

# 소셜 네트워크 환경에서의 얼굴 주석 시스템

## (Face Annotation System for Social Network Environments)

최 권 택 <sup>†</sup>                      변 혜 란 <sup>\*\*</sup>  
(Kwontaeg Choi)                (Hyeran Byun)

**요 약** 최근 사진 공유 기반의 소셜 네트워크 서비스의 발달로 수백만 명의 사람들이 인터넷 공간에서 온라인 커뮤니티 활동에 참여하고 있다. 본 논문에서는 이러한 소셜 네트워크 서비스 환경에서 얼굴 사진에 주석 정보를 부여하고 이를 검색할 수 있는 효과적인 방법론을 제안한다. 지속적으로 이용자와 이미지가 증가하는 방대한 데이터베이스를 취급해야하기 때문에 인식을 뿐만 아니라 계산 복잡도가 매우 낮아야 한다. 본 논문에 이러한 문제를 해결하기 위해 온라인 학습과 사회적 관계를 이용한 다중 분류기를 제안한다. 실험결과를 통해 제안된 방법은 보편적으로 사용되는 서포트 벡터 머신과 비교해 향상된 인식률과 낮은 계산 복잡도를 보여줌으로써 사용자의 주석 횟수를 줄이고, 사용자에게 빠른 응답을 할 수 있음을 보여준다.

**키워드** : 얼굴 인식, 소셜 네트워크 서비스, 랜덤 사상

**Abstract** Recently, photo sharing and publishing based Social Network Sites(SNSs) are increasingly attracting the attention of academic and industry researchers. Millions of users have integrated these sites into their daily practices to communicate with online people. In this paper, we propose an efficient face annotation and retrieval system under SNS. Since the system needs to deal with a huge database which consists of an increasing users and images, both effectiveness and

efficiency are required. In order to deal with this problem, we propose a face annotation classifier which adopts an online learning and social decomposition approach. The proposed method is shown to have comparable accuracy and better efficiency than that of the widely used Support Vector Machine. Consequently, the proposed framework can reduce the user's tedious efforts to annotate face images and provides a fast response to millions of users.

**Key words** : face recognition, social network service, random projection

### 1. 서 론

디지털 카메라가 보편화되고, 소셜 네트워크 서비스(Social Network Service, 일명 SNS)가 급격하게 발전함에 따라 사진 공유를 기반으로 하는 싸이월드(cyworld.com), 페이스북 facebook.com, 마이스페이스(myspace.com) 같은 다양한 온라인 커뮤니티가 전세계에 수백만 명의 관심을 받고 있다. 여기에 시멘틱 웹에 대한 관심 증가로 온라인 미디어에 다양한 메타데이터를 자동으로 부여하는 연구가 많이 진행되고 있다.

얼굴 영상에 메타데이터를 추가하는 연구는 영상 검색, 패턴 인식, HCI(Human Computer Interaction) 분야에서 꾸준히 연구되고 있다. 이러한 연구는 인식에 사용되는 특징의 종류에 따라 세 가지 방법론으로 나누어진다. 첫 번째 접근 방식은[1,2] 뉴스 비디오나 웹 기사로부터 영상 정보와 문자 정보를 추출해 이들의 관련성을 얼굴 검색에 이용한다. 그러나 자막이나 스크립트 정보가 항상 사용가능하지 않다는 한계로 응용 범위가 제한적이다. 두 번째 접근 방식은[3,4] 얼굴 영상만을 이용해 개인 및 가족 사진에 인식정보를 효과적으로 부여한다. 그러나 컨트롤 되지 않은 환경에서 다양한 장비들에 의해 영상이 찍히기 때문에 인식에 한계가 있다. 세 번째 접근 방식은[5,6] 사진이 촬영된 시간, 위치, 당시 옷 색의 패턴 같은 문맥 정보를 활용해 기존 얼굴 인식의 성능을 효과적으로 끌어 올리는 연구이다.

SNS 환경에서의 얼굴 인식은 PC기반의 얼굴 인식과는 다양한 관점에서 차이가 있고 표 1에 정리되어 있다. 제안하는 시스템은 대중성을 가지고 있으면서 인식률이 보안 시스템처럼 신뢰도에 치명적인 영향을 끼치지 않기 때문에 보안 관련 응용의 한계를 극복한 새로운 얼굴 인식 응용분야를 개척할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문은 수백만 명이 끊임 없이 활동하고 있는 동적이고 방대한 데이터베이스를 가지고 있는 SNS 환경에서, 시간에 따른 이미지 증가 문제와 수백만 명을 분류해야하는 문제를 해결하기 위해 온라인 학습과 사회적 관계를 이용한 다중 분류기를 제안한다.

· 본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단 지정 생체인식연구센터의 지원을 받아 이루어졌습니다. (No.R112002105070010(2009))

· 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 '소셜 네트워크 환경에서의 얼굴 어노테이션 시스템'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 학생회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과  
choikt@yonsei.ac.kr

\*\* 종신회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수  
hrbyun@yonsei.ac.kr

논문접수 : 2008년 12월 19일

심사완료 : 2009년 6월 23일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며, 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제15권 제8호(2009.8)

표 1 PC와 SNS기반의 얼굴 인식 비교

	PC기반 얼굴 인식	SNS기반 얼굴 인식
주요응용	보안	공유
목적	매우 높은 신뢰도	높은 신뢰도 및 효율성
데이터특성	적음	매우 크고, 꾸준히 증가
형태	PC기반의 제품	웹기반의 서비스

2. 제안하는 시스템

본 연구가 제안하는 얼굴 주석 시스템은 그림 1에서처럼 웹기반으로 서비스 된다. 플랫폼 독립적인 개방형 API(Application Programming Interface)를 기반으로 하는 시스템은 크게 세 부분으로 나누어져 있다.

- 얼굴 검출/인식 모듈 : 정면얼굴을[7] 검출하고, 제안된 알고리즘을 사용해 얼굴을 인식한다.
- 개방형 API : 서버사이드 스크립트를 위해 ASP(Active Server Page)가 사용되었다. ASP 모듈은 ATL COM+ 객체를 호출하고, 데이터베이스 시스템에 접근하는 등의 개방형 API를 구현하는데 사용된다.
- 사용자 서비스 프로그램 : 클라이언트는 개방형 API 형태로 얼굴 주석에 관한 기능을 호출하고 그 결과를 XML로 받아 화면에 출력한다. 운영체제와 브라우저에 무관하게 동작하도록 하기 위해 플렉스[8] 언어를 기반으로 제작되었다.

그림 1 하단의 왼쪽 화면은 얼굴 이미지에 주석 정보를 부여하는 예이다. 얼굴 인식 정보외에 시간정보, 위치 정보가 파일의 헤더로부터 자동 추출된다. 파일에 이러한 정보가 없을 경우 사용자가 선택할 수 있다. 이들 정보는 검색을 위해 개방형 API를 사용해 데이터베이스에 기록된다. 그림 1 하단의 오른쪽 화면은 주어진 영상으로부터 두 사람의 얼굴을 인식하고 데이터베이스에서 관련 연상을 검색한 후, GPS 정보를 이용해 Google 지도와 연동하고, Flickr(www.flickr.com) API를 사용해 해당 위치의 관련 이미지를 보여주는 검색 서비스이다.

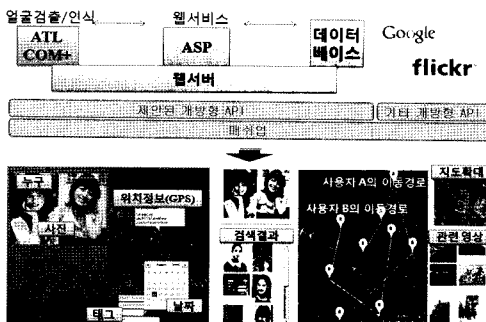


그림 1 개방형 API 기반의 얼굴 주석 시스템

3. 얼굴 주석 알고리즘

얼굴 주석 문제는 얼굴 검출과 얼굴 인식 문제로 볼 수 있다. 본 논문에서는 주석 시스템을 사용하는 사용자에게 지루한 주석 횟수를 줄이고 빠른 서비스를 위해 온라인 학습기반의 다중 분류 알고리즘을 제안한다.

3.1 다항식 기반의 재귀적 최소해 알고리즘

반복적인 알고리즘에 의한 최적화 방식을 사용하는 SVM(Support Vector Machine), 신경망, 베이지안 네트워크 같은 잘 알려진 분류기와는 달리, 최소제곱해(least square solution)를 사용한 회귀(regression) 알고리즘은 반복 연산없이 의사역행렬(pseudo-inverse)에 의해 가중치 벡터를 구한다. 따라서 빠른 학습이 필요한 분류기에 적합하다. 최소제곱해  $\alpha$ 는 아래 식에 의해 구해진다.

$$\alpha = (X^T X + bI)^{-1} X^T y \tag{1}$$

여기서 X는 얼굴 특징에 대한 행벡터(row vector)를 모아놓은 행렬이고, b는 안정적인 의사역행렬을 구하기 위한 정규화값(regularization factor)이고, y는 학습 레이블 벡터이다.

특정 시간(t)에 추가적인 샘플( $x_t$ )과 이에 대한 레이블( $y_t$ )이 주어지면 가중치 벡터  $\alpha_t$ 는 재귀적 최소해(Recursive Least Squares, 일명 RLS)알고리즘에 의해 아래 식으로 구해진다.

$$\alpha_t = \alpha_{t-1} + \lambda M_t^{-1} x_t (y_t - x_t^T \alpha_{t-1}) \tag{2}$$

여기서  $\lambda$ 는 이전 데이터와 최근 데이터에 대한 가중치를 의미하는 망각율이고,

$$M_t^{-1} = \frac{1}{1-\lambda} M_{t-1}^{-1} - \frac{1-\lambda M_{t-1}^{-1} x_t x_t^T}{1-\lambda} M_{t-1}^{-1} x_t^T \left( \frac{1}{1-\lambda} M_{t-1}^{-1} x_t + \frac{1}{\lambda} \right) \tag{3}$$

그리고 비선형 분포를 반영하기 위해 Tran[9]은 축소 모델[10](Reduced Model, 일명 RM)을 사용해 비선형 회귀에 의한 재귀방식의 최소제곱해 방법을 제안하였다. RM은 아래 식처럼 정의된다.

$$g(\alpha, x) = \alpha^T x = \alpha_0 + \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^l \alpha_{k,j} x_j^k + \sum_{k=1}^r \alpha_k \left( \sum_{j=1}^l x_j \right)^k + \sum_{k=2}^r \left( \sum_{j=1}^l \alpha_{k,i} x_i \right) \left( \sum_{j=1}^l x_j \right)^{k-1} \tag{4}$$

그러나 Tran이 제안한 방법은 2개의 이종 분류기를 결합하기 위해서 제안된 방법으로 이진분류 문제와 샘플이 하나씩 증가하는 경우로만 제한되어 있다.

3.2 확장된 RM-RLS

소셜 네트워크 환경에서의 얼굴 인식 알고리즘은 수백만 명의 유저로부터 매일 끊임없이 증가하는 얼굴 영상을 처리할 수 있어야 한다. 따라서 사용자 입장의 인식률도 중요하지만, 운영자 입장의 효율성이 더 중요하다.

SNS에서 이용자들은 다수의 사진을 올리고, 한 장의 사진에는 다수의 얼굴 영상이 포함되어 있기 때문에 다수의 얼굴 영상들은 하나씩 처리되기보다는 한꺼번에 처리되어야 계산 복잡도를 줄일 수 있다.

본 논문에서는  $x_t$  대신 얼굴 특징을 식 (4)를 사용해 다항식으로 전개한 특징 벡터를 모아놓은  $P_t$  행렬로 대체해 최소해를 구할 수 있다.

특정 시간( $t$ )에 추가적인 얼굴 샘플( $P_t$ )과 이에 대한 레이블 벡터( $y_t$ )가 주어지면 가중치 벡터  $\alpha_t$ 는 재귀적 최소해 알고리즘에 의해 아래 식으로 구해진다.

$$\alpha_t = \alpha_{t-1} + M_t^{-1} P_t^T (y_t - P_t \alpha_{t-1}) \quad (5)$$

여기서

$$M_t^{-1} = M_{t-1}^{-1} - M_{t-1}^{-1} P_t^T (I + P_t M_{t-1}^{-1} P_t^T)^{-1} P_t M_{t-1}^{-1} \quad (6)$$

새로운 가중치 벡터는 이전 가중치 벡터와 이전  $M_t^{-1}$ 을 사용해 계산된다. 여기서 추가적인 샘플이 하나면 아래 수식에 의해 역행렬 계산 없이  $M_t^{-1}$ 을 빠르게 계산할 수 있다.

$$M_t^{-1} = M_{t-1}^{-1} - \frac{M_{t-1}^{-1} P_t^T P_t M_{t-1}^{-1}}{1 + P_t M_{t-1}^{-1} P_t^T} \quad (7)$$

### 3.3 사회적 관계를 고려한 다중 분류알고리즘

식 (5)에서 주어진 회귀모델은 이진 분류 문제만을 해결할 수 있다. 얼굴 인식과 같은 다중 클래스 문제를 풀기 위해서 보편적으로 일대다(one-against-all) 분할 방법을 사용한다.  $k$  개 클래스를 갖는 최소제곱해 벡터  $\alpha$ 를 모아 놓은  $\Theta_t = [\alpha_t^1, \alpha_t^2, \dots, \alpha_t^{k-1}, \alpha_t^k]$ 를 정의하고 이를 식 (5)에 대입하면 다중 클래스 문제를 풀기 위한 최소제곱해는 아래 식에 의해 계산된다.

$$\theta_t = \theta_{t-1} + M_t^{-1} P_t^T (Y_t - P_t \theta_{t-1}) \quad (8)$$

그러나 일대다 방법은 수백만 명을 분류해야 하는 분할 방법으로는 적합하지 않다. 다양한 카메라에 의해 촬영된 사진의 경우 학습 데이터와 테스트 데이터간 분포 차이가 크기 때문에 분류할 클래스 수가 많아지면 인식률은 급격히 낮아진다.

본 논문에서는 일대다 대신 이용자의 사회적 관계를 고려한 일대관계(one-against-relation) 방식의 계층적 분할 기법을 제안한다. 이는 작은 클래스 수를 인식하는 인식기들의 집합을 이용해 전체 클래스를 인식하는 분할 기법이다.

SNS 환경에서 그림 2와 같은 개인의 소셜 네트워크 구조는 계층적 트리 구조 기반의 분류기를 이용해 분할될 수 있다. 일반적으로 상위개념(동창)이 하위개념(고등학교, 대학교)을 포함하기 때문에 그림 2와 같은 관계를 고려한 일대관계 분할 알고리즘은 그림 3과 같이 다수의 인식기를 통해 구현될 수 있다.

일대관계 알고리즘은 일대다 알고리즘과는 달리 이용자 한명을 위해 다수의 인식기가 만들어 진다. 그림 3에서 인식기1은 사용자 A의 전체 사회적 관계에 속한 이용자 A~Q(17명)를 인식 할 수 있고, 인식기2는 A~I(9명), 인식기5는 A~D(4명)를 인식한다. 각각의 인식기는 다시 일대다 방식을 이용해 다수의 이진 분류기로 분류된다. 인식기5는 4개의 이진 분류기로, 인식기2는 9개, 인식기1은 17개의 이진 분류기로 분할된다. 따라서 이용자 A를 위해 총 46개(17+9+4+6+4+6)의 이진 분류기가 필요하다. 나머지 16명의 이용자도 이와 비슷한 사회적 관계를 갖는다면 총 17명의 이용자를 분류하기 위해 782개의 (47\*17) 이진 분류기가 만들어진다.

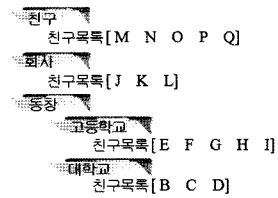


그림 2 특정 사용자의 소셜 네트워크의 예

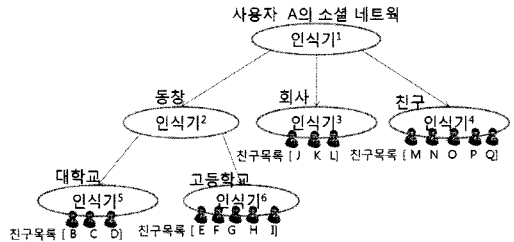


그림 3 제안된 일대관계 분할

본 논문에서 제안한 사회적 관계 기반의 분할 기법은 식 (6)에만 영향을 끼친다. 수백만명을 다룰 수 있는 매우 큰  $\Theta$  대신 아래 수식과 같은 작은 크기의  $\theta$ 가 사용된다.

$$\theta_t^{u,i} = \theta_{t-1}^{u,i} + M_t^{-1} P_t^{-1} (Y_t^{u,i} - P_t^{-1} \theta_{t-1}^{u,i}) \quad (9)$$

여기서  $u$ 는 특정 사용자이고,  $i$ 는 특정 사회적 관계를 나타낸다. 예를 들어 그림 3에서 세 명의 이용자 A,B,C가 함께 사진을 찍어서 주석 정보를 부여 할 때 이를 위한  $Y$  행렬은 각각 아래와 같다.

ABCD	ABCDEFGH	ABCDEFGHUKLMNOPQ
$Y_t^{A,5} = [1000$	$Y_t^{A,2} = [100000000$	$Y_t^{A,1} = [100000000000000000$
0100	010000000	010000000000000000
0010]	001000000]	000000000000000000]

### 3.4 특징 추출

SNS 환경은 일반적인 얼굴 인식 환경과는 달리 온라

인 환경이기 때문에 초기의 학습 샘플이 충분하지 않다. 따라서 주성분 분석(Principal Component Analysis, 일명 PCA)과 선형 판별 분석(Linear Discriminant Analysis, 일명 LDA)같은 일괄처리에 의해 특징 추출 방법은 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 차원축소를 위해 학습 샘플 및 학습 과정이 필요 없는 랜덤 사상(Random Projection)[14]을 사용하였다.

**3.5 복잡도 분석**

본 논문에 제안한 알고리즘은 식 (4),(5),(6)에 의해서 결정된다. 표 2는 주요 수식에 대한 복잡도를 제시한다.  $r$ 은 다항식의 오더,  $n$ 는 샘플의수,  $d$ 는 특징벡터의 차원,  $l$ 은 전개된 다항식의 개수,  $k$ 는 클래스 수를 의미한다. 전체 알고리즘이 선형대수만 사용하기 때문에 복잡도는 정밀하게 분석될 수 있다.

표 2에서 알 수 있듯, 가장 큰 영향을 끼치는 요소는 다항식 항의 개수  $l(=1+r+d(2r-1))$ 이다.  $o(n^3)$  항목이 있지만 새로 추가되는 샘플의 수( $n$ )가  $l$ 에 비해 훨씬 작기 때문에  $l$ 이 계산 비용에 가장 큰 영향을 끼친다. 클래스 수  $k$ 는 선형으로만 계산 비용을 발생시키고 식 (6)에서만 필요하기 때문에 제안된 알고리즘은 클래스의 수에는 많은 영향을 받지 않는다.

표 2 복잡도 분석

분석항목	관련식	복잡도
RM확장	식 (4)	$o(rnd)$
RLS계산	식 (5)	$o(l^2n) + o(n^2l) + o(l^2n) + o(l^3) + o(n^3) + o(l^2)$
역행렬	식 (6)	$o(lk) + o(l^2n) + o(lnk) + o(nk) + o(lnk)$

**4. 실험**

본 실험에서는 다양한 변화가 존재하는 AR[11], YALEB [12], PIE[13], YAHOO[1] 데이터베이스가 사용되었다. 이들 얼굴 실험 데이터는 많은 사람 수와 많은 샘플을 포함하기 때문에 본 논문의 알고리즘을 평가하기에 적합하다. 이용자의 주석 횟수에 영향을 미치는 인식률과 대규모 이용자의 신속한 처리에 영향을 미치는 계산 효율성이 평가되었다.

통계적 성능 분석을 위해 OSU SVM[15] 분류기와 비교 되었고 모든 실험은 50번 반복되어 평균 인식률과 CPU 사용시간이 측정되었다. 모든 실험에서 정규화 파라미터  $b$ 는 0.0001로 고정되었다.

**4.1 인식률**

제안된 온라인 학습 알고리즘의 인식률을 평가하기 위해 인식할 대상의 50%, 한사람당 10%의 샘플을 초기 학습 데이터로 사용하였고, 모든 사용자에 대해서 90%

의 샘플이 사용될 때까지 학습시켰다. SVM의 경우 일괄방식을 적용하고 다항식 커널이 사용되었다.

표 3은 2개의 데이터베이스에 대한 인식률 결과이다. 제안한 방법을 ERM-RLS(Extended RM-RLS)라 부르고, 다항식의 2차항까지 전개하였다.

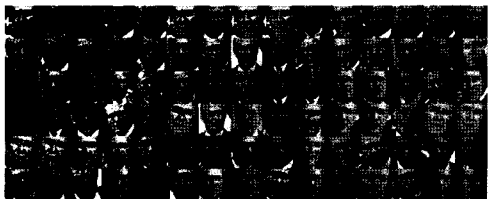
표 3에서 볼 수 있듯, 새로운 학습 샘플이 추가되면 얼굴 인식에 대한 정확도는 같이 상승한다. 제안한 방법이 SVM보다 약간 높았다. 또한 학습 데이터가 10%만 사용되었을 때 제안한 방법이 모든 데이터베이스에서 가장 높게 나타났다. 주석 부여 횟수가 적더라도 인식 성능이 SVM보다 높게 나타남을 의미한다.



(a) Extended Yale B 데이터셋(EYALEB, 28명×64장)



(b) AR 데이터셋(AR, 126명×26장)



(c) Yahoo News 데이터셋(YAHOO, 72명×20장)

그림 4 실험에 사용된 얼굴 데이터베이스

표 3 온라인 학습에 대한 인식률 비교

학습	AR 데이터셋		EYALEB 데이터셋	
	시작	최종	시작	최종
SVM-Poly	31.21%	97.71%	55.76%	93.98%
ERM-RLS	84.11%	98.04%	70.60%	96.99%

표 4는 일대관계 방식을 평가하기 위해 분류할 클래스의 수에 따른 인식률을 비교한 결과이다. EYALEB의 경우 클래스수에 상관없이 인식률이 매우 높게 나왔다. 하지만 YAHOO의 경우 클래스 수가 조금 증가해도 인식결과가 급격히 떨어진다. 이는 YAHOO 데이터베이스의 특성 때문이다. 다른 데이터베이스하고는 달리 YAHOO는 2년 간 웹에 올려진 다양한 뉴스 이미지부터 추출된 영상이기 때문에 컨트롤된 환경에서 제작된 EYALEB와 AR 데이터보다 실제 얼굴 분포를 더 잘 나타내기 때문이다.

표 4 사회적 관계 분할 방식에 대한 인식률 비교

EYALEB 데이터셋		YAHOO 데이터셋	
사람수	인식률	사람수	인식률
3	100%	3	100%
5	100%	5	90%
7	100%	7	78.57%
11	100%	11	59.09%

#### 4.2 계산속도

보안을 위한 얼굴 인식 시스템하고는 달리 SNS환경에서 얼굴 인식이 치명적인 문제가 아니다. 보다 중요한 문제는 대규모 사용자를 위한 계산의 효율성이다. 그림 5에서 볼 수 있듯 제안된 학습 방식은 추가적인 샘플이 있을 때마다 상수시간을 기록하는 반면, SVM은 이전 데이터와 새로운 데이터를 이용해 다시 학습해야 하기 때문에 학습 시간이 매우 오래 걸리고 크게 증가함을 알 수 있다.

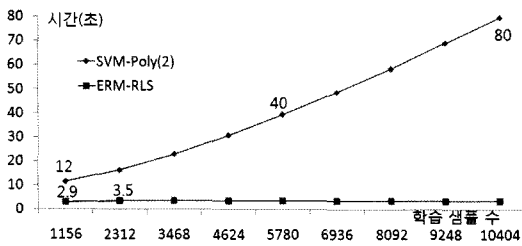


그림 5 학습 시간

마지막 실험으로 웹 스트레스 툴을 사용해 제안된 개방형 API에 대한 성능을 평가하였다. 새로 추가되는 학습 샘플이 10개일 때, 초 당 6번의 HTTP 요청을 처리할 수 있었다. 400개의 특징을 사용하고, 1개의 분류기만을 사용하여 학습 시간을 측정하였다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 소셜 네트워크 서비스 환경에서 효율적으로 얼굴 영상에 주석 정보를 부여하고, 검색할 수 있는 시스템을 제안하였다. 인터넷 기반으로 얼굴 영상 정보를 검색하기 위해 개방형 API가 사용되었고, 다양한 환경에서 실행 가능하도록 플래츠를 이용해 제작되었다. 많은 사용자가 끊임없이 이미지를 공유하는 상황에 적합하도록 다항식 기반의 회귀 방식을 변형한 온라인 학습 기반의 분류기를 제안하였다. 4개의 얼굴 데이터베이스를 사용해 주석 정보를 부여하는 횟수를 감소시키고, 사용자에게 빠른 응답을 할 수 있음을 실험적으로 보여 주었다.

#### 참고 문헌

- [1] T. L. Berg, A. C. Berg, J. Edwards, and D.A. Forsyth, "Who's in the picture?," *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 137-144, 2005.
- [2] J. Yang and A. G. Hauptmann, "Naming every individual in news video monologues," *ACM international conference on Multimedia*, pp. 580-587, 2004.
- [3] Z. Jianke, S. C. H. Hoi, and M. R. Lyu, "Face annotation using transductive kernel fisher discriminant," *IEEE Trans. Multimedia*, vol.10, no.1, pp.86-96, 2008.
- [4] A.C. Gallagher and T. Chen, "Using group prior to identify people in consumer images," *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1-8, 2007.
- [5] M. Naaman, R. B. Yeh, H. G. Molina, and A. Paepcke, "Leveraging context to resolve identity in photo albums," *ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital libraries*, 2005.
- [6] Y. Tian, W. Liu, R. Xiao, F. Wen, and X. Tang, "A face annotation framework with partial clustering and interactive labeling," *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1-8, 2008.
- [7] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001.
- [8] <http://www.adobe.com>
- [9] Q. L. Tran, K.-A. Toh, and D. Srinivasan, "Adaptation to changes in multimodal biometric authentication," *IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, 2004.
- [10] K.-A. Toh, Q.-L. Tran, and D. Srinivasan, "Benchmarking a reduced multivariate polynomial pattern classifier," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence*, vol.26, no.6, pp.740-755, 2004.
- [11] A. Martinez and R. Benavente, "The AR Face Database," 1998.
- [12] A.S. Georghiadis, P.N. Belhumeur, and D.J. Kriegman, "From Few to Many: Illumination Cone Models for Face Recognition under Variable Lighting and Pose," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence*, vol.23, no.6, pp.643-660, 2001.
- [13] T. Sim, S. Baker, and M. Bsat, "The CMU Pose, Illumination, and Expression Database," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence*, vol.25, no.12, pp. 1615-1618, 2003.
- [14] N. Goel, G. Bebis, and A. Nefian, "Face recognition experiments with random projection," *SPIE*, 2005.
- [15] <http://sourceforge.net/projects/svm/>