

저속주행환경에서 컬러비전 기반의 근거리 전방차량추적

노 광 현[†] · 한 민 홍^{††}

요 약

본 논문에서는 컬러영상처리로 차량 후면에 위치하고 붉은색을 띄는 미등과 브레이크등을 이용하여 저속주행환경에서 근거리 전방차량을 추적하는 방법에 대해 설명한다. HSV 컬러모델로 변환된 컬러영상에서 미등과 브레이크등의 컬러특징을 이용하여 후보영역을 분할한 후, 미등과 브레이크등 패턴의 기하학적 특징과 위치적 특징을 이용하여 한 쌍의 미등 혹은 브레이크등을 탐지한다. 탐지된 등의 위치를 이용하여 전방차량의 위치를 측정하고 연속적으로 추적한다. 또한, 등 영역내의 HSV 컬러요소 변화를 측정하여 전방차량의 브레이크 사용여부를 판단한다. 도심지의 도로영상을 이용한 실험에서 성공적으로 근거리 전방차량을 추적할 수 있었으며, 주간보다 야간에서 효과적으로 적용될 수 있었다. 또한 본 알고리즘이 구현된 컬러비전시스템을 무인자동차 KAV-III(Korea Autonomous Vehicle-III)에 탑재하여 야간에 자동으로 전방차량을 15km/h의 속도로 따라갈 수 있는 결과를 얻었다. 이 방법은 도심지에서 가다서다를 반복하는 저속주행환경에서 차량 스스로 운전하여 운전자의 부담을 줄일 수 있는 LSA(Low Speed Automation) 시스템 개발에 적용될 수 있을 것이다.

Color Vision Based Close Leading Vehicle Tracking in Stop-and-Go Traffic Condition

Kwang-Hyun Rho[†] · Min-Hong Han^{††}

ABSTRACT

This paper describes a method of tracking a close leading vehicle by color image processing using the pairs of tail and brake lights, which emit red light and are housed on the rear of the vehicle in stop-and-go traffic condition. In the color image converted as an HSV color model, candidate regions of rear lights are identified using the color features of a pair of lights. Then, the pair of tail or brake lights are detected by means of the geometrical features and location features for the pattern of the tail and brake lights. The location of the leading vehicle can be estimated by the location of the detected lights and the vehicle can be tracked continuously. It is also possible to detect the braking status of the leading vehicle by measuring the change in HSV color components of the pair of lights detected. In the experiment, this method tracked a leading vehicle successfully from urban road images and was more useful at night than in the daylight. The KAV-III (Korea Autonomous Vehicle-III) equipped with a color vision system implementing this algorithm was able to follow a leading vehicle autonomously at speeds of up to 15km/h on a paved road at night. This method might be useful for developing an LSA (Low Speed Automation) system that can relieve driver's stress in the stop-and-go traffic conditions encountered on urban roads.

[†] 준 회원 : 고려대학교 대학원 산업공학과

^{††} 정 회원 : 고려대학교 산업공학과 교수

논문접수 : 2000년 4월 20일, 심사완료 : 2000년 8월 21일

1. 서 론

최근 국내외적으로 좀더 안전하고 편리한 자동차를 개발하기 위해 기존의 기계적인 기능이 강했던 자동차에 첨단전자기술을 접목시키는 지능차량(intelligent vehicle) 개발에 많은 연구가 수행되고 있다. 차량의 지능화는 여러 분야에서 진행되고 있는데 그 중 전방차량 탐지 및 추적은 충돌방지 및 자동주행을 위해 반드시 필요한 기능으로 전방차량의 존재유무 판단, 거리와 방향 계산, 가감속 상태를 파악할 수 있어야 한다. 현재까지 연구되고 있는 방법은 크게 전자식 거리계를 사용하는 방법과 카메라센서를 이용한 영상처리 방법으로 나뉜다. 능동센서(active sensor)인 거리계에는 Laser Radar, Millimeter Wave Radar 등이 있으며 상용화된 제품도 있다. 이들은 고속주행상황에서 100m 이상의 거리를 정확하게 탐지할 수 있지만 고가의 가격 때문에 일반 차량에 적용되기에는 아직 많은 시간이 필요하고, 거리계를 장착한 많은 차량이 도로상을 주행한다면 여러 거리계간의 신호간섭 및 기타 부가적인 문제를 발생할 수 있는 문제점이 있다. 수동센서(passive sensor)인 카메라를 이용하는 방법은 거리계를 사용하는 방법에 비해 정확도 및 정밀도는 뒤지지만 여러 차량특징정보를 얻을 수 있으며, 시스템 구성 가격이 저렴한 장점이 있다.

카메라센서를 이용한 전방차량추적에 관한 연구는 크게 두 방향으로 진행되고 있다. 전방차량 뒷부분에 특수한 시각유도장치를 장착하고 이를 추적하는 방법과 전방차량에 추가 장치 없이 순수한 영상처리 기법으로 차량을 인식하여 추적하는 방법이다. 첫 번째 방법은 주로 차량의 군집주행 구현을 위한 목적으로 연구되고 있는데, 일반적인 방법은 전방차량의 후방에 다수의 적외선 LED나 차량 인식용 표식을 장착하여 뒤따르는 차량에서 카메라로 전방차량 후방 영상을 입력 받아 영상처리기법으로 적외선 LED나 표식의 위치를 인식한다. 인식된 결과에서 전방차량의 거리 및 방향을 측정한 후 이 정보를 군집주행을 위한 차량 핸들 제어 및 속도제어에 사용한다. 이와 관련된 연구로는 프랑스의 INRIA에서 소형차를 이용하여 저속군집주행을 수행하였고[1], 벤츠에서는 대형화물트럭의 군집주행을 선보인바 있으며, TOYOTA에서도 승용차의 군집주행에 적외선 송수신기를 사용하였다[2]. 오하이오 주립대학에서는 특수한 패턴들로 이루어진 평판을 사

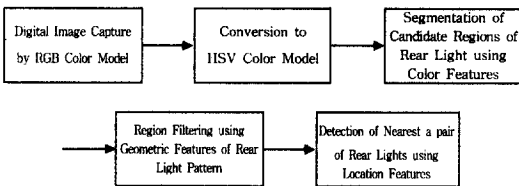
용하였고, 국내에서는 전방차량 후단부에 밝은 단일 광원을 장착하고 스테레오비전을 사용하여 전방차량을 추적하는 연구가 수행된 적이 있다[3]. 이 방법들은 전방차량에 특수한 시각유도장치를 장착해야 하기 때문에 일반 차량에 적용하기 어렵다. 두 번째 방법은 영상기법만을 사용하여 전방차량을 인식하려는 것이다. Graefe[4]는 영상내에 나타나는 한 쌍의 직선을 차량으로 간주하였고, Zielke[5]와 Kuehnle[6]은 전방차량 후방 모습이 차량 중앙을 기준으로 대칭성을 띄는 특징을 이용하였다. Burie[7]는 스테레오비전에서 왼쪽 영상을 이용하여 오른쪽 영상을 예측하는 방법을 사용하여 인식하였고, Broggi[8]는 스테레오비전에서 역투영(inverse perspective)된 두 영상을 비교하는 기법을 사용하여 전방차량을 인식하였다. Yassine[9]는 스테레오비전의 일치문제를 해결하기 위해 호필드 뉴럴네트워크를 사용하였다. Franke[10]도 스테레오비전을 이용하여 Stop-and-Go 시스템에 적용하기 위한 차량과 보행자를 인식하기 위한 방법을 제안했다. Giachetti[11]와 Enkelmann[12]은 예측한 광류흐름과 실제 계산된 광류 흐름을 비교하는 방법을 사용하였다. Betke[13]는 서로 다른 형태의 차량패턴들을 이용하여 템플릿매칭(template matching) 방법을 사용하였다. 기존의 비전처리 기반의 방법들은 주간만을 대상으로 연구되었기 때문에 야간에는 적용되기 어렵고, 전방차량의 브레이크 사용 여부를 판단할 수 있는 방법은 없었다.

본 연구에서는 전방차량에 특수유도장치 장착하지 않고 주야간에 관계없이 근거리 전방차량을 추적하기 위해 모든 차량 후면에 위치하며 붉은색을 띄는 한 쌍의 미등(tail light)과 브레이크등(brake light)을 사용하였다. 컬러영상처리과정을 거쳐 한 쌍의 미등 혹은 브레이크등을 탐지한 후, 이들의 영상내 위치와 카메라의 기하학적 위치관계를 이용하여 전방차량까지의 거리와 방향을 측정할 수 있다. 이와 같은 과정을 연속적으로 수행하여 전방차량을 추적할 수 있다. 또한 탐지된 등 영역의 컬러정보를 분석하여 전방차량의 브레이크 사용 여부도 판단한다. 주간과 야간에 대해 차량 탐지 및 추적 실험을 수행하였으며, 2대 차량을 이용한 저속군집주행을 수행하였다. 실험을 통해 미등과 브레이크등을 이용한 전방차량추적 방법은 전방차량에 추가장치를 장착하지 않고도 전방차량 위치 측정 및 브레이크 작동 여부를 판단할 수 있었고, 주간보다 야간에 적용하는 것이 효과적이었다. 이 방법을 이용해

도심지의 도로에서 가다서다를 반복하는 Stop-and-Go 교통상황에서 운전자의 부담을 줄일 수 있는 LSA (Low Speed Automation) 시스템 구현 및 저속군집주행에 적용할 수 있을 것이다. 이후부터는 미등과 브레이크등을 후방등(rear light)으로 통칭하고 필요한 경우에만 미등과 브레이크등을 따로 명시하겠고, 본 논문 내의 흑백영상은 컬러영상에 대한 처리 결과들이며 출력시 흑백영상으로 나타낸 것이다.

2. 전방차량 후방등 탐지

전방차량의 후방등을 탐지하는 절차는 (그림 1)과 같다. 실시간 영상처리가 가능하도록 모든 영상처리는 차량이 존재하는 한정된 영역에서 수행된다.



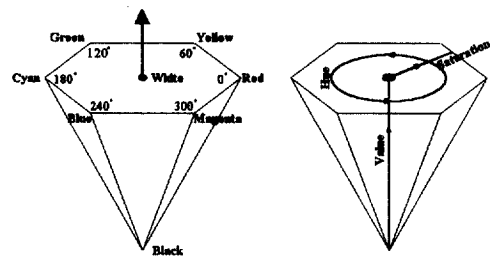
(그림 1) 후방등 탐지 절차

2.1 후방등 특징 및 HSV 컬러모델

모든 차량 후면에 위치하며 붉은색의 하우징으로 싸여 있는 후방등은 컬러 특징, 기하학적 특징, 위치적 특징을 가지고 있으며 이 특징들을 이용하여 후방등을 탐지한다. 첫째는 후방등 영역의 컬러 특징이다. 주간에는 미등을 켜지 않아도 하우징 색깔 때문에 짙은 붉은색을 띄고, 미등을 켜면 약간 밝은 붉은색을 띤다. 하지만 하우징의 종류 및 조도에 따라 주변환경과 미등을 구분하기 힘든 경우도 있다. 운전자가 브레이크를 밟으면 아주 밝은 붉은색을 띄게 되며 이 경우는 확실한 구분이 가능하다. 야간에는 미등을 켜기만 해도 밝은 붉은색을 띄며 미등 영역 중심은 흰색을 나타낸다. 이것은 미등을 밝히는 전구가 흰색을 띄고 야간에 이 특징이 두드러지게 나타나기 때문이다. 브레이크를 밟으면 브레이크등 영역의 가장자리는 미등과 마찬가지로 밝은 붉은색을 띄지만 미등에 비해 흰색 영역이 넓어진다. 흑백영상에서 후방등 영역을 살펴보면 주간에는 미등 점등 여부에 상관 없이 미등 영역이 전반적으로 어둡게 나타나기 때문에 탐지하기 어렵고, 브레이크등이 켜졌을 때에는 흰색에 가깝게 나타난다.

야간에는 미등과 브레이크등이 켜지는 두 경우 모두 흰색으로 보인다. 따라서 브레이크등이 켜졌는지 판단하기 어렵다. 둘째는 후방등 패턴의 기하학적 특징이다. 모든 차량의 후방등이 같은 패턴은 아니지만 일반적으로 직사각형 형태를 띄며, 각 후방등의 가로 길이와 세로 길이의 비율이 일정 범위안에 존재한다. 이 특징은 영상내의 많은 영역들 중에서 후방등과 비슷한 영역을 찾을 때 사용된다. 셋째는 한 쌍의 후방등 위치적 특징이다. 후방등은 모든 차량에 한 쌍으로 존재하므로 두 후방등 영역의 중심을 이은 직선의 기울기는 수평에 가까워야 한다. 또한 두 후방등의 패턴은 종횡비가 비슷해야 하고, 영상내의 전방차량 위치에 따라 두 후방등간 거리도 일정 범위에 포함되어야 한다.

컬러영상에서 후방등을 찾기 위해서는 가장 먼저 영상처리에 사용할 컬러모델을 결정해야 한다. 인간의 시각시스템이 컬러를 감지하여 표현하는 방법으로 여러 컬러모델이 사용되고 있는데 그 특성에 따라 서로 다른 분야에 적용되고 있다. 일반적으로 널리 알려진 RGB, CMYK 컬러모델은 각각 디스플레이 장치와 하드카피 장치에 적합한 모델들이지만 인간에게 직관적인 색지정 방법을 제공하기 위해 필요한 명암도와 컬러요소가 분리되어 있지 않기 때문에 영상처리 알고리즘 구현을 위해 명암 및 컬러요소를 따로 필요로 하는 분야에서는 사용하기에 적절치 않다. 영상처리를 위해 주로 사용되는 컬러모델에는 HSV, HSI, HSB 등이 있는데 본 연구에서는 사람의 컬러인식방법과 비슷하고 프로그램 구현이 용이한 HSV 컬러모델을 사용하였다. HSV는 Hue(색상), Saturation(채도), Value(명도)를 나타내고, HSV 컬러모델은 (그림 2)와 같다. HSV 컬러모델에서 Hue는 파장에 따라 색깔을 분리한 것으로 수직축을 중심으로 회전하는 회전각으로 표시된다. Hue값은 0~360의 값을 갖고 보색끼리는 180° 반대편에 위치한다. Saturation은 색깔의 순수도로서 광학적



(그림 2) HSV 컬러모델

으로 순수할수록 값이 크고, 흰색이 섞일수록 값이 작아지며, 0~1(0~100%)사이의 값을 갖는다. 중심축에 가까울수록 채도가 0에 가까워지고, 바깥쪽으로 나을수록 1에 가까워진다. Value는 빛의 밝기를 나타내며, 육각뿔의 꼭지점에서 최상부까지 0~1(0%~100%)값을 갖는다. 따라서 V=1(100%), S=1(100%)이면 순수한 색상이 되며 V=1(100%), S=0(0%)이면 흰색이 된다.

2.2 후방등 후보영역 분할

복잡한 도로영상에서 후방등을 찾기 위해서는 우선 후방등의 후보영역을 분할해야 한다. 이를 위해 앞에서 언급한 후방등의 컬러 특징과 기하학적 특징을 사용한다. 먼저 입력영상에서 후방등의 컬러 특징을 띄는 모든 영역을 찾아낸다. HSV 컬러모델에서 후방등의 붉은색과 흰색에 해당하는 영역을 결정지을 수 있는 분할문턱값(segmentation threshold)을 결정한다. HSV 컬러모델에서 임의의 한 픽셀은 3차원상의 한 점에 해당하므로 후방등의 컬러정보도 3차원상에서 정의되어야 하며, Hue, Saturation, Value 각각의 3가지 요소에 의해 결정되는 붉은색과 흰색의 범위를 각각 집합 D_R 과 D_W 로 정의하고 구간과 야간에 다른 값을 적용한다. $f(i, j)$ 를 입력영상 좌표 (i, j) 의 픽셀값으로 정의하면, $g(i, j)$ 는 식 (1)에 의해 입력영상을 구간에는 붉은색 영역과 그 이외의 영역으로 분류되는 이진 화영상으로 변환하고, 야간에는 붉은색, 흰색, 그 이외의 영역으로 분류한다.

$$g(i, j) = \begin{pmatrix} k_1 & \text{for } f(i, j) \in D_R \\ k_2 & \text{for } f(i, j) \in D_W \\ k_3 & \text{otherwise} \end{pmatrix} \quad (1)$$

where k_1, k_2, k_3 are constant.

(그림 3)의 입력영상에 대해 식 (1)을 적용한 결과는 (그림 3b)와 같고 후방등의 컬러특징을 만족하는 픽셀을 흰색으로 나타냈다. 다음 단계에서는 $g(i, j)$ 로 변환된 영상에서 흰색으로 이루어진 영역을 분류하기 위해 영역경계선을 찾는데 유용한 4-direction 체인코드(Chain Code) 기법을 사용한다[14].

위의 과정을 거치면 다수의 후방등 후보 영역이 추출된다. 하지만 대부분의 영역은 후방등 패턴과 일치하지 않는다. 따라서 후방등 패턴의 기하학적 특징을 이용하여 후방등에 적합하지 않은 패턴들을 제거한다.

추출된 폐곡선 영역을 포함하는 최소 직사각형의 폭과 높이를 구한 후 긴 쪽을 장축 a , 짧은 쪽을 단축 b 로 정의하고 단위는 픽셀수이다. 최소 직사각형을 구하는 과정은 도로면에 대해 평행하게 나타나는 직사각형 형태의 후방등을 구하기 위한 것이므로 직사각형의 폭과 높이는 각각 X축, Y축과 평행해야 한다. 기하학적 특징을 3가지 특징량으로 정의하였다. 첫 번째 특징량은 도형의 장축과 단축의 길이이다. 이들은 일정 크기내에 존재해야 하므로 이 특징량을 이용하여 영상내에 나타날 수 있는 후방등의 크기에 비해 너무 크거나 작은 영역을 제거한다. 두 번째 특징량은 (2)와 같이 후방등 영역의 장축과 단축의 종횡비(axis ratio)이다. 세 번째 특징량은 영역의 실제 면적과 이 영역을 포함하는 최소 직사각형의 면적의 비율인 점유율(rectangularity)이며 (3)과 같다. 이 값이 1에 가까울수록 영역의 형태가 후방등 형태에 가깝다.

$$\text{axis ratio} = \frac{b}{a} \quad (2)$$

$$\text{rectangularity} = \frac{\text{region area}}{\text{area of a bounding rectangle}} \quad (3)$$

세 가지 기하학적 특징을 만족하는 각각의 영역을 $P_i(i=1, \dots, n)$ 라고 정의하고, P_i 의 무게중심 좌표를 $(C_x(P_i), C_y(P_i))$ 라 정의한다. (그림 3b)에 위의 특징량을 적용한 결과가 (그림3c)와 같고 많은 영역들이 제거된 것을 알 수 있다.

2.3 한 쌍의 후방등 탐지

본 단계에서는 한 쌍의 후방등의 위치적 특징을 사용하여 전 단계들 통과한 n 개의 후보 영역들 중에서 한 쌍의 후방등을 탐지한다. 서로 다른 후보 영역 $P_i, P_j(i \neq j)$ 에 대해 아래 특징들을 사용하여 모든 조건을 만족하며 가장 가까이 위치하는 후방등을 찾는다.

첫 번째 특징은 두 후보 영역 P_i 와 P_j 의 수평 정도이다. 한 쌍의 후방등은 도로면에 대해 평행하다. 따라서 한 쌍의 후방등이 되기 위해서는 두 후방등 영역의 무게중심을 이은 직선의 기울기인 식 (4)의 θ 값이 0에 가까워야 한다.

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{C_y(P_i) - C_y(P_j)}{C_x(P_i) - C_x(P_j)} \right] \quad (4)$$

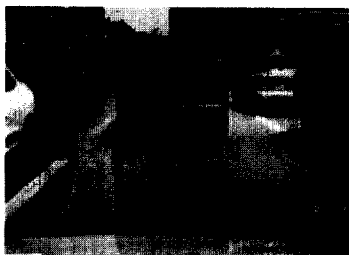
두 번째 특징은 두 후보 영역 P_i 와 P_j 형태의 유사성이다. 식 (5)와 같이 두 영역의 종횡비(axis ratio)의 비율이 1에 가까워야 한다.

$$pattern\ similarity = \frac{axis\ ratio\ of\ P_i}{axis\ ratio\ of\ P_j} \quad (5)$$

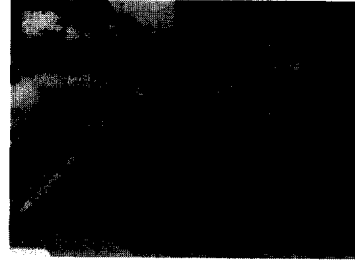
세 번째 특징은 두 후보 영역 P_i 와 P_j 중심간의 수평 거리가 y 좌표의 무게중심에 따라 일정 범위내에 포함되어야 한다는 것이다. 원근 투영에 의해 전방차량이 멀어질수록 두 후방등의 수평 간격은 작아진다. 따라서 도로면이 수평을 유지한다면 영상내의 두 후방등 중심점 수평거리는 각각의 y 좌표에서 일정 범위내에 존재해야하고 이를 벗어나면 후방등으로 선택할 수 없다. 식 (6)의 함수 $F_{Min}(y)$, $F_{Max}(y)$ 는 임의의 y 좌표에서 허용되는 두 후방등의 수평거리 최소값과 최대값을 의미한다.

$$F_{Min} \left[\frac{C_y(P_i) + C_y(P_j)}{2} \right] \leq |C_x(P_i) - C_x(P_j)| \leq F_{Max} \left[\frac{C_y(P_i) + C_y(P_j)}{2} \right] \quad (6)$$

위의 세가지 위치 특징을 만족하는 모든 후보 후방등을 구한 후 가장 가까이 위치하는 것을 전방차량의 후방등으로 결정한다. 위의 특징들을 사용하여 최종적으로 탐지된 한 쌍의 후방등의 모습은 (그림 3d)와 같다. 가장 가까이 위치하는 한 쌍의 후방등을 탐지한 후에는 가장 최근에 탐색된 후방등 위치를 기준으로 탐색 영역을 좀더 축소하여 위의 과정을 반복하도록 한다. 연속적으로 추출되는 두 후방등 영역 중심점의 평균점을 가중평균기법을 사용하여 계속 갱신도록 한다. 새롭게 추출되는 일련의 두 후방등 평균점이 이전의 가중평균점과 일정이상 차이가 날 경우에는 새로운 차량이 감지된 것으로 간주하고 재탐색을 하도록 한다.



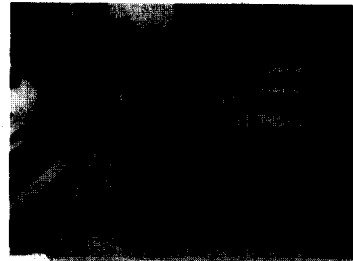
(a) 입력 영상



(b) 컬러 특징으로 분할된 영역



(c) 기하학적 특징으로 분할된 영역



(d) 위치 특징으로 탐지된 후방등

(그림 3) 후방등 탐지 과정

3. 전방차량의 브레이크 사용 여부 판단

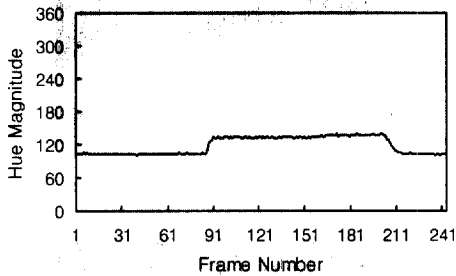
운전자가 주행 중 전방차량과의 간격을 조절하는 주요 판단 요소는 전방차량의 거리와 브레이크 사용 여부이다. 특히 시내주행과 같이 가다서다를 반복하는 저속주행에서 전방차량의 브레이크 사용여부를 아는 것은 매우 중요하다. 따라서 외국의 군집주행 연구에서도 차량간 무선통신을 통해 브레이크 사용여부 정보를 상호전달한다[1, 2]. 하지만 후방등 영역의 컬러정보 변화정도를 분석하면 기존의 차량에 추가 장치를 장착하지 않고도 전방 차량의 브레이크 사용 여부를 알 수 있다.

인간의 시각으로 후방등을 관찰하면 브레이크등이

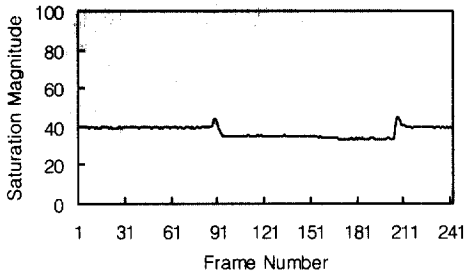
미등보다 훨씬 밝은 붉은색을 띄는 것을 알 수 있다. 컬러비전을 사용하여 미등과 브레이크등을 구별하기 위해서 브레이크등의 점등 전후 일정 시간 동안 후방등 영역내의 HSV 컬러모델 3요소인 Hue, Saturation, Value 각각의 값의 변화를 살펴보면 (그림 4)와 같다. 이 결과는 일정거리에 위치한 전방차량의 미등이 켜진 상태에서 브레이크등을 일정시간 켜 후 다시 미등상태로 변하는 약 9초 동안 후방등 영역내의 모든 컬러화소들의 Hue, Saturation, Value 평균값을 그래프화한 것이다. Hue값의 변화는 붉은색의 변화가 관심 대상이므로 (그림 1)의 HSV 컬러모델에서 붉은색의 중심

Hue값을 0°에서 180°로 재설정하기 위해 모든 Hue값을 180°씩 이동시키고, Saturation과 Value값의 범위는 0~100으로 설정하였다.

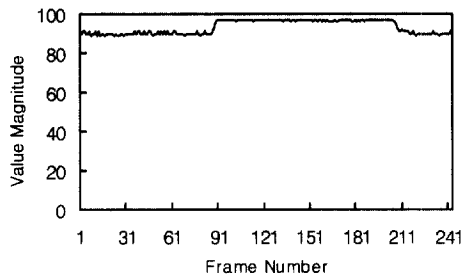
위의 그래프를 보면 브레이크등이 켜지면 미등의 상태와 비교하여 Hue값이 증가하고, Saturation값은 감소하고, Value값은 증가함을 알 수 있다. Hue값이 증가하는 것은 브레이크등이 켜지기 전의 미등은 순수한 붉은색에 다른 색들이 포함되어 있지만, 브레이크등이 켜지면서 많은 색들이 붉은색에 가까운 색으로 변하기 때문이다. 따라서, 브레이크등이 켜지면서 붉은 색의 중심 Hue값인 180°에 가까워지는 것을 알 수 있다. Saturation의 경우는 브레이크등이 켜지면 하우스징내의 흰색 브레이크등 전구가 밝게 빛나므로 미등의 붉은색에 흰색의 혼합정도가 높아져서 Saturation값이 감소하는 것이다. Value의 경우는 브레이크등이 켜짐에 따라 후방등 영역이 전체적으로 밝아지기 때문에 Value값이 증가함을 알 수 있다. 위의 실험 결과로 미등을 탐지한 상태에서 전방차량의 브레이크등 점등 여부를 판단하기 위해서는 3가지 요소 평균값의 변화 추이를 이용해야함을 알 수 있다. 즉, Hue는 붉은색의 중심 Hue값 방향으로 변화하고, Saturation은 감소방향, Value는 증가방향으로 변화한다. (그림 4)는 주간에 측정한 결과이고 야간에 같은 실험을 수행하면 주간과 같은 결과를 얻을 수 있고 주간보다 큰 변화량을 나타낸다.



(a) Hue



(b) Saturation



(c) Value

(그림 4) 브레이크등이 켜지기 전후 후방등 영역의 Hue, Saturation, Value 변화도

4. 전방차량의 거리 및 방향 측정

컴퓨터비전시스템을 이용하여 영상내에 위치한 물체까지의 거리를 측정하는데 주로 스테레오비전(stereo vision)이 사용되며, 일반적으로 모노비전(mono vision)을 이용해서는 거리를 측정할 수가 없다. 하지만 거리를 측정하고자하는 물체가 수평면으로부터 일정 높이에 위치하고 카메라 위치, 기울어진 각도(tilt angle), 초점거리(focal length) 등의 파라미터값을 정확하게 알면 모노비전으로도 물체까지의 거리 및 방향을 측정할 수 있으므로 이 방법으로 전방차량의 거리 및 방향을 측정한다. 탐지된 한 쌍의 후방등 각각에 대한 중심점을 구한 후 두 중심점의 평균점을 전방차량의 후방 중앙점으로 정의하고 이 점까지의 거리 및 방향을 구한다. 이 방법을 이용하기 위해서는 도로면에서 후방등 중심점까지의 높이가 일정해야 하지만 차종에 따라 다르다. 따라서 실험에서는 후방등 높이가 비슷한 중형

승용차량들의 평균높이를 구해서 사용하였다. 이 방법은 전방차량과 카메라를 장착한 차량이 같은 경사의 도로상에 위치하고, 차량에 장착된 카메라의 높이는 차량의 진동에 관계없이 항상 일정하다는 가정을 기본으로 한다.

카메라의 기하학적 모델링을 통하여 전방차량까지의 거리와 방향을 측정하기 위해서는 좌표계 설정과 좌표계간 변환과정이 정의되어야 한다. 사용되는 좌표계는 모두 오른손 직교좌표계(Euclidean coordinate system)로 화면좌표계 (X_s, Y_s), 카메라좌표계 (X_c, Y_c, Z_c), 월드좌표계 (X_w, Y_w, Z_w)이다. 화면좌표계(screen coordinate system)는 CCD 카메라에서 입력된 전방도로 영상으로부터 전방차량을 인식하는데 사용되는 좌표계로 도로상의 3차원 좌표점들이 원근 투영에 의해 매칭된다. 영상화면의 중심점을 원점(O_s)으로 하고 수평축을 X_s , 수직축을 Y_s 로 설정한다. 카메라좌표계(camera coordinate system)는 렌즈 초점(focal point)을 원점(O_c)으로 하고, 카메라의 시축(optical axis)을 Z_c 로 하고, X_c, Y_c 축은 Z_c 축을 기준으로 결정된다. 월드좌표계(world coordinate system)는 차량의 위치를 기준으로 하여 설정되는 좌표계로서 차량의 진행방향을 Y_w 축이라 하고, 높이방향을 Z_w 축, 횡방향을 X_w 축으로 정의하며, $Z_w=0$ 은 도로면을 의미한다. (그림 5)는 설정된 좌표계와 차량간 위치관계를 나타내고, 카메라는 차량의 룸미러 위치에 전방 정면을 향하도록 설치되었다. 카메라좌표계와 월드좌표계의 X 축은 평행하고, 카메라 시축 Z_c 는 월드좌표계의 Y_w-Z_w 평면

상에 위치한다. 또한, 카메라좌표계의 원점은 월드좌표계의 Z_w 축상에 위치한다.

(그림 5)내의 파라미터들에 대한 정의는 다음과 같다.

f : 카메라 초점거리(focal length)

θ : 카메라좌표계의 Z_c 와 실세계좌표계의 Z_w 가 이루는 각도

H : 도로면에서 카메라 초점까지 높이

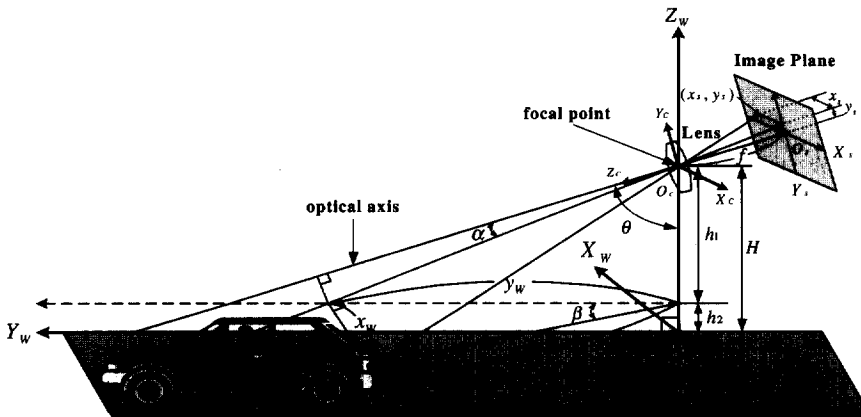
h_1 : 후방등 중심부터 카메라 초점까지 높이

h_2 : 도로면에서 후방등 중심까지 높이

D : 전방차량까지의 거리

β : 전방차량의 방향

도로면에서 h_2 높이에 위치하는 후방등 중심점은 월드좌표계에서 $\mathbf{v}_w = (x_w, y_w, z_w)$, 카메라좌표계에서 $\mathbf{v}_c = (x_c, y_c, z_c)$, 화면좌표계에 원근 투영된 점은 $\mathbf{v}_s = (x_s, y_s)$ 로 정의된다. 카메라좌표계와 화면좌표계의 변환 관계는 식 (7)과 같고, 월드좌표계와 카메라좌표계의 변환 관계는 식 (8)과 같다. 카메라좌표계는 벡터 t 만큼 평행이동하고, X_c 을 기준으로 $\pi - \theta$ 만큼 시계방향으로 회전하는 \mathbf{R}_x 와 Z_c 축을 기준으로 π 만큼 반시계방향으로 회전하는 \mathbf{R}_z 의 곱인 행렬 \mathbf{R} 에 의해 월드좌표계로 변환된다. 따라서, 전방차량의 후방등 중심점까지의 거리 D 와 방향 β 를 구하는데 아래 관계식을 사용한다. 화면좌표계로 나타나는 후방등 중심점의 좌표값으로부터 카메라좌표에서의 좌표값을 구한 후, 최종적으로 월드좌표계에서의 좌표값을 구하면 이로부터



(그림 5) 좌표계와 전방차량의 위치 관계

터 거리와 방향을 측정할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x_s \\ y_s \end{pmatrix} = \frac{f}{z_c} \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{v}_w^T = \mathbf{R}\mathbf{v}_c^T + \mathbf{t}^T$$

where \mathbf{R} is a 3×3 rotation matrix and \mathbf{t} is a translation vector.

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= \mathbf{R}_x \mathbf{R}_z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\pi - \theta) & \sin(\pi - \theta) \\ 0 & -\sin(\pi - \theta) & \cos(\pi - \theta) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos \pi & -\sin \pi & 0 \\ \sin \pi & \cos \pi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & \sin \theta & -\cos \theta \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\mathbf{t} = (0, 0, H)$$

앞에서 설명한 알고리즘으로 전방차량의 후방등 중심점 \mathbf{v}_s 를 구하고, 초점 거리 f 를 알고 있으므로 식 (7)에서 z_c 를 알면 x_c, y_c 를 구할 수 있다. z_c 는 식 (9)에서 (그림 5)의 α 를 얻은 후 이 값을 사용하여 구해진다.

$$\begin{aligned} \alpha &= \tan^{-1}\left(\frac{y_s}{f}\right) \\ z_c &= \frac{h_1}{\cos(\theta - \alpha)} \end{aligned} \quad (9)$$

카메라좌표계의 \mathbf{v}_c 좌표값을 구한 후에는 식 (8)로부터 월드좌표계에서의 전방차량 후방등 중앙점 \mathbf{v}_w 좌표값을 구한다. 최종적으로 구하고자 하는 전방차량의 거리 D 와 방향 β 는 각각 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{x_w^2 + y_w^2} \\ \beta &= \tan^{-1}\left(\frac{y_w}{x_w}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

영상내에 있는 물체 혹은 특정점까지의 거리를 측정하기 위해서는 카메라 캘리브레이션(camera calibration)을 하여야 한다. 카메라 초점으로부터 전방차량의 거리를 계산하기 위해 사용된 (그림 5)의 카메라 관련 파라미터들은 각각 $\theta = 84^\circ, f = 8mm, h_1 = 40cm, h_2 = 100cm,$

$H = 160cm$ 로 설정되었다. 수평도로 전방의 미리 정해진 거리에 차량을 위치시키고, 후방등 중앙점에 특정 표식을 부착하여 이 점까지의 거리를 측정한 후 모델에 의해 계산된 거리와 일치하는가를 확인한다.

5. 실험 결과

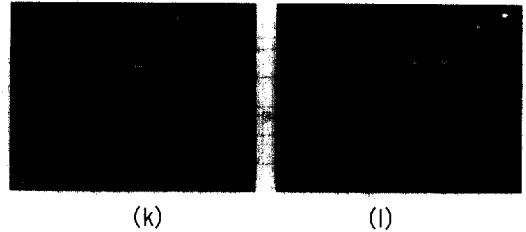
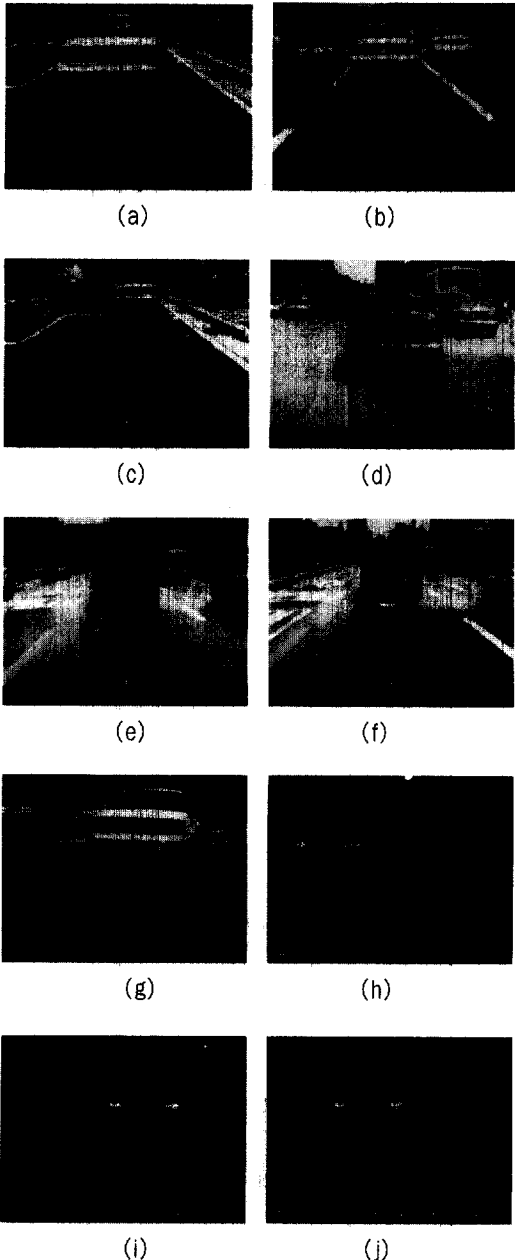
실험은 후방등 탐지실험과 군집주행실험으로 나누어 수행되었다. 첫 번째 단계에서는 KAV-III (Korea Autonomous Vehicle-III)에 장착된 있는 컬러카메라로 주야간 도로영상을 녹화하여 실내에서 후방등 탐지를 실험하였고, 두 번째 단계에서는 KAV-III에 컬러비전 시스템을 구축하여 전방차량을 자동조향으로 따라가는 군집주행실험을 수행하였다. 알고리즘은 Pentium-II 350에서 Visual C++로 구현되었고, 영상처리보드는 Matrox사의 Meteor-I, 영상신호는 NTSC 방식의 컬러신호, 입력된 영상의 해상도는 $320 \times 240 \times \text{RGB} 24\text{bit}$ (각 8bit)를 사용하였다. 프로그램 구현시 HSV 컬러모델을 쉽게 사용하기 위해 RGB 컬러값을 HSV 컬러값으로 변환한 Lookup Table을 만들어 참조하였다. 위의 실험 환경하에 입력영상에 대해 초당 30 frame에 가까운 영상처리속도를 얻을 수 있었고 따라서 군집주행실험에 적용할 수 있었다. 실험에 사용한 카메라와 렌즈의 사양은 <표 1>과 같다.

<표 1> 실험에 사용된 카메라와 렌즈 사양

	Color Camera	Monochrome Camera
Image Device	1/3-inch CCD (approx. 380,000 pixels)	1/3-inch CCD (approx. 380,000 pixels)
Scanning Method	2 : 1 Interlace	2 : 1 Interlace
Horizontal Resolution	Approx. 570 lines	Approx. 570 lines
Minimum Object Illumination	1x/F1.2	0.03x/F1.2
Lens		
Focal Length	8~16mm	
Iris	Automatic	
Focus	Manual	
F-Number	F1.6	

주간과 야간시 다양한 거리에 위치한 전방차량의 후방등을 탐지한 결과는 (그림 6)과 같다. 야간에는 미등 및 브레이크등을 성공적으로 탐지할 수 있었지만, 주

간의 경우에는 차종과 조도에 따라 미등을 탐지하지 못하는 경우가 발생하였고 브레이크등이 켜진 상태는 성공적으로 탐지하였다. 탐지된 전방차량의 미등 혹은 브레이크등을 직사각형으로 나타냈다. 주간 영상에서 흰색 직사각형은 전방차량의 브레이크등이 켜진 상태를 나타내고 검은색 직사각형은 켜지지 않은 상태를

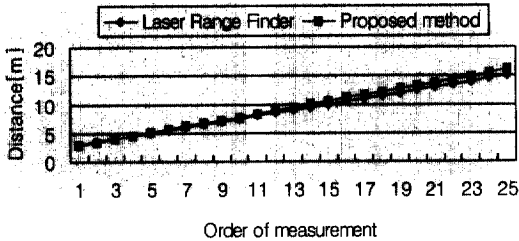


(그림 6) 탐지된 후방등 및 거리와 방향을 나타낸 실험 결과

나타낸다. 야간 영상에서는 모두 흰색으로 나타냈다. 직사각형내의 '+'는 각 후방등의 중앙점을 나타낸다. 또한 그림 하단에 측정된 전방차량의 거리 및 방향을 나타내고 있으며, 거리의 단위는 미터(m), 방향의 단위는 도(°)이다.

(그림 6)에서 야간 영상은 차량의 전조등을 켜고 입력 받은 영상이지만 상당히 어둡게 나타남을 알 수 있다. 이것은 컬러카메라가 흑백카메라에 비해 감도가 낮기 때문이다. CCD 카메라의 감도를 나타내는 단위로는 Lux가 사용되는데 각각의 최소 조도(illumination)는 일반적으로 컬러카메라의 경우 1Lux, 흑백카메라는 0.05Lux의 사양을 가지고 있다. 조도값이 작을수록 적은 밝기의 빛도 감지할 수 있음을 의미한다. 따라서 야간차선인식과 같이 차량의 불빛으로 감지해야 하는 수동적인 표식의 경우에는 흑백 카메라를 사용해야 한다. 하지만 차량의 후방등은 스스로 빛을 발하는 표식이기 때문에 컬러카메라를 사용하는 것이 적당하다. 오히려 흑백 카메라로 후방등을 입력 받으면 번짐 현상이 심하게 발생하게 된다.

(그림 7)은 후방등의 위치를 이용하여 측정된 전방차량까지의 거리와 레이저 거리계를 사용하여 측정된 거리를 나타낸다. 사용된 레이저 거리계는 100m 이상 거리를 측정할 수 있으며 $\pm 5\text{cm}$ 의 정확성을 갖는다. 전방차량이 3m부터 15m까지의 0.5m 간격으로 위치할 때 두 가지 방법으로 측정된 거리값을 측정된 결과, 레이저 거리계의 측정값과 비교하여 평균적으로 0.488m의 오차를 보였다. 전방차량의 위치가 멀어짐에 따라 오차가 증가함을 알 수 있는데, 이것은 차량의 위치가 멀어짐에 따라 차량 후방등 중심점을 나타내는 한 픽셀이 의미하는 실제 거리값이 상대적으로 증가하기 때문이다. 이 정도의 오차는 저속주행에서 전방차량의 추돌을 예방하기 위한 거리측정 보조장치에 적용될 수 있을 것이다.



(그림 7) 거리 측정 결과

야간 주행시 도로영상을 보게 되면 주간 영상에 비해 영상이 단조롭고 주변의 조도 변화가 적으며 대부분의 사물이 검게 나타난다. 주간의 경우에는 조도에 따라 영상의 gray-level값이 수시로 변하기 때문에 미등을 탐지하기가 쉽지 않다. 하지만 야간의 경우에는 차량의 전조등, 가로등, 기타 흰색을 띄는 물체 외에는 거의 검은색에 가깝게 나타난다. 따라서 차량의 후방등을 탐지하기가 주간에 비해 훨씬 수월하다. 반대차선 차량의 전조등은 야간영상에서 흔하게 볼 수 있는 광원인데 전조등의 경우 흰색을 띄고 번짐현상을 보이기 때문에 미등과 쉽게 구분할 수 있다. 야간 주행 환경을 보면 모든 차량은 미등을 켜고 주행하며 주간과 다르게 배경과 확연히 구분된다. 따라서 미등 추적 방법은 주간보다는 야간에 효과적임을 알 수 있다. 흑백영상을 사용하여 컬러영상에서와 같은 방법으로 실험하였다. 야간에 미등의 gray-level값은 흰색에 가까운 값을 갖기 때문에 컬러영상에 적용되는 알고리즘을 약간 수정하여 쉽게 적용할 수 있었다. 주간에 미등탐지는 어려웠고 브레이크등 탐지는 가능했다. 야간에는 미등과 브레이크등을 탐지할 수 있었지만 두 종류의 후방등을 구분하기는 힘들었다.

무인자동제어시스템이 장착된 KAV-III에 후방등 탐지 알고리즘이 구현된 컬러비전시스템을 장착하여 차량의 후방등 거리 및 방향 정보를 측정한 후 이를 이용하여 저속군집주행을 수행하였다. 실험은 야간에 포장도로에서 이루어졌고, 직선로 및 완만한 곡선로를 15km/h의 속도로 전방차량을 추적할 수 있었다. 곡률이 심한 곡선로에서는 전방차량이 영상에서 사라지는 경우가 발생하여 광각 카메라를 사용하거나 전방차량의 위치에 따라 카메라의 회전이 필요함을 알 수 있었다. 거리 및 방향 측정에 있어서 오차가 발생하지만 군집주행에 적용 가능했다.

단일 카메라 모델을 사용하여 거리를 구하는데 있어서 차종에 따라 후방등의 높이가 다르고, 주행 도로가

평평하지 않은 경우에는 거리 측정에 많은 오차가 발생한다. 이 문제는 동일한 알고리즘을 스테레오비전 시스템에 적용하여 해결 가능할 것이다.

6. 결 론

본 논문에서는 저속주행환경에서 컬러영상처리로 차량 후면에 위치하고 붉은색을 띄는 미등과 브레이크등을 이용하여 근거리 전방차량을 추적하는 방법에 대해 설명하였다. 차량의 특징 정보는 모든 차량이 가지고 있는 미등과 브레이크등을 사용하였고 이들의 컬러, 기하학적, 위치적 특징을 이용하여 탐지하였다. 후방등과 카메라의 기하학적 위치 관계를 이용하여 전방차량의 거리 및 방향을 측정할 수 있었다. 또한, 탐지된 후방등 영역의 컬러정보를 분석하여 브레이크 작동 여부도 판단할 수 있었다. 주야간의 실험 결과 야간에는 효과적으로 적용할 수 있었지만, 주간에는 후방등의 하우징 종류, 차종, 조도에 따라 미등을 탐지하는데는 차이가 발생했고 브레이크등은 쉽게 탐지할 수 있었다. 본 알고리즘이 구현된 컬러비전시스템을 무인자동차 KAV-III(Korea Autonomous Vehicle-III)에 탑재하여 야간에 전방차량의 후방등을 추적하여 15km/h의 속도로 군집주행할 수 있는 결과를 얻었다.

따라서 후방등을 이용한 전방차량추적방법은 주간에는 다른 거리 측정 센서와 함께 사용되어 전방차량의 브레이크 작동여부를 판단하는데 사용될 수 있을 것이고, 야간에는 주간에 비해 높은 신뢰성으로 근거리 전방차량을 탐지하고 추적하는데 적용될 수 있을 것이다. 도심지 주행 상황에서의 같이 차량간 간격이 좁고 가다서다(stop-and-go)를 반복하는 교통상황에서 전방차량의 거리 및 브레이크상태를 알려줄 수 있으므로 추돌경보에 적용할 수 있을 것이고, 거리계와 함께 사용하여 LSA(Low Speed Automation)시스템을 구현하는데 유용하게 적용될 수 있을 것이다. 전방차량 거리 측정의 정확성을 향상시키기 위해 위에서 설명한 방법을 스테레오비전에 적용할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] Pascal Daviet, Michel Parent, "Longitudinal and Lateral Servoing of Vehicles in a Platoon," Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Sympo-

sium, pp.41-46, 1996.

[2] Masahiro Mio, Akihide Tachibana, Keiji Aoki, Makoto Nishida, "Platoon System Based on Optical Inter-Vehicle Communication," The Second World Congress on Intelligent Transport Systems, pp. 1272-1277, 1995.

[3] 이희만, "뉴럴네트워크를 이용한 무인전방차량추적 방법," 정보처리논문지, Vol.3, No.5, pp.1037- 1045, 1996.

[4] U. Solder, V. Graefe, "Object Detection in Real Time," SPIE Symposium on Advances in Intelligent Systems, Vol.1388, pp.112-119, 1990.

[5] T. Zielke, M. Brauckmann and W. von Seelen, "Intensity and Edge-Based Symmetry Detection with an Application to Car-Following," CVGIP : Image Understanding 58, pp.177-190, 1993.

[6] A. Kuehnle, "Symmetry-Based Recognition of Vehicle Rears," Pattern Recognition Letters 12, pp. 249-258, 1991.

[7] J. -C. Burie and J. -G. Posraire, "Enhancement of the Road Safety with a Stereovision System Based on Linear Cameras," Proc.of Intelligent Vehicles 96, pp.147-152, 1994.

[8] Bertozzi, Massimo, Broggi and Alberto, "Real-Time Lane and Obstacle Detection on the GOLD System," Proc. of Intelligent Vehicles 96, pp.213-217, 1996.

[9] Yassine Ruich, Jack-Gerard Postaire, "A New Neural Real-Time Implementation for Obstacle Detection using Linear Stereo Vision," Real-Time Imaging, Vol.5, pp.141-153, 1999.

[10] U. Franke, I. Kutzbach, "Fast Stereo based Object Detection for Stop&Go Traffic," Proc. of IEEE Intelligent Vehicles 96, pp.339-344, 1996.

[11] A. Giachetti, M. Campani, R. Sanni and A. Succi, "The Recovery of Optical Flow for Intelligent Cruise Control," Proc. of Intelligent Vehicles 95,

pp.91-96, 1994.

[12] W. Enkelmann, "Obstacle Detection by Evaluation of optical Flow Fields from Image Sequences," Proc. of First European Conference on Computer Vision, pp.134-138, 1990.

[13] Betke, Maegrit, Haritaoglu, Esin, Davis, Larry, "Multiple Vehicle Detection in Hard Real-Time," Proc. of Intelligent Vehicles, pp.351-356, 1996.

[14] Gonzales, Woods, 'Digital Image Processing', Addison-Wesley, 1992.



노 광 현

e-mail : khrho@dreamwiz.com

1995년 고려대학교 산업공학과
졸업(학사)

1997년 고려대학교 대학원 산업
공학과(공학석사)

1997년~현재 고려대학교 대학원
산업공학과 박사과정

관심분야 : 지능형 자동차, 컴퓨터비전



한 민 홍

e-mail : mhhan@mail.korea.ac.kr

1964년 서울대학교 기계공학과
졸업(학사)

1973년 University of Minnesota
대학원 산업공학과
(공학석사)

1981년~1982년 숭실대학교 산업공학과 조교수

1985년 Georgia Institute of Tech 대학원 산업공학과
(공학박사)

1986년~1988년 Texas A&M University 산업공학과
조교수

1988년~1990년 포항공대 공과대학 산업공학과 부교수
1991년~현재 고려대학교 산업공학과 정교수

관심분야 : 지능형 자동차, ITS, 컴퓨터비전, 생산자동화