

실시간 열영상 대조비 개선을 위한 대역추출 및 플래토 평활화 알고리즘 적용

論文

53D-2-2

Application of Local Histogram and Plateau Equalization Algorithm for Contrast Enhancement of Real Time Thermal Image

趙興紀* · 金秀坤** · 田喜鐘***
(Cho Heung-Gi · Kim Soo-Gon · Jeon Hee-Jong)

Abstract -In this paper, the contrast enhancement method of thermal image is proposed and it is the plateau equalization algorithm using local histogram for the real time display of infrared imagery. Through hardware implementing, its practicality and adequacy are proved.

Examinations are executed to verify the effect of contrast enhancement by bright control and contrast control according to the plateau value in the manual mode, and that verified the effect of contrast enhancement in the automatic mode and the practicality in the real system.

According to the experiment results, the proposed "the application of local histogram and plateau equalization algorithm for contrast enhancement of real time thermal image" in this dissertation is the verified method for the thermal imaging contrast enhancement.

Key Words : plateau equalization, contrast enhancement, thermal imaging system, local histogram

1. 서 론

모든 물체는 절대온도 0도(0K=-273.16℃)이상에서 적외선 에너지를 방출한다[1, 2]. 적외선 에너지란 절대온도 0K이상의 물체에서 그 온도에 상응하여 방사되는 복사에너지를 말하며, 이 에너지는 0K이상의 온도를 가진 물체내부의 원자 및 분자의 진동과 회전에 의해 생성되며 원천(source)으로부터 바깥쪽으로 직진하고 진공, 공기, 가스(gas), 액체 및 고체 등의 물리적 전달체를 통하여 전파된다. 따라서 외부로부터 빛의 공급이 없이도 물체자체가 발하는 복사에너지를 모아 사람의 눈으로 볼 수 있는 가시광선으로 변환시켜 영상화하는 장비를 열상장비(thermal imaging system)라 한다[2-5].

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 응용

범위가 확대되고 있다[3].

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 개선 알고리즘의 개발이 새로운 연구 분야로 대두되었다[4].

본 논문에서는 열상장비의 신호처리 중에서 문제점으로 제기되고 있는 대조비 처리 기법을 연구하고 실시간 열상장비에 적용을 위한 대조비 개선 기법을 제안 한다

2. 열상장비의 원리 및 구성

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 선택복사체이나 실제 적용시 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 다르며, 상온(300K)의 물체에서는 대략 10 μ m 파장의 원적외선 영역에서 최대 복사에너지를 방출하고 항공기의 엔진

* 正會員 : 國防品質管理所 前任研究員 · 工博

** 正會員 : 崇實大學 電氣工學科 博士課程

*** 正會員 : 崇實大學 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2003年 6月 10日

最終完了 : 2003年 12月 26日

이나 유도탄 등은 1000K 이며 3 μ m 파장의 중적외선 영역에서 최대 복사에너지를 방출한다[5].

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(2.1)과 같다.

$$C_R = \frac{W_T - W_B}{W_T + W_B} \cong \frac{2\Delta T}{T_B}, (T_B \gg \Delta T) \quad (2.1)$$

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

열상장비에서 주로 이용되고 있는 파장대역에서의 복사 대조비는 표 2.1과 같이 매우 작으므로 선명한 영상을 얻기 위해서는 인위적으로 대조비를 개선해야 한다[1, 2, 5].

표 2.1 파장대역별 복사대조비

Table 2.1 Radiation contrast of spectral bands

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

2.2 열상장비의 구조

열상장비는 대상 물체를 주간에서와 같이 야간에서도 원할히 보고자 하는 야간 관측용 장비로서 냉각장치의 유·무에 따라 비냉각방식과 냉각방식이 있으며, 냉각방식의 열상장비는 주로 고 분해능의 열 영상을 획득할 목적으로 사용되고, 주사 방식 열상과 주사장치를 필요로 하지 않는 비주사 방식으로 나뉘고 있다.

열상장비는 시계(Field Of View : FOV)내의 물체와 배경이 방출하는 적외선 에너지를 집속시키는 적외선 광학계(infrared optics), 일정 시계내의 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 신호처리 및 재현장치(diaplay)로 구성된다. 즉, 물체정보는 우선 대물렌즈 및 망원경 부를 통하여 원하는 시계 및 배율로 받아들여져 주사장치로 전달되며, 주사장치에서 주사되어 검출기로 전달된다. 이후 아날로그 및 디지털 신호처리를 거쳐 최종적으로 영상으로 재현된다. 그림 2.1은 열상장비의 기본 개념도를 나타낸 것이다[6].

열상장비는 그림 2.1에 보인 기본 개념도와 같이 적외선 줌 광학계, 검출기 및 신호처리부로 이루어진다. 줌 광학계는 배율을 연속적으로 가변시킬 수 있으며 온도 변화에 대한 광학계의 성능 변화를 자동으로 보정하는 비열화(anti-thermization) 기능을 갖도록 연구되고 있다. 신호처리부는 4채널(3세대) 또는 32채널(2세대)로 출력되는 검출신호를 아날로그 전처리를 거쳐 디지털 신호로 변환하는 12비트 A/D회로, 다중화된 검출신호를 1채널 영상신호로 화소(pixel) 순서를 재

정렬하는 주사변환회로, 영상신호를 균일하게 보정하는 불균일 보정회로, 미세한 열 분해능을 최적으로 재현하기 위한 대조비 개선 맵핑회로, 비디오(RS-170 및 디지털) 발생회로 등으로 구성된다. 부수적인 기능으로 전자줌과 전자적 영상 안정화(electronic image stabilizer) 등도 적용되고 있으며, 최근에는 자동 물체인식(automatic target recognition) 기술의 연구도 활발하게 이루어지고 있다[5, 7, 8].

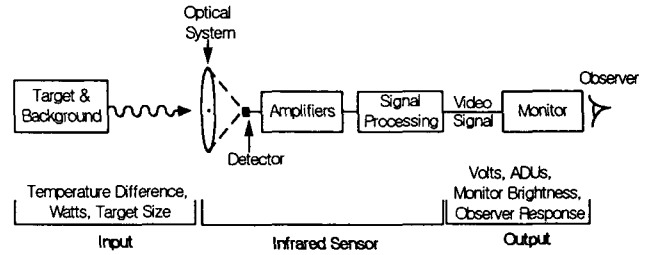


그림 2.1 열상장비 기본 개념도

Fig. 2.1 Basic concept diagram of thermal imaging systems

3. 영상 대조비 개선

3.1 대조비 개선의 필요성

화면의 밝은 부분과 어두운 부분의 명도의 비를 대조비(contrast)라고 한다. 대조비가 높은 영상은 물체의 윤곽이 확실하고 보기 쉬운 영상이 되지만, 대조비가 낮은 영상은 물체의 윤곽이 확실하지 않고 보기 쉬운 영상이 되지 못한다.

영상에 있어서 대조비란 영상의 밝은 부분과 어두운 부분을 비교할 때, 대립된 밝기 특성의 차이가 얼마나 현저하게 나타나는 정도를 말한다. 1,024 레벨을 갖을 때 레벨 0을 검은색, 레벨 1,023을 흰색이라고 하면 400~600 사이에 물려 있는 영상은 명암의 차이가 크지 않기 때문에 회색 부분에만 물려 있어 대조비가 좋지 않다. 대조비가 좋지 않은 영상의 특성은 확연히 드러나지 않아 눈으로 분간하기 어려우므로, 두 개의 같은 분해능을 가진 장비중에 대조비를 최적화하는 쪽이 좋은 성능을 가진다고 할 수 있다.

그렇다면 대조비 개선이란 말도 쉽게 유추할 수 있다. 그것은 화소의 명암 분포도가 골고루 퍼져 있지 못하고 좁은

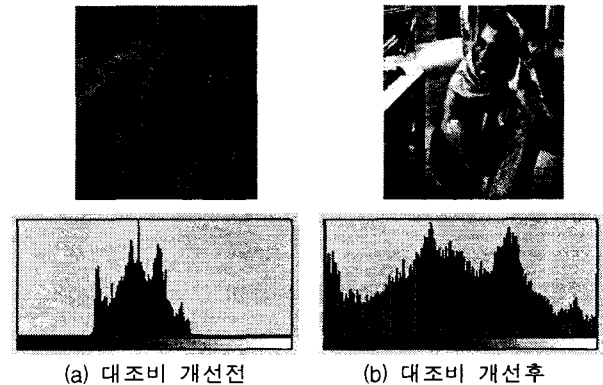


그림 3.1 대조비 개선

Fig. 3.1 Contrast enhancement

대역에 집중되어 있는 것을 넓게 펼쳐 주는 것이다. 그림 3.1은 일반적인 영상의 대조비 개념을 쉽게 이해하기 위하여 보여주는 그림이다.

따라서 본 논문에서는 기본적인 대조비 개선방법에 대하여 고찰하고 열상장비에 적용하기 위한 가장 적절한 대조비 개선방법을 제안한다.

3.2 영상 대조비 개선법

대조비를 개선시키는 것은 각 화소의 밝기값을 다른 밝기값으로 변화시키는 pixel-to-pixel 변환이라 할 수 있다. 즉, 개선전의 밝기값과 개선후의 밝기값이 일대일로 매칭이 되는 변환 테이블인 LUT(Look Up Table)가 만들어져야 한다. 이 LUT를 어떻게 만드느냐에 따라 종류가 분류되며, 여기서는 대표적인 선형변환, 히스토그램 평활화법(histogram equalization), 플래토 평활화법(plateau equalization)에 대해서 고찰한다.

3.2.1 선형변환(linear transformation)

농도 히스토그램이 전구간 농도 영역에 균일하게 분산해 있는 것이 바람직하다. 얻어진 낮은 대조비의 영상을 높은 대조비의 영상으로 농도 변환하는 가장 간단한 방법으로 선형변환이 사용된다[1, 16]. 선형변환은 히스토그램의 최소값과 최대값을 구한 후 그 사이를 선형으로 매핑(mapping)시킨다. 즉, 입력 밝기값의 최소값을 변환후 레벨의 최소값으로 하고, 값이 존재하는 히스토그램의 최대값을 변환후 레벨의 최대값으로 매핑 시키게 된다. 사이에 존재하는 값들은 선형으로 그 사이 값을 가지게 된다. 선형변환은 계산이 간단하여 적용이 쉬운 장점이 있다. 밝기값의 모든 대역을 사용하게 되므로 대조비가 개선되었다고 할 수 있지만, 입력 영상 밝기값의 확률적인 분포가 감안되지 않은 채로 처리된 것이어서 좋은 결과를 기대하기 힘들다[9].

3.2.2 히스토그램 평활화법(histogram equalization)

히스토그램 평활화법은 모든 분포 값이 같은 확률을 같도록 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[9].

3.2.3 플래토 평활화법(plateau equalization)

히스토그램 평활화법의 단점을 개선하고자 개발된 방법이 플래토 평활화법(plateau equalization)이다[10]. 플래토 평활화법의 기본적인 개념은 히스토그램 평활화법을 적용할 경우 히스토그램이 매우 큰 값을 갖는 밝기값 주위의 잡음성분도 증폭되므로 문턱치(threshold value) 보다 큰 히스토그램값을 무효데이터로 처리하는 것이다. 그림 3.9는 플래토 평활화법의 개념을 나타낸 것이다.

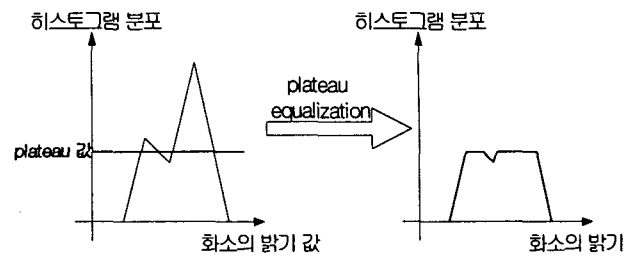


그림 3.9 플래토 평활화법의 개념도
Fig. 3.9 Concept diagram of plateau equalization

플래토 평활화법은 원 신호에서 디스플레이 값으로 변환하는 히스토그램을 기반으로 하는 맵핑의 일반적인 클래스이다.

플래토 평활화법은 강력한 대조비 개선을 위한 알고리즘이다. 이것은 입력 플래토값으로 대조비를 직접 조절한다. 출력의 밝기(intensity)는 입력 밝기에 대하여 가장 어두운 밝기로부터의 화소들의 누적합에 비례한다. 출력 영상 대조비를 조절하는 것은 누적합을 형성하는 히스토그램값들을 지정된 상수(specified constant) 플래토값으로 잘라내는 것이다. 플래토의 효과는 주로 히스토그램 중앙부분을 형성하는 배경 화소처럼 거의 같은 밝기를 지닌 많은 화소들의 영향을 제한하는 것이다.

다시 말하면, 플래토값이 어떤 히스토그램 대역(bin)에 있는 가장 높은 화소수와 같거나 크면 알고리즘은 히스토그램 평활화로 간소화되며, 최대의 대조비를 나타낸다. 열영상은 일반적으로 100이하의 플래토값을 필요로 하나, 이것은 영상의 내용이나 동적 범위에 따라 다르다

플래토 평활화법을 수식으로 표현하면 식 (3.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 s_k &= T(r_k) \\
 &= \sum_{j=0}^k P_r(r_j) \\
 &= \sum_{j=0}^k \frac{n'_j}{M} \\
 &= \frac{1}{M} \sum_{j=0}^k n'_j
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

여기서 s_k 는 변환후의 밝기값, $T(r_k)$ 는 회색도 변환함수, $P_r(r_j)$ 는 j 번째 회색도, M 은 문턱치보다 높은 히스토그램 값은 버리고 난 나머지의 히스토그램 합을 나타내며, n'_j 는 문턱치보다 큰 값을 갖는 히스토그램은 잘라버리고 난 후의 밝기가 j 번째 히스토그램 분포를 나타낸 것이다.

4. 열영상 대조비 개선 구현

4.1 제안한 알고리즘

본 논문에서는 열영상 대조비 개선을 위하여 다음과 같은 개념을 가지고 하드웨어와 소프트웨어를 구현하였다. 플래토 값을 입력영상의 대역폭에 따라 가변적으로 적용하기 위하여

실시간 자동으로 처리하였으며, 메모리 과다사용 방지 및 계산량을 줄여 소형, 경량화하기 위해 히스토그램 대역추출을 사용하였다. 또한, 보다 자세한 열영상을 확인하기 위하여 수동으로 밝기 조절 및 대조비를 조절할 수 있는 기능을 구현하였으며, 실시간으로 열영상을 처리하기 위하여 자동모드를 구현하였다.

그림 4.1은 대조비 개선 기법 적용을 개념적으로 나타낸 것이다.

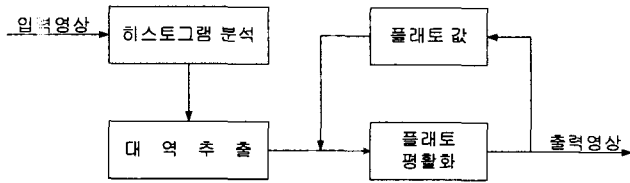


그림 4.1 대조비 개선의 기본 개념도
Fig. 4.1 Basic concept diagram of contrast enhancement

4.1.1 플래토 평활화법 적용

플래토 평활화의 변환식 (3.1)에서 1/M을 구현하기 위해서는 나눗셈 기가 포함되어 있어야 한다.

히스토그램 평활화법에서의 N은 총화소수로 항상 고정되어 있는 값이다. 만약 N을 2의 지수형이 되도록 대조비 영역을 잡아 주면 간단한 승산(shift) 연산으로 구현할 수 있다. 하지만 플래토 평활화법에서는 플래토값에 의해 자르는 기준값은 매 프레임마다 바뀌어서 M이 항상 변하므로 나눗셈 기를 구현하기 어려워 적용이 매우 힘들다.

본 논문에서 나눗셈 연산은 항상 같은 값으로 하고 플래토값이 의해 잘려나간 부분은 이득(gain)값을 곱해 주는 방식을 제안한다. M < N인 N으로 나누기 때문에 LUT는 실제보다 작게 되므로 1보다 큰 이득값을 곱해주게 되는 것이다. surplus를 잘려나간 총 개수라 할 때, 이득값을 구하는 식은 (4.1)과 같다.

$$gain = \frac{N}{N - surplus} = \frac{N}{M} \quad (4.1)$$

여기서 N은 320×240의 영상에 가까운 256×256 = 2¹⁶로 고정하여 계산을 편하게 하였다.

그림 4.2는 플래토 평활화법의 적용 과정을 나타내었다.

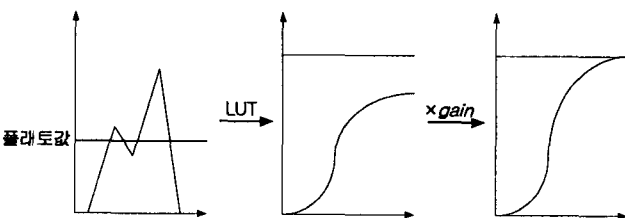


그림 4.2 플래토 평활화법의 적용 과정
Fig. 4.2 Application flow of plateau equalization

4.1.2 대역추출(local histogram) 적용

기존의 히스토그램 축소 방법으로는 14비트의 ADC를 사용할 경우 히스토그램 분포를 구하려면 각 밝기별 분포값을 저장하기 위한 16,384개의 메모리공간이 필요하다. 이는 계산량이 많아 실시간 열영상 처리를 어렵게 하며 메모리의 과다 사용을 초래하여 소형화 및 경량화하기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 sub-sampling이나 평균의 방법을 이용하여 전체를 축소한 기존의 방법들과 메모리는 똑 같이 사용하면서, 성능은 전체 대역에 대해서 히스토그램을 모두 구하고 대조비 처리한 방법과 동일한 효과를 내는 방법으로 대역추출을 제안한다. 그림 4.3은 대역추출의 개념을 나타낸 것이다.

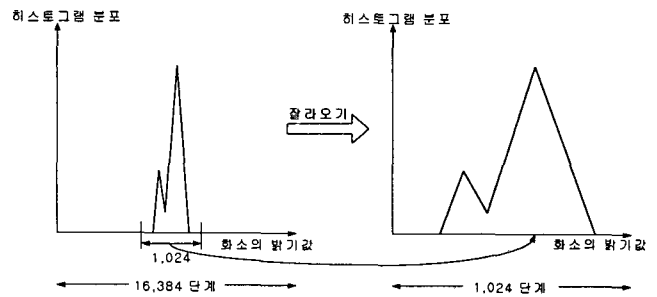


그림 4.3 대역추출의 개념
Fig. 4.3 Concept of local histogram

히스토그램의 평균을 구하고 그 평균점을 중심으로 0이 아닌 값을 갖는 영역은 모두 포함할 정도의 영역을 잘라내게 된다. 그 잘려진 영역을 기반으로 대조비 개선을 위한 LUT를 작성하게 된다. 위 그림 4.3의 예는 14비트 ADC에서 입력이 한 부분에 몰려 있고, 그 중심을 기준으로 1,024 단계만 잘라왔을 때의 그림을 나타낸다.

4.1.3 수동모드

4.1.3.1 밝기 조절

일반적으로 offset을 변화시켜 밝기를 조절하는 방법은 LUT의 전체를 움직임으로써 쉽게 구현 될 수 있다. 그림 4.4은 밝기 조절 방식을 보여주는 개략도 이다.

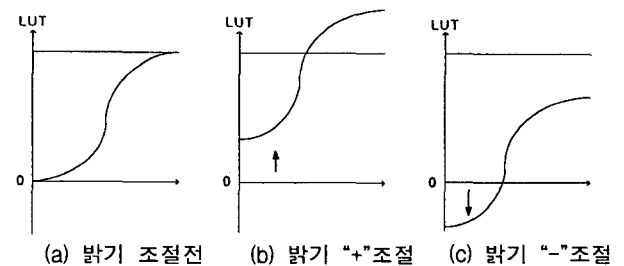


그림 4.4 밝기 조절
Fig. 4.4 Bright control

밝기 조절은 + 및 - 방향으로도 가능해야 하므로, 조절 비트는 부호 비트를 포함하여 9비트로 하였으며, 각 방향으로 8

비트씩 256단계가 있으나 세부 조절은 의미가 없으므로 전체를 32단계로 나누었으며 변환식은 식 (4.2)와 같이 나타낸다.

$$bri\!ght = cont_offset + brit_level \times 16 \quad (4.2)$$

*brit_level*은 0에서 31사이의 밝기 조절 레벨이며, *cont_offset*은 대조비 조절과 연관된 값으로 나중에 설명된다.

4.2.3.2 대조비 조절

대조비 조절은 플레토값을 조절함으로써 구현한다. 플레토값이 갖을 수 있는 최대의 값은 영상의 총 개수와 같은 $256 \times 256 = 65,536$ 이며 대조비 조절 제어 비트를 16비트로 할당한다. 대조비 조절도 밝기 조절과 마찬가지로 총 32단계로 나누었으며, 32단계를 선형으로 표현한다면 전체를 효율적으로 표현하기는 어려우므로 식 (4.3)과 같이 2차식으로 표현하였다.

$$contrast = 2 \times (cont_level - 1)^2 + 1 \quad (4.3)$$

여기서 대조비(*contrast*)는 플레토값을, *cont_level*은 1에서 31사이의 값을 갖는 대조비 조절 레벨을 나타낸다.

대조비 조절은 여기서 끝나는 것이 아니라, 플레토값을 조절하면 그 값에 의해서 잘려 나가는 히스토그램의 개수가 달라지므로 그 만큼을 식 (4.1)와 같은 이득값으로 보상을 해주어야 한다.

이득값은 4이하가 되도록 설정하였으나, 이득값이 너무 작으면 LUT의 아래에만 분포하게 되어 전체적으로 어둡게 된다. 이럴 때는 *offset*을 조절하여 전체적인 LUT가 중심에 오도록 하면 되는데, 밝기 조절할 때 언급된 *cont_offset*이 바로 이 변수다. 그림 4.5는 대조비 조절시의 *offset*을 조절하는 과정을 나타낸 것이다.

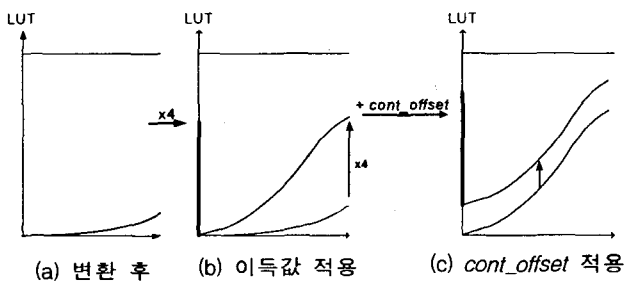


그림 4.5 대조비 조절시의 오프셋 조절
Fig. 4.5 Offset control of contrast control

*cont_offset*을 구하는 식은 (4.4)와 같다.

$$cont_offset = \left(\frac{1 - \frac{4}{gain}}{2} \right) \times 255 = 128 - \frac{255}{gain} \quad (4.4)$$

이득값을 곱하고 윗부분에 남은 LUT의 구간은 $(1 - 4/gain)$ 이고, 히스토그램 분포를 밝기 중심으로 이동시키기 위해 절반만 *offset*을 올려 주면되므로 2로 나누어 준 것이다. 뒤에 255를 곱해 준 것은 *offset*컨트롤 비트가 8비트로 255단계까지 있기 때문이다.

4.1.4 자동모드

자동모드에서는 밝기값은 조절할 필요 없고, 대조비값만 조절하면 된다. 하지만 실제적으로 대조비가 조절되는 것은 플레토값 자체가 아니라 플레토값에 의해서 잘려 나간 화소)의 개수, 즉 *surplus*에 의한 것이므로 자동모드에서는 히스토그램 대역에 따라 결정된 *surplus*에 맞게 플레토값이 자동으로 조절 되도록 하는 개념으로 설계한다.

플레토값을 자동으로 조절하는 것은 *gradient method*에 의해 매 프레임마다 반복적으로 갱신시키도록 한다.

4.1.4.1 Gradient Method

*Gradient method*의 목적함수 $f(t, p)$ 는 잘려 나가야 하는 개수와 실제 잘려 나간 개수의 오차를 최소로 하는 플레토값 p 를 찾는 것이며 식 (4.5)와 같이 표현한다.

$$f(t, p) = \frac{1}{2} \{ S(t, p) - T_i(t) \}^2 \quad (4.5)$$

여기서, $f(t, p)$ 는 t 번째 프레임에서 플레토값을 p 로 했을 때 실제 잘려 나간 개수와 잘려 나가야 하는 개수와 오차이며, $S(t, p)$ 는 t 번째 프레임에서 플레토값이 p 일 때 잘려 나간 개수이고, $T_i(t)$ 는 t 번째 프레임에서 잘려 나가야 하는 개수이다.

최종적으로 본 논문에서 적용한 플레토값 p 를 찾아내는 반복적인 식을 식 (4.6)과 같이 표현하였다.

$$p(t+1) = p(t) - \beta (T_i(t) - S(t, p(t))) \quad (4.6)$$

본 논문에서는 수동모드에서 자동모드로의 변환시에 플레토값의 초기값 $p(0)$ 는 수동모드에서의 조작에 의해 결정된 플레토값을 사용하였다. 또한 β 는 실험적으로 결정하였으며 (본 논문에서는 $\beta=0.002$ 를 적용), 플레토값 p 의 범위를 아래를 만족하도록 정하였다.

$$\frac{1}{4} N \leq p \leq \frac{3}{4} N \Rightarrow 1.33 \leq gain \leq 4$$

4.2 H/W와 S/W의 구현

4.2.1 H/W의 구조

본 논문의 주제인 열영상 대조비 개선 처리를 위하여 그림 4.6과 같이 구현된 열영상 신호 처리부의 H/W의 구조에 대하여 연구해 본다.

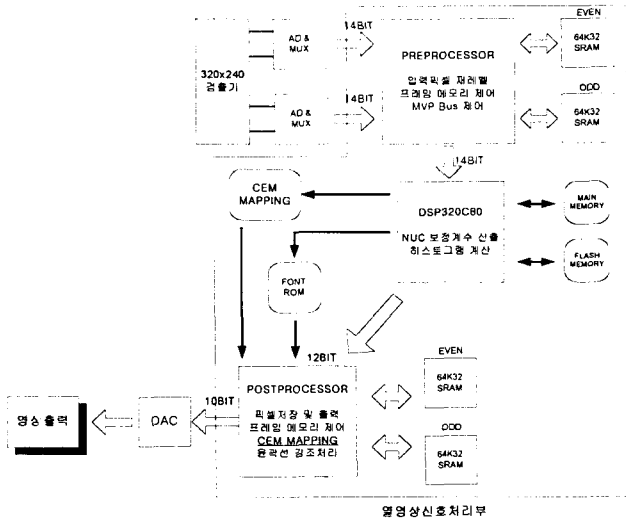


그림 4.6 H/W의 구조 및 신호 흐름도
 Fig. 4.6 Block diagram of H/W and signal flow chart

디지털 열영상 신호 처리부의 기본 H/W 구조는 가급적 구성이 간단히 하면서 효율적으로 복잡한 영상처리 기능을 제어하도록 하기 위하여 가능한 S/W 처리로 설계를 구현하였다. 이를 위해 영상처리 전용의 고성능 DSP(Digital Signal Processor)와 고집적도를 가지는 신호처리 프로세서 로직(FPGA:Field Programmable Gate Array) 소자를 사용하고, 영상 처리 기능을 직접 수행하고 전달하는 부분은 FPGA 로직으로 회로를 구성하였으며, 알고리즘 제어기능은 DSP를 이용하여 S/W적으로 처리하도록 하였다. 영상처리 S/W 알고리즘을 처리하기 위한 DSP 소자로는 내부에 4개의 병렬 프로세서가 내장된 TI(Texas Instrument)사의 SM320C80-GEM50을 사용하였으며, 멀티태스킹(Multitasking)을 이용한 다중 영상처리 방식을 통한 S/W 기반의 실시간 열영상처리를 수행한다.

그림 4.6에 전체 H/W 설계 구조를 보이며, 회로구성은 크게 주요 신호처리 소자에 의해 네 부분으로 나눈다. PLD(Programmable Logic Device) 소자인 FPGA 2개와 DSP 그리고 video multiplexer로 구성하였다.

그림 4.6을 참조하여 각 소자별 주요 영상처리 기능과 회로구성을 설명하면 다음과 같다. 먼저 Preprocessor FPGA는 아날로그 신호프로세서에서 전달된 2채널의 14비트 병렬신호를 1채널로 변환하는 주사변환 로직부이다. Preprocessor에서는 1채널의 14비트 직렬 디지털 영상신호로 주사변환하여 field RAM에 저장한다. Preprocessor FPGA가 현재 n번째 입력 field 영상을 처리하는 동안 DSP에서는 이미 처리된 n-1번째 field 영상을 가져와서 주요 영상처리 알고리즘을 수행한다. 먼저 검출기 불균일 보정을 위해 이득 보정값을 영상신호에 곱하고 옅게를 더한다. 그 다음 보정된 14비트 영상신호에서 실제 물체의 영상이 존재하는 대역을 검출하여 12비트로 변환한다. 변환된 12비트 영상신호로부터 dead pixel 처리와 영상확대 처리를 수행하며, 그 결과를 Postprocessor FPGA의 field RAM에 저장한다. DSP에서는 이러한 일련의 영상처리 과정과는 별도로 NUC 보정계수 산출과 CEM을 위한 영상 히스토그램 분포 계산 및 농도 변환

값 산출, 비디오 동기신호 발생 등의 기능을 수행한다. 한편 Postprocessor FPGA에서는 field RAM에 저장된 n-2번째 영상에 대해 12비트-to-10비트 CEM을 수행한 뒤, 비디오 동기신호들과 함께 10비트 디지털 영상신호를 video multiplexer로 전달한다. video multiplexer에서는 D/A 변환을 통해 디지털 영상신호를 RS-170 아날로그 영상신호로 만들어 최종적으로 모니터에 재현한다.

4.2.2 S/W의 구조

DSP S/W는 플래토 평활화법을 적용하기 위해 이전 프레임의 플래토 값에 의해 히스토그램 계산에서 잘려 나간 화소수를 로직의 read register에서 읽어온다. 이득값은 잘려 나간 화소의 수와 비례하게 지정해 주어야 되는데, 그 이득값을 계산하고 write register에 파라메타값을 세팅한다. 현재의 잘려나간 개수를 원하는 개수만큼 잘려 나가도록 플래토값 p를 재지정 해주어야 하는데, 적용적인 처리를 위하여 히스토그램 min값 및 max값을 읽어서 잘려 나갈 개수를 정하게 된다. 현재 잘려나간 개수와 잘려 나가야 하는 개수의 차이만큼 플래토값에 적용하여 새로운 플래토값 p를 구하고, write register를 설정한다. 플래토값 p를 구하는 S/W의 흐름도는 그림 4.7과 같으며 주요 과정은 다음과 같다.

PLD로부터 min, max 및 surplus를 읽어 온 후, 이득값을 구하게 된다. 구해진 이득값으로 PLD를 세팅한 후 max값과 min값을 이용하여 잘리기를 원하는 수 T_i을 구한다. 이전에 구해진 P(n)과 surplus, T_i 등을 이용하여 새로운 플래토값 p(n+1)를 구하고, 구해진 플래토값을 세팅한다. PLD 로직은 영상이 입력되면 각각의 밝기값에 따라 개수를 누적하면서 히스토그램을 구하게 된다. 이때 DSP에 설정해둔 플래토값을 참조하게 된다. 구해진 히스토그램에서 min, max 및 avr 등을 구하여 read register에 저장해 둔다. 또한 min과 max 값으로부터 원하는 대역을 구하여 그 대역에서만 대조비를 처리하게 된다. 구해진 히스토그램으로부터 LUT를 구하고, 그 LUT를 바탕으로 1:1로 매핑 되어 처리된 값에 다시 한번 이득값이 곱해져 최종 대조비 처리된 값을 출력시킨다.

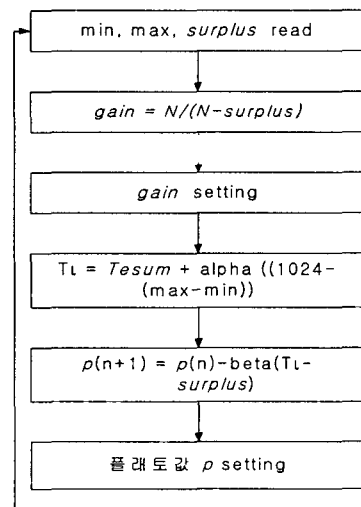


그림 4.7 플래토값 세팅 S/W 흐름도
 Fig. 4.7 S/W flow chart for the setting of plateau value

5. 실험결과 및 고찰

5.1 실험방법

실험은 수동모드에서의 밝기 조절과 플래토값 변화에 따른 대조비 조절 실험을 실시하였다. 또한, 본 논문의 핵심인 자동모드에서의 실시간 열영상 대조비 개선효과를 확인하였다. 실험은 열원(적외선)의 복사에너지 차이에 따른 대조비 개선효과를 확인하기 위하여 온도가 100℃, 50℃, -2℃를 가진 물체를 대상으로 각각에 대한 것과 온도차가 큰 3개의 물체가 동시에 존재할 경우의 식별능력을 확인하기 위하여 3개의 물체를 하나의 영상으로 구성하여 수동모드 및 자동모드에 대하여 열영상과 히스토그램 분포의 변화를 비교하여 본 논문에서 제안한 열영상 대조비 개선 알고리즘을 입증하였으며, 사용한 실험장치를 그림 5.1에 보였다.

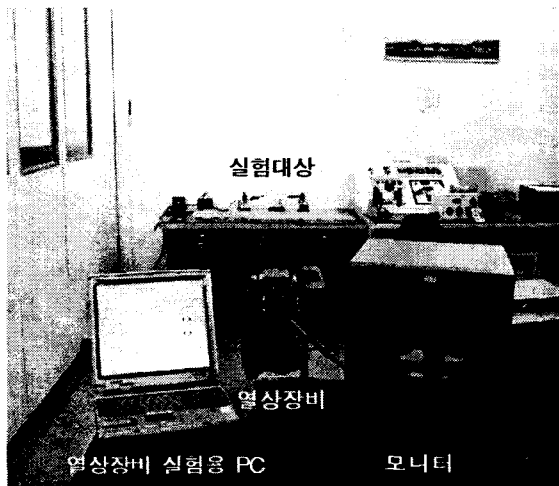


그림 5.1 실험장치
Fig. 5.1 Experimental apparatus.

5.2 실험결과 및 고찰

5.2.1 수동모드

다음은 본 논문에서 제안한 수동모드에서의 밝기 조절 실험과 플래토 값의 조절에 따른 대조비 조절 실험결과 및 고찰에 대하여 기술하였다.

5.2.1.1 밝기 조절

밝기 조절의 단계를 전체 32단계로 하고, 16단계를 기준중심으로 하여 ± 6 단계의 간격의 변화를 주면서 열영상의 밝기 변화를 확인하였다.

플래토값은 적절하게 조절하여 물체가 뚜렷하게 식별될 때 고정하여 놓고 밝기값만을 가변하면서 실시하였다.

그림 5.2의 (a)는 4단계에서의 열영상이며, (b)는 10단계에서의 열영상, (c)는 기준일 때의(16단계) 열영상을 보여주는 것이다. 또한 (d)는 22단계에서의 열영상이며, (e)는 28단계에서의 열영상이다.

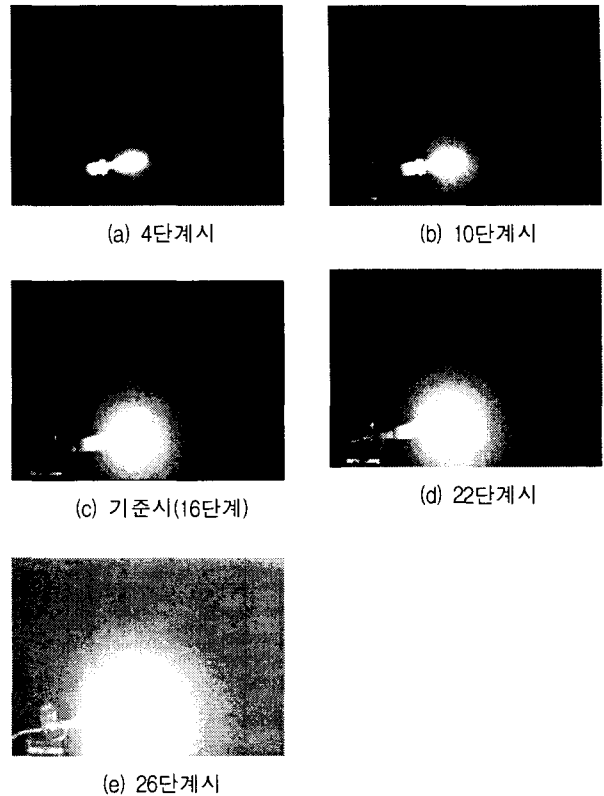


그림 5.2 밝기 조절시 열영상 변화
Fig. 5.2 Thermal image change by bright level control

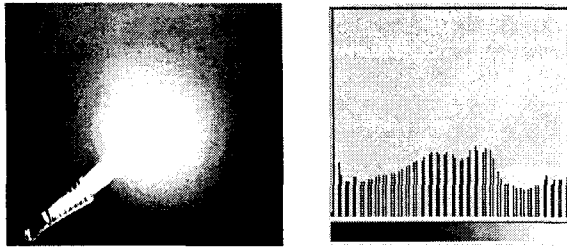
그림 5.2에서 알 수 있듯이 수동모드에서의 밝기를 조절함으로써 열영상의 변화를 확인할 수 있었으며, 또한 열영상의 밝기를 조절함에 따라 물체를 식별이 용이해짐을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

5.2.1.2 대조비 조절

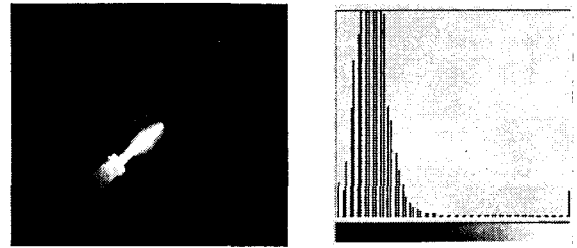
실험대상에 따른 열영상의 변화정도와 플래토값이 어떻게 달라지는 지를 살펴보기 위하여 100℃의 온도를 가진 전기인두, 50℃의 온도를 가진 전선 스트리퍼, -2℃를 가진 얼음을 대상으로 실험하였다. 각각의 열영상의 변화와 세가지 온도(100℃, 50℃, -2℃)를 가진 물체가 함께 있을 때의 열영상의 변화에 대하여 플래토값을 변화시켜가며 열영상과 히스토그램의 변화를 확인하였다. 본 논문에서는 100℃의 전기인두에 대하여만 실험결과를 게재한다.

플래토값은 전체 $256 \times 256 = 65,536$ 의 값을 31단계로 하였으며, 제3장의 이론에서 플래토값 100이상은 큰 의미가 없다고 기술하였으므로 이를 입증하기 위하여 논 논문에서 플래토값 99를 기준으로 6단계만 실험을 실시하여 열영상과 히스토그램의 변화를 살펴보았다.

그림 5.3은 온도 100℃를 가진 전기인두에 대하여 실험한 것이다. 그림 5.3의 (a)는 플래토값 243(cont_level=12)일 때, (b)는 플래토값 200(cont_level=11)일 때, (c)는 플래토값 163(cont_level=10)일 때, (d)는 플래토값 99(cont_level=8)일 때, (e)는 플래토값 51(cont_level=6)일 때, (f)는 플래토값 1(cont_level=1)일 때의 열영상과 히스토그램 분포의 변화를 보인다.

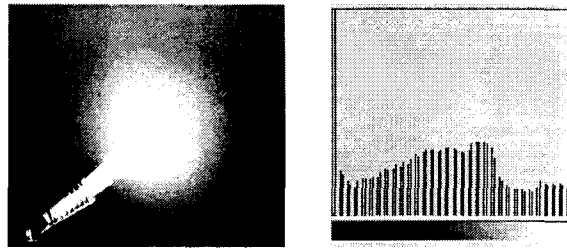


(a) 플래토값이 243일 때



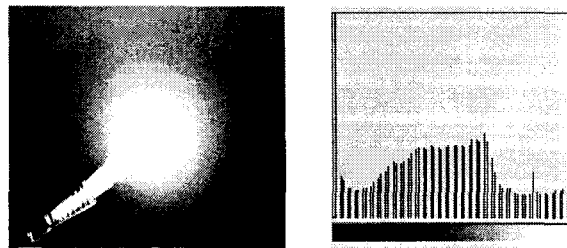
(f) 플래토값이 1일 때

그림 5.3 플래토값(온도 100°C)에 따른 열영상과 히스토그램
Fig. 5.3 Thermal image and histogram by plateau value(T=100°C)



(b) 플래토값이 200일 때

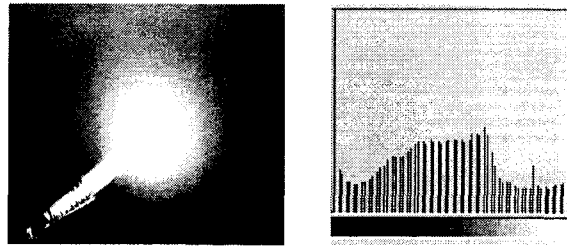
그림 5.3의 (a), (b), (c), (d)에서는 열영상과 히스토그램 변화가 크게 나타나지 않으며, 그림 5.4의 (e), (f)에서는 열영상과 히스토그램의 변화가 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 100이상의 플래토값에서는 적용의 의미가 없으며 100이하의 플래토값에서 적용됨을 알 수 있어 이론적 고찰의 내용과 일치함을 확인할 수 있었으며, 또한 플래토값의 변화에 따른 대조비 개선효과를 확인할 수 있다.



(c) 플래토값이 163일 때

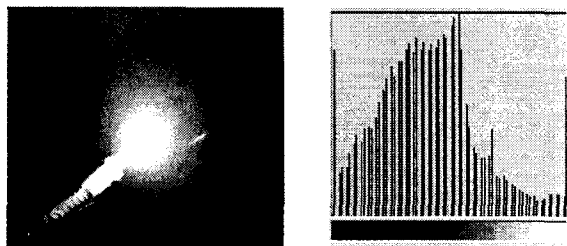
5.2.2 자동모드

수동모드에서는 플래토값을 수동으로 변화시키며 대조비 개선의 성능을 확인하였으나, 실제환경에 적용성을 확인하기 위해서는 실시간으로 대조비 개선이 이루어져야함으로 매프레임마다 플래토값을 계산, 적용하여 대조비 개선효과를 입증하였다. 실험대상은 수동모드에서와 똑같은 물체에 대하여 수행하였으나, 각각의 물체에 대한 실험 결과는 그림 5.3과 동일한 절차에 의하여 구하게 되므로 지면관계상 생략하고, 온도차가 큰 세 가지의 물체에 대하여 동시에 존재하여 한 영상을 구성하였을 때의 대조비를 개선 전·후의 열영상과 히스토그램 분포만의 실험결과를 보였다.



(d) 플래토값이 99일 때

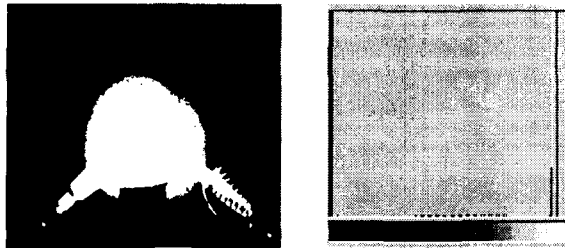
그림 5.4의 (a)는 온도차 있는 세물체에 대한 대조비 개선 전의 열영상과 히스토그램을 나타낸 것이며 (b)는 온도차 있는 세물체에 대한 대조비 개선후의 열영상과 히스토그램을 나타낸 것이다.



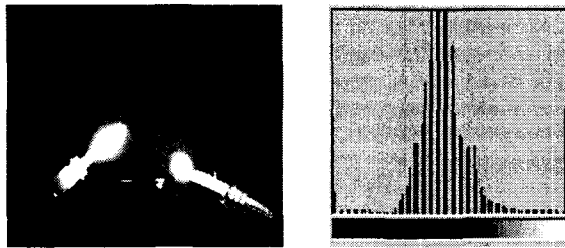
(e) 플래토값이 51일 때

그림 5.4의 대조비 개선 전·후의 열영상과 히스토그램에서 알 수 있듯이 대조비를 개선하지 않으면 열영상을 식별하기가 어려우며 그때의 히스토그램 분포도 한쪽으로 치우쳐 있음을 확인할 수 있다. 또한, 대조비 개선후의 열영상은 물체의 식별이 용이하며 그때의 히스토그램 분포도 중앙을 중심으로 균형 있게 펼쳐져 있음을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 대역추출 및 플래토 평활화 알고리즘을 적용하여 실시간으로 열영상의 대조비를 개선할 수 있음을 입증하였다.

다음은 본 논문에서 제안한 실시간 대조비 개선방안의 실시간, 즉 실제환경에서의 적용가능성을 확인하기 위하여 불특정 배경을 가진 영상에 대하여 일반영상과 열영상을 비교하였다.



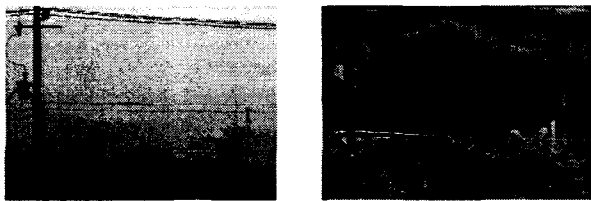
(a) 대조비 개선전



(b) 대조비 개선후

그림 5.4 대조비 개선 전·후 열영상과 히스토그램(T=100℃, 50℃, -2℃)
 Fig. 5.4 Thermal image and histogram(T=100℃, 50℃, -2℃) of contrast enhancement before and after

그림 5.5는 안개가 자욱한 주간의 일반영상과 열영상을 비교한 것이다. 그림 5.5에서 확인할 수 있듯이 일반영상은 안개가 끼어있으면 물체의 식별이 어려우나 열영상은 안개와 관계없이 물체를 식별할 수 있음을 보여준다. 이는 배경과 같은 색상으로 물체가 존재할 시에 일반영상으로는 구분하기 어려우나 열영상은 열원(적외선)의 세기가 차이되면 물체의 식별이 가능함을 보여준다.

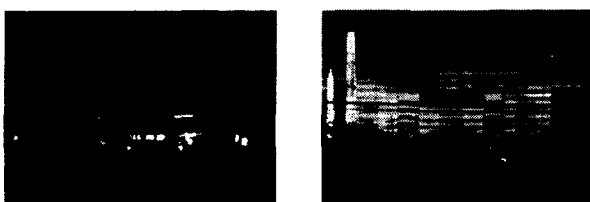


(a) 일반영상

(b) 열영상

그림 5.5 안개낀 날의 일반영상과 열영상
 Fig. 5.5 Image and thermal image in foggy day.

그림 5.6은 야간의 일반영상과 열영상을 비교한 것이다.



(a) 일반영상

(b) 열영상

그림 5.6 야간의 일반영상과 열영상
 Fig. 5.6 Image and thermal image in the night.

그림 5.6에서 보듯이 일반영상은 야간에는 물체를 식별할 수 없으나 열영상은 야간에도 물체를 뚜렷이 식별할 수 있음을 나타내준다.

그림 5.5와 그림 5.6에서 나타난 것처럼 일반영상은 물체에 가해주는 빛(가시광선)에 따라 식별가능성에 영향을 주나, 열영상은 빛과 관계없이 물체에서 복사되는 열에너지만 있으면 물체를 뚜렷이 나타낼 수 있다.

이는 빛이 없는 어두운 밤에 물체가 존재할 시에도 일반영상으로는 구분하기 어려우나 열영상은 열원(적외선)의 복사에너지의 차이에 따라 물체의 식별이 가능함을 보여준다.

따라서 본 논문에서 제안한 대역추출 및 플래토 평활화 알고리즘을 적용하여 실시간 열영상의 대조비를 개선할 수 있고 과 실험실을 벗어난 현장에서 즉시 적용이 가능함을 보였다.

6. 결론

본 연구에서는 열영상을 실시간으로 처리하기 위하여 대역추출 및 플래토 평활화 알고리즘을 적용한 대조비 개선방안을 제안하였고, 하드웨어 제작을 통하여 제안한 기법의 실험성과 타당성을 입증하였다.

입증하기 위한 실험은 일반영상과 열영상을 비교하여 그 차이를 확인하였으며, 수동모드에서의 밝기 조절과 플래토값 변화에 따른 대조비 조절 실험을 실시하였다. 또한, 본 논문의 핵심인 자동모드에서의 실시간 열영상 대조비 개선효과를 확인하였다. 실험은 열원(적외선)의 복사에너지 차이에 따른 대조비 개선효과를 확인하기 위하여 온도가 100℃, 50℃, -2℃를 가진 물체를 대상으로 각각에 대해 실시하였다. 또한 온도차가 큰 3개의 물체가 동시에 존재할 경우의 식별능력을 확인하기 위하여 3개의 물체를 하나의 영상으로 구성하여 수동모드 및 자동모드에 대하여 열영상과 히스토그램 분포의 변화를 비교하여 본 논문에서 제안한 열영상 대조비 개선 알고리즘을 입증하였다.

이상과 같이 실험한 결과 본 논문에서 제안한 '실시간 열영상 대조비 개선'을 위한 대역추출 및 플래토 평활화 알고리즘이 열상장비의 실시간 열영상 대조비 개선방안으로의 적용가능함을 입증하였다

적외선 영역의 복사에너지를 검출하는 경우 가시광선과는 달리 그 강도가 대단히 미약하여 주위 여러형태의 잡음에 민감하기 때문에 이를 방지하기 위한 디지털 저잡음 고속 다중화 영상신호처리 기술과, 대규모 배열 검출소자의 응답특성이 불균일하기 때문에 발생하는 영상신호의 불균일성을 실시간 보상할 수 있는 신호처리 기술에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다..

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구
 (R01-2002-000-00497-0) 지원으로 수행되었음

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, "열상장비 개론", 국방과학연구소 기술보고서, ATRC-517-92174, 1992.

[4] 홍석민, 송인섭, "열상장비 개요", 한국물리학회, 물리과학 첨단기술(특집/적외선 영상), Vol. 7, No. 2, pp. 2-8, 1998. 3.

[5] 송인섭, "미세주사효과를 이용한 배경기반 열영상 불균일 보정 기법", 충남대학교, 박사학위 논문, 2000. 2.

[6] Gerald C. Holst, *Testing and Evaluation of Infrared Imaging Systems*, JCD Publishing Co. 1993.

[7] P. R. Norton, "Infrared Image Sensor Status", Proc., SPIE Vol. 2274, pp. 82-92, 1994.

[8] J. L. Teszner, "Second-Generation IR Arrays Begin Quantity Pproduction", *Laser Focus World*, pp. 117-119, Jan. 1994.

[9] J. R. McCoy, "Dual-Use Technologies Enhance Commercial IR Cameras", *Laser Focus World*, pp. 67-71, July 1995.

[10] Virgil E. Vickers, "Plateau Equalization Algorithm for Real-Time Display of High-Quality Infrared Imagery", *Optical Engineering* 35(7), pp. 1921-1926, July 1996.

[11] 조흥기 외 4인, "Plateau Equalization 알고리즘을 적용한 실시간 열영상 대조비 개선에 관한 연구", 전력전자학회 추계 학술대회 논문집, pp. 186-189, 2002. 11.

저 자 소 개



조 흥 기(趙興紀)

1962년 3월 12일생. 1985년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1998년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1990~현재 국방품질관리소 선임연구원.
E-mail: hgcho@dqa.go.kr



김 수 곤(金秀坤)

1970년 3월 4일생. 1995년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1997년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년~1999년 LG 산전 근무. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정.
E-mail: amoona@chol.com



전 희 중(田喜鐘)

1953년 1월 6일생. 1975년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1977년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1977년~1981. 8. 공군사관학교 전자공학과 교수부. 1987년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1995년 9월~1996년 4월 Univ. of Victoria, CA. 객원교수. 1983년~현재 숭실대학교 공과대학 전기공학과 교수.
E-mail: hjeon@ssu.ac.kr