

Scene-based Nonuniformity Correction Complemented by Block Reweighting and Global Offset Initialization

Yong-hee Hong*, Keun-Jae Lee**, Hong-Rak Kim***, Ho-Jin Jhee****

Abstract

In this paper, the block reweighting and global offset initialization methods are proposed to complement the improved IRLMS algorithm which is the effective algorithm in registration based SBNUC algorithm. Proposed block weighting method reweights the error map whose abnormal data are excluded. The global offset initialization method compensates the global nonuniformity initially. The ordinary registration based SBNUC algorithm is hard to compensate global nonuniformity because of low scene motion. We employ the proposed methods to improved IRLMS algorithm, and apply it to real-world infrared raw image stream. The result shows that new implementation provides 3.5~4.0dB higher PSNR and convergence speed 1.5 faster than the improved IRLMS algorithm.

▶Keyword: FPA, FPN, improved IRLMS, infrared, registration, scene based nonuniformity correction

1. Introduction

현재 의료, 군사, 과학 등 여러 분야에 적용되고 있는 적외선 센서는 초점평면배열(Focal Plane Array, FPA)를 이용하여 물체의 적외선 방사에너지를 감지한다[1]. 적외선용 FPA는 제조 과정에서 발생하는 불균일로 인해 각 소자마다 다른 gain과 offset이 발생한다. 이때문에 고정패턴잡음(Fixed Pattern Noise, FPN)이 나타난다. 이를 보정하기 위한 방법으로 흑체를 이용한 교정 기반 불균일보정(CBNUC)과 FPA에 맺히는 영상을 이용한 영상 기반 불균일보정(SBNUC)으로 나눌 수 있다.

CBNUC는 흑체와 같은 보정장비를 이용하여 gain과 offset을 획득 및 적용하는 방법으로 서로 다른 두 온도의 흑체를 이용하여 FPA의 gain 및 offset을 보정하는 two point NUC가 주로 사용되고 있다[2]. CBNUC는 SBNUC에 비해 구현하기 쉬우며 정확한 보정테이블 획득이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 가정에 벗어난 주변 환경 변화에 대응하지 못하며, 불균일

보정 후 장시간 경과 시 발생하는 FPA변화로 인해 주기적으로 불균일보정을 해주어야 한다. 또한 전원인가 후 FPA에서 발생하는 온도 드리프트 현상에 대응하기 어려운 단점이 있다[3]. 이를 극복하기 위해 셔터보정을 수행한다. 이 경우 셔터가 주기적으로 영상을 가리게 되어 연속 영상획득이 불가능하다.

SBNUC는 FPA에 맺히는 영상을 기반으로 FPA의 gain 및 offset을 획득 및 적용하는 방법으로 불균일보정을 위한 흑체와 같은 보정장비가 필요 없다. 영상을 기반으로 하기 때문에 FPA 및 주변 변화에 대응하기 위한 셔터보정이 필요 없어 끊임없이 연속적인 영상 획득이 가능한 장점이 있다. 하지만 CBNUC에 비해 구현이 복잡하고 어려우며 높은 연산량이 필요하며 정확한 보정 테이블 획득이 힘든 단점이 있다.

SBNUC는 크게 통계 기반(Statistics based) SBNUC와 정합 기반(Registration based) SBNUC로 나눌 수 있다. 통계 기

*First Author: Yong-Hee Hong. Corresponding Author: Ho-Jin Jhee

*Yong-Hee Hong (yonghee.hong@lignex1.com), LIG Nex1

**Keun-Jae Lee (lee.keunjae@lignex1.com), LIG Nex1

***Hong-Rak Kim (hongrak.kim@lignex1.com), LIG Nex1

****Ho-Jin Jhee (hojin.jhee@lignex1.com), LIG Nex1

Received: 2017. 04. 13, Revised: 2017. 05. 24, Accepted: 2017. 06. 18.

This work was funded by the Critical Technology R&D Program through the Defense Industry Technology Center and the Institute of Civil Military Technology Cooperation.

반 SBNUC는 검출기 소자 단위에서 출력이 scene의 방사에 의해서는 변하지만 FPN에 의해서는 변하지 않는 점을 확률적으로 gain과 offset을 추정하여 적용한다. 통계 기반 SBNUC는 정합 기반 SBNUC에 비해 상대적으로 적은 연산량과 메모리가 요구되어 실시간 적용에 유리하다. 하지만 극단적인 모션과 장면면에 민감하며, 느린 수렴속도를 가지고 있다. 이러한 느린 수렴 속도를 극복하기 위해 학습율을 높일 경우 고스트 현상이 발생하기 쉬운 단점이 있다[4-6]. 정합 기반 SBNUC는 프레임 간 scene이 동일하다는 가정을 이용한 방법으로 카메라 모션으로 scene 이동이 발생하였을 때 같은 scene을 서로 다른 소자가 신호를 감지 시 발생하는 두 소자 간의 신호 차이를 gain 및 offset 추정하여 적용한다. 정합 기반 SBNUC는 통계 기반 SBNUC에 비해 상대적으로 많은 연산량과 메모리가 요구되어 실시간 구현이 확률 기반 SBNUC에 비해 어려운 단점이 있다. 하지만 확률 기반 SBNUC에 비해 빠른 수렴속도와 고스팅 현상이 거의 발생하지 않는 장점이 있다[7-10].

확률 및 정합 기반 SBNUC 알고리즘 이외에도 신경망을 이용한 방법과[11], 두 프레임만을 이용한 two frame NUC(TFNUC)도 있으며[12], column 단위로 midway equalization을 적용하여 한 프레임만으로 NUC가 가능한 알고리즘이 있다[13]. 그리고 정규화 기법을 통해 수 프레임만으로 효과적으로 NUC를 수행하는 알고리즘이 있다[14].

본 논문은 II장에서 SBNUC의 해외 및 국내 동향을 조사하였다. III장에서 기존 정합 기반 SBNUC 알고리즘 중 간단하고 효율 좋은 improved IRLMS 알고리즘을 기술하였다. IV장에서는 기존 improved IRLMS 알고리즘을 보완한 방법과 결과를 기술한다. V장에서는 결론 및 향후 연구방향을 다룬다.

II. Preliminaries

1. Related works

1.1 Overseas Research Trends

확률 기반 계열 SBNUC 알고리즘 동향은 다음과 같다. Hardi의 gated adaptive LMS 알고리즘은 확률 기반 SBNUC의 고스팅 현상 방지를 위해 적응형 게이팅을 적용하였다[4]. Harris는 고스팅 현상 감소를 위해 constant stastics(CS) 알고리즘에 간단한 평균 및 분산 문턱 값을 기준 초과 시 업데이트 하는 방법을 사용하였다[5]. Geng은 가우시안 필터를 조합한 temporal median filter를 적용한 med-CS로 고스팅 현상을 효율적으로 제거하며 불균일보정 성능을 향상시켰다[6].

정합 기반 계열 SBNUC 알고리즘 동향은 다음과 같다. Hardi의 motion compensated average(MCA) 알고리즘은 프레임을 일정 수 수집하고 정합을 하여 평균을 취하여 이용하는 방법으로 프레임 획득 시간 동안 NUC 진행이 불가능한 단점이 있다[7]. Zuo의 IRLMS 알고리즘은 프레임 간 정합하여 error

를 구하고 이에 LMS 알고리즘을 사용하여 불균일보정 테이블을 구하였다[8]. 이 방식은 MCA와 달리 프레임 획득과 동시에 불균일보정 테이블 추정 및 보정이 가능하나 프레임 단위로만 업데이트를 하여 낮은 수렴속도와 낮은 화질을 보이는 단점이 있다. 이러한 단점들은 improved IRLMS 알고리즘에서 마스크 위상 상관 정합, 비정상 데이터 제외, 가변 학습률을 추가하여 개선하였다[9]. Zeng은 row 및 column 프로젝션을 이용하여 효과적으로 모션 이동량을 추정하였으며 로컬 모션을 제거하여 고스팅 현상을 대부분 제거하였다[10].

1.2 Domestic Research Trends

SBNUC 국내 동향은 다음과 같다. 이종호는 프레임 간의 업데이트만 사용하는 기존 IRLMS에 프레임 내 업데이트를 도입하여 최적화하였으며, 프레임 내 업데이트를 안정적으로 수행하기 위해 meaningless residual removal(MRR)를 사용하고, 프레임 내 업데이트 시 residual의 pair matching을 위해 anti-propagation masking으로 overlap되지 않은 영역을 제외시키는 방법으로 기존 IRLMS 보다 빠른 수렴속도와 화질을 개선하였다[15]. 김성민은 기존 칼만 필터 방식이 단방향 위평을 이용하고 offset만을 보상하는 알고리즘을 양방향 위평과 gain과 offset을 결합 보정하여 영상경계 부근의 FPN을 효과적으로 제거하고 gain을 보정하지 못해 발생된 왜곡을 줄였다[16].

III. Improved IRLMS

1. Non-Uniformity Correction Model

적외선 방식과 검출기 출력 관계 기본 모델을 식(1)과 같이 정의할 수 있다[17].

$$Y_n(i, j) = g_n(i, j) \cdot X_n(i, j) + o_n(i, j) \quad (1)$$

$g_n(i, j)$ 은 n번째 프레임의 gain, $o_n(i, j)$ 은 n번째 프레임의 offset, $X_n(i, j)$ 은 n번째 프레임의 실제 방사 받은 적외선량, $Y_n(i, j)$ 은 n번째 프레임에서 적외선 센서에서 출력된 전압 값이다.

NUC는 $X_n(i, j)$ 을 추정하기 위해 적외선 센서 출력 $Y_n(i, j)$ 을 이용하므로 식(2)와 같이 변환하여 사용한다.

$$X_n(i, j) = w_n(i, j) \cdot Y_n(i, j) + b_n(i, j) \quad (2)$$

$$w_n(i, j) = \frac{1}{g_n(i, j)} \quad (3)$$

$$b_n(i, j) = -\frac{o_n(i, j)}{g_n(i, j)} \quad (4)$$

식(3)은 $w_n(i, j)$ 과 $g_n(i, j)$ 의 관계를 나타내고 있으며, 식(4)는 $b_n(i, j)$ 과 $o_n(i, j)$ 및 $g_n(i, j)$ 의 관계를 나타내고 있다.

2. Motion Estimation

인접한 두 프레임 사이의 모션량은 식(5)(6)의 normalized cross-power spectrum의 피크점 위치를 이용하여 추정할 수 있다.

$$C(u, v) = \frac{\bar{Y}_n(u, v) \cdot \bar{Y}_{n-1}^*(u, v)}{|\bar{Y}_n(u, v) \cdot \bar{Y}_{n-1}^*(u, v)|} \quad (5)$$

$$(d_i, d_j) = \arg_{i, j} \max \text{Re}\{FFT^{-1}(C(u, v))\} \quad (6)$$

(u, v) 는 푸리에 좌표, \bar{Y} 는 푸리에 변환된 센서 측정 영상, n 은 현재 프레임, $n-1$ 은 이전 프레임, $*$ 는 켈레복소수, $||$ 은 L2-norm, $C(u, v)$ 은 normalized cross-power spectrum 결과, FFT^{-1} 은 푸리에 역변환, (d_i, d_j) 은 모션량을 나타낸다.

3. Masked Phase Correlation Registration

Normalized cross-power spectrum 결과에서 (0, 0) 좌표에 강한 신호가 발생하는데 이는 FPN에 의해 발생하는 신호로 이를 마스킹 처리하여 모션에 의해 발생하는 신호만 남겨 모션 추정에 사용한다. 그림 1은 FPN과 모션에 의해서 normalized cross-power spectrum에 발생하는 두 피크 신호 중 FPN에 의해 발생하는 피크 신호를 제거하는 과정을 보여준다. Normalized cross-power spectrum (0, 0) 좌표에 나타나는 피크 신호는 움직임이 없는 FPN에 의해 발생된 것이다. 카메라 모션 추정에 방해가 되기 때문에 마스킹 처리하여 신호를 제거한다. (0, 0) 이외 좌표에 나타나는 피크 신호는 카메라 모션에 의한 scene의 이동 영향으로 발생된 것으로 이 피크 신호 위치로 카메라 모션량 및 방향을 알 수 있다.

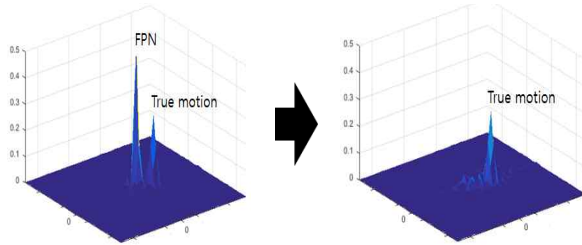


Fig. 1. Masked phase correlation registration.

또한 모션이 발생하여 피크 신호가 0.05를 넘겨 정합이 일정 정확성 이상 일어난 경우에만 업데이트를 진행하여 수렴 속도 및 보정영상 품질을 개선한다.

4. Non-Uniformity Correction

인접한 두 프레임 간 scene 밝기가 동일하다고 가정하였기

때문에 불균일보정 시 인접한 두 프레임의 신호차이를 이용한다. 인접한 두 프레임 간의 신호 차이는 식(7)과 같이 모션 보정된 이전 프레임과 현재 프레임과의 차이를 이용하여 구한다.

$$e_n(i, j) = \hat{X}_{n-1}(i-d_i, j-d_j) - \hat{X}_n(i, j) \quad (7)$$

$e_n(i, j)$ 는 이전 프레임과 현재 프레임의 신호 차이 에러, $\hat{X}_{n-1}(i-d_i, j-d_j)$ 은 불균일보정 및 모션보상된 이전 프레임, $\hat{X}_n(i, j)$ 은 불균일보정된 현재 프레임을 나타낸다.

$$\hat{X}_{n-1}(i-d_i, j-d_j) = w_{n-1}(i-d_i, j-d_j) \cdot Y_{n-1}(i-d_i, j-d_j) + b_{n-1}(i-d_i, j-d_j) \quad (8)$$

$$\hat{X}_n(i, j) = w_{n-1}(i, j) \cdot Y_n(i, j) + b_n(i, j) \quad (9)$$

$\hat{X}_{n-1}(i-d_i, j-d_j)$ 과 $\hat{X}_n(i, j)$ 는 식(8)(9)와 같이 불균일보정 및 모션보상으로 표현된다.

$$w_{n+1}(i, j) = \begin{cases} w_n(i, j) + \alpha \cdot e_n(i, j) \cdot Y_n(i, j) \\ w_n(i, j) \end{cases} \quad (10)$$

$$b_{n+1}(i, j) = \begin{cases} b_n(i, j) + \alpha \cdot e_n(i, j) \\ b_n(i, j) \end{cases} \quad (11)$$

수정된 gain w 와 offset b 는 식(10)(11)과 같이 모션 이동이 발생하여 신호 차이 에러 발생 시 이전 프레임과 현재 프레임이 겹쳐진 영역에 신호 차이 에러와 학습률 α 를 반영하여 업데이트 하며, 겹쳐지지 않은 영역은 이전 그대로 수정된 gain과 offset을 업데이트한다. 그림 2는 이전 프레임을 모션 보상하여 현재 프레임과 겹치는 과정을 도식화하였다.

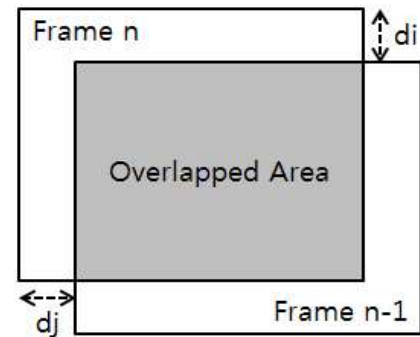


Fig. 2. Schematic diagram of the overlay of two frames.

5. Exclude the Abnormal Data

인접한 두 프레임 정합 시 로컬 모션, 모션 블러, 완전하지

않은 정합 과정 등으로 인해 신호 차이 에러 $e_n(i, j)$ 가 불완전하게 형성되어 최종 보정 결과에 영향을 미치게 된다.

이를 방지하기 위해 식(12)와 같이 신호 차이 에러 값이 표준편차에 3배 이상일 경우 0으로 처리하여 업데이트가 되지 않도록 하여 비정상 데이터를 제거한다.

$$e'_n(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{when } |e_n(i, j) - \mu_n| \geq 3\sigma_n \\ e_n(i, j) & \text{when } |e_n(i, j) - \mu_n| < 3\sigma_n \end{cases} \quad (12)$$

$e'_n(i, j)$ 는 비정상 데이터 제거 후 생성된 신호 차이 에러, μ_n 은 신호 차이 에러의 평균, σ_n 은 신호 차이 에러의 표준편차를 나타낸다.

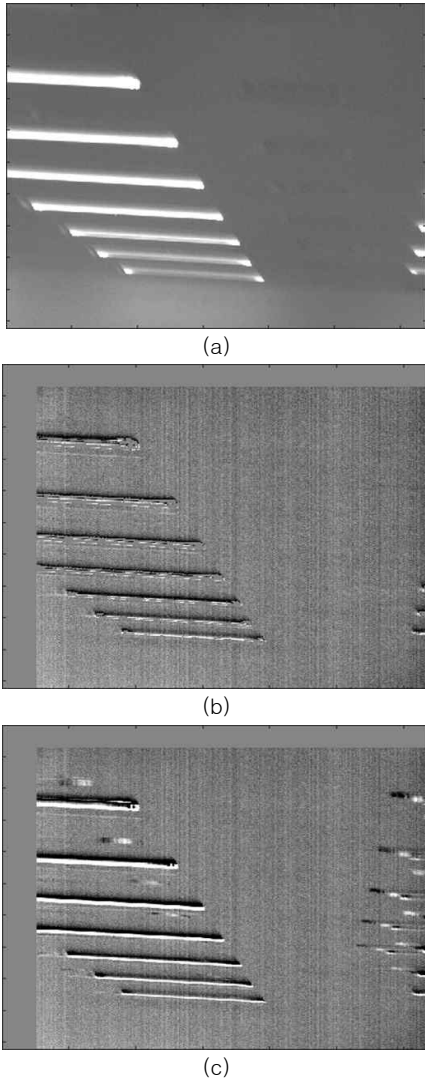


Fig. 3. Exclude the abnormal data from error. (a) is current frame, (b) is the abnormal data excluded error, (c) is the normal error

그림 3은 평균과 표준편차를 이용하여 신호 차이 에러를 보정하는 예를 보여준다. (a)는 현재 프레임으로 실내 천정의 밝

은 형광등 배열을 보여주고 있다. (b)와 (c)는 현재 프레임을 기준으로 인접한 두 프레임으로 생성한 신호 차이 에러이다. (b)는 밝은 형광등으로 인해 발생한 비정상 데이터가 제거된 결과이다. (c)는 비정상 데이터가 제거되지 않은 기존 improved IRLMS의 신호 차이 에러 결과이며 밝은 형광등으로 (b)에 비해 많은 왜곡이 발생되고 있음을 알 수 있다.

6. Variable Learning Rate

인접한 두 프레임의 정합이 정확히 잘 이루어졌을 경우 정확한 신호 차이 에러가 형성된다. 정확히 생성된 신호 차이 에러를 정합 정도에 따라 활용할 경우 수렴속도와 최종 보정 영상 품질을 올릴 수 있다. 이를 위해 정합의 정확성을 모션에 의해 발생한 normalized cross-power spectrum 피크값을 학습률과 연동하여 업데이트한다. Normalized cross-power spectrum 피크값이 높을수록 정합이 정확히 이루어졌다고 판단할 수 있으며 식(13)과 같이 기존 학습률과 연동할 수 있다.

$$\alpha_n = a_{\max} \cdot c_{\max} \quad (13)$$

α_n 는 학습률, a_{\max} 는 최대 가변 크기, c_{\max} 는 모션에 의해 발생한 normalized cross-power spectrum의 피크값이다.

IV. The Proposed Scheme

1. Block Reweighting

인접한 두 프레임을 모션 보상으로 신호 차이 에러 생성 시 로컬 모션, 모션 블러, 완전하지 않은 정합 등으로 인해 발생하는 부분적 오류를 제거하기 위해 improved IRLMS 알고리즘은 신호 차이 에러에서 평균과 표준편차를 이용하여 식(12)와 같이 픽셀 단위로 평균에서 표준편차 대비 3배 이상 벗어날 경우 0으로 처리하여 제거하였다. 하지만 이 방법을 이용할 경우 픽셀 단위로 부분적 오류들이 완전히 제거되지 않아 잔상이 남는 현상이 있다. 잔상이 남는 현상을 줄이기 위해 표준편차 대비 3배 미만으로 기준을 더욱 엄격히 적용하여도 픽셀 단위로 잔상이 남으며 기준이 엄격해질수록 불균일보정 테이블 추정에 사용될 수 있는 픽셀 정보들도 다수가 제외되어 학습 속도가 느려지는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 기존 improved IRLMS 알고리즘의 잔상 문제를 더욱 억제하면서도 수렴 속도를 가속화할 수 있도록 블록 단위로 재평가하는 방법을 추가하여 개선하였다. 기존 improved IRLMS에서 생성된 신호 차이 에러를 블록 단위로 분할한다. 식(14)와 같이 각 블록의 표준편차와 모든 블록의 표준편차 평균과의 비율을 반영하여 각 블록 단위로 신호 차이 에러를 재평가한다. 이런 방법으로 신호 차이 에러에서 잔상이 발생되어 불균일보정 테이블 추정에 도움이 되지 못하는 부분

의 기여도를 줄이고 상대적으로 잔상이 없어 불균일보정 테이블 추정에도움이 되는 부분의 기여도를 높일 수 있다.

$$\alpha_{block\ n} = a_{max} \cdot c_{max} \cdot \frac{1}{\sigma_{block\ n}} \cdot \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k \sigma_{block\ n} \quad (14)$$

σ_{block} 은 각 블록의 표준편차, n 은 각각의 블록, k 는 전체 블록 개수를 나타낸다.

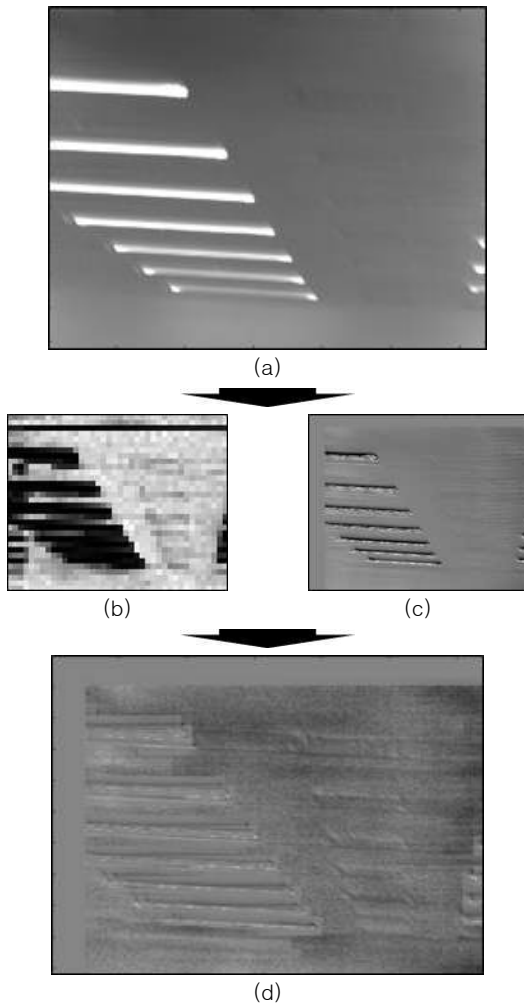


Fig. 4. Block error reweighting. (a) is current frame, (b) is the error of improved IRLMS, (c) is block reweighting, (d) is final result.

그림 4는 16×16 블록 단위로 신호 차이 에러를 재평가하는 과정의 예를 보여주고 있다. (a)는 현재 프레임으로 실내 천정의 형광등 배열을 촬영한 영상이다. (b)는 원본 프레임 기존 improved IRLMS 알고리즘에서 비정상 데이터를 제거시킨 신호 차이 에러이다. 주변 대비 급격히 밝아지는 형광등으로 인해 프레임 정합 후 형광등 주변에 픽셀 단위로 어둡고 밝은 잔상이 많이 남아 있는 모습을 볼 수 있다. (c)는 블록 단위로 기존 improved IRLMS 알고리즘의 신호 차이 에러를 재평가하는 비율을 영상으로 도식화한 것으로 어두운 블록은 기여도가 낮은

부분을 나타내며, 밝은 부분은 기여도가 높은 부분을 나타낸다. 형광등 주변 잔상이 많이 남아 있는 부분은 기여도가 낮은 것을 볼 수 있으며, 그 외 부분은 상대적으로 기여도가 높아진 것을 알 수 있다. (d)는 기존 improved IRLMS의 신호 차이 에러와 재평가 비율을 조합한 결과로 기존 잔상이 남아 불균일보정 테이블 추정에 방해되는 영역의 기여도를 감소시키고 이득이 되는 부분의 기여도를 증가 시킨 것을 알 수 있다. 이러한 방식은 잔상을 효과적으로 억제하면서도 수렴속도를 증가 시킨다.

2. Global Offset Initialization

정합 기반 SBNUC의 경우 인접한 두 프레임을 모션 보상하여 신호 차이 에러를 생성하여 이용한다. 하지만 이 경우 인접한 프레임 간의 모션을 이용하기 때문에 모션량이 보통 수 혹은 수십 픽셀로 제한된다. 이러한 이유로 특정 한 픽셀 기준으로 보통 수 혹은 수십 픽셀 반경의 픽셀 정보만 참조가 가능하다. 이러한 정합 기반 SBNUC의 한계로 인해 광역적인 offset은 보상이 이루어지지 않는다.

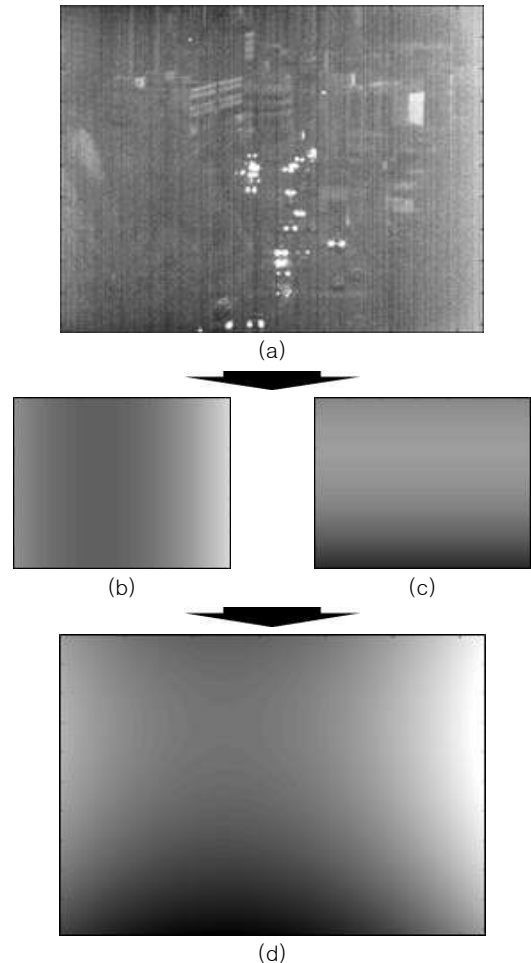


Fig. 5. Global offset initialization. (a) is initial frame, (b) is estimated row image, (c) is estimated column image, (d) is estimated image result.

본 논문에서는 이러한 정합 기반 SBNUC의 단점을 해결하

기 위해 offset을 전부 0으로 초기화하는 방식 대신 영상 정보를 바탕으로 식(15)(16)와 같이 2차 least mean square를 적용하여 생성한 offset으로 초기화 사용하여 보완하였다. 이 방법은 offset 초기화 시에만 적용되므로 운용 시 추가 시스템 리소스를 필요로 하지 않는 장점이 있다.

$$\hat{x}_{row} = (A_{row}^T A_{row})^{-1} A_{row}^T \mu_{row} \quad (15)$$

$$\hat{x}_{col} = (A_{col}^T A_{col})^{-1} A_{col}^T \mu_{col} \quad (16)$$

\hat{x}_{row} 와 \hat{x}_{col} 은 least mean square의 결과로 row와 column의 2차 방정식 계수, A_{row} 와 A_{col} 는 row와 column 순번의 0차 1차 2차 조합 배열, μ_{row} 와 μ_{col} 는 row와 column의 평균값 배열이다.

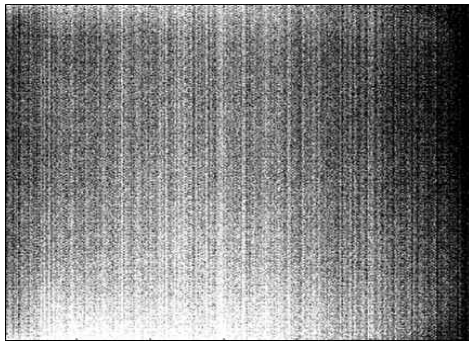
Least mean square의 결과 2차 방정식 계수 \hat{x}_{row} , \hat{x}_{col} 와 순번 조합 배열을 이용하여 식(17)(18)과 같이 row와 column의 평균을 추정한다. row 및 column의 추정 평균을 조합하여 식(19)와 같이 최종 추정 영상을 생성한다.

$$E_{row} = A_{row} \hat{x}_{row} \quad (17)$$

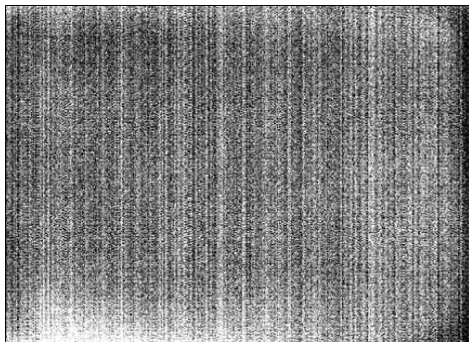
$$E_{col} = A_{col} \hat{x}_{col} \quad (18)$$

$$E_{image}(i, j) = \{E_{row}(i) + E_{col}(j)\} / 2 \quad (19)$$

E_{row} 와 E_{col} 은 row와 column의 추정 평균 배열, E_{image} 는 추정된 영상을 나타낸다.



(a)



(b)

Fig. 6. Results of the offset image after 300 updates. (a) is the global offset initialization applied offset result, (b) is the normal offset result.

광역 offset 초기화는 획득한 영상을 기반으로 row 및 column 단위로 평균을 취한 후 이를 2차 least mean square로 피팅 함수를 구한 후 이를 이용하여 기준 영상을 생성 후 이를 이용하여 초기 offset을 생성한다. 그림 5는 영상 정보를 기반으로 초기 offset을 생성을 위한 기준 영상 생성 과정을 보여준다. (a)는 초기 프레임이다. (b)와 (c)는 초기 프레임을 바탕으로 row 및 column 단위로 평균을 취한 후 2차 least mean square로 피팅하여 추정한 결과이다. (d)는 (b)와 (c)를 조합하여 최종 생성된 offset 생성용 기반 영상이다.

그림 6은 300회 불균일보정 업데이트 후 최종 생성된 offset을 비교한 영상이다. (a)는 광역 offset으로 초기화한 경우이고 (b)는 일반 offset으로 초기화한 경우이다. 광역 offset으로 초기화한 경우 프레임 전체 영역의 광역 특성이 반영되어 최종 offset이 생성되었음을 확인할 수 있다.

3. Structure of Algorithm

기존 improved IRLMS 알고리즘을 보완하기 위해 블록 단위 에러 재평가와 광역 offset 초기화 기법을 추가하였다. 그림 7은 본 논문에서 최종 제안하는 알고리즘 구조를 보여준다.

본 논문에서는 기존 IRLMS 알고리즘을 보완하기 위해 기존 알고리즘 구조에서 아래와 같이 기능을 추가하였다. 블록 단위 에러 재평가하기 위해 기존 IRLMS의 비정상 데이터 제거한 결과에 블록 단위 재평가를 수행할 수 있도록 비정상 데이터 출력 부분에 블록 단위 재평가 기능을 추가하였다. 광역 offset 초기화를 수행할 수 있도록 영상 입력 부분에 광역 offset 초기화 기능을 추가하였다.

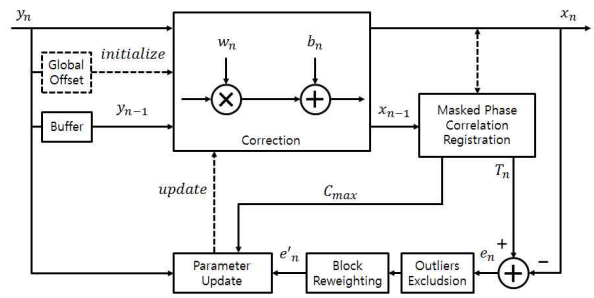


Fig. 7. Block diagram of the proposed SBNUC.

4. Results

본 논문에서 제안한 블록 단위 에러 재평가와 광역 오프셋 초기화 기법의 성능을 알아보기 위해 실제 IR 카메라를 이용하여 획득한 영상 데이터를 이용하였으며 알고리즘은 Matlab으로 구현하여 시험하였다. 시험에 이용된 카메라는 그림 8과 같이 Cardinal 640으로 SWIR(0.9~1.7μm) 파장을 감지하며, 640×512 해상도의 센서 모듈을 사용하였으며 상세 사양은 표 1과 같다.



Fig. 8. Cardinal 640.

Table 1. Cardinal 640 specifications.

PARAMETER	VALUE
Spectral Band	SWIR(0.9~1.7 μ m)
Array Format	640 \times 512
Pixel Pitch	15 μ m
Frame Rate	\leq 350Hz
Quantum Efficiency	> 80% at 1550nm
Ambient Operating Temp	-40~70 $^{\circ}$ C
FPA Power Dissipation	< 100mW @ 60 F/s

제안한 SBNUC와 기존 improved IRLMS SBNUC의 성능 차이 측정을 위해 두 영상 차이 측정 시 널리 사용되고 있는 peak signal-to-noise ratio(PSNR)을 이용하였으며 식(20)와 같이 정의된다.

$$PSNR = 20 \log \left(\frac{2^b - 1}{RMSE} \right) \quad (20)$$

b 는 영상에서 밝기를 표현할 수 있는 비트 단위로 14를 사용하였다. RMSE는 root mean square error로 식(21)과 같이 정의된다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i,j} \{x(i,j) - \hat{x}(i,j)\}^2} \quad (21)$$

$x(i,j)$ 는 true 영상으로 비교 기준이 되며, $\hat{x}(i,j)$ 는 불균일 보정된 영상으로 제안한 SBNUC와 improved IRLMS SBNUC를 적용한 결과를 사용한다.

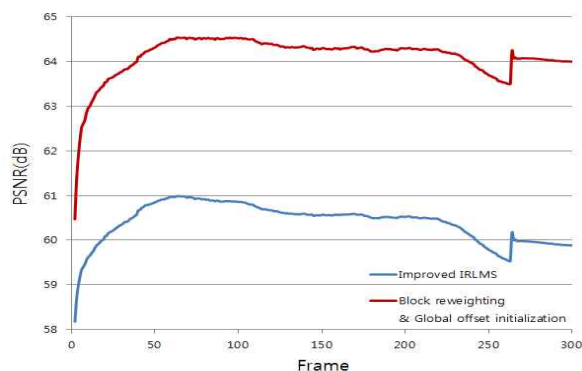
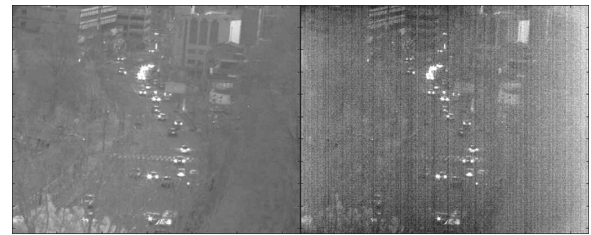
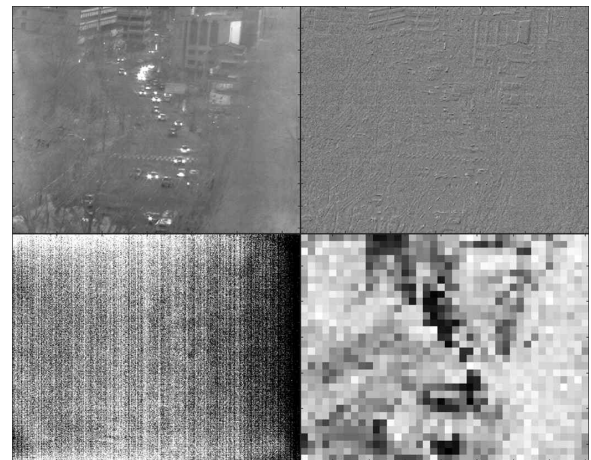


Fig. 9. PSNR result

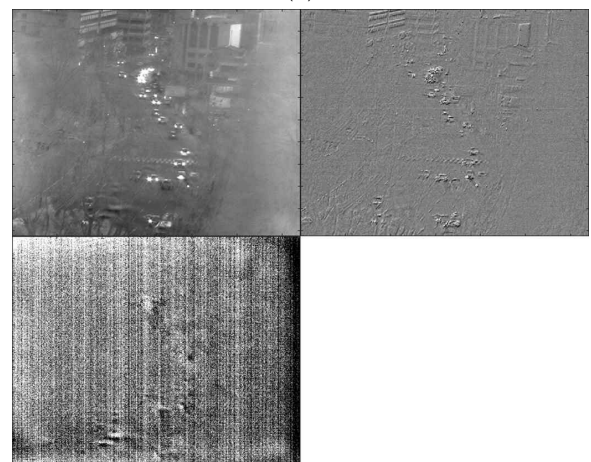
실험용 영상 데이터로 Cardinal 640을 이용하여 초당 60 프레임 속도로 시가지 도로를 중심으로 촬영한 영상 데이터를 이용하였다. 이 영상은 글로벌 모션을 발생시키는 정적인 건물과 도로, 로컬 모션을 발생시키는 동적인 자동차 움직임, 보정 영상의 왜곡을 일으키는 밝은 자동차 헤드라이트 등 다양한 상황이 맞물려 있는 영상 데이터이다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 10. Compare the SBNUC results after 200 iterations. (a) is 2 point NUC image(right) and raw image(left), (b) is proposed SBNUC results (Clockwise from left top: proposed SBNUC result image, error result, error reweighting, offset), (c) is improved IRLMS SBNUC results (Clockwise from left top: improved IRLMS SBNUC result image, error result, offset)

그림 9는 시험 영상 적용한 PSNR 결과를 보여주고 있다. 제

안한 알고리즘 보완 기법은 기존 improved IRLMS에 비해 빠른 수렴 속도와 높은 보정 영상 품질을 보여주고 있음을 확인할 수 있다. 광역 offset 초기화 영향으로 인해 기존 improved IRLMS에 비해 높은 PSNR을 가지고 시작하며 평균적으로 약 3.5~4.0dB 높은 PSNR을 보여주고 있다. 또한 초기 50 프레임 까지 기존 improved IRLMS에 비해 약 1.5배 빠른 속도로 수렴하는 모습을 확인할 수 있다.

그림 10은 기존 improved IRLMS 알고리즘과 제안한 알고리즘을 추가 적용한 SBNUC 결과 비교로 200번 프레임 기준으로 보여주고 있다. (a)는 2 point NUC 보정 영상과 원영상을 보여주고 있다. (b)는 왼쪽 상단 기준 시계 방향으로 제안 알고리즘의 보정영상 결과, 신호 차이 에러, 신호 차이 에러 재평가, 오프셋을 보여주고 있으며, (c)는 왼쪽 상단 기준 시계 방향으로 기존 improved IRLMS 알고리즘의 보정영상 결과, 신호 차이 에러, 오프셋을 보여주고 있다.

두 알고리즘 결과 중 보정 영상과 오프셋 영상 왼쪽 하단 도로서 신호 차이 에러 재평가 기법에 의해 주로 자동차 헤드라이트에 의해서 발생하는 왜곡이 억제되었음을 확인할 수 있다. 또한 신호 차이 에러가 블록 단위 재평가 기법에 의해 왜곡되는 부분은 억제되고 이외 부분은 강조되고 있음을 알 수 있다. 그리고 영상 오른쪽 끝부분이 FPN에 의해 밝게 나타나고 있다. 이 부분이 광역 offset 초기화로 인해 기존 improved IRLMS에 비해 왜곡이 개선된 것을 알 수 있다.

V. Conclusions

본 논문에서는 제안한 블록 단위 에러 재평가와 광역 offset 초기화 기법을 기존 improved IRLMS SBNUC 알고리즘에 추가하여 보완한 알고리즘을 실제 IR 영상에 적용하여 PSNR 기준 영상 품질을 약 3.5~4.0dB 개선하였으며, 수렴 속도를 약 1.5배 개선하였음을 입증하였다.

하지만 광역 offset 초기화 기법은 scene에 의한 명암비가 FPN에 의한 명암비보다 월등히 클 경우 왜곡된 offset이 형성될 수 있는 단점이 있다. 향후 scene 영향을 효과적으로 배제하면서 안정적으로 FPN의 광역적인 특성을 잘 반영할 수 있도록 광역 offset 초기화 기법을 개선할 예정이다.

REFERENCES

- [1] D. A. Scribner, M. Kruer, and J. Killiany, "Infrared focal plane array technology," Proc. IEEE, vol. 79, no. 1, pp. 66-85, Jan 1991.
- [2] A. Friedenberg and I. Goldbatt, "Nonuniformity two-point linear correction errors in infrared focal plane arrays," Opt. Eng. 37(4), pp. 1251-1253, April, 1998.
- [3] O. Riou, S. Berrebi, and P. Bremond, "Nonuniformity correction and thermal drift compensation of thermal infrared camera," Proc. SPIE 5405, pp 294-302, April, 2004.
- [4] R. Hardie, F. Baxley, B. Brys, and P. Hytla, "Scene-based nonuniformity correction with reduced ghosting using a gated LMS algorithm," Opt. Express 17, pp. 14918-14933, 2009.
- [5] J. Harris and Y. Chiang, "Minimizing the 'ghosting' artifact in scene-based nonuniformity correction," Proc. SPIE 3377, pp. 106-113, 1998.
- [6] Lixiang Geng, Qian Chen, Weixian Qian, and Yuzhen Zhang, "Scene-based Nonuniformity Correction Algorithm Based on Temporal Median Filter," Journal of the Optical Society of Korea, Vol. 17, No. 3, pp. 255-261, June, 2013.
- [7] Russell C. Hardie, Majeed M. Hayat, Earnest Armstrong, and Brian Yasuda, "Scene-based nonuniformity correction with video sequences and registration," Applied Optics Vol. 39, Issue 8, pp. 1241-1250, 2000.
- [8] Chao Zuo, Qian Chen, Guohua Gu and Xiubao Sui, "Scene-Based Nonuniformity Correction Algorithm Based on Interframe Registration," J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis 28 (6), pp. 1164-1176, Jun, 2011.
- [9] Chao Zuo, Qian Chen, Guohua Gu, Xiubao Sui, and Jianle Ren, "Improved interframe registration based nonuniformity correction for focal plane arrays," ELSEVIER Infrared Physics & Technology Vol 55, Issue 4, pp. 263-269, July 2012.
- [10] Junjie Zeng, Xiubao Sui, and Hang Gao, "Adaptive Image-Registration-Based Nonuniformity Correction Algorithm With Ghost Artifacts Eliminating for Infrared Focal Plane Arrays," IEEE Photonics Journal, Vol. 7, No. 5, Oct, 2015.
- [11] D. Scribner, K. Sarkady, M. Kruer, J. Calfield, J. Hunt, M. Colbert, and M. Descour, "Adaptive nonuniformity correction for IR focal plane arrays using neural networks," Proc. SPIE 1541, pp. 100-109, 1991.
- [12] Chao Zuo, Yuzhen Zhang, Qian Chen, Guohua Gu, Weixian Qian, Xiubao Sui and Jianle Ren, "A two-frame approach for scene-based nonuniformity correction in array sensors," ELSEVIER Infrared Physics & Technology Vol 60, pp. 190-196, Sep 2013.
- [13] Yohann Tendero, Stephane Landeau and Jerome Gilles, "Non-uniformity Correction of Infrared Images by Midway Equalization," Image Processing On Line, pp. 134-146, Jan 2012.
- [14] Kim Jun-Hyung, Kim Jieun, Kim Sohyun, Lee Joohyoung, and Lee Boohwan, "Regularization approach to scene-based nonuniformity correction," Optical Engineering 53(5), 053105, May, 2014.

- [15] Lee Jongho, Ra Jongbeom, "Improvement on a optimization algorithm for non-uniformity correction of infrared videos," Master Thesis, KAIST, Department of Electrical Engineering, 2013.
- [16] Kim Seongmin, Bae Yoonsung, Jang Jaeho, and Ra Jongbeom, "Fixed Pattern Noise Reduction in Infrared Videos Based on Joint Correction of Gain and Offset," The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 49, SP. 2, pp. 35-44, 2012.
- [17] D. L. Perry and E. L. Dereniak, "Linear theory of nonuniformity correction in infrared staring sensors," Opt. Eng. 32, pp. 1854-1859, 1993.

Authors



Yong Hee Hong received the B.S., M.S.. degrees in Computer Science and Engineering from Soongsil University, Seoul, Korea, in 2009 and 2011, respectively. MS. Hong joined LIG Nex1 company in 2011. He is currently working on infrared camera. He is interested in image processing, developing infrared camera.



Keun Jae Lee received the B.S. degrees in Electronics Engineering from Kyungpook National University, Daegu, Korea, in 2006, respectively. Mr. Lee currently research engineer at LIG Nex1 in Korea. His research interests include signal processing hardware and infrared sensor tracking systems.



Hong Rak Kim received the B.S., M.S. degrees in Electronics Engineering from Taegu University, Korea, in 1995 and 1997, respectively. Mr. Kim currently research engineer at LIG Nex1 in Korea. His research interests include signal processing hardware system and infrared sensor tracking systems.



Ho jin Jhee received the B.S. degree in Electronics Engineering from Dongguk University, Seoul, Korea, in 1997 and the Ph.D degree in Electrical Engineering from University of Florida, Gainesville, Florida, U.S.A in 2010. He is currently research engineer at LIG Nex1 in Korea. His research interests include statistical signal processing, image processing and applications of machine vision domain.