

Dead Pixel Detection Method by Different Response at Hot & Cold Images for Infrared Camera

Seong-Eun Ye*, Bo-Mee Kim*

Abstract

In this paper, we propose soft dead pixels detection method by analysing different response at hot and cold images. Abnormal pixels are able to effect detecting a small target. It also makes confusing real target or not cause of changing target size. Almost exist abnormal pixels after image signal processing even if dead pixels are removed by dead pixel compensation are called soft dead pixels. They are showed defect in final image. So removing or compensating dead pixels are very important for detecting object. The key idea of this proposed method, detecting dead pixels, is that most of soft deads have different response characteristics between hot image and cold image. General infrared cameras do NUC to remove FPN. Working 2-reference NUC must be needed getting data, hot & cold images. The way which is proposed dead pixel detection is that we compare response, NUC gain, at each pixel about two different temperature images and find out dead pixels if the pixels exceed threshold about average gain of around pixels.

▶ Keyword: Dead Pixel Detection, Soft Dead, Dead Pixel Response, Infrared Camera

I. Introduction

최근 군사용 무기체계에서 널리 사용하던 비냉각형 열상 카메라 시스템은 저전력 설계를 바탕으로 저비용, 소형화가 가능해지면서 민수용까지 널리 사용되어 점차 활용성이 커지고 있다[1].

적외선 카메라는 빛이 없는 환경에서 물체에서 방출되는 복사 에너지(열에너지)를 광학렌즈를 통해 적외선 검출기로 흡수한다. 흡수된 에너지는 적외선 검출기에서 전기적 신호로 변환하고 영상 처리에 적합하도록 신호를 변환하는 검출회로 입력되어 최종 영상처리를 통해 운용자가 식별가능 한 영상으로 표현된다[2].

획득 된 적외선 영상은 열화현상으로 고정패턴잡음(FPN : Fixed Pattern Noise)이 발생한다. 고정패턴잡음 발생은 주로 FPA(Focal Plane Array)를 구성하는 검출기 각 소자별 응답특성이 불균일하기 때문이다. 소자별 응답특성은 검출기 제조과정에서 발생하는 공정차이로 동일한 특성을 가지는 소자로 검출기를 제작 하는 것은 사실상 불가능하다. 다음은 검출기로 입력된 영상을 디지털 신호로 변환하는 주변 회로에 의해 발생한다. 검출기

소자에서 출력되는 신호는 아주 미세한 신호로 이를 증폭해야만 신호처리가 가능하다. 이상적으로 동일한 증폭기를 사용한다면 FPA에서 동일한 출력을 낼 수 있지만, 이 또한 매번 동일한 출력을 내는 증폭기를 제작하는 것은 사실상 불가하다[3].

각 소자별 특성에 따른 반응의 차이와 ADC에서 발생하는 채널 간 특성 차이에 의해 고정패턴잡음은 영상의 관독에 영향을 미치기에 고정패턴잡음을 제거하는 불균일보정(NUC : Non-Uniformity Correction)을 수행하여야 한다[4].

보통 불균일보정을 위해 2개의 기준 온도(2-Reference)를 가지는 흑체(Blackbody)를 활용하여 영상을 획득하고, 획득 된 영상을 통해 이득(Gain)과 오프셋(Offset)을 계산한다. 이때 소자별 반응도가 월등히 차이 나는 화소들은 불균일보정을 통해 이득과 오프셋을 비교하여 경계치(Threshold)를 넘어서게 될 경우 불량화소(Dead Pixel)로 검출하여 인접 화소로 보상한다[5][6]. 불균일보정은 누적된 균일한 영상을 통해 검출기 출력 값을

* First Author: Seong-eun Ye, Corresponding Author: Seong-eun Ye

*Seong-Eun Ye (seongeun.ye@hanwha.com), Electro-Optronics 2Team, Hanwha Systems Company

*Bo-Mee Kim (bomee318.kim@hanwha.com), Electro-Optronics 2Team, Hanwha Systems Company

* Received: 2018. 11. 01, Revised: 2018. 11. 21, Accepted: 2018. 11. 22.

일정하게 보정해주기 때문에 일반적인 불량화소는 제거된다. 하지만 특정 화소들은 출력 값이 주변 화소들과 차이가 있지만 누적된 영상을 통해 보정하기 때문에 불량화소임에도 정상 화소로 판단하여 인접 화소로 보상하지 않고 영상 후처리를 수행한다. 최종 출력되는 영상에는 해당 화소들이 결점으로 보여 진다[7].

본 논문에서는 불균일보정을 통해 제거되지 않는 불량화소를 보상하기 위해 불량화소를 식별 할 수 있는 방법을 제시하여 출력되는 영상에서 결점으로 인한 화질저하를 줄이는 기법에 대한 연구 결과를 제시하고자 한다. 특히, 불균일보정을 위해 획득하는 데이터를 통해 불량화소를 제거함으로써 보다 효율적인 방안을 제시한다.

II. Preliminaries

2.1. NUC(Non-Uniformity Correction)

모든 다차원 배열 검출기는 각 소자간의 공정, 기하학적 차이나 전송 및 증폭 단의 이득의 차이로 고정패턴노이즈가 발생하는데 가시 광 대역을 검출하는 CCD 보다는 적외선 대역을 검출하는 IR 검출기에서 뚜렷이 나타난다. 또한 1차원 검출기보다 2차원 검출기에서, 냉각형 검출기 보다는 비냉각형 검출기에서 두드러지는 현상이 발생한다. 아래의 그림 1은 검출기의 한 화소의 온도에 대한 응답 특성을 나타낸다. 두 개의 다른 온도의 배경을 바라봤을 때 각 화소 별로 반응도의 차이로 인해 출력되는 영상은 비선형적인 결과를 가진다[8].

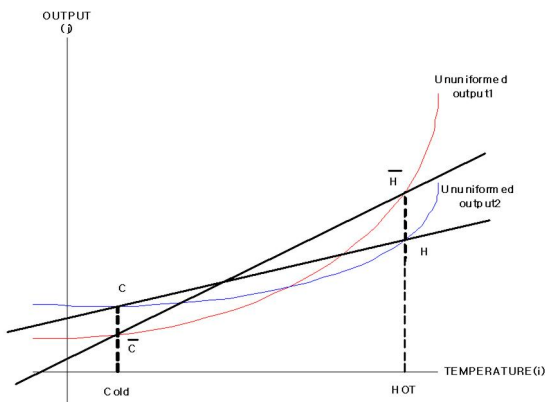


Fig. 1. Output characteristic of the Thermal detector

검출기 화소별 비선형 특성을 선형으로 근사하여 모든 화소들이 동일한 출력을 내어야한다. 동일한 외부 온도에서 2개의 다른 기준(reference)온도를 가지는 흑체를 통해 누적 영상을 획득하고 이를 선형 근사하여 보정한다[9][10].

선형 근사를 통해 gain과 offset 값을 획득하는데 불량화소들은 gain이나 offset 값이 비정상적으로 높거나 낮은 값을 가지게 된다. 이를 통해 일반적으로 불량화소로 식별하고 주변의 정상화소로 대체하여 영상의 결점을 제거한다.

2.2. Dead Pixel Compensation Method

불균일보정에서 식별된 불량화소는 영상의 결점을 보여 지기에 정상 화소로 보상하여야 한다.

일반적으로 사용하는 적외선 검출기 불량화소 보상 기법은 불량화소 주변의 일정 영역의 화소의 출력에 대해 평균 값으로 대체하는 것이다[11]. 이는 불량화소 주변으로 영상의 급격한 변화가 있을 경우 평균으로 대체하기 때문에 부자연스러울 수 있다.

또는 불량화소 주변에서 정상 화소를 가져와 대체하는 방법이 있다. 급변하는 영상에도 이질감 없는 영상 출력을 볼 수 있고 군집형태의 불량화소들도 효과적으로 보정할 수 있다. 하지만 주변에서 많은 정상 화소 중에서 우선순위에 따라 대체하기 때문에 물체를 탐지 또는 추적하는 장비에서 해당 기법을 사용할 경우 물체가 실제 탐지 크기보다 크거나 또는 작게 탐지 될 수 있다[12].

III. Main

본 논문에서는 고정 패턴 노이즈 및 불량화소를 제거하기 위해 사용하는 불균일보정 용 데이터(Hot & Cold image)를 사용하여 추가적인 데이터 획득이 없이 검출기의 불량화소를 검출하는 온도 비교 보상기법을 제안한다. 기존의 불량화소 검출 기법과의 차이점은 영상처리를 실시하는 FPGA에서 실시간으로 수행하는 것이 아니라 PC에서 수행하여 불량화소 위치정보만 장입하여 사용할 수 있다. 또한 전체 영상의 평균에 대한 offset 이나 gain을 이용하여 제거하는 것이 아니라 각 화소와 주변 화소대비 비교하기에 검출기의 위치별 특성을 고려할 수 있고 보다 정밀하게 불량화소를 검출 할 수 있다.

3.1. Reason of remaining dead pixels after image signal processing

일반적인 불량화소 검출 방법은 실시간으로 입력되는 균일 영상에서 전체 영상의 입력 평균 대비 비정상적으로 높고 낮거나, 불균일보정에서 상수 값이 주변 화소의 상수 값 대비 비정상적으로 높은 경우 불량화소로 판단하고 정상적인 화소로 대체한다. 하지만 출력이나 불균일보정 상수 값이 주변 화소 대비 차이가 있으나 정상 범위 내에 있을 수 있다. 이런 차이는 적외선 영상의 신호처리를 거치면서 증폭되고 최종 출력되는 영상에서 운용자가 식별 할 수 있는 불량 화소가 될 수 있다. 이를 흔히 soft dead라고 한다.

대부분의 soft dead는 주변 화소와 비교하여 불량화소로 판별, 대체 할 수 있으나 일부는 주변 화소와 비교 시 값 차이가 있음에도 정상 범위 내에 존재하여 신호처리 증폭과정을 거쳐 잔존 불량화소로 식별되기도 한다.

이런 soft dead의 특징은 낮은 온도의 물체를 바라볼 때와 높은 온도의 물체를 바라볼 때의 반응도가 주변의 정상 화소와

다르다. 실시간으로 불량화소에 대해 검출을 실시한다면 동일 시간대에 낮은 온도에서, 높은 온도에서의 반응도를 확인 할 수 없어 반응도 차이에 따른 soft dead를 제거 할 수 없다.

이런 반응도 차이에 따라 발생하는 soft dead를 제거하기 위해 본 논문에서는 불균일보정을 위해 획득하는 높은 온도와 낮은 온도의 흑체복사 영상을 이용한다. 해당 영상에서 추출된 검출기의 각 화소 별 반응도 차이를 추려내고 이를 통해 주변 화소와 반응도를 비교 후 불량화소를 검출 및 보상하는 기법을 제안한다.

3.2. Principle of dead pixel detection based element response of two different temperature images

일반적으로 열상 검출기의 불량화소 판단은 크게 다음의 3가지 방식으로 수행된다.

첫 번째는 검출기 제작사에서 제공하는 불량화소 map을 이용한다. 이는 검출기 제작 공정에서 발생 할 수밖에 없는 물리적인 불량화소로 제공되는 map을 통해 해당 화소를 불량화소로 인식 시켜 정상 화소로 대체하는 방법이다. 이런 hard dead는 검출기의 반응이 없거나, 반응도가 극명하게 높은 화소들로서 영상처리를 수행 전 별도의 알고리즘을 통해서도 확인이 된다. 하지만 앞서 언급했듯이 정상 범위 내 이지만 반응도의 차이로 인해 발생하는 soft dead를 제거 할 수는 없다.

두 번째는 불균일보정을 통한 dead 제거 기법이다. 적외선 광학장비의 특성상 입력되는 영상에서 불균일보정을 수행한 후 보정 상수 값이 전체 영상 평균값보다 비정상적인 차이를 보일 경우 이를 dead로 인식하고 정상 화소로 대체하는 방법이다. 이는 영상 전체의 평균을 이용하기에 미세한 반응도의 차이로 발생하는 soft dead는 제거 할 수 없다.

세 번째 기법은 실시간 dead 보상 기법으로 입력되는 영상을 실시간으로 주변 화소와 비교하여 출력 값의 차이가 임의의 기준 값 이상으로 벗어난다면 이를 불량화소로 인지하고 보상하는 기법이다.

위에서 설명한 세 가지의 방법으로 대부분의 불량화소를 검출 할 수 있으나 다른 온도대의 배경을 바라봤을 때 검출기의 반응도 차이로 발생하는 soft dead에 대해서는 취약하다.

본 논문에서 제안하는 방법은 불균일보정을 위해 필요한 2가지 reference 데이터인 Hot, Cold 영상 값을 이용하여 획득된 gain값을 이용한다. 온도 변화에 따라 발생하는 반응도의 차이는 불균일보정에서 획득하는 gain으로 표현 된다는 것을 의미한다. 물론 gain이 다르다고 해서 불량화소를 의미하는 것은 아니지만 임계치를 넘어가는 gain을 가진 화소들은 영상의 온도 변화에 따라 변화량이 크기 때문에 영상처리 후 출력 영상에서 결점으로 보여 지기도 한다.

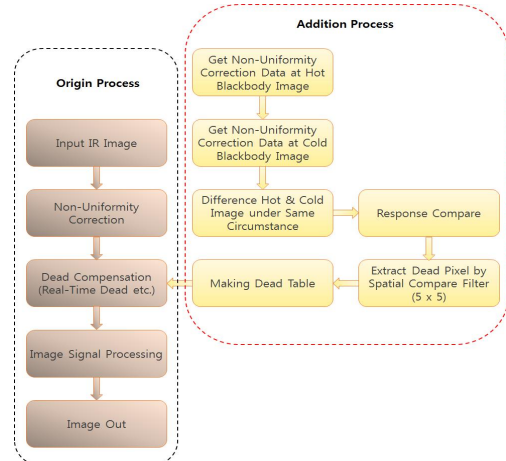


Fig. 2. Function flowing of proposing method

이 방법의 가장 큰 장점은 불균일보정을 위해 획득된 data(Hot, Cold)를 사용하기에 추가적인 데이터 획득이 불필요하다는 점과 실제 검출기를 통해 획득된 데이터 그리고 실시간 dead 보상기법이 아니기에 자원이 무한한 PC기반에서 dead 보상을 실시하여 불량화소 위치 정보만 입력해 줄 수 있다는 점이다. 또한 soft dead화소 주변의 영역을 비교함으로써 검출기 제작 과정에서 발생 할 수 있는 위치별 반응도 차이를 고려할 수 있기에 전체 array(해상도)의 평균으로 임계치를 설정했을 때 보다 민감한 결과 값을 도출 할 수 있다.

본 논문은 이점을 착안하여 그림 3과 같이 임의의 화소 주변 5X5 영역에서 화소별 Hot, Cold image에 대해 불균일보정에서 획득된 gain값의 평균을 구하고 평균 대비 일정한 임계치를 벗어나는 화소를 불량화소로 판단한다. 방법을 다음과 같다.

Cold(0,0)	Gain(0,1)	Cold(0,2)	Cold(0,3)	Cold(0,4)	Hot(0,0)	Hot(0,1)	Hot(0,2)	Hot(0,3)	Hot(0,4)
Cold(1,0)	Cold(1,1)	Cold(1,2)	Cold(1,3)	Cold(1,4)	Hot(1,0)	Hot(1,1)	Hot(1,2)	Hot(1,3)	Hot(1,4)
Cold(2,1)	Cold(2,2)	Cold(2,2) Soft dead	Cold(2,3)	Cold(2,4)	Hot(2,1)	Hot(2,2)	Hot(2,2) Soft dead	Hot(2,3)	Hot(2,4)
Cold(3,0)	Cold(3,1)	Cold(3,2)	Cold(3,3)	Cold(3,4)	Hot(3,0)	Hot(3,1)	Hot(3,2)	Hot(3,3)	Hot(3,4)
Cold(4,0)	Cold(4,1)	Cold(4,2)	Cold(4,3)	Cold(4,4)	Hot(4,0)	Hot(4,1)	Hot(4,2)	Hot(4,3)	Hot(4,4)

Fig. 3. 5X5 matrix around soft dead

$$A_G = \frac{\sum_{(x=0, y=0)}^{(x=n, y=n)} G(x, y)}{n^2} \quad n: \text{matrix size} \quad (1)$$

$A_G = n \times n$ 영역의 gain 평균

2개의 reference(Hot, Cold)를 통해 불균일보정을 실시하여 그림4와 같이 각 화소 별 gain을 획득한다.

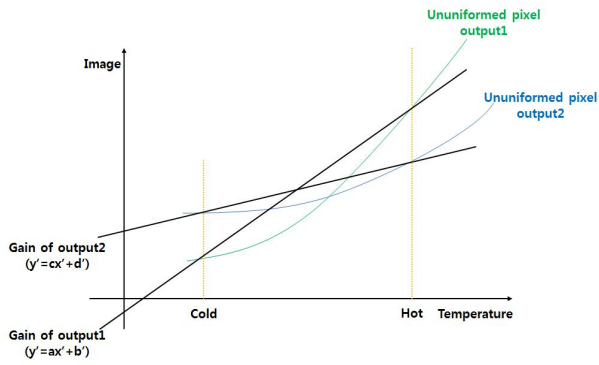


Fig. 4. Gain of each two pixels

획득 된 각 화소 별 gain을 바탕으로 5X5 영역에 대해 평균 (1)을 구한 후 gain의 최소, 최대 임계치를 선정한다. Gain이 비정상적으로 높거나 낮을 경우 임계치를 벗어나며 이때 해당 화소를 불량화소로 간주하여 인접의 정상화소로 보상한다.

그림 5와 같이 입력되는 화소의 평균 대비 상, 하한 임계치를 벗어나는 화소들을 주변 화소 대비 반응도가 상이한 것으로 판단하여 불량화소로 간주하고 정상 화소로 대체한다.

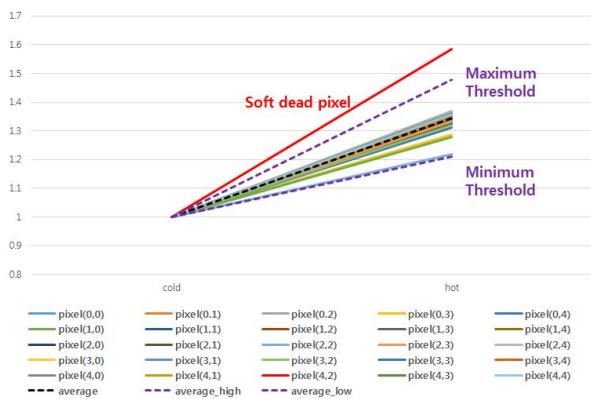


Fig. 5. Example of detection a dead pixel

IV. Experimental Results

다음은 본 논문에서 제시하는 기법으로 실제 입력되는 영상에 대한 불량화소를 식별하고 대체하는 실험 결과를 제시한다. 입력되는 영상은 640 X 480의 단채널 적외선 검출기에서 출력되는 값으로 검출기에서 가지고 있는 hard dead와 일반적으로 사용되는 불량화소 제거 알고리즘으로 처리 후 잔여 soft dead에 대해 적용한다.

4.1. Analyzing response of a soft dead pixel

그림 6은 임의의 한 soft dead에 대해서 주변 5 X 5 영역에

대해 높은 온도의 영상과 낮은 온도의 영상(2개의 reference)의 출력 값을 1차 함수로 표현하여 나타냈다.

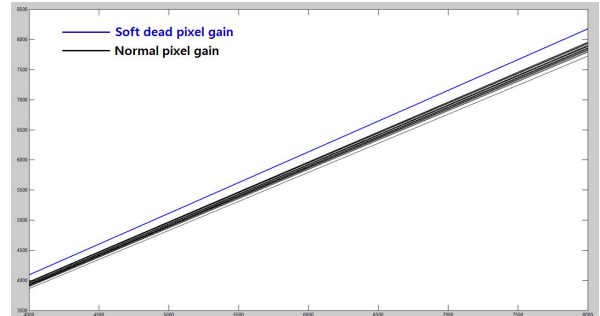


Fig. 6. Gain of a soft dead pixel with normal pixels

균일한 2개의 reference에서 soft dead는 인접한 화소와 비교 시 기울기(gain)가 월등히 차이 나는 것을 확인 할 수 있다. 이를 분석하면 g인접한 화소와의 gain 값의 차이가 양수라면 인접 화소 대비 반응도가 좋다는 것을 의미하며, 음수라면 인접 화소 대비 반응도가 낮다는 것을 의미하게 된다. 두 경우 모두 일반적인 불량화소 처리 과정에서는 정상 화소로 식별될 수 있으며, 영상 처리 과정 중 CEM(Contrast Enhancement Mapping)을 거치게 되면 그림 7과 같이 영상에서 결점으로 표현된다.

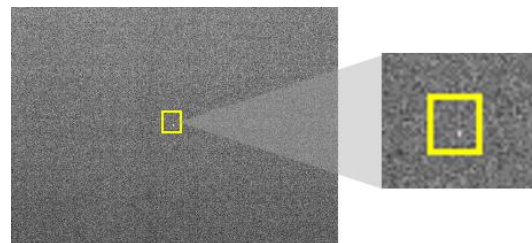


Fig. 7. Soft dead on image after CEM

0FCE	0FAE	0FBA	0FBA	0FE0	0FCC	0F77
0FEA	0FD0	0FD7	0FEA	0FE3	0FDC	0FC7
0FA1	0FA3	0FB1	3FFF	0FA3	0FAE	0FBE
0FC3	0FA3	0FC0	100D	0FD3	0FC3	0FC9
0F7B	0FB5	0FB3	3FFF	0FBE	0F79	0FBC
0FD0	0FB7	0FC0	0FAC	0FC9	0FAA	0FB7
0FBA	0FB5	0F91	0F7B	0FC7	0FA8	0FA1
0FC7	0FD3	0FB3	0FD5	0FD0	0FCC	0FD0

Fig. 8. Detail of a soft dead pixel

그림 8과 같이 해당 soft dead(100D)는 주변 화소 대비 반응의 차이를 보이지만 정상적인 화소로 판단하고 CEM 후 결점으로 보인다.

4.2. Result of dead detection applied pixel response of two different temperature images

불량화소 주변 5 X 5 영역에 대해 gain의 평균을 계산하고 그 평균에 대해 상한 경계 값 만 적용하여 불량화소를 검출 하

는 기법을 수행하였다. 상한 경계 값은 평균의 1.017배(1.7%)로 적용하여 이를 넘어서는 gain을 가지는 화소들은 불량화소로 인지하고 처리한다. 그림 9는 불량화소 주변 5 X 5 영역에 대해 상한 경계 값을 구하고 이를 그래프로 나타내었다.

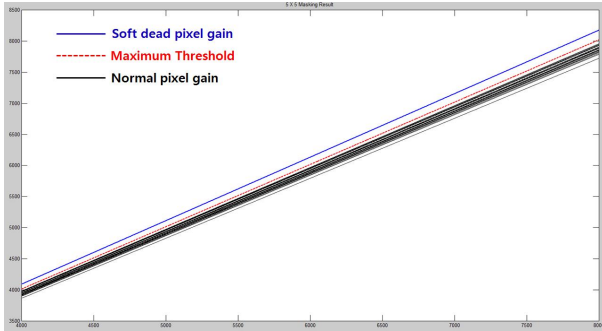


Fig. 9. Gain of average around a soft dead pixel

영상 처리 후 잔여 soft dead는 주변 영역의 gain 대비 높은 것을 확인 할 수 있다. 이는 주변 화소 대비 scene 온도에 따른 반응도가 다름을 의미하며 보편적인 불량화소 제거 기법으로는 판별하기 힘들다. 5 X 5 영역의 평균 gain 대비 1.7% 높은 화소들은 soft dead로 인지하게 알고리즘을 구현하였고 soft dead 추출을 실시하였다.

그림 10은 soft dead로 인지하고 해당 화소를 불량화소로 판단한 결과이다. 여기서 3FFF는 해당 화소를 불량화소로 처리함을 의미한다.



Fig. 10. The Result a pixel of addition process

영상 처리 후 최종 출력 화면에서는 그림 11과 같이 soft dead가 사라진 것을 확인 할 수 있고 그림 12과 그림 13을 비교해 보면 문제의 soft dead가 불량화소로 지정됨과 동시에 전체 영역에서 동일한 soft dead가 식별됨을 확인 하였다.

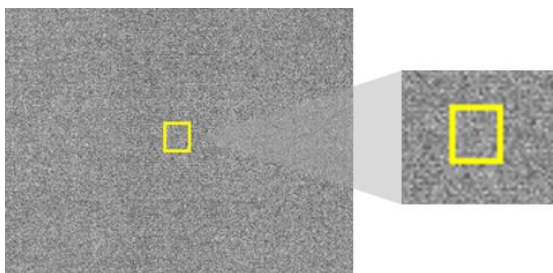


Fig. 11. The Result image of addition process

하단 표 1은 기존 불량화소 제거 기법을 사용한 경우와 본 논문에서 제안하는 온도 별 반응도 비교 기법을 적용 하였을 경우 불량화소 식별 결과를 비교하였다. 640X480 영상에 대해 5X5 matrix 온도 비교 알고리즘은 기존 불량화소 식별 방법보다 약 12.15% 더 많은 불량화소를 식별하였다.

Table 1. Result of dead detection each process

Process	Dead Pixels	Dead Pixels Rate (%)
Origin Process	66	0.0215
Addition Process	543	0.1768

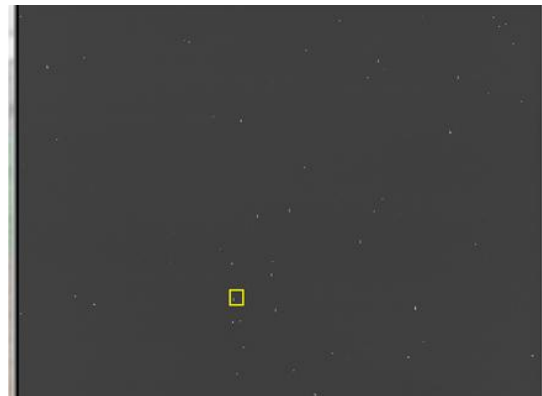


Fig. 12. Origin process dead detection

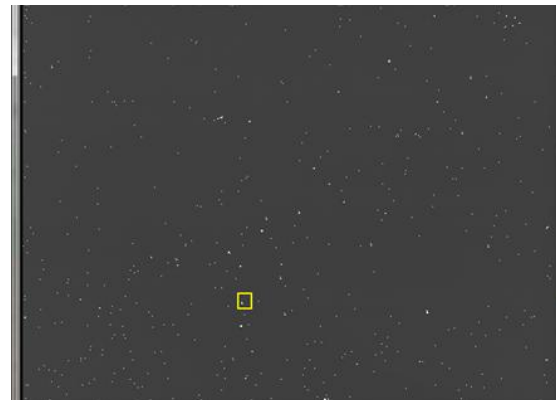


Fig. 13. Addition processing dead detection

V. Conclusions

기존의 불량화소 검출은 불균일보정을 통해 생성되는 오프셋을 통해 경계치를 넘어서는 화소에 대해 불량화소로 판단하고 인접된 정상 화소들로 대체 한다. 기존처럼 FPGA를 통해 작은 반응도 차이로 인해 발생하는 soft dead를 real-time으로 식별하고 정상 화소로 보상하기에는 frame 지연과 많은 자원을 필요로 한다. 특히 저전력과 소형화가 필요한 휴대용 장비에서는 더욱이 soft dead를 real-time으로 식별하기 보다는 수동으

로 soft dead를 식별하고 보상하는 방법을 사용한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고자 불균일보정을 수행하기 위해 획득하는 균일한 영상데이터를 무한한 자원을 가진 PC에서 해결하고자 제안하였다. 제안하는 기법은 soft dead가 화소에 따라 온도별 반응 정도가 다름에서 발생하는 것을 착안하여 다른 두 온도의 균일한 영상데이터를 통해 획득된 이득을 5X5 구역별 평균을 비교하여 사용자가 정한 임계치보다 높고 낮을 경우 이를 soft dead로 판단하고 정상 화소로 대체한다.

제안한 방법을 통해 불량화소를 식별하고 실제 출력되는 영상에서 soft dead가 제거됨을 확인하였다. 하지만 임계치를 선정함에 있어 설계자의 경험치가 필요로 하며, 실제 정상 화소 또한 soft dead로 인지하고 주변화소로 대체할 수 있다. 이를 보완하기 위해 실제 soft dead만 인지하고 보상할 수 있는 향상된 기법을 연구 중에 있다.

일반적인 열상장비에서 불량화소는 큰 결점이 아니다. 하지만 원거리의 물체를 탐지하거나 추적하는 열상장비에서는 하나의 불량화소도 결점으로 표현된다. 탐지 추적과 같은 한 픽셀에 대한 오점으로 영향성을 가지는 장비에 대해 제안한 방법을 적용하여 불량화소를 제거하길 기대한다.

REFERENCES

- [1] Sanghyuck Han, Dong Min Kwak, "Linear Interpolation Based Dynamic NUC Coefficient Estimating Technique on TEC-LESS Uncooled IR System.", Journal of Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Conference, pp.1129-1132, 2012.
- [2] Ho Hyun Shin, Sang Jun Hwang, Seong Woo You and Man Young Sung, "A Design of CMOS ROIC with Reduced Fixed Pattern Noise for Infrared Image Sensor Applications.", Proceeding of Korean Institute of Electrical Engineers, pp.16-17, 2006.
- [3] Euncheol Choi & Moon Gi Kang, "Nonuniformity Correction Algorithm of Infrared Images Considering Readout Circuit Architecture.", Proceeding of Korean Institute of Electrical Engineers, pp.429-430, 2007.
- [4] C. Zuo, Q. Chen, G.H. Gu, X.B. Sui, "Scene-based nonuniformity correction algorithm based on interframe registration," J. Opt. Soc. Am. A, vol.28, pp.1164-1176, 2011.
- [5] Meng Sheng, Juntang Xie, Ziyuan Fu, "Calibration -based NUC Method in Real time Based on IRFPA," ELSEVIER 2011 International Conference on Physics Science and Technology, Vol 22, pp.372-380, Dec, 2011.
- [6] S. Tzimopoulou and A. Lettington, "Scene based techniques for nonuniformity correction of infrared focal plane arrays," Proceedings of SPIE, vol. 3436, pp.172-183, 1998.
- [7] M. Voig, M. Zarzycki, D. LeMieux, and Y. Ramesh, "Scene-Based Non-Uniformity Correction for Focal Plane Arrays using a Facet Model," Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modelling and Testing XVI, Proc. SPIE, vol. 5784, pp. 331-342, 2002.
- [8] Jung-Ho Shin, Seong-Eun Ye, Bo-Mee Kim, Chan Park, "Image Correction Method for Uncooled IR TECless Detector with Non-linear characteristics due to Temperature Change.", Journal of The Korea Society of Coumputer and Information, vol.22, p19-26, 2017.
- [9] Lee, Je il, "Nonuniformity Correction Algorithm and First Implementation for Infrared Camera Including the Background Effect due to Camera Temperature Variation", Sae Mulli 11, pp. 269-274, 2000
- [10] J. Harris and Y. Chiang, "Nonuniformity correction using the constant-statics constraint: Analog and Digital Implementations.", Proceedings of SPIE, vol.3061, pp. 895-905, 1997
- [11] S. Tzimopoulou and A. Lettington, "Scene based techniques for nonuniformity correction of infrared focal plane arrays", Proceedings of SPIE, vol. 3436, pp. 172-183, 1998.
- [12] Kil-Soo Moon, "Spatial Compare Filter Based Real-Time dead Pixel Correction Method for Infrared Camera.", Journal of Korea Society of Computer and Information, vol.21, pp. 35-41, 2016.

Authors



Seong-Eun Ye received the B.S. degrees in Electronic Engineering from Dong-a University, Korea, in 2014. Mr. Ye joined the Electro-Optronics 2Team of Hanwha Systems, Korea, in 2014. He is currently a Engineer in the Electro-optics 2Team,

Hanwha systems. He is interested in Analog & Digital Image Processing of Long Wave IR.



Bo-Mee Kim received the B.S. degrees in Electronic Engineering from Gyeong sang National University, Korea, in 2013. Mrs. Kim joined the Electro-Optronics 2Team of Hanwha Systems, Korea, in 2014. He is currently a Engineer in the Electro-optics

2Team, Hanwha systems. He is interested in Analog & Digital Image Processing of Long Wave IR.