

Development of Thermal Image Processing Module Using Common Image Processor

Han Joon Hwan[†] · Cha Jeong Woo[†] · Kim Bo Mee^{††} · Lim Jae Sung^{†††}

ABSTRACT

The thermal image device support image to detect infrared light from the object without light. It can use not only defence-related industry, but also civilian industry. This paper presents a new thermal image processing module using common image processor. The proposed module shows 10~20% performance improvement with normal mode and 50% performance improvement with sleep mode compared with the previously thermal image module based FPGA. and it guarantees high scalability according to modular system. In addition, the proposed module improves modulation and reuse, so it expect to have reduction of development period, low development cost. various application. In addition, it expect to have satisfaction of customer requirements, development design, development period, release date of product.

Keywords : Thermal Camera, Image Signal Processing, Common Image Processor, Thermal Image Signal Processing

상용 이미지 처리 프로세서를 이용한 열화상 이미지 처리 모듈 개발

한 준 환[†] · 차 정 우[†] · 김 보 미^{††} · 임 재 성^{†††}

요 약

열화상 장비는 빛이 없는 암흑 상태에서도 물체에서 발산하는 적외선을 탐지하여 이를 영상으로 제공하는 장비이다. 이러한 장점으로 기존 활용되던 군사 분야와 더불어 자동차 및 감시시스템 등 다양한 민수 분야로 활용분야가 넓어지고 있다. 본 논문에서는 상용 이미지 처리 프로세서를 이용한 열화상 이미지 처리 모듈을 제안한다. 제안한 모듈은 기존 FPGA 기반 열화상 이미지 모듈대비 약 10~20%의 성능향상을 보이며, 대기모드를 포함하면 최대 50%까지 성능향상을 보인다. 그리고 시스템 모듈화를 통한 높은 확장성을 보장한다. 뿐만 아니라 제안한 모듈은 기존의 FPGA 기반 모듈의 단점인 낮은 확장성과 재활용성을 보완함으로써 개발 기간 및 비용 단축, 다양한 응용이 가능하다. 따라서, 이러한 장점으로 다양한 고객의 요구사항 만족, 제품 설계 및 개발 일정 단축 등 다양한 이점을 얻을 것으로 기대한다.

키워드 : 열화상 카메라, 이미지 신호 처리, 상용 이미지 프로세서, 열화상 영상 신호 처리 기법

1. 서 론

열화상 장비는 빛이 없는 암흑 상태에서도 물체에서 발산하는 적외선(열)을 탐지하여 이를 영상으로 제공하는 장비이다. 이러한 장점으로 열화상 영상 시스템은 다양한 군사 분야에 활용되었다. 그러나 최근 열화상 관련 제품 가격이 낮아지고 제품의 성능이 향상됨으로써 군수 분야를 넘어서 민수 분야까지 활용도가 증가하고 있다[1, 2]. 활용 분야로는 차량의

나이트비전과 자율주행, Surveillance 시스템에 많이 활용된다. 현재는 높은 가격의 차종 위주로 활용되고 있으나, 2019년에는 210만대 수준으로 증가할 것으로 예상됨에 따라 관련 수요가 폭발적으로 증가될 것으로 예상된다[3]. 냉각형 검출기는 고성능의 영상을 제공하지만 높은 비용, 장비의 부피, 시스템 초기화 시간 등 많은 단점으로 인해 현재 민수시장에서는 활용분야가 거의 없는 실정이다. 비냉각형 검출기는 과거 검출기 내부에 냉각기 기능을 하는 열전소자(TEC: Thermal Electric Cooler)를 탑재하여 냉각기의 기능을 대신하였지만 최근 기술추세는 열전소자를 삭제하여 낮은 단가, 소형의 제품을 출시하고 있으며, 그에 따른 해결방안으로 다양한 이미지 처리 기법이 활용되고 있다[4, 5]. 따라서 위와 같은 장점으로 비 냉각 방식의 검출기가 현재 차량 및

[†] 정 회 원 : 한화시스템 전자광학연구소 전문연구원
^{††} 비 회 원 : 한화시스템 전자광학연구소 선임연구원
^{†††} 비 회 원 : 아주대학교 소프트웨어학과 교수
Manuscript Received : September 27, 2019
First Revision : November 6, 2019
Second Revision : November 21, 2019
Accepted : November 27, 2019
* Corresponding Author : Lim Jae Sung(jaslim@ajou.ac.kr)

Surveillance 시장에 적용이 되고 있다. 그러나 현재 대부분의 검출기 관련 이미지 처리 방식이 FPGA 기반으로 설계가 되고 있으며, 제품이 공급되고 있다. 그 이유는 FPGA 기반 설계가 진입장벽이 낮고 제품 개발에 대한 리스크(설계의 용이성, 쉬운 이미지 처리 알고리즘 구현)가 낮은 것이 가장 큰 장점이다. 현재까지는 대부분 요구사항이 명확한 방산 제품으로 제품 개발이 이루어져 있었기 때문에 FPGA 기반 설계가 문제가 되지 않았다. 그러나 현재 민수시장의 경우 제품에 대한 요구사항이 방산 제품과는 다르게 많은 변화가 필요하며 다양한 고객의 요구사항을 만족하기에는 FPGA 기반 설계가 어려운 실정이다.

본 논문에서는 기존에 활용되고 있는 FPGA 기반 열화상 이미지 처리의 장단점을 설명하고 상용 프로세서 기반 열화상 이미지 처리의 방식을 제안한다. 제안한 열화상 이미지 처리 모듈은 기존 시스템에 비하여 다양한 검출기 연동 및 상용 프로세서에서 활용 가능한 표준 영상 출력을 제공하여 높은 재활용성과 뛰어난 접근성을 보인다. 본 논문에서 제안한 열화상 이미지 처리 모듈의 경우 일반 상용 이미지 프로세서에 탑재가 가능하고 시스템 안정성 향상, 개발기간 및 비용 단축, 다양한 응용에 적용이 가능하다.

2. 관련 연구

2.1 열화상 영상 신호 처리 기법

적외선 센서 열화상 영상 처리 기법은 크게 3가지로 구성된다. 첫째로 열화상 센서의 고정 패턴 노이즈를 제거하기 위한 NUC(Non Uniformity Correction), 비냉각 열화상 센서의 온도 변화에 따른 출력값을 보정해주기 위한 TEC(Thermal Electric Cooler)less, NUC와 TECless 후 대조비 개선을 위한 CEM(Contrast Enhancement Mapping)로 구성된다.

1) NUC(Non Uniformity Correction)

모든 다차원 배열 열화상 센서는 각 픽셀 엘리먼트 간의 기하학적인 차이나 전송 및 증폭 단의 이득의 차이로 고정적인 패턴이 나타나는데, 이를 고정 패턴 노이즈(Fixed Pattern Noise: FPN)라고 한다. 이러한 현상은 가시광 대역을 검출하는 CCD 보다는 적외선 검출기에서, 1차원 검출기보다 2차원 검출기에서, 냉각형 검출기보다는 비 냉각형 검출기에서 심하게 나타난다.

2차원 배열의 비 냉각 검출기는 행과 열 단위로 처리하는 ROIC(Read-Out Integrated Circuit)의 특성상 수평과 수직방향으로 FPN(Fixed Pattern Noise)이 발생하게 되는데, 이러한 영상의 불균일(Non-uniformity)이라고 한다[6].

Fig. 1은 검출기의 한 픽셀의 온도에 응답 특성을 보면 선형적이지 않다. 선형적이지 못한 2차 이상의 방정식의 모델링을 용이하게 하고 계산량을 줄이기 위해서 1차 방정식으로 근사화하게 된다.

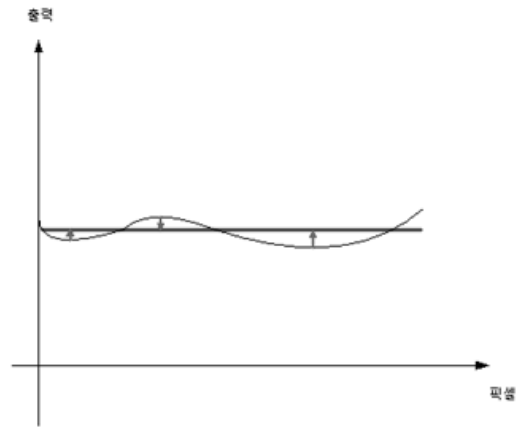


Fig. 1. Image Input Data of Un-cooled Thermal Sensor

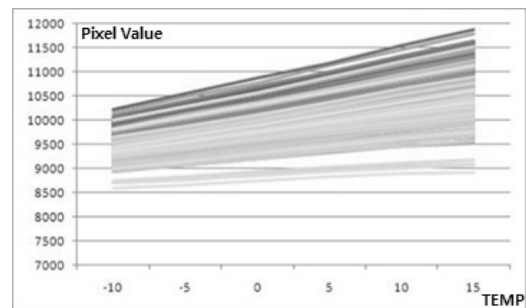
NUC를 구하기 위해서는 2가지 Reference 입력이 필요한데, 예를 들어 HOT와 COLD에 대해 블랙바디(흑체)를 활용하여 데이터(Raw)를 받아서 아래 수식의 G(gain)과 O(offset)을 구한다.

아래 Equation (1)은 기본적인 NUC를 구하는 식이다.

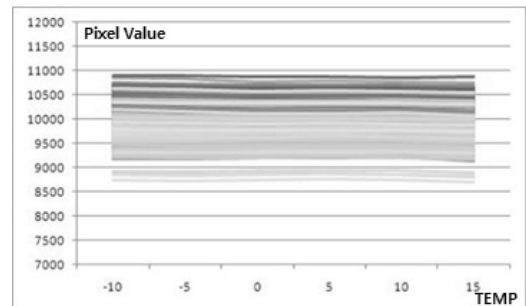
$$y = G \times Raw + O \quad (1)$$

2) TEC(Thermal Electric Cooler)-less

TEC-less는 TEC가 없는 비냉각 검출기의 출력에서 온도에 따른 변화를 일정한 값으로 보정하여 유지하는 알고리즘이다.



Not Apply to TECless Algorithm



Apply to TECless Algorithm

Fig. 2. Difference Before and After Apply TECless Algorithm

향은 유지 장치가 없기 때문에 동일 물체에 대한 영상 출력 값이 일정치 않게 되어 노이즈 및 Fixed pattern이 발생하게 된다. 따라서 일정한 온도의 영상 데이터에 대한 각 픽셀의 값을 온도에 따라 관찰 후 1도당 변화하는 출력 값을 저장 후 각 온도에 따라 실시간 적용을 한다. 일반적으로 큰 범위에서의 온도에 따른 변화량의 차이가 발생하여 NUC와 더불어 사용하며 여러 개의 테이블을 사용하여 적용한다[7].

아래 Equation (2)는 Equation (1)에 TEC 연산방식을 추가한 연산식이다[8].

$$y = G(Raw + O_{TEC}) + O_{NUC} \quad (2)$$

3) CEM(Contrast Enhancement Mapping)

NUC와 TEC-less 영상 처리 후 출력 영상에서 사물간의 영상 출력 값의 차이는 매우 작아서 그 차이를 구분하기 어렵다. 일정 지점에만 영상 데이터 값이 몰려 있는 상태에서 대조비가 좋지 않은 상태로 출력이 된다. 따라서 근소한 차이의 영상 데이터 값의 분포를 균등하게 재배치하여 명암 대비를 향상시키는 작업이 필요하다.



Fig. 3. Difference Before and After Apply CEM

2.2 FPGA 기반 열화상 영상 모듈

대부분의 열화상 영상 처리 방식은 FPGA(Field Programmable Gate Array) 기반 프로세서에서 수행되고 있으며 제작되고 있다. [9]의 열화상 영상 처리 방식 또한 FPGA 기반으로 영상 처리가 되고 있으며 FPGA 기반으로 시스템을 구성한다. FPGA 기반 시스템은 사용자의 요구사항에 적합한 시스템 설계가 용이하며 내부 연산 구조가 간단해진다.

FPGA 기반 열화상 영상 처리 모듈의 기본 처리 단위는 Pixel 단위이다. 실시간 연산을 수행하기 위해서 열화상 센서에서 Pixel 단위로 연산을 한다. 동작 순서는 우선 1개의 Pixel값을 입력받아 TEC-less Block을 통해 온도 변화에 대한 보상을 수행하고 NUC Block으로 패턴 노이즈를 제거한다. TEC-less와 NUC Block 연산을 위해 Look Up Table에 저장된 Gain값과 Offset값을 Read한다. 마지막으로 대조비 개선을 위해 CEM Block을 거치게 되면 일반적인 열화상 영상 처리가 완료된다. 그러나 현재 시스템은 고객의 요구사항 및 시스템 요구사항이 변경되면 내부 Logic을 재구성해야함으로써 개발 비용 및 시간이 증가하게 되는 단점이 발생

한다. 그리고 상용 프로세서에서 지원하는 표준 영상 입/출력 인터페이스, 멀티 디바이스 지원, 소프트웨어 모듈화, 네트워크 지원 등 다양한 기능에 대한 지원이 부족하여 사용자의 다양한 요구사항을 만족시키지 못하는 실정이다. 현재 FPGA 기반 시스템의 단점으로 인하여 상용 프로세서를 사용하여 문제점을 해결하고자 하는 시도가 이루어지고 있지만 대부분의 시스템이 FPGA 시스템에 핵심 알고리즘인 열상 알고리즘 구현하고 상용 프로세서를 결합하여 다양한 인터페이스를 지원하는 형태의 시스템을 시도하고 있다[10]. 그에 따라 FPGA 프로세서에 상용 프로세서를 장착함으로써 시스템 오버헤드가 증가하는 단점이 있다.

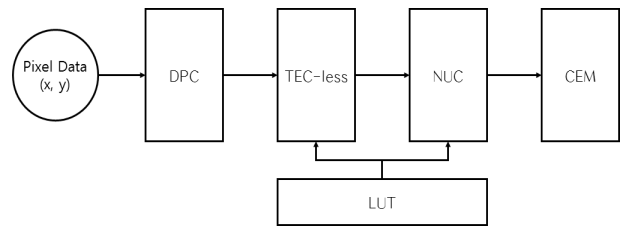


Fig. 4. Thermal Image Process Structure Based FPGA

3. 본 문

본 논문에서 제안하는 상용 이미지 프로세서 기반 열화상 이미지 모듈은 열상 영상 처리에 필요한 핵심 알고리즘을 DSP, RISC 프로세서 기반 상용 프로세서에 적용함으로써 기존의 FPGA 기반 프로세서 시스템의 단점인 낮은 확장성과 모듈화를 보완하고 상용 프로세서의 장점을 적용한다. 기존의 FPGA 기반 시스템 대비 상용 프로세서에 적용하지 못한 이유는 대부분의 이미지 프로세서가 가시광 영상 센서 데이터 입력을 수신하여 영상화하는 가시광 센서 기반 영상 처리 시스템[11]으로 구성되어 있기 때문에 열상 이미지를 처리하는 것이 불가능하였다. 그러나 본 연구에서는 DSP(Digital Signal Processor) 구조와 RISC 프로세서 구조를 활용하여 시스템 최적화 설계를 통해 기존의 가시광 센서 기반 이미지 처리 프로세서 사용이 가능하게 되었다.

기존 시스템의 경우 RGB의 색상값을 가지는 데이터로 구성되어 있지만, 열화상 시스템의 경우 RGB 색상값이 아닌 대상의 열 수치만으로 데이터가 구성됨에 따라 기존 시스템의 처리 구조가 맞지 않아 영상화가 불가능하다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하고자 Fig. 5와 같이 시스템의 처리 방식을 변경하여 시스템을 재구성한다. 대부분의 상용 이미지 프로세서의 경우 이미지 처리에 대한 Block은 내부 하드웨어로 구성되어 수정이 불가능하다. 따라서 본 논문은 멀티프로세서를 이용하여 기존 방식을 최대한 활용하고 추가 혹은 수정이 필요한 Block에 대해서는 DSP에서 재구성하는 방식으로 내부 시스템을 설계한다. 예를 들어 Black Level

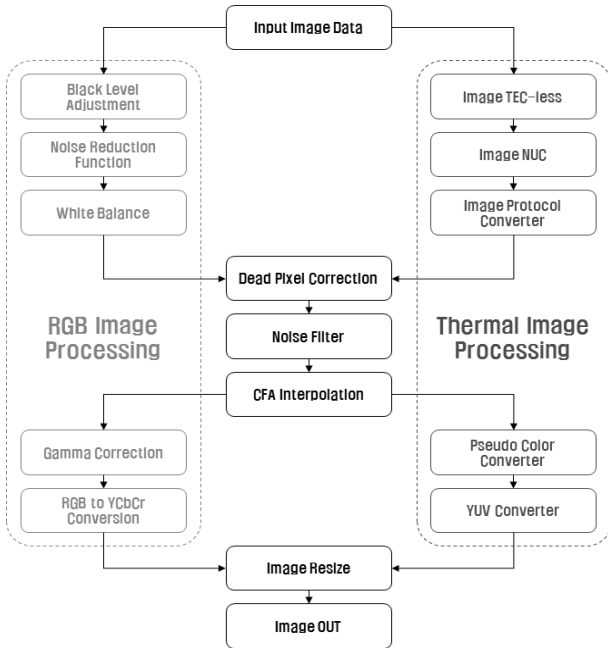


Fig. 5. Image Processing Comparison

Adjustment 기능은 열화상 이미지 생성에는 필요 없는 기능이다. 그래서 이 Block 대신에 DSP로 TEC-less 기능을 교체하는 방식으로 시스템을 재구성한다. 시스템 부하를 감소시키기 위해 공용으로 활용되는 Block은 그대로 활용한다. 열화상 데이터가 공용 Block에 사용가능한 이유는 Image Protocol Converter Block에서 열화상 데이터를 흑백카메라에서 출력되는 데이터 방식과 동일한 방식으로 데이터를 변환하기 때문이다.

상용 프로세서 기반 열화상 이미지 처리 모듈의 구조는 Fig. 6과 같다. 총 3개의 연산 Core들(DSP x2, Vision Engine)에 열화상 이미지 처리 Block을 분산하여 설계한다. 상용 멀티코어 프로세서를 사용하는 가장 큰 장점은 각각의 코어를 독립적으로 제어가 가능하다는 것이다. 따라서 기존 FPGA 기반 시스템에서 사용하지 않는 Logic에 대한 대기상태로 전환이 힘든 단점을 본 논문의 모듈에서는 응용 어플리케이션에 따라 Core들을 Sleep Mode로 전환함으로써 그 단점을 보완한다.

기본 열화상 영상처리를 담당하는 DSP1은 Fig. 7과 같다. 이 Block은 열화상 영상처리의 가장 핵심 기능인 NUC와 TEC-less 영상 처리를 수행한다. 입력 영상 frame 손실 방지를 위한 내부 Line Buffer, NUC & TEC-less 연산이 수행되는 NUC & TEC-less Block, NUC & TEC 연산에 필요한 Gain, Offset data 전달을 위한 LUT(Look-Up Table) Line으로 구성된다.

열화상 영상의 대조비 개선을 위한 DSP2는 Fig. 8과 같다. 입력 영상 프레임 손실 방지를 위한 내부 Line Buffer, 입력 프레임에 히스토그램 적용을 위한 Pixel Count Table, 입력 영상 데이터 수집을 위한 Data Count, 히스토그램을 수행

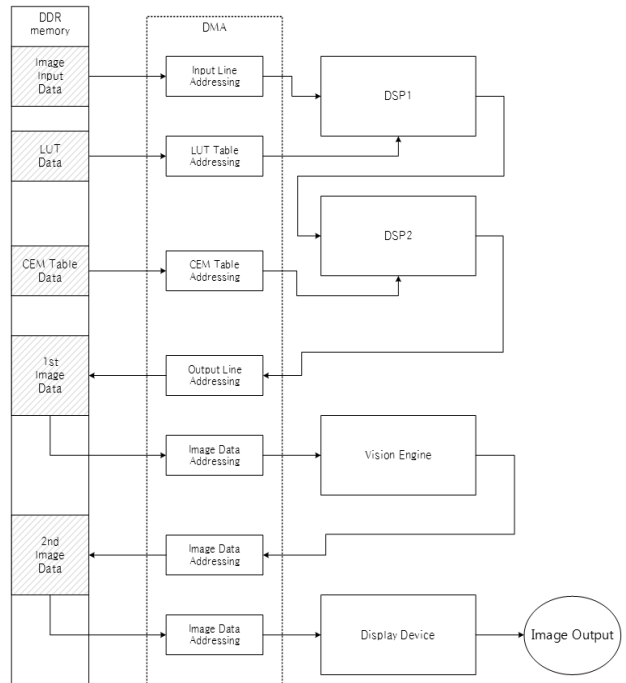


Fig. 6. Proposed Thermal Image Process Module

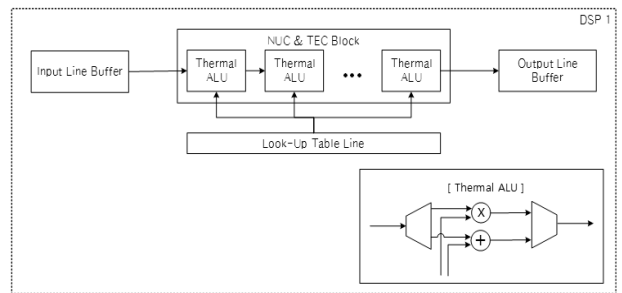


Fig. 7. NUC & TEC-less Image Process Block

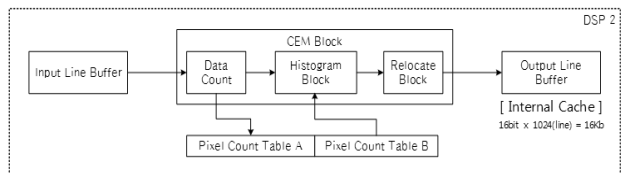


Fig. 8. CEM Block for Improved Contrast

하는 히스토그램 Block, 대조비 재배치를 위한 Relocate Block으로 구성된다.

추가 영상 개선을 위한 EVE(Embedded Vision Engine)는 Fig. 9와 같다. Dead Pixel을 처리를 위한 DPC(Defect Pixel Correction) Block, 영상 노이즈 개선을 위한 Noise Filter Block, 흑백으로 표현되는 열화상 영상에 Pseudo Color 적용을 위한 Color Converter Block으로 구성된다.

핵심기능을 담당하는 TECless와 NUC Block의 처리 방식은 Fig. 10과 같으며 아래와 같이 수행된다.

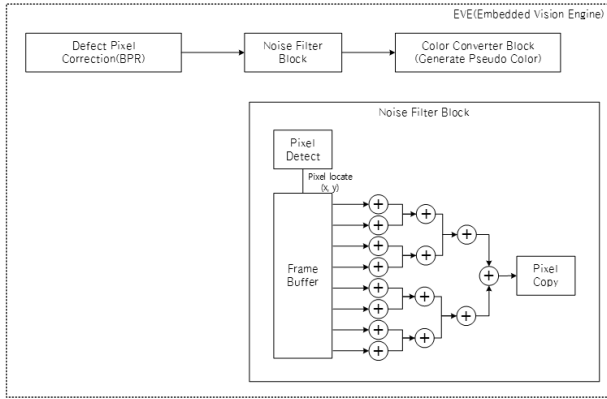


Fig. 9. Image Improvement Block

Raw 는 검출기 Input Data, $TECless Raw$ 는 검출기 Input Data에 TECless 알고리즘을 적용한 데이터, A, B 는 환경 온도별 검출기 출력 데이터를 그래프화한 수치이고 2차 방정식으로 환산했을 때의 1, 2차 계수(Polyfit 함수 활용)이다.

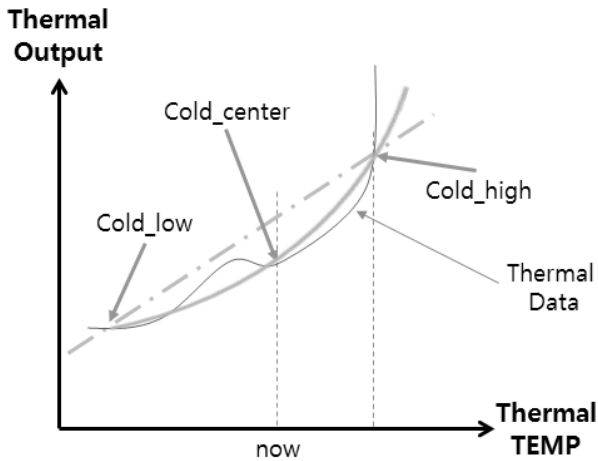


Fig. 10. Back Data for Image Correction Table

$$T = Temp_{now} - Temp_{ref} \quad (3)$$

$$TECless Raw = Raw - (A(T)^2 + B(T))$$

$$NUC Data = Gain \times TECless Raw + Offset \quad (4)$$

$$Gain = (H_a - C_a) / (H_p(x,y) - C_p(x,y)) \quad (5)$$

H_a 는 열상 센서로 입력받는 온도가 높은 영상의 평균값, C_a 는 열상 센서로 입력받는 온도가 낮은 영상의 평균값, H_p 는 열상 센서로 입력받는 온도가 높은 영상의 x, y 좌표의 픽셀 값, C_p 는 열상 센서로 입력받는 온도가 낮은 영상의 x, y 좌표의 픽셀 값이며 $Temp_{now}$ 는 사용하고 있는 상황에서의 검출기 온도 값, 즉 1-ref NUC 수행 시 온도 값이다. $Temp_{ref}$ 는 TECless Table 생성 시 검출기 온도 값이다.

$$Offset = H_a - Gain(x,y) \times Gathering(x,y) \quad (6)$$

위의 알고리즘을 FPGA 기반 프로세서에 구현 시 간단히 구성이 가능하다. 그러나 상용 프로세서 환경에서는 많은 제약사항이 발생한다. 가장 큰 제약사항으로는 매 프레임마다 각각의 Pixel을 Read하여 위의 연산을 수행하기에는 내부 구조상 프레임이 누락되거나 연산량이 부족한 경우가 발생한다. 대부분의 상용 프로세서는 내부 DMA(Direct Memory Access)를 사용하여 데이터를 송수신이 수행되는데 이 구조는 데이터를 Block 단위로 복사하여 송수신하는데 최적화되어 있다. 따라서 Pixel by Pixel 연산을 수행하기에는 많은 오버헤드가 발생한다. 이 현상을 해결하기 위해서 내부 DSP를 사용하였으며 DMA 데이터 송수신 구조를 최대한 활용하기 위해서 Line Buffer를 구성하여 데이터를 처리하도록 설계하였다. Input Line Buffer에서 수신된 데이터를 Pixel 단위로 연산이 가능하도록 내부 구조를 구성하고 Out Line Buffer를 구성하여 DMA를 통해 전달하도록 설계하였다. 열화상 영상 처리 구간에서는 위와 같은 구성으로 설계를 하였으며 $Gain$ 과 $Gathering$ 데이터 처리를 위해 Table화하여 연산 Block에 적용하도록 하였다.

위의 3가지 영상처리 Block들은 다른 프로세서에서도 적용이 가능하도록 모듈화 설계가 되어 있으며, 추후 메인 프로세서의 업그레이드 시에도 인터페이스 작업만으로도 구동이 가능하다.

4. 성능 평가

본 절에서는 본 논문에서 제안한 시스템과 기존의 제품들과의 성능 분석 결과이다. 메인 프로세서의 방식이 다르기 때문에 열화상 영상의 품질을 확인 할 수 있는 NETD(Noise Equivalent Temperature Difference)를 바탕으로 하는 성능과 시스템의 전력소모를 비교한 결과이다.

NETD는 열화상 측정기가 분해할 수 있는 최소 가능한 온도 차이에 대한 숫자이며 값이 작을수록 측정 해상도가 높아진다. 핵심 요구사항은 상용 이미지 프로세서를 사용한 열화상 영상 시스템 구현 시 FPGA 기반 시스템과 동일 수준의 System NETD 보장 유무이다. Fig. 11은 기존 FPGA 기반 제품[12]의 System NETD와 제안한 시스템의 System NETD를 비교한 자료이다. 고려사항으로는 FPGA 기반 시스템은 $17\mu m$ 열화상 센서에 F1.5 렌즈를 장착하였으며 제안한 시스템은 $12\mu m$ 열화상 센서에 F1.0과 F1.4 렌즈를 장착하였다. 동일한 테스트 환경이 아니지만 $17\mu m$ 센서와 $12\mu m$ 센서의 성능차이 약 10~20%정도 감안하고 렌즈 F 넘버 차이의 경우 F1.0과 F1.4의 차이가 평균 $\sqrt{2}$ 정도 수치 차이를 감안하여 테스트한 결과이다. 따라서 [12]의 제품과 비교를 하게 되면 동일한 성능을 보이고 있다[13].

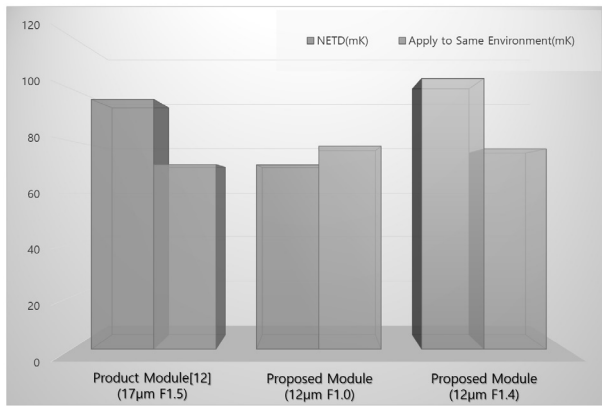


Fig. 11. NETD Comparison of Proposed Module

멀티코어 프로세서를 사용함으로써 가장 큰 장점으로서는 전력소모 감소이다. 기존의 FPGA 기반 시스템의 경우 사용하지 않는 Logic을 core 대기 상태로 전환이 불가능하지만 제안한 시스템은 메인 core만 활성화 상태로 사용하지 않는 core의 경우 대기 상태로 변경이 가능하다. Fig. 12는 기존 FPGA 기반으로 출시된 제품[14, 15]과의 전력 소모를 비교한 자료이다. 기존 제품의 출력과 비교하면 약 10% 정도의 성능향상을 보이며 제안한 모듈은 Sleep mode로 전환 시 50%의 전력 소모 감소를 예상한다.

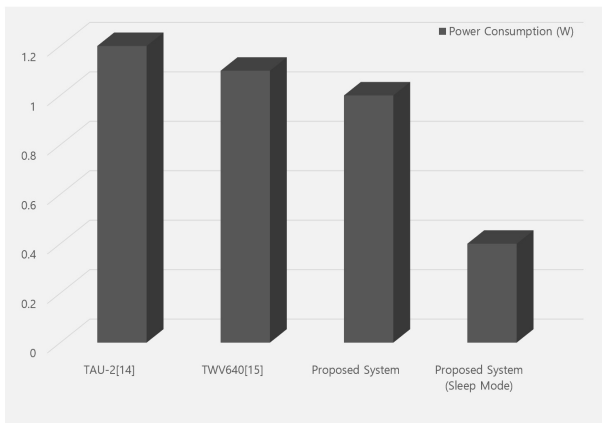


Fig. 12. Power Consumption Comparison

Fig. 13은 원본 영상 히스토그램과 1 Point NUC의 히스토그램 비교이다. 원본 영상에서 불필요한 노이즈와 불균일성의 데이터들이 처리가 된 데이터 확인이 가능하다.

Fig. 14는 히스토그램 전과 후를 나타낸다. 열화상 원본 영상의 경우 데이터 분포도가 좁은 형태로 출력이 되기 때문에 히스토그램 평활화는 필수이다.

Fig. 15는 CEM 및 NUC 적용 영상을 비교한 히스토그램이다. 열화상 영상의 CEM의 경우에는 CCD/CMOS의 평활화는 다르게 데이터 분포의 폭이 좁기 때문에 평활화의 성능에 따라 영상의 화질이 확연하게 차이가 나게 된다.

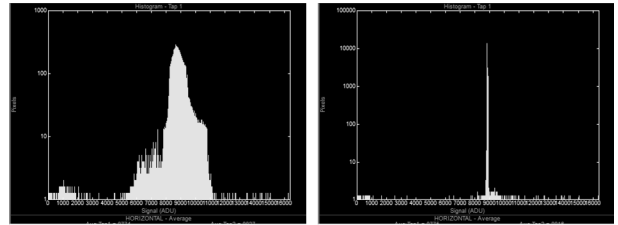


Fig. 13. Original vs 1 Point NUC Histogram

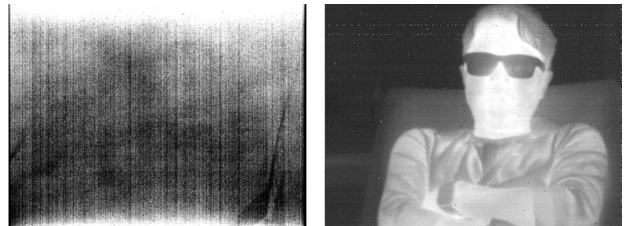


Fig. 14. Histogram Stretching

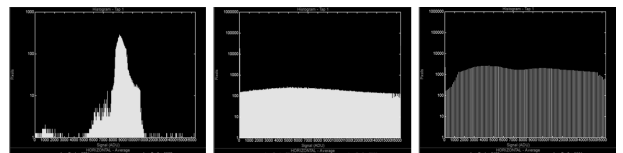


Fig. 15. Original vs CEM vs CEM + NUC Histogram

아래 Fig. 16은 TEC-less 알고리즘 적용 전과 후를 나타내는 자료이다. 적용 후 영상의 세로 패턴이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 16. Comparison of TEC-less Processing

5. 결론

본 논문에서는 기존의 FPGA 기반 영상 처리 시스템의 단점을 보완하고 사용 이미지 프로세서의 장점을 활용하는 새로운 열화상 이미지 처리 모듈을 제안하였다. 4절에서 설명한 바와 같이 제안한 시스템은 기존 FPGA 기반 영상 처리 모듈의 System NETD와 동일한 수준을 유지하고 있으며, 전력소모의 경우 기존 시스템에 비해 약 10-20% 향상을 보이고 Sleep mode 전환 시 최대 50%의 향상을 보인다. 그리고 시스템 모듈화를 위해 각 기능별로 Block 설계를 하였으며 추가 수정 없이 입/출력 인터페이스 변경으로 하드웨어

변경이 가능하다. 뿐만 아니라 상용 프로세서 기반 열상 처리 모듈을 통한 시스템 개발 시 뛰어난 접근성으로 시스템 구축이 용이하고 다양한 요구사항 적용이 가능함에 따라 개발 기간 및 비용 단축, 다양한 응용에 사용이 가능할 것으로 예상된다.

References

[1] Seok-Min Hong, "Advanced LWIR Thermal Imaging Sight Design," *Korean Journal of Optics and Photonics*, Vol.16, No.3, pp.209-216, 2005.

[2] Song, Cheon-ho, "Applying tilt mechanism for high-resolution image acquisition," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol.19, No.12 pp.31-37, Dec. 2014.

[3] KITIA, "Global M&A promising field Target Research - ADAS Sensor(Camera, Infrared)," 2016.

[4] A. Rogalski, "Infrared detectors," Electro-component science monographs, Gordon and Breach Science Publishers, Vol.10, pp.12-14,91, 2000.

[5] Min-Young Park, "Advanced CMOS Readout Integrated Circuit for 32 by 32 uncooled infrared focal plane array," *Inje University*, pp.91-92, 2007.

[6] Je il Lee, "Nonuniformity Correction Algorithm and First Implementation for Infrared Camera Including the Background Effect due to Camera Temperature Variation," *Sae Mulli* 11, pp.269-274, 2000.

[7] Yong-Jin Kim, "Novel control scheme for the absence of the thermoelectric(TEC) of infrared detector in an Uncooled thermal system," *Ajou university*, p.2337, 2012.

[8] Joon Hwan Han, "Novel Accuracy Enhancement Method for Absolute Temperature Measurement Using TEC-LESS Control in Uncooled Thermal Imaging," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol.17, No.12, pp.41-47, Dec. 2012.

[9] Jung-Ho Shin, "Image Correction Method for Uncooled IR TECless Detector with Non-linear characteristics due to Temperature Change," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol.22, No.10, pp.19-26, Oct. 2017.

[10] Hwan-Woong, "A Study on the Thermal Camera System and Image Processing," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 2019.1, 1128-1129.

[11] G. C. Holst and T. S. Lomheim, "CMOS/CCD sensors and Camera Systems," SPIE-International Society for Optical

Engine, 2007.

[12] Hanwha Systems, Sight for the Small Arm, <https://hanwhasystems.com/en/business/depense/2/1/view.do>

[13] D. R. Lohrmann, R. T. Littleton, C. E. Reese, D. F. Murphy, and J. N. Vizgaitis, "Uncooled long-wave infrared small pixel focal plane array and system challenges," *Optical Engineering*, Vol.52, No.6, pp.061305-1 - 061305-6, Jun. 2013.

[14] FLIR, 12um Longwave Infrared Thermal Camera core TAU-2, <https://www.flir.com/products/tau-2>

[15] BAE systems, 12um Longwave Infrared TWV640 Thermal Camera core, <https://baesystems.com/en/product/twv640-thermal-camera-core>



한 준 환

<https://orcid.org/0000-0002-1469-1792>
 e-mail : joonwhan.han@hanwhasystems.com
 2003년 광운대학교 전기전자공학부(학사)
 2018년~현 재 아주대학교 NCW학과 석사과정
 2002년~현 재 한화시스템 전자광학연구소 전문연구원

관심분야 : Analog & Digital Image Processing of IR



차 정 우

<https://orcid.org/0000-0003-2316-3593>
 e-mail : jeongwoo.cha@hanwhasystems.com
 2008년 대구대학교 멀티미디어공학부(학사)
 2010년 대구대학교 컴퓨터정보공학과(석사)
 2013년 대구대학교 컴퓨터정보공학과(박사)
 2017년~현 재 한화시스템 전자광학연구소 전문연구원

관심분야 : Image Signal Processing, Image Processing by AI



김 보 미

<https://orcid.org/0000-0003-2460-5285>
 e-mail : bomee.kim@hanwhasystems.com
 2013년 경상대학교 전기전자공학부(학사)
 2019년~현 재 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
 2014년~현 재 한화시스템 전자광학연구소 선임연구원

관심분야 : Thermal Image Processing, Image Processing by AI



임재성

<https://orcid.org/0000-0003-0080-9398>

e-mail : jsalim@ajou.ac.kr

1983년 아주대학교 전자공학과(학사)

1985년 KAIST 영상통신(석사)

1994년 KAIST 디지털통신 (박사)

1998년 ~ 현 재 아주대학교

소프트웨어학과 교수

2004년 ~ 현 재 아주대학교 국방전술네트워크 연구센터장

2015년 ~ 현 재 아주대학교 국방디지털융합학과 학과장

관심분야: Research in Wireless, Mobile, and Tactical

Communications and Networks