

화재검출을 위한 컬러모델의 화염색상 분석

이현술* 정회원, 김원호** 종신회원

The Flame Color Analysis of Color Models for Fire Detection

Hyun-Sul Lee* Regular Member, Won-Ho Kim** Lifelong Member

요 약

본 논문은 컬러 영상의 색상분석 기반의 화염 검출 알고리즘에 최적인 컬러모델을 도출하여 화재감시 시스템에 적용하기 위한 컬러 모델의 화염 색상 비교 분석에 대하여 기술한다. 기존 화재검출 알고리즘에서 많이 사용되는 RGB, YCbCr, CIE Lab, HSV 국제 표준 컬러모델에서 화염과 비화염 영역간의 색상 분리도 특성을 영상의 히스토그램 교차 분석(Histogram Intersection) 기법을 사용하여 정량화하고 분석한다. 4가지 국제 표준 컬러모델에 대한 히스토그램 교차 분석 결과, YCbCr 컬러모델의 평균 히스토그램 교차 값이 0.0575로서 화염과 비화염간의 색상 분리도가 가장 우수한 컬러모델임을 확인하였으며, 각 컬러모델을 구성하는 12개 성분들 중에서는 청색차(Cb) 성분, 적색(R) 성분, 적색차(Cr) 성분이 각각 0.0433, 0.0526, 0.0567 로서 화염과 비화염 영역의 색상 분리도 특성이 매우 우수하여, 색상 분석 기반의 화염 검출에 가장 최적이며 실용적인 컬러모델과 성분임을 확인하였다.

Key Words : Video Surveillance, Fire detection, Flame color analysis, Image Processing, Digital signal processing

ABSTRACT

This paper describes the color comparison analysis of flame in each standard color model in order to propose the optimal color model for image processing based flame detection algorithm. Histogram intersection values were used to analyze the separation characteristics between color of flame and color of non-flame in each standard color model which are RGB, YCbCr, CIE Lab, HSV. Histogram intersection value in each color model and components is evaluated for objective comparison. The analyzed result shows that YCbCr color model is the most suitable for flame detection by average HI value of 0.0575. Among the 12 components of standard color models, each Cb, R, Cr component has respectively HI value of 0.0433, 0.0526, 0.0567 and they have shown the best flame separation characteristics.

I. 서론

산불 및 건물 화재는 해마다 국민의 생명 및 재산을 위협하는 요소로 조기에 감지하지 못하면 국가 경제적 피해가 심각하다. 화재에 의한 피해를 최소화하기 위해서는 정확하고 조기 화재 감지 기술이 필수적이다. 현재 사용되고 있는 화재 감지 기술은 물리 센서를 이용한 화재 감지와 영상처리 기반의 화재 감지로 크게 나눌 수 있다. 물리 센서를 이용한 화재 감지는 연기, 탄소, 온도 센서 등을 이용한 화재 감지 기법이다 [1][2]. 이러한 물리 센서를 이용한 화재 감지는 검색 범위가 제한적인 단점을 가지고 있다. 예를 들어 넓은 산림 또는 평야를 감지하려면 일정 구간마다 조밀하게 설치하여 주어야 화재 감지를 할 수 있어 설치 지역에 비례하여 비

용이 증가하는 단점이 있다. 반면, 영상처리 기반의 화재 검출은 물리 센서에 비해 넓은 지역을 감시할 수 있다는 장점이 있으며, 영상처리 기반의 화재 검출은 적외선 열영상을 이용한 화재 검출 기법[3][4]과 컬러 영상[5][6][7][10]을 이용한 화재 검출 기법이 있다. 적외선 열영상을 이용한 화재 검출은 화재영역의 온도를 분석하는 방식으로서, 화재영역의 온도가 주변보다 높은 온도 특성을 이용하여 화재를 검출한다. 하지만 적외선 열영상 카메라 가격이 높아 대중화되기에는 아직 어렵다. 반대로 저렴한 컬러 CCD 카메라를 이용한 화재 검출 기법은 CCTV 영상처리를 기반으로 용이하게 화재 검출이 가능하기 때문에 보안과 화재감시를 병행할 수 있다. 대부분의 컬러 영상처리 기반 화재 검출 방식들은 영상의 색상을 분석하여 화염 색상 조건에 정합되는 영역을 선정

* 본 연구는 2012년도 미래창조과학부(구 교육과학기술부)의 재원으로 과학벨트기능지구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임. (2012K0011564)
*공주대학교 전기전자제어공학부, **교신저자 공주대학교 전기전자제어공학부(whkim@kongju.ac.kr)
접수일자 : 2013년 9월 2일, 수정완료일자 : 2013년 9월 17일, 최종 게재확정일자 : 2013년 9월 17일

하고, 선정된 영역에 대한 시간적인 동적특성 등을 계량화하여 화재 유무를 검출하고 있다. 따라서 영상처리 기반의 화재검출에서 색상 기반의 화염 분석 단계는 지능형 화재검출 알고리즘 구성에서 필수적인 단계로 화재 검출 정확도 제고에 매우 중요하다. 이를 위해서 화염 영역과 비화염 영역의 색상 분리도가 좋은 컬러모델을 도출하여 적용함으로써 화재 검출 정확도와 조기 감지 성능을 최대화시킬 수 있다.

본 논문에서는 기존 화재 검출 알고리즘들에서 많이 사용되었던 4개의 국제 표준 컬러모델상에서 화염색상 특성들을 비교 분석하여 컬러 영상처리 기반의 색상기반 화염검출 알고리즘에 가장 최적인 컬러모델과 구성 요소들을 도출하고 제시하고자 한다.

II. 컬러모델별 화염색상 분석

영상처리 기반의 화재검출 알고리즘에 사용하는 국제 표준 컬러 공간들은 RGB, YCbCr, CIE Lab, HSV가 있다 [5]-[10]. RGB 컬러모델은 적색(R), 녹색(G), 청색(B) 컬러 정보를 조합하여 영상의 색상을 표현한다. YCbCr 컬러모델은 색상정보는 줄이고 밝기정보를 강조시킨 모델로서 휘도(Y), 청색차(Cb), 적색차(Cr) 정보를 이용하여 색상을 표현한다. CIE Lab 컬러모델은 사람의 시각 특성과 가장 유사하게 만든 컬러모델로서 명도(L), 적녹색차(a), 황청색차(b) 정보를 조합하여 색상을 표현한다. HSV 컬러모델은 명도 정보를 보다 강조하기 위해 만들어진 컬러 모델로 색조(H), 채도(S), 명도(V) 정보를 이용하여 색상을 표현한다.

표준 컬러 모델들의 화염 색상 특성을 분석하기 위해 화염을 포함한 130장의 컬러 영상을 화염 영역과 배경 영역으로 분리하여 화염과 비화염 색상특성을 분석하였다. 그림 1-(a)는 화재 영상에서 화염 영역을 제거하고 배경을 흑색으로 대치한 영상 샘플이고, 그림 1-(b)는 화재 영상에서 화염 영역을 추출하여 배경영역을 흑색으로 대치한 영상 샘플이다. 컬러모델별 화염 색상과 비화염 색상의 상호 분리도를 정량화 하여 비교하기 위하여 히스토그램 교차 (Histogram Intersection) 분석 기법을 이용한다. 히스토그램 교차 (HI) 기법[8][9]은 영상의 히스토그램을 분석하여 두 비교영역간의 상호 유사도 또는 상호 분리도를 측정하는 기법으로 정량화된 히스토그램 교차 값이 낮을수록 상호 분리도가 높으며 히스토그램 교차 값이 높을수록 두 영역간의 상호 분리도가 낮은 특성을 가지고 있다. 히스토그램 교차(HI) 값의 계산식은 식 (1)과 같다. 식 (1)에서 h_f 는 화염 영역, h_{nf} 는 비화염 영역의 빈(bin)들을 나타내며 M은 해상도를 나타낸다.

$$HI = \sum_{i=1}^M \min(h_f(i), h_{nf}(i)) \quad (1)$$

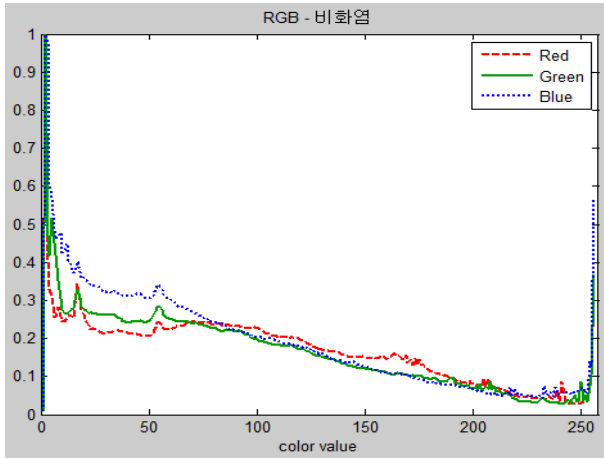


(a) 비화염 영역 (b) 화염 영역

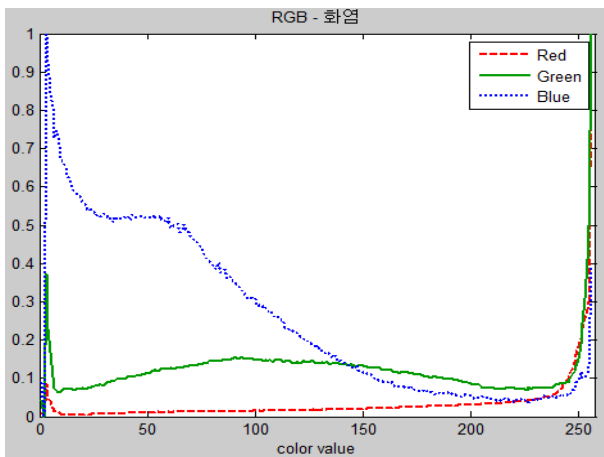
그림 1. 색상분석에 사용된 화재 영상 샘플

1. RGB 컬러모델 분석

RGB 컬러모델의 화염색상 특성 분석을 위하여 적색, 녹색, 청색 성분의 히스토그램 분포와 히스토그램 교차 값을 분석한다. 히스토그램 분포 분석을 위하여 그림 2-(a)는 비화염 영역에 대한 히스토그램을 그림 2-(b)는 화염 영역에 대한 히스토그램을 나타낸다. RGB 컬러모델 히스토그램에서 비화염 영역의 색상은 다양한 객체들로 구성되어 있어 그림 2-(a)와 같이 히스토그램 분포가 적색, 녹색, 청색 성분 모두 특정 구간에 집중되는 것이 아니라 넓게 분포하는 특성을 가지고 있다. 반면 화재 영역의 색상은 빨강에서 노랑 영역의 색상으로 주로 표현되며, 히스토그램 분포도에서는 적색 성분이 높은 구간에 청색 성분이 낮은 영역에서 화염 색상이 주로 분포한다. 그림 2-(b)의 히스토그램 분포도에서 화염 영역은 적색 성분이 200 이상 구간에 주로 분포하고, 녹색 성분은 50~150 구간과 220 이상의 구간에 분포하는 것을 보여준다. 청색 성분은 150 이하의 구간에 주로 분포하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 RGB 컬러모델에서 화염영역의 색상 분포는 적색 성분이 다른 성분보다 큰 값을 가지면서 녹색 성분이 청색 성분보다 큰 값을 가지는 구간에 주로 분포하는 특성을 가지고 있다.



(a) 비화염 영역



(b) 화염영역

그림 2. RGB 컬러모델의 비화염 영역 및 화염 영역 히스토그램

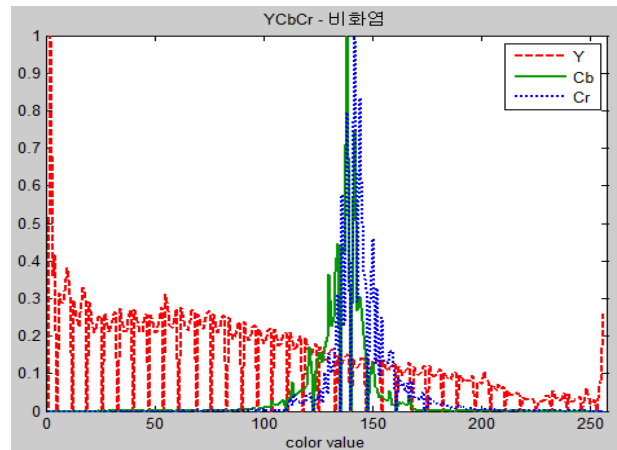
그림 2-(a)와 그림 2-(b)의 히스토그램 분포도에 의한 색상 분리도는 적색 성분의 경우 화염 영역은 높은 구간에 분포하고 비화염 영역의 경우 낮은 구간에 분포하고 있어 상호 분리도 특성이 우수하다. 녹색 성분과 청색 성분은 비교적 상호 분리도 특성이 좋지 않다. RGB 컬러모델에 대한 히스토그램 교차 분석 값은 표 1과 같으며, 각 성분의 분리도를 HI 값으로 나타내었다. RGB 컬러모델의 평균 HI는 0.0749이며 각 성분 중에서 적색 성분의 HI 값이 0.0526으로 가장 낮아 화염 영역과 비화염 영역의 분리도 특성이 가장 우수한 결과를 나타낸다.

표 1. RGB 컬러모델의 히스토그램 교차(HI) 분석 값

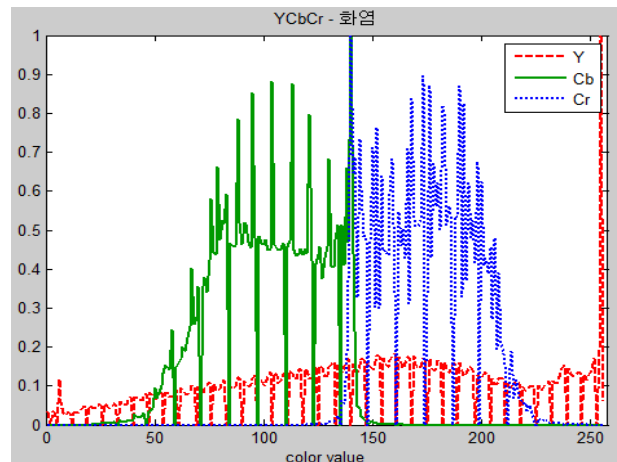
컬러 성분	HI 값
적색 성분 (R)	0.0526
녹색 성분 (G)	0.0781
청색 성분 (B)	0.0940
RGB 평균	0.0749

2. YCbCr 컬러모델 분석

YCbCr 컬러모델은 색차 성분을 사용하기 때문에 밀집된 정보를 획득하기에 용이한 장점이 있으며, YCbCr 컬러모델에서 화염 영역의 색상은 휘도(Y) 성분과 적색차(Cr) 성분의 값이 높은 구간과 청색차(Cb) 성분의 값이 낮은 구간에 주로 분포한다. 그림 3-(a)는 비화염 영역에 대한 YCbCr 컬러모델의 색상성분에 대한 히스토그램이다. 비화염 영역의 휘도(Y) 성분은 전 구간에 걸쳐 넓게 분포하며, 청색차(Cb) 성분과 적색차(Cr) 성분은 중앙에 집중되고 140을 기준으로 양 옆으로 좁은 구간에 분포한다. 그림 3-(b)는 화염 영역에 대한 YCbCr 컬러모델의 색상성분에 대한 히스토그램이다. 휘도(Y) 성분은 100~200 구간과 230이상 구간에 분포하고 청색차(Cb) 성분은 140 이하 구간에 적색차(Cr) 성분은 140 이상 구간에 분포한다. 휘도(Y) 성분은 화염 영역의 경우 중간 구간과 높은 구간에 분포하는 반면 비화염 영역의 경우 전 구간에 넓게 분포하여 중간 구간의 분리도가 낮고, 청색차(Cb) 성분과 적색차(Cr) 성분은 중간을 기준으로 한쪽에만 분포하여 상호 분리도가 높은 특성을 보여주고 있다.



(a) 비화염 영역



(b) 화염영역

그림 3. YCbCr 컬러모델의 비화염 영역 및 화염 영역 히스토그램

YCbCr 컬러모델에 대한 히스토그램 교차 분석 값은 표 2와 같으며, 각 성분의 분리도를 HI 값으로 나타내었다. YCbCr 컬러모델의 평균 HI는 0.0575이며 각 컬러 성분 중에서 청색차(Cb) 성분의 HI 값이 0.0433으로 가장 낮아 화염 영역과 비화염 영역의 분리도 특성이 가장 우수한 결과를 보여준다.

표 2. YCbCr 컬러모델의 히스토그램 교차(HI) 분석 값

컬러 성분	HI 값
휘도 성분 (Y)	0.0727
청색차 성분 (Cb)	0.0433
적색차 성분 (Cr)	0.0567
YCbCr 평균	0.0575

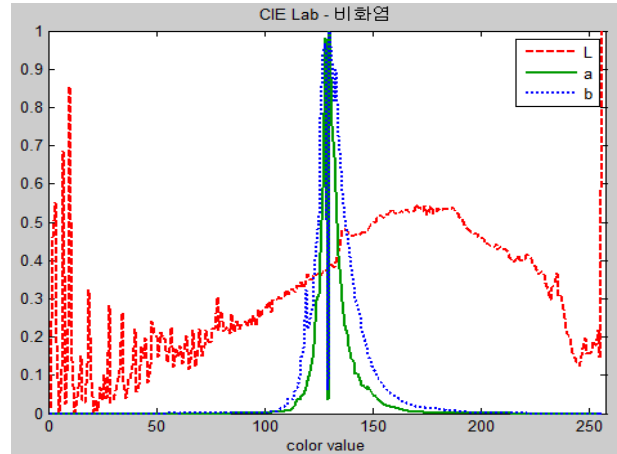
3. CIE Lab 컬러모델 분석

CIE Lab 컬러모델의 색상은 명도(L), 적녹색차(a) 성분, 황청색차(b) 성분으로 표현되며, 화염은 명도(L), 적녹색차(a), 황청색차(b) 성분이 모두 높은 구간에서 화염 색상이 주로 분포한다. 그림 4-(a)는 비화염 영역의 히스토그램으로 명도(L) 성분은 주로 높은 구간에 분포하며, 적녹색차(a)와 황청색차(b) 성분은 중간을 기준으로 양 옆으로 좁은 구간에 분포한다. 반면 그림 4-(b)의 화염 영역의 히스토그램에서는 명도(L) 성분이 비화염 영역과 유사하게 높은 구간에 주포 분포하며, 적녹색차(a)와 황청색차(b) 성분은 중앙을 기준으로 높은 구간에 비화염 보다 넓게 분포한다. 화염과 비화염 영역의 명도(L) 성분은 히스토그램 분포에서 유사한 분포도를 가지고 있어 상호 분리도 특성이 좋지 않다. 적녹색차(a) 성분도 110~150 사이에서 비슷한 분포도를 보여 분리도 특성이 좋지 않으나 황청색차(b) 성분은 화염 영역의 경우 중간보다 높은 구간에 주로 분포하고 비화염 영역의 경우 중간을 기준으로 양 옆으로 좁게 분포하여 분리도 특성이 비교적 좋다.

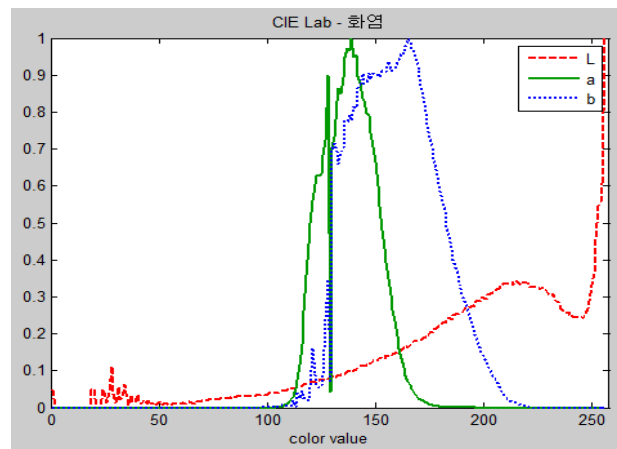
CIE Lab 컬러모델에 대한 히스토그램 교차 분석 값은 표 3과 같으며, 각 성분의 분리도 정도를 HI 값으로 나타내었다. CIE Lab 컬러모델의 평균 HI는 0.071이며 각 컬러 성분 중에서 황청색차(b) 성분의 HI 값이 0.0611로 가장 낮아 화염 영역과 비화염 영역의 분리도 특성이 가장 우수한 결과를 보여준다.

표 3. CIE Lab 컬러모델의 히스토그램 교차(HI) 분석 값

컬러 성분	HI 값
명도 성분 (L)	0.0727
적녹색차 성분 (a)	0.0793
황청색차 성분 (b)	0.0611
CIE Lab 평균	0.0710



(a) 비화염 영역



(b) 화염영역

그림 4. CIE Lab 컬러모델의 비화염 영역 및 화염 영역 히스토그램

4. HSV 컬러모델 분석

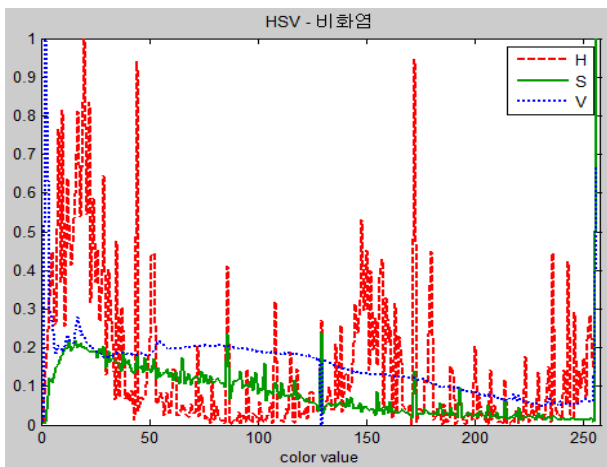
HSV 컬러모델은 색조(H), 채도(S), 명도(V) 성분의 조합으로 색상을 표현하며, 채도와 명도를 사용하여 그림자나 밝기에 대응하기 용이한 장점이 있다. 화염의 색상이 황색에서 적색영역은 색조(H) 성분이 낮은 영역과 채도(S) 성분이 중간 이상 영역, 명도(V) 성분은 높은 영역에서 주로 분포한다. 그림 5-(a)는 비화염 영역의 히스토그램으로 색조(H) 성분은 0~50, 135~180, 225~250 구간에 주로 분포하고, 채도(S) 성분은 히스토그램에서 낮은 구간에 명도(V) 성분은 전체적으로 골고루 분포하는 특성을 가지고 있다. 그림 5-(b)의 화염 영역 히스토그램에서 색조(H) 성분은 50 이하 구간에 주로 분포하고, 채도(S) 성분은 40 구간과 100 이상 구간에 분포하며 명도(V) 성분은 240 이상 구간에 주로 분포하고 있다. 히스토그램 분포에 의한 분리도 특성은 명도(V) 성분이 가장 우수하고 색조(H) 성분과 채도(S) 성분은 비교적 좋지 않다.

HSV 컬러모델에 대한 히스토그램 교차 분석 값은 표 4와 같으며, 각 성분의 분리도 정도를 HI 값으로 나타내었다.

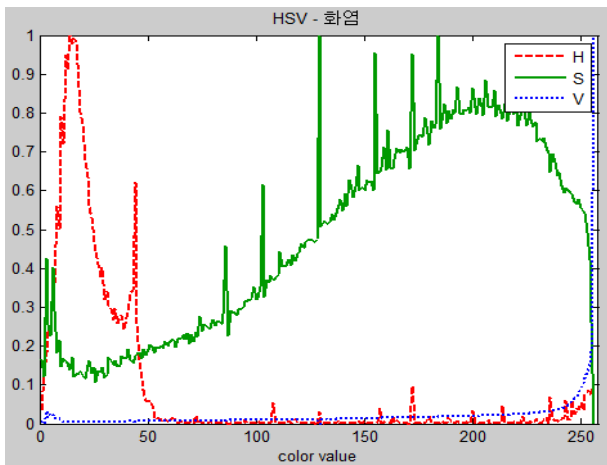
HSV 컬러모델의 평균 HI는 0.0708 이며 각 컬러 성분 중에서 명도(V) 성분의 HI 값이 0.0587 로 가장 낮아 화염 영역과 비화염 영역의 분리도 특성이 가장 우수한 결과를 보여준다.

표 4. HSV 컬러모델의 히스토그램 교차(HI) 분석 값

컬러 성분	HI 값
색도 성분 (H)	0.0764
채도 성분 (S)	0.0773
명도 성분 (V)	0.0587
HSV 평균	0.0708



(a) 비화염 영역



(b) 화염영역

그림 5. HSV 컬러모델의 비화염 영역 및 화염영역 히스토그램

5. HI 비교 분석

컬러 영상에서 화염과 비화염 영역의 색상 분리도 특성을 정량화하여 비교하기 위한 히스토그램 교차(HI) 값을 사용한 4가지 컬러모델에 대한 종합적인 비교분석 결과는 다음과 같다. 그림 6은 130개 시험 영상에 대한 히스토그램 교차

(HI) 평균값을 표시한 그래프이다. 히스토그램 교차(HI) 분석 값이 가장 낮은 컬러모델은 색상 분리도 특성이 가장 높은 컬러모델이며, 히스토그램 교차(HI) 값이 가장 큰 값을 가진 컬러모델은 색상 분리도 특성이 좋지 않은 컬러모델이다. 따라서 화염 색상과 비화염 색상 분리도 특성이 가장 우수한 컬러모델은 YCbCr로 HI 값이 0.0575 이며, 색상 분리도 특성이 가장 좋지 않은 컬러모델은 RGB로 HI 값이 0.0749 이다. 또한 각 컬러모델을 구성하는 12개 성분 중에서 YCbCr 컬러 공간 성분인 청색차(Cb) 성분이 가장 낮은 0.0433의 HI 값을 가져 색상 분리도 특성이 가장 우수한 성분으로 분석되었고, 두 번째로 색상 분리도 특성이 우수한 성분은 RGB 컬러 공간의 적색(R) 성분으로 0.0526이다. 따라서 영상처리 기반의 화재 검출에 필수적인 화염 색상분석 처리 단계에서 화염영역과 비화염 영역의 분리도가 우수한 YCbCr 컬러모델을 단일 컬러모델로 적용하거나, 색상 분리도 특성이 가장 우수한 YCbCr 컬러 공간의 청색차(Cb) 성분과 RGB 컬러 공간의 적색(R) 성분을 혼합하여 적용함으로써 화재검출 정확도와 조기 감지 성능을 최대화 시킬 수 있을 것으로 분석된다.

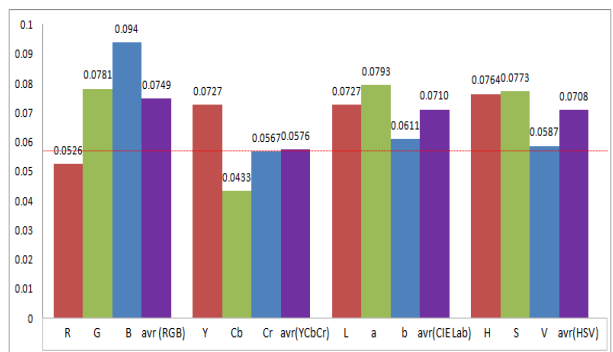


그림 6. 컬러모델별 히스토그램 교차 분석도

III. 결론

본 논문에서는 화재 영상감시를 위한 색상기반의 화염 검출에 최적인 컬러모델을 제시하기 위하여 4가지 국제 표준 컬러모델에 대한 화염색상 분석을 히스토그램 교차 기법을 적용하여 비교 분석하였다. RGB, YCbCr, CIE Lab, HSV의 히스토그램 교차 분석 결과 컬러모델별 분석에서는 YCbCr 컬러모델이 화염과 비화염 색상 분할에 최적인 색상 분리도 특성을 보여주었으며, 컬러 성분 분석에서는 YCbCr의 청색차(Cb) 성분과 RGB 컬러모델의 적색(R) 성분이 화염과 비화염 색상 분할에 최적인 성분으로 분석되었다. 따라서 단일 컬러모델만을 이용하는 화염 색상 분할보다 두 개 이상의 다중 컬러모델을 이용한 화염 색상 분할이 보다 우수한 화염 검출 특성이 기대되며, 추가적으로 화염 색상 분석과 아울러 화재의 동적인 특성을 처리하여 화재 검출 성능을 제고하는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Dong-Yol Yun, Sung-Ho Kim, "A Design of Fire Monitoring System Based On Unmanned Helicopter and Sensor Network", Korea Institute of Intelligent Systems, Vol. 17, pp. 173-178, 2007
- [2] Yong-Woo Kim, Do-Hyeon Kim, Ho-Young Kwak, Hee-Dong Park, "A Study of Fire Shunt Guidance Based on Wireless Sensor Network", Korea Multimedia Society, Vol. 11, pp 1547-1554, 2008
- [3] Won-Ho Kim, Seung-Kyeom Kim, Jong-Ho Lee, Chang-Ho Hyun, A fire alarm vision system based on IR image processing. IEEE NISS, Vol. 2, 291-293, 2011
- [4] Begoña C. Arrue, Anibal Ollero and J. Ramiro Martinez de Dios, "An Intelligent System for False Alarm Reduction in Infrared Forest-Fire Detection", IEEE Intelligent Systems and their Applications, May, 2000, Spain
- [5] B. Ugur Toreyin, Yigithan Dedeoglu, Ugur Gudukby, A. Enis Cetin. "Computer vision based method for real-time fire and flame detection", Pattern Recognition Letters, vol. 27, pp 49-58, 2011
- [6] Juan Chen, Yaping He, Jian Wang "Multi-feature fusion based fast video flame detection", Building and Environment, vol. 45, pp 1113-1122, 2010
- [7] Turgay Celik "Fast and Efficient Method for Fire Detection Using Image Processing", ETRI Journal, vol. 32, pp 881-890, 2010
- [8] S.M. Lee, J.H. Xin, S. Westland. "Evaluating of Image Similarity by Histogram Intersection", Color Research & Application, Vol. 30, No.4, 265-274, 2005
- [9] Michael J. Swain, Dana H. Ballard, "Color Indexing", International Journal of Computer Vision, Netherlands, Volume 7, Issue 1, pp 11-32, November, 1991
- [10] Ishita Chakraborty, Tanoy Kr. Paul. "A Hybrid Clustering Algorithm for Fire Detection in Video and Analysis with Color based Thresholding Method", International Conference on Advances in Computer Engineering, pp 277-280, 2010

저자

이 현 술(Hyun-Sul Lee)



정회원

- 2013년 2월 : 공주대 전기전자제어공학부 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대 대학원 전기전자제어공학과 석사과정
- <관심분야> : 영상신호처리, DSP응용

김 원 호(Won-Ho Kim)



종신회원

- 1987년 2월 : 경북대 전자공학 석사
- 1999년 2월 : 충남대 전자공학 박사
- 1989년 2월~1999년 8월 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
- 1999년 8월~현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 교수
- <관심분야> : 영상 및 통신 신호처리, 위성멀티미디어통신, 지능형 영상감시 및 비전센서