

A Improved Scene based Non-uniformity Correction Algorithm for Infrared Camera

Ho-Jin Hyun*, Byung-In Choi**

Abstract

In this paper, we propose an efficient scene based non-uniformity correction algorithm which performs the offset correction using the uniform obtained from input scenes for Infrared camera. In general, pixel outputs of a infrared detector can not be uniform. Therefore, the non-uniformity correction procedure need to be performed to make the image outputs uniform. A typical non-uniformity correction method uses a black body at the laboratory to obtain the output of the infrared detector's pixels for two temperatures, HOT and COLD, and calculates the non-uniformity correction parameters. However, output characteristics of the Infrared detector changes while the Infrared camera is operated, the fixed pattern noise of the Infrared detector and dead pixels are generated. To remove the noise, the offset correction is generally performed. The offset correction procedure usually need the additional device such as a thermo-electric cooler, shutter, or non-uniformity correction lens. Therefore, we introduce a general scene based non-uniformity correction technique without additional equipment, and then we propose an improved non-uniformity correction algorithm based on image to solve the problem of the existing technique.

▶ Keyword: Non-uniformity correction, Scene based, Infrared camera, Offset correction

I. Introduction

절대온도 OK 이상의 모든 물체에서는 적외선 열 복사에너지가 방출된다. 이 적외선 열 복사에너지를 검출해서 영상으로 구현하는 장비가 적외선 카메라이다. 기존에는 관측용으로 많이 사용이 되었으나, 최근에는 지상, 해상, 항공장비에 탑재되어 장거리 목표물을 인지 및 식별하고, 탐지, 추적하는 용도 등 다양하게 활용되고 있다. 적외선 카메라에서 가장 핵심이 되는 부품이 적외선 검출기이다. 최근 적외선 검출기의 기술 향상으로, 해상도가 점점 높아지고 픽셀피치가 작아지며, 불량픽셀 및 등가잡음온도차의 감소 등으로 성능이 많이 개선되고 있다. 반면에 일반적으로 적외선 검출기의 각각 픽셀들의 출력특성은 균일하지 않다. 이러한 불균일 특성을 해결하고 영상의 품질을 올리기 위해서는 불균일 보정이 필수적이다.

일반적인 불균일 보정 방법은 실험실 레벨에서 흑체를 사용하여, 목표로 하는 배경온도를 중심으로 더 높은 온도인 HOT

과 더 낮은 온도인 COLD의 두 온도에 대한 적외선 검출기 픽셀들의 출력을 획득하고, 이를 기반으로 불균일 보정 파라미터 (이득, 오프셋)를 산출하게 된다. 산출된 각각의 픽셀에 대한 불균일 보정 파라미터를 사용하여 적외선 검출기 픽셀의 출력을 균일하게 보정한다. 이런 보정 방법을 2점 불균일 보정이라고 한다. 이후 실제 장비를 운용하며 현재 장비의 상황에 맞는 균일한 온도 영상을 입력하고 이를 통해 적외선 검출기의 오프셋을 추출한 후 2점 불균일 보정시에 산출되었던 오프셋값에 갱신해야 하는데, 이런 보정 방법을 1점 불균일 보정이라고 한다. 이렇게 불균일 보정된 적외선 카메라는 보정 직후에는 균일한 영상을 확보할 수 있으나, 적외선 카메라가 운용됨에 따라 목표로 하는 배경온도가 변화되고, 외부 환경의 변화에 따라 장비 내부의 온도가 바뀌게 된다. 아울러 장비 내부의 전자부품 및 기관의 발열로 인해 검출기 픽셀출력이 증가되고, 검출기의 고정패턴잡

* First Author: Ho-Jin Hyun, Corresponding Author: Ho-Jin Hyun

*Ho-Jin Hyun (hojin.hyun@hanwha.com), Electoro-Optronics 2Team, Hanwha Systems Company

**Byung-In Choi (byungin.choi@hanwha.com), Image PGM Team, Hanwha Systems Company

• Received: 2017. 12. 04, Revised: 2017. 12. 14, Accepted: 2017. 12. 19.

음을 생성하는 등 적외선 검출기 출력이 변화하게 된다.

이러한 고정패턴잡음을 효과적으로 제거하기 위해서 적외선 카메라의 운용 중 적외선 검출기 각각 픽셀의 오프셋을 보정하는 1점 불균일 보정을 적절하게 수행해야 한다. 이러한 오프셋 보정 과정은 균일한 온도의 영상을 획득하기 위해, 장비 내부에 TEC(Thermo electric cooler)나 서터, 또는 불균일 보정 렌즈와 같은 추가적인 광학, 기구적인 장치가 필요하다. 이러한 추가적인 장치는 적외선 카메라의 크기와 비용을 증가하고 구조를 복잡하게 하는 원인이 될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 영상 기반의 불균일 보정 기법이 제안되었다.

본 논문에서는 이러한 추가적인 장치 없이 입력되는 영상을 수집하고, 수집된 영상들을 기반으로 균일한 영상을 생성하여 오프셋 보정을 수행하는 기존의 영상 기반의 오프셋 보정 알고리즘을 소개한다. 소개한 기법은 균일한 평균영상을 얻기 위해 먼저 많은 적외선 영상을 수집한다. 이 때 각 검출기 픽셀들이 다양한 입력을 가질 수 있도록 적외선 카메라를 적절히 구동한다. 다음으로, 획득된 영상들의 평균 영상을 구한다. 많은 영상들을 평균하면 평균 영상은 균일한 영상이 된다. 이렇게 얻어진 균일한 평균 영상을 사용하여 적외선 검출기의 오프셋 보정을 수행한다. 소개한 영상 기반의 오프셋 보정을 통하여 고정패턴잡음을 효과적으로 제거할 수 있다. 또한 부가적인 기구물이 필요 없기 때문에 적외선 카메라의 크기를 줄일 수 있다. 따라서 소형화가 요구되는 적외선 카메라에 적용할 수 있다.

반면에 이와 같은 기존의 영상 기반의 불균일 보정 기법은 균일 영상을 획득할 때 입력영상에서 edge가 강하거나, 현저히 높거나 낮은 온도의 물체가 존재할 때, 영상 보정 결과에 edge 성분이 나타나거나 얼룩이 나타나는 현상인 Ghost 효과가 발생한다. 그렇기 때문에 균일한 평균영상을 얻기 위해 많은 영상이 필요함에 따라 오랜 수행시간이 걸리는 단점이 있었다.

본 논문에서는 기존의 영상 기반의 불균일 보정 기법의 단점을 보완하기 위해, 초점을 흐리게 하는 Defocus에 의한 입력 영상의 블러링과 적외선 카메라의 고속 구동을 통한 모션 블러링으로 edge 성분을 제거한다. 그리고 평균 영상을 얻기 위해 배경보다 매우 밝거나 어두운 값은 제외하고, 불량픽셀 탐지 및 제거한다. 이후 공간필터 기반의 오프셋 보정값 추출 기법을 적용하여 영상의 얼룩을 제거하는 효과적인 영상 기반의 오프셋 보정 알고리즘을 언급한다. 이를 통해 현재 샘플 영상의 개수를 줄일 수 있는 효과적인 균일 영상 생성 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 처음에는 먼저 일반적으로 적용되는 2점 및 1점 불균일 보정과 오프셋 보정 기법에 대해 설명하고, 다음으로 영상을 기반으로 하는 균일한 평균 영상을 얻어 적외선 검출기의 오프셋을 보정하는 기존의 불균일 보정 기법에 대해서 소개한다. 이후 제안하는 알고리즘에 대한 상세한 설명과 함께 실제 적외선 영상의 실험결과를 제시하고, 마지막으로 결론을 제시한다.

II. Preliminaries

1. General non-uniformity correction and offset correction method

일반적으로 온도에 대한 적외선 검출기의 출력 특성은 선형적이지 않다. 또한, 각 검출기 픽셀에 따라 출력 특성이 서로 다르다. Fig.1.은 적외선 검출기의 온도에 따른 출력 특성의 그래프를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 각 검출기 픽셀에 대한 출력 특성은 서로 다르다. 이러한 검출기 픽셀의 불균일을 보정하기 위해서는 적외선 카메라는 2점 불균일 보정을 수행한다. 2점 불균일 보정은 먼저 흑체를 사용하여 목표포 하는 배경온도를 중심으로 더 높은 온도인 HOT과 더 낮은 온도인 COLD의 두 온도에 대한 각 검출기들의 출력과 전체 검출기의 평균값을 구한다. Fig.2.는 i번째 검출기의 출력 특성 $Y_i(T)$ 와 전체 평균의 출력 특성 $\bar{Y}(T)$ 를 그래프로 나타내었다. 다음으로 그림에서 볼 수 있듯이 $Y_i(T)$ 와 $\bar{Y}(T)$ 를 각각 두 점 $(T_C, Y_i(T_C)), (T_H, Y_i(T_H))$ 와 $(T_C, \bar{Y}(T_C)), (T_H, \bar{Y}(T_H))$ 를 연결하는 선형방정식으로 표현한다. 계산된 $Y_i(T)$ 의 선형방정식이 $\bar{Y}(T)$ 에서의 선형 방정식과 일치하도록 선형 방정식의 이득과 오프셋을 보정한다. 이득과 오프셋 보정 수식은 다음과 같다.

$$G_i = \frac{\bar{Y}(T_H) - \bar{Y}(T_C)}{Y_i(T_H) - Y_i(T_C)}, \tag{1}$$

$$O_i = \bar{Y}(T_C) - \frac{\bar{Y}(T_H) - \bar{Y}(T_C)}{Y_i(T_H) - Y_i(T_C)} Y_i(T_C)$$

따라서 보정된 i 번째 검출기의 출력은 다음과 같다.

$$Y_i = G_i \cdot T + O_i \tag{2}$$

이렇게 구한 각 픽셀의 이득과 오프셋 보정값을 테이블화하여 불균일 보정을 수행하게 된다.

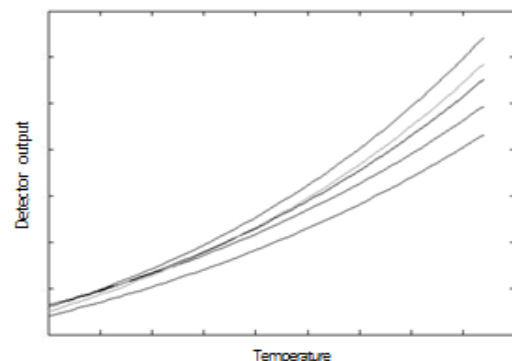


Fig. 1. Output characteristics of infrared detector by temperature

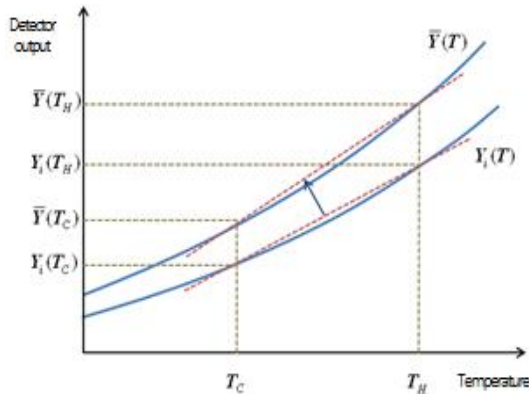


Fig. 2. 2-point non-uniformity correction method

불균일 보정을 수행한 후에도 장비가 운용됨에 따라 각 검출기 픽셀의 출력 특성이 변화하게 된다. 또한 장비의 내부 온도의 변화가 검출기 출력 특성의 변화에 영향을 미치게 된다. 이러한 시간에 따른 검출기 픽셀의 출력 특성 변화와 내부 온도 변화는 영상에서 고정패턴잡음을 생성한다. 이를 제거하기 위하여 불균일 보정 파라미터 중 옵셋을 보정하는 1점 불균일 보정을 수행하게 된다. 옵셋 보정은 적외선 카메라의 운용 중에 특정한 온도의 균일한 영상을 입력시켜 입력된 영상의 전체 평균으로 각 검출기 픽셀의 출력을 일치시키도록 옵셋을 보정한다. 균일한 영상은 장비 내부에 TEC(Thermo electric cooler) 나 서터, 또는 불균일 보정 렌즈와 같은 추가적인 광학, 기구적인 장치들 사용하여 획득하게 된다. 입력 영상이 하나의 온도에 대한 균일 영상이므로, 불균일 보정 파라미터 중에서 옵셋을 보정하게 된다. 다음은 옵셋 보정의 수식이다.

$$O_i^n = \bar{Y}(T_0) - G_i \cdot T_0 \quad (3)$$

여기서 $\bar{Y}(T_0)$ 는 온도 T_0 에 대한 균일 영상의 평균 출력이다. 이러한 옵셋 보정은 균일한 영상을 얻기 위하여 사용되는 추가적인 기구물로 인하여 장비의 크기가 커지고 제작 비용이 상승될 수 있다.

2. Non-uniformity correction method based on image

기존의 적외선 검출기 옵셋 보정에서 사용되는 추가적인 기구물 없이 적외선 카메라를 구동시키면서 획득되는 영상들을 이용하여 옵셋 보정을 수행하는 영상 기반의 옵셋 보정 알고리즘을 소개한다. 이 알고리즘은 다음과 같이 2단계의 과정을 수행한다.

2.1 Acquisition of uniform image based on image

영상 기반으로 균일 영상을 획득하기 위하여 먼저 다양한 영상들이 수집되고 수집된 영상들에서 검출기의 각 픽셀의 출력 값들의 분포가 유사하도록 적외선 카메라를 수동 또는 자동으로 적절히

구동한다. 이 적외선 카메라의 구동 방법은 Fig.3.과 같다.

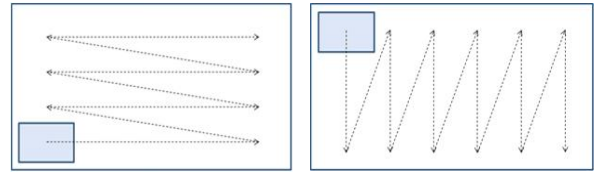


Fig. 3. Horizontal and vertical scanning drive

적외선 카메라를 구동시키면서 불균일 보정이 된 영상을 획득하고 획득되는 영상의 각 픽셀 평균을 구한다. 입력 영상을 모두 모아서 평균을 구하게 되면 저장 메모리의 문제가 발생하므로 입력 영상에 대하여 on-line으로 평균을 구한다. 다음은 i 번째 검출기의 on-line 평균의 수식을 나타낸다.

$$M_i^n = \frac{((n-1) \cdot M_i^o + Y_i)}{n} \quad (4)$$

여기서 M_i^n 은 현재 입력 영상의 평균, M_i^o 는 이전 입력 영상의 평균, Y_i 는 i 번째 검출기 출력을 나타낸다. 획득되는 영상들의 각 검출기 출력 값들의 분포가 유사하면 평균은 유사한 값을 가지게 된다. 따라서 획득 영상들의 평균 영상은 균일한 영상을 나타내게 된다.

평균 영상을 계산할 때 주위보다 너무 밝거나 어두운 값은 제외하게 된다. 이러한 픽셀값들은 픽셀의 평균값을 너무 높이거나 낮추게 된다. 옵셋 보정을 수행할 때 이러한 픽셀들은 옵셋 보정이 심하게 적용되어 Ghost 효과라고 불리는 또 다른 고정잡음패턴으로 나타나게 된다. 다음은 n 번째 영상에 대한 평균 영상을 계산하는 방법을 나타낸다.

$$\text{for all } y_i \quad (5)$$

$$\text{if } |y_i - m_i| < k\delta_i$$

$$M_i^n = \frac{((n-1)M_i^{n-1} + y_i)}{n}$$

else

$$M_i^n = M_i^{n-1}$$

end

end

여기서 y_i 는 i 번째 검출기 픽셀의 출력값을 나타내고, k 는 상수이다. 균일한 영상이 생성되면 평균 영상 계산을 중지하고 옵셋 보정을 수행하여야 한다. 평균 영상 계산의 종료 시점은 옵셋보정 수행시간과 직접적으로 연관되므로 적절한 종료시점의 선택은 매우 중요하다. 평균 영상의 표준 편차를 이용하여 적절한 종료 시점을 찾는다. 입력 영상의 개수가 증가함에 따라 평균 영상은 균일한 영상으로 바뀌므로 표준 편차의 값이 감소하게 된다. 따라서 특정한 문턱값 이하로 표준편차가 감소하면 균

일 영상 생성을 종료한다. Fig.4.는 입력 영상 개수에 따른 평균 영상의 표준편차 그래프를 나타낸다.

Fig.4.에서 볼 수 있듯이 수집되는 영상 개수가 증가함에 따라 평균 영상의 표준편차가 감소한다. 종료 시점의 문턱값은 표준편차의 감소가 둔화되는 곳에서 선택할 수 있다.

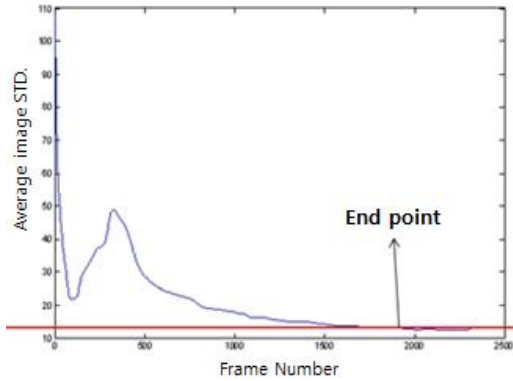


Fig. 4. Change in standard deviation of average image by number of input images

2.2 Perform offset correction based on image

다음으로 생성된 균일 영상을 이용하여 오프셋 보정을 수행한다. 평균 영상은 균일 영상을 나타내므로 균일 영상의 각 검출기의 출력 $Y_i(T_0)$ 와 균일 영상의 전체 평균 $\overline{Y}(T_0)$ 의 차이는 검출기 불균일에 의하여 발생하는 고정 패턴 잡음을 나타낸다. 해당 고정패턴잡음은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_i = Y_i(T_0) - \overline{Y}(T_0) \tag{6}$$

수식 (2)를 참고해서 수식 (3)을 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} O_i^n &= \overline{Y}(T_0) - (G_i \cdot T_o + O_i) + O_i \tag{7} \\ &= \overline{Y}(T_0) - Y_i(T_0) + O_i \\ &= O_i - (Y_i(T_0) - \overline{Y}(T_0)) \end{aligned}$$

수식 (6)에서 $Y_i(T_0) - \overline{Y}(T_0)$ 은 평균 영상에서 전체 평균을 제거하는 부분이므로, 수식 (7)에서 계산된 오프셋 보정값으로 대체할 수 있다. 수식을 정리하면 다음과 같이 보정된 오프셋 값을 구할 수 있다.

$$O_i^n = O_i - d_i \tag{8}$$

수식 (8)에서 볼 수 있듯이 오프셋 보정 값은 단순히 원래 오프셋 값에 고정패턴잡음 d_i 를 뺀 값이다. 수식 (8)을 수식 (2)에 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Y_i^n &= G_i \cdot T + O_i^n \tag{9} \\ &= G_i \cdot T + O_i - d_i \\ &= Y_i - d_i \end{aligned}$$

수식 (9)에서 볼 수 있듯이 오프셋 보정은 2점 불균일 보정된 영상에서 d_i 를 뺀 것과 같다.

Fig.5.는 일반적인 영상 기반의 불균일 보정 알고리즘의 기능 흐름도를 보여주고 있다.

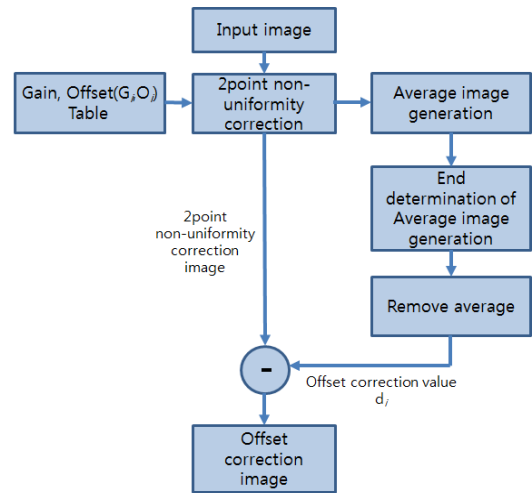


Fig. 5. Functional flow chart of general non-uniformity correction method

III. The Proposed Scheme

위에서 언급하는 기존의 영상 기반의 불균일 보정 알고리즘의 단점은 균일 영상을 획득할 때, 입력영상이 edge가 강하거나 현저히 높은 온도의 물체가 존재할 때, 영상 보정 결과에 edge 성분이 나타나거나 얼룩이 나타나는 현상인 Ghost 효과가 발생한다. 그리고 균일한 평균영상을 얻기 위해서 많은 영상이 필요함에 따라 오랜 수행시간이 걸리게 된다.

본 논문에서는 기존의 영상 기반의 불균일 보정 알고리즘의 단점을 보완하기 위해 영상 블러링과 불량픽셀 탐지 및 제거 이후 공간필터 기반의 오프셋 보정값 추출하는 효과적인 영상 기반의 오프셋 보정 알고리즘을 제안한다.

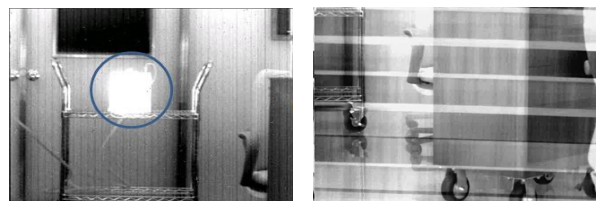


Fig. 6. An object of significantly high temperature and Ghost effect

Fig.6.의 Ghost 효과를 줄이기 위해서는 강인한 edge성분에 대해서는 초점을 흐리게 하는 Defocus에 의한 입력 영상의 블러링과 고속 구동에 의한 모션 블러링으로 edge 성분을 제거하는 방법이 있다. 아울러 현저히 밝거나 어두운 물체에 대해서는 평균 계산시 픽셀값을 선별하여 배경보다 매우 밝거나 어두운 값은 제외하고, 공간필터 기반의 오프셋 보정값 추출 기법을 적용하여 얼룩을 제거하는 방법이 있다. 그리고 공간필터 기반의 오프셋 보정값 추출 기법을 적용하여 평균 영상의 균일한 정도가 낮아도 적용 가능하기 때문에 많은 영상이 불필요하므로 수행 시간을 개선할 수 있다.

1. Defocus and driving the sensor

적외선 카메라는 대부분 초점 조절 기능을 보유하고 있으므로 이를 이용하여 Fig.7.처럼 초점을 흐리게 하는 defocus를 시킨다. 이 영상은 입력 영상이 블러링되므로 균일 영상 생성을 빠르게 할 수 있고, 균일한 영상을 더욱 효과적으로 만들 수 있다. 이를 통해 영상 기반의 불균일 보정 알고리즘의 문제점인 Ghost 효과(획득되는 입력영상들의 강한 edge나 매우 밝거나 어두운 물체가 보정시 잡음처럼 나타나는 현상)를 감소시킬 수 있다. 또한 고속 구동을 통해 입력 영상을 모션 블러링시켜 입력 영상의 edge성분들을 제거할 수 있다.

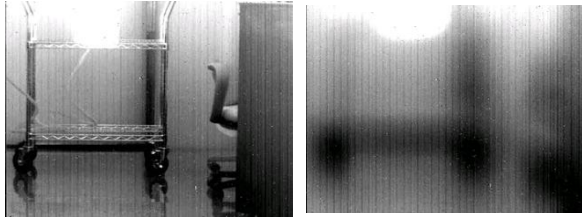


Fig. 7. Normally input image and defocus image

2. Detecting and eliminate of average image defect pixels

제안하는 영상 기반의 불균일 보정은 계산된 평균 영상에서 고정패턴잡음 성분인 고주파 성분을 추출하기 위하여 평균 제거 필터를 수행한다. 반면에, 주위보다 평균값이 매우 높거나 낮은 불량픽셀은 지역 평균제거 필터를 수행할 때 주위 값에 영향을 크게 준다. 따라서 불량픽셀 제거를 먼저 수행해야 한다. Fig.8.은 평균 영상에 평균 필터를 수행할 때 불량픽셀의 영향을 나타낸다.

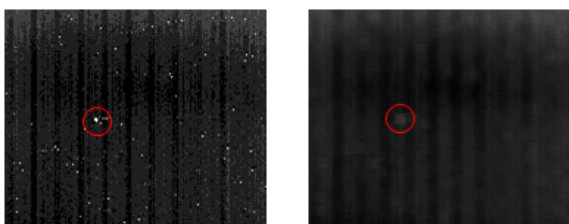


Fig. 8. Dead pixel and effect of dead pixel when average filtering

일반적으로 불량픽셀은 불균일 보정 과정을 통하여 보정된 오프셋 테이블에 대해서 전체 평균 μ 를 먼저 구하고, 특정 문턱값 α 값을 설정하여 해당 범위 ($\mu-\alpha, \mu+\alpha$) 를 벗어나는 오프셋 값을 가지는 픽셀을 불량 픽셀로 탐지한다. Fig.9.는 일반적인 불량픽셀 탐지 기법을 나타낸다. 반면에, 오프셋 보정 수행 시 입력되는 균일 영상이 충분히 균일하지 않은 경우에 다른 불량픽셀에 비하여 상대적으로 값이 작은 불량픽셀들은 불량픽셀 탐지 범위에 포함될 수 있다. Fig.10.에서 표시된 불량픽셀은 정상 픽셀의 범위에 포함되어 있는 불량픽셀을 나타낸다. 만약 이러한 픽셀들을 탐지하기 위하여 α 값을 낮추게 되면 정상 픽셀들이 불량픽셀로 탐지될 수 있다. 이렇게 불량픽셀로 탐지되지 못한 픽셀들은 제거 과정에서 탐지되지 못하므로 영상에서 노이즈로 나타나게 된다.

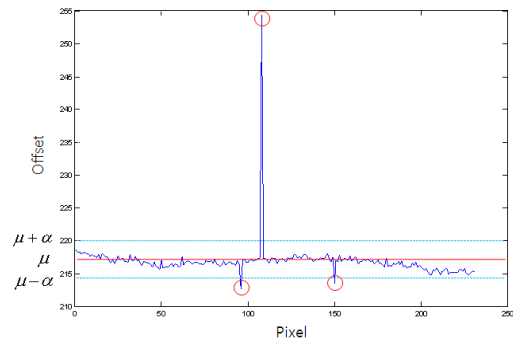


Fig. 9. General dead pixel removal method

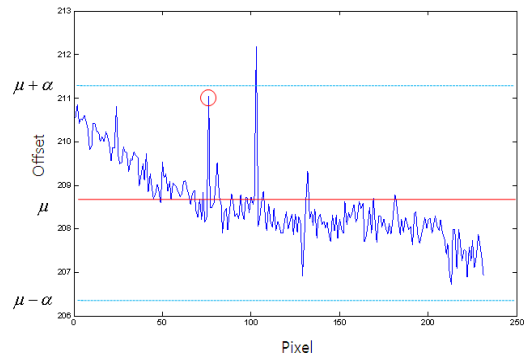


Fig. 10. Example of dead pixel that can not be detected by existing method

본 논문에서는 점표적 탐지에 주로 사용되는 공간필터 기반의 배경제거 기법을 수행하고, 배경 제거된 균일 영상에서 특정 문턱값 이상인 픽셀들을 불량 픽셀로 탐지한다.

점표적의 특성은 일반적으로 주위 픽셀보다 출력값이 높다. 이러한 점표적을 탐지하기 위하여 평균제거 필터, 모폴로지 필터, 중간값 제거 필터 등의 공간필터 기반의 배경제거 기법이 주로 사용된다. 점표적의 특성은 불량픽셀의 오프셋 값의 특성과 매우 유사하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 기법은 오프셋 테이블에 대하여 공간 필터인 평균 제거 필터를 적용한다. 다음으로, 평균제거 필터를 수행한 뒤에 필터 값 F_{ij} 이 문턱값 α 를

설정하여 α 이상이면 불량 픽셀로 다음과 같이 선택한다.

$$|F_{ij}| > \alpha \quad (10)$$

Fig.11.은 Fig.10.의 읍셋 값들에 대하여 평균제거 필터를 적용한 결과 $|F|$ 를 나타낸다.

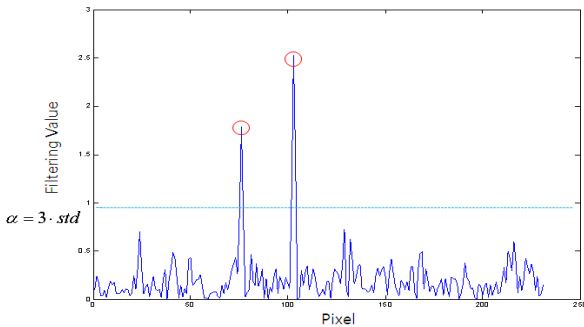


Fig. 11. Example of dead pixel detected by the proposed method

Fig.11.에서 볼 수 있듯이 Fig.10.에서 불량픽셀 외의 배경이 제거되어 문턱값 α 에 의하여 탐지되지 못한 불량픽셀이 탐지되는 것을 볼 수 있다. Fig.12.는 적외선 카메라의 입력 영상과 이 영상의 평균 영상에 대해 공간 필터 기반으로 수행한 불량 픽셀 제거 영상이다.

이렇게 구한 평균 영상의 불량픽셀 목록은 불균일 보정 후에 수행되는 불량픽셀 제거 과정에서 사용 가능하다.

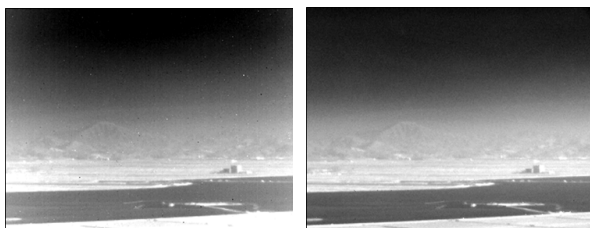


Fig. 12. Input infrared image and dead pixel removal image

3. Calculation of offset correction table based on spatial filter

다음으로 불량픽셀이 제거된 평균 영상에 대하여 지역 평균 제거 필터를 수행한다. Defocus 및 고속 구동 후 평균영상을 계산해도 edge 성분들은 제거되지만, 현저히 높거나 낮은 온도의 물체에 의해 얼룩(저주파 성분)이 나타난다.

지역 평균 제거 필터는 저주파 성분을 제거하는 고주파 통과 필터의 역할을 수행한다. 균일한 평균 영상에서 고주파 성분은 주위 픽셀들과의 읍셋의 불균일을 나타내므로 이를 제거하면 읍셋을 보정할 수 있다. 따라서 불균일 보정을 위한 읍셋 보정값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_i = Y_i(T_0) - F_i(Y) \quad (11)$$

여기에서 $Y_i(T_0)$ 는 평균 영상의 i 번째 픽셀값이고 $F_i(Y)$ 는 평균 영상의 평균 필터링(F) 결과에서 i 번째 픽셀 값이다. Fig.13.은 원본 평균 영상과 현저히 높거나 낮은 온도의 물체에 의한 저주파 성분의 영상을 보여주고 있다. 원본 평균 영상에서 저주파 성분의 영상을 제거하면 Fig.14.처럼 읍셋값을 추출할 수 있다.

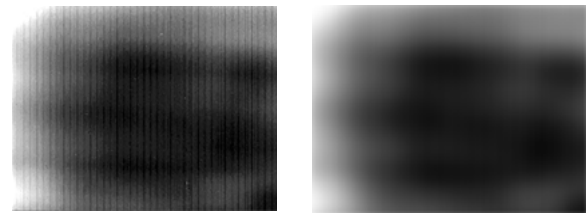


Fig. 13. Original average image and image of low frequency component

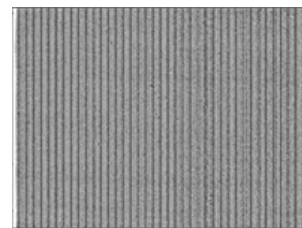


Fig. 14. Extracted offset correction value

위에서 살펴본 것처럼 defocus와 고속 구동을 통해 영상 블러링으로 영상의 edge 성분을 제거하고, 불량픽셀 탐지 및 제거 이후 공간필터 기반의 읍셋 보정값 추출하는 기법을 적용하여 Ghost 효과를 제거하는 알고리즘을 통해 더욱 빠르게 균일한 영상을 획득하며 수행시간을 크게 줄일 수 있었다.

Fig.15.는 제안하는 영상 기반의 읍셋 보정 테이블 산출 과정에 대한 기능 흐름도를 나타낸다.

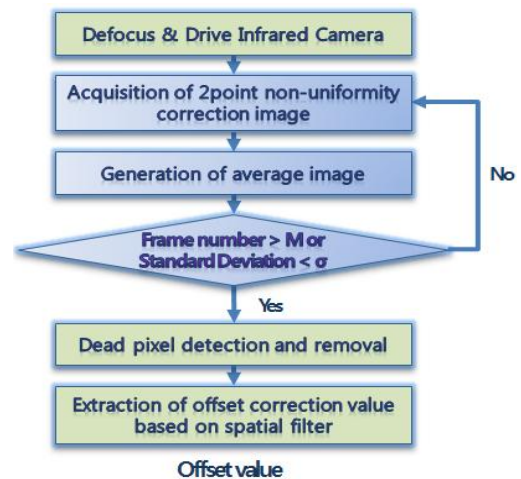


Fig. 15. Flow chart of proposed offset correction based on image

Table 1.은 본 논문에서 제안한 영상 기반의 개선된 불균일 보정 알고리즘에 대한 단계와 설계내용을 나타낸다.

Table 1. A improved non-uniformity correction algorithm design based on image

STEP	Algorithm Design
Defocus & Drive Infrared Camera	Blurring the input image through driving and defocusing the camera Remove Ghost effect caused by strong edge by image blurring
Generation of average image	Calculation average of input image each pixel & On-line average
Detection and removal of Dead pixel	Detection dead pixel based on local average removal filter Remove dead pixel from average image
Extraction offset correction value based on spatial filter	Remove local average from average image Remove Ghost effect of stain type caused by bright objects in the input image

4. Test Result

제안하는 오프셋 보정 기법에 대한 타당성을 보이기 위해 실제 획득된 적외선 카메라 영상들에 대한 처리 결과를 제시한다. Fig.16.은 실내에서 획득된 영상의 예이다. Fig.16.(a)는 고정 패턴잡음이 심하게 나타나는 영상과 적외선 카메라의 초점 조절 장치를 이용해서 Defocus 후 영상의 평균 영상을 이용한 불균일 보정 영상이다. Fig.16.(b)는 Defocus 및 공간필터 기반의 오프셋 보정값 추출 기법을 이용한 영상 기반 불균일 보정 결과이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 제안하는 오프셋 보정 알고리즘은 고정패턴잡음을 효과적으로 제거할 수 있었고 보정된 영상 결과를 얻을 수 있었다.

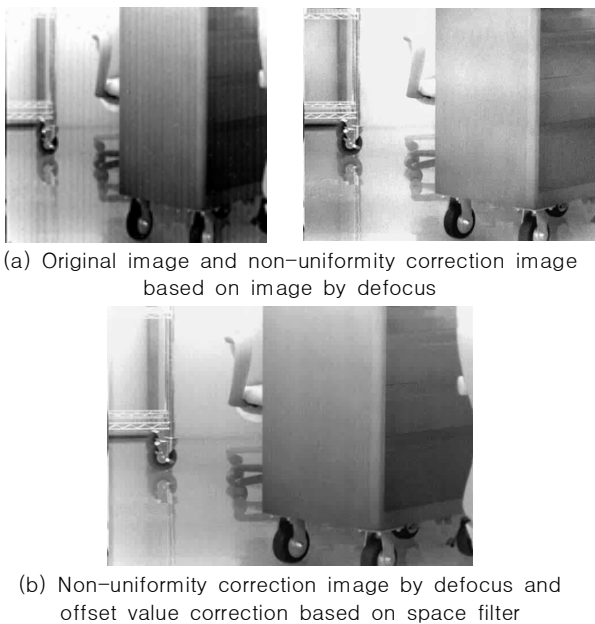


Fig. 16. Indoor image before and after non-uniformity correction

Fig.17.는 실제 야외 영상에 대해서 제안된 영상 기반의 불균일 보정 기법을 적용한 영상이다.



Fig. 17. Outdoor image before and after non-uniformity correction

IV. Conclusions

기존의 적외선 카메라의 오프셋 보정 기법은 균일한 영상을 얻기 위하여 장비 내부에 TEC(Thermo electric cooler)나 셔터, 또는 불균일 보정 렌즈와 같은 추가적인 광학, 기구적인 장치를 사용해야 한다. 이러한 추가적인 장치는 적외선 카메라의 크기 및 비용을 증가시킨다.

이를 보완하기 위해 적외선 카메라를 적절히 구동시켜 영상을 획득하고, 획득된 영상의 평균을 구하여 균일한 영상을 획득하였다. 이렇게 생성된 균일한 영상을 이용하여 입력 영상에 대한 오프셋 보정을 수행하였다. 이렇게 균일한 영상을 획득하는데 영상 기반으로 하기 때문에 추가적인 장치가 필요하지 않다. 따라서 적외선 카메라의 크기 및 비용을 줄일 수 있다. 또한 알고리즘의 구조가 간단하기 때문에 적외선 카메라에 적용하기가 용이하다. 하지만, 이와 같은 영상 기반의 불균일 보정 기법은 균일 영상을 획득할 때 입력영상이 edge가 강하거나, 현저히 높거나 낮은 온도의 물체가 존재할 때, 영상 보정 결과에 edge 성분이 나타나거나 얼룩이 나타나는 현상인 Ghost 효과가 발생한다. 그리고 균일한 평균영상을 얻기 위해서 많은 영상이 필요함에 따라 오랜 수행시간이 걸리는 단점이 있었다.

본 논문에서는 기존의 영상 기반의 불균일 보정 기법의 단점을 보완하기 위해 몇 가지 단계를 통한 기법을 제안했다. 먼저 초점을 흐리게 하는 Defocus와 고속 구동을 통해 영상을 블러링시킨다. 이후 오프셋 테이블에 대하여 공간 필터인 평균 제거 필터를 적용하여 수행한 뒤 불량픽셀을 탐지하고 제거한다. 다음으로 공간필터 기반으로 오프셋 보정값을 추출한다. 이를 통해 기존 영상 기반 불균일 보정 기법의 단점을 보완할 수 있는 효과적인 오프셋 보정 알고리즘을 제안하였다. 이를 통해 영상 기반의 불균일 보정의 수행시간을 크게 줄이고, Ghost 효과를 줄일 수 있었다. 그리고 실제 적외선 카메라의 영상을 통해 제안한 기법의 타당성을 보였다.

REFERENCES

- [1] 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.
- [2] W. Isoz, "Nonuniformity Correction of Infrared Focal Plane Arrays," *Infrared Tech. Appli. Proc. SPIE*, vol. 5783, pp. 949-960, 2005.
- [3] 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.
- [4] A. Averbuch, G. Liron, and B. Bobrovsky, "Scene based non-uniformity correction in thermal images using Kalman filter," *Image, Vision Computing*, Vol. 25, no. 6, pp. 833-851, June 2007.
- [5] J. Kim et al. "Regularization approach to scene-based nonuniformity correction," *Optical Engineering*, Vol. 53, No. 3, 053105, May 2014.
- [6] C. Zhang and W. Zhao, "Scene-based nonuniformity correction using local constant statistics," *JOSA A*, Vol. 25, No. 6, pp.1444-1453, June 2008.
- [7] P. Torle, I. Andersson, and L. Haglund, "Scene-based correction of image sensor deficiencies," *SPIE*, vol. 5074, pp. 249-260, 2003.
- [8] Chao Zuo, Qian Chen, Guohua Gu and Xiubao Sui, "Scene-Based Nonuniformity Correction Algorithm Based on Interframe Registration," *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 28 (6), pp. 1164-1176, Jun, 2011.
- [9] E. Vera, R. Reeves, and S. Torres, *Soft Computing Systems: Design, Management and Applications*, ch. Adaptive Bias Compensation for Non-Uniformity Correction on Infrared Focal Plane Array Detectors, pp. 725-734. IOS Press, 2002.
- [10] B. Choi and H. Yoon, "A Study of Efficient Scene based NUC algorithm for IR Camera," *The Institute of Electronics and Information Engineers*, pp. 387-388, November 2010.
- [11] B. Choi, H. Yoon and S. Cho, "Spatial Filter Based Dead Pixel Detection Method for IR Camera," *The Korea Institute of Military Science and Technology*, pp. 1228-1231, June 2012.
- [12] Rong Sheng-hui, Zhou Hui-xin, Qin Han-lin, Lai Rui, and Qian Kun, "Nonuniformity correction for an infrared focal plane array based on diamond search block matching," *the Optical Society of America A*, Vol. 33, Issue 5, pp. 938-946, May 2016.
- [13] Li Zhaolong, Shen Tongsheng, and Lou Shuli, "Scene-based nonuniformity correction based on bilateral filter with reduced ghosting," *Infrared Physics & Technology*, Vol. 77, pp. 360-365, July 2016.
- [14] Rong, Shenghui, Zhou, Huixin, Wen, Zhigang, Qin, Hanlin, Qian, Kun, Cheng and Kuanhong, "An improved non-uniformity correction algorithm and its hardware implementation on FPGA," *Infrared Physics & Technology*, Vol. 85, pp. 410-420, September 2017.
- [15] Y. Hong, K. Lee and H. Kim, "Scene-based Nonuniformity Correction Complemented by Block Reweighting and Global Offset Initialization," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol.22, pp.15-23, no.8, 2017.
- [16] K. Moon, "Spatial Compare Filter Based Real-Time dead Pixel Correction Method for Infrared Camera," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol.21, pp.35-41, no.12, 2016.

Authors



Ho Jin Hyun received the B.S. degrees in Electronics Engineering from Kyunghee University, Korea, in 2003. Dr. Hyun joined the Electro-Optronics 2Team of Hanwha Systems, Korea, in 2002. He is currently a Engineer in the Electro-optics · PGM

R&D Site, Hanwha systems Co. He is interested in Analog Signal Processing and Digital Image Processing of Short Wave IR, Middle Wave IR and Long Wave IR.



Byung in Choi received the B.S, Master, and Ph.D. degree in electronic engineering from Hanyang University, Korea, in 2001, 2003 and 2008. He has been a chief engineer at Hanwha systems Co. since 2006. His research interests include image

processing, multi-target detection and tracking, pattern recognition, and their applications.