

다중필터와 이방성 확산을 이용한 극 저조도 조건에서의 미광증폭장비 영상 개선

문진규
국방기술품질원

Image Enhancement of Image Intensifying Device in Extremely Low-Light Levels using Multiple Filters and Anisotropic Diffusion

Jin-Kyu Moon

Defense Agency for Technology and Quality

요 약 미광증폭장비는 밤과 같이 어두운 환경에서 주로 가시광선 대역의 약한 빛을 증폭시켜 육안으로 관측할 수 있을 정도의 밝기로 만들어주는 장비이다. 이러한 방식은 어느 정도의 약한 빛이 존재하는 환경에서는 그 증폭 효과를 제대로 발휘하여 선명한 영상을 얻을 수 있지만, 달빛조차 존재하지 않는 극 저조도 환경에서는 기본적으로 증폭시킬 빛이 부족하여 출력 영상에 많은 노이즈로 인하여 화면의 선명도가 저하된다. 본 연구에서는 이러한 극 저조도 환경에서 발생하는 미광증폭 장비의 출력 노이즈를 다중 필터와 이방성 확산을 이용하여 화질을 개선하는 방법을 제안하였다. 실험을 위하여 극 저조도 조건에 맞는 환경을 구성한 상태에서 미광증폭장비의 출력 영상을 촬영한 후, 화질 개선을 위한 신호처리를 하였다. 신호처리를 위한 필터의 구성은 영상에 나타나는 주된 노이즈인 점 노이즈 제거와 가우시안 노이즈의 효과적인 제거를 위하여 메디안 필터, 위너 필터를 적용시킨 후 이방성 확산을 이용하였다. 실험 결과 화질이 개선됨을 육안으로 확인할 수 있었고, 정량 지표인 PSNR 및 SSIM으로 비교하여 측정된 방법에서도 모두 개선된 값을 보여주었다.

Abstract An image intensifying device is equipment that makes weak objects visible in a dark environment, such as making nighttime bright enough to let objects be visually observed. It is possible to obtain a clear image by amplifying the light in the presence of a certain amount of weak light. However, in an extremely low-light environment, where even moonlight is not present, there is not enough light to amplify anything, and the sharpness of the screen deteriorates. In this paper, a method is proposed to improve image quality by using multiple filters and anisotropic diffusion for output noise of the image-intensifying device in extreme low-light environments. For the experiment, the output of the image-intensifying device was obtained under extremely low-light conditions, and signal processing for improving the image quality was performed. The configuration of the filters for signal processing uses anisotropic diffusion after applying a median filter and a Wiener filter for effective removal of salt-and-pepper noise and Gaussian noise, which constitute the main noise appearing in the image. Experimental results show that the improvement visually enhanced image quality. Both peak signal-to-noise ratio (PSNR) and SSIM, which are quantitative indicators, show improved values.

Keywords : Image Enhancement, Image Intensifying Device, Extremely Low-Light Level, Anisotropic Diffusion, Multiple Filters

*Corresponding Author : Jin-Kyu Moon(Defense Agency for Technology and Quality)

Tel: +82-10-9243-9971 email: jkmoon@dtaq.re.kr

Received April 18, 2018

Revised (1st May 3, 2018, 2nd May 14, 2018)

Accepted July 6, 2018

Published July 31, 2018

1. 서론

사람의 눈은 가시광선 대역의 빛에 반응을 하며, 일정량 이상의 빛이 있어야 무엇을 ‘본다’라고 표현할 수 있다. 하늘에 태양이 떠 있는 동안에는 무엇인가를 보는 것이 쉽지만, 태양이 없는 밤에 사물을 보기 위해서는 다른 무언가의 특별한 도움이 필요하다. 이러한 방법 중 하나가 바로 미광증폭장비를 이용한 방법이다. 미광증폭장비란 미약한 빛을 수만 배 증폭시켜 사람이 볼 수 있는 밝기로 만들어주는 장비를 말한다[1]. 그러나 이러한 미광증폭장비 역시 적은 양의 빛을 증폭시키기 때문에, 빛이 거의 존재하지 않는 조건에서는 깨끗한 영상을 표현하지 못하는 단점이 있다.

미광증폭방식의 장비는 아날로그 형태의 영상을 사람이 직접 관측하기 때문에 그 동안 별도의 신호처리를 하지 않았다. 하지만, 획득된 영상의 효과적인 전송을 위해서는 디지털 신호로의 변환이 필요하며, 이 경우 디지털 신호처리를 통하여 얻어진 영상을 선명하게 만들 수 있게 되었다. 과거에도 미광증폭방식 장비로부터 얻어진 영상에 대해 대조비를 증가시키는 방법으로 물체의 식별을 용이하게 하는 연구가 있었으나, 이는 극 저조도 영상에서 발생한 노이즈 또한 더 선명하게 만드는 단점이 있다[2].

본 연구에서는 극 저조도 조건에서 미광증폭장비 영상을 개선하기 위하여 주변 밝기를 변화시키면서 다양한 물체의 영상을 촬영한 후, 주요 노이즈 제거를 위해 메디안 필터와 위너 필터를 차례로 통과시키고 최종적으로 이방성 확산 처리를 하였다. 영상 개선 결과 정량 지표인 PSNR 및 SSIM 값이 모두 향상된 것을 확인할 수 있었다.

2. 화질 개선 방법

2.1 미광증폭방식

미광증폭방식은 미세한 빛을 증폭시키는 방식을 의미하며, 이러한 역할을 수행하는 영상증폭관(Image Intensifier)이 장착되어 있는 장비를 미광증폭장비라고 부른다. 영상증폭관의 동작 원리는 다음과 같으며, Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

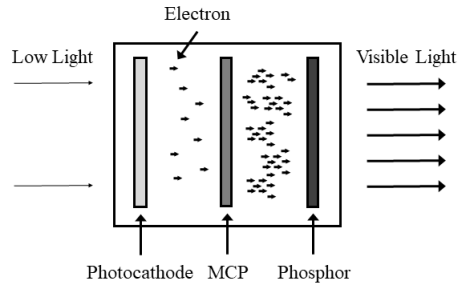


Fig. 1. Concept of Image Intensifier

빛(Photon)이 영상증폭관의 광음극(Photocathode)으로 입사되면, 빛은 전자(Electron)로 변환된다. 이 변환된 전자는 MCP(Micro Channel Plate)를 거치면서 수만 배의 전자를 발생시키는데, MCP가 Fig. 2에서 볼 수 있는 것과 같이 전자의 진행방향에 대해 약 8°정도로 기울어져 있어 MCP 내의 벽과 충돌하면서 많은 양의 전자의 생성이 가능하기 때문이다. 발생된 많은 전자는 다시 형광체(Phosphor)에 도달하면서 다시 빛(광자)으로 바뀌게 되어 결과적으로 수만 배 증폭된 광자를 인간의 눈으로 관측할 수 있게 된다[3].

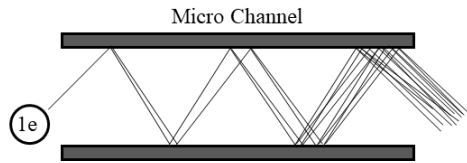


Fig. 2. Principle of Micro Channel Plate

영상증폭관이 장착된 미광증폭장비는 Fig. 3과 같이 야간투시경으로 대표되는 휴대용 야간 감시 장비로 활용되며, 주로 군사적 목적 또는 민간 경비 분야 등에 이용되고 있다.



Fig. 3. Image Intensifying(Night Vision) Device[4]

2.2 미광증폭장비 영상

미광증폭장비는 주로 어두운 환경에서 사용되는 장비이지만, 주변 밝기에 따라 장비로 입사되는 빛의 양이 다르기 때문에 화면의 밝기 및 선명도에 차이가 발생하게 된다. 극 저조도 조건에서는 기본적으로 존재하는 빛이 미약하여, 입사된 빛을 증폭시키는 과정에서 노이즈가 많이 발생하게 된다. 육안으로 관측될만한 노이즈는 극 저조도 조건인 약 0.01 lx 정도에서부터 발생하기 시작하며, 조도 값이 작아질수록 급격히 증가하는 경향을 보인다.

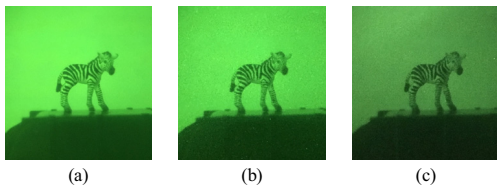


Fig. 4. Device image according to illumination
(a) 0.3 lx (b) 0.01 lx (c) less than 0.005 lx

Fig. 4는 주변 조도를 변화시켜가면서 동일한 대상을 촬영한 결과이다. 주변 밝기에 상관없이 촬영된 영상에 가우시안 노이즈가 기본적으로 나타나게 되고, 0.01 lx 이하부터는 영상에 점 노이즈가 전체적으로 분포하며, 가우시안 노이즈 또한 주변 조도가 어두워지면서 더 커지는 것을 관측할 수 있다.

2.3 효과적인 노이즈 제거 방법

극 저조도 조건에서 미광증폭장비의 영상 화질을 개선하기 위해서는 주요한 노이즈인 점 노이즈와 가우시안 노이즈의 제거가 필수적이다.

입사되는 광량이 많지 않은 경우 이를 필요 이상으로 증폭시키는 현상이 발생하며, 이 때 점 노이즈가 주로 발생하게 된다. 점 노이즈 제거에 가장 효과적인 필터는 메디안 필터(Median Filter)이다. 이 필터는 특정한 영역의 값을 추출한 후 그 값들 안에서의 중간 값을 산출하여 결과로 제시하며, 식 (1)과 같이 표현된다[5].

$$O(i, j) = \text{med}\{x(i+p, j+q) | -N \leq p, q \leq N\} \quad (1)$$

가우시안 노이즈 제거에는 위너 필터(Wiener Filter)

가 이용되는데, 그 이유는 이 필터가 노이즈가 섞여 있는 신호에 대해 원하는 출력 값과의 평균 제곱 오차(MSE)를 최소화하기 때문이다. 그러나 위너필터는 원래 영상에 대한 정보를 사전에 알고 있어야하기 때문에 이를 보완하기 위한 다양한 변형 위너 필터가 존재한다. 그 중에서도 노이즈를 제거하면서 영상 흐려짐을 가능한 줄이기 위한 방법으로 범위 내의 평균과 분산으로 해당 지점의 값을 추정하는 위너2 필터가 주로 이용되며, 이는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다[6].

$$b(n_1, n_2) = \mu + \frac{\sigma^2 - \nu^2}{\sigma^2} (a(n_1, n_2) - \mu) \quad (2)$$

이방성 확산(Anisotropic Diffusion)은 영상을 구성하는 주요 요소인 윤곽, 선 등의 변화를 최소화시키면서 영상의 노이즈를 감소시키는 방법이다. 이 중에서 2차원 영상에 적용되는 이방성 확산은 식 (3)과 같이 표현된다[7].

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \text{div}(c(x, y, t) \nabla I) = \nabla c \cdot \nabla I + c(x, y, t) \Delta I \quad (3)$$

극 저조도에서 발생한 미광증폭장비 영상 노이즈의 효과적인 제거를 위해서 점 노이즈 감소를 위한 메디안 필터를 우선 적용한 후, 위너 필터로 가우시안 노이즈를 최소화하고 마지막으로 이방성 확산을 거치는 방법을 제안한다. 제안된 방법을 도식화하면 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다.

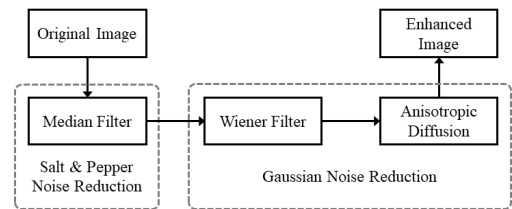


Fig. 5. Proposed Image Enhancement Method

가우시안 노이즈를 감소시키기 위한 신호처리 과정에서 주변 픽셀의 값이 입력 값으로 이용되는데, 점 노이즈가 있는 경우 원하지 않는 값이 계산에 이용되기 때문에 점 노이즈 제거가 우선되는 것이 개선 효과가 더 좋을 것으로 가정하였다. 각 방법들의 특징 및 장단점은 Table 1과 같다.

Table 1. Features and Pros & Cons by Method

Method	Feature	Pros	Cons
Median	Removal of Salt & Pepper Noise	Effective for Salt Noise Removal	Ineffective for Gaussian Noise Removal
Wiener	Reduction of Gaussian Noise	Effective for Gaussian Noise Removal	Ineffective for Salt Noise Removal
Anisotropic Diffusion	Reduction of Noise	Non-removal edges	Complex calculations
Proposed	Removal of Salt Noise and reduction of Gaussian Noise	Effective for Salt and Gaussian Noise Reduction	A lot of calculations

Table 2. Image according to illumination

	0.3 lx	0.01 lx	< 0.05 lx
Bus			
Zebra			
Map			
Tissue			
Wall			

3. 실험 및 결과분석

3.1 실험 구성

실험은 조도 값 변화가 가능한 암실에서 대상별로 영상을 촬영한 후, 여러 가지 방법으로 신호처리를 하는 방식으로 진행되었다. 영상 촬영을 위한 암실 조건은 Fig. 6과 같이 구성하였다.

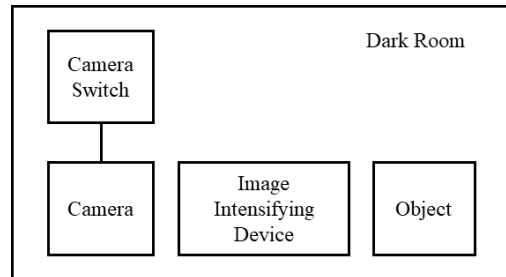


Fig. 6. Experiment Configuration

실험을 위해 구성된 암실에서 주변 밝기 및 대상을 바꾸어가며 영상을 촬영하였다. 획득된 영상은 원형이지만, 영상 촬영 후 화질 개선 효과의 확인을 위하여 불필요 가장자리 부분을 제거한 사각 영상을 최종적으로 신호처리 대상으로 이용하였다. 조도에 따른 대상별 미광증폭장비 촬영 영상은 Table 2와 같다.

3.2 결과 및 분석

육안으로 노이즈 확인이 가능한 주변 조도 값인 0.01 lx와 0.005 lx 미만의 조건에서 촬영된 영상들에 대해 제안하는 화질 개선 방법을 적용하였다. 화질 개선 후 개선 정도를 정량적으로 판단하기 위하여 대표적인 지표인 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)과 SSIM(Structural Similarity Index)으로 값을 비교하였다. 각각의 값을 같은 밝기에서 비교하기 위하여 선명한 영상 조건인 0.3 lx에서 촬영된 영상의 평균 밝기를 비교 영상의 평균 밝기로 보정한 후 비교를 실시하였다. PSNR의 계산 방법은 식 (4)와 같으며, SSIM의 계산 방법은 식 (5)와 같다[8].

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (4)$$

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (5)$$

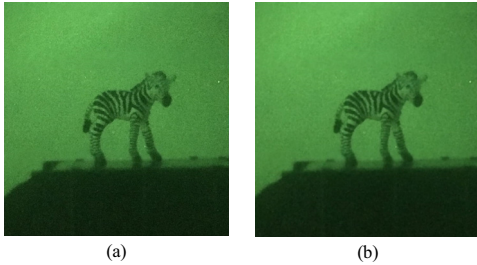


Fig. 7. Comparison of Image Enhancement (< 0.005 lx)
 (a) Original(PSNR=27.722)
 (b) Proposed(PSNR=28.868)

제안된 개선 방법 및 다른 개선 방법들의 PSNR 및 SSIM 값들을 정리하면 Table 3 및 Table 4와 같다. 다른 개선 방법들은 제안하는 방법의 각각을 따로 실시한 방법, 이동평균(Moving Average) 필터 및 제안하는 방법의 순서를 뒤집은 방법이 있으며, 결과 값 비교를 위한 실험을 실시하였다. 촬영된 영상에 대하여 제안된 방법으로 신호처리를 실시한 결과 다른 방법들에 비해 모든 조건에서 극 저조도 조건에서 PSNR 및 SSIM 값이 가장 향상된 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

Table 3. PSNR Comparison

Method \ Object		Bus	Zebra	Map	Tissue	Wall
		0.01 lx	0.005 lx	0.01 lx	0.005 lx	0.01 lx
Original	0.01 lx	28.858	30.988	29.361	31.876	31.018
	0.005 lx	26.106	27.722	27.834	26.053	27.473
Median	0.01 lx	30.765	32.577	31.711	33.558	32.507
	0.005 lx	27.082	28.514	29.469	26.829	28.752
Wiener	0.01 lx	30.339	32.321	31.247	33.297	32.332
	0.005 lx	26.965	28.471	29.332	26.748	28.646
Anisotropic Diffusion	0.01 lx	30.653	32.634	31.589	33.700	32.669
	0.005 lx	27.091	28.590	29.503	26.858	28.803
Moving Average	0.01 lx	30.771	32.407	31.561	33.245	32.182
	0.005 lx	27.154	28.564	29.574	26.854	28.781
Proposed (Inverse)	0.01 lx	31.320	33.078	32.535	34.162	33.190
	0.005 lx	27.325	28.729	29.967	27.029	29.125
Proposed	0.01 lx	31.809	33.488	33.225	34.699	33.742
	0.005 lx	27.489	28.868	30.334	27.164	29.379

Table 4. SSIM Comparison

Method \ Object		Bus	Zebra	Map	Tissue	Wall
		0.01 lx	0.005 lx	0.01 lx	0.005 lx	0.01 lx
Original	0.01 lx	0.967	0.980	0.990	0.989	0.995
	0.005 lx	0.921	0.950	0.955	0.960	0.973
Median	0.01 lx	0.981	0.987	0.995	0.993	0.997
	0.005 lx	0.951	0.966	0.978	0.974	0.986
Wiener	0.01 lx	0.979	0.987	0.994	0.993	0.996
	0.005 lx	0.949	0.966	0.976	0.974	0.984
Anisotropic Diffusion	0.01 lx	0.981	0.988	0.995	0.993	0.996
	0.005 lx	0.952	0.968	0.978	0.975	0.986
Moving Average	0.01 lx	0.981	0.987	0.995	0.993	0.996
	0.005 lx	0.952	0.967	0.979	0.975	0.986
Proposed (Inverse)	0.01 lx	0.983	0.989	0.996	0.994	0.997
	0.005 lx	0.957	0.970	0.982	0.977	0.988
Proposed	0.01 lx	0.985	0.990	0.997	0.995	0.998
	0.005 lx	0.960	0.972	0.985	0.979	0.989

4. 결론

본 연구에서는 극 저조도 조건에서 미광증폭장비 영상의 화질을 다중 필터 및 이방성 확산을 통하여 개선하는 방법을 제안하고 실험을 통하여 개선 정도를 확인하였다.

제안된 방법을 극 저조도 조건(0.1 lx 이하)에서 촬영된 영상에 적용한 결과 PSNR 값이 약 4~13 % 향상된 값을 보여주었으며, SSIM 또한 약 0.3~4 %의 개선 효과를 확인할 수 있었다.

본 연구는 정지 영상에 대한 실험 및 개선 정도를 확인하였지만, 실제 미광증폭장비는 연속되는 영상으로 사용을 하는 만큼 이를 발전시켜 동영상 화질 개선에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] Byunghyun Choi, Incheol Yun, Iksun Kwon, Hiesik Kim, Improvement of Accuracy and Stability of Image Intensifier Tubes Light Exposure Assay for Using Portable Night Monitoring Equipment System, *The 7th Conference on National Defense Technology*, vol. 1 no. 1, pp. 336-342, 2011
- [2] Hyungjun Kim, Enhanced system design of night vision goggle image using histogram image processing, pp. 19-21, Yonsei University Graduate School of

Management Science Master Thesis, 2000

- [3] K. Chrzanowski, Review of night vision technology, *Opto-electronics Review*, vol. 21, no. 2, pp. 153-181, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.2478/s11772-013-0089-3>
- [4] Harris Corp., Harris AN/PVS-14 Night Vision Monocular, <https://www.harris.com/solution/harris-anpvs-14-night-vision-monocular>, 2018.05.
- [5] S. Zhang, M. A. Karim, A new impulse detector for switching median filters, *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 9, no. 11, pp. 360-363, 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1109/LSP.2002.805310>
- [6] Jae S. LIM, Two-Dimensional Signal and Image Processing, p. 548, Prentice Hall, 1990.
- [7] Pietro Perona, Jitendra Malik, Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 12, no. 7, pp. 629-639, 1990.
DOI: <https://doi.org/10.1109/34.56205>
- [8] Zhou, W., A. C. Bovik, H. R. Sheikh, E. P. Simoncelli, Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, Issue 4, pp. 600-612, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TIP.2003.819861>

문진규(Jin-Kyu Moon)

[정회원]



- 2013년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
- 2017년 2월 : 연세대학교 공학대학원 전기전자공학전공 (공학석사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

전자광학, 영상신호처리