

Plateau equalization 알고리즘을 적용한 실시간 열영상 대조비 개선에 관한 연구

조흥기*, 김수곤, 이정복, 이원선, 전희종
*국방품질관리소, 송실대학교

A study on the application of Plateau equalization algorithm for contrast enhancement of real-time thermal image

Cho Heung-Gi*, Kim Soo-Gon, Lee Jeong-Bok, Lee Won-Sun, Jeon Hee-Jong
*Defence Quality Assurance Agency, Dept. of Electrical Eng. Soong-Sil Univ.

ABSTRACT

Real-time thermal image is obtained by thermal imaging systems measuring radiant emittance according to law of Plank's blackbody radiation.

The histogram of thermal image is not uniform. The signal bands of background and target are separated and grouped in narrow bands. In such a system, contrast enhancement indispensable to distinguish target from background.

In this study, plateau histogram equalization using local histogram is proposed for contrast enhancement.

1. 서 론

모든 물체는 절대온도 0도(0K=-273.16℃)이상에서 복사에너지를 방출한다.^[1,2] 가시광선 없이 물체의 복사에너지를 검출하여 영상화하는 장비를 열상장비(thermal imaging systems)라 한다.^[3]

열상장비는 야간이나 시계가 불량한 대기조건에서도 양호한 표적 탐지능력을 갖기 때문에 군사용 장비로서 1930년대부터 개발되었고 1970년대 중반 이후 본격적으로 군사용의 야간 관측이나 사격통제장비의 센서로 이용되기 시작한 이래 현재는 산업용이나 의료용으로도 광범위하게 이용되고 있다. 건물의 열 손실 탐지, 탱크 내부의 저장량 측정, 송전선로의 결함 확인, 침입자 탐지 등에 많이 이용되고 있으며 최근에는 인쇄회로기판의 검사와 분석, 위성에 의한 기상관측, 화재진압, 인명구조, 의료기기 등에도 적용되고 있고 점차 그 응용범위가 확대되고 있다.^[4]

열영상은 그 특성상 대단히 낮은 대조비의 영상화, 큰 배경잡음(background noise)의 최소화, 검출소자 출력특성의 균일화 등 고도의 신호처리 기술이 수반되어야 하며 검출기의 분해능을 최대한 재현할 수 있는 대조비 개

선 알고리즘의 개발이 새로운 연구 분야로 대두되었다.^[5]

2. 본 론

2.1 이론적 배경

2.1.1 흑체복사

절대온도 0K 이상의 모든 물체는 내부의 원자와 분자의 진동과 회전에 의해 자체적인 복사 에너지를 방출한다. 물체의 복사방출효율 (radiation emission efficiency)에 따라 흑체(blackbody), 회색체(greybody), 선택복사체(selective radiator) 등의 3가지로 구분한다. 대부분의 물체는 회색체 또는 선택 복사체이나 실제 적용 시 계산상 어려움이 있으므로 물체를 흑체로 가정한다.

2.1.2 분광 복사 에미턴스(spectral radiant emittance)

플랑크의 흑체 복사법칙(Planck's blackbody radiation law)에 의하면 각각의 흑체 온도에 따라 방출되는 최대 복사에너지가 다르다. 상온(300K)의 물체에서는 대략 10μm 파장의 원적외선 영역에서 최대 복사에너지를 방출하고 항공기의 엔진이나 유도탄 등은 1000K 이며 3μm 파장의 중적외선 영역에서 최대 복사에너지를 방출한다.^[6]

2.1.3 복사 에미턴스의 열영상

열상장비로 목표물을 관측하여 영상화 하는 것은 목표물과 배경의 복사 에미턴스의 차이를 검출하는 것이라 할 수 있다. 목표물과 배경의 복사 에미턴스의 차이를 복사 대조비(radiation contrast)로써 표현하며 식(1)과 같다.

$$C_R = \frac{W_T - W_B}{W_T + W_B} \approx \frac{2\Delta T}{T_B}, (T_B \gg \Delta T) \quad (1)$$

W_T, W_B 는 각각 표적과 배경의 복사에미턴스, T_B 는 배경의 온도, ΔT 는 표적과 배경의 온도차이다.

영상의 대조비가 높을수록 선명한 영상을 얻을 수 있는

데 표1과 같이 열상장비에서 주로 이용되고 있는 파장대역에서의 복사 대조비는 매우 작으므로 선명한 영상을 얻기 위해서는 인위적으로 대조비를 개선해야 한다.

표 1 파장대역별 복사 대조비

Table 1 Radiation contrast per spectral band

Spectral Band	$W_B(T=300K)$	$W_B(T=310K)$	대조비 C_R
3.5 ~ 5 μm	5.56×10^{-4}	7.87×10^{-4}	1.72 %/°C
8 ~ 14 μm	1.72×10^{-2}	1.99×10^{-4}	0.74 %/°C

2.2 열상장비의 구조

열상장비의 구조의 개념은 그림1과 같다. 열상장비는 시계(Field Of View : FOV)내의 목표물과 배경이 방출하는 적외선 에너지를 집중시키는 적외선 광학계(infrared optics), 부분 영상 에너지를 순차적으로 검출기 면에 나열시켜 완전한 화면을 구성토록 하는 주사장치(scanner), 입사된 적외선 에너지를 전기신호로 변환시켜주는 검출기, 전기신호를 최적조건으로 증폭·조정하여 영상신호로 변환하는 신호처리기 및 재현장치(diaplay)로 구성된다.

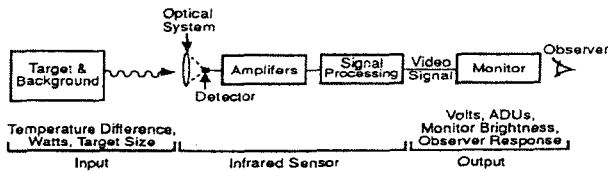


그림 1 열상장비 개념도

Fig. 1 Diagram of thermal imaging system

2.3 영상 대조비 개선법

대조비를 개선시키는 것은 각 화소의 밝기 값을 다른 밝기 값을 변화시키는 pixel-to-pixel 변환이다. 변환을 위해서는 개선 전과 후의 밝기 값을 일대일로 대응시키는 변환 테이블인 LUT(look up table)를 만들어야 한다. LUT를 만드는 방법에 따라 대조비 개선법을 분류한다.

화소의 밝기 레벨 분포를 농도별 빈도 그래프로 나타낸 히스토그램(histogram)은 전체 영상 중에서 각 밝기 레벨 값이 포함된 개수를 나타낸 것으로 X축이 밝기 레벨을, Y축은 분포 개수인 그래프로 나타낸다. 히스토그램을 분석하면 영상의 전체 대조비 특성을 알 수 있다.

2.3.1 대조비 개선의 필요성

영상의 대조비란 영상의 밝은 부분과 어두운 부분의 밝기 특성의 현저함을 나타내는 정도이다. 대조비가 나쁜 영상은 특성이 확연히 드러나지 않아

식별이 어렵다. 대조비 개선(contrast enhancement mapping)이란 대조비가 나쁜 영상의 대조비를 좋게 만드는 것이다.

그림 2로서 일반적인 영상의 대조비 개념을 쉽게 이해할 수 있다. 흐릿해 보이는 그림2(a)의 밝은 부분을 더욱 밝게 하고 어두운 부분을 더욱 어둡게 해주면 그림2(b)와 같은 선명한 영상을 보게 된다. 대조비를 개선하면 좁게 모여 있는 히스토그램이 골고루 퍼져 있는 것을 볼 수 있다.

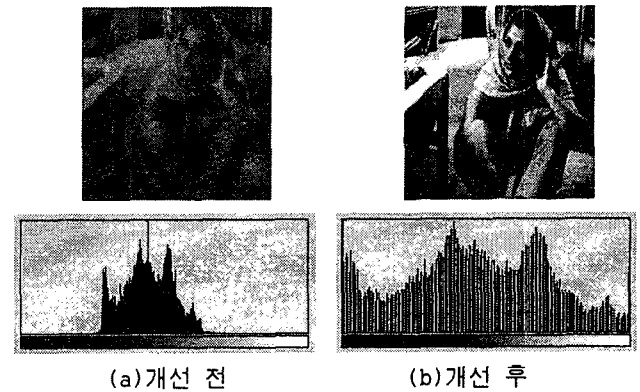


그림 2 대조비

Fig. 2 Contrast enhancement

2.3.2 선형변환법(linear transformation)

가장 간단한 방법이다. 영상의 히스토그램에서 밝기 레벨의 최소 값과 최대 값의 범위를 디스플레이 가능한 밝기 레벨의 최소·최대값과 선형으로 대응 시킨다. 계산이 간단한 장점이 있으나 입력 영상 밝기 값의 확실적인 분포가 감안되지 않은 채로 처리하므로 좋은 결과를 기대하기 힘들다.

2.3.3 히스토그램 평활화법(histogram equalization)

모든 분포 값이 같은 확률을 갖도록 변환하여 주는 방법이다. 이것은 히스토그램이 큰 부분에서는 LUT의 기울기를 크게 하여 변환 후의 레벨사이의 차가 크게 하고, 히스토그램이 작은 부분에서는 반대로 LUT의 기울기가 작게 하여 변환 후의 각 레벨 사이의 값을 작게 해주면 된다. 즉, 히스토그램을 단순히 적분함으로써 LUT를 구할 수 있다. 가시광 영상처리에 많이 이용되나, 열영상에서는 표적의 농도분포 크기가 작아 배경이 과도하게 펼쳐지면서 오히려 표적이 악화될 수 있다.

2.3.4 플래토 평활화법(plateau equalization)

히스토그램 평활화법은 모든 확률 분포 값이 같아지도록 하기 때문에 이론상으로는 대조비를 가장 잘 살린 방법이지만, 대조비 개선시 잡음 성분도 함께 증폭되어 표적이 악화되는 결과를 초래하기도 한다. 히스토그램 평활화법을 수행하되, 잡음성분이 증폭되지 않도록 문턱치 보다 큰 히스토그램 값

은 잘라버린 후 히스토그램 평활화법을 수행한다. 따라서 히스토그램의 값이 문턱치 이하인 경우는 히스토그램 평활화법과 동일한 효과가 나타난다.

이것은 입력 Plateau parameter로 대조비를 직접 조정한다. Plateau의 효과는 주로 히스토그램 중앙부분을 형성하는 배경 화소처럼 거의 같은 밝기를 지닌 많은 픽셀들의 영향을 제한하는 것이다. 적당한 값을 선택함으로써 배경 밝기를 벗어난 밝은 혹은 어두운 영상을 만들어 낼 수 있다.

2.4 열영상 대조비 개선법의 구현

2.4.1 제안한 알고리즘

열상장비의 열영상 해상도를 높이기 위해서 출력 bit 수가 많은 A/D converter를 사용하는데, 입력 bit 수가 많은 영상을 효율적으로 처리하기 위해 Plateau equalization과 Local histogram을 적용한 적응적인 대역 추출 방식을 사용하였으며 Gradient method를 이용하여 Plateau equalization의 limit 레벨을 매 프레임마다 반복적으로 조절하는 방법을 적용함으로써 대조비 개선의 효과를 극대화시켰다. 그림 3은 대조비 개선 기법 적용을 개념적으로 나타낸 것이다.

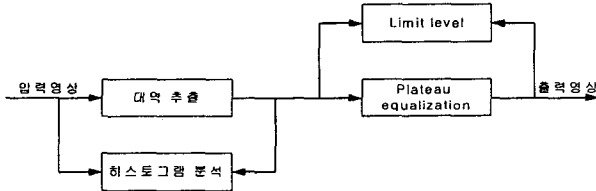


그림 3 대조비 개선 개념도

Fig. 3 Contrast enhancement diagram

출력의 범위가 넓은 ADC를 사용하는 열상장비에서 대조비를 개선하기 위해서 본 연구에서는 local histogram 방법을 적용한다. 이 방법은 histogram의 평균을 구하고 그 평균점을 중심으로 0이 아닌 값을 갖는 영역을 포함할 정도의 영역을 잘라낸다. 그 잘려진 영역을 기반으로 플래토 평활화법을 적용하여 대조비를 개선한다. 그림4와 같이 기존의 히스토그램 평활화법을 사용하는 경우 열영상의 좁은 히스토그램의 폭이 변하지를 않아 대조비 개선이 되지 않는다.

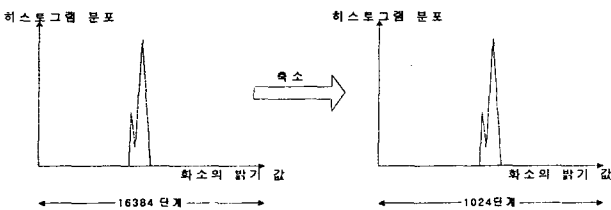


그림 4 히스토그램 평활화법

Fig. 4 Histogram equalization

그러나, 그림5와 같이 영상정보가 있는 히스토그램 부분만을 대상으로 대조비를 개선하면 대조비를 확연히 개선시킬 수 있는 것이다.

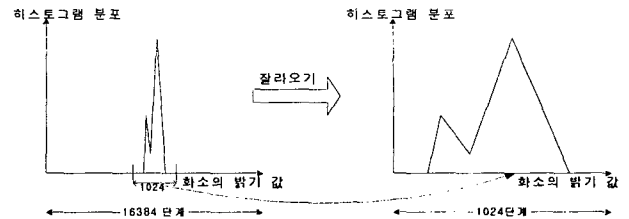


그림 5 로칼 히스토그램 평활화법

Fig. 5 Local histogram equalization

대조비 조절은 plateau의 limit 레벨을 조절함으로 구현하는데 본 논문에서는 수동 조절뿐만 아니라 자동 조절이 가능하도록 하였다. 매 영상 프레임마다 gradient method를 이용하여 plateau limit 값을 설정하여 자동 대조비 조절이 가능하도록 하였다. plateau limit을 조절한다는 것은 영상의 전체 화소 중에서 일정한 개수의 영향을 연산에서 배제한 후 histogram equalization을 수행하는 것이다. 일정 개수를 배제하는 데에 plateau limit이 이용되고 동 영상에서는 gradient method를 이용하여 매 영상 프레임마다 plateau limit 값을 변화 시켰다.

2.4.2 Hardware

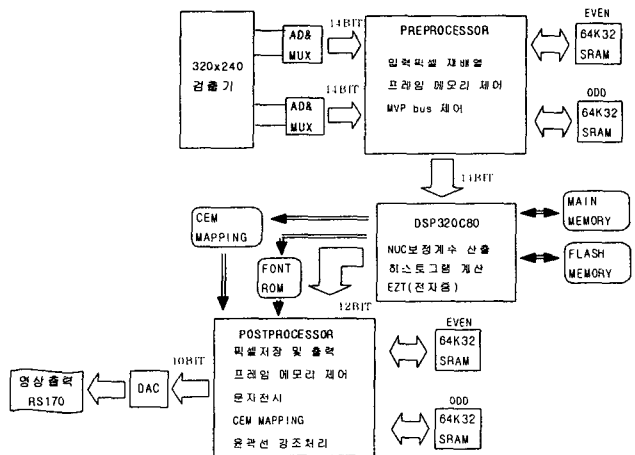


그림 6 열영상 신호처리부

Fig. 6 Diagram of thermal image processing

그림 6에 열영상 신호처리 하드웨어의 블록도를 보였다. 검출기에서 입력된 아날로그 영상 신호는 14 bit ADC에 의해 양자화 된다. 버퍼를 거쳐 EPLD 로직으로 입력된 14 bit 디지털 데이터는 검출기 불균일 보정(NUC : Non-Uniformity Correction), 영상 대조비 개선(CEM : Contrast Enhancement Mapping) 등의 처리를 한 후 10 bit

데이터로 DAC에 보내어 영상으로 출력한다.

영상 처리 기능을 직접 수행하고 전달하는 부분은 FPGA 로직으로 회로를 구성하였고, 알고리즘 제어기능은 DSP 프로세서를 이용하여 S/W적으로 처리하도록 하였다. DSP 소자는 내부에 4개의 병렬 프로세서가 내장된 TI(Texas Instrument)사의 SM320C80GEM50을 사용하였으며, 멀티태스킹(Multitasking)을 이용한 다중 영상처리 방식을 통한 S/W 기반의 실시간 열영상 처리를 수행한다.

2.5 실험 및 고찰

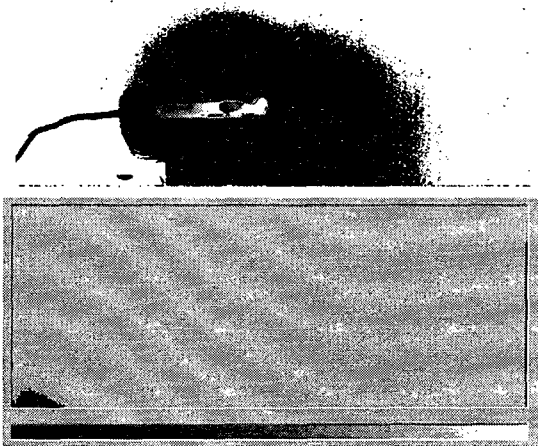


그림 7 전기인두 열영상과 히스토그램

Fig. 7 Thermal image, histogram of soldering iron

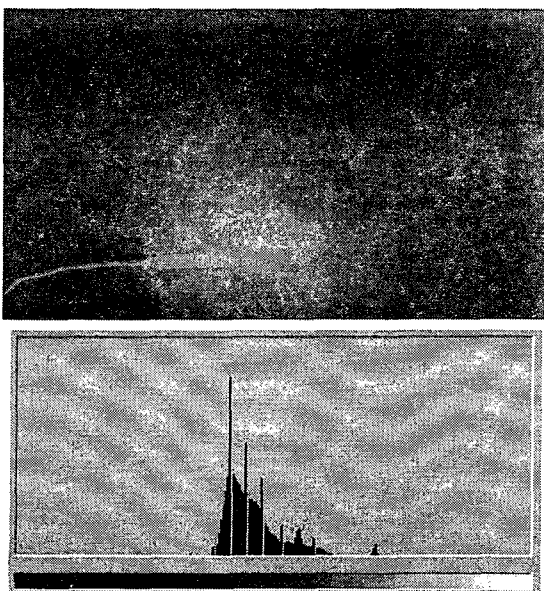


그림 8 전기인두 열영상 대조비 개선 결과

Fig. 8 Contrast Enhancement of fig. 7

그림 7은 전기인두의 열영상과 히스토그램이다. 히스토그램으로 보아 히스토그램의 분포가 매우 좁다. 영상으로 보아서는 대상물을 식별하기가 불가능할 정도이다. 그러나 그림 8은 본 논문에서 제안한 방법으로 대조비를 개선한 결과로서 히스토그램의 분포를 적절히 분산 시켰고 대상물을 명확히 식별할 수 있게 되었다. 연구논문에는 정지화면 밖에 보일 수 없으나, 실제로는 실시간 동영상으로서 초당 30프레임의 속도로 대조비 개선이 이루어지고 있는 상태이며 히스토그램 분포가 전기인두와는 확연히 다른 얼음 덩어리로 대상물을 갑자기 교체하여도 매우 짧은 시간안에 자동으로 대조비가 개선되어 대상물을 명확히 식별할 수 있게 되어있다.

3. 결 론

본 논문에서는 열영상 검출기의 특성상 노이즈 성분도 많이 포함되어 있어 단순한 histogram equalization은 노이즈를 증폭시킬 수 있기 때문에 노이즈를 제거할 수 있는 Plateau equalization을 도입하였고 Plateau equalization에서 Limit level을 입력 영상의 대역폭에 따라 반복적 방법을 적용하여 실시간 자동으로 처리하였으며, 메모리 및 계산량과 대조비 개선의 효율을 위해서 히스토그램의 대역 추출 방식을 사용하였다. 또한, 자동 조정된 대조비에 대하여 보다 자세한 열영상을 확인하기 위하여 수동으로 밝기 조정 및 대조비를 조정할 수 있는 기능을 구현하였다.

참 고 문 헌

- [1] R. D. Hudson, "Infrared System Engineering", John Wiley & Sons, New York, 1969.
- [2] J. M. Lloyd, "Thermal Imaging System", Plenum Press, New York and London, 1973.
- [3] 홍석민, "초점면 배열 열상장비 기술현황 분석", 국방 과학연구소 기술보고서 CESD-117-980244, 3. 1998.
- [4] 홍석민, 송인섭, "열상장비 개요", 한국물리학회, 물리 과학 첨단기술 (특집/적외선 영상), Vol. 7, No. 2, pp. 2-8, 3. 1998.
- [5] James H. Gruben, Paul R. Neiswander, Hao C. Tran, Curtis M. Webb, "Scene-based algorithm for improved FLIR performance", Design, Analysis, Modeling and Testing XI, Gerald C. Holst, Editor, Proceeding of SPIE Vol. 4030, 2000.
- [6] J. M. Lloyd, "Thermal Imaging System", Plenum Press, New York and London, 1973.