

적외선 비디오에서 Haar 웨이블릿과 이동평균을 이용한 화염검출

김 동 근[†]

요 약

본 논문은 적외선 영상에서 Haar 웨이블릿과 이동평균을 이용한 화염검출 방법을 제안한다. 제안된 방법은 Haar 웨이블릿 변환 단계, 화염 후보영역 검출단계, 화염후보영역 추적 및 화염 판단의 3단계로 구성된다. Haar 웨이블릿 변환 단계는 Haar 웨이블릿을 적용하여 입력영상 프레임을 4개의 부영상으로 분할하고, 고주파 영상을 합성하여 에너지를 계산한다. 화염 후보영역 검출단계에서는 저주파영역에서 임계값을 적용하여 높은 밝기 값을 갖는 이진영상을 구한 다음, 연결 알고리즘을 이용하여 초기 화염후보영역의 경계선을 구하고, 영역확장 방법을 이용하여 최종 화염 후보영역을 계산한다. 화염후보영역의 추적 및 화염 판단 단계에서는 화염후보영역의 크기와 고주파 성분 에너지 평균을 계산하고, 큐를 사용하여 추적하면서, 계산된 특징의 이동평균이 변동되는 영역을 화염영역으로 판단한다.

키워드 : Haar 웨이블릿, 화염검출, 적외선 비디오

Flame Detection Using Haar Wavelet and Moving Average in Infrared Video

Dong Keun Kim[†]

ABSTRACT

In this paper, we propose a flame detection method using Haar wavelet and moving averages in outdoor infrared video sequences. Our proposed method is composed of three steps which are Haar wavelet decomposition, flame candidates detection, and their tracking and flame classification. In Haar wavelet decomposition, each frame is decomposed into 4 sub-images(LL, LH, HL, HH), and also computed high frequency energy components using LH, HL, and HH. In flame candidates detection, we compute a binary image by thresholding in LL sub-image and apply morphology operations to the binary image to remove noises. After finding initial boundaries, final candidate regions are extracted using expanding initial boundary regions to their neighborhoods. In tracking and flame classification, features of region size and high frequency energy are calculated from candidate regions and tracked using queues, and we classify whether the tracked regions are flames by temporal changes of moving averages.

Keywords : Haar Wavelet, Flame Detection, Infrared Video

1. 서 론

최근 산불 및 화재 감시를 목적으로 많은 카메라가 설치되고 있다. 카메라에 의한 화재 감시는 산불 감시와 같이 옥내 환경에서 넓은 영역의 감시에 효율적이며 원거리에서 발생한 화재 현장 상황을 모니터로 확인 할 수 있는 장점을 갖는다.

화염(flame)은 화재를 식별할 수 있는 직접적인 특징으로 최근 영상처리에 의한 자동 화염 검출에 대한 연구를 카메

라의 종류에 따라 분류하면 컬러영상을 이용하는 방법[1-6]과 적외선 카메라로부터 획득한 적외선 영상을 이용하는 방법[7-13]로 분류할 수 있다. 컬러 영상을 이용한 화염 검출 방법 중에서 W.Phillips III 등[1]은 화염색상 정보를 얻기 위하여 히스토그램을 사용하였으며, 화소단위의 시간적 변화를 사용하여 화염을 검출하여 사용하였다. Che-Bin Liu [2] 등은 컬러영상에서 화염영역을 검출한 후에 영영의 모양과 시간적 변화를 푸리에 묘사자(Fourier Descriptor)를 사용하여 화염 영역과 비화염 영역을 비교하였다. Thou-Ho Chen[3] 등은 RGB 색상, Wen-Bing Horng[4] 등은 HSI 색상을 분석하여 화염을 검출하였다. Turgay Celik 등[5]은 배경영상과의 차 영상을 이용하여 이동 물체를 구분하고, 화염영역으로부터 생성한 색상의 가우시안 모델을 이용하여

[†] 종신회원 : 공주대학교 컴퓨터공학부 부교수
논문접수 : 2009년 2월 2일
수정일 : 1차 2009년 3월 11일, 2차 2009년 3월 12일
심사완료 : 2009년 3월 24일

화염영역을 판별하였다. B.U.Toreyin 등[6]은 웨이블릿을 사용하여 화염색상의 변화를 검출하고, 시간에 따른 변화를 판단하기 위한 은닉 마코프 모델(Hidden Markov Model)을 사용하여 화염영역을 판별하였다. 이러한 일반 컬러영상을 이용하는 방법은 화염의 색상 정보를 이용하여 화염을 검출하며, 카메라의 가격이 비교적 저가인 장점을 갖는 반면, 화염의 색상이 연소되는 재질에 따라 색상이 다를 수 있는 어려움이 있다. 적외선 카메라로부터 획득한 영상을 이용하는 방법으로는 A.Ollero 등[7], B.C.Arrue 등[8], Martinez-de Dios J.R 등[9]은 적외선 카메라로부터 획득한 영상에서 임계값을 적용하여 화염 후보영역을 검출하고 검출된 후보영역의 프레임 사이의 상관관계(correlation)를 계산한 후에 상관관계의 변동을 푸리에변환과 교차상관관계(cross-correlation), 신경망, 퍼지규칙을 이용하여 화염을 검출하는 방법을 사용하였으며, 기상센서, 지리정보, CCD 카메라 영상 등을 추가적으로 사용하였다. 이러한 인접 프레임사이의 교차 상관관계로는 카메라가 화염으로부터 거리가 멀리 떨어져 있거나 또는 화염의 움직임이 미세할 경우에는 검출하기 어렵다. B.U.Toreyin 등[10]은 배경영상으로부터의 차 영상을 계산하는 방법으로 움직이는 물체를 검출하고, 화염영역의 경계선 주위의 주파수 변화와 시간에 따른 화소 값의 변화를 검출하기 위하여 웨이블릿 변환을 사용하였으며, 시간에 따른 변화를 판단하기 위하여 각 화소 단위로 웨이블릿 계수를 임계값을 이용하여 3개의 상태사이의 이동을 통한 은닉 마코프 모델을 사용하여 화염영역을 판별하였다. 기타 관련 연구로는 위성에 설치된 카메라에서 획득한 적외선 영상을 이용한 화재 감지 방법들이 있다[11-13]. 적외선 영상을 이용한 방법은 비교적 카메라의 가격이 고가인 단점을 갖지만 카메라에 의해 획득된 밝기 값이 물체의 온도와 관련되어 있기 때문에 높은 온도를 갖는 영역을 검출하기가 상대적으로 쉬운 반면 나대지 및 건물도 햇빛에 의한 복사열로 높은 밝기 값을 갖는다.

본 논문은 적외선 비디오 영상으로부터 저주파 성분과 고주파 성분을 분리하기 위하여 Haar 웨이블릿 변환을 적용하고, 저주파 성분의 부영상에서 임계값 이상의 값을 갖는 화소들의 이진영상을 검출하고, 화소의 연결요소를 이용한 레이블링을 적용하여 적외선 영상에서 높은 밝기 값을 갖는 화염 후보영역의 초기 경계선을 검출한다. 초기 경계선 주위의 유사한 밝기 값을 가진 영역으로 경계선을 확장하여 화염 후보영역의 최종 경계선을 검출한다. 검출된 후보영역을 큐를 사용하여 일정 프레임동안 시간에 따라 추적하여 크기 특징 및 고주파 성분 에너지 특징의 이동평균을 계산하고 이동평균이 급격하게 변화하는 곳을 검출하여 화염영역을 검출하였다. 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 연구 방향을 설명한다.

2. 관련 연구

모든 물체는 복사열(thermal radiation)을 방출하며, 이러한 복사열은 물체의 온도에 대응하는 파장에서 가장 높은 값을 갖는다[15]. 적외선은 파장에 따라 $0.7\mu\text{m}$ 에서 $1.5\mu\text{m}$ 는 근적외선(Near Infrared:NIR), $1.5\mu\text{m}$ 에서 $3\mu\text{m}$ 는 단파장 적외선(Short Wavelength Infrared:SWIR), $3\mu\text{m}$ 에서 $8\mu\text{m}$ 는 중간파장 적외선(Mid Wavelength Infrared:MWIR), $8\mu\text{m}$ 에서 $15\mu\text{m}$ 까지는 장파장 적외선(Long Wavelength Infrared:LWIR), $15\mu\text{m}$ 이상은 원적외선(Far Infrared: FIR)으로 구분한다[16]. 응용 영역에 따라 각 파장의 적외선을 사용하며, 열적외선 카메라(Thermal Infrared)는 $3\mu\text{m}$ 에서 $15\mu\text{m}$ 의 파장의 적외선을 사용한다. 적외선 카메라는 외부에서 감지되는 열복사의 세기를 이차원 영상으로 표현한 것으로 빛이 없어도 열을 갖는 물체를 식별가능하기 때문에 야간 감시용으로 널리 사용된다. Ch Kranz[17]은 화염으로부터 방출되는 특정 주파수를 검출하는 방법으로 화염을 검출한다. 본 논문은 적외선 카메라에 의해 열을 가진 물체로부터 방출되는 복사열을 영상으로 표시한 적외선 영상을 이용하여, 배경영상을 사용하지 않고 높은 열을 갖는 물체가 높은 밝기 값으로 표시되는 적외선 영상의 특징에 따라 초기에 임계값을 적용하여 후보영역을 검출하고, 검출된 영역의 이웃영역으로 후보영역을 확장하는 방법으로 화염후보 영역을 검출한다. 또한 햇빛반사에 의해 적외선영상에서 높은 값을 갖는 나대지(bare ground)와 건물 등으로부터 화염영역을 구분하기 위하여 큐를 사용하여 추적한 일정기간의 크기 및 고주파성분의 이동평균이 변경되는 부분을 검출하였다.

본 논문에서 사용한 Haar 웨이블릿은 가장 간단한 형태의 웨이블릿으로 빠른 속도로 분해 및 합성이 가능한 웨이블릿이다[17-20]. 1차원 자료 $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ 에 대한 Haar 웨이블릿 변환은 식 (1)과 같이 인접 자료와의 평균 s_k 와 상세계수(detailed coefficients) d_k 에 의해 $(s, d) = (s_1, s_2, \dots, s_{N/2}, d_1, \dots, d_{N/2})$ 로 분해되고, 식 (2)와 같이 원래의 자료로 정확히 합성될 수 있다[19]. 인접자료의 평균으로 계산한 s_k 부분은 원래 자료를 저주파통과 필터를 적용하고, 자료 X 의 개수를 $1/2$ 로 샘플링한 결과이며, d_k 는 원래 자료에 대해 고주파통과 필터를 적용한 후에 $1/2$ 로 샘플링 한 결과에 대응한다. 저주파 성분 부분 $(s_1, s_2, \dots, s_{N/2})$ 에 계속하여 반복적으로 위의 과정을 반복하면 서로 다른 스케일에서의 Haar 변환 계수를 계산할 수 있다. 2차원 영상에 대한 웨이블릿 변환은 행에 대하여 웨이블릿변환을 적용한 결과를 다시 열에 대하여 웨이블릿 변환을 적용하면 된다. 본 논문에서는 Haar 웨이블릿을 사용하여 빠른 속도로 저주파 성분과 수평, 수직, 대각선 성분의 고주파 성분으로 분리하고, 저주파 영역에서 임계값을 적용하여 화염후보영역을 검출하고, 고주파영역으로 계산한 에너지를 화염분류를 특징 중 하나로 사용하였다.

$$s_k = (x_{2k-1} + x_{2k})/2, \quad k = 1, \dots, N/2$$

$$d_k = (x_{2k} - x_{2k-1})/2, \quad k = 1, \dots, N/2$$
(1)

$$x_{2k} = s_k + d_k, \quad x_{2k-1} = s_k - d_k, \quad k = 1, \dots, N/2$$
(2)

3. 제안된 적외선 비디오에서 화염 검출

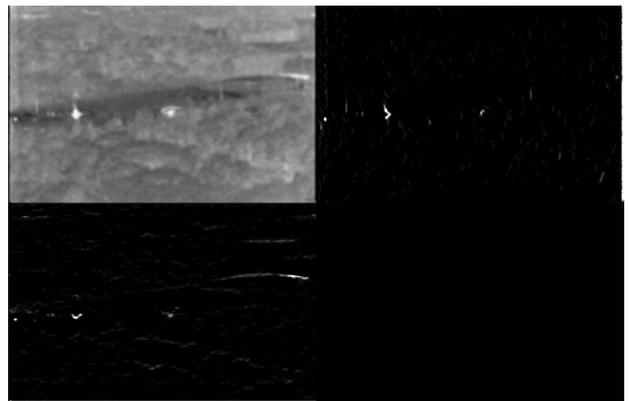
본 논문에서 제안된 화염검출 방법은 (그림 1)과 같이 Haar 웨이블릿변환 단계, 화염 후보영역 검출단계와 검출된 화염 후보영역에 대한 추적 및 분류의 3단계로 구성된다. Haar 웨이블릿변환 단계에서는 입력영상 프레임을 1단계의 Haar 웨이블릿변환을 수행하여 영상을 저주파 영역인 $LL(low-low)$ 과 3개의 고주파 영역 $LH(low-high)$, $HL(high-low)$, $HH(high-high)$ 로 분해한다. 각각의 부영역은 입력 영상 프레임의 1/4크기로 줄어들며, 또한 고주파영역을 합성한 에너지의 합을 계산하여 후보영역 검출 및 화염 판단을 위한 특징으로 사용한다. 화염후보영역 검출 단계는 영상의 대부분의 에너지가 포함된 저주파 성분인 LL 영역에서 임계 값 이상의 값을 갖는 화소의 이진 영상을 계산하고, 침식(erosion)과 팽창(dilate) 연산의 모폴로지 연산을 통하여 조그만 크기의 잡음을 제거하며, 높은 고주파성분 에너지를 갖는 영역

만을 후보영역에 포함한다. 검출된 후보영역의 추적 및 분류 단계는 동적으로 생성 및 삭제되는 큐를 사용하여 검출된 후보영역을 추적하고, 크기변화와 고주파영역에서의 에너지의 이동평균의 변화를 이용하여 화염영역과 비화염 영역을 판단한다.

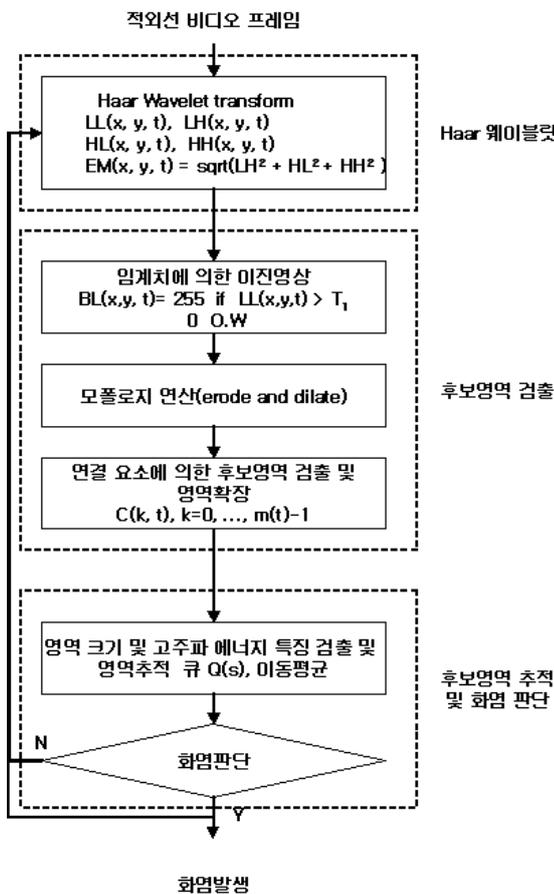
3.1 Haar 웨이블릿 변환

입력 적외선 영상 $I(x,y,t)$ 을 2 차원 Haar 웨이블릿 변환을 사용하여 1단계 까지 변환하여 $LL(i,j,t)$, $LH(i,j,t)$, $HL(i,j,t)$, $HH(i,j,t)$ 의 4개의 영상 블록으로 분해한다. $I(x,y,t)$ 의 크기가 $M \times N$ 일 때 각각의 분해된 부 영상의 크기는 $(M/2) \times (N/2)$ 크기가 되며, $LL(i,j,t)$ 은 $I(x,y,t)$ 에 저주파 성분을 포함하고, $LH(i,j,t)$, $HL(i,j,t)$, $HH(i,j,t)$ 는 각각 수평, 수직, 대각선 방향의 고주파 성분에 대한 세부영상으로 정보를 포함한다. Haar 웨이블릿 변환에 의한 영상 분해된 저주파영상 블록 $LL(i,j,t)$ 은 임계값을 이용하여 후보영역을 검출하는 과정에서 사용되며, $LH(i,j,t)$, $HL(i,j,t)$, $HH(i,j,t)$ 는 화염 주위의 변화를 검출하기 위한 특징으로 사용한다. 블록 영상은 각 블록의 왼쪽 상단을 원점으로 대응되는 좌표로 간단하게 표현하기 위하여 동일한 좌표를 사용한다. (그림 2)는 Haar 웨이블릿 변환을 나타낸다. $LH(i,j,t)$, $HL(i,j,t)$, $HH(i,j,t)$ 블록은 각각제곱을 한 후에 화면표시를 위하여 스케일한 결과이다. 식 (3)은 고주파 성분 정보를 포함하고 있는 $LH(i,j,t)$, $HL(i,j,t)$, $HH(i,j,t)$ 를 합성하여 고주파 성분의 에너지 $EM(i,j,t)$ 을 계산한다.

$$EM(i,j,t) = \sqrt{(LH(i,j,t))^2 + HL(i,j,t)^2 + HH(i,j,t)^2}$$
(3)



(그림 2) Haar 웨이블릿 변환(LL , LH , HL , HH)



(그림 1) 제안된 화염검출 방법의 구성도

3.2 후보영역 검출

적외선 영상에서 화염은 높은 밝기 값을 가지며, 주변영역과 뚜렷한 경계를 갖는다. Haar 웨이블릿 변환을 통해 계산한 $LL(i,j,t)$ 에 식 (4)와 같이 임계값 T_1 보다 큰 값을 갖는 화염후보 영역의 정보를 갖는 이진영상 $BL(i,j,t)$ 을 같이 생성한다. 생성된 이진영상 $BL(i,j,t)$ 에 포함된 잡음을 제거하기 위하여 모폴로지 연산인 침식(erosion)과 팽창

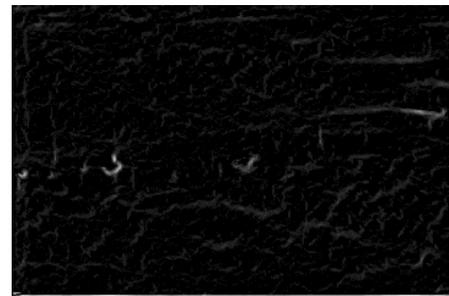
(dilation) 연산을 수행한다. 3×3 크기의 사각 윈도우를 사용하여 작은 크기의 잡음과 검출된 변화영역내의 빈 공간을 매우는 역할을 한다. (그림 3)(a)는 $LL(i,j,t)$ 블록 영상에 임계값 $T_1 = 200$ 을 적용하여 생성한 초기 화염영역 정보를 갖는 이진영상 $BL(i,j,t)$ 이다.

$$BL(i,j,t) = \begin{cases} 255 & \text{if } LL(i,j,t) > T_1 \\ 0 & \text{o.w.} \end{cases} \quad (4)$$

침식과 팽창의 모폴로지 연산을 적용한 후보영역영상 $BL(i,j,t)$ 에 연결요소분석에 의한 레이블링 알고리즘을 적용하여 후보영역의 초기 경계선을 검출한다. 임계값 T_1 에 의해 검출된 초기 경계선은 경계 구분이 애매한 영역도 후보영역으로 검출한다. 이러한 영역을 제거하기 위하여 검출된 경계선의 최소사각형을 구하고, 최소사각형(bounding rectangle) 내의 고주파성분의 평균을 $EM(i,j,t)$ 로부터 계산하여 임계값 T_2 보다 작으면 화염후보 영역이 아닌 것으로 판단하여 제거한다. 밝기 값의 임계값 T_1 과 고주파성분의 임계값 T_2 에 의해 검출된 초기 경계선 주위에 임계값 T_1 보다는 작지만 유사한 밝기 값을 갖는 영역이 있을 수 있기 때문에, 주변영역으로 확장시킨다. 시간 t 의 입력영상 프레임으로부터 검출된 m 개의 초기 경계선 $C(t,i), i=0, \dots, m-1$ 각각에 대해, 경계선 위의 각 화소의 8-이웃 화소의 $LL(i,j,t)$ 값을 조사하여 화소의 밝기 값과 임계값 T_1 의 차이가 T_3 보다 작고, 이미 변화영역으로 검출된 화소가 아니면 현재 경계선의 화소를 확장하는 방법을 사용한다. 즉, 임계값 T_3 를 사용하여, 경계선 위의 각 화소의 이웃화소 (n_i, n_j) 에 대해 조건 $LL(n_i, n_j, t) > T_1 - T_3$ 이고, $BL(n_i, n_j, t) = 0$ 을 만족하면 화소 (n_i, n_j) 를 후보영역으로 포함시키는 식이다. 초기 임계값을 T_1 에 의해 검출된 영역의 모든 화소의 값은 T_1 보다 큰 값을 갖게 되므로 위의 방법을 사

용하면 영역이 확장된다. 이러한 2단계에 걸친 영역검출방법의 장점은 초기에 높은 임계값을 갖는 영역을 검출하고, 그 주위로 확장하여 영역을 검출함으로써, 화염후보영역을 보다 안정적으로 검출할 수 있다.

(그림 3)(b)는 (그림 3)(a)에 침식과 팽창의 모폴로지 연산을 수행한 결과로 작은 크기의 영역이 사라진 것을 확인할 수 있다. (그림 3)(c)는 $T_2 = 1, T_3 = 30$ 을 적용하여 검출된 이진영상의 화염후보 영역을 확장한 결과이다. (그림 3)(d)는 화염후보영역을 확장한 이진영상에서의 경계선을 보여준다. (그림 4)는 식 (3)에 의해 계산한 고주파 성분의 에너지 $EM(i,j,t)$ 이다.



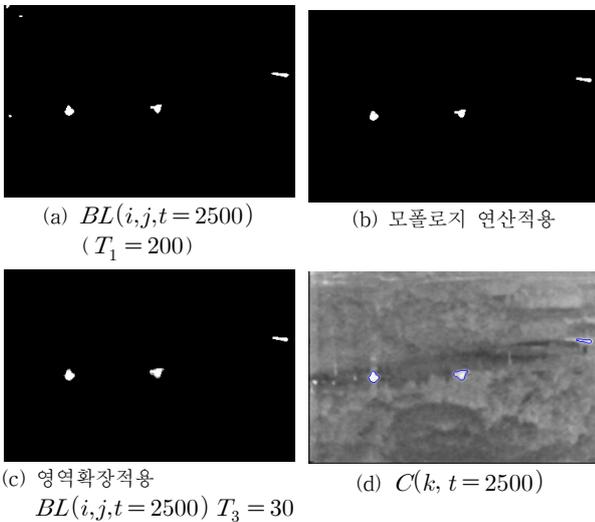
(d) $EM(i,j,t = 2500)$

(그림 4) 고주파성분 합성 에너지

3.3 특징 검출 및 화염분류

본 논문에서는 검출된 영역으로부터 영역의 면적 크기 특징과 고주파성분의 에너지를 이용한 질감(texture) 특징을 이용하여 화염과 비화염 영역을 분류한다. 시간 t 에 검출된 $m(t)$ 개의 후보영역의 경계선 $C(k,t), k=0, \dots, m(t)-1$ 로부터, 경계선을 포함하는 최소사각형 $rect(k,t), k=0, \dots, m(t)-1$ 를 계산하고, 검출된 후보영역의 면적 크기 $a(k,t)$ 특징은 영역내의 화소의 개수 또는 $rect(k,t)$ 을 이용하여 근사적으로 계산하며, 후보영역의 중심점 $xc(k,t), yc(k,t)$ 는 $rect(k,t)$ 의 중심점으로 계산하여 특징으로 사용한다. 화재 또는 산불에 의해 화염이 발생할 경우 초기에 화염이 번지거나 움직이면서 화염영역의 크기의 변화가 크게 감지되는 반면, 주간의 적외선 영상에서 높은 밝기 값을 갖는 건물의 지붕이나 나대지 등의 경우는 검출된 영역의 크기 및 고주파성분의 에너지 변화가 적게 일어난다. (그림 5)는 (그림 3)에 나타난 1개의 화염영역과 2개의 비화염 영역의 $t = 6999$ 까지 시간에 따른 검출영역의 크기 변화를 보여준다. 비화염 영역인 $a(0,t), a(1,t)$ 에서의 면적 크기 특징의 변화는 거의 일정한 반면, 화염영역인 $a(2,t)$ 에서는 화염이 번짐에 따라 화염영역의 면적 크기 특징의 변화가 나타남을 수 있다.

화염영역이 확장되고 축소됨에 따라 화염영역 및 화염영역의 주변은 화염의 영향을 받아 고주파성분이 크게 변화하지만, 비화염 영역은 비교적 일정한 값을 유지한다. 이러한 고주파성분의 에너지 변화는 Haar 변환과 식 (3)로부터 계산



(a) $BL(i,j,t = 2500)$
($T_1 = 200$)

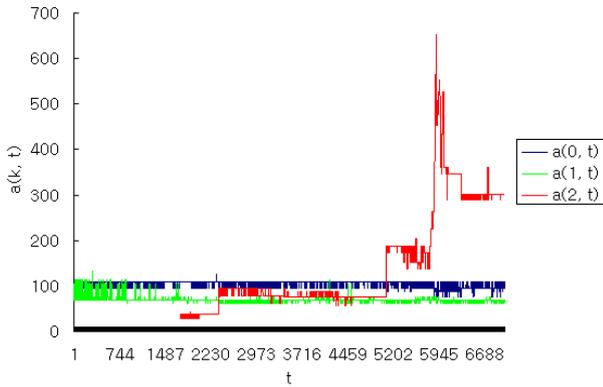
(b) 모폴로지 연산적용

(c) 영역확장적용

$BL(i,j,t = 2500) T_3 = 30$

(d) $C(k, t = 2500)$

(그림 3) 임계치 적용에 의한 이진 영상 및 경계선 검출

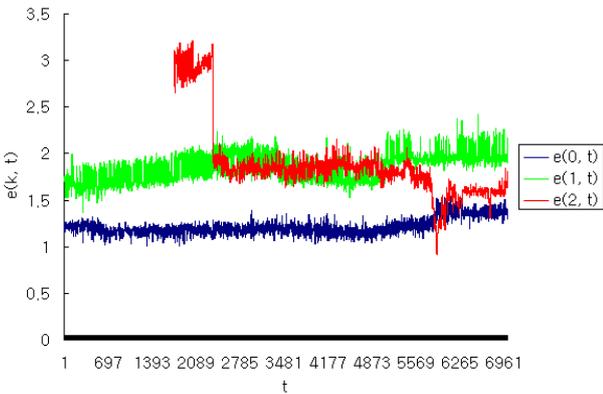


(그림 5) 검출된 후보영역의 면적, $a(k, t)$ 변화

한 $EM(i, j, t)$ 에서 후보영역내의 에너지의 평균값으로 계산한다. 식 (5)은 시간 t 에 검출된 $m(t)$ 개의 경계선을 포함하는 최소사각형 $rect(k, t), k=0, \dots, m(t)-1$ 를 이용하여 계산한 고주파성분의 에너지의 평균을 보여준다.

(그림 6)은 (그림 3)에 나타난 3개의 영역에 대한 고주파성분의 에너지 $EM(i, j, t)$ 의 시간에 따른 변화를 보여준다. 화염 영역에서의 에너지 변화 $e(0, t), e(1, t)$ 는 평균적으로 거의 일정한 반면, 화염 영역에서의 에너지 변화 $e(2, t)$ 는 시간 t 에 따라 변화의 편차가 크게 일어나는 곳에서 실제로 화염의 세기가 변경되는 것을 확인할 수 있다.

$$e(k, t) = \frac{1}{Area(rect(r, t))} \sum_{(i, j) \in rect(k, t)} EM(i, j, t) \quad (5)$$



(그림 6) 후보영역내의 고주파 성분 에너지의 평균값

3.4 후보영역 추적 및 분류

시간 t 에서 검출된 후보영역은 동적으로 생성 및 관리되는 큐 $Q(s), s=0, \dots, L-1$ 을 사용하여 추적관리 된다. (그림 7)은 시간 t 에서 후보영역을 큐를 사용하여 MAX_TRACK 프레임까지 추적하면서 이동평균을 계산하고 변화가 있는 곳을 검출하는 방법으로 화염영역으로 판단하는 알고리즘이다. $t=0$ 에서 $L=0$ 으로 초기화한다. 큐에 저장되는 데이터는 구조체 $struct(t, t_0, flame, x_c(k, t), y_c(k, t), rect(k, t), a(k, t), e(k, t), ma(k, t), me(k, t))$ 로 저장되며, 시간 t 는

프레임 번호로 나타내며, t_0 는 해당영역이 처음으로 검출된 시간을 표시하고, 각 후보영역이 화염인지를 나타내는 $flame$ 멤버는 $item_k.flame = false$ 로 초기화한다. 후보영역으로부터 계산되는 특징 $x_c(k, t), y_c(k, t), rect(k, t), a(k, t), e(k, t)$ 과 큐를 사용하여 MAX_TRACK 프레임의 이동 평균을 계산한 $ma(k, t), me(k, t)$ 멤버는 계산되지 않은 상태를 나타내기 위하여 -1로 초기화한다.

단계 1은 검출된 후보영역이 현재 추적되는 큐에 추적되고 있는 영역인지를 판단하여 추적되는 큐에 존재하지 않으면 추적을 위해 새로 큐를 하나 생성하고, 큐에 존재하면 해당 큐에 추가한다. 경계선 $C(k, t), k=0, \dots, m_k-1$ 각각에 대하여, 시간 t 를 포함하여 특징벡터를 이용하여 구조체 데이터 $item_k$ 를 생성한다. $L=0$ 이면 추적하는 후보영역이 존재하지 않으므로 $MAKE_QUEUE(Q(L))$ 으로 큐를 하나 생성하고, $INSERT(Q(L), item_k)$ 을 통해 큐 $Q(L)$ 에 $item_k$ 에 저장하고 $L=1$ 한다. $MAKE_QUEUE(Q(L))$ 로 큐를 생성할 때 최대 저장할 수 있는 자료의 수는 MAX_TRACK 으로 제한한다. $L \neq 0$ 이면 이미 큐가 한 개 이상 존재하는 것이므로, 현재의 경계선 후보영역의 경계선 $C(k, t)$ 에 대응하는 큐가 존재하는지를 $i_s = SEARCH_QUEUE_RECT_OVERLAP(Q(s), item_k)$ 을 사용하여 검색한다. 검색은 사각형 $item_k.rect(k, t)$ 과 각각의 큐에서 마지막으로 추가된 자료를 $item_s = GET_REAR_QUEUE_ITEM(Q(s))$ 를 이용하여 검색한 사각형 $item_s.rect(s, t-1)$ 이 겹치는지를 판단하여 해당 큐의 인덱스 i_s 를 반환한다. 겹치는 사각형이 존재하지 않으면 $i_s = -1$ 로 반환한다. $GET_REAR_QUEUE_ITEM(Q(s))$ 는 큐의 뒤(rear)에서 자료를 검색만하고 자료를 삭제하지는 않는다. $i_s < 0$ 이면 $MAKE_QUEUE(Q(L))$ 으로 큐를 하나 생성하고, $INSERT(Q(L), item_k)$ 을 통해 큐 $Q(L)$ 에 $item_k$ 에 저장하고 큐의 개수를 $L=L+1$ 로 증가시킨다. $i_s \geq 1$ 이면 $QUEUE_FULL(Q(i_s))$ 을 사용하여 큐 $Q(i_s)$ 에 MAX_TRACK 개의 경계선 특징이 저장되어 있는지를 판단하여, 큐 $Q(i_s)$ 에 저장된 경계선 정보가 MAX_TRACK 개 보다 작으면 $INSERT(Q(i_s), item_k)$ 를 사용하여 큐 $Q(i_s)$ 에 특징정보 $item_k$ 를 추가하고, 그렇지 않으면, 즉 MAX_TRACK 개의 경계선 자료로 큐 $Q(i_s)$ 가 차 있으면 $DELETE_QUEUE(Q(i_s))$ 를 사용하여 가장 먼저 저장된 자료를 큐의 앞쪽(front)에서 삭제하고, 큐의 개수를 $L=L-1$ 로 감소시키고, $item_s = GET_REAR_QUEUE_ITEM(Q(i_s))$ 를 사용하여, 큐 $Q(i_s)$ 에 추적되는 경계선의 최초 발생된 시간 t_0 를 검색한 다음 $item_k.t_0 = item_s.t_0$ 에 의해 $item_k.t_0$ 을 변경한 다음 큐 $Q(i_s)$ 에 특징정보 $item_k$ 를 추가한다.

단계2에서는 더 이상 추적되지 않는 영역에 대한 큐를 삭제한다. $Q(s), s=0, \dots, L-1$ 에 대해, $item_s = GET_$

입력: 시간 t 에 검출한 후보영역의 경계선 $C(k, t), k=0, \dots, m_k-1$ 로부터 검출한 특징, $Q(s), s=0, \dots, L-1, O(s), a(k, t), x_c(k, t), y_c(k, t), rect(k, t), e(k, t)$
 출력: 시간 t 에 추적되는 후보객체의 큐 $Q(s)$ 갱신, 이동평균, 및 화염영역 검출

[단계 1] 후보영역의 경계선 $C(k, t), k=0, \dots, m_k-1$ 각각에 대하여,
 $item_k = struct(t, t_0, flame, x_c(k, t), y_c(k, t), rect(k, t), a(k, t), e(k, t), ma(k, t), me(k, t));$
 $item_k.flame = false; item_k.ma(k, t) = -1;$
 $item_k.me(k, t) = -1;$
 if $L=0$ then
 $MAKE_QUEUE(Q(L));$
 $INSERT(Q(L), item_k);$
 $L=1;$
 else
 $i_s = SEARCH_QUEUE_RECT_OVERLAP(Q(s), item_k);$
 if $i_s < 0$ then
 $MAKE_QUEUE(Q(L));$
 $INSERT(Q(L), item_k);$
 $L=L+1;$
 else
 If $QUEUE_FULL(Q(i_s))$ then
 $DELETE_QUEUE(Q(i_s));$
 $L=L-1;$
 endif
 $INSERT(Q(i_s), item_k);$
 endif

[단계 2] $Q(s), s=0, \dots, L-1$ 에 대해,
 $item_s = GET_REAR_QUEUE_ITEM(Q(s))$
 if $t - item_s.t > frame_gap$ then
 $REMOVE_QUEUE(Q(s))$
 $L=L-1;$
 endif

[단계 3] $Q(s), s=0, \dots, L-1$ 에 대해,
 if $QUEUE_FULL(Q(s))$ then
 $ma = moving_avg_a(Q(s));$
 $me = moving_avg_e(Q(s));$
 $item_f = GET_FRONT_QUEUE_ITEM(Q(s));$
 $item_f.ma(k, t) = ma;$
 $item_f.me(k, t) = me;$
 $item_r = GET_REAR_QUEUE_ITEM(Q(s));$
 if $(item_r.ma(k, t) \neq -1)$ then
 if $(Diff_a(Q(s)) > T_4 \text{ and } Diff_e(Q(s)) > T_5)$ then
 $item_f.flame = true;$
 $ALARM_FLAME(Q(s));$
 endif
 endif
 endif

(그림 7) 후보영역 추적 및 화염분류 알고리즘

$REAR_QUEUE_ITEM(Q(s))$ 를 이용하여 큐 $Q(s)$ 의 가장 최근 자료를 검색하고, 조건 $t - item_s.t > frame_gap$ 을 만족하면 $Q(s)$ 는 $frame_gap$ 동안 검출된 영역의 경계선이 존재하지 않은 큐이므로 $REMOVE_QUEUE(Q(s))$ 를 사용하여 $Q(s)$ 를 제거하고 큐의 개수를 $L=L-1$ 로 감소시킨다. $frame_gap=0$ 이면 $item_s.t \neq t$ 와 동일하다. $frame_gap=1$ 이면 연속된 프레임에서 한 프레임 동안 대응되는 경계선이

검출되지 않더라도 큐를 삭제하지 않는다.

단계3은 최대 MAX_TRACK 개의 최근의 영역 경계선 정보를 저장하고 있는 $Q(s)$ 에 대해 식 (6)을 사용하여 면적 크기 특징의 평균 $mean_a(Q(s))$ 과 고주파 성분 에너지 특징의 평균 $mean_e(Q(s))$ 를 계산한다.

$$moving_avg_a(Q(s)) = \frac{1}{MAX_TRACK_FRAME} \sum_{a(k,t) \in Q(s).a(k,t)} a(k,t) \tag{6}$$

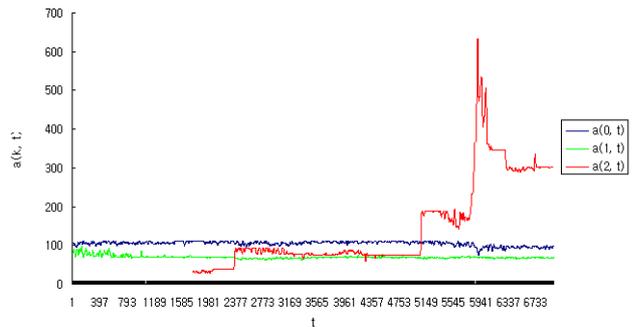
$$moving_avg_e(Q(s)) = \frac{1}{MAX_TRACK_FRAME} \sum_{e(k,t) \in Q(s).e(k,t)} e(k,t)$$

$GET_REAR_QUEUE_ITEM(Q(s))$ 를 사용하여 가장 최근에 추가된 후보영역, 즉 시간 t 에 검출된 후보영역에 대한 특징항목을 $item_r$ 에 저장하고 이동평균 멤버 $item_r.ma(k, t), item_r.me(k, t)$ 에 식 (6)에서 계산한 이동평균을 저장한다. $GET_FRONT_QUEUE_ITEM(Q(s))$ 를 사용하여 MAX_TRACK 프레임 전에 추가된 특징항목 $item_f$ 에 저장하고 $item_f.ma(k, t) \neq -1$ 이면 큐에 MAX_TRACK 개의 후보항목이 채워져 있어서 이동평균이 이미 계산된 것이다. 식 (7)에 의해 MAX_TRACK 시간 이전의 화염 후보 영역 크기의 이동평균 $item_f.ma(k, t)$ 와 현재의 후보영역 크기의 이동 평균 $item_r.ma(k, t)$ 의 차이 $Diff_a(Q(s))$ 가 T_4 보다 크고, MAX_TRACK 시간 이전의 고주파성분의 이동평균 $item_f.me(k, t)$ 와 현재의 고주파성분의 이동 평균 $item_r.me(k, t)$ 의 차이 $Diff_e(Q(s))$ 가 T_5 보다 크면 해당 추적 큐 $Q(s)$ 를 화염영역으로 판단한다.

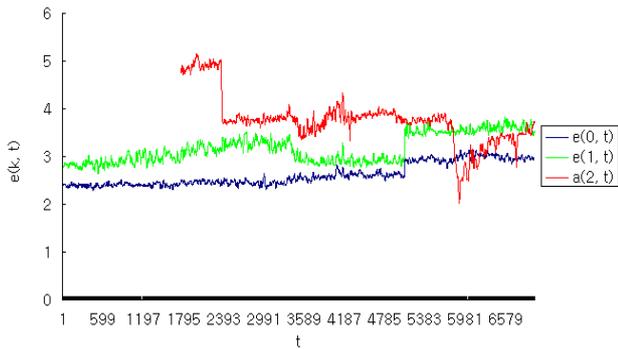
$$Diff_a(Q(s)) = |item_f.ma(k, t) - item_r.ma(k, t)| \tag{7}$$

$$Diff_e(Q(s)) = |item_f.me(k, t) - item_r.me(k, t)|$$

(그림 8)과 (그림 9)는 (그림 5)와 (그림 6)에 대응하는 후보영역을 추적하는 큐를 사용하여 MAX_TRACK 프레임의 이동 평균을 계산한 결과로 잡음이 제거되어 변화영역을 보다 효과적으로 검출할 수 있음을 알 수 있다.



(그림 8) 크기변화에 대한 이동평균 계산, $MAX_TRACK=15$



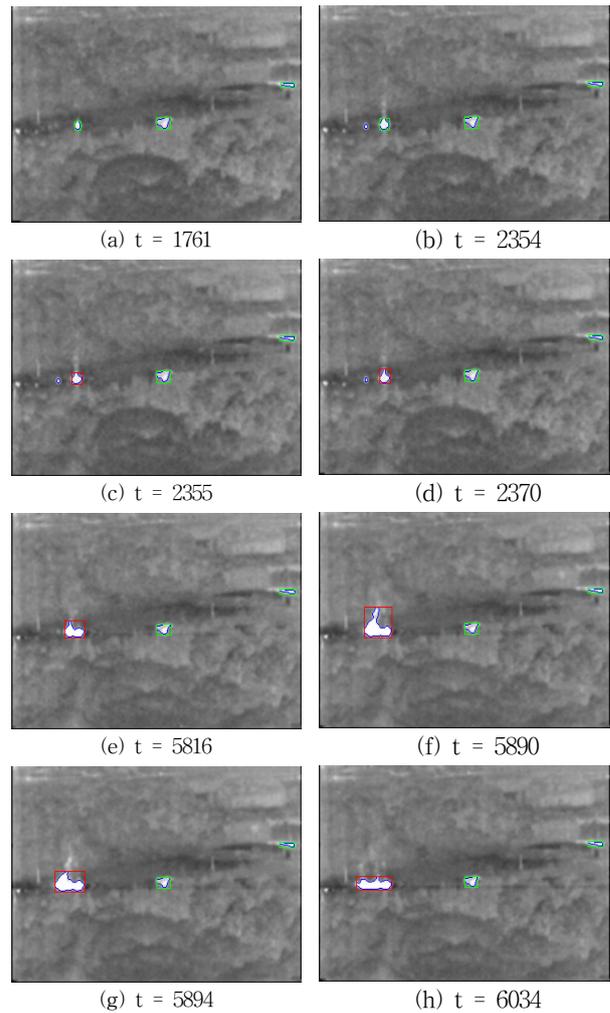
(그림 9) 고주파 에너지 변화에 대한 이동평균 계산, $MAX_TRACK=15$

4. 구현 및 결과

본 논문에서 제안한 화염검출 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 3개의 720×480×24비트의 해상도에 15fps의 AVI 비디오 영상에서 YUV 포맷으로 변경하여 밝기 정보를 갖는 Y 채널만을 사용하였다. 비디오1과 비디오 2는 인위적으로 화재를 발생시켜 실험하였으며, 비디오 3은 실제 화재가 발생한 상황을 촬영한 적외선 비디오이다.

시간 t 의 입력 적외선 영상 $I(x,y,t)$ 에 대해 2 차원 Haar 웨이블릿 변환을 1단계 까지 적용하여 분해된 $LL(i,j,t)$ 과, 고주파성분 $LH(i,j,t)$, $HL(i,j,t)$, $HH(i,j,t)$ 으로부터 계산한 고주파 에너지 영상 $EM(i,j,t)$ 는 모두 360×240의 해상도를 갖는다. 임계값은 비디오1에서 실험에 의해 구하였으며, 나머지 비디오에는 동일한 것을 적용하였다. $LL(i,j,t)$ 에서 초기 화염 후보영역을 검출하기 위한 임계값 $T_1 = 200$ 으로 설정하였으며, 고주파성 성분의 에너지에 적용되는 임계값 $T_2 = 1$ 로 설정하여 화염후보영역이 제거되지 않도록 아주 낮게 설정하여 낮은 고주파 성분을 갖는 영역만을 제거하였다. 임계값 T_1 에 의해 높은 밝기 값을 갖는 초기 화염후보영역을 확장확장하기 위한 임계값 $T_3 = 30$ 으로 하여, 임계값 $T_1 = 200$ 에 의해 검출된 초기 화염후보영역 근처에서 밝기 값이 170이상인 영역으로 확장하였다. 이동평균의 시계열 데이터에서의 변화를 검출하기 위한 변화영역크기의 차이에 대한 임계값 $T_4 = 40$, 고주파에너지의 차이에 대한 임계값 $T_5 = 0.4$ 로 설정하였으며, 화염후보영역을 추적하기 위한 큐의 크기는 $MAX_TRACK=15$ 로 하여 추적 및 이동평균을 계산하였다.

(그림10)과 <표 1>은 비디오 1에서의 화염 검출 실험결과이다. $t=1733$ 에서 화염을 포함한 영역이 처음으로 검출된다. $MAX_TRACK=15$ 이기 때문에 $t=1747$ 이 돼서야 큐에 화염영역에 대한 정보가 채워진다. 또한 화염 정보가 채



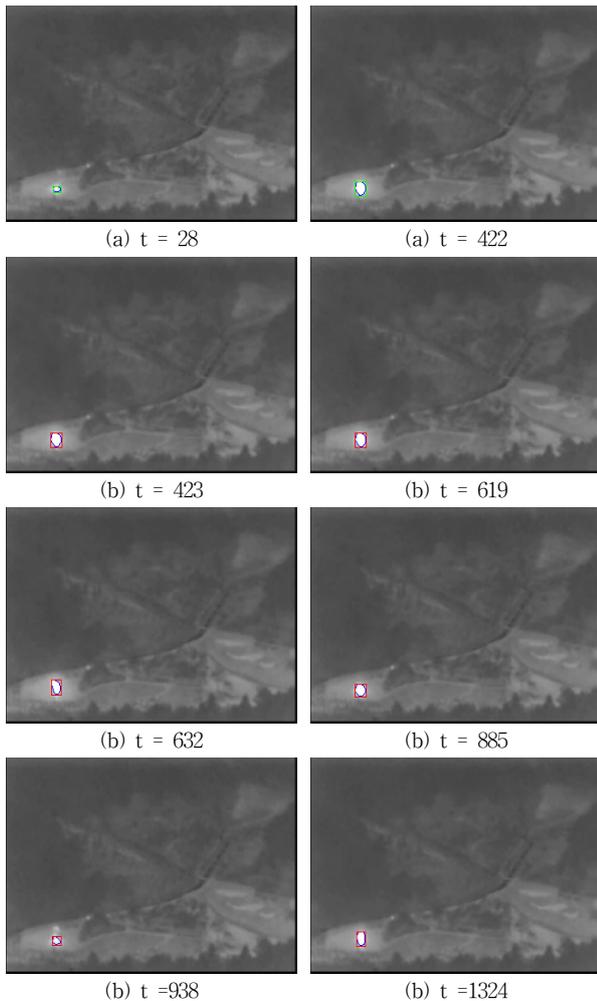
(그림 10) 비디오1에서 화염 검출

<표 1> 비디오 1에서 검출된 화염영역의 특징(그림 8)

t	$Diff_a(Q(s))$	$Diff_e(Q(s))$
1761	1.40000	0.0605688
2354	45.8000	0.331856
2355	51.666664	0.435750
2370	52.666672	0.468994
5816	90.000000	0.400008
5890	302.933350	0.418377
5894	281.399963	0.404988
6034	286.400024	0.421471

워진 후에야 이동평균을 구하기 시작하기 때문에 $t=1761$ 에서 처음으로 이동평균을 계산 할 수 있다. 초록색 사각형으로 표시된 영역은 후보영역으로 검출은 되었으나, 비화염영역으로 판단된 영역을 나타낸다. 파랑색으로 표시된 영역은 후보영역으로 검출은 되었으나, 큐가 차지 않아 아직 화염 및 비화염 영역으로 판단하지 않은 영역을 표시한다. (그림 11)과 <표 2>은 비디오 2에서의 화염 검출 실험결과이다. 비디오 2는 첫 프레임부터 화염이 존재하지만, $t=423$

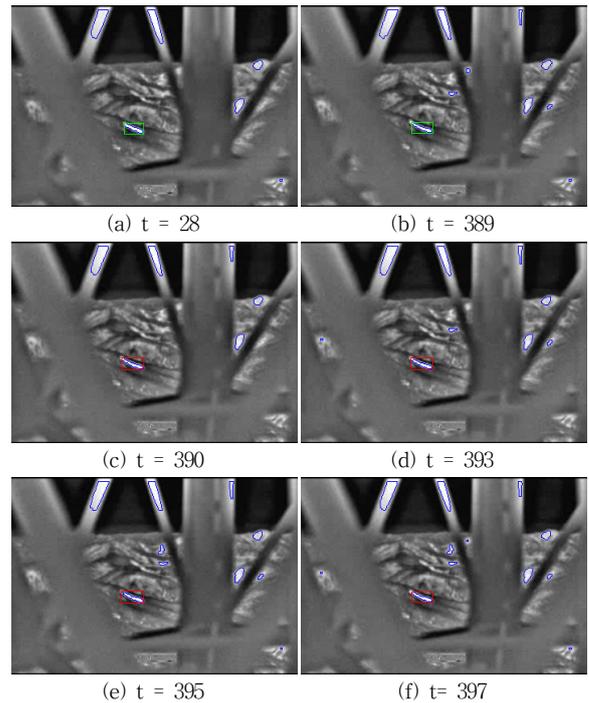
에서 처음으로 화염이 검출되기 전까지는 화염의 변화가 크지 않아서 검출되지 않았다. (그림12)와 <표3>은 실제 제안된 영역에서 화재가 발생했을 때 녹화된 비디오 3에서의 화염 검출 실험결과이다. 카메라 앞쪽에 구조물이 위치하고 있어, 구조물에서 다수의 후보영역이 검출되었지만 화재로는 검출되지 않고, 실제 화재가 발생된 영역만 화염으로 판단되었다.



(그림 11) 비디오2 에서 화염 검출

<표 2> 비디오 2에서 검출된 화염영역의 특징(그림 7)

t	$Diff_a(Q(s))$	$Diff_e(Q(s))$
28	5.66667	0.0189768
422	124.200	0.347893
423	137.533	0.443279
619	99.933334	0.420265
632	83.866669	0.401843
885	58.733330	0.444027
938	48.333328	0.401321
1324	52.666672	0.408835



(그림 12) 비디오3 에서 화염 검출

<표 3> 비디오 3에서 검출된 화염영역의 특징(그림 7)

t	$Diff_a(Q(s))$	$Diff_e(Q(s))$
28	3.20001	0.0450082
389	69.4000	0.332339
390	83.933350	0.406273
393	106.066681	0.509723
395	109.399994	0.507449
397	87.600006	0.441768

<표 4>는 영역 크기의 차이에 대한 임계값 $T_4 = 40$, 고주파에너지의 차이에 대한 임계값 $T_5 = 0.4$ 으로 하여 비디오 1, 비디오2, 비디오 3에서의 화염검출 실험 결과를 요약한다. <표 5>는 영역 크기의 차이에 대한 임계값 $T_4 = 30$, 고주파에너지의 차이에 대한 임계값 $T_5 = 0.3$ 으로 낮추어 화염검출하는 실험을 한 결과이다. 화염이 검출된 총 프레임 수는 <표 4>에서 보다 많이 검출되었으며, 비디오 3의 실제화재의 경우 처음 화염 영역이 검출된 이후 비교적 빠른 시간인 $t = 114$ 에서 첫 화염영역이 검출되었으나, 비디오 1과 비디오 2는 <표 4>에서의 실험과 유사하게 검출되었다. 이러한 결과는 화염후보영역이 검출된 후에 영역크기의 변화와 고주파 에너지 평균의 변화가 임계값 이내에서 서서히 변했기 때문으로 판단된다. (그림 13), (그림 14), <표 6>은 본 논문에서 제안한 방법과의 비교를 위하여 참고문헌 [8]의 교차상관관계를 이용한 방법을 구현하여 실험한 결과이다. 입력영상의 크기는 본 논문에서 1단계 Haar 웨이블릿 분해를 한 크기인 360×240 으로 입력영상을 서브샘플링하여 처리

하였으며, 화염 후보영역을 검출하기 위한 임계값은 본 논문의 실험과 같이 200으로 설정하였으며, 본 논문과 동일하게 모폴로지 연산을 적용하고, 레이블링하여 후보영역을 검출하였다. 교차상관관계는 참고문헌 [8]에서와 같이 평균과 표준편차에 의해 정규화하지 않고, 영역의 크기로 나눈 교차상관관계를 사용하였으며, 인접한 두 프레임 사이의 후보영역에서의 사각형을 이용하여 참고논문 [8]에서와 같이 ± 4 화소의 변동을 가지고 25개의 교차상관 계수에서 최대값을 선택하였으며, 화염영역과 비화염영역의 판단은 $MAX_TRACK = 15$ 사이의 교차상관 계수의 변동을 이용하여 화염을 판단하였다. 교차상관계수의 변동의 임계값은 5000으로 설정하였다. 실험결과 적외선 영상에서 높은 밝기 값을 갖는 비디오 1에서의 나대지와 비디오 3에서 인공구조물에서 많은 오검출이 발견되었다. (그림 13)의 (a), (b), (d)는 나대지가 화염으로 검출된 오검출이며, (c)는 정상적으로 화염이 검출된 경우이고, (d)는 화염은 검출되지 않고, 나대지가 검출된 경우이다. (그림 14)는 비디오 3에서의 실험 결과로 (a), (d)는 정상적으로 화염을 검출하였으나 단일 임계값 의하여 전체적인 화염 영역을 하나의 영역으로 검출하지는 못하였으며, (b)와 (c)는 화염은 검출하지 못하고 인공구조물을 오검출한 결과이다. 비디오 3에서 검출된 화염수가 많은 것은 비디오 1에서와 동일한 임계값을 적용하고, 화염영역이 2개의 영역으로 분리되어 검출되어, 작은 영역에서의 미세한 변동을 검출하였기 때문이며, 이러한 점은 장점일 수도 있으나 오검출을 일으키는 요인이 될 수 있으므로 동일 물체는 하나의 영역으로 검출하는 것이 바람직하다. 교차 상관관계에 의한 실험 결과 발생한 오검출은 단일 임계값에 의해 후보영역을 정확하게 검출하지 못한 사각 후보영역을 이용한 상관관계를 이용한 결과로 판단된다. 참고문헌 [8]의 경우는 후처리로 신경망, 퍼지규칙, 기상센서, 지리정보, CCD 카메라 영상 등을 보조적으로 사용하여 오검출을 줄이는 방법을 사용하였다.

〈표 4〉 화염 검출 실험 결과1($T_4 = 40, T_5 = 0.4$)

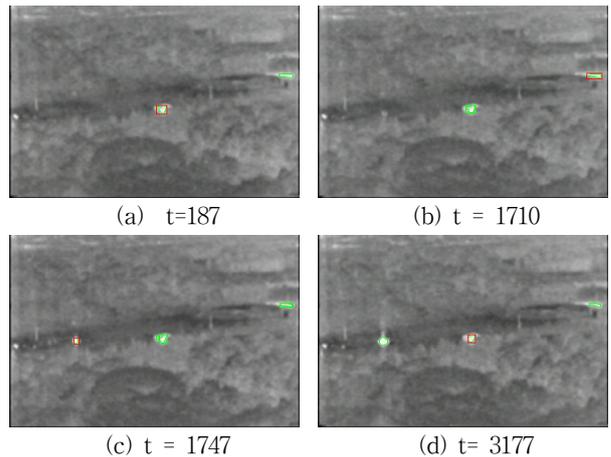
비디오	총 프레임수	실제 처음 화염 프레임 번호	처음 검출된 화염 프레임 번호	총 화염 검출 수	오검출 수
비디오 1	7000	1733	2355	40	0
비디오 2	3038	0	423	56	0
비디오 3	899	0	390	9	0

〈표5〉 화염 검출 실험 결과2($T_4 = 30, T_5 = 0.3$)

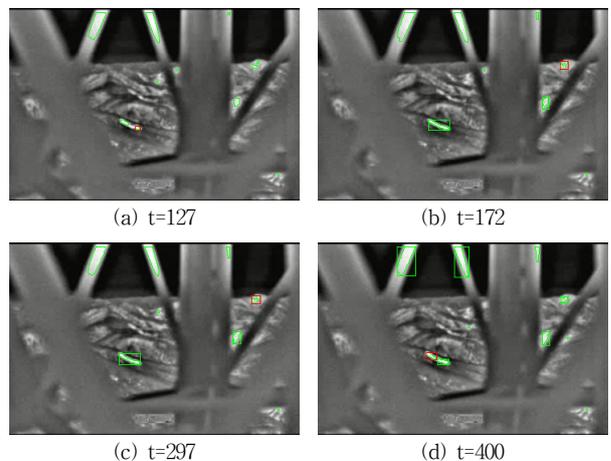
비디오	총 프레임수	실제 처음 화염 프레임 번호	처음 검출된 화염 프레임 번호	총 화염 검출 수	오검출 수
비디오 1	7000	1733	2353	105	0
비디오 2	3038	0	422	99	0
비디오 3	899	0	114	18	0

〈표6〉 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



(그림 13) 비디오 1에서 참고문헌 [8]의 교차상관에 의한 화염 검출



(그림 14) 비디오3에서 참고문헌[8]의 교차상관관계에 의한 화염 검출

5. 결 론

본 논문은 산불 감시용 적외선 카메라로부터 획득한 비디오 영상에서 Haar 웨이블릿을 통해 계산한 고주파 성분의 에너지 평균과 저주파영역에서 임계값을 적용하여 초기 후보영역을 검출하고, 주변의 밝기 값이 높은 영역으로의 확장방법을 사용하여 높은 밝기를 갖는 화염 후보영역을 안정적으로 검출하였으며, 동적으로 생성 유지 관리되는 큐를 이용하여 화염후보영역 추적하고, 이동평균을 계산하고 이동평균의 변화가 발생하는 곳을 검출하는 방법으로 화염영

역을 분류하는 알고리즘을 사용하여 효과적으로 화염영역을 분류하였다. 후속 연구로는 임계값 선정, 국부적으로 변화하는 화염영역의 검출 및 인접 후보영역의 클러스터링 방법 등은 후속 연구과제로 남긴다.

참 고 문 헌

- [1] W.Phillips III et al, "Flame Recognition in Video," In Fifth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp.224-229, Dec., 2000.
- [2] Che-Bin Liu, "Vision Based Fire Detection," icpr, 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'04) - Vol.4, pp.134-137, 2004.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Turgay Celik et al, "Fire detection using statistical color model in video sequences," Journal of Visual Communication and Image Representation Vol.18, Issue 2, April, pp.176-185, 2007.
- [6] B.Ugur Toreyin et al, "Flame Detection in Video Using Hidden Markov Models," ICIP 2005, IEEE International Conference on Image Processing, Vol.2, pp.1230-1233, 2005.
- [7] A.Ollero et al, "Techniques for reducing false alarms in infrared forest-fire automatic detection systems," Control Engineering Practice 7, pp.123-131, 1999.
- [8] B.C.Arrue et al, "An Intelligent System for False Alarm Reduction in Infrared Forest-Fire Detection," IEEE Intelligent Systems, pp.64-75, 2000.
- [9] Martinez-de Dios J.R. et al, "Distributed Intelligent Automatic Fire Detection System," INNOCAP'98, 28th of 29th of April, Grenoble, Spain.
- [10] Behcet Uur Toreyin, et al, "Fire detection in infrared video using wavelet analysis," Opt. Eng., Vol.46, 2007.
- [11] 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.
- [12] 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), pp.199-225.
- [13] Florent Lafarge et al, "Forest Fire Detection based on Gaussian field analysis," Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2007.
- [14] Ch Kranz, "A New Flame Detection Method for Two channels Infrared flame detectors," Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers 29th Annual 1995 International Carnahan Conference on Security Technology, pp.209- 213, 1995.
- [15] ANUJ DHUNGANA, B.E.E. "SEGMENTATION OF INFRA-RED IMAGES," Texas Tech University, Degree of MASTER OF SCIENCE, 2002.
- [16] Dr. S. C. Liew. "Electromagnetic Waves," Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing.
<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/em.htm>
- [17] Kamrul Hasan Talukder and Koichi Harada, "Haar Wavelet Based Approach for Image Compression and Quality Assessment of Compressed Image," IAENG International Journal of Applied Mathematics, 36:1, IJAM 36.1.9, 2007.
- [18] Eric J. Stollnitz et al, "Wavelets for computer graphics: A primer," part 1. IEEE Computer Graphics and Applications, 15(3):76-84, May, 1995.
- [19] Patrick J. Van Fleet, "Discrete Haar Wavelet Transformation," <http://cam.mathlab.stthomas.edu/wavelets/pdffiles/UST06/Lecture4.pdf>
- [20] D. Sage and M. Unser, "Teaching Image Processing in JAVA," IEEE Signal Processing Magazine, pp.43-52, Nov., 2003.



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~현 재 공주대학교 컴퓨터공학부 부교수
 관심분야: 영상처리, 컴퓨터 비전, 멀티미디어 응용, 컴퓨터 그래픽스 등