형태의 구조로 설계되어야 하는데 MEIS는 이를 고려하지 않고 원통형의 baffle을 설치하였다. 결과적으로 그림 2에서 보는 바와 같이 A라는 부분의 광량이 baffle에 의해 막히게 되는 것이다. 따라서 렌즈에 입사되는 광량의 실제 감쇠비율은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\frac{(D\cos\theta - B\sin\theta)^2}{D^2} \quad (1)$$

여기서 D는 렌즈의 구경이며 B는 baffle의 길이이다. 결국 MEIS의 전체 illumination fall-off 효과는 (1)식에 $\cos^3\theta$ 만큼을 곱한 것이 된다.

이러한 공식을 역으로 적용하여 MEIS 영상을 보정한 결과를 그림 3에서 보여준다. 그림 3은 홀수열-짝수열 오차의 보정 뿐 아니라 영상의 양쪽 가장자리로 갈수록 보이는 illumination fall-off 현상을 제거한 결과를 보여준다. 영상 중간에 보이는 가로줄은 영상데이터의 송수신 오차이다(신동석, 1999).

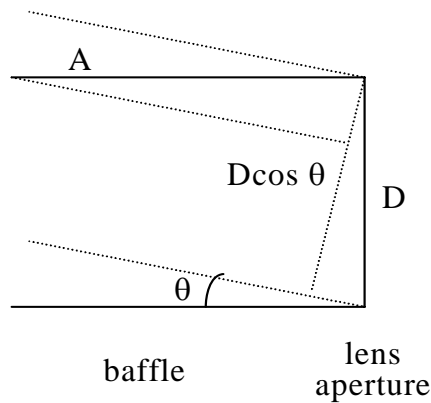


FIGURE 2. Light flux blocking by baffle

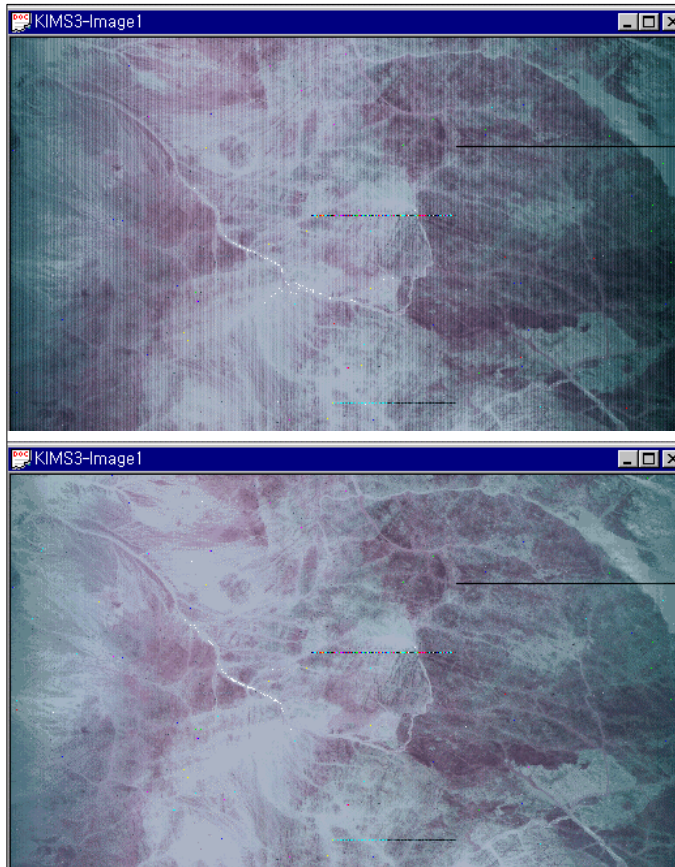


FIGURE 3. Result of illumination fall-off correction (upper : original image, lower : corrected image)

결 론

우리별 3호의 MEIS 영상은 다른 관측위성 카메라 영상과 마찬가지로 여러 가지 복사학적 오차를 포함한다. 상용위성과는 달리 우리별 3호는 on-board calibration source가 없는 관계로 영상의 정확한 복사학적 보정을 수행하기가 매우 어렵다. 본 논문에서는 MEIS 영상에 나타나는 주요 복사학적 오차 두가지를 소개하였고 이를 보정하는 알고리즘을 제시하였다. 제시된 알고리즘은 우리별 3호 영상 전처리 시스템인 KIMS3(KITSAT-3 Image Mosaic System)에 구현되었고, 사용자에게 제

공되는 MEIS 영상은 이러한 알고리즘을 통해 복사학적 보정을 거친 영상이 될 것이다. **KAGIS**

참고문헌

- 신동석, 이영란. 1998. JERS-1 OPS영상의 줄무늬 현상 제거 알고리즘. 대한원격탐사학회지 14(1):95-101
- 신동석, 최옥현, 김탁곤. 1999. 우리별3호 영상 데이터 송수신 시스템 - 초기운용 성능. 대한원격탐사학회지 (인쇄중).
- 유상근. 1998. End-Item Data Package: MEIS Electronics. 인공위성연구센터.

이임평, 김태정. 1996. 우리별 1호 지구 관측 영상의 방사학적 및 기하학적 보정. 대한원격탐사학회지 12(1):26-42.

Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. 3rd ed. John Wiley & Sons. pp.61-65.

SaTReC. 1999. 우리별 3호 발사 후 초기 운용 결과. <http://satrec.kaist.ac.kr/SaTReC.html>
