

환경변화에 강인한 눈 검출 알고리즘 성능향상 연구

하진관, 문현준
세종대학교 컴퓨터공학과

Performance Improvement for Robust Eye Detection Algorithm under Environmental Changes

Jin-gwan Ha, Hyeon-joon Moon

Department of Computer Science and Engineering, Sejong University

요 약 본 논문에서는 조명 및 Pose 등의 다양한 환경변화에 강인한 얼굴 및 눈 검출 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 눈 검출은 얼굴검출과 동시에 수행되며 조명 및 Pose의 변화에 따라 검출 성능에 영향을 준다. 본 논문에서는 Modified Census Transform 알고리즘 사용하여 환경변화에 강인한 얼굴검출을 수행한다. 눈은 얼굴영역의 중요한 특징으로 주변의 조명 변화 및 안경 등의 다양한 요인으로 검출 성능의 저하 요인이 된다. 이러한 문제점의 해결을 위하여 Gabor transformation과 Feature from Accelerated Segment Test 알고리즘 기반의 눈 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 얼굴검출 알고리즘은 27.4ms의 검출속도와 98.4%의 검출율을 보이며, 눈 검출 알고리즘의 경우 36.3ms의 검출속도와 96.4%의 검출율을 보이는 것을 확인하였다.

주제어 : Modified Census Transform, Gabor Transform, Features from Accelerated Segment Test, 얼굴검출, 눈 검출, 동공 검출

Abstract In this paper, we propose robust face and eye detection algorithm under changing environmental condition such as lighting and pose variations. Generally, the eye detection process is performed followed by face detection and variations in pose and lighting affects the detection performance. Therefore, we have explored face detection based on Modified Census Transform algorithm. The eye has dominant features in face area and is sensitive to lighting condition and eye glasses, etc. To address these issues, we propose a robust eye detection method based on Gabor transformation and Features from Accelerated Segment Test algorithms. Proposed algorithm presents 27.4ms in detection speed with 98.4% correct detection rate, and 36.3ms face detection speed with 96.4% correct detection rate for eye detection performance.

Key Words : Modified Census Transform, Gabor Transform, Features from Accelerated Segment Test, Face Detection, Eye Detection, Pupil Detection

* 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 316033-04 사업의 지원을 받아 연구되었음

Received 26 August 2016, Revised 26 September 2016
Accepted 20 October 2016, Published 28 October 2016
Corresponding Author: Hyeonjoon Moon (Sejong University)
Email: hmoon@sejong.ac.kr

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1738-1916

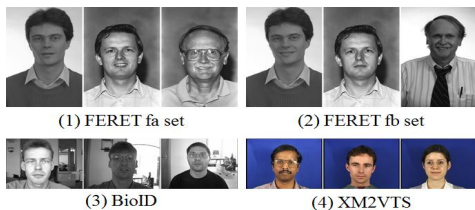
1. 서론

IT 기술의 발전과 더불어 관련분야의 하드웨어 및 소프트웨어 환경이 급속도로 발전하고 있다. 일반적으로 하드웨어 환경은 변경이 불가능한 고정적인 것으로 인지 되어왔으며, 소프트웨어는 하드웨어를 최대 성능으로 운용하기 위한 것으로 인식되어왔다. 그러나 최근 다양한 기능을 제공하는 개인용 모바일 기기가 널리 보급됨에 따라 하드웨어 및 소프트웨어의 개념이 변화하고 있다. 최근 하드웨어 기술 발전에 따라 응용 소프트웨어에 대한 요구 또한 증가하는 추세이다.

응용 소프트웨어 기술은 이용자들의 다양한 요구에 따라 발전하였다. 최근 각광을 받고있는 연구 분야는 Machine learning(기계학습)을 기반으로 사람이 직접 제어하지 않고도 정해진 규칙에 따라 사람과 같은 판단을 내릴 수 있는 인공지능 관련기술이다. 이 분야의 다양한 시도는 최근 출시되는 다양한 IT 및 가전제품 등 다양한 분야에 적용되어 주목할 만한 결과를 보이고 있다. 본 논문에서는 기계학습을 기반으로한 얼굴검출과 Gabor Transformation 기반 눈 검출 알고리즘[8]을 보완하기 위한 알고리즘을 제안하고, 성능평가를 진행한다.

2. Database

기계학습 기반의 얼굴 및 눈 검출 알고리즘을 학습하기 위해 FERET[1,2], XM2VTS[3], BioID[4] database와 인터넷에서 무작위로 수집한 얼굴 이미지로 구성된 학습셋(positive)을 구성하고, 얼굴과 유사한 특징을 보이는 이미지를 무작위로 수집하여 배경 이미지(Negative)로 사용하였다. 실험은 17,275(positive)장, 51,820(negative)장을 사용하여 학습하였으며 눈 검출의 결과를 확인하기 위해 1,000장의 FERET database를 사용하였다.



[Fig. 1] Face Database

3. Face Detection

얼굴검출은 입력 데이터에서 얼굴의 특징을 기계학습 알고리즘을 기반으로, 학습된 가중치를 통해 얼굴임을 판단할 수 있도록 하는 일련의 과정을 일컫는다. 본 논문에서는 P. Viola의 Adaptive Boosting(Adaboost)[5] 학습 방법을 기반으로 얼굴 데이터의 특징을 511가지로 분류하여 학습하는 Modified Census Transform(MCT)[6] 알고리즘을 통해 얼굴검출을 수행한다.

MCT 알고리즘은 B. Fröba가 제안한 방법으로써 영상 데이터의 지역적인 픽셀 값을 기반으로 주요 특징을 추출하는 방법이다. 지역적 특징은 3x3 크기의 커널을 고려하는데, 입력 영상의 모든 픽셀에 대하여 convolution 연산을 수행한다. 커널과 대응하는 9개 영역의 픽셀에 대해 3x3 커널 영역의 평균값과 비교를 통하여 이진 값을 연산한다. MCT의 수식은 아래와 같으며 총 511개의 특징을 사용한다.

$$I(x) = \otimes_{y \in N'} (\bar{I}(x), I(y)) \tag{1}$$

$\bar{I}(x)$ 는 주변픽셀 평균값, N' 은 $N'(x) = N(x) \cup x$ 이다. MCT는 3x3영역에 대해 평균값을 적용하여 평균보다 크면 1, 작으면 0으로 해당 위치의 이진 값을 조정하는 indexing 기법을 사용하여 511가지의 특징을 표현한다. 이러한 특징은 형태정보 기반의 얼굴검출에서 조명 변화에 매우 강인한 검출이 가능하다.

MCT 기반 얼굴검출 과정은 입력 이미지의 크기를 직접 조정하여 총 4 stage로 이루어진 분류기를 통해 수행된다. 각각의 stage 분류기는 강 분류기로 구성되어 비교적 단순히 설계되어 있으며, 이를 구성하는 약 분류기는 각 stage가 참조하는 MCT 특징의 개수를 나타낸다.

첫 stage는 복잡도가 가장 낮은 20개의 특징을 사용하여 99%의 얼굴이 아닌 영역을 분류하여 연산 속도가 빠르다는 장점이 있으며, 1~3 stage에서 Adaboost 알고리즘 기반 분류를 수행한다. 4 stage는 Winnov Update Rule(WUR)을 기반으로 얼굴검출을 수행하며, 수행시간이 많이 소요된다. MCT는 1 stage에서 99%의 얼굴 분류가 가능하므로 본 논문에서는 4 stage를 생략하여 실험하였다. 그 결과 얼굴 검출 속도(평균 27.4ms)와 검출율(98.4%)이 향상됨을 실험을 통해 확인하였다.

4. Eye Detection

검출된 얼굴 영역에서 눈 정보는 동공을 기준으로 얼굴의 가장 큰 특징을 표현하며, 얼굴의 기하학적 정보를 기반으로 얼굴의 1/2지점 위쪽에 존재한다[7]. 눈은 얼굴에서 픽셀의 화소 값이 가장 급격히 변화하는 영역으로서 이를 기준으로 회전 및 크기변화와 같은 얼굴의 다양한 기하학적 변화를 쉽고 효율적으로 감지할 수 있도록 해주는 특징이다. 따라서 얼굴 영역에서 눈의 정보는 얼굴의 변화를 측정하는 데 있어서 가장 중요한 특징 중의 한 가지이며, 본 논문에서는 Qian과 Xu가 제안한 Gabor filter[8] 기반 눈 검출을 통해 눈의 위치를 검출한다.

<Table 1> Gabor based Eye detection process

	Process	Description
1.	Histogram analysis	Histogram analysis of the face
2.	Contrast enhancement	Contrast enhancement by histogram analysis
3.	Gabor transform	Generates a reference image by performing gabor wavelet convolution with 2.image
4.	Cluster analysis	Performing k -means clustering for finding eye finding in reference image
5.	Determining the pupil position	Determining the position of the pupil based on geometric information of the face area

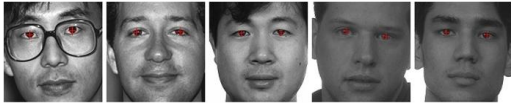
Gabor filter 기반 눈 검출은 Gabor transformation을 통해 얼굴 특징(윤곽 정보)을 실수부로, 에너지정보는 허수부로 표현하여 특징을 검출하는 방식이다. 본 논문에서는 <Table 1>의 과정을 통해 눈 검출을 수행한다. 얼굴의 히스토그램을 분석하고, 얼굴 중앙에서 31:13 비율의 사각형 영역을 선택하여 평균 픽셀 값을 구하여 명암도를 그룹화 한다. 이를 기준으로 명암대비를 향상하고 다음의 수식을 기반으로 2차원 Gabor wavelet을 추출한다. ν 는 scale variation, μ 는 orientation, $\|\cdot\|$ 는 norm operator 이며 $k_{\nu, \mu}$ 는 wave vector로서 $k_{\nu} e^{i\phi_{\mu}}$ 와 같은 값이다. Wave vector는 $k_{\nu} = k_{max} / f^{\nu}$ 회전각은 $\phi_{\mu} = \pi\mu / 8$ 으로 정의되며 k_{max} 는 최대 주파수, f 는 frequency domain 상의 kernels 와 factor 간의 간격이다.

$$\psi_{\mu, \nu}(z) = \frac{\|k_{\mu, \nu}\|}{\sigma^2} e^{(-\|k_{\mu, \nu}\|^2 \|z\|^2 / 2\sigma^2)} [e^{ik_{\mu, \nu} z} - e^{-\sigma^2/2}] \quad (2)$$

위 수식의 결과와 이미지 명도 값의 convolution을 통해 눈의 Gabor parameter를 추출한다. 눈 영역은 수평방향의 신호가 지배적으로 분포하는 특징을 보이므로 추출된 40개의 Gabor parameter중 $\nu = \{2, 3, 4\}$, $\mu = 0$ 을 사용하여 reference image를 생성한다. 생성된 reference image에 k -means clustering을 수행하여 image patch를 생성하고, 동공을 선택하여 눈을 검출한다. Gabor filter 기반 알고리즘의 특징은 정면 얼굴의 눈 영역에 대해 매우 높은 검출율을 보이지만[Fig. 2], 눈 영역에 명암도가 급격히 변화하는 영역이 존재하는 경우 오 검출되는 경우가 급격히 증가한다. 급격한 명암 변화는 피사체가 선글라스나 안경을 착용한 경우와 앞머리가 눈 영역을 침범한 경우, 혹은 모자를 착용하여 눈 영역을 한정할 수 없도록 노이즈가 존재하는 등 다양한 경우가 존재한다. 또한, convolution(회선) 처리를 수행하기 때문에 눈 검출에 많은 시간이 소요되며, 빛의 난반사에 민감하다. 따라서 본 논문에서는 Gabor filter 이외에 Features From Accelerated Test(FAST)[9,10,11] 알고리즘을 통해 눈 영역의 특징을 추출하여 보완하였다.

FAST 알고리즘은 일반적으로 물체의 추적(object tracking)을 위해 사용하는 알고리즘으로서 SIFT[12,13]나 SURF[14]등의 알고리즘에서 사용하는 Difference of Gaussian(DoG)과 다른 방식으로 특징을 추출한다. FAST는 특징을 추출하고자 하는 영역을 image patch로 추출하여 중심의 p 와 주변의 16개의 픽셀의 임계값(threshold)을 적용하여 12개 이상의 값이 연속되는 경우 corner로 판별하는 알고리즘이다. 16개의 주변 픽셀 값을 $x \in \{1..16\}$ 와 같이 나타내고 중심 p 와의 관계를 $p-x$ 로 나타내어 다음의 3가지 상태 중 한 가지로 판별한다. 학습 이미지의 모든 픽셀 P ($p \in P$)를 S_{p-x} 의 3 subset (P_d, P_s, P_b)으로 나누고 각 p 를 S_{p-x} 로 할당한다. 다음 수식 (3)에 의해 각 subset으로 나눈 값은 P 셋에 대한 K_p (boolean값)의 엔트로피 $H(P)$ 를 구하고 threshold t 를 적용하여 true/false에 따라 corner를 결정한다.

$$s_{p-x} = \begin{cases} d, & I_{p-x} \leq I_p - t & (\text{darker}) \\ s, & I_p - t < I_{p-x} < I_p + t & (\text{similar}) \\ b, & I_p + t \leq I_{p-x} & (\text{brighter}) \end{cases} \quad (3)$$



[Fig. 2] Gabor transformation based Eye detection result

$$H(P) = (c + \bar{c}) \log_2(c + \bar{c}) - c \log_2 c - \bar{c} \log_2 \bar{c} \quad (4)$$

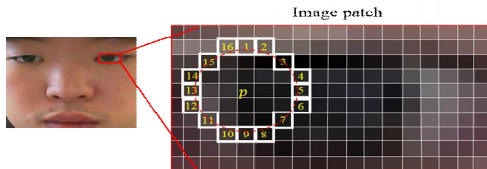
where $c = |\{p|K_p \text{ is true}\}|$ (corner)

and $\bar{c} = |\{p|K_p \text{ is false}\}|$ (not corner)

$$H(P) - H(P_a) - H(P_s) - H(P_b) \quad (5)$$

$H(P)$ 는 엔트로피를 나타내며 x 값은 다음의 엔트로피 식을 통해 선택한다. 이러한 $H(P)$ 기반의 표현방법은 중복 데이터 제거를 수행하지 않음으로 corner에 대한 정확한 판단이 어렵다. 따라서 다음의 score function V 를 통해 최대 corner 정보를 선별한다. ($S_{bright} = \{x|I_{p-x} \geq I_p + t\}$, $S_{dark} = \{x|I_{p-x} \leq I_p - t\}$)

$$V = \max \left(\sum_{x \in S_{bright}} |I_{p-x} - I_p| - t, \sum_{x \in S_{dark}} |I_p - I_{p-x}| - t \right) \quad (6)$$



[Fig. 3] Image patch and median of corner candidates p

위의 식으로부터 얼굴에서 눈 영역의 특징정보 (corner)를 추출한다. FAST 알고리즘은 SIFT, SURF 등의 알고리즘이 특징정보와 함께 각 특징간의 기하학적 위치 정보를 key-point descriptor(vector information) 등의 추가적인 정보를 추출하여 표현하는 것과 달리, corner 특징 정보만을 추출하므로 검출속도가 탁월하다. 하지만, 추출된 특징 정보간의 key-point descriptor 등의 추가적인 정보가 없으므로 눈 검출을 위해 추가적인 정보가 필요하다. 다음 [Fig. 4]는 FAST 기반 눈 주변 corner 정보를 추출한 것과 이를 이용하여 눈을 검출한 결과이다. [Fig. 4]에서 알 수 있듯이 FAST feature는 조명의 변화와 안경, 모자, 및 머리카락 등의 명암변화를 유발하는 노이즈에 강인하며, 균일한 특징 추출이 가능한 장점을 보인다. 따라서 추출된 특징의 무게중심을 구하

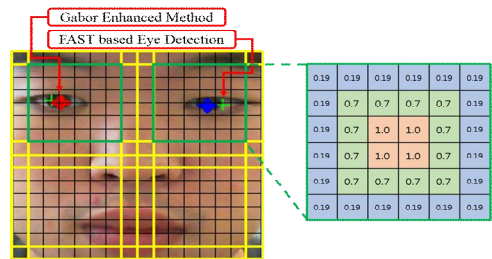
여 눈의 좌표로 정한다.



[Fig. 4] FAST feature and Eye detection result

FAST 알고리즘의 단점은, Gabor filter 기반 검출과 달리 해당 영역의 모든 특징을 추출하므로 검출하려는 특징에 영향을 주는 요소가 적거나 많은 경우 Gabor filter 기반의 눈 검출보다 검출율이 저하된다는 점이다. 따라서 본 논문에서는 Gabor filter 와 FAST 기반 눈 검출 알고리즘을 모두 적용하여 다양한 환경에 강인한 눈 검출 성능을 보장하는 hybrid method를 적용하여 눈을 검출한다. Hybrid method는 Gabor filter 알고리즘을 기반으로 얼굴의 Pose가 변화할 시 FAST 알고리즘을 통해 눈 영역의 특징을 추출하여 보완하는 방법으로서 Gabor filter에 높은 가중치를 두어 연산을 수행한다. 가중치는 다음 수식의 α 로서, 수식 (7)에 의해 [Fig. 5]와 같이 적용한다.

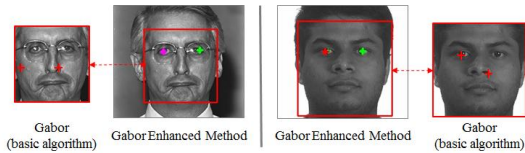
$$E_L = \alpha G_L + (1 - \alpha) F_L, E_R = \alpha G_R + (1 - \alpha) F_R \quad (7)$$



[Fig. 5] Gabor weight for Hybrid Method

일반적으로 눈은 얼굴에서 거의 고정된 위치에 존재하며 가장 급격한 명암도 변화를 갖는 특징을 보인다. 이와 같은 특징을 기반으로, 눈의 중앙(동공)으로 예상되는 지점으로부터 외곽 방향으로 Gabor filter 기준의 가중치를 [Fig. 5]와 같은 형태로 적용하여 눈을 검출한다. 눈 영역에 대한 Gabor filter 기반 눈 검출은 높은 정확도를 보이지만, 눈 주변의 음영변화(눈 주변의 색소침착, 두꺼

운 안경테, 및 그림자 등)에 의해 검출 성능이 저하되는 단점을 지닌다. 그러나 FAST기반의 눈 검출은 눈 영역의 밝기 값과 주변 특징의 변화에 적은 영향을 받기 때문에 [Fig. 6]과 같이 두 가지 방법의 가중치를 적용한 hybrid method(Gabor Enhanced Method)가 보다 정확한 검출 성능을 보인다. Hybrid method 방식은 Gabor와 FAST 알고리즘을 동시에 수행하고 추가적인 가중치 연산을 수행하므로 추가 연산시간이 소요되지만, Gabor는 평균 28.7ms, FAST는 평균 10.7ms 이내에 검출에 성공하므로 전체적인 성능저하는 미미하다. 따라서 본 논문에서는 기존 눈 검출 방법의 성능을 향상시킨 Hybrid method 기반 눈 검출 방법에 대해 제안하며, 실시간 얼굴 및 눈 검출을 수행하여 평가하였다.



[Fig. 6] Hybrid(Gabor Enhanced) Method based detection result

4. Experimental Result

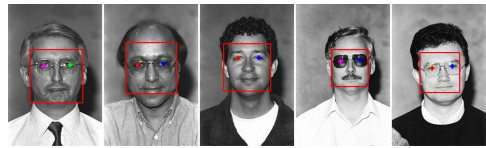
본 논문에서는 다음 <Table 2>와 같은 조건(실내조명, 1280×720 해상도)의 실시간 영상에 대해 머리와 얼굴(MCT) 및 눈(hybrid method)을 검출하였다. 입력 얼굴이 나타낼 수 있는 3방향의 각도변화[15] 중 web-cam환경을 고려하여 얼굴 및 눈 검출에 평균 13fps의 성능으로 각각 roll ±30°, pitch ±20°의 범위에 대해 검출 성공하였다. 다음 [Fig. 7]과 <Table 3>은 FERET database 1,000장에 대한 검출 결과이고 [Fig. 8]은 그림은 실시간 얼굴 및 눈 검출 결과이다.

<Table 2> Experimental environment

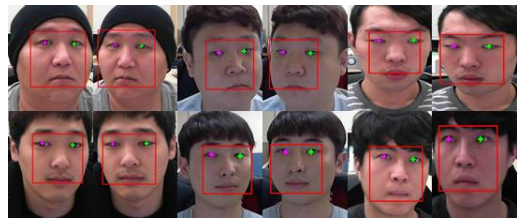
Experimental environment	
Lighting direction and intensity	upper light source, 170 ~ 220lx
Change of head pose	left(-30°) to right(30°)
Shooting distance	40 ~ 60 Cm
web-cam spec.	MicroSoft LifeCam Studio
PC spec.	Intel i7 930(2.8GHz), 12GB RAM

<Table 3> Experimental Result

Algorithm	True Positive	False Positive	False Negative	Time (ms)
Gabor filter	841	26	133	28.7
FAST	803	29	168	10.7
Hybrid Method	964	4	32	36.3



[Fig. 7] Proposed hybrid method(FERET)



[Fig. 8] Proposed hybrid method(web-cam input)

5. Conclusion

본 논문에서는 환경변화에 강인한 얼굴검출 및 눈 검출 알고리즘을 구현하여 성능을 향상하였다. Web-cam 기반 실시간 입력 영상에서 MCT 알고리즘을 이용한 얼굴검출을, Hybrid method를 통해 눈 검출을 수행하였다.

Hybrid method는 Gabor기반 알고리즘의 정확성을 FAST 알고리즘으로 보완한 것으로서 주변 환경변화와 눈 영역의 노이즈에 강인한 눈 검출을 수행하는 것을 실험을 통해 확인하였다. 이러한 결과는 실외의 조명 환경에 노출이 잦은 스마트폰과 같은 변화하는 환경에서 영상을 기반으로 한 생체인식을 적용하기 위한 용도로 활용 될 수 있다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food,

Agriculture, Forestry and Fisheries (IPET) through 316033-04 Program (or Project), funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA)

REFERENCES

[1] P. Jonathon, H. Moon, S. Rizvi, and P. J. Rauss. "The FERET evaluation methodology for face-recognition algorithms." *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions Vol 22, No. 10 (2000): 1090-1104.*

[2] FERET database
<http://www.nist.gov/itl/iad/ig/feret.cfm>

[3] XM2VTS face database.
<http://www.ee.surrey.ac.uk/CVSSP/xm2vtsdb/>

[4] BioID face database.
<https://www.bioid.com/About/BioID-Face-Database>

[5] P. Viola, and M. Jones. "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features." In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on*, vol. 1, pp. 1-511. IEEE, 2001.

[6] Fröba, Bernhard, and Andreas Ernst. "Face detection with the modified census transform." In *Automatic Face and Gesture Recognition, 2004. Proceedings. Sixth IEEE International Conference on*, pp. 91-96. IEEE, 2004.

[7] R. Valenti, N. Sebe, and T. Gevers. "Combining head pose and eye location information for gaze estimation." *Image Processing, IEEE Transactions Vol 21, No. 2 (2012): 802-815.*

[8] Z. Qian and D. Xu. "Automatic eye detection using intensity filtering and K-means clustering." *Pattern Recognition Letters 31, No. 12 (2010): 1633-1640.*

[9] K. Jeong and H. Moon. "Object detection using FAST corner detector based on smartphone platforms." In *Computers, Networks, Systems and Industrial Engineering(CNSI), 2011 First ACIS/JNU International Conference on*, pp. 111-115. IEEE, 2011.

[10] E. Rosten and T. Drummond. "Machine learning for high-speed corner detection." In *Computer Vision - ECCV 2006*, pp. 430-443. Springer Berlin Heidelberg, 2006.

[11] E. Mair, G.D. Hager, D. Burschka, M. Suppa, and G. Hirzinger. "Adaptive and generic corner detection based on the accelerated segment test." In *Computer Vision - ECCV 2010*, pp. 183-196. Springer Berlin Heidelberg, 2010.

[12] D. G. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features." In *Computer vision, 1999. The proceedings of the seventh IEEE international conference on*, Vol. 2, pp. 1150-1157. Ieee, 1999.

[13] C. Liu, J. Yuen, A. Torralba, J. Sivic, and W. T. Freeman. "Sift flow: Dense correspondence across different scenes." In *Computer Vision - ECCV 2008*, pp. 28-42. Springer Berlin Heidelberg, 2008.

[14] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. V. Gool. "Speeded-up robust features (SURF)." *Computer vision and image understanding 110, No. 3 (2008): 346-359.*

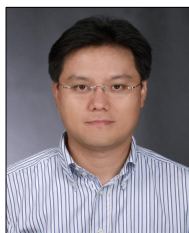
[15] E. Murphy-Chutorian, and M. M. Trivedi. "Head pose estimation in computer vision: A survey." *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions Vol 31, No. 4 (2009): 607-626.*

하 진 관(Ha, Jin Gwan)



- 2015년 8월 : 세종대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 세종대학교 컴퓨터공학과 석사과정
- 관심분야 : 패턴인식, Deep learning
- E-Mail : koimmgod@gmail.com

문 현 준(Moon, Hyeon Joon)



- 1992년 6월 : SUNY Buffalo 컴퓨터공학과(석사)
- 1999년 9월 : SUNY Buffalo 컴퓨터공학과(박사)
- 1996년 2월 ~ 1999년 9월 : US Army Research Laboratory Researcher
- 1999년 2월 ~ 2003년 9월 : Viisage Technology Senior Researcher
- 2003년 2월 ~ 2004년 2월 : 연세대학교 조교수
- 2004년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 전자정보공학대학 컴퓨터공학과 교수
- 관심분야 : 컴퓨터 비전, 패턴인식, 생체인식, 머신러닝
- E-Mail : hmoon@sejong.ac.kr