
비냉각 열상시스템에서의 적외선 검출기의 열전소자(TEC) 부재에 대한 효율적인 제어기법

김용진* · 서재길** · 김영길***

Novel control scheme for the absence of the thermoelectric(TEC) of infrared detector
in an Uncooled thermal system

Yong-jin Kim* · Jae-gil Seo** · Young-kil Kim***

요 약

비냉각 방식의 검출기는 검출기 내부에 냉각기 기능을 하는 열전소자(TEC : Thermal Electric Cooler)를 탑재하여 냉각기의 기능을 대신하고 있다. 이 열전소자의 기능은 검출기의 기준온도를 제어하여 온도변화에 따른 영상화질의 저하를 방지하는 역할을 수행한다. 최근에는 이 열전소자를 삭제하여 크기, 가격을 줄일 수 있는 노력이 많이 연구되고 있다.

본 논문에서는 비냉각 형태의 적외선 검출기는 내부에 열전소자가 없는 검출기를 보다 효과적으로 제어하여 영상의 화질저하를 최소화 하면서 크기를 최소화 하고 가격경쟁력을 높일 수 있는 효율적인 제어기법에 대해 실제 챔버를 활용한 시험결과를 제시하고자 한다.

ABSTRACT

The detector is an uncooled detector system that functions inside the thermoelectric cooler (TEC) equipped with features instead of the cooler. The function of the thermoelectric device to control the temperature of the detector based on a function of temperature to prevent degradation of image quality to perform the role, the latest technology trend by removing the thermoelectric device size, cost a lot of effort to reduce has been studied.

In this paper, It would be proposed of the actual test result using real chamber environment of for the best TECless algorithm as to minimize the degradation of image quality and obtain the low price of the uncooled detector.

키워드

비냉각, 열상장치, 검출기, 열전소자, 영상처리

Key word

Uncooled, Thermal Imager, Detector, TEC, Image Processing

* 준회원 : 아주대학교 (anorld.kim@samsung.com)

접수일자 : 2012. 04. 19

** 정회원 : 아주대학교

심사완료일자 : 2012. 09. 20

*** 종신회원 : 아주대학교

I. 서 론

열상 장비는 빛이 없는 암흑상태에서도 물체에서 발산하는 적외선(열)을 탐지하여 이를 영상으로 제공하는 장비이다. 열상장비의 이러한 야간 감시기능 때문에 현재 군사용으로 널리 보급되어 있고, 민간분야의 활용용도도 많이 활성화 되고 있다.[1]

적외선 검출기의 특성상 냉각기를 사용하여 극저온에서 적외선 신호를 추출해야 열 잡음을 최소화 할 수 있기 때문에 냉각기를 검출기와 하나의 패키지로 제작하여 장비에 탑재하여 활용하고 있다. 주로 고성능의 영상을 제공하지만 냉각기를 반드시 탑재해야 하기 때문에 장비의 크기가 커지고, 상대적으로 높은 가격 및 10분 정도의 냉각기 초기화 시간 등의 단점이 있다.[2]

비냉각 방식의 검출기는 검출기 내부에 냉각기 기능을 하는 열전소자(TEC : Thermal Electric Cooler)를 탑재하여 냉각기의 기능을 대신하고 있다. 이 열전소자의 기능은 검출기의 기준온도를 제어하여 온도변화에 따른 영상화질의 저하를 방지하는 역할을 수행하는데, 최근의 기술추세는 이 열전소자를 삭제하여 크기, 가격을 줄일 수 있는 노력이 많이 연구되고 있다.[3][4][5]

본 논문에서는 비냉각 형태의 적외선 검출기는 내부에 열전소자가 없는 검출기를 보다 효과적으로 제어하여 영상의 화질저하를 최소화 하면서 크기를 최소화 하고 가격경쟁력을 높일 수 있는 효율적인 제어기법에 대한 연구 결과에 대해 제시 하고자 한다.

II. 본 론

2.1. 열전소자

프랑스의 Jean Peltier는 서로 다른 금속을 접합한 물질에 전류가 흐르면 한쪽 면은 흡열, 다른 한쪽 면은 발열을 하는 현상을 발견하였다. 이것이 Peltier Effect이다. 이후 영국의 Thomson은 Seebeck 효과와 Peltier 효과의 가역성을 열역학적 이론에 의해 온도 구배가 있는 균일한 조성의 도체에 전류가 흐르면 도체내에 흡열과 발열이 된다는 Thomson 효과를 발견하였다.[6][7]

따라서 열전소자는 외부환경 변화에 따른 검출기 출력특성 변화를 흡열과 발열반응을 통해 일정한 온도로 유지시켜주어 검출기 출력영상을 안정화 시키는 역할을

을 하게 된다.[8][9]

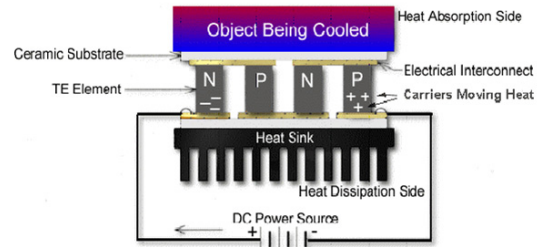


그림 1. Thermoelectric cooling module 구조
Fig. 1 Structure of Thermoelectric cooling module

2.2. 불균일 보상(NUC : Non-Uniformity Correction)

모든 다차원 배열 검출기는 각 픽셀 엘리먼트 간의 기하학적인 차이나 전송 및 증폭 단의 이득의 차이로 고정적인 패턴이 나타나는데, 이를 고정 패턴 노이즈(Fixed Pattern Noise : FPN)라고 한다. 이러한 현상은 가시광 대역을 검출하는 CCD 보다는 적외선 검출기에서, 1차원 검출기보다 2차원 검출기에서, 냉각형 검출기보다는 비냉각형 검출기에서 심하게 나타난다.

2차원 배열의 비냉각 검출기는 행과 열 단위로 처리하는 ROIC(Read-Out Integrated Circuit)의 특성상 수평과 수직방향으로 FPN(Fixed Pattern Noise)이 발생하게 되는데, 이러한 영상의 불균일(Non-uniformity)이라고 한다.[10]

아래의 그림은 검출기의 한 픽셀의 온도에 응답 특성을 보면 그림 2처럼 선형적이지 않다.

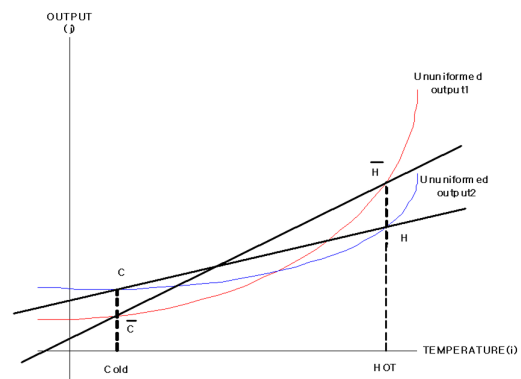


그림 2. 적외선 검출기 출력곡선
Fig. 2 Output characteristic of the Thermal detector

선형적이지 못한 2차 이상의 방정식을 모델링의 용이와 계산량을 줄이기 위해서 1차 방정식으로 근사화하게 된다.

NUC를 구하기 위해서는 2가지 Reference 입력이 필요한데, 그림 2에서 HOT(+30℃)와 COLD(+20℃)에 대해 블랙바디(흑체)를 활용하여 데이터를 받아서 아래 수식의 gain과 Offset을 구한다.

$$X_o = Gain \times X_i + Offset$$

$$Gain = \frac{\bar{H} - \bar{C}}{H - C} \quad (1)$$

$$Offset = \bar{H} - H \times G = \bar{C} - C \times G$$

$$\therefore Offset = \frac{H \times \bar{C} - C \times \bar{H}}{H - C} \quad (2)$$

일반적인 NUC 처리 방법은 각 픽셀의 출력 값에 gain을 곱하고 offset을 더함으로써 출력 특성의 차이를 보정해 주는 것이다.

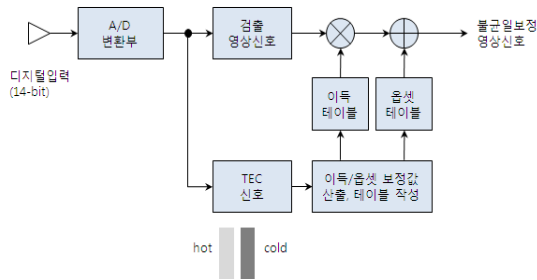


그림 3. NUC 처리 절차
Fig. 3 NUC Process

2.3. 열전소자 부재시 제어기법

열전소자는 검출기의 향온을 유지시켜 검출기의 온도 변화에 따라 영상의 화질을 저하시키는 영향을 거의 없게 만드는 소자이다. 하지만 열전소자 부재의 시스템은 검출기의 온도 변화에 따라 영상도 다르게 받아들이기 때문에 이를 보정하기 위하여 위에서 언급한 NUC 처리 단계에 TECless 알고리즘이 필요하다.

TECless 알고리즘이란 검출기의 온도 변화 및 시간에 따른 Drift 값을 보정해주는 알고리즘(열전소자의 역할)이며, 이는 열전소자가 없는 검출기에서 열전소자가 있을 경우를 감안하여 적용하는 역으로 보정 알고

리즘이다.

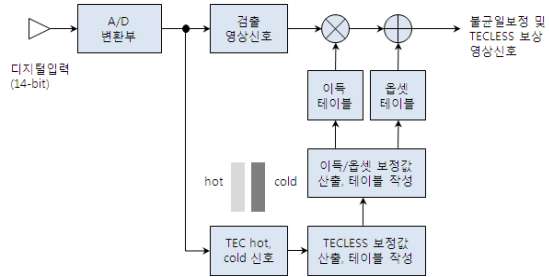


그림 4. TECless 알고리즘 처리 절차
Fig. 4 Procedure of the TECless Algorithm

위 그림 4과 같이 TECless 알고리즘은 NUC 이전에 열전소자에 해당하는 HOT, COLD 데이터를 입력받아 이를 활용한 보정값 산출 및 테이블을 작성하는 방법이다.

$$X_o = G \times X_i + O$$

$$X_i = \bar{X}_i + TEC$$

$$TEC = \frac{I_H - I_C}{T_H - T_C} \times (T_D - T_C) \quad (3)$$

$$G = \frac{\bar{H} - \bar{C}}{H - C}$$

$$O = \bar{H} - H \times G = \bar{C} - C \times G$$

$$\therefore O = \frac{H \times \bar{C} - C \times \bar{H}}{H - C}$$

I_H = 고온(+25℃)일 때 픽셀의 Intensity

I_C = 저온(+20℃)일 때 픽셀의 Intensity

T_H = 고온 온도 값(+25℃)

T_C = 저온 온도 값(+20℃)

T_D = 검출기 온도 값(+22℃)

예를 들어 Target이 20℃를 그대로 유지한 채 온도 챔버의 온도를 20℃에서 25℃로 상승하였고, 검출기의 온도가 20℃에서 22℃로 상승한다고 가정하면, TH는 25℃, TC는 20℃, TD는 22℃가 된다. 이를 기반으로 수식(3)의 TECless 알고리즘 적용하면 온도 변화에 따른 검출기의 온도상승분에 각 픽셀의 밝기값(intensity)를 곱

하게 되면 각 픽셀의 온도변화에 따른 Pixel intensity 변화량을 알 수 있고, 이를 활용하여 미리 구해놓은 Gain 과 더하여 TEC가 있을 경우의 항온 상태를 유지시킬 수 있다.

그림 5, 6는 TECless 적용 전/후의 RAW 데이터와 NUC 데이터에 대한 출력값을 그래프로 도식한 것이다. 그래프에서 가로축은 온도의 증가를 말하고, 세로축은 각 픽셀의 밝기값을 나타낸다.

그림 5에서도 알 수 있듯이 TECless 적용 전에는 온도를 상승될수록 각 픽셀의 raw 데이터 출력영상의 밝기 값이 감소하고 있으나, TECless 적용 후는 출력영상의 밝기 값이 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

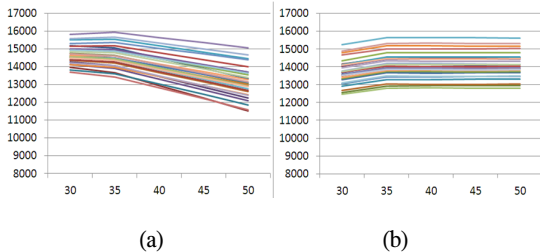


그림 5. TECless 적용 전(a)/후(b) RAW 데이터 비교
Fig. 5 Compare the RAW data before (a)/after (b) of the TECless

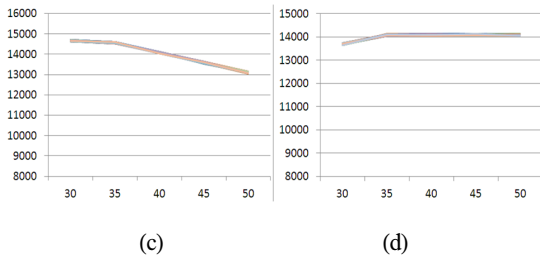


그림 6. TECless 적용 전(c)/후(d) NUC 데이터 비교
Fig. 6 Compare the NUC data before (c)/after (d) of the TECless

그림 6는 TECless 적용 전/후 NUC 데이터에 대한 출력값을 그래프로 도식한 것이다. TECless 적용전에는 각 픽셀의 온도를 상승될수록 NUC 데이터 출력영상의 밝기 값이 감소하고 있으나, TECless 적용 후는 출력영상의 밝기 값이 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

III. 성능 분석

TECless 알고리즘을 적용하여 각각의 온도에 대해 검출기의 RAW Data를 획득하여 Noise 특성을 분석한다. Noise 특성은 아래의 NETD(Noise Equivalent Temperature Difference) 수식을 활용하여 각 온도에서의 Noise 개선효과를 분석 할 수 있다.

$$\delta v_{n, T_i} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - m)^2}$$

$$noise = \frac{1}{N} \sum_1^N [\delta v_{n, T_i}]$$

N = 검출기 pixel (320*240)

x_k = 계열 k번째 픽셀의 데이터 값

m = 데이터 값의 평균값

$\delta v_{n, T_i}$: t°C 일 때 n Pixel의 표준편차

표 1. TECless 알고리즘 적용 전/후의 성능개선효과
Table. 1 Performance improving effect of the TECless algorithm

항목	적용 전 (mV/intensity)	적용 후 (mV/intensity)	Noise 감소분 (%)
Noise (20°C)	1.9mV/15.2	2.6mV/21.9	-37%
Noise (25°C)	7.1mV/57.7	2.1mV/17.7	70%
Noise (30°C)	13.8mV/112.8	2.8mV/23.2	80%
Noise (35°C)	25.3mV/207.1	5.2mV/43.2	79%
Noise (40°C)	34.5mV/282.2	8.1mV/66.8	77%

표 2에서와 같이 외부 온도변화에 따른 검출기의 출력변화를 정확히 분석하여 픽셀별 실시간 보상 가능하게 하는 TECless 알고리즘을 통해 노이즈의 약 80% 개선 효과가 있음을 알 수 있다.

그림 7은 최종 영상출력단에서 캡처한 TECless 적용 전/후 적외선 영상이다.

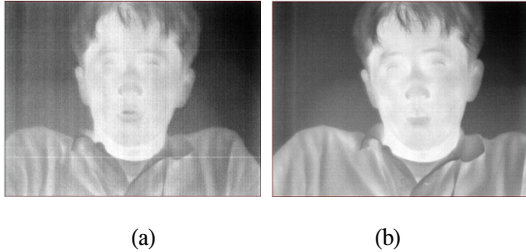


그림 7. TECless 알고리즘 적용 전(a)/후(b) 영상
Fig. 7 Compare the image before (a)/after (b) of the TECless algorithm

IV. 결 론

본 논문에서 제시한 TECless 알고리즘은 TEC(열전소자)가 검출기 내부에 없을 경우 검출기 자체의 크기 축소 및 전력소모 감소 등의 장점이 있어 소형, 경량, 저전력 설계가 가능하다. 또한 본 알고리즘을 통해 외부 온도 변화에 따른 검출기 출력 변화를 정확히 분석하여 픽셀별 실시간 보상을 가능하게 하였다.

TEC가 적용되지 않은 검출기는 TEC가 적용된 것보다 가격이 절반정도로 저렴하고, 검출기의 크기도 약 10% 정도 작아질 수 있으므로 소형/경량/저가화 되고 있는 비냉각 열상시스템을 개발함에 있어 많은 경쟁력이 있을 것으로 판단되며, 향후 관측, 보안 및 인명구조 등의 다양한 분야에서 활용될 것으로 예상된다.

참고문헌

[1] 홍석민 "원적외선 2세대 열상조준경의 설계", 한국 광학회지" 16(3), pp. 209-215, 2005
[2] A. Rogalski, "Infrared Photon detectors versus thermal detectors", Physics of Semiconductor Devices, pp. 754~761, 1998

[3] R.A.Wood, "Monolithic Silicon Micro bolometer Arrays," Uncooled Infrared Imaging Arrays and Systems, P. Kruse and D. Skatrud, Editors, Semiconductors and Semimetals, Vol. 47 pp. 43-121, Academic Press, 1997.
[4] 박민영 "32 X 32 비냉각 적외선 FPA를 위한 CMOS 신호검출 회로",
[5] A. Rogalski, "Infrared detectors", Electro- component science monographs, Gordon and Breach Science Publishers, Vol. 10, pp. 12-14,91, 2000
[6] 한명수 "비냉각 초전형 적외선 검출기", 진기전자 재료 17(2), pp. 30-38, 2004
[7] 신진영 "비정질 실리콘 카바이드박막을 이용한 비냉각 적외선 볼로미터에 관한 연구", 한국과학기술원 석사 학위논문, pp. 1-9, 2002
[8] 김상진 "비냉각형 Microbolometer의 성능 향상을 위한 방법에 관한 연구", 경희대학교 석사 학위논문, pp. 5-15, 2003
[9] M. H. Unewisse, et al, "The growth and properties of semiconductor bolometers for infrared detection", SPIE, Vol. 2554, 1995
[10] 이재일 "적외선 열상시스템의 내부 온도변화 특성을 고려한 새로운 NUC 방법의 제안과 H/W 구현", Sae Mulli 11 석사 학위논문, pp. 269, 274, 2000

저자소개



김용진(Yong-Jin Kim)

1997 경희대학교 전자공학과 공학사
2012 아주대학교 전자공학과 공학석사

1997 ~ 현재 삼성탈레스(주) 전문연구원
※관심분야: 광전자, 센서 및 영상신호처리



서재길(Jae-Gil Seo)

2004 아주대학교 전기전자공학부
공학사
2008 아주대학교 전자공학과
공학석사

2008 ~ 현재 아주대학교 의용공학과 박사과정, LS산전
주임연구원 전문연구원

※ 관심분야 : Embedded System 개발, 영상신호처리



김영길(Young-Kil Kim)

1978 고려대학교 전자공학과
공학사
1980 한국과학기술원 산업전자공학과
공학석사

1984. ENST(France) 공학박사

1984 ~ 현재 아주대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 의용전자공학, Embedded System