

Radiometric Calibration Method with Compensation of Nonlinearity of Detector for Hyper-Spectral Camera

Ji-Hyeon Yang*, Byung-In Choi**, Hee Duk Park***, Sohyun Kim****, Yong Chan Park*****

Abstract

In this paper, we propose a novel radiometric calibration method which can effectively compensate the nonlinearity of the detector for hyper-spectral camera. In general, the detector of hyper-spectral camera can produce nonlinear output depending on radiance and integral time. The conventional radiometric calibration methods extract the imprecise radiance profile from the spectral profile of the target due to this nonlinearity. In our proposed method, we use a quadratic equation instead of a linear equation to describe the relation between output of detector and radiance. Then, we use a fractional function to compensate variation of integration time. Thus, our proposed method can extract more precise spectral profile of radiance than conventional radiometric calibration method.

▶Keyword: Radiometric Calibration, Hyper-spectral camera

1. Introduction

현대의 전장에서는 적군의 위협 표적을 감시·정찰하기 위한 목적으로 영상센서가 많이 활용되고 있다. 일반적인 영상장비는 가시광선, 중적외선 그리고 원적외선 영역의 파장을 검출하여 생성된 단일대역 혹은 다중대역(Multi-Spectral)의 2차원 영상을 이용한다. 이러한 영상장비는 표적 탐지 및 식별 능력을 향상하기 위하여 높은 공간 해상도(Spatial resolution)와 복사 해상도(Radiometric resolution) 성능이 요구되지만 기술적 한계로 인하여 해상도를 무한정 높이는 데에는 어려움이 있다 [1-3]. 또한 기존 영상장비로 탐지되는 것을 회피하기 위하여 적군의 시설 및 장비를 위장막으로 가리거나 은폐하는 경우 표적 탐지가 더욱 어려워진다[4]. 이러한 한계를 극복하기 위하여 영상 센서의 검출 가능한 파장구간을 수백 개의 미세 파장으로 분광하여 수집하는 초분광 영상장비가 연구되고 있다. 이러한 초분광 영상장비는 표적에서 반사되는 고유한 반사율 분광데이터를 획득할 수 있고, 사전에 구축된 표적의 반사율 분광 데이터베이스를 활용하여 표적을 탐지/분류 할 수 있다. 따라서

초분광 영상장비는 표적 고유의 반사율 특성을 이용하므로 기존의 영상장비보다 탐지/분류 능력을 더욱 향상시킬 수 있다. 일반적인 초분광 영상장비에서 파장 대역은 장비의 사용 목적에 따라 가시광선(Visible) 대역부터 근적외선(Near-IR), 단적외선(Short Wavelength-IR), 중적외선(Middle Wavelength-IR), 장적외선(Long Wavelength-IR)에 걸쳐 사용된다. 항공기에 장착되는 push-bloom 방식의 초분광 영상장비는 항공기가 특정 지역을 지나면서 획득되는 지상영역의 2차원 공간 평면 영상을 위에서 언급한 파장대역의 미세 파장으로 분광하고 처리하여 각 공간 픽셀별로 분광정보를 가지고 있는 3차원(라인, 샘플, 파장대역) 형태의 분광데이터 구조를 생성한다. 생성된 3차원 분광데이터에 대하여 복사휘도(Radiance)로 변환해주는 복사보정, 복사휘도를 물체의 고유한 반사율 분광 프로파일로 변환하는 대기보정의 전처리 과정 및 분광 프로파일 기반의 표적 탐지/분류 등 일련의 초분광 영상처리를 수행한다. Fig 1은 push-bloom 방식의 초분광 카메라에서 획득되는 초분광 영상 구조를 나타낸다.

- First Author: Ji-Hyeon Yang, Corresponding Author: Byung-In Choi
- *Ji-Hyeon Yang (jhyeon.yang@hanwha.com), Hanwha Systems
- **Byung-In Choi (byungin.choi@hanwha.com), Hanwha Systems
- ***Hee Duk Park (heeduk.park@hanwha.com), Hanwha Systems
- ****Sohyun Kim (153074@add.re.kr), Agency for Defense development
- *****Yong Chan Park (ycpark@add.re.kr), Agency for Defense development
- Received: 2017. 08. 28, Revised: 2017. 09. 05, Accepted: 2017. 09. 22.

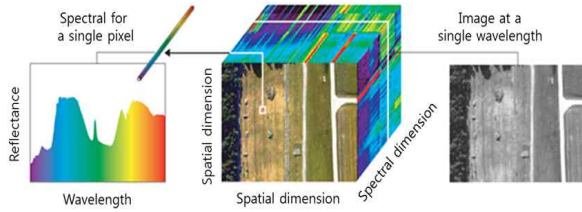


Fig. 1. Hyperspectral Image structure

국내의 초분광에 대한 연구는 최근까지 해외의 초분광 카메라를 도입하여 출력된 영상을 국내기술로 처리하는 방식으로 진행되었다[5-6]. 반면 국내 환경에 적합하도록 다양한 요구사항을 반영한 장비를 제작이 필요하다. 이를 위하여 국내 최초로 가시광+근적외선(Visible & NIR) 및 단적외선(SWIR) 영역을 가지는 push-bloom 방식의 항공용 초분광 영상장비의 개발이 완료되었고 초분광 영상에 대한 복사보정, 대기 보정 알고리즘 및 탐지/분류 알고리즘 기술이 확보되었다. 본 논문에서는 국내 최초로 개발된 초분광 영상장비에 적용된 개선된 복사보정 기법에 대하여 다루고자 한다.

복사보정은 초분광 영상처리 과정 중 초분광 센서 기반의 감시장비 표적 탐지 성능을 좌우하는 매우 중요한 전처리 과정이다[7-8]. 복사보정은 적용되는 검출기의 출력을 정확한 복사휘도 값으로 변환해주는 과정이다. 기존 복사보정 과정은 검출기 출력과 복사휘도와의 관계를 1차 방정식으로 모델링하여 적용한다. 반면, 검출기 출력과 복사휘도와의 관계가 비선형 특성을 나타낼 경우, 기존 복사 보정 기법은 표적의 복사휘도 분광 프로파일을 정확하게 변환하지 못할 수 있다. 이러한 부정확한 표적의 복사 휘도는 표적 탐지 성능을 크게 저하시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 초분광 카메라에 적용되는 SWIR 검출기의 광량에 따른 출력의 비선형성을 제거하여 검출기의 출력을 기존의 복사보정보다 정확하게 복사휘도 값을 변환할 수 있는 개선된 복사보정 기법을 제안한다. 본 논문에서는 먼저 기존 초분광 카메라의 복사보정 과정에 대해 설명하고, 2차 방정식으로 검출기 출력과 복사휘도와의 관계를 모델링하고, 적분시간 보상 함수를 분수 함수 형태로 모델링하여 비선형 특성을 보상하여 기존 복사보정 기법에 비하여 훨씬 정확하게 복사휘도로 변환할 수 있는 개선된 복사보정 기법에 대해 기술하고자 한다.

II. Preliminaries

1. Radiometric Calibration Process for Hyper-Spectral Camera

push-bloom 방식의 초분광 카메라에서 적용되는 검출기는 시간방향의 라인에 대한 공간, 파장대역의 2차원 데이터 (spatial \times wavelength)를 출력한다. 이렇게 출력되는 검출기 영상은 광학적/전자적 불균일로 동일한 복사휘도에 대해 픽셀

별로 다른 출력 값을 가지기 때문에 복사보정을 수행한다. 일반적인 초분광 복사보정은 영상의 각 픽셀별 Offset을 측정하여 영상의 불균일을 제거하고 영상의 출력 값이 절대 복사휘도 값을 갖도록 복사보정 계수를 얻어 보정을 수행한다. 다음은 각 픽셀 별 출력과 복사휘도 사이의 관계식을 나타낸다. [8-12].

$$R'(i,j) = G(i,j) \cdot [N_{t_{in}}(i,j) - D_{t_{in}}(i,j)] \quad (1)$$

위 수식에서 $N_{t_{in}}$ 은 적분시간 t_{in} 에서 현재 획득한 검출기 출력 값을 나타내고, $D_{t_{in}}$ 은 현재 획득한 검출기의 암전류 출력 값을 나타낸다. i 는 샘플(spatial) 방향, j 는 파장(wavelength) 방향의 픽셀 위치를 나타낸다. 또한 G 는 검출기 출력을 절대 분광 복사휘도로 변환해주는 복사보정 계수이다. 식 1은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R'(i,j) = G(i,j) \cdot DN_{t_{in}}(i,j) \quad (2)$$

복사보정계수를 산출하기 위하여 먼저 Fig 2의 QTH(Quartz Tungsten Halogen) 램프와 적분구를 이용하여 기준 적분시간 t_{ref} 일 때 백색 기준 분광 영상 $W_{t_{ref}}$ 와 암전류 기준 분광 영상 $D_{t_{ref}}$ 를 획득한다. 다음으로 분광 복사기를 이용하여 $W_{t_{ref}}$ 의 절대 복사휘도 분광 프로파일 R_{ref} 를 측정한다.



Fig. 2. Image acquisition equipment for radiometric Calibration

복사보정 계수 G 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G(i,j) = \left[\frac{R_{ref}(j)}{W_{t_{ref}}(i,j) - D_{t_{ref}}(i,j)} \right] \quad (3)$$

식 1의 R' 는 복사보정계수와 입력 분광 영상 간 적분시간의 차이를 다음과 같이 보상할 수 있다.

$$R(i,j) = R'(i,j) \cdot \frac{t_{ref}}{t_{in}} \quad (4)$$

기존 복사보정은 실시간 처리를 위하여 복사보정 계수 G 를 LUT(Look-Up Table)로 만들어서 적용한다. 다음은 기존 복사보정 과정의 기능 흐름도이다.

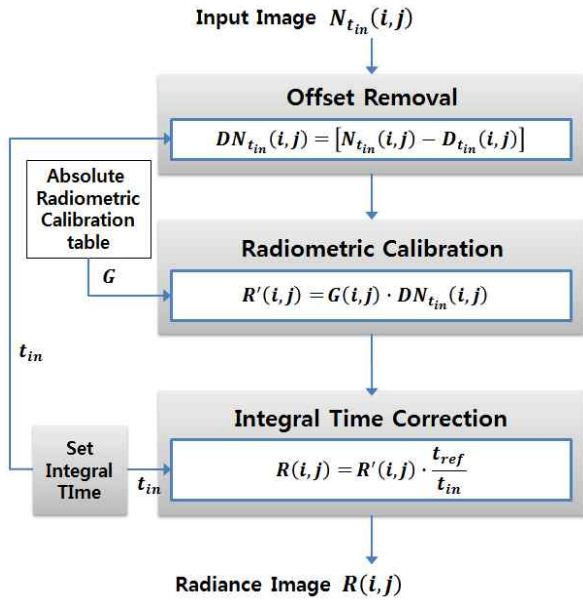


Fig. 3. Functional flow diagram for conventional radiometric calibration method

기존 복사보정은 식 1과 같이 입력 광량에 따른 검출기 출력과 복사휘도 사이의 관계를 선형적이라고 가정하여 1차 방정식으로 모델링한다. 반면 검출기 출력과 복사휘도 사이의 관계가 비선형적인 경우에는 이러한 가정과 다르므로 복사보정의 결과가 부정확하게 도출될 수 있다.

III. The Proposed Scheme

1. Nonlinear Response of Detector

push-bloom 방식의 초분광 카메라에는 주로 VNIR(Visible Near InfraRed)와 SWIR(Short Wave InfraRed) 대역의 검출기가 적용된다. 적용되는 검출기의 출력 vs 복사휘도 특성은 일반적으로 선형적으로 알려져 있다. 반면 검출기 제작 공정 또는 환경적 원인으로 비선형적인 특성이 크게 나타낼 수 있다. Fig 4는 SWIR 검출기의 특정 공간 및 파장위치 픽셀에서 입력 광량에 따른 출력 vs 복사휘도의 비선형적 관계의 예를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 검출기 픽셀의 출력이 낮은 저조도 상황에서 특히 비선형 특성이 더욱 커짐을 알 수 있다.

이러한 검출기의 비선형적인 특성으로 인하여 복사보정 시 검출기 출력에 대한 정확하지 못한 분광 복사휘도 값이 계산될 수 있다. 특히 저조도 환경에서는 그 영향이 더욱 커질 수 있다. 본 논문에서는 이러한 검출기 비선형 특성을 보상하기 위하여 2단계의 모델링을 통한 복사 보정 기법을 제안한다.

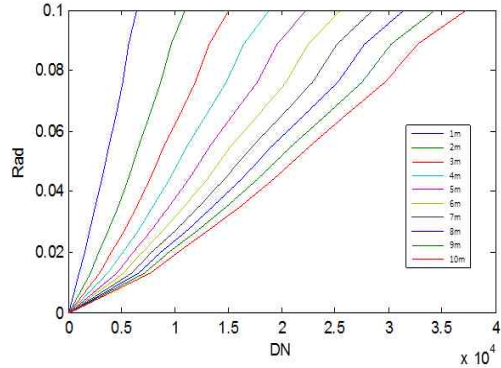


Fig. 4. Detector output vs radiance according to various integral times

2 Radiometric Calibration Process with Compensation of Nonlinearity of Detector

2.1 Radiometric Calibration Coefficient Using Quadratic Equation

Fig 4에서 볼 수 있듯이 검출기 출력 vs 복사휘도의 관계는 1차 방정식의 형태보다는 2차 방정식의 형태를 가진다. 특히 저조도 상황에서 더욱 그러하다. 따라서 이러한 비선형 특성을 보상하기 위하여 제안하는 기법은 기존 1차 방정식을 확장한 2차 방정식을 이용하여 검출기의 출력 vs 복사휘도 관계를 다음 식 5와 같이 나타낼 수 있다.

$$R' = G_1(i, j) \cdot DN_{t_{in}}(i, j)^2 + G_2(i, j) \cdot DN_{t_{in}}(i, j) \quad (5)$$

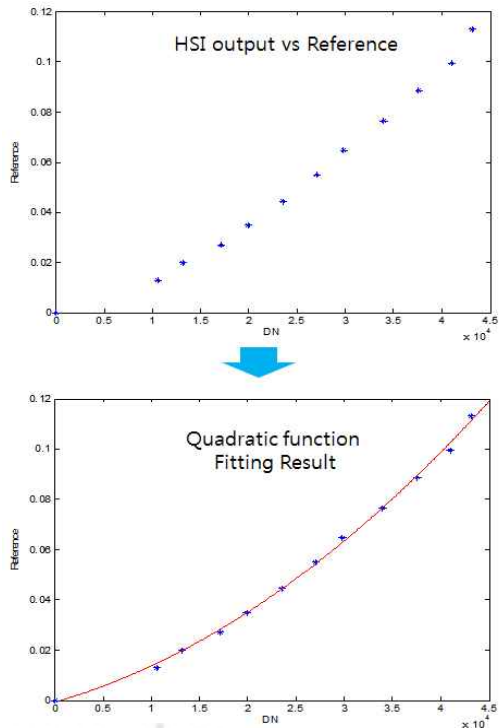


Fig. 5. Result of quadratic function fitting($t_{ref}=10ms$)

G_1, G_2 는 복사보정 계수를 나타낸다. 제안하는 알고리즘의 복사보정 계수를 구하기 위하여 먼저 각 검출기 픽셀에 대하여 다양한 적분시간에 따른 Fig 4와 같이 검출기 출력 vs 복사휘도 데이터를 획득한다. 획득된 데이터 중 기준 적분시간 t_{ref} 에 대한 데이터를 선택하고, 각 픽셀 별 2차 함수 추정을 수행하여 복사보정 계수 G_1, G_2 를 구한다. Fig 5는 t_{ref} 가 10ms인 경우 특정 픽셀의 출력 vs 복사휘도 데이터에 대한 2차 함수 추정 결과를 나타낸다.

2.2 Integral Time Correction Coefficient Using Fractional Function

식 4에서 볼 수 있듯이 기존 복사보정은 현재의 검출기 적분 시간과 기준 영상(W_{ref}, D_{ref}) 획득 시의 적분시간 차이를 보상하기 위하여 복사보정 계수에 t_{in}/t_{ref} 를 곱한다. 반면 검출기의 특성이 비선형적이면 이러한 적분시간의 보상방법이 정확하지 못할 수 있다.

제안하는 기법에서는 분수함수로 각 픽셀 별 적분시간 보상 계수를 모델링 한다. 먼저 각 적분시간에 따른 검출기 출력 vs 복사휘도 데이터를 2차 함수로 추정한다. Fig 6은 Fig 2의 데이터에 대한 2차 함수로 추정 결과를 나타낸다.

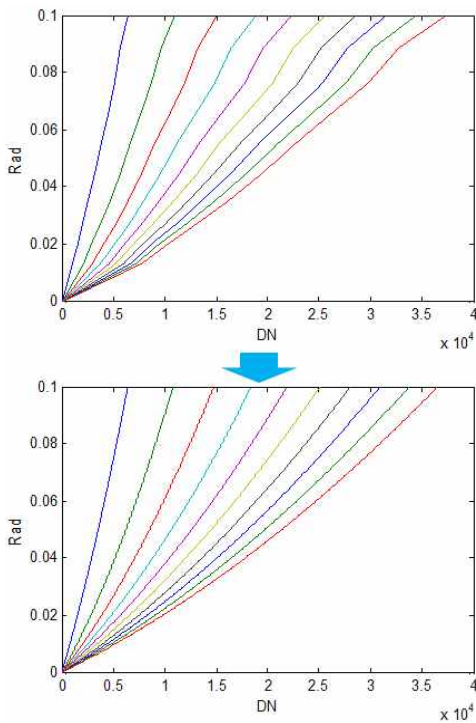


Fig. 6. Result of quadratic function fitting according to various integral times

다음으로 Fig 6에서 얻어진 2차 함수들을 이용하여 기준 적분시간에 따른 복사휘도와 다른 적분시간의 복사휘도 간의 관계를 추출한다. Fig 7은 동일한 검출기 출력 DN 에 대하여 기준 적분시간 t_{ref} 가 10ms 일 때의 복사휘도 $R'(10ms, DN)$ 와 적분시간

1ms의 복사휘도 $R'(1ms, DN)$ 의 관계를 그래프로 나타낸다.

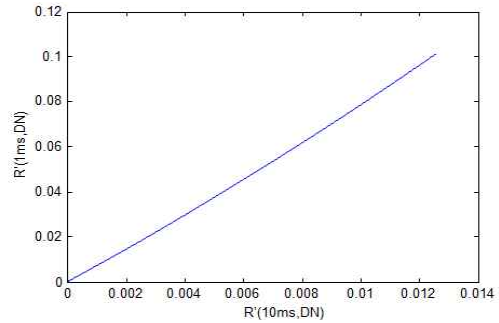


Fig. 7. $R'(10ms, DN)$ vs $R'(1ms, DN)$

Fig 7에서 볼 수 있듯이 기준 적분 시간과 다른 적분시간에 따른 복사휘도의 관계는 매우 선형적이다. 따라서 식 6과 같이 1차 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$R'(t, DN) = \alpha \cdot R'(t_{ref}, DN) \tag{6}$$

각 적분시간 t 에 따른 식 6의 α 는 Fig 7에서 획득된 데이터를 이용하여 1차 함수 추정으로 계산될 수 있다. Fig 8은 Fig 6의 데이터를 이용하여 기준 적분시간 10ms에 대한 1~10ms 각 적분시간의 α 값을 나타낸다.

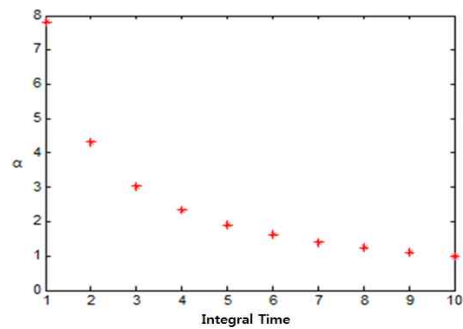


Fig. 8. Result of α for various integral times (1~10ms, $t_{ref}=10ms$)

Fig 8에서 볼 수 있듯이 α 값의 변화는 분수함수의 형태를 나타낸다. 따라서 각 적분시간에 따른 α 값의 변화를 식 7과 같이 분수 함수로 나타낼 수 있다.

$$C_{int}(i, j) = \frac{t_{ref}}{C_1(i, j) \cdot t_{in} + C_2(i, j)} + C_3(i, j) \tag{7}$$

식 6의 C_{int} 는 기준 적분시간 t_{ref} 에 대한 현재 초분광 카메라에 설정된 적분시간 t_{in} 의 적분시간 보상 계수이다. C_1, C_2, C_3 의 최적 값은 Fig 8의 α 의 변화 데이터를 이용하여 찾을 수 있다. Fig 9는 Fig 8에 대한 $C_{int}(i, j)$ 의 분수 함수 추정 결과를 나타낸다.

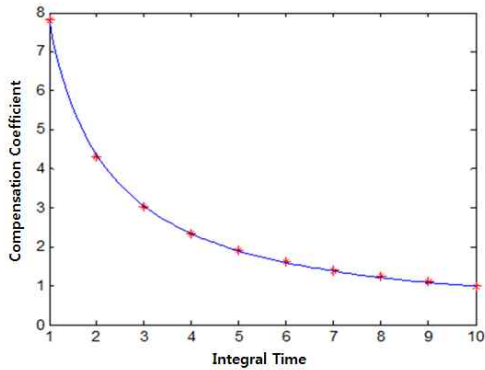


Fig. 9. Result of fractional function fitting for variation of α

마지막으로 식 5와 식 7을 통하여 제안하는 초분광 카메라의 복사보정 기법은 식 8과 같이 나타낼 수 있다.

$$R(i,k) = R'(i,j) \cdot C_{int}(i,j) \quad (8)$$

3. Summary Of Proposed Algorithm

제안하는 검출기 비선형 특성 보상을 고려한 초분광 카메라 복사보정 알고리즘 과정은 다음과 같다.

영상

4) $D_{t_{in}}(i,j)$: t_{in} 로 설정된 공간(i)×파장(j) 크기의 암전류

영상

5) $DN_{t_{in}}(i,j)$: 입력영상에서 오프셋을 제거한 영상

6) G_1, G_2 : 2차 함수 추정을 위한 값

7) $R'(i,j)$: 2차 함수를 이용한 복사보정 영상

8) C_1, C_2, C_3 : 분수함수 추정을 위한 값

9) $C_{int}(i,j)$: 분수함수를 이용한 적분시간 보상계수

10) $R(i,j)$: 복사보정 영상

먼저 제안한 알고리즘에서 사용하는 G_1, G_2, C_1, C_2, C_3 의 복사보정 계수들은 각 검출기 픽셀 별로 사전에 계산하여 복사보정 테이블을 만들고, 알고리즘 수행 시 적용된다.

첫 번째 단계는 적분시간 t_{in} 으로 획득된 분광 영상에서 오프셋을 제거한다. 두 번째 단계는 파장별로 기 확보한 절대 복사보정 테이블 값 중 G_1, G_2 를 이용하여 2차 함수 복사보정을 수행한다. 세 번째 단계는 절대 복사보정 테이블 값 중 C_1, C_2, C_3 와 설정된 적분시간을 이용하여 적분시간 보상계수를 계산한다. 마지막 단계는 복사보정 수행 영상과 적분시간 보상계수를 곱하여 최종 복사보정 수행 영상을 추출한다.

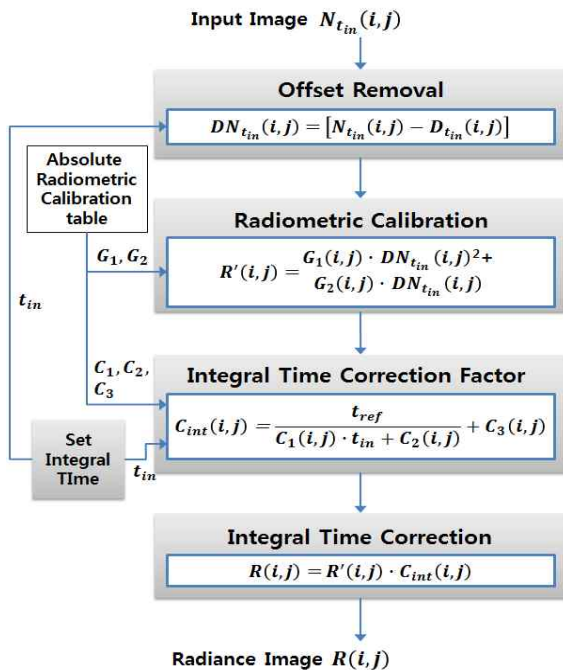


Fig. 10. Functional flow diagram for our proposed radiometric calibration method

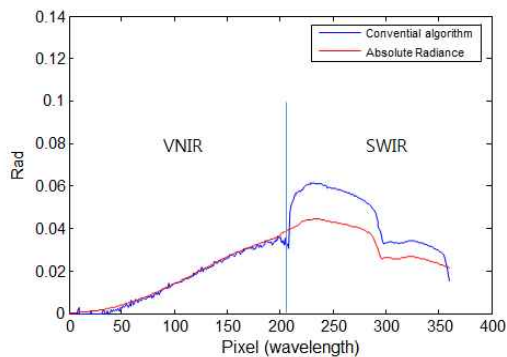
- 1) t_{in} : 초분광 영상 획득 시 설정한 적분시간
- 2) t_{ref} : 기준영상 획득 시 설정한 적분시간
- 3) $N_{t_{in}}(i,j)$: t_{in} 로 설정된 공간(i)×파장(j) 크기의 검출기

IV. Experiment

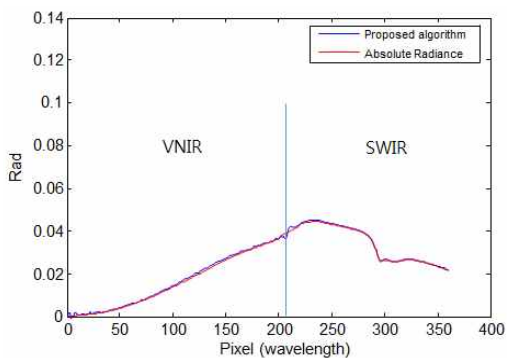
본 논문에서는 제안하는 기법의 타당성을 보이기 위하여 국내 개발된 초분광 카메라의 VNIR + SWIR 대역 검출기에 대한 복사보정 결과를 제시한다.

먼저 Fig 2의 QTH 램프와 적분구를 이용하여 초분광 영상 장비의 적분시간 별, 입력 광량 별 초분광 영상을 획득한다. 또한 분광복사기를 이용하여 각 입력 광량 별 절대 복사휘도 데이터를 획득하였다. 획득된 영상데이터를 이용하여 제안하는 기법의 복사보정 계수를 계산하고 QTH 램프의 입력전압 50V, 60V, 적분시간 5ms, 10ms일 때 획득된 초분광 영상에 대하여 제안하는 기법과 기존 기법의 복사보정 결과를 비교하였다.

Fig 11에서는 QTH 램프의 입력 전압을 50V로 설정하고 적분시간을 5ms로 설정했을 때 제안하는 기법과 기존 복사보정 기법의 결과를 볼 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 초분광 카메라의 VNIR 대역 검출기는 매우 선형적인 특성을 가지고 있어 제안하는 기법과 기존 기법 모두 복사휘도 프로파일을 적절히 계산하였다. 반면에 SWIR 대역 검출기는 비선형 특성이 커 기존 기법은 정확한 복사휘도 프로파일을 계산하지 못하였지만 제안하는 기법은 정확한 복사휘도 프로파일을 계산하였다. Fig 12-14에서도 동일하게 제안하는 기법이 기존 기법보다 SWIR 영역에서 복사휘도 프로파일을 정확히 계산하였다.

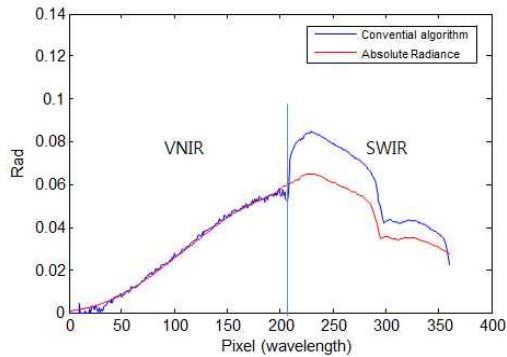


(a) Result for conventional method

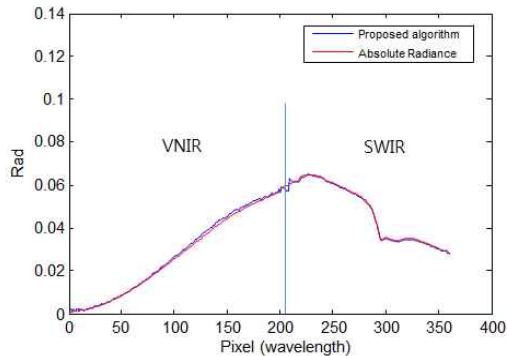


(b) Result of our proposed method

Fig. 11. Result of radiometric calibration methods (QTH Lamp : 50V, integral Time : 5ms)

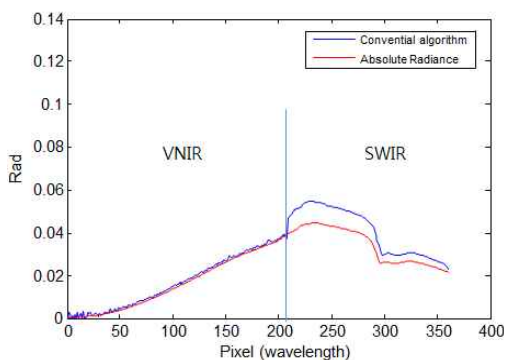


(a) Result for conventional method

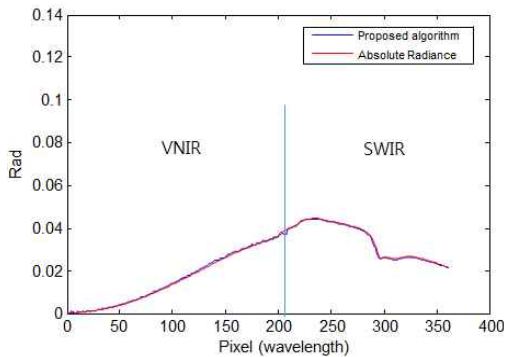


(b) Result for our proposed method

Fig. 13. Result for radiometric calibration methods (QTH Lamp : 60V, integral Time : 5ms)

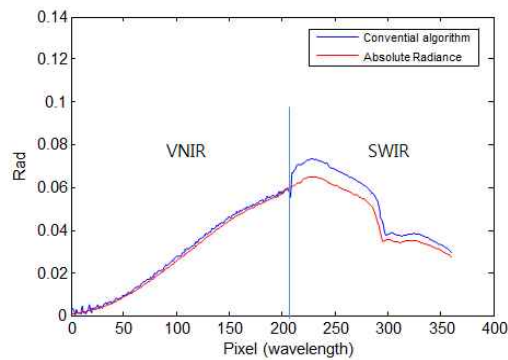


(a) Result for conventional method

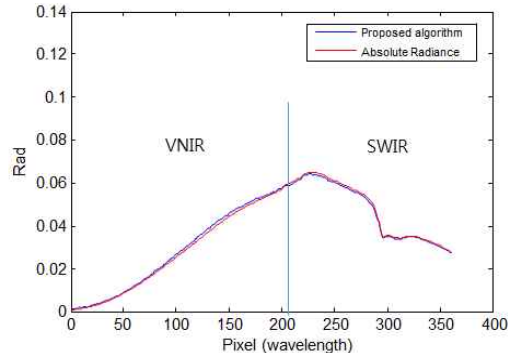


(b) Result for our proposed method

Fig. 12. Result for radiometric calibration methods (QTH Lamp : 50V, integral Time : 10ms)



(a) Result for conventional method



(b) Result for our proposed method

Fig. 14. Result for radiometric calibration methods (QTH Lamp : 60V, integral Time : 10ms)

V. Conclusions

초분광 영상장비는 특정 파장 구간을 수백 개의 미세 파장으로 분광하여 물체의 고유한 반사율 프로파일을 획득하여 이를 기반을 표적을 탐지/분류할 수 있으므로 기존의 영상장비보다 탐지/분류 능력을 더욱 향상시킬 수 있다. 이러한 초분광 영상장비는 은폐된 적의 탐지, 식생분석, 지질분석 등 매우 다양하게 활용되고 있다.

본 논문에서는 국내 최초로 개발된 push-bloom 방식의 초분광 영상장비에서 사용되는 SWIR 검출기의 비선형 특성을 보상하여 미세한 파장으로 분광된 입력 분광데이터를 정확한 복사휘도를 변환할 수 있는 복사보정 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 먼저 2차 함수를 이용하여 검출기 출력과 복사휘도와의 관계를 모델링하고, 분수함수를 이용하여 적분시간에 따른 SWIR 검출기 비선형 특성을 보상하였다. 또한 복사보정의 실시간 처리를 위하여 제한한 복사보정 계수를 LUT(Look-Up Table) 형태로 적용할 수 있는 신호처리 구조도 제안하였다. 제안 기법의 타당성을 보이기 위하여 실제 초분광 영상의 특정 픽셀에 대한 분광 프로파일에 대한 복사보정을 수행하였다. 실험결과에서 확인할 수 있듯이 SWIR 검출기의 비선형으로 기존 기법은 정확한 복사휘도로 변환하지 못하는 반면 제안하는 기법은 기준 복사휘도와 거의 동일한 복사휘도 분광프로파일로 변환하였다.

REFERENCES

- [1] Hong, Suk-Min, "Image Acquisition and Analysis by Hyper Spectral Sensor," The Korea Institute of Military Science and Technology, Annual Conference Journal Vol. 2, pp. 591-594, Sep. 2002.
- [2] Kim, Sun-Hwa; Lee, Kyu-Sung; Ma, Jung-Lim; Kuk, Min-Jung, "Current Status of Hyperspectral Remote Sensing: Principle, Data Processing Techniques, and Applications," Korea journal of Remote Sensing, Vol. 21 No. 4, pp. 341-369, Aug. 2005.
- [3] Jeong, Jun-Ho; Kim, Jae-Hyup, "Measure Radiation and Correct Radiation in IR camera Image," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 20, No. 4, pp. 57-67, Mar. 2015.
- [4] Kim, Yeon-Soo, "Military use of Hyper Spectral Technology," Optical science and technology, Vol. 16 No. 4, pp. 36-40, Oct. 2012.
- [5] Chang, An-jin; Choi, Jae-wan; Song, Ah-ram; Kim, Ye-ji; Jung, Jin-ha, "Vicarious Radiometric Calibration of RapidEye Satellite Image Using CASI Hyperspectral Data," Journal of Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 23, No. 3, pp. 3-10, Sep. 2015.
- [6] Choe Se-woon; Woo, Young-woon, "Application of Hyperspectral Imaging System to Analyze Vascular Alteration for Preclinical Models," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 20, No. 4, pp. 69-76, Mar. 2015.
- [7] Yang, Jeong-Kyu; Park, Hee-Duk, "Real Time Relative Radiometric Calibration Processing of Short Wave Infra-Red Sensor for Hyper Spectral Imager," Journal of The Korea Society of Computer and Information, 21(11), pp1-7, 2016.
- [8] Shin, Jung-Il; Yasser Maghsoudi; Kim, Sun-Hwa; Kang, Sung-Jin; Lee, Kyu-Sung, "Vicarious Radiometric Calibration of the Ground-based Hyperspectral Camera Image," Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 24, No. 2, pp. 213-222, Apr. 2008.
- [9] Michael T Eismann, "Hyperspectral remote sensing," SPIE press, Bellingham, 725 page, 2012.
- [10] Zadnik, J.; Guerin, D.; Moss, R.; Orbeta, A.; Dixon, R.; Simi, C. G.; Dunbar, S. and Hill, S., "Calibration procedures and measurements for the COMPASS hyperspectral imager," Proc. SPIE Vol. 5425, pp. 182-188, Aug. 2004.
- [11] Green, R. O.; Eastwood, M. L.; Sarture, C. M.; Chrien, T. G.; Aronsson, M.; Chippendale, B. J.; Faust, J. A.; Pavri, B. E.; Chovit, C. J.; Solis, M.; Olah, M. R. and Williams, O., "Imaging Spectroscopy and the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS)," Remote Sensing of Environment, Vol. 65, pp. 227-248, Sep. 1998.
- [12] Thomas G. Chrien; Robert O. Green; Michael L. Eastwood, "Accuracy of the spectral and radiometric laboratory calibration of the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer," Proc. SPIE 1298, Imaging Spectroscopy of the Terrestrial Environment, Vol. 37, Sep. 1990.

Authors



Ji Hyeon Yang received the B.S. degrees in Computer Education from Sungkyunkwan University, Korea, in 2010. Since 2008, he has been an engineer at Hanwha-Systems Co. His research interests include Image & Signal Processing.



Byung in Choi received the B.S, Master, and Ph. D. degree in electronic engineering from Hanyang University, Korea in 1989, 1991 and 2004. Since 2008, he has been a chief engineer at Hanwha-Systems Co. His research interests include image processing, multi-target detection and tracking, pattern recognition, and their applications.



Hee Duk Park received the B.S. degrees in Electronics Engineering from Kyunghee University, Korea, in 2003 and M.S. degrees in Electronics Engineering from Sungkyunkwan University, Korea, in 2015. Since 2002, he has been a Senior engineer at Hanwha-Systems Co. His research interests include Digital Image Processing of Short Wave IR ,Middle Wave IR and Long Wave IR.



Sohyun Kim received the B.S. degree in Physics from Sogang University in 1998 and M.S. degree in information and communications from GIST, Korea in 2000. Since 2002, she has been a senior Researcher at Agency for Defense Development Her research interests include Image Processing especially, automatic video tracking area.



Yong Chan Park received the B.S. and M.S degrees in Electronics Engineering from Busan National University, Korea in 1989 and 1991. Since 1991, he has been a principal Researcher at Agency for Defense Development His research interests include Digital Image Processing of Short Wave IR ,Middle Wave IR and Long Wave IR.