ISSN : 1226-7244 (Print)
ISSN : 2288-243X (Online)
논문번호 18-03-08

j.inst.Korean.electr.electron.eng.Vol.22,No.3,578~584,September 2018
http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2018.22.3.578

열화상 이미지에 대한 고온 특징점 추출 알고리즘의 FPGA 구현

FPGA implementation of high temperature feature points extraction algorithm for thermal image

고 병 환*, 김 희 석*★

Byoung-Hwan Ko*, Hi-Seok Kim*★

Abstract

Image segmentation has been presented in the various method in image interpretation and recognition, and the image is using separate the characteristics of the specific purpose. In this paper, we proposed an algorithm that separate image for feature points detected to high temperature in a Thermal infrared image. In order to improve the processing time, the proposed algorithm is implemented to FPGA Hardware Block using the Zynq-7000 Evaluation Board environment. The proposed High-Temperature Detection Algorithm and total FPGA blocks show a decrease of a processing time result from 16ms to 0.001ms, and from 50ms to 0.322ms respectively. It is also verified similar results of the PSNR to comparing software thermal testbench and hardware ones.

요 약

이미지 분할은 영상의 해석과 이미지 인식 분야에서 다양한 방법으로 연구되고 있으며, 특정한 목적에 따른 이미지의 특성을 분리하기 위해 사용된다. 본 논문에서는 열화상 이미지의 특징점인 고온을 검출하여 이미지를 분할하는 알고리즘을 제안한다. 또한 연산속도의 향상을 위해 제안하는 알고리즘을 Zynq-7000 Evaluation Board 환경에서 FPGA Hardware Block Design을 진행하였다. 고온 검출 알고리즘은 16ms에서 0.001ms의 속도 향상을 보였으며 전체 블록은 50ms에서 0.322ms로 속도 향상을 보이는 것을 확인하였다. 또한 영상 테스트벤치를 사용하여 소프트웨어와 하드웨어 이미지에 대해 유사한 PSNR 결과를 입증하였다.

Key words : FPGA, processing time, Thermal infrared image, High Temperature Detection Algorithm

Ⅰ. 서론

열화상 카메라는 비접촉 방식으로 적외선을 이용한 온도 측정이 가능하기 때문에 야간이나 어두운 공간에서도 온도의 분포에 따른 이미지 데이터를 제공한다. 이와 같이 열화상 카메라는 특정 환경에서 특정 목적을 갖고 다양한 알고리즘들이 연구 및 개발되고 있다. 특히 야간 보행자 검출, 군사용, 화재 현장 등과 같은 다양한 분야가 있다[1-2]. 또한 열화상 카메라를 이용한 알고리즘들은 온도의 변화에 따른 이미지 분할은 필수적이다.

이미지 분할은 픽셀이나 영역 등과 같은 기준을 선

* Dept. of Electronics Engineering, CheongJu University
★ Corresponding author
E-mail : khs8391@cju.ac.kr, Tel : +82-43-229-8452
※ Acknowledgment
This research was supported by the CheongJu University Research Grant during the year 2018 through 2020
This research was partially supported by the Cheongju University Research Scholarship Grants in 2016
Manuscript received Aug. 14, 2018; revised Aug. 28, 2018; accepted Sep. 5, 2018
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

정하여 다양한 방식으로 분할된다[3-4]. 픽셀을 이용한 분할은 히스토그램의 분포를 분석하여 임계값을 추출하며 영역을 이용한 분할은 이미지 내의 픽셀 값들의 배치를 기반을 기준으로 분할 처리한다.

Otsu 알고리즘은 픽셀 기반 이미지 분할 알고리즘이며 임계값을 클래스 간 분산(Between Class variance)을 통해 자동적으로 구하여 객체와 배경을 분할하며 현재 널리 사용되고 있다[5]. 따라서 Otsu 알고리즘 임계값은 클래스를 n개로 나눌 경우 $n-1$개를 추출할 수 있다. 하지만 $n=3$인 경우 기존의 Otsu 알고리즘은 열화상 이미지 내에서 고온 부분, 고온을 포함하고 있는 객체, 배경으로 분할을 할 경우 고온 부분이 아닌 다른 영역까지 포함하여 분할이 되어 특징점을 명확히 구분할 수 없다.

본 논문에서는 열화상 이미지의 특징점을 추출하기 위해 고온 검출 알고리즘을 설계하였으며 특징점을 포함하고 있는 객체를 추출하기 위해 개선된 Otsu 알고리즘을 사용하여 분할 적용하였다. 하지만 소프트웨어로 설계된 알고리즘의 경우 순차 처리 방식을 사용하기 때문에 연산 처리 속도가 크게 저하된다. 따라서 이를 하드웨어 설계하여 연산 처리 속도를 개선하고자 한다.

II. 개선된 고온 검출 알고리즘

1. 열화상 이미지와 온도 분포

열화상 카메라는 픽셀 데이터의 분포가 그림 1과 같이 물체에 대한 대기의 투과율(T), 방사율(R)과 비접촉식으로 입력되는 적외선 센서 데이터를 토대로 이미지

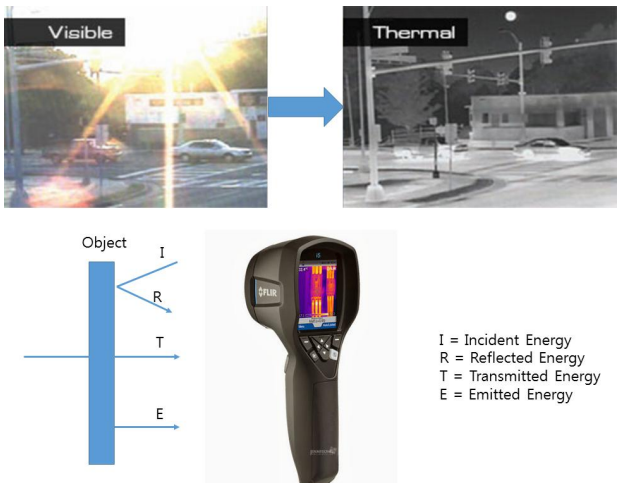


Fig. 1. Principles of thermal camera imaging.
그림 1. 열화상 카메라의 원리

에 따른 온도 분포가 재구성되며 온도 분포로 구성된 픽셀 데이터를 기준으로 열화상 이미지로 구성된다.

2. 제안하는 알고리즘

열화상 이미지에서 고온 부분이 아닌 다른 영역까지 포함하여 분할이 되어 특징점을 명확히 구분하기 위하여 객체, 고온 부분만을 고려하여 이미지 분할 방식으로 개선된 Otsu 알고리즘을 사용하여 적용하였으며 고온 검출 알고리즘을 제안, 설계하여 특징점을 추출하였다. 그림 2는 전체적인 알고리즘 플로우로 구성되며, Otsu 알고리즘(Otsu algorithm), 고온 검출 알고리즘(High Temperature Detection Algorithm), 컬러매핑 알고리즘(Color Mapping Algorithm)으로 구성된다.

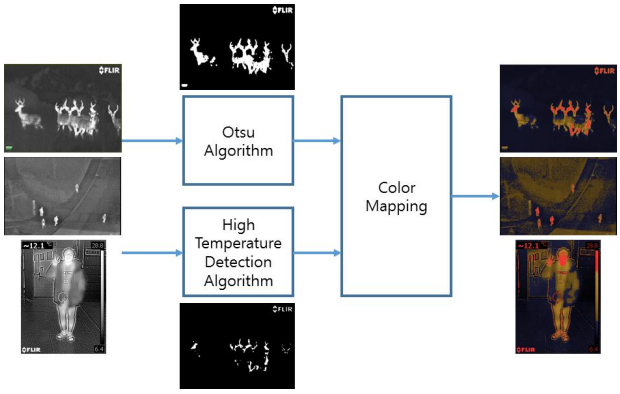


Fig. 2. Proposed Algorithms.
그림 2. 제안하는 알고리즘

가. Otsu 알고리즘

그림 2에서 Otsu 알고리즘은 $n=2$를 사용하여 나타낸다. n은 분할하는 이미지의 수를 의미하며 임계값은 $n=2$일 때 하나의 임계값(t_{otsu})을 가진다. 또한 $n=3$일 때 두 개의 임계값(t_1, t_2)을 가진다. 고온을 포함하고 있는 객체와 배경을 자동적으로 분할시키는 방식으로 설계되었다.

그림 3(a)는 Otsu 알고리즘을 적용하고자 하는 원본 이미지이다. 그림 3(b)는 $n=2$로 분할하여 추출한 t_{otsu}임계값을 적용한 이미지를 나타내며 그림 3(c), 3(d)는 $n=3$으로 분할하여 추출한 t_1과 t_2의 임계값을 적용시킨 결과 이미지를 나타낸다. 그림 3(c), 3(d)는 $n=3$에 대한 급간 분산을 이용하기 때문에 배경과 객체뿐만 아니라 객체 내부에 해당하는 지점을 추출할 수 있다. 하지만 고온 부분

뿐만 아니라 미열 부분도 포함되어 추출되는 것이 그림 3(d)에서 확인된다. 따라서 $n=2$를 사용하여 개선된 Otsu 알고리즘을 사용하였으며, 고온 부분에 대한 특징점을 추출하는 알고리즘을 설계하였다.

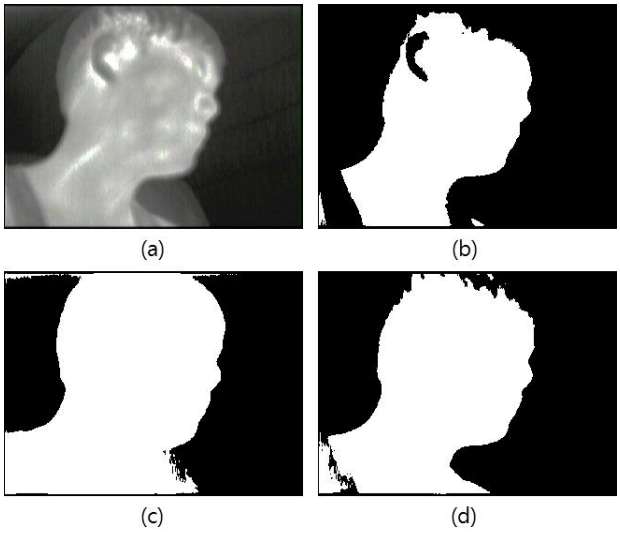


Fig. 3. (a) Original thermal Image (b) Image using T_{otsu} (c) Image using T_1 (d) Image using T_2.
그림 3. (a) 원본 이미지 (b) T_{otsu} 적용 이미지 (c) T_1 적용 이미지 (d) T_2 적용 이미지

나. 고온 검출 알고리즘

고온 검출 알고리즘은 그림 4(a)의 열화상 이미지를 히스토그램화 할 경우 그림 4(b)와 같이 나타나게 된다. 4(b)의 A 부분에 유지되는 구간과 상승하는 구간을 분할하여 고온 부분을 나타내기 위해서 그림 5와 같이 고온 검출 알고리즘이 처리된다.

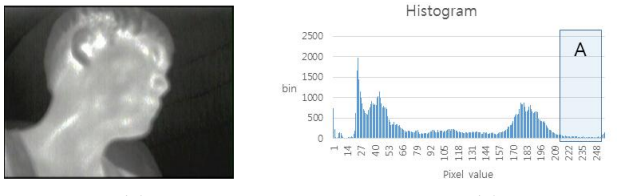


Fig. 4. (a) Sample image (b) Histogram of (a).
그림 4. (a) 샘플 열화상 이미지 (b) (a)의 히스토그램

(1) 최소값 탐색

그림 5의 (1)부분은 히스토그램의 최소값을 구하는 과정을 나타낸다. Otsu 알고리즘의 임계값을 이용하여 객체와 배경을 구분한다. 그림 6의 A는 Otsu 알고리즘의 임계값에 의해 범위가 자동으로 지정된다. 정해진 임계값 범위에서 최소값을 구하기 위한 탐색 방향을 정하여야 하며 그림 6의 B의 형태로 최소값의 탐색 방향을 결정한다.

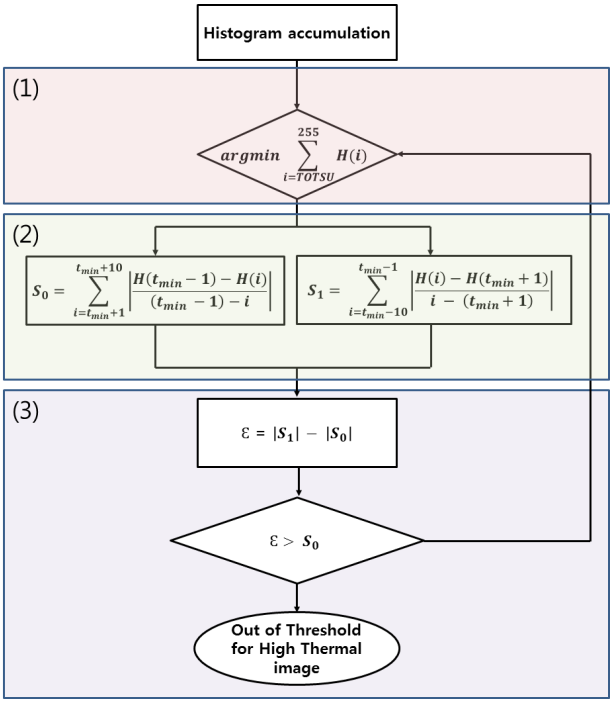


Fig. 5. High thermal block algorithm flow.
그림 5. 고온 검출 알고리즘 순서도

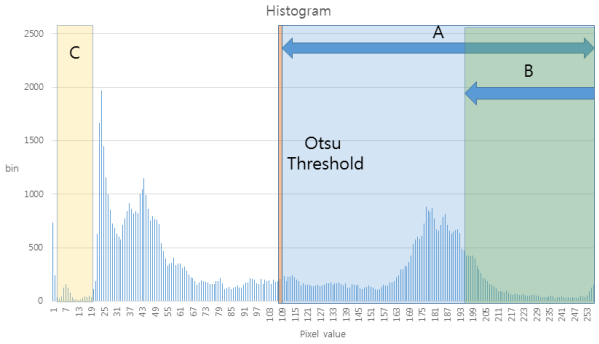


Fig. 6. Detection in inspection and range of minimum value.
그림 6. 최소값 탐색 범위와 방향

최소값의 탐색은 그림 6에서 C의 범위는 고온 부분과 연관이 없는 배경 부분이기 때문에 최소값 탐색을 진행하지 않는다. 그런 다음 객체에 해당하는 부분에 대해서만 범위를 지정하여 식 (1)과 같은 최소값 탐색을 진행한다.

$$t_{\min} = \arg\hat{o}\sum_{n=} T_{OH(i)TSU}^{255} \quad (1)$$

최소값을 탐색한 후 주변 빈도수에 대한 기울기를 구하기 위해 구간을 설정한다.

$t_{\min}$~$t_{\min}-8$ 구간을 선정하여 S_0로 나타내며 $t_{\min}$~$t_{\min}+8$ 구간을 선정하여 S_1으로 설정하여 영역별 기울기 연산을 진행하며 그림 7에 나타내었다.

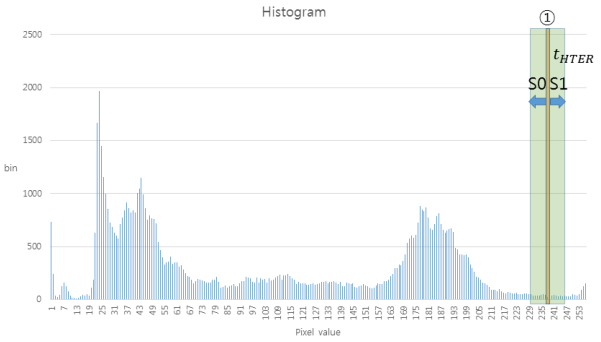


Fig. 7. Specification of selected area using S_0 and S_1.
그림 7. S_0와 S_1 영역 지정

(2) 영역별 기울기 연산

그림 7의 S_0와 S_1에 대하여 식 (2), (3)의 연산을 진행한다.

$$S_0 = \sum_{n=t_{\min}-7}^{t_{\min}-1} \left| \frac{H(t_{\min}-1)-H(n)}{(t_{\min}-1)-n} \right| \quad (2)$$

$$S_1 = \sum_{n=t_{\min}+1}^{t_{\min}+7} \left| \frac{H(n)-H(t_{\min}+1)}{n-(t_{\min}+1)} \right| \quad (3)$$

임계값은 S_0의 기울기가 유지되는 구간을 가지며 S_1의 기울기가 상승하는 구간을 동시에 만족할 때 임계값으로 정한다. 이를 통해 식 (4)는 다음과 같이 S_0와 S_1의 오차를 구할 수 있다.

$$\epsilon = |S_1| - |S_0| \quad (4)$$

(3) 임계값 지정

그림 7의 후보 임계값 ①을 기준으로 연산을 하면 표 1과 같이 연산된다. 표 1, 표 2의 sum은 식 (2), (3)의 S_0와 S_1의 총 합을 의미한다.

Table 1. Result of S_0 and S_1 base on t_{HTER} using ①.
표 1. ①의 t_{HTER} 기준 S_0와 S_1의 연산

S_0	$n\rightarrow n-1$	$n\rightarrow n-2$	$n\rightarrow n-3$	$n\rightarrow n-4$
	4.1	4.4	0.68	3.52
	$n\rightarrow n-5$	$n\rightarrow n-6$	$n\rightarrow n-7$	sum
	0.9	0.7	0.6	14.9
S_1	$n\rightarrow n+1$	$n\rightarrow n+2$	$n\rightarrow n+3$	$n\rightarrow n+4$
	5	-3.5	-6	-2.45
	$n\rightarrow n+5$	$n\rightarrow n+6$	$n\rightarrow n+7$	sum
	-2.2	-1	0.33	-9.82

표 1에 의해 오차는 식 (4)에 의해 ϵ = -5.08의 값을 나타내며, 그림 5(3)의 과정에 의해 S_0 보다 낮기 때문에 두 번째 최소값 탐색을 시작한다. 그림 8은 두 번째 최소값의 선정을 나타낸다.

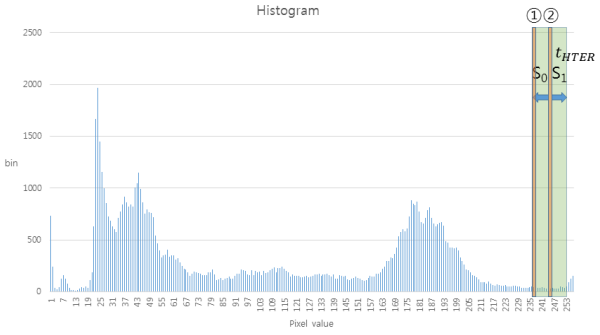


Fig. 8. The sequence of threshold values.
그림 8. 임계값 탐색 순서

Table 2. Result of S_0 and S_1 base on t_{HTER} using ②.
표 2. ②의 t_{HTER} 기준 S_0와 S_1의 연산

S_0	$n\rightarrow n-1$	$n\rightarrow n-2$	$n\rightarrow n-3$	$n\rightarrow n-4$
	2.9	6.76	1	-3
	$n\rightarrow n-5$	$n\rightarrow n-6$	$n\rightarrow n-7$	sum
	-1.3	2.43	0.45	9.24
S_1	$n\rightarrow n+1$	$n\rightarrow n+2$	$n\rightarrow n+3$	$n\rightarrow n+4$
	-1.5	-1	2	4.76
	$n\rightarrow n+5$	$n\rightarrow n+6$	$n\rightarrow n+7$	sum
	4	3.1	5.9	26.5

표 2의 오차는 ϵ = 17.26으로 조건에 만족하기 때문에 ②의 주소값인 243이 임계값이 된다.

추출된 임계값으로 이진화를 진행하게 되면 그림 9와 같이 고온 부분이 추출되는 것을 확인할 수 있다.

(a) (b) (c)

Fig. 9. (a) Sample thermal image (b) Result image using T_{OTSU} and T_{HTER} (c) Color mapping image.
그림 9. (a) 샘플 이미지 (b) T_{OTSU}와 T_{HTER} 적용 이미지 (c) 컬러 매핑 이미지

III. FPGA 구현

제안하는 알고리즘을 소프트웨어로만 구성을 하게 되면 순차적으로 동작을 하기 때문에 메모리 사용량과 연산의 복잡성에 의해 동작 속도가 낮아진다. FPGA를 이용한 하드웨어 설계는 병렬처리와 파이프라인 방식을 적용하기 때문에 연산속도 향상시킬 수 있다. 따라서 그림 2의 알고리즘을 FPGA로 설계 구현하였으며, 그림 10에 설계된 FPGA 블록도를 나타내었다.

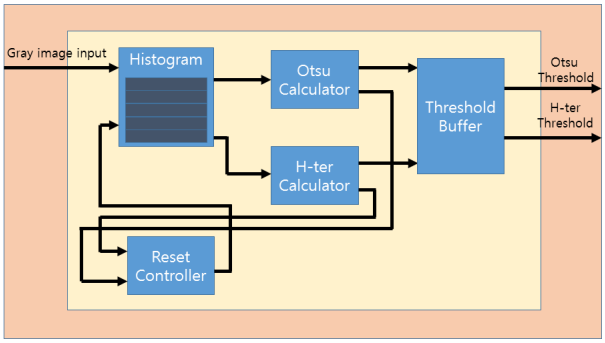


Fig. 10. Hardware Block Design.
그림 10. 하드웨어 블록도

그림 10에서 Histogram 블록으로 이미지 데이터가 입력되면 해당 픽셀의 주소값에 데이터를 누적시킨다. 히스토그램이 완료되면 각각 Otsu와 H-ter 블록으로 신호가 입력된다. 그 후 블록들은 연산을 위해 필요한 주소값을 출력한 후 데이터를 입력받아 연산을 진행한다. 연속적인 프레임을 처리하기 위해 Otsu와 고온 검출(H-ter Calculator) 블록의 완료 신호를 입력받아 Reset Controller를 동작시켜 Histogram 블록을 초기화 시킨다. 또한 Threshold Buffer를 설계하여 임계값을 저장 후 출력하여 이미지를 분할하여 소프트웨어와 하드웨어의 연산 결과가 일치하는 것을 확인하였다.

IV. 실험 결과

구현된 고온 검출 알고리즘의 하드웨어 구현은 XC7Z020 xc7z020-3clg400 FPGA 보드를 사용하였으며 Vivado 17.2 Tool을 사용하여 구현 및 검증을 진행했다.

그림 11은 소프트웨어 환경으로 CPU(i7 3GHz), RAM(DDR4 8GB, 2400MHz)에서 연산 속도를 확인할 수 있으며, 임계값 T_{OTSU}는 141과 T_{HTER}은 235의 값을 확인한 결과를 나타낸다.

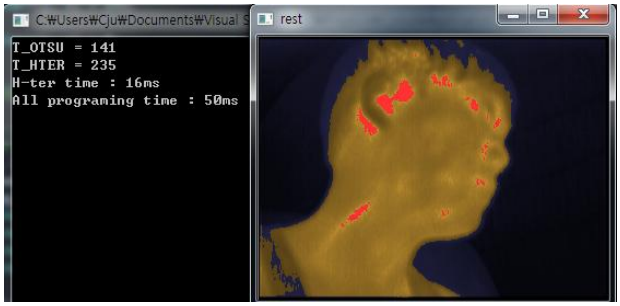


Fig. 11. Software result.
그림 11. 소프트웨어 결과

하드웨어는 (Simulation Clock Frequency : 500MHz) 환경에서 속도를 확인하였으며 그림 12에 임계값과 처리 속도 0.325~0.003us로 총 연산속도 0.322ms로 확인되었다. 표 3은 소프트웨어와 하드웨어 환경에서 고온 검출 블록과 전체 블록에 대한 연산 속도를 비교한 결과를 나타낸다.

Table 3. Compare result of operation time.
표 3. 연산 속도 비교결과

	Software	Hardware
H-ter Calculator block	16ms	0.001ms
All block	50ms	0.322ms

본 논문은 열화상 카메라를 사용하여 알고리즘 검증을 하였으며 OSU 보행자 열화상 이미지 데이터

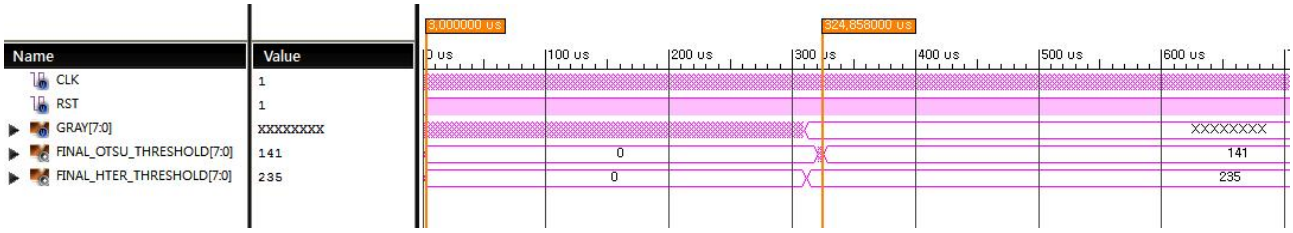
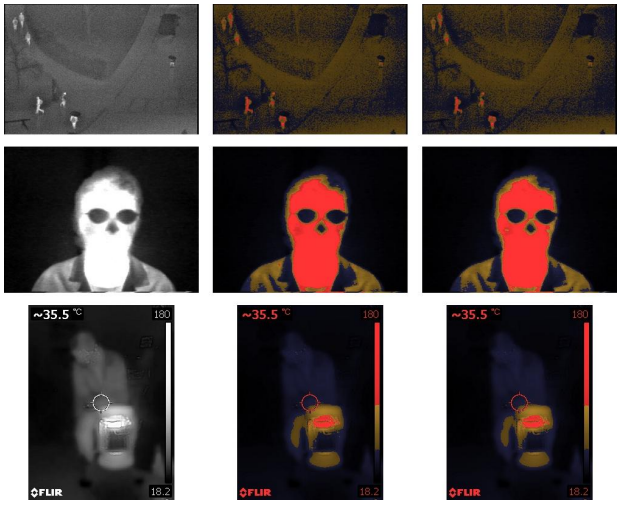


Fig. 12. Simulation result of Top block.
그림 12. 전체 블록 시뮬레이션 결과

세트(OSU Thermal Pedestrian datasets)와 Terravic의 얼굴 적외선 이미지 데이터 세트(Terravic Facial IR datasets)의 벤치마크 이미지를 사용하여 알고리즘의 안정성을 확인하였다. 그림 13은 벤치마크 이미지와 열화상 카메라를 사용한 이미지에 대한 알고리즘 적용 결과를 나타낸다.



(a) (b) (c)

Fig. 13. (a) Sample thermal image (b) Software result image (c) Hardware result image.

그림 13. (a) 샘플 열화상 이미지 (b) 소프트웨어 결과 이미지 (c) 하드웨어 결과 이미지

소프트웨어와 하드웨어의 결과 이미지를 비교하기 위해 PSNR을 진행하였다. PSNR은 최대 신호대 잡음비를 나타내며 화질 측정에 사용된다. 손실이 적을수록 PSNR 값이 높게 나타난다. 표 4는 그림 11에 대한 소프트웨어와 하드웨어의 이미지를 원본 이미지와 비교한 PSNR 값을 나타낸다.

Table 4. Compare result of PSNR.

표 4. PSNR 비교결과

	Software	Hardware
1	25.81 dB	25.80 dB
2	26.50 dB	25.52 dB
3	25.2 dB	25.18 dB

Ⅴ. 결론

본 논문에서는 열화상 이미지 특성에 따른 이미지 분할 알고리즘을 설계하였다. Otsu 알고리즘을 사용하여 배경과 객체를 분할시켰으며 고온 검출 알고리즘을 이용하여 이미지의 특징점을 나타내었다. 특징점은 최소값 주위의 픽셀에 대하여 두 영역(S_0, S_1)으로 연산을 진행했다.

열화상 카메라로부터 추출된 이미지를 이용하여 검증하였으며, 알고리즘의 안정성을 위해 OSU 보행자 열화상 이미지 데이터세트와 Terravic의 얼굴 적외선 이미지 데이터세트를 이용하여 결과를 확인했다. 또한 FPGA 설계를 통해 소프트웨어와 하드웨어의 연산 속도를 확인하였으며, PSNR을 통해 이미지 손실 정도를 확인하였다. 전체 블록에 대한 연산속도를 50ms에서 0.322ms로 속도 향상을 시켰다.

제안한 알고리즘은 화재 현장에서 온도 분포에 따른 픽셀 차를 이용하여 불과 사람에 대한 분할과 군사 영역에서의 야간 작계 현장 등 다양한 영역에서의 활용이 기대된다.

향후 연구 목표로는 검출된 특징점을 기반으로 연속된 프레임에서 객체 추적을 진행할 것이다.

References

[1] G. Ginesu, D. D. Giusto, V. Margner, P. Meinlschmidt, “Detection of foreign bodies in food by thermal image processing,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics,* vol.51, no.2, pp.480-490, 2004. DOI:10.1109/TIE.2004.825286

[2] D. Pal, R. Meyur, S. Menon, M. J. B. Reddy, D. K. Mohanta, “Real-time condition monitoring of substation equipment using thermal cameras,” *IET Generation, Transmission & Distrbution,* vol.12, no.4, 2018. DOI:10.1049/iet-gtd.2017.0096

[3] J. Y. Kwak, B. C. Ko, J. Y. Nam, “Pedestrian Tracking Using Online Boosted Random Ferns Learning in Far-Infrared Imagery for Safe Driving at Night,” *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems,* vol.18, no.1, pp.69-81, 2017. DOI:10.1109/TITS.2016.2569159

[4] J. Y. Kwak, B. C. Ko, J. Y. Nam, “Pedestrian

Tracking Using Online Boosted Random Ferns Learning in Far-Infrared Imagery for Safe Driving at Night," IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, Vol.18, No.1, Jan. 2017.
(3번과 동일논문)
[5] B. H. Ko, H. S. Kim, "Using Enhanced-Color Mapping Algorithm for Object Boundary Segmentation," *IJAER,* vol.12, no.15, pp.5184-5190, 2017.
[6] J. T. Oh, W. H. Kim, "Region-based Multi-level Thresholding for Color Image Segmentation," 전자공학회 논문지, Vol.43, No.6, 2006.

BIOGRAPHY

Byoung-Hwan Ko (Member)

2016 : BS degree in Electronic Engineering, Cheongju University.
2018 : MS degree in Electronic Engineering Engineering, Cheongju University.

Hi-Seok Kim (Member)

1977 : BS degree in Electronic Engineering, Hanyang University.
1980 : MS degree in Electronic Engineering, Hanyang University.
1985 : PhD degree in Electronic Engineering, Hanyang University.

1987~current : Professor, Dept. of Electronics Engineering, Cheongju University.