

홍채 인식을 위한 고속 홍채 영역 추출 방법

(A Fast Iris Region Finding Algorithm for Iris Recognition)

송 선 아 [†] 김 백 섭 ^{**} 송 성 호 ^{***}
 (Sun-Ah Song) (Baek-Sop Kim) (Seong-Ho Song)

요 약 홍채 인식을 위해서는 먼저 홍채 영역을 추출해야 하는데 이를 위해서는 홍채의 안쪽 경계인 동공 경계와 바깥쪽 경계인 홍채 경계를 검출해야 한다. 경계를 검출하는데는 Daugman이 제안한 원형 경계 검출기가 가장 일반적이고 효과적인 방법으로 알려져 있다. 이 방법은 전역적인 탐색에 의존하기 때문에 정확하지만 계산 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 계산 시간을 줄이기 위해 경험적 방법들이 사용되기도 하지만 정확성이 떨어지는 문제점이 있었다.

본 논문에서는 정확성을 떨어뜨리지 않으면서 계산 속도를 줄이는 홍채 영역 추출 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 동공 경계와 홍채 경계가 가지는 문제에 대한 지식(problem knowledge)을 사용하여 제한조건을 부가하여 탐색한다. 경계 검출을 위한 탐색 영역은 동공을 포함하는 최대 원과 최소 원을 이용하여 제한하여 탐색 시간을 줄인다. 동공 경계의 경우 이진화된 동공 영상에서 최대 원과 최소 원을 구하고, 홍채 경계의 경우 영상의 분산을 이용하여 얻은 경계점으로부터 최대 원과 최소 원을 구한다.

제안된 방법을 Daugman방법, 히스토그램 분석법, 가중치를 이용한 허프변환 방법 등과 실험을 통해 비교하였다. 그 결과 제안된 방법은 Daugman방법과 동일한 정확도를 보이며, Daugman방법이나 가중치를 이용한 허프변환 방법보다 빠르다는 것을 알 수 있었다.

키워드 : 홍채, 분할, 동공영역, 홍채영역, 생체인식

Abstract It is essential to identify both the pupil and iris boundaries for iris recognition. The circular edge detector proposed by Daugman is the most common and powerful method for the iris region extraction. The method is accurate but requires lots of computational time since it is based on the exhaustive search. Some heuristic methods have been proposed to reduce the computational time, but they are not as accurate as that of Daugman.

In this paper, we propose a pupil and iris boundary finding algorithm which is faster than and as accurate as that of Daugman. The proposed algorithm searches the boundaries using the Daugman's circular edge detector, but reduces the search region using the problem domain knowledge. In order to find the pupil boundary, the search region is restricted in the maximum and minimum bounding circles in which the pupil resides. The bounding circles are obtained from the binarized pupil image. Two iris boundary points are obtained from the horizontal line passing through the center of the pupil region obtained above. These initial boundary points, together with the pupil point comprise two bounding circles. The iris boundary is searched in this bounding circles.

Experiments show that the proposed algorithm is faster than that of Daugman and more accurate than the conventional heuristic methods.

Key words : iris, segmentation, pupil region, iris region, biometrics

· 이 논문은 한림대학교 교비연구비(HRF-95-04)에 의하여 연구되었음

[†] 비 회 원 : Case Western Reserve University
su082@hanmail.net

^{**} 종 신 회 원 : 한림대학교 정보통신공학부 교수
bskim@sun.hallym.ac.kr

^{***} 비 회 원 : 한림대학교 정보통신공학부 교수
ssh@hallym.ac.kr

논문접수 : 2003년 3월 26일

심사완료 : 2003년 6월 3일

1. 서 론

정보화 사회에게 개개인의 정확한 신원 확인은 과거와 같이 보안이 요구되는 장소의 출입 통제뿐만 아니라 정보 유출방지, 개인의 재산권 보호 등을 위하여 그 중요성이 증대되고 있다. 신원 확인(personal identification)을 위해 현재까지 일반적으로 사용되고 있는 방법은 크게 주민등록증, 여권, ID 카드나 키 같은 물리적

수단을 이용한 Token-based 방법과 패스워드나 PIN(Personal Identification Number)등의 지적인 수단을 이용한 Knowledge-based 방법으로 나눌 수 있다. 그러나 물리적 수단을 이용하는 방법은 비교적 쉽게 모조가 가능하고 항상 소지해야 하며 분실의 위험이 있다는 단점이 있고, 지적인 수단을 이용하는 방법은 항상 기억해야 하고 타인에게 유출될 수 있다는 단점이 있다[1,2].

이러한 기존의 신원 확인 방법의 문제점들을 극복하기 위해 그동안 보다 안전하고 신뢰성 있는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되어져 왔고, 최근에는 생체인식(Biometric Identification) 기술이 차세대 개인 식별 수단으로 실생활에 적용될 수 있게 되었다.

생체 인식이란 개인의 독특한 신체적, 행동적 특징을 이용하여 신원을 검증하는 방법으로 개인의 고유한 특징을 이용하는 것이기 때문에 모조나 도용이 거의 불가능하다는 특징이 있어 매우 신뢰성이 높은 신원 확인 방법이다. 이 방법은 영상신호나 음성신호 등의 형태로 입력된 개인의 특징을 분석하여 본인 여부를 확인하는 패턴 인식 분야의 기술로서, 사용될 수 있는 이상적인 생체 특징은 다음과 같은 조건을 만족해야 한다[3].

첫째, 모든 사람이 갖고 있는 특징이어야 하고(universality), 둘째, 개인마다 유일해야 하며(uniquness), 셋째, 시간에 대한 변화가 없어야 하고(permanence), 넷째, 정량적으로 계산될 수 있는 특징이어야 한다(collectability). 그리고 이러한 특징을 이용한 생체 인식 시스템은 정확하고 견고한 식별력을 가져야 하고(performance), 특징 획득을 위하여 사용자가 거부감 없이 쉽게 받아들일 수 있어야 하며(acceptability), 부정확한 접근 방법에 대해 견고해야 한다(circumvention).

실제 개인 식별에 사용될 수 있는 특징으로는 홍채, 지문, 얼굴, 정맥, 망막, 장문 등과 같은 신체적 특징과 음성, 서명, 걸음걸이, 자판(keystroke) 등과 같은 행동적 특징이 있는데 이 중 특히 홍채를 이용한 개인 식별은 신체적 접촉 없이 자연스러운 상태에서 생체 특징을 획득할 수 있을 뿐만 아니라 오랜 기간 동안 특징의 변화도 적고 변별력이 매우 우수하여 최근 들어 각광을 받고 있다[3,4].

홍채는 그 패턴의 다양성이 그 어떤 신체부위보다 뛰어나다. 사람이 태어난 지 만 3세가 되기 전에 홍채패턴의 대부분이 형성되며, 한번 생성된 패턴은 특별한 질병이 있지 않는 한 수 십년간 변하지 않는다. 또한 개인을 식별할 수 있는 능력을 의미하는 변별력이 현재 가장 널리 이용되고 있는 지문보다 약 40배 정도 크다. 홍채의 이러한 여러 장점들을 기반으로 개인을 식별하는 고유의 정보로써 이용이 가능하다는 것에 착안하여 홍채 인식 시스템이 연구되기 시작하였다[4].

홍채인식의 연구 분야는 크게 인식에 사용하기에 적당한 홍채 영상을 얻어내는 영상 획득 부분과, 영상을 분석하여 신분을 확인하는 인식 부분으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 인식에 사용될 홍채 영역을 추출해내는 영상 처리와 관련된 부분을 다룬다. 정확하고 안정된 홍채 영역의 추출은 시스템 전체 성능에 영향을 미치는 중요한 요소가 된다. 입력된 홍채 영상에서 가장 특징이 뚜렷한 동공과 홍채의 경계에 해당하는 홍채 내부 경계를 추출한 다음 공막과 인접하는 홍채 외부 경계를 찾아 홍채 영역을 추출하는 일련의 과정을 제안하고 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 영역 추출에 사용되는 제안된 여러 방법에 대하여 살펴보고, 3장에서는 이진화와 영상의 분산을 이용한 탐색 범위 설정과 조건부 검색을 통한 개선된 방법을 제안한다. 4장에서는 제안한 방법과 기존 관련 방법들에 대한 성능을 비교하고, 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 기술한다.

2. 관련 연구

일반적인 홍채 인식 시스템은 동작 모드에 따라 그림 1과 같이 등록 과정과 인식 과정으로 나누어진다. 등록 과정은 개인 식별을 위하여 홍채 특징을 추출하여 특징을 데이터베이스에 저장하는 단계이고, 인식 과정은 등록되어 있는 홍채 코드와의 식별을 위하여 입력된 홍채로부터 추출된 홍채 코드를 비교하는 단계이다. 두 단계에서 영상 획득 과정, 홍채 영역 추출 과정, 특징 추출 과정은 공통적으로 사용된다[6,7].

본 논문은 홍채영역 추출에 대해 다룬다. 홍채 영역은 그림 2와 같이 동공과 홍채의 경계에 해당하는 홍채 내

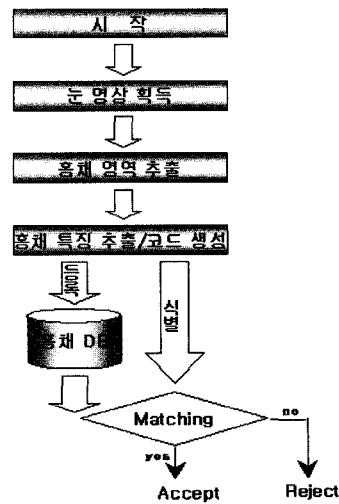


그림 1 홍채 인식 시스템의 구성

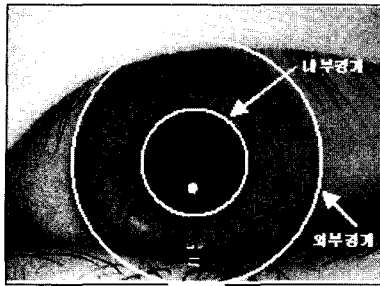


그림 2 홍채 영역 추출

부 경계(동공 경계)와 공막과 홍채의 경계에 해당하는 홍채 외부 경계(홍채 경계)사이의 영역을 의미하며 홍채 영역을 추출하기 위해서는 이들 경계를 검출해야 한다.

홍채 내·외부 경계 추출을 위해 원형 경계 검출기(Circular Edge Detector)를 이용한 방법[4,8]과, 허프 변환(Hough Transform)을 이용하는 방법[5,9], 템플릿을 이용하는 방법[10] 등이 사용되고 있다.

2.1 Daugman의 원형 경계 검출기

Daugman이 제안한 원형 경계 검출기는 식 (1)로 정의되는 원주상의 명암값의 최대 변화율을 이용한다[4,8].

$$\frac{\partial}{\partial r} \int_0^{2\pi} \frac{I(r\cos\theta + x_0, r\sin\theta + y_0)}{2\pi r} d\theta \quad (1)$$

식 (1)에서 중심 (x_0, y_0) , 반지름이 r 인 원주 상에 존재하는 점(pixel)의 명암값 $I(x, y)$ 을 모두 더한 후 원주 길이 $2\pi r$ 로 나누어주면 원주의 평균 밝기가 되고, 이 값을 반지름에 대한 변화율로 나타내면 원주의 밝기 변화율이 된다. 이를 이용하여 다음과 같이 전체 영상을 탐색하여 원주 밝기 변화율이 최대로 변화하는 지점의 중심과 반지름을 찾음으로써 원형 경계 검출기로 작동하게 된다.

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| \frac{\partial}{\partial r} \int_0^{2\pi} \frac{I(r\cos\theta + x_0, r\sin\theta + y_0)}{2\pi r} d\theta \right| \quad (2)$$

영상 내에 존재하는 복잡한 패턴에 의해 경계가 아닌 곳에서 변화율이 최대가 되는 것을 방지하기 위해서 식 (3)과 같이 평활화(smoothing) 함수를 적용한다.

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \int_0^{2\pi} \frac{I(r\cos\theta + x_0, r\sin\theta + y_0)}{2\pi r} d\theta \right| \quad (3)$$

*는 컨벌루션(convolution)을 나타내고, $G_\sigma(r)$ 는 가우시안(Gaussian) 특성을 갖는 평활화 함수를 각각 나타낸다. 식 (3)에서 미분함수의 순서를 바꾸어 가우시안 함수에 적용시킨 다음 컨벌루션을 하면 계산량을 줄일 수 있다. 가우시안 함수에 대한 미분은 다음과 같이 이산화하여 사용한다.

$$\frac{\partial G_\sigma(r)}{\partial r} \approx \frac{1}{\Delta r} G_\sigma(n\Delta r) - \frac{1}{\Delta r} G_\sigma((n-1)\Delta r) \quad (4)$$

이상에서 식 (3)을 이산적 형태로 바꾸면 식 (5)를 얻을 수 있다.

$$\max_{(n, j, r, y_0)} \left| \frac{1}{\Delta r} \sum_k \{ (G_\sigma((n-k)\Delta r) - G_\sigma((n-k-1)\Delta r)) \sum_m I[(k\Delta r \cos(m\Delta\theta) + x_0), (k\Delta r \sin(m\Delta\theta) + y_0)] \} \right| \quad (5)$$

여기서 Δr 은 반지름의 미소 증가량을 나타낸다. 홍채 내부 경계와 외부 경계는 원형이라고 가정하고 원주를 일정한 각도($\Delta\theta$)로 표본화(sampling)하여 각 점의 명암값을 더한다. 중심 좌표와 반지름을 바꾸어가면서 탐색하여 그 값의 변화가 최대가 되는 중심 좌표와 반지름을 찾아낸다. 이렇게 얻어진 중심 좌표와 반지름으로 만들어진 원을 홍채 경계로 한다.

2.2 Wildes 방법(Hough Transform)

Wildes은 홍채 경계를 추출하기 위해 표준 허프 변환(standard Hough Transform)을 사용하였다[5,9]. 홍채 영역을 추출을 위해 두 단계로 이루어지는 이 방법은 먼저 그레이 입력 영상을 이진 에지 영상으로 변화하여 에지 정보를 찾은 후, 구해진 에지 맵을 이용하여 홍채 경계를 표현하는 파라미터를 찾게 된다.

첫 번째 단계에서 에지 검출은 영상 미분의 기울기 연산자[11]를 이용하여 에지 검출을 하게 되고, 두 번째 단계에서는 허프변환을 이용하여 홍채의 경계를 특징짓는 파라미터인 중심점과 반지름을 찾는다. 첫 번째 단계에서 구해진 에지들을 $(x_i, y_i), i = 1, \dots, n$ 이라 할 때, 허프변환은 아래 식 (6)로 정의된다.

$$H(x_c, y_c, r) = \sum_{i=1}^n h(x_i, y_i, x_c, y_c, r) \quad (6)$$

여기서,

$$h(x_i, y_i, x_c, y_c, r) = \begin{cases} 1, & \text{if } g(x_i, y_i, x_c, y_c, r) = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$g(x_i, y_i, x_c, y_c, r) = (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 - r^2 \quad (8)$$

이 방법은 각각의 에지점에 대하여 허프변환을 이용해 원을 표현하는 3차원 파라미터 공간으로 누적시킨 후 허프공간 $H(x_c, y_c, r)$ 에서 최대가 되는 중심점 (x_c, y_c) 과 반지름 r 을 찾아 홍채를 모델링 하는 원을 찾게 된다. 모든 에지점에 대한 3차원의 파라미터 공간으로의 변환한 결과를 3차원 누적배열(accumulator array)에 누적인 후 누적 빈도가 최대가 되는 파라미터 점을 찾기 때문에 많은 기억공간을 필요로 하고 계산량이 많다.

2.3 가변 원형 템플릿

가변 원형 템플릿을 이용한 방법은 원형 템플릿의 반지름과 중심점을 원형인 동공에 정합되는 방향으로 조정해 나가는 방식이다[10]. 영상의 영역적 특성을 조사

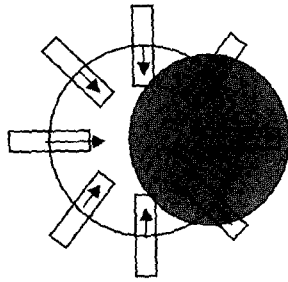


그림 3 가변 원형 템플릿

하기 위해 그림 3과 같이 원형 주변에 경계를 따라 작은 윈도우를 사용한다. 그림에서 회색 원은 동공을, 그 왼쪽 원은 템플릿을 나타내며 템플릿 경계에 있는 사각형은 윈도우들이다.

각 윈도우 W 에 대해 다음 식 (9)와 같이 템플릿을 이동하기 위한 윈도우 힘(window force) f_w 을 계산해서 템플릿의 반지름과 중심점을 바꾸어 나간다.

$$f_w(\theta) = \frac{\sum_{(x,y) \in W} I(x,y)}{\text{size}(W)} - \frac{255}{2} \quad (9)$$

여기서 θ 는 윈도우의 중심이 원형 템플릿의 중심과 이루는 각도를 나타낸다. 이동할 때마다 다음과 같이 수축·팽창 힘(resizing force) f_{resize} 과 이동 힘(movement force) f_{move_x} 와 f_{move_y} 를 계산한다.

$$f_{resize} = \int_0^{2\pi} f_w(\theta) d\theta \quad (10)$$

$$f_{move_x} = \int_0^{2\pi} f_w(\theta) \cos(\theta) d\theta,$$

$$f_{move_y} = \int_0^{2\pi} f_w(\theta) \sin(\theta) d\theta \quad (11)$$

이와 같이 구해진 f_{resize} , f_{move_x} 혹은 f_{move_y} 가 임계값 ϵ 보다 크면 원형 템플릿을 변경하고 그렇지 않으면 변경을 멈춘다.

이 방법은 이진화된 영상에 대해 적용되는데, 정확한 원을 이진화하는 임계값과 템플릿의 초기 위치에 따라 성능이 많이 좌우된다.

2.4 히스토그램 분석법

히스토그램 분석법에 의한 방법은 홍채 영상 전체의 히스토그램을 분석하여 동공을 이진화 한 후, 이진화된 동공의 양끝 경계에서 중점을 산출하여 동공의 중심점과 반지름을 찾는 방법이다[12].

눈 영상 전체 신호에 대한 히스토그램의 분포를 살펴보면 동공 영역이 명암값이 제일 낮은 부분에 위치해 있고, 또한 동공 영역과 다른 부분들 사이에 깊은 골이 존재하므로 처음 만나는 극소점을 찾아 임계값으로 설정하여 이진화하면 동공을 효과적으로 분리해 낼 수 있

다. 간혹 그림자나 눈썹이 동공 신호와 겹쳐져서 극소점 결정에 대하여 차이를 보이지만, 이러한 차이는 크지 않기 때문에 동공 신호를 분리해 내는데 큰 영향은 없다.

이렇게 이진화 된 동공 영상에서 일정 영역을 수직축과 수평축으로 탐색한 후, 동공의 양끝 경계에서 평균 중점을 산출하여 동공을 모델링 하는 원의 중심점 (x_0, y_0) 와 반지름 r 을 찾는다. 수평 및 수직 중심 산출을 위해 2개의 선분중점을 이용하는 경우 중심점과 반지름은 다음과 같이 계산한다.

$$x_0 = \frac{x_{1max} + x_{1min} + x_{2max} + x_{2min}}{4} \quad (12)$$

$$y_0 = \frac{y_{1max} + y_{1min} + y_{2max} + y_{2min}}{4} \quad (13)$$

$$r = \frac{x_{0max} - x_{0min}}{2} \quad (14)$$

동공 경계의 왜곡에 대한 영향을 줄이기 위해서, 중심을 산출할 때 탐색한 각 라인에서의 중점을 평균하였다. 반지름은 중심점에서 수평선을 그어 만나는 두개의 경계점 (x_{0max}, x_{0min}) 으로 만들어지는 선분의 길이를 이동 분하였다.

2.5 가중치를 적용한 허프변환

동공 추출에 알맞게 변형된 허프변환을 사용한 방법이다. 동공을 눈썹의 영향을 받는 부분과 영향을 받지 않는 부분으로 구분한 후, 원 추출을 위한 허프변환 시 구분된 각 영역에 대해 다른 가중치를 적용하여 동공을 모델링 하는 원을 찾아내는 방법이다[13].

전처리 단계에서는 [12]의 히스토그램 분석 방법으로 이진화 한 후, 에지 추출을 한 결과를 세선화하여 동공 경계 부분 에지 픽셀들을 구한다. 동공 영역은 눈꺼풀에 의해 일부가 가려질 수 있으므로 그림 4와 같이 4개의 영역으로 나누었다.

그림에서 A, C는 동공 경계가 항상 존재하는 영역이고, B는 윗눈꺼풀과 속눈썹의 영향을 받는 영역이고, D는 아랫눈꺼풀의 영향을 받는 영역이다. 이 방법은 기본적으로 Wildes[5,9]와 마찬가지로 허프변환을 사용하지만 영역에 따라 가중치를 주는 것이 다르다. 즉, 식 (6)을

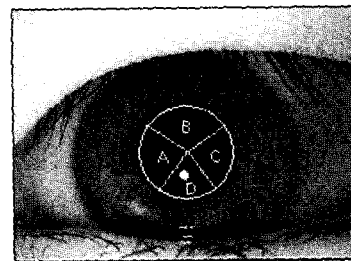


그림 4 동공 경계에 따른 동공 영역 구분

$$H(x_c, y_c, r) = \sum_{i=1}^n w(x_i, y_i) h(x_i, y_i, x_c, y_c, r) \quad (15)$$

으로 바꾸었다. 여기서, $w(x_i, y_i)$ 는 예지 (x_i, y_i) 가 위치한 영역에 따라 정해지는 가중치로서

$$w(x_i, y_i) = \begin{cases} 1, & \text{if } (x_i, y_i) \in A, C \\ w_s, & \text{if } (x_i, y_i) \in B \\ 0, & \text{if } (x_i, y_i) \in D \end{cases} \quad (16)$$

이고, $0 \leq w_s \leq 0.5$ 로 정했다.

홍채 경계는 동공 경계와 달리 경계의 불러가 심해 홍채 경계의 예지를 정확히 찾기 힘들고, 눈썹과 눈꺼풀에 의해 홍채의 상당 부분이 가려져 있어 허프변환을 위한 데이터가 충분하지 않은 경우가 있다. 그러므로 [13]에서는 홍채 경계를 찾기 위해서는 기존의 원형 경계 검출기와 최소 자승법을 함께 사용한 알고리즘을 제안하였다.

Daugman이 사용했던 원형 경계 검출기를 좌·우에 대해 나누어 수행하여 좌측 홍채 경계 우측 홍채 경계를 각각 찾는다. 그리고 구해진 홍채의 좌측과 우측 경계 모델에서 샘플점들을 추출한 후 샘플점들로부터 다시 홍채 경계를 모델링하는 원을 결정한다. 샘플점들을 (x_i, y_i) 라고 하면 다음의 자승에러 합 J 를 최소화하는 x_0, y_0, r 을 구한다[16,17].

$$J = \sum_{i=1}^n [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 - r^2]^2 \quad (17)$$

x_0, y_0, r 은 다음과 같이 구해진다.

$$x_0 = \frac{B_y C_x - B_x C_y}{A_x B_y - A_y B_x}, \quad y_0 = \frac{A_y C_x - A_x C_y}{A_y B_x - A_x B_y},$$

$$r^2 = \frac{1}{n} \sum [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2] \quad (18)$$

여기서 계수 $A_x, A_y, B_x, B_y, C_x, C_y$ 는 다음과 같다.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i$$

이라면

$$A_x = \sum (x_i - \bar{x})x_i, \quad B_x = \sum (x_i - \bar{x})y_i,$$

$$C_x = \frac{1}{2} \sum (x_i - \bar{x})(x_i^2 + y_i^2),$$

$$A_y = \sum (y_i - \bar{y})x_i, \quad B_y = \sum (y_i - \bar{y})y_i,$$

$$C_y = \frac{1}{2} \sum (y_i - \bar{y})(x_i^2 + y_i^2) \quad (19)$$

3. 홍채 영역 추출

홍채영역은 원으로 모델링할 수 있으므로 앞 절에서 설명한 원형 경계 검출기를 이용하는 것이 가장 정확하다. 그러나 이 방법은 전역적 탐색(exhaustive search)에 의존하기 때문에 계산 시간이 많이 걸린다. 앞 절에서 설명한 경험적 규칙들(heuristic rules)은 계산시간을

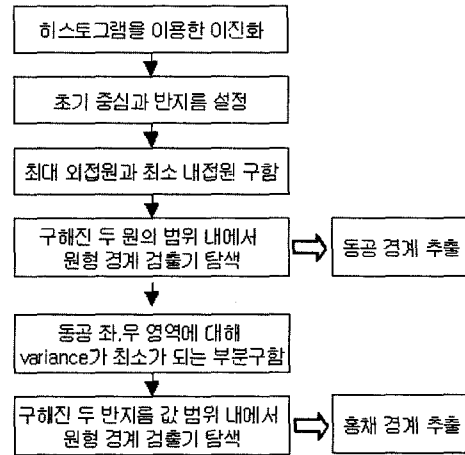


그림 5 개선된 홍채 영역 추출 알고리즘

줄일 수는 있지만 정확성이 떨어지는 단점이 있다.

본 논문에서는 원형 경계 검출기와 동일한 정확도를 가지는 고속 알고리즘을 제안한다. 그림 5에 흐름도를 보인다. 제안된 방법은 홍채 영역 추출 문제가 가지는 다양한 제한조건을 부가하여 탐색 영역을 줄이고 있다. 본 논문에서는 640×480 영상에 대해 기술한다. 영상 크기가 달라지면 파라메터만 변경해서 같은 방법을 사용할 수 있다.

3.1 동공 경계 검출

동공은 원형이라고 가정하고 원형 경계 검출기를 사용한다. 그러나 동공 경계가 위치할 수 있는 외접원과 내접원을 구하여 그 사이에서만 탐색하게 함으로서 탐색영역을 줄인다.

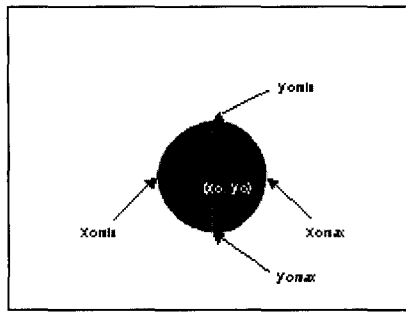
3.1.1 중심 탐색 범위

먼저 2.4절에서와 같이 영상의 히스토그램에서 동공과 그 외 영역 사이에 존재하는 골의 값을 찾아 이진화 한다. 이진화된 영상에는 잡음이 포함될 수 있으므로 이진화된 영상에 대해 영역 레이블링(region labeling)을 하여 면적이 임계치(본 논문에서는 20으로 정했음) 이하인 영역은 제거한다. 이진화된 영상을 $F(x, y)$ 라면 동공의 초기 중심점 (x_c, y_c) 은 다음과 같이 추정한다.

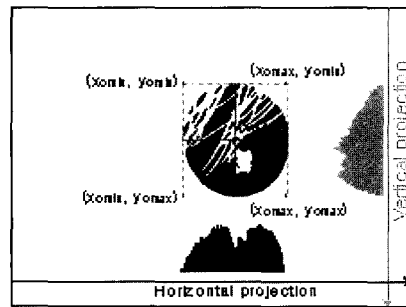
$$x_c = \frac{\sum_i \sum_j x \cdot F(x, y)}{\sum_i \sum_j F(x, y)}, \quad y_c = \frac{\sum_i \sum_j y \cdot F(x, y)}{\sum_i \sum_j F(x, y)} \quad (20)$$

(x_c, y_c) 를 중심으로 그림 6(a)과 같이 수직, 수평선을 그린 후 동공 영역에서의 x축 범위 (x_{cmax}, x_{cmin}) 과 y축 범위 (y_{cmax}, y_{cmin}) 를 구한다. 이들을 이용하여 동공의 초기 반지름 r 을 다음과 같이 설정한다.

$$r = \frac{(x_{cmax} - x_{cmin}) + (y_{cmax} - y_{cmin})}{4} \quad (21)$$



(a)



(b)

그림 6 동공 초기 위치 설정

동공이 눈썹에 의해 많이 가려진 경우에는 이진화를 하였을 때 그림 6(b)와 같이 여러 영역으로 분리되어 나타난다. 이 경우는 위와 같이 동공 영역의 무게 중심을 구하는 방법이 적당하지 않으므로 영상의 수직·수평 투영(그림 6(b)참조)을 이용하여 중점을 구한다. 이진화된 영상에 대해 영역 레이블링 한 결과 영역 개수가 두 개 이상인 경우는 눈썹에 의해 동공이 분리되는 영상으로 판단한다. 이 경우 수직 투영과 수평 투영의 정보를 이용하여 얻은 x축의 범위가 (x_{cmin}, x_{cmax}) 이고 y축의 범위가 (y_{cmin}, y_{cmax}) 라면, 동공의 초기 중심점 (x_c, y_c) 과 반지름 r 을 다음과 같이 설정한다.

$$x_c = \frac{x_{cmax} + x_{cmin}}{2}, y_c = \frac{y_{cmax} + y_{cmin}}{2} \quad (22)$$

$$r = \frac{(x_{cmax} - x_{cmin}) + (y_{cmax} - y_{cmin})}{4} \quad (23)$$

3.1.2 반지름 탐색 범위

반지름 탐색 범위를 설정하기 위하여 먼저 이진화로 구해진 동공 영역의 모든 경계 픽셀들을 탐색하며 초기 동공 중심점과의 거리를 구한다. 그 중 가장 먼 거리는 동공 영역을 포함하는 외접원의 반지름을 나타내고, 가장 가까운 거리는 동공 영역에 포함되는 내접원의 반지름을 나타내게 된다. 구하고자 하는 동공 영역은 내접원과 외접원 사이에 있으므로 원형 경계 검출기의 탐색

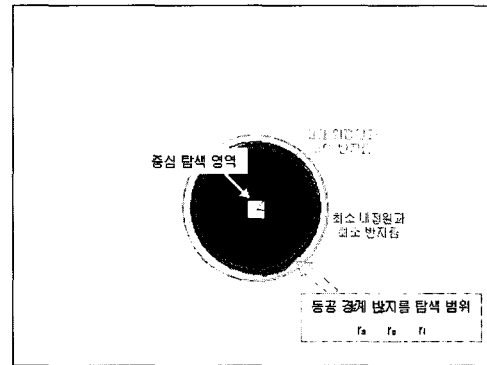


그림 7 동공 경계 탐색에 의한 최대·최소 반지름 설정

범위를 내접원과 외접원 사이로 제한할 수 있다. 이진화된 동공 영역이 완전한 원형인 경우 초기 중심점이 원의 동공 영역의 정확한 중심이라면 내접원과 외접원은 같지만 초기 중심점이 동공 영역의 정확한 중심이 아니면 두 원의 크기는 달라진다. 두 원은 원형경계 탐색 과정에서 변하지 않는다.

내접원과 외접원의 중심은 초기 동공 중심점 (x_i, y_i) 이고 반지름을 각각 r_s, r_i 이라고 하자. 원형 경계를 탐색할 원의 중심과 반지름을 $(x_0, y_0), r_0$ 이라 하면 이 원은 외접원과 내접원 사이에 있어야 하므로 다음 조건을 만족해야 한다.

$$(r_s - r_0)^2 \leq (x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 \leq (r_i - r_0)^2 \quad (24)$$

이 조건을 만족하는 $(x_0, y_0), r_0$ 에 대해서만 식 (5)의 원형 경계 탐색법을 적용한다.

위와 같이 구해진 동공 경계의 중심점을 (x_p, y_p) , 반지름을 r_p 라고 한다.

3.2 홍채 경계 검출

홍채영역은 동공과 같이 명암값으로 구별하기 힘들고 경계부분도 완만한 에지를 이루고 있어 에지 검출 방법을 사용하기도 힘들다. 분산을 이용하여 경계의 범위를 구한 후 동공 경계 검출에 사용했던 제한 조건을 이용하여 원형 경계 검출기로 탐색을 한다.

3.2.1 중심점 탐색 범위

일단 홍채 중심과 동공 중심은 같다고 가정해서 홍채 중심점의 초기값을 동공 중심점으로 한다. 실제로는 홍채 중심과 동공 중심은 비슷한 위치에 있지만 반드시 일치하지는 않는다. 이들의 편차가 어느 정도인지는 원형 경계 검출법으로 구한 홍채 중심과 앞 절에서 구한 동공 중심과의 차이를 통해 알 수 있다. 50장의 홍채 영상에 대해 홍채 중심에 대한 동공 중심의 상대적인 위치를 분석한 결과 홍채 중심의 탐색영역은 동공 중심을 기준으로 ± 20 픽셀 범위 이내에 있었다.

3.2.2 반지름 탐색 범위

영상에서 공막 영역의 분산이 홍채 영역의 분산보다 작다는 정보를 이용하여 탐색 범위를 설정한다. 동공 중심점 (x_p, y_p) 을 포함하는 수평 선분 상에 존재하는 픽셀들에 대해 일정 윈도우 영역의 분산을 구한 후, 동공의 좌·우의 분산 탐색 영역에 대하여 그 값이 가장 최소가 되는 부분을 찾아 동공 중심점 (x_p, y_p) 과의 거리를 구하여 최대, 최소 반지름으로 설정한다.

먼저 분산 탐색 영역 설정은 홍채 반지름의 분포를 이용하여 효과적으로 제한할 수 있는데, 50장의 홍채 영상에 대한 홍채 반지름의 분포를 분석하여 최소 190픽셀, 최대 240 픽셀 범위 내로 제한하였다.

(x, y) 를 중심으로 크기가 $n \times n$ 인 윈도우 내의 픽셀들 $I(x_i, y_i)$ 의 분산 $var(x, y)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다. (본 논문에서는 $n=30$ 으로 하였다.)

$$var(x, y) = \frac{1}{n^2} \sum \sum (I(x_i, y_i) - \overline{I(x, y)})^2 \quad (25)$$

여기서,

$$\overline{I(x, y)} = \frac{1}{n^2} \sum \sum I(x_i, y_i) \quad (26)$$

동공 중심 (x_p, y_p) 을 지나는 수평 라인의 분산 프로파일에서 왼쪽 홍채 경계 (x_l, y_p) 와 오른쪽 홍채 경계 (x_r, y_p) 를 구한다. x_l 과 x_r 은 다음과 같이 구한다.

$$x_l = \arg \min_{x_p - 190 \leq x_l \leq x_p - 240} var(x_l, y_p) \quad (27)$$

$$x_r = \arg \min_{x_p + 190 \leq x_r \leq x_p + 240} var(x_r, y_p) \quad (28)$$

그림 8에 x_l 과 x_r 을 구하기 위한 탐색영역의 예를 보인다. $x_p - x_l$ 과 $x_p - x_r$ 는 홍채 반지름이 된다. 이들 중에서 큰 값을 최대반지름 r_u , 작은값을 최소반지름 r_o 으로 설정하여 홍채 경계 추출을 위한 원형 경계 검출기의 반지름 탐색 범위를 두 범위 내로 제한한다.

홍채경계도 동공경계와 마찬가지로 외접원과 내접원 사이로 탐색공간을 제한한 원형 경계 검출기를 사용하여 찾는다. 외접원과 내접원의 중심점은 동공의 중심점, 즉 (x_p, y_p) 이고 반지름은 각각 r_u, r_o 이다. 탐색할 홍채경계의 중심과 반지름을 $(x_0, y_0), r_0$ 이라 하자. 동공의 경우와 같이 홍채 경계를 탐색할 때도 원형 경계

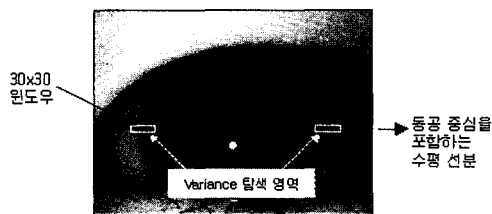


그림 8 홍채 반지름 탐색 영역

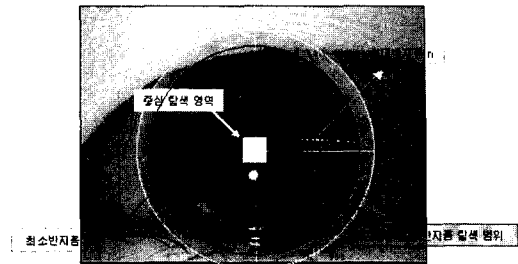


그림 9 홍채 탐색 영역

검출기를 사용한다. 그러나 탐색할 경계가 외접원과 내접원 사이에 있는 원이므로 다음 식 (29)의 제한 조건 내에서만 탐색을 한다. 그림 9에 홍채 탐색 영역의 예를 보인다.

$$(r_v - r_o)^2 \leq (x_p - x_0)^2 + (y_p - y_0)^2 \leq (r_u - r_o)^2 \quad (29)$$

아울러, 3.2.1절에서 언급한 바와 같이 홍채 중심 (x_0, y_0) 은 동공 중심 (x_p, y_p) 부근에 있으므로 $x_0 = x_p \pm 20, y_0 = y_p \pm 20$ 로 탐색영역을 제한하였다.

4. 실험 결과 및 분석

동공 경계 검출과 홍채 경계 검출 등 두가지 문제로 나누어 제안된 방법과 기존의 방법의 성능을 비교하는 실험을 수행하였다. 성능은 수행 속도와 검출 정확도로 비교하였다. 실험에 사용된 영상은 640x480크기로, 총 75장을 사용하였다.

기존의 방법으로는 원형 경계 검출기[5,9], 히스토그램 분석법[12], 가중치를 적용한 허프변환[13]을 사용하였다.

[13]에는 전처리 단계에서 사용한 알고리즘과 동공을 분리한 영역이 구체화 되어있지 않았기 때문에 다음과 같이 구현하였다.

- 이진화된 영상의 에지추출을 위해서는 Sobel 마스크를 사용하였고, 세션화 알고리즘으로는 Zhang-Suen 방법을 사용하였다[18].
- 동공 경계에 따른 동공 영역의 분리는 A와 C영역은 각각 90°, B영역은 120°, 그리고 D 영역은 60°도 설정하였다.

원형 경계 검출기를 사용해서 동공 경계를 찾는 경우 중심 탐색 조건을 제안한 방법과 동일하게 설정하기 위하여, 제안된 방법에서 이용한 동공 초기 위치 추출 알고리즘을 사용하였고, 중심 탐색 범위는 x축 y축으로 각각 ± 10 으로 설정하였다. (제안된 방법에서도 식 (24)의 탐색범위를 $x_0 = x_i \pm 10, y_0 = y_i \pm 10$ 로 하였다.) 반지름 탐색 범위는 초기 반지름 r 에서 $\pm r/2$ 픽셀로

탐색하도록 설정하였다.

원형 경계 검출기를 사용해서 홍채 경계를 찾을 때는 반지름 탐색 범위를 초기 반지름 r 에서 $+r/2 \sim 300$ 픽셀 범위로 탐색하였고, 중심 탐색 범위는 앞 장에서 제안된 방법과 마찬가지로 설정하였다.

모든 방법에서 Δr (반지름 증분)과 $\Delta \theta$ (원주 방향 샘플링 간격)는 각각 1로 하였다. 원형 경계 검출기를 이상적인 것으로 보고, 다른 방법에 구한 중심점 및 반지름과 원형 경계 검출기의 결과의 차이를 오차라고 하였다.

4.1 동공 경계 검출 성능 비교

각 방법이 동공 경계를 검출하는데 걸리는 계산시간과 오차를 비교한 것을 표 1에 보인다.

히스토그램 분석법을 이용한 동공 경계 검출 방법은 평균 수행 속도 면에서 우수함을 보였지만, 이진화를 위한 임계치 설정값이 주변 환경의 변화에 매우 민감하기 때문에 실제 동공 경계와의 에러가 발생할 수 있다. 가중치를 적용한 허프변환을 이용한 경우에도 역시 이진화를 이용하여 추출한 영상을 기반으로 하기 때문에 경계 에러가 발생하였으며, 제안한 방법보다 처리 시간이 더 소요되었다.

제안한 방법은 최소 탐색 영역과 반지름의 조건 검색을 설정함으로써 기존 원형 경계 검출기와 동일하게 안정된 경계를 검출하지만, 수행 속도 면에서는 훨씬 뛰어난 성능을 보임을 확인할 수 있다.

4.2 홍채 영역 검출 성능

구현한 4가지 영역 추출 방법에 대하여 동공 경계와 홍채 경계 검출의 총 성능을 비교한다. 히스토그램 분석법[12]에서 제안한 효율적인 탐색을 위한 영역 설정 방법은, 실험 환경에 따른 변수가 크고 실제 본 논문에서 사용한 영상에 대하여는 적용되지 않았다. 그리고 가중치를 적용한 허프변환[13]의 경우, 홍채 경계 추출 시 기존의 원형 경계 검출기를 이용하여 양쪽 홍채 경계를 찾

은 후 최소 자승법을 통하여 홍채를 모델링 하는 원을 찾게 되는데, 이는 원형 에지 검출기를 이용한 기존의 방법에 최소 자승법의 처리 시간이 더 소요된다. 때문에 홍채 경계를 검출하는 경우에는 원형 에지 검출기와 제안된 방법만을 비교하였다. 실험 결과는 다음과 같다.

결과에서 보인 것 같이 제안된 방법은 원형 경계 검출법과 마찬가지로 동공 경계와 홍채 경계를 정확히 찾는다. 계산 시간은 동공 경계의 경우 약 4.4배, 홍채 경계의 경우 약 11배 빨라져, 전체적으로 약 8배 정도 빨라진다. 중심점 탐색 공간이 같은데도 이렇게 빨라지는 것은 내접원과 외접원으로 구성된 제한조건이 효율적이라는 것을 의미한다. 히스토그램 분석법을 사용하면 동공 경계를 찾는 계산시간은 줄일 수 있지만 정확도가 떨어진다. 이 방법은 이진화 결과에 아주 민감하게 동작하는데, 눈썹 영역이 많은 경우나 글린트(glint)가 있는 경우 이진화로 동공 영역을 찾는데 오류가 발생한다. 가중치를 적용한 허프변환도 이진화를 사용하기 때문에 오류가 발생하며, 허프변환의 계산량이 많아 계산시간도 제안된 방법보다 오래 걸렸다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

홍채 패턴을 개인 신분 확인 수단으로 사용하기 위해서는 홍채 영상을 획득하고, 홍채 영역을 빠르고 정확하게 추출하여야 한다. 일관성 있는 홍채 영역 추출이 최종 인식에 미치는 영향은 크다. 홍채는 원으로 모델링 되는 것이 가장 타당하기 때문에 일반적으로 가장 많이 사용되는 홍채 영역 추출을 위한 방법은 원형 경계 검출기를 이용하는 방법이다. 그러나 이 방법은 동공 및 홍채 경계 탐색 시간이 많이 걸리기 때문에 실시간 처리가 필요한 상황에서는 높은 하드웨어 성능을 요구하게 된다. 따라서 본 논문은 이러한 경계 탐색 시간을 단축할 수 있는 방법을 제안하였다.

제안된 방법은 원형 경계 검출 방법과 같이 탐색 기

표 1 동공 경계 검출 성능 비교

방법	측정치	평균계산시간 (단위 : msec)	평균 오차 (단위 : 픽셀수)	
			중심점(x축, y축)	반지름
원형경계 검출기		537	.	.
히스토그램 분석법		61	(2.84, 1.66)	3.67
가중치를 적용한 허프변환		352	(2.93, 2.64)	2.11
제안된 방법		122	(0, 0)	0

표 2 홍채 경계 검출 성능 비교

방법	측정치	평균계산시간 (단위 : msec)	평균 오차 (단위 : 픽셀수)	
			중심점(x축, y축)	반지름
원형경계 검출기		1560	.	.
제안된 방법		141	(0, 0)	0

범을 사용하지만 문제에 대한 지식으로부터 제한조건을 추출하여 탐색 공간을 줄이도록 하였다. 이진화된 영상에서 동공의 초기 중심점과 내접원, 외접원을 찾아 이 두 가지 원안에서만 원형 탐색을 수행하도록 하였다. 이렇게 동공을 찾은 후 동공의 중심점에 대한 수평선을 그어 좌우 두개의 홍채 경계를 찾았다. 찾는 과정에서 탐색하는 픽셀을 중심으로 윈도우를 설정해 그 윈도우 내 분산이 가장 작게 되는 픽셀을 홍채 경계라고 설정하였다. 중심점과 두개의 홍채 경계로부터 홍채 내접원과 외접원을 만들어 두 원안에 홍채경계가 있다는 제한 조건으로 원형 경계 검출을 수행하였다.

실험결과 제안된 방법은 원형 경계 검출 방법과 오차 없이 동일한 결과가 나오는 반면, 계산 시간은 약 1/8로 줄어들을 수 있었다. 기존의 히스토그램 분석법은 제안된 방법보다 빠르지만 오류가 있고, 가중치를 적용한 허프변환 방법은 오류가 있을 뿐 아니라 계산시간도 제안된 방법에 비해 더 걸렸다.

본 논문에서는 내접원과 외접원 등 두개의 원으로 제한 조건을 만들어 탐색시간을 줄였다. 제한 조건 내에서는 전역적 탐색을 했는데 탐색이 진행됨에 따라 제한 조건을 엄격하게 만드는 등의 탐색 전략을 사용하면 탐색 시간을 더 줄일 수 있을 것이다. 또한 동공과 홍채를 원이 아니라 타원으로 모델링하는 것이 더 정확할 것이다. 이 경우 제한 조건을 가지는 탐색도 향후 연구과제로 둔다.

참 고 문 헌

- [1] Anil Jain, Lin Hong and Sharath Pankanti, "Biometric Identification," Communications of the ACM, Vol. 43, No. 2, pp.91-98, 2000.
- [2] B. Miller, "Vital Signs of Identity," IEEE Spectrum, Vol. 31, No. 2, pp. 22-30, 1994.
- [3] A.K. Jain, Ruud Bolle and Sharath Pankanti, Biometrics: *Personal Identification in Networked Society*, Kluwer, New York, 1999.
- [4] J.G. Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 15, No. 11, pp. 1148-1161, 1993.
- [5] R.P. Wildes, J.C. Asmuth, G.L. Green and S.C. Hsu, "A System for Automated Iris Recognition," Proceedings of the Second IEEE Workshop, Applications of Computer Vision, pp. 121-128, 1994.
- [6] 박영규, 고정 초점 흑백 CCD 카메라 환경에서 홍채 signature를 이용한 온라인 개인 식별, 연세대학교 박사 논문, 2000.
- [7] 송명섭, 홍채 인식을 위한 1차원 홍채 signature의 분석에 관한 연구, 연세대학교 석사 논문, 2000.
- [8] J.G. Daugman, *Recognizing Persons by Their Iris*

Patterns, Cambridge University, 1997.

- [9] Richard P. Wildes, "Iris Recognition : An Emerging Biometric Technology," Proceeding of IEEE, Vol. 85, No. 9, pp. 1348-1363, 1997.
- [10] Jyh-yuan Deng and Feipel Lai, "Region-Based Template Deformable and Masking for Eye-Feature Extraction and Description," Pattern Recognition, Vol. 30, No. 3, pp. 403-419, 1997.
- [11] D.H. Ballard and C.M. Brown, *Computer Vision*, Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1982.
- [12] 윤훈주, 개인 식별을 위한 홍채 영역 추출 연구, 연세대학교 석사 논문, 2000.
- [13] 이철한, 홍채 인식을 위한 눈 영상 획득 및 홍채 영역 추출에 관한 연구, 연세대학교 석사 논문, 2002.
- [14] Ramash Jain, Rangachar Kasturi and Brian G.Schunck, *Machine Vision*, McGraw-Hill, 1995.
- [15] Rafael C.Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1992.
- [16] David M.Mount and Nathan S. Netanyahu, "Efficient Randomized Algorithms For Robust Estimation Of Circular Arcs And Aligned Ellipses, Computational Geometry," Vol. 19, pp. 1-33, 2001.
- [17] Eric Groen, Jelte E. Bos, Peter F. M. Nacken, and Bernd de Graaf, "Determination of Ocular Torsion by Means of Automatic Pattern Recognition," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 43, No. 5, pp. 471-479, 1996.
- [18] J. R. Parker, *Practical computer vision using C*, John Wiley & Sons, Inc, 1993.



김 선 아

1996년 3월~2001년 2월 한림대학교
2001년 3월~2003년 2월 한림대학교 대학원.
2003년 3월~현재 Case Western Reserve University, Program Analyst.
School of Medicine, Department of Epidemiology and Biostatistics

김 백 섭

정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용
제 30 권 제 4 호 참조



송 성 호

1987년 2월 서울대학교 제어계측공학과
공학사. 1991년 2월 동대학원 공학석사
1995년 2월 동대학원 공학박사. 1991년
4월~1996년 2월 (주)우주정밀 연구원
1996년 3월~현재 한림대학교 정보통신
공학부 교수