

동적 링크 구조상에서의  
얼굴 인식 기술에 관한 연구

이승철, 김현술, 김지운, 박상희  
연세대학교 전기공학과

A study on Face Recognition Technology  
in the Dynamic Link Architecture

Seoung-Cheol Lee, Hyun-Sool Kim, Ji-Hun Kim, Sang-Hui Park  
Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ.

**Abstract** - This paper proposes a new face recognition technique in the dynamic link architecture which shows robustness against size variation and distortion. The face recognition technique in the dynamic link architecture so far was not appropriate for the recognition of various size of faces because of the fixed size of the graph and the fixed value of  $\sigma$  of the Gabor filter not considering the size of the face.

The proposed face recognition algorithm can represent the input facial image by a suitable size of labeled graph, and it can also adjust the dilation width and the height of the vibrating amplitude of the Gabor filter, thus face recognition in the dynamic link architecture is even applicable regardless of the size of the face.

1. 서 론

사람의 눈으로 직접 인식을 요하지 않는 기계로부터의 자동 얼굴인식 기술은 사진 또는 카메라를 통해 입력되는 영상 자료에서 얼굴 부분만을 따로 검출하고, 검출된 부분의 특징을 잘 나타낼 수 있는 특징 파라미터를 도입하여 표현한 후 데이터 베이스상의 얼굴 자료와 비교하여 신분을 확인하는 것이다.

1990년대 이후의 얼굴 인식 분야는 크게 "Eigenface를 이용한 PCA 방법론", "동적 링크 구조를 이용한 방법론", "신경회로망을 이용한 방법론"등으로 나뉘어서 독립적으로 연구되어지고 있다. "동적 링크 구조에 의한 방법론"은 나머지 두 방법론에 비해서 처리 속도 면이나 인식율의 면에서 우수함과 더불어 여러 가지 조명이나 왜곡에도 인식이 가능함이 이미 입증 되었다. 그러나 이 방법론은 얼굴의 크기가 다른 경우에는 고정된 구조에 의한 제약 때문에 인식이 가능하지 않다. [2] 본래의 동적 링크 구조에 의한 얼굴인식 시스템은 전처리 과정을 거친 영상을 토대로 얼굴 검출 과정과 얼굴 인식 과정 부분을 탄력적인 그래프 정합 알고리즘에 의하여 행하는 것으로서 과정이 단순하고, 다양한 조명 또는 왜곡이 있어도 인식이 가능하다. 이러한 알고리즘은 입력 영상에 쉐워진 직사각형의 그래프에 의한 동적 링크 구조에 의해서 가능하게 된다. 동적 링크 구조의 교차점의 특징 벡터들간의 비교를 통하여 얼굴간의 유사성을 판단하게 되며, 예지들의 거리를 비교함으로써 왜곡 정도를 고려할 수 있다. [3]

본 연구에서 제안하고자 하는 얼굴 인식 알고리즘은 위의 알고리즘을 기초로 하여 영상에서 얼굴 부분을 미리 검출하여 영상에서 얼굴이 차지하는 크기를 미리 예상할 수 있어서 크기에 따른 가변적인 동적 링크 구조를 구성해서 얼굴의 크기에 무관한 인식이 가능하다. 이를 가능

하게 하기 위해서 얼굴 영상의 전처리 과정이 크기에 따라서 일관성 있게 이루어질 수 있는 수단이 요구된다. 본 연구에서는 영상의 전처리 과정으로서 인간의 시각 피질내의 수용계를 표현하기에 적당하고 얼굴의 크기에 따른 필터의 팽창 폭 및 진폭을 고려할 수 있는 Gabor 웨이브렛 변환을 택했다.

2. 얼굴 인식 기술

동적 링크 구조상에서 얼굴은 일률적인 크기의 부호화된 그래프로 표현된다. 부호화된 그래프에서 인식을 위하여 필요한 얼굴에 대한 정보는 그래프의 교차점에서의 영상의 전처리 과정을 통하여 추출된 얼굴의 특징 벡터 및 얼굴의 지형적인 정보를 얻기 위해서 예지들간의 유클리디안 벡터를 사용하였다. 위의 정보를 토대로 하여 탄력적인 그래프 정합법에 의해서 데이터베이스 안의 얼굴들과의 비교 과정이 행해진다.

2.1 얼굴의 특징 추출

동적 링크 구조상에서 영상에서 얼굴에 대해 필요한 정보를 추출하고, 인식 과정에서 왜곡을 고려하기 위해서 그래프 구조가 요구된다. 128×128 영상에 대해서 대부분의 영상에서 얼굴 부분을 전부 포함한 격자를 구성하기 위해서 얼굴의 크기에 따라 각 교차점 사이의 거리가 일정한 거리가 되게 세로 부분을 10개의 점으로, 그리고 가로 부분을 7 개의 점으로, 다시 말하면 7×10의 부호화된 그래프가 되도록 설계한다. 그림 1은 부호화된 그래프의 일반적인 모형을 나타낸다.

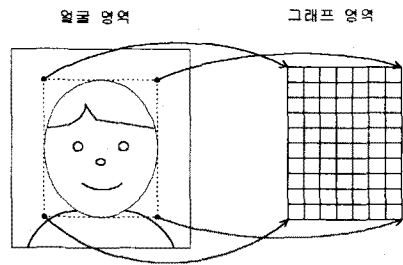


그림 1 부호화된 그래프

Gabor 웨이브렛은 인간의 기본적인 시각 피질내에 있는 일반적인 세포의 수용계와 비슷한 모형을 하고 있다. [4] Gabor 웨이브렛 변환은 공간 영역 및 주파수 영역에서 지역적으로 분포되어 있고, 식 (1)과 같이 평면파가 가우시안 함수에 의해서 제한된 모형을 하고 있다.

$$\psi_j(\vec{x}) = \frac{k_j^2}{2\sigma^2} \exp\left(-\frac{k_j^2 x^2}{2\sigma^2}\right) [\exp(i\vec{k}_j \cdot \vec{x}) - \exp(-\frac{\sigma^2}{2})] \quad (1)$$

Fourier 변환의 식은 아래와 같이 중심 주파수  $\vec{k}$ 의 크기에 따라서 다해상도로 분석한다.

$$(F\phi_{\vec{k}})(\vec{k}_0) = \exp\left(-\frac{\sigma^2(\vec{k}_0 - \vec{k})^2}{2k^2}\right) - \exp\left(-\frac{\sigma^2(\vec{k}_0 + \vec{k})^2}{2k^2}\right) \quad (2)$$

그림 2와 그림 3은  $\vec{k}$ 의 크기가  $\pi/4\sqrt{2}$ 이고 방향이  $\pi/4$ 인 웨이브렛의 공간 영역과 주파수 영역에서의 모양을 나타낸다.

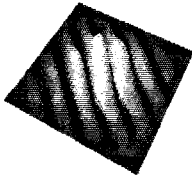


그림 2 공간 영역의 웨이브렛

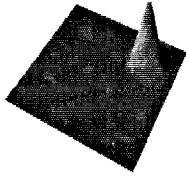


그림 3 주파수 영역의 웨이브렛

Gabor 웨이브렛 변환을 통한 영상의 전처리 과정으로 얻어진 값들은 앞에서 본 바와 같이 얼굴인식 시스템에서의 영상의 특징을 규정짓는 특징 파라미터로서 쓰이게 된다. 날카로운 에지들이 물체의 인식에 있어서 중요한 위치를 차지한다는 것은 이미 알려진 사실이다. 그러나  $\vec{k}$ 의 방향과 일치하는 에지들에 대한 Gabor 필터의 허수부나 실수부의 응답은 정합을 위한 완만한 정점을 이루지 않고 진동적으로 정점으로 수렴하게 된다. 그래서 본 연구에서는 실수부에 의한 응답과 허수부에 의한 응답을 이용한 크기를 얼굴의 특징 파라미터로서 사용하였다. 다시 말하면 복소 응답의 절댓값을 사용하였다. 중심 주파수 벡터를 크기와 방향에 따라 표현하면 다음과 같이  $\vec{k}_{\mu\nu} = k_{\nu}(\cos(\varphi_{\mu}) + isin(\varphi_{\mu}))$ 로서 방향과 크기에 따른 표현을 해 줄 수 있다. 각각의 방향과 크기에 따른 값들은 얼굴의 특징을 나타내기 위한 파라미터로서 사용되게 된다. Gabor 필터와의 선형적인 컨볼루션 결과는 식 (3)과 같이 표현되며,  $(WI)(\vec{k}_{\mu\nu}, \vec{x}_0)$ 의 크기는 위치  $\vec{x}_0$ 에서의 특징 벡터를 나타내며, 이 특징 벡터를 "Jet"라 한다.

$$(WI)(\vec{k}, \vec{x}_0) = \int \psi_{\vec{k}}(\vec{x}_0 - \vec{x})I(\vec{x})d_2x = (\psi_{\vec{k}} * I)(\vec{x}_0) \quad (3)$$

$$J_{\mu\nu}(\vec{x}_0) = |(WI)(\vec{k}_{\mu\nu}, \vec{x}_0)| \quad (4)$$

부호화된 그래프의 교차점에서의 "Jet" 값들을 이용하여 얼굴의 grey-level 분포에 대한 정보를 부호화하며, 얼굴의 왜곡된 척도를 나타내는 그래프의 지형적인 정보는 에지들간의 유클리디안 벡터로서 표현된다.

## 2.2 탄력적인 그래프 정합

데이터베이스안의 얼굴 영상에 대해서 구성된 부호화된 그래프의 영역을  $M$  영역으로 하고, 가변적인 입력 영상에 대해서 구성된 부호화된 그래프의 영역을  $I$  영역으로 표기할 때 입력 영상과 데이터베이스 안의 얼굴 영상간의 유사성은 다음의 비용함수 값을 최소화 시키는 과정으로서 행해진다.

$$C_{total} = \lambda \sum_{(i,j) \in E} S_e(\vec{A}_{ij}^I, \vec{A}_{ij}^M) - \sum_{i \in V} S_i(J^I(\vec{x}_i^I), J^M) \quad (5)$$

$S_e$ 는 구성된 그래프의 에지들간의 유사도를 나타내는 척도이며, 식 (6)과 같이 유클리디안 벡터간의 차의 제곱 거리로서 판단한다.

$$S_e = (\vec{A}_{ij}^I - \vec{A}_{ij}^M)^2 \quad (6)$$

$S_e$ 는 교차점에서의 얼굴의 특징값들간의 유사도를 판단하는 척도이며, 식 (7)과 같이 정규화된 "Jet" 벡터간의 벡터 내적으로서 나타난다.

$$S_e = \frac{J^I \cdot J^M}{|J^I||J^M|} \quad (7)$$

여기서  $\lambda$ 는 인식 과정에서 그래프가 왜곡될 수 있는 정도를 나타내는 상수로서 왜곡이 전혀 안 될 때는  $\infty$  값을 가지며 왜곡을 많이 고려할수록 0에 가까운 값을 가지게 된다.

먼저 왜곡을 고려하지 않고 그래프를 입력 영상에서 식 (5)에 의한 비용함수의 값이 가장 위치에 고정시키게 되며(이를 "전체적인 이동"이라 한다.). 선정된 위치를 토대로 교차점별로의 왜곡을 고려한다.(이를 "지역적인 이동"이라 한다.).

## 3. 가변적인 얼굴 인식 기술

동적 링크 구조상에서의 얼굴 인식 기술은 2 장의 방식에 의해서 이루어진다. 이는 얼굴의 크기가 일정한 경우에는 다른 얼굴 인식 기술에 비해 데이터의 처리량이나 정확성의 측면에서 우수하나, 다양한 얼굴의 크기를 고려하기에는 부적합하다.[2] 본 논문에서 다양한 얼굴의 크기에 적용될 수 있도록 제안하는 방법들에 대해서 살펴보겠다.

### 3.1 얼굴 영역의 추출

본 연구에서는 수평 에지를 단서로 인간이 얼굴을 인식하는 가장 간단한 원리를 이용한 얼굴 템플릿을 고안하여, 배경이 복잡한 영상에서 정면얼굴의 눈과 코·입 영역을 템플릿 정합을 이용하여 찾아내고, 그 부분의 주변에서 얼굴에 해당하는 타원형을 찾아낸다. 타원 검출 이전에 얼굴의 눈과 코·입 부분을 찾아내는 전처리과정을 동으로써 타원검출법에 비해 좀 더 정확한 타원검출이 가능하게 된다.[4] 여기서 구한 타원의 장축의 길이를 이용하여 동적 링크 구조상의 부호화된 그래프의 크기를 결정하며, 또한 Gabor 필터의 팽창 폭을 결정하게 된다.

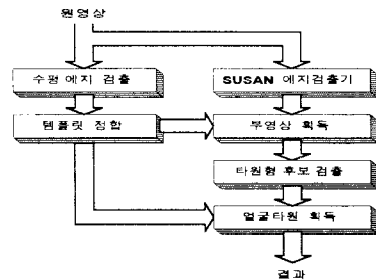


그림 4 얼굴 검출 흐름도

### 3.2 필터의 팽창 폭 조절

얼굴의 특징 벡터는 입력 영상과 Gabor 필터의 선형적인 컨볼루션의 결과로 생긴 실수 항과 허수 항을 가지는 복소 항의 크기를 구한 결과로서 이루어짐은 2 장에서 본 바와 같다. 얼굴의 크기가 동일할 때는 문제될 것이 없지만 얼굴의 크기가 다를 때는 필터의 폭을 고려하여야 한다. 다른 얼굴의 크기간에 같은 팽창 폭을 가지는 필터를 사용한다면 큰 얼굴에는 필터에 포함되지 않는 부분이 생길 것이며 이런 결과로 같은 사람이라도 할지라도 비슷한 특징 값을 얻지 못할 것이다. Gabor 필

터를 나타내는 식 (1)에서 보면  $\frac{\sigma}{k_{\sigma\mu}}$  은 가우시안의 팽창 폭을 결정하는 표준편차에 해당되며, 데이터베이스 안의 얼굴 영상 보다 큰 얼굴이 입력 영상으로 들어올 때는 조금 더 넓은 범위로 필터가 팽창하여야 한다.  $\frac{\sigma}{k_{\sigma\mu}}$  에서 중심 주파수 벡터인  $\vec{k}_{\sigma\mu}$  는 변하면 안되므로 결국은  $\sigma$  값에 의해서 필터의 팽창 폭을 제한하게 된다.

$$(\psi_{\sigma\mu}(\vec{x}))' = \frac{k_{\sigma}^2}{2\sigma^2} \left[ \frac{k_{\sigma}^2}{\sigma^2} (x+y) \cos(k_{\sigma} \cos \varphi_{\mu} x + k_{\sigma} \sin \varphi_{\mu} y) - \frac{k_{\sigma}^2}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2}\right) + k_{\sigma} (\cos \varphi_{\mu} + \sin \varphi_{\mu}) \sin(k_{\sigma} \cos \varphi_{\mu} x + k_{\sigma} \sin \varphi_{\mu} y) \right] \quad (7)$$

$\sigma$  및 Gabor 필터의 실수부의 미분한 결과인 식 (7)을 이용하여 필터의 팽창 폭을 조정하였다. 어느 정도의 팽창 폭을 위하여  $k_{\sigma}$ 의 크기에 따라 각각 다른 값들이 적용될 것이다. 또한 식 (1)을 보면 Gabor 필터의 진폭은 거의  $\frac{k_{\sigma}^2}{\sigma^2}$ 에 비례함을 알 수 있다. 새롭게 적용된  $\sigma$ 의 값을  $\sigma_{app}$ 라고 할 때, Gabor 필터에 진폭의 값을 보상해주는 인자  $\frac{\sigma_{app}^2}{\sigma^2}$ 를 곱해 주어서, 모양은 변하지 않으면서 팽창 폭의 변화만이 있는 필터를 구현할 수 있었다.

### 3.3 개선된 그래프 정합법

얼굴의 타원 영역의 추출을 통해 구한 타원의 장축의 길이를 이용하여 구성된 그래프의 크기에 대하여 다양한 얼굴의 크기에 적용될 수 있도록 고정된  $M$  영역의 그래프에 대하여  $I$  영역에 구성된 그래프의 크기를 조정하였으며, 식 (5)의 예지들간의 유사도를 측정하는 항에 크기를 조정하는 인자를 곱해 주었다.

### 4. 실험 및 결과

본 연구에서 실험을 위하여 MIT 데이터베이스 및 YALE 데이터베이스의  $128 \times 128$  영상을 사용하였다. 실험을 위한 데이터베이스의 구성을 위해서 각각의 데이터베이스에서 얼굴 부분에 해당하는 타원의 장축의 길이가 75 픽셀에서 88 픽셀 사이이고, 타원의 단축의 길이가 50 픽셀에서 60 픽셀인 얼굴 영상들을 선택하였다.

여러 가지 값의  $\lambda$ 에 대해서 실험을 하였으며,  $\lambda = 3 \cdot 10^{-6}$ 일 때의 결과가 가장 좋았다. 얼굴의 크기가 다른 얼굴 영상이 입력 영상으로 들어 왔을 때, 고정된 값으로  $\sigma$  값을 설정한 경우와  $k_{\sigma}$ 의 크기에 따라서 각각 다른 값을 설정한 경우를 비교했다.  $\sigma$ 의 값에 변화를 주었을 때의 결과가 그렇지 않은 경우보다 좋은 결과를 나타냈고,  $k_{\sigma}$ 의 값에 따라 각각 다른 값을 설정하였을 때의 결과가 훨씬 좋게 나왔다. 또한 각각의 경우에 진폭의 변화를 보상하는 인자를 고려하였을 때와 그렇지 않았을 때의 경우를 비교해 보면 고려한 경우의 인식률이 월등히 높은 것을 볼 수 있다.

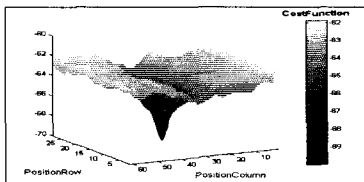


그림 5 동일한 얼굴 영상에 대한 비용함수 곡선

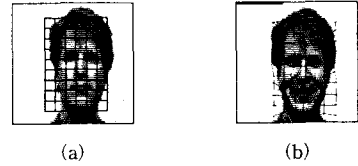


그림 6 후보 얼굴 영상 및 정합 과정을 통하여 왜곡된 그래프



그림 7 전체적인 이동과 지역적인 이동에 의한 그래프

그림 5는 "전체적인 이동"에 의하여 그래프를 이동시킬 때의 입력 영상의 위치에 따른 비용함수의 값의 분포를 도시하였다. 나타난 바와 같이 원만히 최소값을 갖는 위치로 수렴함을 볼 수 있다. 그림 6은 (b)의 입력 영상에 대해서 가장 적합한 후보 모델로 선택된 데이터베이스 내의 (a)영상을 나타낸다. 그림 7의 (a)는 입력 영상에 "전체적인 이동"을 통해서 구성된 그래프의 모양 및 (b)는 "지역적인 이동"을 통하여 구성된 그래프의 모양을 나타낸다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 얼굴의 크기가 데이터베이스 내의 얼굴 영상과 크기가 다른 경우에도 인식이 가능한 동적 링크 구조상에서의 얼굴 인식 기술을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 얼굴 인식 알고리즘은 기존의 방법 이 다른 얼굴 크기에 대해서는 인식이 불가능하다는 단점을 보완하였으며 크게 템플릿과 타원 정보를 이용한 얼굴 추출, 추출된 얼굴에 적합한 그래프 표현, 그리고 그래프상의 교차점에 대한 Gabor 필터링을 통한 특징 파라미터 추출을 통한 Jet 구성으로 이루어진다. 이때 얼굴 크기에 따른 Gabor 필터의 구성이 중요하며 다음과 같이 고려하였다.

입력 영상의 얼굴의 크기가 데이터베이스의 구성을 위하여 사용된 얼굴의 크기와 다른 경우에는 얼굴 표면의 조금 더 넓은 부분을 고려해 주기 위해서 각 Gabor 필터의  $\sigma$ 의 값을 조정해서 데이터베이스에 사용된 필터의 팽창 폭보다 더 크게 해서 인식이 가능하게 하였다. 또한 중심 주파수 벡터의 크기에 따라서 각각 다른 값의  $\sigma$ 를 조정했을 때의 결과가 모든 필터에 대해 같은 값의  $\sigma$ 로 조정했을 때보다 좋은 결과가 나왔다.

### [참고 문헌]

- [1] R. Chellappa, Charles L. Wilson, and S. Sirohey, "Human and Machine Recognition of Faces : A Survey," *Proc. IEEE*, Vol. 83, No. 5, pp. 704-740, May 1995.
- [2] J. Zhang, Y. Yan, M. Lades, "Face Recognition: Eigenface, Elastic Matching, and Neural Nets" *Proc. IEEE*, Vol. 85, No. 9, 1997.
- [3] M. Lades, J. Vorbruggen, J. Buhmann, J. Lange, C. v. d. Malsburg, and R. Wurtz, "Distortion invariant object recognition in the dynamic link architecture," *IEEE Trans. Computers*, Vol. 42, pp. 300-311, 1993.
- [4] 강우석, "템플릿과 타원정보를 이용한 얼굴검출에 관한 연구," 연세대학교 대학원, 석사학위 논문, 1999.2