

Performance Improvement Technique of Long-range Target Information Acquisition for Airborne IR Camera

Hyun-Jin Yang*

Abstract

In this paper, we propose three compensation methods to solve problems in high-resolution airborne infrared camera and to improve long-range target information acquisition performance. First, image motion and temporal noise reduction technique which is caused by atmospheric turbulence. Second, thermal blurring image correction technique by imperfect performance of NUC(Non Uniformity Correction) or raising the internal temperature of the camera. Finally, DRC(Dynamic Range Compression) and flicker removing technique of 14bits HDR(High Dynamic Range) infrared image. Through this study, we designed techniques to improve the acquisition performance of long-range target information of high-resolution airborne infrared camera, and compared and analyzed the performance improvement result with implemented images.

▶ Keyword: Airborne infrared image, Atmospheric turbulence, Nonuniformity correction, High Dynamic Range

I. Introduction

감시정찰을 위해 사용되는 항공용 고해상도 적외선 영상장비는 점점 더 먼 장거리 표적의 정보획득 능력이 요구되고 있다. 그러나 장거리 표적 관측에 의한 신호 대 잡음비(SNR, Signal to Noise) 저하는 영상 내 잡음을 증가시키고, 대기난류(turbulence)에 의한 광파면 왜곡은 영상의 흔들림(tilt)이나 초점이 흐릿해지는(defocus) 현상을 만든다. 또한 영상장비의 장시간 운용에 따른 불균일 보정 성능 저하 등의 원인으로 영상 내 열 번짐 효과가 나타남에 따라 표적정보의 획득이 어려워지게 되어 이러한 현상들을 보완하기 위한 방안이 필요하다. 항공용 영상장비는 실시간 영상획득을 위해 항공기 내부에 위치한 전자부 FPGA에서 영상보정을 수행하며 연산이 복잡하거나 실시간 처리가 어려운 기법을 적용하는데 한계가 있다.

본 논문에서는 항공용 고해상도 적외선 영상장비에서 나타나는 문제점을 해결하고 표적정보 획득성능을 향상시키기 위한 세 가지 기법을 이용하여 영상을 보정하였다. 먼저 대기난류에 의해 나타나는 영상의 흔들림 및 temporal noise 감소 기법, NUC의 불균일한 수행 및 카메라 내부 온도 상승에 의한 열 번

짐 영상 보정 기법, 마지막으로 14bit 이상의 HDR을 출력하는 고해상도 적외선 영상의 DRC 및 flickering 제거 기법을 적용하였다. 이를 통하여 항공용 고해상도 적외선 영상장비의 장거리 표적정보 획득성능 향상 기법을 설계하고 구현한 영상을 통한 성능향상 결과를 비교분석 하였다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 2장에서는 장거리 관측 영상에서 나타나는 대기효과 및 적외선 영상의 열 번짐 현상 발생 원인에 대하여 설명한다. 3장에서는 제안하는 영상보정 기법의 설계 및 구현 방법에 대하여 기술한다. 4장에서는 구현된 기법이 적용된 영상에 대한 성능향상 결과 분석을 수행한다. 마지막으로 5장 결론에서는 본 논문의 내용을 정리하고 앞으로의 연구방향을 제시한다.

• First Author: Hyun-Jin Yang, Corresponding Author: Hyun-Jin Yang
*Hyun-Jin Yang (hjyang@add.re.kr), Agency of Defense Development
• Received: 2017. 05. 25, Revised: 2017. 06. 05, Accepted: 2017. 07. 11.

II. Background

항공용 영상장비는 관측환경 및 장비 특성에 따라 몇 가지 해결해야 할 문제를 가지고 있지만, 지상관측장비가 갖는 관측거리의 한계를 극복하면서 인공위성과 다른 장비의 접근성을 갖기 때문에 감시정찰에 많이 사용되고 있다.

밤하늘의 별을 관측하는 경우 실제 우주에서 보는 별은 한 점으로 빛나고 있지만 지상에서 볼 때에는 대기층을 통과한 별이 반짝거리거나 형태가 번져 보이는 것을 알 수 있다. 이는 대기난류(turbulence) 등의 영향으로 변화하는 대기 굴절률에 의해 빛의 위상이 변화하게 되고 왜곡이 나타나는 것이다. 항공용 영상장비는 장거리 표적 촬영을 위해 부각(depression angle)이 매우 작은 시선(LOS, Line of Sight)을 갖는 빔각촬영을 수행하기 때문에 표적신호는 대기층을 두껍게 통과하여 센서에 도달하게 되며, 역시 대기난류의 영향으로 영상왜곡이 발생하게 된다. 영상왜곡은 여러 형태의 파면수차가 합쳐져 나타나는 데 크게 두 가지가 가장 많은 영향을 준다. 파면의 defocus 수차에 의한 초점의 변화와 tilt 수차에 의한 영상의 흔들림이다. Defocus는 윤곽선의 sharpen 정도를 측정하여 초점을 변화시키는 초점조정 기능으로 보완할 수 있으며, 여기에 tilt에 의한 영상 흔들림을 보정해주어야 안정된 영상을 얻을 수 있다.

적외선 영상에서 나타나는 불균일한 패턴의 잡음은 몇 가지 원인에 의해 나타난다. 첫 번째로 검출기에서 나타나는 암전류(dark current) 등의 잡음 및 입사에너지에 따른 비선형적 출력 특성, 검출소자간 gain, offset 성분의 불균일이 있으며, 두 번째로 광학계의 optical vignetting 및 광경로상에 위치한 주변 장치의 열이 렌즈에 반사되어 입사되는 성분, 마지막으로 시스템 내에서의 잔류 잡음과 불균일한 냉각 특성 등이 있다. 이러한 영상의 불균일성(nonuniformity)을 보정하기 위해 영상장비는 미리 실험실에서 흑체를 사용하여 two-point correction (TPC) 방법[1]을 이용한 NUC를 수행한다. 그러나 영상의 불균일성은 시간에 따라 계속 변화되고[2] 반복적인 TPC의 수행은 보정 성능을 떨어뜨리기 때문에[3] 영상촬영을 시작하기 전 추가적인 SBNUC[4]를 수행한다. 장시간 운용이 요구되는 감시정찰 임무의 경우 NUC 수행 후에도 카메라 내부 온도 상승이나 NUC의 불균일한 수행 등의 이유로 영상 내 열 번짐 현상이 나타난다. 이러한 영상은 마치 카메라 앞에 안개가 끼어있는 것처럼 뿌옇게 흐려져 영상 내 표적정보 획득을 어렵게 하지만 실시간 영상을 획득해야 하는 영상장비의 특성상 불균일보정 작업의 추가적인 수행에 어려움이 있을 수 있다[5].

고해상도 적외선 센서는 14bit 이상의 High Dynamic Range(HDR)로 출력되며 영상 내 많은 정보를 포함하고 있다. 하지만 우리가 일반적으로 사용하는 모니터는 10bit 이하의 영상을 출력하기 때문에 신호의 압축에 따른 정보 손실을 최소화할 수 있는 Dynamic Range Compression(DRC) 방법이 요구된다. Lee와 본 저자는 개선된 DRC 기법[6]을 통해 기존 GIF&DDE[7]가 갖는 히스토그램 투영 기법(histogram

projection) 수행 시 나타나는 특정 영역의 대조비 손실을 보완하고 detail의 가중치 조절을 위해 영상 전체의 표준편차와 부분 영역의 표준편차를 동시에 적용하는 방법을 제시하였다.

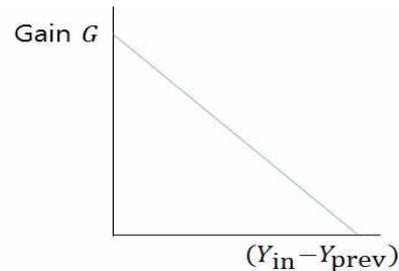


Fig. 1. Motion adaptive noise reduction gain G graph

DRC 과정에서는 영상이 base layer와 detail layer로 나뉘어 각각 처리되게 되며 나중에 두 layer가 더해져 모니터 출력 8bit에 맞도록 변환된다. 이 때 base layer는 8bit로 변환되어 더해지지만 detail layer는 14bit의 edge 성분이 그대로 더해지기 때문에 대부분 결과 영상은 8bit를 넘어가게 된다.

단일 영상의 경우 DRC를 통한 히스토그램의 변화에 문제가 없지만 동영상인 경우 매 프레임마다 변하는 히스토그램에 의해 영상의 전체적인 밝기가 깜박거리는 flickering 현상이 나타날 수 있다[8]. Garcia[8][9]는 이러한 문제점 해결을 위하여 Temporal DDE(TDDE) 기법을 제안하였다. TDDE는 히스토그램 투영 기법이 아닌 지역 적응적 감마 보정 기법(local adaptive gamma correction)을 사용하여 DRC를 수행하고 이전 프레임의 평균에 대한 가중치를 적용하여 영상의 깜박임을 줄여준다. 그러나 단일 영상을 비교했을 때 TDDE가 GIF&DDE에 비해 대조비와 세부 detail이 잘 나타나지 않는다.

표적정보 획득성능 향상을 위한 기법은 앞에서 언급한 문제들을 해결하기 위하여 대기난류 효과 보상, 열 번짐 영상 보정, HDR 영상의 대조비 처리에 관하여 연구하였으며, 항공기 내에서의 실시간 처리를 위한 FPGA 구현을 고려하여 설계되었다.

III. Design and Implementation

1. Atmospheric Turbulence Compensation

Noise reduction 기법은 영상에서 artifact나 noise를 제거하기 위한 방법으로 오늘날 대부분의 동영상 카메라에 적용되어 있다. Motion Adaptive Noise Reduction[10]은 전 프레임 Y_{prev} 과 입력 프레임 Y_{in} 의 정보를 이용하여 출력 프레임 Y_{out} 을 구하는 방법은 다음과 같은 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$Y_{out} = Y_{prev} \cdot G + Y_{in} (1 - G) \quad (1)$$

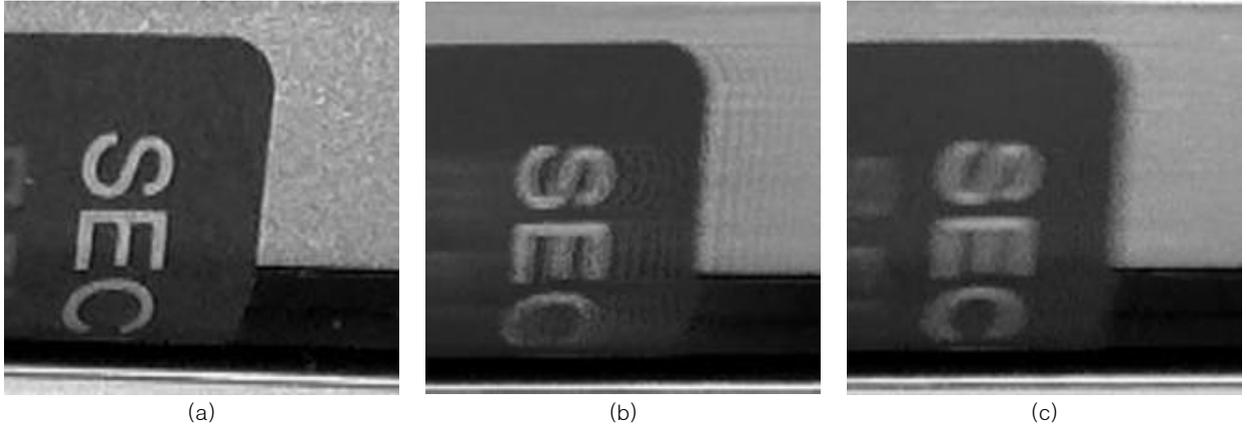


Fig. 2. Afterimage effect compensation by average filter (a) stop image (b) motion image with afterimage effect (c) compensated motion image

이 때 가중치 G 는 Fig. 1의 그래프와 같이 전 프레임과 입력 프레임의 신호 차에 따라 결정된다. 움직이는 자동차와 같이 신호 차가 큰 경우 현재 프레임의 가중치를 높여 영상을 변화시키고 잡음과 같이 작은 신호 차는 전 프레임의 가중치를 높여 변화를 줄여주는 방식으로 잡음을 감소시킨다. 대기난류에 의한 영상의 흔들림 역시 전 프레임과 현재 프레임의 신호 차로 나타나기 때문에 이러한 방식으로 보정이 가능하지만 영상 내 잡음에 비해 신호 차가 크게 나타나므로 그래프에서 현재 프레임과 전 프레임간의 신호 차를 나타내는 x축의 값을 높여 주어야 흔들림이 줄어들게 된다. 그러나 프레임 간 신호 차가 큰 경우에도 전 프레임의 가중치가 증가되면 Fig. 2(b)와 같이 움직이는 물체의 궤적을 따라 전 프레임의 잔상이 생길 수 있다. 이 현상을 줄여주기 위해 전 프레임과 입력 프레임의 차이 값 $Y_{in} - Y_{prev}$ 에 average filter를 적용하면 영상 내 신호 차의 편차가 줄어들어 Fig. 2(c)와 같이 움직이는 물체의 잔상이 부드럽게 연결되는 자연스러운 영상을 얻게 된다.

2. Thermal Blurring Compensation

RGB영상에서 대기 중의 연무(haze), 안개(fog) 등의 영향으로 가려진 정보를 복원하기 위해 사용하는 Haze Removal(HR) 기법은 식(2)와 같이 센서에서 출력되는 영상 I , haze가 없는 원 영상 J , 대기산란광, 즉 airlight A , 대기투과율(transmission) t 로 나타낼 수 있다.

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (2)$$

이 HR 기법은 또한 흑백영상에도 적용이 가능하여 열 번짐 효과가 나타난 적외선 영상의 보정을 위하여 사용할 수 있다. Dark channel prior 방법을 사용한 HR 기법[11]은 영상 내의 그림자 또는 색이 화려하거나 어두운 물체의 RGB 채널 중 적어도 하나의 값이 매우 작거나 거의 0에 가깝다는 특성을 이용하여 대기투과율을 얻는다. 마찬가지로 흑백영상의 단일 채널 중 어두운 부분, 즉 적외선 영상에서는 온도 분포가 낮은 영역

에 대한 dark channel을 식(3)으로 구하여 투과율을 계산한다.

$$I^{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)}(I(y)) \quad (3)$$

I 는 출력영상, I^{dark} 는 dark channel, $\Omega(x)$ 는 x 를 중심으로 하는 kernel로 minimum 값을 계산하기 위한 영역을 나타낸다.

대기 중 존재하는 입자들에 의해 주변 빛이 반사되어 센서로 입사하는 대기산란광 A 는 더 먼 장거리를 촬영할수록 길어지기 때문에 dark channel에서도 높은 값을 갖는다. 그러나 RGB 영상의 경우 흰색 물체, 적외선 영상에서는 온도가 높은 물체의 dark channel이 대기산란광보다 더 높게 나타날 수 있기 때문에 식 (4), (5)에서와 같이 dark channel의 maximum 값 A^{dark} 의 영상 내 위치 (s, t) 에 대응하는 입력영상 $I(s, t)$ 에 correction parameter σ 를 곱하여 A 를 계산한다[12].

$$A^{dark} = \max_{(i, j) \in I}(I^{dark}(i, j)) \quad (4)$$

$$A = \sigma \times (I(s, t)) \quad (5)$$

He[11]는 대기투과율 t 가 영상의 작은 영역에서 동일한 값을 갖는다고 가정하여 투과율을 계산하였다. 그러나 실제 환경에서 투과율은 일정한 어떤 영역에 대하여 항상 일정하지 않기 때문에 결과영상의 edge 부분에 halo 현상이 나타나게 된다. 이를 보정하기 위해 수행하는 soft matting 방법으로는 Guided Image Filtering(GIF)[13]를 사용하였다. GIF는 Bilateral Filter(BF)[14]와 같은 윤곽선 보존 평탄화 필터(edge-preserving smoothing operator)로 BF의 spatial similarity σ_s , range similarity σ_r 과 유사한 filter size r , regularization parameter ϵ 를 사용하여 윤곽선 보존 및 평탄화 정도를 조절한다. He[13]는 논문에서 GIF를 이용한 HR 적용 예를 보여주고 있는데, edge 부분의 halo 현상을 최소화하

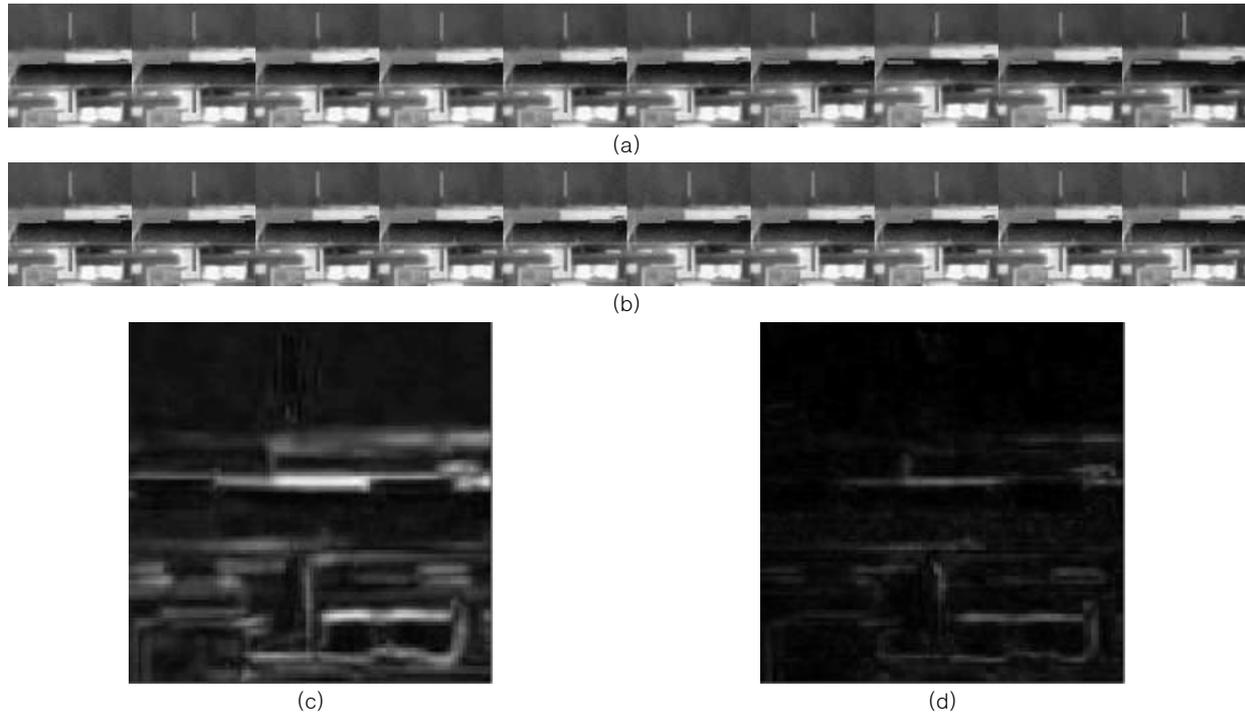


Fig. 3. Results of motion adaptive noise reduction (a) before application 10 images (b) after applying 10 images (c) standard deviation of before application images(min=1.25, max=67.82) (d) standard deviation of after applying images(min=0, max=29.03)

기 위해 강한 윤곽선은 보존하고 나머지 영역을 평탄화 시켜주기 위해서는 이 파라미터 r 과 ϵ 를 매우 큰 값으로 넣어주어야 한다. 그러나 filter size r 이 커지는 경우 FPGA의 연산량이 증가하여 수행시간이 늘어나기 때문에 Shiau[12]와 유사한 방식으로 식 (6)과 같이 t 를 구한다.

$$t = 1 - \omega \cdot K\left(\frac{I}{A}\right) \quad (6)$$

$K(\cdot)$ 는 GIF를 의미하며 A 를 이용해 normalization된 영상 I 에 대하여 직접 soft matting을 수행하여 윤곽선이 보존된 투과율 t 를 구할 수 있도록 한다. ω 는 영상의 자연스러움과 depth를 유지하기 위한 작은 양의 haze를 남겨두기 위해 적용한다.

열 번짐 현상이 나타난 적외선 영상의 보정을 위하여 식 (7)에서는 식 (2)를 원 영상 J 에 대한 식으로 변경하여 앞에서 구한 A , t 를 대입한다. 이 때 t 가 아주 작은 값인 경우 복원되는 영상 J 가 잡음만 있는 영상으로 될 수 있기 때문에 t_0 라고 하는 경계값을 적용한다.

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (7)$$

3. Adaptive Contrast Enhancement

앞 절에서 열 번짐 효과가 제거된 영상 J 는 대기산란광이

제거되어 출력영상 I 보다 어두운 영상으로 얻어지게 되며, 따라서 개선된 영상을 얻기 위한 적절한 대조비 처리가 요구된다. Lee와 본 저자가 제안한 개선된 DRC 기법[11]은 GIF를 통해 base layer와 detail layer로 나뉜 영상을 각각 적응적 히스토그램 투영 기법과 detail enhancement 기법을 적용하여 더한 후 normalization 과정을 통한 8bit rearranging[13] 과정을 수행하게 된다.

영상에 밝은 물체가 나타나거나 변화가 있는 경우 현재 프레임의 히스토그램은 전 프레임과 큰 차이가 생기게 되고 이것이 영상 전체의 flickering 현상으로 나타난다. 대조비 처리 과정에서 사용되는 모든 상수값, 즉 영상의 최소값, 최대값, 평균, 표준편차 등은 전 프레임의 정보를 이용하여 현재 프레임을 계산하기 때문에 영상의 갑작스러운 변화를 줄여주기 위해서는 이러한 값들이 전 프레임과 크게 차이가 생기지 않도록 조절해 주어야 한다. 따라서 각 상수값마다 threshold와 gain을 적용하여 전 프레임과 현재 프레임의 차이가 threshold 이상일 경우 gain을 통해 전 프레임의 가중치를 높여 영상 변화를 줄여준다. 특히 8bit rearranging 과정에서 사용되는 최소값은 출력영상의 히스토그램에 가장 많은 영향을 미친다. 이 값은 detail layer의 최소값으로 영상 내 edge에 의한 차이보다 잡음에 의한 차이가 대부분 크게 나타나기 때문에 히스토그램의 일정 %를 제외한 후 threshold와 gain을 적용하면 더욱 안정된 영상을 얻을 수 있다.

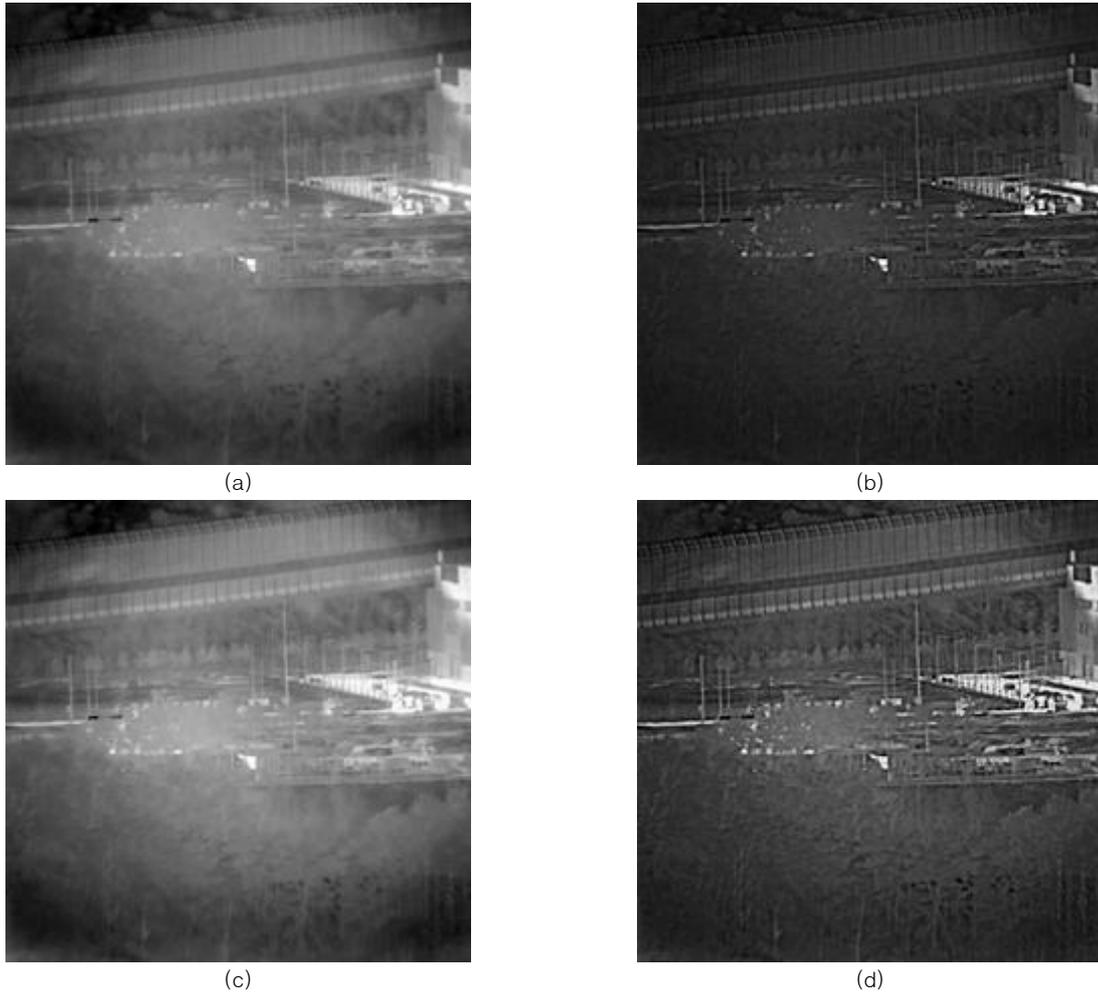


Fig. 4. Results of thermal blurring compensation and adaptive contrast enhancement (a) before thermal blurring compensation and linear stretching (b) after thermal blurring compensation and linear stretching (c) before thermal blurring compensation and adaptive contrast enhancement (d) after thermal blurring compensation and adaptive contrast enhancement

IV. Results Analysis

항공용 고해상도 적외선 영상장비 관측성능 향상 기법은 실제 장비에서 촬영된 1024x1024 크기의 14bit raw 적외선 영상으로 효과를 분석하였다. Fig. 3의 (a), (b)는 대기난류에 의해 화면이 왜곡되어 흔들리는 영상에 대해 Motion Adaptive Noise Reduction 기법을 적용하기 전, 후 영상 10장을 20Hz 간격으로 일부분(100x100)을 비교한 것이다. (a)의 경우에 가운데 십자 망선을 기준으로 배경이 움직이는 것을 볼 수 있으며 (b)의 경우 비교적 배경의 움직임이 나타나지 않았다. 수치적인 비교를 위해 영상의 각 픽셀에 대한 10장의 표준편차를 Fig. 3(c), (d)에 구하였다. (c)에서는 영상 내 edge에 대해 변화하는 픽셀 값에 의해 최소값 1.25, 최대값 67.82로 분포하며 (d)에서는 보정되어 최소값 0, 최대값 29.03으로 대기난류에 의한 영상의 흔들림이 완화된 것을 볼 수 있다.

Fig. 4에서 각 열은 열 번짐 효과 보정을 위한 thermal blurring compensation 기법 적용 전, 후를 나타내고 행은

linear stretching과 adaptive contrast enhancement를 각각 보여주고 있다. (a)와 (c)는 열 번짐 효과로 영상 중앙의 신호가 올라가 대조비 처리 시 상대적으로 가장자리가 어두워지는 것을 볼 수 있다. 이를 thermal blurring compensation을 통해 보정하면 (b)와 (d)에서처럼 전체적으로 균일한 영상을 얻을 수 있는데 adaptive contrast enhancement를 적용한 영상 (d)가 linear stretching을 적용한 영상 (b)보다 어두운 영역의 대조비가 살아나고 detail 성분이 강조된 것을 볼 수 있다. 더 자세한 결과 비교를 위하여 Fig. 5에서 영상의 우측 상단 400x400 영역을 확대하였다. Thermal blurring compensation 전, 후 영상 (a)와 (b), (c)와 (d)를 각각 비교했을 때 확실히 detail이 강조되었으며 특히 보정 전 영상 (a)와 (c)를 비교했을 때 크게 차이가 나타나지 않던 대조비 처리가 보정 후 영상 (b)와 (d) 사이에서는 linear stretching 보다 adaptive contrast enhancement 결과에서 대조비와 detail이 더 살아난 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6는 대조비 처리에 의한 영상의 flickering 효과 감소

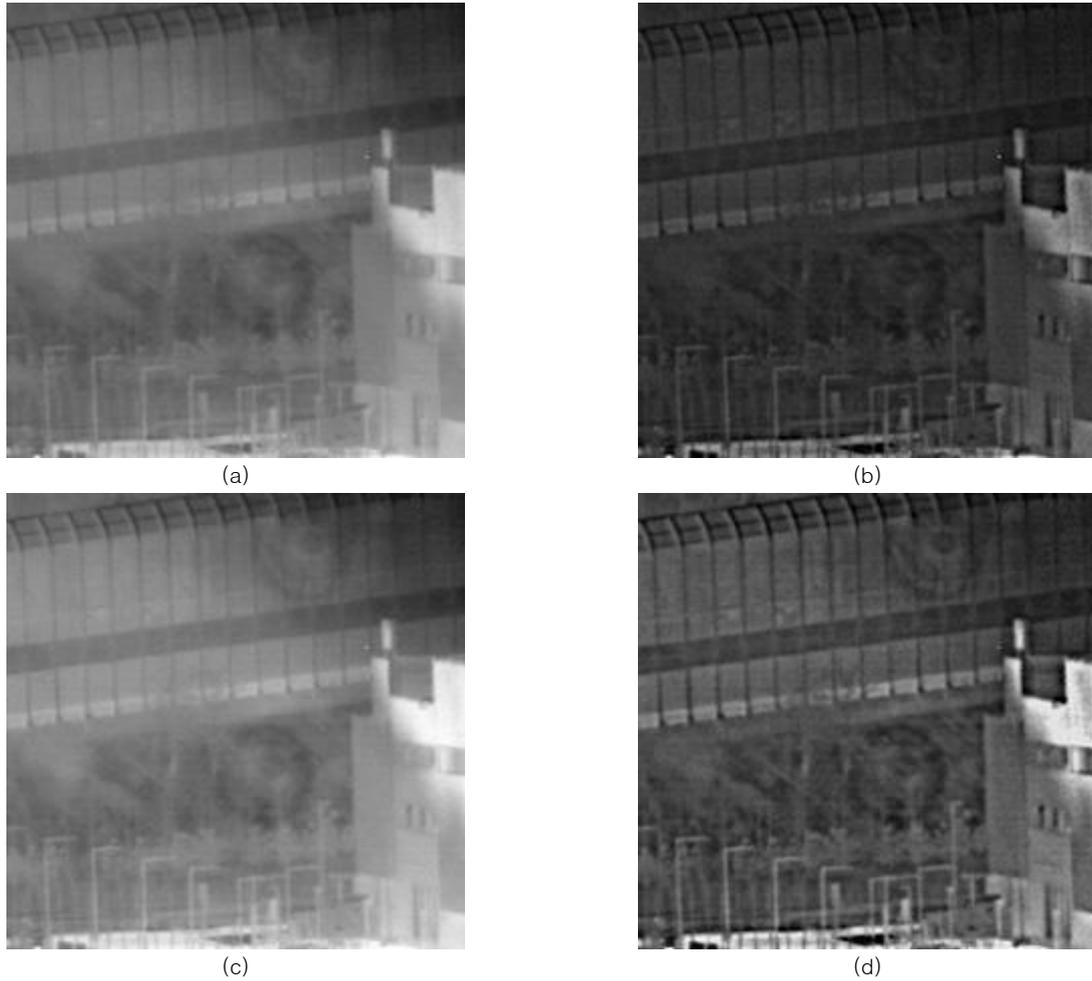


Fig. 5. Results of thermal blurring compensation and adaptive contrast enhancement of expanded frame (a) before thermal blurring compensation and linear stretching (b) after thermal blurring compensation and linear stretching (c) before thermal blurring compensation and adaptive contrast enhancement (d) after thermal blurring compensation and adaptive contrast enhancement

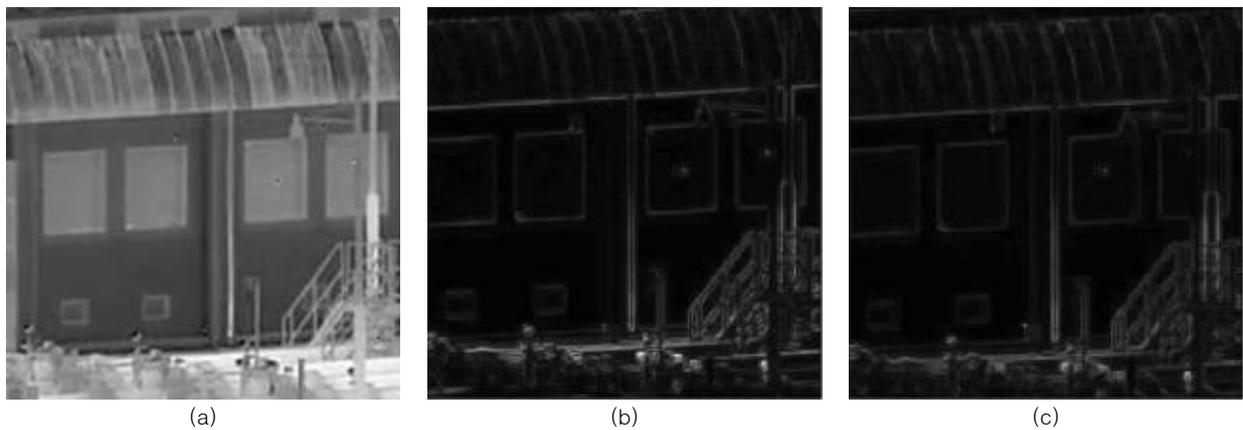


Fig. 6. Results of flickering correction (a) image of artificial facility (b) standard deviation of before application images(min=1.26, max=65.13) (c) standard deviation of after applying images(min=1.25, max=46.66)

결과 비교를 위하여 최대한 영상 내 변화가 없는 인공시설물 (a)를 촬영한 후 약 20초의 30Hz 영상 600장에 대해 변화를 비교하였다. 전 프레임의 가중치 적용 전, 후 영상의 각 픽셀에 대한 표준편차를 구한 결과 (b), (c)에서와 같이 영상의 변화가

줄어드는 것을 확인할 수 있었으며 특히 edge 부분이 많이 안정되는 것을 볼 수 있다.

V. Conclusions

본 논문에서는 항공용 고해상도 적외선 영상장비의 표적정보 획득능력 향상을 위해 장거리 감시정찰 임무에서 나타나는 문제점 해결을 위한 기법을 설계하고 구현을 통한 적용가능성 및 성능을 확인하였다.

적외선 영상의 경우 일반 가시광에 비해 대기 굴절률 변화에 의한 파면왜곡이 적게 일어나지만 장거리 관측 시 커지는 대기 난류의 영향은 입사하는 파면의 왜곡을 일으켜 영상의 흔들림을 나타내게 된다. 또한 장시간의 감시정찰 임무에 따른 장비의 운용은 불균일 보정 성능 저하를 일으켜 열 번짐 효과로 인한 영상품질 저하를 일으킨다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 먼저 Motion Adaptive Noise Reduction을 적용하여 전 프레임의 가중치를 이용한 영상 내 움직임 보상을 통해 영상의 흔들림을 보정하였고, RGB영상에서 사용되는 dehazing 기법을 적외선 영상에 적용하여 열 번짐 효과가 제거된 균일한 영상을 확보하였다. 마지막으로 adaptive contrast enhancement 기법을 사용하여 대조비 개선 및 윤곽선 강조를 통해 영상 내 표적 정보 획득성능 향상 효과를 확인하였다.

REFERENCES

- [1] D. L. Perry and E. L. Dereniak, "Linear theory of nonuniformity correction in infrared staring sensors," *Optical Engineering*, Vol. 32, No. 8, pp. 1854-1859, August 1993.
- [2] W. Gross, T. Hierl, and M. Schulz, "Correctability and long-term stability of infrared focal plane arrays," *Optical Engineering*, Vol. 38, No. 5, pp. 862-869, May 1999.
- [3] L. Shkedy et al., "Megapixel digital InSb detector for midwave infrared imaging," *Optical Engineering*, Vol. 50, No. 6, 061008, June 2011.
- [4] J. Kim et al., "Regularization approach to scene-based nonuniformity correction," *Optical Engineering*, Vol. 53, No. 3, 053105, May 2014.
- [5] C. Zhang and W. Zhao, "Scene-based nonuniformity correction using local constant statistics," *JOSA A*, Vol. 25, No. 6, pp.1444-1453, June 2008.
- [6] D. Lee, H. Yang, "Adaptive Histogram Projection and Detail Enhancement for the Visualization of High Dynamic Range Infrared Images," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol. 21, No.11, pp. 23-30, November 2016.
- [7] N. Liu, D. Zhao, "Detail enhancement for high-dynamic-range infrared images based on guided image filter," *Infrared Physics & Technology*, Vol. 67, pp. 138-147, July 2014.
- [8] F. Garcia, C. Schockaert, and B. Mirbach, "Real-Time Visualization of High-Dynamic-Range Infrared Images based on Human Perception Characteristics," *International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, March 2015.
- [9] F. Garcia, C. Schockaert, and B. Mirbach, "Noise Removal and Real-Time Detail Enhancement of High-Dynamic-Range Infrared Images with Time Consistency," *International Conference on Quality Control by Artificial Vision*, June 2015.
- [10] LogiCORE IP Motion Adaptive Noise Reduction v6.1 Product Guide, <http://www.xilinx.com>
- [11] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Single Image Haze Removal Using Dark channel Prior," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 33, No. 12, December 2011.
- [12] Y. Shiau et al., "Hardware Implementation of a Fast and Efficient Haze Removal Method," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 23, No. 8, August 2013.
- [13] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Guided Image Filtering," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 35, No. 6, June 2013.
- [14] C. Tomasi, R. Manduchi, "Bilateral Filtering for Gray and Color Images," *IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 839-846, January 1998.
- [15] C. Zuo et al., "Display and detail enhancement for high-dynamic-range infrared images," *Optical Engineering*, Vol. 50, No. 12, 127401, November 2011.

Authors



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.