

얼굴인식 기술의 현황과 전망

사회의 급속한 정보화와 더불어 보안 문제를 해결하기 위한 방법으로 인식기술의 중요성이 점점 더 부각되고 있다. 이 글에서는 여러 가지 인식 기술들 가운데 특히 편리성과 보편성의 장점으로 각광 받는 얼굴인식기술의 연구 개발 현황을 얼굴 추적, 얼굴영역추출, 얼굴인식 및 검증 기술로 나누어 살펴보고, 이러한 얼굴인식기술을 응용하여 개발된 관련 상품들의 특징을 개관하였다.

박정선, 유명현, 이성환

사 랍의 신체적, 행동적인 특징을 개인 식별에 이용하는 생체인식 (biometrics) 기술은 더 이상 공상과학소설 속의 얘기가 아니다. 이는 정보기술(IT) 전문조사 기관인 가트너 그룹이 선정한 2000년부터 2010년까지 열두 가지 '중요기술'에 선정될 정도로 급격히 실용화되고 있는 차세대 신기술이다.

생체인식기술은 지문이나 손모양, 음성, 홍채, 망막, 혈관, 서명에 이르기까지 개인에 따라 그 특징이 명확하게 다른 신체 부위나 행동 특성으로 사람을 식별하고 인증한다. 이와 같이 주요 생체적 특징들은 분실하거나 망각할 우려가 없으며, 복제나 위조가 거의 불가능하다는 점에서 열쇠나 카드식 출입통제 시스템과 같은 전통적인 보안시스템을 대신할 차세대 보안 기술로 각광 받고 있다. 여기에 최근에는 변별 능력

이 탁월하고 활용성 및 편리성이 뛰어난 얼굴인식기술이 새로운 생체인식기술로서 전 세계적으로 부각되고 있다. 세계적인 생체인식 전문기관인 IBG(International Biometrics Group)가 얼굴인식이 전체 생체인식 시장에서 현재는 15%의 점유율을 보이고 있지만, 향후 2~3년 내 가장 빠르게 성장하는 생체인식 분야가 될 것이라고 예측하는 데서도 이의 근거를 찾을 수 있다.

응용 분야

얼굴인식기술은 지문인식 장비에 손가락을 넣거나 정맥인식기에 손을 넣을 때의 접촉에 대한 거부감이나, 홍채인식 시스템에 눈을 가까이 할 때 느끼는 불편함이 없어 앞으로 일반 대중들에게 가장 거부감 없이 다가갈 수 있을 것으로 기대된다. 표 1에 얼굴인

식 기술의 다양한 응용 분야를 요약하였다.

표 1에 언급된 내용 이외에도 얼굴인식 및 표정인식기술은 보다 친숙한 사용자 인터페이스를 위하여 화면에 직접 사람을 등장시켜 대화를 통하여 설명하고 작업을 수행하는 face-to-face 방법 연구의 중요한 주제가 되고 있으며, 기타 여러가지 다른 분야에서도 그 필요성이 점차로 증진되고 있다.

예를 들면, 얼굴인식은 신분 증명, 보안 시스템, 인사 자료에 사용될 수 있으며, 치안 분야에서는 범인을 색출하기 위하여 얼굴 각 부분의 그림이나 사진을 보여주면서 유사한 형태를 조합하여 몽타주를 작성하는 시스템에 사용될 수 있다.

또한, 아파트 및 주택의 출입통제, 금고관리, 회원관리, 출퇴근 관리, 자동차 키, 가전제품, PC보

- 박정선 / (주)워치비전 기술연구소, 책임연구원 / e-mail : jspark@watchvision.com
- 유명현 / (주)워치비전 기술연구소, 이사 / e-mail : mhyoo@watchvision.com
- 이성환 / 고려대학교 컴퓨터학과, 교수 · 인공시각연구센터, 소장 / e-mail : swlee@image.korea.ac.kr

표 1 얼굴 인식 기술의 다양한 응용 분야

응용 분야	장점 및 특성	단점 및 고려사항
검증 : 신용카드, 운전면허증, 여권, 주민카드	- 제약에 의해 조절된 영상 - 제약에 의한 얼굴 분리 - 고화질의 영상	- 현존하는 데이터베이스가 없음 - 잠재적인 대량의 데이터베이스가 있음 - 좁은 탐색 영역
식별 : 발인 검색 (소수의 용의자 목록을 생성)	- 다양한 영상의 질 - 한 사람에 대해 하나 이상의 영상이 가능	
용의자 검색 : 은행, 상점의 보안 시스템	- 높은 가치 - 지리적으로 국한된 탐색	- 무제한 상태에서 얼굴 분리 - 저화질의 영상 저해상도, 다양한 조명, 표정
군중 감시 시스템	- 높은 가치 - 작은 크기의 파일 - 동영상 이용 가능	- 무제한 상태에서 얼굴 분리 - 저화질의 영상 - 실시간 처리 요구
회의실에서 사람 추적 및 식별	- 높은 가치 - 동영상 이용 가능	- 사람의 위치와 표정 다양
증인에 의한 얼굴 복원	- 증인 탐색 제한	- 알려지지 않은 유사성
죄인얼굴, 용의자의 전자사진첩	- 기술자 탐색 제한	- 시각적 피로
얼굴 복원	- 높은 가치	- 생리적 입력값 필요
얼굴 변형 시스템	- 높은 가치	- 예제 입력이 필요

안, OA 기기 보안, 통신기기 보안, 보안지역 출입통제, 은행 대여 금고에서의 본인확인, 연금 및 보험관리, 은행의 현금자동입출금기(ATM)에서의 개인 인증, 신용카드 사용승인, 인터넷 상에서의 본인 확인 및 결제 시스템 등 각종 보안 시스템에 적용 가능하다.

이외에도 사람이 직접 감시하기 어려운 시간, 위치에서도 계속 감시를 해야 하는 무인감시 시스템(공장/빌딩 자동화 시스템, 아파트 관리 시스템, 은행/백화점/공장 등의 무인 경비 및 관리 시스템)의 구현에 있어서 얼굴인식 기술의 필요성은 더욱 커질 것으로 보인다.

보안문제에 적용하기 위한 기술적 과제

얼굴인식기술은 위에서 언급한

바와 같이 뛰어난 장점들을 지니고 광범위한 응용 범위를 지닌 반면, 실제적인 응용에 있어서 몇 가지 문제점도 지니고 있다.

그 중 대표적인 것이 인식 환경이나 인식 대상의 가변성이 크다는 것이다. 즉 얼굴인식 시스템은 안경, 머리모양, 표정 등에 의해 수시로 바뀌는 얼굴 모양과 주변 환경의 다양한 변화를 고려하여 설계되어야 한다.

예를 들어, 주변 환경에서 빛의 밝기가 변한다거나, 카메라와 사용자간의 거리가 때때로 같을 수 없기 때문에 입력된 얼굴 영상의 크기가 변하고, 안경 착용, 수염, 연령 변화 등에 따라 얼굴이 조금씩 달라지는 상황을 시스템이 인식하도록 해야 한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 실제로 사용시에는, 얼굴 영상을 획득하는 환경의 조명을 일정하게

고정시키고, 사용자로 하여금 가능한 중립적인 표정을 짓도록 지시함으로써 얼굴 모양의 변화를 통제하고 있다.

그러나 고성능의 안정적인 얼굴 인식 성능을 갖기 위해서는 이와 같은 문제점들을 시스템의 인식 단계에서 자체적으로 해결할 수 있어야 하고, 그와 동시에 인식 속도에 있어서도 응용분야에 적합한 수준이 보장되어야 한다.

이 글에서는 보안 문제 해결 방법의 하나로서 편리성과 보편성의 장점으로 각광받고 있는 얼굴 인식 기술들을 얼굴 추적, 얼굴 영역 추출, 얼굴 인식 및 검증 기술로 나누어 분석해 볼 것이다. 이러한 얼굴 인식 기술들을 응용한 관련 상품들의 동향을 살펴본다.

얼굴을 인식에 필요한 기술

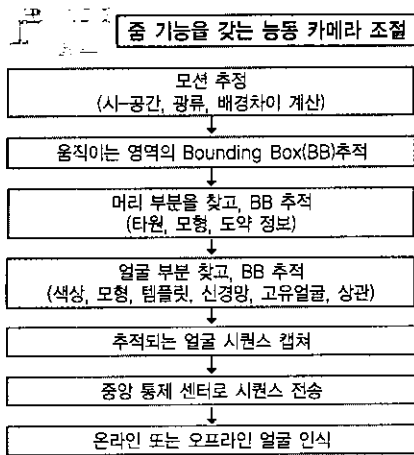


그림 1 동영상에서의 얼굴 영역 추적 및 추출

연속된 영상 내에서 움직이는 얼굴을 분리하는 대표적인 방법으로는 이전 영상들과의 차를 구하고, 그 차이 값을 이용하는 간단한 형태의 검출 과정이 주로 사용되어져 왔다. 이러한 방법은 여러 개의 물체가 동시에 움직이고 있고, 이들이 서로 겹치는 경우에 문제가 어려워질 수 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, 선처리 혹은 Markov random field 모델에 기반한 방법 등이 있다. 이러한 방법들 중 몇몇은 카메라와 물체가 동시에 움직이는 경우의 연구까지 확장되었다.

그림 1은 연속된 영상으로부터 얼굴을 추적하는 방법 중에서 가장 일반적으로 사용되는 방법의 흐름으로써 움직이는 사람을 검출하고, 움직이는 영역을 추적하

며, 외접사각형을 이용해 각각의 사람을 지정하고, 머리의 위치를 찾고, 얼굴을 추적하고, 마지막으로 배경의 차 영상을 이용해서 배경 영역을 제거하는 단계로 구성된다.

얼굴 영역 추출 기술의 동향 및 흐름

얼굴 영역 추출 기술은 얼굴인식 및 표정인식을 위한 필수적인 전처리 기술일 뿐만 아니라, 독자적으로도 사인 검색, 추적, 감시 등 다양한 분야에 적용할 수 있는 기술로써 수많은 연구가 진행 중이다. 그러나 얼굴 영상은 표정, 조명, 시점 변화 등에 의해 심하게 왜곡되고, 머리 모양, 화장, 안경 등에 의해 큰 변화가 생기게 되므로 배경으로부터 얼굴 영역을 완벽하게 분리해 내는 데는 현실적으로 한계가 있다. 또한 디지털 카메라를 통해 입력된 사진 영상은 뒷배경, 촬영시의 밝기 정도, 촬영시의 얼굴과 의 거리가 각각 다르며, 대상 인물 얼굴

의 기울어짐 등으로 인하여 색인 및 검색에 바로 이용하는 것이 불가능하다.

얼굴 영역 추출에 주로 사용되는 기술은 피부색-기반 방법, Eigen 함수 방법, 신경망을 이용한 방법, 특징-기반 방법, 특징과 피부색을 결합한 방법 등이 있다. 이중 피부색-기반 방법은 단독으로 사용되지 않고 주로 다른 방법들과 결합된 형태로 이용된다. Eigen 함수 방법은 특징 패턴에 대하여는 비교적 높은 성능을 보이지만 시점의 변화와 같은 영상 전체의 변화에 대해서는 추출 성능이 보장되지 않는 단점이 있다. 신경망을 이용한 방법은 정지 영상에서 얼굴을 찾는 데 우수한 성능을 보이지만 자연 배경과 같은 무수히 많은 비-얼굴 데이터를 학습시키는데 한계점을 가지고 있다. 특징-기반 방법은 크기, 방

표 2 얼굴 영역 추출 방법의 비교

방법	장점	단점
깜박임 탐지 (ink detection)	정면 얼굴에 정확	눈을 깜박이는 동안의 두 종류의 영상을 획득해야 함
상관 관계 (correlation)	정면 얼굴에 우수 다중 windows의 경우 우수	회전에 민감
특징(feature)	특징의 영역, 중심, 방향 정보 사용	영상 획득 환경에 민감
질감(texture)	cooperative 환경에 잘 작동	다른 시점의 경우 어려움
신경망/ EigenFace	정면 얼굴에 우수	다른 시점의 경우 저조
그래프 정합	크기, 회전, 이동에 무관	복잡한 계산 시간
모델	모델의 품질에 따라 성능이 영향을 받음	다른 시점의 경우 어려움
피부색	빠르고, 정확하고 방향에 무관한 방법 서로 다른 방향의 얼굴 탐지에도 유용	화장, 조명, 배경의 색깔 등에 영향을 받음

향, 얼굴의 시점 변화 등에 상관 없이 유용하게 적용할 수 있는 방법이지만, 눈, 코, 입과 같은 얼굴의 특징을 찾는 것이 쉽지 않다. 마지막으로, 특징-기반 방법과 피부색을 결합한 방법들이 제안되고 있는데 비교적 안정적인 추출 성능을 보이고 있다.

이상에 제시한 다양한 얼굴 영역 추출 기술들을 표 2에 요약하였다. 현재는 정면 얼굴로 제약을 가한 상황에서 유용하게 적용될 수 있는 얼굴 영역 추출 기술이 개발되고 있으며, 어떤 특정한 방법이 모든 측면에서 우수하다고 할 수는 없으므로 각각의 장단점을 이용하여 서로 보완적으로 성능 개선에 적용할 수 있다.

얼굴 인식 및 검증을 위한 기술의 동향 및 흐름

모든 사람의 얼굴은 대부분 타원형이고, 눈, 코, 입 등으로 구성된 동일한 기하학적 특성을 가지고 있다. 따라서 이처럼 공통적인 특징을 지닌 얼굴들을 서로 구분하기 위해서는 눈, 코, 입, 이마, 뺨, 턱, 눈썹 등의 크기, 모양, 곡률 등의 미세한 차이를 구별할 수 있어야 한다. 이는 획득된 얼굴 영상 데이터가 3차원 정보를 포함하고 있다면 쉽게 가능하겠지만, 3차원 정보를 얻기 위해서는 고가의 장비를 사용해야 하는 현실적인 제약이 있다. 그러므로 얼굴 인식 및 검증 기술은 주로 2차원 영상으로 획득되는 얼굴 데이터에서 서로 다른 사람의 미세한 차이를 구별하고, 동시에 같은 사

람의 얼굴 영상으로부터는 작은 변형에도 불구하고 동일한 특징들을 찾아내는 기술에 집중되고 있다.

얼굴인식 기법은 크게 기하학적인 특징 정합 방법과 템플릿 패턴 정합으로 나눌 수 있다. 기하학적인 특징 정합 방법은 눈, 코, 입과 같은 얼굴 구성 요소들 사이의 위치, 모양, 코의 폭과 길이의 비 등의 거리를 측정함으로써 두 얼굴 영상의 유사도를 비교한다. 이 방법이 우수한 성능을 보이기 위해서는 각각의 얼굴에 대한 정규화 과정이 선행되어야 한다. FERET 테스트 프로그램에 의하면 이 방법은 조명, 배경 등이 일정한 환경에서 획득한 영상에 대해서조차 템플릿 패턴 매칭 방법보다 저조한 성능을 보인다고 보고되었다. 템플릿 패턴 정합 방법은 얼굴을 빛(light)과 형태(shape)로 구성된 2차원 영상으로 보고 인식을 시도한다. 이 방법에서도 크기 또는 대비(contrast) 등의 정규화 과정이 전처리로써 수행된다.

현재 얼굴인식 및 검증 시스템에 사용되고 있는 대표적인 템플릿 정합 방법으로는 주성분 분석(PCA: Principal Component Analysis), 국부적 특징 분석(LFA: Local Feature Analysis), 변형 가능한 명도 표면(Deformable Intensity Surface)을 이용한 Bayesian 방법, Gabor 웨이블릿(wavelet)과 elastic bunch 그래프 매칭 알고리즘, 선형 관별 분석(LDA: Linear Discriminant Analysis) 등이 있다.

주성분 분석

주성분 분석 방법은 다변량 분석 방법으로서 전체 영상의 데이터를 데이터의 분산이 큰 몇 개의 고유방향(EigenFaces)에 대한 축으로 선형 투사시켜 데이터의 차원을 줄이는 방법으로서 서로 다른 클래스를 차원을 줄여서 간단하게 표현할 수 있는 체계적이고 실용적인 방법으로 알려져 왔다. 그러나 이 방법은 클래스와의 관계를 고려하지 못하고 전체 데이터의 분산을 최대로 하는 방향으로만 선형투사 하기 때문에 클래스간의 겹침이 발생할 수 있다. 즉, 결과 주성분이 얼굴 전체 영상에 대한 표현으로서, 눈, 코, 입 등과 같은 세부적인(topographic) 표현이 아니므로 다양한 변형을 표현할 수 있는 국부적 특징을 추출하지 못한다는 문제점을 가지고 있다.

PCA에 의한 고유얼굴(EigenFaces) 방법은 수학적으로 잘 정의되어 있는 특성 때문에 이러한 기본 PCA의 개념을 조금씩 변형시킨 여러가지 방법들에 널리 응용되고 있다. 이러한 응용 예로서는 EigenFace, Modular EigenFaces, Multi-dimensional discriminant analysis, Eigen space, Extracting high-order local autocorrelation features 등이 있다.

국부적 특징 분석

국부적 특징 분석(LEA: Local Feature Analysis)은 록펠러 대학(Rockefeller University)의 P. S. Penev와 J. J. Atick에 의해 개

발된 방법으로서 그림 2와 같이 통계적으로 계산된 국부적 특징과 위치로 객체를 표현한다. 이 방법은 PCA 방법과 유사하게 객체를 간단하게 표현할 수 있으며, 자동으로 눈, 코, 입, 턱 선과 같은 최적의 특징 집합을 계산하며, 국부적 특징과 전역적 특징을 모두 가지고 있다.

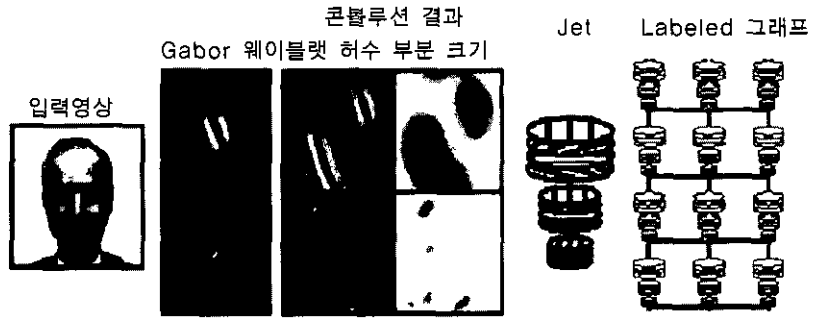


그림 3 Gabor 웨이블릿과 레이블

Bayesian 얼굴 인식 방법

3차원 정보를 얻기 위해서 제안된 방법으로, 변형가능한 화소별 일치를 이용하여 영상의 차이를 표현한다. 이는 XYI(X좌표, Y좌표, 명도) 공간상에서 변형가능한 3차원 메시를 기반으로 한다. 또한 학습을 통해서 동일 사람 내에서의 표정 변화를 구별할 수 있는 사람 내 변형과 서로 다른 사람을 구별하기 위한 사람 간

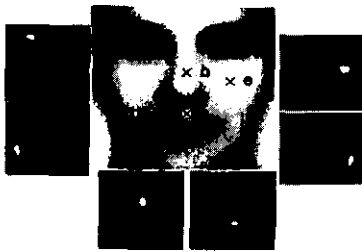


그림 2 국부적 특징의 예

의 변형을 Bayesian 기반 확률 모델로 추정하였다. 그러나 다른 얼굴로 메시를 조정하기 위해서는 격자(grid) 점들을 알아야 한다는 문제점이 있다.

Gabor 웨이블릿과 탄력적 구성 요소 그래프 매칭 방법은

Gabor 웨이블릿과 탄력적 구성 요소 그래프 매칭 방법은 L. Wiskott 등에 의하여 제안된 방법으로 생물학적 동적 연결 구조(Dynamic link architecture)에 기반하여 얼굴을 인식한다. Gabor 웨이블릿을 뇌의 시각 경로를 본따 모형화한 개념(key-hole view)으로 사용하고, 얼굴의 구성 요소들의 그래프(face bunch graph)에 의하여 얼굴을 표현한다(그림 3 참조).

얼굴 구성 요소 그래프는 눈, 코, 입, 그 밖의 윤곽 점들로서 구성되는 식별가능한 점들에 위치한 노드로 구성된다. 각각의 노드에서는 Gabor 웨이블릿의 크기로 표현되는 특징들의 집합을 추출한다. 다음, 탄력 그래프 정합의 과정을 통하여 두 개의 패턴을 비교한다. 이 방법은 사람이 머리 모양을 바꾸거나 수염을 기르거나, 안경 또는 모자를 착용하더라도 인식이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

선형 판별 분석

선형 판별 분석(LDA : Linear Discriminant Analysis)은 웨이

블릿 분해의 서로 다른 구성 요소들 중에서 저주파 변형, 명확한 수직 에지, 수평 에지, 기타 다른 방향의 에지 등과 같이 구별력이 뛰어난 성분들을 찾는다. 이 개념은 또한 사람을 구별하기 위하여 눈, 코, 입, 머리카락, 턱 등과 같은 얼굴 구성 요소들을 나누는 데에도 적용할 수 있다. 이 분석 방법에 의해 사람 얼굴의 윗 부분이 아래 부분보다 구별력이 뛰어나다는 것을 입증하였다. 이 방법은 PCA와 유사하지만 공분산(covariance) 행렬이 아닌 개별(separation) 행렬 상에서 고유값 분석이 이루어진다는 차이점을 가지고 있다. 이 방법은 1997년 3월에 수행된 FERET 테스트에서 우수한 성능을 보였다.

적용상품

표 3은 출입 통제 및 보안, 사용자 인증 등에 사용 가능한 해외 얼굴인식 상품들을 요약해 보여준다. 여기 소개된 대부분의 제품들은 앞에서 소개한 얼굴 인식 및 인증 기술들을 기반으로 한 실용적인 제품들이라 할 수 있다.

표 3 해외의 얼굴 인식 관련 업체 등

제품 / 회사	알고리즘과 웹 사이트
TrueFace / eTrue Inc.	신경망 기법 http://www.etrue.com/
FaceIt / Visionics	Rockefeller 대학의 LFA에 기반 http://www.faceit.com/
Viisage / Viisage	MIT의 특허 "EigenFaces" 방법에 기반 http://www.viisage.com/
ZN-Face / ZN Technologies	신경망 기법 Gabor wavelets + elastic bunch graph matching http://www.zn-gmbh.com/
NVISAGE3D Neurodynamics Biometrics	신경망 기법 적외선 스캐닝을 사용해 3D영상 획득 http://www.neurodynamics.com/
Neuraware / Neuraware	신경망 기법 : MorphChip을 제작 http://www.neuraware.com/
PhotoBook / MIT	변형 가능한 명도 표면 (Deformable Intensity Surface)을 사용한 베이시안(Bayesian) 얼굴 인식
FR1000 / Betac TRS	Biometric IR.(Futuristic) 특허 출원 http://www.betac.com/trs/
CRIME / Image Ware Systems	http://www.iwsinc.com/
Passface / ID~art	http://www.id-arts.com/
Biometric SDKs Keyware Technology	http://www.keywareusa.com/

얼굴인식 기술은 그간 느린 처리속도와 높은 오류율 때문에 기피되어 왔지만 최근에는 획기적인 기술 발전과 컴퓨터의 발달에 힘입어 데이터베이스에 수록된 사진 4,500만 장을 1 분 안에 검색하여 비교적 정확하게 비교 분석할 수 있는 시스템까지 출시되었다.

현재 얼굴인식기술을 적용한 미국의 시스템 판매 회사로는 Visionics 사, eTrue 사, Viisage Technology 사 등을 들 수 있다. 출입 통제 시스템의 경우에는 독일에서 개발한 ZN-Face(www.zn-gmbh.com)가 대표적인 예로 출입자의 얼굴을 인식하여 접근을 통제하는 형태로 이미 실용화되어

사용되고 있다.

국내 얼굴인식업계는 현재 초기 시작 단계로 아직 시장이 성숙되지 못한 단계이다. 그러나 얼굴인식 기술은 향후 출입통제 및 각종 보안 분야에서 적용 가능성이 많은 연구 분야이며, 국내 독자 기술을 보유하지 못할 경우, 고액의 기술료를 지불해야 하는 문제점이 있어 국내 독자 기술의 개발이 시급한 실정이며, 학계 및 업계에서 기타 생체인식기술의 발전과 더불어 같이 발전할 것으로 기대된다. 현재 국내의 얼굴인식 관련 업체로는 위치비전사, 비전인터랙티브사, 프라임테크사, 블루닉스사 등을 들 수 있다.

향후 전망

지금까지 얼굴기반 생체인식기술에 대한 국내외의 연구 현황 및 상품화 현황에 대해서 살펴보았다.

얼굴인식기술은 지문과 같이 전 세계의 모든 사람들이 서로 다른 얼굴 특징을 가지고 있으며, 비강 제성과 비접촉성, 편리성, 많은 특징정보의 보유 등의 측면에서 기존 생체인식 방법과 비교해 추가적인 장점을 가지고 있어 미국과 유럽 등의 많은 전문기관에서는 얼굴인식을 차세대 생체인식 기술의 최종 목적지로 인식하고, 이에 대한 연구개발, 투자를 아끼지 않고 있다. 특히 얼굴인식기술을 적용한 보안 시스템은 다른 생체 특징을 이용한 보안 시스템이 데이터베이스화된 생체인식 정보, 즉 남은 기록으로부터 그것이 누구의 것인지 사용자가 직접 확인할 수 없고 이를 위해서 부수적인 확인 과정을 거쳐야 하는 번거로움을 지닌 반면, 출입자의 얼굴이 매번 출입상황에서 작은 크기의 영상으로 직접 데이터베이스화 됨으로써 관리자가 당장 혹은 추후에 바로 육안으로도 신분 및 출입상황을 확인, 검토할 수 있는 장점을 갖는다.

이상의 장점과 더불어 표 1에서 살펴본 바와 같이 광범위한 응용 분야를 갖는 얼굴 및 표정 인식 기술의 전망으로 인하여 생체인식 분야에서 향후 얼굴인식 기술이 차지하는 비율은 급격히 증가할 것이며 앞으로 그에 따른 응용 분야의 발전 가능성도 매우 크다는 것을 예측할 수 있다.