

영상 처리 기법을 이용한 터널 내 화재의 조기 탐지 기법의 개발

이 병 무^o, 한 동 일
세종대학교 컴퓨터공학과
a992014@hotmail.com^o, dihan@sejong.ac.kr

Development of Early Tunnel Fire Detection algorithm Using the Image Processing.

Byoungmoo Lee^o, Dongil Han
Department of Computer Engineering, Sejong University, Seoul, Korea

요 약

터널 내 화재 발생 시 대규모의 인명, 재산 피해가 발생하는데 이러한 상황을 조기에 탐지함으로써 피해를 최소화하기 위한 시스템이 필요하다. 또한 터널 내 설치된 CCTV를 사람이 24시간 감시하기에는 너무 어려운 점이 많다. 이에 따라 적절한 영상 처리를 통한 화염 및 연기 검출 시스템을 통해 경보를 알려줄 경우, 보다 편리하고 사람이 모니터 앞에 없을 때 화재 발생 시 화재를 검출할 수 있어 피해를 최소화 할 수 있다. 본 논문에서는 영상처리 기법을 이용하여 터널 안에서 발생한 화재 및 연기를 고속으로 탐지하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 터널 안에서의 화재 탐지는 차량 조명 및 터널내의 조명등과 같은 여러 가지 상황에 의해 산불 탐지 알고리즘과 다른 독자적인 알고리즘의 개발이 요구된다. 본 논문에서 제시한 두 가지 알고리즘은 기존 알고리즘보다 정확한 위치 탐지와 초기 단계에서의 탐지가 가능하도록 되었다. 또한 우리는 실험 결과를 통해 각각의 성능을 비교함으로써 제시한 알고리즘의 타당성을 보여주었다.

1. 서론

대도시의 가용 공간 확보를 위해 지하 공간의 개발의 필요성이 증가하고 있으며 이에 따라 수송 시간 단축과 공간 활용을 위한 터널 개발이 활성화 되고 있다. 또한 터널의 건설이 늘어나고 터널의 길이의 장대화에 따른 터널의 유지 및 관리가 부각되고 있다. 즉 터널 건설의 수요 증가로 인해 터널의 환기 및 화염 방재에 대한 부분이 중요시 되며 특히 터널 내 화재 발생 시 대규모의 인명, 재산 피해가 발생할 수 있으므로 화재에 의한 피해를 최대한 경감하기 위해 조기 발견 시스템이 요구되어진다. 화재를 조기에 발견하여 초기 소화 및 조기 피난을 가능케 하는 설비를 개발함으로써 피해를 최소화 할 수 있다.

산불 탐지의 경우 컬러 정보를 이용하여 녹색의 숲과 적색의 산불을 탐지하거나[1] 이전 필드와의 차이 영상을 이용하여 빠르게 발생하는 연기등을 탐지하는 것[2]이 가능하였다. 산불 감지 시스템의 경우 일반적으로 각 프레임 간의 움직임이 거의 없는 정지 영상이고 조류의 움직임 등은 그 크기가 매우 작아 무시가 가능하였다. 또한 컬러 정보를 이용할 경우 녹색의 숲과 적색의 화염이 쉽게 탐지 가능하며 야간의 경우는 그보다 더 쉽게 탐지 가능하다.

하지만 터널 내에서 이와 같은 알고리즘을 적용 시 차량 조명 및 터널내의 조명등과 같은 여러 가지 상황에 의해서 화재 탐지에 어려움이 존재한다. 그래서 산불 탐지와 터널 내 화재 탐지는 전혀 다른 문제로 독자적인 알고리즘의 개발이 요구된다.

터널 내 화재 탐지 알고리즘의 경우 Histogram을 추출한 후 정상 상태와 화재 상태와의 차이를 비교하거나 [3] 터널로 진입하는 차량이나 열차의 비정상적인 과열

정후 탐지[4], 혹은 터널 내의 비정상적인 상황을 모니터링 하는 시스템[5] 등이 연구되고 있지만 터널 내의 빠른 차량 움직임에 대한 대처 미약, 차량의 매연 등에 대한 대처 미약, 또는 차량의 전조등, 후미등에 의한 잘못된 화염 화재 탐지 가능성이라는 문제점들을 가지고 있다. 이러한 문제점들은 터널 내 화재의 실제 탐지 가능성을 낮춤으로써 상용화하기에는 많은 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 터널 내에서 얻어진 영상을 이용하여 조기에 연기 화재 및 화염에 대한 탐지가 가능한 알고리즘에 대하여 서술하였으며 위와 같은 문제점들을 해결하도록 노력하였다. 2장에서는 제안된 알고리즘들에 대한 개략도 및 두 가지 알고리즘에 대한 설명을 기술하였고, 3장에서는 화염 및 연기 검출 알고리즘에 대한 실험 결과를 보여준다.

2. 화재 탐지 알고리즘

터널 내부에는 터널 조명과 차량 조명 또는 차량의 매연등과 같이 빛이나 연기를 나타내는 요소가 존재한다. 이런 요소들은 화재 탐지 시 자칫 화재로 인식되는 경우가 발생할 수 있으므로 이러한 상황에 대한 것들을 제외한 정확하고 빠른 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서 제시한 알고리즘은 터널 내에 존재하는 일정한 간격의 카메라로 들어오는 영상을 받아서 탐지를 하여 경보를 울리도록 되어있다. 제시한 알고리즘은 크게 두 가지로 화염 탐지 알고리즘과 연기 탐지 알고리즘으로 나눌 수 있으며, 실험을 통해 화재 탐지 시, 각각의 알고리즘은 화염 및 연기를 조기에 탐지할 수 있다.

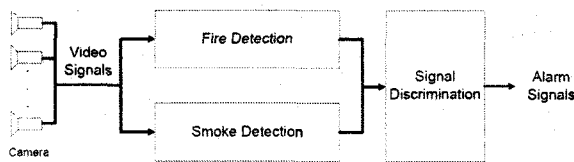


그림 1. 알고리즘 개략도

그림 1은 본 논문에서 제시한 알고리즘의 개략도를 나타낸다.

2.1 화염 탐지 알고리즘

본 논문에서 제시한 화염 탐지 알고리즘은 영상 내에 존재하는 화염을 효과적으로 검출하기 위하여 컬러 영상을 사용하였다. 또한 영상 내의 잡음을 효과적으로 제거하기 위하여 *median filtering* 기법을 도입하였다.

터널 내 화염 발생 시 화염 자체에 많은 빛이 발생하기 때문에 컬러 정보는 중요하게 작용한다. 하지만 터널 내 조명이나 차량의 전조등 또한 빛을 발생하여 컬러 정보를 이용할 경우 화재와 거의 비슷한 정보를 가지고 있기 때문에 이를 분리하는 것에는 많은 어려움이 따른다.

본 논문에서 제시한 화염 탐지 알고리즘은 정상상태의 터널 내 영상을 저장하여 입력영상들과 비교함으로써 터널 내 조명을 제거하는 것에는 성공하였지만 움직이는 차량의 전조등 및 후미등 같은 경우에는 랜덤하게 생성되므로 제거할 수 없었다. 하지만 차량의 전조등 및 후미등 같은 경우 원과 같은 모양이고 화염은 불규칙적인 모양을 만들기 때문에 기울기 밀도 함수(*slope density function*)를 통해 분리가 가능하였다. 블록 다이어그램에서 볼 수 있듯이 정상 상태의 모델 영상을 선정하고 저장하여야 한다. 이는 터널 내 조명 제거에 탁월한 효과를 가지며 또한 화염 패턴 검증 시 터널 내 조명에 대한 검증을 하지 않게 하므로 보다 빠른 성능을 가지게 할 수 있다. 이렇게 저장된 모델 영상과 입력영상의 컬러 정보인 RGB 값이 임계값이상의 값을 가지고 있는 픽셀에 대하여 이진 영상을 만들고 입력영상과 모델영상의 차를 구한다.

$$F(x, y) = \begin{cases} 255 & R, G, B \geq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$N(x, y) = \begin{cases} 255 & R, G, B \geq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$D(x, y) = N(x, y) - F(x, y) \quad (3)$$

$$\text{if } D(x, y) < 0 \text{ then } D(x, y) = 0$$

$$\text{else } D(x, y) = D(x, y)$$

식 (1)과 식 (2)는 정상 상태 모델 $F(x, y)$ 과 입력 영상

$N(x, y)$ 에 대한 이진 영상을 나타내는 식이며, 여기서 T 는 임계값을 나타낸다. 식 (3)은 식 (1)과 식 (2)를 통해 얻어진 이진 영상의 차영상을 나타낸 식이다. 이렇게 얻어진 이진 영상은 노이즈를 포함 하게 된다. 이러한 노이즈는 터널 내 조명이 흔들리거나 차량의 전조등 및 후미등에 대한 노이즈로 볼 수 있다. 그림 2은 입력 영상(위)와 노이즈가 포함된 이진 영상의 차영상(아래)을 보여주고 있다.

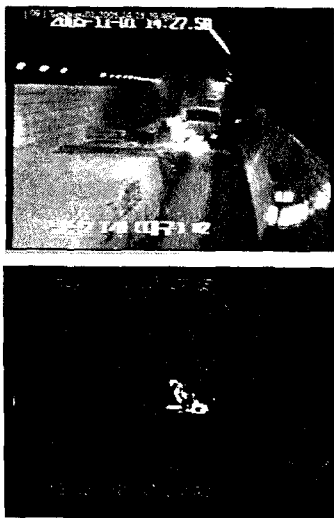


그림 2. 입력 영상(위)과 필터링 처리전의 이진 영상

이러한 노이즈는 *median filtering*을 통해 제거 할 수 있으며, 우리는 실험을 통해 7X7 윈도우 마스크를 적용시키는 것이 가장 탁월한 성능을 가진다는 것을 알았다. *median filtering*을 통해 노이즈를 제거 시 차량의 전조등 같은 경우에는 필터링 적용 후에도 제거가 되지 않고 남아있는 경우가 있었다. 이러한 경우 화재로 오인될 수 있기 때문에 다른 방법을 통한 제거가 필요하다. 차량의 전조등 같은 경우 원과 같은 모양을 나타내고, 화염과 같은 경우 불규칙적인 모양을 보이므로, 이것은 기울기 밀도 함수(*slope density function*)을 통하여 분리할 수 있다. 이 함수는 단순히 점선각 값들의 히스토그램이다. 히스토그램은 값들의 밀도를 측정하는 것이므로, 기울기 밀도 함수(*slope density function*)는 일정한 점선각들(직선 또는 직선에 가까운 선분들)을 가진 경계 부분들에서는 강하게 반응하고, 급하게 변화 되는 각도들(모서리들 또는 다른 급한 굴절들)을 내는 부분들에

대해서는 깊은 골을 가지게 된다. 하지만 원과 같은 모양에서는 일정한 변화를 가지므로 화염과는 분리될 수 있다. 위와 같은 처리를 거쳐서 남겨진 이진 영상에 대한 영역 정보를 얻고 입력 영상에 얻어진 영역을 표시하여 화염을 검출할 수 있다.

2.2 연기 검출 알고리즘

연기의 특성상 빛에 민감하며 연기 자체의 컬러 정보가 한 가지 정보만을 가지고 있지 않기 때문에 연기 검출이 매우 어렵다. 하지만 본 논문에서는 움직임 검출 및 edge 검출, 컬러 정보등 여러 가지 처리를 가지고 접근하였으며, 보다 나은 성능을 확인하였다. 인접한 N 개의 입력 영상에 대하여 Gray 영상을 만들고, gray 영상에 대하여 임계값에 대한 영역은 제거한다. 이러한 처리는 터널 내 조명이나 터널 천장과 같이 너무 밝거나 너무 어두운 영역을 제거함으로써 이미지 처리 속도 향상을 가져 올 수 있었다. 식 (4)에서 $F_{input}(x, y)$ 는 입력 영상을 gray 영상으로 변환시킨 이미지이며 T_1 과 T_2 는 임계값의 최대, 최소를 나타낸다.

$$G(x, y) = \begin{cases} F_{input}(x, y) & T_1 < F_{input}(x, y) < T_2 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (4)$$

얻어진 N 개의 gray 영상에 대하여 인접한 영상에 대해 차영상의 절대값을 구한다. 그리고 이렇게 얻어진 $N-1$ 개의 차영상에 대하여 이미지를 합침으로써 움직임을 검출할 수 있다. 연기 자체의 움직임은 차량의 움직임과는 대조적으로 천천히 변화하기 때문에 이러한 움직임 검출을 통해 빠르게 움직이는 물체에 대한 영역에 대해서는 제거가 가능하며 거의 움직임이 없는 물체에 대해서도 제거가 가능하다는 장점이 있다.

$$D_T(x, y) = |G_T(x, y) - G_{T-1}(x, y)| \quad T = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

$$A_{TN}(x, y) = \sum_{i=1}^N D_i \quad (6)$$

식 (5)에서 $G(x, y)$ 는 식(4)에 대한 처리를 한 입력 영

상이고 T는 입력 영상의 순서를 나타낸다. $D(x, y)$ 는 출력 영상을 나타낸다. 식(6)의 $A(x, y)$ 는 식 (5)를 통해 얻어진 차영상들의 합을 나타낸다. 두 식에서의 N은 입력 영상의 개수를 나타낸다. 우리는 실험을 위해 6개의 입력 영상을 사용하였다.

연기 자체에서는 edge가 검출 되지 않는 특성을 가지고 있으므로 N번째 입력 영상에 대하여 edge 검출 알고리즘을 적용하여 edge를 검출하고 임계값이상을 가진 픽셀에 대해 이진영상을 만들었다. 그림 3는 N번째 입력영상에 대하여 Sobel mask를 사용하여 edge를 검출하고 얻어진 이진 영상을 반전시킨 것을 보여준다.



그림 3. N번째 입력영상에 대한 edge 검출 된 이진영상을 반전시킨 이미지

또한 N번째 입력 영상의 컬러 정보를 통해 연기 후보 영역을 검출할 수 있었다. 이러한 처리는 RGB 값을 이용하여 특정 영역만을 선택하는 것으로 보다 높은 검출 성공률을 가지게 하며, 연기 후보 영역에 대한 검사만을 처리하여 보다 빠른 처리 속도를 가질 수 있었다. 식(7)은 입력영상의 각각의 R,G,B의 값이 특정 영역 안에 들어왔을 때 이진화 시키는 것을 나타내며 $C(x, y)$ 는 출력 영상이며, $T_1 \sim T_6$ 은 연기 영역에 대한 R,G,B에 대한 각각의 경계값을 나타낸다.

$$C(x, y) = \begin{cases} 255 & T_{range} \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (7)$$

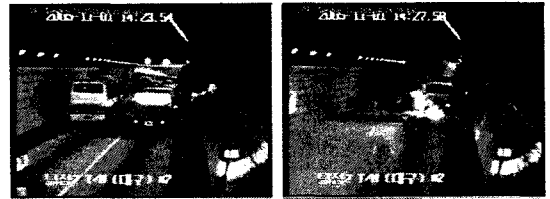
$$T_{range} \text{ is } T_1 < R(x, y) < T_2, T_3 < G(x, y) < T_4, T_5 < B(x, y) < T_6$$

위와 같이 얻어진 세 가지의 영상에 대하여 비교하여

연기를 검출할 수 있었다. 차영상들의 합병 이미지에서 적은 변화량을 가지며, edge 영역이 없고 연기 후보 영역에 포함되는 영역에 대한 정보를 얻을 때 약간의 노이즈가 발생한다. 이러한 노이즈는 median filtering을 통하여 제거하여 보다 정확한 영역에 대하여 검출을 시도 하였으며 성능 또한 실험을 통해 향상된 것을 볼 수 있었다.

3. 실험 결과

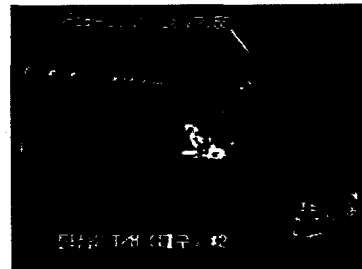
우리는 실제 터널 내 화재가 발생한 동영상 자료를 이용하여 900여장의 이미지를 얻었으며, 또한 보통 상태에 대한 이미지에 화염 이미지를 합성시킨 30여장의 이미지를 가지고 실험을 하였으며, 성능을 확인하였다. 연기 검출 알고리즘의 경우 연속된 N개의 영상이 필요하므로 동영상 자료를 이용한 900여장의 이미지에 대한 실험만을 하였다.



(a) 정상 상태 저장 영상 (b) 입력 영상



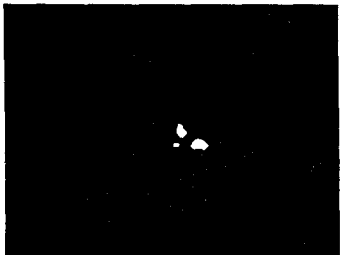
(c) 정상 상태에 대한 이진영상



(d) 입력 영상에 대한 이진영상



(e) 차영상에 대한 필터링 처리전 이미지



(f) 차영상에 대한 필터링 처리후 이미지



(g) 최종 화염 검출 이미지

그림 4. 화염 검출 알고리즘의 실험 과정 이미지

그림 4은 화염 검출 알고리즘의 실험 과정 이미지로 (a)는 선정되어 저장된 정상상태의 이미지를 (b)는 입력영상을 나타낸다. (c)와 (d)는 (a)와 (b)에 대한 임계값 이상의 값들만을 선택한 이진 영상을 보여주고 있다. 또한 (e)는 (c)와 (d)의 두 이미지에 대한 차영상을 나타내고, (f)는 (e)에 대한 필터링 적용 후 이미지를 보여주고 있다. 마지막으로 (g)는 최종 화염 검출 이미지를 보여준다.

그림 5은 연기 검출 알고리즘의 실험 과정 이미지로, 얻어진 차영상들에 대한 합병 이미지에 대하여 특징값(변화가 적은 값)에 대하여 자세히 볼 수 있도록 하기 위한 이진영상을 보여준다. 그림 6은 가장 최근 입력된 영상의 컬러 정보를 이용하여 연기 영역이 될 수 있는 영역을 이진 영상으로 변환시킨 이미지를 보여준다. 그림 7은 연기에 대한 최종적 검출 영역을 보여준다.

그림 8은 화염 및 연기 검출 알고리즘의 최종 결과 이미지를 보여주고 있다. (a)의 경우 대부분 화염에 대한 정확한 검출이 가능하였지만, (b)의 경우 연기 검출시 빛에 민감하여 정확하게 전체를 검출하지 않았으나 부분적인 검출이 가능하다는 것을 보여준다.

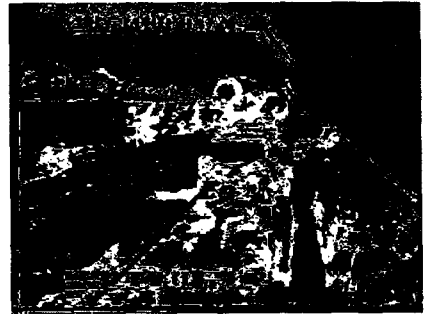


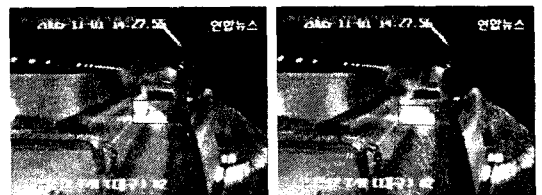
그림 5. 5개의 차영상을 합병시킨 이미지



그림 6. 연기 후보 영역에 대한 이진영상



그림 7. 검출된 연기 영역



(a) 화염 검출 알고리즘의 실험 결과



(b) 연기 검출 알고리즘의 실험 결과
 그림 8. 화염 및 연기 검출 알고리즘의 최종 결과 이미지

4. 결론

터널 내 설치된 CCTV를 사람이 24시간 감시하기에는 너무 어려운 점이 많다. 이에 따라 적절한 영상 처리를 통한 화염 및 연기 검출 시스템을 통해 경보를 알려줄 경우, 보다 편리하고 사람이 모니터 앞에 없을 때 화재 발생 시 화재를 검출할 수 있어 피해를 최소화 할 수 있다. 앞서 제안된 두 알고리즘은 서로 다른 특징을 검출할 수 있다. 화염 검출 알고리즘은 영상의 컬러 정보를 가지고 저장된 정상 상태의 영상과의 비교를 통해 화염 검출을 하였으며, 연기 검출 알고리즘은 움직임 검출, edge 검출 및 입력영상의 컬러 정보 비교를 통해 연기 검출을 하였으며, 실험을 통해 성능을 확인하였다. 화염 검출 알고리즘의 경우 터널 내 조명이나 차량의 전조등 및 후미등에 기존의 알고리즘보다 민감하지 않아 보다 좋은 성능을 나타낸다. 하지만 연기 검출 알고리즘에 대해서는 빛에 민감하게 반응하는 연기 자체의 특성 때문에 연기 전체에 대한 검출은 어렵지만 부분적인 검출이 가능하다는 것을 보였다.

추후 연구 방향으로 연기 검출 시 다양한 연기 후보에 대한 컬러 정보 측정이 필요하며, 실제 화재 상황에 대한 실험을 통해 성능 평가 및 향상 작업이 필요하다. 또한 동영상에 대한 화재 검출 프로그램을 구현하여 실시간 모니터링 기능을 동시 제공으로 사용자 편의를 제공하는 방안을 제시하고자 한다.

5. 감사의 글

이 연구는 건설 교통부에 출연한 건설기술연구개발 사업에서 지원되었습니다.

6. 참고문헌

- [1] Thou-Ho Chen; Cheng-Liang Kao; Sju-Mo Chang; "An intelligent real-time fire-detection method based on video processing" Security Technology, 2003. Proceedings. IEEE 37th Annual 2003 International Carnahan Conference on 14-16 Oct. 2003 Page(s):104 - 111
- [2] Cappellini, V.; Mattii, L.; Mecocci, A.; "An intelligent system for automatic fire detection in forests" Image Processing and its Applications, 1989., Third International Conference on 18-20 Jul 1989 Page(s):563 - 570
- [3] Noda, S.; Ueda, K.; "Fire detection in tunnels using an image processing method" Vehicle Navigation and Information Systems Conference, 1994. Proceedings., 1994 31 Aug.-2 Sept. 1994 Page(s):57 - 62
- [4] Cigada, A.; Ruggieri, D.; Zappa, E.; "Road and railway tunnel fire hazard: a new measurement method for risk assessment and improvement of transit safety" Measurement Systems for Homeland Security, Contraband Detection and Personal Safety Workshop, 2005. (IMS 2005) Proceedings of the 2005 IEEE International Workshop on 29-30 March 2005 Page(s):89 - 94
- [5] Koga, K.; Inobe, T.; Namai, T.; Kaneko, Y.; "Integrated traffic flow monitoring system in a large-scale tunnel" Intelligent Transportation System, 1997. ITSC 97. IEEE Conference on 9-12 Nov. 1997 Page(s):165 - 170