

---

# 조명 변화에 강인한 얼굴 검출을 위한 좌우대칭 평균화 기법

## A Bilateral Symmetry Average Method for Robust Face Detection against Illumination Variation

---

조치영, 김수환

부산외국어대학교 컴퓨터공학부

Chi-Young Cho(cycho@pufs.ac.kr), Soo-Hwang Kim(shkim@pufs.ac.kr)

---

### 요약

형판 정합 기반의 얼굴 검출 시스템에서 획득된 이미지에 대한 명암 정규화 및 영상 보정을 위해 히스토그램 평활화나 로그 변환 등을 사용한다. 이 방법은 조명 변화에 의해 발생한 이미지의 부분 명암 왜곡에는 효과적이지 못하다는 것이 알려져 있다. 본 논문에서는 부분적 명암 왜곡에 매우 효과적인 영상 보정을 수행하는 좌우대칭 평균화 기법을 제시한다. 실험 결과 이 기법은 기존의 방식보다 매우 효율적인 검출 성능을 보일 뿐만 아니라 얼굴 후보의 개수도 현저하게 감소하는 것으로 나타났다.

■ 중심어 : | 얼굴검출 | 대칭평균화 |

### Abstract

In a face detection system based on template matching, histogram equalization or log transform is applied to an input image for the intensity normalization and the image improvement. It is known that they are noneffective in improving an image with intensity distortion by illumination variation. In this paper, we propose an efficient image improvement method called as a bilateral symmetry average for images with intensity distortion by illumination variation. Experimental results show that our method delivers the detection performance better than previous methods and also remarkably reduces the number of face candidates.

■ keyword : | face detection | bilateral symmetry averaging |

---

## 1. 서론

얼굴 검출 방법은 특징기반접근법(feature-based approach)과 이미지기반접근법(image-based approach)으로 구분될 수 있다[1][2]. 특징기반 방법은 얼굴의 움직임, 색상 및 눈, 코, 입 등의 특징요소들의 기하학적 관계를 이용하여 얼굴을 검출하는 방법이다[3-5]. 이미지기

반방법은 얼굴검출 문제를 패턴인식문제로 다루는 방법으로 PCA(Principal Component Analysis), 신경망(Neural Network), SVM(Support Vector Maching) 등의 기법이 사용된다[6-8].

얼굴 검출 기법을 적용하여 영상에서 얼굴을 검출할 때, 영상 획득 당시의 카메라 주변 환경에 따라 얼굴 검출의 성능과 난이도가 결정된다. 조명이 일정한 환경에

서 획득된 영상은 얼굴의 윤곽이 뚜렷하게 나타난다. 단지 조명의 세기에 의해 영상이 전체적으로 어둡거나 또는 너무 밝아서 검출에 어려움을 주는 경우가 있다. 이 경우 얼굴 검출 과정에서 히스토그램 평활화나 로그 변환 등의 방법으로 명암 정규화를 수행하면 상당히 좋은 결과를 얻는다. 그러나 조명이 상하좌우 또는 대각 방향에서 비추어질 때는 검출 대상 얼굴에 생기는 부분적인 명암 변화에 의해 기존의 전처리 방식만으로는 효과적인 검출이 어려워진다[9][10].

히스토그램 평활화는 이미지를 전역적으로 보정하기 때문에 부분적 명암 왜곡에 대해서는 오히려 왜곡이 심화되는 상황이 발생하기도 한다. 로그 변환은 함수적 특성으로 부분적인 명암 왜곡에 있어 히스토그램 평활화보다 효과적이지만, 실험 결과 큰 조명 각도에 의한 왜곡 상황을 크게 개선시키지 못하는 것으로 나타났다.

조명의 영향에 강인한 얼굴 검출을 위해 도입된 컴포넌트 기반 얼굴 검출은 눈, 코, 입 등 얼굴의 특징 요소를 독립적으로 검출하고 이들의 배치 관계를 검사하여 얼굴을 검출하는 기법이다[11]. 이 방법은 얼굴 전체를 검출 단위로 사용하는 기법보다 조명의 영향을 효과적으로 대처하는 것으로 알려져 있지만, 어느 한 특징 요소의 검출이 누락되면 얼굴 검출에 실패할 가능성이 높아진다. 얼굴의 부분적 명암 왜곡이 특징 요소 자체에 발생할 경우 그 요소를 검출하기는 매우 어려워진다.

본 논문에서는 조명에 의해 부분적으로 명암 왜곡이 발생한 상황에서도 효과적인 얼굴 검출을 수행하는 전처리 기법을 제시한다. 이 기법은 얼굴이 좌우대칭이라는 사실에 근거하여 얼굴 후보 영역에 가로 방향의 대칭 평균화를 수행하는 과정을 전처리 과정에 추가해 줌으로써 왜곡된 명암을 효과적으로 보정하는 것이다. 이 방법은 실제 얼굴이 아닌 얼굴 후보 영역을 더욱 비얼굴의 형상을 갖도록 해 주는 특성이 있어, 검출 시 얼굴 후보의 개수를 현저하게 감소시키는 효과도 있다. 실험 결과는 수직 방향을 제외한 어떠한 방향의 조명에서도 얼굴 검출에 효과적임을 보여 준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 좌우대칭 평균화 기법과 특성을 소개하고 이를 이용한 얼굴 검출 절차를 제시한다. 3장에서는 실험 결과를, 4장에서는 결

론과 차후 연구 과제를 제시한다.

## II. 좌우대칭 평균화 기법

좌우대칭 평균화의 개요는 얼굴의 수직 중심축을 기준으로 같은 거리에 있는 가로 방향의 픽셀의 합을 구하고 그 평균을 좌우 픽셀 값으로 사용하는 것이다. [그림 1]은 좌우대칭 평균화를 수행한 예를 보여준다. [그림 1]의 (a)는 얼굴의 좌우 밝기가 다른 원 이미지이고, (b)는 좌우대칭 평균화를 수행한 후의 이미지로서 얼굴의 형태는 약간 이질적이지만 좌우의 명암이 고르게 분포되어 있음을 볼 수 있다.



(a) 원 이미지

(b) 좌우대칭 평균화를 수행한 후의 이미지

그림 1. 좌우대칭 평균화의 수행 예

얼굴 검출을 위한 이미지를 획득할 때, 이미지의 명암에 영향을 주는 조명의 방향을 크게 세 가지 유형으로 분류할 수 있다([그림 2] 참조).

첫째, 조명의 방향이 검출 객체의 전면 또는 후면의 중앙 방향인 경우이다. 둘째는 조명의 방향이 검출 객체의 상부 또는 하부, 좌측, 우측 방향인 경우이고, 셋째는 대각선 방향인 경우이다. 첫 번째의 경우는 이미지가 전체적으로 밝거나 어둡게 나타나고, 나머지 경우는 이미지의 절반은 밝게 나머지 절반은 어둡게 나타난다.

조명에 의해 영향을 받은 이미지의 보정을 위해서, 조명의 방향을 분석해 내는 작업은 어려울 뿐만 아니라 상당한 수행 시간을 요구할 것이다. 본 논문에서 제시하는 얼굴 검출 기법은 얼굴이 좌우 대칭성을 가진다는 사실에 근거하여 광원의 위치에 무관하게 분류기에 입력되는 얼굴의 후보에 좌우대칭 평균화를 수행함으로써 왜곡된 명암을 보정하려는 것으로 매우 간단하면서도 효과적이

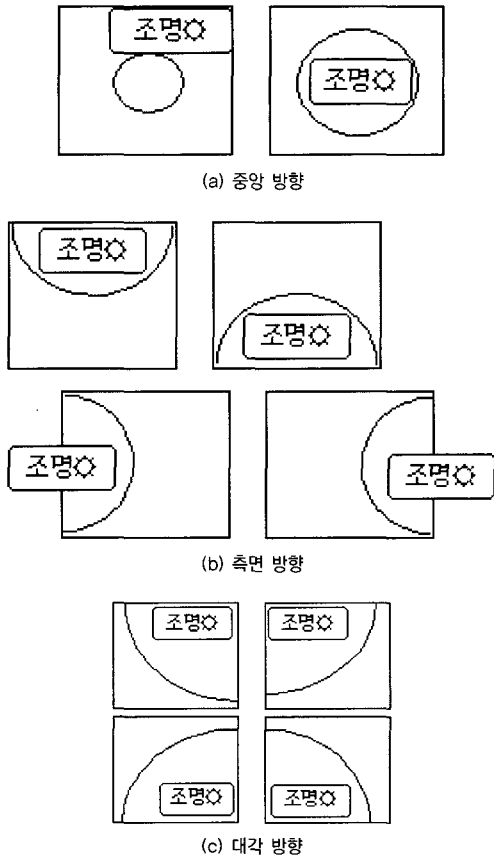


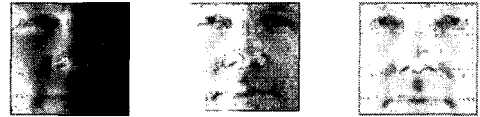
그림 2. 조명의 방향에 따른 영상 왜곡 유형

다. 전체적인 얼굴 검출 절차는 다음과 같다. 얼굴 검출 과정은 형판 정합(template matching)을 기반으로 한다. 따라서 얼굴 검출에 앞서 준비된 얼굴 표본들로 얼굴 형판을 구축한다. 그리고 구축된 형판에 대해서 좌우대칭 평균화를 수행한다. 얼굴 검출 과정에서는 먼저 명암의 정규화를 위해 히스토그램 평활화를 수행한다. 그 다음, 각 얼굴 후보 영역에 대해 좌우대칭 평균화를 수행한다. 마지막으로 MSE(mean square error)를 사용하여 얼굴 형판과의 오차를 계산하여 분류한다.

[그림 3]은 얼굴 이미지의 예에 대해 얼굴 검출 과정의 각 단계별 결과를 보여준다. 이 예로부터 좌우대칭 평균화 기법은 부분적으로 명암 왜곡된 이미지에 대해서 얼굴의 특징이 잘 나타나도록 보정해 준다는 것을 볼 수 있다. 또한 히스토그램 평활화만으로는 명암 왜곡 현상을 제대로 보정해 주지 못함을 볼 수 있다.



(a) 원 이미지

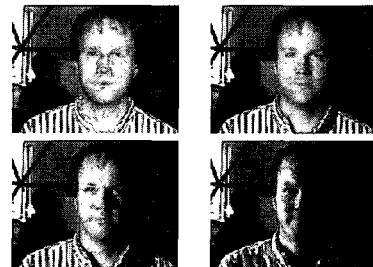


(b) (c) (d)

그림 3. 얼굴 검출 수행 과정의 예: (b)는 얼굴 후보 영역, (c)는 (b)에 히스토그램 평활화를 수행한 결과, (d)는 (c)에 좌우대칭 평균화를 수행한 결과

### III. 실험 결과

실험에 사용될 얼굴 이미지는 Yale Face Database B[12]에서 추출하였다. Yale Face Database B는 수평 방향인 방위각(degrees azimuth)과 수직 방향인 수평각(degrees elevation)으로 광원의 위치를 구분하여 다양한 조명 조건하에서 구축된 얼굴 이미지를 담고 있다. 실험은 Yale Face Database B로부터 10명의 인물에 대해 추출된 각각 7개의 조명 각도와 4개의 포즈로 구성된 총 280개의 이미지를 대상으로 했으며 Intel Pentium4-2.6 환경에서 Microsoft Visual C++6.0을 가지고 프로그램을 구현하였다.



(a) 방위각이 각각 0도, +25도, +50도, +95도인 정면 얼굴 (수평각 0도)



(b) 얼굴의 방향이 각각 정면, 좌측, 좌측상단, 좌측하단인 얼굴

그림 4. Yale Face Database B의 얼굴 이미지에

실험에 사용된 이미지의 조명 각도는 수평각은 모두 0도이며, 방위각이 0도, +10도, +25도, +50도, +70도, +95도, +120도인 것이고, 얼굴의 포즈는 얼굴의 방향이 정면, 좌측, 좌측 상단, 좌측 하단인 것을 사용하였다(그림 4) 참조).

분류기에서 사용될 얼굴 형판을 구축하기 위한 얼굴 표본으로 각 사람에 대한 정면 얼굴포즈와 전면 중앙 방향의 조명, 즉, 방위각과 수평각이 각각 0도인 이미지 10개를 사용하였다. [그림 5]는 형판 구축을 위해 사용된 이미지를 보여준다.



그림 5. 얼굴 형판 구축에 사용된 이미지

분류기는 MSE 방식을 사용하였으며 얼굴 형판과 얼굴 후보 영역과의 비교를 위해 zero-mean 정규화를 사용하였다. zero-mean 정규화는 얼굴 후보 영역(검색 창)의 각 픽셀을 픽셀들의 평균으로 빼서 각각 표준편차로 나누는 방식으로 전체 합이 0이 된다(아래 식(1) 참조).

$$I(i)' = \frac{I(i) - \bar{x}}{s}, \quad \bar{x} = I \text{의 평균} \quad (1)$$

$$s = I \text{의 표준편차}$$

본 논문에서 제안한 방법은 전처리 과정으로 얼굴 후보에 좌우대칭 평균화와 히스토그램 평활화를 차례대로 수행한 것이고, 이 방법과 비교하기 위해 전처리 과정으로 단지 히스토그램 평활화만 수행한 방식(HE)과 로그 변환만 수행한 방식(Log)을 사용하였다.

첫 번째 실험은 각 방식의 얼굴 검출 성능을 비교하기 위해 구축된 얼굴 형판과 미리 찾아 놓은 얼굴 영역 후보와의 오차(MSE)를 구하였다. [표 1]은 이 실험의 결과를 보여준다.

표 1. 얼굴 형판과 얼굴 영역 후보와의 오차(MSE)

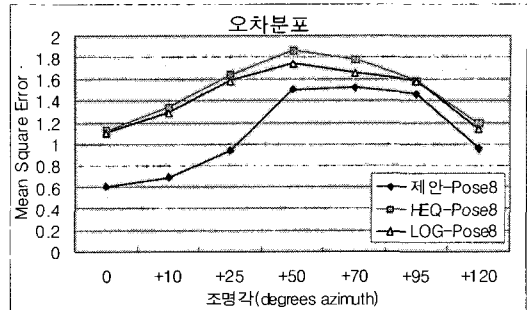
| 포즈<br>조명각 | pose0(정면) |       |       | pose6 |       |       | pose7 |       |       | pose8 |       |       |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | 제안        | HE    | Log   | 제안    | HE    | Log   | 제안    | HE    | Log   | 제안    | HE    | Log   |
| 0°        | 0.391     | 0.530 | 0.557 | 1.009 | 1.445 | 1.274 | 0.986 | 1.537 | 1.381 | 0.610 | 1.128 | 1.103 |
| 10°       | 0.426     | 0.689 | 0.713 | 1.131 | 1.640 | 1.747 | 1.232 | 1.735 | 1.690 | 0.694 | 1.338 | 1.286 |
| 25°       | 0.534     | 1.051 | 0.999 | 1.409 | 1.853 | 1.805 | 1.529 | 1.874 | 1.841 | 0.943 | 1.639 | 1.584 |
| 50°       | 1.026     | 1.668 | 1.647 | 1.680 | 1.948 | 1.867 | 1.669 | 1.900 | 1.786 | 1.509 | 1.867 | 1.747 |
| 70°       | 1.327     | 1.783 | 1.673 | 1.536 | 1.828 | 1.732 | 1.604 | 1.807 | 1.715 | 1.524 | 1.787 | 1.656 |
| 95°       | 1.360     | 1.645 | 1.596 | 1.264 | 1.494 | 1.515 | 1.183 | 1.396 | 1.497 | 1.467 | 1.588 | 1.590 |
| 120°      | 1.410     | 1.489 | 1.569 | 0.950 | 1.177 | 1.246 | 0.816 | 1.074 | 1.115 | 0.955 | 1.185 | 1.135 |

표 2. 실제 얼굴 영역보다 오차가 더 작은 얼굴 후보의 개수

| 포즈<br>조명각 | pose0(정면) |        |        | pose6  |        |        | pose7  |        |        | pose8  |        |        |
|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | 제안        | HE     | Log    | 제안     | HE     | Log    | 제안     | HE     | Log    | 제안     | HE     | Log    |
| 0°        | 1         | 2.9    | 2.6    | 750.8  | 1459.7 | 545.3  | 236.6  | 826.1  | 240.5  | 1      | 25.4   | 22.1   |
| 10°       | 2.8       | 3.6    | 3.7    | 966.9  | 1826   | 2010.2 | 584.1  | 1684.3 | 1566.6 | 3.3    | 108.2  | 73.2   |
| 25°       | 6.4       | 34.4   | 21.3   | 1750.1 | 3379.5 | 3045.5 | 1679.8 | 3382.8 | 3339.1 | 33.3   | 1088.7 | 875.5  |
| 50°       | 185.2     | 1522.5 | 1581.7 | 2915.8 | 4419.8 | 3467.7 | 2634.6 | 3883.7 | 2495.4 | 1632.7 | 3390.1 | 2010.2 |
| 70°       | 966.6     | 2638.4 | 1411.4 | 1860.2 | 3071.9 | 1934.4 | 2081.5 | 2812.9 | 1826.5 | 1568.5 | 2487.6 | 1204   |
| 95°       | 998.8     | 1581.6 | 1001.4 | 656.9  | 809.7  | 726.5  | 506.6  | 499.8  | 730.2  | 1495.1 | 1178.5 | 1083.1 |
| 120°      | 1206.9    | 714.2  | 1019   | 110.2  | 98.3   | 116    | 19.8   | 22.2   | 41.4   | 56.9   | 53.4   | 18.6   |
| 평균        | 478.8     | 928.2  | 720.1  | 1287.2 | 2152.1 | 1892.2 | 1103.1 | 1874.5 | 1462.8 | 684.4  | 1190.2 | 735.24 |

얼굴 형판이 전면 중앙 방향의 조명 각도와 정면 얼굴을 대상으로 하였기 때문에 얼굴의 포즈가 정면 방향이 아니며 조명 각도가 클수록 오차도 크다. 세 가지 방식 중 본 논문에서 제안하는 방법이 다른 방식에 비해 현저하게 오차가 작음을 볼 수 있다. [그림 6]은 [표 1]의 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

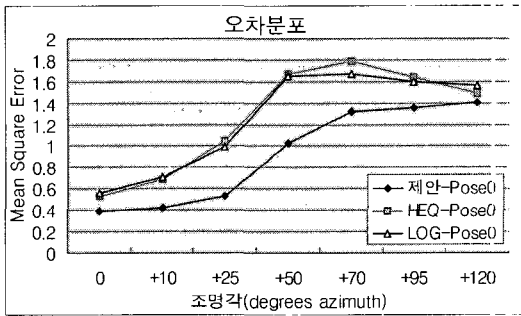
두 번째 실험은 얼굴 검출 시에 고려될 얼굴 후보의 수에 관한 실험으로 주어진 이미지의 모든 검색 윈도우 영역에 대해 실제 얼굴 영역보다 오차가 더 작은 영역의 수를 구하였다. 이 수치가 작을수록 형판 정합을 통과하는 얼굴 후보의 수가 줄어들 것이다. 실험에서 각 조명각과 포즈별로 10명의 인물에 대해 실제 얼굴 영역보다 오차가 더 작은 얼굴 후보의 개수를 구하여 평균을 내었고, [표 2]는 그 결과를 정리한 것이다.



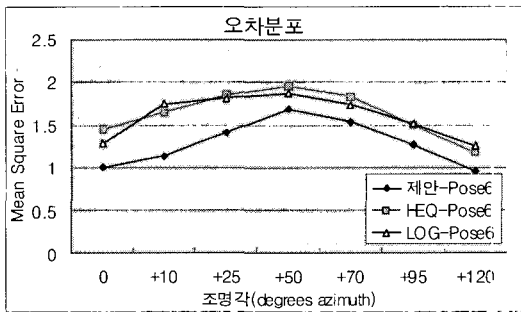
(d) 좌측 하단 방향 얼굴 검출 성능

그림 6. 얼굴 포즈별 검출 성능 비교

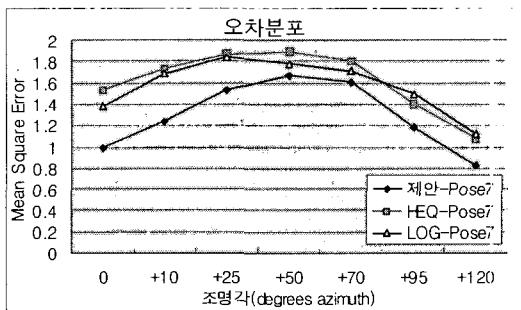
실험을 통해 본 논문에서 제안한 방법은 조명각이 아주 크지 않은 경우에 다른 두 방식에 비해 얼굴 후보의 수가 현저하게 작을 것으로 나타났다. 이 결과로서 본 논문에서 제안한 방법이 실제 얼굴이 아닌 얼굴 후보 영역을 더욱 비얼굴의 형상을 갖도록 해 주는 특성이 있음을 유추할 수 있다.



(a) 정면 얼굴 검출 성능



(b) 좌측 방향 얼굴 검출 성능



(c) 좌측 상단 방향 얼굴 검출 성능

#### IV. 결론

본 논문에서는 조명 변화에 의해 발생하는 이미지의 부분 명암 왜곡에 효과적인 영상 보정을 수행하는 좌우대칭 평균화 기법을 제시하였다. 이 기법을 형판 정합 기반의 얼굴 검출에서 전처리 과정으로 사용할 때, 기존의 히스토그램 평활화나 로그 변환 방식만을 사용한 것에 비해 현저한 검출 성능과 얼굴 후보 개수의 감소를 보이는 것으로 나타났다.

차후 연구 과제로 방위각뿐만 아니라 수평각까지 고려한 조명 방향에 대해서도 효과적인 얼굴 검출을 수행할 수 있는 기법을 찾는 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] E. Hjelmas and B. K. Low, "Face Detection: A Survey," Computer Vision and Image Understanding, Vol.83, pp.236-274, 2001.
- [2] Ming-Hsuan Yang, David Kriegman, and

Narendra Ahuja, "Detecting Faces in Images: A Survey," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.24, No.1, pp.34-58, 2002.

[3] K. C. Yow and R. Cipolla, "Feature-based Human Face Detection," Image and Vision Computing, Vol.15, No.9, pp.713-735, 1997.

[4] S. H. Jeng, H. Y. M. Yao, C. C. Han, M. Y. Chen, and Y. T. Liu, "Facial feature detection using geometrical face model: An efficient approach," Pattern Recognition, Vol.31, No.3, pp.273-282, 1998.

[5] Haiyuan WU and Qian CHEN, "Detecting Human Face in Color Images," Proc of IEEE, pp.2232-2236, 1996.

[6] B. Moghaddam and A. Pentland, "Probabilistic visual learning for object representation," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.19, No.7, pp.696-710, 1997.

[7] H. Rowley, S. Baluja, and T. Kanade, "Neural network-based face detection," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.20, No.1, pp.23-38, 1998.

[8] E. Osuna, R. Freund, and F. Girosi, "Training support vector machines: An application to face detection," in Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp.130-136, 1997.

[9] M. J. Tarr, K. Kersten, and H. H. Bulthoff, "Why the visual recognition system might encode the effects of illumination," Vision Research, Vol.38, pp.2259-2276, 1998.

[10] B. Heisele, T. Poggio, and M. Pontil, "Face detection in still gray images," A.I. memo AIM1687, Artificial Intelligence Lab., MIT, 2000.

[11] B. Heisele, T. Serre, M. Pontil, and T. Poggio, "Component-based face detection," In Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern

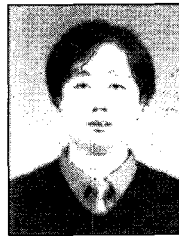
Recognition, IEEE Computer Society Press, Vol.1, pp.657-662, 2001.

[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.

저자 소개

조치영(Chi-Young Cho)

정회원



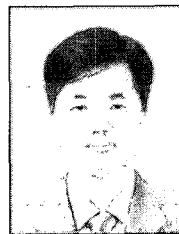
- 1998년 2월 : 부산외국어대학교 경제학과(경제학사)
- 2000년 2월 : 부산외국어대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 부산외국어대학교 컴퓨터공학부(박사과정)

• 2003년 3월 ~ 2006년 2월 : 부산외국어대학교 컴퓨터공학부 초빙교수(프로그래밍 전문강사)

<관심분야> : 패턴인식, 영상인식, 얼굴인식

김수환(Soo-Hwang Kim)

정회원



- 1987년 2월 : 서울대학교 자연과학대학 계산통계학과(이학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
- 1995년 2월 : 한국과학기술원 전산학과(공학박사)

• 1992년 3월 ~ 현재 : 부산외국어대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야> : 순차 및 병렬 알고리즘, 계산 기하학, 영상인식