국부영역의 동적범위 변화를 이용한 영상 개선 알고리즘

Regional Dynamic Range Histogram Equalization for Image Enhancement

이 의 혁*
Lee, Eui-Hyuk

ABSTRACT

Image enhancement for Infrared imaging system is mainly based on the global histogram equalization. The global histogram equalization(GHE) is a method in which each pixel is equalized by using a whole histogram of an image. GHE is speedy and effective for real-time imaging system but its method fails to enhance the fine details. On the other hand, the basic local histogram equalization(LHE) method uses sliding a window and the pixels under the window region are equalized over the whole output dynamic range. The LHE is adequate to enhance the fine details. But this method is computationally slow and noises are over-enhanced. So various local histogram equalization methods have been already presented to overcome these problems of LHE. In this paper, a new regional dynamic range histogram equalization (RDRHE) is presented. RDRHE improves the equalization quality while reducing the computational burden.

주요기술용어(주제어) : Global Histogram Equalization(전영역의 히스토그램 광역화), Local Histogram Equalization (국부적 히스토그램 광역화)

1. 서 론

이미지의 대조비를 개선하는 것은 이미지 내의 정보를 이용하는 사람이 후처리에서 정보를 쉽게 구별할 수 있도록 하는 전처리 과정이라고 볼 수 있다. 이러한 이미지개선 알고리즘은 대표적으로 적외선 영상분야와 의학 영상분야에서 발전되어 왔다.

이미지 개선 알고리즘은 크게 2가지로 분류해 볼 수 있다. 첫 번째 방법은 Global histogram equalization(GHE) 방법으로서 영상센서에서 들어오는 이미지 전체 한 프레임 내의 영상 히스토그램(Histogram) 정보를 기반으로 각 영상의 픽셀들을 광역화하는 방법이다. 이를 이용하는 방법들에는 기본적인 Histogram equalization[9], Stretching[9], Projection equalization[2], Plateau histogram equalization[1], Adaptive plateau histogram equalization[3] 방법들이 있다.

기본적인 Histogram equalization(HE) 방법은 GHE의 접근법의 틀이 되는 방법으로서, 영상 내의 빈도수가 높은 픽셀들은 디스플레이 상에 넓은 영역으로 매핑이 된다. HE의 경우 영상 내 노이즈의 과다증폭으로 인해 실제적으로는 사용되지 않는다. HE

† 2004년 5월 7일 접수~2004년 7월 29일 심사완료
* 국방과학연구소(Agency for Defense Development)
주저자 이메일 : jobdavid@netian.com

의 노이즈 과다증폭을 줄이기 위해 사용하는 방법이 Plateau histogram equalization(PHE)이다. HE에서 영상을 디스플레이 상의 값으로 맵핑할 때, 히스토그램의 빈도수가 맵핑 기울기가 되기 때문에 이 기울기를 제한하여 과도한 증폭을 막도록 한 것이다. 이를 위해 Histogram의 값을 어떤 문턱치(Threshold)로 제한을 둔다. 이 문턱치를 Plateau 값이라 한다. 이 Plateau 값을 1로 고정하여 맵핑하는 방식이 Projection 방법이다. 이 Plateau 값을 영상의 분포 특성에 따라서 자동적으로 적절한 값을 정하도록 한 것이 Adaptive plateau histogram equlaization (APHE)방법이다. 이와 달리 이미지의 히스토그램의 평균과 표준편차를 구하여 평균을 중심으로 선형 매핑 함수를 만들고, 일정 표준편차의 범위를 벗어나는 값들은 포화상태의 작은 기울기로 맵핑되도록 하는 방법이 Stretching 기법이다. 여기서 소개한 Plateau 기법과 Stretching 기법은 실질적인 적외선영상 시스템에서 적용되고 있으며 실시간(Real-time)으로 사용할 수 있는 알고리즘들이다. 이들에 대한 비교는 다음 장에서 다루어 본다.

두 번째 방법은 Local histogram equalization (LHE) 방법으로 다양한 알고리즘들이 시도되고 있다. 아직까지는 적절한 이미지 성능을 만족시키면서 실시간으로 구현하기에는 계산시간이 오래 걸리는 문제를 안고 있다.

기본적인 출발점이라면, 기존의 GHE에서는 맵핑 알고리즘 상 빈도수가 많은 영역 즉, 비슷한 값들로 구성된 픽셀들은 넓은 범위로 맵핑이 되어 구분이 잘 되나, 소수의 빈도수를 가지고 있는 픽셀들은 상대적으로 구분되지 않고 동일한 값으로 맵핑이 되어 버린다, 이러한 문제점을 개선하기 위해 Basic local histogram equalization(BLHE)방법에서는, 영상의 크기보다 작은 윈도우를 설정하여 이 윈도우 내의 픽셀 값들을 가지고 히스토그램을 얻은 후 이 히스토그램을 기반으로 영상 픽셀들의 값을 디스플레이의 영역 값들로 맵핑하는 것이다. 이 윈도우를 이동시키면서 위의 과정을 반복하며, 윈도우의 중앙 픽셀 값만을 히스토그램을 이용하여 변환한다. 이러한 과정 때문에 계산시간이 오래 걸리게 된다. 뿐만 아니라 이미지의 상세한 부분을 잘 드러내 다보니 노이즈 증폭 현상이 발생하고, 전반적으로 이미지의 질은 떨어져 보이는 문제가 있다. 이와 같은 단점을 줄이기 위해 제시된 방법들 중에 의학영상 분야에서 Pizer[4]가 제시한 방법은 Adaptive histogram equalization and its variations(AHEV)으로서 영상을 Non-overlapping 구간으로 나누고, 그 구간 내의 중앙 점에 대해서 히스토그램 방법으로 변환하며, 이 때의 히스토그램 변환 방법은 일종의 PHE와 유사한 방법을 이용하였다. 그리고 나머지 점들은 그 점에서 가장 가까운 4개의 이웃점들을 가지고 보간하여 얻도록 하는 방법이다. 계산시간을 줄이기 위한 방법으로 제시되었다. Narenda and Fitch[5]가 제안한 방법은 편의상 Adaptive statistical mapping equalization(ASME)이라고 명명하며, 윈도우 내의 통계적 특성이 되는 평균과 비례상수로 맵핑 값을 찾는 방법이다. 비례상수는 표준편차에 따라 달라진다. F.de Vries[6]의 방법도 이와같은 계통의 접근방법이다.

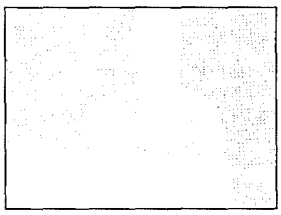
이 외에 Paranjape[8]가 제안한 방법은 BLHE에서 사용하는 윈도우는 사각형이고 이미지 내에서 획일적이므로, 이 윈도우를 정할 때 처리하는 픽셀의 이웃 픽셀의 값에 따라 윈도우의 형상을 달리하여 히스토그램 처리하는 방법인데, 적응적인 윈도우 영역을 생성하는 것에 시간소모로 계산시간 이득은 별로 없다.

본 논문에서는 이미지 개선 방법 중 BLHE 에 근간한 새로운 알고리즘을 제안하고자 한다. 이 방법은 Regional dynamic range histogram equalization (RDRHE)이며, BLHE보다 계산시간에 있어서는 훨씬 빠르며, BLHE에서 발생하는 노이즈의 과대증폭 문제를 해결하여 보다 나은 이미지 개선을 수행하는 알고리즘이다. 계산시간을 줄이기 위해 BLHE에서의 윈도우를 이동을 연속적으로 하기 보다는 샘플지점에 따라서 하며, Block 현상과 노이즈의 과다증폭을 줄이기 위해 윈도우 상의 통계적 특성을 이용하여 픽셀 값들의 맵핑구간을 평균과 표준편차에 따라 적응적으로 제한하여 이러한 문제점을 해결하며 전반적으로 향상된 이미지 개선방법을 제안한다.

2. 기존 방법들의 결과 고찰

1장에서 소개된 GHE와 LHE 알고리즘들 중에서 대표적인 알고리즘들의 결과들을 비교 하였다.

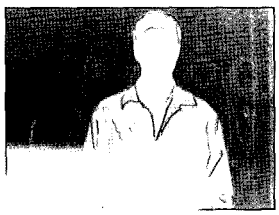
여기에 보이는 그림 1의 이미지는 적외선 영상센서에서 들어온 원본 이미지에 해당한다. 영상의 크기는 642×480이며 적외선 영상의 경우 12-bit 이미지이므로 8-bit로 선형적으로 맵핑하여 보여 지도록 한 것이다.



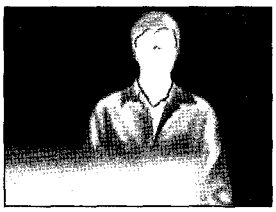
[그림 1] Original Image

그림 1의 이미지를 여러 가지 GHE 방법으로 히스토그램 광역화를 수행한 결과들은 다음과 같다.

[그림 2] HE



[그림 3] Stretching

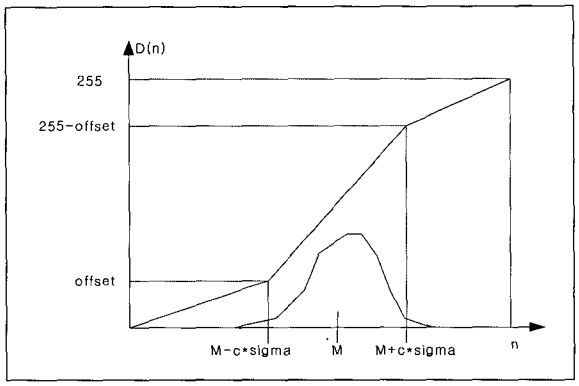


[그림 4] Projection

[그림 5] PHE, p=2238

그림 2에서는 HE의 결과를 보여주고 있는데, 다른 방법들에 비해 노이즈 증폭이 심하게 나타나 있으며 배경은 잘 드러나 있는 반면, 얼굴부분의 상세 부분이 포화되어 나타났다. 그림 3은 Stretching 기법으로서 노이즈증폭은 매우 적으며, 전반적으로 어둡고 밝은 정도를 나타낼 때 적합한 방법 인데, 역시 얼굴부분의 상세 부분은 포화되어 있다.

그림 6은 Stretching방법을 사용할 경우의 알고리즘을 그림으로 나타낸 것이다. 히스토그램 분포의 평균과 표준편차를 이용한 선형적인 맵핑 함수이다.



[그림 6] Stretching 알고리즘

그림 4는 Projection 알고리즘의 결과인데, Plateau 값을 1로 설정하여 히스토그램 변환을 수행하였다. 이것은 영상 히스토그램의 빈도수의 많고 적음 보다는 유무만을 고려하는 방법으로 노이즈 증폭이 거의 없으나, 전반적으로 영상이 어둡게 나타나는 경향이 있다. 다른 방법에 비해 얼굴 부분의 상세함이 어느 정도 드러나 있다.

그림 5에서는 PHE의 결과를 나타내고 있는데, Plateau 값은 2238로 설정되어 있다. HE나 Stretching 방법에 비해 영상의 전반적인 대조비가 우수하나 이것도 역시 얼굴부분의 상세부분은 포화되어 있다.

이와 같이 GHE의 접근 방법들은 전반적인 영상개선은 이루어지지만, 소수의 빈도수를 갖는 상세부분들은 구별되지 않고, 같은 값으로 포화되는 경향이 두드러진다.

이러한 GHE와는 대조적으로 LHE에서는 이런 상세부분들이 잘 드러난다.

그림 7에서는 BLHE방법에 의해 처리된 결과이다. Window 크기는 40×30이며, BLHE의 경우 이미지의 상세한 부분들이 잘 드러나 있으나 노이즈 증폭이 심하여 전반적인 이미지의 질은 떨어지는 경향이 매우

[그림 7] BLHE, Skip=1

[그림 8] BHE, Skip=6

심하며 계산시간도 상당히 오래 걸린다. 계산시간을 줄이기 위해 윈도우를 이동 시킬 때 Skip 지점을 크게 하여 BLHE를 수행하면 그림 8과 같이 Block현상이 발생한다. 이런 문제점들을 해결하기 위해 제안된 방법 중에 AHEV 방법의 결과는 다음과 같다. 윈도우 크기는 40×30이다.

[그림 9] AHEV, skip=2

[그림 10] AHEV, skip=4

[그림 11] AHEV, skip=6

[그림 12] AHEV, skip=8

계산 시간의 부담을 줄이기 위해 논문[4]에 제시된 방법에서는 윈도우 크기만큼 Skip 지점을 가져가도 될 것 같으나 적외선영상의 경우는 대다수 노이즈가 많은 편이기 때문에 Skip 지점이 4이상 넘어가면 거의 사용하기 어려운 수준의 이미지의 열화현상이 발생한다.

그림 13부터 그림 16까지는 ASME[5] 방법인데, 윈도우 크기는 동일하게 40×30이며 Skip 지점을 변화시키면서 결과를 나타내었다. ASME 방법의 기본적인 접근방법의 수식은 다음과 같다.

[그림 13] ASME, skip=2

[그림 14] ASME, skip=4

[그림 15] ASME, skip=6

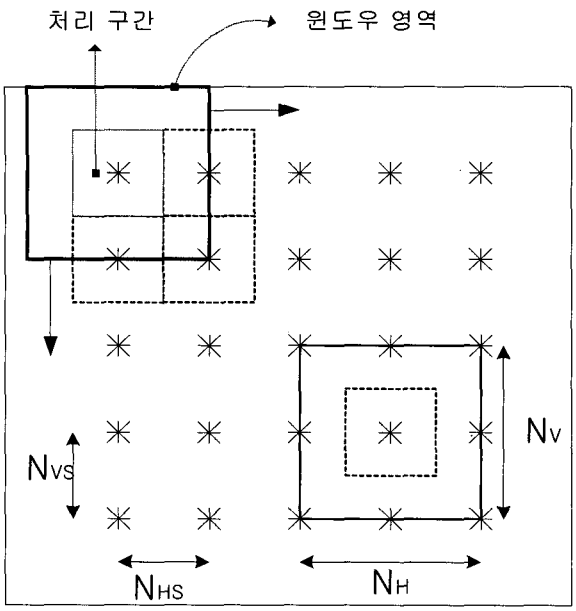
[그림 16] ASME, skip=8

$$D_i = G_i(I_i - M_i) + M_i$$

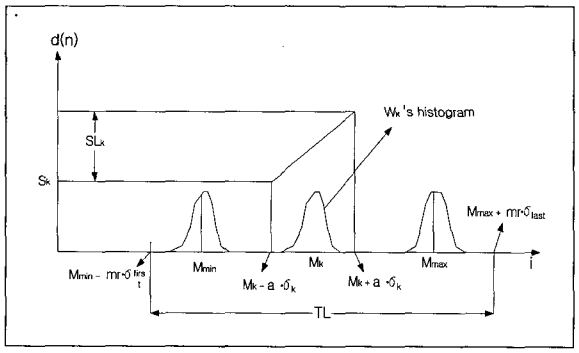
D_i는 변환된 출력 값, I_i는 픽셀 값, M_i는 I_i가 속한 윈도우의 평균이다. G_i의 값은 제한시켜야 되는데, 최대는 200, 최소는 20으로 하였다. 평균과 픽셀 값의 차이에 비례상수를 곱하여 전체적인 조절을 하며, 이 비례상수는 그 윈도우의 표준편차가 작은 경우는 크게 하며, 큰 경우는 상대적으로 작은 값으로 되어 영상의 대조비를 개선하는 방법이다. 이 방법은 히스토그램 처리를 하지 않기 때문에 속도가 빠르나, 전체적인 영상의 값의 변별력이 그다지 높지는 않다. Skip 크기가 증가할수록 영상의 Block현상이 발생하며, 배경의 값이 전반적으로 상향되어 있다. G_i값을 조정하면 전체적으로 밝아지거나 어두워지면서 밝은 곳과 어두운 곳이 확연히 드러나지는 않는다.

3. 제안한 알고리즘의 방법 기술

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 Regional dynamic range histogram equalization(RDRHE)으로서 다음과 같다. 먼저 BLHE 방법과 같이 이미지의 Local 영역의 히스토그램 정보를 얻을 윈도우 크기를 결정한다.



[그림 17] 윈도우 skipping points



[그림 18] Dynamic range limitation for alpha, α

윈도우의 크기는 $N_H \times N_V$ 이다. 윈도우의 Skip 크기는 가로로 N_{HS} 이며, 세로로 N_{VS}이다. 그러면, 윈도우는 Skip 지점마다 윈도우 영역에서 히스토그램을 구하게 된다. 이렇게 하여 Skip 지점마다 생기는 윈도우의 개수, N은 이미지의 크기와 윈도우 크기, 그리고 Skip 크기를 통해서 구해질 수 있다. 그 각각의 윈도우를 W_k라 명명하며 k의 범위는 1에서 N까지이다.

각각의 W_k에 대한 히스토그램의 분포를 나타내면 그림 18과 같이 가장 큰 평균을 갖는 것에서부터 가장 작은 평균을 갖는 히스토그램이 존재한다.

위의 그림 18에서 보는 것과 같이 각 윈도우 영역에서의 히스토그램을 구한 뒤 각각의 히스토그램의 평균과 표준편차를 구하면, N개의 평균과 N개의 표준편차를 구할 수 있다. 히스토그램을 구하는 방법은 Histogram projection[2] 방법에 의해 구하였는데, 이렇게 한 이유는 BLHE가 갖는 노이즈 증폭을 최소한으로 줄이기 위한 것이었다. 각각의 윈도우영역 내의 처리구간 안에 있는 픽셀들을 변환할 때, 기존의 BLHE에서는 디스플레이 전체 영역 범위인 $0 \le D(n) \le 255$ 범위 내에서 맵핑하므로 노이즈 증폭현상이 두드러지게 나타나게 된다. 이런 문제를 줄이기 위해 RDRHE에서는 각 윈도우의 히스토그램의 평균과 표준편차에 따른 적응적인 맵핑 구간을 지정하게 되는데, 그 구간은 다음과 같이 얻어진다.

$$SL_k = 255 \cdot \frac{2 \cdot \alpha \cdot \sigma_k}{TL} \tag{1}$$

SL_k의 범위는 디스플레이의 동적범위를 넘을 수 없기 때문에, 255로 제한된다.

$$0 \le SL_k \le 255$$

따라서, 파라미터 입력으로 사용되는 Alpha, α값은 다음과 같은 범위로 제한된다.

$$0 < \alpha \le \frac{TL}{2 \cdot \sigma_k}$$

이 보다 더 큰 값을 넣는 것은 아무 효과가 없으며, 최대 값을 넣었을 경우는 Skip 크기에 따라서 BLHE의 결과에 접근해 가게 된다.

입력 이미지의 전체 Dynamic 범위인 TL은 다음과 같이 제한하였다. 히스토그램 분포 중 가장 큰 평균과 가장 작은 평균에서 해당 분포의 표준편차에 mr을 곱한 만큼의 길이 이다. mr은 2.5으로 설정하였다.

$$TL = M_{\max} - M_{\min} + mr \cdot (\sigma_{first} + \sigma_{last})$$

맵핑 구간의 시작은 다음과 같이 TL에 대해 N개의 히스토그램의 평균 중 최소 값을 기준으로 선형적인 값으로 TL 구간 대비 디스플레이의 Dynamic 범위(0~255)내로 옮겨지며, 이때 맵핑 구간의 길이 $SL_k/2$ 만큼 밑으로 이동하도록 하여 전체적인 분포들이 디스플레이의 Dynamic 범위 내에서 α값에 따라 겹치거나 이어지면서 맵핑되도록 하였다.

$$S_k = 255 \cdot \frac{M_k - M_{\min}}{TL} - \frac{SL_k}{2} \tag{2}$$

이렇게 각각 맵핑 구간이 정해지면 다음과 같은 히스토그램 변환방법을 통해 맵핑이 이루어진다.

맵핑 방법은 기존의 GHE에서 사용하는 방법과 동일하되 단지, 맵핑 구간이 전체 디스플레이의 Dynamic Range 대신에 α라는 파라미터의 값에 따라서 맵핑 구간과 시작점이 달라진다는 것이다.

변환방법은 다음 식과 같다. 이 식에서 각각의 윈도우 W_k에서 구한 히스토그램을 h_{ki}라고 하였으며 h_{ki}는 Projection 방법을 적용할 때 구한 히스토그램이다.

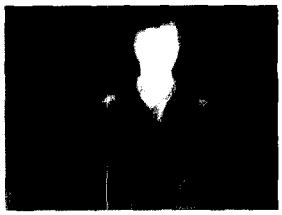
$$d_{kn} = S_k + SL_k \cdot \frac{\sum_{i=0}^{n} h_{ki}}{TS} \tag{3}$$

위의 식에서 $TS = \sum_{i=0}^{4095} h_{ki}$는 히스토그램의 전체 합이다.

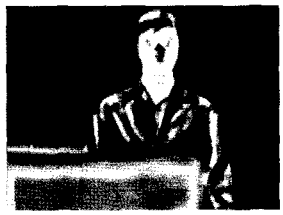
4. 결과 및 비교

3장에서 제시한 모델을 근거로 하여 알고리즘을 다양한 적외선 영상 이미지에 대해 실험하였다. 입력이미지는 8~12um 대역의 적외선영상이며 영상 한 Pixel은 12bits로 되어있고, 전체영상의 크기는 642×480이다. 입력파라미터는 윈도우크기(N_H, N_V), Skip 크기(N_{HS}, N_{VS})와 맵핑 구간 SL_k를 정하기 위한 파라미터 α이다.

다음의 결과에서 윈도우 크기는 (40,30)이며, Skip 크기는 (3,2)이다. α값이 작을 때는 노이즈 증폭은 없으나, 배경의 낮은 대조비를 갖은 것들이 구별되지 않으며, 전반적인 이미지는 Low-pass 필터링을 한 것과 같은 효과를 준다. 적절한 α값이 설정되면, 이미지 개선이 두드러지게 좋아지며, α값이 커질수록 점점 노이즈증폭도 커지면서 어느 값 이상이 되면 BLHE와 같은 결과로 수렴해 간다. 그림 19에서 그림 22는 그 결과이다.



[그림 19] RDRHE, α=1

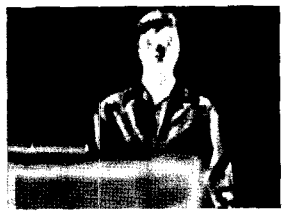


[그림 20] RDRHE, α=4.5

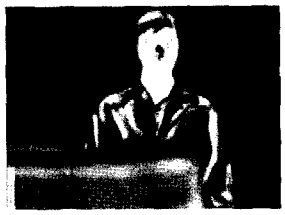
[그림 21] RDRHE, α=15

[그림 22] RDRHE, α=30

그림 23에서 26까지의 결과는 윈도우의 Skip 길이를 변화시키면서 얻어진 결과들을 나타내었다. Skip 길이가 길어질수록 계산속도는 빨라지나 이로 인하여 이미지의 열화 내지는 Block 현상이 발생하는데, 전반적으로 이미지의 열화현상이 감쇄되어 있으며, Block 현상도 다른 LHE 알고리즘에 비해 적게 발생하고 있다.

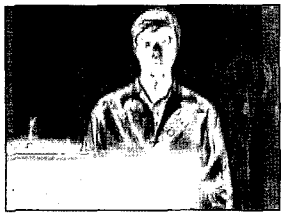


[그림 23] RDRHE, skip=2



[그림 24] RDRHE, skip=4

[그림 25] RDRHE, skip=6



[그림 26] RDRHE, skip=8

적외선영상은 대체적으로 노이즈가 많기 때문에 영상의 낮은 대조비를 갖는 부분을 잘 보이도록 조정하는 경우에 노이즈 증폭이 심해지는 현상이 발생한다. RDRHE에서는 노이즈 증폭도 현저히 줄이면서 전체적으로 밝은 곳과 어두운 곳의 차이를 잘 개선하고 있으며, 얼굴부위의 상세부분과 배경에 있는 낮은 대조비의 선들이 GHE나 다른 LHE 방법에 비해 두드러지게 잘 나타나는 결과를 보여주고 있다.

LHE 간의 Computation-time 비교를 위해 동일한 적외선 영상센서에서 얻어진 642×480 크기의 여러 가지 이미지들에 대한 계산 결과를 종합하여 다음과 같이 표로 나타내었다.

Computation time은 실시간으로 적용되는 GHE 중 PHE의 계산시간을 1로 했을 때의 상대적인 값으로 나타내었다. PHE의 계산시간은 0.01초이다. 윈도우의 크기를 변화시키면서 영상의 알고리즘 수행시간을 비교할 수 있도록 하였다. Skip 크기는 가로 6, 세로 4를 적용하였으며 그 이상 커지면 전반적으로 영상의 화질 저하가 심해진다, Skip 크기가 적어지면 시간이 증가하며, 대체로 영상의 개선 효과 및 Block 현상 등은 줄어들게 된다.

위의 결과들 중에서 윈도우 크기가 10×10인 경우의 4가지 알고리즘의 결과는 다음과 같다.

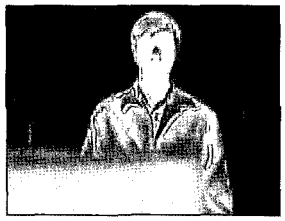
[표 1] LHE 방법들의 계산 시간 비교

Algorithm \ Window size	80×60	40×30	20×20	10×10
BLHE	10904.7	10639.3	99845	94876
AHEV	467.6	416.6	461.6	476.7
ASME Gmax=200	202.3	67.1	33.1	14
RDRHE (α=4.5)	813.2	545.8	482.7	463.6

[그림 27] BLHE

[그림 28] AHEV

[그림 29] ASME



[그림 30] RDRHE

윈도우 크기가 40×30인 경우에 대해서 α는 4.5이고, 시간을 고려할 때 Skip 크기는 가로로 6, 세로로 4로 하였고, 이때의 알고리즘들 간의 결과를 비교하여 나타 내었다. 4가지 알고리즘의 영상개선 결과는 다음과 같다.

[그림 31] BLHE

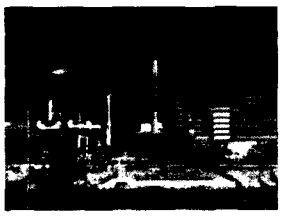
[그림 32] AHEV

[그림 33] ASME

[그림 34] RDRHE

제안된 RDRHE 알고리즘을 다양한 영상에 대하여 적용한 결과들을 다음과 같이 나타내었다. 시간을 고려하여 윈도우의 크기는 16×16, skip 크기는 가로 3, 세로 2를 적용하였으며, 여러 영상들에 대해서 α값은 3~5사이의 값을 적용하였을 때, 대체적으로 영상 개선에 있어서 적절한 결과를 타내었다.

[그림 35] α=3



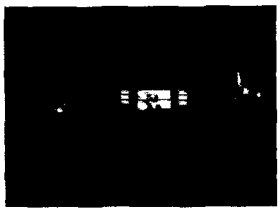
[그림 36] α=3.5

[그림 37] α=4

[그림 38] α=5

[그림 39] α=4.5

[그림 40] α=4

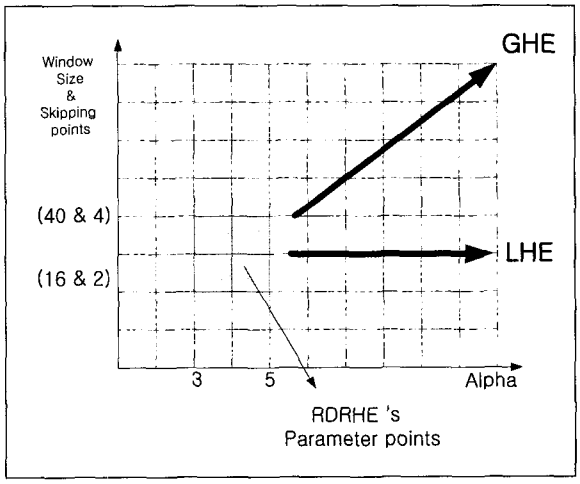


[그림 41] α=3.5

[그림 42] α=3

전체적인 RDRHE의 파라미터 공간상에서 파라미터에 따른 결과의 변동 사항은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

RDRHE의 파라미터들 중 윈도우의 크기는 16~40, Skip의 크기는 (2×2~6×4), α는 3~5 사이의 범위에 대해서 영상의 개선효과가 좋으며, 그 범위를 벗어나면 GHE와 LHE의 결과들에 수렴해 간다. α값이 2이하로 떨어지면 저역필터 처리한 것과 같은 효과가 나타난다.



[그림 43] Parameter variation's effect

5. 결 론

본 논문에서 제시한 Regional Dynamic Range Histogram Equalization(RDRHE) 방법은 기존의 BLHE에서 나타나는 과도한 계산시간을 줄이면서 노이즈의 증폭도 현저히 줄였으며 전반적으로 뛰어난 영상개선 효과를 보여주고 있다. GHE 접근방법으로는 얻어지지 못하는 낮은 빈도수를 갖으면서 존재하는 세부정보를 잘 드러낼 수 있었다.

RDRHE 알고리즘은 일반적으로 낮은 대조비와 고주파 성분이 적은 실제적인 적외선 영상 센서의 영상 이미지에 대해서 뛰어난 이미지개선 효과를 나타내어 군수분야의 적외선영상 관측 시스템에서 매우 활용도가 높을 것이며, 이외에 민수 및 의학 영상관측 분야에서도 적용할만한 알고리즘이다.

참 고 문 헌

[1] V. E. Vickers, "Plateau Equalization Algorithm for Real-Time Display of High Quality Infrared Imagery", Opt. Eng. 35(7), pp.1921~1926, 1996.

[2] Jerry Silverman, et al., "Display of wide dynamic range infrared images from PtSi Schottky barrier cameras", Opt. Eng, Vol. 29, No. 2, pp.97~104, 1990.

[3] J. H. Gruben, et al., "Scene-based algorithm for improved FLIR performance.", Proc of SPIE, Vol. 4030, pp.184~195, 2000.

[4] S. M. Pizer et al., "Adaptive histogram equalization and its variations", Comp. Vision. Graph, Image Process., Vol. 39, pp.355~368, 1987.

[5] P. M. Narenda and R.C.Fitch, "Real-time adaptive contrast enhancement", IEEE Transactions on PAMI, 3(6), pp.655~661, 1981.

[6] F. de Vries, "Automatic, adaptive, brightness independent contrast enhancement", Signal processing 21, pp.169~182, 1990.

[7] D. J. Ketcham, "Real-time image enhancement techniques," in Proc. Soc. photo-optical instrument., Vol. 74(Image processing), pp.120~125, Feb. 1976.

[8] R. B. Paranjape et al., "Adaptive-neighborhood histogram equalization for image enhancement", Computer Vision, Graphics and Image Processing : Graphical models and image processing, 54(3), pp.259~267. 1992.

[9] R. C. Gonzalez, "Digital image processing", Prentice Hall, 2nd ed, 2002.