

Image Segmentation of Teeth Region by Color Image Analysis

이성택* · 김경섭† · 윤태호** · 김기덕*** · 박원서§
 (Seong-Taek Lee · Kyeong-Seop Kim · Tae-Ho Yoon · Kee-Deog Kim · Wonse Park)

Abstract - In this study, we propose a novel color-image segmentation algorithm to discern the teeth region utilizing RG intensity and its relevant RGB histogram features with resolving the variations of its maximum intensity in terms of peaks and valleys. Tooth candidates in a CCD image are first extracted by applying RGB color multi-threshold levels and consequently the successive morphological image operations and a Sobel-mask edge processing are performed to resolve the teeth region and its contour.

Key Words - Tooth, Color Image, Image Segmentation, RGB, Threshold Level, Histogram

1. 서론

최근, 인간의 평균 수명이 늘어나면서 사람들은 좀 더 건강하고 안락한 삶을 영유하기 위해서 건강에 대한 관심이 날로 증폭되고 있는 실정이다. 아울러서 현대인의 삶의 질을 개선시키는 하나의 중요한 요소로서, 청결한 치아 관리의 중요성도 증가하고 있다. 일반적으로 치아를 청결하게 유지하지 않으면 치아 표면에 플라그(plaque)가 생성되기 쉽고, 또한 플라그를 장기간 방치하면 칩과 음식물 찌꺼기와 결합하여 치아에 딱딱한 치석이 형성되기 쉬운데 결국, 치석의 표면을 둘러싸고 있는 플라그는 잇몸 조직과 반응하여 구강염증이 발생되기 쉬운 상태로 만든다[1]. 그러므로 구강 건강을 위협하는 플라그의 생성을 예방하기 위한 여러 연구들이 수행되고 있으며 또한 플라그 상태를 평가하기 위한 연구들이 진행되고 있는데, 치아에 염색제를 묻혀 플라그 분포 상태를 평가하거나[2], 또는 하나의 치아를 9개의 미세 영역들로 세분화하여 각각의 영역에서 플라그 존재 유무를 판별하는 인덱스(Indices) 평가 기법을 사용하여 플라그 분포 상태를 정량적으로 평가하는 연구도 이루어지고 있다[3].

일반적으로, 치아 영상에서 치아 영역을 인식하는 방법은 대부분 CT(Computed Tomography) 영상 또는 X-ray 영상을 기반으로 수행되고 있지만[4-5], 이런 방법들은 기본적으로 흑백 화소 정보를 활용하기 때문에 치아 및 잇몸의 고유

한 컬러 분포가 고려되지 않아서 치아 영역을 효율적으로 분리하기 어렵다. 이에 따라서, 본 연구에서는 치아 CCD 컬러 영상의 RGB 색 분포에 따른 다중 임계치(multi-level threshold value) 설정을 통하여 치아 영역 후보들을 도출하고 또한 RGB 히스토그램 분포도에 따른 최대 특성 값들의 변화도를 검출하여 치아 영역을 분할한 다음에 최종적으로 모폴로지(morphology) 영상 기법과 경계선(edge) 검출 기법을 적용하여 주어진 치아 영상에서의 치아 영역 부분과 그 윤곽선을 자동적으로 인식하고자 하였다.

2. 본론

2.1 CCD 컬러 치아 영상 획득

일반적으로 환자의 치아에 대한 컬러 영상을 얻고자 할 때, 입을 벌려주는 개구기(cheek retractor)를 사용하게 된다. 그림 1을 살펴보면 왼쪽과 오른쪽에 투명한 플라스틱 물체가 관찰되는데, 이 장치가 개구기에 해당되며 치아를 용이하게 관찰시킬 수 있다는 편리성을 제공한다.

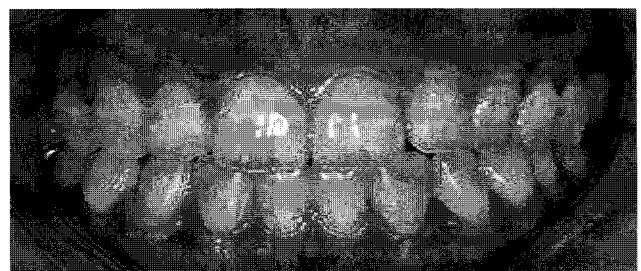


그림 1 치아와 잇몸 영역을 보여주는 치아 영상
 Fig. 1 A CCD color image for illustrating the teeth and the gums

† 교신저자, 정희원 : 건국대 의료생명대 의학공학부 부교수,
 건국대 의공학실용기술연구소 · 공박

E-mail : kyeong@kku.ac.kr

* 준 회원 : 건국대 의학공학부 석사과정

** 정 회원 : 건국대 의학공학부 박사과정

*** 비 회원 : 연세대 치과대학병원 통합진료과 교수

§ 비 회원 : 연세대 치과대학병원 통합진료과 임상조교수

접수일자 : 2009년 4월 20일

최종완료 : 2009년 5월 6일

그러나 보편적으로 개구기의 색 분포가 치아의 색 분포와 매우 유사하기 때문에 치아 영역과 개구기 영역을 분리하는데 많은 어려움이 따르므로, 일단 개구기 부분이 최소한으로 포함되도록 영상의 영역을 설정하였다. 결과적으로, 본 연구에서는 주어진 컬러 CCD 치아 영상에서의 치아 영역과 잇몸 영역을 자동적으로 분리하는 것을 목적으로 하고 있으며, 이를 위해서 Red(R), Green(G), Blue(B) 컬러 정보 분포와 연관되어서 유도된 특징 값들을 활용하여 치아 영역을 자동적으로 분할하고자 하였다.

치아 영역을 자동적으로 검출하기 위해서는, 우선적으로 치아 및 잇몸 영역에 해당되는 컬러 분포를 각각 살펴보아야 한다. 치아 영역은 R, G, B의 밝기 값의 차이가 미미하여서 육안으로 관찰하여도 백색에 가깝게 보인다. 이와는 대조적으로 잇몸 영역은 붉은 색을 많이 띠고 있으므로 잇몸 영역에서는 R 성분이 G, B 성분에 비교하여 상대적으로 크기 때문에 R과 G의 밝기 값 차이 또는 R과 B의 밝기 값 차이도 또한 크다는 특징을 가진다. 치아와 잇몸 영역 분리를 위해 R과 G 그리고 G와 B의 밝기 값 차이 ($R - G$, $|G - B|$)를 모두 활용할 수 있지만, 치아 영상에서는 G와 B의 밝기 값이 매우 비슷한 분포를 나타내기 때문에 R과 G의 차이 값이 우선적으로 고려된다.

치아 영역과 잇몸 영역을 자동적으로 분리하기 위해서는 이진화(binazation) 과정을 수행해야 하는데, 이 과정을 통해 치아 영역에 해당되는 화소(pixel)들은 'logical 1'의 값으로 그리고 잇몸 영역은 'logical 0'의 값으로 변환된다. 이런 경우 각각의 화소 값을 'logical 1' 또는 '0'으로 결정하기 위한 다중 임계치의 설정이 필요한데 본 연구에서는 R과 G의 밝기 값 차이 그리고 G의 밝기 값의 변화량을 활용하여 설정된 2개의 임계치 값들을 중심으로 이진화 과정을 연속적으로 수행하였다.

2.2 R과 G의 밝기 값의 차이를 이용한 이진화

2.1 절에서 설명한 바와 같이, 치아 영상에서 R과 G의 밝기 값 차이를 이용하여 1차 이진화 과정을 수행할 수 있다. 이는 치아 영상에서, 잇몸의 영역이 치아 영역보다 상대적으로 더 많은 화소들로 분포되어 있고 또한 전체 치아 영상에서 R과 G의 차이의 평균값은 잇몸 영역에서의 R과 G의 차이의 평균값과 유사한 특성을 가지기 때문이다. 예를 들어 그림 1의 경우, 픽셀 좌표계 (120, 83) 픽셀에 속한 치아 영역은 (R, G, B) 밝기 값이 (164, 161, 156)이며 R과 G의 밝기 값 차이는 3, G와 B의 밝기 값 차이는 5, 그리고 R과 B의 밝기 값 차이는 8임을 알 수 있다. 즉, 치아 영역이 백색에 가깝기 때문에 R, G, B의 값이 크며, 각각의 R-G-B 밝기 차이 값이 매우 적다는 것이 특징이다. 반면에 (206, 24) 픽셀에 속한 잇몸영역은 (R, G, B) 각각의 밝기 값이 (141, 77, 68)이고, R과 G의 밝기 값 차이는 64, G와 B의 밝기 값 차이는 9, B와 R의 밝기 값 차이는 73이다. 즉, 잇몸 영역은 육안으로 관찰하기에도 붉은 색에 가깝기 때문에 R이 상대적으로 G와 B의 값보다 크다는 특징을 가지며 이에 따라서 R과 G의 차이 값은 상대적으로 치아영역에서의 R과 G의 차이 값보다 크다는 특징을 가진다. 그림 1의 치아 영상의 모든 픽셀에 대한 R과 G의 밝기 값 차이에 대한 평균치는

잇몸 영역에서의 R과 G의 차이에 대한 평균치에 비교하여 상대적으로 작다는 사실을 확인할 수 있다. 따라서 이 평균치보다 작은 값을 가지는 영역을 치아 영역 후보들로 간주할 수 있으며 이를 이용하여 치아 영역을 1차적으로 분리할 수 있는 임계치를 찾을 수 있다. 그림 2는 치아 영역과 잇몸 영역 후보를 구분하는 1차 이진화 과정의 수행을 위한 흐름도를 보여주고 있다.

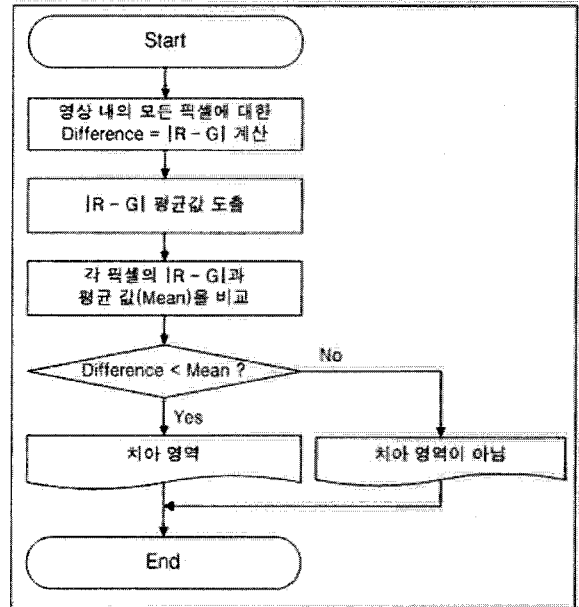


그림 2 치아 영역과 잇몸 영역 후보를 구분하는 이진화 과정
Fig. 2 The first-pass binarization process for estimating teeth candidates

그림 3은 1차적 이진화 과정을 거쳐서 도출된 치아 영역 후보를 'logical 1' 영역으로 표시하여 보여주고 있다.

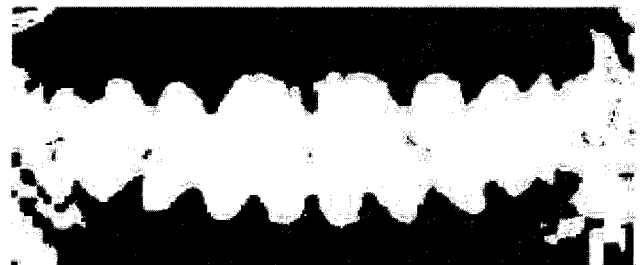


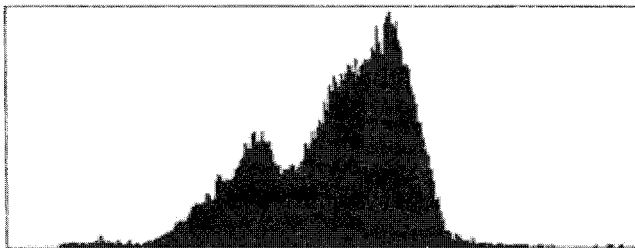
그림 3 1차 이진화 과정을 거쳐서 도출된 치아 영역 후보
Fig. 3 Teeth region candidates extracted by applying the first-pass binarization

그림 3을 살펴보면 치아와 잇몸 영역을 제외한 개구기의 영역도 치아 영역과 함께 'logical 1' 영역으로 분류 되어 있는 것을 알 수 있다. 즉 개구기 영역도 치아 영역으로 잘못 인식되었는데, 이는 개구기의 R과 G의 밝기 값 분포가 치아 영역과 매우 유사하기 때문이다. 또한 어금니 부위에는 그 위치의 특성과 조명 효과 때문에 그림자가 드리워져 어두운 밝기 값으로 왜곡되어서 표현되고 있다. 결과적으로 개구기 부분을 치아 영역으로 간주하지 않기 위해서는, 순수하게 치

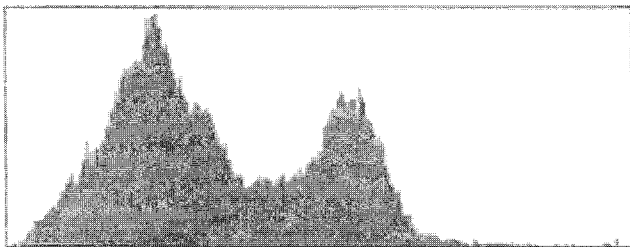
아 영역만을 추출할 수 있는 2차적 임계치 설정이 필요하다.

2.3 히스토그램을 이용한 치아 영역의 컬러 분포 분석

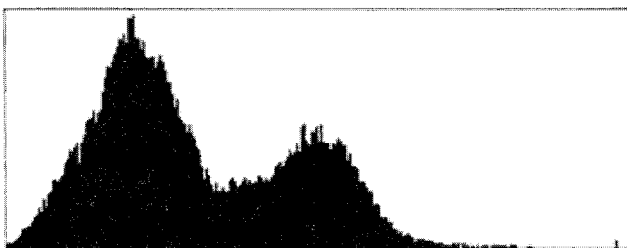
그림 2에서 제시된바와 같이, R과 G의 밝기 값 차이만을 이용하여 설정된 임계치로 이진화 과정을 수행하면 치아 영역을 완전하게 분리할 수 없으므로 치아 영역을 보다 더 정확하게 구분하기 위해서는 G의 밝기 값을 고려한 추가적인 임계치 설정이 필요하다. 이를 위해서 치아 영상의 (R, G, B) 분포를 파악할 수 있는 히스토그램의 분석이 필요한데 그림 4는 그림 1에서 도시된 치아 영상의 히스토그램 분포를 각각 R, G, B 영역으로 보여주고 있다.



(a) Red 영역



(b) Green 영역



(c) Blue 영역

그림 4 히스토그램 분포도

Fig. 4 The distribution of histograms

여기서 R 밝기 값의 분포와 연관된 히스토그램을 살펴보면, 중간 밝기 값인 127을 기준으로 화소 값이 큰 픽셀들의 수가 127보다 작은 밝기 값을 가지는 픽셀들의 수보다 상대적으로 더 많다는 사실을 파악할 수 있다. R 영역의 밝기 값이 이러한 분포를 가지는 이유는 치아 영상이 치아 영역, 잇몸 영역 그리고 그 외의 영역으로 나누어지고, 영상 영역의 대부분을 구성하는 부분은 잇몸과 치아 영역이기 때문이

다. 즉, 치아와 잇몸을 제외한 영역의 픽셀의 수가 적기 때문에 히스토그램 분포에 별다른 영향을 주지 못하기 때문에 그림 4(a) 히스토그램은 주로 치아와 잇몸의 영역과 연관된 R 영역의 분포로 해석되며 여기서 주목해야 할 사항은 치아와 잇몸 영역 모두 R의 밝기 값이 상당히 크다는 사실이다. 치아 영역의 경우 육안으로 관찰하여도 백색에 가깝다는 특징을 가지고 있으므로 R, G, B 중의 어느 특정한 컬러 성분이 상대적으로 크지 않고 서로 유사한 값을 가진다. 이와는 대조적으로 잇몸 영역의 경우, 육안으로 관찰하기에도 붉은 색에 가깝기 때문에 R 성분이 상대적으로 G와 B 성분보다 큰 값을 가지며 또한 R 값이 치아와 잇몸의 모든 영역에 골고루 분포하기 때문에 추가적인 임계치 설정에 활용될 수 없다.

그림 4(b)에서의 히스토그램은 그림 4(a)와는 상반되는 모양을 나타낸다. 즉, 그림 4(a)와는 다르게 127을 기준으로 화소 값이 큰 픽셀의 수가 더 많이 분포하는 특징을 보이는데 이에 따라서 최대극점(peak)이 먼저 나타나고 최소극점(valley)이 출현한 다음에 또 다른 극점(local extremum)이 출현하는 양상을 보인다. 그림 4(b)의 경우는 그림 4(a)와는 다르게 각 최대극점과 최소극점에서 임계치 설정에 필요한 특징 값을 구할 수 있는데 즉, 치아 영역의 경우에 R, G, B의 값이 유사한 밝기 값을 가지는 반면에, 잇몸의 경우는 R의 밝기 값은 크지만 G는 상당히 작은 밝기 값을 가진다는 사실을 임계치 설정에 활용할 수 있다. 그러므로 그림 4(b)의 히스토그램에서 최소극점을 기준으로 하여서 왼쪽은 잇몸 영역, 오른쪽은 치아 영역으로 간주할 수 있다. 그러나 히스토그램이 멧뭉힌 외곽선(envelope) 형태를 가지는 경우 최대 및 최소극점을 포함하는 변곡점들의 위치를 파악하기 어렵기 때문에 임계치를 찾는 데 문제가 발생하게 된다. 또한 그림 4(b)와 (c)의 히스토그램을 서로 비교하면 그 외곽선의 변화 형태가 매우 유사하기 때문에 2차적인 임계치를 설정할 때 G와 B 영역의 값을 동시에 활용할 필요는 없다.

2.4 G 임계치 설정을 위한 명암도 히스토그램 분석

G의 임계치를 보다 더 정확하게 선정하기 위해서 RGB 명암도(intensity)와 관련된 히스토그램 분포를 해석하고자 하였는데, 명암도 히스토그램은 R, G, B 3 가지 컬러 영역의 분포도를 하나의 특징 값으로 변환하여 분석할 수 있다는 장점이 있다. 컬러 영상의 명암도는 식(1)과 같이 정의된다.

$$\text{명암도} = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B \quad (1)$$

식 (1)은 NTSC(National Television Systems Committee) 표준에 따른 방식이며, 명암도를 구하는 또 다른 방식으로는 식 (2)처럼 단순히 R, G, B 평균치를 구할 수 있다[6].

$$\text{명암도} = \frac{1}{3} \cdot (R + G + B) \quad (2)$$

그림 5는 식(1)을 이용해 그림 1의 영상에 대한 명암도 분포를 히스토그램으로 나타낸 것이다. 그러나 NSTC 방식 또는 평균값을 취하는 방식으로 명암도 히스토그램을 정의

하는 경우 R, G, B 각각의 히스토그램에 내재되어 있는 고유한 특징들이 사라질 수 있다. 즉, 그림 5를 살펴보면 극대점 3개가 두드러지게 나타나며 첫 번째의 극대점을 다음에 두 번째 극대점이 존재하지만 이 변곡점은 R, G, B 히스토그램의 분포도와 일치하지 않는 부분임을 알 수 있다.

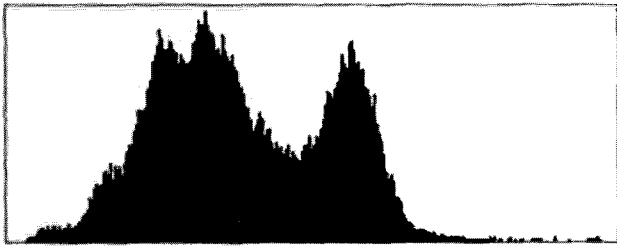


그림 5 치아 영상의 명암도 히스토그램
Fig. 5 Intensity histogram of a tooth image

2.3 절에서 설명한 바와 같이 히스토그램의 최대극점과 최소극점은 영상 이진화 수행에 필요한 정보를 제공하기 때문에 이를 활용하여 2차적 임계치를 정확히 설정하는 것이 매우 중요하다. 이에 따라서 본 연구에서는 최대 명암도 (maximum intensity)라고 명명한 새로운 수치를 도출하였는데 이는 R, G, B 밝기 값을 각각 서로 비교하여 가장 많은 픽셀을 보유하고 있는 컬러 영역을 최대 명암도로 지정하는 방식이며 'greedy approach' 알고리즘을[7] 이용하여 최대 명암도 분포도를 구하였다. 그림 6은 최대 명암도를 정의하는 알고리즘을 보여주고 있는데, 최대 명암도 분포도를 구하기 위해서는 우선적으로 각 컬러 영역의 밝기 값이 0일 때부터 픽셀의 수를 비교한다. 즉, R 영역에서의 밝기 값이 0인 픽셀의 수와 G 영역에서의 밝기 값이 0인 픽셀의 수, 와 B 영역에서의 밝기 값이 0인 픽셀의 수를 비교하여 가장 큰 값을 최대 명암도로 지정하며 이러한 방식으로 밝기 값 255 까지 총 256회 비교하면, 결과적으로 256개의 최대 명암도 분포를 산출할 수 있다.

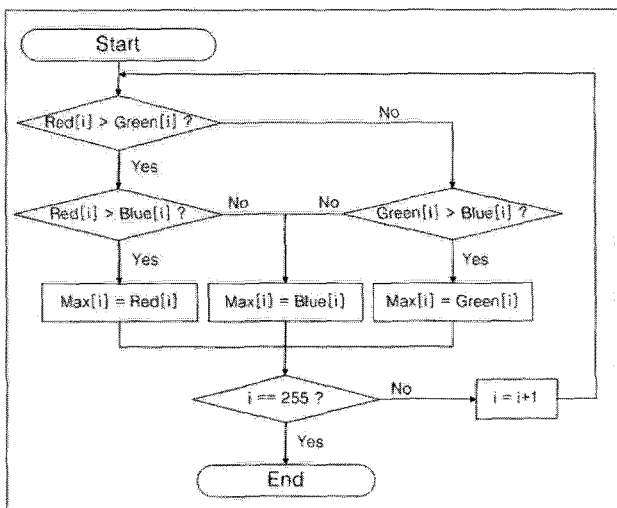


그림 6 최대 명암도를 구하는 알고리즘
Fig. 6 An algorithm for seeking the maximum intensity in RGB color space

그림 6에서 산출된 최대 명암도를 활용하면, 각 컬러 영역에서의 가장 큰 화소 값을 반영하기 때문에 임계치 설정에 불필요한 화소 값들을 고려하지 않게 된다. 또한 각 컬러 영역 고유의 값을 그대로 반영하기 때문에 각각의 R, G, B 히스토그램의 최대 극대점들의 위치를 그대로 유지할 수 있다. 그림 7은 그림 1의 영상에서 최대 명암도와 연관된 히스토그램을 보여주고 있다.

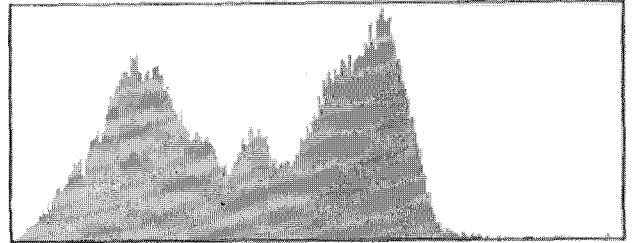


그림 7 최대 명암도 히스토그램
Fig. 7 Maximum intensity histogram

그림 7을 살펴보면 기본적으로 2개의 최대극점들과 2개의 최소극점들이 포함되어 있으며 그림 4와 비교하여 관찰하면 첫 번째로 나타나는 최대극점의 위치는 G와 B 분포가 지배적인 구간에 속하며, 두 번째로 나타나는 최대극점의 위치는 R 분포가 지배적인 구간에 포함되어 있다. 따라서 양쪽의 최대극점들 사이에 존재하는 최소극점은 특정 컬러 영역 값들의 분포도가 증가하거나 감소하는 구간의 교차점이라는 사실로 가정할 수 있다. 그림 7의 경우, 첫 번째의 최소극점은 R 히스토그램이 증가하는 구간과 G 히스토그램이 감소하는 구간의 교차점으로 인해 발생되는데, 결국 이 극점에 해당되는 G의 밝기 값을 2차 임계치로 설정하였다. 이에 대하여 구체적인 예를 제시하기 위해서, 그림 8과 같이 선택된 두 관심 영역(ROI: Region Of Interest)들에 대한 RGB 분포도를 각각 살펴보기로 한다.



그림 8 치아와 잇몸에서 관심영역 설정
Fig. 8 Selecting ROIs in tooth and gingiva regions

그림 8에서 치아의 관심영역을 구성하는 1,312개의 픽셀들에 대한 (R,G,B)의 평균값을 구하면 (143.25, 140.15, 127.17)으로 계산되는 반면에 잇몸의 관심영역 내의 1,317개의 픽셀에 대한 각각의 평균값은 (140.66, 73.13, 63.29)이다. 두 관심영역에서의 R 평균값은 서로 유사하기 때문에 R의 밝기 값만 가지고는 치아와 잇몸을 분할할 수 없지만 그러나 두 관심영역에서의 R 평균값은 약 140정도이므로 140이

하의 영역은 치아와 잇몸 부분에 해당되지 않는다고 가정할 수 있다. 이와는 대조적으로 G와 B의 경우는 치아에서의 관심영역에서 평균값이 다소 다르며 특히 잇몸 영역은 치아 영역의 R 밝기 값과 비슷하지만 G와 B의 값이 상대적으로 작기 때문에 붉은 색으로 표현된다. 즉, 치아 영역에서의 G의 밝기 값 또는 B의 밝기 값이 잇몸 영역에서의 G의 밝기 값 또는 B의 밝기 값과 서로 많은 차이를 보이므로 R 영역의 분포를 이용해 치아와 잇몸영역을 그리고 나머지 기타 영역으로 구분하고, 최종적으로 G 영역 정보를 이용해 치아와 잇몸 영역을 분리 할 수 있다. 결과적으로 그림 7에서 나타난 첫 번째 최소극점을 G의 임계치로 설정하면 각각의 영역을 효과적으로 분리할 수 있다.

2.5 최소극점 검출을 통한 2차 임계치 설정

일반적으로 극점(극소점 또는 극대점)은 미분 연산을 통해 찾을 수 있는데, 예를 들어 함수 $f(x)$ 의 도함수 $f'(a)$ 가 0의 값을 갖게 되면 $x=a$ 에서 극점이 존재한다. 그러나 그림 7에서 보여주는 최대 명암도의 히스토그램의 경우, 수학적인 함수로 정의하기 어렵기 때문에 도함수가 0이 되는 지점을 찾아내어 극점을 찾는 방법은 현실적으로 어렵다. 따라서 도함수의 관점에서 극점을 찾지 않고 기울기(변화량)의 관점에서 국부적 기울기가 음(-)의 상태를 유지하고 있다가 양(+)으로 바뀌는 순간의 위치를 극소점으로 간주하였다. 이를 위해서 우선적으로 히스토그램의 거친 경계면을 완화시키기 위해 식 (3)과 같이 정의하여 이동 평균값을 계산하였다[8].

$$h_i^{filtered} = \left(\frac{1}{N+1} \right) \cdot \sum_{k=i-\frac{N}{2}}^{i+\frac{N}{2}} h_k \quad (3)$$

여기서, N 은 이동 평균 필터의 구간 길이이며, h_k 는 최대 명암도의 히스토그램을 나타낸다. 식(3)을 이용해 히스토그램을 처리하면 그림 9와 같이 히스토그램의 외곽선이 부드러운 곡선으로 표현된다.

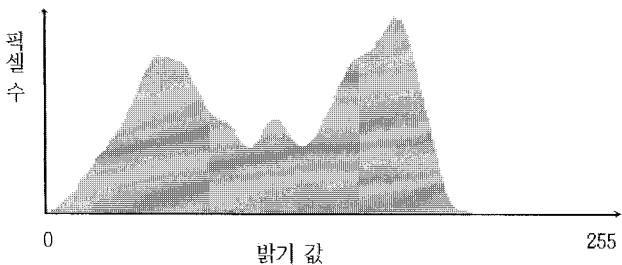


그림 9 이동 평균 필터링 과정을 거친 최대 명암도 히스토그램

Fig. 9 Smoothed histogram of the maximum intensity

여기서 극소점을 찾는 방법은 먼저 극대점을 찾는 과정부터 시작된다. 즉 히스토그램의 분포의 변화량이 양(+)의 값을 유지하다가 음(-)의 값으로 변하는 지점을 극대점으로

간주한다. 그리고 극대점을 발견한 그 시점부터 극소점이 출현할 때까지의 x 좌표 상으로 화소 개수를 추정하여서 극소점의 깊이가 얼마나 깊은지 판단한다. 그러나 식(3)에 주어진 이동 평균값을 계산하여도 히스토그램 분포는 픽셀 단위로 표현되므로 외곽선이 완전한 곡선으로 표현될 수 없으며 히스토그램의 경계선이 여전히 불규칙한 곡선 형태를 가지는데, 이러한 문제점을 극복하기 위해서 극소점이 출현할 때까지 나타난 모든 화소들을 추정하여 사전에 정의된 n 개수 이상일 경우에 그 극소점의 깊이가 충분하다고 판단하여 극소점으로 간주한다. 만약 y 의 변화량이 음(-)에서 양(+)으로 변하는 시점인 극소점을 검출하였다 하더라도 극대점부터 시작하여 고려된 화소들의 합이 n 보다 작을 경우에는 거짓 극소점(false valley)으로 판단한다.

그러나 이러한 방식으로 극소점을 찾더라도 극소점은 여러 개가 존재할 수 있으므로, 여러 개의 극소점 후보들 중에서 최적의 극소점을 결정해야 한다. 만약에 극소점 후보가 너무 일찍 출현하면 G와 연관된 극소점일 가능성이 높은 반면에, 너무 늦게 출현하면 R과 연관된 극소점일 가능성이 높다. 예를 들어서, 그림 9에서 극소점들은 2개 존재하는데 두 번째로 나타나는 극소점은 R 히스토그램 상의 극소점에 해당되기 때문에 임계치로 활용될 수 없다. 이러한 문제점은 극소점들의 밝기 값을 고려하면 해결될 수 있는데, 예를 들어서 밝기 값이 i 일 때와 j 일 때의 위치에서 극소점이 발견되었다고 가정하자. 우선적으로 이 극소점들로부터 밝기 값을 찾아낸 후 R 히스토그램에서 밝기 값이 i_R 일 때 y_R 값, 그리고 G 히스토그램에서 밝기 값이 i_G 일 때 y_G 의 차이를 계산한다. 밝기 값이 j 일 때도 동일한 방법으로 y 값의 차이를 각각 구한다. 결과적으로 최적의 극소점의 위치는 R의 히스토그램과 G의 히스토그램이 서로 교차하는 지점이므로 이 지점에서 y 값의 차이가 굉장히 작거나 또는 0에 가깝다는 사실을 이용한다. 그림 10은 이러한 일련의 과정들을 적용하여 G에 관한 2차 임계치를 구하여 히스토그램 상에서 그 임계치를 도식한 결과를 보여주고 있다.

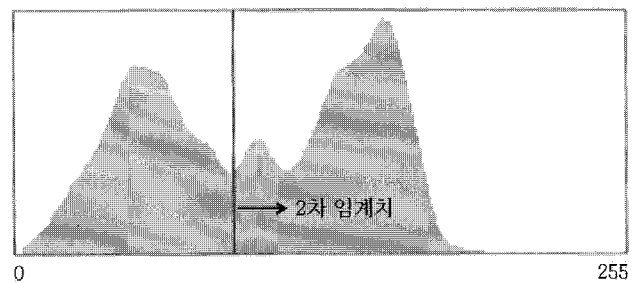


그림 10 최적의 G 임계치 설정

Fig. 10 The optimal thresholding level on G space

2.6 치아 영역 자동 추출

결론적으로 R과 G의 밝기 값의 차이만을 이용하여 이진화 과정을 수행하면 치아 영역을 완전하게 추출하지 못하지만, 그림 10에서 도식된 G에 관한 2차 임계치를 이용하여 추가적인 이진화 과정을 거치면 치아 영역을 보다 더 정확하게 추출할 수 있다. 그림 11은 치아 영역 검출을 위하여

이진화를 수행하는 최종 영상 분할 알고리즘을 보여주고 있다. 결과적으로 R과 G의 밝기 값 차이가 평균값보다 작아야 한다는 조건과 G의 밝기 값이 히스토그램에서의 극소점에서 찾은 임계치보다 커야 한다는 두 조건을 동시에 만족해야 치아 영역으로 간주하게 되며, 그림 12는 그림 1의 치아 영상을 이용하여 치아 영역만을 자동적으로 분리한 결과를 보여주고 있다.

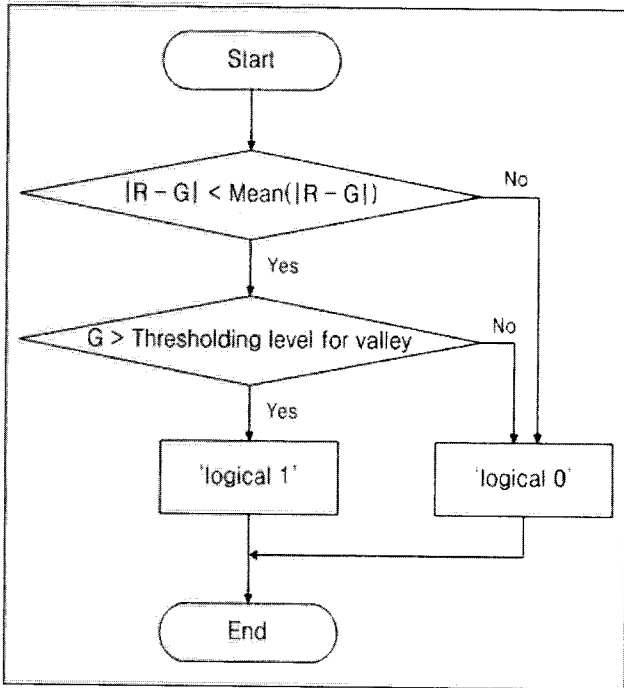


그림 11 치아 영역 검출을 위한 최종 영상 분할 알고리즘
Fig. 11 Color image segmentation algorithm for extracting tooth regions

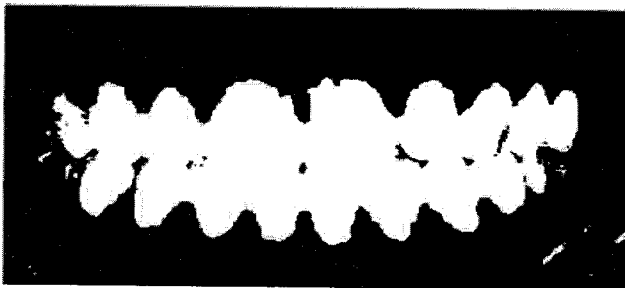


그림 12 자동 분리된 치아 영역
Fig. 12 Segmentation for extracting a tooth region

그림 12를 그림 2와 비교해 보면 치아 영역이 더 정확하게 분리되었음을 알 수 있다. 그러나 치아 영역에는 여전히 치아가 아닌 부분이 포함되는데, 이는 개구기의 컬러 분포가 치아의 컬러 분포와 비슷하기 때문에 치아 영역의 자동 분할에 영향을 주기 때문이다. 따라서 최적의 치아 영역을 검

출하기 위해서 모폴로지(morphology) 영상 기법을 도입하여 치아 영역이 아닌 가짜 후보들을 제거한다.

2.7 모폴로지 영상 기법을 활용한 가짜 치아 영역 제거

모폴로지 연산은 기본적으로 침식, 팽창, 제거, 그리고 채움 연산의 4가지 과정으로 이루어진다. 침식 연산은 영상 내에서 구조 요소의 모든 요소가 영역 내에 존재하면 현재 그 지점의 값을 'logical 1'로 설정한다. 따라서 영상에서는 'logical 0'의 영역은 확장되고 '1'의 영역은 축소된다. 이에 반해 팽창 연산은 영상 내에서 구조 요소의 값 중 하나라도 영역 내에 존재하면 현재 그 지점의 값을 'logical 1'으로 설정한다. 그러므로 영상에서는 'logical 0' 영역은 축소되고 '1'의 영역은 확장된다. 제거 연산의 경우 먼저 팽창 연산을 수행한 뒤 그 결과에 다시 침식 연산을 수행하면 된다. 채움 연산의 경우에는 먼저 침식 연산을 수행한 뒤 그 결과에 다시 팽창 연산을 수행하면 된다. 식(4), (5), (6), (7)은 침식, 팽창, 제거, 채움 연산을 각각 정의하고 있다[9].

$$B^S = \{-b : b \in B\} \tag{4}$$

$$X \ominus B^S = \{z : B_z \subseteq X\} = \bigcap_{b \in B} \{X_{-b}\} \tag{5}$$

$$X \oplus B^S = \{z : B_z \cap X \neq \emptyset\} = \bigcup_{b \in B} \{X_{-b}\} \tag{6}$$

$$X_B = (X \ominus B^S) \oplus B \tag{7}$$

$$X^B = (X \oplus B^S) \ominus B \tag{8}$$

그림 12에서 팽창 연산과 제거 연산을 1회씩 수행하면 그림 13과 같이 치아가 아닌 영역이 제거되고 최종적으로 치아 영역만을 분리할 수 있다.

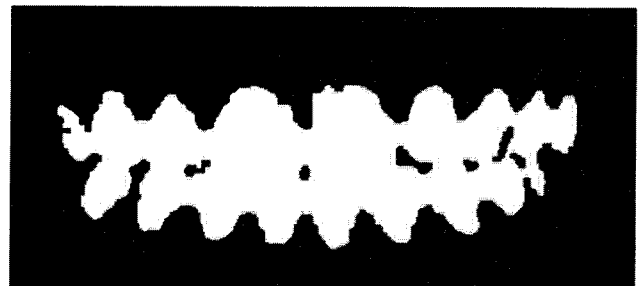


그림 13 치아 영역에 대한 모폴로지 연산의 결과
Fig. 13 The result of morphological operation on a tooth region

2.8 치아 영역의 경계선 검출

치아 영역의 외곽선(contour)을 검출하기 위해서 3×3의 Sobel 마스크를[10] 이용하였으며 그림 14는 치아 영역의 경계선을 검출한 결과를 보여준다.

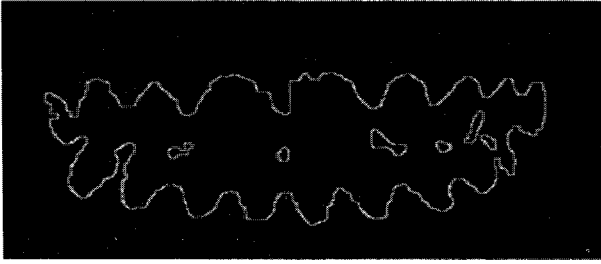


그림 14 Sobel 마스크에 의한 치아 영역 경계선 검출
Fig. 14 Extracted contour of a tooth region

그림 15는 그림 14에서 추출한 치아 영역의 윤곽선을 원 치아 영상에 중첩시켜 나타낸 최종 결과를 보여주고 있다.

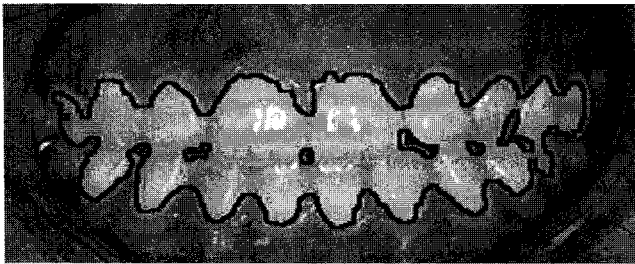


그림 15 윤곽선으로 묘사된 치아 영역
Fig. 15 The overlapped contour of a tooth region with a CCD image

3. 결 론

일반적으로 치아 영역을 자동적으로 인식하는 방법은 주로 치아와 연관된 특징 값들의 도출을 대의 목적으로, X-ray 또는 CT 영상 해석을 통하여 치아 영역을 인식한 다음 이에 따른 치아의 특징적인 값들을 분석, 생체 인식 분야로 활용되고 있다. 그러나 이런 방법들은 기본적으로 흑백 화소 정보를 활용하기 때문에 치아 및 잇몸의 고유한 컬러 분포가 고려되지 않아서 치아 영역을 효율적으로 분리하기 어렵다. 이에 따라서, 본 연구에서는 치아 CCD 컬러 영상의 RGB 색 분포에 따른 다중 임계치 설정을 통하여 치아 영역 후보들을 도출하고 또한 RGB 히스토그램 분포도에 따른 최대 특성 값들의 변화도를 검출하여 치아 영역을 분할한 다음에 최종적으로 모폴로지 영상 기법과 경계선 검출 기법을 적용하여 주어진 치아 영상에서의 치아 영역 부분과 그 윤곽선을 자동적으로 인식하였다. 또한 컬러 영상에서의 치아 영역을 컬러 분포에 대한 분석 및 히스토그램 분석을 통해 효율적으로 치아 영역 후보 검출을 위한 새로운 다중 컬러 임계치 설정 방법을 제시하였다. 그러나 치아 영상 촬영 시 영상의 중심에 존재하는 앞니와 치아의 전치부의 송곳니 부근은 잘 드러나지만 영상의 좌우로 치우친 후치부의 어금니 부분은 그 특유의 위치로 인한 음영 효과로 인하여 치아 영역으로 인식하기에 어려움이 수반되었는데, 이는 영상 촬영시의 주변광(ambient light)이 구강의 안쪽까지 도달하지 않기 때문이다. 또한 치아영상을 획득하기 위해 조명을 가까운 거리에서 사용하기

때문에 조명의 색상과 같은 경면반사(specular reflection)가 치아표면에서 발생하게 되는데 물체의 유광면(glazed surface)에서 주로 발생하는 경면광(specular light)에 의한 경면반사는 치아의 고유한 색상이 아니라 광원의 색상을 반영하기 때문에 치아 영역 검출에 장애요인으로 작용할 수 있다. 따라서 추후에는 조명의 영향을 최소한으로 하여, 치아 영역을 자동으로 보다 더 정확하게 추출할 수 있는 컬러 영상 분할 알고리즘을 구현하고자 하며, 또한 치아 영역 자동 검출과 또한 연관된 특징 값들의 도출을 통하여 치아 플라그 분포 상태를 정량적으로 평가할 수 있는 연구에 활용하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2008 -000-21000-0).

참 고 문 헌

- [1] 박광균, "Oral Biochemistry," 군자출판사, 1999.
- [2] K. Carter, G. Landini, A.D. Walmsley, "Automated quantification of dental plaque accumulation using digital imaging," Journal of Dentistry 32, pp. 623-628, 2004.
- [3] U. Gursoy, D. Eren, O. Bektas, F. Hurmuzlu, V. Bostanci, H. Ozdemir, "Effect of external tooth bleaching on dental plaque accumulation and tooth discoloration," Med, Oral Patol, Oral Cir, Bucal. 1; 13(4): E266-269, April 2008.
- [4] E. Said, D. Nassar, G. Fahmy, H. Ammar, "Teeth segmentation in digitized dental x-ray films using mathematical morphology," IEEE Transactions on Information Forensics and Security, VOL. 1, NO. 2, June 2006.
- [5] S. Shah, A. Abaza, A. Ross and H. Ammar, "Automatic tooth segmentation using active contour without edges," Biometric Consortium Conference, 2006 Biometrics Symposium, pp. 1-6, 2006.
- [6] R. Crane, "A simplified approach to image processing," Prentice Hall, 1996.
- [7] T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest and C. Stein, "Introduction to Algorithms," McGraw-Hill, 2001.
- [8] R.J. Schilling, S.L. Harris, "Fundamentals of Digital Signal Processing Using Matlab," Thomson, 2005.
- [9] P. Maragos, R.W. Schafer, "Morphological Filters - Part I: Their Set-Theoretic Analysis and Relations to Linear Shift-Invariant Filters," IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, VOL. ASSP-35, NO. 8, pp.1153-1169, August 1987.
- [10] W.K. Pratt, "Digital Image Processing," Wiley Interscience, 2002.

저 자 소 개



이 성 택 (李 星 澤)

2008년 건국대학교 의학공학부 졸업.
2008년~현재 동대학원 석사과정
재학중.



김 경 섭 (金 敬 燮)

1979년 연세대학교 전기공학과 졸업. 동
대학원 석사(1981). The University of
Alabama in Huntsville, Ph.D.(1994).
2001년~현재 건국대학교 의학공학부 부
교수.



윤 태 호 (尹 泰 皓)

2003년 건국대학교 의학공학부 졸업. 동
대학원 석사(2005). 2005년~현재 동대학
원 박사과정 재학중.



김 기 덕 (金 起 德)

1998년 연세대학교 치과대학 졸업. 동 대
학원 석사(1992). 동 대학원 박사(1997).
연세대학교 치과대학병원 구강악안면방사
선과 수련, The Univ. of Iowa 방문교수.
1996년~현재 연세대학교 치과대학병원
통합진료과 교수.



박 원 서 (朴 原 緒)

1997년 연세대학교 치과대학 졸업. 동대
학원 석사 (2006). 연세대학교 치과대학
병원 구강악안면외과 수련, 강사, 임상전
임강사.
2006~현재 연세대학교 치과대학병원 통
합진료과 임상조교수.