[UCI]I804:24011-200000231900

2005年 8月
碩士學位論文

컬러 모델을 이용한 얼굴영역 및 동공검출

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

컴 퓨 터 工 學 科

鄭 有 善

컬러 모델을 이용한 얼굴영역 및 동공검출

-Detection of Facial region and Pupil using color model-

2005 年 8月 日

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

컴 퓨 터 工 學 科

鄭 有 善

컬러 모델을 이용한 얼굴영역 및 동공검출

指導敎授 : 羅 相 同

이 論文을 工學碩士學位 申請論文으로 提出함.

2005 年 4月 日

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

컴 퓨 터 工 學 科

鄭 有 善

鄭有善의 工學碩士學位論文을 認准함.

委員長 朝鮮大學校 敎授 趙 範 峻 印

委 員 朝鮮大學校 敎授 金 忠 源 印

委 員 朝鮮大學校 敎授 羅 相 同 印

2005年 5月 日

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

도 목 차

List of Figures

그림 3.1 RGB 컬러모델 ····· 10
그림 3.2 적색 컬러 성분 영상 ····· 14
그림 3.3 적색 컬러 성분을 이용한 피부색 영역 구분 ····· 15
그림 3.4 Cb - Cg 채널 분포 히스토그램 ····· 19
그림 3.5 얼굴 피부색 Sample 영상 ····· 20
그림 3.6 Cb-Cg 피부색 히스토그램 ····· 21
그림 4.1 얼굴 영역 검출 과정 ····· 25
그림 4.2 분할된 영상 정보 ····· 27
그림 4.3 Region-Grow 프로그램 ····· 28
그림 4.4 분할 영역 수에 따른 얼굴 영역 검출 결과 ····· 29
그림 4.5 눈 영역 검출 과정 ····· 31
그림 4.6 눈 영역 검출 ····· 32
그림 4.7 수평-수직 투영을 통한 최종 얼굴 영역 탐색 ····· 33
그림 4.8 수직, 수평 영역 투영 프로그램 ····· 35
그림 4.9 반복 임계값 알고리즘 적용 눈 영역 탐색 ····· 36
그림 4.10 눈 영역 검출 결과 ····· 37
그림 5.1 허위 눈동자 프레임 ····· 40
그림 5.2 얼굴영역 및 동공검출 결과 ····· 41

그림 5.3 동공검출 결과 42
그림 5.4 검출된 얼굴영역 43

표 목 차

List of Tables

표 1 YCbCr 권고안 12

목 차

I. 서 론 1

II. 얼굴영역 검출 4

2.1 기존의 검출방법 4

2.2 얼굴 특징점 추출 5

2.3 컬러를 이용한 검출방법 6

III. 다채널 피부색 모델 설계 8

3.1 스킨 컬러 공간의 특징 8

3.2 다채널 성분 모델링 16

3.3 가우시안 피부색 확률 밀도 모델 18

IV. 얼굴영역 및 동공 검출 시스템 24

4.1 얼굴영역 검출 24

4.2 동공 검출 30

V. 시뮬레이션 결과 및 분석 38

VI. 결 론 44

[참고문헌] 46

ABSTRACT

Detection of Facial region and Pupil using color model

Jeoung, You-sun
Advisor : Prof. Ra, Sang-dong, Ph. D.
Department of Computer Engineering,
Graduate School of Chosun University

There have been many interests about real-time face detections in the pattern recognition. The face detection based on skin color model has been actively researched to detect the face quickly. But most of the skin color models are the single channel models to eliminate the light source or the adaptive models to reduce the features of color channels.

The goal of this paper is to propose a multi-channel skin color model, in which Hue, Cb, Cg colors are used to remove light source and Red, Blue, Green colors to detect the face color effectively. For this purpose, we develop a robust pupil detector to facilitate the detection using active illumination which take account of the retro-reflectivity property of eyes.

The location of the pupil candidates are found and computed. Then the candidates are filtered and grouped into pairs that correspond to face region with heuristic rules. For robustness of the face detection technique, we develop a dual mode face tracker to initialize with the most salient face region. Also, a region restricting technique is used to detect eyes region and

then the gray-level threshold algorithm in the detected region to confirm it.

I. 서 론

컴퓨터를 통해 개인의 고유한 생체 특징을 인식하고 분석하여 정보를 보호하고, 신분을 확인하는 생체 인식, 그 중에서도 다른 생체에 비해 비 접촉성으로 거부감이 덜하며 대상자의 특별한 주의 없이 데이터를 획득할 수 있는 장점으로 인하여 얼굴 인식과 얼굴 요소 검출[1,2]에 대한 관심도가 증가하고 있다. 얼굴 영역 및 동공 검출 멀티미디어 기술의 비약적인 발전과 개인 인증 서비스 확대가 요구됨에 따라 사용자의 얼굴 및 표정 인식을 통한 사용자 맞춤의 친밀한 서비스를 제공하고자[2,3] 본 논문에서는 얼굴 영역 및 특징점 추출등을 입력된 영상으로부터 얼굴 부위를 정확히 추출하고 눈, 코, 입과 같은 얼굴의 특징을 획득하는 연구를 한다.

초기의 얼굴영역 검출 및 인식 연구는 입력 영상이 항상 같은 얼굴을 포함하는 경우 혹은 단일 색조의 배경[4]이 존재하는 경우와 같이 얼굴 영역이 추출되기 알맞은 상태라고 가정한 후 수행한다. 그러나 실제로 시스템을 구현했을 경우 배경, 조명 상태, 얼굴과 카메라의 거리, 얼굴의 상하좌우 각도, 카메라 시야 내에서 얼굴 위치 등의 변수를 시스템에 부합되게 조정하는 것은 어려운 문제이다. 컬러영상으로부터 외부 조명의 영향을 배제하기 위하여 RGB 영상을 명암도와 색도 부분으로 나눌 수 있는 색상 공간으로 변환하는 방법을 많이 이용한다. 얼굴 영역을 검출할 때는 여기서 분리된 색도를 이용하게 되는데, 이렇게 색도를 분리하기 쉬운 모델[4,5,6]로 TSL, NCC, HSV, YIQ 등을 제시한다.

컬러모델 사용에 있어 Yang과 Huang은 원 영상의 해상도를 줄이면서 나타나는 눈, 코, 입 부분의 명암 특징을 이용하여 얼굴 영역을 추출하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 해상도가 변화된 영상을 모자이크 영상이라고 부르고, 모자이크 영상을 이용한 템플릿 매칭 방법[5]으로 얼굴을 추출한다. Yang은 색상 영상에서 정확한 얼굴 영역을 추출하기 위해서 정규화된 RGB영상[6]을 사용한다. 정규화 과정을 거친 색상 값은 0에서 1사이의 값에 모두 분포하게 되고, 얼

굴 영역과 관련된 색은 대부분 R과 G값에 분포하므로 두 가지 색상 정보를 이용한다. 그러나 평활화된 RGB영상은 사람들마다의 다양한 피부색의 임계값을 찾는데 어려움이 있고, 조명에 따라 실험의 결과값이 영향을 받는다는 단점을 내포하고 있다. 또 Sobottka와 Pitas는 HSI색상 모델[7]을 이용하여 임계값 범위의 색상들의 분포를 조사하였으며, 타원형이 생성되는 부분을 얼굴 영역으로 판단하고, 색상 값들의 히스토그램을 통해 얼굴의 특징 영역을 획득한다. 영상에서 얻을 수 있는 정보 중 빠르고 쉽게 얻을 수 있는 정보 중 색상 정보는 어떤 사물을 판단함에 있어 효율적이고 컴퓨터의 계산량을 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다.

영상에서 색상 정보를 이용할 경우, 조명의 종류, 카메라의 초점 등 다른 여러 가지 외부 조건에 따라 결과에 영향을 미치게 된다. 특히 피부의 경우는 조명에 상당한 영향을 받기 때문에 정확한 검출이 어려울 뿐만 아니라 일괄적인 외부 조건을 설정했다 하더라도 피부색과 유사한 색을 갖는 다른 물질이 있을 경우 잘못 판단하는 경우가 발생한다.

본 논문에서는 이상에서 언급된 제한조건 가운데 외부 조명의 영향에 효과적으로 대응하면서 얼굴 대상 영역을 추출하고, 추출된 얼굴 대상 영역으로부터 동적 윤곽선 모델을 이용하여 특성 정보를 효과적으로 추출하는 검출 기법을 제시한다. 제안된 얼굴영역 및 얼굴 특성 추출 방법은 컬러 영상으로부터 얼굴 영역 및 입과 눈에 해당하는 부분을 영상의 컬러정보를 이용하여 검출한 후 가변 모델인 동적 윤곽선 모델을 이용하여 얼굴 및 얼굴 특징 부분의 정확한 윤곽선을 추출한다. 얼굴영역 및 특징의 검출은 광도를 분리할 수 있는 YCbCr색상모델을 이용한다. 사용된 YCbCr모델은 RGB색상 영상의 밝기 값 보정을 통하여 외부 조명의 영향을 줄여주는 전처리 과정을 거친 보정된 RGB영상을 변환시킨 YCbCr색상모델을 생성하여 얼굴 및 얼굴의 특징 영역을 찾아내는데 사용한다. 정확한 얼굴 및 특징 영역의 최적화된 윤곽선을 추출하기 위하여 동적 윤곽선 모델 알고리즘을 이용하며, 이때 윤곽선 모델의 초기 경계 값을 지정해

야 하는 문제는 색상모델에 의해서 추출된 얼굴 및 특징 후보 영역을 초기 위치로 자동 지정하여 해결한다.

눈동자 candidates를 찾기 위한 능동적인 조명기술을 사용하고, 얼굴 검출 시 빛의 세기에 덜 민감하며, 비슷한 색상도 효과적으로 검출할 수 있는 컬러 모델로 주어진 영상의 컬러 정보를 충분히 활용한다. 또 빛의 정보에 민감한 컬러 정보에서 빛의 정보를 제거하여 빛으로 발생할 수 있는 오류를 최대한 줄이고, 얼굴과 유사한 색상의 구분을 위해 다중 채널에 기반한 컬러 모델을 각각 Red, Blue, Green 채널로 모델링하여 단일 채널을 사용한다. 영역검출은 영상 분할 기법을 적용해 영역 정보로 나누고, 동영상 환경 하에서 나올 수 있는 이전 정보인 차영상을 이용해 검출된 얼굴 영역에 대한 얼굴 특징점이 가질 수 있는 컬러 특성을 활용하여 눈영역 검출을 보인다.

제안된 시스템의 실행 결과를 통해 기존의 방법보다 외부 조명의 변화에 민감하지 않으면서 효과적으로 얼굴과 얼굴의 특징 영역을 찾는다.

Ⅱ. 얼굴영역검출

2.1 기존의 검출 방법

얼굴 영역 검출은 다양한 분야에서 응용이 가능하다. 대표적으로 얼굴 영역 추적(face tracking)[14], 얼굴 특징점 추적(face feature tracking)[15], 얼굴 인식(face recognition), 응시 위치 추적(gaze tracking)[16] 등에서 선행되어야 할 연구 분야이며, 특히, 최근 실시간 검출에 대한 관심 증대로 인해 컬러를 통한 얼굴 영역 검출에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

얼굴 영역 추출을 위한 기존의 연구는 계층적 지식기반 방법을 이용한 연구[17], 주성분 분석(Principal Component Analysis)을 이용한 연구[18], 신경망을 이용한 연구[19], 허프변환(Hough Transform)을 이용한 연구[20], 스네이크(Snakes: Active Contour Model)를 이용한 연구[21] 등이 있다.

계층적 지식 기반 방법을 이용한 연구는 하향식 접근의 얼굴 영역 검출 방법으로 시스템은 입력 영상에 대해 nxn 픽셀로 구성된 다양한 크기의 셀을 갖는 모자이크 영상들을 구한 후 생성된 규칙에 의해 얼굴 모양의 패턴을 찾아낸다. 상위 계층의 규칙은 얼굴 모양에 대한 일반적인 규칙을 생성하고, 하위 계층으로 내려갈수록 모자이크 영상의 크기를 바꾸어가며 더욱 자세한 얼굴 규칙을 생성한다. 하지만 얼굴 패턴을 정의할 수 있는 일반적인 규칙을 만들기가 어렵다. 주성분 분석(Principal Component Analysis)을 이용한 연구는 얼굴 영역을 추출하기 위하여 복잡한 얼굴패턴을 몇개의 주성분(Principal Component) 값으로 표현하여 고유 얼굴 형판을 생성하고, 이를 통해 주어진 영상에서 유사도에 의한 얼굴 가능성을 구한다. 주성분 분석 방법은 비교적 복잡한 배경에서도 효과적으로 얼굴 영역을 검출하나, 영상의 위치와 조명 변화에 민감한 단점이 있다.

신경망을 이용한 연구는 모자이크 얼굴 영상을 다중 계층 신경망에 학습시켜 얼굴과 얼굴이 아닌 패턴으로 구분하는 방법으로, 다양한 크기의 얼굴 영역 검

출을 위해 입력 얼굴 영상을 일정한 크기로 정규화 시켰다. 그러나 신경망을 이용한 연구는 다양한 크기의 모자이크 영상을 만들어야 하는 문제가 있다.

허프 변환(Hough Transform)을 이용한 연구는 입력 영상에 허프 변환을 적용해 기울기 연산자에 의해 제공되는 방향 정보와 기울기의 크기 정보를 사용하여 경계선을 찾은 후, 볼 선과 턱 선을 구하여 얼굴 영역을 추출할 수 있으나 복잡한 배경을 갖는 영상과 다양한 조명 조건에서는 에지 변화가 심하므로 적용하기 어려운 한계가 있다.

스네이크(Snakes)를 이용한 연구는 스네이크(Snakes)라는 에너지 함수를 정의하여 외부의 제한적 힘에 의해 이끌어지는 에너지가 최소화되는 방향으로 에너지 제어점을 이동시켜 지역적으로 최소가 되는 해의 집합을 구하는 방법으로 경계선 부근을 정확하게 검출하는 특성이 있으나 초기 윤곽선(Initial Contour)에 의해 영향을 많이 받으며, 시간이 오래 걸린다.

2.2 얼굴 특징점 추출

얼굴 인식[8,9]이란 크게 얼굴 영역 검출, 얼굴 특징점 추출, 얼굴 인식의 세 단계로 구성되며, 얼굴 영역 검출은 임의의 정지영상 혹은 동영상으로부터 사람의 얼굴에 해당하는 영역의 존재 여부를 판단하여 존재하면 해당하는 얼굴 영역과 위치를 정확히 추출해내는 것이다. 얼굴 특징점 추출은 얼굴 영역에서 눈, 코, 입 등의 영역 또는 시공간 정보를 추출해 내는 단계이며, 얼굴 인식은 추출된 얼굴 특징점 정보에 대해 패턴 매칭(Pattern Matching), 유사성 탐지, 영상 변환 등의 알고리즘을 수행하여 실제 얼굴을 인식, 분류하는 단계이다.

얼굴 인식 기술의 전단계라 할 수 있는 얼굴 영역 검출과 얼굴 특징점 추출은 배경과 영상에서 얼굴이 차지하는 크기와 방향 등에 제약을 가지고 있으므로, 얼굴에 대한 인식률을 높이기 위해서는 무엇보다도 첫번째 과정인 얼굴 영역 검출이 효과적으로 이루어져야 한다.

얼굴 영상 인식에 대한 연구는 여러 응용 분야를 통해 연구되어 왔으며, 접

근 방식에 따라 하향식 접근(Top-down Approach) 모델 방식과 상향식 접근(Bottom-up Approach) 모델 방식으로 구분할 수 있으며, 분석 요소에 따라 정지 영상을 이용하는 방법과 동영상을 이용하는 방법으로 구분할 수 있다.

상향식 접근 방식은 얼굴과 얼굴 특징점 사이의 구조적 특성을 이용한 얼굴 영역 검출 방식으로 얼굴의 특징점은 코를 기준으로 양쪽이 대칭을 이룬다는 관계에 기초하여 얼굴 규칙을 만들며, 이 얼굴 특징점 규칙에 맞게 얼굴 영역을 추출한다. 이러한 방식의 장점으로는 알맞은 얼굴 규칙 하에서는 강인한 얼굴 추출을 할 수 있다. 그러나 얼굴 특징점 요소 규칙을 생성하기가 어렵고, 모든 얼굴 포즈에 따라 각각 다른 특징점 규칙을 생성해야 하므로 얼굴 영역을 선택하는데 많은 어려움이 따른다.

하향식 접근 방식은 인간은 얼굴의 위치, 포즈, 빛의 반사 등에 관계없이 대략적인 얼굴을 인식하므로 상향식 접근방식과 반대로 해당하는 얼굴 영역을 검출하고, 얼굴영역 내의 특징점을 추출한다. 이러한 방식은 무엇보다 분석이 용이하고, 다른 얼굴 포즈에 있어서도 대략적인 얼굴 후보 영역을 검출해 낼 수 있지만 조명, 잡음 등의 영향이 크면 검출이 제대로 이루어지지 않고, 잘못된 추출 결과를 보일 수 있다.

최근에는 실시간 얼굴 인식에 대한 요구로 처리 시간이 빠르면서 정확한 얼굴영역 검출을 위해 값의 범위가 정규화 되어 분석이 용이한 컬러 정보가 이용되고 있으며, 영상 처리에서 많이 쓰이고 있다.

특히 스킨컬러의 경우 인공적인 물체와 대체로 구분되어 컬러 모델링[13]을 통한 물체 검출 분야에 적합하다. 그러나 컬러 정보는 빛의 세기와 방향에 매우 민감하여 얼굴색과 비슷한 색이 있을 경우, 제대로 검출하지 못하는 한계가 있으므로 얼굴 영역 검출에서는 알맞은 컬러 모델을 선정하는 것이 중요하다.

2.3 컬러를 이용한 얼굴영역 검출 방법

컬러를 이용한 기존의 얼굴 영역 검출에 대한 연구는 여러 컬러 모델에서 적

용 되어져 왔다. RGB컬러 모델을 Saturation, Tint, Value로 이루어지는 STV 컬러 모델[22]로 변환하고 S와 T에 기반한 피부색에 대한 히스토그램을 작성하여 얼굴색 범위 설정을 통해 얼굴 영역을 검출하고, 불변 모멘트를 계산하여 이를 신경망에 적용시켜 최종적인 얼굴 특징점을 추출한다.

복잡한 배경으로부터 얼굴을 검출하기 위해 주어진 RGB 컬러 모델을 YIQ컬러 모델[23]로 변환하여 I요소 값의 범위 설정을 통해 얼굴 후보 영역을 추출하고, 추출된 영상으로부터 2차 확률 밀도함수에 근거한 SGLD(Space Gray Level Dependence) Matrix를 통해 얼굴-텍스쳐(texture) 모델을 적용하여 최종적인 얼굴 영역을 검출한다.

실시간에서 얼굴을 검출하기 위해 RGB 컬러 정보를 이용했으며[24], 사람의 피부색이 거의 같다는 점에 착안해 RG 요소를 사용하여 2차원 가우시안분포 모델에 기반한 피부색 모델을 개발하였고, 다양한 조명환경에서 적응성을 기르도록 하기 위해 시간이 지남에 따라 변하는 색채 분포도를 누적 통계적인 가중치로 계산한 적응 모델을 개발하였다.

동영상에서 얼굴 표정 인식[25]을 위해 얼굴 영역과 얼굴 표정에 관련하는 효율적인 특성 정보를 추출하기 위해 피부색과 움직임 정보를 이용하였으며, 얼굴색 컬러 정보는 H의 특징 벡터값을 이용한 Q-chroma라고 하는 실내 환경에 맞는 컬러 모델을 제안하여 낮은 색채 값을 보정해준다.

Video Phone영상에서 YCbCr컬러 모델[26]의 Cb-Cr 2차원 히스토그램분포에 기반한 모델을 개발하여, 복잡한 배경으로부터 얼굴 후보 영역을 분리해냈으며, 분리된 영역에 대해 Region-Grow기법과 타원 템플릿 매칭을 통해 얼굴 영역을 검출한다. 분할 기법[27]을 적용한 영상에 대해 HSV 컬러 모델에서 H, S, V가 나타내는 피부색 영역의 히스토그램을 측정하고, 이를 기반으로 Median Filtering, Region Filling/Removal, Morphological 연산을 차례로 적용하여 분할된 영역을 재 정의한 후 퍼지 집합을 사용하여 얼굴 영역을 검출한다.

Ⅲ. 다채널 피부색 모델 설계

컬러는 밝기 변화에 매우 민감하다. 따라서 피부색 모델[28]은 밝기 변화를 제거하기 위해 RGB컬러로부터 색상 정보와 밝기 정보를 분리하여 피부색에 해당하는 색상 정보만을 가지고 모델링한다. 기존에 사용되었던 모델들은 밝기 정보를 제거한 단일 채널이거나 밝기 정보가 남아 있는 적응성 모델 또는 임계값을 동적으로 갱신해 주는 모델 등이 대부분이다.

따라서 본 장에서는 색상 정보와 밝기 정보를 분리하여, 피부색 특성에 따른 RGB 성분을 적극적으로 활용하는 다채널 피부색 모델에 대해 설명한다.

3.1 스킨 컬러 공간의 특징

컬러를 이용한 얼굴 검출은 대체적으로 얼굴에 적색 성분이 많다는 특성을 활용하여 피부색에 해당하는 컬러 범위를 많은 사람들의 얼굴 영상 샘플로부터 구한 후 입력 영상에서 각 화소들이 범위에 해당하는지의 여부를 판단하여 얼굴을 검출한다. 컬러란 색채(hue), 채도(saturation), 밝기(brightness)의 성분[29,30]을 양적으로 구체화시킬 수 있는 시각적인 반응의 속성으로 정의할 수 있다. 즉, 빛이 어떠한 여러 물체들로부터 반사되거나 또는 전달되어진 시각적으로 확인 가능한 빛 파장의 결과로 400nm에서 700nm사이 영역에 존재한다. 컬러는 각기 응용에 맞는 특성에 따라 여러 컬러 모델로 변환되어질 수 있다.

현재 쓰이는 대표적인 컬러 좌표계로는 RGB, HSI, YIQ, YCbCr 등이 있으며, 피부색 검출을 위해 실내 환경에 맞게 개선된 modified-HSV가 있다.

① RGB

가장 많이 쓰이는 컬러 좌표계로 Red, Green, Blue로 하나의 색을 표현한다. 그러나 색채 정보와 빛 정보가 분리되어 있지 않아 조명 변화에 민감하여 정확한 연산을 수행하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 많은 경우 조명의 변화를 줄이는 정규화 과정을 거쳐 픽셀 당 조명 편차를 없앤다.

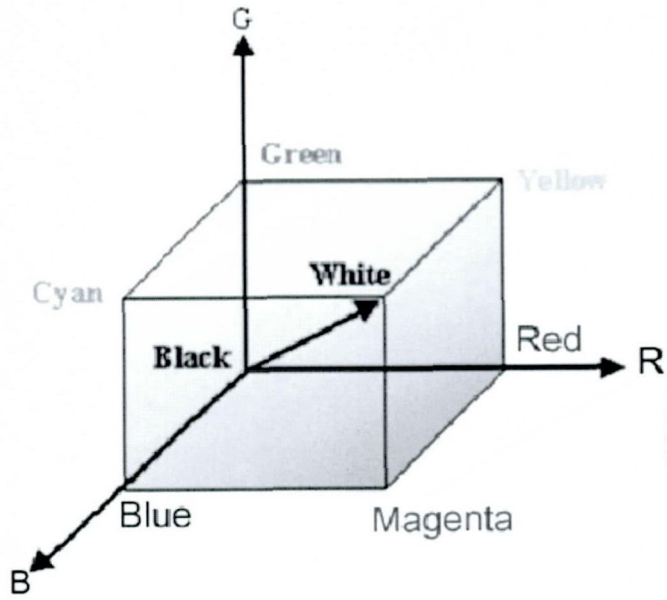


그림 3. 1 RGB 컬러 모델

Fig. 3. 1 RGB Color Cube

② YIQ

색채요소와 명암요소가 분리되며, Y (Luminosity: 흑백 디스플레이 장치 상에 두개의 다른 색들을 구별), I (In-Phase: 오렌지(orange)-청록(cyan) 색상 정보로 구성), Q (Quadrature: 초록(green)-자홍(magenta) 색상 정보로 구성)[31]로 TV 전송 시에 사용되는 컬러 좌표계이다. 식(1)에 의해 I성분은 -152(R=0, G=255, B=255)에서 152(R=255, G=0, B=0)로 변환된다. 따라서 I는 값이 커질수록 RGB 좌표계에서 R성분을 많이 포함하고, G와 B성분은 조금 포함하며, 반대로 작아질수록 R성분을 적게 포함하고, G와 B성분은 많이 포함한다. I성분의 조절을 통해 피부색을 위한 적색 성분 분포 임계치 설정을 통해 얼굴 영역을 검출할 수 있으며, YIQ컬러 변환은 식(1)과 같다.

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2989 & 0.5866 & 0.1144 \\ 0.2113 & -0.2741 & -0.3218 \\ 0.2113 & -0.5227 & 0.3113 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

③ YCbCr

YIQ와 마찬가지로 색채요소와 명암요소를 분리[32]하였으며, Cb과 Cr는 각각 청색과 적색 성분을 나타내는 채널이다. 식(2)에 의해 RGB로부터 변환이 이루어지며, 표 1의 권고안의 계수와 식(2)에 따라 각각의 변환 계수 값이 식(3)과 같이 결정된다.

$$\begin{pmatrix} Y \\ C_r \\ C_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2989 & 0.5866 & 0.1144 \\ 0.5000 & -0.4184 & -0.0816 \\ -0.1688 & -0.3312 & 0.5000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Y &= Coef.R*R + Coef.G*G + Coef.B*B \\ C_r &= (R - Y)/(2 - 2*Coef.R) \\ C_b &= (B - Y)/(2 - 2*Coef.B) \end{aligned} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

표1 YCbCr 권고안

	Red 계수(Coef.R)	Green 계수(Coef.G)	Blue 계수(Coef.B)
601-1	0.2989	0.5866	0.1144
709	0.2126	0.7152	0.0722
ITU	0.2220	0.7067	0.0713

그림 3.2는 원 영상으로부터 여러 컬러 모델의 적색 성분을 나타내는 채널들의 결과를 보인 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 피부색의 적색 성분은 다른 부분과 대체적으로 명확히 구분되어진다.

(a) 원영상

(b) H 성분 영상

(c) I 성분 영상

(d) Cr성분 영상

그림 3. 2 적색 컬러 성분 영상

Fig. 3. 2 The Red color Element Image

(a) 원영상

(b) I 성분 영상

(c) 원영상에 I 성분 피부색 임계치를 적용한 결과

그림 3. 3 적색 컬러 성분을 이용한 피부색 영역 구분

Fig. 3. 3 The Skin Color Region Division Using Red Color Element

그러나 그림 3.3과 같이 영상 내에 피부색과 비슷한 색이 있을 경우 적색 성분의 임계치 범위만으로 구분하기 어렵다. 또한, 피부색의 적색 영역이 적색 성분의 임계치 밖에 존재할 경우 검출 정확도가 적색 성분의 값에 좌우된다. 따라서 대략적으로 적색 영역을 구하고, 피부색 내에 청색 및 녹색 성분이 차지하는 영역이 상대적으로 좁은 곳에 집중해 있다는 특성을 이용하여 피부색을 구분하는데 활용한다. 즉, 피부색 내에 존재하는 청색, 녹색 영역의 범위를 선택해 줌으로써 얼굴 영역을 검출하는데 활용할 수 있다.

3.2 다채널 성분 모델링

디지털 컬러 영상은 Red, Blue, Green의 세 가지 채널로 이루어진다. 따라서 디지털 컬러 영상의 임의의 픽셀은 Red, Blue, Green의 세 가지 채널 값을 모두 갖고 있으며, 피부색 또한 세 가지 채널 성분으로 모델링 할 수 있다.

피부색을 나타내는 Red, Blue, Green채널 성분은 임의의 구간에 집중적으로 분포되어 있고, 디지털 컬러 영상에서 얼굴 영역을 검출해 내는 데 활용할 수 있다. 즉, 피부색을 나타내는 Red채널 뿐만 아니라 Blue와 Green채널을 활용하여 Red채널의 단일 채널 사용 시 발생하는 Red성분과 유사한 영역에 대해 제대로 구분해 내지 못하는 한계를 보완한다.

본 논문에서는 빛의 정보를 제거한 컬러 채널 정보에서 각각의 Red, Blue, Green성분을 나타내는 채널 성분을 각각 모델링하여 각 채널이 가지는 피부색 특성을 활용하였으며, 동공검출은 눈의 역 반사 특성을 이용해 동공후보 영역을 계산해 얼굴 영역 검출 시 검출 효과를 높일 수 있도록 했다.

제안한 컬러 모델의 Red컬러 채널 성분은 HSI컬러 좌표계에서 밝기 성분을 효과적으로 제거할 수 있는 Hue성분을 쓴다. Hue성분은 영상에서 적색을 전체적으로 표현할 수 있으며, 적색 계열이 차지하는 부분은 0~ 120°로 표현된다. 따라서 영상 내에서 대략적으로 적색 성분을 찾음으로써 피부색의 1차 후보 영역을 결정한다.

Blue컬러 채널 성분은 YCbCr컬러 좌표계의 Blue성분을 나타내는 Cb성분을 이용하였다. Cb성분은 식(4)에 의해 변환되며, -128에서 128까지의 값을 갖는다. Cb성분은 얼굴 컬러 분포에 있어서 다른 부분보다 좁은 범위를 나타내어 얼굴 영역 검출 시 다른 부분과의 구분에 있어서 효과적으로 구분할 수 있다.

Green컬러 채널 성분은 YCbCr컬러 좌표계에서 Green성분의 값을 표1의 권고안 601-1 에 따라 Green계수에 의해 식(5)와 같이 Cg값으로 계산한다. Cg성분 역시 -128에서 128까지의 값을 가지며, 얼굴 컬러 분포에 있어서 다른 부분보다 좁은 범위를 나타내고, 얼굴색과 비슷한 황색 계열의 색들은 Cg성분의 조절을 통해 가능하다.

$$C_b = -0.1688R - 0.3312G + 0.5000B \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4)$$

$$C_g = -0.3615R + 0.5000G - 0.1385B \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5)$$

3.3 가우시안 스킨컬러 확률 밀도 모델

가우시안(Gaussian)이란, 기호 G. 즉 자기 유도의 단위를 말하며, 가우시안이란 단어 자체에 어떤 뜻을 내포하고 있다라기 보다 Gauss의 이론중 하나에 근간을 둔 것으로 스킨컬러 확률 밀도 모델이다.

그림 3.4에서 보는 바와 같이 Cb와 Cg채널에서 피부색은 일정 영역에 좁게 분포되어 있다. 동일한 조명 환경 하에서 컬러 정보에 기반 한 피부색의 분포는 일정하다고 할 수 있다.

그림 3.5는 얼굴 피부색에 해당하는 영역을 눈아래 입위 영역으로 Sampling한 피부색 영역의 예이다. 그림 3.6은 선택된 Sampling영역을 Cb와 Cg로 이루어지는 히스토그램으로 나타낸 것이다. 히스토그램에서 보는 바와 같이 빛의 정보가 제거된 피부색의 색채 정보는 전체 컬러 채널의 일정 영역에서 좁은 분포를 이루고 있음을 알 수 있다.

그런데 임의의 픽셀 컬러 값에 대한 피부색 구분 시 해당하는 영역이 피부색 범위 내에 속하는 지를 판단할 때, 단순한 피부색 범위를 주어 구분하는 것 보다 확률 분포에 근거한 확률 밀도 값에 따라 구분을 하면 구분 정확성을 높일 수 있으며, 임계치 구간 정의가 확률 분포로 보다 명확하게 표현될 수 있으므로 그에 따른 피부색 모델링을 효과적으로 할 수 있다. 주어진 피부색 모델을 Cb와 Cg로 이루어지는 가우시안 모델[33]로 다음과 같이 가정한다.

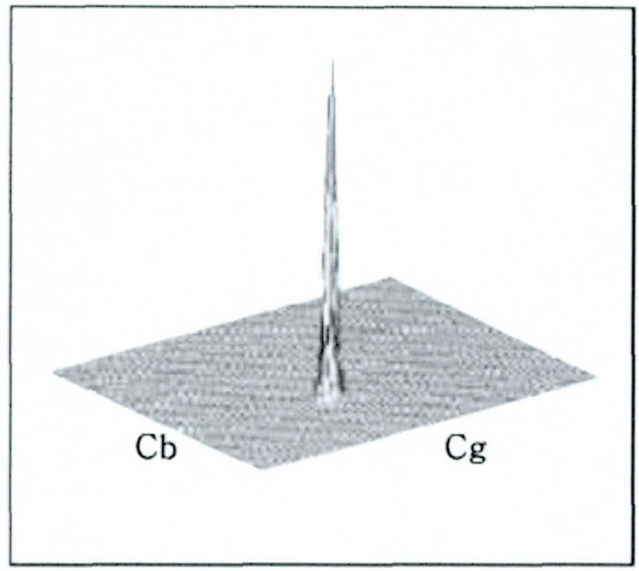


그림 3. 4 Cb - Cg 채널 분포 히스토그램

Fig 3. 4 Cb - Cg Channel Distribution Histogram

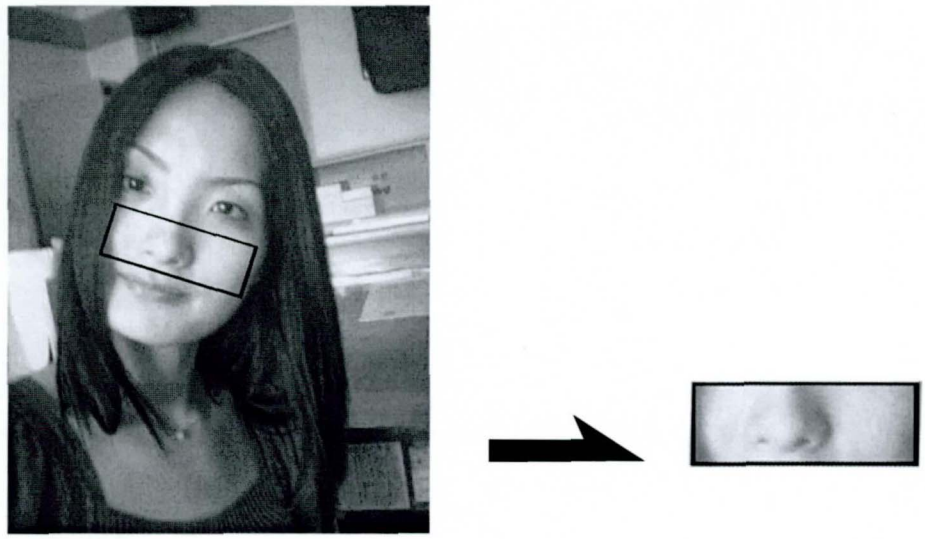


그림 3. 5 얼굴 피부색 Sample 영상

Fig. 3. 5 The Face Skin Color Sample Image

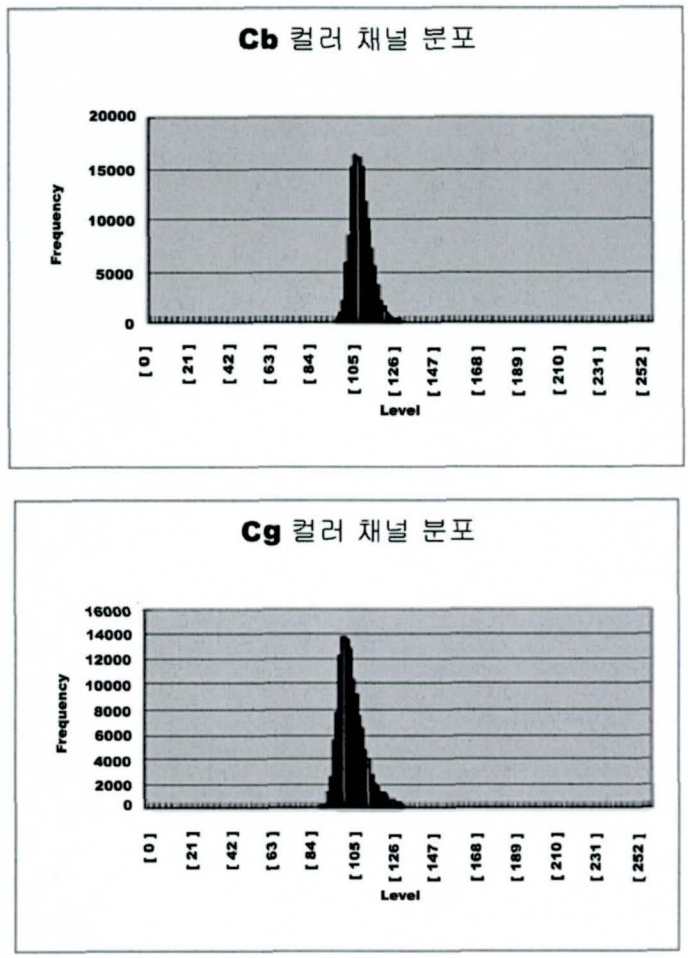


그림 3. 6 Cb-Cg 피부색 히스토그램

Fig. 3. 6 The Cb-Cg Skin Color Histogram

임의의 픽셀 pi 에 대한 Cb와 Cg의 컬러 벡터 값과 Cb와 Cg의 컬러 벡터 값의 평균을 각각 X와 μx라고 정의했을 때, 벡터 값으로부터 얻어지는 공분산 행렬 Cx는 식 (6)과 같이 계산된다.

$$X=\begin{pmatrix} X_{cb} \\ x_{cg} \end{pmatrix}, \qquad \mu_x=\begin{pmatrix} \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} X_{cbk} \\ \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} X_{cgk} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \mu_{cb} \\ \mu_{cg} \end{pmatrix} \quad \text{.....(6)}$$

$$C_x=E\begin{pmatrix} (X_{cb}-\mu_{cb})^2 & (X_{cb}-\mu_{cb})(X_{cg}-\mu_{cg}) \\ (X_{cg}-\mu_{cg})(X_{cb}-\mu_{cb}) & (X_{cg}-\mu_{cg})^2 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \sigma_{cbcb} & \sigma_{cbcg} \\ \sigma_{cgcb} & \sigma_{cgcg} \end{pmatrix}$$

이 때 평균 벡터가 μ_x이고, 공분산 행렬이 C_x일 때, 임의의 픽셀 p_i에 대한 확률 밀도 계산은 식 (7)과 같다.

$$Pdf(p_i=x|\mu_x,C_x)=\frac{\exp-\frac{1}{2}(p_i-\mu_x)^T C_x^{-1}(p_i-\mu_x)}{(2\pi)^{\frac{k}{2}}\cdot|C_x|^{\frac{1}{2}}} \quad \text{.....(7)}$$

(k=number of color channel)

임의의 픽셀들의 집합으로 표현되는 영역 R에 대해 영상 I에서 다음과 같이 정의될 때 식(8)과 같다.

$$R_k(a,b)=(x,y)|x,y\in \mathrm{I}\ ,\ R_k\subset I \quad \text{.....(8)}$$

$(0\leq x\leq \text{column},\ 0\leq y\leq \text{row})$

영역 R에 대한 확률 밀도는 영역 내에 속해있는 픽셀들의 확률 밀도의 평균으로 계산된다. 또한 전체 확률 밀도의 최대값은 평균에서 식(9)의 확률 밀도 값이 된다.

$$Pdf(R)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Pdf(p_i),\ \ Max(Pdf(R))=Pdf(\mu) \quad \text{.....(9)}$$

피부색 확률 밀도 모델을 생성하는 전체적인 과정은 다음과 같다.

[1 단계] 식(7) - 전체 얼굴 영상 집합의 각각의 얼굴 영상에서 피부색에 해당하는 영역을 샘플링한다.

[2 단계] 식(6) - 샘플링 된 영역에 대하여 해당하는 컬러 채널의 평균 벡터와 공분산 벡터를 구한다.

[3 단계] 식(7) - 계산된 평균 벡터와 공분산 벡터를 이용하여, 임의의 픽셀에서 확률 밀도값을 구한다.

Ⅳ 얼굴 영역 및 동공 검출 시스템

4.1 얼굴영역 검출

영상에서 얼굴 영역 검출은 그림 4.1처럼 영상을 일정한 크기 또는 영상 분할정보 등의 영역 및 지역 정보를 활용하여 검출한다. 본 논문의 얼굴 영역 검출은 크게 2가지 방법으로 나뉜다. 첫번째 방법은 영상을 전체적으로 일정한 크기의 고정 영역으로 분할하여 분할된 영역 내에 존재하는 피부색의 분포를 구한다. 두번째 방법은 영상을 Region-Grow기법에 기반한 영상 분할 기법을 적용시켜 영상을 나누고, 분할된 영역에 따라 존재하는 피부색의 분포를 구한다.

영상의 지역 정보를 활용할 때 장점은 무엇보다 영상 전체에 대한 얼굴 검출 정확성을 높이는 데 있다. 즉, 전체 영상 단위로 피부색 검출을 할 경우 단순 임계값에 의존하여 피부색 영역이 검출되므로, 피부색이 아닌 영역이 피부색으로 구분되거나, 또는 피부색인데 피부색이 아닌 영역으로 구분될 수 있다. 따라서 영상 정보를 작은 블록 단위나 영상 분할 기법을 사용하여 분할한 영역 단위로 나누어 피부색 구분을 시도할 경우, 이러한 문제점들은 어느 정도 해결된다. 영상 분할기법을 적용하여 피부색 구분을 할 경우, 다채널 피부색 채널 생성 시 사용하지 않은 영상의 밝기 정보를 사용하게 되는 것으로 영상 내에 있는 정보의 활용도를 충분히 높일 수 있다.

3차원 물체를 2차원 영상 평면에 투영했을 때, 비록 물체의 깊이 정보는 상실하지만, 물체의 모양 정보는 그림 4.2처럼 밝기 값으로 보존된다. 따라서 Region-grow 기법에 기반한 영상 분할 기법[34,35]을 적용함으로써 컬러 채널 분리 시에 사용하지 않은 밝기 성분을 사용하고, 모양에 기반한 피부색 구분을 시도함으로써 얼굴 검출의 정확성을 높인다.

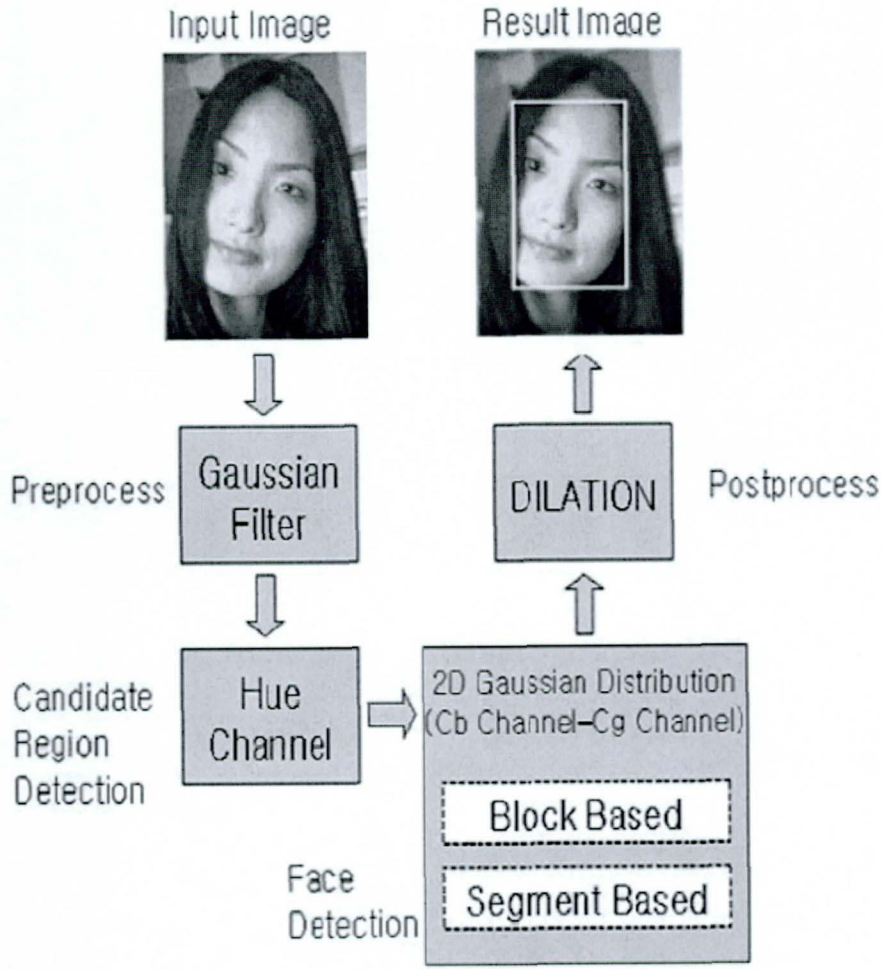


그림 4. 1 얼굴 영역 검출 과정

Fig 4. 1 The Face Region Detection Process

그림 4.3과 같이 영상의 분할은 영상 처리에서 주로 쓰이는 분할 기법에 하나인 Region-Grow 기법을 사용하여 분할한다.

여기에서 *TotalRegion*은 분할 영역의 수를 나타내고 *OutImage*실험 결과 나타난 영상을 나타낸다. 이 때 *Xc*는 영역에 할당된 픽셀에 대한 버퍼, *Br*은 경계선 정보를 가지고 있는 버퍼를 보여준다. *GrayImage*는 회색 영상 즉, 빛 정보를 가지고 있는 Gray(회색) 영상을 말한다. 또한 *not_labelled* 아직 Labelling 되지 않은 픽셀의 개수를 말하며, *not_assign* 어떤 영역에도 할당되지 않은 픽셀의 개수를 나타낸다.

그림 4.4와 같이 영상 분할 기법 기반 얼굴 영역 검출은 모양에 기반하여 분할을 하므로 물체의 모양 정보는 유지할 수 있으나, 분할 기법 성능에 매우 의존적이다. 영상 분할시의 분할 영역 수에 따른 분할 결과와 얼굴 영역 검출 결과이다.

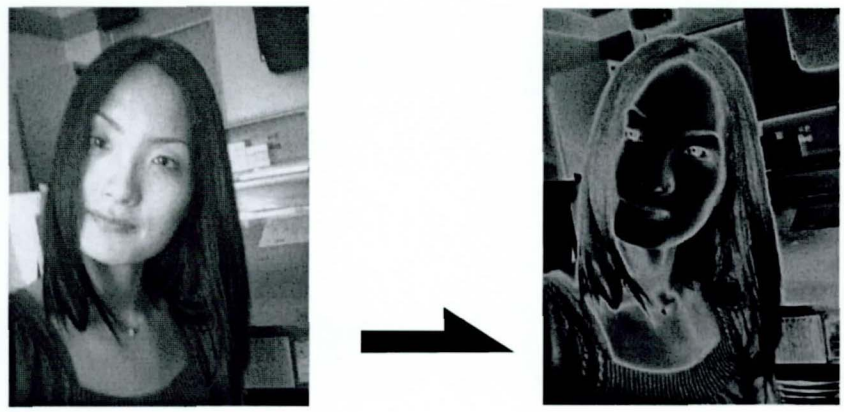


그림 4. 2 분할된 영상 정보

Fig. 4. 2 The Information Image of Division

```
Procedure Region_Grow_Algorithm()
    ColNum = Width / Col; RowNum = Height / Row;
    TotalRegion = ColNum * RowNum; OutImage = region_number;
    i = 0;
    for (y=0; y<Height; y++)
        for (x=0; x<Width; x++)
            if (OutImage[y][x] != 0)
                Br[y][x] = OutImage[y][x];
                Xc[y][x] = 1;
                mean[i] = GrayImage[y][x];
                sum[i] = GrayImage[y][x];
                num_points[i]++;
                i++;
            End if
        End for
    End for
    while (stop != 1)
        times++;
        for (y=1; y<Height-1; y++)
            for (x=1; x<Width-1; x++)
                if (Br[y][x] != 0)
                    for (dy=-1; dy<=1; dy++)
                        for (dx=-1; dx<=1; dx++)
                            if ((Xc[y+dy][x+dx] != 1) && (abs(GrayImage[y+dy][x+dx]
                            - mean[Br[y][x]-1]) <= THRESHOLD))
                            OutImage[y+dy][x+dx] = Br[y][x]; num_points[Br[y][x]-1]++;
                            sum[Br[y][x]-1] = sum[Br[y][x]-1] +
GrayImage[y+dy][x+dx];
                            Xc[y+dy][x+dx] = 1; Xc[y][x] = 1;
                            Br[y+dy][x+dx] = Br[y][x]; Br[y][x] = 0;
                        End if
                    End for
                End for
            End if
        End for
    End for
        not_assign = not_labelled;
        not_labelled = 0;
        for (y=1; y<Height; y++)
            for (x=1; x<Width; x++)
                not_labelled += abs(Xc[y][x] - 1);
            End for
        End for

        if (abs(not_labelled - not_assign) == 0)
            stop = 1;
        End if
    End While

    for (y=0; y<Height; y++)
        for (x=0; x<Width; x++)
            for (i=1; i<TotalRegion; i++)
                if (OutImage[y][x] == i) mean[i-1] = sum[mean[i-1]-1] / num_points;
                Outimage[y][x] = mean[i-1];
                End if
            End for
        End for
    End for
End Procedure
```

그림4. 3 Region-Grow 프로그램

Fig.4. 3 The Region-Grow Program

(a) 영역 수 = 40

(b) 영역 수 = 30

(c) 영역 수 = 20

그림 4. 4 분할 영역 수에 따른 얼굴 영역 검출 결과

Fig 4. 4 The face region detection result by division region number

4.2 동공 검출

그림 4.5는 복합 얼굴검출 시스템의 눈동자 검출을 앞 절에서 검출된 얼굴 영역 내에서 눈을 검출하는 과정이다. 그림 4.6에서 보는 바와 같이 눈은 얼굴 영역 내에서 Gray Level이 다른 부분보다 상대적으로 낮다. 따라서 이러한 눈의 색상적인 특성[36]을 활용하여 눈 영역을 검출하는데 이용한다.

그림 4.7과 같이 검출된 얼굴 영역은 히스토그램 투영과정을 거쳐 최종적인 얼굴 영역을 검출한다. 투영 방법은 각각 수평 방향 투영과 수직 방향 투영으로 이루어지는데, 수평 방향 투영은 결과 영상에서 얼굴 영역인 영역에 대한 픽셀의 개수가 몇 개 인지를 찾음으로써 구할 수 있고, 수직 방향 투영은 결과 영상에서 얼굴 영역인 영역에 대한 픽셀의 개수가 몇 개인지를 찾음으로써 다음 식(10),(11)과 같이 구할 수 있다.

$$Horizontal[i] = \sum_{j=1}^{Width} Bin[i,j] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (10)$$

$$\| ical[j] = \sum_{i=1}^{Height} Bin[i,j] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (11)$$

수평과 수직 방향 투영식에 대해 그림 4.8과 같이 임의의 투영 임계치를 적용하여 최종 얼굴 영역을 구한다. 투영 방법의 장점은 무엇보다 산출된 결과 영상을 보다 간결하게 표현할 수 있다. 여기에서 *total_hor_count*는 피부색에 해당하는 수평 히스토그램 픽셀 수를 나타내고 *total_ver_count*는 피부색에 해당하는 수직 히스토그램 픽셀 수를 나타낸다. 그리고 *Threshold*는 히스토그램 분포 임계치를 말하며 *box_left*는 투영결과 영역의 좌측 좌표, *box_right*는 투영결과 영역의 우측 좌표를 나타내고, *box_up*는 투영결과 영역의 상단 측 좌표를 나타내며 *box_down*는 투영결과 영역의 하단 측 좌표를 나타낸다.

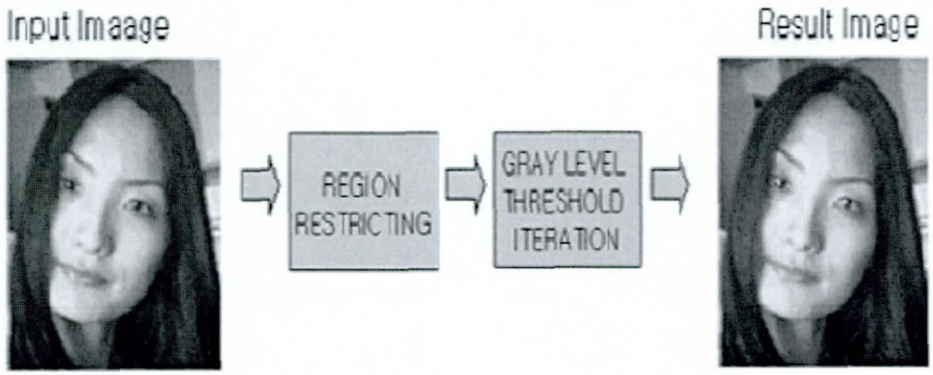


그림 4. 5 눈 영역 검출 과정

Fig. 4. 5 The eye region detection process

(a) 원영상

(b) Gray-Intensity 영상

(c) 이진화 영상

그림 4. 6 눈 영역 검출

Fig. 4. 6 The eyes region detection

그림 4. 7 수평-수직 투영을 통한 최종 얼굴 영역 탐색

Fig. 4. 7 The final face region search through horizontal-vertical reflection

투영 결과 만들어진 얼굴 영역은 눈 영역 검출을 위한 입력으로 사용된다. 눈영역의 효과적인 검출을 위해 얼굴 영상에 대해 전체 눈 탐색 범위를 줄여주는 Region Restricting과정을 거친다.

Region Restricting처리를 마친 얼굴 영상은 Gray Level 값의 임계치를 통해 눈 영역 검출을 시도한다. Gray영상 내에 눈은 대체적으로 다른 피부와 쉽게 구별이 된다. 그러나 Gray Level값이 빛의 영향을 많이 받거나, 영상 내에 눈썹의 Gray Level 이진한 경우, 눈 영역 검출이 제대로 되지 않는다. 이에 따라, 고정된 임의의 임계치를 적용하여 눈 영역 검출을 시도할 경우, 그 만큼 검출 정확도가 떨어진다.

따라서 빛에 의한 효과를 어느 정도 감소시키기 위해 반복 임계값 알고리즘[37]을 수행한다. 알고리즘은 반복적으로 임계값의 범위를 증가 혹은 감소시켜 가며, 한 쌍의 눈이 검출되면 멈춘다.

그림 4.9와 같이 임계값을 적합성이 있도록 하였기 때문에, 이러한 방법은 빛에 의해 영향을 줄이고, 다양한 컬러로 나타내어지는 얼굴 영상에 대해 적응이 가능하므로 축소된 눈 탐색 영역에 대해 반복 임계값 알고리즘을 적용한 결과이다. 그림 4.10은 투영시켜 나온 얼굴 영상과 그에 따른 눈 탐색 윈도우와 검출된 눈 영역을 보인 결과이다.

```
Procedure Projection_Algorithm()
  sum_hor_left =0, sum_hor_right=0, sum_ver_up=0, sum_ver_down = 0;
  for (i=0; i<Height; i++)
     sum_hor_left = sum_hor_left + Horizontal[i];
       if (sum_hor_left > (total_hor_count * Threshold))
          box_left = i;
       End if
       break;
     End for
     for (i=Height-1; i<0; i--)
       sum_hor_right = sum_hor_right + Horizontal[i];
          if (sum_hor_right > (total_hor_count * Threshold)
             box_right = i;
          End if
          break;
     End for
     for (j=0; j<Width; j++)
       sum_ver_up = sum_ver_up + Vertical[j];
          if (sum_ver_up > (total_ver_count * Threshold)
             box_up = j;
          End if
          break;
     End for
     for (j=Width-1; j<0; j--)
       sum_ver_down_sum_ver_down + Vertical[j];
          if (sum_ver_down > (total_ver_count * Threshold)
             box_down = j;
          End if
          break;
       End for
  End Procedure
```

그림 4. 8 수직, 수평 영역 투영 프로그램

Fig. 4. 8 Horizontal, Vertical Region Reflection Program

그림 4. 9 반복 임계값 알고리즘 적용 눈 영역 탐색 (T : Threshold)

Fig. 4. 9 The eye region search adapted the repeated critical-value algorithm

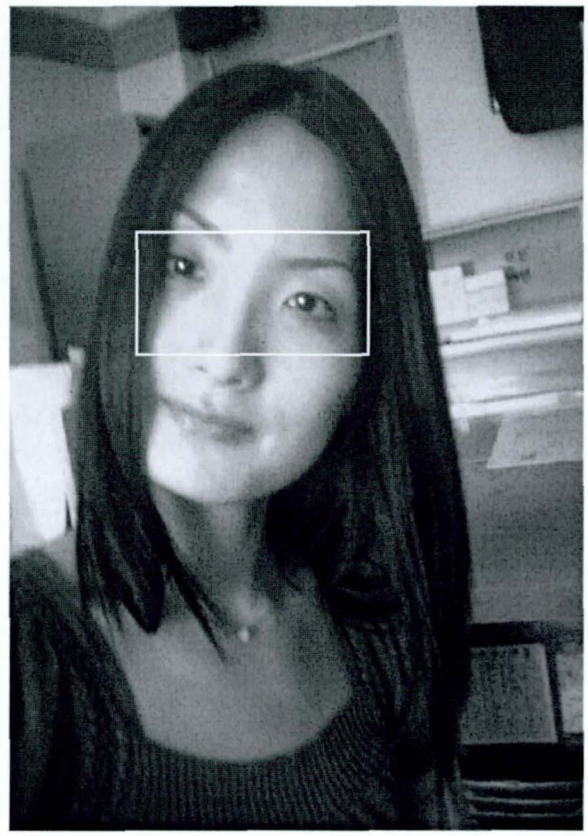


그림 4. 10 눈 영역 검출 결과

Fig. 4. 10 The eyes region detection result

V.시뮬레이션 결과 및 분석

응시 방향을 추정(gaze estimation)하는 대부분의 눈 추적방식에 의해 수행되는 것처럼, 어두움만 사용한 눈동자 검출이거나, 혹은 밝은 눈동자 이미지만으로서는 해결하기가 어렵다. 왜냐하면, 이미지의 다른 영역은 유사한 형태를 갖고 있을 수 있으며 또한 어둡게 나타나거나, 혹은 눈동자처럼 밝게 나타날 수도 있다. 임계치를 이용하여 차별화 된 조명을 사용하는 눈 검출을 위한 기법이 제시되었으며 또한 눈 응시방향 추적에 사용되었다. 본 논문에서 기술된 방식은 눈동자 검출 문제를 위한 좀 더 단순하고 저렴한 기법이다. 이 시스템은 복잡한 특수하게 고안된 하드웨어를 사용하지 않으며, 또한 프레임 속도에서 시점영상의 넓은 영역을 처리할 수 있어서, 몇 미터의 탐색영역이 요구되는 실시간 데스크 탑 및 무인정보 단말기의 응용에서 사용된다.

각기 짝수 및 홀수 영역을 갖고 있는 LIGHT 1및 LIGHT 2를 동기화시키기 위해서 아주 단순한 회로가 개발되었으며, 짝수 영역이 스캔될 때는 LIGHT 1이 켜지고 LIGHT 2가 꺼진다. 또한 홀수 영역이 스캔될 때는 LIGHT 2가 켜지고 LIGHT 1이 꺼지므로 시간 t (F_t)에서 취한 프레임을 위해서, 짝수 프레임(E_t)는 밝은 눈동자 이미지를 포함하며, 또한 홀수 영역(O_t)은 어두운 눈동자 이미지를 포함하게 된다.

눈동자 candidate의 세트의 계산을 위해서 영역이 한번 분리되면, 어두운 눈동자 이미지는 항상 밝은 눈동자 이미지로부터 제하여진다. 그러므로 눈동자 영역에서 차이 이미지는($D_t = E_t - O_t$) 항상 양이고, 경계화 연산은 D_t에서 수행되며, 결과의 이진 이미지는 연결된 구성요소는 제시된 알고리즘에 의하여 처리된다. 프레임 사이에서 눈동자를 검출하며, $D'_t = E_t - O_{t-1}$을 사용하여 두 배의 프레임 속도(영역속도)및 검출 속도를 구한다.

각 연결된 구성요소의 형태 및 규격상의 기하학적인 제약요소는 허위 양수를 제거하는데 응용되며, 복합얼굴검출 알고리즘을 위한 입력인 눈동자 candidates

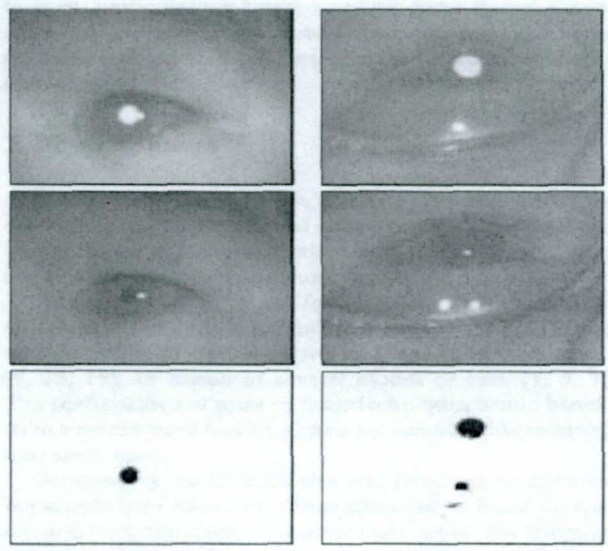
를 구한다.

프레임 기초 눈동자 탐색 기법은 광원이 프레임과 광원이 동기화 되어야만하며, LIGHT 1이 짝수 프레임 동안 켜지며, LIGHT 2는 홀수 프레임에서만 켜진다. 만약 t가 짝수이면, 그 차이 이미지는 $D_t = F_t - F_{t-1}$ 와 같이 계산될 수 있다. 홀수 t에 대해서는 $D_t = F_{t-1} - F_t$ 로 구한다. 이러한 교차는 완전한 프레임 해상도가 사용되어짐을 허용하며, 또한 프레임 rate speed를 제공할 수 있다.

그림5.1(a),(b)와 같이 아래에서 보이는 형체가 유사한 허위눈동자 candidate는 안경으로부터의 정반사에 의해 생성되며, 이러한 반사는 매우 특별한 머리의 위치 및 방향 하에서 어두운 눈동자 반응을 또한 차단시킬 수 있다. 이러한 조건들은 아주 짧은 순간밖에는 지속되지 못하며, 시스템의 얼굴추적을 허술하게 한다.

그림 5.2는 복합 얼굴 검출 알고리즘의 예제적인 결과를 보여준 것으로 대부분의 실험된 대상의 카메라로부터 3미터 거리에서 검출이 잘 이루어졌으며, 안경을 낀 사람도 신뢰성 있게 검출된다. 또 연령과 낮은 강도 밝기의 눈동자 사이에 높은 상관관계가 있음을 알 수 있었는데, 좀 더 많은 밝은 화소가 있는 큰 눈동자와 젊은 사람의 눈동자의 검출이 유리했다.

그림 5.3, 5.4는 추적 시스템을 갖는 복합 인물의 추적 동작에서의 동공검출과 검출된 얼굴 영역 결과이다.



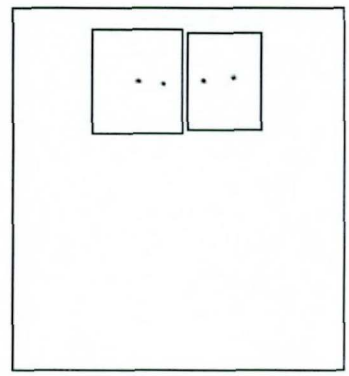
(a) 안경 비착용　　(b) 안경 착용

그림 5. 1　허위 눈동자 프레임

Fig. 5. 1　The false pupil frame

(a) 밝은 이미지

(b) 이진화 동공검출



(c) 검출된 얼굴영역

그림 5. 2 얼굴영역 및 동공검출 결과

Fig. 5. 2 The multiple face region and The pupil detection result

그림 5. 3 동공검출 결과

Fig. 5. 3 The pupil detection result

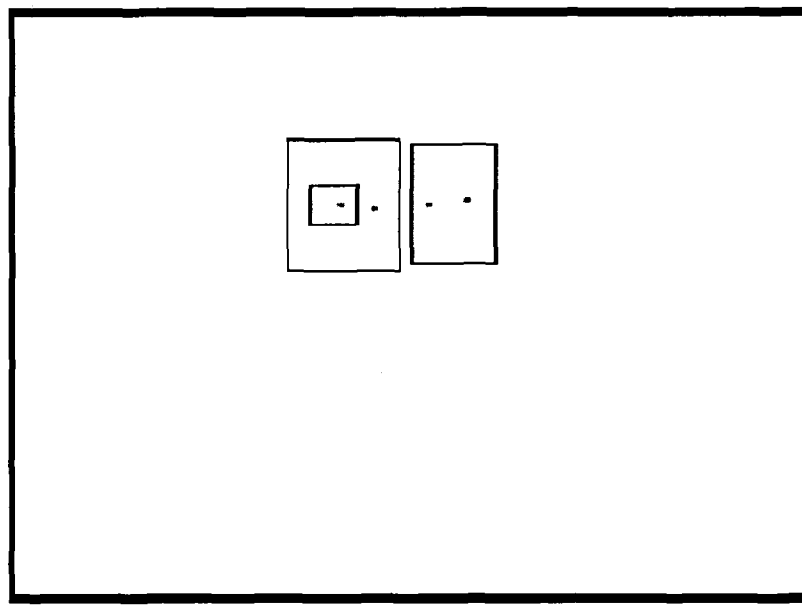


그림 5. 4 검출된 얼굴영역

Fig 5. 4 The detected face region

Ⅵ. 결 론

컬러 모델을 이용한 얼굴 영역과 동공 영역을 추출하기 위해 Hue 채널 성분의 적색 영역 임계값을 적용하여 1차 얼굴 후보 영역을 산출하였고, 2차원 Cb-Cg가우시안 확률 분포에 근거한 확률 밀도값에 따라 최종적인 얼굴 피부색 영역을 검출해 Region Restricting 기법과 반복 임계값 알고리즘을 적용하여 동공 영역 검출을 연구한다.

반복 추측기를 사용하는 단일 얼굴 추적 시스템과 연결하여 실시간 복합 얼굴 검출 시스템을 제시하였다. 얼굴 검출은 모델, 서식(template)기반의 탐색 보다 컴퓨터 이용 상으로 대단히 효율적이고, 눈의 생리학적이며 기계적인 특성을 활용해 능동적인 조명 방식을 사용하여 얼굴 검출을 성취하였으며, 몇 미터의 작동 범위가 요구되는 데스크 탑 혹은 무인 정보 단말기(kiosk)등을 응용처리 했다.

얼굴 검출기로부터 한 얼굴을 사용하여 추적기에서 얼굴 해석을 예측하는 SAD 상관관계 기법에 의존해서 반복 예측기에 의해 양쪽의 추적 모드로부터 측정을 조합하여 템플레이트로 필터링을 할 수 있었고, 검출기법 성능에 영향을 미치는 요소들을 결정하기 위한 특성을 나타냈다.

본 논문에서는 컬러를 사용하여 얼굴 영역을 검출하기 위해 다채널 피부색 확률 분포 모델을 구성하여, 1차적으로 얼굴의 적색 특성을 활용한 Hue 채널 성분을 적용하여 1차 후보 영역을 구하고, 2차로 Cb-Cg채널 성분으로 구성된 2 차원 가우시안 분포에 기반 한 확률 밀도값에 따라 피부색을 구분했다. 다채널 모델은 얼굴 피부색이 가지고 있는 특성을 충분히 활용하고, 얼굴색과 비슷한 황색 계열에 대해 Cg채널을 적용하여 구분 정확성을 높였다.

검출된 얼굴 영역에서 눈 영역을 검출하기 위해 Region Restricting기법을 적용하여 눈 영역 검출 시 눈 탐색 영역을 줄이고, 단순 임계값에 의해 구분 시 눈 영역 검출의 정확성을 높이기 위해 두 개의 눈 쌍이 검출될 때까지 임계값

을 증가 혹은 감소해 가며 수행하는 반복 임계값 알고리즘을 적용하여 눈 영역 검출의 적합도를 높였다.

배경의 유무에 따라 각각 40개의 영상 데이터를 수행한 결과, 무배경의 경우에는 대략 60% ~ 80% 정도의 확률 밀도 값에서 가장 좋은 검출율을 보였으나, 유배경인 경우에는 배경에 얼굴 피부색과 비슷한 색이 있을 경우 검출율이 현저히 낮았고, 수행 시간 비교에 있어서도 영상 분할 기법을 적용했을 때 고정 영역 분할 기법에서 보다 8 ~ 9 배 정도의 수행 시간이 소요되었다.

향후 연구과제로, 얼굴 영역 검출의 정확도를 높이기 위해 빛 정보에 덜 민감하도록 컬러 자체의 상수화 문제에 대한 접근이 요구되며, 조명, 해상도에 영향을 크게 받으므로 다양한 조명에 대한 실험과 조명 방향 등에 독립적인 검출 방법의 연구가 요구되고, 얼굴이 한쪽으로 치우쳐 있거나 눈이나 이마 부분이 머리카락으로 감추어져 있으면 특징을 찾기 어려움으로 많은 데이터를 가지고 여러 가지 방면에서 얼굴 검출 방법에 대해 연구가 필요하며, 영상의 회전 및 다채널 영상의 압축에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

[참고문헌]

[1] G. Yang, T. S. Huang, "Human Face Detection in a Complex Background", Pattern Recognition, Vol.27, No.1, pp.53-63, 1994.

[2] B. Moghaddam, W. Wahid, A. Pentland, "Beyond Eigenfaces: Probabilistic Matching for Face Recognition", In Proc. of International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.30-35, 1998.

[3] H. A. Rowley, S. Baluja, T. Kanade, "Rotational Invariant Neural Network Based Face Detection", In Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.38-44, 1998.

[4] X. Li, N. Roeder, "Face Contour Extraction from Front-View Images", Pattern Recognition, Vol.28, No.8, pp.1167-1179, 1995.

[5] K-M. Cho, J-H. Jang, K-S. Hong, "Adaptive Skin-Color Filter", Pattern Recognition, Vol.34, pp.1067-1073, 2001.

[6] Robert W. Burnham, Randall M. Hanes, C. James Bartleson, "Color: a Guide to Basic Facts and Concepts", pp.11-16, John Wiley & Sons., 1963.

[7] Edward J. Giorgianni, Thomas E. Madden, "Digital Color Management Encoding Solutions", pp.3-52, Addison-Wesley Longman, 1998.

[8] G. Bradski. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface. Technical Report Q2, Intel Corporation, Microcomputer Research Lab, Santa Clara, CA, 1998.

[9] M. L. Cascia and S. Sclaroff. Fast, reliable head tracking under varying illumination. In *Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Fort Collins, CO, June 1999.

[10] Y. Dai, Y. Nakano, "Face-Texture Model-Based on SGLD and its

Application in Face Detection in a Color Scene", Pattern Recognition, Vol.29, No.6, pp.1007-1017, 1996.

[11] J. Yang, W. Lu, A. Waibel, "Skin-color modeling and adaptation", Technical Report CMU-CS-97-146, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1997.

[12] N. Herodotou, K. N. Plataniotis, A. N. Venetsanopoulos, "Automatic Location and Tracking of the Facial Region in Color Video Sequences", Signal Processing: Image Communication, Vol.14, No.5, pp.359-388, 1999.

[13] D. Chai, S. L. Phung, A. Bouzerdoum, "Skin Color Detection for Face Localization in Human-Machine Communications", In Proc. of the 6th International Symposium on Signal Processing and its Applications, Vol.2, pp.541-544, 2001.

[14] S. Birchfield, "Elliptical Head Tracking Using Intensity Gradients and Color Histograms", In Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.232-237, 1998.

[15] J-Y. Deng, F. Lai, "Region-Based Template Deformation and Masking for Eye-Feature Extraction and Description", Pattern Recognition, Vol.30, No.3, pp.403-419, 1997.

[16] R. Stiefelhagen, J. Yang, A. Waibel, "A Model-Based Gaze Tracking System", In Proc. of IEEE International Joint Symposia on Intelligent Systems, pp.304-310, 1996.

[17] G. Yang, T. S. Huang, "Human Face Detection in a Complex Background", Pattern Recognition, Vol.27, No.1, pp.53-63, 1994.

[18] B. Moghaddam, W. Wahid, A. Pentland, "Beyond Eigenfaces: Probabilistic Matching for Face Recognition", In Proc. of International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.30-35, 1998.

[19] H. A. Rowley, S. Baluja, T. Kanade, "Rotational Invariant Neural Network Based Face Detection", In Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.38-44, 1998.

[20] X. Li, N. Roeder, "Face Contour Extraction from Front-View Images, Pattern Recognition", Vol.28, No.8, pp.1167-1179, 1995.

[21] Jean-Christophe Terrillon, Hideo Fukamach, Shigeru Akamatsu, Mahdad Nouri Shirazi."Comparative Performance of Different Skin Chrominance Models and Chrominance Spaces for the Automatic Detection of Human Faces in Color Images". FG 2000: 54-63

[22] Y. Dai, Y. Nakano, "Face-Texture Model-Based on SGLD and its Application in Face Detection in a Color Scene", Pattern Recognition, Vol.29, No.6, pp.1007-1017, 1996.

[23] R. Stiefelhagen, J. Yang, A. Waibel, "A Model-Based Gaze Tracking System", In Proc. of IEEE International Joint Symposia on Intelligent Systems, pp.304-310, 1996.

[24] Y. Shiga, H. Ebine, M. Ikeda,&O. Nakamura. "Extraction of Facial area and Facial Parts Based on Color and Motion Information and Detection of its Movements"

[25] S. Kewei, F. Xitian, C. Anni, and S. Jingao, "Automatic face segmentation in YCrCb images", Proc. 5 the Asia Pacific Conf. on Communications and 4th Optoelectronics and Communications Conf., vol. 2, 1999, pp. 916-919.

[26] N. Herodotou, K. N. Plataniotis, A. N. Venetsanopoulos, "Automatic Location and Tracking of the Facial Region in Color Video Sequences", Signal Processing: Image Communication, Vol.14, No.5, pp.359-388, 1999.

[27] K-M. Cho, J-H. Jang, K-S. Hong, "Adaptive Skin-Color Filter, Pattern

[27] K-M. Cho, J-H. Jang, K-S. Hong, "Adaptive Skin-Color Filter, Pattern Recognition", Vol.34, pp.1067-1073, 2001.

[28] Robert W. Burnham, Randall M. Hanes, C. James Bartleson, "Color: a Guide to Basic Facts and Concepts", pp.11-16, John Wiley & Sons., 1963.

[29] Edward J. Giorgianni, Thomas E. Madden, "Digital Color Management Encoding Solutions", pp.3-52, Addison-Wesley Longman, 1998.

[30] Xiaolin Wu, "YIQ Vector Quantization in a New Color Palette Architecture", IEEE Transactions on Image Processing, Vol.5, No.2, pp.321-329, 1996.

[31] D. Chai, K. N. Ngan, "Face Segmentation Using Skin-Color Map in Videophone Applications", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.9, No.4, pp.551-564, 1999.

[32] N. Tsapatsoulis, Y. Avrithis, S. Kollias, "Efficient Face Detection for Multimedia Applications", In Proc. of International Conference on Image Processing, Vol.2, pp.247-250, 2000.

[33] L. Salgado, N. Garcia, J. M. Menendez, E. Rendon, "Efficient Image Segmentation for Region-Based Motion Estimation and Compensation", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.10, No.7, pp.1029-1039, 2000.

[34] I. Pitas, "Digital Image Processing Algorithms", pp.260-263, Prentice Hall, 1993.

[35] G. C. Feng, P. C. Yuen, "Multi-Cues Eye Detection on Gray Intensity Image", Pattern Recognition, Vol.34, pp.1033-1046, 2001.

[36] R. Stiefelhagen, J. Yang, A. Waibel, "Tracking Eyes and Monitoring Eye Gaze", In Proc. of the Workshop on Perceptual User Interfaces

(PUI '97), pp.98-100, 1997.

[37] Y. Ebisawa and S. Satoh. "Effectiveness of pupil area detec-tion technique using two light sources and image difference method." In A. Szeto and R. Rangayan, editors, Proceedings of the 15th Annual Int. Conf. of the IEEE Eng. in Medicine and Biology Society, pages 1268-1269, San Diego, CA, 1993.

[38] A. Christian and B. Avery. Digital smart kiosk project. In Proc. "ACM SIGCHI - Human Factors in Computing Systems Conference", pages 155-162, Los Angeles, CA, April 1998.

[39] 정유선 외 6명. "다채널 컬러모델을 이용한 얼굴영역 검출" The 21th KIPS Spring Conference. pages 805-808, May 2004.

[40] 정유선 외 5명. "컬러채널 실시간 복합 얼굴영역 검출 시스템 연구" 한국해양정보통신학회 춘계종합학술대회. pages 463-467, May 2004.

[41] 정유선 외 5명. "무선 인터넷 환경에서 Cellular-IP/PRC 망 구현" 한국해양정보통신학회 추계종합학술대회. pages 665-670, October 2004.

[42] 정유선 외 7명. "선형 BISP 알고리즘을 이용한 간섭 신호제어" 한국해양정보통신학회 춘계종합학술대회. May 2005.

감사의 글

뒤 늦게 대학원에 입학하여 지낸 2년이란 생활이 제겐 너무도 짧은 시간인 듯합니다. 타 지역에 나와 홀로 생활해 본적이 없는 제게 대학원이란 곳은 새로운 경험을 할 수 있는 터전이 되었으며, 저를 한층 더 자라게 할 수 있었던 곳이 되었습니다. 많은 경험이나 지식을 갖추지 못하고 대학원에 진학한 저를 받아주신 여러 교수님들께 감사의 말씀을 전합니다.

부족한 저를 아껴주시고 석사과정 내내 대학원생으로써의 자세를 충고해주시고 타일러 주시면서 논문이 완성되기까지 이끌어주신 나상동 교수님께 가장 먼저 감사의 말을 전하고 싶습니다. 비록 부족한 면이 많은 논문이나 깊은 관심과 충고로 심사해주시고 세심한 배려를 해주신 조범준 교수님, 김충원 교수님 그리고 항시 웃음과 격려를 아껴주신 오무송 교수님, 이준 교수님께 감사의 마음을 올립니다.

매일 같이 한방에서 기쁘고 슬픈 일을 같이한 컴퓨터통신방의 가족들의 추억은 영원히 잊지 못할 것입니다. 연구실에서 부족하고 실수만 하던 저를 아껴주고 항시 이끌어 주신 석경휴 선배님, 가장 첨 이 곳에와서 친해진 송선희 선배님, 그리고 항시 저랑 티격태격하느라 어느 새 정든 철영 선배님과 찬호 선배님, 또 뒤 늦게 대학원에 오셔서 젊은 저희을 아껴주시는 박동석 선생님을 잊을 수 없을 듯싶습니다. 그리고 학부생인 승빈, 현철, 상우, 세준, 수연이 모두 힘든 일도 마다하지 않고 항시 웃움 꽃을 피워줘서 너무나 좋은 기억들로 남습니다.

전자공학과에서 조교를 하면서 연구실에 많은 시간을 함께하지 못한 점이 너무 아쉽게 남으나 조교를 하면서도 너무나 좋은 사람들을 많이 만날 수 있었기에 소중한 시간과 경험이 되었습니다.

마지막으로 못난 저를 믿고 지켜봐 주시고 이 자리에 서게 해주신 부모님께 사랑한다는 말을 남기고 싶습니다. 비록 부족하지만 앞으로의 삶에서는 지금까지 해보지 못한 것들과 부족했던 점들을 채워갈 수 있는 사람이 되도록 노력하겠습니다.

---------- 2005년 8월 석사 정유선 씀.