

# 혼합 계층형 SVM을 이용한 실시간 요주의 인물 식별 시스템

강봉수<sup>1)</sup>, 정호석<sup>2)</sup>, 이한성<sup>3)</sup>, 임영희<sup>4)</sup>, 정용화<sup>5)</sup>, 박대희<sup>6)</sup>

## Real Time Watch List Identification System using a Hybrid Hierarchical SVM

Bong-Su Kang<sup>1)</sup>, Ho-Seok Jung<sup>2)</sup>, Han-Sung Lee<sup>3)</sup>, Young-Hee Im<sup>4)</sup>, Yong-Wha Chung<sup>5)</sup>, Dai-Hee Park<sup>6)</sup>

### 요약

얼굴 인식 기반의 요주의 인물 식별 시스템은 대용량의 데이터베이스에서 실시간 얼굴 인식이 가능하며 동시에 높은 인식 정확도를 보장해야만 한다. 본 논문에서는 이러한 요구사항들을 반영하여, 새로운 형태의 다중 클래스 SVM인 혼합 계층형 SVM을 제안한다. 제안된 혼합 계층형 SVM은 신속하게 요주의 인물 여부를 판단하는 단일 클래스 SVM의 대표적 모델인 SVDD와 요주의 인물 데이터베이스로부터 해당 인물을 빠르고 정확하게 인식할 수 있는 다중 클래스 SVM-BTA를 계층적으로 결합한 구조로서, 신속하고 정확한 요주의 인물 식별이 가능하다. 자체 제작한 KUFDB(Korea University Face Database)와 요주의 인물 식별 시스템을 캠퍼스 내에서 모의 구축하여 제안된 시스템의 타당성을 실험적으로 검증한다.

핵심어 : 요주의 인물 식별, 얼굴 인식, SVDD, 다중 클래스 SVM

접수일(2010년07월18일), 심사회의일(2010년07월19일), 심사완료일(1차:2010년08월10일, 2차:2010년08월27일)

게재일(2010년10월31일)

1339-700 충남 연기군 조치원읍, 고려대학교 세종캠퍼스 컴퓨터정보학과 석사과정.

email: ares4you@korea.ac.kr

2339-700 충남 연기군 조치원읍, 고려대학교 세종캠퍼스 컴퓨터정보학과 박사과정.

email: hsjeong@kribb.re.kr

3305-700 대전시 유성구 가정로 138, 한국전자통신 연구원 휴먼인식기술연구팀.

email: mohan@etri.re.kr

4339-700 충남 연기군 조치원읍, 고려대학교 세종캠퍼스 컴퓨터정보학과 초빙 교수.

email: yheem@korea.ac.kr

5339-700 충남 연기군 조치원읍, 고려대학교 세종캠퍼스 컴퓨터정보학과 교수.

email: ychungy@korea.ac.kr

6(교신저자) 339-700 충남 연기군 조치원읍, 고려대학교 세종캠퍼스 컴퓨터정보학과 교수.

email: dhpark@korea.ac.kr

\* 본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

## Abstract

It should be guaranteed that the face recognition based watch list identification system can recognize faces on real-time with high accuracy even in a large-scaled face image database. Considering the above system requirements, in this paper, we propose a novel multi-class hierarchical support vector machine(SVM), named to hybrid hierarchical support vector machine (HHSVM). The proposed HHSVM is constructed in a hierarchical manner, which first distinguishes watch list face images from coming face images of CCTV via a support vector data description(SVDD), that is a well-known one-class SVM, and then identify watch list face images in detail via a multi-class SVM-BTA. Using SVDD and SVM-BTA, we achieved fast watch list identification with high accuracy. With our KUFDB(Korea University Face Database) collected from real experiments on Campus, we carried out a feasibility study on the proposed system for a new real-time watch list identification system.

Keywords : watch list identification, face recognition, SVDD, multi-class SVM

## 1. 서론

최근 개인 및 공공의 안전을 위하여 공항, 주차장, 지하철 및 기차역 등 공공장소에 Close-Circuit Television(CCTV)을 설치하여, 얼굴인식 기반의 수배자 검색 및 범죄 용의자 검색을 통한 보안 감시 및 출입 통제를 수행하는 요주의 인물 식별 시스템(watch list identification system)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-3]. 특히 2001년 9.11테러 발생 후, 전 세계적으로 출입 관리, 보안 감시 등과 같은 물리 보안 및 영상 보안 분야에 관심이 집중되고 있다[4-5]. 그 중 감시 카메라를 이용하여 얼굴 인식을 수행하는 얼굴 인식 기반의 요주의 인물 식별 시스템은 출입자가 감시 시스템이 작동 중임을 인식하지 못하는 상태에서 편리하게 생체 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다[6-7]. 또한 최근 들어 고품질 영상을 제공하는 감시용 카메라가 등장함에 따라, 감시 영상으로부터 요주의 인물 목록에 등록된 범죄 용의자들을 탐지 및 인식하기 위한 연구가 더욱 활기를 띠고 있다.

일반적으로 얼굴 인식을 통한 요주의 인물 인식 시스템은 감시 영상으로부터 얼굴을 탐지한 후, 탐지된 얼굴이 요주의 인물 감시 목록(watch list)에 등록되어 있는 인물로 판별될 경우에는 시스템 관리자에게 알람을 울리고, 동시에 요주의 인물의 개인 신상정보를 제공함으로써 요주의 인물에 대한 감시 및 출입 통제를 수행할 수 있도록 해준다[6-7]. 따라서 요주의 인물 식별 시스템이 실제 활용되기 위해서는 다음의 요구 조건들을 만족해야 한다. 1) 요주의 인물과 일반인의 신속하고 정확한 분류; 2) 신속한 요주의 인물 인식을 위한 계산 비용의 절감; 3) 대용량의 데이터베이스에서 실시간 얼굴 인식이 가능하며 동시에 높은 인식 정확률 보장.

본 연구와 관련된 선행 연구들을 살펴보면, Li 등[1]은 무작위성(randomness)과 transductive inference에 기반한 TCM-KNN(transductive confidence machine-K nearest neighbor)을 이용한 요주의 인물 인식 시스템을 제안하였으며, Abbas[2]등은 뉴스 비디오 영상에서 얻은 얼굴 이미지와 사진을 이용하여 감시목록에 등록된 용의자들을 식별하는 시나리오를 제안하였고, Tsalakanidou 등[3]은 자세와 조명변화에 강인한 얼굴 인식 시스템을 구현하기 위하여 이미지를 3D이미지로 변

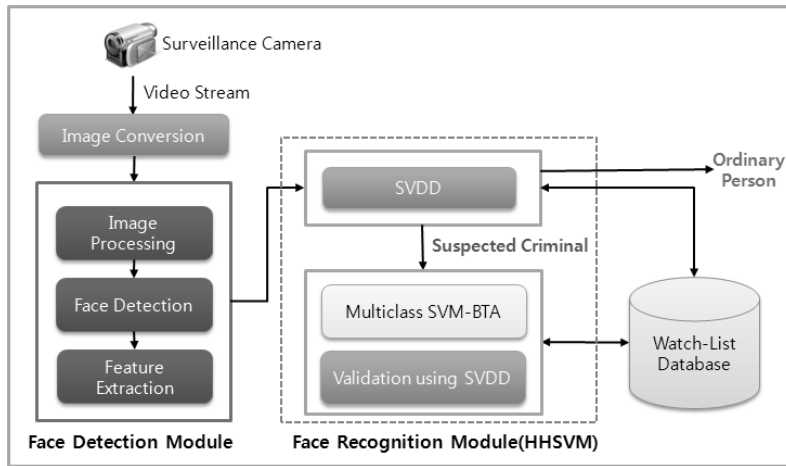
환한 후 2D 이미지와 합성하여 얼굴 이미지 데이터로 사용하였다. 위 연구들 모두 CCTV 감시 환경에서 감시목록에 등록된 용의자들을 인식하는 시나리오를 기반으로 연구를 진행하였지만, 얼굴 인식 기반의 영상 감시 시스템이 요구하는 다양한 기준들 중, 강인한 얼굴인식 기술만을 강조하여 연구되었다.

본 논문에서는 대용량의 데이터베이스에서 실시간 얼굴 인식이 가능하며 동시에 높은 인식 정확도를 보장해야만 하는 요주의 인물 식별 시스템의 요구 사항들을 반영하여 새로운 형태의 다중 클래스 SVM(support vector machine)인 혼합 계층형 SVM(HHSVM : hybrid hierarchical SVM)을 제안한다. 제안된 HHSVM은 단일 클래스 SVM의 대표적 모델인 SVDD(support vector data description)와 이진트리 구조를 갖는 다중 클래스 SVM-BTA(SVM-binary tree architecture)[8]을 계층적으로 결합한 구조로서, 세 개의 계층으로 구성된다. 최상위 계층의 SVDD는 탐지된 얼굴이 감시 목록에 존재하는지의 여부를 빠른 속도로 판단한다. 이로 인해, 일반인에 대한 불필요한 연산을 대폭 줄임으로써 시스템의 부하를 경감하여 실시간 적용이 가능하도록 하였다. 두 번째 계층에서는 다중 클래스 SVM-BTA의 구조를 사용함으로써, 대용량의 데이터베이스에서도 높은 인식 정확도와 함께 신속한 요주의 인물 인식을 수행한다. 마지막 계층에서는 인식 결과의 검증을 위하여 각 단말 노드에 해당 요주의 인물로 학습된 SVDD를 배치함으로써 인식 정확도를 더욱 강화하였다. 또한 본 시스템에서는 감시 시스템의 신뢰성을 보장하기 위하여 동일 생체 특징을 여러 번 획득(multiple instances/impressions of the same biometric)하여 사용하는 방법을 따른다[9]. 즉, 얼굴 인식 과정에서 개인당 1장의 얼굴 이미지가 아닌 3장의 얼굴 이미지를 CCTV 영상에서 연속적으로 취득하여 사용한다. 한 사람당 얼굴 이미지 3장을 사용하여 다수결 투표전략(majority voting strategy)을 취한다면, 1장의 얼굴 이미지에서 인식 오류가 발생한다고 해도 나머지 2장의 다수결 인식결과를 통하여 보다 안정적으로 정확한 인식 결과를 얻을 수 있다. 자체 제작한 KUFDB(Korea University Face Database)와 CCTV에서의 얼굴 인식 기반 요주의 인물 식별 시스템 환경을 캠퍼스 내에서 모의 구축하여 제안된 시스템의 성능을 실험적으로 검증하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하는 실시간 요주의 인물 인식 시스템의 전체적인 구조에 대해 개괄적으로 설명하고, 3장과 4장에서는 얼굴 탐지 모듈과 혼합 계층형 SVM을 이용한 얼굴 인식 모듈에 대하여 각각 기술한다. 5장에서는 실험 결과 및 분석, 그리고 6장에서는 결론 및 향후연구과제에 대하여 서술한다.

## 2. 혼합 계층형 SVM을 이용한 실시간 요주의 인물 식별 시스템

본 논문에서 제안하는 요주의 인물 식별 시스템의 목적은 보안과 관리를 필요로 하는 특정 공간 내에서 CCTV를 통하여 요주의 인물들을 실시간적으로 탐지 및 식별하여 출입을 통제함으로써, 사건 발생의 위험을 사전에 예방하거나 요주의 인물을 검거하기 위함이다. 본 논문에서 제안하는 혼합 계층형 SVM을 이용한 실시간 요주의 인물 식별 시스템의 전체 구조는 그림 1과 같다.



[그림 1] 요주의 인물 식별 시스템의 구성도

[Fig. 1] Overall structure of the proposed watch list identification system

본 시스템의 구성은 크게 얼굴 탐지 모듈과 얼굴 인식 모듈로 구성되며, 다음과 같은 절차로 수행된다. 1) CCTV로부터 영상을 취득한다; 2) 취득한 영상을 이미지로 변환한다; 3) 얼굴 탐지 모듈에서는 감시 영상에 사람이 포착되면, 해당 인물의 얼굴 영역을 탐지하고 탐지된 얼굴 이미지로부터 특징벡터를 추출한다; 4) 얼굴 인식 모듈에서는 혼합 계층형 SVM인 HHSVM을 이용하여 요주의 인물을 인식한다. 특히, HHSVM의 최상위 계층에서는 SVDD로 탐지된 얼굴이 감시 목록에 존재하는 요주의 인물인지를 빠른 속도로 판단하고, 탐지된 얼굴이 감시 목록에 존재하는 경우에는 두 번째 계층의 다중 클래스 SVM-BTA와 세 번째 계층의 검증용 SVDD를 통해서 요주의 인물을 식별한다. 요주의 인물의 인식 결과는 해당 인물의 신상정보와 함께 관리자에게 알람을 통해 보고된다.

### 3. 얼굴 탐지 모듈

#### 3.1 Haar-like feature를 이용한 얼굴 영역 탐지

얼굴 인식을 수행하기 위해서는 먼저 CCTV에서 전송된 동영상의 프레임으로부터 얼굴 영역을 탐지해야한다. 본 논문에서는 얼굴 탐지 방법으로 Haar-like feature 방법[10]을 사용한다. Haar-like feature 방법은 기존의 얼굴 영역 검출 알고리즘과 달리 픽셀 값이 아닌 feature 모형을 이용하는 방법으로, 이는 학습 알고리즘에서 학습 입력 정보를 줄여주고 반면에 학습 결과의 다양성을 증가시켜주면서 보다 쉬운 분류가 가능하다. Haar-like feature 알고리즘은 입력 영상에 윈도우를 이동시키면서 특징을 얻어내며, 얻어낸 특징 값을 이미 학습된 분류기에 통과시켜 얼굴 영역을 탐지한

다. Haar-like feature 방법은 기존의 얼굴 탐지 방법들에 비해 얼굴 탐지 속도에서 뛰어난 성능을 보인다고 평가되고 있다[10]. Haar-like feature 방법으로 탐지된 얼굴 영역은 그림 2와 같이 사각형의 형태로 표현되며, 탐지된 얼굴 영역에 대해 추출된 특징 값은 얼굴 인식 모듈의 입력 데이터로 사용된다.



[그림 2] Haar-like feature를 이용한 얼굴 탐지의 예

[Fig. 2] An example of face detection using Haar-like feature

### 3.2 얼굴 인식을 위한 특징 추출

본 논문에서는 탐지된 얼굴 이미지의 벡터 표현으로 NMF(non-negative matrix factorization)[11]를 사용한다. NMF는 행렬을 기저 행렬과 인코딩 행렬로 분해하는 방법으로, 입력 공간의 얼굴 영상들로부터 NMF에 의해 유도된 특징 공간의 기저 벡터(basis vector)는 눈, 코, 입 등과 유사한 부분 영상 형태를 보이며, 기저 벡터의 선형 결합으로 얼굴 영상을 나타낼 수 있다. NMF에 의해 표현된 특징 값은 영상 내 객체들의 공간적(spatial) 정보를 포함하고 있으므로 이미지의 전체적인(holistic) 정보만을 포함하고 있는 SVD(singular value decomposition)나 PCA(principal component analysis)에 의한 특징 값 보다 얼굴 인식에 적합하다고 알려져 있다[12]. NMF는 희소 선형 코딩(sparse linear coding)으로서, 수식 (1)과 같이 입력 얼굴 이미지 행렬  $X$ 를 입력 얼굴 이미지 보다 낮은 차원을 가진 두 개의 행렬  $W$ ,  $H$ 로 분해하여 차원을 축소한다. 예를 들어,  $X$ 가  $n \times m$ 이면  $W$ ,  $H$ 는 각각  $n \times r$ ,  $r \times m$ 이 되며,  $W$ 의  $r$ 개의 열은 기저 이미지이고,  $H$ 의 각 열은 입력 얼굴 이미지 행렬  $X$ 에 대응하는 계수 값으로 구성된다.

$$X \approx WH \tag{1}$$

WH가 X에 가장 가까워지도록 W와 H행렬을 반복적으로 갱신하며, 갱신의 방향은 목적함수 (objective function) F의 최대 값(local maximum) 방향이다. 여기서 목적함수는 수식 (2)와 같고 이는 최대 우도(maximum likelihood)에 로그를 취한 값이다.

$$F = \sum_{i,k} [X_{ik} \log(WH)_{ik} - (WH)_{ik}] \quad (2)$$

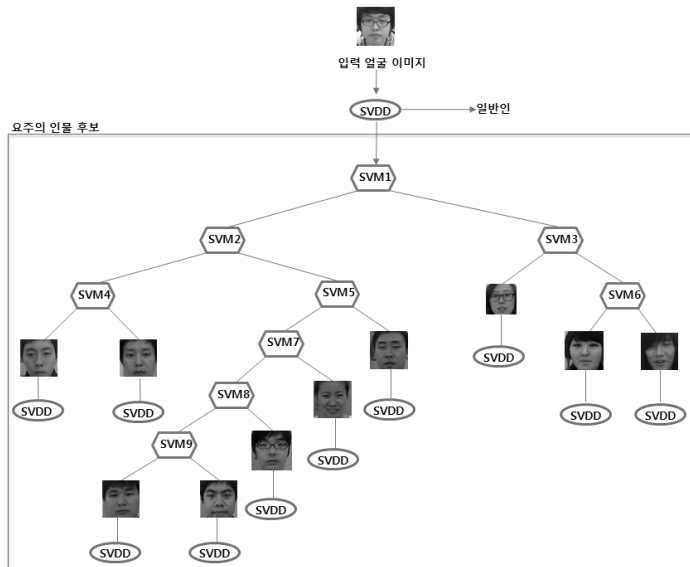
따라서 수식 (2)의 값이 지역 최대 값이 되도록 W, H 각각을 수식 (3)과 (4)와 같이 반복적으로 갱신한다.

$$W_{ij}^{\leftarrow} = W_{ij} - \frac{\sum_k H_{jk} X_{ik} / (WH)_{ik}}{\sum_v H_{jv}} \quad (3)$$

$$H_{jk}^{\leftarrow} = H_{jk} - \frac{\sum_i W_{ij} X_{ik} / (WH)_{ik}}{\sum_u W_{uj}} \quad (4)$$

#### 4. 혼합 계층형 SVM을 이용한 요주의 인물 인식

본 논문에서는 CCTV 감시 영상에서 획득한 얼굴 이미지를 이용하여, 감시 인물 목록에 등록된 요주의 인물을 탐지·식별하는 실시간 요주의 인물 식별 시스템을 설계 및 구현하였다. 요주의 인물의 신속하고 정확한 인식을 위해 본 논문에서는 새로운 형태의 계층형 다중 클래스 SVM인 혼합 계층형 SVM을 제안한다. 제안된 혼합 계층형 SVM인 HHSVM은 SVDD와 SVM-BTA를 계층적으로 결합한 구조로서, 세 개의 계층으로 구성된다. 최상위 계층의 SVDD는 탐지된 얼굴이 감시 목록에 존재하는지의 여부를 빠른 속도로 판단한다. 결국, 요주의 인물이 아닌 일반인에 대한 불필요한 연산을 줄임으로써 시스템의 부하를 경감하여 실시간 응용에 적합하도록 설계하였다. 두 번째 계층에서는 다중 클래스 SVM-BTA의 구조를 사용함으로써, 대용량의 데이터베이스에서도 높은 인식 정확률과 함께 신속한 요주의 인물 인식을 수행한다. 마지막 계층에서는 인식 결과의 검증을 위하여 각 단말 노드에 해당 요주의 인물로 학습된 SVDD를 배치함으로써 요주의 인물의 인식 정확률을 강화하였다. 그림 3은 제안된 HHSVM의 구조도를 보여준다.



[그림 3] 혼합 계층형 SVM의 구조

[Fig. 3] Structure of a hybrid hierarchical SVM

#### 4.1 첫 번째 계층: SVDD기반의 요주의 인물 인식

CCTV를 이용한 요주의 인물 식별 시스템의 가장 중요한 목적은 감시 영상에 나타난 사람의 요주의 인물 여부를 실시간으로 신속하게 판별하는 것이다. 요주의 인물 여부의 판별 문제는 신원 식별 문제와 달리 대상 인물이 요주의 인물 목록에 등록되었는지 아닌지를 판별하는 이진 클래스 분류(binary class classification) 문제로 볼 수 있다[13]. 그러나 실제 요주의 인물과 요주의 인물이 아닌 일반인을 구분하기 위해서는 두 클래스를 모두 학습할 필요 없이 요주의 인물의 얼굴 이미지만으로 기계학습을 수행한 후, 탐지된 얼굴이 요주의 인물인지를 판별하는 것이 보다 실용적이다. 결국 이것은 단순히 얼굴 이미지의 요주의 인물 여부를 확인하는 과정이므로, 이진 클래스 분류 문제가 아닌 단일 클래스 분류(one class classification) 문제로 보는 것이 합리적이다. 특히 요주의 인물 여부의 판별 문제인 경우, 입력되는 대부분의 데이터는 정상 데이터(일반인)인 반면 일부의 영상 데이터(요주의 인물)만이 비정상적으로 학습에 사용 가능한 훈련 집합의 스펙트럼 및 크기에 많은 차이가 난다. 따라서 이진 분류기인 SVM을 이용하여 일반인 혹은 요주의 인물로 분류할 경우, 관측되지 않은 영역을 포함하여 결정 경계면을 생성하므로 새로운 테스트 데이터에 대해서 오분류를 할 가능성이 높다. 따라서 해당 클래스만을 독립적으로 표현하는 단일 클래스 SVM으로 결정 경계면을 결정하는 것이 보다 유리하다. 본 논문에서는 단일 클래스 SVM의 대표적인 알고리즘인 SVDD를 기반으로 제안된 시스템의 첫 번째 계층에서 요주의 인물 여부를 신속하게 판단하고자 한다. 또한, 첫 번째 계층을 통과한 요주의 인물에 대해서만 두 번째 계층에서 얼굴 인식을 수행함으로써 요주의 인물 인식을 위한 계산량을 대폭 줄일 수 있다.

SVDD를 이용하여 요주의 인물인지를 판별하는 방법은 다음과 같다. 감시목록에 있는 요주의 인물들로만 구성된 얼굴 이미지 데이터를 사용하여 특징 공간에서 요주의 인물들을 포함하는 원형체를 학습한다. 즉, 테스트 얼굴 정보가 원형체 안에 포함되면 요주의 인물로 인식하고 포함되지 않은 데이터는 요주의 인물이 아닌 일반인으로 판단한다. 감시 시스템은 그 목적 상, CCTV에 요주의 인물이 나타나면 이를 반드시 탐지하고 식별해야 한다. 그러나 첫 번째 계층의 SVDD에서 범죄 용의자를 일반인으로 오분류하는 치명적인 오류와 일반인을 범죄 용의자로 오 인식하는 문제가 발생할 수 있다. 특히, 범죄 용의자를 일반인으로 오분류하여 범죄 용의자를 검거하지 못한다면 감시 시스템의 신뢰성에 큰 문제가 발생한다. 따라서 본 시스템에서는 위와 같은 심각한 오류가 발생하는 상황을 방지하기 위하여 동일 생체 특징을 여러 번 획득하여 사용하는 방법을 따르고자 한다[9]. 즉, 얼굴 식별 모듈에서 개인당 1장의 얼굴 이미지가 아닌 3장의 얼굴 이미지를 CCTV 영상에서 연속적으로 취득하여 사용한다. 한 사람당 얼굴 이미지 3장을 사용하여 다수결 투표전략을 취한다면, 1장의 얼굴 이미지에서 인식 오류가 발생한다고 해도 나머지 2장의 다수결 인식결과를 통하여 보다 안정적으로 정확한 인식 결과를 얻을 수 있다.

#### 4.2 두 번째 계층: SVM-BTA기반의 요주의 인물 식별

통계적 학습이론에 기반을 둔 SVM은 주어진 문제를 항상 전역적 최적해(global optimum solution)가 보장되는 convex quadratic problem으로 변환하여 해를 구하기 때문에 패턴 인식 및 함수 근사 분야에서 매우 우수한 성능을 보이고 있다[14]. 그러나 이진 분류기라는 SVM의 기능적 한계점으로 인하여, 주어진 문제가 현재 본 논문에서 다루고자 하는 요주의 인물 인식과 같은 다중 분류 문제일 경우 SVM을 직접적으로 적용할 수 없다. 따라서 여러 개의 이진 분류기인 SVM을 유기적으로 결합하여 다중 클래스 SVM을 설계하는 것이 일반적인 연구방법이다[15]. 그 중 일대다 방법, 일대일-투표 방법, 그리고 일대일 토너먼트 방법과 같은 다중 클래스 분류 문제를 위한 SVM 방법론들[16-17]은 얼굴 인식에 있어 비교적 높은 인식률을 보장하지만, 처리속도가 느리기 때문에 대용량의 데이터베이스에서 실시간적으로 얼굴 인식 작업을 수행해야 하는 요주의 인물 인식 시스템에는 적합하지 않다.

분류해야 할  $n$ 개의 클래스가 있을 경우, 기존의 다중 클래스 SVM들은 최소  $n$ 개 이상의 분류기를 통해야만 하나, SVM-BTA[8]는 분류기들이 이진트리의 형태로 구성되므로 평균  $\log_2 n$ 개의 분류기만을 통해 클래스를 분류할 수 있다. 이때, 이진트리는 k-means(k=2) 알고리즘을 반복적으로 수행함으로써 구성된다. 따라서 SVM-BTA는 대용량 데이터베이스에서의 빠르고 높은 인식 성능을 보장해야만 하는 요주의 인물 인식 시스템에 적합한 다중 클래스 SVM 모델이다. 물론, 요주의 인물 인식 시스템은 감시 목록내의 요주의 인물의 수보다 일반인의 수가 상대적으로 많을 수밖에 없다. 따라서 감시영상에서 탐지된 모든 얼굴 이미지에 대하여 다중 클래스 SVM-BTA를 구성하는 것은 비효율적이다. 본 논문에서는 요주의 인물로만 SVM-BTA를 구성하고, 첫 번째 계층의

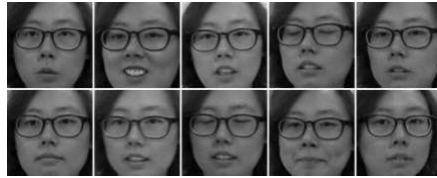
SVDD를 통해 요주의 인물로 판별된 얼굴 이미지만을 대상으로 인물 식별과정을 수행한다.

### 4.3 세 번째 계층: SVDD기반의 요주의 인물 검증

첫 번째 계층의 SVDD를 이용한 요주의 인물 여부의 판별 문제에서는 요주의 인물을 일반인으로 오분류하는 치명적인 오류를 방지하기 위하여, 동일 생체 특징을 여러 번 획득하는 방법으로 한 사람당 3장의 얼굴 이미지에 대해 다수결 투표 전략을 사용함으로써 시스템의 안정성을 도모하였다. 그러나 일반인을 요주의 인물로 혹은 어떤 사람의 얼굴 이미지를 다른 사람으로 오인식할 가능성은 여전히 존재한다. 따라서 본 논문에서는 두 번째 계층의 요주의 인물 식별을 위한 SVM-BTA 분류기의 각 단말노드에 해당 요주의 인물로만 학습된 단일 클래스 SVM인 SVDD를 배치(세 번째 계층)함으로써 최종적으로 요주의 인물 인식 결과를 검증한다. 즉, 이진 클래스 SVM은 전체 공간을 2개의 공간으로 분할한 후 주어진 데이터가 두 개의 공간 중에 어디에 더 가까운가를 판단하는 방법으로 경우에 따라서는 원치 않는 공간으로 강제 분류하게 된다. 따라서 본 논문에서는 세 번째 계층의 SVDD들이 SVM-BTA의 결과를 최종 검증함으로써 강제 분류로 인한 오인식 문제를 해결하고자 한다.

## 5. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 요주의 인물 식별 시스템의 성능을 실험적으로 확인하기 위하여, 전통적으로 얼굴인식 벤치마킹 데이터로 사용되는 yalefaces[18] 와 얼굴 이미지 데이터베이스인 KUFDD를 자체 제작하여 캠퍼스 내에서 실험 환경을 모의 구축하였다. 먼저, yalefaces는 15명의 인물 당 11개의 얼굴 이미지로 총 165개의 얼굴 이미지로 구성되어 있다. yalefaces의 경우, 하나의 클래스 당 얼굴 이미지의 데이터가 11개로 매우 작아 학습 데이터와 테스트 데이터로 분리하여 사용하기가 힘들다. 따라서 하나의 클래스에서 1개를 제외한 10개의 이미지로 학습을 수행한 후, 제외된 1개의 이미지를 테스트 데이터로 분류 실험하고 오류 유무를 측정하여 전체 클래스 얼굴 데이터의 개수만큼 반복함으로써(jack-knifing cross-validation procedure) 전체 오류율을 계산하였다. 자체 제작한 얼굴 이미지 데이터베이스인 KUFDD와 캠퍼스 내에서 모의 구축한 CCTV 환경에서의 요주의 인물 인식 시스템은 다음과 같다: 일정한 조명이 비추는 실내에서 중·원거리에 설치한 인터넷 화상 통신용 웹캠(webcam)을 이용하여 감시 영상을 수집하였다. 수집된 감시 영상으로부터 다양한 얼굴 표정을 갖는 정면에 가까운 얼굴 이미지들만 수집한 후, 얼굴 영역을 잘라내어 얼굴 이미지 데이터베이스를 제작하였다. 요주의 인물 후보는 10명으로 설정하고 1명당 30개의 얼굴 이미지 총 300개의 얼굴 이미지를 구성하였으며, 얼굴 영역의 사이즈는 90x90의 크기로 하였다. 실험을 위하여 8100차원의 얼굴 이미지는 NMF를 통하여 160차원으로 축소하였다. KUFDD 샘플 이미지들은 그림 4와 같다.



[그림 4] KUFED 샘플 이미지들  
[Fig. 4] Sample face images in KUFED

첫 번째 실험은 제안된 혼합 계층형 SVM인 HHSVM과 기존의 다중 클래스 SVM들과의 성능 비교 실험이다. 표 1은 HHSVM과 기존의 3가지 다중 클래스 SVM 방법들을 분류율과 분류 속도에서 비교 분석한 실험 결과를 보여준다. 표 1에서 보여주는 바와 같이, 분류율에서는 HHSVM과 기존의 다중 클래스 SVM들 모두 상당히 만족스러운 결과를 보여준다. 그러나 SV(support vector)의 개수를 자세히 살펴보면, HHSVM이 기존의 다중 클래스 SVM들에 비하여 최소 2배에서 최대 14배 정도 적음을 알 수 있다. 결국 SV의 개수는 SVM의 계산 속도와 반비례하므로, HHSVM이 기존의 방법론에 비해 상대적으로 실시간 얼굴 인식을 위한 효율적인 방법이라는 것을 알 수 있다. 또한, 기존의 다중 클래스 SVM들은 새로운 데이터가 들어오면 그 중 유사도가 가장 높은 클래스로 강제 분류하게 때문에, 학습에 참여하지 않은 새로운 얼굴 데이터들을 테스트 데이터로 사용할 경우, 오분류율이 높아지는 문제점을 가지고 있다. 그러나 HHSVM은 단말 노드에 배치된 SVDD의 검증 역할로 인하여, 새로운 데이터가 추가되더라도 오분류율에는 변화가 없음을 알 수 있다(표 1 참조).

[표 1] 기존의 다중 클래스 SVM과 제안된 HHSVM의 성능비교

[Table 1] Performance comparison of HHSVM and conventional multi-class SVMs

	분류율 (%)	새 얼굴 10% 추가 후 분류율(%)	하나의 얼굴을 인식하기 위해 사용되는 SV의 평균 개수
일대다	96.89	88.08	418
일대일 투표	97.47	88.60	1142
일대일 토너먼트	96.90	88.09	154
HHSVM	97.42	97.42	82.7

두 번째 실험은 자체 제작한 얼굴 이미지 데이터베이스인 KUFED와 캠퍼스 내에서 모의 구축한 CCTV 환경에서의 요주의 인물 식별 시스템의 성능 평가에 관한 실험이다. 먼저 최상위 노드의 SVDD를 통한 감시 목록의 존재 여부 확인 실험을 수행하였다. 요주의 인물 후보 10명, 각 27장씩 총 270장의 얼굴 이미지로 SVDD를 학습했으며, 요주의 인물 후보 10명 중, 각 3장씩 총 30장과 일반인 18명의 얼굴 이미지로 테스트 데이터를 구성하여 실험하였다. 실험 결과 97.6%의 높은 성능으로 일반인과 요주의 인물 후보를 분류하였다. 특히, 요주의 인물 인식 시스템의 특성상 요주의

인물이 일반인으로 오분류되는 경우는 시스템의 신뢰도에 악영향을 미치는 매우 심각한 문제이다. 본 실험에서는 요주의 인물 한 명의 얼굴 이미지 3장이 연속적으로 평가되며, 요주의 인물을 일반인으로 오분류한 경우를 확인한 결과 두 명의 요주의 인물에 대하여 1장의 이미지는 일반인으로 오분류 되었으나, 나머지 2장은 모두 요주의 인물로 성공적으로 인식되었다. 따라서 다수결 투표전략에 의하여 해당 인물은 요주의 인물로 최종 결정된다. 결국, 본 시스템의 이미지 당 인식률은 97.6%이나, 사람 당 인식률은 100%인 안정성을 보장하는 시스템임을 실험으로 확인하였다. 다음은 최상위 계층의 SVDD를 통해 요주의 인물로 분류된 얼굴 이미지들을 대상으로 요주의 인물의 신원을 식별하는 실험이다. 실험 결과 97.2%의 높은 식별률을 기록하였을 뿐만 아니라 SV의 개수가 102.7개로 실시간 처리가 가능함을 알 수 있었다. 반면, 일반인을 요주의 인물로 오분류한 경우는 단말 노드의 SVDD의 검증 기능을 통해서 모두 거부(reject)에 성공했다.

본 논문에서 제안한 CCTV 환경에서 요주의 인물 인식 시스템의 사용자 인터페이스는 그림 5와 같다. CCTV 관리자에게는 실시간으로 입력되는 원영상과 탐지된 얼굴 영역을 확인할 수 있는 영상이 각각 제공된다. 또한 사용자 인터페이스의 왼쪽 하단의 이미지를 통하여 탐지된 얼굴의 확대된 모습과 KUFID에서 인식된 요주의 인물의 대표 얼굴을 확인할 수 있다. 이와 동시에 오른쪽 하단에 인식된 요주의 인물의 이름 및 신상 정보를 보여줌으로써, 관리자에게 위험 상황을 인지할 수 있도록 구성하였다.



[그림 5] 요주의 인물 식별 시스템의 사용자 인터페이스

[Fig. 5] User interface of the proposed watch list identification system

## 6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 CCTV 감시 영상에서 획득한 얼굴 이미지를 이용하여, 감시 인물 목록에 등록된 요주의 인물을 탐지·식별하는 실시간 요주의 인물 식별 시스템을 설계 및 구현하였다. 요주의 인물의 신속하고 정확한 인식을 위하여 본 논문에서는 새로운 형태의 계층형 다중 클래스 SVM인 혼합 계층형 SVM(HHSVM)을 제안하였다. 제안된 HHSVM은 SVDD와 SVM-BTA를 계층적으로 결합한 구조로서, 세 개의 계층으로 구성된다. 최상위 계층의 SVDD는 탐지된 얼굴이 감시 목록에 존재하는지의 여부를 빠른 속도로 판단한다. 두 번째 계층에서는 다중 클래스 SVM-BTA의 구조를 사용함으로써, 대용량의 데이터베이스에서도 높은 인식 정확률과 함께 신속한 요주의 인물 인식을 수행한다. 마지막 계층에서는 인식 결과의 검증을 위하여 각 단말 노드에 해당 요주의 인물로 학습된 SVDD를 배치함으로써 요주의 인물의 인식 정확률을 강화하였다. 결국 제안된 요주의 인물 인식 시스템은 대용량의 데이터베이스에서 실시간으로 요주의 인물을 인식할 수 있으며, 높은 인식 정확률을 보장할 수 있음을 실험으로 확인하였다.

제안된 시스템은 자체 제작한 얼굴 이미지 데이터베이스인 KUFID와 캠퍼스 내에서 모의 구축된 실험환경에서 그 우수성이 검증되었으나, 본 논문에서 제안한 프로토 타입의 시스템을 실세계에서 구현·운용하기 위해서는 여러 가지 실용적 차원의 추가 연구가 요구된다. 그 중 SVM과 관련된 최근의 연구 동향으로, GPU(Graphics Processing Units)에서의 SVM의 병렬 처리 기술이 SVM의 고질적인 학습시간 문제를 해결할 수 있는 좋은 대안으로 보고되고 있다. 따라서 향후 연구과제로는 본 논문에서 제안된 혼합 계층형 SVM을 GPU 상에서의 병렬 처리로 변환하는 연구를 수행하고자 한다.

## 참고문헌

- [1] F. Li and H. Wechsler, "Watch List Face Surveillance Using Transductive Inference", Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3072, pp. 23-29, 2004.
- [2] J. Abbas, C. K. Dagi, and T. S. Huang, "Video Face Recognition Against a Watch List", Proc. of SPIE, Vol. 6741, 67410F, October 2007.
- [3] F. Tsalakanidou, S. Malassiotis, and M. G. Strintzis, "A 2D+3D Face Identification System for Surveillance Application", IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, pp. 194-199, 2007.
- [4] K. W. Bowyer, "Face Recognition Technology and the Security versus Privacy Tradeoff", IEEE Society Magazine, Vol. 24, Issue. 1, pp. 9-19, August 2003.
- [5] N. E. Luongo, "Watchlists in United States and Canada: an Intricate Web", Air and Space Law, Vol. 34, No. 3, January 2010.
- [6] R. Chellappa, P. Sinha, and P. J. Phillips, "Face Recognition by Computers and Humans", IEEE Computer

Society, Vol. 43, Issue. 2, pp. 46-55, February 2010.

- [7] A. S. Tolba, A. H. El-Baz, and A. A. El-Harby, "Face Recognition: a Literature Review", International Journal of Signal Processing, Vol. 2, No. 2, pp. 88-103, February 2005.
- [8] H. Qian, Y. Mao, W. Xiang, and Z. Wang, "Recognition of Human Activities using SVM Multi-class Classifier", Pattern Recognition Letters, Vol. 31, Issue. 2, pp. 100-111, January 2010.
- [9] S. Prabhakar and A. K. Jain, "Decision-level Fusion in Fingerprint Verification", Journal of Pattern Recognition, Vol. 35, No. 4, pp. 861-874, April 2002.
- [10] 정중교, 방상성, 장동식, "피부색과 Haar-like feature를 이용한 실시간 얼굴 검출", 한국 컴퓨터 정보학회 논문지, 제10권, 24호, pp. 103-111, 2005.
- [11] D. D. Lee and H. S. Seung, "Algorithms for Non-negative Matrix Factorization", in Proceeding of Neural Information Processing Systems, Vol. 13, pp. 556-562, 2001.
- [12] X. Sun, Q. Zhang, and Z. Wang, "Face Recognition Based on NMF and SVM", Electronic Commerce and Security, Vol. 1, pp. 616-619, 2009.
- [13] S. Pang, D. Kim, and S. Y. Bang, "Face Membership Authentication using SVM Classification Tree Generated by Membership-based LLE Data Partition", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 16, No. 2, pp. 436-446, March 2005.
- [14] X. Wang, C. Huang, G. Ni, and J. Liu, "Face Recognition Based on Face Gabor Image and SVM", Image and Signal Processing, pp. 1-4, October 2009.
- [15] V. Franc and V. Hlavac, "Multi-class Support Vector Machine", Pattern Recognition Proceedings 16th International Conference, Vol. 2, pp. 236-239, December 2002.
- [16] Z. Lihong, S. Ying, Z. Yushi, Z. Cheng, and Z. Yi, "Face Recognition Based on Multi-class SVM", Control and Decision Conference, pp. 5871-5873, 2009.
- [17] I. Kotsia, N. Nikolaidis, and I. Pitas, "Facial Expression Recognition in Video Using a Novel Multi-class Support Vector Machines Variant", IEEE International Conference on Speech and Signal Processing, Vol. 2, pp. 585-588, April 2007.
- [18] <http://cvc.yale.edu/projects/yalefaces/yalefaces.html/>

## 저자 소개



**강봉수 (Bong-Su Kang)**

2009년 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 학사

2009년 ~ 현재 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 석사과정

관심분야 : 기계학습, 데이터마이닝, 얼굴 탐지 및 인식



**정호석 (Ho-Seok Jung)**

1991년 : 전남대학교 수학과 학사  
1992년 ~ 1994년 : (주)한국전자계산 근무  
1994년 ~ 현재 : 한국생명공학연구원 책임기술원  
2000년 : 공주대학교 전산학과 석사  
2001년 ~ 현재 : 고려대학교 전산학과 데이터베이스 전공 박사과정  
관심분야 : 기계학습, 멀티미디어 마이닝, 얼굴 탐지 및 인식



**이한성 (Han-Sung Lee)**

1996년 : 고려대학교 전산학과 학사  
1996년 ~ 1999년 : (주)대우엔지니어링  
2002년 : 고려대학교 전산학과 석사  
2008년 : 고려대학교 전산학과 박사  
2006년 ~ 2007년 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 초빙전임강사  
2008년 ~ 2009년 : 고려대학교 BK21 연구교수  
2009년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원  
관심분야 : 멀티미디어 마이닝, 휴먼인식, 네트워크 마이닝, 기계학습, 지능 데이터베이스



**임영희 (Young-Hee Im)**

1994년 : 고려대학교 전산학과 학사  
1996년 : 고려대학교 전산학과 석사  
2001년 : 고려대학교 전산학과 박사  
2001년 ~ 2003년 : 대전대학교 컴퓨터 정보통신공학부 강의전담교수  
2005년 ~ 현재 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 초빙교수  
관심분야 : 인공지능, 상황인지, 정보검색, 데이터마이닝, computer-aided art therapy



**정용화 (Yong-Wha Chung)**

1984년 : 한양대학교 전자통신공학과 학사  
1986년 : 한양대학교 전자통신공학과 석사  
1997년 : 미국 Univ. of Southern California 전기공학과(컴퓨터공학 전공) 박사  
1986년 ~ 2003년 : 한국전자통신연구원 생체인식기술연구팀장  
2003년 ~ 현재 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 교수  
관심분야 : 생체인식, 정보보호, 생체정보 보호



**박대희 (Dai-Hee Park)**

1982년 : 고려대학교 수학과 학사

1984년 : 고려대학교 수학과 석사

1989년 : 플로리다 주립대학교 전산학과 석사

1992년 : 플로리다 주립대학교 전산학과 박사

1993년 ~ 현재 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 교수

관심분야 : 지능 데이터베이스, 데이터마이닝, 인공지능, 퍼지이론

