

# 적외선 영상에서 영역확장과 온라인 분산을 이용한 화염 검출

김 동 근<sup>†</sup>

## 요 약

본 논문에서는 적외선 영상에서 영역확장 및 온라인 분산을 이용한 화염검출 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안된 화염검출 방법은 화염 후보영역을 효과적으로 검출하기 위하여, 먼저 적외선 밝기 영상에 높은 임계값을 적용하여 초기 화염영역의 후보영역을 분할하고, 영역확장 방법을 이용하여 유사한 높은 값을 갖는 이웃영역으로 확장시켜 최종후보영역을 검출한다. 분할된 후보영역은 나대지 와 건물같은 비 화염영역을 포함할 수 있기 때문에, 화염 영역을 검출하기 위하여 분할영역을 시간에 따라 추적하면서, 각 후보영역의 밝기 값의 변화 정도를 추적영역의 분산을 온라인 갱신에 의해 효과적으로 계산하였다. 적외선 영상에서의 실험을 통하여 영역 확장 방법과 온라인 분산에 의한 제안방법이 적외선 영상에서 효율적으로 화염을 검출함을 보였다.

## Flame Detection using Region Expansions and On-line Variances in Infrared image

Dong Keun Kim<sup>†</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we propose a flame detection method using region expansions and on-line variances in outdoor infrared video sequences. To segment flame candidates' regions in infrared images, we first, extract initial regions by high threshold values in infrared images and then the segmented regions are expanded to their neighbors with similar high intensity values. The segmented regions could be non-flame areas like bare-grounds and buildings. Therefore, to detect flame regions in the segmented regions, the segmented regions which have high intensity values in infrared image, are tracked using bounding regions in frame sequences. Variances in the tracked regions are calculated effectively by on-line updates to measure intensity variations on the tracked regions. Experiments show that the proposed method, which is based on region expansions and the average of on-line variances in the regions, is efficient to detect flames in infrared image.

**Key words:** flame detection(화염검출), infrared video(적외선 비디오), on-line variances(온라인분산)

## 1. 서 론

비디오 감시시스템(video surveillance)은 도로 교통, 보안, 환경감시등의 여러 분야에서 폭 넓게 사용

되고 있다. 본 논문에서 다룰 산불감시 분야에서도 카메라에 의한 화재감시가 널리 사용되고 있다. 카메라에 의한 화재감시는 대부분 감시하고자하는 대상 지역에 설치된 카메라와 영상획득 장치에 의해 얻은

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김동근, 주소 : 충남 천안시 부대동 275(331-717) 전화 : 041)521-9235, FAX : 041)551-8104, E-mail : dgkim@kongju.ac.kr

접수일 : 2009년 5월 1일, 수정일 : 2009년 7월 23일  
완료일 : 2009년 8월 14일

<sup>†</sup> 준회원, 공주대학교 컴퓨터공학부

영상을 유무선 네트워크를 통하여 전송한 후에 모니터에 영상을 표시하고 담당자가 육안으로 보면서 화재 발생 유무를 판별한다.

영상처리 및 컴퓨터 비전 기술을 적용하여 화재 감지를 자동으로 하기 위한 연구는 연기 검출 방법 [1-3], 화염 검출방법[4-7], 적외선 카메라에 의한 화염 검출 방법[8-13, 19] 등이 있다. 특히 적외선 카메라라는 물체에서 방출되는 복사열(thermal radiation)을 이차원 영상으로 표시하기 때문에 영상의 밝기 값의 세기가 화염 발생 여부와 관련되어 있다. 적외선 카메라가 사용하는 적외선은  $0.7\mu\text{m}$ 에서  $1.5\mu\text{m}$ 의 근적외선에서부터  $15\mu\text{m}$  이상의 원적외선까지 다양하여, 일반적인 열적외선 카메라(thermal infrared)는  $3\mu\text{m}$ 에서  $15\mu\text{m}$ 의 파장의 적외선을 사용한다[15].

적외선 영상을 이용하여 화재 검출 방법 역시 적외선 비디오 영상에서 화염후보영역을 분할하는 단계와 분할된 후보영역을 화염영역과 비 화염 영역으로 판단하는 단계로 구성된다. 화염후보영역을 분할하는 단계에서는 적외선 영상의 밝기 값의 세기가 열과 관련이 있기 때문에 일반적으로 임계값에 의해 쉽게 화염 후보영역을 검출할 수 있다. 이때 어려운 점은 주간에 나대지, 건물의 지붕등도 복사열로 인하여 높은 밝기 값을 갖기 때문에 화염 후보영역에 포함된다. 화염 후보영역에서 화염의 판단은 대부분 시간에 따른 변화를 사용한다. 화염영역은 시간에 따라 변화가 심하게 발생하며, 비화염 영역은 상대적으로 변화가 적게 일어난다.

[8-10]은 적외선 영상에서 임계값을 적용하여 화염 후보영역을 분할하고 영상 프레임 사이의 상관관계를 계산하여, 후보영역의 시간에 따른 변화를 계산하고, 상관관계 값의 변화가 크게 변화하는 후보영역을 화염영역으로 검출하는 방법을 사용하였다. 인접한 프레임 사이에 사각 블록 사이에 상관관계를 계산하기 때문에 후보영역이 정확하게 검출되어야 한다. B.U.Toreyin 등[11]은 후보영역을 분할하기 위하여 배경영상으로 부터의 차 영상을 계산하는 방법으로 변화영역을 분할하였으며, 공간 및 시간 웨이블릿 변환을 사용하여 화염 후보영역의 경계선 주위의 주파수 변화와 시간에 따른 화소 값의 변화를 검출하였고, 은익 마코프 모델을 사용하여 각 화소 단위로 웨이블릿 계수의 변화 상태에 따라 화염영역을 판별하였다[12,13]. 등은 위성에 설치된 카메라에서 획득한

적외선 영상을 이용하여 비교적 넓은 지역에서 화재를 감지하였다.

적외선 영상을 이용한 화염 검출 방법에서의 화재 오검출은 주로 나대지 및 건물의 지붕 등에서 발생한다. 적외선 영상에서 밝기 값이 열과 관련이 있기 때문에 밝기 값에 임계값을 적용하여 화염 후보영역을 검출하는 것은, 타당한 선택이라 할 수 있다. 그러나 적외선 영상에서 화염 후보영역을 분할 할 때 임계값을 낮게 설정하면 너무 많은 후보영역이 검출되고, 너무 높게 설정하면 화염영역이 후보영역에서 제외될 수 있는 단점이 있다. 본 논문에서는 화염 후보영역을 효과적으로 검출하기 위하여 적외선 영상의 밝기 값에서 초기에는 비교적 높은 임계값을 적용하여 초기 후보영역을 검출한 다음 보다 정확하게 화염 후보영역을 검출하기 위하여 초기 검출된 영역의 이웃화소로 영역을 확장하는 방법을 사용하여 화염 후보영역을 효과적으로 검출하였다. 다음 단계는 검출된 화염 후보영역으로 부터 복사열로 인하여 높은 밝기 값을 갖는 나대지, 건물의 지붕 등의 비 화염 영역으로부터 화염영역을 구분하기 위하여 영역의 밝기 값의 분산을 사용하였다. 시간에 따른 후보영역의 분산 값이 크면 영역내의 밝기 값이 크게 변화하는 것으로 화염영역으로 판단하고, 영역의 분산이 작으면 밝기 값이 시간에 따라 일정하게 유지됨을 의미하므로 비 화염 영역으로 판단한다. 후보영역의 분산은 먼저 영상의 각 화소별로 평균과 분산을 새로운 영상 프레임이 입력될 때마다 온라인으로 계산하며, 임계값에 의해 검출된 영역 정보를 이용하여, 영역내의 각 화소의 온라인 분산의 평균으로 후보영역의 변화 정도를 계산하는 방법을 사용한다.

본 논문에서 제시한 화염 후보영역 검출 및 영역의 온라인 분산에 의한 화염검출 방법은 효율적으로 화염영역을 분할하며, 추적되는 후보영역사이의 분산평균을 이용함으로써 화소단위 변화를 계산하는 방법에 비해 바람 등의 미세한 흔들림에도 추적되는 영역사이의 온라인 분산평균을 비교함으로써 효과적으로 화염 후보영역의 변화를 계산할 수 있는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련 연구를 간단히 설명하고, 3장에서 제안된 적외선 비디오에서 화염 검출 방법을 설명하고, 4장에서는 실험 결과를 제시하고, 끝으로 5장에서 결론과 앞으로의 연

구 방향을 설명한다.

### 2. 관련 연구

N개의 데이터  $x_i, i=1, \dots, N$ 로부터 평균과 분산은 각각 식(1)과 식(2)로 계산할 수 있다.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \tag{1}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \tag{2}$$

그러나 (1), 식 (2)에서 분산은 N개의 데이터가 모두 있어야 계산할 수 있다. 따라서 순차적으로 시간에 따라 데이터가 획득되는 경우에 위의 식을 사용하려면 이전의 데이터를 모두 저장하고 있어야 하며, 실제하나의 하나의 데이터가 추가됨에도 불구하고 많은 계산을 다시해야 한다. 이와 같이 시간에 따라 데이터가 발생하는 온라인 데이터의 경우에 재귀적 방법을 사용하면 보다 효율적으로 평균과 분산을 계산할 수 있다[16-18]. t 번째 데이터까지의 평균과 분산이 각각  $\mu_t$  과  $\sigma_t^2$  일 때, t+1번째의 데이터  $x_{t+1}$ 가 발생했을 때 평균과 분산  $\mu_{t+1}$  과  $\sigma_{t+1}^2$  은 식 (3)과 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \mu_{t+1} &= \frac{t \mu_t + x_{t+1}}{t+1} \\ &= (1-\alpha)\mu_t + \alpha x_{t+1} \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{t+1}^2 &= \frac{t}{t+1} \sigma_t^2 + \frac{(x_{t+1} - \mu_t)^2}{t+1} \\ &= (1-\alpha)\sigma_t^2 + \alpha(x_{t+1} - \mu_t)^2 \end{aligned} \tag{4}$$

위에서 초기 평균과 분산은  $\mu_1 = x_1, \sigma_1^2 = 0$  이고,  $\alpha = \frac{1}{t+1}$  이다.

본 논문에서는 시간 t+1에 입력되는 적외선 영상의 화소별 평균과 분산을 시간 t까지의 평균과 분산을 이용하여 계산한다. 이와 같이 계산된 분산은 각 화소별 변화를 잘 나타내며, 임계값에 의해 분할된 화염 후보영역내의 분산 평균을 이용하여 화염영역과 비화염 영역을 판단한다.

### 3. 제안된 화염검출 방법

본 논문에서 제안된 화염검출 방법은 그림 1과 같

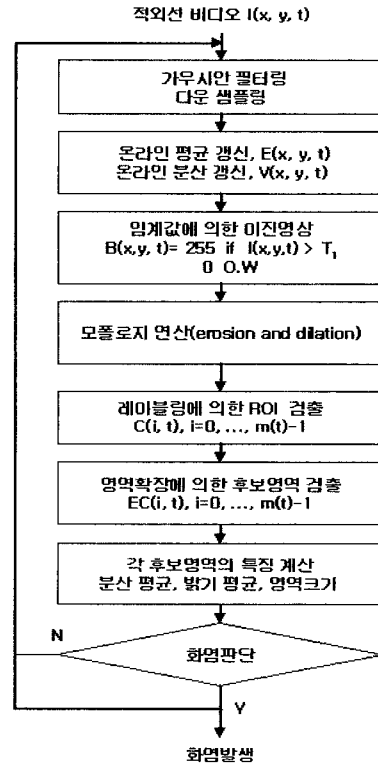


그림 1. 제안된 화염검출 방법

이 가우시안 필터링을 적용하여 잡음을 제거하고, 영상을 2x2 블록을 사용하여 다운 샘플링하고, 적외선영상의 밝기 값에 높은 임계값을 적용하여 적외선 영상에서 높은 밝기 값을 갖는 초기 화염 후보영역의 이진 영상을 계산한다. 임계값에 의해 얻은 이진영상에 레이블링 알고리즘을 이용하여 초기 화염 후보영역을 분할한다. 임계값에 의해 분할된 초기 화염 후보영역의 경계선 위의 각 화소의 이웃화소를 조사하여 초기 분할된 밝기 값과 유사하게 높은 값을 갖는 영역으로 후보영역을 확장시켜 최종 화염 후보영역을 계산한다. 적외선 영상의 밝기 값에 임계값을 적용하여 분할된 화염 후보영역은 실제 화염 영역과 나대지 및 인위적인 건물 등과 같이 주간에 촬영한 적외선 영상에서 높은 밝기 값을 갖는 비 화염영역도 포함하고 있다. 본 연구에서는 적외선 영상의 각 프레임 영상이 획득되면 각 화소별로 온라인 평균과 분산을 계산하여, 각 화소별로 시간에 따라 밝기 값의 변화정도를 계산하여, 복사열로 인하여 나대지 및 인위적인 물체에 의해 높은 밝기 값을 갖는 비화염 후보영역과 화염영역을 분할된 영역내의 분산평균을 이용하여 구분하였다.

### 3.1 후보영역 추출 및 영역확장

적외선 비디오에서 획득한 각 영상 프레임에서 잡음 제거를 위해 가우시안 필터링을 적용하고, 가로세로 방향에서 각각 1/2로 다운샘플링한 영상  $I(x,y,t)$ 에서 식 (5)과 같이 임계값  $T_1$ 보다 큰 값을 갖는 화염 후보 영역의 화소를 얻기 위해 이진영상  $BI(x,y,t)$ 을 생성하고, 모폴로지 연산인 침식(erosion)과 팽창(dilation)을 사용하여 후보영역내의 빈 공간을 채우는 동시에, 독립적으로 존재하는 작은 크기의 영역을 제거한다. 다음은 이진영상  $BI(x,y,t)$ 에서 레이블링 알고리즘을 사용하여 화염 후보영역의 경계선  $C(t,i)$ ,  $i=0, \dots, m-1$ 을 검출한다.

$$BI(x,y,t) = \begin{cases} 255 & \text{if } I(x,y,t) > T_1 \\ 0 & \text{o.w.} \end{cases} \quad (5)$$

전역 임계값  $T_1$ 은 실험적으로 계산하며, 이러한 임계값에 의한 이진 영상은 높은 밝기 값을 가진 화염후보영역을 쉽게 검출하는 반면, 경계선에서 유사한 밝기 값을 화소들이 존재할 수 있기 때문에 초기 전역 임계값과 레이블링 알고리즘에 의해 검출된 화염영역의 경계선  $C(t,i)$ ,  $i=0, \dots, m-1$ 을 적외선 영상의 밝기 영상  $I(x,y,t)$ 을 이용하여 유사한 밝기를 가진 영역으로 확장시켜 확장된 경계선  $EC(t,i)$ ,  $i=0, \dots, m-1$ 을 검출한다.

그림 2은 경계선 확장 방법의 알고리즘을 요약한다. 단계 2에서는  $i$ 번째 초기 화염후보 경계선  $C(t,i)$ 의 화소를 모두 스택  $S$ 에 넣는다. 단계 3에서는 스택  $S$ 에서 화소  $q=(x_q, y_q)$ 을 하나씩 꺼내어  $nbdCount = count(I(x_a, y_a, t) == 255)$ 에 의해  $q$ 의 이웃화소 중에서 이미 영역 내에 포함된 화소수를  $nbdCount$ 에 계산하여  $nbdCount < 3$ 이면 화소  $q$ 는 이웃화소로 확장하지 않는다.  $nbdCount \geq 3$ 이면,  $q$ 의 8-이웃 화소  $a = \{(x_a, y_a) | (x_a, y_a) \in NBD_8(q)\}$  각각에 대해, 전역 밝기 임계값  $T_1$ 에 의한 이진영상에서 아직 영역에 포함되어 있지 않았으면, 즉  $BI(x_a, y_a, t) = 0$ 이고,  $|I(x_q, y_q, t) - I(x_a, y_a, t)| < T_2$  이 면  $BI(x_a, y_a, t) = 255$ 에 의해  $q$ 의 이웃화소  $a$ 를 후보영역에 포함시키고, 다음번 확장을 위하여  $a$ 를 스택  $S$ 에 추가한다.

단계 4에서 확장된 영역 정보를 갖는 이진영상을 이용하여 다시 경계선을 검출하여 최종 확장된 경계선  $EC(t,i)$ ,  $i=0, \dots, m-1$ 을 검출한다. 초기에 밝기 영상에서 높은 임계값을 갖는 영역을 검출하고 이웃

입력:  $C(t,i)$ ,  $i=0, \dots, m(t)-1$ : 이진영상의 초기경계선  
 $BI(x,y,t)$ : 이진 영상  
 $I(x,y,t)$ : 적외선 밝기 영상  
출력:  $EC(t,i)$ ,  $i=0, \dots, m(t)-1$ : 확장된 이진영상의 경계선  
 $BI(x,y,t)$ : 확장된 이진영상  
단계1:  $i=0, \dots, m-1$ 에 대하여 단계 2에서 단계 3을 반복한다.  
단계2: 스택  $S$ 를 초기화한다.  
For all  $p \in C(t,i)$ ,  $PUSH(S, p)$   
 $C(t,i)$ 의 모든 화소  $p=(x_p, y_p)$ 를 스택  $S$ 에 PUSH한다.  
단계3: while(not Empty(S))  
스택이 Empty가 아니면 화소를 하나  $q=(x,y)$  POP한다.  
 $q = POP(S)$   
 $q$ 의 이웃  $a = \{(x_a, y_a) | (x_a, y_a) \in NBD_8(q)\}$ 에 대해,  
 $nbdCount = count(I(x_a, y_a, t) == 255)$   
if( $nbdCount < 3$ )  
continue  
endif  
If  $|I(x_q, y_q, t) - I(x_a, y_a, t)| < T_2$  and  $BI(x_a, y_a, t) = 0$  then  
 $BI(x_a, y_a, t) = 255$   
 $PUSH(S, a)$   
endif  
endwhile  
단계4:  $BI(x,y,t)$ 을 이용하여 확장된 이진영상의 경계선  $EC(t,i)$ ,  $i=0, \dots, m(t)-1$ 을 계산한다.

그림 2. 경계선 영역확장 알고리즘

화소로 확장하여 최종 화염후보영역을 효과적으로 검출한다. 그림 3(a)와 그림 3(c)는 적외선 영상의 밝기 영상에서 임계값  $T_1 = 200$ 을 적용하고 경계선을 검출한 영상이다. 그림 3(b)와 그림 3(d)는 그림 3(a)와 그림 3(c)를 각각 임계값  $T_2 = 30$ 을 사용하여 확장한 결과로 매우 효과적으로 변화영역을 검출한 것을 확인 할 수 있다.

### 3.2 온라인 평균 및 분산갱신

현재의 입력 영상  $I(x,y,t)$ 을 이용하여 평균  $E(x,y,t)$ 와 분산  $V(x,y,t)$ 을 식 (6)과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} E(x,y,t) &= (1-\alpha)E(x,y,t-1) + \alpha I(x,y,t) \\ V(x,y,t) &= (1-\alpha)V(x,y,t-1) + \alpha(I(x,y,t) - E(x,y,t))^2 \end{aligned} \quad (6)$$

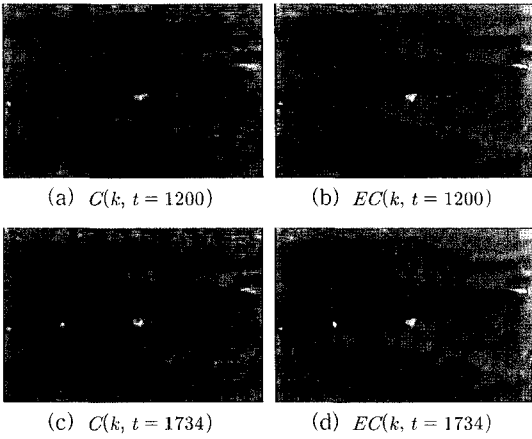


그림 3. 영역확장에 의한 화염 후보영역 경계선 검출

식 (6)에서  $\alpha = \frac{1}{t}$ 로 t에 따라 다르게 계산하거나, 또는  $0 < \alpha < 1$ 사이의 상수로 고정할 수 있다. 초기  $t=1$ 에서의 평균과 분산은  $E(x, y, 1) = I(x, y, 1)$ 이고,  $V(x, y, 1) = 0$ 이다. 그림 4는 그림 3에서의 평균 영상과 분산영상을 보여 준다. 화염영역에서 적외선 영상의 밝기 값이 변화하기 때문에 분산 값이 크게 나타나며, 화염영역이 아닌 곳에서는 분산 값이 상대적으로 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

적외선 영상에서 높은 밝기 값을 갖는 영역을 화염 후보영역으로 검출한 다음 해당 영역에서의 밝기 값의 변화를 온라인 분산으로 계산하고 분산 값이 크면 후보영역을 화염영역으로 판단한다. 화염영역으로 판단되는 영역은 높은 밝기 값과 높은 분산을 갖는다.

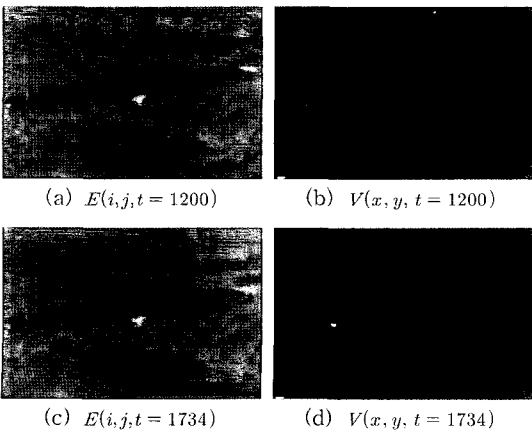


그림 4. 평균과 분산 영상

적외선 영상에서 높은 밝기 값을 갖는 영역을 화염 후보영역으로 검출한 다음 해당 영역에서의 밝기 값의 변화를 온라인 분산으로 계산하고 분산 값이 크면 후보영역을 화염영역으로 판단한다. 화염영역으로 판단되는 영역은 높은 밝기 값과 높은 분산을 갖는다.

적외선 영상의 밝기 값에 의하여 시간 t에서 검출된  $m(t)$ 개의 후보영역의 경계선  $EC(i, t), i = 0, \dots, m(t) - 1$ 로부터, 경계선을 포함하는 최소사각형  $rect(i, t), i = 0, \dots, m(t) - 1$ 을 계산하고, 검출된 후보영역의 면적 크기  $a(i, t)$  특징은  $rect(i, t)$ 을 이용하여 근사적으로 계산한다. 식 (6)에 의해 계산한 후보영역 내의 밝기 값의 분산평균의 제공근을 식 (7)과 같이 계산한다.

$$mv(i, t) = \sqrt{\frac{1}{a(i, t)} \sum_{(x, y) \in rect(k, t)} V(x, y, t)} \quad (7)$$

그림 4는 그림 3에서 검출된 1개의 화염영역과 2개의 비화염 영역의  $t = 7000$  까지 영역내의 분산평균의 변화를 보여준다. 비화염 영역인  $mv(0, t), mv(1, t)$ 에서의 분산평균의 제공근은 변화가 거의 일정한 반면, 화염영역인  $mv(2, t)$ 는 매우 큰 값을 갖는 것을 알 수 있다.

### 3.3 후보영역 추적 및 화염분류

검출된 후보영역은  $Q(s), s = 0, \dots, L - 1$ 에 의하여 추적관리 된다. 여기서 L은 추적되는 후보영역의 개수이다. 그림 6는 시간 t에서 검출된 후보영역,  $EC(i, t), i = 0, \dots, m(t) - 1$ 와 적외선 영상의 밝기 값의 분산평균으로부터 계산한 특징을 이용한 후보영역의 추적 및 화염 영역 판단 알고리즘이다.

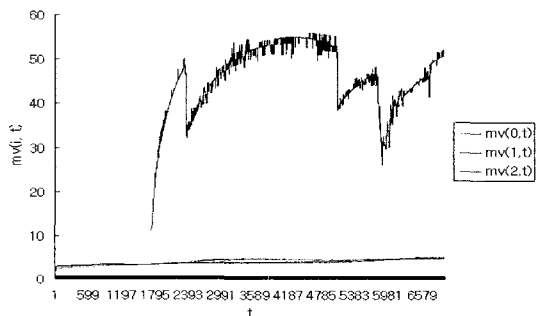


그림 5. 검출된 후보영역의  $mv(i, t)$  변화

입력: 시간  $t$ 에 검출한 후보영역의 경계선  $EC(i, t)$ ,  $i=0, \dots, m(t)-1$  와  $V(x, y, t)$ 로부터 검출한 특징:  $x_c(i, t), y_c(i, t), rect(i, t), mv(i, t)$   
 $Q(s), s=0, \dots, L-1$

출력: 시간  $t$ 에 추적되는 후보영역  $Q(s)$ 의 갱신 및 화염 판단

단계1: 후보영역의 경계선  $EC(i, t), i=0, \dots, m(t)-1$  각각에 대하여,  
 $item_i =$   
 $struct(t_0, t_1, x_c(i, t), y_c(i, t), rect(i, t), mv(i, t));$   
 if  $L = 0$  then  
 $Q(0) = item_i;$   
 $L = 1;$   
 else  
 $i_s = SEARCH\_RECT\_OVERLAP(Q(s), item_i);$   
 if  $i_s < 0$  then  
 $Q(L) = item_i;$   
 $L = L + 1;$   
 else  
 $UPDATE(Q(i_s), item_i);$   
 endif

단계2:  $Q(s), s=0, \dots, L-1$ 에 대해,  
 $item_s = GET\_ITEM(Q(s))$   
 if  $t - item_s.t_1 > frame\_gap$  then  
 $REMOVE(Q(s))$   
 $L = L - 1;$   
 endif

단계3:  $Q(s), s=0, \dots, L-1$ 에 대해,  
 $item_s = GET\_ITEM(Q(s))$   
 if  $(item_s.mv(i, t) > T_3)$  then  
 $ALARM\_FLAME(Q(s))$   
 endif

그림 6. 후보영역 추적 및 화염분류 알고리즘

각  $Q(s)$ 에 저장되는 항목은  $t_0, t_1, x_c(i, t), y_c(i, t), rect(i, t), mv(i, t)$  등이다.  $t_0$ 는 추적되는 후보영역이 처음 검출된 프레임 번호이고,  $t_1$ 는 마지막으로 검출된 프레임 번호이다. 현재 프레임에서 후보영역이 검출되었으면  $t_1 = t$ 이어야 한다.

$t=0$ 에서  $L=0$ 으로 초기화하고, 단계 1에서는 시간  $t$ 에서 검출된 후보영역,  $EC(i, t), i=0, \dots, m(t)-1$ 에 대하여  $t_0, t_1, x_c(i, t), y_c(i, t), rect(i, t), mv(i, t)$ 의 항목을 갖는 구조체 변수  $item_i$ 를 생성한 다음, 추적되는 후보영역이 없는 경우는  $Q(0) = item_i$ 에 저장하고, 이미 추적되는 후보영역이 있는 경우는  $i_s = SEARCH\_RECT\_OVERLAP(Q(s), item_i)$ 를 사용하여  $item_i$ 에 대응하는  $Q(s)$ 가 존재하는지를 검색

한다. 이때 검색은 후보영역의 바운딩 사각형  $rect(i, t)$ 를 사용하여 영역이 겹치는지를 판단하여 검색한다. 시간  $t$ 에서 검출된 후보영역,  $i_s < 0$ 이면, 즉  $EC(i, t)$ 에 대응하는 영역에  $Q(s)$ 에 존재하지 않으면,  $Q(L) = item_i$ 로 저장하여 추적 리스트에 추가한다.  $i_s \geq 0$ , 즉  $EC(i, t)$ 에 대응하는 영역에  $Q(s)$ 에 존재하면,  $UPDATE(Q(i_s), item_i)$ 에 의해  $item_i$ 를 이용하여  $Q(i_s)$ 의 정보를 갱신한다. 이때  $x_c(i, t), y_c(i, t), rect(i, t), mv(i, t)$ 의 정보는  $item_i$ 의 값을 사용하며,  $t_0$ 는  $Q(i_s)$ 의 정보를 사용하고,  $t_1 = t$ 가 된다.

단계2는 현재 시간  $t$ 에서 추적되지 않는 후보영역을 삭제한다.  $Q(s), s=0, \dots, L-1$ 에 대해, 조건  $t - item_s.t_1 > frame\_gap$ 을 만족하면  $Q(s)$ 는  $frame\_gap$ 동안 후보영역이 검출되지 않은 추적영역이므로  $REMOVE(Q(s))$ 를 사용하여  $Q(s)$ 를 제거한다.  $frame\_gap=0$ 이면  $item_s.t \neq t$  조건과 동일하며, 추적되는 후보영역이 한 프레임에서라도 검출되지 않으면 삭제된다.  $frame\_gap=1$ 이면 연속된 프레임에서 한 프레임 동안 대응되는 경계선이 검출되지 않더라도 추적에서 삭제하지 않는다.

단계3은 추적되는 각 후보객체 영역  $Q(s), s=0, \dots, L-1$ 에 대하여 영역내의 분산평균이  $mv(i, t) > T_3$ 이면  $ALARM\_FLAME(Q(s))$ 에 의해 해당 영역을 화염영역으로 판단한다. 적외선 영상의 밝기 값에서 임계값과 경계선 영역확장을 통하여 검출된 후보영역  $EC(i, t) i=0, \dots, m(t)-1$ 은 충분히 높은 밝기 값을 가지고 있으므로 후보영역 중에서 화염영역을 판단할 때는 영역에서 밝기 값이 변화하는지를 나타내는 분산평균만을 이용하여 판단하였다.

#### 4. 구현 및 결과

본 논문에서 제안한 적외선 영상에서 온라인 분산을 이용한 화염 검출 방법을 인텔 펜티엄IV 2.4GHz 컴퓨터에서 VC++ 6을 이용하여 구현 및 실험하였다. 적외선 비디오 영상은 L-3 COMMUNICATIONS사의 TSC-XP와 EYE-2000B 카메라로부터 산불 감시를 목적으로 설치된 장소에서 비디오 저장장치에 녹화된 720×480×24비트의 해상도와 15fps의 AVI 비디오 영상을 사용하였다. 비디오 1과 비디오 2는 인위적으로 발생시킨 화염을 포함하고 있으며, 비디오 3은

실제 화재를 촬영한 적외선 비디오이다.

시간  $t$ 의 입력 적외선 영상에 대해 잡음제거를 위하여 가우시안 필터링을 적용하고, 가로세로 방향에서 각각  $1/2$ 로 서브 샘플링한  $360 \times 240$ 의 해상도의 영상  $I(x, y, t)$ 에서, 적외선 영상의 밝기 값에 대한 임계값  $T_1 = 200$ 으로 높은 밝기 값을 갖는 초기 화염 후보영역 검출하였으며,  $T_2 = 30$ 으로 하여 초기 화염 후보영역 근처에서 밝기 값이 170이상인 영역으로 화염후보영역을 확장하였다. 화염영역의 변화를 판단하기 위한 분산평균의 제곱근의 임계값  $T_3 = 15$ 로 사용하였다. 이러한 임계값은 비디오 1을 기준으로 실험적으로 계산한 값이며, 모든 비디오에 대하여 동일하게 적용하였다.

그림 7은 비디오 1에서의 화염 검출 실험결과이다. 그림 7의 (a), (c), (e), (g)에서 화염영역은 빨강색 사각형으로 표시하였으며, 초록색으로 표시된 사각

형은 화염후보영역 중에서 화염이 아닌 영역을 나타낸다. 또한 그림 7의 (b), (d), (f), (h)는 온라인 분산영상  $V(x, y, t)$ 을 0에서 255 사이의 값으로 스케일링하여 표시한 결과이다. 나대지 또는 인위적인 물체에서 보다 매우 높은 분산을 갖는 것을 확인 할 수 있다. 그림 8은 비디오 2에서의 화염 검출 실험결과이다. 비디오 2는 첫 프레임부터 화염이 존재하여 적외선 영상의 밝기 값에 의한 후보영역은 첫 프레임부터 검출되지만, 초기에는 변화가 없기 때문에  $t = 111$ 에서 처음으로 화염을 검출하였다. 분산영상 역시 화염영역 주위에서만 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

그림 9는 실제 화재가 발생했을 때 녹화된 비디오 3에서의 실험한 결과이다. 화재의 크기는 크게 변하지 않으며 내부영역에서의 밝기 값의 변화가 크며, 카메라 가까이에 구조물이 위치하고 있어, 철탑 구조물에서 다수의 후보영역이 검출되고, 철탑 구조물 위

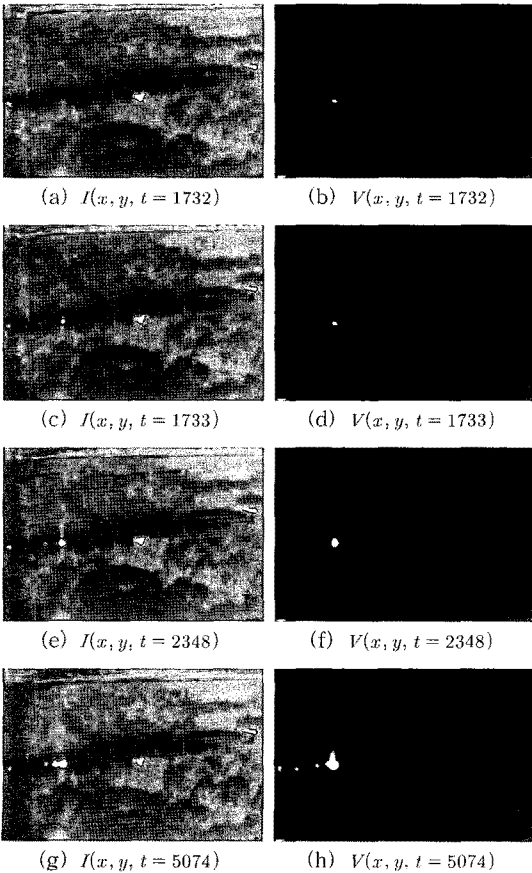


그림 7. 비디오1에서 화염 검출

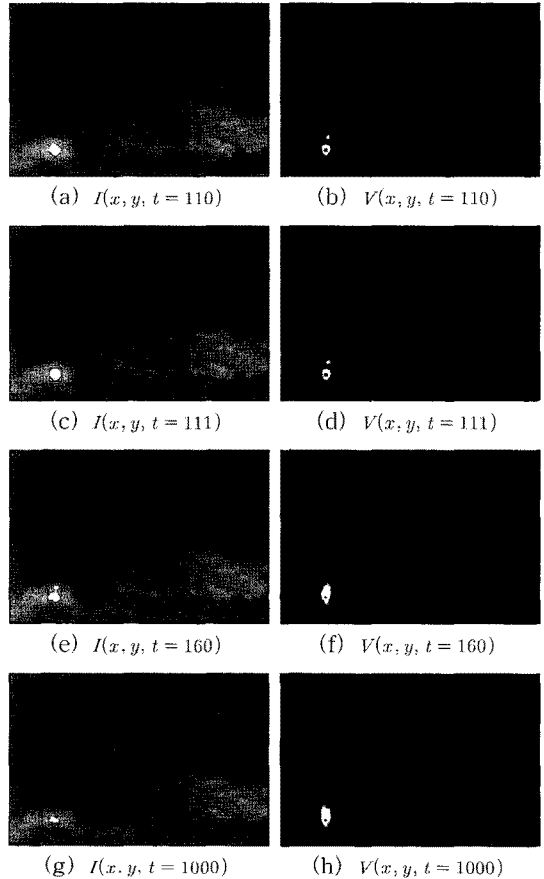


그림 8. 비디오2 에서 화염 검출

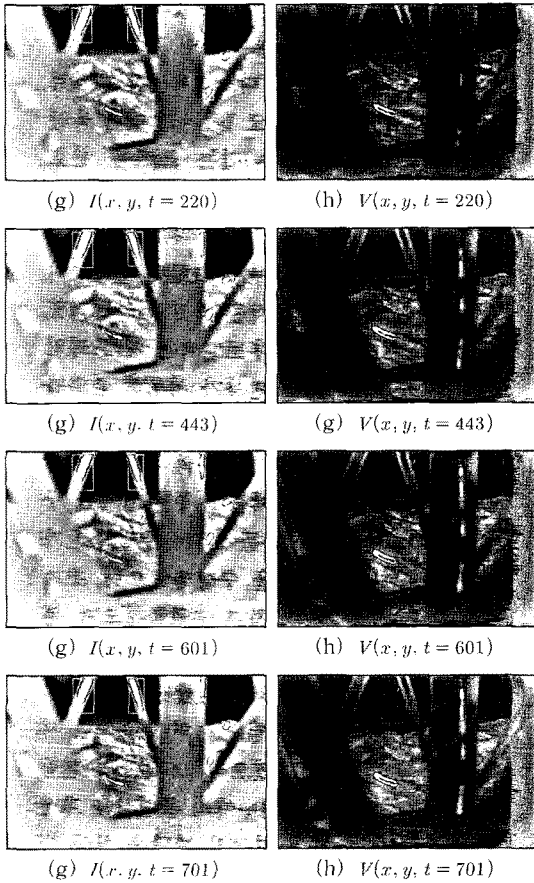


그림 9. 비디오3 에서 화염 검출

에서 적외선 영상의 밝기 값은 크지 않으나, 분산영상의 값이 크게 나타나는 영역이 있음을 확인 할 수 있다. 적외선 밝기 값이 작은 곳은 후보영역으로 검출되지 않기 때문에 비록 분산영상의 값이 크더라도

표 1. 화염 검출 실험 결과

비디오	총 프레임수	실제 처음 화염 프레임 번호	처음 검출된 화염 프레임 번호	총 화염 검출 수	오검출 수
비디오 1	7000	1733	1733	5268	0
비디오 2	3038	0	110	2932	0
비디오 3	899	0	220	154	0

표 2. 참고문헌(8)의 화염 검출 실험 결과

비디오	총 프레임수	실제 처음 화염 프레임 번호	처음 검출된 화염 프레임 번호	총 화염 검출 수	오검출 수
비디오 1	7000	1733	1747	137	50
비디오 2	3038	0	98	54	0
비디오 3	899	0	114	465	5

화재로는 검출되지 않고, 적외선 밝기 값과 분산영상의 값이 모두 큰 곳에서 만 화재 영역이 검출되었다.

표 1는 비디오 1, 비디오2, 비디오 3에서의 화염검출 실험 결과를 요약한다. 비디오 1에서는 실제 육안으로 화염을 처음 확인할 수 있는 프레임 번호  $t=1733$ 에서 화염이 정확히 검출되었으며, 총 5268개의 화염이 검출되었다. 비디오 2와 비디오 3에서는 실제 화염은 영상의 첫 프레임에서 화염이 존재하지만  $t=110$ 와  $t=220$ 에서 각각 처음 화염이 검출되었다. 밝기 값의 임계값에 의한 후보영역은 첫 프레임에서부터 검출되지만 화염의 변화가 서서히 변화하였기 때문이다.

표 2는 본 논문에서 제안한 방법과의 비교를 위하여 참고문헌 [8]의 교차상관관계를 이용한 방법을 구현하여 실험한 결과이다. 본 논문에서와 동일하게 가우시안 필터링과 서브샘플링을 수행하였으며, 초기 화염 후보영역을 검출도 동일하게 수행하였으며, 본 논문에서 제시된 바와 같이 영역확장은 수행하지 않았다. 교차상관관계는 후보영역이 검출된  $t$ 프레임의 후보영역 사각형과 이전 프레임  $t-1$ 의 대응되는 사각영역의 상관관계를 계산하였으며  $\pm 4$  화소의 변동을 가지고 25개의 교차상관 계수에서 최대값을 계산하였다. 화염영역과 비화염 영역의 판단은 최근 15 프레임까지의 후보영역을 추적하면서 이들 프레임에서의 교차상관 계수의 변동을 이용하여 화염을 판단하였다. 교차상관계수의 변동의 임계값은 5000으로 설정하였으며, 높은 밝기 값을 갖는 비디오 1에서의 나대지와 비디오 3에서 인공구조물에서 오검출이 발견되었다. 그림 10은 참고문헌 [8]의 상관관계



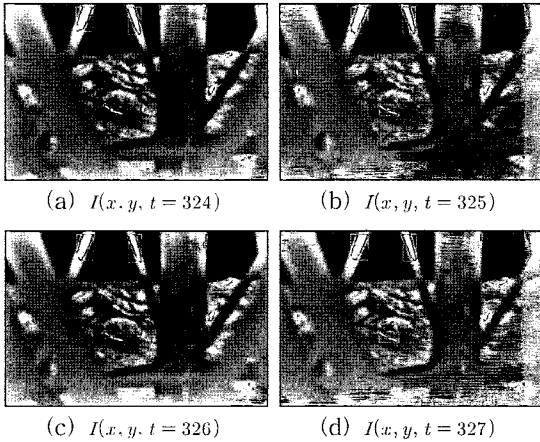


그림 10. 비디오3 에서 참고문헌(8)의 교차상관관계에 의한 화염 검출

를 이용한 비디오 3에서의 실험 결과로 (a)와 (c)는 단일 임계값 의하여 화염영역 부분을 하나의 영역으로 검출하지는 못하였다. (b)와 (d)는 화염영역 부분을 하나의 영역으로 검출하였다.  $t=324$ 에서  $t=327$ 의 연속 프레임에서 동일한 화염영역을 하나의 영역으로 검출하지 못하였으며, 이러한 결과는 연속적인 두 영역 사이의 상관관계를 계산하지 못함으로써 화염화염을 검출하지 못하게 된다. 참고문헌 [8]의 경우는 신경망, 퍼지규칙, 기상센서, 지리정보, CCD 카메라 영상 등의 후처리를 사용하여 오검출을 개선하였으나, 본 실험에서는 상관관계만을 사용하여 밝기 값의 변화를 계산하여 화염 유무를 판단한 결과일 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 적외선 영상에서 영역확장에 의한 화염 후보영역 분할과 분할된 영역의 온라인 분산을 이용하여 화염을 검출하는 방법을 제안하였다. 화염 후보영역을 효과적으로 검출하기 위하여 적외선 영상의 밝기 값에서 초기에는 높은 임계값을 적용하여 초기 후보영역을 분할하고, 초기 분할된 영역의 이웃 화소로 영역을 확장하는 방법을 사용하여 효과적으로 화염 후보영역을 검출하였으며, 화소별 밝기 값의 변화를 나타내는 분산을 온라인으로 효율적으로 계산하였으며, 임계값에 의해 분할된 영역내의 분산 평균값을 이용하여 화염영역과 비화염영역을 판단하여, 적외선 영상에서 높은 밝기 가지면서 밝기 값의

변화가 큰 영역을 화염영역으로 판단하였다. 후속 연구로는 카메라의 움직임을 고려하며 DSP 하드웨어에 구현 등은 후속 연구과제로 남긴다.

## 참 고 문 헌

- [1] F.Gomez-Rodriguez et al, "Smoke Monitoring and measurement Using Image Processing. Application to Forest Fires," Automatic Target Recognition XIII, Proceedings of SPIE Vol.5094, pp. 404-411, 2003.
- [2] Nobuyuki Fujiwara, Kenji Terada, "Extraction of a Smoke Region Using Fractal Coding," International Symposium on Communications and Information Technologies, pp. 659-662, Sapporo, Japan, Oct. 26-29, 2004.
- [3] B.Ugur Toreyin et al, "Wavelet based real-time smoke detection in video," Signal Processing:Image Communication, EURASIP, Elsevier, Vol. 20, pp. 255-26, 2005.
- [4] W.Phillips III et al, "Flame Recognition in Video," In Fifth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp. 224-229, Dec. 2000.
- [5] Che-Bin Liu, "Vision Based Fire Detection," icpr,pp.134-137, 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'04) - Vol.4, 2004.
- [6] Thou-Ho Chen et al, "An intelligent Real-Time Fire-Detection Method Based on Video Processing," Proceedings. IEEE 37th Annual 2003 International Carnahan Conference on Security Technology, pp.104-111, 2003.
- [7] Wen-Bing Horng et al, "A new image-based real-time flame detection method using color analysis," Proceedings of Networking, Sensing and Control, pp. 100-105, 2005.
- [8] A.Ollero et al, "Techniques for reducing false alarms in infrared forest-fire automatic detection systems," Control Engineering Practice 7, pp. 123-131, 1999.
- [9] B.C.Arrue et al, "An Intelligent System for

- False Alarm Reduction in Infrared Forest-Fire Detection,” IEEE Intelligent Systems, pp. 64-75, 2000.
- [10] Martinez-de Dios J.R. et al, “Distributed Inteligent Automatic Fire Detection System,” INNOCAP’98, 28th of 29th of April, Grenoble, Spain.
- [11] Behcet Uur Toreyin, et al, “Fire detection in infrared video using wavelet analysis,” Opt. Eng., Vol. 46, 2007.
- [12] S.Briz et al, “Reduction of false alarm rate in automatic forest fire infrared surveillance systems,” Remote Sensing of Environment 86, pp. 19-29, 2003.
- [13] Li, Z. et al, “A review of AVHRR-based fire active fire detection algorithm: Principles, limitations, and recommendations,” Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space, Planning and Coordinated International Effort (Eds. F. Ahern, J.G. Goldammer, C. Justice), p. 199-225.
- [14] ANUJ DHUNGANA, B.E.E. “SEGMENTATION OF INFRARED IMAGES,” Texas Tech University, Degree of MASTER OF SCIENCE, 2002.
- [15] Dr. S. C. Liew. “Electromagnetic Waves,” Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing. <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/em.htm>
- [16] Vladik Kreinovich et al, “On-line algorithms for computing mean and variance of interval data, and their use in intelligent systems,” Information Sciences: an International Journal, Vol. 177, pp. 3228-3238, Issue 16, 2007.
- [17] B. P. Welford, “Note on a method for calculating corrected sums of squares and products,” Technometrics 4(3): pp. 419-420, 1962.
- [18] Algorithms for calculating variance, [http://en.wikipedia.org/wiki/Algorithms\\_for\\_calculating\\_variance#cite\\_note-0](http://en.wikipedia.org/wiki/Algorithms_for_calculating_variance#cite_note-0).
- [19] 김동근, “적외선 비디오에서 Haar 웨이블릿과 이동평균을 이용한 화염검출,” 정보처리학회 논문지B, 제16-B권, 제 5호, pp. 367-376, 2009.



김 동 근

1989년 충남대학교 계산통계학과 학사  
 1991년 충남대학교 계산통계학과 석사  
 1996년 충남대학교 전산학과 박사  
 1996년~2002년 서남대학교 조교수  
 2002년~2005년 천안공업대학 컴퓨터과 조교수  
 2005년~현재 공주대학교 컴퓨터공학부 부교수  
 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전, 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어 응용 등