

# 조명의 영향을 최소화하기 위한 전처리 기법이 적용된 얼굴 인식

박 현 남<sup>†</sup> · 조 형 제<sup>††</sup>

## 요 약

얼굴 인식에서 조명의 밝기와 방향의 변화는 그 성능에 큰 영향을 끼치는 요소 중의 하나이다. 초기의 얼굴 인식 연구에서는 이들 조명 요소들은 인식 시스템에 알맞게 고정되어 있었으며, 인식률의 향상만이 중요한 목표였다. 그러나, 이들은 보다 실용적인 얼굴 인식 시스템을 구현하기 위한 중요한 고려 사항이다.

본 논문에서는 조명의 영향을 최소화하기 위한 두 가지 방법을 제시한다. 첫 번째는 조명의 변화를 최소화하기 위한 지역적 밝기 차이를 이용한 필터이고, 두 번째는 가로 방향의 조명의 불균형을 보정하는 가중치 함수이다. 이들 두 방법을 적용한 실험에서 25명에 대한 275개의 이미지에 대해 86.5%의 인식률을 얻어 기존의 다른 접근방식보다 그 결과가 우수함을 확인하였다.

# Face Recognition Applying a Preprocessing Technique to Minimize the Influence of Illumination

Hyun-Nam Park<sup>†</sup> · Hyung-Je Cho<sup>††</sup>

## ABSTRACT

There are many factors for face recognition. Two of those are orientation and brightness of illumination. In early studies of face recognition, with fixing these factors to good conditions the goal of research was focused on improving recognition rate itself. But they are very important factors to be solved for implementing face recognition system.

In this paper, two methods were proposed to minimize the influence of illumination. One is the local difference filter to reduce the influence of variation of illumination. The other is weight function considering the horizontal difference of intensity. Applying two proposed methods, the resultant recognition rate revealed 86.5% for 275 test images.

## 1. 서 론

사람들은 주위의 친구들과 가족, 그리고 이웃들의 얼굴을 쉽게 알아보고 구별할 수 있는 능력이 있다. 우리가 당연하게 받아들이고 있는 이런 능력들을 컴퓨터에 적용시키려는 노력이 바로 얼굴 인식이라고 할

수 있다. 얼굴 인식은 다른 인식방법보다 많은 장점을 가지고 있다. 지문이나 음성인식처럼 생물학적 특징을 이용하기 때문에 위조하기가 힘들며, 지문과 달리 기기에 접촉할 필요가 없고, 음성처럼 마이크에 가까이 가서 이야기할 필요가 없으며 소음이 많은 장소에서도 충분히 인식이 가능하다.

초기에는 지문이나 음성과 달리 얼굴의 인식과정이 사람만이 가지고 있는 주관적 요소들에 의해 많은 영향을 끼친다고 생각하여, 얼굴은 주로 심리학이나 인

<sup>†</sup> 정 회 원 : 동국대학교 대학원 컴퓨터공학과  
<sup>††</sup> 정 회 원 : 동국대학교 컴퓨터·멀티미디어공학과 교수  
논문접수 : 1999년 5월 11일, 심사완료 : 2000년 1월 24일

지학의 관심 분야였으나, Goldstein과 Mackenberg는 유치원생과 초등학생을 대상으로 한 실험을 통해 아이들의 얼굴 인식능력이 서로간의 친숙도와는 관계없이 나이에 따라 발전한다는 것을 보여주었고[1], Ellis는 여러 가지 사례를 통해 얼굴 인식이 주관적인 요소와 관계가 없다는 간접적인 증거들을 제시함으로써 인해 얼굴 인식은 공학 분야에서도 점차 연구되기 시작되었다.

얼굴 인식에 대한 연구는 크게 인식기에 중점을 둔 연구와 특징추출에 중점을 둔 연구로 나눌 수 있다. 인식기에 중점을 둔 연구는 에러함수에 바탕을 둔 통계학적 인식기, 신경망을 이용한 인식기 등으로 분류될 수 있다. 이들 인식기에 대한 연구는 보다 인식률을 높이려는 노력과 인간과 유사한 인식 과정을 재현하려는 목적으로 이루어져 왔으며, 각 인식기에 적합한 특징들을 입력으로 사용한다[2]. 에러함수는 단순한 LMSE(least mean square error)나 에너지 함수 등을 사용하고, Bayer의 결정함수를 사용하여 인식한다[2-5]. 이 밖에 fuzzy set이나 moment 등을 이용한 변형된 형태의 인식기도 이용되고 있다[2, 6, 7]. 신경망 회로는 근래에 많이 사용되는 인식기로 보다 정교한 조정이 가능한 반면, 다수의 테스트 이미지로 미리 학습을 해야 한다는 제약이 있다. 이런 신경망 회로는 입력 차수가 작아야 유리하므로 원래 이미지를 변환(transform)하여 차수를 줄이는 방법인 PCA(principal component analysis)등과 결합하여 쓰이고 있다[8-11].

얼굴 이미지가 주변의 환경이나 자세 변화 등에 민감한 영향을 받는다는 것은 얼굴 인식을 어렵게 만드는 결정적 요인이 된다. 얼굴은 주변의 조명이나 카메라의 위치, 사람의 자세에 따라 가변적이기 때문에 다른 대상들보다 인식에 많은 어려움이 따른다. 중요한 영향 요소들로 조명의 밝기, 조명의 방향, 얼굴의 3차원적 회전각도 등을 들 수 있는데 이런 요소들의 영향을 줄이기 위해 여러 종류의 특징들과 인식 방법들이 연구되고 있다.

얼굴 인식을 위한 특징들은 기하학적인 특징, 고립 밀도지도(isodensity map), 질감 특징 등으로 분류될 수 있다. 기하학적인 특징들은 가장 쉽게 생각할 수 있는 특징으로 초기에 많이 사용되었으며[2-4], 고립 밀도지도 특징은 조명이 고정된 환경에서만 이용되었고[6, 12], 질감 특징은 신경망의 입력으로 많이 사용되고 있다[9]. 기하학적인 특징들은 조명에 거의 영향을 받지 않으나 원래 이미지에 대한 정보의 손실이 많아 저

해상도 이미지에서는 인식률이 떨어진다. 고립영역지도는 조명의 변화에 치명적이지만 고정된 조명에서는 높은 신뢰도를 나타낸다. 질감 특징은 정보의 손실은 적으나 입력 정보의 양이 많아 별도의 변환이 필요하다는 단점이 있다.

초기의 시스템들은 인식에 민감한 영향 요소들을 고정시켜 제한된 환경에서 인식률을 높이려고 노력하였으나 최근에는 이런 영향 요소들을 적극적으로 활용하여 어떤 환경에서도 인식이 가능하게 하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이런 연구들은 주로 수학적 모델을 통해 조명의 방향을 예측하거나 얼굴을 여러 각도에서 촬영한 충분한 이미지를 확보하여 학습시키는 방법을 사용한다[13, 15].

초기의 얼굴 인식 시스템은 보안 시스템과 범죠편역 분야와 연관되어 개발되고 상용화되었다. FBI의 의뢰로 시작된 얼굴 자동 인식 시스템이나 지문과 얼굴 인식을 통합하여 신뢰도를 높인 인증 시스템 등이 개발되었으며, 증인들의 진술을 토대로 작성된 몽타주를 입력받아 실제 얼굴과 비교하는 시스템도 연구되고 있다[14]. 현재는 이들 범위에 한정되지 않고 점차 응용 분야를 넓히고 있으며 이동 카메라를 통한 죄수 감시 시스템, 현금 카드를 대신할 수 있는 얼굴과 지문인식이 가능한 현금 인출기, 얼굴 인식과 움직임 추적을 통한 컴퓨터의 대화형 사용자 인터페이스, 웹을 통한 원격 강의 및 화상회의에서의 본인 확인 등 광범위한 연구가 이루어지고 있어 결과적으로 조명의 영향을 줄일 수 있는 얼굴 인식 시스템의 필요성도 나날이 증가하고 있다.

본 논문에서는 조명의 밝기만을 고려했던 기존의 시스템들과 달리 조명의 밝기와 방향까지 고려하여 이들의 영향을 최소화할 수 있는 인식 방법을 제시한다. 이를 위해 질감특징을 사용하였으며, 질감 특징에 대한 전처리로 지역적 밝기 차이를 이용한 필터를 사용하고, 인식기에 얼굴의 영역 밝기 차이에 의한 가중치를 부여함으로써 조명의 영향을 최소화하여 인식률이 높은 시스템을 구축한 결과를 소개한다. 본 논문에서 사용한 전처리는 인식기의 종류와 무관한 처리이며, 인식기에서의 가중치 부여방법은 인식기에 따라 적절히 변형하여 적용이 가능하므로 다른 여러 인식기에 대한 적용도 연구되어야 할 사항이다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 얼굴 인식과 특징추출에 관련된 기존의 연구 사례를 분석하고

3장에서는 본 논문에서 제시하는 얼굴 인식 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 제시된 얼굴 인식 방법을 통한 실험 결과를 보이고 기존의 방법과 비교, 분석하며 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 얼굴 인식에 사용되는 특징

얼굴 인식에 사용되는 특징들을 비교, 분석하기 위해서는 조명의 밝기와 위치, 얼굴의 각도 등에 대한 영향 정도, 원래 이미지에 대한 정보 손실 정도, 처리하기 위한 계산량, 신뢰도 등을 다각적으로 검토해 볼 필요가 있다.

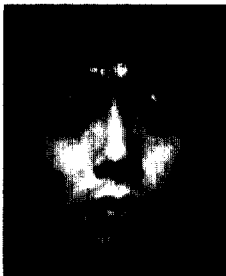
본 논문에서 중점을 둔 영향요소는 조명의 위치 변화이므로 조명의 영향을 중심으로 각 특징들을 살펴보기로 한다. (그림 1)은 조명이 비치는 방향에 따른 얼굴 이미지들을 보여주고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 조명의 방향에 따라 얼굴 이미지는 크게 변화한다. 얼굴의 각 영역의 밝기분포가 달라지며, 그림자 영역의 위치가 바뀐다. 또한 얼굴 전체 윤곽도 그림자에 의해 크게 변화한다.



① 정면 조명



② 위쪽 조명



③ 오른쪽 조명



④ 왼쪽 조명

(그림 1) 여러 방향의 조명에 대한 얼굴 영상

### 2.1.1 기하학적인 특징

기하학적인 특징은 가장 단순한 특징으로 전통적으로 많이 사용되어 왔다. Santini는 눈, 코, 입 등의 길이와 얼굴 영역의 너비 등을 특징으로 사용하였고[2], Brunelli는 턱의 형태를 포함시키기 위해 입에서 턱까지의 11등분한 각도에서의 거리를 첨가했다[3]. Cox는 이들 특징들을 독립적으로 사용하지 않고, 적절한 가중치로 이들 특징들을 결합하여 혼합 거리를 특징으로 사용하기도 하였다[4].

기하학적 특징의 가장 큰 장점은 조명에 무관하다는 것이다. 조명의 방향에 관계없이 이들 길이나 형태는 변하지 않는다. 단지 얼굴의 회전각에 의해서만 길이가 변형될 뿐이다. 그러나 조명이 충분치 않다면 그림자 부분이나 어두운 부분의 영향으로 기하학적 특징 자체를 추출하기 어려울 수 있다. (그림 1)의 얼굴 윤곽이 좋은 예이다. 조명의 위치에 따라 가장자리가 그림자로 가려 전혀 다른 모양을 나타낸다. 이처럼 입력 이미지가 충분한 품질을 보장할 수 없다면 특징을 추출하는 알고리즘의 신뢰도에 의해 기하학적 특징의 신뢰도가 결정될 것이다.

기하학적인 특징이 비교적 단순하고 비교하기 쉬운 장점이 있는 반면 얼굴 이미지가 원래 포함하고 있는 많은 정보를 버리게 된다. (그림 2)의 ①번 그림에서 기하학적인 특징의 예를 보여주고 있는데, 여기서도 알 수 있듯이 기하학적인 특징을 이용한다는 것은 그림과 같은 단순화된 얼굴 도형만을 가지고 사람을 인식하는 것과 같다. 해상도가 충분히 높고 얼굴의 각도가 고정되어 있다면 이 특징만 가지고도 인식이 가능하겠지만 저해상도 이미지에서는 인식이 저하된다. 또한 얼굴 각도의 변화에 상당히 민감한 단점이 있다.



① 기하학적인 특징



② 고립밀도지도

(그림 2) 얼굴 인식에 사용되는 여러 특징들

또한, 기하학적인 특징을 이용하기 위해서는 눈, 코, 입 등의 얼굴 내부의 요소들을 먼저 추출해야 하는 선행 작업이 필수적이므로 선행작업을 위한 작업량이 부가적으로 필요하게 된다.

정보의 손실을 줄이기 위해 최근에는 스케치 형태의 얼굴 윤곽을 이용하거나 보다 많은 특징점을 선정하여 사용하기도 하고, affine transform 등을 적용하여 얼굴 각도의 변화를 보정하려고 시도하고 있지만[5], 이는 다른 특징에도 적용될 수 있는 방법으로 기하학적인 특징만의 장점이라고 말할 수는 없다.

### 2.1.2 고립밀도지도(Isodensity map) 특징

고립밀도지도란 얼굴에서 일정 범위의 밝기를 가지는 영역의 분포나 모양을 말한다. 각 밝기 영역은 일정 간격의 밝기 범위를 두고 결정되며 일종의 등고선 형태로 분포하게 된다. 고립밀도지도의 가장 큰 단점은 조명의 밝기나 각도에 매우 민감하다는 것이다. 즉, 고립밀도지도 특징을 이용한다는 것은 조명을 고정시킨 환경에서 인식한다는 것을 의미한다. (그림 2)의 ②번 그림에서 고립밀도지도의 한 예를 보여주고 있다.

고립밀도지도가 조명에 민감한 반면 기하학적인 특징보다는 많은 정보를 포함하고 있고, 얼굴의 3차원적인 형태정보를 일부 포함하고 있으므로 조명을 고정시킨 환경에서는 높은 신뢰도를 보이고 있다[6, 12]. 그러나 충분히 많은 데이터를 통한 실험이 이루어진 사례가 없으므로 이 특징을 이용할 경우, 많은 양의 데이터에 대해서도 충분한 변별력을 가질 수 있는지는 검증되지 않고 있다.

### 2.1.3 질감 특징(Texture)

질감 특징이란 입력 얼굴 이미지 자체를 의미한다. 이미지 정보의 손실은 전혀 없지만 정보의 양이 너무 과다하기 때문에 일반적으로 여러 가지 변환을 통해 차수를 줄인 후 인식기에 입력된다. 정보를 그대로 보존하고 있기 때문에 전처리에 따라 일부가 손실되어도 조명이나 각도의 변화에 따른 변형을 어느 정도 상쇄시킬 수 있다. 이미지 정보의 보존은 정보의 양과 비례하기 때문에 버릴 정보를 선택하는 문제가 실용적인 크기의 정보를 얻을 수 있는 관건이 된다. 신경망 회로 같은 복잡한 인식기의 입력으로 사용될 때는 보통 PCA라는 통계학적인 방법을 통해 차수를 줄여 사용한다[8, 11].

## 2.2 얼굴 인식 방법

얼굴 인식기는 인식률을 높이기 위한 노력의 산물이라 할 수 있다. 얼굴 인식기의 선택은 사용하는 특징에 적합하도록 신중히 선택되어야 하고, 사용할 수 있는 학습 이미지의 개수 및 이미지의 해상도 등의 주어진 제약 조건들을 수용할 수 있어야 한다.

### 2.2.1 에러함수를 이용한 통계학적 방법

가장 널리 알려진 에러함수는 기하학적 거리(Euclidean distance)일 것이다. n차원의 참조 벡터 A와 입력 벡터 B가 주어졌을 때 기하학적 거리의 공식의 한 예가 식 (1)과 같다.

$$d(A, B) = \left[ \sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n), B = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_n)$$

인간의 물체 인식과정은 선형적 대수관계를 따르지는 않는다. 인간을 대상으로 한 실험에서도 인간의 유사도 척도가 선형적이지 않다는 여러 증거가 밝혀졌다[2]. 따라서 에러 함수가 기하학적 거리이어야 할 이유는 없어진 것이다. 인간의 인식과정과 보다 유사한 에러함수를 찾기 위해 많은 다른 종류의 거리함수들이 제안되어 왔다.

벡터의 각 원소들이 서로의 상관관계가 크지 않다면, 기하학적인 거리가 큰 의미를 부여하지는 못한다. 사각형의 모양과 크기를 변경시키며 행한 인식 실험에서 Atteave는 실험치에 의한 설득력 있는 에러 함수를 유도하였다[2]. 이를 구획거리모델(city block distance model)이라고 하는데 이에 대한 공식은 다음과 같다.

$$d(A, B) = \sum_{i=1}^n |a_i - b_i| \quad (2)$$

이외에도 유사한 거리함수들로 Hamming distance[16], Minkowski distance[2]등의 모델이 있으며 각 경우에 적합한 용도로 선택될 수 있다. 예를 들면 Hamming distance는 이진 데이터에 적용하기 편리하고, Minkowski distance는 fuzzy set 등에 응용될 수 있다.

이들 에러함수를 이용하면 통계학적인 인식기의 구현이 가능하다. Bayer 인식기[2-5]와 fuzzy set을 응용한 인식기[2, 7], 은닉 마코프 모델을 이용한 인식기[17] 등이 여기에 속한다. 이들은 다음 절에 설명할 신경망 회로 등과 같은 복잡한 인식기들에 비해 비교적 단순

하므로 입력 정보의 차수가 높아도 빠르게 수행될 수 있는 장점이 있어 정보량이 많은 특징을 이용한 인식에 효과적일 수 있다.

대표적인 인식기로 nearest neighbour method[18]를 살펴보면 하나의 입력 특징 벡터에 대해 저장되어 있는 모든 참조 특징 벡터들과의 각각의 에러 함수를 구한 뒤, 그 중 최소값을 가지는 참조 클래스에 입력이 포함된다고 결정하게 된다. 클래스 당 참조 벡터의 수를 늘리면 n-nearest neighbour method로 확장될 수 있으나, 일반적으로 1-nearest neighbour method가 오히려 신뢰도가 높다고 알려져 있다. 이 인식기의 장점은 학습을 위해 여러 개의 테스트 입력이 필요한 신경망 회로와 달리 단 하나의 대표적이고 믿을 수 있는 참조 벡터만을 가지고도 충분히 인식기를 구축할 수 있다는 점이다.

### 2.2.2 신경망을 이용한 방법

전통적인 인식 방법들을 벗어나 최근 20 여 년에 걸쳐 신경망을 이용한 인식기가 활발히 연구되어 왔다. 신경망은 분명 기존의 방법으로 해결할 수 없는 보다 섬세한 조정이 가능하며, 이런 장점으로 인해 널리 사용되고 있다. 그러나 복잡한 구조에 의해 입력의 양이 제한적이라는 점, 학습을 위해 여러 학습 벡터가 필요하다는 점, 학습 벡터에 의존적으로 인식기가 구성된다는 점 등 나름대로의 제한을 가지고 있다[9, 11].

### 2.3 조명의 영향을 고려한 얼굴 인식

얼굴 인식에 기하학적인 특징만을 사용하던 초기 연구에서는 조명은 중요한 영향요소가 아니었다. 기하학적인 특징의 추출에는 조명이 크게 영향을 끼치지 않는다. 오히려 얼굴의 회전 각도 등에 따라 기하학적 특징이 크게 변형되므로 이런 요소들이 더 중요한 역할을 하였다. 보다 정밀한 인식을 위해 조명은 일정한 방향과 세기로 고정되었고, 고려 대상이 되지 않았으나 보다 자유로운 환경에서의 인식을 위해서는 가변적인 조명 상태를 고려해야 한다. 이들 조명의 영향을 고려한 얼굴 인식 연구는 최근에야 활발히 연구되고 있는데 아직은 큰 성과를 거두지 못하고 있다.

기존의 얼굴 인식에 관련된 연구에서는 조명의 밝기 변화를 보정하기 위한 전처리로 히스토그램 평활화를 수행하여 밝기를 정규화하는 방법으로 간단히 처리하였으며, 최근에Georghiades 등이 얼굴 인식에서의 조

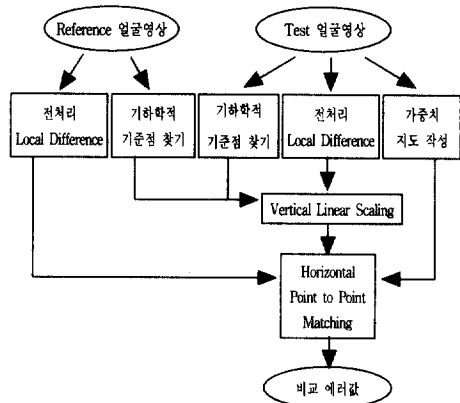
명의 영향을 주요 관심 대상으로 삼기 시작했다[15]. Georghiades는 수학적 모델을 정의하여 예측된 조명의 위치에 의해 입력된 얼굴 이미지의 깊이 정보를 특징으로 추출하였는데, 추출된 특징의 에러값을 제시하였을 뿐 얼굴 인식기에 적용한 인식률을 제시하지는 않았다.

### 3. 조명의 영향을 최소화한 얼굴 인식 방법

#### 3.1 시스템의 구성

본 논문에서 제안하는 인식 방법은 조명의 영향, 즉 조명의 방향과 위치 변화의 영향을 최소화하는 인식 방법을 목표로 한다. 환경 요소를 최소화하는 작업은 인식기에 의존적이기 보다는 인식기에 입력될 특징에 많은 영향을 받는다. 그러므로 인식기보다는 특징의 선정과 영향을 줄일 수 있는 전처리 방법에 중점을 두기로 한다. 사용되는 특징은 질감이며, 조명의 영향을 감소시키기 위해 전처리 단계에서 지역적 밝기 차이를 이용한 고주파 필터를 사용하고 매칭 단계에서 얼굴 좌우의 밝기 차이에 의한 가중치를 도입한다.

전체 시스템 구성도는 (그림 3)과 같다. 여기서 입력 이미지는 이미 얼굴 영역만 추출되었다고 가정한다. 참조 이미지와 입력 이미지는 수작업으로 매칭을 위한 기하학적 기준점이 검출되고, 전처리 과정에서 지역적 밝기차이를 이용한 고주파 필터를 거친다. 매칭단계에서는 선형 비례에 맞추어 세로 방향 기준으로 참조 이미지와 입력 이미지의 크기를 정규화하고 가로 방향으로 점대점 매칭을 수행한다. 이 단계에서 얼굴 좌우의 밝기 차이를 감안한 가중치가 적용된다.



(그림 3) 시스템 구성도

3.2 지역적 밝기 차이를 이용한 전처리

조명의 밝기나 위치가 다를 때, 얼굴 이미지에서 가장 영향이 큰 부분은 그림자 영역이라 할 수 있다. 각 점들의 밝기도 변하기는 하지만 같은 비율로 변한다면 이는 정규화를 통해 쉽게 보정 될 수 있다. 그러나 그림자 부분은 조명의 방향에 따라 그 위치가 변하므로 지역적으로 밝기 분포가 변하게 된다.

이를 보정하기 위해 지역적 밝기차이를 이용한 고주파 필터를 적용한다. 지역적 밝기 차이란 일정한 크기의 윈도우내에서 중앙점의 밝기와 윈도우 전체의 밝기 평균과의 차이를 의미한다. 이는 mean filter[19]를 거치기 전의 중앙값에서 거친 후의 중앙값을 뺀 값으로 구해질 수 있는데, 윈도우의 크기가 (2n+1) X (2n+1) 일 때, 새로운 중앙점 (x,y)의 밝기 I'(x,y)는 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$I(x, y) = \max \left\{ I(x, y) - \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n I(x+i, y+j)}{(2n+1)^2}, 0 \right\} \quad (3)$$

위의 공식을 전체 이미지에 그대로 적용할 경우 얼굴 영역의 가장자리에서는 얼굴 영역보다 상대적으로 어두운 배경 부분이 평균에 포함되어 이미지의 왜곡이 심해지는데, 실제로 얼굴의 중앙보다 어두운 부분인데도 더 밝게 나타날 수가 있다. (그림 4)에서는 얼굴 영역에 포함되는 화소만을 대상으로 한 지역적 차이를 적용한 결과와 배경과 함께 적용한 결과를 비교하고 있다. ②번 사진에서 얼굴 가장자리가 ③번 사진보다 밝아진 것을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 얼굴영역에 포함되는 화소만을 대상으로 지역적 차이를 적용시키며 이는 식 (4)와 같이

나타낼 수 있다.

$$I(x, y) = \max \left( I_{new}(x, y) - \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n I_{new}(x+i, y+j)}{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n C(x+i, y+j)}, 0 \right) \quad (4)$$

$$I_{new}(x, y) = \begin{cases} I(x, y), & (x, y)\text{화소가 얼굴영역에 포함될 경우} \\ 0, & (x, y)\text{화소가 얼굴영역에 포함되지 않을 경우} \end{cases}$$

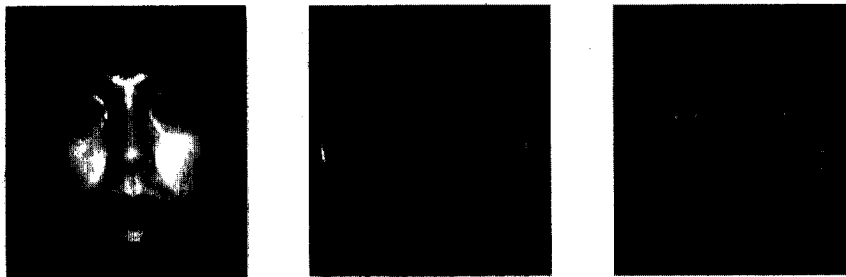
$$C(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y)\text{화소가 얼굴영역에 포함될 경우} \\ 0, & (x, y)\text{화소가 얼굴영역에 포함되지 않을 경우} \end{cases}$$

윈도우의 크기가 입력 이미지의 크기에 비해 상대적으로 큰 값이라면 필터를 통한 출력의 분포는 입력 이미지를 전체적으로 밝게, 또는 어둡게 한 것과 같은 효과를 낸다. 윈도우의 크기가 입력 이미지에 비해 상대적으로 작은 값이라면 필터를 통한 출력은 윤곽선 근처의 밝기의 차이가 심한 부분만 부각되어 많은 정보를 잃게 된다. 또한 윈도우의 크기가 커질수록 기하급수적으로 전처리를 위한 계산량이 증가하게 된다. 그러므로 조명의 영향을 줄이기 위한 적절한 이미지를 얻기 위해서는 입력 이미지의 크기를 고려하여 적절한 윈도우의 크기를 지정하여야 한다. (그림 5)는 윈도우의 크기에 따른 출력 이미지를 보여준다.

본 논문에서의 입력 이미지의 크기는 320 × 240이다. 입력 이미지내의 실제 얼굴 영역은 대략 120 × 130 정도인데 조명의 영향을 줄이면서 질감 정보를 충분히 유지할 수 있는 윈도우 크기는 실험적으로 9 × 9로 밝혀져, 본 논문에서는 9 × 9 윈도우를 사용한다.

3.3 얼굴 영역의 밝기 차이를 이용한 가중치

앞에서 설명한 지역적 밝기 차이를 이용한 전처리는 조명의 작은 변화는 보정할 수 있으나 큰 폭의 밝기 분포 변화는 보정하기 힘들다. 이를 위해 매칭단계에

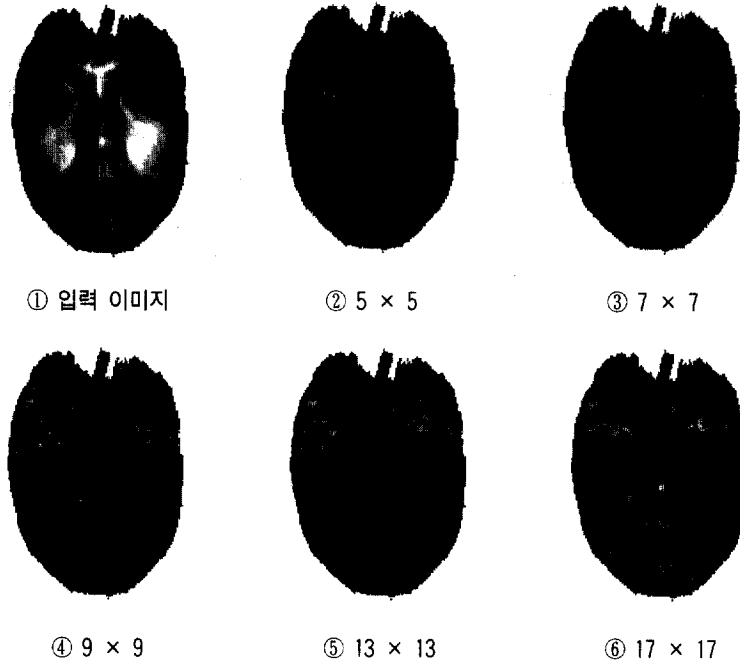


① 입력 이미지

② 이미지 전체 적용

③ 얼굴 영역만 적용

(그림 4) 지역적 밝기 차이의 적용



① 입력 이미지

② 5 × 5

③ 7 × 7

④ 9 × 9

⑤ 13 × 13

⑥ 17 × 17

(그림 5) 원도우 크기에 따른 지역 밝기 차이에 의한 고주파 필터의 출력

서 얼굴 영역의 밝기 차이를 이용한 가중치를 적용한다. 정도 이상의 밝기 차이를 보이는 영역은 그만큼 밝기값 자체가 신뢰도가 떨어진다고 판단하고, 이를 매칭단계에 반영하는 방법이다.

보통의 상황에서 조명의 위치는 인식하려는 사람의 상하방향보다는 좌우방향으로 심하게 변화한다. 이는 실내에서 의자에 앉아 있는 사람 같은 경우를 가정한 상황이다. 그래서, 얼굴 영역의 밝기 차이는 얼굴의 중앙을 기준으로 좌우 방향의 대칭적 위치점들의 밝기 차이와 반비례하는 가중치를 적용한다.

얼굴의 중점을 구하기 위해서는 수작업으로 검출된 기하학적인 기준점들을 이용한다. 양쪽 눈 끝점과 입의 양 끝점을 기준점으로 하여 얼굴의 중앙 가로축 좌표는 이들 네 점의 가로축 좌표의 평균으로 한다. 정면 얼굴을 가정한다면 상당히 신뢰도가 있는 중앙점을 구할 수 있다.

점  $(x,y)$ 에 대한 가중치를 구하는 공식은 다음과 같다. 최대 가중치는 정확히 일치하는 점에 대해 1로 선정되며, 최소가중치와 문턱치값은 실험적으로 얻어진 값을 사용한다.

$$W(x, y) = A + (B - A) \cdot \frac{Diff(x, y)}{T} \quad (6)$$

$$Diff(x, y) = |Ave(x, y) - Ave(c - x, y)| \quad (7)$$

A : 최대 가중치 (= 1.0)

B : 최소 가중치 (= 0.3)

T : 최소 가중치를 적용할 문턱치 (= 150)

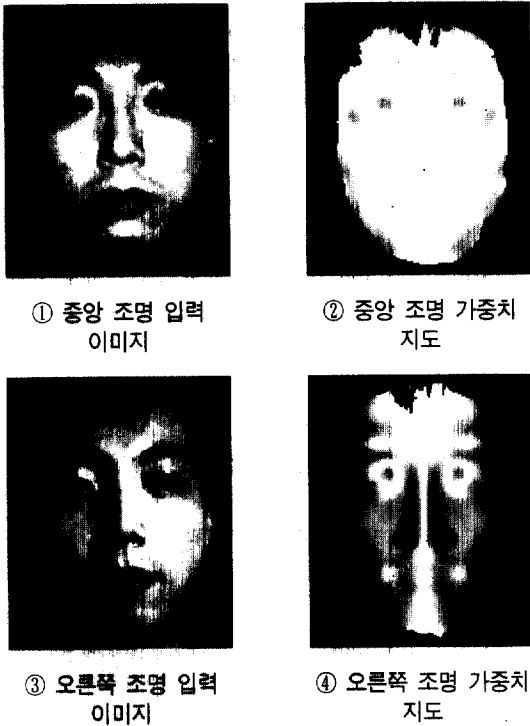
c : 얼굴의 가로축 중앙점 좌표

Ave(x,y) :  $(x,y)$ 를 중심으로한 3×3 원도우내의 밝기 평균값

가중치는 기본적으로 얼굴의 좌우 대칭점의 밝기 차이에 대해 A와 B 사이에서 반비례하여 주어진다. T 값은 선형 비례의 기울기를 결정하며, 실험적으로 설정된다. 대칭점의 밝기 차이를 구할 때는 잡음에 강한 값을 적용하기 위해 주위 9개의 점들에 대한 밝기 평균값을 사용한 차이를 구한다.

(그림 6)은 이러한 가중치 분포의 예를 보여준다. 그림에서의 밝은 부분이 가중치가 높은 부분이고, 어두운 부분이 가중치가 낮은 부분이다. 오른쪽 조명의 사진을 보면 중앙 조명의 사진보다 전체적으로 어두운 것을 알 수 있다. 오른쪽 조명의 사진의 경우가 좌우의 밝기 차이가 많음을 나타낸다. 또한 볼의 가장자리와 코의 바로 옆부분 등은 그림자 부분으로 이 영역에

대한 가중치가 매우 낮게 반영됨을 알 수 있다.



(그림 6) 가중치 지도

3.4 선형 비례를 이용한 점대점 매칭

매칭을 위해서 먼저 매칭의 대상 영역을 정의할 필요가 있다. 얼굴 영역 전체를 비교 대상으로 할 경우, 작은 변화에 대해서도 민감하게 변화할 우려가 있으므로 영역 선택에 신중해야 한다. 눈의 윗부분은 머리카락이나 모자, 안경 등에 의해 가려질 경우가 빈번히 나타난다. 이 부분이 머리카락일 경우와 이마일 경우는 밝기값에 큰 차이를 보일 것이다. 그러므로 본 논문에서는 비교 대상 영역을 세로 방향으로 눈의 중점으로부터 턱의 윤곽부분까지로 설정한다.

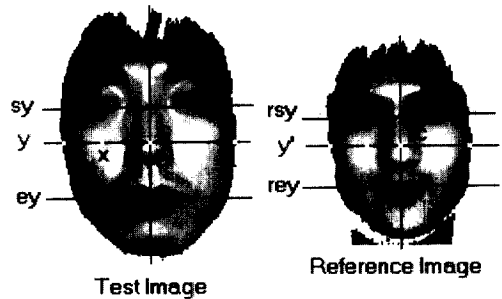
입력 이미지내의 얼굴 영역의 크기는 카메라와 얼굴 사이의 거리에 따라 크게 변한다. 점대점 매칭을 위해서는 이들 영역 사이의 1대1 대응이 필요하므로 참조 이미지와 입력 이미지를 정규화할 필요가 있다. 이를 위해 매칭 전에 입력 이미지의 얼굴 영역을 기준으로 세로 방향으로 선형 비례를 통해 길이를 통일시킨다. 이 비율에 따라 가로세로 비율이 변하지 않도록 가로 방향도 얼굴의 가로축 방향의 중점을 기준으로 선형

비례로 크기를 조정한다. 선형 비례에 사용되는 기하학적 특징점은 (그림 7)에 나타나 있다. 이를 이용하면 선형 비례 결과는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$y' = r_{sy} + RT \cdot (y - sy)$$

$$x' = rc + RT \cdot (x - c) \tag{8}$$

$$RT = \frac{r_{ey} - r_{sy}}{e_y - s_y} \tag{9}$$



(그림 7) 선형 비례에 사용되는 기하학적 특징점

크기에 대한 정규화가 끝나도 참조 이미지와 입력 이미지는 1대1로 대응되지는 않는다. 가로 세로의 비율을 유지하여 변형시켰기 때문에 어느 한쪽 얼굴 영역에만 속하는 부분이 나타나게 되어 있다. 이를 가장 자리 모양에 대한 표현으로 인식이 이용할 수도 있겠지만 조명이 불충분할 때는 이 부분들 역시 조명에 민감한 부분이 되므로 양쪽 이미지 모두에서 얼굴 영역에 포함되는 부분만 매칭에 사용한다.

선택된 영역은 가로축방향으로의 점대점 매칭을 수행한다. 매칭 어려운 구역거리모델을 근거로한 거리함수로 구해진다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Error = \frac{\sum_y \sum_x w(x,y) \cdot |Median(x,y) - Median(x',y')|}{\sum_x 1.0 \cdot u(x,y)} \tag{10}$$

- (x,y) : 입력 이미지의 좌표
- (x',y') : 참조 이미지의 좌표
- w(x,y) : (x,y)점에서의 가중치
- Median(x,y) : (x,y)점을 중심으로 3×3 영역의 밝기의 중앙값

위의 식에서 w(x,y)를 제거하면 2장에서 보았던 구역거리모델 에러함수와 같다. 즉 위의 식은 앞 절에서 구해진 가중치가 에러함수를 이용한 인식기에 어떻게 적용될 수 있는지를 보여준다. 가중치를 식 (10)의 분자에



만 적용시킨다면, 이미지 전체에 걸쳐 가중치가 낮은 이미지가 입력으로 들어오면 두 비교 이미지의 차이와 관계없이 일방적으로 낮은 에러값을 가지게 될 것이다. 이를 방지하기 위해 식 (10)의 분모에도 가중치를 똑같이 곱해준다. 에러값을 구할 때도 가중치를 구할 때와 마찬가지로 작은 잡음에 민감하지 않기 위해 3×3 크기의 윈도우의 중앙값을 가운데 점의 밝기값으로 한다.

위의 과정을 통해 구해진 전체 에러값은 nearest neighbour method를 통해 가장 가까운 클래스를 결정하게 되는데 이 클래스가 곧 인식된 사람을 가리키고 있다.

#### 4. 실험 결과 및 분석

입력 이미지로는 PC용 CCD 카메라로 촬영한 256 레벨의 그레이 영상을 사용한다. 이미지의 크기는 320×240으로 이 중 얼굴의 크기는 평균적으로 120×130 정도이나 얼굴의 크기는 정규화된 상태는 아니고 이미지에 따라 가변적이다. 얼굴의 방향은 정면으로 고정하였다. 이미지의 배경은 없으며, 정해진 방향에 따라 비추어진 조명만 허용된다.

한 사람 당 이미지의 개수는 12개로 조명의 밝기 및 방향별로 각 1장씩 촬영하였다. 조명의 밝기는 밝은 조명, 중간 조명, 어두운 조명의 3단계로 구분하였고, 방향은 정면 조명과 위쪽, 왼쪽, 오른쪽 각 45도의 4방향으로 구분되며, 아래쪽 조명은 얼굴 형태의 왜곡이 너무 심하고 실제 상황에서 거의 나타나지 않으므로 제외하였다. 실험 데이터는 25명당 12개씩의 이미지로 구성되어 총 300개의 이미지를 사용하였다.

전처리 과정에서 얼굴 영역의 추출은 입력 이미지 자체를 검은 배경의 어두운 환경에서 처리하여 얼굴 영역이 이미 추출되어 있음을 가정하였고, 기하학적인 특징점은 수작업을 통해 미리 구해 놓았다.

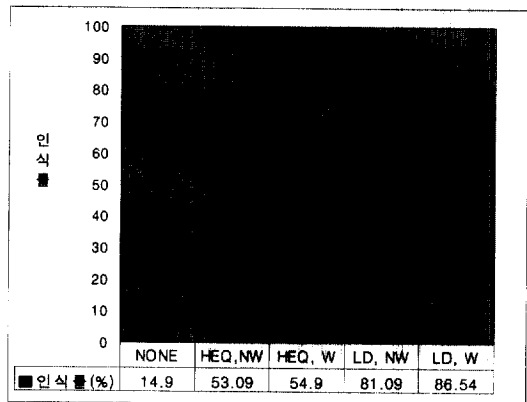
실험 결과는 기존 논문에서 조명의 밝기를 고려해 전처리로 많이 쓰였던 히스토그램 평활화를 비교대상으로 삼았고, 같은 인식을 사용하였다. 또한 가중치의 영향을 알아보기 위해 가중치를 사용한 결과와 사용하지 않은 결과를 비교해 보았다.

##### 4.1 조명의 방향, 밝기 변화에 대한 전체 실험

중간 밝기의 정면 조명 이미지를 참조 이미지로 하여 나머지 방향과 밝기가 다른 이미지들을 입력 이미지로 실험하였다. 참조 이미지는 각 사람당 1개씩 25

개의 이미지가 사용되었고, 입력 이미지는 나머지 275개이다. 이 실험으로 조명의 밝기와 방향의 변화에 대한 종합적인 인식을 비교할 수 있다.

(그림 8)에 각 전처리 및 가중치 적용여부에 대한 인식률과 인식된 이미지 개수를 보여주고 있다. 전처리를 전혀 거치지 않은 이미지는 조명의 방향과 밝기에 따라 크게 달라지므로 거의 인식이 되지 않는다. 따라서 히스토그램 평활화와 같은 전처리가 필요하게 되는데 히스토그램 평활화를 거친 이미지를 사용하면 50%정도를 인식했다. 히스토그램 평활화는 전체 이미지의 밝기 분포를 일정하게 정규화시키는 역할을 수행하기 때문에 밝기 변화에 대한 이미지의 변형을 잘 보정해 줄 수 있다. 그러나 조명의 방향 변화에 따른 밝은 영역과 어두운 영역의 지역적 분포를 보정해 주지는 않는다. 지역적 밝기 차이를 이용한 전처리(local difference)는 지역적인 영역의 분포를 어느 정도 보정해 줄 수 있으므로 이를 이용한 경우 인식률이 크게 향상됨을 알 수 있다.



(NONE : 전처리 없음, HEQ : 히스토그램 평활화, LD : local difference, NW : 가중치 없음, W : 가중치 있음) (참조 이미지 개수 25개, 입력 이미지 개수 275개)

(그림 8) 조명의 밝기, 방향 변화에 대한 전체 인식률

지역적 밝기 차이를 이용하고 가중치를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우는 큰 차이를 나타내지는 않는다. 그러나 가중치를 적용한 경우가 인식률이 약간 높아졌다. 지역적 밝기 차이를 이용한 전처리가 조명의 방향 변화에 대한 영향을 대부분 줄여줄 수 있고, 가중치의 적용은 보조적 수단으로서 보다 정확한 인식도를 도와준다고 할 수 있다.

전체적인 인식률만으로는 히스토그램 평활화와 지역적 차이의 특징을 자세히 알 수 없으므로, 실험 결과에 대해 다른 각도로 살펴볼 필요가 있다. 각 조명의 방향에 대한 오류 이미지의 분포를 살펴보면 조명의 방향이 수직, 수평으로 변할 때, 각각의 전처리 과정이 어떤 영향을 끼치는지 알 수 있을 것이다.

<표 1>에서는 전처리로 히스토그램 평활화와 지역적 밝기 차이를 이용한 전처리를 적용하였을 경우의 조명의 방향별 오류 분포를 보여주고 있다. 방향별 오류 분포는 각 전처리의 특징을 잘 나타내 주고 있는데 히스토그램 평활화를 전처리로 사용할 경우 조명이 위에서 비추었을 때보다 좌우로 비추었을 경우에 잘못 인식된 이미지가 훨씬 많은 반면, 지역적 밝기 차이를 이용한 전처리를 수행할 경우에는 좌우 방향보다는 위 방향의 오류가 더 많음을 알 수 있다. 조명의 방향이 바뀔 때, 얼굴이미지의 그림자 영역과 밝은 영역의 분포는 상하로의 변화때보다 좌우로의 변화때 좀 더 심하게 나타난다. 즉, 히스토그램 평활화는 전체 이미지의 조명의 밝기 분포는 정규화 해 줄 수 있지만 지역적인 밝은 영역의 분포는 보정해 주지 못한다. 반대로 조명의 방향이 상하로 바뀔 때 전체적인 그림자 영역과 밝은 영역의 분포 변화는 많지 않다. 그러나 눈과 코, 입의 가장자리 같은 지역적인 굴곡에 의해 작은 그림자 영역의 강약 대비나 모양은 크게 변화한다. 그러므로, 이 실험결과는 지역적 밝기 차이를 이용한 전처리가 조명의 방향 변화에 의한 밝기 분포의 변화를 보정 해줄 수는 있으나, 작은 영역에서의 급격한 변화는 보정하기 힘들다는 것을 보여준다.

<표 1> 잘못 인식된 이미지 개수 분포 (가중치가 있는 경우)

	정면	왼쪽 45°	오른쪽 45°	위쪽 45°	합 계
HEQ, W	0	52	54	18	124
LD, W	1	10	9	17	37

가중치에 의한 인식률 향상은 두드러지게 나타나지는 않는다. 그러나 약간의 인식률 향상을 언제나 보여주고 있으며 이는 히스토그램 평활화를 이용하였을 때에도 나타난다. 지역적 밝기 차이를 이용한 전처리를 수행한 경우, 가중치를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 인식된 이미지 개수는 15개의 차이를 보인다.

이들 15개의 이미지들은 모두 가중치를 사용하지 않았을 경우 구분이 안된 이미지들로 가중치가 적용됨으로써 변별력이 생긴 경우이다. <표 2>는 이들 이미지들의 조명 변화에 따른 분포를 보여주고 있다.

<표 2> 가중치를 사용하여 보정된 이미지들의 조명 변화에 대한 분포 (지역적 밝기 차이를 이용한 경우)

방향 밝기	정면	왼쪽 45°	오른쪽 45°	위쪽 45°	합 계
밝음	2	2	3	1	8
중간 밝기	0	4	2	0	6
어두움	0	0	1	0	1
합 계	2	6	6	1	15

가중치가 얼굴의 좌우 대칭을 이용했기 때문에 좌우 방향에 대한 보정은 수행할 수 있으나 상하방향의 밝기 영역 변화를 보정하기는 힘들다. 그러므로 좌우방향에 대한 이미지들을 위방향 조명보다 많이 보정해 줄 수 있는 것이다. 또한 조명이 어두운 경우는 좌우 밝기 차이가 뚜렷하지 않기 때문에 보정이 충분히 이루어지지 않는다.

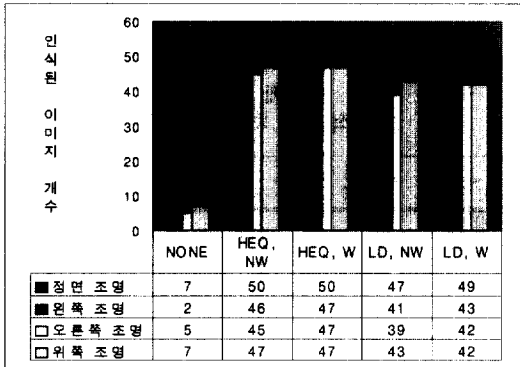
#### 4.2 조명의 밝기 변화에 대한 실험

조명의 밝기 변화에 한정하여 각 전처리에 대한 인식률을 비교하기 위한 실험을 수행했다. 조명 방향 변화의 영향을 피하기 위해 각 조명의 방향에 대한 이미지를 따로 묶어 실험을 수행했다. 참조 이미지는 각 조명 방향의 중간 밝기 이미지를 사용하고 입력 이미지로 나머지 이미지 중 같은 방향의 이미지들만을 사용한다. 그러므로 참조 이미지 25개에 대해 50개의 입력 이미지가 주어진다. 결과는 인식률보다는 인식된 이미지 개수로 표현한다.

히스토그램 평활화가 조명의 밝기에 대해서는 보정을 해줄 수 있다면, 같은 방향의 조명만을 대상으로 밝기를 변화시켰을 경우에는 인식률이 좋아야 할 것이다. 고정된 조명 방향에 대해서만 중간 밝기의 이미지를 참조 이미지로 설정하여 실험한 결과는 (그림 9)와 같다.

조명의 방향이 고정되어 있을 때는 히스토그램 평활화가 더 좋은 인식률을 나타낸다. 즉, 밝기 영역의 분포는 거의 변하지 않고 전체적인 밝기 정도만이 변할 때는 히스토그램 평활화로 충분히 보정될 수 있지만 조명의 방향이 바뀌면서 그림자와 밝은 영역의 분포가

달라질 때는 보정이 충분치 않다는 것을 의미한다. 위의 결과에서 지역적 차이를 적용한 경우에도 인식률에 많은 차이가 나지는 않는 것을 주목할 필요가 있다.

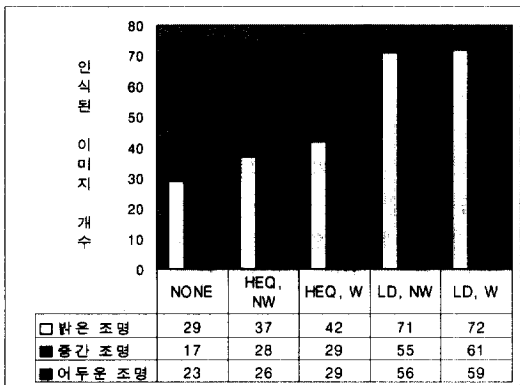


(한 방향에 대한 이미지만을 대상으로 한 실험)  
(각 방향당, 참조 이미지 개수 25개, 입력 이미지 개수 50개)

(그림 9) 조명의 밝기 변화에 대한 인식 결과

#### 4.3 조명의 방향 변화에 대한 실험

조명의 방향 변화에 한정하여 각 전처리에 대한 인식률을 비교하기 위한 실험을 수행했다. 조명의 밝기 변화를 피하기 위해 각 밝기에 대해 따로 실험을 수행했다. 참조 이미지는 각 밝기의 정면 이미지로 하고, 입력 이미지 75개씩을 입력받아 실험했다. 결과는 인식된 이미지 개수로 나타낸다. (그림 10)은 조명의 방향 변화에 대한 실험 결과이다. 인식률은 조명의 방향, 밝기에 대한 종합적인 실험과 비슷한 결과를 보여주고 있다.



(같은 밝기의 조명 이미지만을 대상으로 한 실험)  
(각 밝기당, 참조 이미지 개수 25개, 입력 이미지 개수 75개)

(그림 10) 조명의 방향 변화에 대한 인식 결과

요약하면 히스토그램 평활화는 고정된 조명의 방향의 경우, 이미지 전체적인 밝기의 강도 변화의 영향은 줄일 수 있으나, 조명의 방향이 가변적인 환경에서는 충분히 보정해 주지 못한다. 지역적 밝기 차이를 이용한 전처리는 고정된 조명 방향에서의 밝기 변화도 히스토그램 평활화와 비슷한 수준으로 보정해 주면서, 조명의 방향 변화에 대한 영향도 최소화 해주고 있다.

### 5. 결론 및 연구과제

지금까지 조명의 위치와 밝기가 고정되었던 기존의 시스템을 보완하여 조명의 위치와 밝기의 변화에도 보정이 가능한 두 가지 방법을 제시하였다. 조명의 영향을 줄일 수 있는 두 방법은 전처리 과정에서의 지역적 밝기 차이를 이용한 필터와 매칭 단계에서의 가중치 적용이다. 이들을 이용한 본 논문의 성과는 다음과 같다.

기존의 조명의 밝기 변화만을 고려했던 히스토그램 평활화를 전처리로 사용할 경우의 인식률은 54.9%로 조명의 위치 변화를 충분히 보정해 주지 못한다. 일반적으로 얼굴 인식에 관련된 논문에서 제시한 인식률을 85%에서 95%로 본다면 엄청난 차이라고 할 수 있다. 기존의 연구들에서 사용한 이미지들이 고정된 조명에서 사용되었거나 작은 조명의 변화에서만 적용되었기 때문일 것이다. 만약 조명이 변화하는 환경에서 기존의 인식 시스템을 사용한다면 인식률은 크게 낮아질 것이다. 그러나 이 논문에서 제시한 지역적 밝기 차이를 이용한 전처리를 수행하고 얼굴 영역의 밝기 차이에 의한 가중치를 부여할 경우에는 인식률이 86.5%로 향상되어 조명의 위치 변화를 충분히 보정해 주고 있다.

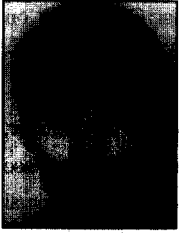
최근에 고려되고 있는 모델 기반의 방법 등은 통계학적인 데이터에 의존적이며 복잡한 반면 이 논문에서 제시한 방법은 간단히 구현될 수 있으며, 학습을 위한 테스트 이미지를 필요로 하지 않고 하나의 참조 이미지만으로도 인식이 가능하다. 또한 위의 방법들은 매칭 방법에 의존적인 수단들이 아니기 때문에 신경망 회로 등의 다른 인식기에도 쉽게 응용될 수 있다.

본 논문에서는 얼굴 영역이 이미 검출되었다고 가정하였고, 기하학적인 특징점을 추출하는 과정은 수작업으로 이루어졌기 때문에 이에 대한 자동화 작업이 추가되어야 할 것이다. 또한 얼굴 데이터베이스의 구축과 검색에 활용되기 위해서는 현재의 점대점 매칭을 위한 참조 이미지의 데이터 크기가 너무 크다. 이를

위해 본 논문에서 제안된 방법들이 통계학적인 변환 등을 거쳐 적용될 때에도 충분한 신뢰도가 보장되는지 검토되어야 할 것으로 본다.

## 참 고 문 헌

- [1] C. L. Wilson, Barnes, Chellappa, Sirohey, "Human and Machin Recognition of Face : A Survey," From the WWW, ftp.sequoyah.ncsl.nist.gov/pub/nist\_internal\_reports/ir\_5465.ps.z, 1995.
- [2] Simone Santini, Ramesh Jain, "Similarity Matching," Second Asian Conference on Computer Vision, pp.544-548, Singapore, 1995.
- [3] R. Brunelli, T. Poggio, "Face Recognition through Geometrical Features," Proceedings of European Conference on Computer Vision, pp.792-800, 1992.
- [4] Ingemar J. Cox, Joumana Ghosn, Peter N. Yianilos, "Feature-Based Face Recognition Using Mixture-Distance," Proceedings IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.209-216, 1996.
- [5] Thomas Maurer, Christoph von der Malsburg, "Single-View Based Recognition of Faces Rotated in Depth," International Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.248-253, Zurich, 1995.
- [6] S. S. Ipson, A. A. Somaie, W. Booth, "Face Identification Using 2-D Isodensity Moments," Second Asian Conference on Computer Vision, pp.484-488, Singapore, 1995.
- [7] S. Y. Lee, Y. K. Ham, R. H. Park, "Recognition of Human Front Face Using Knowledge-Based Feature Extraction and Neuro-Fuzzy Algorithm," Pattern Recognition Vol.29, No.11, pp.1863-1876, 1996.
- [8] A. J. O'Toole, H. Abdi, K.A. Deffenbacher, D. Valentin, "Low-Dimensional Representation of Face in Higher Dimensions of the Face Space," Journal of the Optical Society of America, series A, Vol.10, pp.405-411, 1993
- [9] Ying Dai, Yasuaki Nakano, Hidetoshi Miyao, "A Study of Face Recognition with the Low Quality Images," The Third International Conference on Automation Robotics and Computer Vision, pp.1442-1446, Singapore, 1994.
- [10] Alex Pentland, Baback Moghaddam, Thad Starner, "View-Based and Modular Eigenspaces for Face Recognition," M.I.T. Media Laboratory Perceptual Computing Section Technical Report No.245, 1994.
- [11] D. Valentin, H. Abdi, A. J. O'Toole, G. W. Cottrell, "Connectionist Models Of Face Processing : A survey," Pattern Recognition Vol.27, pp.1208-1230, 1994.
- [12] Osamu Nakamura, Shailendra Mathur, Toshi Minami, "Identification Of Human Faces Based On Isodensity Maps," Pattern Recognition Vol.24, No.3, pp.263-272, 1991.
- [13] Martin Bichsel, "Human Face Recognition : From Views to Models - From Models to Views," International Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.59-64, Zurich, 1995.
- [14] Robert G. Uhl Jr, Niels da Vitoria Lobo, "A Framework for Recognizing a Facial Image from a Police Sketch," Proceedings IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.586-593, 1996.
- [15] A. S. Georghiadis, D. J. Kriegman, P. N. Belhumeur, "Illumination Cones for Recognition Under Variable Lighting : Faces," Proceedings IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.52-58, 1998.
- [16] Yoh-Han Pao, "Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks," pp.172-178, Addison-Wesley, 1989.
- [17] Tatsumi Sakaguchi, Shigeo Morishima, Jun Ohya, Fumio Kishino, "Facial Expression Recognition from Image Sequences Using Hidden Markov Model," Second Asian Conference on Computer Vision, pp.713-717, Singapore, 1995.
- [18] J. T. Tou, R. C. Gonzalez, "Pattern Recognition Principles," pp.76-86, Addison-Wesley, 1974
- [19] Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G. Schunck, "Machine Vision," pp.118-121, McGraw-Hill, 1995.



### 박 현 남

e-mail : nami@dgu.ac.kr

1997년 동국대학교 컴퓨터공학과  
졸업(학사)

1999년 동국대학교 컴퓨터공학과  
대학원(공학석사)

1999년~현재 동국대학교 컴퓨터  
공학과 대학원(박사과정)

관심분야 : 컴퓨터 비전, 컴퓨터 그래픽스



### 조 형 제

e-mail : hjcho@dgu.ac.kr

1973년 부산대학교 전자공학과  
졸업(학사)

1975년 한국과학기술원 전기 및 전  
자공학과 대학원(공학석사)

1986년 한국과학기술원 전기 및 전  
자공학과 대학원(공학박사)

1986년~현재 동국대학교 컴퓨터·멀티미디어공학과 교수  
관심분야 : 멀티미디어 정보처리, 컴퓨터 비전, 컴퓨터  
그래픽스