

Spatial Compare Filter Based Real-Time dead Pixel Correction Method for Infrared Camera

Kil-Soo Moon*

Abstract

In this paper, we propose a new real-time dead pixel detection method based on spatial compare filtering, which are usually used in the small target detection. Actually, the soft dead and the small target are cast in the same mold. Our proposed method detect and remove the dead pixels as applying the spatial compare filtering, into the pixel outputs of a detector after the non-uniformity correction. Therefore, we proposed method can effectively detect and replace the dead pixels regardless of the non-uniformity correction performance. In infrared camera, there are usually many dead detector pixels which produce abnormal output caused by manufactural process or operational environment. There are two kind of dead pixel. one is hard dead pixel which electronically generate abnormal outputs and other is soft dead pixel which changed and generated abnormal outputs by the planning process. Infrared camera have to perform non-uniformity correction because of structural and material properties of infrared detector. The hard dead pixels whose offset values obtained by non-uniformity correction are much larger or smaller than the average can be detected easily as dead pixels. However, some dead pixels(soft dead pixel) can remain, because of the difficulty of uncleared decision whether normal pixel or abnormal pixel.

▶ Keyword : dead pixel detection, spatial filtering, infrared camera

I. Introduction

일반적으로 Infrared 카메라는 검출 소자의 반도체 공정, 운용 온도 환경 조건 또는 검출기 노출시간 변화에 따라 특정 화소들의 출력 값이 비정상적인 dead 화소가 많이 나타난다 [1-2]. Infrared 카메라의 영상처리는 Infrared 검출기의 출력 특성상 작은 영상 입력 에너지를 처리하게 된다. 이는 대조비 개선을 통해서 시각적으로 과도하게 펼쳐져야 하는 경향이 있다. 그렇기에 물리적인 dead 화소인 hard dead 화소뿐만 아니라 대조비 개선 및 시각적인 오류로 인해 soft dead 화소가 결점으로 보여 지게 된다. Infrared 검출기의 소자 간 불균일 출력특성 보정을 위해 필수적으로 수행되어야 하는 불균일 보정 과정은 운용 중에 운용 온도 조건 및 운용 시간에 따른 Infrared 검출기의 출력 특성 변화로 발생하는 고정 잡음 패턴

을 제거하는 과정이다[3]. 불균일 보정은 불균일 보정 렌즈, 흑체 등을 통하여 균일한 영상을 입력하고 각 검출기 화소들의 출력이 누적 균일영상의 평균과 일치하도록 각 소자의 출력 값의 이득과 오프셋을 갱신하여 전체적으로 균일한 출력 값을 갖도록 보정[4] 하게 된다. dead 화소들은 일반적으로 불균일 보정 과정에서 생성한 각 화소의 이득 및 오프셋 값을 기준으로 dead 평균과 비교하여 특정 Threshold 범위 보다 크거나 또는 작은 값을 가지는 화소를 dead 화소로 검출[5]한다. 더불어 검출된 dead 화소는 주변의 정상적인 화소의 출력 값으로 대체하여 dead 화소 보정 작업을 하게 된다. 반면에, 불균일 보정 과정에서 누적 균일영상입력을 기준으로 검출기의 출력 값이 크게 변하지는 않지만 비정상적인 출력을 나타내는 soft dead 화소들이 존재[6] 하게 된다. 이는 불균일 보정 과정에 누적 균일

• First Author: Kil-Soo Moon, Corresponding Author: Kil-Soo Moon

*Kil-Soo Moon(kilsoo.moon@hanwha.com), Image Sensor Team, Hanwha Systems.

• Received: 2016. 11. 23, Revised: 2016. 12. 02, Accepted: 2016. 12. 12.

영상의 평균값을 기준으로 dead 화소 검출을 위한 특정 기준 범위에 존재하지 않고 일반 화소와 비슷한 평균값을 갖게 된다. 그렇기 때문에 dead로 검출이 되지 않는 경우가 생기게 되는 것이다.

Soft dead 화소의 경우, 주변 화소와의 값 차이는 크지 않지만 Infrared 카메라의 영상처리 특성상 과도한 대조비 개선의 영향으로 dead화소로 인지되게 되는 화소들이다. 이러한 soft dead 화소들은 검출기의 회로 잡음에 의한 ADC 출력 값의 불안정으로 나타날 수도 있고 검출기 제조공정상 불안정 화소가 운용 환경 조건에 따라 변화하여 나타날 수도 있다[1-2]. 또한, 일반적인 dead 화소 검출 및 보정 과정을 거쳐도 보정 되지 않는 경우가 많다. 결국은, 운용자가 운용 온도 조건, 배경 온도 변화, 검출기 노출시간 변화 등의 다양한 환경 조건에서 수동으로 dead 화소 검출 및 보정 작업을 하여야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 공간 비교 필터 기반의 실시간 dead 화소 제거 기법을 제안한다. 일반적으로 dead 화소들은 인접 화소의 출력 값과 일정크기 이상의 차이가 나게 된다. 이는 점포적 검출에서 표적과 같은 특성을 나타낸다고 볼 수 있다. 따라서 제안하는 기법은 불균일 보정 후의 영상에 대하여 점포적 검출에 사용되는 공간필터[7-9]를 응용한 공간 비교 필터[9]를 통하여 실시간으로 dead 화소를 점포적과 같이 검출 하게 된다. 검출된 dead 화소의 출력은 이웃 화소 중 dead 화소가 아닌 화소의 출력으로 대체하는 방법으로 보정하게 된다.

제안하는 기법은 불균일 보정 과정의 특정 기준에 의한 기존 방법에서 제거하지 못하는 dead 화소들도 효과적으로 실시간 자동 검출 및 보정이 가능 하다. 본 논문에서는 제안하는 기법의 타당성을 보이기 위하여 실제 Infrared 카메라 영상들에 대한 실험 결과를 제시한다. 본 논문은 2장에서 기존의 불균일 보정 및 불량 화소 검출에 대하여 설명하고 3장에서는 공간비교 필터를 기반으로 하는 실시간 불량화소 검출 및 보정에 대하여 설명한다. 4장에서는 실험 결과와 분석을 설명하고 5장에서는 결론을 설명한다.

II. Preliminaries

1. Related works

1.1 불균일 보정(Non-Uniformity Correction) 기법

Infrared 검출기의 출력은 운용 온도에 따라 비선형적인 특성을 갖는다. 또한, 각 검출기 화소는 운용 온도환경 및 노출시간에 따라 출력 특성이 다르다[6]. 그림 1은 적외선 검출기의 온도에 따른 출력 특성 그래프를 나타낸다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 각 검출기 화소에 대한 출력 특성은 온도에 따라 서로 다르다는 것을 알 수 있다.

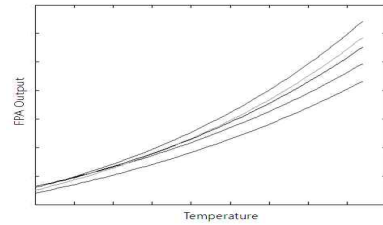


Fig. 1. Output characteristic of Thermal detector by temperature

기존의 Infrared 카메라는 이러한 각 검출기 화소 출력 값의 불균일 특성을 균일하게 보정하기 위하여 기본적으로 2점 불균일 보정과 운용 중 옵셋 보정, 2단계에 걸친 불균일 보정 작업을 수행하게 된다. 기본으로 설정하게 되는 2점 불균일 보정은 블랙바디를 이용하여 기준 reference 이미지가 되는 상온(hot reference image)과 저온(cold reference image), 두 온도에서의 균일한 영상입력을 기준으로 누적 평균 출력 값을 구한다[3-4]. 다음으로 두 reference image의 평균 출력 값을 기준으로 이득과 옵셋의 선형 방정식을 산출해 낸다[5-6]. 각 검출기 화소 출력이 위에서 구한 선형방정식의 출력과 일치하도록 각 검출기 화소에 이득과 옵셋을 적용한다. 이를 통해 운용 온도 조건에 따른 검출기 화소 출력이 균일한 값을 출력하게 된다. 2점 불균일 보정을 통해 각 검출기 화소 출력 값을 균일하게 보정한 후에도 장비가 운용됨에 따라 검출기 운용 시간에 따른 소자 불안정 특성 때문에 각 검출기 화소 특성이 변화하게 된다[3]. 이러한 시간에 따른 불균일화 특성은 고정 패턴 잡음을 생성하므로 추가적인 옵셋 보정 과정을 통하여 이를 제거해야 한다[6]. 옵셋 보정은 열상 장비의 운용 중에 균일한 영상을 입력시켜 입력된 영상의 전체 누적 평균값을 기준으로 옵셋 값을 조절하여 각 화소의 출력 값을 균일하게 만들어 주는 과정이다. 균일한 영상은 흑체, 서터 또는 렌즈와 같은 부가적인 기구물을 사용하여 획득하게 된다.

1.2 일반적인 dead 화소 검출 및 제거 기법

일반적으로 dead 화소는 불균일 보정 과정을 통하여 보정된 옵셋 테이블에 대하여 먼저 전체 평균 μ 를 구하고, 특정 Threshold α 값을 설정하여 해당 범위 ($\mu - \alpha$, $\mu + \alpha$)를 벗어나는 옵셋 값을 가지는 화소를 dead 화소로 검출한다. 다음은 dead 화소 선택 수식 이다. 그림 2는 정상적인 상황에서의 일반적인 dead 화소 검출 기법을 나타낸다.

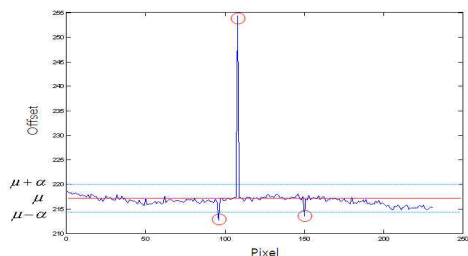


Fig. 2. General method for dead pixel detection

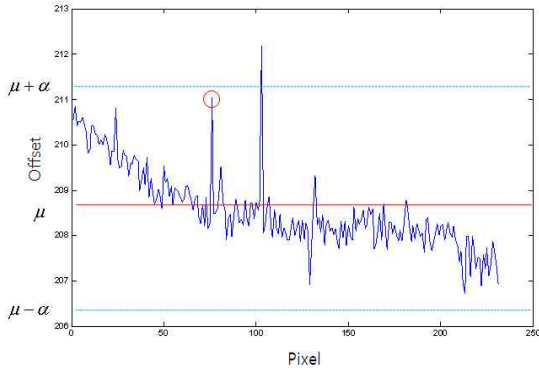


Fig. 3. Example of dead pixel that do not detect by existing method

반면에, 그림 3과 같이 오프셋 보정 수행 시 검출기 불완정 특성에 의해 기준 reference 이미지가 균일하게 형성되지 않는 경우가 발생하게 된다. 그림 3에서 표시된 dead 화소는 정상 화소의 범위에 포함되어 있기 때문에 정상 화소로 인식하게 된다. 만약 이러한 화소들을 검출하기 위하여 α 값을 낮추게 되면 정상 화소들이 dead 화소로 검출될 오류가 발생 할 수 있다.

Hard dead 화소의 경우는 출력 값이 현저히 높거나 낮은 특성을 갖는다. Hard dead 화소는 검출 범위에 존재 하여 쉽게 검출되게 된다. 하지만, 그림 3과 같이 주변 화소에 비하여 값이 비정상적 출력이 나타나지만 정상 화소 범위에 존재하는 soft dead 화소도 존재하게 된다. 이렇게 dead 화소로 검출되지 못한 화소들은 보정작업에서 보정되지 못하므로 영상에서 노이즈나 결점으로 나타나게 된다. 이러한 dead 화소들을 보정하기 위하여 운용자가 환경변수를 가지고 영상을 관찰하고, 일일이 수동으로 선택하여 제거해야 한다.

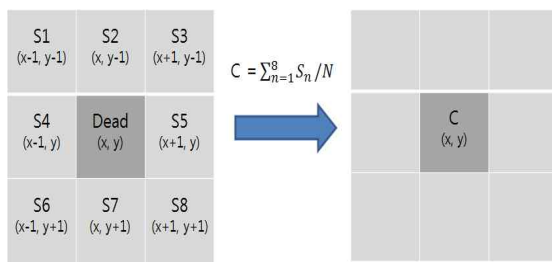


Fig. 4. General method for dead pixel compensation

일반적으로 사용되는 Infrared 검출기의 dead 화소의 보정 방법은 그림 4와 같이 단일 dead 화소를 기준[5]으로 하여 보정작업이 수행된다.

$$C = \sum_{n=1}^8 S_n / N \quad (1)$$

dead 화소 보정은 수식 (1)과 같이 인접 화소 출력 값의 평균값을 이용하여 보정한다.

III. The Proposed Algorithm

본 논문에서는 장비 운용 중에 입력 영상에 대하여 이진화 등 별도의 선 변환 작업 없이 soft dead 화소에 대한 실시간 검출 및 보정 작업이 가능 하도록 공간 비교 필터링 기반의 기법을 제안한다.

1. 공간 비교 필터링 기반의 실시간 dead 화소 검출 기법

위에서 언급했듯이 기존의 dead 화소 제거 방법은 불균일 보정 과정에서 입력되는 균일 영상의 균일도가 충분하지 않은 경우, 운용 온도 조건, 운용 시간에 따라 작은 범위에서 비정상적인 출력변화가 있는 화소의 경우, 비정상적인 출력임에도 불구하고 해당 화소의 불균일 보정 오프셋 값이 상대적으로 작은 경우, dead 화소로 검출하지 못하는 문제가 발생한다. 이러한 soft dead 화소의 경우, Infrared 영상 대조비 개선을 통해 결점으로 보여 지게 된다.

이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 점표적 검출에 주로 사용되는 공간 필터링을 응용한 공간 비교 필터링을 통하여 실시간 dead 화소 검출 및 보정 기법을 제안한다. 점표적의 특성은 일반적으로 주위 화소보다 출력 값이 상대적으로 높다[7-8]. 이러한 점표적을 검출하기 위하여 평균제거 필터[8], 모폴로지 필터[9], 중간 값 제거 필터[10] 등의 공간 필터기반의 배경제거 기법[11-12]이 주로 사용된다. 점표적의 특성은 dead 화소의 출력 값의 특성과 유사한 특성이 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 기법은 불균일 보정후의 영상에 대하여 공간 필터를 응용한 공간 비교 필터를 적용하여 실시간으로 dead를 검출 및 보정하는 기법을 제시한다. 다음과 같이 현재 화소를 기준으로 주변 화소와의 차이 값 F_{ij} 이 설정된 기준 값 α 이상이 되는 화소가 몇 개(기준 값 β)가 존재하는지를 판단하여 dead 화소로 검출하게 된다.

$$|F_{ij}| > \alpha \quad (2)$$

기준 값 α , β 의 값을 높게 설정할 경우 soft dead(기준 값 α 영향), 군집된 dead 화소들(기준 값 β 영향)의 검출률이 떨어지고 낮게 설정할 경우 복잡한 특성의 입력 영상에서 영상의 경계선 부분에서 정상 화소를 dead 화소로 검출하게 되는 오류가 발생하게 된다. 하여, 해당 기법이 적용될 장비의 다양한 실제 운용 환경에서 기준 값 α , β 의 적절한 값을 찾아야 한다.

dead 화소 보정은 불균일 보정에서의 기존의 dead 검출방법을 통해 설정된 dead 화소와 공간비교필터링을 통해 실시간으로 검출된 dead 화소 보정으로 구분되어 진다. 그림 5와 6은 제안하는 기법의 기능 흐름도 및 순서도를 나타낸다.

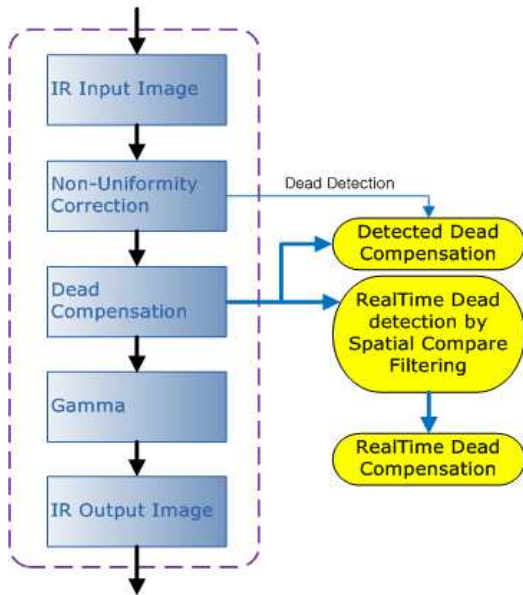


Fig. 5. Function flowing of proposing method

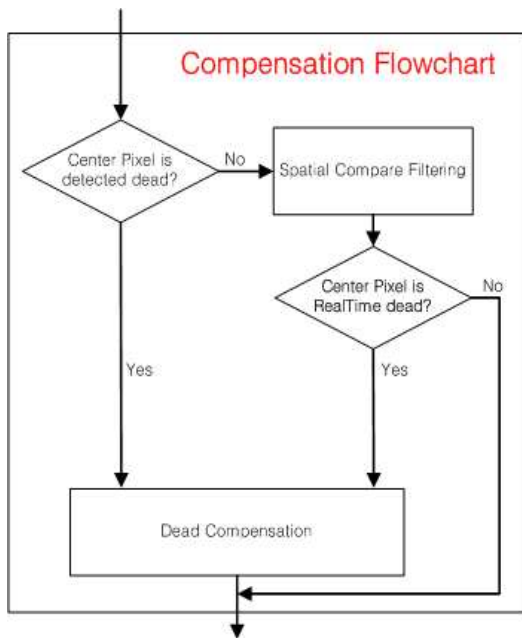


Fig. 6. Compensation flowchart of proposing method

- 1) 불균일 보정 단계에서 검출기 입력영상에 불균일 보정을 통해 구해진 이득, 오프셋 값의 선형방정식을 적용하여 준다. 불균일 보정 방식을 통해 검출된 hard dead 화소를 설정한다.
- 2) 결점 보상 단계에서 hard dead 화소로 판별 된 것이 아니라면 본 논문에서 제안하는 방식을 이용하여 3X3 마스크 공간필터를 기준으로 dead 화소 여부를 다시 판별하게 된다. dead 화소 판별을 통해 soft dead 화소로 판단된다면 dead 보상 작업을 진행하게 된다.

2. dead 화소 보정 기법

일반적으로 사용되는 Infrared 검출기의 dead 화소 보정 방법은 단일 dead 화소를 기준으로 하여 만들어졌으며, 그림 4와 같이 인접 화소들의 출력신호 평균을 이용하여 보정한다. 그러나 dead 화소들이 군집형태로 존재하는 경우, 인접 화소들의 출력 신호 평균을 이용한 보정으로는 정확한 보정이 이루어지지 않기 때문에 화질 저하의 원인이 된다.

본 논문에서 제안하는 기법은 우선 인접 화소들이 dead 화소인지 아닌지를 판별한다. 인접 화소 중에 정상 화소에 우선순위를 두어 dead 화소 보정을 하는 방식이다. 이는 군집형태의 dead 화소들도 효과적으로 보정하는 것을 볼 수 있다.

P1 (x-1, y-1)	P2 (x, y-1)	P3 (x+1, y-1)
P4 (x-1, y)	Center (x, y)	P5 (x+1, y)
P6 (x-1, y+1)	P7 (x, y+1)	P8 (x+1, y+1)

Fig. 7. 3X3 Mask Filter

그림 7과 같이 3X3 마스크상의 중심 화소와 주변을 둘러싼 8개 화소와의 상관관계를 이용하여 해당 기법이 적용되게 된다.

- 1) 중심 화소 값 (x, y)와 주변 8개 화소 값들과의 각각의 출력 값의 차이를 구한다.
- 2) 각각의 출력 값 차이가 기준 값 α(출력 값 차이) 이상이 되는 개수가 몇 개인지를 계산한다.
- 3) 계산된 개수가 기준 값 β(검출 개수)이상이라면 dead 화소로 판단하게 된다.

이를 간단히 정리하자면 중앙 화소와 주변 화소들과의 차이 값이 기준 값 α 이상인 화소가 기준 값 β 개 이상 존재 한다면 dead로 판단하게 된다는 것이다. 기준 값이 되는 α와 β는 해당 기법이 적용되고자 하는 장비의 검출 소자 특성과 운용 환경 조건에 따라 그 값을 적절히 조절해 주어야 한다.

	Rank 3	Rank 2	Rank 4	
	P1 (x-1, y-1)	P2 (x, y-1)	P3 (x+1, y-1)	
Rank 1	P4 (x-1, y)	Center (x, y)	P5 (x+1, y)	Rank 5
	P6 (x-1, y+1)	P7 (x, y+1)	P8 (x+1, y+1)	
	Rank 7	Rank 6	Rank 8	

Fig. 8. Dead compensation ranking of proposing method

본 논문에서 제안 하는 dead 화소 보상은 dead 화소로 검출된 중앙 화소를 기준으로 정상 화소로 판단되는 주변 8개 화소 중 1개로 대체하는 방법이다. dead의 보상은 그림 8과 같이 중앙 화소의 주변 8개 화소 중 우선순위에 따라 대체 하고, 대체 할 화소가 dead 화소로 설정되었을 경우, 다음 순위의 화소로 대체하게 된다. 이는 기존의 단일 dead 화소 보정 기법을 벗어나 군집형태의 dead 화소들도 주변의 정상 화소로 적절히 보정되게 하는 효과가 있다.

IV. Experimental Results

1. 알고리즘 성능 분석 결과

제안하는 기법의 타당성을 보이기 위하여 본 논문에서는 실제 640 X 480 Infrared 검출기의 1채널 14비트 Gray 출력 영상에 대한 실험 결과를 제시한다.

Infrared 검출기는 특정 적외선 파장대만을 검출하기에 검출되는 에너지 영역이 상당히 협소하다. 그림 9는 불균일 보정을 위한 누적 균일 Reference 이미지이다. 그림 9의 Reference 이미지에서 볼 수 있듯이 물리적인 dead 화소가 아니더라도 대조비 개선 및 시각적인 오류에 의해 dead로 인식이 되는 soft dead 화소가 존재하게 된다.

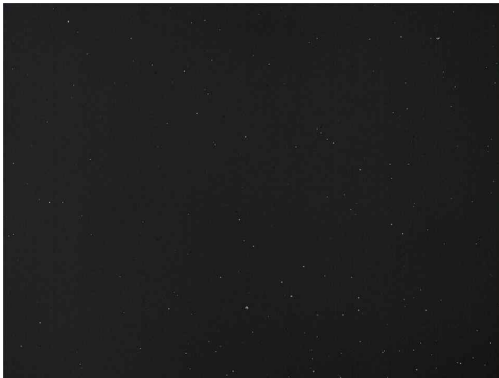


Fig. 9. Reference Image for Non-Uniformity Correction

그림 9의 Reference 이미지를 분석해 보면 이미지 전체에서 실제 물리적인 dead 화소로 볼 수 있는 점들을 제외한 나머지 dead 화소로 보이는 화소 값은 주변 화소 간 값의 차이가 14비트 Gray 영상 출력 값을 기준으로 200~300정도의 Digital Level 차이가 있었다. 그렇기에 기존 기법으로는 주변 화소간의 값의 차이가 절대적으로 크지 않은 dead 화소를 검출하기 어려운 것이다.

Soft dead 화소의 경우, 그림 10의 결과에서 보면 알 수 있듯이 기존의 일반적인 dead 화소 검출 및 보정 과정을 거쳐도 보정 되지 않았다. 기존의 dead 화소 제거 방법은 조건에 따라 작은 범위에서 비정상적인 출력변화가 있는 화소의 경우, 비정

상적인 출력임에도 불구하고 dead 화소로 검출하지 못하는 문제가 발생하였다.

그림 10은 기존 기법에 의해 dead 검출 보정한 결과 이다. 그림 11은 제안하는 기법을 적용하여 기준 값 α 는 30, 기준 값 β 는 5로 설정한 후 dead 화소를 검출하고 보정한 결과를 영상으로 표현한 것이다.

기준 값 α , β 는 실제 시험 장비 운용 중에 다양한 영상 환경을 기준으로 하여 여러 영상 환경에 따른 영상 특성에 범용적으로 적용될 수 있는 값을 찾은 것 이다.

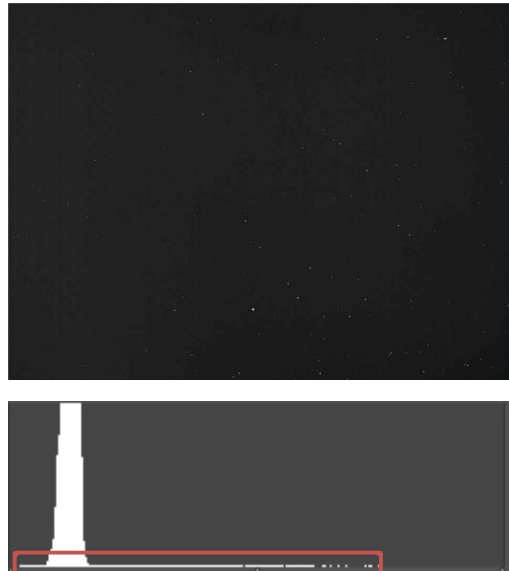


Fig. 10. Test Result Image & Histogram of general method for dead pixel compensation

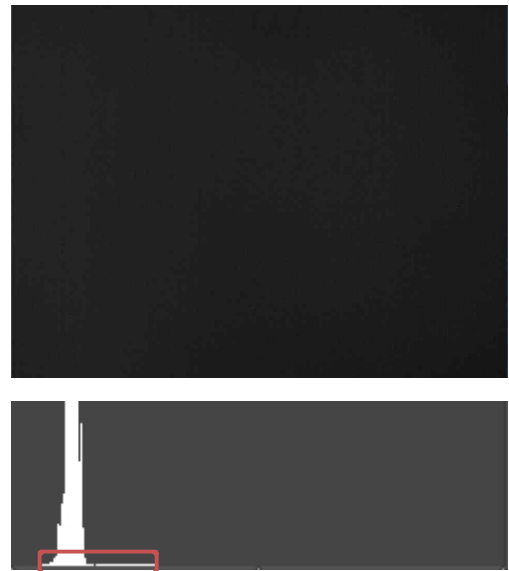


Fig. 11. Test Result Image & Histogram of proposing method for dead pixel compensation

그림 10과 11의 결과 히스토그램의 하단영역을 보면 불특정 다수로 존재하는 dead 화소를 확인해 볼 수 있다. 그림 11의

히스토그램 결과와 표 1의 검출 결과를 보면 기존 기법에 의해서 보정되지 않았던 dead 화소들이 효과적으로 보정 되었음을 볼 수 있다.

Table 1. Test result of dead pixel detection

Method	Detected dead pixels	Dead Pixel Rate (%)
General detection method	568	0.1849
Proposed detection Method	784	0.2552

실험 결과에서 볼 수 있듯이 제안하는 기법은 상대적인 값을 판단기준 으로 하여 dead 화소를 효과적으로 검출 하였다. 또한, dead 화소로 검출이 되었다 하더라도 보상하는 과정에서 dead 화소가 군집되어 있는 형태로 존재하는 경우, 기존의 보상 방법으로는 적절한 보상이 되지 않아 결점처럼 보이게 되는 경우가 발생하였다. 이에 제안하는 보상 방법을 적용하여 우선순위에 따른 인접 화소 대체를 통해 군집된 dead 화소에 대한 적절한 보상이 이루어짐을 표 2와 같이 확인 할 수 있었다.

Table 2. Compensation Rate for throng dead pixels(Dead pixel 50 standard that crowd together)

Method	Throng dead pixels	Compensation Rate(%)
General compensation method	32	64
Proposed compensation method	48	96

다음으로는 실제 Infrared 카메라 장비에서의 제안하는 기법에 의한 실시간 dead 화소 보정 결과를 제시한다. 그림 12는 기존 기법에 의한 dead 화소 검출 및 보정 결과 영상이고 그림 13은 제안하는 기법에 의한 실시간 dead 화소 검출 및 보정 결과 이다. 그림 12,13은 넓은 분포의 에너지 영역이 존재하는 실제 영상이다. 이는 그림 10,11과 같이 균일한 에너지 분포가 아니기 때문에 dead 화소 검출 및 보정 결과를 정확하게 도출해 내기 어렵다. 단지, 실제 Infrared 카메라 장비가 일반 운용 중인 상태에서 시간적인 판단으로 실시간 dead 화소 보정이 효과적으로 이루어짐을 보여주기 위함이다.



Fig. 12. Test Result Image of general method for dead pixel compensation



Fig. 13. Test Result Image of proposing method for dead pixel compensation

V. Conclusions

일반적으로 dead 화소 검출은 Infrared 카메라의 불균일 보정 과정을 통해 형성되는 선형방정식의 이득, 오프셋 값을 기준으로 한다. 이때 이득, 오프셋 값이 비정상적으로 크거나 작은 경우를 dead 화소로 검출 하게 된다. 검출된 dead 화소는 단일 dead 화소를 기준으로 인접 화소들의 출력신호 평균을 이용하여 보정한다.

Soft dead 화소의 경우 기존의 방식으로는 불균일 보정 이득, 오프셋 값의 차이가 크게 나지 않기 때문에 dead 화소로 검출하지 못한다. 결국 수동으로 dead 화소를 검출하여 보상하는 추가 작업을 필요 하게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 점포적 검출분야에서 적용되는 공간 필터링을 응용한 기법을 제안 하였다 . 공간 비교 필터링을 통하여 상대적 판단기준을 적용하는 dead 화소 보상기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 기준 값 α 와 기준 값 β 를 기준으로 공간 비교 필터링을 통해 실시간으로 dead 화소를 검출 하였다. 또한, 인접 화소들이 dead 화소인지 아닌지를 먼저 판별하고 인접 화소들의 정상 화소 중 우선순위를 두어 dead 화소 보정작업을 수행 하였다. 이는 군집형태의

dead 화소들도 효과적으로 보정되는 것을 볼 수 있다.

제안하는 기법의 타당성을 보이기 위하여 실제 Infrared 영상의 실험 결과를 제시 하였다. 실험 결과에서 보면 Infrared 검출기의 실제 영상 입력 및 균일 영상 입력에 대해서 효과적으로 dead 화소들이 실시간 검출 및 보정이 되었다.

장비 운용 환경에 따른 다양한 특성의 입력 영상에 대해 실시간 dead 화소 검출 및 보정을 위해 기준 값 α, β 를 영상 복잡도에 따라 자동 갱신하는 기법을 보완 연구 중에 있다.

REFERENCES

- [1] W. Isoz, "Nonuniformity Correction of Infrared Focal Plane Arrays," *Infrared Tech. Appli. Proc. SPIE*, vol. 5783, pp. 949-960, 2005.
- [2] Z. Jungju, X. Suxia, C. Benkang, Q. Yunsheng, and S. Lianjun, "A nonuniformity correction algorithm for infrared focal-plane arrays," *Proceedings of SPIE*, vol. 5640, pp. 425-433, 2005.
- [3] J. Harris and Y. Chiang, "Nonuniformity correction using the constant-statistics constraint: Analog and Digital Implementations," *Proceedings of SPIE*, vol. 3061, pp. 895-905, 1997.
- [4] J. Harris and Y. Chiang, "Nonuniformity correction of infrared image sequences using the constant-statistics constraint," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 8, no. 8, pp. 1148-1151, Aug. 1999.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] C. Kim, J. Kim, and K. Jang. "Real-time small target detection method Using multiple filters and IPP Libraries in Infrared Images," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 21, No. 8, pp. 21-28, Aug. 2016.
- [8] J. Kim, B. Choi, S. Chun, J. Lee, and Y. Moon, "The Target Detection and Classification Method Using SURF Feature Points and Image Displacement in Infrared Images." *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 19, No. 11, pp. 43-52, Nov. 2014.
- [9] S. Qi, J. Ma, C. Tao, C Yang and J. Tian, "A Robust Directional Saliency-Based Method for Infrared Small-Target Detection Under Various Complex Backgrounds," *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 10, No. 3, pp. 495-499, May 2013.
- [10] Y. Han, P. Zhang, C. Fei, and X. Wang, "Infrared small target detection based on spatio-temporal saliency in video sequence," *IEEE 12th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)*, pp. 279-282, 2015.
- [11] Lee, Im-Geun, "Image Contrast Enhancement using Adaptive Unsharp Mask and Directional Information", *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, v.16, no.3, pp.24-34, 2011
- [12] Jae-Hyup Kim, Bong-Joon Choi, Seung-Woo Chun, Jong-Min Lee, Young-Shik Moon, "The Target Detection and Classification Method Using SURF Feature Points and Image Displacement in Infrared Images", *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, v.19, no.11, pp.43-52, 2014

Authors



Kil Soo Moon received the B.S. degrees in Electrical, Information & Control Engineering from KyungHee University, Korea, in 2008, respectively.

In 2008, he joined Hanwha Systems.

Co., Republic of Korea, and he is currently a researcher. He is interested in Image Processing, Detection and computer vision for IR Camera.