

운전자 눈동자 위치를 이용한 미러 자동 조절 시스템

Automatic Mirror Adjustment System Using the Location of the Driver's Pupils

노 광 현, 박 기 현, 조 준 수, 한 민 흥

(Kwang-Hyun Rho, Kee-Hyun Park, Jun-Soo Cho, and Min-Hong Han)

Abstract : This paper describes an automatic mirror adjustment system that rotates a pair of side mirrors and the room mirror of a car to the optimal position for a driver by using the location of the driver's pupils. A stereo vision system measures the 3D coordinates of a pair of pupils by analyzing the input images of stereo B/W CCD cameras mounted on the instrument panel. This system determines the position angle of each mirror on the basis of information about the location of the pupils and rotates each mirror to the appropriate position by mirror actuators. The vision system can detect the driver's pupils regardless of whether it is daytime or nighttime by virtue of an infrared light source. Information about the pair of nostrils is used to improve the correctness of pupil detection. This system can adjust side mirrors and the room mirror automatically and rapidly by a simple interface regardless of driver replacement or driver's posture. Experiment has shown this to be a new mirror adjustment system that can make up for the weak points of previous mirror adjustment systems.

Keywords : automatic mirror adjustment system, pupil detection, nostril, infrared light source, stereo vision

I. 서론

차량의 사이드미러와 룸미러는 운전자에게 측후방 장애물 정보를 제공하는 중요한 장치로서 운전자는 자신의 신체 구조와 운전 자세에 따라 미러 방향을 조절한다. 현재 사용되고 있는 미러 조절 방법들은 운전자가 사용하기 쉽고 편리한 방향으로 변화해왔으며, 크게 세 가지 방법으로 분류된다. 첫 번째는 미러에 연결된 레버나 미러 자체를 수동으로 조절하는 방법으로 운전자 몸을 크게 움직여야 하고 우측 사이드 미러와 룸미러를 조절할 때에는 번거로운 작업을 요구한다. 두 번째는 운전석 근처에 장착된 버튼으로 미러 조절용 전동 모터를 구동시켜 조절하는 방법으로 레버를 사용하는 것보다 편리하지만 여전히 운전자가 여러 차례 시도해서 최적의 미러 방향을 결정할 수 있으며, 룸미러는 여전히 손으로 조절해야 한다. 세 번째는 운전자가 미러들의 최적 방향을 결정한 후 이 방향을 메모리에 저장하여 수시로 사용할 수 있는 방법으로 가장 최근에 개발된 방법으로, 고급 차량에만 장착되고 있지만 소수 운전자의 미러 방향만 기억할 수 있다는 단점이 있다. 기존의 세 가지 방법들의 가장 큰 단점은 운전자가 바뀌거나 동일한 운전자가 운전하더라도 운전 자세에 변화가 발생하는 경우에 미러를 재조절하는데 능동적으로 대처할 수 없어 운전자에게 일련의 작업을 요구하며, 주행 중에는 미러를 안전하게 조절할

수 없다는 것이다.

운전자가 미러 조절을 필요로 하는 경우는 다양하다. 장시간 운전시 운전자가 자세를 바꾸는 경우, 한 대의 차량을 신체 구조가 다른 여러 운전자가 번갈아 사용하는 경우, 행인의 접촉 등으로 인해 미러의 위치가 변경되는 경우, 여성 운전자들이 차량내에서 룸미러를 화장용 거울로 사용하는 경우 등과 같이 사이드미러와 룸미러를 재조절하여야 하는 경우는 자주 발생한다. 일부 운전자들은 차량이 교차로에 정지해 있거나 심지어는 주행 중에도 사이드미러와 룸미러를 조절하는 경우가 빈번하기 때문에 안전한 주행에 방해 요소가 되고, 사고를 유발하는 요인이 되기도 한다. 따라서 기존 방법들의 불편한 점을 보완하고 어떤 경우에도 손쉽고 편리하게 작동될 수 있는 미러 조절 방법이 필요한 것이다.

본 논문에서는 위에서 언급된 모든 문제점을 해결할 수 있는 미러 자동 조절 시스템을 설명한다. 일반적으로 운전자가 안전 주행을 위해 사이드미러와 룸미러의 방향을 결정할 때 가장 중요한 요소는 운전자 눈동자의 위치이다. 운전자의 신체구조 및 운전자세에 따라 3차원상의 눈동자 위치는 변화하고, 정상적으로 운전하는 상태에서 룸미러를 볼 때는 오른쪽 상단을 올려 보고, 사이드미러를 볼 때는 고개를 좌우 수평으로 약간 돌린다. 따라서, 운전자마다 약간의 차이는 있지만, 눈동자의 위치를 측정할 수 있다면 이 위치에서 운전자에게 필요한 좌우 사이드미러와 룸미러의 방향을 결정할 수 있는 것이다. 이 방법으로 운전자 눈동자의 3차원 위치 정보를 이용해 사이드미러와 룸미러의 방향

접수일자 : 2000. 11. 7., 수정완료 : 2001. 3. 7.

노광현, 박기현, 조준수, 한민흥 : 고려대학교 산업공학과 (khrho@dreamwiz.com/keehyun@korea.ac.kr/mythic@hanmail.net/mhhan@korea.ac.kr)

을 자동으로 조절할 수 있는 미러 조절 시스템을 개발하였다. 계기판에 설치된 스테레오 흑백 카메라를 이용하여 운전자 얼굴 영상을 입력 받아 눈동자를 탐지한 후 스테레오비전의 기하학적 관계를 이용하여 운전자 눈동자의 3차원 위치를 계산하고, 운전자에게 최적 이 되는 미러 방향을 결정하여 사이드미러와 룸미러를 회전시키도록 하는 것이다. 주야간 및 터널지역에 관계없이 영상처리가 가능한 운전자의 얼굴 영상을 획득하기 위해 카메라 주위에 적외선 광원을 설치하여 사용하였다. 이 시스템은 주정차에 관계없이 눈동자의 위치 측정을 계속해서 수행하기 때문에 운전자가 미러 조절을 원하는 순간에 전방을 응시한 상태에서 핸들에 장착된 버튼을 누르는 동작만으로 사이드미러와 룸미러를 자동으로 조절할 수 있다. 이 방법은 기존의 미러 조절 방법들의 불편함을 모두 해결할 수 있으며 차세대 미러 조절 장치로 적용 가능할 것이다. 국내외를 통틀어 본 논문에서 설명하는 시스템과 동일한 것은 없으며, 국내외 자동차 업체에서 개발 중인 졸음운전 경보장치나 운전 부주의 경보장치 등과 통합될 수 있을 것이다.

본 시스템을 구현하는데 가장 중요한 기술은 운전자의 눈동자를 정확히 탐지하고 3차원 위치를 측정하는 것이다. 사람의 눈 탐지 및 추적에 관한 연구는 90년대 초반부터 시작되었고, 최근에 자동차 안전 장치인 졸음운전감지장치 개발과 컴퓨터와의 인터페이스 방법에 적용하기 위해 활발히 연구되고 있다. 많은 교통사고가 졸음운전과 같은 운전자의 부주의한 행동에 의해 발생하고 있다. 이를 방지하기 위한 졸음운전경보장치가 여러 자동차 메이커에서 개발되고 있는데 운전자의 졸음 여부를 판단하기 위한 방법들 중에서 운전석 주위에 한 대의 카메라를 설치하여 운전자의 눈을 탐지하고 감김 정도와 시간을 측정하는 방법이 가장 널리 연구되고 있는 방법이다. 눈을 탐지하는 방법들은 약 간씩 차이가 있지만 눈동자와 눈가풀을 포함한 눈 주위의 화소값(gray-level) 변화량을 이용하는 방법이 거의 대부분을 차지하고 있다. 야간에 운전자 얼굴 영상을 획득하기 위해서는 모든 연구에서 적외선 광원이 사용되고 있다. Shunji[1]는 눈 양끝의 눈초리 형태를 이용하여 눈의 대략적인 위치를 결정한 후 윗 눈가풀은 포물선 커브로 추출하고, 원형태의 눈동자는 단순화된 Hough 변환으로 추출하는 방법을 사용하였다. Kazuhiko[2]는 위로 볼록한 윗 눈가풀과 아래로 볼록한 아래 눈가풀에서 에지가 발생하는 특징을 이용하여 눈의 위치를 탐지하였다. Kenji[3]는 max-min 필터를 사용하여 주간에는 눈동자, 눈썹, 비공(nostril)과 같이 영역이 좁고 검은색을 띠는 후보 영역들을 추출한 후 이들 중에서 눈을 탐지하고, 야간에는 적외선 광원에 의해 밝게 반사되는 눈동자를 찾기 위해 max-min 필터를 주간과 반대로 적용하였다. Sarbjit[4]는 얼굴 피부색을 이용하여 운전자의 얼굴

영역을 결정한 후 이 영역의 에지맵을 분석하여 눈동자를 추출하였다. Michinori[5]는 룸미러에 카메라와 적외선광원을 설치하여 얻은 영상에서 운전자의 콧등 선을 추출한 후 이를 기반으로 눈 위치 영역을 결정하고 눈가풀과 눈동자 주위의 화소값 평균값의 차이를 이용하여 눈을 탐지하였다.

두 눈 위치는 컴퓨터와의 인터페이스 분야에서 관찰자를 추적하기 위한 중요한 특징으로도 사용되고 있다. 눈은 얼굴에서 가장 뚜렷한 특징을 가지고 있으므로 관찰자 움직임을 추적하는데 가장 중요한 정보이다. 이 분야에 대한 연구로는 컬러영상처리로 사람의 얼굴 피부색 조건을 이용하여 얼굴 영역을 검출한 후 검은색으로 나타나는 눈 영역을 검출하는 방법이 연구된 바 있다[6]. Morimoto[7]는 서로 다른 배치 형태를 띠는 두 종류의 적외선 광원을 카메라 영상신호와 동기화시켜 눈동자가 밝게 반사되는 영상과 그렇지 않은 영상을 얻은 후 두 영상간의 차를 이용하여 눈 위치를 탐지하였다.

기존 연구들은 사람의 눈 탐지, 추적, 눈감김 여부 판단에 초점이 맞춰져 있었지만, 본 논문에서 설명하는 두 눈동자의 정확한 3차원 위치 측정에 관한 연구는 수행된 바 없었다. 본 논문의 구성은 2장에서 미러 자동 조절 시스템에 대해 설명하고, 3장에서는 눈동자 탐지방법, 4장에서는 눈동자의 3차원 위치 측정 방법, 5장에서는 미러 위치값 결정 방법, 6장에서는 실험결과를 설명한다.

II. 시스템 구성

본 연구에서 개발한 미러 자동 조절 시스템의 구성도는 그림 1과 같다. 운전석 전방의 계기판 앞쪽에 적외선 LED가 장착된 스테레오 흑백 카메라가 운전자 얼굴을 향하도록 설치되어 운전자 얼굴 영상을 입력 받고, 카메라에서 출력되는 영상 신호들은 4화면 분할기(Quad Splitter)에 입력되어 한 화면으로 합쳐진 후 영상처리보드나 영상 녹화기에 전송된다. 영상 처리용 PC에서는 입력 영상을 분석하여 운전자 눈동자를 탐지

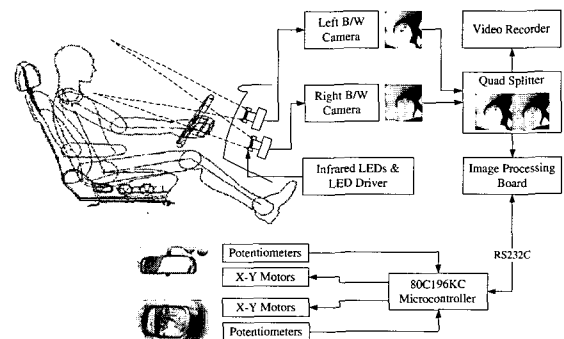


그림 1. 시스템 구성도.
Fig. 1. System configuration.

하고 3차원 좌표를 계산한 후 한 쌍의 사이드미러와 룸미러의 최적 방향을 결정한다. 이 값들은 RS232C의 직렬통신에 의해 80C196KC Microcontroller 보드에 전송되고, 제어 보드에서는 모터를 구동시켜 각 미러를 결정된 방향까지 회전시킨다.

1. 적외선 광원과 스테레오비전시스템

주야간에 관계없이 운전자 눈동자를 탐지하기 위해서는 영상처리를 수행하기에 충분한 밝기의 운전자 얼굴 영상을 얻을 수 있어야 하므로 별도의 외부 광원이 필요한데 본 연구에서는 운전 방해가 되지 않는 적외선 광원을 사용하였다. 사람 눈의 비시감도는 일반 흑백카메라와 비슷하며 파장이 400~700nm인 가시광 영역의 빛에 대해 반응한다. 따라서, 흑백 카메라의 영상은 눈으로 직접 보는 영상과 비교하여 위화감이 없지만, 흑백 카메라는 파장이 700~950nm인 근적외광에도 감도가 있기 때문에 엄밀하게 구분하면 다르다고 할 수 있다. 따라서, 흑백카메라는 가시광선뿐만 아니라 적외선도 감지할 수 있기 때문에 적외선을 방출하는 적외선 LED를 흑백 CCD 카메라 주위에 장착하여 야간에 밝은 영상을 얻는데 사용하고 있다. 본 연구에서도 야간 주행과 주간에 터널이나 어두운 지역 주행시 어두운 차안에서 영상처리가 가능한 운전자 얼굴 영상을 획득하기 위해 적외선 LED를 사용하였다. 차량내 운전자의 야간 영상이 주간 영상 정도의 밝기를 얻기 위해서는 적외선 LED가 최소한 50~60개까지 필요하다. 하지만 카메라로부터 80cm이내의 거리에 위치하는 운전자의 얼굴만을 밝은 영상으로 얻기 위해서는 20개 미만의 적외선 LED를 사용하면 충분하다. 적외선 광원은 가시광선과는 달리 주행 중인 운전자에게 방해가 주지 않으면서 밝은 얼굴 영상을 획득할 수 있기 때문에 편리하다. 본 연구에서는 그림 2와 같이 카메라 주위에 적외선 LED를 8개씩 장착하였고, 카메라의 시축(optical axis)과 평행하게 설치하여 적외선광이 운전자 얼굴을 향하도록 하였다.

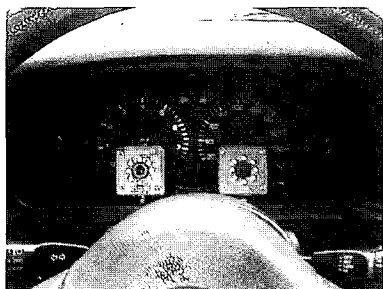


그림 2. 적외선 광원이 장착된 스테레오 카메라.
Fig. 2. Stereo cameras with infrared LEDs.

스테레오비전시스템은 소형 스테레오 흑백 보드카메라와 4화면 영상분할기로 구성되었다. 영상분할기는 최대 4대의 카메라를 연결하여 아날로그 영상신호를

입력 받아 디지털화한 후 한 화면에 4개의 영상이 동시에 출력될 수 있도록 처리하고 다시 단일 아날로그 영상 신호로 변환하는 장치로서 여러 지역을 동시에 감시, 녹화하는 용도로 사용되는 장치이다. 본 연구에서는 시중에서 판매되고 있는 흑백 4화면 영상분할기를 사용하였다. 스테레오비전시스템을 구성하는데 4화면 영상분할기를 사용하면 다음과 같은 장점이 있다. 첫째로, 저가의 영상처리보드로 스테레오비전시스템 구축이 가능하다. 실시간으로 두 영상을 동시에 처리하기 위해서는 고가의 영상처리보드가 필요하지만, 4화면 영상분할기를 사용하면 한 화면에 두 영상이 포함되어 있는 단일 영상을 얻을 수 있으므로 영상처리 보드는 하나의 입력 영상 채널만 실시간으로 사용할 수 있는 것이면 된다. 둘째로, 실험을 위한 스테레오영상 녹화 및 재생 문제를 쉽게 해결할 수 있다. 스테레오비전시스템으로 영상처리실험을 수행하기 위해서는 두 영상의 동시 녹화와 동시 재생이 가능해야 한다. 따라서, 스테레오영상처리를 위해 영상처리보드에서 카메라 입력 신호를 두 개 받는 경우에는 시스템 구성이 복잡해지는 것이 일반적이다. 하지만 4화면 영상분할기를 사용하면 최대 4개까지의 입력영상을 한 화면으로 합치기 때문에 동시 녹화 및 재생 문제가 간단히 해결할 수 있다.

2. 사이드미러와 룸미러 구동 방법

실험용 미러 자동 조절 시스템을 제작하기 위해 현대자동차 제품인 에쿠스(EQUUS)의 사이드미러와 룸미러를 사용하였다. 이들은 메모리 기능을 가지고 있어서 운전자가 사이드미러와 룸미러의 위치를 자신에게 최적으로 설정한 후 기억시켜 놓으면 이후에 버튼 조작만으로 미러 전동모터를 구동시켜 기억된 위치로 각각의 미러들을 회전시킨다. 이러한 기능이 가능한 것은 미러 조절 장치가 모터 구동부와 미러의 방향을 측정할 수 있는 센서인 포텐쇼메타(potentiometer)로 구성되어 있기 때문이다. 미러 자동 조절 시스템을 구현하기 위해서는 위의 두 가지 장치가 필요하여 에쿠스의 미러를 사용한 것이다.

미러 구동부에는 상하방향과 좌우방향으로 회전할 수 있도록 두 개의 DC 모터가 설치되어 있고, 미러의 상하좌우 방향은 미러 내부에 설치된 2개 포텐쇼메타로 검출된다. 포텐쇼메타의 출력 전압값은 80C196KC 내에 내장되어 있는 8bit AD converter에 의해 0~255사이의 값으로 변환되어 미러 방향으로 사용되었다.

3. 주야간 입력영상

운전자 눈동자를 성공적으로 탐지하기 위해서는 운전자의 얼굴 영상이 영상처리 알고리즘을 수행할 수 있을 정도의 밝기를 유지해야 한다. 하지만 차량과 태양광선의 위치에 따른 운전자 얼굴 영상의 조도 변화와 짙은 그림자 지역 및 터널 지역과 같이 어두운 지역에서의 조도 변화에 의해 알고리즘을 적용할 수 없을 정도로 어둡게 나타나는 경우가 발생한다. 운전석

이 완전히 어두워지는 경우에는 적외선 광원에 의해 밝은 운전자 얼굴 영상을 얻을 수 있지만 그렇지 않은 경우에는 문제가 된다. 그림 3(a)는 주간 영상이지만 운전자 얼굴이 어둡게 나타나기 때문에 화소값 변화량을 이용하여 눈동자 탐지가 쉽지 않음을 예측할 수 있다. 이와 같은 현상은 피사체의 밝기에 따라 셔터속도를 자동으로 조정하는 카메라의 AE (Automatic Exposure: 자동 노출) 기능 때문이다. 피사체 앞에서 빛이 비치는 경우에는 별 문제가 없지만 피사체 뒤쪽에서 빛이 비쳐 CCD셀에 강한 일광이나 인공 조명이 직접 닿는 경우에는 이에 따라 노출이 조절되어 피사체에 노출 부족 현상이 생겨 피사체가 어둡게 나타



(a) 어두운 운전자 얼굴 (b) 밝아진 운전자 얼굴

그림 3. 얼굴 영역의 밝기 변화.

Fig. 3. Brightness change of the face region.

난다. 그림 3(a)와 같이 넓은 영역의 운전자쪽 창이 흰색을 띄고 있기 때문에 상대적으로 어두운 운전자 얼굴 영역은 더욱 어둡게 나타난다. 이 문제를 해결하기 위해 렌즈를 통해 들어오는 빛을 감지하는 카메라 내부의 CCD셀 영역 중 운전자쪽 창의 상이 맺히는 영역을 불투명 재질로 막아 렌즈로부터 들어오는 빛을 차단하도록 하였다. 수행 결과인 그림 3(b)를 보면 운전자 얼굴 대부분 영역의 화소값이 흰색에 가깝고 상대적으로 눈동자(pupil), 눈가풀, 비공(nostril)은 탐지하기 쉽도록 짙은 검은색으로 나타난다. 그림 3은 두 대의 카메라 중 운전자쪽 창에 가까이 위치한 왼쪽 카메라의 영상이다. 오른쪽 카메라의 영상은 왼쪽 카메라 영상보다 창 영역을 적게 포함하지만 동일한 현상이 발생하기 때문에 오른쪽 카메라의 CCD 셀도 창의 상이 맺히는 영역을 외부광으로부터 차단하였다. 이러한 방법 대신 카메라 초점거리를 증가시켜 운전자 얼굴만 영상에 들어오도록 확대하면 얼굴 영역 밝기 문제를 해결할 수 있을 것이다. 하지만 이와 같이 구현하면 다양한 운전자의 신체조건 및 운전자가 얼굴을 좌우로 움직일 때 운전자의 얼굴이 카메라 시계(field of view)에서 벗어날 수 있으므로 바람직하지 않다.

주간과 야간의 운전자 얼굴 영상은 그림 4와 같은 차이를 보인다. (a)는 주간 운전자 얼굴 영상인데 주간에는 터널 지역과 같이 야간의 조도와 비슷한 지역을 제외하고는 적외선 광원을 사용해도 아무 효과를 나타나지 않는다. 하지만 터널을 통과하거나 야간에는 적

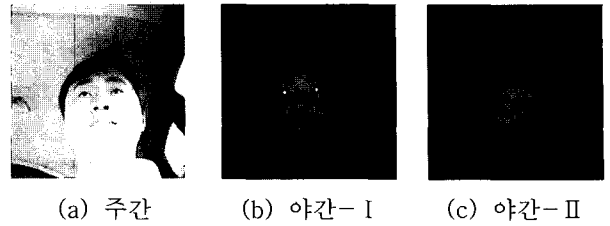


그림 4. 적외선 광원하의 운전자 얼굴.

Fig. 4. Driver's face image under the infrared light source.

외선 광원이 없으면 운전자 얼굴을 인식할 수 없을 정도로 어둡고, 적외선 광원을 사용하면 그림 4(b), 4(c)와 같이 눈동자 탐지가 가능한 밝기의 얼굴 영상을 얻을 수 있다. 그림 4(b)는 눈동자 영역이 적외선 광원에 의해 반사되어 밝은 흰색으로 나타나지만, 그림 4(c)는 눈동자가 검은색으로 나타난다. 이러한 차이는 적외선 광원을 카메라 주위에 어떻게 배치하는가와 차량 내부를 비추는 외부 광원의 유무에 따라 나타난다. 적외선 LED를 카메라 시축에 최대한 가깝고 대칭으로 배치하면 동공이 환하게 반사되는 현상을 얻을 수 있지만 이 현상은 운전자를 비추는 외부 광원이 없는 완전히 캄캄한 상태에서에서만 발생한다. 따라서 차량 주위에 다른 차량의 전조등이나 가로등과 같은 외부 광원이 다수 존재하는 일반 도로에서는 이러한 현상이 거의 발생하지 않는다. 기존 연구 중 적외선 광원에 의해 밝게 반사되는 특징을 이용하여 야간에 운전자 눈을 탐지한 연구[3]가 있지만 실제 도로상에서는 적용하기 어려움을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 이 현상을 이용하지 않고 적외선 광원을 카메라 시축과 일정 거리 떨어진 위치에 배치하여 그림 4(c)와 같은 영상을 얻은 후 운전자의 야간 영상을 주간 영상과 동일한 알고리즘으로 눈동자를 탐지하였다.

III. 운전자 눈동자 탐지

본 연구에서는 운전자의 눈동자(pupil)를 탐지하는데 비공(nostril)을 이용하였다. 비공이 눈동자보다 탐지하기 쉽고 정확하기 때문에 비공을 탐지한 후 이 정보를 눈동자 탐지에 사용하여 탐지 성공률을 향상시켰다. 눈동자와 비공 영역의 평균 화소값은 주위 영역의 평균 화소값보다 상대적으로 어두운 값을 갖으며 작고 둥근 형태의 영역으로 나타나는 특징이 있다. 눈동자와 비공 탐지 알고리즘은 두 대 카메라의 입력 영상에 대해 동일하게 수행되며 그림 5의 과정을 거치게 된다. 입력 영상에서 눈동자와 비공의 특징을 갖는 영역을 찾기 위해 고안된 윈도우 패턴(window pattern)을 이용하여 후보 영역들을 분할한 후 체인코드를 사용하여 영역을 분류하고 눈동자와 비공을 구분하기 위한 영역의 특징량을 측정한다. 다음 단계에서는 눈동자에 비해 좀 더 정확하게 탐지할 수 있는 한 쌍의 비공을 탐지하

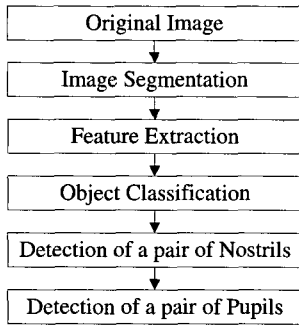


그림 5. 운전자 눈동자 탐지 절차
Fig. 5. Process flow for detecting a driver's pupils.

고, 최종적으로 이 정보를 기반으로 한 쌍의 눈동자 위치를 추출한다.

1. 탐색창 설정

운전자 얼굴이 위치할 수 있는 영역은 운전자의 신체적 조건에 따라 다르지만 전체 영상 중 일부분에 해당한다. 따라서 눈동자 탐지 알고리즘도 적절한 탐색창(search window)을 설정하고 이 영역에서만 수행하는 것이 효과적이다. 운전자가 정상적인 자세로 운전한다고 가정하면 운전자는 핸들축에 대해 좌우 대칭이므로 얼굴 위치는 앞은키에 따라 상하로는 변화폭이 크고, 좌우로는 변화폭이 작다. 이러한 조건을 기준으로 전체 영상 중 실제 영상처리를 수행할 탐색창을 설정한다. 두 대의 카메라가 핸들축을 기준으로 좌우 대칭이 되도록 설치되므로 탐색창 위치도 두 영상내에서 화면좌표계에 대해 대칭이 되도록 설정하였다. 두 영상의 해상도가 각각 320×240이고 탐색창은 140×140의 크기로 설정되었다. 눈동자가 탐지된 후에는 눈동자 위치를 이용하여 탐색창의 위치를 변화시킨다.

2. 눈동자 탐지

탐색창에서 눈동자를 찾기 위해 앞에서 언급한 눈동자와 비공의 특징을 이용하여 후보 영역을 추출한다. 얼굴 영상에서 눈동자와 비공 영역을 추출하기 위해서 그림 6(a)와 같이 상위, 중간, 하위 영역으로 구성되고 각각의 격자가 영상의 화소와 일대일로 대응되는 윈도

우 패턴을 적용한다. 이 윈도우 패턴은 운전자 얼굴 중에서 눈동자, 비공과 같이 얼굴색에 비해 상당히 어둡고 작은 영역을 추출하기 위해서 고안되었다. 입력 영상 $f(i, j)$ 에 윈도우 패턴을 이용한 (1)을 순차적으로 적용하면 이진화 영상 $g(i, j)$ 를 얻는다.

$$g(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } (avg_U - avg_C) > T \text{ and } \\ & (avg_L - avg_C) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, (i, j) \in R \quad (1)$$

where R is a set of central region pixels.

T 는 임계값, avg_U, avg_C, avg_L 은 각각 상위 영역, 중간 영역, 하위 영역의 평균 화소값이다. 중간 영역의 평균 화소값이 상위 영역과 하위 영역의 평균 화소값보다 일정값 이상 작으면 주위에 비해 상대적으로 어두운 영역으로 판단하고 눈동자와 비공의 후보 영역으로 간주한다. 그림 6(b)는 윈도우 패턴이 눈동자에 위치한 경우를 나타낸다. 윈도우를 그림 6(a)과 같이 중간 영역을 상하위 영역과 간격을 두도록 설정한 이유는 운전자의 눈동자 크기가 운전자 및 운전자 얼굴의 위치에 따라 약간의 변화가 있기 때문이다. 실험에서 운전자의 눈동자의 수직 높이가 평균적으로 4~7개 화소로 나타났다. 따라서 중간의 마스크를 4개 화소로 구성하고 상하위 영역 사이를 8개 화소로 구성하여 작고 어둡고 고립된 눈동자 및 비공 영역을 확실하게 구분하도록 한다.

입력 영상 그림 7(a)에 대해 위의 윈도우 패턴을 적용하여 1에 해당하는 영역만을 흰색으로 나타낸 후 4-direction 체인코드(chain code) 기법[8]으로 일정 크기 이상의 영역만을 분할하여 경계선을 검은색으로 나타낸 결과가 그림 7(b)이며, 눈동자, 비공, 머리카락 일부, 입술, 눈썹 등과 같이 주위 화소값에 비해 수직 방향으로 어둡고 적은 영역들이 추출됨을 알 수 있다.

다음 단계에서는 추출된 영역들 중에서 비공과 눈동자를 찾기 위해 각 영역을 대표하는 특징량을 측정한다. 사용된 특징량은 영역의 면적, 중심점, Roundness이다. 첫 번째 특징량인 영역의 면적은 영역내의 총화소수이며 N 으로 정의하고, 체인코드에 간단한 산술 명령을 추가하여 체인코드 수행과 동시에 면적을 구할 수 있는 알고리즘을 사용하였다[8]. 두 번째 특징량은 영역의 중심점 (\bar{x}, \bar{y}) 이며 (2)로 계산된다. N 은 앞에서 정의된 영역의 면적이고, R 은 영역내에 모든 화소 (i, j) 를 포함하는 집합이다. 세 번째 특징량은 Round-ness로 영역의 형태가 원에 얼마나 근사하는가를 나타내는 척도로서 (3)에 의해 계산되고 이 값이 1에 가까우면 영역이 원 형태에 가까워지는 것으로 눈동자와 비공이 원의 형태를 띄기 때문에 이 특징량을 사용하는 것이 효과적이다.

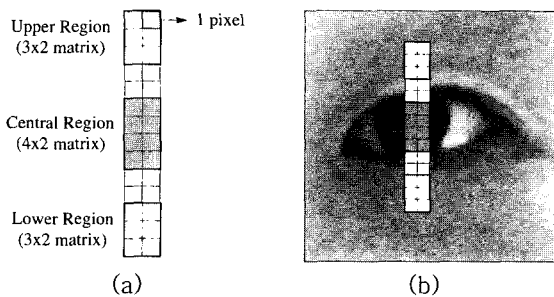


그림 6. 눈동자와 비공 후보 영역 추출용 윈도우 패턴.
Fig. 6. Window pattern designed for detecting pupil and nostril candidate regions.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in R} i \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in R} j \quad (2)$$

$$Roundness = (4\pi \times Area) / Perimeter^2 \quad (3)$$

(3)에서 Area는 영역의 면적으로 N 과 같고, Perimeter는 영역 둘레 길이로 외곽선을 구성하는 화소들의 총길이이다. 눈동자와 비공 영역으로 결정되기 위해서는 우선 면적이 일정 구간에 포함되어야 하고, Roundness가 1에 가까워야 하며, 영역의 중심점이 탐색창에서 일정 구간에 위치해야 한다.

각 영역에서 위의 3가지 특징량을 측정 한 후 우선 한 쌍의 비공을 탐지한다. 눈동자를 찾기 전에 비공을 찾는 것은 비공이 눈동자보다 탐지하기 쉽고 항상 탐지가 가능한 상태로 존재하기 때문이다. 우선적으로 비공을 탐지하고 비공과 눈동자의 위치 관계를 이용하여 눈동자의 탐색 영역을 한정시켜 눈동자 탐지의 성공률을 높일 수 있다. 운전자의 눈동자는 차량 주변의 조도에 따라 변화가 심하고 안경이나 선글라스의 착용, 또한 머리카락으로 한 쪽 눈이 가려지는 경우 등 직접 탐지하기 어려운 경우가 많다. 하지만 한 쌍의 비공은 코 주변 화소값과 차이가 확연하고 근거리로 수평으로 존재하기 때문에 탐지가 용이하다. 3가지 특징량의 임계값을 실험을 통해 결정하여 비공 후보를 추출한 후 한 쌍의 비공은 거의 동일한 형태와 크기를 갖고 서로 인접해 있으며 수평으로 존재하는 조건으로 결정된다.

한 쌍의 비공을 탐지한 후 눈동자가 위치할 수 있는 영역을 한정시킨다. 운전자 얼굴에서 비공과 눈동자 위치는 일정 범위에 포함된다. 즉, 비공 영역의 중심점 간의 거리값에 비례하여 한 쌍의 눈동자를 포함하는 직사각형 영역을 설정할 수 있다. 이 방법을 사용하면 눈동자 탐지 에러를 상당히 줄일 수 있고, 운전자가 눈을 감고 있거나 눈동자가 보이지 않는 선글라스를 착용하고 있는 경우에도 눈동자의 위치를 추정할 수

있는 장점이 있다. 한 쌍의 눈동자 탐지도 비공의 탐지 방법과 같이 탐색 영역에 포함된 영역들의 특징량을 비교하여 판단한다. 특징량 외에 한 쌍의 눈동자가 되기 위해서는 한 쌍의 비공 중심점을 이은 선분의 기울기와 한 쌍의 눈동자 중심점을 이은 선분의 기울기 차이가 적어야 하며 두 눈동자간 거리가 일정 구간에 포함되어야 한다. 그림 7(c)는 비공과 눈동자 후보 영역을 추출한 결과이고, 최종적으로 탐지된 운전자의 두 눈동자는 그림 7(d)와 같다. 추출된 눈동자 영역의 중심 좌표는 3차원 좌표를 계산하는데 사용된다.

IV. 운전자 눈동자 3차원 위치 측정

스테레오비전에서 2대의 카메라에서 각각의 이미지를 캡처하고 두 화면에서 서로 대응되는 화소를 찾아 화소간 좌표 차이(pixel shift)를 이용하여 카메라로부터 화소에 해당하는 지점까지의 거리와 3차원 좌표를 계산할 수 있다. 이 때 카메라의 기하학적 배치에 따라 물체까지의 거리를 계산하는 방법이 다른데, 본 연구에서는 거리 계산식이 단순하며 이미지 평면상 서로 대응하는 점이 같은 이미지 수평축에 위치하고 있기 때문에 대응점 검색에 있어 컴퓨터 코스트가 작은 장점이 있는 페러렐 투시 모델을 사용하였다[9][10].

스테레오비전에서 영상내의 한 점까지의 거리와 위치를 측정하기 위해서는 동일한 점이 두 영상의 어느 위치에 나타나는지를 결정하기 위한 상응점 매칭(correspondence matching) 문제를 해결해야 한다. 본 연구에서는 탐지된 눈동자 영역의 중심점을 특징점으로 정의하고 이 점들을 이용하여 상응점 매칭 문제를 간단하게 해결하였다. 즉, 왼쪽 영상에서 두 개의 눈동자 영역을 탐지하고 이들의 중심점을 특징점으로 간주한 후, 오른쪽 영상에서도 동일한 방법으로 두 개의 특징점을 추출한다. 2차원 화면좌표계상에서 두 쌍의 눈동자들의 위상관계를 이용하면 왼쪽 눈동자와 오른쪽 눈동자가 쉽게 구분된다. 두 영상내의 좌우 눈동자들 중심점간의 변위(disparity)를 측정하여 왼쪽과 오른쪽 눈동자의 3차원 좌표를 구할 수 있다. 2차원 이미지 좌표계에서 탐지된 눈동자 위치는 그림 8의 눈동



그림 7. 눈동자 탐지 과정.
Fig. 7. Process for detecting a pair of pupils.

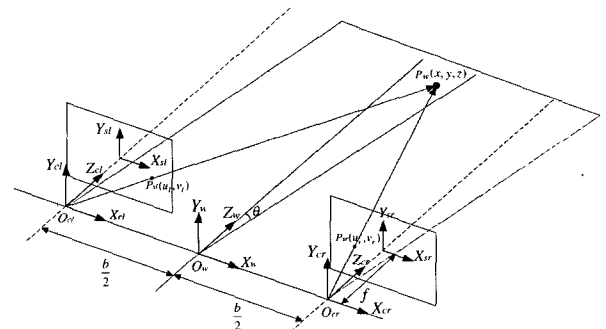


그림 8. 스테레오 카메라의 페러렐 투시 모델.
Fig. 8. Parallel perspective model of stereo cameras.

자와 스테레오비전의 기하학적 위치관계에 의해 3차원 위치로 변환된다.

카메라의 기하학적 모델링을 통하여 3차원상에서의 위치 결정을 위해서는 좌표계 설정 및 좌표계간 변환 과정이 정의되어야 한다. 사용되는 좌표계는 모두 직교좌표계로 월드좌표계 (X_w, Y_w, Z_w) , 오른쪽 카메라좌표계 (X_{cr}, Y_{cr}, Z_{cr}) , 왼쪽 카메라좌표계 (X_{cl}, Y_{cl}, Z_{cl}) , 오른쪽 화면좌표계 (X_{sr}, Y_{sr}) , 왼쪽 화면좌표계 (X_{sl}, Y_{sl}) 이다. f 는 카메라 초점거리(focal length)이고, b 는 두 대의 카메라간 거리(base line)이다. 원점 $O_w(0,0,0)$ 에서 등거리 지점 $O_{cl}(b/2,0,0)$ 과 $O_{cr}(-b/2,0,0)$ 에 투영좌표의 기준점을 위치한다. 즉, 원점 $O_w(0,0,0)$ 에서 등거리 위치한 지점 $O_{cl}(b/2,0,0)$ 과 $O_{cr}(-b/2,0,0)$ 에 광축의 기준을 설정하고 광축 $O_{cr}Z_{cr}$ 과 $O_{cl}Z_{cl}$ 이 서로 평행이 되도록 하고, O_{cr} 과 O_{cl} 에서 각각 Z 축으로 f 만큼 떨어진 위치에 광축과 수직이 되도록 이미지 평면을 위치한다. 여기서 월드좌표 $P_w(x,y,z)$ 는 3차원상의 눈동자 중심점이며 투영변환(perspective transform)에 의해 이미지 평면상의 좌표 $P_{sl}(u_l, v_l)$ 과 $P_{sr}(u_r, v_r)$ 로 투영되고 (4)로 나타난다. 수평 Disparity $D_h = u_l - u_r$, 수직 Disparity $D_v = v_l - v_r$ 를 정의하면 Disparity는 (5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} u_l \\ v_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f(x+b/2)}{z} \\ \frac{fy}{z} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} u_r \\ v_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f(x-b/2)}{z} \\ \frac{fy}{z} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[D_h \ D_v] = \begin{bmatrix} fb & 0 \\ z & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

즉, 수직 Disparity는 항상 제로가 되어 두 이미지 평면상의 대응점 찾을 때 대응점이 같은 수직축에 위치하여 검색 공간이 일차원이 되므로 수직축은 고려하지 않아도 되므로 대응점 찾기가 용이하다. D_h 로부터 운전자 눈동자의 월드 좌표를 (6)으로 복구할 수 있다.

$$[x \ y \ z] = \begin{bmatrix} \frac{b u_l + u_r}{2} & \frac{b v_l + v_r}{2} & \frac{bf}{D_h} \end{bmatrix} \quad (6)$$

(6)에서 구해진 눈동자 월드 좌표는 수평면에 대해 θ 만큼 경사진 좌표계이므로 월드좌표계 (X_w, Y_w, Z_w) 를 X_w 축을 기준으로 θ 만큼 회전시켜 눈동자의 새로운 월드좌표를 산출하고 이 값을 기준으로 미러 방향을 결정한다.

스테레오비전 응용에 있어 중요한 사항은 카메라를 사용하기 전에 교정(calibration)을 수행하는 것이다. 즉, 기지의 목표물 위치를 모델에 의한 거리와 일치되는가를 확인하여야 한다. 페러렐 모델을 사용하므로 카메라 광축이 평행이 되도록 하는 것이 중요하므로 운전석에 위치를 알고 있는 한 쌍의 눈동자와 비공으로 구성된 운전자 얼굴 모형을 설치하여 컴퓨터로 위치를 측정 후 허용 오차를 초과하면 카메라의 팬각도를 조절하여 광축이 서로 평행이 되도록 하였다.

V. 사이드미러와 룸미러 위치 결정

운전자 눈동자의 3차원 좌표를 측정한 후에는 운전자에게 최적일 수 있는 사이드 미러와 룸미러의 상하좌우 방향을 결정하여야 한다. 운전자의 눈동자 위치에 따른 미러들의 방향을 결정하는데 두 개의 눈동자 좌표를 따로 고려하지 않고 두 눈동자의 중심점을 대표값으로 정하여 사용하였다. 즉, 두 눈동자의 3차원 좌표를 계산한 후 이들의 중심좌표 (P_x, P_y, P_z) 를 구하고 이 좌표에 해당하는 좌측, 우측 사이드미러와 룸미러의 X,Y 방향은 (7)에 의해 결정된다.

$$\begin{pmatrix} M_{lsx} & M_{lsy} \\ M_{rsx} & M_{rsy} \\ M_{rx} & M_{ry} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{lsx} & b_{lsy} \\ b_{rsx} & b_{rsy} \\ b_{rx} & b_{ry} \end{pmatrix} + k_1 \begin{pmatrix} (P_x - P'_x)(P_y - P'_y) \\ (P'_x - P_x)(P_y - P_y) \\ (P_x - P'_x)(P_y - P'_y) \end{pmatrix} + k_2 \begin{pmatrix} (P_z - P'_z)(P_z - P'_z) \\ (P'_z - P_z)(P_z - P'_z) \\ (P_z - P'_z)(P_z - P'_z) \end{pmatrix} \quad (7)$$

(7)에서 M_{rsx}, M_{rsy} 은 좌측 사이드미러의 X,Y방향, M_{rsx}, M_{rsy} 은 우측 사이드미러의 X,Y방향, M_{rx}, M_{ry} 은 룸미러의 X,Y방향을 의미한다. $(b_{lsx}, b_{lsy}), (b_{rsx}, b_{rsy}), (b_{rx}, b_{ry})$ 은 각각 3개 미러의 X,Y방향의 기준값을 의미하고, (P'_x, P'_y, P'_z) 은 기준이 되는 두 눈동자 중심점의 월드좌표이다. k_1, k_2 는 기준이 되는 두 눈동자의 중심점과 측정된 두 눈동자의 중심점간의 차이에 곱해져서 미러 방향의 변화량을 결정하는 비례상수이다. 최적의 미러 방향은 차량 측후방의 정해진 위치에 목표물을 설치하고 이것이 운전자에게 의해 사이드미러와 룸미러의 중앙에 보이는 미러의 방향으로 정의하였고, 실험을 통해 (7)의 파라미터값들을 결정하였다. 운전자가 운전석에 정상적으로 앉은 상태에서 본 시스템을 이용한다고 가정하면 (7)은 운전자 두 눈동자의 중심위치 중 X좌표의 변화는 미러들의 좌우 방향 변화와 관계되고, Y좌표의 변화는 상하 방향 변화에 관계되며, Z축 좌표의 변화는 좌우 방향과 상하 방향에 동시에 관계된다는 것을 의미한다. (7)에서 눈동자의 X 중심좌표와 X 기준 좌표의 차이가 좌측 사이드미러와 우측 사이드미러에 대해 다르게 적용 되는 것은 사이드미러가 차량에 대칭으로 장착되기 때문이다.

영상처리 PC와 Microcontroller간 통신은 RS232C 직렬통신으로 이루어진다. 운전자가 전방을 응시한 상태에서 핸들에 장착된 미러 자동조절버튼을 누르면 Microcontroller에서 이를 감지하여 PC에 직렬통신으로 1바이트(byte)의 '0xFF'를 전송하면 PC에서 이것을 받은 후 영상 처리 과정을 수행하여 각 미러들의 절대 방향을 결정하고, 7바이트로 구성된 미러 방향정보를 Microcontroller에 전송한다. 헤더는 0xFF로 하고 연속으로 좌측 사이드미러, 우측 사이드미러, 룸미러의 X, Y 방향값이 각각 1바이트로 이루어진다. 이 값을 받은 Microcontroller는 동시에 3개의 전동모터를 구동시켜 각각의 미러를 목표값까지 회전시킨다.

VI. 실험 결과

운전자의 주야간 눈동자 탐지 실험은 그림 2와 같이 실제 차량에 스테레오 카메라를 장착하여 얻은 영상에 대해 수행하였다. 두 대의 카메라 아날로그 영상 신호를 4화면 분할기에 연결하여 이곳에서 두 영상신호를 하나의 영상신호로 변환시킨 후 출력 신호를 IBM PC Pentium-II 350MHz에 설치된 영상처리보드인 Matrox사의 Meteor-I에 연결하였다. 각각의 영상은 $320 \times 240 \times 256$ (gray-scale)의 해상도로 출력되었다. 사용된 두 대의 동일한 B/W 카메라의 초점거리(focal length)는 6mm, base간 거리는 100mm이고, 실험에 사용된 적외선 LED의 peak emission wavelength는 880nm, 빔폭이 $\pm 20^\circ$ 이다. 운전자가 탐색창을 벗어나지 않는 범위에서 연속적으로 움직일 때, 스테레오 입력 영상에서 눈동자를 탐지하고 3차원 위치를 측정하는데 평균적으로 약 0.083초(12 frames/sec)가 소요되었다.

남녀 운전자에 대해 주야간에 실험해 본 결과 그림 9와 같이 운전자 눈동자를 성공적으로 탐지할 수 있었고, 눈동자의 중심점에 십자 형태의 표식을 나타냈다.

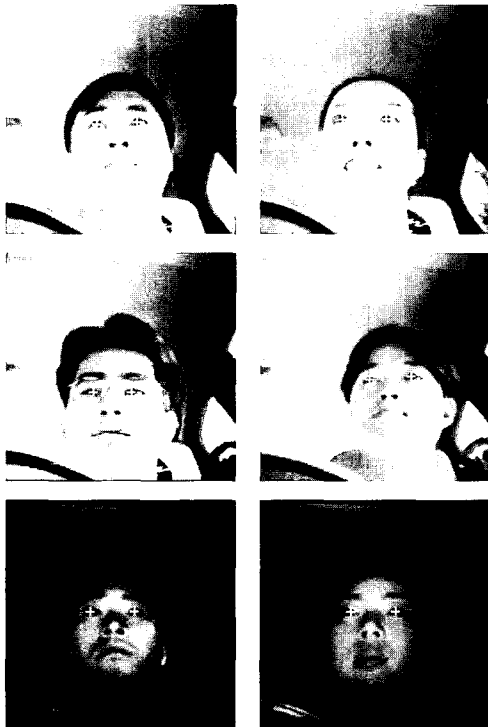


그림 9. 눈동자 탐지 실험 결과.

Fig. 9. Experimental results for detecting a pair of pupils.

실험은 20명의 남녀 운전자를 대상으로 주야간에도 주행시 녹화된 영상을 이용하여 실험 하였다. 비공의 탐지율은 95%로 상당히 정확하였고, 눈동자의 탐지율은 85%를 나타냈다. 눈동자를 인식하지 못하는 경우는 비공을 탐지하지 못한 경우와 비공은 탐지했지

만 눈동자를 정확히 탐지하지 못하는 경우였다. 특히, 안경을 착용한 운전자의 경우 안경 렌즈 영향으로 눈동자가 약간 밝게 나타나기 때문에 탐지하지 못하는 경우가 발생했다. 하지만, 비공만 탐지할 수 있으면 정확하게 눈동자를 탐지하지 못하는 경우나 운전자가 눈을 감고 있는 경우, 선글라스를 착용하고 있더라도 눈동자 위치는 추정할 수 있었다.

운전자 눈동자 3차원 위치 측정과 미러 자동 조절 실험은 그림 10과 같은 시뮬레이터를 제작하여 수행하였다. 차량에 장착하여 눈동자 탐지에 사용한 시스템을 실내에 동일하게 설치하고 운전자 얼굴 영상은 3차원 위치를 알고 있는 여러 지점에 위치시켜 측정하였다.

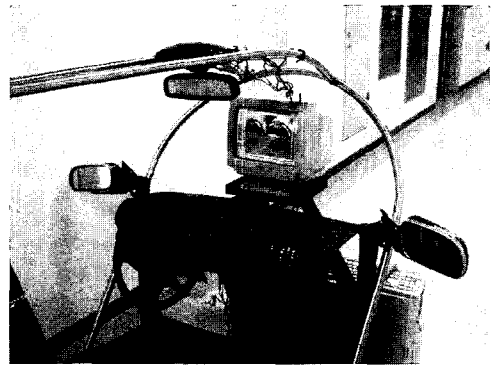


그림 10. 미러 자동 조절 시스템 시뮬레이터.

Fig.10. Automatic mirror adjustment system simulator.

계기판에 설치된 카메라로부터 운전자 눈동자까지의 거리는 운전자마다 다르지만 대략 60~80cm 사이에 포함되므로 가상의 운전자 얼굴 영상을 카메라로부터 60cm 떨어진 위치에 X축, Y축, Z축의 길이가 20cm인 정육면체내에 2cm 간격으로 이동시키면서 측정하고 실제 위치와 비교하였다. 측정 결과 제안한 방법의 X축, Y축, Z축의 평균 오차는 각각 0.87cm, 0.92cm, 1.03cm로 나타났다. 오차가 발생하는 것은 입력 영상이 저해상도와 스테레오비전시스템의 설치 오차에 기인한다. 이 오차는 미러 방향을 결정시 영향을 미치지 만 큰 문제가 되지 않았다. 운전자들은 일반적으로 미러 방향을 대강 조절하며 정밀하게 조절해도 큰 차이를 느끼지 못하기 때문이다. 미러 조절 실험 결과는 대부분의 실험자에게 만족스러운 결과를 보였지만 미러 방향을 결정하는데 인간공학 측면에서의 연구가 좀 더 필요한 것으로 생각된다.

VII. 결론

본 연구에서는 운전자 눈동자의 3차원 위치를 측정하여 사이드미러와 룸미러를 최적의 방향으로 자동 조절할 수 있는 미러 자동 조절 시스템에 대해 설명하였다. 적외선광을 이용하여 주야간에 관계없이 동일할 알고리즘으로 눈동자를 탐지할 수 있었고, 눈동자와

스테레오 카메라의 기하학적 위치 관계를 사용하여 눈동자의 3차원 좌표를 측정하였다. 이 값을 이용하여 사이드미러와 룸미러의 최적 방향을 결정하여 목표 위치까지 회전하도록 하였다. 눈동자 탐지 전에 비공을 탐지하여 눈동자 탐지율을 향상시켰고, 눈동자를 탐지할 수 없는 경우 비공의 위치 정보를 이용하여 눈동자 위치를 추정하였다. 본 시스템은 기존의 미러 조절 시스템들의 불편함을 보완할 수 있으며 운전자의 자세 변화와 운전자가 바뀌는 경우에도 효과적으로 사용될 수 있는 방법으로 평가되었다. 미러 자동 조절 시스템에 운전자와 시스템의 인터페이스를 편리하게 하기 위해 음성인식기법을 적용하고, 졸음운전과 같은 부주의한 운전상태를 감지하여 경보할 수 있는 졸음운전경보장치를 통합화 시킨다면 상품화도 가능할 것이다.

참고문헌

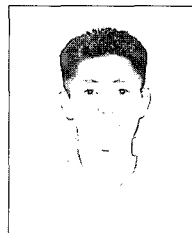
[1] Shunji KATAHARA, Satoko NARA, and Masayoshi AOKI, "Driver drowsiness detection by eyelids movement," *Proceeding of Intelligent Transport System*, pp. 1217-1222, 1995.
 [2] Kazuhiko Sugiyama, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto, Toshikazu Ishihara, Hiroyuki Fujii, and Eisaku Akutsu, "Method of detecting drowsiness level by utilizing blinking duration," *JSAE Review* 17, pp. 159-163, 1996.
 [3] Kenji Ogawa and Mitsuo Shimotni, "Drowsiness

detection system," *Technical Reports of Mitsubishi Electric ADVANCE*, pp. 13-16, March, 1997.
 [4] Sarbjit Singh, and Nikolaos P. Papanikolopoulos, "Monitoring driver fatigue using facial analysis techniques," *IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 314-318, 1999.
 [5] Michinori Ando, Akihiro Watanabe, and Naoya Chujo, "Eye region extraction for drowsiness level estimation from facial images," *Proceeding of Intelligent Transport System*, 1999.
 [6] 허경무, 박영빈, "움직이는 관찰자의 두 눈 위치 검출 알고리즘," 제어·자동화·시스템공학 논문지 제6권, 제7호, pp. 544-550, 2000.
 [7] C. H. Morimoto, D. Koons, A. Amir, and M. Flickner, "Pupil detection and tracking using multiple light sources," *Image and Vision Computing*, vol. 18, pp. 331-335, 2000.
 [8] Milan Sonka, Vaclav Hlavac and Roger Boyle, "Image processing, analysis and machine vision", *PWS Publishing*, 1999.
 [9] 이희만, "뉴럴네트워크를 이용한 무인전방차량 적 방법," 정보처리논문지 제3권, 제5호, pp. 1037-1045, 1996.
 [10] Vishvjit S. Nalwa, "A guided tour of computer vision", Addison-Wesley, 1993.



노 광 현

1971년 3월 16일생. 1995년 고려대학교 산업공학과(공학사). 1997년 고려대학교 산업공학과(공학석사). 1997년~현재 고려대학교 대학원 산업공학과 박사과정. 관심분야는 컴퓨터비전, 지능형 자동차.



박 기 현

1973년 5월 3일생. 1999년 경희대학교 기계공학과(공학사). 1999년~현재 고려대학교 대학원 산업공학과 석사과정. 관심분야는 하드웨어 영상처리, 지능형 자동차.



조 준 수

1976년 7월 16일생. 1999년 고려대학교 산업공학과(공학사). 1999년~현재 고려대학교 대학원 산업공학과 석사과정. 관심분야는 영상처리 시스템, ITS.



한 민 홍

1942년 3월 2일생. 1964년 서울대학교 기계공학과(공학사). 1973년 University of Minnesota 산업공학과(공학석사). 1981년~1982년 숭실대학교 산업공학과 조교수. 1985년 Georgia Institute of Technology 산업공학과(공학박사). 1985년~1988년 Texas A&M University 산업공학과 조교수. 1988년~1990년 포항공과대학 산업공학과 부교수. 1991년~현재 고려대학교 산업공학과 정교수. 관심분야는 지능형 자동차, 지능 로봇, ITS, 컴퓨터비전.