

휴대폰에서의 홍채인식 연구

박강령(상명대학교 미디어학부, 생체인식연구센터)

요약

최근 휴대폰에서 개인 정보 보안의 중요성이 대두되고 있으며, 이에 따라 생체인식 기능을 내장한 휴대폰에 관심이 집중되고 있으므로, 본 논문에서는 휴대용 기기에 홍채인식기술을 적용하기 위한 방법을 제안하고자 한다. 기존의 홍채인식 알고리즘은 인식을 위해 확대된 홍채영상을 사용하여 처리하였고, 이러한 홍채영상을 획득하기 위해서 고 배율의 줌 렌즈(zoom lens)와 초점 렌즈(focus lens)를 사용하였다. 그런데, 휴대폰에서의 홍채인식을 시도하기 위해 줌렌즈와 초점렌즈를 장착하게 되면 가격이 상승하고 부피가 증가되어, 작고 휴대하기 편리한 휴대폰의 특징에 맞지 않아 사용하기 어려운 문제가 있다. 그러나 최근 휴대폰의 멀티미디어 기기 융복합 추세로 인해 휴대폰 내에 장착된 메가 픽셀 카메라(Mega-pixel Camera)의 성능이 급속히 발전함에 따라, 고 배율의 줌, 초점 렌즈 없이도 확대된 홍채영상의 획득이 가능하게 되었다. 즉, 메가 픽셀 카메라 폰을 사용하여 사용자로부터 원거리에서 취득한 얼굴영상에서 홍채 영역이 홍채인식을 위해 충분한 픽셀정보를 가지게 된다. 그러나 이러한 경우 입력 얼굴 영상에서 눈

영역을 먼저 찾는 과정이 요구된다. 본 논문에서는 이러한 얼굴영상에서 각막에 의해 반사되는 조명 반사광을 기반으로 휴대폰에서의 홍채인식을 위한 고속 동공검출 방법을 제안한다. 또한 입력 영상 신호를 디지털 신호로 변환하는 과정에서 밝기와 대조 값을 조정하여 동공의 검은 영역과 조명 밝은 반사 위치를 추출함으로써, 정확한 홍채 영역을 보다 빠르고 쉽게 추출할 수 있는 방법 역시 제안한다. 그리고 일반적으로 휴대폰에서 홍채 인식의 경우 손으로 들고 사용하므로, 손 흔들림에 의한 영상 흐림 현상이 빈번하게 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 영상 복원 기법을 적용하여 흐려진 홍채 영상을 복원하는 기법을 제안한다. 마지막으로, 휴대폰의 경우 실외에서 사용이 빈번함으로, 입력 홍채 영상에서 태양광에 의한 영향을 많이 받게 된다. 이러한 문제를 해결하여 홍채 인식 성능을 개선할 수 있는 방법 역시 소개하고자 한다.

1. 서론

생체인식기술은 얼굴, 지문, 홍채, 음성 등과

같은 신체 및 행동 특성에 근거하여 사람을 인식하고 식별하는 방법으로 보안을 목적으로 신분 확인 기술로 사용되고 있다^{1,2)}. 생체인식기술 중에서 홍채인식은 동공과 흰자위 사이에 존재하는 고유한 홍채 패턴을 사용하여 인식하는 방법으로 인식기와 직접적인 접촉 없이 인식이 가능하며 다른 생체인식기술 보다 높은 정확성과 신뢰성을 갖는다^{3,4)}.

최근 휴대폰은 MP3 및 게임플레이어, 교통카드, 모바일 뱅킹 등의 기능을 포함하여 점차 발전하고 있으며, 이것은 휴대폰에서의 개인 정보의 보안이 점점 중요하게 되었다는 것을 의미한다. 정보 보안의 기능을 가진 GI100(펜텍& 큐리텔)와 LP3550(LG전자)등의 지문인식 폰은 이미 시판되고 있으나, 이는 지문인식을 위한 DSP칩과 지문인식 센서를 추가하였기 때문에 다른 휴대폰에 비해 가격이 비싸고 크기가 크다. 게다가 지문인식센서는 휴대폰에서의 크기제약으로 인해 작아져야 하며, 이는 비 신뢰적 인식성능을 야기하므로, 지문인식 폰은 아직 대중적으로 널리 사용되지 않고 있다. 일반적으로 홍채인식의 성능은 홍채영상의 크기에 의해 주로 결정^{3,4)}되므로, 고 인식을 위해서는 홍채영역의 지름이 약 200픽셀 이상인 홍채영상의 사용을 요구되고 있다. 이러한 영상을 획득하기 위해서는 큰 배율의 줌렌즈와 초점렌즈의 사용이 필요하나, 휴대폰에 줌 렌즈와 초점렌즈를 장착하기에는 가격적 측면과, 휴대폰의 부피가 늘어나기 때문에 실질적이지 않다. 그러나 휴대폰의 빠른 발전으로 메가 픽셀 카메라가 등장하였고, 이는 큰 배율의 줌 렌즈와 초점렌즈의 사용 없이도 확대된 홍채영상의 획득이 가능하게 되었다. 메가 픽셀 카메라 폰을 사용하여 사용자로부터 원거리(30-40cm)에서 취득한 얼굴영상(일반적으로 카

메라에서 눈까지 거리가 멀수록 인식 시 사용자는 더 편안함을 느낌)에서 홍채 영역은 홍채인식을 위해 충분한 픽셀정보를 가질 뿐만 아니라, 카메라 폰의 화각(viewing angle)은 비교적 광각을 가질 수 있기 때문에 결과적으로 초점이 맞는 홍채영상을 획득할 수 있는 DOF(Depth of field)가 커지게 된다.

그런데 이처럼 얼굴 영상을 취득하게 되면 이로부터 사용자의 눈 영역을 빠르게 검출해야 이 정보를 바탕으로 사용자의 홍채 영역을 고속으로 검출할 수 있다.

기존에 연구된 눈 검출 방법은 두 가지 범주로 분류할 수 있다. 첫 번째는 가시광선 하에서 취득한 눈 영상에서 눈의 모양과 그레이 분산을 기반으로 눈을 검출하는 방법이고⁵⁾, 두 번째 범주는 근적외선 하에서 취득한 영상에서 동공의 분광적(spectral) 특성을 활용하는 방법이다⁶⁾.

그러나 이러한 모든 눈 검출 알고리즘은 휴대폰이라는 제약적인 환경을 고려하지 않았으며, 휴대폰에서 사용하기에 복잡한 연산을 사용하였다. 최근에 Viola and Jones가 제안한 방법은 NOKIA 휴대폰에서 사용가능하도록 적용되었으나⁷⁾, 알고리즘 처리를 위해 별도의 DSP칩이 추가되었다.

이처럼, 기존에 휴대폰 환경에서의 홍채인식 연구가 거의 조사된바가 없기 때문에 이 논문에서는 본 생체 인식 연구센터에서 주로 수행하고 있는 연구를 위주로 기술을 소개하고자 한다.

본 연구에서는 전술한 기존 방법들의 문제점을 해결하고 휴대폰에서의 홍채인식을 위해, 각막에 반사된 조명 반사광을 기반으로 눈 위치의 검출과 빠른 동공 검출 방법을 제안한다. 또한 입력 영상 신호를 A/D 변환하는 과정에서 밝기 값(brightness)과 대조값(contrast)을 조정하여

동공의 검은 영역과 조명 반사 위치를 추출함으로써, 정확한 홍채 영역을 보다 쉽게 추출할 수 있는 방법 역시 제안한다. 그리고 일반적으로 휴대폰에서 홍채 인식의 경우 손으로 들고 사용하므로, 손 흔들림에 의한 영상 흐림 현상이 빈번하게 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 영상 복원 기법을 적용하여 흐려진 홍채 영상을 복원하는 기법을 제안한다. 마지막으로, 휴대폰의 경우 실외에서 사용이 빈번하므로, 입력 홍채 영상에서 태양광에 의한 영향이 크게 된다. 이러한 문제를 해결하여 인식 성능을 향상할 수 있는 방법 역시 소개하고자 한다.

II. 휴대폰에서 고속 홍채검출 알고리즘

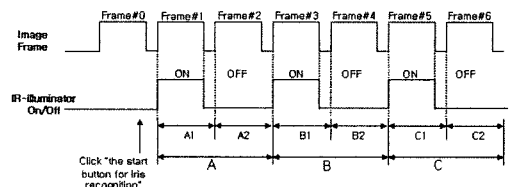
휴대폰의 홍채인식시스템을 시작하고, 인식 시작버튼을 누르면, 휴대폰에 장착된 적외선 조명을 켜고 α 면서 그림 1과 같이 6장의 얼굴영상을 연속적으로 취득하게 된다.

본 연구에서는 3M 화소 휴대폰 카메라를 사용하므로, 2048*1536 픽셀 사이즈의 취득된 영상들은 처리속도를 높이기 위해서 가로·세로 각각 1/6배씩 341*256픽셀로 다운 샘플링(down sampling)한다. 연속으로 얻어진 영상에서 피사체의 움직임에 의한 흐림 현상(motion blur)이 존재한다면, 각 영상의 동일위치에서의 해당 픽셀 밝기 값의 차이가 많이 나게 되므로, 영상 취득 시 움직임에 의한 흐림 현상(motion blur)의 정도는 조명이 켜진 상태에서 취득한 영상간의 픽셀 밝기 차이로 판별 할 수 있다 (그림1에서 $(|A1-B1| + |B1-C1|)/2$). 이 차이 값이 정해진 임계치 (평균 5)보다 크다면, 이 영상은 홍채인식이 불가능할 정도의 흐림 현상이 발생한 영상으로 판단하여 영상을 다시 취득한다. 반면 이

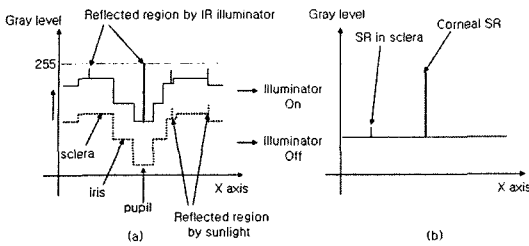
차이 값이 임계치보다 낮을 경우에는 흐림 현상이 없거나 낮은 영상으로 판단하고, 다음 단계로 영상 내에 태양광이나 외부 할로겐 조명의 영향이 있는지 판별한다. (일반적으로 홍채 인식용 카메라에는 적외선 투과 필터가 장착되어 있으며, 이를 통해 일반 실내 형광등 빛은 다 차단이 되지만 할로겐 조명 및 외부 태양광은 상당부분 홍채 카메라에 입력됨)

일반적으로 태양광이 존재하는 영상은 각막에 반사되는 조명반사광의 후보지(candidate)가 태양광이 존재하지 않은 영상보다 많이 생기게 되므로 처리시간이 오래 걸리거나, 잘못된 조명 반사광의 위치를 찾을 확률이 높아지게 된다. 태양광이 존재하는 영상은 조명을 On/Off한 영상간의 차 영상(그림 1에서 A1과 A2)으로 각막에 반사되는 조명반사광(cornea specular reflection)의 후보지를 검출한다.

영상 내에 태양광의 영향이 존재하는지 판별하기 위해 카메라 조명을 β 고 촬영한 영상의 (그림 1에서 A2) 평균밝기를 측정한다. 이 값이 임계치(평균 50)를 초과할 경우, 할로겐 조명이나 태양광과 같은 외부조명의 간섭이 존재한다고 판단하게 된다. 이때, 아래 그림 2와 같이 조명을 On/Off한 영상 간의 차 영상을 구하여, 조명반사광 후보지의 크기와 밝기를 검사함으로써 외부 조명에 의해 발생하는 조명반사광의 영향을 줄일 수 있게 된다. 그림2(a)는 조명



〈그림 1〉 조명On/Off에 따른 연속 영상 촬영



〈그림 2〉 조명 On/Off 시 취득된 눈영상 및 차영상의 수평 프로파일 : (a) 조명 ON/Off 시에 취득된 눈 영상의 수평 gray level 프로파일 (b) 조명 ON/OFF 영상의 수평 gray level 프로파일간의 차이

On/Off시에 촬영한 눈 영상의 수평그레이 레벨의 프로파일이고, (b)는 수평 그레이레벨 프로파일간의 차이를 나타낸 것이다. 그림2 (b)로부터 다른 지역보다 각막에 반사되는 조명반사광의 그레이 레벨이 더 높다는 것을 알 수 있으므로, 외부조명의 영향을 제거함으로써 각막(동공 내부)에 생기는 조명반사광을 검출할 수 있다.

이때 만약 각막에 의한 조명반사광의 후보가 입력영상에서 존재하지 않는다면 조명 On/Off 영상의 다음 쌍(그림1에서 B1, B2)을 사용하여 위와 동일한 방법으로 처리한다. 조명 반사광을 추출하기 위하여 조명 반사광 후보지의 크기와 수평·수직 지름간의 비율을 사용하여 라벨링을 수행하여 정확하고 빠르게 각막의 조명반사광을 검출하였다. 일반적으로 각막의 조명 반사광이 동공 영역에 존재하므로 각막의 조명반사광 검출 후 동공이 존재 가능한 범위인 30*30픽셀의 후보박스를 씌워 동공영역을 검출하였다. 여기에서 박스의 크기는 동공의 크기가 외부조명의 밝기에 따라 2mm에서 8mm로 가변적으로 변하기 때문에 이를 기반으로 홍채카메라의 줌 배율(magnification factor) 19.3 pixels/mm를 같

이 고려하여 결정하였다. 계산결과, 입력영상(2048*1536)에서 동공의 지름은 39~154픽셀이고 수직, 수평으로 각각 1/6씩 다운 샘플링한 영상에서는 6.5~25.7픽셀이었으며, 여분을 고려하여 30*30픽셀 크기의 박스를 본 연구에서는 사용하였다.

동공 영역이 일반적으로 다른 영역보다 어둡기 때문에 본 연구에서는 박스 내에서 이진화를 수행하여 동공 영역을 검출하였다. 동공 이진화를 위해 후보 박스 내의 평균 밝기 값을 고려하여 이진화 임계치를 정하고, 동공의 이진화를 수행한다. 이진화된 영상으로부터 수평 수직 히스토그램을 사용하여 x, y위치의 가중치 평균을 기반으로 동공의 중심위치를 얻었다. 대부분 휴대폰의 ARM 프로세서가 부동 소수점(Floating point) 보조처리기(Co-processor)를 가지고 있지 않기 때문에 본 알고리즘에서는 고속 검출을 위하여 부동 소수점 연산을 사용하지 않았다. 또한 이를 위해 검출된 각막의 반사된 조명반사율의 수평지름에 상응하는 수직 지름의 정보를 참조 테이블(look-up table)에 미리 저장하여 사용하였다.

이때, 만약 조명을 끄고 촬영한 영상의(그림 1에서 A2) 평균 밝기 값이 임계치(평균 50)보다 작으면, 태양광이나 외부조명의 영향이 없다고 간주하고, 조명이 켜진 영상(그림 1에서 A1)에서 전술한 과정을 반복하여 동공 영역을 검출하게 된다.

III. 입력 영상 신호의 밝기와 대조값을 조정하여 휴대폰에서 고속 홍채검출 알고리즘

이외에도 본 연구에서는 휴대폰에서 적합한

동공 및 홍채 영역 검출 방법을 제안한다. 일반적으로 동공은 피부나 흰자위, 홍채에 비해서 낮은 그레이 레벨을 가지고 있기 때문에 간단한 이진화를 통해서 쉽게 동공의 영역을 홍채나 흰자위와 분리할 수가 있다. 하지만 피부의 그림자나 홍채 등의 영역과 동공이 같은 그레이 레벨을 가지고 있기 때문에 단순히 이진화만을 이용해서는 분리해 내기가 어렵다. 일반적으로 CCD 센서를 사용한 카메라에서는 NTSC 방식의 10bit(0~210-1) 아날로그 출력이 나오게 된다. 하지만 A/D(Analog to Digital) 변환을 거치면서 일반적으로 8bit(0~28-1) 만을 사용하게 되어 영상의 손실이 일어나게 된다. 이때 A/D 변환시 밝기(brightness)와 대조(contrast)를 조절해 주어 영상을 밝게 해준다면 동공의 영역이 다른 부분과 차이가 많이 나게 되어 쉽게 구별을 할 수 있다. 하지만 눈썹과 같은 짙은 영역은 여전히 동공과 그레이 레벨과 같은 문제가 발생하기도 한다. 본 연구에서는 추가로 동공 반사광을 이용하여 정확한 동공 영역을 찾게 된다.

일반적으로 홍채인식을 위해 사용되는 카메라에는 적외선 조명이 사용된다. 이 경우 II장에서 전술한 바와 같이 동공의 내부에 조명으로 인한 반사광이 나타나게 된다. 이러한 동공 반사광은 피부 등의 다른 영역보다 높은 그레이 레벨을 나타낸다. 역시 A/D 변환시 밝기(brightness)와 대조(contrast)를 조절해 주어 영상을 어둡게 해준다면 이를 이용하여 단순한 이진화를 통해 동공의 위치를 쉽게 찾을 수 있다. 하지만 안경을 사용한 경우 문제가 생길 수 있다. 동공뿐만 아니라 안경 렌즈에도 반사광이 나타나게 되어 동공의 위치를 이진화만을 이용해서 찾을 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 영역 기반 라벨링^[11]을 사용하여 정확한 동공의 위치를 찾

아낸다.

즉, 선정된 동공 후보군에 대해서만 라벨링을 수행한다. 후보군을 중심으로 라벨링을 수행하기 때문에 빠른 속도로 연산을 수행할 수 있다. 그 후 각 후보군에 대해 크기와 가로와 세로의 비율을 측정한다. 일반적으로 홍채의 반지름은 10.7mm에서 13mm이고 포커스 거리가 49.5mm이고 Z 거리가 48~53cm인 카메라(본 연구에서 사용한 카메라 폰의 규격)에서 저장한 640×480 픽셀의 이미지에서 100에서 134픽셀 정도의 반지름을 갖는다. 또한 일반적인 동공의 크기는 홍채의 0.1에서 0.8배이다^[2].

따라서 동공의 반지름은 10(=100*0.1)에서 107(134*0.8) 픽셀을 가진다고 가정할 수 있다. 이로부터 크기가 314(=10*10*3.14)에서 35,950(=107*107*3.14) 픽셀을 가진다는 것을 알 수 있다. 그리고 동공의 원의 형태를 가지고 있기 때문에 가로와 세로의 비가 80~120%정도이라는 것도 알 수 있다. 동공의 영역을 구한 후에는 홍채의 영역을 구하여야 한다. Daugman 방법^[9]에서는 동공과 홍채의 영역을 원형 경계 검출자(circular edge detection)를 이용하여 구하였다. 이는 많은 실수 연산을 필요로 하기 때문에 ARM계열의 processor에서는 효과적인 방법이 아니다. 따라서 정수 연산을 통해 홍채의 외부 영역을 구할 수 있는 방법이 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 변형된 정수 연산 방식의 원형 경계 검출자(circular edge detection)를 사용하게 되었다. 앞서 구한 동공의 정보에서 홍채의 반지름의 영역의 후보를 구할 수 있다. 이 후보 내에서 원 내부의 10개의 점과 외부의 10개의 점을 반지름의 길이에 따라 미리 정의해 놓는다. 반지름을 변화시켜 가면 내부와 외부 점의 차이의 합을 저장하여 그 합이 가장 크게 되는

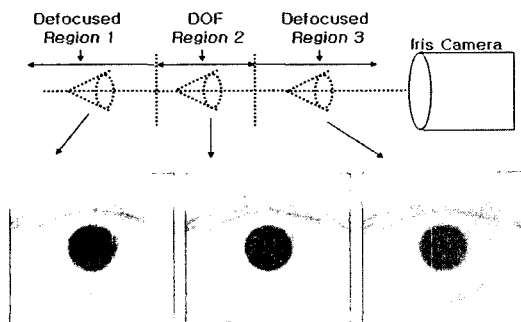
반지름을 홍채의 반지름으로 선택하게 된다. 연산속도를 높이고 실수연산을 막기 위해서 동적으로 내부와 외부 점을 계산하지 않고 프로그램 코드에 미리 정의해 두는 방식을 사용하게 된다.

IV. 홍채 영상 복원

사용자의 손 흔들림에 의한 홍채 영상 흐림을 복원하기 위하여, 그림 4에서와 같이 두 가지 처리 과정을 수행하게 된다. 첫 번째 과정은 홍채 영상의 초점이 맞지 않아 흐려진 정도를 판단하기 위해 초점값(focus score)을 측정하는 과정이고, 나머지 한 과정은 측정된 초점값을 가지고 미리 정의된 점 확산 함수(PSF(Point Spread Function))의 계수(parameter)를 선택하여 홍채 영상을 복원하는 과정이다.

일반적으로 피사체가 DOF영역으로부터 멀리 떨어질수록 초점이 맞지 않아 흐려지는 정도가 증가된다. 즉, 그림 3의 region 1과 3 방향으로 눈의 위치가 옮겨질수록 홍채인식 카메라로부터 취득되어지는 홍채 영상의 흐려지는 정도가 증가된다.

본 연구에서는 5*5 픽셀 크기의 커널을 이용하



〈그림 3〉 홍채인식 카메라와 피사체 사이의 거리에 따라 취득된 홍채 영상

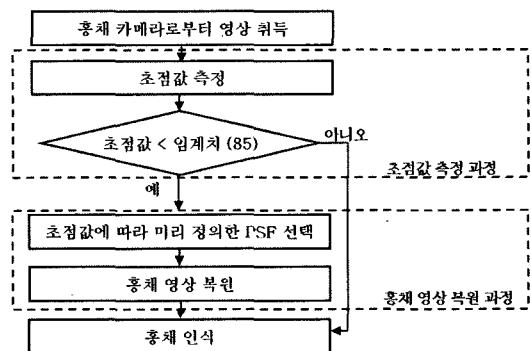
여 취득되어진 홍채 영상으로부터 포함된 고주파 성분의 양을 가지고 초점값을 측정하여, 홍채 영상의 흐려짐의 정도를 판단하는 방법을 사용한다.

전술한 바와 같이 눈의 위치가 DOF영역으로부터 멀리 떨어질수록 초점이 맞지 않아 흐려지는 정도가 증가되기 때문에, 점이 어떠한 형태로 확산되었는지를 나타내는 PSF도 변하게 된다. 따라서 두 번째 처리과정인 홍채 영상 복원 과정에서 흐려진 정도에 따라 서로 다른 PSF를 사용해야만 정확한 홍채 영상 복원을 할 수 있다. 그래서 본 논문은 첫 번째 처리 과정에서 측정된 초점값을 이용하여 흐려진 정도를 판단을 하고, 측정된 초점값에 따라 미리 정의한 PSF의 계수를 선택하여 홍채 영상 복원을 수행하도록 한다.

일반적으로 공간 영역에서 초점이 맞지 않아 흐려진 영상은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다¹⁰⁾.

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + \eta(x, y) \quad (1)$$

$g(x, y)$ 는 초점이 맞지 않아 흐려진 영상이고, $f(x, y)$ 는 원래의 선명한 영상이다. $h(x, y)$ 는 2D PSF(Point Spread Function)이고, $\eta(x, y)$ 는 영상의 잡음(noise)이다.



〈그림 4〉 홍채 영상 복원 알고리즘의 처리과정

공간 영역에서의 컨벌루션은 주파수 영역에서 곱셈 연산과 같다. 따라서 주파수 영역에서 초점이 맞지 않아 흐려진 영상은 식 (2)와 같다^[10].

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) + N(u, v) \quad (2)$$

$G(u, v)$ 는 주파수 영역에서 초점이 맞지 않아 흐려진 영상이고, $F(u, v)$ 는 주파수 영역에서의 선명한 영상이다. $H(u, v)$ 는 주파수 영역에서의 PSF이고, $N(u, v)$ 은 주파수 영역에서의 영상 잡음이다. 본 논문에서 $N(u, v)$ 은 $H(u, v)$ 보다 매우 작기 때문에 (3*3) 크기의 가우시안 필터 (Gaussian filter)를 사용하여 영상 잡음을 제거하였다. 그리고 역 필터(Inverse Filter)를 이용하여 홍채 영상을 복원하였다. 전술한 바와 같이 DOF영역으로부터 많이 떨어질수록 흐려짐의 정도가 커지므로 PSF도 다르게 설계해야 한다. 따라서 본 논문은 흐려짐의 정도가 커질수록 PSF의 필터 크기를 크게 만들고, 보다 큰 σ 값을 사용하여 흐려짐의 정도에 따라 미리 PSF를 정의하였다. 그리고 (5*5) 컨벌루션 커널을 사용하여 얻은 초점값은 흐려짐의 정도에 반비례하므로, 초점값이 작을수록 흐려짐의 정도가 컸을 때 정의한 PSF를 선택하도록 하였다. 이와 같이 PSF를 선택한 후에, 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)을 이용하여 공간 영역을 주파수 영역으로 변환한 후, 역 고속 푸리에 변환(Inverse FFT)을 이용하여 공간 영역에서의 복원된 홍채 영상을 얻었다.

V. 태양광에서의 홍채 인식

일반적으로 태양광에서 취득된 홍채 영상의 경우 적외선이 영상에 많이 포함되어 있으며, 동

시에 전술한 바와 같이 휴대폰에서 홍채 인식을 시도하는 경우 사용자 손떨림에 의한 영상 흐림이 빈번하게 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 식 3과 같이 기존에 홍채 코드 추출을 위해 많이 사용하는 가버 필터의 주파수(frequency) 및 크기(amplitude)를 입력 영상에 따라 동적으로 변형하는 방법을 사용한다.

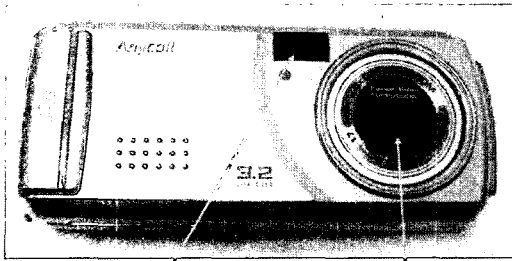
$$G(x) = A e^{-\pi \frac{(x-x_0)^2}{\sigma^2}} (\cos(2\pi[u_0(x-x_0)])) \sum_{x_0=-N}^N G(x) = 0 (\because DC=0) \quad (3)$$

식 3에서 A는 가버 필터의 크기(amplitude), 와 u_0 는 각각 커널 크기와 주파수를 나타낸다.

즉, 입력 영상의 초점값을 판단하여 이를 가버 필터의 주파수 값 결정에 사용하고, 그림 1과 같이 조명이 꺼진 영상에서의 밝기를 측정하여 외부 태양광이 있는 상황이면, 가버 필터의 크기(amplitude)를 조정함으로써 홍채 인식의 성능을 개선하였다.

VI. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 그림 5와 같이 실험용 휴대폰으로 3.2 메가 픽셀 CCD 센서를 가진 삼성 SPH-S2300모델을 사용하였으며, 정확한 홍채패턴을 획득하기 위해 적외선 조명과 적외선 투과필터의 사용했다^[2, 4]. 홍채 인식과 각막에 반사된 조명반사광을 검출하기 위해 카메라 렌즈의 앞에 적외선 투과필터를 부착하고 적외선 파장과 가시광선을 포함하는 카메라 내장 제논 램프(Xenon Flash Lamp)를 사용했다. 휴대폰에 장착된 카메라는 홍채인식 이외에도 가시광선 영역에서 일반적인 사진을 촬영할 수 있어야 하기 때문에, 향후에 듀얼모드필터(IR 투과와 차단필



Xenon flash lamp IR pass filter

〈그림 5〉 홍채 인식을 위해 사용된 카메라 폰

터를 포함한)가 자동적으로 열리거나 닫히는 메커니즘을 사용할 예정이다.

본 연구에서 제시한 얼굴 영상에서 홍채 추출 알고리즘은 총 3가지 실험을 통해 정확성을 측정하였다. 첫 번째 실험은 50명으로부터 총 500장의 영상을 취득하여(양쪽 눈을 모두 포함한 250장의 영상과 한쪽 눈만을 포함한 250장의 영상), 얼굴영상에서 정확한 홍채 검출 비율을 측정하였다. 또한, 영상내의 외부조명의 영향을 고려하기 위해 위 250장의 영상은 태양광이 존재하는 1,394lux의 실외에서, 또 다른 250장의 영상은 223lux의 실내에서 촬영하였다. 실험 결과 실내 영상에서의 홍채 검출 성공율은 99%, 실외 영상에서의 홍채 검출 성공율은 98.5%를 보였다. 그림 6은 결과영상이며, 귀걸이, 눈물샘, 빛에 반사된 머리카락 등에서 잘못된 조명 반사 영역을 추출할 경우 결과적으로 잘못된 홍채영역을 검출하였다.

두 번째 실험에서는 II장에서 언급된 검출된 조명반사광을 중심으로 홍채영역을 검출하기 위해 씌운 박스의 크기를 가변적으로 변화시켜 가면서 동공 및 홍채의 검출 비율을 체크했다. 실내 영상에서 20*20픽셀박스의 경우 홍채 검출 비율은 90%, 25*25픽셀박스의 경우 95%, 30*30픽셀 박스의 경우 99%, 32*32픽셀박스의 경우



〈그림 6〉 결과 영상

100%의 비율을 나타냈고, 실외영상에서 홍채의 검출비율은 20*20픽셀박스의 경우 87%, 25*25픽셀박스의 경우 94%, 30*30픽셀 박스의 경우 98.5%, 32*32픽셀박스의 경우 100%의 비율을 나타냈다.

세 번째 실험에서는 노트북(Pentium-M 1.4Ghz)과, PDA(Intel PXA 270 624Mhz), 휴대폰과 같은 다양한 하드웨어 플랫폼에서 홍채 추출 처리시간을 측정했다. 실험용 휴대폰인 SPH-S2300은 MSM6100칩을 사용하며, 이는 내부에 ARM926EJ-STM CPU를 채택하고 있다. 본 논문에서 제시한 알고리즘은 추가적 DSP칩을 사용하지 않고, 국내 표준무선인터넷플랫폼인 WIPI(Wireless Internet Platform for Interoperability)1.1플랫폼을 사용하여 다운 로드된 응용프로그램을 휴대폰에 탑재하여 사용하였다. 표 1은 각 하드웨어 단말기에서의 처리시간을 나타낸 것이다.

표 1에서 나타낸 것처럼, 2048*1536픽셀의 큰 입력영상에 대한 처리와 낮은 CPU 속도로 인하

〈표 1〉 각 하드웨어 단말기별 처리시간

(단위 : ms)

	Laptop	PDA	Mobile Phone
1/6 Down-Sampling	8.5	18.2	172
각막의 Specular reflection 후보 검출	1.5	3.7	111
수평 & 수직 프로젝션 + 동공 검출	0	0.08	5
홍채 검출	1.2	3	40
합계	11.2	24.98	328

여, 휴대폰에서 홍채 검출 시 처리시간이 많이 소모된다. 이에 대한 보완책으로 카메라 렌즈 전면에 가시광선 영상을 반사하고, 적외선을 투과할 수 있는 cold mirror를 사용하여 얼굴입력영상에서 눈 영역이 일정한 범위에 포함될 수 있도록 함으로써 처리시간을 줄일 수 있다. 그 결과 휴대폰에서의 전체처리시간이 328ms에서 65ms로 감소하였다. 기존의 Viola 와 Jones⁷⁾에 의해 제안된 얼굴검출알고리즘은 Sony-Ericsson P900(CPU clock : 156MHz)와 Nokia 7650 (CPU clock : 140Hz)에서 344*288픽셀의 입력영상을 처리하는데 각각 210ms와 160ms의 처리시간을 보여 본 논문에서 제안된 방법보다(cold mirror를 사용하였을 경우) 오랜 시간이 걸림을 알 수 있다. 또한 그들은 휴대폰에 영상처리용 별도 DSP칩을 추가하였고 이는 가격의 증가를 초래하게 된다.

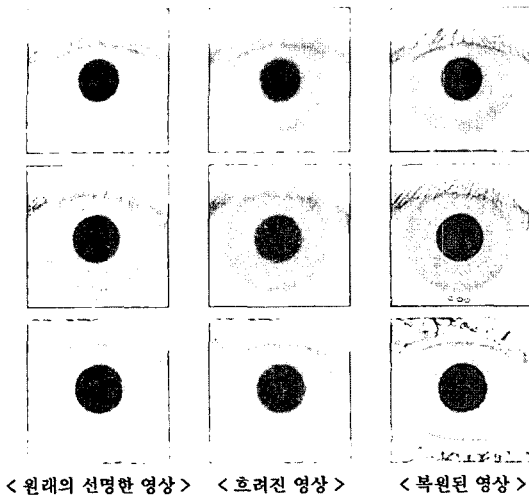
본 연구에서는 입력영상을 가로 및 세로 각각 1/6씩 다운샘플링(down sampling)했기 때문에 휴대폰의 제약적인 메모리(일반적으로 휴대폰은 4MB의 메모리를 가짐) 환경에서 사용할 수 있다. 본 실험에서는 원본 영상이 3.15MB (2048*1536 Byte)이며 이를 다운 샘플링 하여 87KB(341*256 Byte)까지 줄이고, 카메라 렌즈의 전면에 cold mirror를 부착하여 촬영하므로 영

상에서 눈이 위치하는 제한 지역만을 처리하기 때문에 17KB (341*51 Byte)까지 메모리 사용량을 줄일 수 있게 된다.

마지막 실험에서는 검출된 동공 중심과 사용자가 손으로 표시한 위치 사이에 RMS 에러를 측정하였으며, 그 결과 RMS에러가 5.5픽셀(X축으로 3.8픽셀, Y축으로 4픽셀)을 나타냈다. 이는 향후 원형 동공 경계 검출자를 사용함으로써 검출 정확도를 높일 수 있다⁸⁾. 또한, 검출된 홍채 중심과 사용자가 손으로 표시한 위치 사이에 RMS 에러는 1.2픽셀(X축으로 0.9픽셀, Y축으로 0.8픽셀)을 나타냈다.

검출된 동공 및 홍채 반경과 사용자가 손으로 표시한 반경들 사이의 RMS 에러는 각각 0.55, 2.2 픽셀로 나타났다.

홍채 영상 복원의 성능 평가를 위하여 CASIA 데이터베이스의 홍채 영상을 사용하였다. CASIA 홍채 데이터베이스는 80명에 대한 108 종류의 홍채로부터 추출된 총 756장의 홍채 영상으로 구성되어 있다. 홍채 영상은 한 달 간격으로 취득되었으며, 영상의 형식은 320×280 픽셀 크기에 8비트 그레이 영상이다. CASIA DB 내의 홍채 직경은 200픽셀이상이고, 전체 대상 중 약 5.2%가 콘택트렌즈를 착용하고 취득된 홍채 영상이다. 대상 영상 중 안경을 착용한 영상



(그림 6) 홍채 영상 복원 알고리즘 실험 결과 영상

은 포함되어 있지 않다.

CASIA 데이터베이스의 홍채 영상을 인위적으로 흐려지도록 만들고, 이를 제안하는 홍채 영상 복원 알고리즘을 사용하여 복원하였다. 그 결과, 그림 7과 같은 실험 영상을 얻었다. 본 논문은 홍채 영상 복원 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 영상들의 RMS(Root Mean Square) 에러를 측정하였다. 실험 결과, 선명한 홍채 영상과 흐려진 홍채 영상의 픽셀 RMS 에러는 평균 3.56 이었고, 선명한 홍채 영상과 복원된 홍채 영상의 픽셀 RMS 에러는 평균 3.25였다. 그러므로 복원된 홍채 영상이 흐려진 홍채 영상보다 원래의 선명한 홍채 영상에 더 가깝다는 것을 알 수 있다.

두 번째로 홍채인식 실험을 통해 홍채 영상 복원 알고리즘의 성능을 평가하였다. 먼저 원래의 선명한 홍채 영상을 $\pi/8$ 와 $\pi/16$ 의 주파수를 갖는 가버(Gabor) 필터를 사용하는 홍채인식 시스템에 등록시킨 후, 흐려진 홍채 영상과 복원된 홍채 영상을 사용하여 인식 실험을 하였다. 이때 가버 필터의 주파수는 인증 실험을 통해 EER(Equal

Error Rate)이 가장 작은 결과를 나타낼 수 있도록 하는 값을 실험적으로 결정하였다.

그리고 동일인에 대하여 원래의 선명한 홍채 영상과 흐려진 홍채 영상 사이의 해밍 거리(Hamming Distance)와 원래의 선명한 홍채 영상과 복원된 홍채 영상사이의 해밍 거리를 측정하였다. 그 결과 선명한 홍채 영상과 흐려진 홍채 영상 사이의 해밍 거리는 평균 0.312였으며, 선명한 홍채 영상과 복원된 홍채 영상 사이의 해밍 거리는 평균 0.072였다. 또한, 흐려진 홍채 영상에서는 동일인임에도 불구하고 타인으로 인식하는 FRR 오류가 발생되었으나, 복원된 홍채 영상에서는 그러한 오류가 발생되지 않았다.

VII. 결 론

본 연구에서는 얼굴영상에서 각막에 의한 반사되는 조명 반사광을 기반으로 휴대폰에서의 홍채인식을 위한 고속 동공검출 방법을 제안하였다. 또한 입력 영상 신호를 A/D 변환하는 과정에서 Brightness와 Contrast를 조정하여 동공의 검은 영역과 조명 반사 위치를 추출함으로써, 정확한 홍채 영역을 보다 쉽게 추출할 수 있는 방법 역시 제안한다. 그리고 일반적으로 휴대폰에서 홍채 인식의 경우 손으로 들고 사용하므로, 손 흔들림에 의한 영상 흐림 현상이 빈번하게 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 영상 복원 기법을 적용하여 흐려진 홍채 영상을 복원하는 기법을 제안하였다. 마지막으로, 휴대폰의 경우 실외에서 사용이 빈번하므로, 입력 홍채 영상에서 태양광에 의한 영향이 크게 된다. 이러한 문제를 해결하여 인식 성능을 개선할 수 있는 방법 역시 제안하였다.

향후, 보다 다양한 휴대용 단말기(PDA, 스마

트 폰 등)에서의 영상 취득 및 알고리즘 테스트를 통해 저 연산 멀티미디어 휴대용 단말기에서의 홍채 인식 기능을 구현하기위한 추가 연구들이 필요할 것으로 예상된다.

<Acknowledgements>

본 연구는 과학기술부 지정 한국과학재단 생체인식 연구센터(BERC)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] <http://bias.csr.unibo.it> (accessed on June 6, 2005)
- [2] <http://www.biometrics.org> (accessed on June 6, 2005)
- [3] <http://www.lgiris.com> (accessed on June 6, 2005)
- [4] <http://www.iris-recognition.org> (accessed on June 6, 2005)
- [5] Kang Ryoung Park: Auto Focusing Algorithm for Iris Recognition Camera Using Corneal Specular Reflection. IEICE TRANS. INF.& SYST., Vol.E87-D, No.7, pp.1923-1934, 2004.
- [6] Feng, G.C, Yuen, P.C.: Multi-cues eye detection on gray intensity image. Pattern Recognition(34), No.5, pp.1033-1046, 2001.
- [7] Paul Viola and Michael Jones.: Robust Real-time Face Detection. IJCV, Vol.57 no.2, pp. 137-154, 2004.
- [8] Masahiko Suzuki, etc.: Racehorse Identification System Using Iris Recognition. IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.J84-D2, No.6, pp.1061-1072, 2001.
- [9] John G. Daugman: High confidence visual recognition of personals by a test of statistical independence. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 15, No. 11, pp.1148-1160, 1993.
- [10] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital Image Processing 2/E," Prentice Hall, 2002.

저자소개



박 강 령

1994년 연세대학교 전자공학과 졸업
 1996년 연세대학교 전자공학과 석사
 2000년 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 박사
 2000년-2003년 LG전자기술원 홍채인식팀 선임연구원
 2000년-현 재 상명대학교 미디어학부 조교수
 2003년-현 재 생체인식연구센터 제2총괄과제 책임자
 주관심분야 영상처리, 생체인식, 컴퓨터비전