

## 비냉각형 TEC-less 열상 시스템에 적합한 선형보간 기반 동적 보정 계수 추정 기법

한상혁\*, 곽동민\*\*

### Dynamic Calibration Coefficients Estimation with Linear Interpolation for Uncooled TEC-less IRFPA

Sang-Hyuck Han\*, Dong-Min Kwak\*\*

#### Abstract

These days, Uncooled IR Systems are more popular in the area of defense and aerospace than before. Uncooled IR Systems are widely used as core technology for making unmanned systems and detecting enemy objects during the day and night in the distance. Recently, researches on TEC-less IRFPA have been increased to minimize the power consumption and to make a smaller system than before. For this, it needs to find adequate NUC(Non-Uniformity Correction) coefficients as FPA(Focal Plane Array) temperature changes. In this paper, we propose a new NUC coefficient estimating technique, DCCE-LI(Dynamic Calibration Coefficients Estimation with Linear Interpolation), for TEC-less IRFPA. It is based on a linear interpolation method and it can estimate NUC coefficients in real-time. So, by testing and evaluating it with some IR images, we conclude that the quality of IR images using proposed method is better than applying static coefficients.

#### 초 록

비냉각형 열상 시스템에 대한 관심이 국방 및 항공우주 분야에서 증가하고 있다. 특히, 국방분야 무기체계에서는 무인화 및 주야간 적군 탐지를 위한 요소기술로 활용되고 있다. 비냉각형 열상 시스템의 연구 분야 중 저비용, 저전력, 소형화를 위한 비냉각형 TEC(Thermal Electric Cooler)-less 열상 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 TEC-less로 운영하기 위해서는 최적화된 불균일보정 계수의 추출 및 적용이 요구된다. 본 논문에서는 TEC-less로 최적화 된 보정 계수 획득 방법으로 선형 보간법을 이용한 보정 계수 추정 방법인 DCCE-LI(Dynamic Calibration Coefficient Estimation with Linear Interpolation)을 제안하고, 실험을 통해 제안 기법이 기존의 정적 보정 계수를 적용한 것에 비해 IR 영상 품질이 우수하고, 실시간 보정 계수 추정이 가능함을 보인다.

키워드 : TEC-less, IRFPA, 선형보간(linear interpolation), 불균일보정(NUC)

---

접수일(2012년 5월 18일), 수정일(1차 : 2012년 6월 12일, 2차 : 2012년 6월 15일, 게재 확정일 : 2012년 7월 1일)

\* 융합기술연구팀/shan@kari.re.kr    \*\* 국방과학연구소 /imis@add.re.kr

## 1. 서론

비냉각형 열상 시스템에 대한 관심이 국방 및 항공우주 분야에서 증가하고 있다. 특히, 국방 무기체계 분야 및 민수용 열상 장비에서 비냉각형 열상 시스템은 냉각형 열상 시스템과 비교했을 때 영상 품질은 낮지만 저비용, 소형화, 저전력의 장점으로 활용성이 점차 커지고 있다.

특히, 비냉각형 열상 시스템에서 TEC-less로 운영하기 위한 H/W 및 S/W 기술 연구가 활발히 진행되고 있는데, 주요 목적은 상온에서 FPA(Focal Plane Array) 검출기를 일정한 온도로 유지하는 모듈인 TEC(Thermal Electric Cooler)를 제거함으로써 전력 소모를 줄이고, 크기 및 무게를 줄이는 데 있다[1-2]. 그러나, TEC-less로 운영하기 위해서는 불균일보정(NUC; Non Uniformity Correction)을 위한 최적의 보정 계수를 도출해야 좋은 품질을 가진 IR 영상을 획득할 수 있다. TEC를 가진 비냉각형 열상시스템은 검출기가 일정한 온도로 유지되기 때문에 각 검출기에 맞는 단일 gain, offset 보정 계수를 사용하면 되지만, TEC-less로 운영하기 위해서는 FPA 검출기의 온도 변화를 고려한 보정 계수를 실시간으로 추정할 필요가 있다. 따라서 보정 계수는 정확성과 함께 실시간 추정을 위한 연산 속도를 함께 고려해야 한다.

본 논문에서는 TEC-less로 운영시 FPA 검출기 온도의 변화에 따른 최적화 된 보정 계수 획득 방법으로 선형 보간법을 이용하여 현재 온도에 적합한 보정 계수를 추출하는 방법인 DCCE-LI(Dynamic Calibration Coefficient Estimation with Linear Interpolation)을 제안하고, 비냉각 열상 시스템을 가지고 실험을 수행함으로써 IR 영상 품질이 향상됨을 확인 및 검증을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 불균일보정 기법에 대해 기술하고, 3장에서는 제안 기법인 DCCE-LI에 대해 기술한다. 4장에서는 실험 및 분석을 통해 정적 보정 계수에 비해 제안 기법을 통해 얻은 보정 계수를 적용하는 경우 영

상 품질이 향상됨을 확인한다.

## 2. 관련연구

IR 영상은 대상 물체의 복사에너지를 FPA 검출기가 감지하여 전기적 신호로 변환하고, 각 픽셀간 온도차를 이미지화 하여 표현한다. FPA 검출기의 입력신호가 전체적으로 균일한 온도의 물체로부터 발생될 때 이상적으로 FPA 검출기의 모든 출력 신호는 동일한 크기를 가져야 하지만 FPA 검출기의 각각의 센서 특성이 여러 가지 요인에 의해 불균일한 응답 특성을 가지게 된다.

그러므로, 불균일성을 보정하지 않는 경우 사용자 영상에서 잡음특성과 유사한 형태로서 물체의 분해능을 떨어뜨리는 요소로 작용한다. 이를 균일한 값으로 만들기 위한 방법이 불균일보정이다.

불균일보정 기법은 입력영상을 이용하는 배경 기반 불균일보정 기법과 오프라인에서 복수개의 기준 신호를 이용하여 보정 계수를 구하는 방법이 있다. 일반적으로 복수개의 기준 신호를 이용한 방법이 주로 사용되지만, FPA 검출기의 출력 특성이 시간에 따라 민감하게 변하는 경우 배경 기반 불균일보정 방법을 사용한다.

오프라인 보정 계수를 적용한 방법으로 가장 대표적인 것은 2점 불균일보정이다. 2점 불균일 보정은 오프라인에서 최적의 gain과 offset 계수를 구하고, 이를 시스템에 내장하여 적용함으로써 최종 IR 영상을 획득한다.

## 3. 제안 기법 DCCE-LI

본 절에서는 제안 기법인 DCCE-LI(Dynamic Calibration Coefficient Estimation with Linear Interpolation)에 대해서 기술한다. 제안 기법은 TEC-less로 운영하기 위해 FPA 검출기의 온도 구간별 정적 보정 계수를 선형 보간하여 실시간으로 동적 보정 계수를 획득하여 적용하는 방법이다.

이를 위해, 보정 계수의 특성을 살펴볼 필요가

있다. FPA 검출기의 온도 변화에 따라 보정 계수의 변화가 일정한 패턴을 보이는지, 패턴은 어떠한 형태를 가지는지를 봄으로써 가장 적합한 보정 계수 추정 방법을 선정할 수 있다. 이를 확인한 후 제안 기법을 통해 획득하는 gain, offset 추정 수식을 기술하고, IR 영상을 획득하는 절차를 기술한다.

### 3.1 FPA 검출기 온도 변화에 따른 흑체 출력값의 변화

본 절에서는 FPA 검출기의 온도를 변화하면서 일정 온도를 가진 대상 물체인 흑체에 대해 DC 출력 변화를 살펴본다. 이를 통해, FPA 검출기 온도가 변할때 DC 출력의 변화 특성과 gain, offset 계수의 변화 특성을 살펴본다.

그림 1은 FPA 검출기의 온도가 0°C에서 50°C까지 10°C 간격으로 변화할 때 20°C와 35°C의 온도를 일정하게 유지하는 흑체의 DC 출력값, 즉 BB<sub>c</sub>와 BB<sub>h</sub> 출력값의 변화 추이를 보여준다. BB<sub>c</sub>, BB<sub>h</sub> 출력 변화는 그래프에서 보는 것과 같이 0°C에서 20°C까지는 출력값이 점점 낮아지다가 20°C를 기준으로 50°C까지 점점 높아지는 것을 볼 수 있다. 이를 통해, FPA 검출기의 온도 변화에 따라 gain과 offset 값이 상당한 상관관계가 있음을 알 수 있다.

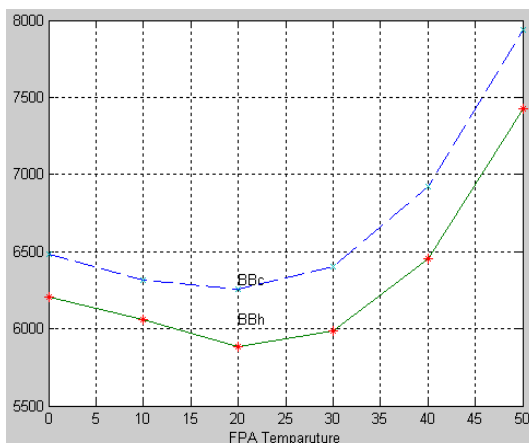


그림 1. BB<sub>c</sub>와 BB<sub>h</sub>의 DC 출력값 변화

먼저, gain 계수는 FPA 검출기 온도를 기준으로 BB<sub>h</sub>와 BB<sub>c</sub>의 차인데, 그림 2는 FPA 검출기 온도 변화에 따른 gain 계수의 변화를 보여준다.

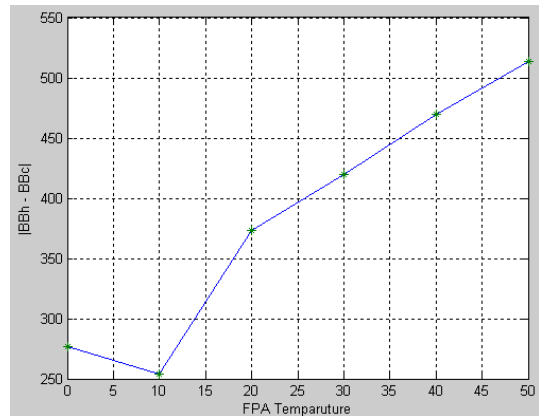


그림 2. BB<sub>c</sub>와 BB<sub>h</sub>의 DC 출력값 차

gain 계수차의 폭은 DC 출력값 기준으로 250에서 550 사이로, 선형 형태의 기울기 변화를 가짐을 가정할 수 있다. 따라서, gain과 offset 계수 추정시 각 구간별 정적 gain, offset 계수를 가지고 선형 보간하여 각 구간사이의 gain, offset 값을 추정하는 것은 성능 효율적인 방법이다.

실시간 측면에서, 온도 구간별 gain, offset의 연산은 오프라인으로 미리 획득됨으로, 부하가 증가되는 부분은 FPGA(Field Programmable Gate Array)에서 선형 보간시 gain, offset의 기울기를 구하는 연산이다. 따라서, 시스템내에 선형 보간의 추가는 실시간 운영에 문제가 없다.

### 3.2 DCCE-LI 보정 계수 추정기법

본 절에서는 선형 보간법을 이용한 보정 계수 추정 수식을 정의한다. 이때, 보정 계수의 정확성과 보정 계수를 추정하는데 소요되는 시간을 가장 중요한 요소로 고려한다.

$T_c$ ,  $T_s$ ,  $T_e$ 를 각각 FPA 검출기의 현재온도, 구간 시작온도, 구간 마지막 온도라 할 때, gain, offset 각각의 보정 계수 추정 수식은 (1), (2)와 같다.

$$G(T_c) = G(T_s) + \frac{G(T_e) - G(T_s)}{T_e - T_s} (T_c - T_s) \quad (1)$$

$$O(T_c) = O(T_s) + \frac{O(T_e) - O(T_s)}{T_e - T_s} (T_c - T_s) \quad (2)$$

### 3.3 IR 영상 획득 절차

DCCE-LI 보정 계수 추정 기법의 주요 절차는 다음과 같다.

- 1) 가시화 대상 실험 열상을 준비한다.
- 2) 일정 온도 간격으로 FPA 검출기에 맞는 흑체 열상 DC 출력값의 추출을 오프라인으로 수행한다.
- 3) 흑체 열상 DC 출력값을 가지고 정적 gain, offset 보정 계수를 구한다.
- 4) 정적 gain, offset 보정 계수를 입력하여 실시간 동적 보정 계수를 구한다.
- 5) 불균일보정을 수행하고 CEM(Contrast Enhancement Management)를 수행하여 최종 열상을 획득한다.

## 4. 실험 및 결과 분석

주요 실험 환경은 다음과 같다. 먼저, 비냉각형 열영상 FPA 검출기는 ULIS사의 'UL 04 27 2'를 이용하였다. 픽셀 피치는 17  $\mu\text{m}$ 이고, 검출 파장 대역은 8 - 12  $\mu\text{m}$  LWIR이고, FPA 검출기 배열 크기는 640x480 이다. 정적 gain, offset 보정 계수는 FPA 검출기 온도가 0 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10 $^{\circ}\text{C}$  간격으로 획득하였고, 목표 영상은 28 $^{\circ}\text{C}$ 에서 획득하였다.

그림 3과 그림 4는 각각 정적 보정 계수를 적용한 영상과, 제안 기법을 통해 얻은 보정 계수를 적용한 영상을 보여준다. 정적 보정 계수는 10 $^{\circ}\text{C}$  간격으로 되어 있는 온도 구간별로 정적 보정 계수 중 FPA 검출기 온도에 가장 근접한 30 $^{\circ}\text{C}$ 의 보정 계수이고, 제안 기법을 통해 얻은 보

정 계수는 FPA 검출기의 현재 온도를 포함하는 온도 구간인 20 $^{\circ}\text{C}$ 와 30 $^{\circ}\text{C}$ 의 보정 계수를 선형보간법을 통해 얻었다.

그림 3과 그림 4를 보면 DCCE-LI로 추출된 동적 계수를 적용한 불균일보정 영상 그림 4가 그림 3에 비해 품질이 좋음을 알 수 있다.

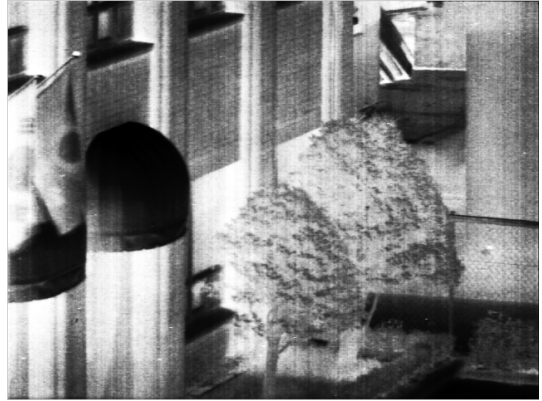


그림 3. 정적 계수 불균일보정을 적용한 영상

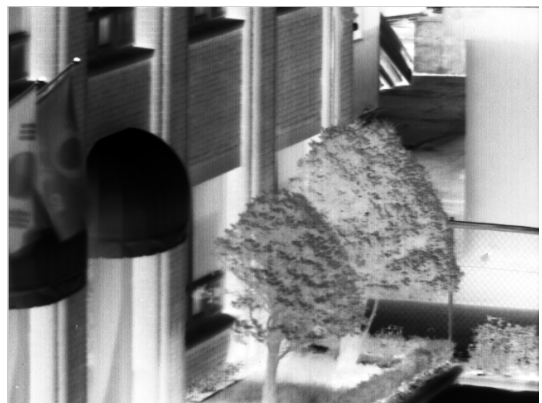


그림 4. DCCE-LI 계수 불균일보정을 적용한 영상

이를 정량적으로 평가하기 위해, 선형구간 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 40 $^{\circ}\text{C}$ 로 간격을 20 $^{\circ}\text{C}$ 로 하고, 30 $^{\circ}\text{C}$ 에서 얻은 BB<sub>c</sub> 영상에 대한 잔여불균일성인 RNU(Residual Non Uniformity)를 평가하였다. 결과는 표 1과 같다.

표 1. DCCE-LI 계수와 정적 계수를 적용한  
흑체의 RNU 비교

	DCCE-LI	정 적	
	선형보간	20℃ 계수	40℃ 계수
RNU	0.2854	0.2879	0.2891

RNU는 균일한 영상을 대상으로 불균일보정 후 영상 각 픽셀에 대한 표준편차로 계산할 수 있다. RNU의 값이 0에 가까울수록 좋고, 0보다 클수록 나쁘다. 표 1의 결과를 분석해 보면 정적 보상계수를 적용한 불균일보정에 비해 제안기법의 보상계수를 적용한 불균일보정을 적용했을 때 RNU가 0.2854로 가장 작음을 알 수 있다.

따라서, 정적 계수를 적용하는 것에 비해 제안 기법인 DCCE-LI 기반 동적 계수를 적용한 불균일보정시 품질이 좋음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

비냉각형 TEC-less 열상 시스템은 감시정찰을 목적으로 위성, 항공기, 비행체, 감시기 등 항공 우주 및 군사분야의 다양한 부분에서 활용이 가능하다.

본 연구에서는 저비용, 저전력, 소형화를 목표로 하는 비냉각형 TEC-less 열상 시스템에 적용할 수 있는 TEC-less 보상 계수 추정기법으로 선형보간법 기반 계수 추정 기법인 DCCE-LI를 제안하고 실험 및 분석을 통해 구간별 정적 계수를 적용했을 때와 비교하여 열영상 품질이 향상됨을 확인하였다. 또한, 선형 보간법은 다중 보간법 등에 비해 연산 처리에 소요되는 비용이 상당히 낮음으로 실시간 보정 계수 추출이 가능하다.

그러나, 타연구에서 제안하는 기법과의 비교를 통한 정량적인 분석, 다양한 FPA 검출기 온도구간에서의 영상 품질 비교를 통한 검증 등이 부족하다. 향후, 이러한 부분에 대한 연구를 수행할 예정이다.

## 참 고 문 헌

1. H. Honda, H. Funaki, I. Fujiwara, H. Yagi, K. Ishii, K. Suzuki, K. Sasaki, M. Ogata, R. Ueno, H. Kwon, 'A 320X240 pixel uncooled TEC-less infrared radiation focal plane array with the reset noise canceling algorithm', Proc. of SPIE 7660, pp. 76600Z1-10.
2. C. Minassian, J.L. Tissot, M. Vilain, O. Legras, S. Tinnes, B. Fieque, J.M. Chiappa, P. Robert, 'Uncooled amorphous silicon TEC-less 1/4 VGA IRFPA with 25μm pixel-pitch for high volume applications', Proc. of SPIE 6940, pp. 69401Z1-8.