



Received: 2026/06/23
Revised: 2026/07/03
Accepted: 2026/08/18
Published: 2026/09/30

***Corresponding Author:**

Yeondeok Yoo

207, Mabuk-ro, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do,
Republic of Korea

Tel: +82-31-326-9491

E-mail: yeondeok.yoo@ligdna.com

Abstract

역광 환경에서 피사체의 시인성을 향상시키기 위한 실시간 ROI 기반 자동노출조절 알고리즘을 제안한다. 실시간 ROI 영역 설정을 통해 배경의 포화를 적절히 감내하면서 피사체의 시인성 확보를 목표로 한다. ROI 영역을 기준으로 자동노출조절을 수행하여 배경의 과도적인 과노출을 유도함으로써 피사체의 세부 디테일을 복원한다. 시험을 통해 제안된 알고리즘이 시인성을 향상시킴을 보였다.

This paper proposes a real-time ROI-based automatic exposure control algorithm to enhance subject visibility under backlight conditions. By dynamically determining the ROI in real time, the proposed method ensures subject visibility while appropriately tolerating background saturation. By performing the automatic exposure control based on the ROI, the method deliberately induces overexposure in the background, thereby effectively restoring subject details. Experimental results demonstrate that the proposed algorithm significantly improves visibility.

Keywords

실시간(Real-Time), 관심영역(ROI),
역광환경(Backlight Condition), 자동 노출 조절(AEC),
의도적 과노출(Intentional Overexposure)

Acknowledgement

이 논문은 2026년 정부(방위사업청)의 재원으로
국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임.

이 논문은 2026년도 한국해군과학기술학회
하계학술대회 발표 논문임.

역광 환경에서 피사체 시인성 향상을 위한 실시간 ROI 기반 자동노출조절 (AEC) 알고리즘

Real-Time ROI-Based Automatic Exposure Control Algorithm for Enhancing Subject Visibility Under Backlight Conditions

유연덕^{1*}, 박성현¹, 박진호², 박정우³, 강지안⁴

¹LIG 디펜스앤에어로스페이스 선임연구원

²LIG 디펜스앤에어로스페이스 수석연구원

³LIG 디펜스앤에어로스페이스 연구원

⁴국방과학연구소 선임연구원

Yeondeok Yoo^{1*}, Sunghyun Park¹, Jin-ho Park², Jeongwoo Park³, Jian Kang⁴

¹Research engineer, Missile System RF & IIR Seeker R&D Lab, LIG D&A

²Chief Research engineer, Missile System RF & IIR Seeker R&D Lab, LIG D&A

³Research engineer, Missile System RF & IIR Seeker R&D Lab, LIG D&A

⁴Research engineer, Missile R&D Lab, Agency for Defense Development

1. 서론

현대 해전 및 해상 작전에서 전장 상황을 실시간으로 파악하기 위한 감시정찰(ISR, intelligence, surveillance, and reconnaissance) 시스템의 중요성은 날이 증대되고 있다. 특히 함정 및 연안 기지에 탑재되는 전자광학(EO/IR) 카메라는 레이더가 탐지하기 어려운 소형 선박, 부유물, 잠수함의 잠망경 등을 시각적으로 식별하고 고해상도 정보를 제공하는 핵심 자산이다.

그러나 해상 환경은 일반적인 도심 환경과 달리 광학 장비 운용에 극심한 제약을 준다. 대표적으로 일출 및 일몰 시간대의 태양광 광원이나, 수면에 반사되어 발생하는 강력한 해면 반사광(sun glint)은 카메라 렌즈로 직접 유입되어 극단적인 역광 환경을 조성한다.

기존의 일반적인 자동노출조절(AEC) 알고리즘은 영상 전체 영

역의 화소 평균 휘도를 기준으로 노출을 제어한다 (Fig. 1 참조)[1,3]. 이로 인해 광활한 바다와 하늘, 혹은 반사광 영역의 높은 휘도값에 동화되어 정작 관측해야 할 적 함정이나 미상 표적 영역은 급격히 어두워지는 저노출(Underexposure) 상태에 빠지게 된다 [2]. 표적이 단순한 검은색 실루엣으로만 관측될 경우, 무장 장착여부, 선체 번호 등의 세부 특징을 식별할 수 없어진다(Fig. 2 참조).

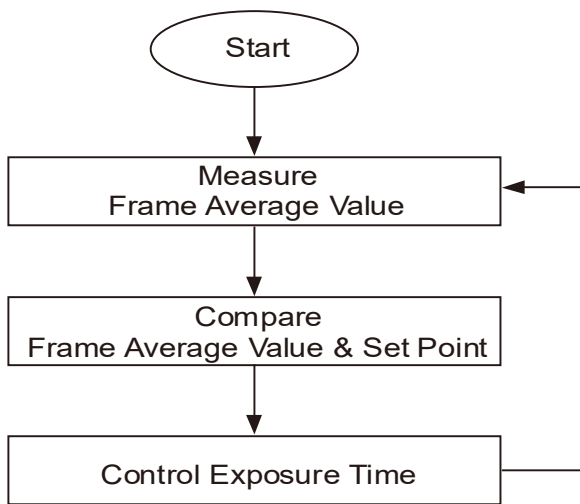


Fig. 1. Automatic exposure control



Fig. 2. Example of underexposure

이러한 문제를 극복하기 위해 다중 노출 기반의 광역 역광 보정(WDR/HDR) 기술을 적용할 수 있으나, 파도에 의해 끊임없이 흔들리는 함정의 기동(pitching/rolling)과 고속으로 이동하는 소형 표적의 특성상 잔상(motion artifact)이 발생하기 쉽다. 또한 실시간성(low latency)을 충족하기에는 연산 복잡도가 높다는 한계가 있다.

따라서 본 논문에서는 해상 감시 경찰의 효율성을

극대화하기 위해, 표적이 탐지된 특정 관심 영역의 휘도만을 독립적인 피드백 인자로 삼는 실시간 ROI 기반 자동노출조절 알고리즘을 제안한다. 레이더나 표적 추적 모듈로부터 획득한 표적의 위치를 ROI로 지정하고, 배경의 포화를 감수하더라도 해당 표적의 시인성을 최우선으로 확보하여 실시간 식별 능력을 높이는 것이 핵심이다.

2. 본론

전형적인 자동노출조절(AEC) 알고리즘은 입력 이미지 프레임의 전체 화소에 대한 평균 휘도값 I_{global} 을 기반으로 동작한다. 해상도가 $W \times H$ 인 영상의 휘도성분을 $Y_{(x,y)}$ 라고 할 때, I_{global} 은 다음과 같이 정의된다.

$$I_{global} = \frac{1}{W \times H} \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} Y_{(x,y)} \quad (1)$$

목표값을 I_{target} 이라고 할 때, 오차값 e_{global} 은 다음과 같다.

$$e_{global} = I_{target} - I_{global} \quad (2)$$

오차값 e_{global} 이 0에 수렴하도록 노출시간을 피드백 제어하여 자동노출조절을 하게 된다. 그러나 역광 환경에서는 배경 화소들의 휘도가 극단적으로 높아 $I_{global} \gg I_{target}$ 인 상태가 발생한다. 결과적으로 시스템은 노출시간을 과도하게 단축시키며, 이로 인해 상대적으로 휘도가 낮은 피사체 영역은 심한 저노출(underexposure) 상태에 빠져 세부 특징을 식별할 수 없어진다.

피사체의 밝기를 높이기 위해 실시간으로 ROI 영역(region of interest)을 설정하고 해당 ROI 영역에서의 평균 휘도값을 기준으로 피드백 제어하는 실시간 ROI 기반 자동노출조절 알고리즘을 제안한다. ROI 영역이 $a \times b$ 크기일 때, I_{ROI} 는 다음과 같다.

$$I_{ROI} = \frac{1}{a \times b} \sum_{x=0}^{a-1} \sum_{y=0}^{b-1} Y_{(x,y)} \quad (3)$$

ROI 영역으로 계산했을 때의 오차값 e_{ROI} 는 다음과 같다.

$$e_{ROI} = I_{target} - I_{ROI} \quad (4)$$

ROI 영역의 평균 휘도값을 기준으로 계산한 오차값 e_{ROI} 이 0으로 수렴하도록 피드백 제어를 하면 상대적으로 밝은 영역인 배경 영역은 과노출(overexposure)이 되어 화이트아웃(white-out)현상이 일어날 수 있다. 하지만 주요 관심 대상인 피사체가 포함된 영역인 ROI 영역의 휘도값(I_{ROI})은 목표값(I_{target})에 수렴하게 되어 피사체의 세부 특징을 식별할 수 있는 영상을 얻을 수 있다.

동적 조도 환경의 미세한 변화나 센서 자체의 고유 노이즈 성분으로 인해 오차값(e_{ROI})을 0으로 유지하려는 연속적인 피드백은 불안정성을 초래할 수 있다. 과도한 피드백 제어를 방지하고 불필요한 미세 조정을 최소화하기 위해 목표값(I_{target}) 주변에 마진값(I_{margin})을 설정하여 영상 플리커 현상을 방지하고 제어 안정성을 확보하였다. 따라서 ROI 영역 평균값(I_{ROI})이 $I_{target} - I_{margin}$ 과 $I_{target} + I_{margin}$ 사이의 값이 되도록 피드백 제어하여 노출시간을 자동으로 조절하는 알고리즘을 제안한다.

$$I_{target} - I_{margin} < I_{ROI} < I_{target} + I_{margin} \quad (5)$$

실시간 ROI 기반 자동노출조절 알고리즘의 효과를 검증하기 위해 아래와 같이 시험을 진행하였다. 시험에 사용한 이미지 센서의 사양은 다음과 같다. 해당 센서는 monochrome 센서로 픽셀의 Gray값이 곧 휘도값을 의미한다.

Table 1. Specification of VIS image sensor

Item	Value
Company	○○○○○○○
Name	○○○○○○○
Number of pixels	○○○○ × ○○○
Wavelength	Visible
Size of pixel	○ μm × ○ μm

일반적인 상황과 역광환경인 상황에서 촬영하여 각 상황에서 제안하는 알고리즘이 어떤 효과가 있는지 확인하였다.

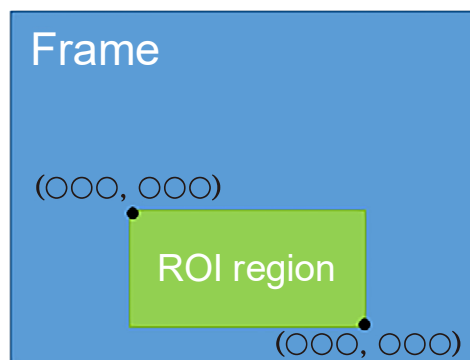


Fig. 3. Setting ROI

시험 시, 마땅히 추적할 물체가 없었기 때문에 두 상황 모두 ROI 영역을 (○○○,○○○) ~ (○○○,○○○)으로 동일하게 설정하였다(Fig. 3 참고). 영상의 포화값은 16383 Gray이고 목표값(I_{target})은 7000 Gray로 설정하였다. 마진값(I_{margin})은 1000 Gray로 최종적인 I_{ROI} 의 목표범위는 6000~8000 Gray이다.



Fig. 4. Image under normal lighting conditions (before/after setting ROI)

Fig. 4는 일반적인 상황에서 촬영한 영상이다. 좌측이 ROI 영역을 설정하기 전 영상이며, 우측이 ROI 영역을 설정한 영상이다. 우측 영상의 하단 부분을 보면 ROI 영역 설정 후에 물결의 디테일이 많이 살아난 것을 확인할 수 있다.

전체 영역과 비교했을 때 ROI 영역에서는 하늘을 포함하는 부분이 적어지며 상대적으로 에너지가 높은 영역이 적게 포함된다. 따라서 전체 영상 평균값(I_{global})보다 ROI 영역의 평균값(I_{ROI})이 작아지고 목표값(I_{target})과의 차이가 커지기 때문에 자동노출조절 알고리즘을 통해 노출시간이 늘어나는 방향으로 피드백 제어가 이뤄지게 된다. 실제로 ROI 영역 설정 전과 후의 노출시간이 1.026 ms에서 1.206 ms로 늘어남을 확인했다.

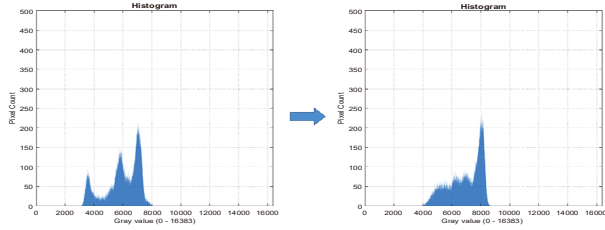


Fig. 5. Histogram under normal lighting conditions (before/after setting ROI)

Fig. 5는 Fig. 4 영상의 히스토그램이다. 노출시간이 늘어남에 따라 전체적인 영상의 Gray값이 올라간 것을 확인할 수 있다. 특히 저노출로 인해 어두웠던 픽셀이 제안하는 알고리즘 적용 후에 밝아지는 것을 확인할 수 있다. ROI 영역에 충분한 노출시간을 제공하여 역광상황이 아니더라도 영상품질이 개선됨을 확인하였다.



Fig. 6. Image under backlight conditions (before/after ROI setting)

Fig. 6는 역광환경에서 촬영한 영상이다. 좌측이 ROI 영역을 설정하기 전 영상이며, 우측이 ROI 영역을 설정한 영상이다. Fig. 6에서 산을 보면 좌측 영상에 비해 우측 영상에서 나무의 디테일이 많이 살아난 것을 확인할 수 있다. Fig. 4와 비교했을 때 영상이 전체적으로 밝아진 것을 확인할 수 있으며 에너지가 높은 하늘 부분은 포화(saturation)되어 화이트아웃 현상이 발생함을 확인하였다.

Table 2. Main Values under backlight conditions

Item	Value	
	Before	After
Frame Mean Value (I_{global})	7568 Gray	10849 Gray
ROI Mean Value (I_{ROI})	2301 Gray	6692 Gray
Exposure Time (T_{ex})	0.954 ms	3.510 ms

Table 2는 Fig. 6 환경에서 측정한 값이다. ROI 영역 설정 전, 역광환경에서 하늘은 높은 Gray값을 가지며 영상 평균값이 매우 올라간다. 목표범위를 맞추기 위해 노출시간은 0.954 ms로 낮아지며 영상 전체 평균값(I_{global})은 7568 Gray로 마진을 포함한 최종 목표범위인 6000~8000 Gray를 만족하게 된다. 하지만 ROI 영역의 평균값은 2301 Gray로 피사체인 산이 저노출되어 매우 낮은 Gray값을 갖게 된다.

ROI 영역 설정 후에는 ROI 영역의 평균값(I_{ROI})을 통해 피드백 제어를 하게 된다. 따라서 ROI 영역의 평균값(I_{ROI})이 6692 Gray로 최종 목표범위에 만족하는 것을 확인할 수 있다. 상대적으로 낮은 Gray값을 갖는 ROI 영역을 기준으로 피드백 제어를 하다 보니 노출시간이 3.510 ms로 높아진다. 그로 인해 처음부터 높은 Gray값을 갖던 하늘 영역이 포화되며 전체 영상 평균(I_{global})이 10849 Gray까지 높아지는 것을 확인할 수 있다.

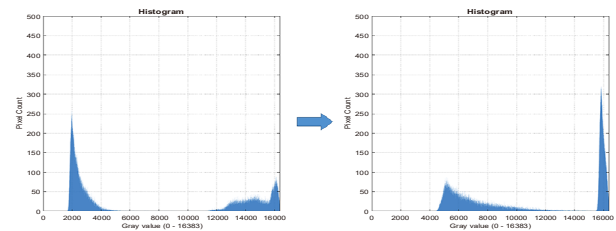


Fig. 7. Histogram under backlight conditions (before/after ROI setting)

Fig. 7은 Fig. 6 영상의 히스토그램이다. 기존 1500~4500 Gray로 낮은 값이었던 부분이 제안하는 알고리즘 적용 후에 4000 Gray 이상으로 높아진 것을 확인할 수 있다. 또한 12000~16383 Gray였던 부분이 15000 Gray 이상으로 상승한 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 의도적인 과노출로 ROI 영역의 영상을 더욱 명확하게 확인할 수 있음을 보였다.

3. 결론

본 논문에서는 해상 감시정찰 환경에서 고질적으로 발생하는 강한 태양광 및 해면 반사광으로 인한 역광 문제를 해결하기 위해 실시간 ROI 기반 자동노출 조절 알고리즘을 제안하였다.

기존의 자동노출조절 방식은 바다와 하늘, 해면 반

사광 영역의 높은 휘도에 동화되어 추적해야 할 표적이 어둡게 묻히는 실루엣 현상을 유발하였다. 반면, 제안된 알고리즘은 표적이 존재하는 특정 관심 영역(ROI)의 평균값을 피드백 제어 인자로 선택함으로써, 주변 배경의 휘도와 관계없이 표적의 밝기를 최적화하는 데 집중하였다.

시험을 통해 해당 알고리즘의 성능과 역광환경에서 효과가 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] M. Murakami & N. Honda, 'An Exposure Control System of Video Cameras Based on Fuzzy Logic Using Color Information,' in proceedings of IEEE 5th International Fuzzy Systems, New Orleans, LA, September 1996.
- [2] JiaYi Liang, YaJie Qin, & ZhiLiang Hong, 'An Auto-Exposure Algorithm for Detecting High Contrast Lighting Conditions,' in proceedings of 2007 7th International Conference on ASIC, Guilin, China, October 2007.
- [3] S. Mo & Hyun Sang Park, 'Hardware Architecture of Automatic Exposure Algorithm for CMOS Image Sensor,' Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, VOL. 10, NO. 7, 2009, pp. 1497-1502.