

선형배열 적외선 검출기의 배경 기반 불균일 보정기법

송 인 태, 안 상 호
인제대학교 전자공학과
(055)320-3189

A Scene Based Nonuniformity Correction Technique of Linear Array Infrared Detector

In-Tae Song, Sang-Ho Ahn
Department of Electronic Engineering, Inje University
E-mail ; 99beb003@todori.inje.ac.kr

Abstract

A Scene Based Technique(SBT) that corrects linear array infrared detector's nonuniformity is proposed. Basically, this technique dispenses with using temperature references on a linear array infrared detector. To correct the nonuniformity of infrared images, we use three methods. Firstly, we detect bad channels by using the information which is cumulated all the same line pixels. Secondly, a variable window method is applied to compensate more accurately. Thirdly, an adaptive method which updates gain and offset coefficient is used only on a stationary region. These results are demonstrated on a computer simulation with various images. As a result, the nonuniformity is corrected completely, so that images are enhanced and PSNR(peak signal to noise ratio) is improved much.

1. 서 론

1970년대 군사용 목적으로 설계, 제작되었던 열상장비(thermal imaging system)는 제 1세대를 거쳐 80년대 중반 이후 고밀도 선형배열 검출소자를 이용하여 주사하는 제 2세대와 2차원 배열 검출기를 이용하는 제 3세대 적외선 검출기로 발전하였다.^[1]

미약한 적외선 신호를 검출하기 위해 적외선 검출기는 검출도가 높은 재질의 검출소자로 제조되어진다.

최근의 열상장비에 주로 사용되는 적외선 검출소자는 InSb, PtSi 및 MCT(HgCdTe) 등이 있으나 MCT 소자의 검출도가 가장 우수하다. 그러나, 적외선 검출소자는 현재 제조 기술로는 소자간의 응답을 일치시킬 수 없기 때문에 이에 따른 불균일 특성으로 인해 영상에서 고정패턴잡음으로 나타나고 불균일 특성이 시간에 따라 변하는 단점을 가지고 있다. 따라서 적외선 열상장비에서는 검출기의 불균일 보정이 시스템의 성능을 좌우하게 된다.

2차원 배열 검출기는 대부분 비냉각방식으로 부피가 적으나 냉각방식의 선형배열 검출기에 비해 검출도의 성능이 떨어진다. 선형배열 검출기의 불균일 보정을 위해 주로 기준 온도원인 TEC(thermo-electric cooler)를 이용하고 있으나 구동 및 제어부가 복잡하고 제작비용이 큰 문제점을 가지고 있다. 한편, 2차원 배열의 불균일 보정에서는 기준 온도원을 사용할 수 없기 때문에 Scribner 등^[4]은 배경 기반 기법(scene based technique; SBT)의 적응적 보상 방법을 제안하였으며 보정할 화소 주변의 화소값들을 기준으로 불균일을 보정하였다.^{[3],[4]} 그러나, 이 방법의 경우 검출기의 이득 및 오프셋 계수를 프레임 단위로 갱신하면서 보정하므로 동영상에서는 불균일이 보정되지만 기본전제가 배경영상의 움직임이므로 정지영상에는 보정될 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 이와 같은 단점을 보완하는 동시에 선형배열 적외선 검출기에서 TEC를 사용하지 않고 배경 기반으로 검출기의 불균일을 보정하는 방법을 제안하였다. 적외선 영상을 라인단위로 누적하여 보정되어야 할 비정상 채널(bad channel)을 검출하는 방법, 가변 창 사용 및 정상영역(stationary region)의 영상만을

기준으로 삼는 방법을 이용하여 채널의 이득과 옵셋 계수를 적응적으로 갱신하였다. 제안한 방법의 성능을 평가하기 위한 모의실험 결과 실험에 사용된 모든 영상에 대하여 그 성능이 우수함을 확인하였다.

II. 기존의 검출기 불균일 보정기법

1. 선형배열 검출기의 불균일 보정기법^[4]

선형배열 검출기의 불균일 보정기법은 각 검출기의 특성을 조사하여 보상값을 메모리에 기억시킨 후 보상하는 방법과 기준 온도 소스(reference temperature source)인 TEC를 장비 내부에 설치하여 입력영상의 온도분포에 따라 기준온도를 가변 시킴으로써 검출기의 시변특성을 보정하는 방법이 있다. 전자는 시간이 지남에 따라 검출기 특성이 바뀔 경우 보상이 제대로 되지 않는 단점이 있고, 후자는 TEC를 기준 온도원으로 이용하면서 배경에 따라 TEC의 온도를 적응적으로 제어하여야 하기 때문에 구동 및 제어부가 복잡하고 제작비용이 큰 단점이 있다.

2. 2차원 배열 검출기의 불균일 보정기법^{[3],[4]}

2차원 배열 검출기에서는 기준 온도원을 사용할 수 없기 때문에 배경 기반의 불균일 보정기법을 사용한다. 이의 대표적인 방식이 Scribner 방식이며, 이 알고리즘의 구조는 그림 1에서와 같고 식은 아래와 같다.

$$y_{ij}(n) = G_{ij}(n)x_{ij}(n) + O_{ij}(n) \quad (1)$$

$$e_{ij}(n) = y_{ij}(n) - d_{ij}(n) \quad (2)$$

여기서, $y_{ij}(n)$ 는 ij 번째 검출소자의 보정된 화소, $x_{ij}(n)$ 는 불균일 화소, n 은 프레임 수, $G_{ij}(n)$ 는 이득 계수, $O_{ij}(n)$ 는 옵셋 계수, $d_{ij}(n)$ 는 $y_{ij}(n)$ 에 이웃하는 화소들의 평균값, 그리고 $e_{ij}(n)$ 는 오차값이다.

식 (1)에 이득 계수 $G_{ij}(n)$ 및 옵셋 계수 $O_{ij}(n)$ 을 Widrow의 급경사법^[2](steepest descent method)을 이용하여 갱신하며, 이들에 대한 $e_{ij}^2(n)$ 의 기울기는 각각

$$\frac{\partial e_{ij}^2(n)}{\partial G_{ij}(n)} = 2e_{ij}(n) \frac{y_{ij}(n)}{G_{ij}(n)} = 2e_{ij}(n)x_{ij}(n) \quad (3)$$

$$\frac{\partial e_{ij}^2(n)}{\partial O_{ij}(n)} = 2e_{ij}(n) \frac{y_{ij}(n)}{O_{ij}(n)} = 2e_{ij}(n) \quad (4)$$

이므로 $G_{ij}(n)$ 및 $O_{ij}(n)$ 의 갱신식은

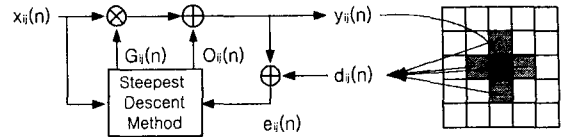


그림 1. Scribner 알고리즘의 구조

$$G_{ij}(n+1) = G_{ij}(n) - a e_{ij}(n)x_{ij}(n) \quad (5)$$

$$O_{ij}(n+1) = O_{ij}(n) - a e_{ij}(n) \quad (6)$$

과 같으며, 여기서 a 는 학습계수(learning coefficient)이다. Scribner 알고리즘은 검출기의 이득 및 옵셋 계수를 프레임 단위로 갱신하면서 보정하므로 동영상에서는 불균일이 보정되지만 기본전체가 배경영상의 움직임이므로 정지영상에는 보정될 수 없는 단점이 있다.

III. 제안한 방식

본 논문에서는 선형배열 적외선 검출기에서 TEC를 사용하지 않고 배경 기반으로 검출기의 불균일성을 보정하는 방법을 제안하였다. 기본적으로 Scribner 알고리즘을 사용하여 이득과 옵셋 계수를 갱신하였다. 그러나 선형배열 검출기는 수평 방향으로 주사하는 것을 기본으로 하므로 각 검출기 채널의 이득 및 옵셋 계수를 수평 스캔 방향으로 매 화소단위로 갱신하였다. 따라서 2차원 배열 검출기의 경우 보정 계수들을 프레임 단위로 보정함으로써 인한 정지영상에 적용할 수 없는 문제점은 없다. 본 제안 방식은 크게 다음 3가지와 같다.

1. 라인단위 누적정보를 이용한 채널 특성 조사

검출기 특성의 불균일성으로 인해 발생한 영상 미를 라인단위로 누적한 결과의 예는 그림 2에서와 같다. 그림 2에서 나타난 바와 같이 검출기 채널의 불균일성으로 인해 영상에서 수평 방향의 열화가 발생하고, 라인단위로 누적한 결과로부터 비정상 채널에 피크가 발생함을 알 수 있다.

피크 검출 방법은 그림 3에서와 같이 피크 검출할 라인의 누적값과 좌우라인의 선형 내삽(linear interpolation)값과의 차이를 구한 뒤 특정 경계값 이상일 때 피크로 판정한다. 예로써 B에서 명도값 I와 L값으로부터 R라인에서의 내삽한 누적값 J는 식 (7)과 같이 구한다.

$$J = \frac{L-I}{T-Q} \times (R-Q) + I \quad (7)$$

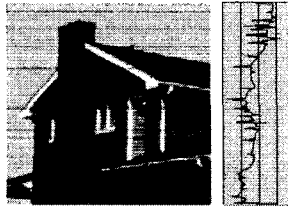


그림 2. 불균일 영상과 라인단위로 누적한 결과

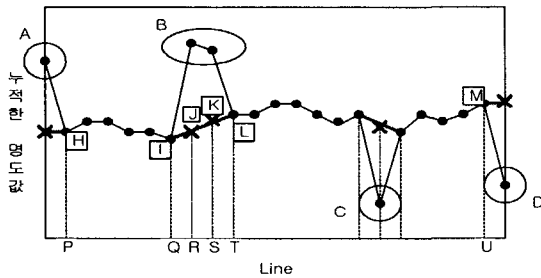


그림 3. 피크 검출 방법

A 또는 D와 같이 첫라인과 끝라인의 경우는 인접라인의 명도값 H 또는 M을 각각 내삽값으로 두었다. 이렇게 내삽한 라인의 누적값과 원래 누적값의 차이값을 구해 특정 경계값 이상이 되면 열화된 라인으로 판단하였다.

2. 가변 창 사용

불균일 채널이 2개 이상 연속으로 존재할 경우 3×3 창으로는 정확한 보정이 어렵다. 그림 4는 3×3 창에서 열화가 생길 수 있는 모든 경우를 나타내었다. 그림 4의 (a)~(c)와 같은 경우는 3×3 창으로 보정이 가능하나 (d)~(g)처럼 2라인 이상 불균일이 발생한 경우에는 3×3 창으로는 정확한 보정이 어렵다. 정확한 보정을 위해 앞서 기술한 라인단위 누적정보로부터 비정상 채널을 미리 검출하고 본 논문에서는 3×3 창 대신에 3×5 또는 5×5 등의 가변 창을 사용하였다.

3. 주변라인의 정상적 영상만을 기준 신호로 사용

비정상 채널 주변의 영상이 영상의 변화가 적은 정상적 영상이어야 이를 기준으로 올바른 불균일 보정이 이루어진다. 그러나 채널 주변의 영상의 변화가 큰 비정상적 영상일 경우 올바른 보정이 이루어질 수 없다. 따라서, 정상영역만을 찾아 이를 기준으로 이득과 오프셋 계수를 갱신하였다. 이렇게 계수를 갱신하면 영상에서 경계부분이나 복잡한 부분에서는 계수를 갱신하지 않게 된다.

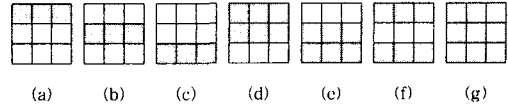


그림 4. 3×3 창에서 열화가 생길 수 있는 경우

IV. 실험결과 및 고찰

본 제안 방식의 타당성을 확인하기 위해 여러 실험영상에 대한 모의실험을 하였다. 객관적인 성능 평가의 척도로 식 (8)과 같이 8 비트의 원영상과 보정후 결과 영상의 MSE에 대한 평균값을 이용한 PSNR을 사용하였다.

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{MSE} \quad (8)$$

제안한 방법에 대한 모의실험 결과는 표 1 및 그림 6과 같다. 실험영상 1(House 영상)에 대한 모의실험 결과를 살펴보면 라인단위 누적정보를 이용하지 않았을 경우는 창 크기를 크게 하더라도 열화된 라인의 불균일 보정이 제대로 되지 않았으며 PSNR도 38.9[dB]로 낮았다. 이에 반해 라인단위 누적정보를 이용하여 찾아내어진 비정상 채널에 대해서만 불균일 보정한 경우는 PSNR값이 47.4[dB]로 높고 영상의 많은 부분이 보정되었다. 그러나, 열화된 라인만을 보정하였기 때문에 잡음등이 영상에 포함되었을 경우 나머지 라인에 대한 보정이 이루어지지 않아 결과가 좋다고 할 수만은 없다. 따라서, 영상의 열화된 라인만의 보정으로 생기는 문제점을 해결하기 위해 모든 라인에 대해 보정하면서 3×3 창 크기의 한계를 고려하여 3×5 가변 창을 사용하였다. 보정후 결과영상의 거의 모든 부분이 보정되었으며 PSNR은 42.4[dB]로 다소 감소되었으나 보정 결과는 훨씬 향상되었다. 불균일 보정시 물체의 윤곽부분이나 복잡한 영상에서도 이득 계수와 오프셋 계수를 갱신하게 되면 원하지 않는 값으로 수렴하여 결과영상이 제대로 보정되지 않을 수 있다.

본 논문에서는 모든 라인에 대해 보정하지만 라인단위 누적정보를 이용하여 찾아내어진 비정상 채널을 가변 창을 이용하여 더욱 중점적으로 보정하였다. 또, 그림 2의 배경부분과 같은 정상영역만을 찾아 갱신함으로써 MSE가 계속하여 0으로 수렴하도록 하였다. 보정후 결과영상의 거의 모든 부분이 보정되었으며 PSNR도 47.7[dB]로 향상되었다. 원영상과 보정후 결과영상 간의 라인단위 누적값의 차이를 조사한 결과 정상영역을 찾아 보정한 경우가 가장 우수하였으며 이를 그림 5에 나타내었다.

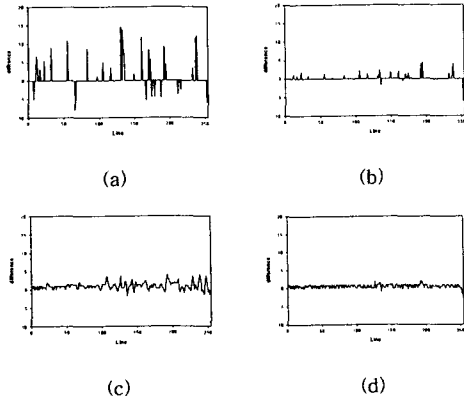


그림 5. 열화된 영상을 (a) 라인단위 누적정보를 이용하지 않았을 때(모든 라인 보정), (b) 라인단위 누적정보를 이용하였을 때(열화된 라인만 보정), (c) 가변 창으로 보정하였을 때(모든 라인 보정) 및 (d) 정상영역을 찾아 보정한 경우(모든 라인 보정)의 라인단위 누적값.

그림 6의 실험영상들에 대해 제안한 방법 각각의 경우에 대한 PSNR을 조사하였으며, 잡음의 영향을 고려하기 위해 열화된 영상에 가우시안 잡음을 더한 영상에 대한 보정한 결과도 함께 조사하였다. 그 결과 모든 실험영상에서 정상영역을 찾아 보정한 경우의 결과 영상이 시각적인 결과나 PSNR값에서 우수하였다. 제안한 방법을 일반영상, 밝은 IR영상, 어두운 IR영상에 대해 알고리즘을 적용하였으며 선간 불균일은 15%, 반복횟수는 100번으로 하였다.

표 1. 4가지 영상에 대한 PSNR

영상	PSNR [dB]			
	비정상 채널 정보이용 하지않음	비정상 채널 정보이용	가변 창	정상 영역만 계수 갱신
영상 1	38.9	47.4	42.4	47.7
잡음포함*	31.4	32.2	32.1	32.2
영상 2	34.0	44.1	42.9	43.0
잡음포함*	30.0	32.1	31.9	31.9
영상 3	41.5	48.7	49.4	50.0
잡음포함*	32.0	32.5	32.6	32.4
영상 4	38.4	41.6	40.6	43.1
잡음포함*	31.3	31.8	31.8	31.9

* 가우시안 잡음($\sigma^2 = 25$)

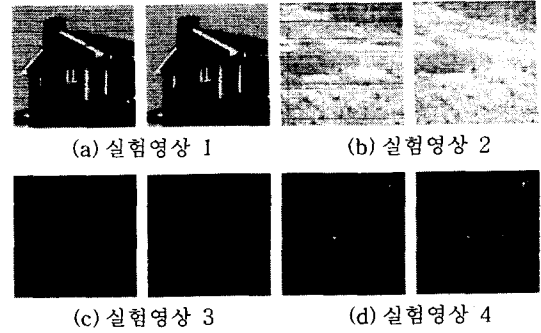


그림 6. 4종류의 실험영상과 그 결과영상들

V. 결론

본 논문에서는 2차원 배열 검출기에 국한되어 적용되었던 배경 기반 기법을 선형배열 검출기에 적용하였고, 기본적으로 Scribner의 알고리즘을 사용하면서 불균일한 적외선 영상의 특성을 이용하여 이득과 윽셋 계수를 갱신하는 배경 기반 열영상 보정기법을 제안하였다. 일반영상과 다양한 적외선 영상에 대해 컴퓨터 모의실험을 하였으며, 실험 결과 라인단위 누적정보를 이용하면서 가변 창으로 정상영역에 대해서만 계수를 갱신한 경우가 불균일 보정이 충분히 우수함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Ronald G. Driggers, Paul Cox, and Timothy Edwards, "Introduction to Infrared and Electro-Optical Systems", Artech House, 1999
- [2] Bernard Widrow, and Samuel D. Stearns, "Adaptive Signal Processing", Prentice-Hall, 1985
- [3] J.W. Fenner, S.H. Simon, and D.D. Eden, "Design of a IRFPA Nonuniformity Correction Algorithm to be Implemented as a Real-time Hardware Prototype", SPIE vol. 2225, pp. 350-359, 1994
- [4] D.A. Scribner, K.A. Sarkady, M.R. Kruer, J.T. Caulfield, J.D. Hunt, M. Colbert, and M. Descour, "Adaptive Retina-Like Preprocessing for Imaging Detector Arrays", IEEE pp. 1955-1960, 1993