

논문 2016-53-7-9

스테레오 카메라와 번호판 인식 알고리즘을 활용한 차량 속도 측정 시스템 구현

(A Vehicle Speed Measurement System Implementation using a Stereo Camera and a License Plate Recognition Algorithm)

김 영 모*, 류 지 형*, 최 두 현*

(Young-Mo Kim, Jee-Hyung Rheu, and Doo-Hyun Choi[©])

요 약

본 논문에서는 번호판 인식 시스템과 스테레오 카메라를 이용한 차량의 속도 측정 시스템을 제안하고 구현한다. 차량 번호판 인식의 결과로 나오는 특징점을 활용하여 스테레오 영상의 양안 차 정보를 추출하고 이를 이용하여 해당 특징점까지의 거리를 계산한다. 본 논문에서는 인접 스테레오 영상에서 계산된 특징점까지의 거리와 각 거리에 해당하는 시간 정보를 이용하여 차량의 속도를 측정한다. 제안한 속도 측정 시스템의 정확도를 확인하기 위해 테이프 스위치로 된 기준 측정 장비를 사용하여 속도를 비교하였다. 주간과 야간 2회에 걸쳐 실시한 시험 결과에서도 알 수 있듯이 구현된 스테레오 기반 속도 측정 시스템은 경찰청 기준 오차 범위를 만족하는 속도 측정 결과를 보였다.

Abstract

This paper presents and implements a vehicle speed measurement system using a license plate recognition system and a stereo camera. Using the feature points of the license plate recognition system, the disparity information is extracted and then the distance to the feature points is calculated by using the disparity information. In this paper, a vehicle speed is measured using the adjacent distances from consecutive stereo images and the corresponding time of the distances. Actual vehicle speed is also measured using the reference measurement equipment (tape switch based system) in order to test the accuracy of the proposed speed measurement system. The implemented stereo based speed measurement system shows appropriate result within specification both in the daytime and nighttime experiments.

Keywords : Stereo camera, Vehicle speed measurement, License plate recognition, Tape switch

I. 서 론

교통정보 수집 장치에서 차량의 속도를 측정하는 것은 중요한 기능 중의 하나이다. 대부분의 도로가 지능형 교통정보 시스템(ITS : Intelligence Traffic System)

* 정회원, 경북대학교 IT대학 전자공학부 (School of Electronics Engineering, College of IT Engineering, Kyungpook National University, Deagu, S. Korea)

※ 이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

© Corresponding Author (E-mail : dhc@ee.knu.ac.kr)

Received ; January 27, 2016 Revised ; June 17, 2016

Accepted ; July 2, 2016

으로 교체되는 오늘날, 개별 차량의 속도는 자동화된 교통량 조사, 실시간 교통흐름분석, 교통안전 계도 등에 반드시 필요한 정보이다.

현재 차량의 속도를 측정하는 방식으로 하드웨어적인 방법과 소프트웨어적인 방법이 있다. 하드웨어적 방법으로는 루프, 레이저, 레이다, 초음파, 단거리전용통신^[1]등이 있으며, 소프트웨어적인 방법으로는 본 논문이 제안하는 것처럼 영상을 이용하는 방법이 있다.^[2]

이들 각각은 뚜렷한 장단점을 갖고 있다. 예를 들어 레이저 검지 장치는 비 매설식이며, 주변광의 영향에 자유롭고, 직진하는 레이저의 성질상 방향 정보도 정확

하며, 측정 신뢰도가 높고, 속도 측정 시간은 빠르지만 검지 영역이 협소하고 가격이 비싼 단점이 있다.^[3~4] 지면에 매설된 유도 코일의 자기장 변화를 감지하는 루프 검지기는 검지 목적에 따라 신호제어, 램프미터링(ramp metering), 단속용 트리거 등의 용도로 다양하게 설치할 수 있으며 우수한 신뢰성으로 인해 국내는 물론 세계적으로도 널리 이용되고 있는 검지기이나 매설 및 유지보수에 따른 도로통제, 도로파손으로 인한 검지기능 상실 등의 문제가 있고,^[5] 날씨 등의 주변 환경에 영향을 받는다. 무엇보다 차량의 속도가 느릴 때 정확도가 현저히 떨어지는 치명적인 단점이 있다.^[6~7] 초음파 센서는 다루기가 쉽고 가격이 저렴한 장점은 있으나 낮은 해상도, 매질의 종류나 온도에 따른 속도의 차이, 불규칙한 반사 등으로 인해 정확한 측정이 어려운 단점이 있다.^[8]

단거리전용통신이나 스테레오 영상추행기록계^[9]를 이용할 경우, 차량마다 장치를 설치해야 속도를 측정할 수 있다는 단점이 있다. 현재 영상을 이용하여 차량의 속도를 측정하는 여러 가지 알고리즘이 소개되고 있다. 통과하는 차량과 도로면의 차 영상을 이용하는 방법, 그레이 레벨의 오픈컬 플로를 이용하는 방법, 이미지 상에서 특정하기 쉬운 번호판을 특징점으로 잡고 이미지 픽셀을 계산하는 방식^[10] 등이 있다. 그러나 영상을 이용하여 속도를 측정하기 위해 반드시 픽셀의 좌표값을 계산해야 하는데 스테레오 카메라가 아닌 단일 카메라로 얻은 이미지는 한 차원의 거리값을 어렵잡을 수밖에 없는 단점이 있다. 또한 스테레오 이미지가 아닌 싱글 이미지는 배경영상과 이동체의 구별이 곤란하여 이동체 검출이 어려운 점이 있다.^[11] 물체의 온도 차이를 이용하여 이미지 상에서 움직이는 속도를 측정하는 방식^[12]이 소개되고 있으나, 온도 지도의 해상도가 낮으며 온도로 배경과 차량을 분리하기가 쉽지 않다.

영상처리기술을 이용한 속도측정 장치는 측정 당시의 상황을 영상으로 남기기 때문에 증거자료 채취를 위한 별도의 카메라장치가 필요 없으며 시스템이 간단하고 유지 보수도 용이하다. 과거에는 장치가 비싸 실용성이 없었으나 최근에는 하드웨어와 디지털영상처리 기술의 발전으로 성능과 가격이 시장에서 받아들여질 수 있는 수준이 되었고, 실제로 적극적으로 활용하고 있다. 본 논문에서는 스테레오 카메라로 차량의 속도를 측정하는 방법을 제안한다. 획득된 스테레오 영상에서 번호판 영역을 먼저 추출하여 양안차 정보를 획득한 후, 영상의 촬영시간을 이용하여 속도를 계산한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 논문에 사용

한 번호판 인식을 기반으로 하는 차량 속도 측정 시스템을 다룬다. 제안된 시스템의 성능 평가를 위한 시험 결과는 III장에서 다루고, IV장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

본 논문에서 제안하는 속도 측정 시스템은 스테레오 카메라와 번호판 인식(License Plate Recognition; LPR) 시스템을 기반으로 한다. 본 장에서는 번호판 인식 시스템을 간단히 소개하고, 이를 이용한 속도 측정 시스템을 제안한다.

1. 번호판 인식 시스템

한 장의 차량 영상에서 번호판을 인식하는 방법은 많이 보고되고 있다.^[13~14] 대부분의 번호판 인식 시스템은 다음과 같은 과정을 거친다. 영상이 입력되면, 전처리 과정을 거쳐 번호판 후보 영역을 검출하고 영역이나 색상, 모양 등의 사전 정보를 적극 활용하여 번호판 후보 영역을 검출한다. 모든 차량은 일정 규격의 번호판을 부착하고 있으며 이러한 정보는 번호판 추출과 추적에 유용하게 활용된다. 검출된 번호판 영역에 있는 문자나 숫자를 인식하기 위해서는 문자 영역을 분리하고 분리된 문자나 숫자에 대해 템플릿이나 학습과 같은 인식 기법들을 동원해서 최종적으로 번호판의 문자와 숫자를 인식하게 된다. 그림 1에 일반적인 번호판 인식 시스템의 인식 과정을 정리하였다.^[15]



그림 1. 번호판 인식 과정
Fig. 1. Procedure of license plate recognition.

2. 번호판 인식 시스템을 이용한 차량 속도 검출

본 절에서는 스테레오 카메라와 번호판 인식 시스템을 이용한 차량의 속도 측정 방식을 소개한다. 스테레오 영상에서 차량까지의 거리를 측정하기 위해서는 좌

영상과 우영상에서 동일점(매칭점, matching point)을 검출하는 것이 중요하다. 번호판 인식 시스템에서는 번호판 영역도 추출하지만 문자와 숫자도 분리하므로 그 중 한 점을 기준으로 양안 차(disparity)를 구하면 된다. 본 논문에서는 번호판의 첫 번째 문자나 숫자를 기준으로 하였다.



그림 2. 스테레오 좌우 영상의 양안 차
Fig. 2. Disparity of a stereo image.

그림 2에 실제 도로상에서 촬영한 좌우 영상에 대한 양안차를 그림으로 나타내었다. 이렇게 양안 차 정보가 추출되고, 스테레오 시스템의 구조와 카메라의 초점거리를 알고 있으면 카메라에서 차량까지의 거리는 삼각측량법에 의해 바로 구할 수 있다.^[16]

그림 3에서 나타낸 것처럼, 3차원 공간상의 한 점 $P_L = (X, Y, Z)$ 이 $(u_L, v_L), (u_R, v_R)$ 으로 좌영상과 우영상에 각각 투영된다면, 투영된 각 점들과 3차원 상의 좌표는 식 (1)과 같이 주어진다.^[17]

$$\begin{aligned} (u_L, v_L) &= \left(f \frac{X}{Z}, f \frac{Y}{Z} \right) \\ (u_R, v_R) &= \left(f \frac{X-B}{Z}, f \frac{Y}{Z} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

where B : baseline distance, f : focal length

양안 차는 식 (2)와 같이 주어지고, 양안 차와 초점거리를 안다면 거리(Z)는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$d = u_L - u_R = f \frac{B}{Z} \quad (2)$$

$$\therefore Z = f \frac{B}{d} \quad (3)$$

스테레오 카메라 영상에 대해 매칭점을 이용하여 추출된 거리값과, 일정 시간이 지난 후 동일한 방법으로

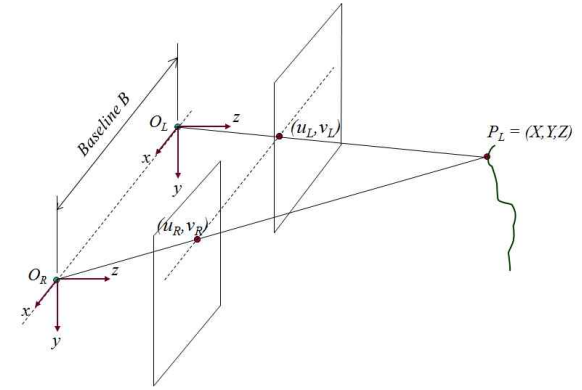


그림 3. 스테레오 시스템
Fig. 3. A stereo system.

획득한 거리값을 안다면, 그 시간동안의 이동 거리를 계산할 수 있다. 이때의 거리를 시간으로 나누면 원하는 차량의 속도가 획득된다.^[18] 식 (4)처럼, 시간 t 에서 얻은 스테레오 영상으로부터 측정된 거리 Z_1 과 시간 $t + \Delta$ 에서 얻은 스테레오 영상으로부터 측정된 거리 Z_2 의 차이를 두 영상의 시간차(Δ)로 나눈 값으로 속도(v)를 구할 수 있다.

$$v = (Z_2 - Z_1) / \Delta \quad (4)$$

그림 4에 스테레오 카메라가 연속적인 영상에 대해 차량의 속도를 검출하는 과정을 요약하였다.

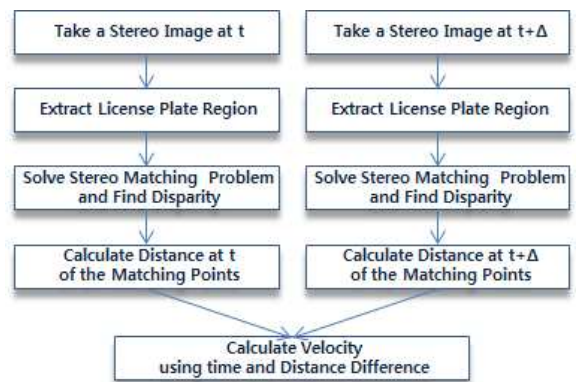


그림 4. 차량 속도 측정
Fig. 4. Measurement of a vehicle velocity.

III. 실험 및 결과

1. 측정 방식

제안하는 시스템이 측정된 속도와 비교할 수 있는 기준 장비가 필요하다. 기준 장비는 도로교통공단이 차량 속도 측정 시 사용하는 테이프 스위치 센서를 사용하였다. 테이프 스위치 센서는 그림 5의 구성도처럼 설치되었다.

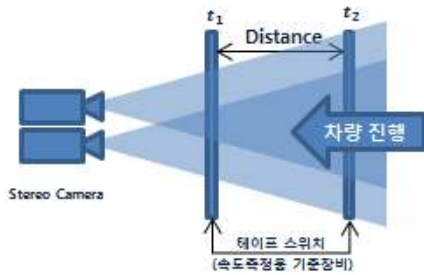


그림 5. 속도 측정 장비의 구성
Fig. 5. Configuration of the proposed speed measurement system.

기준 장비로 설치한 테이프 스위치센서는 압력식 센서로써 PVC 피복 안에 스위치 장치로 구성된 구리도관을 넣어 차량의 압력에 의해 접점이 형성된다. 여기에 연결된 전자장치는 차량이 테이프 스위치를 통과할 때 차량의 하중이 가해짐에 따라 전압의 접점이 발생하는 것을 감지하여 차량의 속도를 계측하는 방식이다.^[19] 두 스위치 사이의 거리를 이미 알고 있으므로, 거리를 시간으로 나누면 속도가 측정되고 이를 기준 속도(v_R)로 삼아 제안된 스테레오 기반의 속도(v_S) 측정시스템의 정밀도를 분석하였다. 우리나라 경찰규격서^[20]에는 속도 위반 단속장비를 현장에 설치하기 위한 조건과 판단 기준을 명확하게 규정하고 있다. 주행한 차량에 대하여 검사대상 장비가 측정된 속도에 대해 검사장비(기준장비)가 측정된 속도의 차이가 $\pm 5\%$ (속도오차율)이내 이어야 하며, 통과한 차량 중에서 단 한 대라도 그 범위를 벗어나지 않아야 한다. 본 시험도 경찰청이 제시한 기준에 근거하여 속도오차율(v_e)을 식 (5)와 같이 계산하였다.

$$v_e = \frac{v_S - v_R}{v_R} \times 100 \quad [\%] \quad (5)$$

여기서, v_S 는 스테레오 기반으로 측정된 속도를 의미하고, v_R 은 기준 장비로 측정된 기준 속도를 의미한다.

사용된 카메라 센서는 CCD소자보다 CMOS소자가 유리하다고 판단하여^[21] CMV4000를 사용하였다. 센서의 규격으로서, 해상도는 2048×2048의 흑백이며, 화소의 물리적인 크기는 5.5 μ m×5.5 μ m, 180fps(10bit)와 37fps(12bit), 글로벌 셔터 방식이다. 본 시험에서 구성한 스테레오 시스템은 초점거리 50mm, 베이스라인 거리 300mm, 광원은 730nm 파장의 LED를 사용하였다. 별도로 도로의 상황을 넓게 확인하기 위한 감시용 IP 카메라를 설치하였다. 사용된 스테레오 카메라 시스템의 주요 사양을 표 1에 정리하였다.

표 1. 스테레오 카메라 규격
Table 1. Specification of the stereo camera.

종 류	규격/모델명	비 고
해상도	2048 × 2048 pixel	4M, 흑백
픽셀 크기	5.5 μ m × 5.5 μ m	셀 사이즈
셔터	글로벌 셔터	
센서 형태	CMOS	
초점거리	50mm	
FPS	37fps-180fp	가변
베이스라인	300mm	
조명	730nm, IRLED	

그림 6은 도로에 설치된 카메라를 촬영한 것이다. 붉은 원으로 표시한 부분이 본 시험에서 사용한 스테레오 카메라이며, 왼쪽에 있는 카메라가 감시용 카메라이다.



그림 6. 도로상의 구조물에 설치된 스테레오 카메라
Fig. 6. Installed stereo camera at a gantry on a road.

그림 7은 본 시스템을 운용하기 위한 사용자 인터페이스(User Interface; UI) 화면이다. 시스템의 상태를 확인하기 위하여 바탕화면에 여러 개의 창이 마련되어 있다. 좌측 상단에 속도를 표시하는 창, 우측 상단에 각 프레임에서 차량번호를 보여주는 창, 좌측 하단에 전체를 조망할 수 있는 창 그리고, 좌우 스테레오 이미지를

위아래로 보면서 차량번호와 속도 및 기타 정보를 한번에 검색할 수 있는 창이 그림의 우측 하단에 있다. 화면의 중간에 위치한 영상들은 좌우 스테레오 영상으로, 추출된 번호판을 붉은 박스로 표시하여, 번호판 추출 상황을 확인할 수 있도록 하였다.

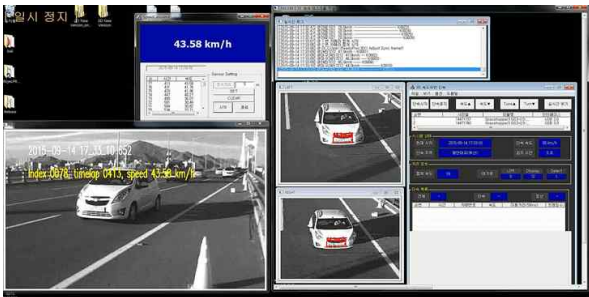


그림 7. 속도 측정 시스템의 사용자 인터페이스
Fig. 7. User interface of the speed measurement system.

2. 실험 결과 및 고찰

구현된 스테레오 기반의 속도 측정 시스템의 정밀도를 확인하기 위해 주간과 야간 각 1회씩 총 2회에 걸쳐 시험하였다.

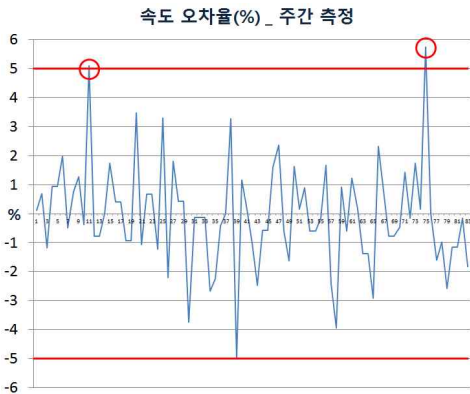


그림 8. 주간에 측정된 속도오차율(허용범위 $\pm 5\%$)
Fig. 8. Velocity error rate at daytime. (margin of error $\pm 5\%$)

그림 8에 주간에 측정된 83대의 속도오차율을 그래프로 나타내었다. 그래프에 경찰규격서 기준 허용 오차 상한선(+5%) 및 허용 오차 하한선(-5%)을 붉게 표시하여, 스테레오 기반으로 측정된 속도의 정확도와 허용 범위 준수여부를 확인할 수 있게 하였다. 83대의 대상 차량 중 2대의 차량이 허용 오차 범위를 각각 0.1km/h, 0.4km/h 벗어났다. 주간 측정 결과, 속도차의 분포는 기준 속도 대비 +4km/h ~ -3.5km/h로 7.5km/h의 범위를 보

였으며, 2대를 제외한 모든 차량은 허용 속도오차율 범위 이내였다.

표 2에 주간에 통과한 차량에 대한 속도 표준 편차를 표시하였다. 속도 표준편차는 1.26Km/h로 테이프 스위치와 제안하는 시스템 간의 유사도(Similarity)가 있다고 판단한다. 이는 테이프 스위치가 측정한 값과 비교하여 비슷한 성능을 보이고 있음을 암시한다.

표 2. 주간 측정 속도에 대한 분석 (단위: km/h)
Table 2. Analysis on the measured speed at daytime (unit: km/h).

	기준장비에 의한 속도	제안장비에 의한 속도	차이
속도 표준편차	6.50	6.82	1.26
최대 속도	88.2	88.3	0.1
최저 속도	60.4	59.3	0.9

2차 측정은 야간에 진행되었으며 통과한 86대 모든 차량이 허용오차 범위인 $\pm 5\%$ 이내의 속도 오차를 보였다(그림 9). 야간 측정 결과, 속도의 표준편차는 5.56km/h로 주간에 비해 차이가 작았으며, 기준 장비와 카메라 간 속도 거리값의 표준편차도 0.9km/h로 작았다. 두 측정 장비 간의 유사도는 주간보다 야간이 높다고 할 수 있으며, 주간보다 야간이 더 안정된 결과를 보여 주었다. 야간 측정 시 속도 거리값의 범위는 +3.8km/h ~ -2.0km/h로 5.38km/h를 보였으며 주간보다 속도 오차 분포도 작았다. 야간이 주간보다 더 높은 정확도를 보인 이유는 인공 조명에 의해 번호판을 촬영한 상태가 더 양호했기 때문으로 사료된다.

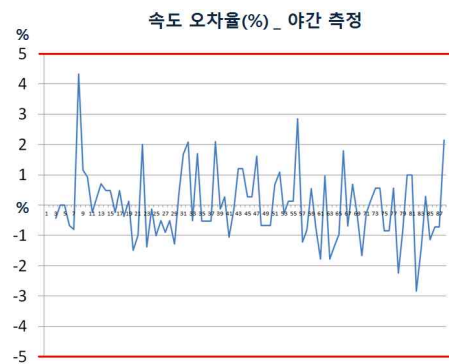


그림 9. 야간에 측정된 속도오차율(허용범위 $\pm 5\%$)
Fig. 9. Velocity error rate at night (margin of error $\pm 5\%$)

표 3. 야간 측정 속도에 대한 분석 (단위 : km/h)
Table 3. Analysis on the measured speed at night (unit : km/h).

	기준장비에 의한 속도	제안장비에 의한 속도	차이
속도 표준편차	5.56	5.78	0.90
최대 속도	90.9	91.6	0.7
최저 속도	70.0	68.6	1.4

IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 번호판 인식 시스템과 스테레오 카메라를 이용하여 차량의 속도를 측정하는 시스템을 구현하였다. 번호판의 첫 문자나 숫자를 특징점으로 양안차를 구하고 이를 이용하여 거리를 측정하였다. 시간차를 둔 스테레오 영상으로부터 획득한 거리 정보와 시간 정보를 활용하여 차량의 속도를 측정하였다. 제안 시스템의 성능을 확인하기 위해 기존 경찰 시험 규격과 같은 시스템을 기준 장비로 설치하여 비교하였고, 주간 및 야간에 속도를 측정하였으며, 속도 오차의 표준편차가 주간 1.26Km/h, 야간 0.9km/h로 나타났다.

현재 도로에 설치된 무인 과속단속 장비는 대부분 루프 센서를 이용하여 속도를 측정하며 속도 측정 순간을 촬영하는 카메라로 구성되어 있다. 이 장치는 매설 시 루프 센서의 간격, 루프 센서의 감도, 매설 깊이, 차량의 속도 구간에 따라 정확도의 차이가 많다. 따라서 설치한 다음 측정된 차량의 속도오차율이 모두 $\pm 5\%$ 가 되어야 운영이 가능하다. 시험 결과 본 시스템이 제안하는 방식은 루프 측정기와 비교하여 뒤지지 않는 성능을 갖고 있다고 판단된다. 아울러, 실제 활용을 위해서 필요한 측정 재현성, 측정 구간 별 정확도, 장비의 노후화에 대한 분석 등에 대한 보완 연구가 필요하다고 사료된다.

이를 위한 추후 연구과제로, 스테레오 카메라를 이용하여 속도를 측정할 때 정확도와 해상도를 높이기 위한 시도로, 프레임 속도를 높여 계산할 수 있는 이미지를 보다 많이 획득하는 방법, 단과장을 이용한 조명과 필터를 활용하여 조명 변화에 보다 강인한 촬영조건, 개인 또는 조리개를 변경하는 브라켓 촬영을 통해 보다 정교한 이미지를 획득하는 방법 등을 들 수 있다. 스테레오 카메라는 이미지를 촬영한다는 속성 때문에 속도를 측정하는 과속 단속 장비뿐만 아니라, 차량 조회(수배차

량 자동 경고), 교통량 조사, 도로 위 교통상황 모니터링 시스템, 차선 위반 등 도로교통 정보 수집을 위한 장비의 센서로써 그 가능성이 무궁무진한 만큼 지속적인 보완 연구를 통해 설치된다면 다양한 용도로 활용도 가능할 것으로 사료된다.

References

- [1] Soon-Yong Park, Jin-Tae Kim, Young-Joon Moon, and Sang-Sun Lee, "Feasibility test of IR-DSRC for measuring vehicle speed", Proceedings of the KOR-KST Conference, vol. 48, pp. 253-261, 2005. 1.
- [2] Jingui Lan, Jian Li, Guangda Hu, Bin Ran, and Ling Wang, "Vehicle speed measurement based on gray constraint optical flow algorithm", Optik - Int. Jour. for Light and Electron Optics, vol. 125, issue 1, pp. 289-295. Jan. 2014.
- [3] Tae Won Kim, Jin Hyoung Kim, Sung Soo Kim, and Yun Ho Ko, "Land preview system using laser range finder based on Heave estimation", Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 49 SC, no. 1, pp. 64-73, 2012.
- [4] Harry H. Cheng, Benjamin D. Shaw, Joe Palen, Bin Lin, Bo Chen, and Zhaoqing Wang, "Development and field test of a laser-based nonintrusive detection system for identification of vehicle on the highway", IEEE Transactions on Intelligent Transportation systems, vol. 6, no. 2, pp. 147-155, Jun. 2005.
- [5] Min Youn Kim, Understanding of IT System Structure, Korea Association of ITS, 2012.
- [6] Turgay Celik and Huseyin Kusetogullari, "Solar-powered automated road surveillance system for speed violation detection", IEEE Transactions on Industrial Electronics. vol 57, no. 9, pp. 3216-3227, Sep. 2010.
- [7] Yong-Kul Ki, "Model for accurate speed measurement using double-loop detectors", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 55, no. 4, pp. 1094-1101, Jul. 2006.
- [8] Tae-Ho Kim and Yongtae Do, "A study to reduce the dependency of an ultrasonic ranging system on its working surroundings", Autumn Conference of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 19, no. 2, pp. 1115-1118, 1996.
- [9] Gatalin Golban, Sergiu Nedeveschi, "Speed estimation for scene objects using stereo visual odometry methods" IEEE international conference, ICCP: Sep. 2013
- [10] Diogo C. Luvizon, Bogdan T. Nassu, and

- Rodrigo Minetto, "Vehicle speed estimation by license plate detection and tracking", IEEE, ICASSP, 2014.
- [11] In-Joon Park, Young-Hak Kim, Woo-Jin Jung, Jung-In Kim, and Jae-Woo Lee, "Car speed measurement using remote images", Conference of Korea Academy of Traffic Accident Investigation, vol. 58, pp. 1071-1076, 2008.
- [12] Jun Ho Oh, Sang Hwa Lee, Boo Hwan Lee, and Jong-Il Park, "Distance measurement of small moving object using infrared stereo camera", Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 49 SC, no. 3, pp. 53-61, 2012. 5.
- [13] Shan Du, "Automatic license plate recognition (ALPR): A state-of-the-art review," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech., vol. 23, no. 2, pp. 311-325, Feb. 2013.
- [14] C. E. Anagnostopoulos, "License plate recognition: A tutorial," IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, pp. 59-67, Spring 2014.
- [15] Mi-Yae Ko, Effective license plate character recognition based on geometric invariant features, Ph. D. Thesis, Kyungpook National University, 2004.
- [16] Seong-Hyun Lee, Understanding of 3D Image, JinSaem Media, 2010.
- [17] R. C. Gonzalesz and R.E. Woods, Digital Image Processing, 3rd ed., 2007.
- [18] Re-Mi Do, Jong-Pil Ahn, and Young-Mo Kim, "The method for estimating vehicle speeds using vertical stereo camera", Summer Conference of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 36, no. 1, pp. 1207-1210, 2013.
- [19] Man Bae Kim, Cheol Seung Hyun, Sung Jun Yoo, and You Sik Hong, "A comparison between the tape switch sensor and the video images frame analysis method on the speed measurement of vehicle", Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 43, no. 9, pp. 120-127, 2006. 9.

- [20] Police Specification of Korea, 6310-98-0001-Sa, 2012.3.27 amendment
- [21] PointGrey White Paper Series, "How to Evaluate Camera Sensitivity", PointGrey, May. 2015.

 저 자 소 개



김 영 모(정회원)

1980년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.

1983년 한국과학기술원 전자공학과 석사 졸업

1989년 한국과학기술원 전자공학과 박사 졸업

1985년~현재 경북대학교 IT대학 교수

<주관심분야: 영상처리, 컴퓨터 비전>



류 지 형(정회원)

1986년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업

2001년 KAIST_ICU(前 한국정보통신대학원대학교) 석사 졸업

2013년 경북대학교 전자공학과 박사 수료

2013년~현재 (주)디아이랩 연구소장

<주관심분야: 컴퓨터그래픽스, 멀티미디어, 비주얼 컴퓨팅, 영상처리,반도체>

최 두 현(평생회원)

대한전자공학회 논문지 제53권 제1호 참조