

Affine Invariant Local Descriptors for Face Recognition

Yongbin Gao[†] · Hyo Jong Lee^{††}

ABSTRACT

Under controlled environment, such as fixed viewpoints or consistent illumination, the performance of face recognition is usually high enough to be acceptable nowadays. Face recognition is, however, a still challenging task in real world. SIFT(Scale Invariant Feature Transformation) algorithm is scale and rotation invariant, which is powerful only in the case of small viewpoint changes. However, it often fails when viewpoint of faces changes in wide range. In this paper, we use Affine SIFT (Scale Invariant Feature Transformation; ASIFT) to detect affine invariant local descriptors for face recognition under wide viewpoint changes. The ASIFT is an extension of SIFT algorithm to solve this weakness. In our scheme, ASIFT is applied only to gallery face, while SIFT algorithm is applied to probe face. ASIFT generates a series of different viewpoints using affine transformation. Therefore, the ASIFT allows viewpoint differences between gallery face and probe face. Experiment results showed our framework achieved higher recognition accuracy than the original SIFT algorithm on FERET database.

Keywords : Face Recognition, Pose Change, SIFT(Scale Invariant Feature Transform), FERET

얼굴인식을 위한 어파인 불변 지역 서술자

고 용 빈[†] · 이 효 종^{††}

요 약

오늘날 촬영 상황을 조절할 수 있는 환경, 즉 고정된 촬영각이나 일관된 조도 조건에서는 얼굴인식 기술 수준은 신뢰할 수 있을 정도로 높다. 그러나 복잡한 현실에서의 얼굴 인식은 여전히 어려운 과제이다. SIFT 알고리즘은 촬영각의 변화가 미미할 때에 한하여, 크기와 회전 변화에 무관하게 우수한 성능을 보여주고 있다. 본 논문에서는 다양하게 촬영각이 변하는 환경에서도 얼굴 인식을 할 수 있는 어파인 불변 지역 서술자를 탐지하는 ASIFT(Affine SIFT)라는 알고리즘을 적용하였다. SIFT 알고리즘을 확장하여 만든 ASIFT 알고리즘은 촬영각 변화에 취약한 단점을 극복하였다. 제안하는 방법에서 ASIFT 알고리즘은 표본 이미지에, SIFT 알고리즘은 검증 이미지에 적용하였다. ASIFT 방법은 어파인 변환을 사용하여 다양한 시각에 따른 영상을 생성할 수 있기 때문에 ASIFT 알고리즘은 저장 영상과 실험 영상의 시각 차이에 따른 문제를 해결할 수 있었다. 실험결과 FERET 데이터를 사용했을 때 제안한 방법은 촬영각의 변화가 큰 경우에 기존의 시프트 알고리즘보다도 높은 인식률을 보여주었다.

키워드 : 얼굴인식, 자세변화, SIFT(Scale Invariant Feature Transform), FERET

1. 서 론

얼굴인식은 각 개인의 생체적 특징을 이용하여 개인별 신

원을 인식하는 생체인식 기술 중의 하나로 널리 활용되고 있다. 신원을 인식하는 목적으로 하는 경우 피촬영자 대상은 거부감이 없이 카메라로부터 일정 거리 안으로 다가가서 비접촉 방법을 통하여 자연스럽게 인식을 할 수 있는 장점이 있다. 얼굴 인식은 출입통제 시스템이나 접근권한 제어 등과 같이 특정 대상의 얼굴을 미리 학습을 시켜서 진위를 파악하는 경우와, 불특정 다수의 행인을 감시하는 CCTV로부터 획득한 영상에서 범죄 용의자를 자동으로 식별하는 경우와 같이 학습을 거치지 않고 특징점들을 비교하여 일치 여부를 파악하는 경우로 나눌 수 있다. 전자의 경우와 같이 출입통제 시스템과 같은 곳에서는 일정한 조도와 촬영각을 제한시키는 것이 용이하나, 후자의 경우처럼 불특정 다수를

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A2A2A03).

※ This work was supported by the Brain Korea 21 PLUS Project, National Research Foundation of Korea. This work was also supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MEST) (No. 2012R1A2A2A03) and by Business for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Small and Medium Business Administration in 2013(No. C0112553).

† 준 회원 : 전북대학교 컴퓨터공학부 박사과정

†† 종신회원 : 전북대학교 컴퓨터공학부 교수

Manuscript Received : June 30, 2014

First Revision : August 6, 2014

Accepted : August 6, 2014

* Corresponding Author : Hyo Jong Lee(hlee@jbnu.ac.kr)

대상으로 하는 보안 시스템과 같은 환경에서는 대부분 사람의 표정이나 촬영각, 또는 조도 등의 촬영 환경이 다양하게 변화한다. 이와 같이 공공의 안전을 위한 보안 시스템에서 얼굴 인식은 시시각각으로 변화하는 환경의 모든 요소들을 정확하게 고려해주어야 한다.

지난 수년간 얼굴 인식에 관한 다양한 연구가 이미 진행되어왔다[1-2]. 구글사의 Picasa나 애플사의 iPhoto와 같이 일부 성공한 상용시스템도 나와 있는 상태이다. 그러나 복잡한 환경에서의 얼굴 인식 기술은 여전히 완성단계에 이르지 못하고 있다[3]. 초기의 얼굴 인식 알고리즘은 제약된 조건, 즉 표본 영상(gallery image)이나 검증 영상(probe image)은 카메라가 모두 정면에서 획득한 영상으로 제한하여 인식할 수 있었다. 이러한 알고리즘은 카메라의 촬영 각도가 변하거나, 사람의 촬영 자세가 다른 경우 쉽게 실패하게 되어 있다. 본 논문에서는 촬영각 무관(viewpoint invariant) 얼굴 인식 알고리즘을 적용하여 표본 얼굴이나 검증 얼굴의 시각이 다른 경우에도 효율적인 얼굴 인식을 할 수 있도록 하였다.

대상을 촬영하는 각도가 변화하는 상황에서 얼굴을 정확하게 인식하기 위해서는 정확한 특징값을 추출하는 것이 중요하다. 촬영각이 변화하는 상황에서 동일한 사람의 얼굴이 다른 자세에서 촬영된 경우의 특징값과 다른 두 사람의 얼굴이 비슷한 자세로 촬영한 경우의 특징값보다도 유사도가 높게 나올 수 있도록 제어할 수 있어야 한다. 즉, 동일한 사람일 경우에는 자세가 변하여도 각 영상들의 차이값이 최소화 되어 적게 나올 수 있도록 하는 것이다. 이와 같은 접근 방법의 대표적인 기법은 얼굴의 정규화(face normalization) 기법으로 자세의 변환에 따른 영상을 미리 정한 각도의 영상으로 변형시키는 것이다. 이 기법은 2차원과 3차원 얼굴영상에서 모두 사용될 수 있다. 2차원 얼굴의 정규화 기법의 예로 마르코프 랜덤 영역(Markov Random Fields; MRFs) 방법이 있으며, 이 방법에서는 저장된 정면 영상과 검색 영상의 대응점들을 분석하여 유사 영상을 찾는 방법이다[4-5]. MRFs 방법에서는 대응하는 점들의 거리와 인접점들의 평탄도(smoothness)로 구성하는 에너지를 최소화시켜 2차원 얼굴의 최소 거리를 찾는다. Lucas-Kanade 방법은 얼굴을 정렬 시킴으로써 정규화를 시도하는 방법이다[6-7]. 3차원 얼굴의 경우 Blanz 등이 3차원 얼굴 모델이 2차원 얼굴에 정합될 수 있는 효과적인 방법을 제안하였으며[8], 정합 형태와 재질 계수(texture coefficient)로 얼굴의 인식을 시도하였다.

얼굴영상의 정규화 기법은 검색 얼굴 윤곽선으로부터 정면 영상을 구성하는 데 사용될 수 있다[4]. 또한 정규화 기법은 영상들을 직접적으로 정합시키는 데 사용될 수 있으며, 정합도는 그 영상 간의 유사도를 나타낸다[5]. 이들 정규화 기법들은 장시간의 계산을 필요로 하지만, 그 대가로 효과적인 정규화가 가능한 것으로 보고되어 있다. Ho와 Chellappa[4]의 경우에 하나의 얼굴을 정규화 하는 데 약 2분이 소요된다고 보고하였다. 또한 Marsico 등은 촬영 자세의 제약을 받지 않고 조도가 변하는 상황에서 얼굴을 인식하는 FACE라는 프레임워크를 제안하였다[9]. STASM(SIFT Active Shape Model)

알고리즘[10]을 사용하여 얼굴의 주요점들을 파악하고, 중앙선을 찾아서 반면 얼굴을 구성한 후에, 다른 반면은 대칭구조로 반사시켜서 완성하였다. 이 방법은 쉽고 빠르지만, 얼굴의 주요점들에 의존하여 생성하기 때문에 주요점들이 제대로 탐지되지 않은 경우에는 알고리즘의 성능이 저하되는 단점이 있다.

촬영각이 변화하는 환경에서 얼굴을 인식하는 또 다른 방법은 새로운 분류기(classifier)나 특징점을 고안하는 것이다. 새로운 분류기로는 1차 유사도(One Shot Similarity : OSS)와 2차 유사도(Two Shot Similarity : TSS)가 실험영상이나 타깃 영상을 포함하지 않는 제3의 데이터베이스를 활용하여 계산하는 방법이 제시되었다[11-12]. 각 데이터베이스는 한 사람의 다양한 촬영각의 영상으로 구성되거나, 다른 사람들이 동일한 촬영각에서 수집되어 구성되어 있다. 두 얼굴의 유사도는 LDA(Linear Discriminant Analysis)나 SVM (Support Vector Machine) 방법을 적용하면서 소개되었던 데이터베이스의 얼굴로 예를 들어서 계산되었다. 다양한 촬영각에서의 얼굴 인식은 제3의 데이터베이스를 도입하여 유사한 아이디어로 접근할 수 있다[13]. 촬영각이 달리 수집된 얼굴들은 부공간(subspace) 기법을 이용하는 데이터 이미지에 의하여 선형으로 표현이 되고, 얼굴 간의 유사도는 이 상수 계수로 계산될 수 있다. 새로운 특징을 추출하기 위하여 동일(identity) 공간 내의 선형변형과 잡음변수를 예측하기 위하여 요소 분석(factor analysis)이 제안되기도 하였다[14]. Harris-Affine[15], Hessian-Affine[16], 그리고 어파인 SIFT[17] 알고리즘과 같은 지역 서술자(local descriptor)도 두 영상 사이의 어파인 변화를 효과적으로 처리할 수 있다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 SIFT 알고리즘을 소개하고, ASIFT 알고리즘과 얼굴 인식에 적용된 응용 기법을 3절에서 설명하였다. 4절에서는 이 알고리즘을 FERET 데이터베이스에 적용하여 구현하고 실험결과를 소개하였다. 마지막으로 본 논문의 결론과 앞으로 연구 내용을 5절에서 기술하였다.

2. SIFT(Scale Invariant Feature Transform)

지역 특징값을 이용하는 알고리즘들은 크기가 다르거나, 회전되었거나, 심지어 어파인 변화된 물체를 찾아내고 인식하는 데 효율적이다. 이들 알고리즘 중에서도 SIFT 알고리즘은 간단하면서 크기와 회전각에 관계없이 일정한 지역 특징값을 찾아낸다. SIFT는 이미지 데이터를 크기에 영향을 받지 않는 좌표계로 변환하고 요소점(keypoint)을 영역화하여, 요소점 서술자(keypoint descriptor)로 할당한다. SIFT 알고리즘의 주요 단계는 아래와 같이 요약할 수 있다[18].

- 스케일-공간상의 극점 탐지 : 이미지를 다른 스케일로 변환하여 크기를 바꾼다. 극점은 모든 축적 상에서 크기와 방향에 불변하는 가우시안 차분(difference-of-Gaussian)법을 사용하여 최대점과 최소점을 찾아 검색한다. 가우시안 차

분은 가우시안 라플라시안(Laplacian of Gaussian)의 근사 식 (1)과 같이 두 개의 인접 스케일의 차로 구한다.

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) \quad (1)$$

여기에서 $D(x, y, \sigma)$ 는 가우시안 차분 함수, G 는 가우시안 함수, k 는 인접 스케일의 배수, 그리고 I 는 입력 이미지를 나타낸다. 극점은 각 화소를 26개의 인접 화소, 즉 해당 스케일과 인접 스케일에서 인접한 화소들(8, 9 및 7개)과 비교하여 탐지한다. 이 과정이 Fig. 1에 나타나 있다.

- 요소점의 국부화 : 극점은 국부화가 잘 되지 않거나 대비가 약한 점들을 스케일이나 주곡률(principal curvature)의 비율 등을 검사하여 제외시켜야 한다. 이 과정을 통하여 요소점들의 안정도를 높일 수 있다.
- 방향성 지정 : 각 요소점은 지역 그래디언트 히스토그램에 기반을 두어 하나, 또는 그 이상의 방향성을 지정한다. 스케일과 회전각에 불변하는 특성을 유지하기 위해 지역 이미지 데이터는 상응하는 방향과 스케일로 변환시켜서 다음 단계의 요소점 서술자 계산을 할 수 있도록 한다.
- 요소점 서술자 : 지역 요소점 서술자는 그래디언트 히스토그램에 의하여 각 요소점 주위에서 계산된다. 이 서술자가 지협적인 모양의 왜곡이나 조도의 변화를 극복할 수 있는 표현 방법으로 바뀌어진다.
- 요소점 서술자는 중앙 요소점 주위 영역의 그래디언트와 방향성에 기준하여 생성된다. 영역들은 가우시안 창으로 가중치를 부여 받고, 다시 4x4의 부영역으로 나뉘어 각 부영역별 방향성 히스토그램을 작성한다. 영역별로 각 히스토그램의 합이 방향별 그래디언트 크기의 합으로 저장하게 된다.

영상의 정합과 SIFT 알고리즘의 인식을 이용한 다양한 방법들이 발표되었으며, Best Bin First [19]나 허프 변환 [20] 등이 대표적인 예이다. 최근접 이웃점(nearest neighbor)을 이용하는 방법은 SIFT의 특징점들의 정합에 효율적이다.

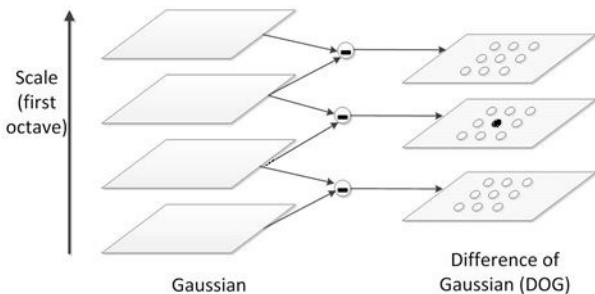


Fig. 1. A single octave for Difference of Gaussian (DOG) is drawn. The second octave can be generated by down-sampling from the first octave. The initial image is convolved with Gaussian filter using different scales for each octave. DOG images are generated from these Gaussian filtered image. Extrema are localized by finding the maxima and minima comparing with neighboring pixels in the current scale and adjacent scales

SIFT의 특징점들은 표본(gallery) 영상에서 미리 추출하여 데이터베이스에 저장시켜놓을 수 있다. 검증(probe) 영상과 정합여부를 비교할 때에, 각 특징점들은 데이터베이스에 저장된 표본 영상의 특징점들과 비교할 수 있다. 최근접 이웃과 두 번째 최근접 이웃을 유클리디안 거리로 검출하여 문턱값보다 크지를 판단하여 선정한다. 문턱치보다 작은 비율은 정합 특징점으로 간주할 수 있다.

3. ASIFT(Affine SIFT)

앞서 언급한 바와 같이 SIFT는 스케일과 회전각에 불변의 특징이 있으나, 변환값(affine) 불변의 특징이 미미하여 큰각이 변할 경우에 성능이 미약하다. ASIFT는 SIFT의 알고리즘을 확장하여 이의 결점을 보완한 것이다. 어파인 변환에서는 몇 가지 변수가 식 (2)와 같이 정의된다.

$$A = H_\lambda R_1(\psi) T_t R_2(\phi) \quad (2)$$

$$= \lambda \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi \\ \sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi \\ \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix}$$

식 (2)에서 λ , R , T_t 는 스케일, 회전 및 기울기를 나타내는 변수들이다. Fig. 2는 이 변수들의 기하학적인 관계를 보여주고 있다.

ASIFT는 하나의 정면영상으로부터 경도각 ϕ 와 위도각 θ 를 변화시켜 가면서 일련의 변화하는 촬영각의 영상을 생성시킬 수 있다. 이들 가상의 영상들은 최소한의 숫자로 정확도를 유지할 수 있도록 수집하면 된다. ASIFT 알고리즘은 다음과 같이 요약될 수 있다[17].

- 위도각 θ 는 기하급수 $1, a, a^2, \dots, a^n$ 과 같이 변한다 (단 $a > 1$). 실험에서는 변수 a 의 값을 $\sqrt{2}$ 로 지정하여 최소개의 영상으로 최적의 정확도를 유지할 수 있도록 하였다. 디지털 영상에서 기울기 처리는 $t = 1/\cos\theta$ 의 비율로 일정 방향을 따라 표본화하여 구할 수 있다.
- 경도각 ϕ 는 각 기울기 각이 $0, b/t, \dots, kb/t$ 와 같이 변할 때 등차급수로 계산되며, k 는 $kb/t < 180$ 를 만족하는 최대 정수로 정의 하였다.
- SIFT 알고리즘을 이용하여 이와 같이 생성된 가상으로 변형된 영상의 요소점을 탐지하였다.

얼굴인식 방법에서 ASIFT 알고리즘이나 그 확장방법들은 ORL[23]이나 Yale[24] 데이터베이스에서 좋은 성능을 나타내는 것이 보고되었다[22, 23]. 이들 방법에서는 ASIFT 알고리즘이 표본영상과 검증영상에 모두 적용하였다. 본 연구에서는 표본 영상(정면 영상)에 ASIFT 알고리즘을 적용하고, 검증 영상에는 SIFT를 적용하였다. ASIFT는 표본 영상의 요소점과 지역 특징점을 찾으며, 데이터베이스에 찾아낸 요소점을 저장한다. 인식부분에서는 SIFT 알고리즘을 호출하여 각 검증 영상의 요소점과 특징점을 계산한다. 즉, 검증 영상에서 SIFT로 찾은 요소점들을 데이터베이스에 저장된

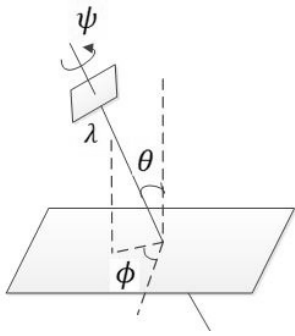


Fig. 2. Geometric interpretation of affine decomposition. The λ and ψ are scale and rotation angle from a camera. The θ and ϕ are tilt and rotation of a subject, which named latitude and longitude, respectively

ASIFT의 요소점과 비교하여 요소점 간의 최대 정합을 나타내는 얼굴 영상을 찾아 동일한 사람으로 인식하는 것이다.

이와 같이 수정하였기 때문에 계산 시간은 기존의 ASIFT 방법보다 훨씬 감소되었다. 또한 ASIFT의 수직 및 수평각의 범위를 위도각 θ 만 변화도록 제한하였다. Fig. 1에서 보여지는 바와 같이 SIFT는 회전각에 대하여 불변의 특성이 있으므로, 경도각 ϕ 는 자신의 회전각을 나타내므로 ASIFT에서 고려할 필요가 없다. 따라서 제안 방법에서는 위도각 θ 를 기하수열 $1, a^1, a^2, \dots, a^n$ (단 $a > 1$) 에 따라 수직 및 수평방향으로 ASIFT를 적용하였다.

4. 실험 결과

본 연구에서는 FERET 데이터베이스[21]의 흑백 영상을 이용하여 제안 알고리즘의 성능을 평가하였다. 이 데이터베이스에는 200명에 대하여 각각 9개의 상이한 자세와 다른 조도환경에서 촬영한 영상(해상도 : 80×80)이 저장되어 있다. 본 논문에서는 상이한 자세의 영상에서 얼굴인식을 평가하는 것이 목적이므로 해당되는 일부 영상을 사용하였다. 각 사람마다 정면으로 촬영된 표본 영상(정면촬영)과, 8장의 포즈가 다른 검증 영상을 60, 40, 25, 15, -15, -25, -40 및 -60도에 해당되는 각도에서 촬영된 영상으로 채택하였다. Fig. 3은 FERET 데이터베이스에서 사용한 정면영상과 8개의 촬영각에 따른 자세를 보여주고 있다.

SIFT 알고리즘 성능을 위하여 본 연구에서는 영상의 크기를 240×240화소, 최근접 이웃점과의 비율을 0.8로 지정하였다. Table 1에는 FERET 데이터베이스 영상을 인식하는 결과를 비교 정리하였다. Table 1의 ASIFT1은 Morel과 Yu[17]가 사용한 원래의 ASIFT 알고리즘이며, 기울기 숫자를 5로 지정하여 5개의 변환각에 대한 이미지를 생성한 경우이다. ASIFT2는 본 연구에서 제안한 방법으로 수직 및 수평 방향의 변환각을 무의미한 범위에서는 제한한 알고리즘이며 정량적인 비교를 위하여 정면 영상에서 동일하게 5



Fig. 3. Sample images from FERET database with varying pose from 0, 60, 40, 25, 15, -15, -25, -40, -60 in order

개의 변환각에 대한 이미지를 생성하였다. Table 1에 나타난 바와 같이 SIFT는 변환각이 -25~25 범위 내에 있을 경우에는 ASIFT 알고리즘과 큰 성능의 차이를 보이지 않고 있다. 그러나 변환각이 좌우 25도의 범위를 벗어나는 경우에는 두 개의 ASIFT 알고리즘 모두 SIFT보다 나은 성능을 보여주고 있다.

Table 1. Matching accuracy (%) and computational time of each algorithm for FERET database. ASIFT1 represents the original Affine SIFT and ASIFT2 represents the proposed SIFT method

Algorithm Angle(°)	SIFT(%)	ASIFT1 (%)	ASIFT2 (%)
60	13.0	11.5	19.5
40	52.0	59.0	66.5
25	94.5	95.0	95.5
15	99.5	99.5	99.5
-15	99.5	99.5	99.5
-25	94.0	95.5	95.0
-40	62.0	67.0	63.0
-60	13.0	19.5	14.5
Average	65.9	68.3	69.1
Time(sec)	7.0	280.0	21.0

알고리즘의 간결성으로 인하여 SIFT 알고리즘의 계산시간이 제일 빠르며, ASIFT 알고리즘은 변환각의 생성과 검색으로 인하여 상대적으로 오랜 시간이 소요되고 있는 것을 알 수 있다. 원래의 알고리즘 ASIFT1은 표본 이미지와 검증 이미지 모두를 변환시켜야 되기 때문에 ASIFT1의 계산시간은 SIFT와 비교할 때에 30배, ASIFT2와 비교할 때에는 13배 이상이나 소요되는 것이 Table 1에 나타나 있다. 그러나 ASIFT1의 정합률은 기대 이상으로 크게 향상되지 않는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 SIFT 알고리즘의 확장 방법인 ASIFT 알고리즘을 개선하여 자세각이 변화하는 상황에서 얼굴 인식을 할 수 있도록 어파인 불변의 지역 서술자를 적용하였다. SIFT 알고리즘은 스케일과 회전각의 변화에 무관하게 인식을 할 수 있으며, 특히 작은 회전각의 범위 내에서 우수한 성능을 보여준다. 그러나 회전각의 범위가 커지면 인식 성능이 감소하게 되어 확장 알고리즘인 ASIFT를 적용하였다. ASIFT 알고리즘은 표본 이미지와 검증 이미지에 적용하여 자세각이 다른 일련의 영상을 생성하여 실험하였다. ASIFT 알고리즘의 성능은 FERET 데이터베이스에 적용하여 실험을 수행하였다. 회전각의 크기가 $-25 \sim 25$ 인 경우에는 SIFT 알고리즘과 ASIFT의 알고리즘의 성능이 비슷하였으나, 회전각의 크기가 더 커지면 ASIFT의 알고리즘의 성능이 우세하게 나타났다.

References

- [1] W. Zhao, "Face Recognition: A Literature Survey," *ACM Computing Surveys*, Vol.35, No.4, pp.339-458, 2003.
- [2] A. Tolba, A. El-Baz, and A. El-Harby, "Face Recognition: A Literature Review," *Int. Journal of Signal Processing*, Vol.2, No.2, pp.88-103, 2006.
- [3] G. Hua, M. H. Yang, E. L. Miller, Y. Ma, M. Turk, D. J. Kriegman, and T. S. Huang, "Introduction to the Special Section on Real-World Face Recognition," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.33, No.10, pp.1921-1924, Oct., 2011.
- [4] H. T. Ho and R. Chellappa, "Pose-Invariant Face Recognition Using Markov Random Fields," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.22, No.4, pp.1573-1584, Apr., 2013.
- [5] S. R. Arashloo and J. Kittler, "Energy Normalization for Pose-Invariant Face Recognition Based on MRF Model Image Matching," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.33, No.6, pp.1274-1280, Jun., 2011.
- [6] S. Baker and I. Matthews, "Lucas-kanade 20 years on : A unifying framework," *International Journal of Computer Vision*, Vol.56, No.3, pp.221-255, Mar., 2004.
- [7] A. B. Ashraf, S. Lucey, and T. Chen, "Learning Patch Correspondences for Improved Viewpoints Invariant Face Recognition," in Proc. *IEEE conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1-8, 2008.
- [8] V. Blanz and T. Vetter, "Face Recognition Based on Fitting a 3D Morphable Model," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.25, No.9, pp.1-12, Sep., 2003.
- [9] M. D. Marsico, M. N. D. Riccio, and H. Wechsler, "Robust Face Recognition for Uncontrolled Pose and Illumination Changes," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, Vol.43, No.1, pp.149-162, Jan., 2013.
- [10] S. Milborrow and F. Nicolls, "Locating facial features with an extended active shape model," in Proc. *Eur. Conf. Comput. Vis.*, pp.504-513, 2008.
- [11] L. Wolf, T. Hassner, and Y. Taigman, "The One-Shot Similarity Kernel," in Proc. of 12th *Int. Conf. on Computer Vision*, pp.897-902, 2009.
- [12] L. Wolf, T. Hassner, and Y. Taigman, "Effective Unconstrained Face recognition by Combining Multiple Descriptors and Learned Background Statistics," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.33, No.10, pp.1978-1990, Oct., 2011.
- [13] A. Li, S. Shan, and W. Gao, "Coupled Bias-Variance Tradeoff for Cross-Pose Face Recognition," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.21, No.1, pp.305-315, Jan., 2012.
- [14] S. J. D. Prince, J. H. Elder, J. Warrell, and Fatima, "Tied Factor Analysis for Face Recognition across Large Pose Differences," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.30, No.6, pp.970-982, Jun., 2008.
- [15] K. Mikolajczyk and C. Schmid, "Scale and Affine Invariant Interest Point Detectors," *Int'l J. Computer Vision*, Vol.1, No.60, pp.3-86, 2004.
- [16] K. Mikolajczyk, T. Tuytelaars, C. Schmid, A. Zisserman, J. Matas, F. Schaffalitzky, T. Kadir, and L.V. Gool, "A Comparison of Affine Region Detectors," *Int'l J. Computer Vision*, Vol.65, No.1-2, Nov., 2005.
- [17] J. M. Morel and G. Yu, "ASIFT, A new framework for fully affine invariant image comparison," *SIAM Journal on Imaging Sciences*, Vol.2, No.2, pp.438-469, 2009.
- [18] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *Int'l J. Computer Vision*, Vol.60, No.2, pp.91-110, Nov., 2004.
- [19] J. Beis, and D. G. Lowe, "Shape indexing using approximate nearest-neighbour search in high dimensional spaces," in Proc. *Computer Vision and Pattern Recognition*, Puerto Rico, pp.1000-1006, 1997.
- [20] Hough, P.V.C., 1962, Method and means for recognizing complex patterns, U.S. Patent 3069654.

- [21] P. J. Phillips, H. Wechsler, J. Huang, and P. Rauss, "The FERET database and evaluation procedure for face-recognition algorithms," *Image Vis. Comput.*, Vol.16, No.5, pp.295-306, Apr., 1998.
- [22] Y. Liu, C. Li, B. Su, and H. Wang, "Evaluation of feature extraction methods for face recognition," In Proc. 6th *International Symposium on Computational Intelligence and Design*, 2013, pp.313-316.
- [23] L. Wu, P. Zhou, S. Liu, X. Zhang, and E. Trucco, "A Face Authentication Scheme Based on Affine-SIFT (ASIFT) and Structural Similarity(SSIM)," *Biometric Recognition*, Lecture Notes in Computer Science, Vol.7701, pp.25-32, 2012.
- [24] F. Samaria and A. Harter, "Parameterisation of a Stochastic Model for Human Face Identification," in Proc. *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, Sarasota, FL, pp.138-142, Dec., 1994.
- [25] 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 Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.23, No.6, pp.643-660, 2001.



고 용 빈

e-mail : gaoyongbin.sam@gmail.com

2006년 Jiangxi University of Financial and Economics, Nanchang, China (Bachelor and Master)

2013년~현 재 전북대학교 컴퓨터공학부 박사과정

관심분야 : Image processing & Pattern Recognition



이 호 중

e-mail : hlee@jbnu.ac.kr

1986년 미국 유타대학교 컴퓨터학과(학사)

1988년 미국 유타대학교 컴퓨터학과(석사)

1991년 미국 유타대학교 컴퓨터학과(박사)

1991년~현 재 전북대학교 컴퓨터공학부 교수

관심분야 : Image Processing, Computer Vision, Medical Imaging, Parallel Processing