

논문 2010-47SP-6-13

광학암흑영역을 이용한 CCD 센서의 영역 적응적 스미어 제거 방식

(Region-adaptive Smear Removal Method Using Optical Black Region for CCD Sensors)

한 영 석*, 송 기 선*, 강 문 기**

(Young Seok Han, Ki Sun Song, and Moon Gi Kang)

요 약

스미어 현상은 CCD 센서의 전하 전달 과정에 기인한다. 정지 영상에서는 기계적 셔터와 같은 하드웨어적인 구조로 이를 제거하지만, 동영상에서는 수행 시간의 제약 등의 문제로 이러한 방식이 적용될 수 없다. 본 논문에서는 신호처리 관점에서 스미어 현상을 제거하여 정지 영상뿐만 아니라 동영상에도 적용이 가능한 스미어 제거 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 CCD 센서의 모서리 부분에 존재하는 화소들의 집단인 광학암흑영역(optical black region)을 이용한다. 광학암흑영역은 실제로 빛의 영향을 받지 않아 상이 뺏기지 않지만, 스미어가 발생할 경우 전하 전달에 의하여 스미어 신호가 저장된다. 따라서 제안하는 방식은 스미어 신호를 정확하게 추정하기 위해서 광학암흑영역에 발생한 신호로부터 스미어와 잡음에 의한 영향을 구분하고 잡음은 제거하면서 스미어 신호는 유지하는 과정을 선행하며, 이렇게 처리된 광학암흑영역 신호를 영상 전반에 빼주어 스미어 현상을 제거한다. 또한 스미어 현상에 의해 포화가 발생한 경우는 손실된 원 신호의 정보를 주변의 화소 값으로 대체하여 스미어 현상에 의한 시각적 열화를 개선한다. 실험 결과를 통해 제안하는 방법이 기존 방법에 비해 시각적인 면에서 뛰어난 결과를 보임을 확인할 수 있다.

Abstract

Smear is a phenomenon that occurs when an extremely strong light source appears in the imaging system with CCD sensor. It occurs due to the signal charge transfer of CCD and appears as bright lines of noise emanating vertically (or horizontally) from the light source. For still images, smear can be reduced by using a mechanical shutter or special drive methods, but these techniques cannot be applied to image sequences. In this paper, we propose a smear removal method that can be applied to imaging systems for not only still images but also image sequences. The proposed method uses the optical black region(OBR) which is a group of pixels located in the boundary of CCD imaging sensors. Although the OBR is not exposed to light, it contains smear information caused by the charge transport. First, noise and the smear signal in the OBR is separated, and noise is removed to correctly estimate smear effect. Then, corrected OBR signal is uniformly subtracted to eliminate smear effect. Also, if saturation is occurred, the current pixel is substituted by weighted summation of neighboring pixels to improve the visual degradation. Experimental results show that the proposed algorithm outperforms the conventional methods.

Keywords : smear, CCD, charge transfer, optical black region, noise.

* 학생회원, ** 정회원, 연세대학교 전기전자공학과 TMS 정보기술사업단
(Institute of TMS Information Technology, Yonsei University)

※ 본 연구는 지식경제부, 문화체육관광부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업[KI001820, 영상 및 비디오 콘텐츠를 위한 계산사진학 기술 개발]과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다. (NIPA-2010-(C1090-1011-0003))

접수일자: 2010년3월11일, 수정완료일: 2010년6월29일

I. 서론

스미어 현상은 CCD 센서를 사용하는 영상획득 장치로 태양이나 자동차 헤드라이트 같은 밝은 광원을 촬영할 때 광원을 기준으로 수직방향(혹은 수평방향)으로 밝은 줄이 나타나는 현상을 말하며 이는 CCD 센서의 영상 획득 과정에 기인한다. CCD 센서로 영상을 획득하는 과정은 크게 일정한 시간 동안 전하를 축적하는 과정과 축적된 전하를 순차적으로 버퍼로 전달하는 과정으로 나눌 수 있다. 전하를 전달하는 과정 중에도 빛이 계속 입사되면서 전하의 축적과정은 계속 이루어진다. 그림 1은 CCD 센서의 j 번째 화소에 강한 빛이 비추어 졌을 때 전하 축적 및 전달과정을 거쳐 스미어 현상이 발생하는 과정을 설명한 그림이다.

그림 1의 (a)는 j 번째 화소에 강한 빛이 비추어 영상 획득 주기 동안에 전하가 축적된 것을 나타내며 (b)는 readout 버퍼로 전하를 전달하기 위하여 축적된 전하를 이웃 화소로 전달한 것을 나타낸다. 원래 축적된 위치에 여전히 빛이 입사되어 소량의 전하가 축적된 것을 볼 수 있으며 이러한 과정을 반복하여 readout 버퍼로 전하 전달이 완료된 후에는 (c)와 같은 전하 분포도를 나타내며 결국 (d) 형태의 영상을 획득하게 된다. 즉, j 번째 위치에 입사되는 빛은 j 번째 화소 뿐 아니라 그 이후에 그 위치를 거치는 모든 화소의 전하량에 영향을 미치게 되는 것이다. 일반적으로 전하 전달시간이 전하 축적시간에 비해 상대적으로 짧기 때문에 전달 과정에서 축적되는 전하의 양은 미미하여 디지털화된 영상에서는 인식하기가 어렵다. 그러나 고속 셔터 촬영으로 인하여 전하 축적시간이 상대적으로 짧아지거나, 입사되는 빛의 양이 많을 경우, 전하 전달시간 동안에 축적된 전하의 영향이 두드러지게 나타나며 이를 스미어 현상이라고 한다^[1].

정지 영상의 경우는 기계적 셔터나 특수한 유도 장치와 같은 하드웨어적인 구조를 통하여 스미어 현상을 극복한다^[2~5]. 반면에 디지털 카메라의 프리뷰 영상과 같은 동영상에는 수행 시간의 제약 등의 문제로 이러한 방식을 적용할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 정지 영상뿐만 아니라 동영상에도 적용할 수 있도록 신호처리 관점에서 스미어 현상을 제거하는 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 스미어 현상을 제거하기 위하여 CCD 센서에 포함된 광학암흑영역에 발생한 신호를 이용한다^[6]. 광학암흑영역은 CCD 센서의 가장자리에 존재하는 화

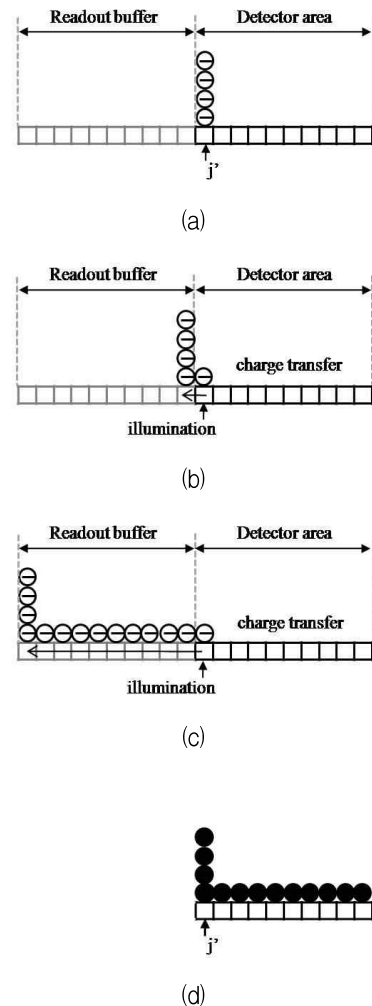


그림 1. CCD 센서의 한 화소에 강한 빛이 비추어 졌을 때 스미어 현상이 발생하는 과정: (a) 영상 획득 주기가 끝난 후의 전하 분포도, (b) 한 화소 전하 전달 이후의 전하 분포도, (c) readout 버퍼로 전하 전달이 완료된 후의 전하 분포도, (d) 최종으로 획득된 영상

Fig. 1. Illustration of the smear phenomenon for a single column of CCD pixels, of which only a single pixel is illuminated: (a) charge distribution at the end of the image capture period, (b) charge distribution after one pixel shift, (c) charge distribution after completion of the charge transfer to the readout buffer, (d) obtained image.

소들의 집단으로 직접적으로 빛의 영향을 받지 않아 물체의 상이 맺히지 않는 부분이다. 하지만 스미어가 발생하면 이 부분으로 전하들이 전달되어 스미어 현상에 의한 신호들이 발생하게 된다. 그림 2는 스미어 현상이 발생한 영상과 이때 광학암흑영역에 저장된 신호를 나타낸다.

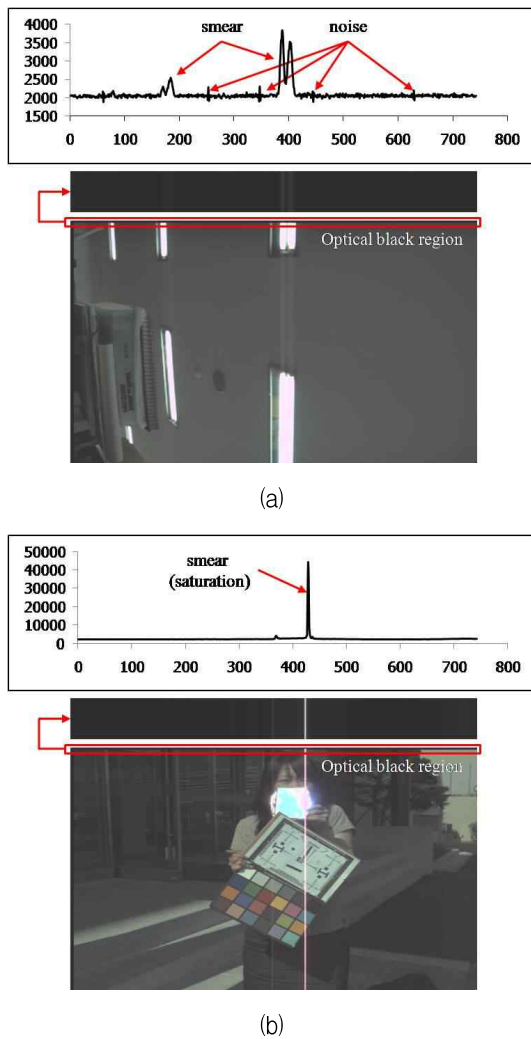


그림 2. 스미어 현상이 발생한 영상과 이때 광학암흑영역에 저장된 신호 : (a) 포화가 발생하지 않은 경우, (b) 포화가 발생한 경우

Fig. 2. The images which include the smear effects and the OBR signals of those images : (a) without saturation, (b) with saturation.

스미어 현상을 제거하는 가장 간단한 방법은 광학암흑영역에 저장된 신호를 영상에 일괄적으로 빼주는 것이다. 하지만 그림 2에서 볼 수 있듯이 광학암흑영역에 저장된 신호에는 저조도 잡음뿐만 아니라 강한 광원에 의하여 포화가 발생하는 경우도 있다. 이는 스미어 현상을 제거하는 과정에서 시각적인 열화를 발생시키는 원인이 된다. 따라서 스미어 현상에 의한 영향을 정확하게 추정하고 이를 제거하는 과정에서 발생하는 시각적 열화를 방지하기 위해서는 광학암흑영역의 신호에 포함된 잡음을 제거하는 과정이 선행 되어야 한다. 이 과정에서 잡음을 강하게 제거하면 스미어 현상에 의한 신호도 저감되어 결국 스미어 현상을 정확하게 제거 할

수 없고, 잡음을 덜 제거하면 스미어 현상을 제거하는 과정에서 원하지 않는 수직방향(혹은 수평방향)의 선들이 결과 영상에 발생하게 된다.

제안하는 방식은 스미어 현상에 의한 신호를 정확하게 추정하고 이를 제거하기 위하여 알파-트림드 평균값(alpha-trimmed mean) 필터^[7]와 변형된 Local Linear Minimum Mean Square Error(LLMMSE) 필터^[8]를 조합하여 광학암흑영역 자체에 존재하는 잡음과 스미어 현상에 의한 신호를 구분하고, 스미어 현상에 의한 신호는 유지하면서 잡음 성분을 억제하는 과정을 수행한다. 이렇게 처리된 광학암흑영역 신호를 영상의 전반에 빼줌으로써 스미어 현상에 의한 열화를 개선할 수 있다. 또한 스미어 현상으로 인하여 화소가 포화가 된 경우에는 원 신호의 정보가 소실되었기 때문에 광학암흑영역의 신호만을 이용하여 이를 극복할 수 없다. 따라서 포화가 발생한 경우에는 이를 판단하고 현재 화소의 값을 주변 화소 값들의 조합으로 대체하여 시각적 열화를 개선하는 방식을 취한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 스미어 현상을 제거하기에 앞서 광학암흑영역 자체에 존재하는 잡음 성분을 억제하기 위하여 사용되는 알파-트림드 평균값 필터와 LLMMSE 필터에 대한 간략한 설명을 한 후, III장에서는 제안하는 방식의 구체적인 동작에 대하여 설명하도록 하겠다. IV장에서는 실험 결과를 통하여 제안하는 방식의 성능을 평가한 후, V장에서 결론을 맺도록 하겠다.

II. 광학암흑영역의 잡음을 제거하기 위한 기존 필터의 특성

광학암흑영역의 신호에는 스미어 현상에 의한 영향뿐만 아니라 기존에 존재하는 잡음 성분도 포함되어있다. 따라서 광학암흑영역의 신호를 이용하여 스미어 성분을 추정하기 위해서는 잡음 성분을 제거하는 과정이 선행되어야 하며 이는 전체적인 성능에 큰 영향을 미친다. 본 장에서는 제안하는 방식의 기반이 되는 알파-트림드 평균값 필터와 LLMMSE 필터의 특성에 대하여 간략하게 설명하겠다.

1. 알파-트림드 평균값 필터

알파-트림드 평균값 필터는 평균값 필터(mean filter)와 중간값 필터(median filter)를 조합한 것으로 가우시

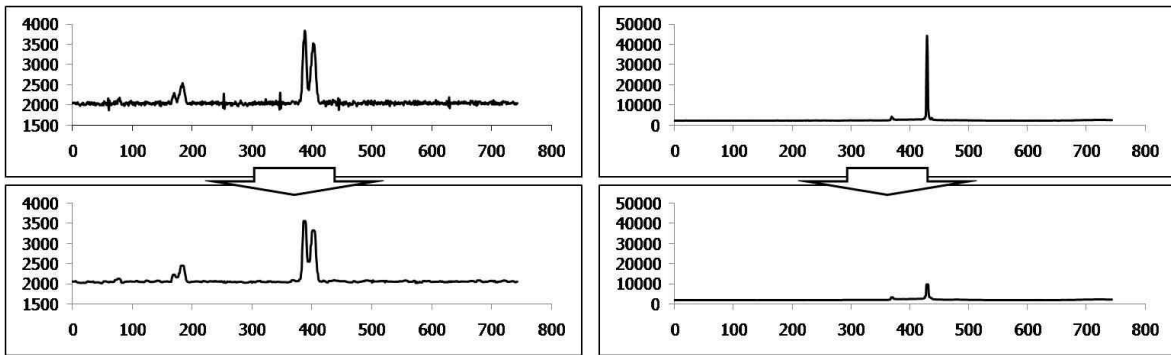


그림 3. 광학암흑영역에 저장된 신호(위)와 알파-트림드 평균값 필터를 이용하여 잡음을 제거한 결과(아래)
 Fig. 3. The signals recorded in the OBR (top) and the results of the alpha-trimmed mean filter (bottom)

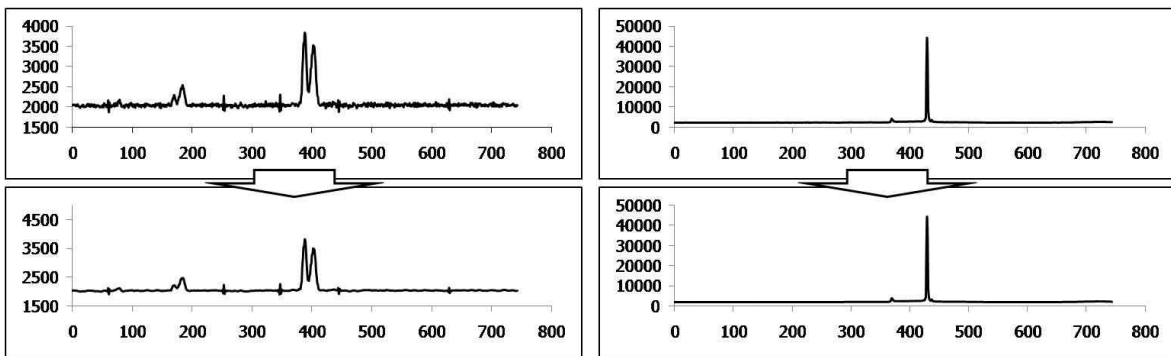


그림 4. 광학암흑영역에 저장된 신호(위)와 LLMSE 필터를 이용하여 잡음을 제거한 결과(아래)
 Fig. 4. The signals recorded in the OBR (top) and the results of the LLMSE filter (bottom)

안 잡음과 라플라시안 잡음을 동시에 제거하는데 효과적이다. 이는 국부영역 내의 입력 신호 값을 크기순으로 정렬한 후 최상위 $d/2$ 와 최하위 $d/2$ 를 제외한 나머지 값들의 평균을 구하며 다음과 같이 정의된다.

$$y_{AT}(j) = \sum_{k=d/2}^{N-d/2} \frac{x_s(k)}{N-d}, \quad (1)$$

여기에서 N 은 국부영역 내에 존재하는 화소의 수이고, $x_s(k)$ 는 국부영역 내의 화소 $x(k)$ 를 크기순으로 정렬한 값이다. 결과적으로 알파-트림드 평균값 필터는 $x_s(k)$ 의 최상위 $d/2$ 와 최하위 $d/2$ 를 제외한 나머지 값들의 평균을 취한 값이며, 이는 평균값 필터와 중간값 필터의 장점들을 조합하여 잡음을 제거하는데 상당히 효과적이다. 하지만 그림 3과 같이 잡음뿐 아니라 스미어 신호들도 저감되어 스미어 현상을 정확하게 추정하지 못한다. 특히 좁은 영역 내에서 강하게 스미어 현상이 발생하여 신호가 포화되는 경우, 이에 대한 저감 효과가 극심하여 스미어 효과에 의한 열화를 보정하기 위하여 포화된 화소를 찾는 과정에 영향을 미치게 된다.

2. LLMSE 필터

LLMSE 필터는 NMNV(non-stationary mean and non-stationary variance) 영상 모델에 기반을 둔다. 이러한 NMNV 가정은 신호의 급격한 변화에도 잡음 제거 필터가 합당하게 동작하며 영상의 정보를 담고 있는 고주파 성분을 보존할 수 있는 근간이 된다. 이러한 가정을 바탕으로 LLMSE 필터는 다음과 같이 정의된다.

$$y_{LL}(j) = x_M(j) + \frac{\sigma_x^2(j)}{\sigma_x^2(j) + \sigma_n^2} \times (x(j) - x_M(j)), \quad (2)$$

여기에서 $x(j)$ 는 입력 신호를 나타내고 σ_n^2 는 잡음의 분산으로 입력 신호로부터 계산하거나 미리 알고 있는 상수 값이라고 가정한다. $x_M(j)$ 는 입력 신호 $x(j)$ 의 국부영역 내의 평균으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x_M(j) = \sum_{k=1}^N \frac{x(k)}{N}, \quad (3)$$

$\sigma_x^2(j)$ 는 입력 신호 $x(j)$ 의 국부영역 내의 분산을 의미

하며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma_x^2(j) = \sum_{k=1}^N \frac{(x(k) - x_M(j))^2}{N}. \quad (4)$$

$\sigma_x^2(j)$ 와 σ_n^2 의 관계를 통해 LLMMSE 필터를 분석하면 다음과 같다. 평탄한 영역에서는 일반적으로 $\sigma_x^2(j)$ 와 σ_n^2 이 비슷한 값을 나타내거나 σ_n^2 이 상대적으로 큰 값을 나타낸다. 따라서 LLMMSE 필터는 잡음을 평활화 한다($y_{LL}(j) \cong x_M(j)$). 반면에 영상의 정보를 담고 있는 고주파 성분에서는 $\sigma_x^2(j)$ 이 σ_n^2 에 비해 큰 값을 나타낸다. 따라서 영상의 고주파 성분은 보존 된다($y_{LL}(j) \cong x(j)$). 그림 4에서 알 수 있듯이 LLMMSE 필터는 고주파 성분을 보존하는데 효과적이지만 라플라시안 잡음과 같은 강한 잡음 성분 또한 보존하는 특성을 가지고 있다. 이는 스미어 효과를 제거하기 위해서 잡음 제거가 수행된 광학암흑영역 신호를 영상에 전반적으로 빼줄 때 결과 영상에 원하지 않는 수직선(혹은 수평선)을 발생시킨다.

III. 제안하는 스미어 현상 제거 방식

제안하는 방식은 크게 두 가지 과정으로 구성되어 있다. 첫 번째 과정은 알파-트림드 평균값 필터와 수정된 LLMMSE 필터를 이용하여 광학암흑영역에 포함된 잡음 성분을 선택적으로 제거하는 부분이고, 두 번째 과정은 잡음이 제거된 광학암흑영역 신호를 수직방향(혹은 수평방향)으로 영상 전반에 걸쳐서 빼면서 스미어 현상을 제거하는 부분이다. 이 과정에서 스미어 현상에 의하여 포화가 발생한 경우, 이를 판단하고 이 경우는 원 신호의 정보가 손실되었기 때문에 현재 화소의 값을 주변 화소의 값들의 조합으로 대체하는 방식을 취한다. 각 과정의 구체적인 동작에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

1. 제안하는 잡음 제거 필터

제안하는 잡음 제거 필터는 광학암흑영역에 포함된 잡음 성분을 선택적으로 제거하기 위하여 알파-트림드 평균값 필터와 수정된 LLMMSE 필터를 조합한다. 이는 두 필터의 순차적인 적용을 의미하는 것이 아니라 두 필터가 하나의 필터처럼 동작함을 의미한다. 즉, 알파-트림드 평균값 필터는 가우시안과 라플라시안 잡음

을 제거하는 용도로 사용되며 LLMMSE 필터는 광학암흑영역의 신호로부터 잡음 성분과 스미어에 의한 성분을 구분하는데 사용된다. 이러한 목적을 위하여 제안하는 잡음 제거 필터는 다음과 같이 정의된다.

$$y_{PM}(j) = y_{AT}(j) + \frac{\sigma_{xAT}^2(j)}{\sigma_{xAT}^2(j) + \sigma_n^2} \times (x(j) - y_{AT}(j)) \quad (5)$$

여기에서 $x(j)$ 는 입력 신호를 나타내고 $y_{AT}(j)$ 는 알파-트림드 평균값 필터의 결과로 수식 (1)과 같다. $\sigma_{xAT}^2(j)$ 는 수식 (1)의 크기순으로 정렬된 신호 $x_s(k)$ 의 최상위 $d/2$ 와 최하위 $d/2$ 를 제외한 나머지 값들의 분산으로, $\sigma_{xAT}^2(j)$ 를 사용하면 라플라시안 잡음과 같은 강한 잡음에 의한 효과가 무시됨으로 수식 (4)의 $\sigma_x^2(j)$ 보다 정확한 값을 산출할 수 있으며 이는 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma_{xAT}^2(j) = \sum_{k=d/2}^{N-d/2} \frac{(x_s(k) - y_{AT}(j))^2}{N-d}, \quad (6)$$

여기에서 N 은 국부영역 내에 존재하는 화소의 수이다. 제안된 방법은 잡음의 분산인 σ_n^2 를 광학암흑영역의 신호로부터 추정하며 이를 위해 우선 광학암흑영역의 전체 평균을 다음과 같이 구한다.

$$O_{Mean} = \frac{1}{N_O} \sum_{k \in OBR} x(k), \quad (7)$$

여기서 N_O 는 광학암흑영역 내에 존재하는 모든 화소의 수이고, O_{Mean} 은 이렇게 구하여진 평균으로 상수 값을 나타낸다. 잡음의 분산 σ_n^2 을 구하기 위해서는 스미어 신호와 잡음을 구분해야 하는데, 두 신호의 분포 특성의 차이

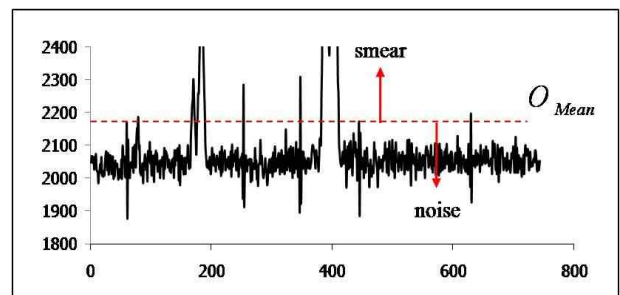


그림 5. 전체 평균을 이용한 잡음과 스미어 성분의 대략적인 구분

Fig. 5. Approximately classified noise and smear components obtained by the global mean of the signal recorded in the OBR.

를 이용하여 그림 5와 같이 구분할 수 있다.

따라서 O_{Mean} 보다 작은 크기를 갖는 신호를 잡음으로 가정하고 이 신호에 대한 분산을 구함으로써 σ_n^2 를 근사적으로 구할 수 있으며 이는 다음과 같다.

$$\sigma_n^2 = \sum_{j=1}^{N_o} \frac{S(x(j)) \times (x(j) - M_n)^2}{N_n}, \quad (8)$$

여기에서 $S(\cdot)$ 는 스위치 함수로 다음과 같이 정의된다.

$$S(x) = \begin{cases} 1, & x < O_{Mean} \\ 0, & x \geq O_{Mean} \end{cases}, \quad (9)$$

여기에서 N_n 는 광학암흑영역의 화소 중에서 값이 O_{Mean} 보다 작은 화소의 수이고, M_n 은 O_{Mean} 보다 작은 크기를 갖는 화소들의 전체 평균으로 다음과 같이 구한다.

$$M_n = \sum_{j=1}^{N_o} \frac{S(x(j)) \times x(j)}{N_n}. \quad (10)$$

제안된 잡음 제거 필터의 동작은 다음과 같다. 평탄 영역(잡음이 주된 영역)에서는 신호의 분산 $\sigma_{xAT}^2(j)$ 과 잡음의 분산 σ_n^2 이 비슷하거나 상대적으로 잡음의 분산이 큰 값을 나타내기 때문에 결과적으로 제안된 잡음 제거 필터는 잡음을 평활화 ($y_{PM}(j) \cong y_{AT}(j)$) 시킨다. 반면에 경계영역(스미어 효과가 발생한 영역)에서는 신호의 분산이 잡음의 분산보다 훨씬 큰 값을 나타내기 때문에 이 부분의 값들은 거의 필터링 하지 않음 ($y_{PM}(j) \cong x(j)$)을 알 수 있다. 결과적으로 그림 6에서처럼 제안된 잡음 제거 필터는 알파-트림드 평균값 필터나 LLMMSE 필터보다 정확하게 신호의 특성을 분석하고 고려함으로써 잡음을 효과적으로 제거함과 동시에

스미어에 의한 효과는 보존할 수 있다.

2. 제안하는 스미어 제거 방식

스미어 효과는 광원을 기준으로 수직방향(혹은 수평방향)으로 거의 일정하게 발생한다. 따라서 추정된 스미어 효과 값을 영상에 전반적으로 빼줌으로써 이를 제거할 수 있다. 하지만 강한 빛에 의하여 발생한 스미어 효과는 화소가 표현할 수 있는 한계를 넘어 화소를 포화시키는 경우도 있다. 이 경우는 단순히 스미어 효과를 빼주는 과정으로는 영상에 발생한 열화를 개선할 수 없다. 따라서 제안된 방법은 추정된 스미어 효과로부터 영상에 포화가 발생하였는지를 판단하고 각각의 경우에 맞는 스미어 효과 제거 방식을 적용한다. 우선 제안된 방식은 다음과 같이 화소의 포화 여부를 결정한다.

$$I_x(i, j) = \begin{cases} \text{불포화영역,} & \text{if}(y_{PM}(j) \leq Th_1) \\ \text{과도영역,} & \text{if}(Th_1 < y_{PM}(j) \leq Th_2) \\ \text{포화영역,} & \text{if}(Th_2 < y_{PM}(j)) \end{cases} \quad (11)$$

여기에서 I_x 는 실제 빛의 영향을 받아 영상이 뻗힌 부분이고 Th_1 과 Th_2 는 화소의 포화를 검출하기 위해 실험적으로 설정된 문턱 값을 나타낸다 ($Th_1 < Th_2$). 추정된 스미어 효과의 값이 Th_1 보다 작은 경우는 화소가 포화되지 않았다고 판단하고 다음과 같이 추정된 스미어 효과 값을 영상에 전반적으로 빼줌으로써 스미어 효과에 의한 열화를 개선한다.

$$I_y(i, j) = I_x(i, j) - y_{PM}(j). \quad (12)$$

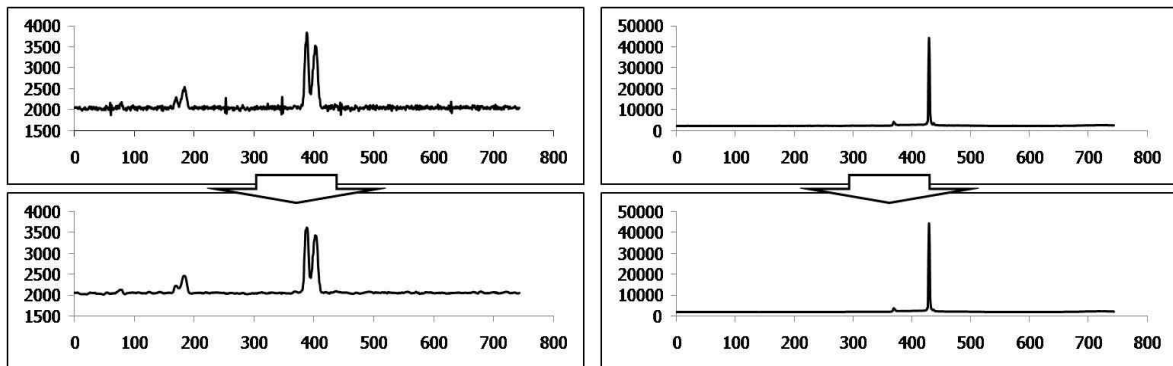


그림 6. 광학암흑영역에 저장된 신호(위)와 제안하는 필터를 이용하여 잡음을 제거한 결과(아래)
 Fig. 6. The signals recorded in the OBR (top) and the results of the proposed filter (bottom).

반면에 추정된 스미어 효과의 값이 Th_2 보다 큰 경우는 화소가 포화되었다고 판단하고 이 경우에는 주변의 화소 중에서 포화가 발생하지 않은 화소를 찾아내어 이 값들의 가중치 합으로 현재 화소의 값을 대체하여 시각적인 열화를 개선한다. 이는 다음과 같이 정의된다.

$$I_y(i, j) = \frac{w_L \times I_y(i, j_L) + w_R \times I_y(i, j_R)}{w_L + w_R}, \quad (13)$$

여기에서 j_L 과 j_R 은 각각 포화된 현재 화소 $I_x(i, j)$ 를 기준으로 좌우 방향의 가장 가까운 포화되지 않은 화소의 위치를 나타내는 좌표이다. 또한 w_L 과 w_R 은 포화된 현재 화소 값을 주변 화소 값으로 대체하기 위하여 주변 화소를 참고하는 정도를 결정하는 가중치로, 일반적으로 현재 화소와의 거리가 멀수록 상관도가 작기 때문에 각각 j 와 j_L 사이의 거리와 j 와 j_R 사이의 거리에 반비례하게 설정된다. 본 논문에서는 다음과 같이 정의하였다.

$$w_L = \frac{1}{|j - j_L| + 1}, \quad w_R = \frac{1}{|j - j_R| + 1}. \quad (14)$$

마지막으로 보다 안정적으로 스미어 효과를 제거하기 위하여 과도영역을 설정 하였다. 즉, 추정된 스미어 효과 값이 Th_1 과 Th_2 사이에 존재하는 경우는 과도영역으로 판단하고 수식 (12)와 (13)에 의한 결과를 가중치의 합으로 조합한다. 수식을 간단하게 표현하기 위해 수식 (12)의 결과를 I_{y1} , 수식 (13)의 결과를 I_{y2} 라 하겠다. 즉, 과도영역의 경우는 다음과 같이 그 결과를 구할 수 있다.

$$I_y(i, j) = (1 - w_T) \times I_{y1}(i, j) + w_T \times I_{y2}(i, j), \quad (15)$$

여기에서 w_T 는 I_{y1} 과 I_{y2} 를 조합하기 위한 가중치로 문턱 값 Th_1 과 Th_2 , 그리고 추정된 스미어 효과인 $y_{PM}(j)$ 에 따라서 결정되며 그 값은 0에서 1 사이의 범위를 갖는다. 즉, 0보다 작은 경우는 0이 되고 1보다 큰 경우는 1을 설정하며 다음과 같이 정의된다.

$$w_T = \frac{1}{Th_2 - Th_1} \times (y_{PM}(j) - Th_1) \quad (16)$$

$$w_T = \begin{cases} 0, & \text{if}(w_T < 0) \\ 1, & \text{if}(w_T > 1) \end{cases}$$

따라서 $y_{PM}(j)$ 이 Th_1 에 가까울수록 수식 (12)의 결과가 주되게 반영되고, Th_2 에 가까울수록 수식 (13)의 결과가 주되게 반영된다.

IV. 실험 결과

제안된 방식의 성능을 검증하기 위하여 실험결과를 제시하였다. 실험은 CCD 센서를 사용하는 카메라로부터 12비트 베이어 형식^[9](Bayer format)의 데이터를 획득하고 이를 입력으로 사용하여 제안된 방식을 적용하였다. 수식 (1)과 수식 (6)의 변수인 N 과 d 는 각각 국부적으로 잡음 제거를 수행하기 위한 화소 수와 라플라시안 잡음을 배제하기 위한 변수를 나타낸다. 이 과정에서 N 이 커질수록 잡음제거의 성능은 좋아지나 스미어 신호도 잡음으로 판단될 가능성이 커지고, d 가 커질수록 라플라시안 잡음제거의 성능은 좋아지나 가우시안 잡음제거의 성능이 떨어진다. 수식 (11)의 문턱 값 Th_1 은 스미어 신호가 시각적으로 인식되기 시작하는 값으로 대체로 작은 값으로 설정된다. 또한 수식 (11)의 문턱 값 Th_2 는 스미어에 의하여 원신호의 정보가 포화되는 값으로 성능의 안정성을 위하여 화소가 표현할 수 있는 최대값의 50% 정도로 설정되어 있다. 결과적으로 위 변수들은 실험에 사용된 센서의 특성에 따라 가변적이며, 본 실험에서는 실험을 통하여 N 과 d 는 9와 4로, Th_1 과 Th_2 는 512와 2048로 설정되었다. 마지막으로 베이어 형식의 영상을 컬러 영상으로 확인하기 위하여 선형 컬러 보간 방식(bilinear color interpolation)을 수행하였다.

그림 7은 각각 원본영상과 광학암흑영역의 신호에 아무런 처리를 가하지 않고 스미어 효과를 제거한 영상, 그리고 제안하는 방식으로 광학암흑영역의 신호를 처리하고 스미어 효과를 제거한 영상에 히스토그램 평활화(histogram equalization)를 적용하여 일부를 확대한 결과이다. 광학암흑영역 신호의 잡음을 제거하지 않고 이를 이용하여 스미어 효과를 제거할 경우, 잡음 성분에 의하여 최종 결과에 원하지 않는 수직선(혹은 수평선)들이 발생하게 된다. 반면 제안하는 방식으로 처리한 결과는 이러한 열화가 발생하지 않는 것을 살펴볼 수 있다.

그림 8과 9는 포화가 발생하지 않은 경우의 실험 결과를 나타낸다. 그림 8과 9의 (a)는 광원에 의하여 수직 방향으로 스미어 효과가 발생한 원본 영상이다. 그림 8과 9의 (b)는 제안된 방법으로 스미어 효과를 제거한 결과이다. 실험 결과에서 확인할 수 있듯이 포화가 발생하지 않은 경우에는 제안하는 방식을 통하여 스미어 효과에 의한 열화가 해상도의 저하(blur) 없이 개선되는 것을 살

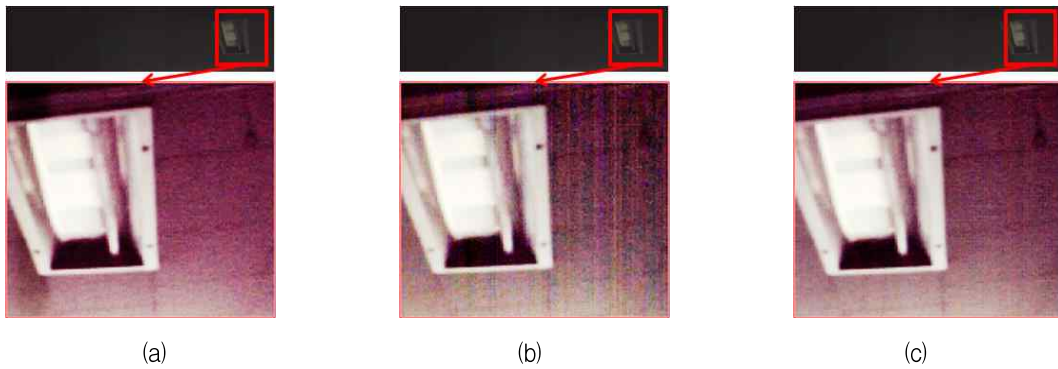


그림 7. (a) 원본영상, (b) 광학암흑영역의 신호를 그대로 사용하여 스미어 제거를 적용한 경우, (c) 제안하는 방식으로 광학암흑영역의 신호를 처리한 후 스미어 제거를 적용한 경우 (히스토그램 평활화 적용)
 Fig. 7. (a) Original image, (b) the result of the smear removal without OBR correction, (c) the result of the smear removal with the proposed OBR correction (histogram equalization).



그림 8. 실험 결과 1 (포화가 발생하지 않은 경우) : (a) 원본영상, (b) 제안하는 방식으로 스미어 효과를 제거한 결과
 Fig. 8. Experimental results 1 (without saturation) : (a) original image, (b) the result of the proposed method.

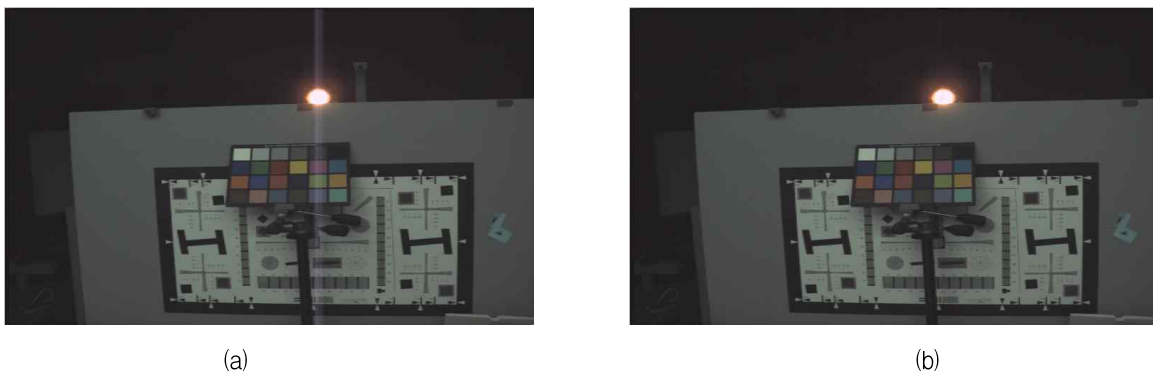


그림 9. 실험 결과 2 (포화가 발생하지 않은 경우) : (a) 원본영상, (b) 제안하는 방식으로 스미어 효과를 제거한 결과
 Fig. 9. Experimental results 2 (without saturation) : (a) original image, (b) the result of the proposed method.

펴 볼 수 있다.

그림 10은 포화가 발생하였을 경우의 실험 결과를 나타낸다. 그림 10의 (a)는 강한 광원이 거울에 반사되어 강한 스미어 현상을 유발하고 이에 의해서 신호가 포화된 원본 영상을 나타낸다. 이 경우는 원 신호의 정보가 손실되었기 때문에 광학암흑영역의 신호만을 이용하여

스미어 효과를 제거할 경우 (b)와 같이 원하지 않는 결과가 발생하게 된다. 따라서 제안된 잡음 제거 방식으로 처리된 광학암흑영역의 신호로부터 화소가 포화되었는지를 판단하고 포화가 발생하였다고 판단된 화소는 주변 화소 중에서 포화가 발생하지 않은 화소를 찾아내어 이 값들의 가중치 합으로 현재 화소의 값을 대체한다.



(a)



(b)



(c)

그림 10. 실험 결과 (포화가 발생한 경우) : (a) 원본영상, (b) 추정된 스미어 효과 신호를 영상에 전반적으로 빼주어 스미어 효과를 제거한 경우, (c) 제안하는 방식으로 스미어 효과를 제거한 결과

Fig. 10. Experimental results (with saturation) : (a) original image, (b) the result when the estimated smear effect is uniformly subtracted from the original image, (c) the result of the proposed method

(c)는 주변 화소 값으로 현재 화소 값을 대체한 결과로 시각적으로 합당한 결과를 산출하는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

CCD 센서의 영상 획득 과정으로 인하여 밝은 광원

을 촬영 시 광원을 기준으로 수직방향(혹은 수평방향)으로 밝은 줄이 나타나는 현상이 발생하는데 이를 스미어 현상이라고 한다. 본 논문은 비교적 간단한 연산을 사용하여 신호처리 관점에서 스미어 효과를 제거하는 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 CCD 센서의 가장자리에 존재하는 화소인 광학암흑영역의 신호를 이용한다. 제안된 방법은 우선 광학암흑영역에 발생한 신호 중 스미어 신호는 그대로 보존하면서 잡음을 억제하는 과정을 선행한다. 결과적으로 제안하는 방식으로 처리된 광학암흑영역 신호를 이용하여 포화 발생을 판단한 후, 포화가 발생하지 않았을 경우는 처리된 광학암흑영역 신호를 수직방향(혹은 수평방향)으로 빼주어 스미어 효과에 의한 열화를 제거하고, 포화가 발생하였을 경우에는 처리된 광학암흑영역 신호를 이용하여 주변 화소 중에 포화가 일어나지 않은 화소를 검출 하여 이 값들의 조합으로 소실된 화소 값을 대체한다. 본 실험에서는 소실된 화소 값을 대체하는 과정에서 구현의 편의성을 위하여 에지의 방향성을 고려하지 않았지만 에지의 방향성이 고려된다면 보다 시각적으로 좋은 결과를 산출할 것이다. 실험 결과를 통하여 제안하는 방식이 시각적으로 합당한 결과를 산출하는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] E. Choi, J. Choi, and M. Kang, "Super-resolution approach to overcome physical limitations of imaging sensors: An overview", International Journal of Imaging Systems and Technology, Wiley, vol. 14, issue 2, pp. 36-46, Aug. 2004.
- [2] O. Kazuya, "Image pickup device with mechanical shutter for preventing smear", U.S. Patent 5140426, Aug. 1992.
- [3] N. Teranishi and Y. Ishihara, "Smear reduction in the interline CCD image sensor", IEEE Trans. Electron Devices, vol. 34, no. 5, pp. 1052-1056, May 1987.
- [4] E. Oda et al., "Blooming suppression mechanism for an interline CCD image sensor with a vertical overflow drain" in IEDM Tech. Dig., pp. 501, 1983.
- [5] S. Ohba, M. Nakai, H. Ando, K. Takahashi, M. Masuda, I. Takemoto, and T. Fujita, "Vertical smear noise model for MOS-type color imager", Electron Devices, IEEE Transactions on Vol. 32, ISSUE 8, pp. 1407-1410, Aug, 1985.
- [6] Y. Toshihico and K. Kazuyuki, "Digital camera

comprising smear removal function”, U.S. Patent 123828, Nov. 2006.

[7] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, “Digital image processing - second edition ”, Prentice Hall, pp. 119-123, 123-124, 235-237.

[8] D. T. Kuan, A. A. Sawchuk, T. C. Strand, and P. Chavel, “Adaptive noise smoothing filter for

images with signal-dependent noise”, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 7, no. 2, pp. 165-177, Mar. 1985.

[9] B. E. Bayer, “Color imaging array”, U.S. Patent 3971065, Jul. 1976.

저 자 소 개



한 영 석(학생회원)
 2004년 연세대학교 전기전자 공학과 학사 졸업.
 2006년 연세대학교 전기전자 공학과 석사 졸업.
 2006년~연세대학교 전기전자 공학과 박사과정

<주관심분야 : 색보간, 순차주사화, 잡음제거, 다 이내믹 영역 확장>



송 기 선(학생회원)
 2009년 연세대학교 전기전자 공학과 학사 졸업.
 2009년~연세대학교 전기전자 공학과 석박통합과정

<주관심분야 : 색보간, 색보정, 다 이내믹 영역 확장>



강 문 기(정회원)-교신저자
 1986년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1988년 서울대학교 전자공학과 석사 졸업.
 1994년 Northwestern University 박사 졸업.

1994년~1997년 Assistant Professor.
 (University of Minnesota, Duluth)

1997년~1999년 연세대학교 전기전자공학과 조교수.

1999년~2004년 연세대학교 전기전자공학과 부교수.

2004년~연세대학교 전기전자공학과 정교수.

<주관심분야 : 영상복원, 초해상도 영상복원, 비 선형 필터링, 비디오 분석 및 처리 부화소단위의 움직임 추정>