

소형 표적 탐지를 위한 파노라믹 적외선 영상 개선 알고리즘

Enhancement Algorithm of Panoramic Thermal Imaging Warning System for Small Target Detection

*김기홍, *전병균, **김주영, **김덕규

*국방과학연구소(전화:(042)821-3164, 팩스:(042)821-821-2221, E-mail:sonofkim@hanmail.net)

**경북대학교 전자전기컴퓨터공학부(전화:(053)940-8625, 팩스:(053)950-5505, E-mail:chongsapo@hanmail.net)

Abstract : This paper presents the signal processing of the panoramic thermal warning system that detects the small target such as aircraft and helicopter from afar. We develop the all round looking thermal imaging system which can scan all the way. This system acquires the panoramic images to reconstruct the IR images by revolving head of sensor typed line sensor at high speed. For detectoin, where the object of interest may be small, it is sometimes difficult to specify from object and background by conventional contrast enhancement methods. Therefore we use the adaptive plateau equalization algorithm each region to improve the contrast and make the hardware system which consists of the signal processing board for real-time display. We can verify the proposed method by the computer simulation and the hardware implementation.

Keywords : panoramic infrared warning system, histogram plateau equalization.

I. 서 론

원거리에서 접근하는 적의 항공기, 헬기 등 위협체를 조기에 탐지하여 위치와 방향을 경보할 수 있는 경고 시스템은 군사용 무기에서 필수적인 장치이다. 이러한 위협체를 경고하는 시스템에서 사용되는 센서는 레이더, UV, 레이저, 그리고 적외선 센서 등이 있다. 최근 반도체 기술과 디지털 신호처리 기술 발달로 적외선 영상을 이용하여 수동적으로 위협체를 탐지 경보하여 주는 장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

특히, 적외선 센서를 이용하여 원거리에서 다가오는 소형 위협체를 조기 탐지하여 경보하는IRST (IR Search and Track) 장치에 대한 연구가 활발히 연구가 되고 있다[2]-[4]. 그러나 적외선 신호는 일반적으로 신호대 잡음비 (S/N)가 작으며, 낮은 생동폭 (dynamic range)을 가지고 있다. 이러한 적외선 영상에서 원거리의 소형 물체를 구분하기 위하여 영상 개선은 필수적이다.

파노라믹 적외선 경보 장치는 1차원 다중 배열 적외선 센서를 초당 2~3회 회전시켜 360도 파노라믹 영상을 획득한다. 파노라믹 적외선 경보 장치는 일반적인 전방 관측 열상 장비 (FLIR; forward looking infrared)와 달리 360도의 넓은 시계와 낮은 프레임률을 가진다 [5]. 전방 관측 열상 장치는 제한된 좁은 시계 영역에서 관측하는 장비로서 시계가 좁아 획득된 영상은 대조비를 넓게 표현이 가능하다. 하지만 적외선 경보 장치에서 획득된 영상은 다양한 온도 배경 영역을 가진다. 이렇게 획득된 넓은 시계의 배경 영상으로부터 원거리 소형 물체를 나타내기 위해서는 기존의 열상 장비에 사용된 신호처리 방법은 적합하지 않다.

본 논문에서는 파노라믹 적외선 경보 장치에 적합한 신호처리 방법을 제안하였다. 이 방법은 적외선 센서에 의해 스캔한 영역을 유사한 영역으로 나누어 후, 특성에 따라 Plateau값으로 변경하여 히스토그램을 변화시킨다. 제안 방법의 성능 평가는 실제 야외에서 획득된 파노라믹 적외선 영상에 대하여 컴퓨터 모의 실험으로 이루어졌으며, 그 결과 위협체를 배경에서 시각적으로 구별됨을 보였다.

II. 소형 표적 열 영상 개선 알고리즘

적외선 영상은 물체와 주위 온도차를 감지하는 적외선 센서를 이용하여 만든 영상이다. 특히 원거리 소형 위협체는 물체의 크기가 주위 배경보다 상대적으로 작으며 위협체의 그레이 값은 구름 등 주위 배경보다 크지 않기 때문에 소형 위협체를 식별하기는 어렵다. 이 소형 위협체를 식별하기 위하여 열영상 개선 기법을 사용한다. 따라서, 본 절에서는 일반적인 적외선 영상처리 기법과 제안된 기법에 대하여 서술한다.

1. 히스토그램 스트레칭 방법

히스토그램 스트레칭방법은 낮은 명암 대비를 가진 히스토그램을 균등한 분포로 만드는 알고리즘으로서 먼저 히스토그램의 평균과 분산을 구한다[6],[7]. 평균 및 분산을 구해 보면 다음과 같이 나타낼수 있다.

Mean:

$$M = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{1095} f(x), \quad T = \text{the number of total pixels} \quad (1)$$

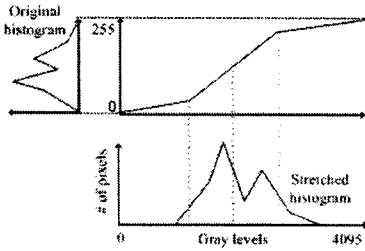


그림 1. 히스토그램 스트레칭 방법

Mean Square :

$$M_2 = \frac{1}{T} \sum_{x=0}^{4095} [f(x)]^2 \quad (2)$$

Sigma :

$$\Delta = \sqrt{M_2 - M^2} \quad (3)$$

여기서, $f(x)$ 는 히스토그램의 분포곡선이다.

히스토그램 스트레칭 방법은 획득된 영상에서 히스토그램을 구하여 수식(1)~(3) 및 그림 1에서 정의된 것처럼 몇 개의 구간별 선형 변환을 이용하여 영상의 명암대조비를 개선한다. 이 방법을 이용하여 적외선 영상의 밝은 소형 위협체와 어두운 배경은 낮은 기울기를 가진 곡선을 따라 변환된다. 이 경우 픽셀의 다른값들은 유사값으로 변환될 수 있고 이 변환에 의한 히스토그램의 상위 값은 특정 범위의 값으로 집중되어 상위값의 빈도는 높게 나타나게 된다. 즉, 영상의 평균값 및 멀리 있는 값은 좁은 영역으로 대응되는 픽셀들의 차이가 구분되지 않으므로 원거리에 있는 소형 표적을 탐지하는데 적절하지 않다.

2. Plateau 평활화 기법

히스토그램 평활화 방법은 영상의 전체 밝기값의 범위에 대하여 동일한 밝기 분포를 가지도록 영상을 변환하는 방법으로 좁은 영역의 화소값을 넓은 영역으로 펼치는 과정에서 배경의 노이즈 등은 넓은 영역으로 증폭되는 단점이 있다[7]. Plateau 평활화 방법은 히스토그램 평활화의 단점을 보완하면서 영상의 명암대조비를 개선시키는 알고리즘이다. Plateau 평활화 방법에 대하여 설명하면 다음과 같다. 먼저 그림 2에서와 같이 P 값 이하값만 취하여 배경 영역에 대한 픽셀의 빈도수를 줄였다[8]. 이것은 배경 영역을 차지하는 픽셀 수를 줄여서 배경 영역에 존재하는 노이즈의 영향을 감소시키는 장점이 있다. Plateau 평활화하는 공식을 보면 아래와 같다.

$$d_k = \left\lfloor \frac{D \times S_k(P)}{S(P)} \right\rfloor \quad (4)$$

여기서 d_k 는 Plateau 평활화한 출력값이고, P 는

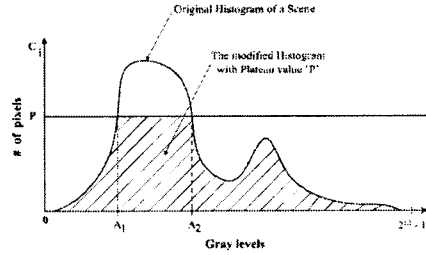


그림 2. Plateau 평활화 방법

Plateau 값이며 $S(P)$ 는 빗금친 히스토그램 분포곡선의 전체합, $S_k(P)$ 는 빗금친 부분의 누적 히스토그램을 의미하며 식(5)로 나타내어진다. 또한 k 는 영상의 레벨로서 명암값 ($0 \leq k < 4095$)을 나타내며 D 는 분해능으로 256에 해당된다. $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 \cdot 범위를 넘지 않는 최대 정수를 의미한다.

$$S_k(P) = \begin{cases} 0 & , \text{for } k=0 \\ \sum_{i=0}^{k-1} C_i & , \text{for } 1 \leq k \leq 4096 \end{cases} \quad (5)$$

$$S(P) = S_{2^x}(P) = \sum_{i=0}^{2^x-1} c_i$$

Plateau 평활화 방법의 히스토그램 변환 함수의 이득은 아래의 공식과 같다.

$$G = d'_k - d'_{k-1} = \frac{DS_k(P)}{S(P)} - \frac{DS_{k-1}(P)}{S(P)} = \frac{DP}{S(P)} \quad (6)$$

Plateau 값은 구하는 공식은 아래와 같다.

$$P_n = \lfloor \frac{S(P_{n-1}) \cdot G_{desired}}{D} \rfloor \quad n : \text{iteration number} \quad (7)$$

여기서 Plateau값은 입력 영상 히스토그램에서 이득값 G 를 계산한 후 반복 수행하여 구한다.

3. 제안한 적응적 Plateau 방법

본 논문에서는 적응적 Plateau 평활화 방법을 이용하여 보다 개선된 형태의 Plateau 방법을 제안한다. 고정된 P 값을 사용하지 않고 해당 영상의 밝기 특성에 따라 적응적으로 P 값을 변화시키는 방법이다. 이 방법은 각 프레임에서 그림 3과 같이 히스토그램의 중앙 영역과 꼬리 영역을 구분한 후, 중앙 영역 및 꼬리 영역의 비율이 원하는 비율이 되도록 P 값을 반복 수행하여 선정하는 방법이다. 그림 3에서 I_A 및 I_B 는 히스토그램의 굴곡 지점으로서 중앙 영역과 꼬리 영역이 나누어지는 점이며, n_A 및 n_B 는 두 개의 굴곡 점에 대하여 꼬리 영역에 대한 픽셀들의 총합을 나타낸다.

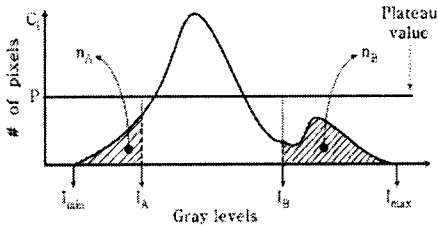


그림 3. 적응적 Plateau 방법

또한, 꼬리 영역과 중앙 영역의 픽셀 빈도수의 값을 근사적으로 비율식으로 나타내면 아래의 식(7)과 같다.

$$X = \frac{\text{number of pixels in central portion}}{\text{number of pixels in tails}} \quad (7)$$

$$= \frac{P \cdot (I_B - I_A)}{n_B + P \cdot (I_A - I_{0.1\%})}$$

여기서 $I_{0.1\%}$ 는 가장 낮은 밝기값 지점에서부터 히스토그램의 누적합이 전체 픽셀의 0.1%에 해당되는 지점이다. 이때 비율식에 의해 P값을 구해보면 아래와 같다.

$$P = \frac{X \cdot n_B}{(I_A - I_B) - X \cdot (I_A - I_{0.1\%})} \quad (8)$$

여기서 $X \cdot (I_A - I_{0.1\%}) \ll I_B - I_A$ 이라면 P값을 아래와 같이 근사화시킬수 있다.

$$P_{approx} = \frac{X \cdot n_B}{(I_B - I_A)} \quad (9)$$

적외선 영상 히스토그램의 분포에 따라 설정되어지는 값에 따라 달라질 수 있다. 본 논문에서 사용한 적외선 영상 히스토그램의 분포가 대부분 어두운쪽으로 치우쳐져 있으며, P의 값은 Plateau 평활화한 P값과 최소 P값 사이에 항상 존재하도록 설정하였다. 따라서 적응적 Plateau 평활화는 Plateau 평활화한 영상과 비슷하며 히스토그램 평활화에서처럼 노이즈 증폭에 대하여 완화되는 특성을 지니고 있음을 알수 있다.

III. 파노라믹 적외선 영상 경보 장치

1. 시스템 구성

본 논문에서 제안한 알고리즘을 그림 4와 같은 파노라믹 적외선 영상 경보 장치를 개발하여 실험하였다. 파노라믹 적외선 영상 경보 장치는 1차원 다중 배열 적외선 센서를 초당 2-3회 회전하여 주위를 감시하며 센서 헤드 유닛, 파노라믹 구동 전자유닛, 그리고 신호처리 유닛으로 구성하였다. 각 중요 유닛의 개략적 서술은 다음과 같다.

1.1. 센서헤드 유닛

센서 헤드는 그림 5와 같이 360도 회전함으로써

각 순간 시계에서 얻어진 센서 신호를 스텝링을 통하여 신호처리 유닛으로 보내는 역할을 한다. 적외선 센서는 240×4 배열 1차원 다중 배열의 MCT(HgCdTe)센서로서 냉각기와 센서 결합체인 IDDCA(integrated detector/dewar assembly) 형태이다.

1.2. 신호처리 유닛

센서 헤드 유닛에서 출력되는 신호를 실시간 처리할 수 있도록 FPGA를 이용하여 그림 6과 같다. 신호처리 유닛은 히스토그램 테이블을 이용하여 평활화처리와 이차원 필터로 영상 에지를 향상 시킨다.

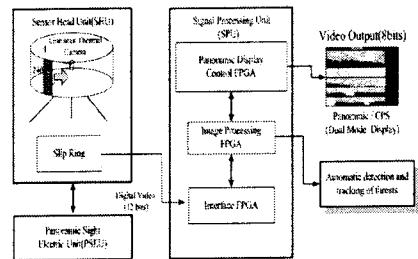


그림 4. 파노라믹 적외선 영상 감시 시스템

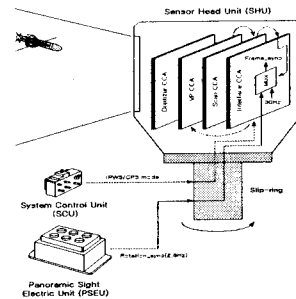


그림 5. 센서 헤드 유닛

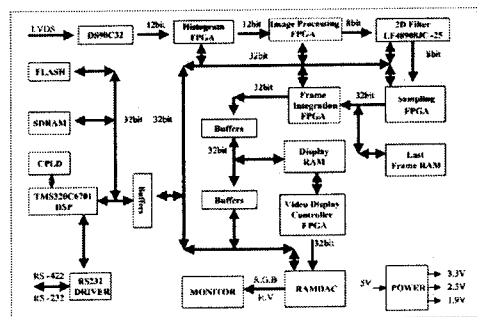


그림 6. 신호처리기 블록 다이어그램

IV. 실험 결과 및 고찰

360도 스캔할 수 있는 적외선 센서에서 획득한 파노라믹 적외선 센서 신호를 고속 저장 장치를 이용하여 실시간적으로 저장하였다. 이렇게 획득된 센서 신호에

대하여 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘을 컴퓨터 모의 실험에 적용하였다.

이 모의 실험에 사용된 파노라믹 적외선 영상은 3미터 크기의 소형 모의 항공기가 약 2Km~3Km에서 다가오는 파노라믹 적외선 영상이다. 그림 7은 신호처리를 하지 않은 원영상, 히스토그램 스트레칭 방법을 적용한 영상, plateau 방법을 적용한 영상, 그리고 적응적 plateau 방법을 적용한 영상을 나타내었다. 또한, 그림 8은 각 방법에 대해서 소형 위협체와 주위 배경과의 관계를 3차원적으로 나타낸 것이다. 적응적 plateau 방법을 적용한 결과 그림 7과 그림 8과 같이 소형 위협체는 배경과 식별이 용이함을 보였다.

V. 결론

본 논문은 적외선 센서를 이용하여 360도 영역을 스캔함으로써 소형 위협체를 탐지하기 위한 파노라믹 적외선 영상 경고 장치의 소형 표적을 명암 대비 개선 신호처리 기법과 구현 장치에 대해서 서술하였다.

또한 획득된 파노라믹 적외선 영상은 소형 위협체가 있는 경우 배경 영역에 비해 매우 작은 화소를 가지고 있어 일반적인 히스토그램을 이용한 영상 개선 알고리즘을 적용하면 배경등에 의해 묻혀 버리는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위하여 배경의 히스토그램 영역을 조절할 수 있는 적응적 Plateau 평활화 방법을 제안하였다. 또한 다양한 야외에서 획득한 영상을 모의 실험 및 구현 장비를 이용하여 제안된 알고리즘을 검증하였다.

참고문헌

- [1] David H. Pollock, "Countermeasure Systems," *The Infrared & Electro-Optical System Handbook*, vol, pp. 1-156, 1993.
- [2] A. Kohnle, R. Neuwirth, W. Schuberth, K. Stein and D. H. Hohn, "Evaluation of essential design criteria forIRST systems," *Proc. SPIE* vol. 2020 Infrared Technology XIX, pp. 76-92, 1993.
- [3] A. D. Jong, "IRST and its perspective," *Proc. SPIE* vol. 2552, pp. 206-213, 1995.
- [4] Andersen, Bjorn F. *Infrared Technology and Applications XXVII*, SPIE, 20-25 April, 1997.
- [5] Stephen B. Campana, "Passive Electro-Optical Systems," *The Infrared & Electro-Optical System Handbook*, vol 5, pp. 211-212, 1993.
- [6] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, *Image Processing, Analysis, and Machin Vision*, ITP 2nd, USA, 1999.

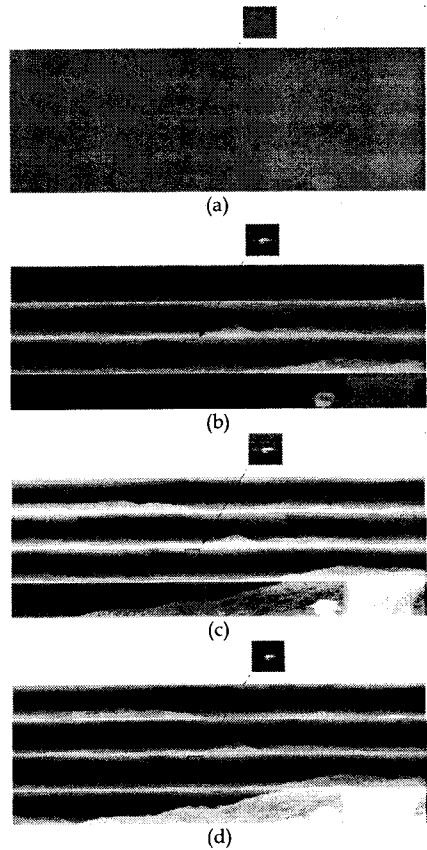


그림 7. 신호처리 영상 (a) 원영상, (b) 히스토그램 스트레칭 기법에 의한 결과 영상, (c) Plateau 평활화 기법 (d) Adaptive Plateau 결과 영상

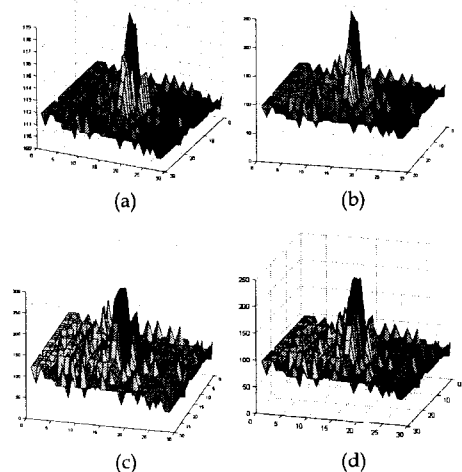


그림 8. 위협체와 배경 대비 분포도 (a) 원영상, (b) Histogram stretching 적용 결과 영상, (c) Plateau 평활화 적용 결과 영상, 및 (d) 적응적 Plateau 평활화 적용 결과 영상