

FFT를 이용한 화재 열영상의 주파수 스펙트럼 분석

A Frequency Spectrum Analysis based on FFT of Fire Thermal Image

김원호*, 장복규*

Won-Ho Kim*, Bok-Gyu Jang*

요약

본 논문은 FFT를 이용한 적외선 화재 열영상의 주파수 스펙트럼 분석에 관한 것으로 영상처리를 통하여 화재 발생 유무를 주파수 영역에서 판별하기 위한 조건을 도출하는 것이 목적이다. 적외선 열영상의 주파수 스펙트럼 분석은 고속 푸리에 변환을 이용하여 수행하였으며, 화재로 추정되는 고명도의 영역을 화재 후보영역으로 결정한 다음, 연속적인 열영상의 해당영역에 대하여 DC 및 AC 주파수 분포를 분석하였다. 분석된 결과를 기반으로 정적인 오검출 요소와 동적특성을 가지는 화재영역을 구분하는 열영상의 화재 판정 기준을 제시하고 컴퓨터 모의실험을 통하여 실용성을 확인하였다.

Abstract

This paper presents the frequency spectral analysis based on FFT of the infrared ray fire thermal image, it is an object to deduce the conditions for determining fire alarm through the image processing with the frequency domain. After the candidate regions are separated by using pre-defined brightness value, the fast fourier transform is performed for consecutive infrared thermal images. the frequency spectral analysis of the thermal image analyzed DC and AC frequency distribution. The fire criterion of the thermal image was presented based on the analyzed result and a practicality was confirmed through the computer simulation.

Keywords : Thermal Image processing, Video surveillance, Frequency Analysis

I. 서론

매년 화재로 인하여 생태학적인 측면과 경제적·사회적 측면에서 국가적 손실이 점차 증대되고 있다. 이러한 국가적 손실을 경감시키고 예방하기 위하여 신뢰도가 우수한 영상처리 기반의 화재 감시 시스템의 도입에 대한 논의가 활발해 지고 있다. 영상 기반의 화재 감시 시스템은 컬러 영상뿐만 아니라 동작 환경의 제약이 적은 적외선 열영상 카메라 기반의 화재 감시 시스템도 활발히 연구가 진행되고 있다. 기존의 방식들은 주로 화재 후보영역에 대하여 프레임간 상관도를 계산하여 상관도 크기에 따라 화재유무를 판정하는 기법을 사용하거나[1]-[4] 화재 후보영역의 동적 움직임 정보를 분석하여 움직임 벡터의 크기에 따라 화재 유무를 판정하는[5] 시공간 처리 기법이 대부분이다.

적외선 열영상 기반의 화재 검출은 물체나 화재영역의 온도가 열영상에서 명도 정보로 반영되어 명도 정보만을 분석하면 되므로 칼라영상에서 3가지 성분을 처리하는 화재 검출 기법보다 알고리즘의 처리량과 복잡성을 줄일수 있는 이점이 있다.[6]-[8] 화재

가 발생되면 높은 열에 의한 에너지가 방사되며 이것은 적외선 카메라에 의해 높은 명도로 열영상에 표시된다. 이를 정해진 명도 문턱치로 분류하면 화재의 유·무를 간단하게 판정할 수도 있다. 하지만 이러한 방법은 햇빛의 반사, 랜턴, 자동차 전조등과 같이 열영상에서 높은 온도로 표시되는 인공적인 물체들에 의해 많은 오검출이 발생하며, 화재 검출의 신뢰성이 떨어진다. 이를 개선하기 위하여 본 논문에서는 적외선 열영상의 화재 후보영역들이 가지고 있는 속성들을 주파수 영역에서 직류 및 교류 성분으로 분석하여 신뢰도 높은 화재 판정 조건과 기준을 도출하여 제시한다. 주파수 영역에서 화재 판정 조건과 기준은 화재 영역의 시간적인 명도 변화에 따른 주파수 성분을 분석하여 정적인 비화재 영역과 대비되는 동적인 화염의 움직임과 확산현상을 주파수 영역에서 구분함으로써 효율적이고 강인하게 화재를 판정할 수 있도록 한다. 이러한 주파수 분석 기법은 기존의 시공간 영역 처리 기법을 적용한 화재 영상감시 시스템의 오검출율을 개선하고 적외선 열영상 뿐만 아니라 컬러영상 기반의 화재감시 알고리즘개발에도 적용이 가능할 것으로 본다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 고속 푸리에 변환(FFT)을 이용하여 적외선 열영상에서 화재 후보영역의 주파수 분석과 이를 이용한 화재 판정 조건 도출에 대하여 설명하였다. III장에서는 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안하는 주파수 분석 기법의 유용성과 실용성을 확인하고 결과를 분석하였다.

* 공주대학교

투고 일자 : 2010. 12. 1 수정완료일자 : 2011. 1. 31

게재확정일자 : 2011. 2. 2

* 이 논문은 2010년 교육과학기술부로부터 지원 받아 수행된 연구임

(지역거점 연구단 육성사업 에너지자립형 그린 빌리지 핵심기술 사업단)

II. 화재 열영상의 FFT 분석

화재 열영상에서 화재 후보영역의 주파수 분석을 위하여 연속되는 N 개의 영상에서 화재 후보영역을 구성하는 8×8 블록들에 대하여 고속 푸리에 변환(FFT)을 이용하여 주파수 성분을 분석하였다. 화재 후보 영역의 선정은 명도가 열영상에서 특정 값을 초과하는 높은 명도 영역을 화재 후보 영역으로 선택하였다. 고속 푸리에 변환 되는 일차원 데이터 배열은 기준 영상을 포함한 연속되는 N 개의 영상에서 동일한 화재 후보 블록들의 명도평균을 구하여 아래의 식(1)과 같이 정의한다.

$$z_i(n) = [BML_1, BML_2, \dots, BML_{N-1}, BML_N] \quad (1)$$

여기서, N 은 연속되는 열영상의 개수이며 i 는 화재 후보영역 내 블록들을 구분하는 인덱스이다. 화재 후보블록의 푸리에 변환(FFT)을 위하여 일차원 배열 $z_i(n)$ 는 식(2)를 이용하여 고속 푸리에 변환을 수행한다.

$$Z_i(k) = \sum_{n=0}^{N-1} z_i(n) e^{-j \frac{2\pi}{N} nk} \quad (2)$$

여기서, k 는 주파수 계수 인덱스이며 $0 \leq k \leq (N-1)$ 이다. 고속 푸리에 변환식을 이용하여 산출된 화재 후보 블록들의 주파수 계수 값들은 식(3)을 이용하여 화재 후보 영역에 대한 주파수 계수 평균값으로 통계 처리하여 주파수 성분 변화 분석에 이용한다. 산출된 주파수 성분은 명도 변화의 평균을 나타내는 직류 성분과 명도 변화의 정도를 나타내는 $N/2$ 개의 교류성분으로 구성된다.

$$C_{def_m}(k) = \sum_{i=1}^M \frac{1}{M} \cdot |Z_i(k)| \quad (3)$$

여기서, i 는 화재 후보영역 내 블록들의 인덱스이며, M 은 화재 후보영역 내 블록의 총 개수이다.

화재 열영상의 주파수 성분을 계산하고 분석을 통하여 화재 판정 조건과 기준을 도출하기 위하여 다음과 같은 적외선 열영상을 사용하였다.

- 열영상-1: 햇빛 반사가 있는 바위와 화재가 포함된 근거리 적외선 열영상.
- 열영상-2: 화재가 포함된 원거리 적외선 열영상
- 열영상-3: 굴삭기가 포함된 근거리 적외선 열영상



그림 1. 주파수 성분 분석을 위한 열영상-1

Fig. 1. Infrared thermal image-1 for frequency spectral analysis.

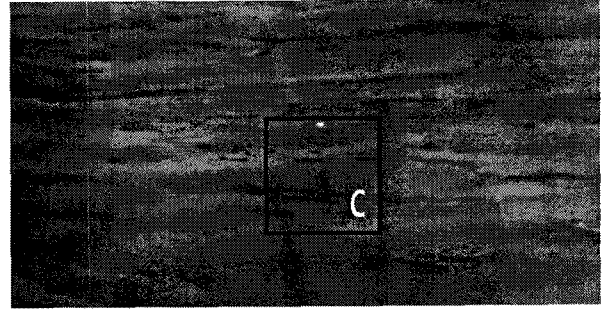


그림 2. 주파수 성분 분석을 위한 열영상-2

Fig. 2. Infrared thermal image-2 for frequency spectral analysis.

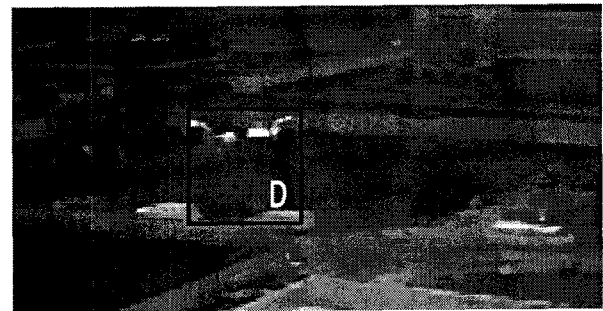


그림 3. 주파수 성분 분석을 위한 열영상-3

Fig. 3. Infrared thermal image-3 for frequency spectral analysis.

화재 열영상의 주파수 성분 분석을 위한 고 명도의 화재 후보 영역은 그림 1에서 그림 3까지 사각형 박스로 표시된 A, B, C, D 영역이다. 화재 후보 영역의 선정 조건은 8×8 픽셀로 구성된 블록의 명도 평균값이 150 이상인 블록을 중심으로 17×17 블록 크기 영역을 화재 후보 영역으로 선정하였다. 열영상의 명도는 물체나 배경의 온도에 비례한다. 화재 후보영역을 구분하는 문턱치는 실험적인 방법에 의해 실제 화재영역에 대응하는 명도 최저값으로 결정하였다. 각 화재 후보 영역은 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- 화재 후보 영역 A: 햇빛 반사 영역
- 화재 후보 영역 B: 근거리 화재 영역
- 화재 후보 영역 C: 원거리 화재 영역
- 화재 후보 영역 D: 굴삭기 엔진 영역

선정된 화재 후보영역에 대하여 구한 하나의 주파수 스펙트럼을 그림 4에서 그림 8의 그래프로 표시하였다. 그림 4는 각각의 화재 후보 영역(A,B,C,D)에 대한 주파수 직류 성분 평균값을 그림 5에서 그림 8은 $N/2$ 개의 주파수 교류성분 평균값에 대하여 식(3)을 이용하여 구한 값을 표시한 그래프이다. 화재 후보 영역 내 블록들의 주파수 성분 값들은 연속되는 8개의 블록들에 대한 푸리에 변환 결과들이다. 그림 4에서 가로축은 각 화재 후보영역을 세로축은 주파수 직류성분의 평균값을 표시하였다. 그림 5에서 그림 8의 그래프에서 가로축은 주파수 AC 계수 인덱스를 세로축은 주파수 AC 계수의 평균값을 각각 표시하였다.

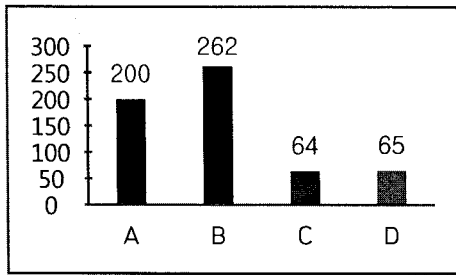


그림 4. 화재 후보 영역의 주파수 DC 계수 평균값
Fig. 4. Average value of DC frequency coefficients for fire candidate areas

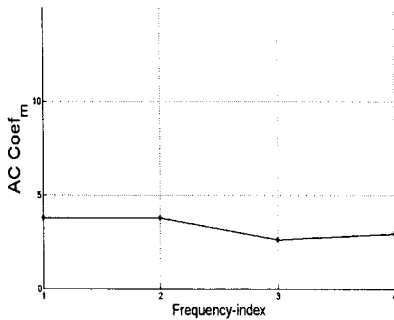


그림 5. 화재 후보 영역-A의 주파수 AC 계수 평균값
Fig. 5. Average value of AC frequency coefficients for fire candidate area-A.

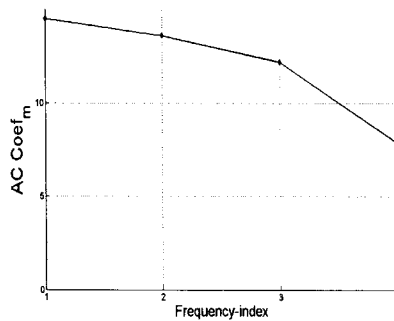


그림 6. 화재 후보 영역-B의 주파수 AC 계수 평균값
Fig. 6. Average value of AC frequency coefficients for fire candidate area-B.

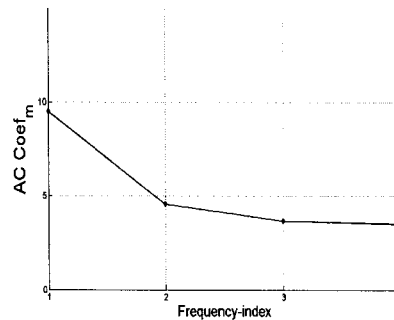


그림 7. 화재 후보 영역-C의 주파수 AC 계수 평균값
Fig. 7. Average value of AC frequency coefficients for fire candidate area-C.

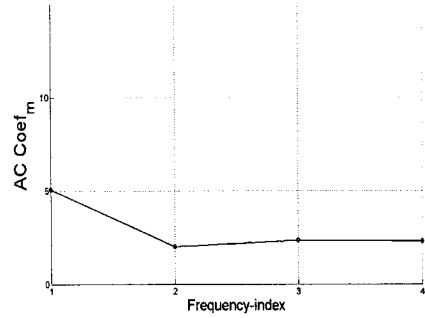


그림 8. 화재 후보 영역-D의 주파수 AC 계수 평균값
Fig. 8. Average value of AC frequency coefficients for fire candidate area-D.

열영상에서 화재 영역의 특성은 화염의 움직임과 확산현상에 의한 동적인 특성을 가지고 있으며 주파수 영역에서는 이를 반영하는 고주파 성분을 많이 포함하는 것으로 해석이 된다. 이와 반대로 햇빛반사, 가로등, 자동차, 콘크리트 구조물 등의 화재 오검출 요소들은 열영상에서는 명도가 높은 값으로 분류되어 화재 오검출 요인으로 작용하며 움직임이나 확산현상이 상대적으로 없거나 적어 정적인 특성을 가지고 있으며 이러한 특성은 주파수 영역에서는 DC를 포함하는 저주파 성분으로 해석이 된다.

명도가 높아 화재후보영역으로 선정되었지만 N개의 프레임간에 움직임 없이 동일한 형태를 유지한다면 명도의 변화량이 아주 작은 값을 가지고 FFT후 AC 고주파성분은 영에 가까운 작은 값들로 나타난다. 이와 반대로 N개의 프레임간에 후보영역의 화염형태가 동적으로 변화한다면 명도의 변화량이 커지고 FFT후 AC 고주파성분의 값들이 상대적으로 큰 값들을 가지게 된다. 이러한 화재 영역과 비화재 영역의 특성은 열영상의 주파수 스펙트럼 분석 결과 그래프에 잘 나타난다.

화재의 동적인 현상에 의해 발생이 추정되는 높은 주파수 성분이 화재 영역에서 많이 발생하고 비화재 영역에서는 고주파 성분이 상대적으로 낮게 발생되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 열영상의 주파수 성분 평균값을 화재영역과 비화재 영역을 구분하는 화재 판정의 조건으로 적용한다면 신뢰성 높은 화재 검출과 이를 이용한 지능형 영상 감시 시스템의 실용성을 확보 할 수 있을 것이다. 주파수 DC 계수 평균값들은 화재 영역의 동적 특성과 상관성이 낮아 동적인 화재영역과 정적인 비화재 영역을 구분하기 위한 판정 파라미터로 적용하는 것이 적절하지 않다. 이러한 열영상의 주파수 성분 분석결과를 바탕으로 화재 후보영역과 비화재 영역과 구분하기 위한 판정 조건을 식 (4)와 같이 주파수 AC 계수 평균합(SAF_{ac})을 산출하여 화재 판정 기준 파라미터로 제시한다.

$$SAF_{ac} = \sum_{k=1}^{N/2} Coef_m(k) \quad (4)$$

표 1은 그림 5에서 그림 8까지 나타난 화재 후보 영역(A,B,C,D)에 대한 주파수 AC 계수 평균합(SAF_{ac}) 값들이다.

표 1. 주파수 AC계수 평균 합(SAF_{ac})

Table 1. Sum of Average of AC Frequency Coefficients

화재 후보 영역	SAF _{ac}
A. 햇빛 반사 영역	14
B. 근거리 화재 영역	49
C. 원거리 화재 영역	23
D. 굴삭기 엔진 영역	11

표 1의 SAF_{ac} 값들을 분석해 보면 SAF_{ac} 값이 실제 화재 영역(후보영역 B, C)에서는 동적 특성이 반영되어 AC 계수 값들의 평균합은 23 보다 큰 값을 나타내고, 명도가 높아서 온도가 높은 영역으로 구분되어 화재 후보영역이 되었지만 햇빛반사나 인공적인 열원에 의한 정적인 특성이 반영된 SAF_{ac} 값은 14이하 값들로 나타난다. 따라서 이러한 분석 결과를 바탕으로 화재 열영상의 화재 판정 조건과 기준을 식 (5)와 같이 제시한다. 여기서 열영상의 화재 판정 문턱치 SAF_{ACTH} 값은 20 으로 설정한다.

$$SAF_{AC} \geq SAF_{ACTH} \quad (5)$$

컬러영상에 비해 현실적으로 다양한 실제 화재를 녹화한 적외선 열영상 획득이 용이하지 않아 제한적이지만 전형적인 두가지 종류의 화재 열영상과 하나의 인공열원 시험 열영상을 제작하여 제안한 주파수 AC 계수 평균합 값을 분석하고 통계 처리하여 문턱치를 설정하였다. SAF_{ACTH} 값은 5분 분량의 각각의 시험 화재영상을 2 frame/sec 프레임율(총 600 프레임)로 화재 후보 영역들에 대한 주파수 AC 계수 평균합 값들을 구하고 이를 화재영역의 확산 또는 불꽃의 동적 움직임이 있는 프레임들에 대한 값들을 시간 평균(Time Average)하여 결정하였다.

III. 모의실험 및 결과

컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제시한 화재 판정 조건을 화재 열영상에 적용시켜 화재 검출 기능을 시험하였다. 컬러영상에 비해 현실적으로 다양한 실제 화재에 대한 적외선 열영상 획득이 용이하지 않아 전형적인 두가지 종류의 화재 영상과 하나의 인공열원 시험영상을 녹화하여 본 논문에 적용하였다. 시험 영상은 720x480 크기이며 양자화 레벨은 8비트이다. 화재검출 실험 절차는 2단계로 구성되며 1단계에서는 물체의 온도에 비례하여 표현되는 열영상의 명도(0-255)를 화재후보영역 문턱치(명도값 150)를 적용하여 화재 후보영역으로 선정하고, 2단계로 화재 후보영역에 대하여 제안한 주파수 분석 기법을 통하여 명도구분에 의해 선정된 화재 후보영역의 화재 판정을 수행하였다.

그림 9는 근거리 화재를 적외선 열영상 카메라로 녹화한 시험 동영상에 대한 모의실험 결과 영상이다. 물체의 온도만을 고려하여 열영상의 명도 성분만을 처리하는 기존의 영상처리 기법에 비하여 높은 신뢰도의 화재 판정 결과를 보여 주었다. 시험 영상의 중앙부와 오른쪽에 나타나는 높은 명도 영역은 바위나 콘크리트 구조물의 햇빛반사에 의한 화재 후보 영역(A)이었으나 주파수 AC 계수 평균합을 이용하여 처리한 결과 실제 화재 영역(B)만 화재로 검출됨을 확인할 수 있었다.

화재로 판정된 화재 후보영역-B에 대한 주파수 AC 계수 평균합(SAF_{ac}) 들의 시간 평균 값은 41.78이고 SAF_{ACTH} 값 20보다 큰 값을 나타내었다. 화재로 판정되지 않은 화재 후보영역-A에 대한 주파수 AC 계수 평균합(SAF_{ac}) 들의 시간 평균 값은 15.01이고 SAF_{ACTH} 값 20보다 작은 값을 나타내었다.



그림 9. 근거리 화재 열영상에 대한 모의실험 결과.
Fig. 9. Result image of computer simulation by using near fire thermal image.

그림 10은 비교적 거리가 멀어 동적특성이 근거리에 비해 다소 낮게 나타나는 원거리 화재를 녹화한 시험 동영상에 대한 모의실험 결과이다. 제시한 주파수 AC 계수 평균합을 이용하여 처리한 결과 실제 화재 영역(C)이 화재로 검출됨을 확인할 수 있었다.

화재로 판정된 화재 후보영역-C에 대한 주파수 AC 계수 평균합(SAF_{ac}) 들의 시간 평균 값은 22.35이고 SAF_{ACTH} 값 20보다 큰 값을 나타내었다.

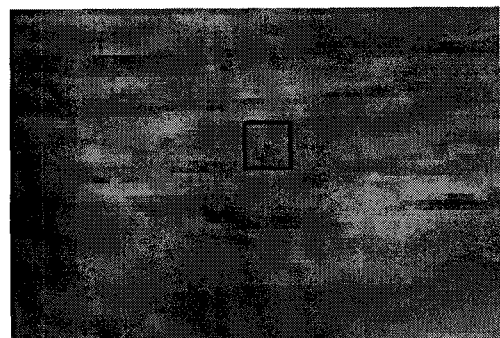


그림 10. 원거리 화재 열영상에 대한 모의실험 결과.
Fig. 10. Result image of computer simulation by using distance fire thermal image.

굴삭기가 포함된 그림 3과 같은 시험 동영상에 대한 모의실험 결과에서는 화재 후보영역(D)이 화재로 검출되지 않았다. 화재로 판정되지 않은 화재 후보영역-D에 대한 주파수 AC 계수 평균합(SAF_{ac}) 들의 시간 평균 값은 8.26이고 SAF_{ACTH} 값 20보다 작은 값을 나타내었다.

화재 후보영역-D의 경우, 굴삭기 엔진의 온도가 매우 높아 명도기반의 영상처리시 화재영역으로 판정될 확률이 매우 높은 영역이다. 그러나 제시한 주파수 AC 계수 평균합을 이용하여 모의 실험한 결과 화재 오검출 요소에 강한 특성을 확인할 수 있었다. 따라서 화재 열영상의 화재 판정 파라미터로서 제시한 주파수 AC 계수 평균합이 실용적이면서 높은 신뢰도의 화재 영

상 감시 시스템에 적합한 화재 판정 기법이 될 수 있음을 확인하였다. 따라서 명도값만을 이용하여 화재를 판정하는 기존의 시간영역 처리기법에 비해 제안하는 주파수 분석기법을 적용하면 햇빛 반사, 랜턴, 자동차 전조등과 같이 움직이는 인공 열원과 카메라의 떨림과 같은 현상으로 인해 발생하는 화재 오검출을 정확히 구분하는데 이용할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 적외선 열영상에서 화재 후보영역에 대한 고속 푸리에 변환을 통하여 화재 영역의 시간적인 명도 변화에 대응하는 주파수 성분들을 분석하여 화재 검출 성능이 강인한 주파수 영역에서의 화재 검출 판정 조건을 제시하였다. 제시한 주파수 AC계수 평균값 낮은 동적인 특성을 가지는 화재 영역과 정적인 특성을 가지는 굴삭기 엔진영역과 같은 높은 명도를 가지는 오검출 요소를 정확하게 구분하여 판정함으로써 오검출에 강인한 특성을 보여 주었다. 실제 적외선 화재 동영상을 이용한 컴퓨터 모의실험을 통하여 제시한 주파수 성분 분석에 의한 화재 판정 조건과 기준이 열영상 화재 검출에 적용할 수 있음을 보였고 실용성을 확인하였다. 또한, 기존의 명도값만을 이용하여 화재를 판정하는 시간영역 처리기법에 비해 제안한 주파수 분석 기법을 적용하면 햇빛 반사, 랜턴, 자동차 전조등과 같이 움직이는 인공 열원과 카메라 떨림과 같은 현상으로 인해 발생하는 화재 오검출을 정확히 구분하는데 이용할 수 있어 지자체 산불감시 시스템, 사찰 문화재 화재감시, 주택이나 산업체 시설물의 화재감시 시스템 개발에 실용적으로 적용가능하다. 향후, 다양한 적외선 화재 열영상에 대한 통계적인 분석과 신뢰도 높은 판정 알고리즘 연구가 이루어진다면 영상처리 기반의 화재 검출 성능의 신뢰성과 정확도를 더욱 높일 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] S.Briz, A.J.de Castro, J.M. Aranda, J. Melendz, F. Lopez, "Reduction of false alarm rate in automatic forest fire infrared surveillance systems", *Remote Sensing of Environment*, Elsevier Science Inc. pp19~26, 2003.

[2] B.C. Arrue, A. Ollero, J.M de Dios, "An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest fire detection", *IEEE intelligent system*, pp64~73, 2000.

[3] A. Ollero et al., "Techniques for reducing false alarms in infrared forest-fire automatic detection systems", *Control Engineering Practice*, Vol.7, pp.123-131, 1999

[4] Ignacio Bosch et al, "Infrared image processing and its application to forest fire surveillance", *IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, pp.283-288, 2007

[5] 서정원, 김원호, "적외선 산불 영상감시 시스템의 설계 및 구현" 한국 신호처리·시스템 학회 하계 학술대회, 제9권 1호, pp.192-195, 2008

[6] Slavica Cosovic Bajic, "Fusion and Visualisation of the Color and Long Wave Infrared Images of Vegetation Fires", *Proceedings of the 6th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis*, pp.662-667.

2009

[7] W. Philips, M.shah, N.V. Lobo, "Flame recognition in video", *The 5th IEEE workshop on application of computer vision*, pp224-229, 2000.

[8] J.R. Martinez-de Dios et al., "Computer vision techniques for forest fire perception", *Image and Vision Computing*, Vol.26, pp.550-562, 2008

[9] Gonzalez, Woods, and Eddins, "Digital Image Processing Using MATLAB 2nd Ed.", 2009

[10] Gonzalez and Woods, "Digital Image Processing 3rd Ed.", 2008



김 원호(Won-Ho Kim)

1985년 경북대 전자공학과(공학사)
 1987년 경북대 전자공학과(공학석사)
 1999년 충남대 전자공학과(공학박사)
 1989년 12월 ~ 1999년 8월 한국전자통신연구원 (ETRI) 무선방송기술연구소 선임연구원

1999년 8월 ~ 현재 공주대 전기전자제어공학부 교수

※주관심분야 : 영상 및 통신 신호처리, 지능형 영상감시 시스템, 위성멀티미디어통신



장 복규(Bok-Gyu Jang)

2005년 3월 ~ 2009년 2월 공주대 전기전자제어공학부 (공학사)
 2009년 3월 ~ 현재 공주대 대학원 전기전자 제어공학과 석사과정

※주관심분야 : 영상신호처리, DSP응용