

Real Time Relative Radiometric Calibration Processing of Short Wave Infra-Red Sensor for Hyper Spectral Imager

Jeong-Gyu Yang*, Hee-Duk Park**

Abstract

In this paper, we proposed real-time relative radiometric calibration processing method for SWIR(Short Wavelength Infra-Red) sensor using 'Hyper-Spectral Imager'. Until now domestic research for Hyper-Spectral Imager has been performing with foreign sensor device. So we have been studying hyper spectral sensor device to meet domestic requirement, especially military purpose. To improve detection & identify capability in 'Hyper-Spectral Imager', it is necessary to expend sensing wavelength from visual and NIR(Near Infra-Red) to SWIR. We aimed to design real-time processor for SWIR sensor which can control the sensor ROIC(Read-Out IC) and process calibrate the image. To build Hyper-Spectral sensor device, we will review the SWIR sensor and its signal processing board. And we will analyze relative radiometric calibration processing method and result. We will explain several SWIR sensors, our target sensor and its control method, steps for acquisition of reference images and processing result.

▶ Keyword : SWIR, hyper-spectral imager, Radiometric Calibration

1. Introduction

영상센서는 전장에서 적군의 시설 및 장비를 감시·정찰하고 표적을 탐지·추적하기 위한 용도로 활용되고 있다. 가시광선 영역, 중적외선 영역 그리고 원적외선 영역의 파장을 검출하여 생성된 단일대역 혹은 다중대역(Multi-Spectral) 2차원 영상을 이용한다. 영상장비를 이용한 표적의 탐지 및 식별 능력 향상을 위해 뛰어난 공간해상도(Spatial resolution)와 복사해상도(Radiometric resolution) 성능이 요구되지만 기술적 한계로 인하여 해상도를 계속 늘려나가는 데에는 어려움이 있다[1-3]. 더욱이 영상센서에 의해 탐지되는 것을 피하기 위해 시설 및 장비를 위장막으로 은폐하는 상황은 전장에서 흔히 마주하게 되지만 기존의 단일 혹은 다중대역영상으로는 위장막에 의해 가시적 정보가 변형되어 영상자료에 기반을 둔 표적 판독 능력은 감소된다[4]. 이와 같은 정보획득의 한계를 극복하기 위해 검출 가능한 파장구간을 수백 개의 미세 파장으로 초분광하여

수집하는 개념이 연구되었고 초분광 영상을 통해 물질에서 반사되는 분광특성곡선을 얻고 이를 구축된 분광특성 데이터베이스를 통해 표적을 둘러싼 물질을 판별하여 탐지할 수 있게 되었다. 실제표적과 거짓표적은 반사하는 분광특성이 다르며 실제 자연환경과 위장막으로 덮은 지역 또한 상이한 분광특성을 가지게 되므로 판별이 용이해지는 것이다.

초분광에 대한 연구는 최근까지 해외의 초분광 센서장치를 도입하여 출력된 영상을 국내기술로 처리하는 방식으로 진행되었으나[5-6] 전장에서 필요한 다양한 요구사항에 맞는 장비를 제작하고 지원하기 위해 센서장치에 대한 연구를 진행하였다.

초분광 센서장치의 탐지영역은 적외선을 구성하는 근적외선(Near-IR, 0.75~1.4 μm), 단적외선(Short Wavelength-IR, 1.4~3.0 μm), 중적외선(Middle Wavelength-IR, 3.0~8.0 μm) 그리고 장적외선(Long Wavelength-IR, 8.0~15.0 μm)으로 확장가능하다. 적외선을 검출하는 센서는 수동형 복사열 감지방식과 능동형 반사광 감지방식의 두 가지 방식으로 나눌 수 있

• First Author: Jeong-Gyu Yang, Corresponding Author: Jeong-Gyu Yang
*Jeong-Gyu Yang (jeonggyu.yang@hanwha.com), Image Sensor Team, Hanwha Systems Company
**Hee-Duk Park (heeduk.park@hanwha.com), Image Sensor Team, Hanwha Systems Company
• Received: 2016. 11. 02, Revised: 2016. 11. 11, Accepted: 2016. 11. 16.
• This work was supported by Agency for Defense Development.

는데[7] 이번 연구에서는 광원에 반사되어진 빛을 감지하는 방식의 센서인 가시광+근적외선(VNIR) 및 단적외선(SWIR) 센서를 이용한 장비를 설계하고자 하며 그 중 단적외선(SWIR)센서를 제어하고 검출된 영상을 수신하는 회로를 구성하고 Raw영상을 상대복사보정 처리하는 실시간 영상처리 회로의 개발 결과를 기술하고자 한다.

II. Preliminaries

1. Types and consideration factors of SWIR sensor

단적외선 센서는 센서를 구성하는 물질로 분류 할 수 있다. 인듐 비소화물(Indium Arsenide)과 갈륨 비소화물(Gallium Arsenide)의 합금인 InGaAs 재료의 센서, 인듐(Indium)과 안티몬(Antimonide)의 화합물인 InSb재료의 센서 그리고 수은(Mercury, Hg), 카드뮴(Cadmium, Cd), 텔루륨(Telluride, Te)의 화합물인 MCT 재료의 센서이다. 단적외선 센서는 적용된 재료에 따라 검출파장대역, 검출면의 동작온도 등이 달라지며 적용 시스템에 따라 센서 선정에 중요한 요소로 작용한다 [8-10].

센서의 해상도는 높을수록 분해능이 높아져 유리하다 하지만 동일한 픽셀간격에서 해상도가 높아지면 검출면(Focal Palne Array, FPA)의 면적이 넓어져 광학계 구성에 영향을 미친다. 초분광 영상장비의 경우 입사된 광원이 분광광학계에 의해 분광되어 FPA의 각 픽셀에 도달하는 광량이 현저히 적어지기 때문에 픽셀간격이 작은 경우 촬영된 영상의 수준이 낮아질 수 있다. 그러므로 가용한 센서 후보 중 해상도와 픽셀간격

은 동시에 고려되어야 한다. 같은 이유로 양자화율(Quantum Efficiency)과 Full Well Capacity도 충분해야 한다. 입사된 광원이 전자로 치환되는 비율을 나타내는 양자화율은 높은 것이 광량의 수집에 유리하며 Full Well Capacity도 양자화율에 따라 높아져야 한다.

단적외선 센서의 검출파장대역은 1.7 μ m까지 검출 가능한 InGaAs형 센서와 2.5 μ m까지 검출 가능한 InSb센서, MCT센서로 구분된다. 차이가 나는 1.7~2.5 μ m 구간은 수분(H₂O)에 의해 광원이 투과하지 못하는 구간이 존재하고 나머지 대역의 투과율이 낮은 특성이 있다. 재료의 특성상 InGaAs는 상온에서 동작이 가능하며 InSb는 절대온도 80K, MCT는 절대온도 150K에서 동작 가능하다. InGaAs를 제외한 InSb와 MCT는 냉각기의 장착으로 인해 센서의 크기와 무게가 상대적으로 커진다. 목표하는 시스템의 촬영 목적 그리고 물리적 요구사항을 고려하여야 할 부분이다.

영상 갱신률(Frame Rate)은 목표 시스템의 촬영 방식에 따라 제한이 필요하다. 비행체에 장착하는 시스템의 경우 촬영 고도와 비행체의 속도를 고려하여 최소 영상 갱신률을 제한하여야 할 것이다. 그리고 같은 이유로 셔터방식을 확인할 필요가 있다. 센서의 촬영방식은 Rolling Shutter방식과 Global Shutter 방식으로 나누어지는데 이동(비행)하며 촬영하는 시스템에서는 Global Shutter 방식을 적용하여야 할 것이다.

2. Radiometric calibration for SWIR sensor

초분광 영상의 복사보정이란 FPA 불균일과 같은 센서장치의 결점을 보정하고, 초분광 영상으로부터 정보의 추출과 분석을 위해 의미 있는 물리적인 값으로 데이터 큐브를 변환하는 것을 의미한다. 초분광 영상장비의 절대복사보정을 위해 NIST 표준을 따르는 램프와 흑체광원과 같은 기준 광원을 사용한다. 복사보정은 상대적으로 수행되기도 하는데, 표준광원 없이 단

Table 1. SWIR sensor for hyperspectral imager

Name	Cactus SW 640	Snake SW	Cardinal SW	SNIR	Saturn SW	Neptune SW	ActiR-1024
Manufacturer	Sofradir (France)	Sofradir (France)	SCD (Israel)	SCD (Israel)	Sofradir (France)	Sofradir (France)	AIM (Germany)
Material	InGaAs	InGaAs	InGaAs	InSb	MCT	MCT	MCT
Resolution	640 x 512	640 x 512	640 x 512	640 x 512	1000 x 256	500 x 256	1024 x 256
Pixel pitch	25 μ m	15 μ m	15 μ m	15 μ m	30 μ m	30 μ m	24x32 μ m
Wavelength	0.9~1.7 μ m	0.9~1.7 μ m	0.9~1.7 μ m	0.4~2.5 μ m (Option)	0.8~2.5 μ m	0.8~2.5 μ m	0.9~2.5 μ m
Cooler	TEC	TEC	TEC	Rotary	Linear	Rotary	Linear
Full Well Capacity (e ⁻)	93k/2.5M	43k / 120k / 1.44M	12k/0.6M	0.8M/3M	0.5M/2.5M	0.5M/2.5M	0.3M/1.2M
Quantum Efficiency	> 70% @ (1 μ m ~ 1.6 μ m)	> 70% @ (1 μ m ~ 1.6 μ m)	>80% @ 1.55 μ m	-	>60%	>60%	> 60%
ROIC Noise (e ⁻)	<150	30(gain0)	45(H-gain)/ 180(L-gain)	100(H-gain)/ 500(L-gain)	150(gain1)/ 350(gain2)	150(gain1)/ 350(gain2)	-
Frame rate	107Hz	300Hz	350Hz	350Hz	240Hz	250Hz	250Hz

지 FPA의 상대적 불균일을 제거하고, 필드를 평평하게 하는 것이다.

복사보정은 두 개의 알려진 복사 휘도 $L_1(i, j)$, $L_2(i, j)$ 에 대해 검출된 신호 $N_1(i, j)$, $N_2(i, j)$ 를 측정함으로써 이득(Gain)계수 g 와 오프셋(Offset) 계수 d 를 결정하는 것으로 정의할 수 있다. 이와 같이 알려진 두 개의 복사휘도를 측정하여 보정하는 방식을 2점 복사 보정이라고 한다.

2.1 Obtain sensor dark current image

2점 복사보정을 위한 첫 단계로 암전류 영상을 획득한다. 셔터를 닫은 상태에서 초분광 영상장비에 입사되는 파장별 복사휘도를 $L_1(\lambda)$ 라고 하고, 이때 센서의 출력값을 $N_1(i, k)$ 로 둔다. 이때, i 와 k 는 각각 공간축(Spatial Axis) 및 파장축(Spectral Axis)의 index값을 의미한다.

센서의 암전류에 의해 발생하는 Offset값은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{d}(i, k) = \frac{L_2[\lambda(i, k)]N_1(i, k) - L_1[\lambda(i, k)]N_2(i, k)}{L_2[\lambda(i, k)] - L_1[\lambda(i, k)]} \quad (1)$$

그런데, 셔터를 닫은 상태이므로 $L_1(\lambda) = 0$ 이다. 따라서, 위 수식은 아래와 같이 간략히 쓸 수 있다.

$$\hat{d}(i, k) = N_1(i, k) \quad (2)$$

2.2 Obtain maximum light intensity image

복사보정을 위한 Gain 값을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{g}(i, k) = \frac{N_2(i, k) - N_1(i, k)}{L_2[\lambda(i, k)]} \quad (3)$$

여기서, $L_2[\lambda(i, k)]$ 는 적분구(Integrating Sphere)의 파장별 Radiance 값이고, $N_2(i, k)$ 는 해당광량이 센서장치에 입사되었을 때의 센서 출력값을 의미한다. 최대광량을 획득하기 위한 실험구성은 Fig. 1 과 같다. 적분구로부터 해당 광량을 입사시키기 위해 QTH(Quartz Tungsten Halogen) 램프에서 출력된 빛을 적분구의 입사동(Entrance Aperture)에 입사시키고, 암전류 측정 시와 동일한 시스템 설정을 유지하면서, 초분광 영상장비를 적분구의 출사동(Exit Aperture)에 위치시켜 영상, 즉 $N_2(i, k)$ 를 얻는다.

적분구는 공간적으로 균일한 입사광량을 만들어 주기 때문에, 공간축 i 에 대해서는 모든 광량이 동일하다. 즉, $L_2[\lambda(i, k)] = L_2[\lambda(k)]$ 와 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{g}(i, k) = \frac{N_2(i, k) - N_1(i, k)}{L_2[\lambda(k)]} \quad (4)$$

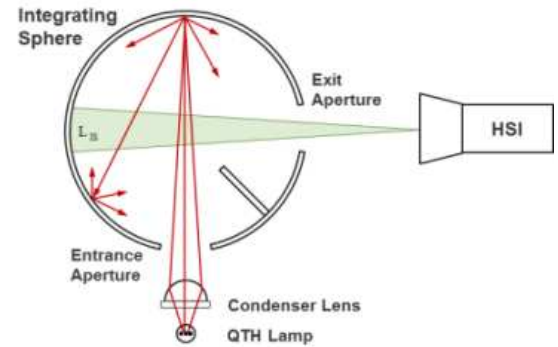


Fig. 1. Test Set up for Radiometric Calibration

2.3 Radiometric calibration operation

획득된 초분광 Raw 영상 $N(i, k)$ 와 복사보정 Offset값 $\hat{d}(i, k)$ 및 Gain값 $\hat{g}(i, k)$ 으로부터 복사보정된 휘도영상 $\hat{I}(i, k)$ 를 다음과 같이 구할 수 있다[11-15].

$$\hat{I}(i, k) = \frac{N(i, k) - \hat{d}(i, k)}{\hat{g}(i, k)} \quad (5)$$

III. System design

1. Hardware structure

1.1 System Structure

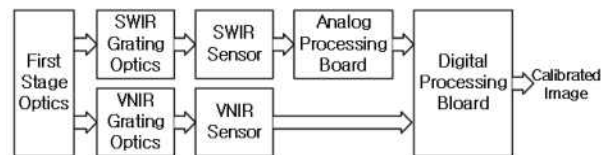


Fig. 2. System structure

목표하는 시스템의 구조는 Fig. 2와 같다. 입사된 광원을 분기하여 두 가지 센서로 입력하며 분광 광학계를 거쳐 각 센서로 입사된다. 단적외선 센서로 들어온 광원은 전기적 신호로 변환되어 아날로그 신호로 출력되며 아날로그 신호처리보드를 통해 디지털 신호로 변환된다. 디지털 신호처리보드에서 디지털 Raw 영상을 수신하고 두 가지 센서의 영상을 특정 구조로 변환하며 보정처리를 거친 후 출력 된다.

1.2 SWIR sensor

단적외선 센서는 위에서 고려한 사항과 목표 시스템의 특성에 따라 프랑스 Sofradir사의 CACTUS 640 SW를 적용하였다.(Fig. 3) Table 1에서 비교한 센서 중 해상도와 픽셀간격, 노이즈 수준 그리고 무게와 냉각시간을 고려하였다. 항공기를 이용해 Push-Broom 방식으로 촬영될 장비의 특성에 따라 공간분해능 목표를 설정하여 Spatial 해상도를 선정하였고 설계된 광학계의 분광분해능(Spectral Resolution)을 고려하여 Spectral 해상도를 결정하였다. 그리고 광학계의 투과율과 초분광된 광량의 저하를 고려하고 또한 선정된 가시광+근적외선 센서와 광학적인 Co-registration을 고려하여 픽셀간격을 결정하였다.

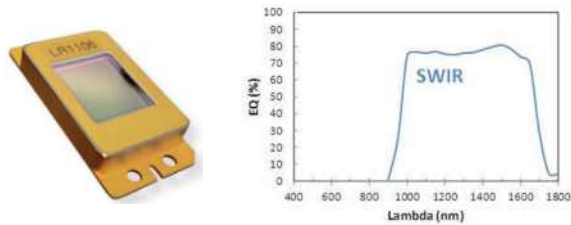


Fig. 3. CACTUS 640 SW & Quantum Efficiency

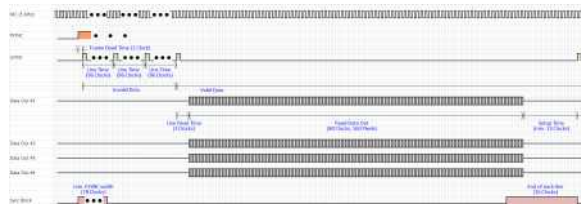


Fig. 4. Output Timing chart

센서의 출력은 4개의 아날로그 신호로 출력된다. 신호처리보드에서 생성하는 클럭과 SYNC 신호에 따라 신호가 출력되며 출력된 신호는 별도의 아날로그-디지털 변환기 (Analog-Digital Converter, ADC)에 의해 디지털 신호로 변환된다. ADC 소자는 센서 출력의 Dynamic Range에 기초하여 결정되었으며 Channel수와 샘플링 속도가 고려되었다.

1.3 Signal processing circuit

근적외선 영상의 실시간 처리를 위해 Xilinx사의 Zynq시리즈를 주 처리장치로 적용하였다. Zynq 디바이스가 내장한 FPGA로직과 ARM코어에 실시간처리에 필요한 절차를 배분하여 설계하였다. Stream되는 영상의 처리는 FPGA에서 담당하고 상대복사보정의 연산 및 기능제어는 ARM코어에서 담당한다.

제안된 회로(Fig. 5)는 2개의 센서로부터 입력된 영상을 하나의 출력으로 내보내는 기능을 가진다. 하나의 출력영상에서 두 개 센서의 영상이 연속적으로 출력되어야 하므로 각 센서의 노출시간, Read-Out 시간의 차이를 고려하여 메모리 저장 후

동시 출력하는 방식으로 설계하였으며 공통된 SYNC 회로를 이용하여 두 개의 센서가 동시에 노출하여 촬영하도록 설계되었다. 메모리에 저장 전/후로 보정 알고리즘이 적용되며 보정이 완료된 영상은 영상의 구조를 정의하는 Valid 신호와 함께 출력된다.

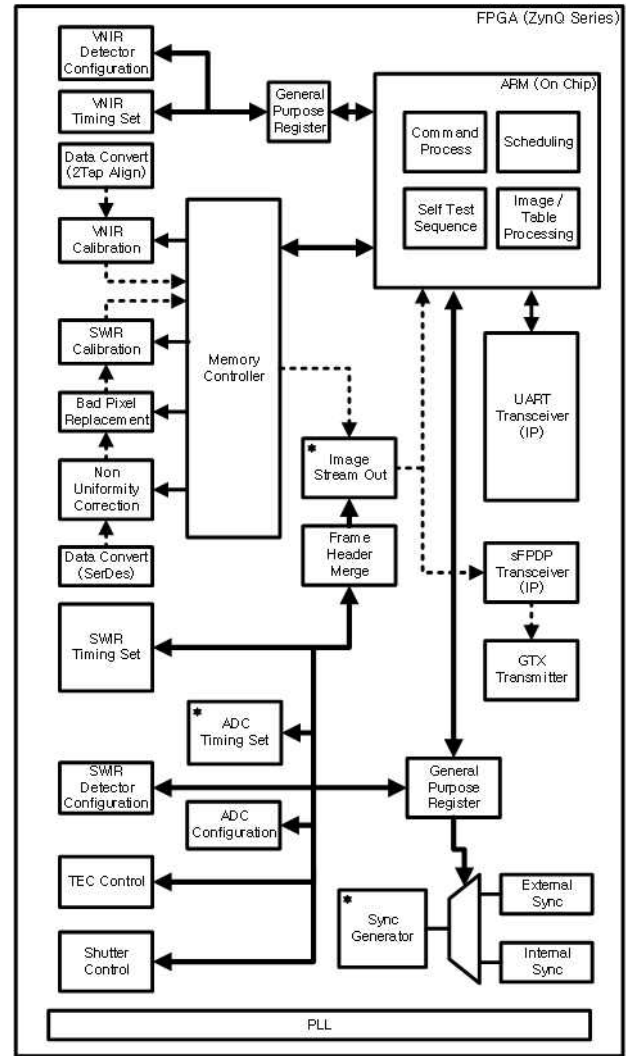


Fig. 5. Digital Processor Block Diagram

2. Radiometric calibration algorithm

수식 (1)(2)(3)(4)를 적용하여 초분광 센서장치의 분광보정 Gain값과 Offset 값을 구할 수 있으며 센서장치가 가지는 모든 공간축과 파장축의 Gain값과 Offset 값을 정렬하여 2차원 Table을 구할 수 있다. 복사보정 Table은 오프라인에서 수행되는 시험을 통하여 획득되며, 신호처리 절차는 Fig. 6과 같다. 복사보정 행렬 중 Offset은 초분광 센서장치에서 셔터를 닫은 상태에서 측정된 암전류 영상과 동일하다.

적분구를 통해 얻은 초분광 영상은 공간적으로 균일하며 수집된 영상이 포화되지 않는 수준에서 수집한다. 오프라인에서 수행되는 복사보정을 통해, 초기 Offset 값 $\hat{d}(i, k)$ 와 Gain 값

$\hat{g}(i, k)$ 을 얻을 수 있다.

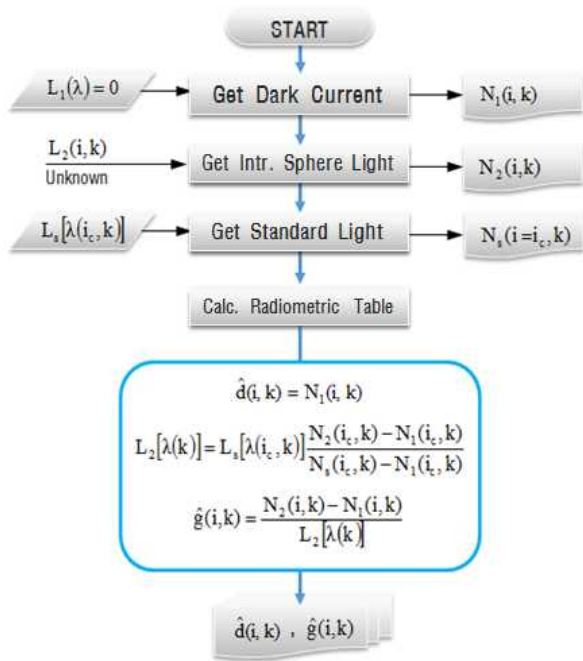


Fig. 6. Radiometric Calibration Sequence diagram

연산되어진 Table을 수식(5)에 적용하여 입력영상을 복사보정한 영상으로 변환 가능하며 그 변환의 실시간 처리를 위해 Fig. 7의 블록도에 제시된 연산처리 알고리즘을 적용하였다. 영상 데이터의 Stream의 출력 시점과 동기화된 Table(Gain/Offset)정보를 입력받아 실시간 연산을 수행하며 Gain과 Offset의 연산을 각 클럭에 분배하여 연산처리 한다.

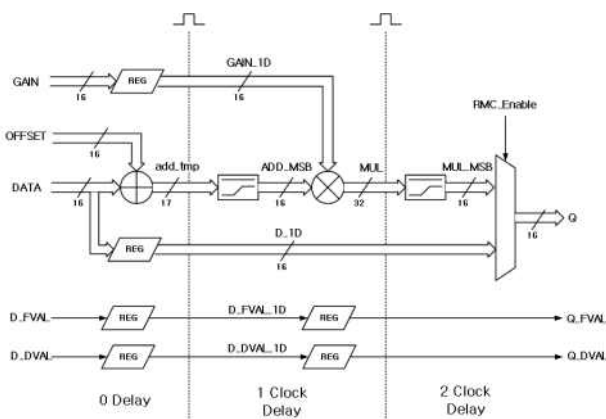


Fig. 7. Algorithm Block Diagram

3. Design and experimental results

설계 및 제작 완료된 신호처리보드의 형상은 Fig. 8과 같다. Zynq 프로세서를 중심으로 Peripheral IC 및 메모리가 장착되어 있고 가시광+근적외선 센서를 수신하기 위한 커넥터와 영상을 출력하기 위한 광커넥터가 조립되어 있다. 단적외선 영상

을 수신하기 위한 회로는 제시된 회로에 적층되어 조립된다.



Fig. 8. Designed Target Board

연구된 복사보정 알고리즘의 효과를 나타내기 위하여 복사보정 전/후 결과영상을 제시한다. 복사보정 Table을 얻기 위한 실험 구성은 Fig. 1과 같다. 영상의 촬영은 실내환경(Fig. 9)과 실외환경(Fig. 10)을 구분하여 촬영되었다. Fig. 9,10의(a)는 복사보정 처리가 이루어지지 않은 센서 출력을 전시한 영상이며 Fig. 9,10의(b)는 (a)의 영상에서 복사보정 연산을 적용한 결과이다.



(a) (b)

Fig. 9. (a)Raw Image (b) Radiometric calibrated image



(a) (b)

Fig. 10. (a)Raw Image (b) Radiometric calibrated image

Schultz와 Caldwell이 제시한 불균일도의 정의는 식(6)과 같다[16-17].

$$UN = \frac{1}{y} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [y_i - \bar{y}]^2}{N}} \quad (6)$$

복사 보정 전/후 영상에서 균일면을 바라본 영역을 추출하여 불균일도 식을 적용한 결과는 Fig. 11과 같다. (불량화소는 연산에서 제외하였다.)

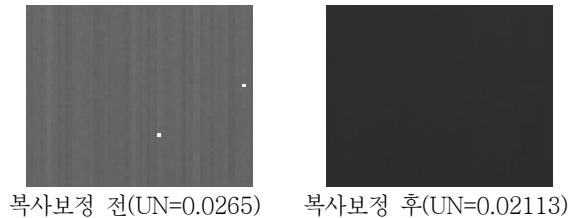


Fig. 11. Result of proposed calibration process

상대복사보정 처리전의 Raw 영상에서는 불균일도가 0.0265이며 상대복사보정 처리후의 영상에서는 0.02113으로 불균일도가 감소된 것을 확인할 수 있다.

IV. Conclusions

초분광 영상장비의 센서장치를 구현하기 위하여 단적외선 영역의 센서를 이용하여 영상을 획득하고 복사보정 처리 소프트웨어를 완성하였다. 이론적으로 알려져 있던 보정절차를 실제 회로를 구성하고 알고리즘으로 구현하여 실제 영상의 보정 효과를 확인하였다. 추가적으로 광학계와 통합을 통해 분광된 광원을 영상으로 확인할 예정이며 절대복사보정 및 분광보정에 대한 연구를 진행 중이다. 분광과장곡선을 얻기 위해서 분광광학계와 통합이 필요하며 광학계와 센서간의 정렬을 통해 분광된 광원과 센서의 Spectral line을 일치시킬 것이다. 수집된 분광곡선을 절대적 수치에 맞게 보정하는 절대복사보정의 연구를 진행 중이며 분광광학계의 Spectral line 결상 오차를 보정하는 분광보정에 대한 연구도 진행 중이다.

초분광 영상은 다중분광영상이 가지고 있는 한계를 극복할 수 있는 영상으로서 가치를 가지고 있으며 정보획득의 수준을 향상시킬 새로운 탐사장비로 대두되고 있다. 은폐된 적의 탐지, 식생분석, 지질분석 등 활용분야가 매우 다양하다[2].

연구의 과정 및 결과자료가 본 목적인 국방분야 뿐만 아니라 지질 및 광물탐지, 식물자원 정보획득, 수질 등의 연구 분야에서도 도움이 되기를 희망한다.

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] Jung, Yong-Taek, "The latest technology trends in the infrared sensor," Hongrung Publishing Company, 212 page, 2014.
- [8] Sensors Limited inc.
<http://www.sensorsinc.com/technology/what-is-ingaas>
- [9] Itay Shtrichman; Tal Fishman, "Spatial resolution of SCD'S InSb 2D detector arrays," Proc. SPIE Vol. 6542 Apr. 2007.
- [10] Tribolet,P.; Destefanis, G., "Advanced MCT technologies in france," SPIE Proceedings Vol. 6542, May 2007.
- [11] 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.
- [12] Michael T Eismann, "Hyperspectral remote sensing," SPIE press, Bellingham, 725 page, 2012.
- [13] 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.
- [14] 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.

- [15] 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.
- [16] Meng Sheng; Juntang Xie; Ziyuan Fu, "Calibration-based NUC Method in Real-time Based on IRFPA," Physics Procedia Vol. 22, pp 372-380, Dec. 2011.
- [17] M.Schulz, L. Caldwell, "Nonuniformity Correction and Correctability of Infrared Focal Plane Arrays," Infrared Physics & Technology, Vol. 36, pp 763-777, Jun. 1995.

Authors



Jeong Gyu Yang received the B.S. degrees in Electronics Engineering from Yeungnam University, Korea, in 2009.

Mr. Yang joined the Image Sensor Team of Hanwha Systems, Korea, in 2009. He is currently a Engineer in the Electro-optics · PGM R&D Site, Hanwha systems. He is interested in Digital Image Processing of Short Wave IR and Middle Wave IR.



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

Mr. Park joined the Image Sensor Team of Hanwha Systems, Korea, in 2002. He is currently a Senior Engineer in the Electro-optics · PGM R&D Site, Hanwha systems. He is interested in Digital Image Processing of Short Wave IR ,Middle Wave IR and Long Wave IR.