

적응 문턱치를 이용한 열영상 화염 검출 알고리즘

정수영*, 김원호* 종신회원

Flame detection algorithm using adaptive threshold in thermal video

Soo-Young Jeong*, Won-Ho Kim* Lifelong Member

요 약

본 논문은 적외선 열영상에서 영상의 밝기와 대비 변화에 따라 적응적으로 화염 후보 영역을 검출하기 위한 적응 문턱치를 제안한다. 현장에 사용 되고 있는 화재 검출 시스템은 카메라의 설치 장소에 따라 얻어지는 영상의 밝기나 대비의 변화가 발생 하여 고정된 문턱치를 적용하는 화재 검출 알고리즘의 성능이 변화하게 되므로 환경에 적응적인 문턱치가 필요하다. 제안하는 적응 문턱치를 이용한 화염 검출 알고리즘은 화염의 특성인 온도와 동적임 특성을 분석하여 화염을 검출 한다. 실험을 위해 고정 문턱치를 이용한 화염 검출 알고리즘과 비교 하였으며 제안된 적응 문턱치를 이용한 화염 검출 알고리즘은 화염 검출률 91.42%이며 고정 문턱치를 적용 하였을 때 보다 오검출률을 약 20%가 감소한다. 그리고 영상의 밝기와 대비 변화에 의한 검출 결과가 일정함을 보여 준다.

Key Words : Fire Detection, Video Surveillance, Infrared thermal Video, Adaptive Threshold, Image processing

ABSTRACT

This paper proposed an adaptive threshold method for detecting flame candidate regions in a infrared image and it adapts according to the contrast and intensity changes in the image. Conventional flame detection systems uses fixed threshold method since surveillance environment does not change, once the system installed. But it needs a adaptive threshold method as requirements of surveillance system has changed. The proposed adaptive threshold algorithm uses the dynamic behavior of flame as featured parameter. The test result is analysed by comparing test result of proposed adaptive threshold algorithm and conventional fixed threshold method. The analysed data shows, the proposed method has 91.42% of correct detection rate and false detection is reduced by 20% comparing to the conventional method.

I. 서 론

화재로 인한 인적, 물적 피해는 매우 크다. 그 중에서 산불의 경우 생태학적 측면과 사회적으로도 심각한 국가적 손실이 발생하기 때문에 다양한 산불 방지 활동들이 이루어지고 있다. 조기에 산불을 발견하기 위해서는 산이라는 광범위한 영역을 감시해야 하므로 영상 처리 기술을 적용한, 산불 자동 감시 시스템의 도입과 관련 연구가 활성화 되고 있다.[1-8]

영상 처리 기반의 산불 감시 방법은 컬러 영상과 열영상을 이용하는 방법 두 가지가 있다. 컬러 영상을 이용하는 방법은 색상 정보와 시간, 공간상의 특성을 분석하여 화염 또는 연기를 검출한다. 색상 모델의 각 색상 채널을 분석해야 하기 때문에 연산량이 많아진다. 또한 광원이 없는 밤의 경

우 영상 획득이 어려워 색상 분석을 통한 검출이 어렵다.[6-8] 적외선 열 영상은 물체가 방사하는 열에너지를 이용해 온도 분포를 밝기 정보로 영상으로 표현한다. 그렇기 때문에 야간에도 감시가 가능하며, 화염 검출에 사용하는 영상은 밝기정보 하나이기 때문에 연산량에서도 유리하다.[1-5]

기존 논문의 화재 검출 방법은 대부분 3단계의 절차로 이뤄지고 있다. 첫 번째로 화염 후보 영역을 선정한다. 두 번째로 화염의 특성을 분석 하여 필터링 과정을 거친다. 마지막으로 최종적인 화염의 판단이다. 이러한 처리 과정은 첫 번째 화염 후보 영역의 선정이 결과에 미치는 영향이 매우 크다. 특히 적외선 영상의 경우 화염 후보 영역을 대부분 문턱치 처리를 이용하여 검출 하게 된다. 이 경우 화염 후보 영역의 선정은 실제 화염 영역과 오검출 영역의 포함하는 정도를 트레이드오프를 해야 한다. 오검출 영역이 매우 적게 한다는

*공주대학교 전기전자제어공학부, 교신저자 : 김원호 (whkim@kongju.ac.kr)

접수일자 : 2014년 11월 03일, 수정완료일자 : 2014년 11월 28일, 최종게재확정일자 : 2014년 12월 01일

것은 문턱치가 커지므로 실제 화염 영역의 포함 정도가 줄어들게 되어 검출 결과에 영향을 끼치게 된다. 반대의 경우 오검출 요소가 증가하게 되어 불필요한 화염 후보의 처리 과정으로 처리 시간이 더 소요 될 수 있다. 그러므로 화염 후보 영역은 영상의 상태에 맞춰 적응적으로 선정 되도록 해야 한다. 그림 1은 영상의 밝기와 대비 변화에 대해 고정 문턱치를 적용했을 때의 결과이다. 전체적으로 영상의 밝기가 증가하면 오검출 요소가 많이 포함 하게 되고, 밝기가 감소하는 경우 화염이 있음에도 미검출이 발생 한다. 영상의 대비변화 역시 검출 결과에 영향을 미치게 된다.

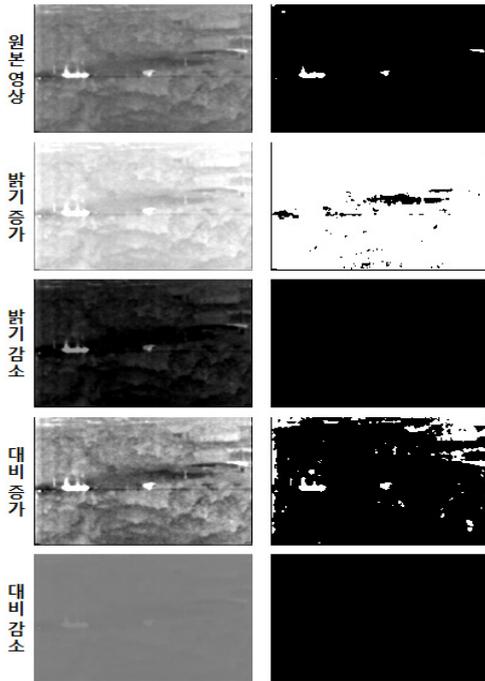


그림 1. 고정 문턱치 적용시 결과

실제로 현장에 사용 되고 있는 화재 검출 시스템의 열영상 카메라는 AGC(Automatic Gain Control) 기능 또는 포커스 설정이 다르기 때문에 설치 장소에 따라 얻어지는 영상의 밝기나 대비의 변화가 발생한다. 이 경우 고정된 문턱치를 적용하여 사용 하는 경우 환경에 따라 화재 검출 알고리즘의 성능이 변화가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 본 논문은 적외선 열영상에서 영상의 밝기와 대비 변화에 따라 적응적으로 화염 후보 영역을 검출하기 위한 적응 문턱치를 제안 한다. 화염 검출 알고리즘은 화염의 동적 특성을 이미지 상관도 분석을 하여 화염을 최종적으로 검출한다. 적응 문턱치의 성능을 검증하기 위하여 영상의 밝기와 대비를 조절 하여 고정 문턱치 화염 검출 결과와 비교 하였다

II. 열영상에서 화염의 특성

영상에서 화염은 높은 열에너지를 방사 하게 되어 영상

내에서 가장 높은 명도로 나타나기 때문에 문턱치를 이용하여 화염의 검출이 가능하다. 하지만 적외선 카메라를 감시용에 이용 되는 경우 AGC 기능이 있어 영상에 대비와 밝기를 조절 하여 가시성을 높여 표현하기 때문에 고정 문턱치를 이용한 화염 검출 알고리즘은 오검출률이 매우 높아지게 된다. 따라서 화염 후보 영역을 검출하기 위해서는 영상에 적응적인 문턱치가 선정되어야 한다.

높은 명도로 나타나는 햇빛 반사나 인공적인 물체와 같은 오검출 요소는 연속되는 영상에서 물체의 밝기 변화가 정적인 특성을 갖는다. 반면에 화염의 경우 움직임이나 확산에 의해 매우 동적인 특성을 갖는다. 그림 2는 화염 후보 영역의 시간의 따른 밝기 변화를 보여주며 화염의 중심 영역 보다는 외곽 영역에서 변화가 많은걸 보여주기 때문에 화염의 동적인 특성을 확인 한다면 화염 검출 알고리즘의 신뢰도를 높일 수 있다. [1-2]

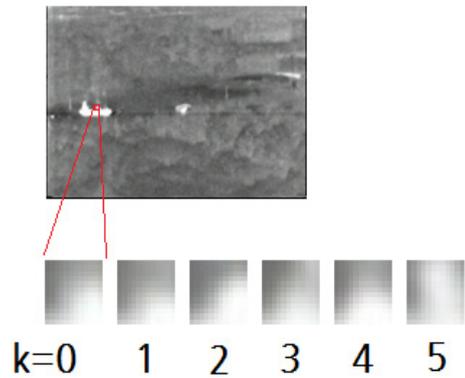


그림 2. 연속된 이미지의 화염 영역의 변화

III. 화염 검출 알고리즘

화염 검출 알고리즘은 3단계로 구성되며 화염 후보 영역 검출, 화염의 동적 특성의 분석 최종적으로 화염의 존재 여부를 판단한다. 그림 3은 알고리즘의 순서도이다. 영상을 0.5 초 주기로 입력 받아 이미지를 4x4 블록의 평균값으로 해당 블록의 대표 값으로 선정하여 축소 이미지를 만들어 적응 문턱치를 적용하여 화염 후보 영역을 검출 한다. 검출된 화염 후보 영역의 동적 특성은 이미지 상관도를 통해 분석하고 화염의 존재 여부를 이전 검출 결과를 종합하여 판단하게 된다.

3.1 화염 후보 영역 검출

환경에 따라 밝기 및 대비가 변화하는 열영상에서 화염 후보 영역을 검출하기 위해서 영상에 적응적인 문턱치를 계산해야 한다. 기존의 방법으로는 보행자, 이동물체를 검출하기 위해 적용한 문턱치 기법으로 영상의 평균과 표준편차를 사용한 방법이 이용되었으며, 영상의 평균과 최대값을 이용

한 방법이 참고문헌 [9], [10]에 제시 되었다. 그리고 이것을 분석한 연구 결과가 발표 되었다.[11] 본 논문은 참고 문헌 [11]에 제시한 화염 검출에 최적의 파라미터로 영상의 평균, 표준 편차, 최대값을 이용하여 화염 후보 영역을 선정 한다. 영상에서 화염 영역은 최대값에 가까운 명도를 가지므로 평균값은 1차적으로 화염과 비화염의 구분점이 된다.

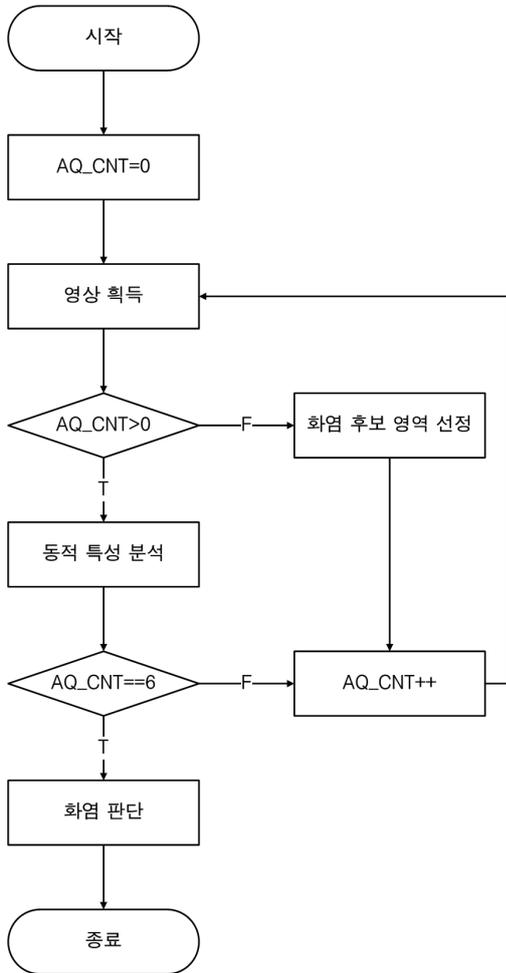


그림 3. 알고리즘 순서도

표준편차는 영상의 대비가 증가 할수록 값이 커지고 감소 할수록 값이 낮아진다. 평균과 표준편차의 합을 이용한 통계적인 값을 문턱치에 적용하게 되면 배경 요소 제거에 효과적이며 대비 변화와 밝기 변화에 적응이 가능하다. 문턱치를 표준편차에 3을 곱한 값을 사용하면 정규 분포도에서 상위 1%의 명도 값의 검출이 가능하다. 하지만 터널과 같이 주변 온도가 낮은 경우 영상의 평균과 표준편차 값이 낮아지게 되어 화염보다 낮은 명도를 갖는 사람이나 조명이 오검출로 발생한다. 이 경우를 그림 4의 (a)와 (b)에서 보여주고 있다. (a)는 터널 환경에서 사람이 햇불을 들고 있는 모습이 촬영된 열영상이고 (b)는 영상의 평균(μ)과 표준편차(σ)에 3배한 값의 합으로 문턱치 처리한 결과로 사람의 몸이 오검출로 발생한다.

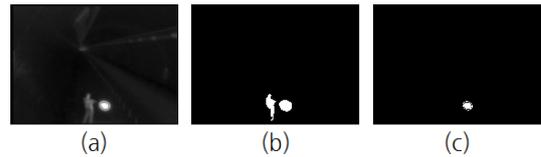


그림 4. 터널에서의 문턱치 결과

이 문제를 해결하기 위해 영상의 최대값(max)과 평균(μ)의 차이값(d)을 이용하여 보완된 적응 문턱치를 제안 한다. 화염 영역의 명도는 영상의 평균과 표준 편차를 합한 값보다 크며, 영상의 최대값보다 작거나 같은 값에 분포 한다. 제안하고자 하는 적응 문턱치의 주요 아이디어는 다소 높은 명도를 갖는 오검출 요소를 제거하기 위해 문턱치를 최대값에 가까워지도록 한다. 그림 5에 제안하는 적응 문턱치 TH의 범위를 보여준다.

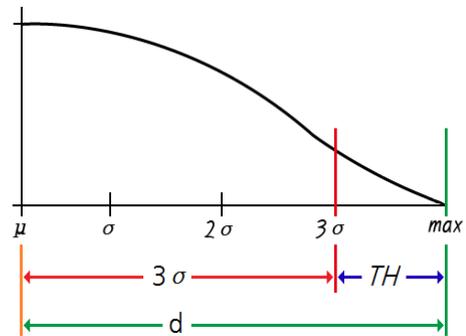


그림 5. 적응 문턱치의 개념

문턱치의 조절 방법으로 d와 3σ에 가중치를 적용하는 것이며 제안 하는 적응 문턱치를 수식 1에 표현 하였다. 적응 문턱치를 적용한 결과는 기존의 오검출이 제거됨을 그림 4의 (c)에서 보여준다.

$$TH = \mu + (\alpha \cdot 3\sigma + \beta \cdot d) \tag{1}$$

이 식에서 μ 는 영상의 명도 평균이고 d 영상의 명도 최대값과 평균값의 차이이다. σ 는 영상 명도 표준편차이고 α 와 β 는 가중치로 그 합은 1이다. α 가 1에 가까운 경우 최대값에 의해 제거 되는 오검출 요소가 증가하며, 반대로 β 가 1에 가까운 경우 전체적으로 밝기가 증가한 영상에서는 배경 요소의 오검출이 증가한다. 이러한 이유로 본 논문에서는 실험적으로 가장 적당한 가중치(α, β)의 값을 각각 0.5로 설정하여 3σ 와 d 의 평균값에 문턱치가 선정되도록 했다.

제안 하는 적응 문턱치의 영상의 밝기와 대비 변화에 대한 실험 결과를 그림 6에 보여주고 있으며, 고정 문턱치 적용 결과를 보여주는 그림 1보다 매우 좋은 결과를 보여 주고 있으며 영상의 변화에 대해 일정한 결과를 보여 주고 있다.

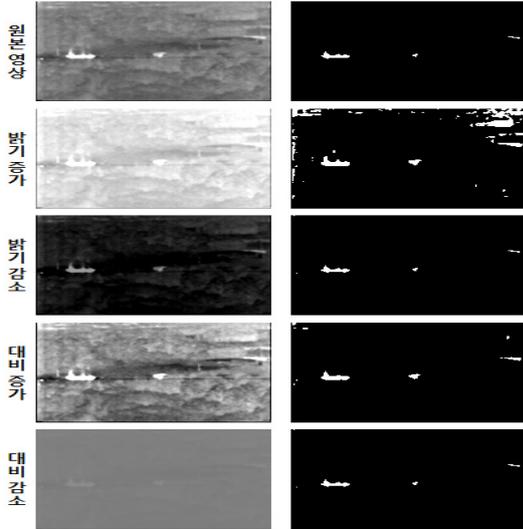


그림 6. 적응 문턱치 적용 결과

3.2 화염의 동적 특성 분석

화염의 동적 특성은 검출된 화염 후보 영역들을 MAD(Mean of Absolute Difference) 기법을 이용하여 기준 이미지와 연속된 다섯 개의 이미지의 상관도 변화량 BMV(Block Mean of Variation)을 계산한다. 화염 후보 영역은 4x4의 크기를 갖고 있어 수식 2와 같이 계산한다.

$$BMV_k(m,n) = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 |I_{ref}(i,j) - I_k(i,j)| \quad (2)$$

k는 입력받은 이미지의 순서이며 Iref는 화염 후보 영역을 생성할 때 얻은 이미지이며 I_k은 그 이후 얻어지는 이미지이다. m, n은 화염 후보 영역의 블록 번호이며 i, j는 화염 후보 블록을 구성하는 픽셀의 좌표이다. 이후 5개의 BMV의 평균을 계산 하여 mBMV를 수식 3과 같이 구한다.

$$mBMV(m,n) = \frac{1}{5} \sum_{k=1}^5 BMV_k(m,n) \quad (3)$$

수식 3에서 얻어진 mBMV의 변화에 따라 화염의 동적임 특성을 분석 할 수 있다. 그림 7에 표시된 A는 화염 영역이며 B는 오검출 요소로 햇빛에 의해 온도가 상승된 바위이다.

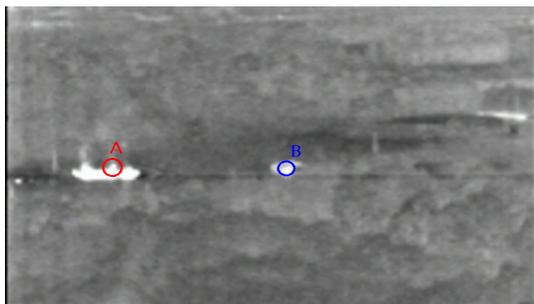


그림 7. 화염과 햇빛 반사에 의한 오검출 요소

그림 8과 그림 9는 두 영역의 상관도의 변화량을 나타내었다.

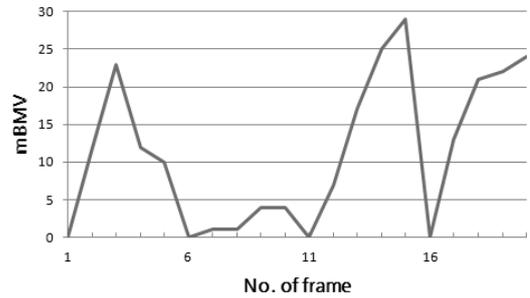


그림 8. 화염 영역의 상관도 변화량

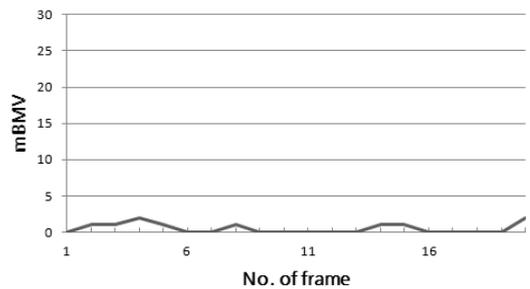


그림 9. 햇빛 반사 물체의 상관도 변화량

화염의 경우 상관도 변화가 크게 나타나며, 비화염의 경우 상관도 변화가 낮게 나타난다. 화염의 동적 특성을 분류하기 위해 mBMV에 문턱치를 적용하여 화염 가능성 여부를 판정하여 수식 4와 같이 FP(Fire Possible)에 기록 한다.

$$\begin{aligned} & \text{if } mBMV(i,j) > TH_2 \\ & \text{then } FP_k(i,j) = 1 \\ & \text{else } FP_k(i,j) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

3.3 화염 판단 기능

동적 특성 분석을 통해 얻어진 결과 FP 하나만 가지고 화염을 판단하기에는 고온의 이동 중인 물체가 오검출 요소로 검출이 될 수 있는데 화염은 짧은 시간동안 위치의 변화가 없어 같은 장소에서 지속적으로 검출이 된다. 그러므로 FP의 이전의 검출 결과를 이용하여 화염을 최종 판단 한다. 이를 수식 5에 나타내었다.

$$\begin{aligned} & \text{if } FP_k(m,n) \& (FP_{k-1}(m,n) | FP_{k-2}(m,n)) \\ & \text{then } Fire(m,n) = 1 \\ & \text{else } Fire(m,n) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

IV. 실험과 결과

적외선 열영상은 720x480의 해상도, YCbCr 색상공간으로

입력된다. 영상 처리 알고리즘은 0.5초 주기로 입력 받아 Y 채널만 사용한다. 참고 문헌 [5]와 같은 실험 영상 10개로 영상의 밝기와 대비를 변화시켜 검출 결과를 측정 하였다. 실험 영상중 4, 5, 9번은 실제 화염이 존재 하지 않고 오검출 요소만 존재 한다.

적응 문턱치의 유효성을 보기위해 대조군으로 화염 후보 영역의 검출 방법을 고정 문턱치와 비교 하였다. 그리고 고정 문턱치와 적응 문턱치의 실험 결과를 정리하여 각각을 표 1과 표 2에 나타내었다. 표에서 C(Correct Detect)는 실제 화염이 존재 하는 영상에서 화염의 검출 여부를 나타낸다. ‘-’로 표현 한 것은 실제 화염이 존재 하지 않는 영상을 의미 한다. F(False Detect)는 오검출 요소를 화염으로서 검출한 여부를 나타낸다. 그리고 검출률은 실제 화염이 포함된 영상 중 정확하게 검출한 정도를 나타내며 오검출률은 전체 영상 중 오검출한 정도를 나타낸다.

표 1. 고정 문턱치 적용시 검출 결과

Video	Normal		Bright up		Bright down		Contrast up		Contrast down	
	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F
1	O	X	O	O	X	X	O	O	X	X
2	O	O	O	O	X	X	O	O	X	X
3	O	O	O	O	X	X	O	O	X	X
4	-	O	-	O	-	X	-	O	-	X
5	-	X	-	O	-	X	-	O	-	X
6	O	X	O	O	X	X	O	O	X	X
7	O	X	O	X	X	X	O	X	X	X
8	O	X	O	O	X	X	O	O	X	X
9	-	O	-	O	-	X	-	O	-	X
10	O	X	O	O	X	X	O	O	X	X
Correct Rate	100.0%		100.0%		0.0%		100.0%		0.0%	
False Rate	40.0%		90.0%		0.0%		90.0%		0.0%	
Miss Rate	0.0%		0.0%		100.0%		0.0%		100.0%	

검출률과 오검출률 그리고 미검출률의 계산 방법을 각각 수식 6, 7, 8에 나타내었다.

$$Correct Rate = \frac{No. Correct}{No. Fire Video} \times 100\% \quad (6)$$

$$False Rate = \frac{No. False}{No. Video} \times 100\% \quad (7)$$

$$Miss Rate = (100 - Correct Rate) \quad (8)$$

실험 결과는 적응 문턱치를 적용 하여 화염 후보 영역을 검출 하는 경우 영상의 변화가 생겨도 비슷한 검출 결과를 보여 주었다. 대비가 증가한 경우 오검출률이 증가하게 되었는데, 이것은 각 픽셀 값의 대비가 증가 하면서 이미지 상관도 분석시 높은 변화량이 발생하게 되었다. 반대로 대비의 감소는 동적 특성이 크게 나타나지 않게 되어 검출률에 영향을 주게 되었다.

표 2. 적응 문턱치 적용시 검출 결과

Video	Normal		Bright up		Bright down		Contrast up		Contrast down	
	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F
1	O	X	O	X	O	X	O	X	O	X
2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
3	O	X	O	X	O	X	O	O	X	X
4	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X
5	-	X	-	X	-	X	-	X	-	O
6	O	X	O	X	O	X	O	X	O	X
7	O	X	O	X	O	X	O	X	O	X
8	O	X	O	X	X	X	O	O	X	X
9	-	O	-	O	-	O	-	O	-	O
10	O	X	O	X	O	X	O	X	O	X
Correct Rate	100.0%		100.0%		85.7%		100.0%		71.4%	
False Rate	20.0%		20.0%		20.0%		40.0%		30.0%	
Miss Rate	0.0%		0.0%		14.3%		0.0%		28.6%	

2번 영상과 9번 영상의 경우 지속적으로 오검출이 되었다. 그 원인으로 2번 영상의 경우 카메라가 흔들림이 발생 하면서 검출 결과에 영향을 주게 되었다. 9번 영상의 경우는 그림 10에서 보여주듯이 굴삭기가 같은 자리에서 지속적으로 작업을 하면서 온도가 높은 엔진 부분에서 화염으로 오검출 되었다.



그림 10. 실험 영상 9

검출 결과를 평균값으로 나타낸 표 3을 통해 화염 후보 영역을 검출하는 과정이 매우 중요하며, 적응 문턱치를 적용하였을 때 영상의 변화에도 거의 일정한 검출 결과를 보임을 알 수 있다.

표 3. 평균 검출 결과

	고정 문턱치	적응 문턱치
Correct Rate	60.00 %	91.42 %
False Rate	44.00 %	26.00 %
Miss Rate	91.42 %	8.58 %

V. 결론

본 논문은 적외선 열영상에서 화염 후보영역을 영상에 적응적으로 검출하기 위한 적응 문턱치를 제안 하였으며, 화염의 움직임을 분석하여 화염을 검출하였다. 제안한 적응 문턱치의 성능을 검증하기 위하여 화염 후보 영역의 검출을 고정 문턱치를 적용한 것과 비교를 하였다. 적응 문턱치를 이용한 화염 검출 알고리즘은 검출률 91.42%, 오검출률 26%를 보여 주며 영상의 변화에 의한 검출 결과의 변화가 없고 고정 문턱치를 적용 하였을 때 보다 오검출률을 약 20% 감소하는 효과를 보였다.

작업 중인 굴삭기로 인한 오검출은 동적특성만으로는 제거 할 수가 없었다. 이를 해결하기 위해 화염의 새로운 특성과 오검출 요소들의 특성을 연구하여 화염 판단의 기준을 추가하는 연구를 진행 하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Arrue, B.C.; Ollero, A.; Matinez de Dios, J.R., "An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest-fire detection", Intelligent Systems and their Applications, IEEE , vol.15, no.3, pp.64,73, May/June 2000.
- [2] A. Ollero, B.C. Arrue, J.R. Martinez, J.J. Murillo, "Techniques for reducing false alarms in infrared forest-fire automatic detection systems", Control Engineering Practice, Volume 7, Issue 1, January 1999, Pages 123 - 131.
- [3] Bosch, I.; Gomez, S.; Vergara, L.; Moragues, J., "Infrared image processing and its application to forest fire surveillance," Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2007. AVSS 2007. IEEE Conference on , vol., no., pp.283,288, 5-7 Sept. 2007.
- [4] Bosch, I.; Gomez, S.; Vergara, L., "Automatic Forest Surveillance Based on Infrared Sensors," Sensor Technologies and Applications, 2007. SensorComm 2007. International Conference on , vol., no., pp.572,577, 14-20 Oct. 2007.
- [5] Won-Ho Kim; Seung-Kyeom Kim; Jong-Ho Lee; Chang-Ho Hyun, "A fire alarm vision system based on IR image processing," Information Science and Service Science (NISS), 2011 5th International Conference on New Trends in , vol.2, no., pp.291,293, 24-26 Oct. 2011
- [6] Phillips, W., III; Shah, M.; Da Vitoria Lobo, N., "Flame recognition in video," Applications of Computer Vision, 2000, Fifth IEEE Workshop on , vol., no., pp.224,229, 2000.
- [7] Liqiang Wang; Mao Ye; Yuanxiang Zhu, "A hybrid fire detection using Hidden Markov Model and luminance map," Medical Image Analysis and Clinical Applications (MIACA), 2010 International Conference on , vol., no., pp.118,122, 10-13 June 2010.
- [8] Budi, W.T.A.; Suwardi, I.S., "Fire alarm system based-on video processing," Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2011 International Conference on , vol., no., pp.1,7, 17-19 July 2011.
- [9] Yongquan Xia; Weili Li; Shaohui Ning, "Moving Object Detection Algorithm Based on Variance Analysis," Proceedings of International Workshop on Computer Science and Engineering, Oct. 2009.
- [10] Fengliang Xu; Xia Liu; Fujimura, K., "Pedestrian detection and tracking with night vision," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.6, no.1, pp.63-71, March 2005
- [11] 정수영, 김원호, "적외선 영상의 화염 검출을 위한 최적 문턱치 분석", 통신위성우주산업연구회논문지 제8권 제4호, pp.100-104, 2014

저자

정 수 영(Soo-Yeong Jeong)

정회원



- 2013년 2월 : 공주대 전기전자제어공학부 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대 대학원 전기전자제어공학과 석사과정

<관심분야> : 영상신호처리, DSP응용

김 원 호(Won-Ho Kim)

종신회원



- 1987년 2월 : 경북대 전자공학 석사
- 1999년 2월 : 충남대 전자공학 박사
- 1989년 2월 ~ 1999년 8월 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
- 1999년 8월 ~ 현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 교수

<관심분야> : 영상 및 통신 신호처리, 위성멀티미디어통신, 지능형 영상감시 및 비전센서