

# 웨이블렛과 퍼지 C-Means 클러스터링을 이용한 얼굴 인식

윤 창 용, 박 정 호, 박 민 용  
연세대학교 전자공학과

Tel:(02)361-2868 Fax:(02)312-2333

## Face recognition using Wavelets and Fuzzy C-Means clustering

ChangYong Yoon, JungHo Park, Mignon Park  
Dept. of Electronics Engineering Yonsei University  
cyy@yeics.yonsei.ac.kr

### Abstract

In this paper, the wavelet transform is performed in the input  $256 \times 256$  color image and decomposes a image into low-pass and high-pass components. Since the high-pass band contains the components of three directions, edges are detected by combining three parts. After finding the position of face using the histogram of the edge component, a face region in low-pass band is cut off. Since RGB color image is sensitively affected by luminances, the image of low pass component is normalized, and a facial region is detected using face color informations. As the wavelet transform decomposes the detected face region into three layer, the dimension of input image is reduced.

In this paper, we use the 3000 images of 10 persons, and KL transform is applied in order to classify face vectors effectively. FCM(Fuzzy C-Means) algorithm classifies face vectors with similar features into the same cluster. In this case, the number of cluster is equal to that of person, and the mean vector of each cluster is used as a codebook.

We verify the system performance of the proposed algorithm by the experiments. The recognition rates of learning images and testing image is computed using correlation coefficient and Euclidean distance.

### 1. 서 론

웨이블렛 해석은 1980년대에 와서 활발하게 연구되기 시작한 이론으로 기존의 푸리에 해석(Fourier Analysis)이 가지고 있는 이론적 한계를 극복하기 위해서 시작되었다[1]. 푸리에 해석의 한계는 신호를 분석할 때 그 신호의 시간정보와 주파수 정보를 동시에 파악할 수 없다는 것이다. 웨이블렛 변환은 시간과 주파수 정보를 동시에 알게 되므로 웨이블렛 변환된 계수도 유용한 정보로써 이용이 가능하다. 본 논문에서는 웨이블렛 변환만을 이용해서 원래 영상과 가까운 얼굴색 정보와 윤곽선을 검출하여 얼굴 영역을 검출하는 방법을 제안한다. 웨이블렛을 이용한 윤곽선 검출은 수직, 수평 그리고 대각선의 윤곽선이 동시에 검출이 가능하다는 특징이 있다[2].

웨이블렛 변환은 영상의 공간 영역과 주파수 영역을 동시에 고려할 수 있으며 웨이블렛 변환을 시킨 영상은 한 개의 저주파 대역과 세 개의 고주파 성분이 포함된 대역으로 나뉘어지면서 차원이 감소한다. 이 저주파 대역이 다시 웨이블렛 변환의 입력으로 사용되어 원하는 차원을 가질 때까지 웨이블렛 변환을 수행한다. 따라서 웨이블렛 변환을 얼굴 인식 알고리즘에 이용함으로써 얼굴색 정보와 윤곽선 정보, 처리해야 할 영역의 차원 감소 등을 동시에 얻을 수 있다는 장점이 있다.

KL변환은 얼굴 인식 분야에서 많이 응용되고 있지만 얼굴벡터의 고유벡터를 구하는데 있어서 많은 계산량이 필요하여 구현이 힘들다는 단점이 있다[3]. 본 논문에서는 웨이블렛 변환으로 차원이 감소한 얼굴 벡터

를 입력으로 사용하여 고유값과 고유벡터의 계산량을 감소시켜 KL변환의 단점을 보완시킨다.

영상 패턴을 분류할 수 있는 기술은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 학습 과정동안 학습 패턴을 지식이 필요한 교사신호가 있는 경우와 학습패턴에 대한 지식이 필요 없는 교사신호가 없는 경우이다[4]. 교사신호가 없는 분류는 클러스터링이라고 불리며 클러스터링은 흐트러진 데이터 군을 몇 가지의 그룹으로 분할하는 방법이다. 이때 동일 그룹 내의 데이터는 유사한 성질을 갖고 다른 그룹간의 평균적 성질은 가능한 다르도록 분할한다. 실생활에서 영상 정보는 대상이 명확한 것이라도 여러 많은 요인에 의해서 픽셀값이 완전히 같은 것은 거의 없고 여러 클러스터의 특성들을 가지고 있기 때문에 애매한 클러스터링이 필요하다. 따라서 퍼지 C-means 클러스터링은 이런 애매함을 자유로이 조절할 수 있는 특징을 가지고 있다.

## 2. 얼굴 인식 시스템의 이론

### 2.1 RGB 좌표계의 정규화

모든 색은 세 가지 성분의 색을 이용하여 재구성할 수 있다는 것은 오래 전부터 알려져 온 사실이다. 이 중에서도 RGB 좌표계는 빨강, 녹색, 파랑의 세 가지 색을 이용하여 물체의 색을 표현하는 좌표계로 색 좌표계에서 가장 많이 사용되어지고 있다. 보통 컬러 RGB 영상은 조명에 상당히 민감한 영향을 받기 때문에, 실제 정확하고 정밀한 연산을 수행하기 위해서는 얻어진 R, G, B 값을 정규화 하는 과정이 필요하다.

R, G, B 값들의 정규화 과정은 다음과 같다.

$$D = R + G + B \quad (1)$$

$$r = \frac{R}{D}, g = \frac{G}{D}, b = \frac{B}{D} \quad (2)$$

색을 나타내는 좌표계로는 RGB 좌표계뿐만 아니라 색채요소와 명암요소가 분리된 YIQ 좌표계와 휘도치 성분을 하나의 주성분으로 취하는 CIE 좌표계가 있다. 그렇지만 실험과정에서 입력된 RGB 좌표계의 영상을 변환시켜주는 과정이 수반되므로 본 논문에서는 R, G, B 값의 정규화를 통해 조명에 대해 비교적 안정적인 결과를 얻을 수 있도록 하였다. 이런 R, G, B 값의 정규화를 통해 다른 조명(illumination) 환경에서 획득한 영상에 대해서 픽셀 당 정규화 된 R, G, B의 값은 큰 편차가 없게 된다.

### 2.2 웨이블릿 변환(wavelet transform)

원래의 신호를 두 개의 필터를 이용해서 고주파와 저주파 성분을 갖는 신호로 분리하면 두 개의 신호 중에서 원하는 부분을 동일한 두 개의 필터를 이용하여 다시 그 신호의 성분의 고주파와 저주파로 나눌 수 있다. 즉, 원 신호의 해상도의 절반의 해상도를 지닌 두 개의 신호를 만들어내는 것이다. 이것을 반복하게 되면, 원하는 대역의 주파수 성분을 알아낼 수 있으며 원래의 해상도보다 낮지만 다해상도를 지닌 신호를 만들 수 있다. 또한 나누어진 신호들을 적당한 필터를 사용하여 원래의 신호로 복원한다. 이것을 필터 뱅크(filter bank)라고 부른다.

QMF(Quadrature Mirror Filter) 뱅크는 웨이블릿 변환의 대표적인 필터 뱅크로서 저역 통과 필터, 고역 통과 필터와 샘플링 연산자 즉, 데시메이터(decimator)와 인터폴레이터(interpolator)로 구성되어있고 크게 분해 뱅크와 합성 뱅크로 구성되어 있다. 그림 1은 분해 뱅크만을 나타낸 것이다. H(x)는 저역 통과 필터이며 G(x)는 고역 통과 필터이다. 입력 신호에 대하여 분해 뱅크 부분에서는 저역 통과 필터와 고역 통과 필터를 통과하여 각각 두 개의 독립적인 신호가 발생하고, 이 신호의 길이를 줄이기 위해서 데시메이터(decimator)를 사용한다. 합성 뱅크 부분에서는 줄어든 신호를 늘이기 위해 인터폴레이터(interpolator)를 통과시키고 필터 뱅크의 설계조건을 만족하는 필터를 통과시켜 신호를 재생시킨다.

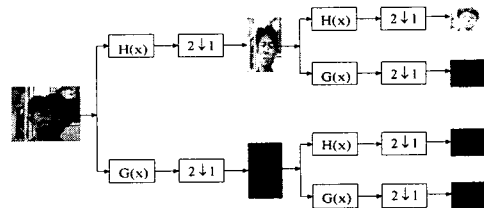


그림 1. 2차원 영상 분해 과정

### 2.3 퍼지 C-Means 클러스터링

클러스터링은 흩어져있는 데이터 군을 몇 가지 그룹으로 분할하는 방법이다. 이때 동일 그룹내의 데이터는 유사한 성질을 갖고, 그룹간의 평균적 성질은 되도록 다르게 분할한다.

클러스터링은 데이터 집합 X와 분할 행렬 U를 연결한 것으로 생각할 수 있고  $U_x$ 라고 표기한다. FCM 알고리즘에는 최적의  $U_x$ 를 구하기 위해 다음과

같은 일반화한 그룹내의 자승오차 합을 목적 함수로 한다.

$$J_m(U, v) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^c (u_{kj})^m \|x_j - v_k\|^2, \quad 1 \leq m \leq \infty \quad (3)$$

여기서  $x_j$ 는  $d$ 차원의 측정 데이터이고  $v_k$ 는  $d$ 차원  $k$ 번째의 클러스터의 중심이다.  $m$ 을 1이상의 값으로 취하여 자유로이 애매함을 조절할 수 있는 것이 퍼지 클러스터링의 특징이다. 식 (3)을 극소로 하는  $u_{kj}$ 와  $v_k$ 를 각각  $\hat{u}_{kj}$ ,  $\hat{v}_k$ 로 놓는다. 이때  $m > 1$ 에 대하여 다음 식을 만족한다.

$$\hat{u}_{kj} = \left( \frac{\|x_j - \hat{v}_k\|}{\sum_{g=1}^c \|x_j - \hat{v}_g\|} \right)^{\frac{2}{m-1}} \quad \forall_{j,k} \quad (4)$$

$$\hat{v}_k = \frac{\sum_{j=1}^n (\hat{u}_{kj})^m x_j}{\sum_{j=1}^n (\hat{u}_{kj})^m}, \quad \forall_k \quad (5)$$

식 (3)을 극소로 하는  $\hat{u}_{kj}$ 는 다음 순서를 반복함에 의해 구할 수 있다.

- ①  $m$ 과 클러스터수  $c$ 를 가정하여 식(4)로 놈(norm)을 적당히 정의한다. 또  $U$ 의 초기치  $U^{(0)} \in M_{fc}$ 를 적당히 설명한다( $U^{(0)}$ 는  $u_{kj}$ 에 무관하게 랜덤하게 골라도 된다).
- ②  $U^{(0)}$ 와 식(5)를 이용하여 클러스터 중심  $v_k^{(0)}$ 를 계산한다.
- ③  $v_k^{(0)}$ 와 식(4)를 이용하여  $U^{(1)}$ 를 구한다.
- ④ 임계치 ( $\epsilon$ )를 정의하고,  $\|U^{(p)} - U^{(p-1)}\| \leq \epsilon$ 이 될 때까지 위의 순서를 반복한다.

### 3. 제안된 얼굴 인식 시스템의 구현

디지털 CCD 카메라를 통해 획득한 영상이 기억되어 있는 많은 얼굴들 중에서 어떤 얼굴인지를 가려내는 얼굴 인식 시스템은 컬러 디지털 CCD 카메라, 영상 데이터 캡처 보드, 그리고 알고리즘이 부여된 소프트웨어로 구성되어 있다. 알고리즘이 부여된 소프트웨어에는 입력 영상에서의 얼굴 영역 검출, 검출된 얼굴내에서의 특징점 추출, 그리고 저장된 얼굴들을 클러스터링 하여 얼굴을 인식하는 것 등이 포함되어 있다.

본 논문에서 제안된 알고리즘 흐름도는 그림 4-1과 같다. 그림 2의 알고리즘 흐름도에서 나와있는 것처럼

디지털 CCD 카메라로부터  $256 \times 256$  크기의 24bit 컬러 RGB 영상을 획득한다. 획득한 입력 영상은 주위 배경이 있는 10명의 얼굴을 300장씩 받아들인다.

먼저 2차원 입력 영상을 Haar 웨이블릿 변환을 시키면  $128 \times 128$  크기를 가지는 한 개의 저주파 영역과 고주파 영역이 포함된 3개의 영역으로 나뉘어지게 된다. 고주파 영역들은 RGB 값의 변화가 있는 부분에서 수평, 수직, 대각선 성분을 가지게 된다. 이 세 가지 윤곽선 성분들을 합친 다음 그레이(grey) 이진 영상으로 변환시키고 수직, 수평 방향으로 투영을 시켜서 얼굴 위치의 좌표값을 찾는다.

얼굴이 존재하는 위치의 좌표값을 이용하여 저주파 필터를 통과시킨 영상에서 얼굴 영역을 잘라낸 후 조명에 대한 의존도를 감소시키기 위하여 휘도치 정규화를 수행한다. 휘도치 정규화를 시킨 후에 얼굴색의 RGB 컬러 정보를 바탕으로 얼굴의 윤곽을 찾아낸다. 찾아낸 얼굴 영역을 이진 영상으로 변환하고 수평, 수직 방향으로 투영시켜 얼굴 영역을 검출한다.

검출된 얼굴 영역을 3계층까지 웨이블릿 변환시켜  $14 \times 14$  차원을 갖도록 줄인 후에 벡터 형태로 나타낸다. 비슷한 특징을 갖는 벡터들을 효과적으로 분류하기 위해서 벡터들을 KL 변환시켜 특징벡터로써 사용한다. KL 변환된 특징벡터들에 퍼지 C-Means 클러스터링을 적용하면 서로 유사한 특징을 갖는 벡터들이 클러스터를 형성하고 각 클러스터를 대표할 수 있는 평균 벡터가 구해진다. 각 클러스터들이 가지는 평균 벡터를 코드북(codebook)으로 설정하고, 코드북과 가장 가까운 얼굴 영상 벡터를 해당 클러스터를 대표하는 영상으로 간주한다. 새로운 얼굴 벡터가 입력될 때 코드북들과 가장 거리가 가까운 클러스터 안으로 들어간 다음 평균벡터와의 상관계수와 유클리디안 거리를 이용하여 인식 여부를 판단한다.

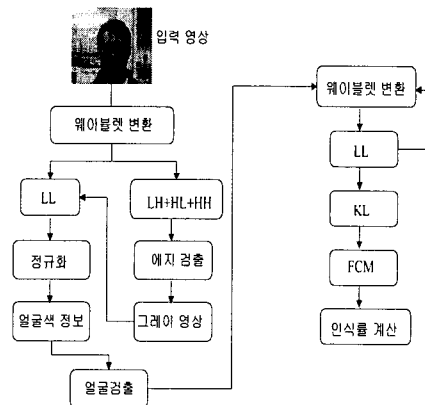


그림 2. 얼굴 인식 시스템 흐름도

#### 4. 실험 결과

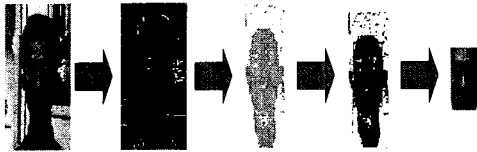


그림 3. 윤곽선을 이용한 얼굴 검출 과정

$m$ $\lambda$ 의 수	1.00	1.50	2.25	3.00
5	380	360	372	375
10	149	130	170	182
15	280	270	250	320
20	276	243	255	295

표 1. 고유값( $\lambda$ )의 수와  $m$ 값에 따른 클러스터링 실패수

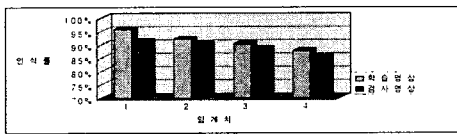


그림 4. 상관계수를 이용한 전체 인식률 계산

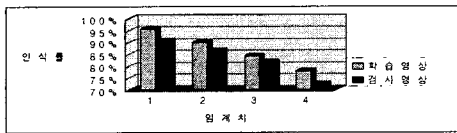


그림 5. 유클리디안 거리를 이용한 전체 인식률 계산

#### 5. 결론

본 논문에서는 CCD카메라로부터 획득한 여러 사람의  $256 \times 256$  영상을 받아들인 다음 입력 얼굴 영상이 학습된 10명의 영상 중에서 어떤 영상인지를 가려내는 새로운 얼굴 인식 알고리즘을 제안하였다. 얼굴 영역 검출, 특징점 추출, 얼굴 인식의 3단계로 구성되는 얼굴 인식 단계를 구현해 보았다.

2차원 영상은 웨이블릿 변환을 하면  $128 \times 128$  차원으로 감소한 한 개의 저주파 대역과 고주파 성분이 포함된 3개의 대역으로 나누어진다. 이 저주파 대역에서는 원 영상의 대부분의 에너지 값이 존재하며 나머지 고주파 대역들에서는 수평, 수직, 대각 방향의 윤곽선

이 추출된다. 이 고주파 대역의 윤곽선과 저주파 대역의 픽셀값(얼굴색 정보)을 이용하여 얼굴 영역을 검출하였다. 따라서 웨이블릿 변환을 이용하면 처리할 영역의 차원을 감소시켜 계산량을 줄일 수 있고 얼굴색 정보와 윤곽선 정보를 동시에 얻을 수 있으므로 더 정밀한 얼굴 영역 검출을 할 수가 있었다.

300개씩의 10명의 영상의 얼굴 인식을 위한 특징점들의 분류는 FCM(Fuzzy C-Means) 클러스터링을 이용하였는데 파라미터  $m$ 값이 1.5로 주어졌을 때 가장 잘 클러스터링이 되었다. 최대 인식률은 클러스터링의 성공률과 같음을 확인할 수가 있었다. 클러스터링 수행 후 학습 영상을 입력하여 평균 벡터들과 거리가 가장 가까운 클러스터를 찾아간다. 찾아간 클러스터 안에서 평균 벡터들과의 상관 계수와 유클리디안 거리를 계산한 후에 적당한 임계치를 정한 후 임계치를 변화시키면서 학습 영상과 검사 영상에 대한 인식률을 계산하였다. 상관계수의 임계치를 높일수록 유클리디안 거리 임계치를 낮출수록 인식률이 증가하였고 상관계수를 이용한 방법이 유클리디안 거리를 이용한 방법보다 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 얼굴 인식을 위한 인식의 3단계를 모두 고려한 알고리즘을 제안하였기 때문에 각 단계마다 발생할 수 있는 오차가 인식률에 영향을 주었다고 예측되므로 이 오차를 줄이는 방법이 필요하다. 특히 배경과 조명이 있는 영상에서의 더 정밀한 얼굴 검출 방법을 적용하고 기울어짐이나 표정의 변화가 큰 영상에 대해서 변하지 않는 특징점 추출 방법의 개선이 이루어진다면 인식률의 향상뿐만 아니라 동영상에서의 실시간 얼굴 인식도 기대할 수 있다.

#### 6. 참고 문헌

- [1] C. Sidney Burrus, Ramesh A. Gopinath, and Haitao Guo, "Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms," A Primer, Prentice-Hall, 1998
- [2] Alan Watt, Fabio Policarpo, "The Computer Image," Addison-Wesley, pp. 280-289, 1998
- [3] P C Yuen, D Q Dai and G C Feng, "Wavelet-based PCA for Human Face Recognition," pp.223-228, 1998
- [4] Younes Chtioui, Dominique Bertrand, Dominique Barba, Yvette Dattee, "Application of Fuzzy C-Means clustering for seed discrimination by artificial vision," Chemometrics and Intelligent Laboratory System 38, pp75-87, 1997