

영역 확장법을 이용한 연기검출

김 동 근[†]

요 약

본 논문에서는 옥외 비디오 영상에서 영역 확장법을 이용한 연기 영역검출 방법을 제시한다. 제안된 방법은 차영상에 의한 초기 변화영역 검출 단계, 경계선 검출 및 확장 단계, 특징 검출 및 연기분류의 3단계로 구성된다. 초기 변화영역 검출 단계에서는 배경영상으로 차영상을 계산하고, 초기 임계치를 이용하여 이진영상을 구하고, 잡음 제거를 위하여 모폴로지 연산을 수행한다. 경계선 검출 및 확장 단계는 레이블링 알고리즘에 의해 이진영상에서 변화영역을 검출하고, 각 변화영역의 경계선을 검출한 다음, 차영상과 경계선을 이용하여 확장된 경계선을 계산한다. 특징 검출 및 연기분류 단계에서는 확장된 경계선에 모멘트를 이용하여 타원을 추정하고 타원의 시간에 따른 특징정보를 이용하여 연기 영역을 분류한다.

키워드 : 연기검출, 영역 확장, 모멘트

Smoke Detection using Region Growing Method

Dong Keun Kim[†]

ABSTRACT

In this paper, we propose a smoke detection method using region growing method in outdoor video sequences. Our proposed method is composed of three steps: the initial change area detection step, the boundary finding and expanding step, and the smoke classification step. In the first step, we use a background subtraction to detect changed areas in the current input frame against the background image. In difference images of the background subtraction, we calculate a binary image using a threshold value and apply morphology operations to the binary image to remove noises. In the second step, we find boundaries of the changed areas using labeling algorithm and expand the boundaries to their neighbors using the region growing algorithm. In the final step, ellipses of the boundaries are estimated using moments. We classify whether the boundary is smoke by using the temporal information.

Keywords : Smoke Detection, Region Growing, Moments

1. 서 론

최근 교통, 범죄예방, 환경감시 등의 분야에서 비디오 감시 시스템(video surveillance system)의 이용이 활발하다. 특히 산불 및 화재 감시 목적으로 많은 CCD 카메라가 설치되고 있다. 본 논문에서는 비디오 영상으로부터 연기(smoke)를 자동으로 검출하는 방법을 제안한다.

건물 내의 제한된 영역에서의 화재는 특정 지점에 선서를 부착하여 화재를 감시하지만, 옥외 환경에서와 같이 감시 영역이 방대할 경우에는 카메라에 의한 감시가 보다 효율적이다.

연기는 원거리에서 발생한 화재 및 산불을 카메라에 의해 시각적으로 감지할 수 있는 매우 중요한 특징이다.

최근에 비디오 영상으로부터 연기를 검출하는 방법들이 제안되었다[1-6]. B.Ugur Toreyin[1] 등은 배경영상과 입력 영상의 차를 계산하여 배경영상의 화소들로부터 변경된 화소들을 계산하고, 화소연결 방법을 이용하여 배경으로부터 변경된 영역을 검출한 후에, 시간과 공간 웨이블릿 변환을 사용하여 검출된 영역에서 에지의 세기가 시간에 따라 약화되는 특징과 색상 값을 이용하여 연기를 검출하였다. Nobuyuki Fujiwara[2] 등은 그레이 스케일 영상에서 연기모양의 자기 유사성(self-similarity)을 이용한 플랙탈 인코딩 방법을 사용하여 연기를 검출하였다. F.Gomez-Rodriguez[3] 등은 웨이블릿과 광류 추적 방법을 사용하여 산불영상에서 연기의 움직임을 검출하였다. Ziyou Xiong[4] 등은 웨이블릿과 RGB 색상 분석을 통해 연기영역을 검출하였다. Roberto Vezzani[5] 등은 차영상을 통하여 변화영역을 검출하고, 주파수 분석을 통하여 시간에 따른 에지인 깜박임(flickering)이 존재하는 변화영역을 후보영역으로 설정하고, 변화영역의 크기변화를 이용하여 연기를 판단하였다. 김동근[6] 등은

[†] 중신회원 : 공주대학교 컴퓨터공학부 부교수
논문접수 : 2008년 12월 11일
수정일 : 1차 2009년 3월 19일, 2차 2009년 4월 6일
심사완료 : 2009년 4월 6일

비디오 영상 프레임의 블록평균영상과 배경영상의 블록평균영상의 차이를 계산하여 배경영상으로부터의 변화를 계산하고, 차 영상의 수직 및 수평 투영 그래프를 계산하여 변화영역을 계산하는 방법으로 변화영역을 검출하였다. 상기 배경영상과의 차 영상을 이용하는 방법들에서 하나의 임계값에 의해 변화영역을 검출할 때 임계값의 설정에 어려움이 있다. 임계값을 너무 낮게 설정하면 너무 많은 변화영역이 검출되고, 임계값을 너무 높게 설정하면 원하는 변화영역을 충분히 검출할 수 없게 된다.

본 논문에서는 비디오 영상에서 영역확장법을 이용하여 초기에 상대적으로 높은 임계값을 적용하여 변화영역을 검출한 다음, 주변영역으로 확장하는 방법을 이용하여 연기영역을 효율적으로 검출 방법을 제시한다. 제안된 방법은 차 영상에 의한 변화영역 검출 단계, 경계선 검출 및 영역 확장 단계, 특징 검출 및 연기분류의 3단계로 구성된다. 변화영역 검출 단계에서는 배경영상으로 차영상을 계산하고, 초기 임계치를 이용하여 이진영상을 구하고, 잡음 제거를 위하여 모폴로지 연산을 수행한다. 경계선 검출 및 확장단계는 레이블링 알고리즘에 의해 이진영상에서 변화영역을 검출하고, 각 변화영역의 경계선을 검출한 다음, 차영상과 경계선을 이용하여 확장된 경계선을 계산한다. 특징 검출 및 연기분류 단계에서는 확장된 경계선에 모멘트를 이용하여 타원을 추정하고 타원으로부터 계산한 특징정보를 큐에 저장하여 연기 영역을 분류한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련 연구를 간단히 설명하고, 3장에서 제안된 경계선 영역확장기법에 의한 연기영역 검출방법을 설명하고, 4장에서는 실험 결과를 보이고, 끝으로 5장에서 결론과 앞으로의 연구 방향을 설명한다.

2. 관련 연구

비디오 감시 시스템에서 움직임 검출(motion detection) 및 분할(segmentation)은 처리하고자하는 대상의 움직임을 검출하고 분할해 내는 단계이다. 비디오 영상 처리에서 간단하면서 효율적인 움직임 검출 및 분할 방법은 인접 프레임 차이(frame difference)를 사용한 방법과 배경 영상과의 차 영상(background subtraction)을 이용하는 방법이 있다[1, 2, 5, 6, 7]. 인접한 프레임 사이의 차를 이용한 방법은 인접한 두 프레임 또는 세 프레임 사이의 차이를 화소 단위로 계산하고 임계값을 적용하여 움직임 또는 변화영역을 검출하는 방법으로 구현이 간단한 장점을 갖는 반면 움직임이 느리게 변화하는 경우 검출이 어렵다. 배경 영상을 이용하는 방법은 감시하고자하는 대상영역의 배경영상을 미리 저장한 다음 배경영상과 입력영상 사이의 차이를 화소 단위로 계산하고, 임계값 보다 큰 화소를 움직임 또는 변화된 영역으로 검출하는 방법으로 잡음에 덜 민감하며 효율적인 장점을 갖는 반면 배경영상을 미리 가지고 있어야 한다. 대부분의 경우 여러 장의 영상을 사용하여 평균, 가중평균 또는 중위수를 사용하여 배경영상을 생성한다.

[6]에서 입력 비디오 영상 프레임의 블록평균영상과 배경영상의 블록평균영상의 차이를 계산하여 배경영상으로부터의 변화를 계산하고, 블록 차 영상의 수직 및 수평 투영 그래프를 이용하여 변화영역을 사각영역으로 검출하고, 카메라의 움직임을 판단하여 배경영상을 갱신하는 과정을 포함하였다. 그러나 차 영상을 계산한 후에 변화영역 정보를 갖는 이진영상을 생성하는 과정에서 중요한 임계값을 설정하는 것에 어려움을 갖는다. 옥외영상에서 낮은 임계값을 주고 변화영역을 검출할 경우 바람에 의한 나뭇잎 등의 미세한 흔들림 등에 의해 많은 변화영역이 검출되어 후속 처리에서 어려움을 갖게 된다. 반대로 임계값을 너무 높게 설정하면 변화영역을 충분히 검출할 수 없을 수 있다. 또한 수평 및 수직 투영 그래프를 이용하여 변화 영역을 수평축과 수직축에 직각인 사각영역으로만 한정하여 변화 영역을 검출함으로써 기울기를 갖는 변화영역을 효과적으로 표현하지 못하는 단점을 갖는다.

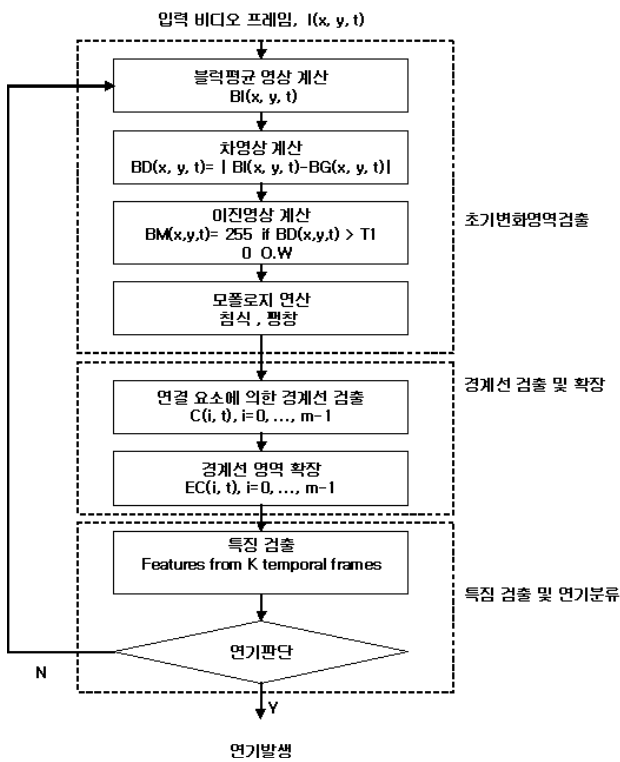
본 논문에서는 이러한 단점을 해결하기 위하여 입력영상과 배경영상과의 차영상에서 임계값 높게 설정한 다음, 화소의 연결정보를 이용하여 초기 변화영역의 경계선을 검출하고, 검출된 경계선을 이용한 영역 확장법을 적용하여 높은 임계값을 갖는 주변의 변화영역을 효과적으로 검출하였다. 또한 검출된 경계선을 모멘트를 이용하여 타원으로 표현하고 타원으로부터 검출된 시간에 따른 특징을 이용하여 연기영역을 분류하였다.

3. 영역확장법에 의한 연기영역 검출

본 논문에서 제안된 연기 검출 방법은 입력 비디오 영상으로부터 잡음 및 바람 등에 의한 오류를 줄이기 위하여 블록평균 영상을 이용한다. 카메라가 고정된 상태에서 비디오 영상을 획득한다고 가정하고 배경 영상을 갱신하는 단계는 포함하지 않는다. 이러한 가정은 펜틸트기로 부터의 움직임 정보 또는 영상을 이용한 움직임 정보를 사용하여 배경영상을 효과적으로 갱신할 수 있는 방법으로 확장 가능하다. (그림 1)은 제안된 영역 확장법에 의한 연기영역 검출의 구성도를 나타낸다.

제안된 방법은 초기 변화영역 검출단계, 경계선 검출 및 확장단계, 특징 검출 및 연기분류의 3단계로 구성된다. 초기 변화영역 검출 단계에서는 배경영상을 사용하여 차영상을 계산하고, 초기 임계값을 적용하여 변화영역을 갖는 이진영상을 계산한 다음, 침식(erosion)과 팽창(dilatation) 연산의 모폴로지 연산을 통하여 조그만 크기의 잡음을 제거와 변화영역 내부의 빈틈을 채운다.

두 번째 단계인 경계선 검출 및 영역확장 단계는 레이블링 알고리즘에 의해 이진영상에서 변화영역을 검출한다. 검출된 각 변화영역의 초기 경계선과 영상에서 변화정보를 갖는 차영상을 이용하여 초기 경계선 영역을 유사한 차영상 값을 갖는 이웃영역으로 확장된 경계선을 검출 한다. 마지막으로 특징 검출 및 연기분류 단계에서는 확장된 경계선으



(그림 1) 영역확장법에 의한 연기검출 방법의 구성도

로 부터 모멘트를 계산하여 타원을 추정하고 타원으로부터 계산한 특징정보를 큐에 저장하여 연기 영역을 분류한다.

3.1 변화영역 검출

본 논문에서는 YUV 색상 모델을 사용하여 비디오 영상을 획득하고 저장한다. Y값은 색상의 밝기(luminance)를 나타내고, U, V 값은 색상(chrominance) 값을 나타낸다. 변화영역 검출 단계에서는 Y 값만을 사용한다.

입력 비디오 영상 프레임을 $W \times W$ 블록으로 분할한 후에 각 블록에서 Y색상의 평균을 계산하여 블록평균영상을

생성한다. 시간 t 의 입력영상 $I(x, y, t)$ 으로부터 계산한 블록 평균영상 $BI(x, y, t)$ 과 배경 블록평균영상 $BG(x, y, t)$ 의 Y값에 의한 밝기영상의 차 영상 $BD(x, y, t)$ 는 식 (1)에 의해 계산한다. 배경 블록평균영상 $BG(x, y, t)$ 은 영상을 획득하기 시작하는 초기의 임의의 개수의 $BI(x, y, t)$ 을 평균하여 사용하거나 잡음의 적은 경우는 임의의 블록평균영상 $BI(x, y, t)$ 로 설정한다. 식 (2)에 의해 임계값 T_1 보다 큰 화소는 255로 그렇지 않은 화소는 0으로 저장하여 변화영역의 정보를 갖는 이진 영상 $BM(x, y, t)$ 을 생성한다. 임계값 T_1 보다 큰 화소는 255로 하는 이유는 단순히 시각적으로 확인을 하기 위해서이다. (그림 2)는 임계값 T_1 에 따른 변화영역의 이진영상이다. (그림 2)(a)는 낮은 임계값에 의해 많은 변화영역이 검출되었으며, (그림 2)(b)는 보다 높은 임계값에 의해 많은 잡음이 제거됨과 동시에 변화영역 또한 줄어든 것을 확인할 수 있다.

$$BD(x, y, t) = |BI(x, y, t) - BG(x, y, t)| \quad (1)$$

$$BM(x, y, t) = \begin{cases} 255 & \text{if } BD(x, y, t) > T_1 \\ 0 & \text{o.w.} \end{cases} \quad (2)$$

다음 단계는 임계값에 의해 생성된 이진영상에 포함된 잡음을 제거하기 위하여 모폴로지 연산인 침식과 팽창 연산을 수행한다. 3×3 크기의 사각 윈도우를 사용한 침식에 의해 작은 크기의 잡음은 제거하고 검출된 변화영역내의 빈 공간을 채워준 후에, 다시 원상태의 크기로 팽창시켰다. (그림 3)은 (그림 2)의 영상에서 침식과 팽창 연산을 수행한 결과로 (그림 2)의 영상에 비해 많은 잡음이 제거된 것을 알 수 있다.

3.2 경계선 검출 및 확장

시간 t 에서 입력 영상의 블록평균영상과 배경 블록평균영상의 차 영상을 계산한 후에 임계값 T_1 을 적용하여 이진영



(a) $BM(x, y, t), T_1 = 5$



(b) $BM(x, y, t), T_1 = 20$

(그림 2) 임계치에 따른 변화영역의 이진영상



(a) $BM(x, y, t), T_1 = 5$

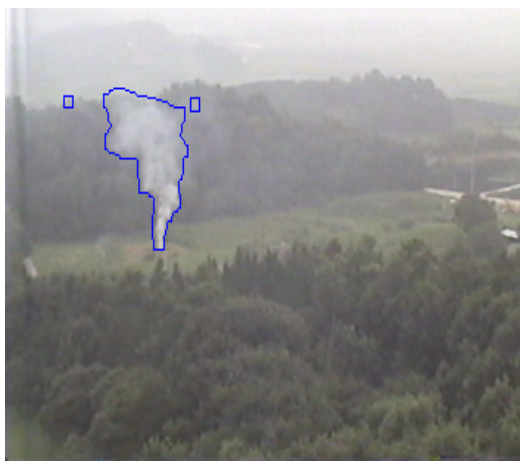


(b) $BM(x, y, t), T_1 = 20$

(그림 3) 모폴로지 연산후의 변화영역의 이진영상

상을 구하고 침식과 팽창 연산을 적용하여 생성한 이진영상에서 레이블링 알고리즘을 적용하여 변화영역의 초기 경계선을 검출한다. (그림 4)는 (그림 3)의 $T_1=20$ 에 의해 검출된 초기 경계선을 입력영상에 표시하여 보여준다.

시간 t 의 입력영상으로부터 검출된 m 개의 초기 경계선 $C(t, i), i=0, \dots, m-1$ 각각에서, 경계선 위의 각 화소의 8-이웃 화소를 검색하여 화소의 차영상 값이 식 (2)의 임계값 T_1 로부터의 차이가 T_2 보다 작고, 이미 변화영역으로 검출된 화소가 아니면 현재 경계선의 화소를 확장한다. 초기 임계값을 T_1 에 의해 검출된 변화영역의 모든 화소의 차영상의 값은 T_1 보다 큰 값을 갖는다. 임계값 T_2 를 사용하여 조건 $T_1 - BD(x_a, y_a, t) < T_2$ 을 만족하는 화소는 차영상의 값 $BD(x_a, y_a, t)$ 이 $T_1 - T_2$ 보다 큰 화소들이다. $T_1 > T_2$ 를 만족하는 임계값 T_2 를 설정하여 경계선을 확장시킨다. (그림 5)는 스택을 사용한 경계선 영역확장 알고리즘을 요약한다. (그림 6)은 경계선 영역확장에 의한 영역 검출 결과를 보여준다. 초기 임계값을 적용하여 검출된 영역은 백색 (255)으로 표시하였고, (그림 5)의 경계선 영역확장에 의해



(그림 4) 초기경계선 검출

새로 추가된 영역은 시각적으로 구분하여 주기 위하여 회색(155)로 표시하였다. (그림 6)(a)는 임계값을 $T_1 = 20, T_2 = 10$ 로 설정하여 얻은 결과로, (그림 6)(b)는 임계값을 $T_1 = 40, T_2 = 30$ 로 설정하여 얻은 결과이다. $T_1 = 40$ 으로 하여 높은 임계값을 가진 영역을 검출한 다음, $T_2 = 30$ 으로 하여

입력: $C(t, i), i=0, \dots, m-1$: 이진영상의 경계선
 $BD(x, y, t)$: 차영상
 $BM(x, y, t)$: 모폴로지 연산후의 변화영역의 이진영상
 출력: $EC(t, i), i=0, \dots, m-1$: 확장된 이진영상의 경계선
 $BM(x, y, t)$: 확장된 이진영상

단계1: $i=0, \dots, m-1$ 에 대하여 단계 2에서 단계 4를 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,

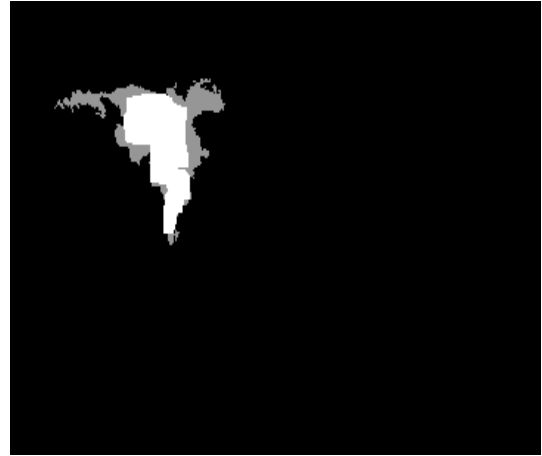
If $T_1 - BD(x_a, y_a, t) < T_2$ and $BM(x_a, y_a, t) = 0$ then
 $BM(x_a, y_a, t) = 255$
 If $a \in C(t, j)$ and $j \neq i$ then
 For all $b \in C(t, j), PUSH(S, b)$
 else
 $PUSH(S, a)$
 endif
 endif
 endwhile

단계4: $BM(x, y, t)$ 을 이용하여 확장된 이진영상의 경계선 $EC(t, i)$
 $i=0, \dots, m-1$ 을 계산한다.

(그림 5) 영역확장 알고리즘



(a) $T_1 = 20, T_2 = 10$



(b) $T_1 = 40, T_2 = 30$

(그림 6) 영역확장에 의한 영역 검출

검출된 영역 근처에서 차 영상의 값이 10이상인 영역으로 확장시켜 얻은 결과로 매우 효과적으로 변화영역을 검출한 것을 알 수 있다. 임계값 T_2 는 임계값 T_1 에서 5에서 10 적은 값을 사용하여 설정하며, 초기에 차영상에서 상대적으로 높은 임계값 T_1 에 의해 검출된 변화영역 주변의 유사한 차이 값을 갖는 영역으로 영역을 확장시키는 방법을 적용한다. 초기 변화영역을 검출하는 임계값 T_1 의 선정은 카메라의 거리 및 바람 등에 영향을 받는 상대적인 값으로 실험결과 T_1 의 값을 10이상을 적용하면 연기를 검출하기에 충분한 변화를 검출할 수 있다.

3.3 특징 검출 및 연기분류

산불 감시용 카메라로부터 획득한 비디오 영상에 제한된 영역확장 알고리즘을 적용하여 검출된 변화 영역에서 연기와 자동차와 같은 연기가 아닌 영역을 분류하기 위하여, 본 논문에서는 비디오 영상 프레임으로부터 검출한 변화영역의 경계선의 모멘트로부터 특징을 추출한다. m 개의 화소로 구성된 경계선 $(x_k, y_k), k=0, \dots, m-1$ 에 대하여, 식 (3)은 기하모멘트(geometric moment)를 계산하고, 식 (4)를 이용하여 중심 모멘트(central moment)를 계산한다[8-10].

$$m_{pq} = \sum_{k=0}^{m-1} x_k^p y_k^q \quad (3)$$

$$\mu_{pq} = \sum_{k=0}^{m-1} (x_k - x_c)^p (y_k - y_c)^q \quad (4)$$

여기서, $x_c = m_{10}/m_{00}, y_c = m_{01}/m_{00}$

식 (3)에서, m_{00} 는 경계선의 길이, 즉 경계선 위의 화소의 수가 되며, 변화영역의 중심점 (x_c, y_c) 를 계산할 수 있다. 식 (4)의 중심모멘트 이용하여 변화영역을 정합하는 타원을 식 (5)와 같이 계산할 수 있다. 식 (5)의 a는 타원의 장축(semimajor axis), b는 단축(seminor axis)이며, 타원의

방향을 나타내는 θ 는 x축과의 회전각도이다. 변화영역내의 모든 화소를 이용한 모멘트 대신 경계선에 대한 모멘트를 사용한 이유는 연기의 움직임이 불규칙하며, 이러한 불규칙성은 연기의 경계선의 움직임에 의하여 관찰될 수 있기 때문에, 경계선의 특성을 나타내는 경계선 모멘트를 사용하였다. 또한 영역내의 모든 화소를 이용하여 계산하는 영역 모멘트에 비하여 계산속도가 빠른 장점을 갖는다.

$$a = \sqrt{\frac{2(\mu_{20} + \mu_{02}) + \sqrt{(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2}}{\mu_{00}}} \quad (5)$$

$$b = \sqrt{\frac{2(\mu_{20} + \mu_{02}) - \sqrt{(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2}}{\mu_{00}}}$$

$$\theta = \frac{1}{2} (\tan^{-1}(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}}))$$

시간 t 에서 검출된 변화영역의 경계선 $EC(t, i)$ 로부터 중심점 $x_c(t, i), y_c(t, i)$ 과, 중심 모멘트에 의해 계산한 타원의 장축, $a(t, i)$ 과 단축 $b(t, i)$, 방향 정보, $\theta(t, i)$ 를 갖는 회전을 특징 정보로 추출하였다. 변화영역의 중심 위치는 변화영역의 이동 특성을 파악하기 위한 특징으로 일정 K 프레임 내에서 움직임 속도는 자동차가 연기보다 빠르게 움직인다. 장축과 단축은 변화영역의 크기변화를 판단하기 위한 특징으로 연기 영역의 크기변화는 자동차에 의한 크기 변화보다 상대적으로 크다. 방향정보는 전체적인 변화영역의 모양의 변화방향에 대한 특성이다. 인접한 두 프레임으로부터 추출한 경계선 정보는 유사하기 때문에 이를 이용해서는 변화영역이 지속적으로 변하는지 알 수 없으나, 연속적인 K 개의 프레임으로부터 검출한 변화영역의 경계선으로부터 추출한 특징 정보를 이용하면, 인위적인 물체의 움직임과 발생지점을 중심으로 지속적으로 변화하며 확산하는 연기영역을 구분할 수 있다.

시간 t 에서 변화영역으로 검출된 경계선 $EC(t, i)$ 로부터 추출된 특징 정보는 큐(queue)에 보관한다. 새로운 경계선

$EC(t,i)$ 가 검출되면, 특징정보를 추출하고, 중심점을 이용하여 큐에서 경계선이 이전 시간에 검출되었는지를 검색하여, 검출되면 동일한 큐에 특징 정보를 저장하고, 검출되지 않고 새로이 검출된 경계선으로 판단되면 큐를 새로이 생성한다. 큐의 개수는 추적되는 물체의 개수와 동일하다. 연속으로 2프레임 이상에서 검출되지 않으면 큐를 삭제한다. 각각의 큐의 최대크기는 K 가 된다. 큐가 채워진 상태에서 새로운 경계선이 동일한 물체로 판단되면 가장 오래된 것을 큐에서 삭제하고, 새로운 경계선의 특징을 큐에 추가하는 방법으로 큐에 최근 K 프레임으로부터 획득한 변화영역의 특징정보를 유지한다. 큐에 저장된 K 프레임으로 검출된 경계선 $EC(t,i)$ 로부터 $dist(t,i)$, $std(a(t,i))$, $std(b(t,i))$, $std(\theta(t,i))$, $queue_count_i$ 의 특징을 계산하여 연기영역을 판단한다. $dist(t,i)$ 는 i 번째 경계선과 관련된 큐에 저장된 처음 위치와 마지막 위치의 중심 $xc(t,i)$, $yc(t,i)$ 의 거리이다. 즉 K 프레임사이의 이동거리에 해당한다. $std(a(t,i))$, $std(b(t,i))$, $std(\theta(t,i))$ 는 각각 타원의 장축, 단축, 방향의 변화를 나타내는 표준편차이다. $queue_count_i$ 는 큐에 저장된 변화영역의 수를 나타낸다. $queue_count_i = 1$ 이면 해당 영역에 처음으로 변화영역이 검출되었음을 의미한다. $queue_count_i = K$ 이면 큐가 채워진 상태로 이전의 K 프레임에서 지속적으로 변화영역이 검출되었음을 의미한다. $queue_count_i = K$ 이고 $dist(t,i)$ 가 임계값 T_3 보다 작고 $std(a(t,i))$, $std(b(t,i))$ 는 임계값 T_4 보다 작으며, $std(\theta(t,i))$ 가 $T_5 = 60$ 보다 작으면 연기영역으로 판단한다.

4. 구현 및 결과

본 논문에서 제안한 경계선 영역 확장 기법을 이용한 연기검출 알고리즘을 인텔 펜티엄IV 1.7GHz의 노트북 컴퓨터에서 VC++을 이용하여 구현 및 실험하였다. 실험 비디오 영상은 일반 CCD 캠코더로 원거리에서 촬영한 옥외영상과

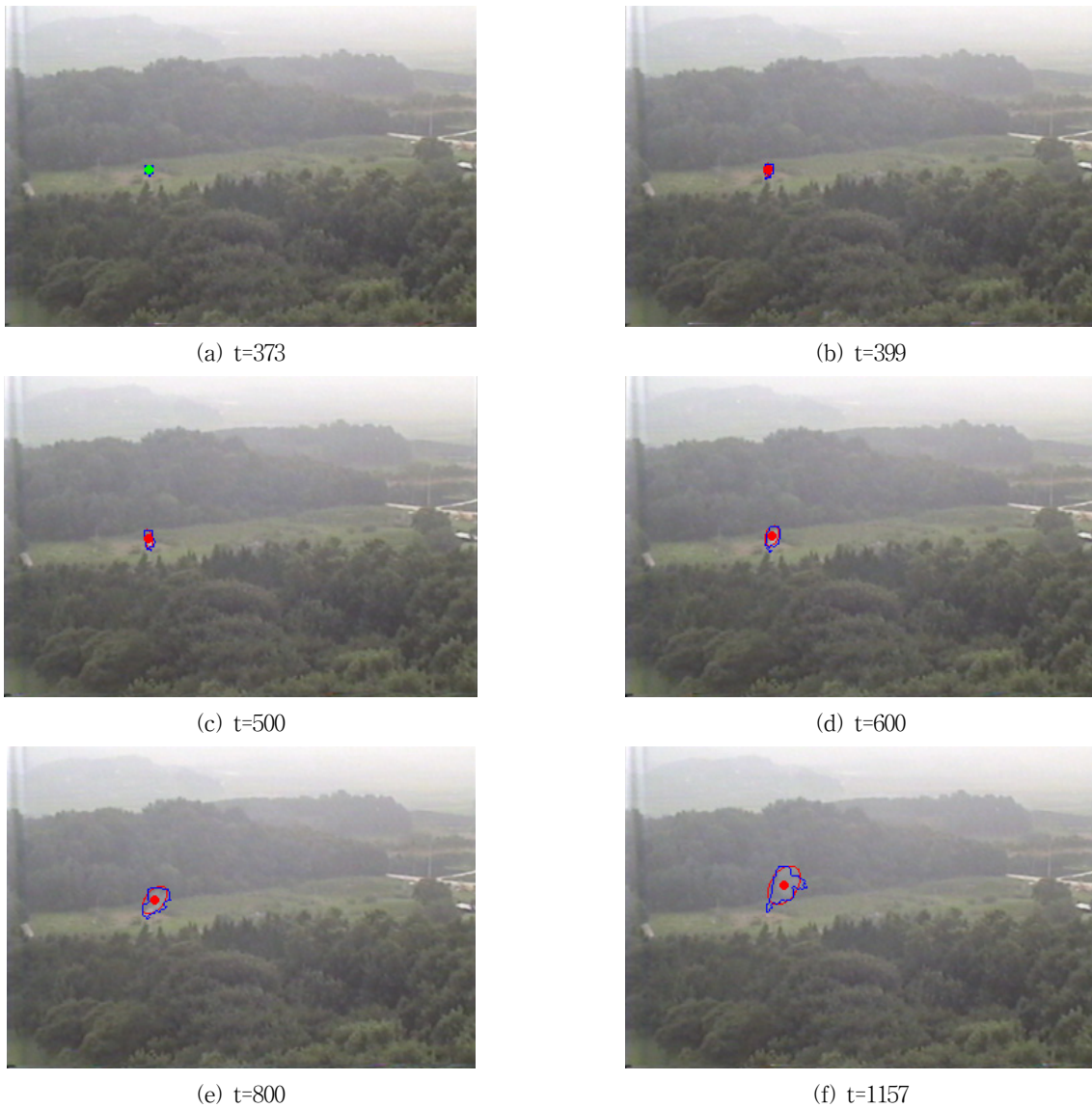
산불감시용 카메라로부터 획득한 $720 \times 480 \times 24$ 비트의 해상도에 24fps 속도의 AVI 비디오 영상이다. 평균영상 블록을 계산하기 위한 블록 크기 $W=2$ 로 하여 계산에 사용되는 $BD(x,y,t)$, $BM(x,y,t)$ 등의 영상의 크기는 360×240 이다. 배경영상은 비디오 영상의 시작부분의 임의의 프레임, $t=10$ 배경영상으로 설정하였다. 잡음에 보다 안정적으로 연기를 검출하기 위해서는 임계값 T_1 을 높게 설정하고 검출된 경계선 주위의 유사한 차이를 갖는 영역으로 확장시켜 변화영역을 찾는 것이 중요하다. (그림 7)과 (그림 8)은 산불감시용 CCD 카메라로부터 카메라를 정지시켜 놓은 상태에서 획득한 비디오 영상으로부터 인위적으로 연기를 발생시켜 생성한 비디오 영상에 대하여 실험한 결과이다. (그림 7)은 식 (2)의 임계값 $T_1 = 20$ 으로 하여 차 영상에서 변화가 있는 영역으로 판단하고, 경계선 영역확장을 위한 임계값은 $T_2 = 5$ 로 하여 경계선 주위에서 차 영상의 값이 15보다 큰 영역으로 확장시켜 변화영역에 포함시켰다. 변화영역으로부터 연기를 검출하기 위한 특징 벡터의 크기는 $K=24$ 로 설정하였다. K 개의 변화영역이 검출되기 전까지는 연기로 판단하지 않았다. 변화영역의 경계선은 파랑색 실선으로 표시하였고, 중심 모멘트에 의해 계산한 타원은 빨강색 실선으로 표시하였다. 또한 변화영역의 중심점을 원으로 표시하였으며, 연기영역이 아닌 영역은 초록색으로 표시한 원으로 표시하였으며, 연기에 의한 변화영역은 빨강색으로 표시하였다. $t=373$ 에서 처음으로 변화영역을 검출하였으며, $t=399$ 에서 처음으로 연기 발생을 검출하였다. (그림 8)은 임계값 $T_1 = 10$ 으로 하고, 경계선 영역확장을 위한 임계값은 $T_2 = 5$ 로 하여 경계선 주위에서 차 영상의 값이 5보다 큰 영역으로 확장시켜 변화영역에 포함시켜 (그림 7)에서 보다 더 큰 영역이 검출되었음을 알 수 있다. (그림 8)에서는 $t=474$ 에서 처음으로 변화영역을 검출하였으며, $t=527$ 에서 처음으로 연기 발생을 검출하였다. <표 1>과 <표 2>는 각각 (그림 7)과 (그림 8)에서의 검출된 경계선

<표 1> 경계선 영역확장에의해 검출된 영역의 특징(그림 7)

t	$dist(t,i)$	$std(a(t,i))$	$std(b(t,i))$	$std(\theta(t,i))$	$queue_count_i$
373	0.00	0.00	0.00	0.00	1
399	1.00	0.66	0.00	18.24	24
500	1.00	0.00	0.33	1.98	24
600	1.00	0.35	0.49	4.14	24
800	1.00	0.61	0.43	1.5	24
1157	1.41	1.38	0.37	4.30	24

<표 2> 경계선 영역확장에의해 검출된 영역의 특징(그림 8)

t	$dist(t,i)$	$std(a(t,i))$	$std(b(t,i))$	$std(\theta(t,i))$	$queue_count_i$
474	0.00	0.00	0.00	0.00	1
502	1.00	1.00	1.19	37.94	7
527	3.16	0.67	0.00	35.75	24
600	0.00	0.47	0.00	5.55	24
800	1.00	0.47	0.27	3.39	24
1157	1.41	0.43	0.50	6.63	24



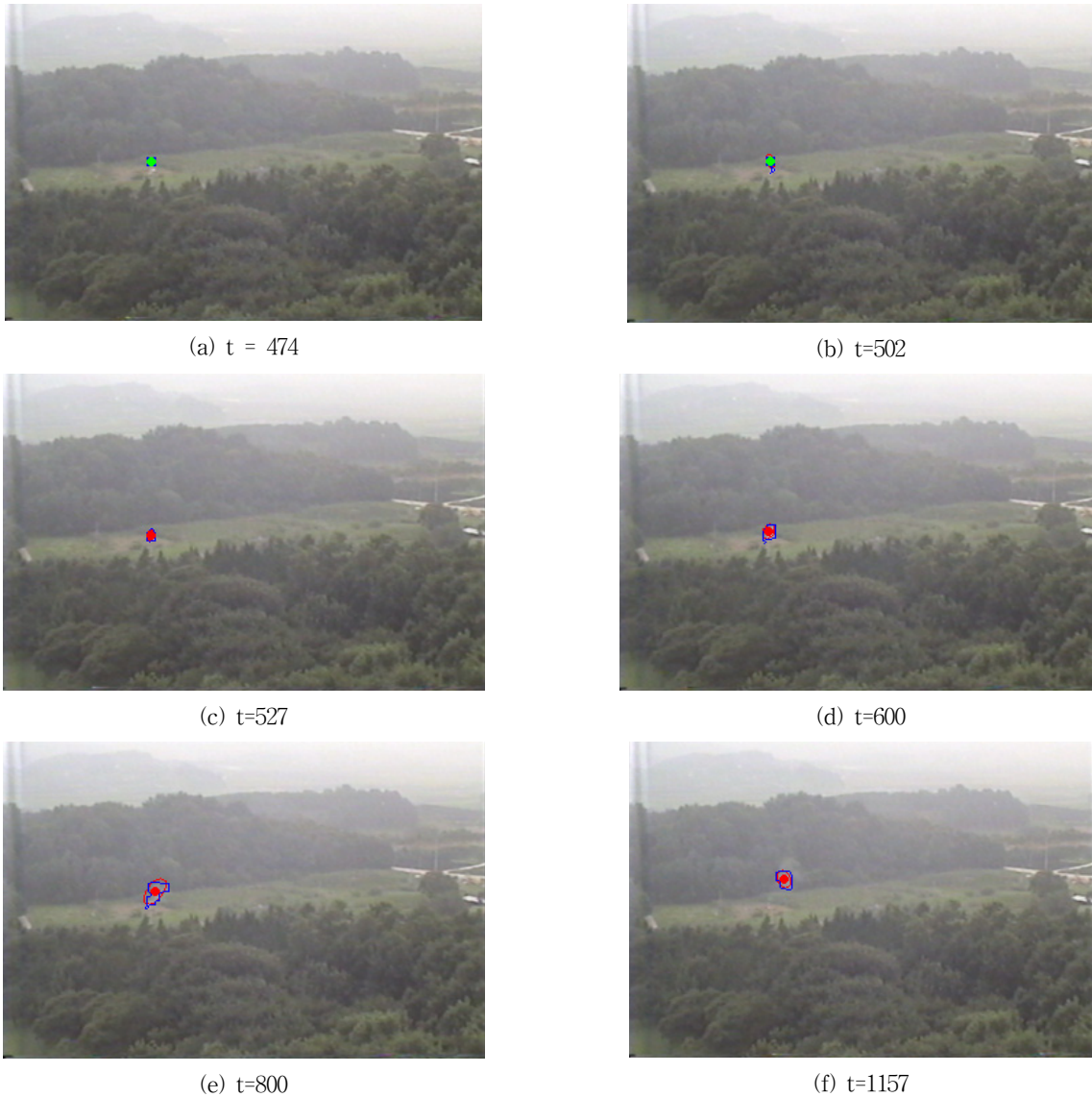
(그림 7) 경계선 영역확장에 의한 영역 검출, $T_1 = 10$, $T_1 = 5$

영역의 특징을 보여준다. <표 2>에서 $t=502$ 에서 큐에 저장된 검출된 영역의 수($queue_count_i$)가 7로 큐가 모두 찬 상태가 아니기 때문에 연기 영역으로 판단되지 않은 것이다. 연기 판단을 위한 이동거리의 임계값 $T_3 = 20$, $T_4 = 6$, $T_5 = 60$ 으로 하였다.

(그림 9)는 삼각대를 고정시켜 놓고 공장의 굴뚝 연기를 일반 캠코더로 촬영한 비디오 영상에서 실험을 수행한 결과이다. (그림 9)는 공장의 굴뚝에서 연기가 이미 발생한 상태에서 촬영한 영상으로 배경영상에 연기가 포함된 상태에서 실험을 하였다. $T_1 = 20$, $T_2 = 5$, $K = 24$ 로 (그림 7)과 동일한 조건하에서 수행하였다. (그림 9)의 (d), (e), (f), (g)에 자동차에 의한 변화영역이 연기가 아닌 영역으로 검출됨을 알 수 있다.

<표 3>은 (그림 9)에서 중심점이 빨강색으로 표시된 연기로 검출된 영역의 특징정보이다. <표 4>는 (그림 9)에서

중심점이 초록색으로 표시된 자동차와 같은 연기가 아닌 영역 검출된 영역의 특징정보이다. 자동차가 발견된 영역의 특징은 영역의 크기 정보를 나타내는 특징인 장축과 단축의 표준편차, $std(a(t,i))$ 와 $std(b(t,i))$ 가 상대적으로 작은 값이며, 이동 짧은 시간의 거리, $dist(t,i)$ 는 매우 큰 것을 알 수 있다. <표 4>의 $t = 117$ 은 $queue_count_i = 13$ 으로 특징 버퍼의 큐가 채워지지 않아서 연기가 아닌 영역으로 판단되었다. $t = 88$ 과 $t = 1113$ 은 $queue_count_i = 1$ 은 해당지점에서 변화영역이 처음으로 발견되었음을 의미 한다. (그림 7)과 (그림 8)에 사용한 비디오 영상의 프레임 수는 2044 프레임이고, (그림 9)에서의 영상 프레임 수는 2070이다. <표 5>와 <표 6>에 본 논문에서 제안된 방법으로 영역을 확장한 후에 연기를 검출한 결과와 동일한 임계값 $T_1 = 20$ 을 사용하여 영역확장을 하지 않고 연기 검출을 한 실험 결과를 비교하였다. 제안된 방법은 영역확장을 사용하지 않은 방법



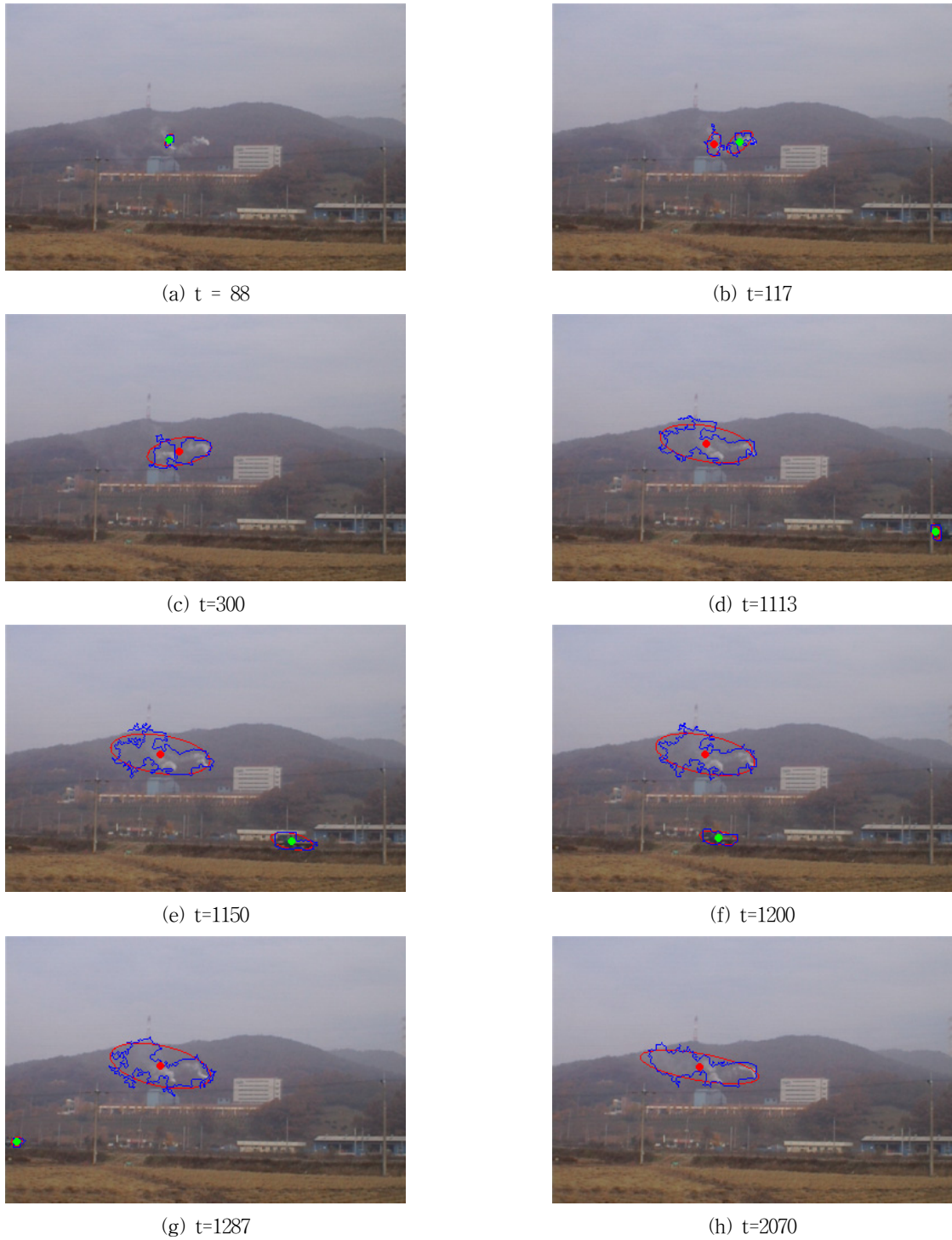
(그림 8) 경계선 영역확장에 의한 영역 검출, $T_1 = 20$, $T_2 = 5$

<표 3> 연기로 검출된 영역의 특징(그림 9)

t	$dist(t,i)$	$std(a(t,i))$	$std(b(t,i))$	$std(\theta(t,i))$	$queue_count_i$
117	4.47	5.47	2.08	47.51	24
300	2.23	0.27	0.89	1.68	24
1113	2.00	0.72	0.37	0.74	24
1150	1.00	4.26	1.24	2.87	24
1200	1.00	4.56	0.94	2.25	24
1287	0.00	0.91	3.38	31.58	24
2070					24

에 비해 인접한 변화영역이 병합되는 효과로 인하여 적은 수의 영역이 검출되었으며, 연기로 검출된 영역의 비율이 높음을 알 수 있다. 연기영역이면서 연기로 검출되지 않은 영역은 연속으로 $K=24$ 개의 프레임에서 변화영역이 검출되지 않거나 <표 6>의 자동차와 같이 일정한 모양을 유지하였기 때문에 연기영역이 아닌 프레임으로 판정된 경우이다.

(그림 7)과 (그림 8)의 산불 감시 카메라로부터 획득한 비디오는 카메라부터 멀리 떨어진 곳에 안개가 있음에도 불구하고 이동 물체로 연기가 매우 효율적으로 검출되었다. (그림 9)의 삼각대를 고정시켜 놓고 공장의 굴뚝 연기를 일반 캠코더로 촬영한 비디오는 바람이 존재함에도 초기에 높은 임계값을 적용하여 매우 크게 변화하는 곳을 먼저 검출



(그림 9) 공장굴뚝연기 검출, $T_1 = 10$, $T_1 = 5$

한 후에, 높은 밝기 값을 가진 영역의 주변을 확장시키는 방법을 사용하여 미세한 바람에 의한 영향을 줄였다. 배경 영상을 일정 프레임동안 평균을 사용하여 계산하면 보다 안정적으로 변화 영역을 검출 할 수 있으리라 기대되며, 대부분의 산불감시 카메라와 함께 설치되는 바람, 온도 등의 센서 정보와 영상정보를 통합하여 판단하는 시스템의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 산불 감시용 카메라로부터 획득한 비디오 영상에서 배경영상으로부터 차 영상을 계산하고, 임계값에 의해 검출한 초기 경계선을 영역확장법을 사용하여 효과적으로 변화영역을 검출하였다. 또한 검출된 영역으로부터 모멘트를 계산하여 경계선을 타원으로 적합시켜 특징을 계산

〈표 4〉 연기가 아닌 영역으로 검출된 영역의 특징(그림 9)

t	$dist(t,i)$	$std(a(t,i))$	$std(b(t,i))$	$std(\theta(t,i))$	$queue_count_i$
88	0	0	0	0	1
117	3.16	4.80	1.38	17.62	13
1113	0.00	0.00	0.00	0.00	1
1150	61.03	0.81	0.50	1.89	24
1200	46.04	0.94	0.45	2.06	24
1287	28.01	1.88	0.57	46.40	24

〈표 5〉 (그림 7), (그림8)의 비디오에서 연기검출 실험 비교

방법	검출된 변화 영역	연기로 검출된 영역	연기영역이면서 연기로 검출되지 않은 영역
제안된 방법	1635	1528	107
영역확장을 사용하지 않은 방법	2086	1681	405

〈표 6〉 (그림 9)의 비디오에서 연기검출 실험 비교

방법	검출된 변화 영역	연기로 검출된 영역	자동차에 의해 검출된 영역	연기영역이면서 연기로 검출되지 않은 영역
제안된 방법	2790	2287	135	368
영역확장을 사용하지 않은 방법	5157	3551	194	1412

한 다음 큐를 이용한 시간에 따른 변화영역의 통계적 특성을 사용하여 연기영역과 연기가 아닌 영역으로 구분하였다. 후속 연구로는 바람에 의한 흔들림으로 인한 차 영상의 오류등을 해결하는 방법 및 인접 변화영역을 클러스터링하여 연기 영역을 판단하는 방법등은 후속 연구과제로 남긴다.

참 고 문 헌

[1] 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.
 [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] 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.
 [4] Ziyu Xiong et al, "Video-based Smoke Detection: Possibilities, Techniques, and Challenges," IFPA, Fire Suppression and Detection Research and Applications - A Technical Working Conference (SUPDET), Orlando, FL, 2007.
 [5] Roberto Vezzani et al, "Smoke Detection in Video Surveillance: the Use of ViSOR (Video Surveillance On-line Repository)," Proceeding of ACM International Conference on Image and Video Retrieval, Niagara Falls, Canada, July, 7-9, 2008
 [6] 김동근, 김원호, "블록기반 차영상과 투영 그래프를 이용한

연기검출," 한국정보처리학회논문지B, Vol.14B, No.5, 2007년, pp.361-368.

[7] A Murat Tekalp, Digital Video Processing, Prentice Hall PTR, 1995.
 [8] Rocha, L. et al, "Motion reconstruction using moments analysis," Computer Graphics and Image Processing, 2004. Proceedings. 17th Brazilian Symposium, pp.354- 361, 17-20 Oct. 2004.
 [9] Chaur-Chin Chen, "Improved moment invariants for shape discrimination, Pattern recognition," Vol.26, No.5, pp.683-686, 1993.
 [10] Johannes Kilian, "Simple Image Analysis By Moments," <http://vaderio.googlepages.com/SimpleImageAnalysisbyMoments.pdf>, 2001.



김 동 근

e-mail : dgkim@kongju.ac.kr
 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, 멀티미디어 응용, 컴퓨터 그래픽스 등