

# 컬러 모델의 특성 기반 화염 영상의 입체 변환 기법

## Stereoscopic Conversion of Flame Images Based on Characteristics of Color Models

정다운, 최지은, 조철용, 김제동, 길종인, 김만배

Daun Jeong, Jieun Choi, Cheolyong Jo, Jedoong Kim, Jongin Gil, Manbae Kim

**Abstract** - This paper presents the stereoscopic conversion of flame images. The stereoscopic conversion is a technology that generates left and right images from a monoscopic image. Even though many conversion methods have been introduced and commercialized so far, the processing of flame images is relatively few. Such conventional methods are effectively used either real-time or off-line. However, the application of such schemes to special-effect images such as flame is hard to be applied. The proposed method is designed to convert a flame image into a stereoscopic image. Depth map of flame regions are produced based on the analysis of color models of flames. Experimental results tested on diverse flame image sets validates the effectiveness of the proposed method.

**Key Words** : Stereoscopic Conversion, Flame, Color Model

### 1. 서론

본 논문에서는 화염(화염)이 존재하는 영상에서 화염 영역을 입체영상으로 변환하는 기법을 제안한다. 입체 변환(stereoscopic conversion)은 2-D영상에서 좌우 입체영상을 생성하는 기술로써, 그 동안 많은 연구가 진행되어 왔다. 입체영상 생성은 영상운동을 이용하여 양안시차를 만들어 3-D 입체감을 생성하거나, 객체 분할을 통해 각 객체에 깊이 값을 할당한 후에 좌우 입체영상을 제작하기도 한다. 이러한 기법들은 다양한 영상에 적용되어 좋은 3-D 효과를 얻을 수 있지만, 화염 등과 같은 특수 영상의 입체 변환 기법의 연구는 드물다. 실제로, 화염은 불의 영역 및 불규칙한 움직임 등으로 입체변환에는 어려움이 있다.

제안 방법에서는 먼저 화염의 컬러 특성의 분석한다. 얻어진 분석 결과를 활용하여, 먼저 화염 영역의 이진 마스크를 추출한다. 추출된 화염 마스크에는 재 및 비화염 픽셀 등이 존재하기 때문에, 이 픽셀들을 제거하기 위해서 모폴로지 연산인 opening 및 closing을 사용하고, 또한 connected component labeling을 이용하여 위의 픽셀들을 제거하였다. 얻어진 마스크의 내부에 있는 픽셀의 깊이 값은 R, G, B 및 H, S, I의 가중치 합으로 계산한다. 그리고, 텍스처 영상과 깊이맵(depth map)을 활용하여 최종적으로 깊이 맵을 생성한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 전체적인 흐름도를 설명하고, 3 절에서는 화염 영역의 color 특성을 설명한다. 4 절에서는 화염영역을 획득하기 위한 알고리즘을 설명한다. 5 절에서는 컬러 특성에 기반한 깊이맵 생성 방법을 제안한다. 6 절에서는 입체변환을 설명한다. 7 절에서는 실험결과를 보여주고 마지막으로 8 절에서는 결론을 정리한다.

### 2. 전체 흐름도

제안하는 기법은 그림 1의 전체 흐름도에 자세히 나와 있다. 화염 영상을 효과적으로 입체변환을 하기 위해서는 1) 화염영역을 추출하고, 2) 화염 영역의 깊이맵을 생성한 후에, 최종적으로 3) 입체변환을 하여 좌우영상,  $I_L$  및  $I_R$ 을 얻는다. 다음 절에서 각 과정을 더욱 상세히 설명한다.

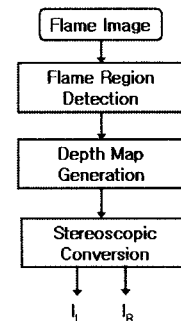


그림 1. 전체 흐름도

### 3. 화염의 컬러 특성

화염의 특성은 다양한 분야에서 연구되어 왔다 [1, 2]. 화염 영상의 특성에는 화염의 밝기, 온도, 화염의 영역, 고온도 화염의 밝기 및 영역 등이 있는데, 입체 변환에서는

정다운 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 학사과정  
최지은 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정  
조철용 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정  
김제동 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정  
길종인 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 학사과정  
김만배 : (교신저자) 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

화염의 밝기 및 컬러 모델을 활용하여 깊이맵 및 좌우입체영상을 생성한다. 70 장 화염의 컬러를 분석한 결과 화염은 온도가 높으면, blue이고, 온도가 낮으면 red에서 yellow로 변화한다. 사람이 색을 인지하는 것과 유사한 컬러 모델인 HSI의 분석에 따르면, red~yellow에서는 hue의 범위는 [0, 60]이다. 높은 온도에서는 hue의 범위는 [200, 280]이다. 더 밝은 영역에서는 화염은 보다 강열(violent)하고, 이 경우에 배경조명은 화염의 saturation S에 영향을 끼치는데, 이 경우에 R, G, B가 유사한 값을 가지게 된다.

정리하면, 다음의 화염 saturation 조건은 화염 픽셀이 S는 [40, 100]에 있고, Intensity I의 범위는 [127, 255]에 있다. 반대로 어두운 환경에서는 S=[20 100], I=[100, 255]에 있다. 이러한 특성을 표 1에 정리해 놓았다. 여기서는 높은 온도의 blue값을 고려하지 않았다. 아래 표의 값은 낮은 온도에서 화염영역의 특성을 나타낸 것이다. 이러한 표의 특성은 초기 화염영역을 추출하는데 사용된다.

표 1. 화염의 컬러 특성

Environment	Hue	Saturation	Intensity
Brighter	0-60	40-100	127-255
Darker	0-60	20-100	100-255

아래의 식은 RGB을 HSI로 변환하는 변환식이다.

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)}[\min(R, G, B)] \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \quad (3)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{\left[ \frac{1}{4}((R - G)^2 + (R - B)(G - B)) \right]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (4)$$

#### 4. 화염 영역 추출

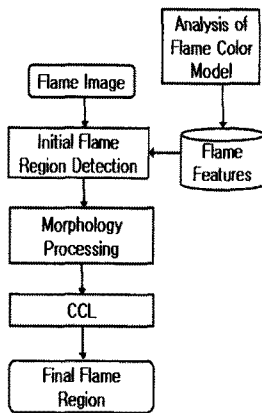


그림 2. 화염 영역을 추출하는 흐름도

화염 영역을 추출하기 위해서는 그림 2의 흐름도의 과정을 거치게 된다. 먼저 화염의 컬러 모델을 분석을 거쳐 화염의 특성을 추출한다. 식 (6)와 같은 값의 범위는 표 1의 범위에 해당된다.

$$g(x, y) = \begin{cases} \text{black} & \text{if } f(x, y) \notin C_f \\ f(x, y) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$C([H_1, H_2], [S_1, S_2], [I_1, I_2]) = \{(H, S, I) | H_1 \leq H \leq H_2, S_1 \leq S \leq S_2 \text{ and } I_1 \leq I \leq I_2\} \quad (6)$$

식 (6)에서 픽셀의 H 값이  $[H_1, H_2]$ 의 범위에 있고, 또한  $S=[S_1, S_2]$ ,  $I=[I_1, I_2]$ 를 만족하면, 픽셀은 화염영역에 속하고, 아니면, 비화염영역으로 처리한다. 여기서 범위의 최소, 최대값은 표 1의 값들을 사용한다.

일차적으로 얻어진 화염 영역은 불꽃이 아닌 재와 같은 비화염 픽셀 또는 영역을 포함된다. 이런 문제점을 해결하기 위해 모폴로지를 사용하였다 [3]. 모폴로지 식 중에서 기본적인 것은 팽창( $A \oplus B$ )과 침식( $A \ominus B$ )이 있고, 또한 팽창과 침식을 함께 사용하는 열림( $A \circ B$ )과 닫힘( $A \bullet B$ )이 있다. 아래에 식은 관련된 식이다.

$$A \oplus B = \{(a, b) + (u, v) : (a, b) \in A, (u, v) \in B\} \quad (7)$$

$$A \ominus B = \{x = a - b : a \in A, b \in B\} \quad (8)$$

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (9)$$

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (10)$$

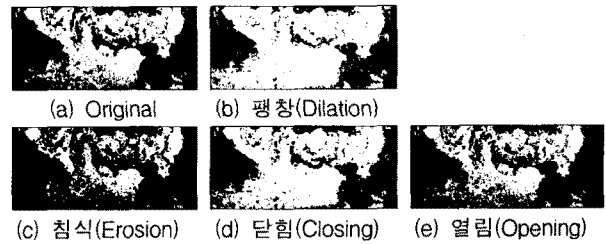


그림 3. 모폴로지를 적용한 화염 영역

모폴로지를 적용한 화염 마스크는 여전히 원하지 않는 작은 불꽃들을 인식하는 문제를 안고 있다. 즉 모폴로지가 모든 비화염영역을 제거하지 않기 때문이다. 뿐만아니라 얻어진 화염 영역은 debris, noise등이 존재하여, 입체영상 시청시 눈의 피로감을 느끼게 한다. 이를 제거하기 위하여 모폴로지를 적용한 화염 마스크에서 CCL (connected component labeling)을 사용한다. [4]. CCL은 4- 또는 8-connectivity를 사용하여, 같은 영역에 속한 픽셀들을 그룹핑한다. 그룹핑한 후 원하는 임계값보다 적은 픽셀을 갖는 영역을 제거한다. 이러한 과정에서 최종적으로 레이블맵(label map)이 얻어진다. 그림 4는 CCL을 사용하기 전과 후의 마스크 영상을 보여준다. 실험에서는 임계값으로 100을 사용하였다.

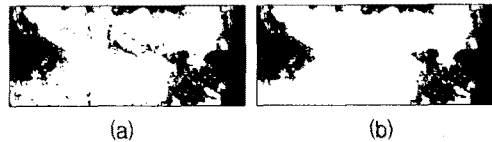


그림 4. CCL을 이용하여 얻은 마스크 (a) 입력 마스크, (b) 결과 마스크

#### 5. 깊이맵 생성

픽셀의 앞에서 분석한 바와 같이 화염의 특성은 RGB와 HSI 컬러 모델에서 관찰될 수 있다. 픽셀이 깊이값을 얻기 위해서, 화염의 강도에 따라 깊이값을 할당하였다. 즉, 화염의 강도는 red, yellow, blue로 점차 강해진다는 관찰에 기반한다. 그림 5는 화염영상에서 원도우에 사각형 영역을 지정하면, 이 영역내에 있는 픽셀들의 R, G, B, H, S, I의 최소 및 최대값을 오른쪽 메뉴에서 보여진다. 이 소프트웨어를 이용하여, 화염의 강도를 측정하였다.

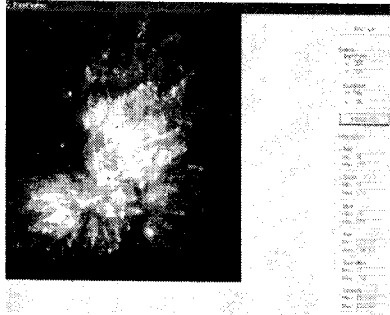


그림 5. 화염 영상의 RGB와 HSI의 범위 측정 소프트웨어

분석 데이터로부터, 픽셀  $X(i, j)$ 의 RGB와 HSI 값이 주어지면, 가중치 합은 다음과 같이 계산된다.

$$C(i, j) = \sum_{k \in X} w_k X(i, j) \quad (11)$$

여기서  $X \in \{R, G, B, H, S, I\}$ 이고 가중치  $w$ 는 다음과 같다. 이 값은 그림 5에서 보듯이 화염영상을 가지고 불의 영역의 특성을 알아본 결과 blue의 값이 많은 비중을 차지함으로 0.4의 값을 취한 것이다. 다른 값들도 실험에 따른 값이다.

R:  $w_R = 0.1$ , G:  $w_G = 0.1$ , B:  $w_B = 0.4$

H:  $w_H = 0.0$ , S:  $w_S = 0.2$ , I:  $w_I = 0.2$

여기서, RGB/HSI 값은 범위가 같지 않기 때문에, 각각 [0, 1]로 정규화 한다. 다음 단계는 계산된 C 값을 깊이 값으로 변환하는 것이다.

$$D(i, j) = 255 \times C(i, j) \quad (12)$$

그림 6은 모폴로지와 CCL의 과정을 거쳐서 나온 맵을 보여준다.

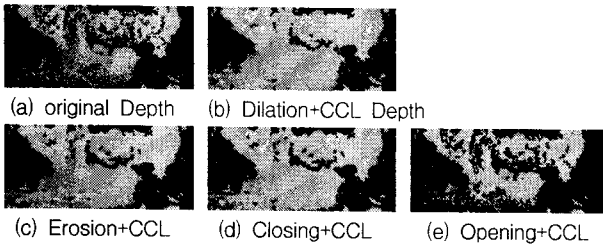


그림 6. 모폴로지와 CLL을 적용한 마스크로부터 생성된 깊이맵

### 6. 입체 영상 생성

입체 영상 생성 방법의 순서는 그림 7과 같다. 영상과 깊이맵이 주어지면 깊이값을 이용, 변이(disparity)를 구해 이미지를 시프트(shift) 하여 입체영상을 만든다. 이미지를 시프트하게 되면 변이차에 따라 홀(hole)이 발생하게 되는데 홀 필링 알고리즘을 사용하여 홀을 채웠다.

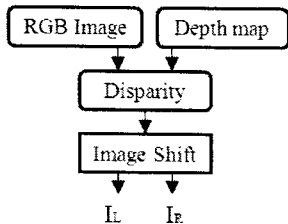


그림 7. 입체 영상 생성 블록도

깊이맵의 데이터는 앞에서 구한 식 (12)값이므로 이 값으로

아래의 변이 식(13)을 계산하여 좌우 영상을 구한다.

$$d = 255 - D(i, j) \quad (13)$$

변이값을 구하면, 좌우 영상은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} I_L(i-d, j) &= I_L(i, j) \\ I_R(i-d, j) &= I_R(i, j) \end{aligned} \quad (14)$$

### 7. 실험 결과

실험에서는 각각 70장의 영상으로 구성된 3개의 실험 동영상에 제안 알고리즘을 적용하였고, 입체영상으로 확인한 결과 보기에도 볼륨감 있고 생생한 3-D 영상을 생성하였다. 결과적으로 주관적인 입체화질 평가에서 입체효과의 우수성이 증명되었다. 아래의 실험결과 최종 깊이맵에서 볼륨감과 입체감을 확인할 수 있다.

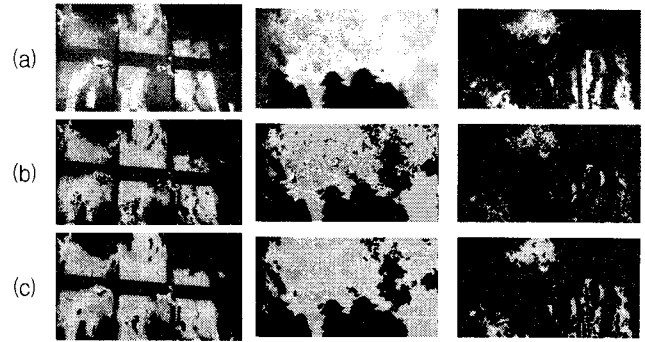


그림 8. 실험결과 (a)입력영상, (b)기본깊이맵, (c)최종깊이맵

### 8. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 화염이 존재하는 영상에서 화염 영역을 입체영상으로 변환하는 기법을 제안하였다. 앞으로 연구가 더 진행되어야 할 부분으로 화염 영역의 가장자리 부분을 부드러운 입체로 만들어 입체 효과를 향상하는 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. GIST-RBRC (IITA-2009-(C1090-0902-0017))

### 참고문헌

- [1] Wen-Bing Horng, Jian-Wen Peng, and Chih-Yuan Chen, "A New image-Based Real-Time flame Detection Method Using Color Analysis" Networking, Sensing and Control, Proceedings. IEEE, pp. 100-105, Mar. 2005.
- [2] S-C Liew, A. Lim, and L. K. Kwok, "A stochastic method for active fire detection using the thermal bands of MODIS data," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 2, No. 3, July 2005.
- [3] Haralick, Robert M.; Sternberg, Stanley R.; Zhuang, Xinhua "Image Analysis Using Mathematical Morphology," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-9, Issue 4, July 1987 Page(s):532 - 550.
- [4] Luigi Di Stefano, and Andrea Bulgarelli, "A Simple and Efficient Connected Components Labeling Algorithm," Image Analysis and Processing, 1999. Proceedings. International Conference on 27-29 Sept. 1999 Page(s):322 - 327.