특집

얼굴 영상 인식 기술의 연구 현황

李 晟 煥, 李 美 叔
高麗大學校 컴퓨터學科

I. 서 론

정지 영상이나 동영상으로부터 얼굴을 자동으로 인식하는 기술은 영상 처리나 패턴 인식, 컴퓨터 비전과 신경망 같은 다양한 분야에 걸쳐서 활발히 연구되고 있으며, 상업적, 법적으로 수많은 응용 분야를 가지고 있다.

이러한 응용 분야는 여권, 신용카드, 주민등록증, 운전 면허증, 그리고 범인의 얼굴 사진 등과 같은 제한된 형태의 정지 영상을 사용하는 방법에서부터 동영상 감시 등과 같은 실시간 인식에 이르기까지 그 종류가 매우 다양하다.

얼굴 영상 인식 기술은 일반적으로 주어진 배경의 정지 영상이나 동영상에 대하여 입력 영상 내에 한 명 이상의 사람이 주어진 데이터베이스 내에 존재하는지 확인하는 것으로 정의할 수 있으며, 탐색 영역을 좁히기 위해서 인종, 나이, 성별 등과 같은 부수적인 정보들이 사용될 수도 있다.

이러한 얼굴 영상 인식 기술은 크게 얼굴 영역의 분리, 얼굴 특징의 추출, 그리고 분류 과정으로 구성된다.

인간과 기계의 얼굴 인식에 관한 수많은 연구들은 과거 20년이 넘는 기간 동안 심리학, 신경 과학 그리고 공학 분야에서 폭넓게 진행되어 왔다. 그러나 몇몇 예외적인 경우를 제외하고는 얼굴 영상 인식 기술은 심리학이나 신경 생리학과는 별개로 발전하였다.

최근 5년 동안, 정면 얼굴 영상을 사용하는 인식 방법으로 주어진 영상에서의 얼굴 영역의 분리와 눈, 코, 입 등과 같은 특징을 추출하는 분야에서는 많은 진전이 있었으며, 또한 Karhunen-Loeve (KL) 변환에 근거한 통계적 방법이나 신경망을 사용한 얼굴 영상 인식 분야에서도 많은 발전이 있었다. 그러나 대부분의 연구들이 입력 얼굴 영상에 대하여 여러 가지 제약을 가하거나 아니면, 100개 미만의 비교적 적은 데이터 집합에 대해서만 실험했을 뿐이다[1,2,6].

정면 얼굴 영상을 사용하는 인식 이외에 또 다른 방법으로 측면 얼굴 영상을 사용한 얼굴 인식 기술

도 생각해 볼 수 있는데, 이러한 방법에서는 전형적으로 측면 얼굴의 기준점(예를 들어서 코 끝 같은)간의 거리를 특징으로 사용한다. 측면 얼굴 영상을 사용한 얼굴 인식 방법은 사진 촬영 시에 가해지는 제약 조건 때문에 현재까지는 많이 연구되지 않았으나, 정면 얼굴 영상을 사용한 방법보다 정확하기 때문에 죄인의 사진들 중에서 범인을 찾는 등의 문제에 주로 이용되었다.

정지 영상을 사용한 얼굴 인식 방법은 몇 가지 장단점을 가지고 있다. 예를 들어서 죄인의 사진들 중에서 범인을 찾아내는 문제를 다룰 경우에는 사진 촬영시 가해지는 여러 가지 제약 조건들에 의해서 얼굴의 분리가 다소 쉬워질 수 있다. 그러나 공항처럼 복잡한 배경의 영상에서는 얼굴의 분리가 훨씬 더 어렵다.

반면에 감시 카메라로부터 얻어진 동영상에서는, 사람의 움직임을 단서로 해서 보다 쉽게 얼굴을 분리해 낼 수 있을 것이다. 지금까지는 배경이 있는 영상에서 얼굴을 분리하는 문제에 대해서는 많은 연구가 진행되지 않았다. 그러나 동영상의 시간적 정보를 사용하여 배경이 있는 영상에서 움직이는 물체를 분리해 내는 연구는 영상 이해 분야에서 많이 이루어져 왔으며, 또한 얼굴을 포함한 움직이는 물체의 분리에 관한 연구는 영상 이해 분야에서 뿐만이 아니라 영상 압축 분야에서도 활발히 진행되고 있다. 이러한 방법들 외에 동영상에서 추출된 얼굴 영상의 복원문제에 대해서도 생각해 볼 수 있는데, 이 때에는 변장이나 노화에 의한 얼굴의 변형을 고려해야 할 것이다.

얼굴 영상 인식 문제에서는 인식의 정확성을 위해 몇 가지 제약 조건을 사용하고 있는데, 얼굴의 분리를 용이하게 하고 영상의 질을 조절하기 위한 제한적인 형식이나 배경 등을 예로 들 수 있다[2]. 얼굴 영상 자동 인식 시스템을 기술할 때에는 이러한 제약 조건들 외에 데이터의 수집, 알고리즘의 평가 및 측정에 관한 문제에 대해서도 언급해야 한다.

본 사례 연구에서는 얼굴 영상 인식 관련 문헌에 소개된 얼굴 영상 자동 인식 기술에 대해서 이들이 사용한 영상의 종류와 인식 기법을 중심으로 소개하고자 하며, 그 구성은 다음과 같다.

II장에서는 정지 영상과 동영상을 사용한 몇 가지 얼굴 영상 인식 기술의 응용 분야에 대해서 소개하고 각각의 응용 분야에 대한 특별한 제약점들을 살펴본다.

III장에서는 정지 영상을 사용한 얼굴 인식 기술에 대하여 2차원 정면 얼굴 영상을 사용한 경우, 2차원 측면 영상을 사용한 경우, 그리고 3차원 영상을 사용한 경우로 나누어 설명한다. 그리고 IV장에서는 동영상을 사용한 얼굴 인식에 대해서 살펴보고, V장에서는 데이터의 수집과 얼굴 영상 자동 인식기에 사용된 알고리즘의 측정 방법과 그 구조에 대해서 살펴본다. 마지막으로 VI장에서 결론 및 향후 연구 방향을 소개한다.

II. 얼굴 영상 인식 기술의 응용 분야

표 1은 얼굴 영상 인식 기술의 응용 분야를 분류해 놓은 것이다. 얼굴 영상 인식 기술은 우선 크게 정지 영상을 사용하는 방법과 동영상을 사용하는 방법의 두 가지로 구별될 수 있으며, 각 응용 분야들 사이에는 영상의 질, 배경의 복잡도, 비교 기준의 유효성, 그리고 사용자로부터 받아들이는 입력의 양과 종류, 성질 등에 따라 차이점이 존재한다.

표 1에 제시된 얼굴 영상 인식 기술은 크게 매칭, 유사성 탐지, 그리고 영상 변환의 세 가지로 구분된다. 응용 사례 1, 2, 3번은 데이터베이스 내의 얼굴 영상 중에서 입력된 얼굴 영상과 같은 것을 찾아내는 매칭 문제에 관련되어 있고, 응용 사례 4번에서 7번까지는 인간의 기억 속에 남아있는 영상과 가장 비슷한 얼굴 영상을 찾아내거나 만들어 내는 유사성 탐지에 관한 문제이다. 마지막으로 응용 사례 8번과 9번은 입력 얼굴 영상을 몇 가지 정보를 사용하여 다른 응용 분야에서 사용될 수 있도록 변환시키는 영상 변환 문제를 다루고 있다.

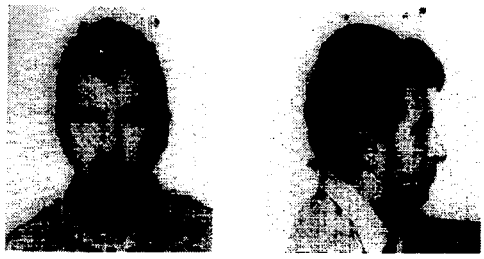
〈표 1〉 얼굴 인식 기술의 응용 사례

응용 사례	장 점	단 점
1a. 신용카드, 운전면허증, 여권, 주민등록증	제약에 의해 조절된 영상 제약에 의한 얼굴 분리 양질의 영상	현존하는 데이터베이스가 없음 잠재적인 대량의 데이터베이스 존재
1b. 범인 찾기	다양한 영상의 질 한 사람에 대해 한 개 이상의 영상이 가능	좁은 탐색 영역
2. 은행/상점의 보안 시스템	고가치 지리적으로 국한된 탐색	무제약 상태에서의 얼굴 분리 저질의 영상
3. 군중 감시 시스템	고가치 작은 크기의 화일 동영상의 이용 가능	무제약 상태에서의 얼굴 분리 저질의 영상 실시간 처리가 요구
4. 전문가 인식	고가치 개선 가능	저질의 영상 적법한 확실성 요구
5. 증인에 의한 얼굴 복원	증인 탐색의 제한	알려지지 않은 유사성
6. 죄인 얼굴의 전자 사진첩	기술자 탐색 제한	시각적 피로
7. 용의자 전자 사진첩	기술자 탐색 제한	시각적 피로
8. 얼굴 복원	고가치	생리적 입력 값이 필요
9. 얼굴 변형 시스템	고가치	예제 입력이 필요

1. 정지 영상을 사용한 경우

정지 영상을 사용한 응용 사례에서 가장 일반적인 것은 범인의 얼굴을 찾아내는 프로그램으로, 이때 사용되는 얼굴 영상들은 그림 1에서와 같이 조명이 어느 정도 제한되어 있고, 하나의 정면 영상 외에 몇 개의 측면 영상을 사용할 수 있다. 이 외에도 배경, 카메라의 해상도, 카메라와 대상과의 거리 등 다른 제약 조건들이 사용될 수 있으나, 이에 대한 특별한 기준은 없다. 이러한 제약 조건들을 사용함으로 해서 얼굴의 분리나 매칭 알고리즘을 보다 단순화시킬 수 있다.

이 외에도 운전 면허증, 신용 카드, 주민등록증, 여권 등에 있는 얼굴을 인식하는 응용 프로그램이 존재하며, 그림 2에 그 예가 나와있다. 일반적으로 이러한 영상들은 범인 찾기 프로그램에 사용되는 사진들에 비해 양질의 영상을 사용하며, 자세나 얼굴의 방향, 배경 등에 많은 제약을 가한다. 상식적으로 이러한 제약 조건들은 얼굴의 분리 문제를 보다 쉽게 만들어 준다. 그러나 영상이 제한된 조건하에서 얻어졌다고 하더라도 노화에 따른 얼굴의



(a) 정면 영상 (b) 측면 영상

〈그림 1〉 범인 찾기에 사용되는 사진

(a) 여권 사진 (b) 주민등록증

〈그림 2〉 배경의 제약이 가해진 상태의 영상

〈그림 3〉 배경이 있는 영상

변형, 탈모, 머리카락의 성장 등은 특징 추출과 매칭 문제에 있어서 반드시 고려해야 할 사항들이다.

응용 사례 2는 응용 사례 1보다 훨씬 복잡한데, 이는 그림 3에서와 같이 사용하는 영상이 제약 조건이 없는 비교적 자유로운 상태에서 얻어지기 때문이다. 따라서 만약 배경이 복잡하게 되면 얼굴의 분리 문제 자체도 훨씬 더 어려워지게 된다. 응용 사례 2는 정지 영상의 매칭과 동영상의 매칭 문제 사이에 위치하고 있으며, 이 경우에 사용하는 영상의 일부는 필름에서 얻어진 것이고, 일부는 비디오 카메라로부터 얻어진 것이다. 응용 사례 2의 경우에도 특징의 추출과 매칭 문제에 관하여 노화와 변장에서 오는 얼굴의 변형 문제를 반드시 고려해야 한다.

응용 사례 4에서 7까지는 인간의 기억에 남아있는 얼굴과 비슷한 얼굴 영상을 만들거나 찾아내는 문제들이다. 응용 사례 4에서는 우선 증인이나 목격자의 진술에 의해 얻어진 영상을 바탕으로 전문가가 최종적인 범인의 얼굴을 찾아낸다. 이때 사용되는 영상은 변장을 했을 수도 있고, 또는 다른 물체에 의해서 일부가 가려질 수도 있다. 응용 사례 5에서 증인은 눈, 코, 입술 등과 같은 특징으로 구성된 라이브러리를 사용하여 범죄자의 얼굴을 조합하고, 이 중에서 범인에 가장 가까운 얼굴을 선택한다. 응용 사례 6에서는 범인의 얼굴을 주어진 사진들 중에서 탐색하는 것이고, 응용 사례 7은 약간의 차이를 가진 얼굴 집합에서 범인의 얼굴을 확인하는 작업이다. 일반적으로 이러한 응용 사례들에 사용되는 영상은 질이 낮다. 또한 탐색 영역이 넓어질수록 오인식률이 증가하는데, 예를 들어서 후보로 선택된 범인의 수가 많아질수록 증인은 더 많은 오류를 범하게 될 것이다.

응용 사례 8과 9는 현재 데이터로부터 과거의 상태나 미래의 상태로 영상을 변화하는 것이다. 이러한 영상 변환은 현재 영화나 컴퓨터 게임 등의 분야에서 많은 관심을 보이고 있는 분야로, 평활화나 예측 기법을 알고리즘으로 구현해야 하므로 4에서 6에 속하는 사례보다 훨씬 어렵다.

2. 동영상을 사용한 경우

응용 사례 2와 3에서는 동영상의 사용이 가능하였다. 비디오 카메라를 통해서 얻어진 영상은 일반적으로 영상의 질이 낮고 영상 내의 배경이 매우 복잡하여 얼굴을 분리해 내는 문제 자체도 매우 어렵게 만든다. 그러나 연속적인 비디오 영상을 얻을 수가 있으므로 움직임을 강력한 단서로 사용하여 움직이는 사람의 얼굴을 분리해 낼 수가 있다. 또한 동영상을 사용하게 되면 일부 가려진 얼굴 영상의 부분적 복원을 할 수 있으며 변장을 한 경우에 대해서도 정지 영상을 사용한 경우보다는 다소 좋은 결과를 얻을 수 있다. 기존의 관련 연구에서는 연속적인 영상을 사용한 분리, 구조 예측, 유연한 물체의 움직임 인식과 같은 방법들이 응용 사례 3에서 요구되는 조건들을 해결하는데 유용하게 사용될 수 있는 방법이라고 제시하고 있다. 이러한 경우에 있어서 가장 큰 문제점은 실시간 인식이 가능해야 한다는 점이다.

III. 정지 영상을 사용한 얼굴 인식

정지 영상을 사용한 얼굴의 인식 과정은 크게 얼굴 영역의 분리, 특징 추출, 그리고 인식의 세 단계로 나누어 진다. 이 단원에서는 우선 입력 영상 내에서 얼굴을 분리하기 위한 다양한 방법을 살펴보고, 다음으로 특징 추출 방법을 KL 변환과 같은 통계적인 특징 추출 방법과 눈, 코, 입술 등과 같은 구조적 특징 추출 방법으로 나누어서 소개한다. 마지막으로 다양한 얼굴 영상 인식 기술에 대해서

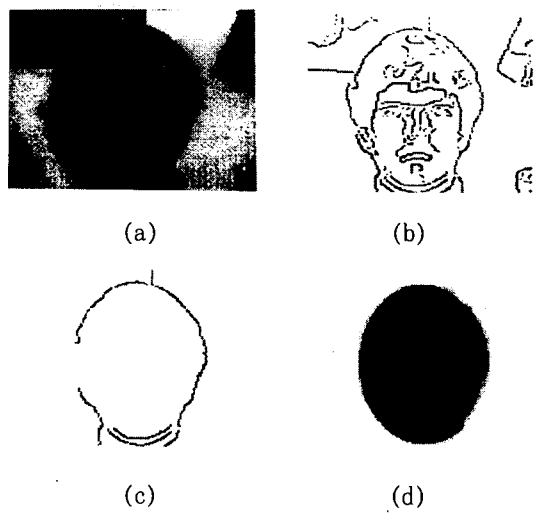
소개한다.

1. 얼굴 영역의 분리

주어진 영상에서 얼굴의 존재 유무를 가려내는 초기의 방법에서는 주로 에지 영상을 사용하였다. Sakai는 입력 영상에서 추출된 에지 지도(edge map)에 타원형의 형판(template)을 적용하여 대략적인 머리 영역을 설정하고, 설정된 머리 영역 내에서 눈, 입의 에지 영상을 검사함으로써 최종적인 머리 영역을 추출하는 방법을 제시하였다[24]. 이 방법은 조명의 방향에 크게 영향을 받는 단점을 갖는다. 에지 영상을 사용한 또 다른 초기 연구 중에 대표적인 것으로는 Kelly에 의해 제안된 방법이 있다. Kelly는 입력 영상으로부터 자동적으로 머리와 몸의 윤곽을 추출하고, 계속해서 눈, 코, 입의 위치를 추출하는 하향식 영상 해석 방법을 소개하였다[16]. 이 방법에서는 에지 영상을 사용하여 머리의 탐색 영역을 설정한 후, 탐색 영역 내의 에지 영상을 원영상에 투사하여 보다 정확한 머리의 윤곽을 찾아내었다. 일단 머리가 추출되고 나면, 같은 방법을 사용하여 눈, 코, 입 등의 특징이 추출된다.

영상 내에서 얼굴을 분리하기 위한 또 다른 방법으로는 얼굴에 대한 형판을 사용하는 방법이 있다. Craw 등은 주어진 영상에서 계층적인 크기의 영상과 형판을 사용하여 머리 영역을 추출하는 방법을 제시하였다[9]. 이 방법에서는 8×8, 16×16, 32×32, 64×64, 128×128 등의 다양한 해상도의 영상이 사용되었으며, 머리 형판은 가장 낮은 해상도에서 구성되었다. 에지의 크기와 방향은 명도 영상에서 Sobel 연산자를 사용하여 검출되었으며, 머리의 윤곽선을 연결하기 위해서 방향 추적자가 사용되었다. 눈과 눈썹, 그리고 입술과 같은 특징들 또한 이와 유사한 방법으로 추출된다. Govindaraju는 복잡한 배경의 영상에서 얼굴의 위치를 찾기 위해 에지 영상으로 이루어진 머리 윤곽을 형판으로 사용하였다[11]. 머리 형판은 오른쪽 선, 왼쪽 선, 그리고 머리선의 3개의 부분으로 구성되며, 각각은 곡선의 길이, 벡터 형식의 현, 현과 곡선 사이에 둘러싸인 영역과 영역의 무게 중심으로 이루어진 4차원의 값으로 구성된다. 머리를 구성하기 위해서는 이 세 개의 성분이 모두 일정한 방향에 위치해야 하며, 이 때 세 성분의 중심은 얼굴의 중심 위치가 된다. 이 방법에서 사용하는 형판은 특정한 스프링 기반의 모델에 따라서 크기 변형과 회전이 가능하다.

위에서 소개한 두 방법과는 조금 다른 방법으로, Sirohey는 배경이 있는 영상으로부터 Canny의 에지 탐색기로 추출된 에지 영상과 명도 영상을 함께 사용하여 얼굴을 분리하였다[25]. 얼굴을 분리하기 위해서 우선 전처리를 통하여 에지 성분들 간의 교차점을 구하고, 선을 구성하는 에지 성분에 레이블을 할당한 후, 교차점에서 비슷한 모양의 선을 형성하고 있는 에지 성분들을 서로 연결시킨다. 사람의 얼굴은 타원에 가깝기 때문에, 레이블된 에지 성분의 쌍은 타원의 방정식에 의해서 표현되어지며, 방정식에 사용되는 인자값들은 얼굴의 형태에 따라서 조정된다. 그림 4에는 입력 영상, 에지 영상, 에지 성분의 연결, 그리고 출력 영상의 단계를 보여주고 있다. 이 방법은 제약을 가하지 않은 48개의 영상에 대해 약 80%의 정확도를 보여주었다.



〈그림 4〉 (a) 입력 영상 (b) 에지 영상 (c) 얼굴 윤곽 (d) 분리된 얼굴 영상

2. 얼굴 특징의 추출

최근 들어 다시 새롭게 주목을 받고 있는 KL 변환은 영상 압축 분야에서 이미 30년이 넘게 연구되고 있으며, 또한 패턴 인식 분야에서도 오랫동안 사용되어 온 방법이다[17,26]. 이 방법이 최적의 영상 표현 방법으로 알려졌음에도 불구하고 영상 압축 분야에 종사하는 사람들의 흥미를 끌지 못했던 이유는 계산상의 복잡성 때문이며, 이를 보완하기 위해서 이산적 Sine 변환이나 Cosine 변환과 같은 보다 빠른 계산 방법을 도입하여 사용해 왔다.

Sirovich와 Kirby는 수염이 없는 얼굴 영상에 대해 KL 변환을 적용하여 얼굴을 표현하는 방법을 소개하였다[26]. 이 방법은 모든 영상이 KL 변환에 의한 고유벡터 값의 가중치 조합을 사용하여 재구성될 수 있으며, 영상의 재구성에 사용하는 고유벡터의 수를 증가시키면 입력 영상에 보다 가까운 영상을 구성할 수가 있다는 점에 바탕을 두고 있다. 특히 이 방법에서는 KL 변환에 의한 고유벡터 값을 영상으로 재구성한 예를 제시하여 재구성된 영상이 얼굴의 형태를 보존하고 있음을 증명함으로써, 고유 벡터가 얼굴의 특징으로 유용하게 사용될 수 있음을 보였다.

Hong은 영상의 특징을 시각적 특징, 통계적 특징, 변환 계수적 특징, 그리고 대수적 특징의 4가지로 분류하였으며, 이들 중에서 영상의 본질적인 속성을 나타내는 대수적인 특징을 강조하였다[13]. 이 논문에서는 패턴으로부터 특징을 추출하기 위해서 KL 변환의 일종인 행렬의 단일값 분해법(singular value decomposition : SVD)을 사용하였는데, 이러한 단일값들은 매우 안정적이며 영상의 대수적인 속성을 잘 나타내는 것으로 알려져있다.

Nixon은 얼굴 특징 추출을 위해 Hough 변환을 사용하였다[22]. Hough 변환은 기울기 연산자에 의해 제공되는 방향 정보와 기울기의 크기 정보를 사용하여 원하는 형태를 찾아낸다. 이 방법에서 눈동자는 원으로 표현되었으며, 타원이 공막의 둘레를 표현하기 위해 사용되었다. 그러나 타원은 얼굴의 중심에서 멀리 떨어져 있는 눈꼬리 부분을 표현하는데는 부적절하기 때문에, 각 얼굴의 중심에 맞도록 지수함수를 사용하여 수정되었다.

Yuille 등은 가변 형판을 사용하여 얼굴의 특징을 추출하였다[31]. 여기서 사용되는 형판은 해당 특징에 부합되기 위해서 변형, 회전, 이동할 수 있다. 예를 들어 눈을 위한 형판은 눈의 위쪽과 아래쪽 호로 구성되는 11개의 인자를 가지고 있으며 에너지를 최소화하는 방향으로 이동, 또는 변화한다. 형판의 에너지 함수는 Valley 포텐셜, 에지 포텐셜, 영상 포텐셜, 정점 포텐셜, 내부 포텐셜로 구성되며, 각 포텐셜의 상관계수는 최적의 인자값들을 결정하기 위해 조절된다. 그러나 이 방법에서는 형판이 눈썹 위에서부터 적용되는 경우 눈과 눈썹을 구분하는데 실패한다는 문제점을 안고 있다. 또 하나의 단점은 계산의 복잡성인데, 이는 형판의 기술 방법이 매우 복잡하기 때문이다.

Hallion도 영상에서 눈을 검출하기 위해 형판을 사용하였다[12]. 이 방법에서 눈의 형판은 눈동자 영역과 흰자위 영역으로 구성되며, 두 영역은 단일한 명도를 갖는다. 이 방법에서는 눈에 대한 형판과 그것의 변형을 여러 가지의 분포로 모델화하였다. 이상적인 눈에서 눈동자와 흰자위는 각각 하나의 명도값 만으로 구성된다. 그러나 실제적인 눈에서는 잡영 또는 그림자 등에 의해 약간의 차이가 생길 수 있다. 이러한 영상 상의 차이는 이상적인 영상에 가해지는 잡영 성분으로 모델화될 수 있으며, 눈동자와 흰자위에 대해 α-정돈 분포(α-trimmed distribution)를 사용하여 제거될 수 있다. 이 방법은 실험 데이터 25개와 107개의 눈 데

(a) (b)

〈그림 5〉 (a) 입력 영상 (b) 추출된 특징

이터, 그리고 눈과 비슷한 영상들을 사용한 실험에서 80% 정도의 적중률을 보였다.

Manjunath 등은 Gabor 웨이블렛 분해와 지역적 크기 변환의 상호 작용(local scale interaction)을 사용하여 곡률이 최대인 점에서의 얼굴의 특징을 추출하는 방법을 제시하였다[20]. 이러한 특징들은 데이터 베이스에 저장된 다음 그래프 매칭 기법이 적용되었는데, 이 방법에서는 2차원의 Gabor 함수와 Fourier 변환도 사용되었다. 그림 5에 이런 특징 추출 방법에 대한 실험 결과가 제시되어 있는데, 실험에 사용된 영상의 배경이 매우 단순하다는 것을 알 수 있다.

3. 얼굴 인식

1) 2차원 정면 영상을 사용한 방법

■ **초기 연구**

얼굴 영상 인식의 초기 연구 중의 하나로 Bledsoe의 방법을 들 수 있는데[4], 이 시스템에서는 사람에 의해 특징들이 선택되고 그 위치가 컴퓨터에 입력되며, 최소 근접 이웃 매칭이나 또는 다른 형태의 분류기가 인식에 사용되었다. 특징 추출이 사람에 의해 행해지기 때문에 이 시스템은 머리의 회전이나, 기울어짐, 영상의 질과 밝기 등의 넓은 범위의 변형을 수용할 수 있었다. 초기 얼굴 영상 인식에 있어서 획기적인 작업은 Kelly에 의해서 이루어졌다[16]. 이 방법은 Bledsoe의 작업과 비슷하나 중요한 차이점은 어떠한 인간의 개입도 포함하지 않는다는 것이다. 이 방법은 비단 얼굴 영상 인식 분야에서 뿐만이 아니라, 하향식 영상해석과 다해상도 영상해석에 있어서 중요한 기여를 했다.

Kaya 등은 인간의 얼굴을 분류하기 위해 정보이론에 근거한 기초적인 연구를 소개하였다[15]. 이 실험에서는 62개의 사진이 올바른 방향과 조명 조건을 위해 특수한 장치에 의해 촬영되었다. 실험은 10명에서 40명의 피실험자를 통하여, 세 개의 다른 얼굴들로부터 현저한 차이를 보이는 특징을 분류하도록 처리되었다. 이러한 인자들은 양쪽 눈의 내부 폭, 양쪽 눈의 외부 폭, 코의 폭, 입의 폭, 양쪽 광대뼈의 폭, 아랫입술과 턱의 거리, 윗입술과 코의 거리, 입술의 높이로 구성되며 벡터 형태로 표현되었다. 얼굴의 분류는 데이터베이스 내의 영상과 입력 영상과의 거리 값을 사용하였으며, 이때 사용된 인자값은 모두 수동으로 작성되었다.

■ **통계적 방법**

Turk와 Pentland는 고유영상(eigenpicture) 또는 고유얼굴(eigenfaces)이라고 불리는 특징을 얼굴 분리와 인식에 사용하였다[27]. 모든 입력 얼굴 영상은 고유얼굴에 의해 차원이 축소된 가중치 벡터로 표현되었으며, 인식 방법은 유클리드 거리 방법을 사용하였다. Turk와 Pentland는 16명의 사람에 대해 2500개의 얼굴 영상으로 구성된 데이터베이스를 사용하여 세 개의 머리방향, 세 종류의 머리크기, 세 가지의 조명조건에 대해서 실험하였는데, 조명의 변형에 대해 96%, 방향의 변형에 대해 85%, 크기 변형에 대해 64%의 성공률을 보이고 있다.

또한 Turk와 Pentland는 그들의 방법을 연속적인 비디오 영상에 대한 실시간 얼굴 인식으로까지 확장시켰는데, 움직이는 사람을 확인하기 위해 영상 내에서 시간에 따라 변화하지 않는 부분을 제거하는 필터링 단계가 적용되었다. 최근들어 Pentland 등은 위에서 소개된 기능을 여러 부분에서 확장하였다. 그들은 약 3000명의 사람에 대한 7562개의 영상을 근거로 한 광범위한 실험 결과를 보고하였는데, 이는 지금까지 보고된 얼굴 영상 인식 연구에 사용된 데이터베이스 중에 가장 규모가 크다. 또한 다른 응용 사례에서 사용된 데이터와는 달리 이 데이터베이스에는 다양한 얼굴 표정과 머리 착용물 등의 많은 부가적 영상이 함께 저장되었다. 또한 인종에 대한 인식률을 평가하기 위해 백인, 흑인, 아시아계의 성인 남성의 영상이 실험되었는데, 백인과 흑인남성에 대해서는 각각 90%와 95%의 정확도를 보이는 반면, 아시아계 남성들에 대해서는 단지 80%의 정확도를 보였다.

KL 변환을 사용한 방법은 크게 모든 입력 영상에 대해 단지 하나의 고유얼굴 집합을 사용하는 방법과 각각의 부류가 자신들만의 고유얼굴 집합을 사용하는 방법으로 분류될 수 있으며, 고유 얼굴 개념은 고유눈(eigeneye), 고유입(eigenmouth) 등

과 같은 고유특징 벡터 개념으로 확장될 수 있는데, 7562개의 영상에 대해 실험한 결과, 눈, 코, 입 각각에 대하여 94%, 80%, 56%의 검출률을 보였다.

Cheng은 단일값 벡터가 다양한 변환에 의해 보다 낮은 차원으로 압축될 수 있음을 보였는데 이러한 변환 방법 중에서 가장 많이 사용되는 방법은 Fisher의 기준에 의한 방법이다[7]. Fisher의 최적 판별 벡터는 표본집합의 ϕ 방향으로의 투영을 나타낸다. 최적 판별식 변환은 고차원의 단일값 특징 영역을 새로운 γ 차원의 특징 영역으로 압축하는데, 이때 새로운 2차적인 특징은 대수적으로 독립이고 불필요한 정보가 감소된다. 이 방법은 8명의 사람의 64개 얼굴 영상에 대해 실험되었다. 각 개인에 대해 3장씩의 사진이 24개의 단일값 특징 벡터의 학습 데이타로 사용되었으며, 단일값 특징 벡터들은 24개의 학습 데이터를 위한 새로운 특징 벡터를 얻기 위한 최적의 판별식 변환으로 처리되었다.

이 실험에서는 학습 데이터에 대해서 100%의 인식률을 보였으며, 40명의 개인에 대해 5개의 얼굴 영상이 실험 데이터로 사용되어 양호한 결과를 나타내었다. 실험에 사용한 영상에 대해서는 카메라의 위치, 카메라의 초점, 카메라의 노출 설정, 안경의 착용 유무, 흐려짐 등의 다양한 변화가 가해졌다.

Cheng 등은 또한 단일값 분해와 고유값의 임계화를 사용한 대수적인 얼굴 영상 인식 방법을 제시하였다[8]. 이 방법에서는 투영분석이 사용되었으며, 이 때 학습 데이터는 동일 인물에 대해서 세 가지 영상으로 구성되었다. 분류 방법으로는 Frobenius norm이 사용되었으며, 8명의 개인에 대해 64개 얼굴 영상 데이터베이스를 사용했을 경우 24개의 학습 데이터에 대해서 100%의 정확도를 보였으며, 40개의 실험 데이터에 대해서도 100%의 분류율을 보였다.

Nakamura는 등밀도선, 즉 일정한 명도 단계를 표시하는 곡선을 얼굴 영상 인식에 사용하였다[21]. 등밀도선은 비록 얼굴의 3차원 구조는 아니지만, 얼굴의 고저에 대한 정보를 제공한다. 검은 배경의 얼굴 영상을 사용하여 Sobel 연산자와 몇 가지 후처리 과정들이 얼굴영역의 경계를 얻기 위해 사용되었고, 8비트 히스토그램이 등밀도 단계의 윤곽을 추적하기 위해 사용되었다. 얼굴 영상 인식을 위해서는 형판 매칭 기법이 사용되었다. 안경을 쓴 남자의 사진 3쌍, 가는 턱수염을 가진 남자 2쌍, 여자사진 2쌍 등 10쌍의 소규모 데이터베이스에 대해서 적용한 결과 100%의 인식률을 보였다.

■ **신경망을 사용하는 방법**

얼굴 영상 인식 분야에서 신경망은 성별 분류, 얼굴 인식, 얼굴 표정의 인식 등에 주로 사용되어 왔다. 초기에 신경망을 얼굴 인식에 적용한 대표적인 사람으로는 Kohonen을 들 수 있으며, 그는 소규모의 얼굴 영상 데이터베이스를 사용하여, 입력 영상에 잡영이 많거나 영상의 일부가 손실된 경우에도 정확한 재현이 가능함을 보였다[18].

〈그림 6〉 Brunelli가 사용한 얼굴 특징들

Brunelli 등은 그림 6에 제시된 것과 같이 눈썹의 두께, 코와 입의 넓이, 6개의 턱의 반경 등과 같은 수치적 특징 16가지를 사용하여 성별 분류를 위한 신경망을 개발하였다[5]. 각 각의 성을 구별하기 위해서 2개의 HyperBF 신경망이 사용되었고, 입력 영상들에 대해 눈의 위치를 기준으로 크기와 방향 정규화를 수행하였다. 신경망의 입력 값으로는 위에서 소개된 16개의 특징이 사용되었으며, 두 개의 신경망 중에서 결과 값이 높은 쪽을 최종적인 분류 결과로 선택하였다. 21명의 남성과 21명의 여성에 대해서 실험한 결과 학습 데이터에 대해서는 92.5%, 실험 데이터에 대해서는 87.5%의 인식률을 보였다.

Huang 등은 단색 영상에서 얼굴을 분리하고 인식하는 방법을 제안하였다[30]. 이 방법에서는 규칙 기반 알고리즘을 사용하여 얼굴을 분리하고, Cresceptron이라 불리는 신경망과 유사한 구조에 의해 얼굴 영상 인식이 수행되었다. Cresceptron은 다해상도 피라미드 구조를 가지고, Fukushima의 Neocognitron과 유사한 위상을 갖는다. 그러나 Neocognitron과는 달리 학습이 자동적으로 수행되며 추가 학습이 가능하다.

■ 특징을 기반으로 한 방법

Baron은 얼굴 영상 인식을 위해서 표준화된 영상을 사용하였다[3]. 영상 내에서 얼굴의 위치를 추출하기 위해서 20×23 크기의 눈 형판을 사용하였으며, 추출된 얼굴 영상은 15×16 크기로 축소된다. 축소된 얼굴 영상은 미리 저장된 얼굴들 중에서 비슷한 얼굴을 가려내는데 사용되며, 최종적으로 두 얼굴들 사이의 특징들을 비교하여 75%이상이 같으면 동일 인물로 판단한다.

Manjunath 등은 Gabor 웨이블렛 분해와 지역적 크기 변환의 상호 작용을 사용하여 곡률이 최대인 점에서의 얼굴의 특징을 추출한 후, 각 특징점들 간의 위상적인 정보를 이용하여 얼굴을 인식하는 방법을 제안하였다[20]. 이 방법에서는 35~45개의 특징을 추출하고 각 특징점들 간의 일정한 위치 구조를 사용하였으며, 배경이 없는 상태의 영상만을 가지고 실험하여 약 94 %의 인식률을 보였으나, 조명에 매우 민감하다는 단점을 가지고있다.

2) 2차원 측면 영상을 사용한 방법

명암 영상을 사용한 얼굴 영상 인식에 있어서의 또 다른 분야는 측면 얼굴 영상을 사용한 방법이다. 측면 영상은 정면 영상에서는 보이지 않는 얼굴의 자세한 구조를 제공한다. 따라서 측면 얼굴 영상을 사용한 얼굴 인식에서는 기준점들을 찾는 문제가 매우 중요하며, 인식을 위해서는 이러한 기준점들 간의 관계 정의가 필요하다.

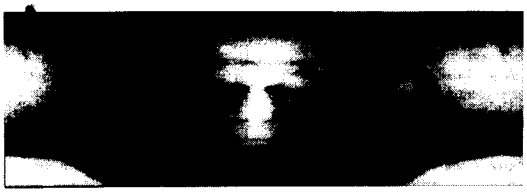
Kaufman 등은 측면 윤곽을 사용한 얼굴 영상 인식 시스템을 제시하였다[14]. 흑백 TV 카메라에 의해 얻어진 영상들은 특정한 임계값에 대하여 이진화된 후, 머리카락선의 변화에 의한 변형을 보상하기 위해 측면 윤곽이 추출되었다. 인식기로는 거리 가중 K-최근접 경계 법칙이 사용되었다. 10명의 사람에 대한 총 120개의 측면 얼굴에 대해 세 종류의 실험이 행해졌는데, 첫 두 번의 실험에서는, 임의로 선택한 60개의 데이터들이 사용되었고 세 번째 실험에서는 학습 데이터에 있는 90개의 영상이 사용되었다. 학습 데이터들의 차원을 달리한 실험에서는 학습 데이터가 90개이고 4차원인 경우에 가장 좋은 성능(90%)을 보였다.

Wu 등이 제안한 방법에서는, 6개의 기준점들을 추출하기 위해 B-spline이 사용되었다[28]. 이 방법에서 사용한 6개의 기준점들은 코 끝, 코 바닥, 입 점, 턱 점, 이마 점, 눈 등이며, 인식 과정에서는 두 이웃 점들의 거리, 길이, 두 인접한 점들을 결합하는 곡선들 간의 각도 등, 24차원의 특징 벡터가 사용되며, 단순히 두 벡터 사이의 거리를 기준으로 인식이 이루어졌다. 18명의 사람에 대한 데이터가 학습 과정에서 쓰였으며, 실험 데이터는 학습 데이터와 같은 인물들에 대한 다른 영상들로 구성되었다. 이 실험에서는 18개의 실험 데이터 중에서 17개가 정확히 인식되었으며, 실패한 경우에 해당하는 얼굴 영상은 재학습되었다

3) 3차원 영상을 사용한 방법

지금까지는 2차원 영상을 사용한 얼굴 영상 인식 방법에 대해 살펴보았다. 얼굴 영상 인식에 사용되는 또 다른 방법으로는 3차원 영상을 사용한 방법이 있다. 3차원 영상은 물체의 깊이 구조를 포함하고 있으며, 그러한 데이터들이 대부분의 응용 프로그램에서는 이용 불가능하지만, 2차원 영상에서는 얻을 수 없는 매우 중요한 정보를 가지고 있다.

Gordon은 3차원 영상 데이터의 곡률 반경 계산을 위한 형판에 바탕을 둔 인식 방법을 제시하였다[10]. 실험에 사용한 데이터는 0.4mm 이상의 해상도를 가지는 회전 레이저 스캐너를 사용하여 생성되었다. 분리 단계에서 표면은 그림 7과 같이 평면 영역, 구 영역과 회전 표면으로 분류되는데, 이때의 영상 데이터는 원통 좌표계 상에 저장되었다. 8명의 인물(네 명의 남성과 네 명의 여성)에 대한 24개의 영상에 대한 실험에서, 특징 추출 면에서는 100%의 정확도를 보였으며, 인식에 있어서는



(a)

(b)

〈그림 7〉 (a) 3차원 휘도 영상 (b) 재구성된 3차원 얼굴 모델

전체 얼굴 영상을 사용할 경우에는 100%, 개개의 특징을 사용할 경우에는 97%의 정확도를 보였다.

IV. 동영상을 사용한 얼굴 인식

연속된 영상으로부터 움직이는 얼굴을 분리하는 문제에 관해서는 주로 다른 영상들과의 차를 구하고 그 차이값에 바탕을 둔 간단한 형태의 검출과정이 사용되어져 왔다. 이러한 방법은 여러 개의 물체가 동시에 움직이고 있고 이들이 서로 겹치는 경우에 문제가 어려워질 수도 있다.

정적 혹은 동적인 배경에서 움직이는 물체를 분리하거나 검출하기 위해서 동영상을 분석하는 방법으로는 차영상의 분석에 기반한 방법, 분류 기법을 사용한 유동장(flow field)의 불연속성에 기반한 방법, 선 처리 혹은 Markov random field 모델에 기반한 방법 등이 있다. 이러한 방법들 중 몇몇은 카메라와 물체가 동시에 움직이는 경우의 연구까지 확장되었다.

동영상에서 움직이는 물체를 추정하기 위해서는 연속된 영상 상에서 물체 위에 위치한 점들의 3차원적인 깊이를 측정해야 하며, 이러한 방법으로는 미분에 의한 방법과 이산적 방법의 두 가지 방법이 있다. 미분에 의한 방법에 있어서는, 유동장의 형태를 계산하고, 계산된 유동장으로부터 물체상의 가시점의 구조나 깊이를 측정한다. 이산적 방법에 있어서는 윤곽선, 에지, 모퉁이, 선, 궤적과 같은 특징들이 프레임의 순서에 따라서 추적되고, 이러한 특징들의 구조가 계산된다. 이러한 방법에서는 특징들 사이의 일치 문제, 즉 순차적인 프레임들 사이에서 특징들을 추출하고 일치시키는 문제가 매우 어려운 문제로 남아있다. 3차원 영상이 갖는 구조 정보는 영상의 일부가 가려지거나, 변장 등에 의해서 변형이 생겼을 때에 얼굴 영상 인식과 재구성을 위한 모델의 사용과 3차원 모델을 구축하는 데에 유용하다.

Li 등은 얼굴의 3차원 모델을 모델 기반의 압축 연구에 사용하였다[19]. 이러한 모델들은 목격자에 의한 범인 얼굴의 재구성이나 부분적 정보만을 사용한 얼굴 재구성, 컴퓨터에 의한 자동 얼굴 변형 시스템 같은 응용 분야에서 매우 유용하다.

Yacoob 등은 동영상을 사용한 얼굴 표정 인식 방법에 대해서 제안하였다[29]. 이 방법에서는 사람의 표정을 화남, 불쾌함, 행복함, 슬픔, 놀라움, 공포의 여섯 가지로 분리하고, 동영상에서 얼굴의 특징을 분석한 후, 특징점들의 위치 정보를 바탕으로 하여 얼굴의 표정을 인식하였다. 30명의 개인에 대한 120개의 동영상에 대한 실험에서 이 방법은 매우 성공적으로 수행되었다.

비디오로부터 움직이는 사람을 분리하는 문제는 얼굴 영상 인식에의 직접적인 적용과 더불어 순차적인 영상 분석에 있어서 가장 중요한 분야로 생각된다. 움직임으로부터의 구조, 얼굴의 3차원 모델링과 유연한 움직임에 대한 분석은 얼굴 영상 인식과 복원 문제의 여러 면에 대한 새로운 해결책을 잠재적으로 제공하고 있다.

V. 얼굴 영상 인식 시스템의 성능 평가

지금까지 소개된 논문 이외에 OCR과 지문 분류 시스템의 평가에 관한 기존의 연구에서는 인식 알고리즘과 시스템들의 효율적인 평가 방법을 제시하고 있다. 기존의 평가에서 얻어진 가장 중요한 사실들 중의 하나는 적절한 평가를 위해서는 대용량의 데이터베이스가 반드시 필요하며 일반성을 유지하고 있어야 한다는 것이다. 또한 시스템 평가시에는 인식만을 강요해서는 안되며, 거부-오류에 대한 연구도 필요하다.

1. 평가 요구 사항

■ **정확성 요구**

얼굴 영상 인식 시스템에 관한 정확성은 다음과 같은 두 가지 한계점 내에서 평가된다.

1) 오인식에 대한 허용 한계선

2) 얼굴 영상 인식기로부터 추출된 후보 목록에서 비슷한 얼굴들을 가려내는 능력(인간은 컴퓨터에서 만들어진 집합에서 얼굴을 찾지 못할 수도 있다.)

얼굴 영상 인식에서 대량의 데이터베이스를 접하게 되면 비록 사람이라고 하더라도 분별력이 떨어지게 되므로 인식 시스템의 정확성을 평가할 경우 데이터의 양도 반드시 고려되어야 한다.

■ **표본에 대한 제한**

인식 시스템을 평가할 때, 평가에 사용되는 영상의 질이 고르지 못하거나 지나치게 간략화 된 영상을 사용하게 되면 올바른 결과를 얻지 못하게 된다. 따라서 얼굴 영상 인식 시스템에서 사용되는 영상들은 가능한 넓은 영역의 응용 프로그램에 모두 적용 가능하고 현실적인 영상의 질을 가져야할 것이다.

■ **휴먼 인터페이스**

얼굴 영상 인식 시스템의 실용성은 휴먼 인터페이스의 형태에 달려있다. 인간이 얼굴을 지각하고 인식하는 것에 관한 연구는 사용자가 얼굴 영상 인식에 기반을 둔 기계를 효과적으로 사용하게 할 휴먼 인터페이스를 설계하는 데 큰 도움이 될 것이다.

2. 평가 방법

■ **데이터베이스의 크기와 균일성**

법집행에 관련된 응용 프로그램에서 사용된다면 최소 5000개에서 최대 50000개까지의 영상이면 적절하다. 이 때, 학습 데이터에 있는 500에서 5000개의 얼굴 사진과 함께 학습 데이터에 포함되지 않은 500~5000개 정도의 얼굴 사진이 실험 데이터로 준비되어야 한다. 상업용 응용 프로그램에 대해서도 마찬가지다.

■ **표본의 크기 문제**

얼굴 영상 인식기에 사용되는 영상을 수집할 경우에는 512×512 정도의 해상도에 256 단계 명도의 상대적으로 높은 해상도나 명도의 데이터를 수집할 것을 제안한다. 이 정도의 해상도나 명도를 가지고 있어야, 영상 축소나 필터링 등을 수행하는 프로그램에 대해서도 영상의 큰 손실이 없이 사용될 수 있기 때문이다.

■ **알고리즘의 정확도와 인식률 실험 방법**

얼굴 영상 인식 시스템의 평가는 후보 목록에 속한 얼굴 중에서 하나의 얼굴에 정확하게 일치시키게 되는 확률에 기반되어 진다. 이는 데이터베이스에 있는 얼굴들에 대한 것과 데이터베이스에 있지 않은 얼굴에 대한 것으로 확인할 수 있는데, 첫 번째 부류에 대해서는 양의 결과가 나올 것이고, 두 번째 부류에 대해서는 음의 결과가 나올 것이다. 본 사례연구에서 거론된 얼굴 영상 인식 시스템 중에서 상당수가 얼굴을 특징 집합으로 감소시키고 특징 공간에서 얼굴 사이의 거리를 비교하여 얼굴의 유사도를 측정한다. 만약 인식 과정이 성공적이라면 데이터베이스에 있는 얼굴에 대한 인식률은 데이터베이스에 없는 얼굴에 대한 오인식률 보다 항상 높아야만 한다.

■ **유사도 측정**

유사성은 데이터베이스가 놓여 있는 특징 공간상의 어떤 두 점 사이에 대한 측정값으로 정의할 수 있다. 특징이 비슷한 크기로 정규화 되었을 때는 두 특징간의 거리값으로 유사도를 측정하는 간

단한 형태의 방법이 사용될 수도 있다. 그렇지 않다면 하나의 중요한 특징만을 사용하여 유사도를 측정하는 방법도 가능하다.

VI. 결론 및 요약

지금까지 우리는 방대한 응용 분야를 가지는 얼굴 영상 자동 인식 기술의 현황에 대해서 살펴보았다. 여기에 소개된 대부분의 방법들은 응용 사례 1~7에 적절하며, 많은 방법들이 응용 사례 8과 9에 관심을 두고 있지만, 그들의 자세한 내용은 다루지 않았다. 다음은 본 사례 연구에 대한 간략한 요약이다.

• 얼굴 영상 인식 기술은 법집행 기관의 필수적인 도구로써, 이 기술의 상업적 응용은 신용카드 회사로부터 큰 관심을 받았다. 지문 인식에 부가하여 얼굴 영상 인식은 범죄를 줄이는데 두드러진 잠재적 영향력을 가지는 연구영역으로 남아 있을 것이다.

• 정지 영상과 동영상으로부터의 얼굴 영역의 분리는 얼굴 영상 인식에서 선행되는 주요 과정임에도 불구하고 최근까지도 많은 관심을 끌지 않았다. 분리 문제는 운전면허 사진, 여권사진 등과 같이 배경이 단순한 경우에는 쉽지만, 일반적으로 배경이 있는 영상에서는 매우 어려운 문제 중에 하나이며 따라서 더 많은 연구가 진행될 필요가 있다.

• 얼굴 영상 인식을 위해서는 전체적, 또는 지역적 특징이 모두 사용될 수 있다. 최근에 가장 인기있는 전체적 방법으로는 KL 변환에 의한 방법이 있다. 지역적 특징을 사용하는 방법에는 가변 형판 또는 눈, 입 등 주위 영역의 고유벡터를 사용하는 방법 등이 있다. 이와 같은 얼굴 영상에서의 특징 추출 문제는 인식 문제와 직결 되어 있으므로 반드시 얼굴 영상 인식과 병행하여 연구되어야 한다.

• Pentland의 고유벡터를 사용한 접근 방법은 3000명 정도의 대용량 영상에 대해 실험하였다. 그러나 신경망과 그래프 매칭에 기반을 둔 다른 접근법은 이같이 큰 데이터 집합에 관해 실험되지 않았다. 얼굴의 측면 영상을 사용한 인식 방법은 매우 정확한 인식 성능을 보이고 있으나, 대용량이 데이터에 대한 실험이 필요하다. 이러한 인식 시스템의 정확한 평가를 위해서는 실제적인 데이터가 사용되어야 한다.

• 연속된 비디오로부터의 얼굴 영상 인식은 아마 얼굴 영상 인식에서 유망한 문제일 것이다. 지금까지는 영상들의 간단한 임계화가 움직이는 사람의 얼굴을 분리하기 위해 사용되어졌으며, 2차원 인식 알고리즘을 주로 사용하였다. 특히 얼굴 영역의 분리에 대한 유동장의 유용성 그리고 2차원 프레임으로부터 3차원 구조를 추정하고 복원하는 문제는 앞으로 더 연구될 가치가 있다.

• 얼굴 영상 인식에서 가장 중요한 단계는 기존의 여러 방법을 평가하고 그들에 대해 새로운 방향을 제시하는 것이다. 이러한 평가에 사용된 영상들은 인식 시스템이 사용한 영상과 비슷한 환경에서 추출되어야만 한다. 또 하나의 중요한 부가적 문제는 두 얼굴 영상 간의 유사성 측정법에 대한 정의이다. 그러나 아직까지도 이와 같은 문제에 대해서는 깊이 있는 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

참 고 문 헌

[1] 이 성환, 패턴인식의 원리, I권, II권, 홍릉과학출판사, 1994

[2] 이 미숙, 김 남진, 이 호, 임 희석, 이 성환, "얼굴 영상의 이해를 위한 얼굴 특징의 자동 추출," 한국정보과학회 HCI'96 학술대회 발표논문집, pp. 205-219, 1996년 2월

[3] R. J. Baron, "Mechanisms of human facial recognition," *Int. J. Man-Mach. Stud.* Vol. 15, pp. 137-178, 1981.

[4] W. W. Bledsoe, "The model method in facial recognition," Panoramic Research Inc., Tech. Rep. PRI : 15, Palo Alto, CA, 1964.

[5] R. Burunelli and T. Poggio. "HyperBF networks for gender classification," in *Proc., DARPA Image Understanding Workshop*, pp. 311-314, 1992.

[6] R. Chellappa, Charles L. Wilson, and Saad Sirohey, "Human and Machine Recognition of Faces : A Survey,", in *Proc. of The IEEE*, Vol. 83, No. 5, pp. 704-740, 1995.

[7] Y. Cheng, K. Liu, J. Yang, Y. Zhuang, and N. Gu, "Human face recognition method based on the statistical model of small sample size," in *SPIE Proc. : Intell. Robots and Compu. Vision X : Algorithms and Techn.* Vol. 1607, pp. 85-95, 1991.

[8] Y. Cheng, K. Liu, J. Yang and H. Wang, "A robust algebraic method for human face recognition," in *Proc. 11th Int. Conf. on Pattern Recognition*, pp. 221-224, 1992.

[9] I. Craw, H. Ellis, and J. Lishman, "Automatic extraction of face features," *Pattern Recognition Lett.*, Vol. 5, pp. 183-187, 1987.

[10] G. Gordon, "Face recognition based on depth maps and surface curvature," in *SPIE Proc. : Geometric Methods in Computer Vision*, Vol. 1570, pp. 234-247, 1991.

[11] V. Govindaraju, S. N. Srihari, and D. B. Sher, "A computational model for face location," *Proc. 3rd Int. Conf. on Computer Vision*, pp. 718-721, 1990.

[12] P. W. Hallinan, "Recognizing human eyes," in *SPIE Proc. : Geometric Methods in Computer Vision*, Vol. 1570, pp. 214-226, 1991.

[13] Z. Hong, "Algebraic feature extraction of image for recognition," *Pattern Recognition*, Vol. 24, pp. 211-219, 1991.

[14] G. J. Kaufman, Jr., and K. J. Breeding, "The automatic recognition of human faces from profile silhouettes," *IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern.*, Vol. SMC-6, pp. 113-212, 1976.

[15] Y. Kaya and K. Kobayashi, "A basic study on human face recognition," in *Frontiers of Pattern Recognition*, S. Watanabe, Ed. New York : Academic, pp. 265-289, 1972.

[16] M. D. Kelly, "Visual identification of people by computer," Tech. Rep. AI-130, Stanford AI Proj., Stanford, CA, 1970.

[17] M. Kirby and L. Sirovich, "Application of the Karhunen-Loeve procedure for the characterization of human faces," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 12, pp. 103-108, 1990.

[18] T. Kohonen, Self-Organization and Associative Memory. Berlin : Springer, 1988.

[19] H. Li, P. Roivainen, and R. Forchheimer, "3-D motion estimation in model-based facial image coding," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, pp. 545-555, 1993.

[20] B. S. Manjunath, R. Chellappa, and C. v. d. Malsburg, "A feature based approach to face recognition," in *Proc. IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 373-378, 1992.

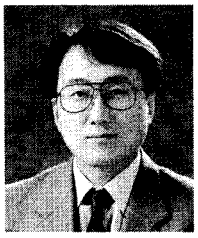
[21] O. Nakamura, S. Mathur, and T. Minami, "Identification of human faces based on isodensity maps," *Pattern Recognition*, Vol. 24, pp. 263-272, 1991.

[22] M. Nixon, "Eye spacing measurement for facial recognition," in *SPIE Proc.*, Vol. 575, pp. 279-285, 1985.

[23] A. P. Pentland, B. Moghaddam, T. Starner, and M. Turk, "View-based and modular eigenspaces for face recognition," in *Proc. IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 84-91, 1994.

[24] T. Sakai, M. Nagao, and S. Fujibayashi, "Line extraction and pattern recognition in a photograph," *Pattern Recognition*, Vol. 1, pp. 233-248, 1969.
[25] S. A. Sirohey, "Human face segmentation and identification," Tech. R에. CAR-TR-695, Center for Automation Research, Univ. of Maryland, 1993.
[26] L. Sirovich and M. Kirby, "Low-dimensional procedure for the characterization of human face," *J. Opt. Society Amer.*, Vol. 4, pp. 519-524, 1987
[27] M. A. Turk and A. P. Pentland, "Face recognition using eigenfaces," in *Proc. Int. Conf. on Pattern Recognition*, pp. 586-591, 1991.
[28] C. Wu and J. Huang, "Human face profile recognition by computer," *Pattern Recognition*, Vol. 23, pp. 255-259, 1990.
[29] Y. Yacoob and L. S. Davis, "Computing spatio-temporal representations of human faces," in *Proc. IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Patter Recognition*, pp. 70-75, 1994.
[30] G. Yang and T. S. Huang, "Human face detection in a scene," in *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 453-458, 1993.
[31] A. Yuille, D. Cohen, and P. Hallinan, "Feature extraction from faces using deformable templates," in *Proc. IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 104-109, 1989.

저 자 소 개



李 晟 煥

1962年 6月 2日生
1984年 서울대학교 계산통계학과 학사
1986年 한국과학기술원 전산학과 석사
1989年 한국과학기술원 전산학과 박사

1989年～1994年 충북대학교 컴퓨터과학과 조교수
1995年～현재 고려대학교 컴퓨터과학과 부교수

관심분야 : 패턴 인식, 컴퓨터 시각, 신경망 등

李 美 叔

1973年 7月 14日生
1996年 고려대학교 컴퓨터학과 학사

1996年～현재 고려대학교 컴퓨터학과 석사과정 재학중

관심분야 : 얼굴 영상 인식, 신경망 등