

Adaptive Histogram Projection And Detail Enhancement for the Visualization of High Dynamic Range Infrared Images

Dong-Seok Lee*, Hyun-Jin Yang**

Abstract

In this paper, we propose an adaptive histogram projection technique for dynamic range compression and an efficient detail enhancement method which is enhancing strong edge while reducing noise. First, The high dynamic range image is divided into low-pass component and high-pass component by applying 'guided image filtering'. After applying 'guided filter' to high dynamic range image, second, the low-pass component of the image is compressed into 8-bit with the adaptive histogram projection technique which is using global standard deviation value of whole image. Third, the high-pass component of the image adaptively reduces noise and intensifies the strong edges using standard deviation value in local path of the guided filter. Lastly, the monitor display image is summed up with the compressed low-pass component and the edge-intensified high-pass component. At the end of this paper, the experimental result show that the suggested technique can be applied properly to the IR images of various scenes.

▶ Keyword : Guided Image Filtering, Histogram Projection, High Dynamic Range, Infrared Images, Detail Enhancement, Noise Reduction

I. Introduction

최근 IR 센서는 신호처리 성능 향상으로 14bit 이상의 High Dynamic Range(HDR)를 출력한다. 그에 반해 인간의 시각 시스템은 128 단계 이상의 명암을 구분하기 어려우며[1] 상용 모니터 또한 10bit 이하가 일반적이다. 따라서 14bit이상의 HDR을 보편적인 8bit 모니터에 적용하기 위해 Dynamic Range Compression (DRC)이 필요하다.

기본적인 DRC 방법으로 입력 영상의 최대, 최소 밝기를 0부터 255까지 정규화 하는 Linear Stretching(LS) 기법이 있다. LS 기법은 매우 간단하지만 밝거나 어두운 영역이 포화되어 많은 대조비 정보를 잃게 된다. 또한 의료, 과학, 사진 등 많은 분야의 영상 처리에 사용되는 Histogram equalization(HE)[2] 기법이 있다. HE 기법은 영상의 히스토그램이 균일한 분포를 나타내도록 밝기값을 변환시켜주는 기법으로 향상된 대조비

선을 얻을 수 있지만 노이즈 증가와 특정 영역의 washed out 이 발생할 수 있고 결과 영상의 밝기가 왜곡될 수 있다.

기존 기법에서 영상의 세밀한 detail 정보가 사라지는 것을 보완할 수 있는 기법으로는 Unsharp Masking(USM)이 있다. USM 기법은 lowpass 필터를 적용하여 detail 성분을 추출하고, 원 영상에 추출된 detail 성분을 더하여 윤곽선을 강조한다. 마지막으로 결과 이미지의 dynamic range를 linear stretching 한다. 이 기법은 강조된 detail 성분으로 위에 언급된 DRC 기법들의 단점인 detail 부분의 정보가 사라지는 것을 막을 수 있다. 반면에, detail 성분 강조가 지나칠 경우 노이즈 성분이 증가하며 단순한 선형 필터의 적용으로 강한 윤곽선 성분의 경우 halo artifacts가 발생한다. 이러한 UM 기법의 단점을 보완하기 위해 많은 비선형 필터가 제안되었으며 대표적으로 bilateral filter[3]가 있다. bilateral filter는 영상의 강한 윤곽

• First Author: Dong-Seok Lee, Corresponding Author: Dong-Seok Lee

*Dong-Seok Lee (dseok.lee@hanwha.com), Dept. of Image Sensor Team, Hanwha Systems Co.

**Hyun-Jin Yang (hjang@add.re.kr), Agency of Defense Development

• Received: 2016. 09. 09, Revised: 2016. 10. 04, Accepted: 2016. 11. 01.

• This work was supported by Agency for Defense Development. Research Grant.

선은 보존하고 상대적으로 약한 부분만 평탄화하기 때문에 기존의 lowpass 필터 적용으로 나타나는 halo artifacts를 감소시킬 수 있다. 이러한 bilateral filter를 기반으로 다수의 DRC 기법이 제안되었다. Durand와 Dorsey [4]는 제안한 fast bilateral filter를 이용하여 detail 성분과 base 성분으로 나눈 뒤 detail 성분은 강조하고, base 성분의 dynamic range를 로그스케일로 감소시키는 방법을 제안하였다. 또한, Branchitta[5]는 튜닝 가능한 파라미터를 이용해 독립적으로 base 성분은 압축하며, detail 성분은 강조하는 Bilateral Filter and Dynamic Range Partition(BF&DRP) 기법을 제안하였다.

Bilateral filter의 활용으로 halo artifacts는 보완하였지만 detail 성분의 과도한 강조는 강한 윤곽선 부근에서 gradient reversal artifact를 야기할 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 Zuo[6]는 bilateral filter를 수행한 후 적응적 gaussian filter를 추가로 수행하고, 히스토그램 투영 기법을 활용하여 base 성분을 압축하며 detail 성분의 강조 레벨을 적응적으로 조절한다. 본 논문에서는 Zuo[6]의 기법을 BF&DDE라 부른다. BF&DDE는 gradient reversal artifact를 부분적으로 제거하지만 특정 부분의 detail 성분을 강조할 때 여전히 존재하며 bilateral filter와 별도의 gaussian filter 수행으로 연산 시간이 증가한다. 이런 단점을 보완하기 위해 Liu[7]는 guided image filtering(GIF)[8]을 활용한 DRC기법을 제안하였다. 제안한 기법은 GIF를 통하여 gradient reversal artifact를 제거하고 연산시간을 감소시켰다. 또한 Zuo[6] 기법과는 다르게 detail 성분의 강조 레벨로 GIF의 kernel을 사용하였다. 본 논문에서는 Liu[7]의 기법을 GIF&DDE라 부른다.

이러한 GIF&DDE 기법은 히스토그램 투영 기법을 수행 시 히스토그램의 정보를 크게 잃을 수 있기 때문에 특정 영역의 대조비 손실이 발생할 수 있다. 또한 detail 성분의 강화를 위한 gain으로 GIF의 커널을 사용함으로써 약한 윤곽선 및 spot 노이즈에서 바람직하지 못한 현상을 보일 수 있다. 그리고 단일 이미지가 아닌 연속된 비디오 영상에서는 깜박임이 발생할 수 있다.

Garcia[9][10]는 GIF&DDE 기법의 단점 중 비디오 영상에서의 문제점을 해결하기 위해 Temporal DDE(TDDE) 기법을

제안한다. TDDE는 GIF 필터를 그대로 사용하지만 DRC 기법으로 히스토그램 투영 대신 지역 적응적 감마 보정 방식을 사용한다. 또한 이전 프레임과의 비교를 통해 가중치를 적용하여 시간에 따른 영상의 평균이 비교적 균일하게 유지되며 깜박임을 줄인다. 하지만 단일 이미지만을 비교한다면 GIF&DDE 기법이 TDDE 기법에 비해 대조비와 세부 표현이 뚜렷하다.

본 논문에서는 단일 이미지에 초점을 맞춰 GIF&DDE 기법의 문제점을 해결하기 위하여 두 가지 향상된 적응적인 방법을 제시한다. 첫 번째는 히스토그램 투영 수행 시 전체 영상의 표준편차를 적응적 파라미터로 활용하여 기존의 히스토그램 투영 시 발생하는 히스토그램 정보 손실을 보완한다. 두 번째는 detail 성분 강화를 위한 gain을 GIF의 kernel을 사용하는 대신 윤곽선과 노이즈에 대한 구분을 명확히 할 수 있도록 지역패치의 표준편차와 전체 영상의 표준편차를 이용한다. 이러한 두 가지의 제안 방법으로 통하여 제안하는 DRC 기법은 다양한 적외선 영상에서 기존 GIF&DDE 보다 좀 더 향상된 영상 개선 효과와 과장되지 않은 자연스러운 결과를 도출할 수 있다.

II. Proposed Algorithm

제안하는 알고리즘의 흐름은 다음과 같다.

먼저 HDR의 raw 영상 I_{raw} 에 대하여 GIF를 수행하여 base 성분 I_B 와 detail 성분 I_D 로 나눈다. I_B 와 I_D 는 다음과 같이 식(1)으로 나타낼 수 있다.

$$I_D = I_{raw} - I_B \tag{1}$$

다음으로 I_B 는 제안하는 영상의 평균 m 과 표준편차 σ 를 활용한 적응적 히스토그램 투영 기법을 통하여 모니터로 출력할 수 있는 동적 범위로 압축하며 I_D 는 강한 윤곽선은 강조하고, 노이즈 성분은 억제하기 위해 영상의 표준편차 σ 와 지역패치의 표준 편차 $\sigma_{m,n}$ 을 이용한 가중치 마스크를 적용한다. I_B 와 I_D 의 처리결과를 각각 I_{BP} 와 I_{DP} 로 정의하고, 두 성분

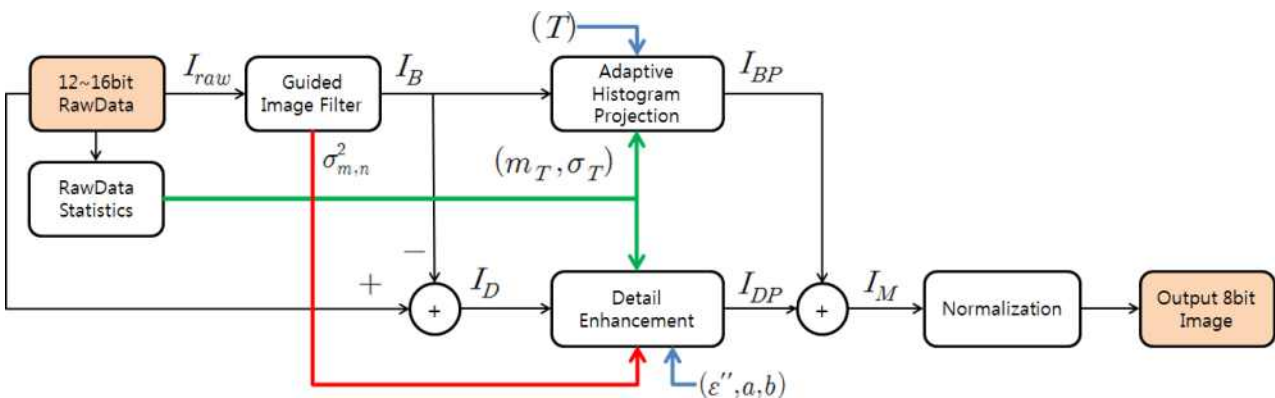


Fig.1. Flowchart of proposed algorithm

을 합한 I_M 은 다음과 같이 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$I_M = I_{BP} + I_{DP} \quad (2)$$

마지막으로 I_M 을 정규화 하여 최종 결과를 도출한다. 제안하는 알고리즘의 기능 흐름도는 Fig.1과 같다.

본 장에서는 먼저 GIF의 개념을 간략히 설명하고, 다음으로 제안하는 적응적 히스토그램 투영 기법과 통계적인 정보 기반의 detail 성분 강조 기법에 대하여 설명한다.

1. Guided Image Filtering

GIF[8]는 기존의 많이 사용되고 있는 bilateral filter와 유사한 윤곽선 보존 평탄화 필터이다. GIF는 필터링의 결과에 영향을 주는 guidance image라고 부르는 입력 영상과 동일하거나 또는 다른 종류의 영상을 이용하여 필터링을 수행한다. GIF는 기존의 다른 필터와 동일하게 이웃 픽셀들을 이용하여 필터링을 수행하지만, guidance image 내의 동일한 위치의 이웃 픽셀들의 통계정보를 같이 사용하여 필터 값을 계산한다. 이러한 GIF는 일반적으로 detail 향상, HDR 압축, 안개제거 등 다양한 영상 처리 분야에서 폭 넓게 사용되고 있다.

GIF는 guidance 이미지 I 와 필터 결과 q 간의 지역적 선형 모델로서 표현한다. q 와 I 를 k 가 중심 픽셀인 윈도우 w_k 의 선형 변환 식으로 표현하면 식 (3)과 같다.

$$q_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in w_k \quad (3)$$

a_k 와 b_k 는 선형 계수이며 그 식은 각각 (4)와 같다.

$$a_k = \frac{1}{|w|} \frac{\sum_{i \in w_k} I_i p_i - \mu_k \bar{p}_k}{\sigma_k^2 + \epsilon} \quad (4)$$

$$b_k = \bar{p}_k - a_k \mu_k$$

p 는 입력 이미지, \bar{p}_k 는 윈도우 w_k 의 평균이다. μ_k 와 σ_k^2 는 I 의 윈도우 w_k 에 대한 평균과 분산이며, $|w|$ 는 윈도우 w_k 의 픽셀 개수이다. ϵ 은 a_k 가 매우 커지는 것을 막기 위한 정규화 파라미터다. 최종적으로 전체 이미지에 적용한 GIF 결과인 q_i 는 (5)의 식과 같다.

$$q_i = \frac{1}{|w|} \sum_{k: i \in w_k} (a_k I_i + b_k) \quad (5)$$

$$= \bar{a}_i I_i + \bar{b}_i$$

$$\bar{a}_i = \frac{1}{|w|} \sum_{k \in w_k} a_k$$

$$\bar{b}_i = \frac{1}{|w|} \sum_{k \in w_k} b_k$$

DRC 기법에 적용되는 GIF는 원 영상에서 base 성분과 detail 성분을 분리할 때 halo artifact를 최소화하기 위해 강한 윤곽선은 보존하고 그 이외의 부분은 lowpass 필터와 같이 처리해야 된다. 이러한 특성에 부합시키기 위하여 GIF는 I 와 p 가 같고 정규화 파라미터인 ϵ 를 매우 큰 값으로 설정하여야 한

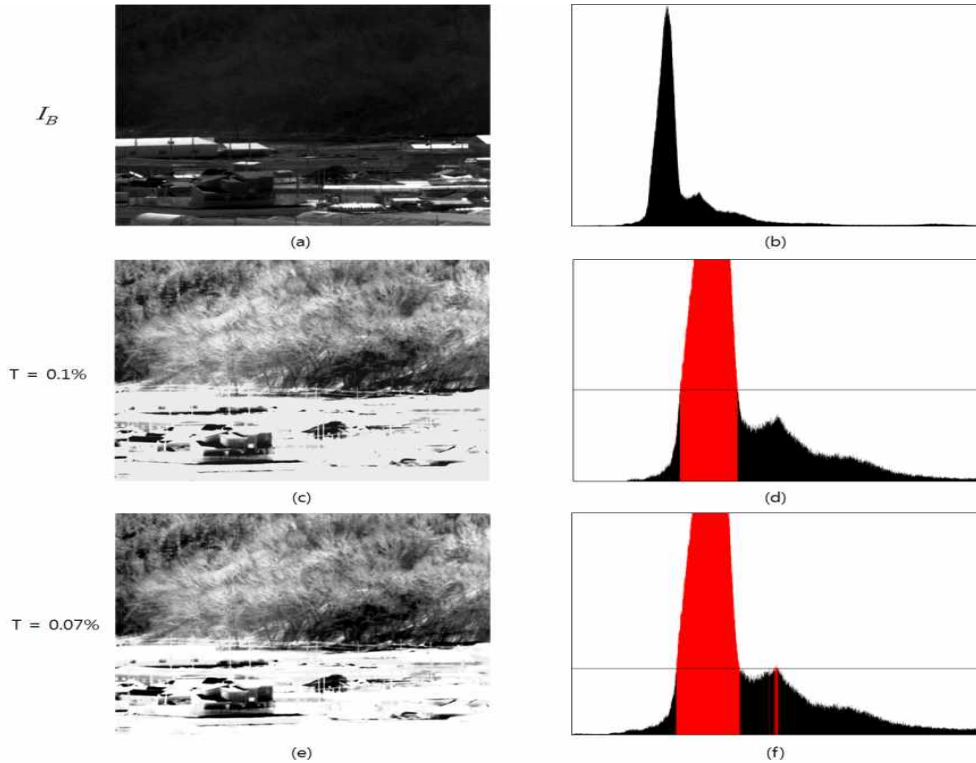


Fig. 2. Histogram projection result of GIF&DDE (a) result of GIF (b) histogram of (a) (c) histogram projection result of $T = 0.1\%$ (d) valid histogram bins of $T = 0.1\%$ (e) histogram projection result of $T = 0.07\%$ (f) valid histogram bins of $T = 0.1\%$

다.

2. 적응적 히스토그램 투영

앞에서 언급하였듯이 제안하는 알고리즘은 HDR Raw 영상에 GIF를 수행하여 먼저 동일한 dynamic range를 갖는 base 성분 I_B 를 구한다. 윤곽선을 보존하는 GIF 덕분에 노이즈 성분은 감소하고 강한 윤곽선 성분은 남게 된다. 제안하는 알고리즘은 I_B 를 모니터의 출력 범위로 기존의 GIF&DDE에서 적용된 히스토그램 투영[7]을 적용하여 압축을 수행한다.

히스토그램 투영은 영상의 히스토그램에 대하여 임의의 임계값 T 를 넘는 레벨들은 빈도수 1, T 보다 작은 레벨의 빈도수는 0으로 이진화한 후, 누적 분포 함수를 구하여 빈도수가 1인 레벨의 전체 개수로 나눠 정규화 한다. 이를 식으로 표현하면 (6)과 같다[6][7].

$$H(x) = \begin{cases} 0, & n_x < T \\ 1, & n_x > T \end{cases} \quad (6)$$

n_x 는 전체 이미지에서 intensity 레벨 x 의 개수이며 T 는 임의의 임계값이다.

다음으로 이진화 된 히스토그램 $H(x)$ 에 대하여 누적 분포 함수를 구한다. 누적 분포 함수 정의는 식 (7)과 같다[6][7].

$$D(x) = \begin{cases} 0, & x = 0 \\ \frac{\sum_{y=0}^{x-1} H(y)}{v}, & x \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

v 는 임계값 T 이상의 빈도를 갖는 level의 전체 개수이다. 최종 히스토그램 투영을 적용하여 압축을 수행한 영상 I_{BP} 는

식 (8)과 같이 정의한다[7].

$$R = \min(v, MDR) \quad (8)$$

$$I_{BP} = \frac{(MDR - R)}{P} + R \cdot D(x)$$

MDR 은 모니터의 출력 범위로 8bit 모니터는 255이다. 최종 범위를 v 와 MDR 중 작은 값으로 선택하는 이유는 카메라가 하늘이나 바다와 같은 균일한 영상을 촬영 중이라면 입력 영상의 동적범위가 255보다 작아질 수 있으며 이를 255레벨로 확장시키면 노이즈 성분이 부각될 것이기 때문이다.

P 는 최종 범위 값인 R 이 MDR 보다 작은 경우 출력의 밝기를 조절하기 위한 튜닝 파라미터이다. 튜닝 파라미터인 P 가 1일 경우 결과 영상의 동적 범위가 $0 \sim R$ 에서 $(MDR - R) \sim MDR$ 로 밝아진다. 본 논문에서는 detail 성분과 합치고 재배치하는 과정을 고려하여 P 는 2로 고정한다. 이는 I_B 의 분포를 MDR 의 중심으로 이동시켜 적절한 결과를 얻기 위함이다.

기존 GIF&DDE에서는 히스토그램 투영에서 가장 중요한 변수인 T 를 전체 영상의 픽셀 개수의 특정 값인 0.1%로 설정하였다. 반면에, 이렇게 설정된 T 는 다양한 영상에서 적절치 못한 결과를 야기할 수 있다. Fig. 2는 이러한 기존 기법의 문제점을 나타내었다. Fig. 2(a)와 같이 단조로운 산과 복잡한 집을 촬영한 IR 영상에 대하여 Fig. 2(a)는 GIF를 수행한 I_B 영상의 히스토그램이다. Fig. 2(d)의 붉은 색 영역은 T 가 0.1%인 경우 그 이상의 빈도를 갖는 레벨을 표시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 유효한 값으로 선정된 대부분의 빈도가 영상 상단의 단조로운 산이며 복잡한 집과 비닐하우스는 제외되었다. Fig. 2 (f)의 경우 T 를 0.1%에서 0.07%로 낮췄지만 히스토그

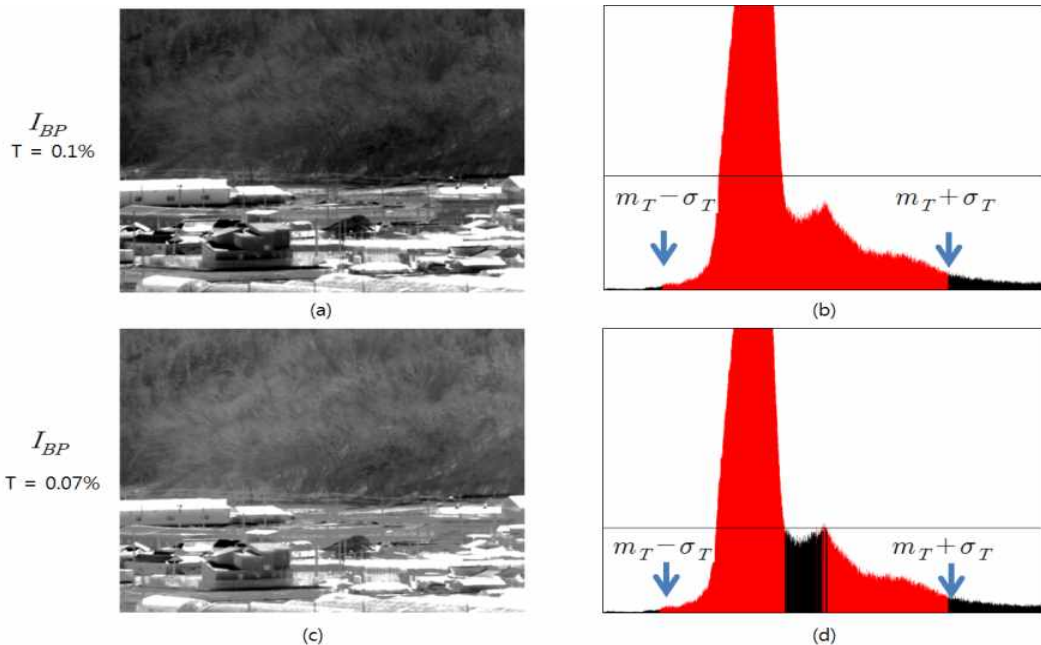


Fig. 3. Adaptive histogram projection result of proposed algorithm (a) adaptive histogram projection result of $T = 0.1\%$ (b) valid histogram bins of $T = 0.1\%$ (c) adaptive histogram projection result of $T = 0.07\%$ (d) valid histogram bins of $T = 0.07\%$

램 오른쪽의 중요한 정보는 여전히 손실된다. Fig.2의 (c)와 (e)는 T 를 0.1%와 0.07%로 설정하였을 때 히스토그램 투영 영상 I_{BP} 를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 영상 하단의 많은 대조비 정보를 잃게 된다.

본 논문에서는 고정된 T 를 이용한 히스토그램 투영의 문제점을 해결하기 위하여 영상의 통계적 정보인 평균과 표준편차를 이용하여 적응적으로 적용이 가능한 방식을 제안한다.

히스토그램 투영의 T 와 영상 전체의 평균, 표준편차를 활용하면 적응적으로 빈도를 선정할 수 있으며 식 (9)로 표현할 수 있다.

$$S(x) = \begin{cases} 1, & m_T - \sigma_T < x < \min H(x) \\ H(x), & \min H(x) < x < \max H(x) \\ 1, & \max H(x) < x < m_T + \sigma_T \end{cases} \quad (9)$$

m_T 은 영상전체의 평균이며 σ_T 는 영상전체의 표준편차이다. $\min H(x), \max H(x)$ 는 $H(x)$ 의 최솟값과 최댓값이다. 대부분의 영상 intensity 가 $m_T - \sigma_T$ 와 $m_T + \sigma_T$ 사이에 분포하기 때문에 T 에 의해 탈락된 중요한 빈도를 포함시킨다. Fig. 3의 (b)와 (d)는 T 를 0.1%, 0.07%로 설정하였을 때 제안하는 기법에 의하여 선택된 유효한 레벨들을 나타낸다. Fig. 3(d)는 히스토그램 투영이 의도한 대로 중간의 빈도가 낮은 부

분은 제외되며 중요한 정보를 포함한 오른쪽 낮은 빈도는 포함되어 자연스러운 결과를 도출한다.

제안하는 기법의 누적분포함수 $D(x)$ 는 $H(y)$ 를 $S(y)$ 로 단순히 치환한 식 (10)과 같다.

$$D(x) = \begin{cases} 0, & x = 0 \\ \frac{\sum_{y=0}^{x-1} S(y)}{v}, & x \neq 0 \end{cases} \quad (10)$$

3. Detail Enhancement

일반적으로 영상의 detail 성분을 강조하기 위하여 detail 성분에 특정 가중치를 곱하여 원영상에 더하게 된다. detail 성분을 크게 강조하기 위해 단순히 가중치를 증가시키면 노이즈 성분이 증가한다. 이런 단점을 보완하기 위해 적응적으로 노이즈 성분은 감소하면서 강한 윤곽선을 강조하는 기법이 필요하다. 기존 GIF&DDE 기법[7]에서는 단순화 시킨 GIF의 kernel을 이용하여 가중치 조절을 적응적으로 수행한다. 식 (11)은 GIF의 커널 기반의 가중치를 나타낸다.

$$g(i,j) = \frac{1}{|W|} \sum_{(m,n) \in W_{i,j}} \left(\frac{(I(i,j) - \mu_{m,n})^2}{\sigma_{m,n}^2 + \epsilon'} \right) \quad (11)$$

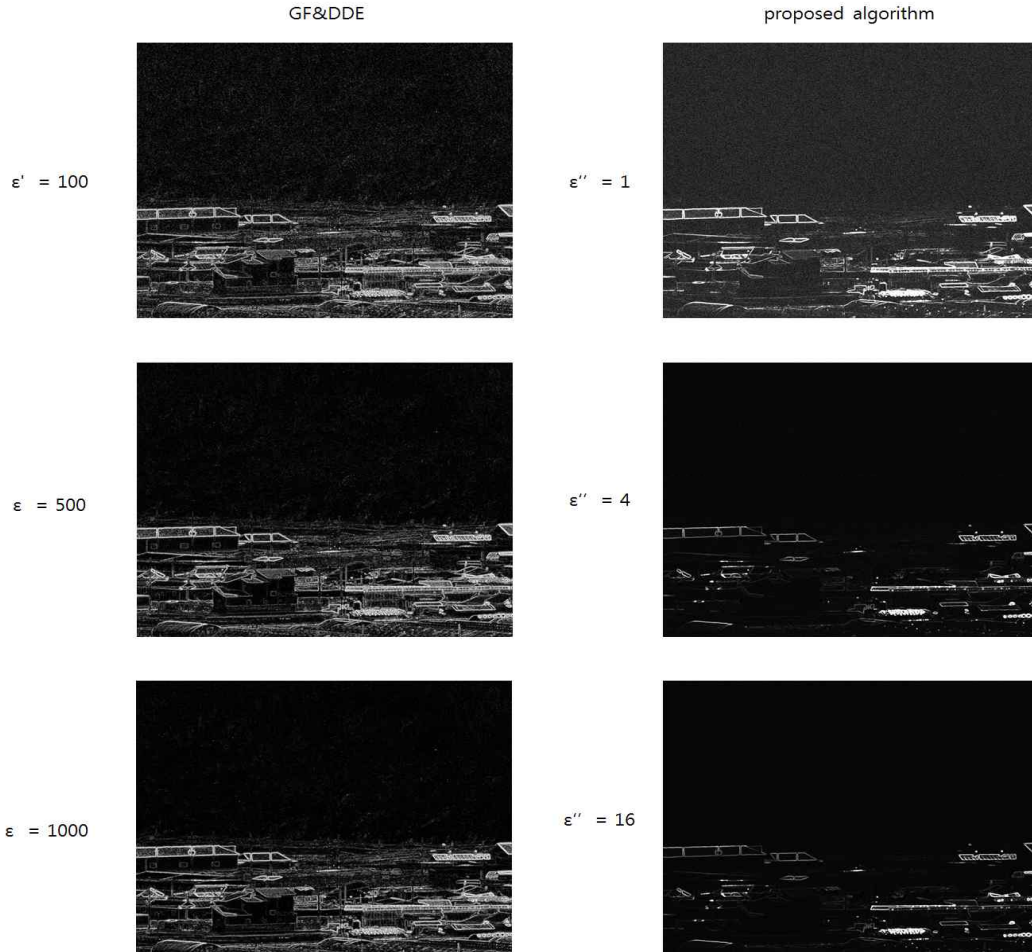


Fig. 4. Gain mask result of GIF&DDE and proposed algorithm

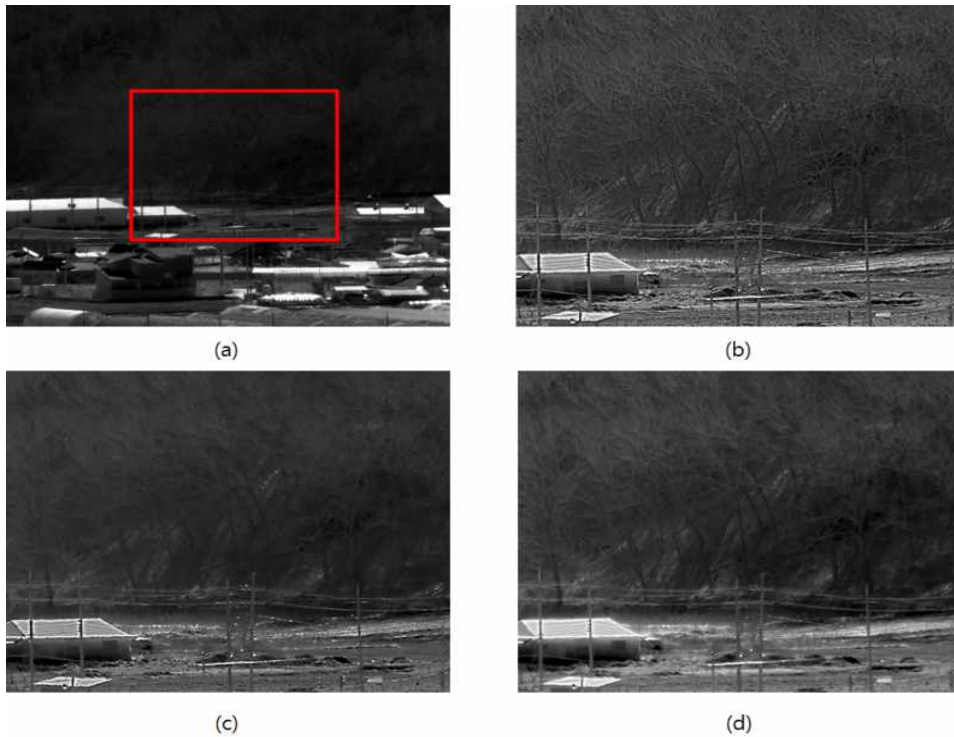


Fig. 5. Detail enhancement result of GIF&DDE and proposed algorithm (a) normal linear stretching result (b) simple sum result of detail component (c) result of applying gain mask(a=2.5,b=0.2) of GIF&DDE (d) result of applying gain mask(a=1.5,b=0.4) of proposed algorithm

W 는 $W_{i,j}$ 패치의 픽셀 개수 이고 $\mu_{m,n}$ 와 $\sigma_{m,n}^2$ 는 $W_{i,j}$ 패치 내의 각 픽셀 별 지역 평균과 지역 분산 이다. ϵ' 는 운용자가 선택할 수 있는 파라미터이다.

본 논문에서는 영상의 전체 표준편차와 지역 표준편차를 활용하여 $W_{i,j}$ 를 좀 더 단순화하여 연산량을 줄이고, 가중치를 적응적으로 조절하여 윤곽선 성분을 강조하고 노이즈 성분은 감소하는 방법을 제시한다. 먼저 입력 영상의 윤곽선 성분과 노이즈 성분을 구분하기 위해 지역패치의 표준편차를 계산한다. 일반적으로 영상의 표준편차가 작을수록 균일하며 detail 성분을 강조 시 노이즈가 많아진다. 또한 표준편차가 클수록 강한 윤곽선이 존재하며 강조해야 된다. 따라서 지역패치의 표준편차가 작으면 detail 성분을 감소시키고 반대로 크다면 detail 성분을 증가시킨다. 이때 증가와 감소의 기준을 적응적으로 적용하기 위해 지역패치의 표준편차가 영상의 전체 표준편차보다 작으면 감소시키고 영상의 전체 표준편차보다 크면 증가시킨다. 이를 수식으로 정리하면 식 (12)과 같다.

$$g(i,j) = \frac{1}{|W|} \sum_{(m,n) \in W_{i,j}} \left(\frac{\sigma_{m,n}^2 + \frac{(\sigma_T)^2}{\epsilon''}}{(\sigma_T)^2} \right) \quad (12)$$

σ 는 영상 전체의 표준편차이며 ϵ'' 는 운용자가 선택 가능한 파라미터이다. ϵ'' 가 작으면 $\frac{(\sigma)^2}{\epsilon''}$ 이 커지기 때문에 가중치

값이 커진다. 반대로 ϵ'' 가 커지면 가중치가 작아진다. Fig. 4 는 GIF&DDE와 본 논문에서 제시한 방식의 가중치 마스크를 보여준다. ϵ'' 가 작으면 많은 detail 성분이 강조되지만 노이즈도 함께 강조되며 ϵ'' 가 크면 노이즈 성분은 감소되지만 detail 성분도 함께 감소된다. 본 논문에서는 적절한 ϵ'' 는 4로 설정한다. 또한 제안하는 기법은 히스토그램 투영 수행 시 도출되는 σ_T 와 GIF 수행 시 도출되는 $\sigma_{m,n}^2$ 를 그대로 사용하여 연산량을 줄일 수 있으며 영상 전체의 표준편차 활용으로 다양한 영상에 적응적으로 gain을 조절할 수 있다.

최종 detail 개선의 결과 I_{DP} 는 식 (13)과 같이 정의한다.

$$I_{DP} = I_D * (g(i,j) * a + b) \quad (13)$$

a 와 b 는 detail 성분의 강도를 조절하는 선형 계수이다. 본 논문에서는 a 는 1.5, b 는 0.4로 설정하였다. Fig. 5는 Fig. 2와 3의 적응적 히스토그램 투영 결과 영상 I_{BP} 에 detail 개선 기법의 결과 I_{DP} 를 더한 최종 개선 결과 영상 I_M 을 나타낸다. 기존 GIF&DDE 방식 결과인 Fig. 5(d)를 보면 주택가 위의 나무 주변으로 흰색의 Spot 노이즈들이 강조됐으며 전신주와 전봇대 주변도 자연스럽게 못하게 뭉개지는 것을 볼 수 있다. 반면에 (f)의 경우 흰색 Spot 노이즈가 사라졌으며 자연스럽게 집과 나무의 강한 윤곽선이 강조됨을 볼 수 있다.

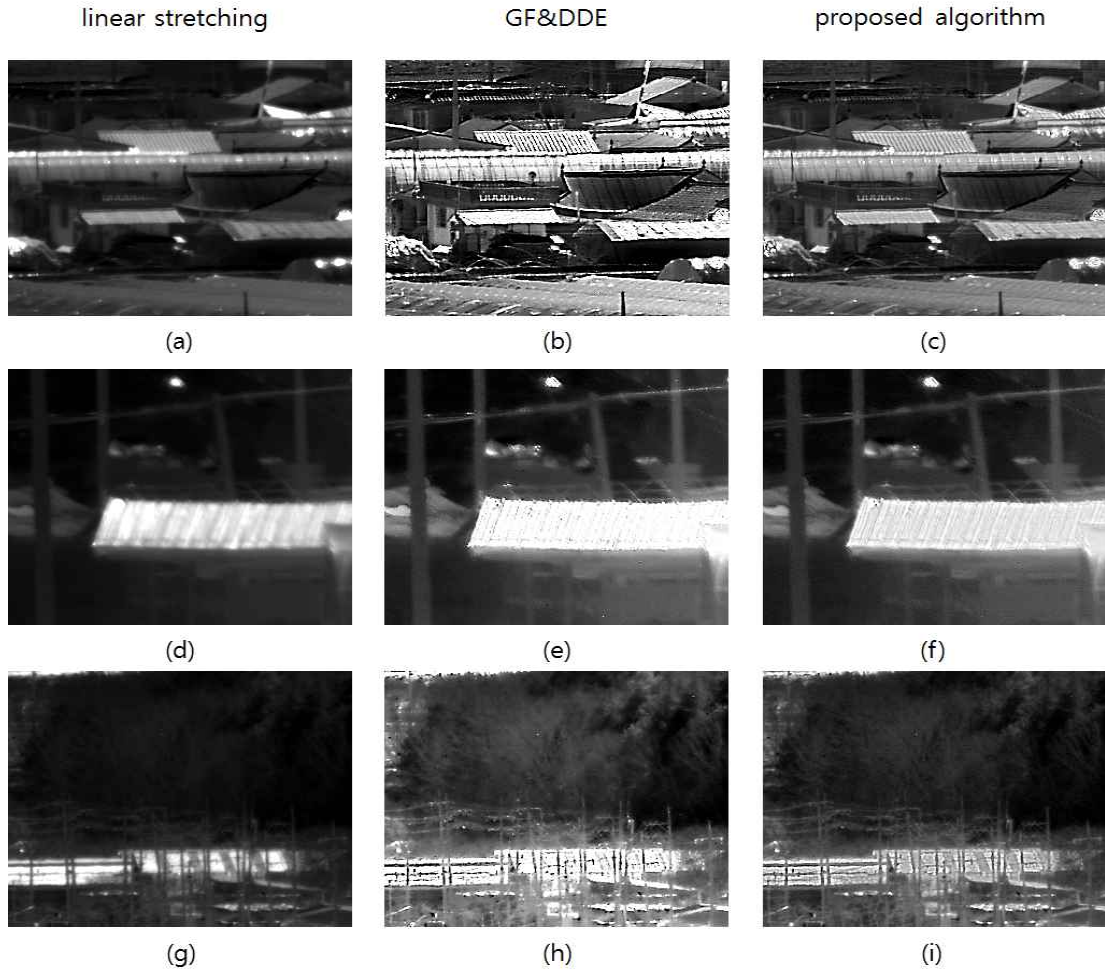


Fig. 6. result of IR image (a)(d)(g) Linear Stretching (b)(e)(h) GIF&DDE (c)(f)(i) proposed algorithm

III. Experimental Results

제안하는 알고리즘의 영상 개선 성능을 보이기 위하여 3개의 320x256 사이즈의 14Bit Raw IR 영상에 대하여 기존 GIF&DDE과 제안하는 알고리즘의 개선 결과를 비교하였다. Fig. 6의 (a),(b),(c)는 복잡한 주택가와 비닐하우스를 촬영 후 기본적인 대조비 처리 방식인 linear stretching과 기존 GIF&DDE, 및 제안하는 알고리즘의 결과를 나타내었다. 기본적인 linear stretching의 경우 수상단의 지붕이 포화되며 좌상단의 어두운 영역의 대조비가 약해 사물의 구분이 힘들다. 반면에 GIF&DDE는 영상 전체적인 대조비를 높였으며 detail 성분을 강조해 좌상단의 구분이 명확하다. 반면에, 비닐하우스와 주택의 지붕이 매우 밝게 포화되며 Spot 노이즈를 볼 수 있다. 본 논문의 제시방법을 적용한 (c)의 경우 수상단의 포화되었던 부분의 detail이 살아나며 지붕의 무늬가 자연스럽게 표현되는 것을 볼 수 있다. 또한 Fig. 5(d),(e),(f)는 햇빛을 반사하는 집의 지붕 영상에 대한 대조비 개선 결과이다. GIF&DDE는 detail 강조 시 노이즈와 윤곽선의 구분을 GIF의 지역 커널만 이용하기 때문에 윤곽선 부분이 노이즈로 판단되어 부분적으로

뭉개지는 경우를 (e)의 지붕 영역 통해 확인할 수 있다. 반면에 (f)의 경우 세밀한 무늬를 정확하게 표현한다. 마지막으로, Fig. 5(g),(h),(i)는 복잡한 전봇대와 지붕, 산악 지역 영상에 대한 대조비 개선 결과를 나타낸다. (g)의 경우 전봇대의 구분이 힘들며 영상 상단의 나무의 구분이 희미하다. (h)의 경우 나무의 구분이 명확하며 전봇대와 전선의 detail이 향상됨을 볼 수 있다. 반면, 지붕과 전봇대가 겹치는 부분의 detail 성분이 (e)와 동일하게 뭉개진다. 반면에 (i)의 경우 지붕의 대조비는 유지하며 전봇대와 전선의 detail을 명확하게 강조한다.

IV. Conclusions

본 논문에서는 High Dynamic Range(HDR)의 IR 영상을 8bit 모니터로 출력하기 위한 개선된 Dynamic Range Compression(DRC) 기법을 제안하였다. 기존의 DRC 기법인

GIF&DDE은 히스토그램 투영 기법 수행 시 특정 영역의 대조비 손실이 발생할 수 있다. 또한 detail 성분의 강조를 위한 가중치로 사용되는 GIF의 커널로 인하여 윤곽선 손실 및 spot 노이즈 강조 현상이 나타날 수 있다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 먼저 히스토그램 투영을 위해 영상 전체의 표준편차를 이용하여 영상의 차이에 따라 민감하게 반응하는 기존 파라미터를 보완하였다. 또한 detail의 가중치 조절을 위해 GIF&DDE에서 제시한 GIF의 커널을 사용하는 대신 영상 전체의 표준편차와 로컬 패치의 표준편차를 동시에 적용하여 윤곽선과 노이즈에 대한 구분을 명확히 하였고, 이를 통해 윤곽선을 강조하고 노이즈를 감소시킬 수 있었다. 또한 다양한 IR 영상에서 제안하는 알고리즘의 적절한 detail 향상과 노이즈 감소 효과를 확인할 수 있었다.

REFERENCES

- [1] J. Silverman, "Display and enhancement of infrared images," International Conference on Image Processing and its Applications, pp. 345-348, 1992
- [2] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, "Digital Image Processing, second ed.," Prentice Hall, New Jersey, 2003
- [3] Carlo Tomasi and Roberto Manduchi "Bilateral filtering for gray and color images," Sixth International Conference on . IEEE, pp. 839-846, 1998.
- [4] F. Durand and J. Dorsey, "Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images," ACM Trans. Graphics, Vol. 21, No. 3, pp. 257-266, July 2002.
- [5] F. Branchitta, M. Diani, G. Corsini, A. Porta, "New technique for the visualization of high dynamic range infrared images," Opt. Eng, Vol. 48, No. 9, 096401, September. 2009.
- [6] C. Zuo, Q. Chen, N. Liu, "Display and detail enhancement for high-dynamic range infrared images," Opt. Eng, Vol. 50, No. 12, 127401, December. 2011.
- [7] Ning Liu, Dongxue Zhao "Detail enhancement for high-dynamic-range infrared images based on guided image filter," Infrared Physics & Technology, Vol. 67 pp. 138-147, 2014.
- [8] K. He, J. Sun, X. Tang "Guided image filtering," ECCV 2010, Part I, LNCS, 6311 pp. 1-14, 2010.
- [9] Garcia, F., Schockaert, C., and Mirbach, B. "Real-Time Visualization of High-Dynamic-Range Infrared Images based on Human Perception Characteristics," International Conference on Computer Vision Theory and Applications 2015.
- [10] Garcia, F., Schockaert, C., and Mirbach, B. "Noise

Removal and Real-Time Detail Enhancement of High-Dynamic-Range Infrared Images with Time Consistency," International Conference on Quality Control by Artificial Vision 2015.

Authors



Dong Seok Lee received the B.S. degrees in Computer Engineering from Inha University, Korea, in 2008, respectively.

In 2008, he joined Hanwha-System Co., Republic of Korea, and he is currently a researcher. He is interested in Image Processing



Hyun Jin Yang received the B.S degrees in Astronomy and Space Science from Kyunghee University, Korea, in 2009, the M.S. degrees in Space Exploration Interdisciplinary Program from KAIST,

Korea, in 2012. She joined Agency of Defense Development in 2012, and she is currently a researcher. Her research interests include Image Processing.