

논문 2014-09-18

# 비전 기반 주간 LED 교통 신호등 인식 및 신호등 패턴 판단에 관한 연구

(Vision based Traffic Light Detection and Recognition Methods  
for Daytime LED Traffic Light)

김현구, 박주현, 정호열\*

(Hyun-Koo KIM, Ju H. Park, Ho-Youl Jung)

Abstract : This paper presents an effective vision based method for LED traffic light detection at the daytime. First, the proposed method calculates horizontal coordinates to set region of interest (ROI) on input sequence images. Second, the proposed uses color segmentation method to extract region of green and red traffic light. Next, to classify traffic light and another noise, shape filter and haar-like feature value are used. Finally, temporal delay filter with weight is applied to remove blinking effect of LED traffic light, and state and weight of traffic light detection are used to classify types of traffic light. For simulations, the proposed method is implemented through Intel Core CPU with 2.80 GHz and 4 GB RAM, and tested on the urban and rural road video. Average detection rate of traffic light is 94.50 % and average recognition rate of traffic type is 90.24 %. Average computing time of the proposed method is 11 ms.

Keywords : Traffic light detection, Driving assistance system, Haar-like feature, Color segment, Weighted delay filter

## 1. 서 론

운전자는 주행 중에 도로상의 상황을 인지하지 못하는 경우가 발생할 수 있고, 이로 인하여 위험한 상황에 처할 가능성이 있다. 따라서 주행 중에 운전자의 부주의로 인한 사고를 예방하고 편리한 운전 환경을 제공하기 위해서 운전자가 좀 더 편리하고 안전하게 운전할 수 있도록 주행정보나 위험 경고를 제공하는 운전 보조 시스템에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[1-8]. 운전 보조 시스템으로는 후방

주차 경고 시스템, 차선이탈 경고/방지 시스템, 졸음운전 경고 시스템, 차량 간 충돌경고 시스템, 지능순항 제어 시스템, 도로 신호등, 표지판 인식 시스템 등이 있다.

현재 도로에서 일어나는 사고 중 70%는 교차로에서 운전자의 부주의로 인하여 발생하는 것으로 이러한 상황을 2~3초 전에 미리 알고 적절한 대응을 했다면 사고는 50%이상 줄어들거나 경미한 사고로 줄일 수 있다. 이에 따라, 교차로 주행 사고를 줄이기 위해서 운전자가 좀 더 편리하고 안전하게 주행을 할 수 있도록 신호등 정보나 위험 경고를 운전자에게 제공하는 신호등 인식 시스템이 연구개발 되고 있다[2-7]. Frank[2]는 컬러영상으로부터 변형된 가우스 분포 분류기를 제안하였으나, 신호등의 외곽을 검출하기 위해서는 카메라의 노출시간이 충분히 길어야 하는 단점이 있다. Zhuowen[3]은 마코브 체인과 깃스 분포를 이용하여 3차원으로 신호등을 재현하였지만, 프레임 처리시간이 길어서 실 환경에 적용하기 어렵다. Michael[4]은 신호검출을 위해 RGB 색의 비를 이용하여 도로 노면 교통신호

\*Corresponding Author(hoyoul@yu.ac.kr)

Received: 21 Nov. 2013, Revised: 8 Jan. 2014,

Accepted: 24 Feb. 2014.

H.K. KIM: Gyeongbuk Institute of IT Convergence Industry Technology and Yeungnam University.

J.H. Park, H.Y. Jung: Yeungnam University

※ 본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0011096).

를 인식하였으나, 신호등과 같이 색이 일정하지 않은 경우와 하늘과 파랑신호와 같은 유사색 구분에 오차가 큰 단점이 있다. Blancard[5]은 신호의 칼라와 형태를 인식하였다. 칼라분류를 위해 컬러 카메라로부터 얻어진 선택된 칼라에 대해 통과필터를 이용하였다. 그리고, 소벨 에지 필터를 적용하고 Freeman code를 이용하여 영상에서 경계점을 찾고, 반경, 길이, 밀집성의 윤곽의 결과로부터 특징을 추출하여 인식하였다. 이러한 특징 들은 분류를 위해 신경망회로가 사용되었으며, 이러한 처리를 위해 다수개의 고성능 컴퓨터가 사용되었다. Piccioli[6]는 흑백 영상을 이용하여 경계점을 추출한 후 형태 분석을 통해 원형과 삼각형 신호를 찾고, 신호등 배치 데이터베이스와 교차보정을 통해 분류를 했다. Charette[7]은 신호등 검출을 위해 흑백 카메라를 사용하여 그레이 원본영상에 Top-Hat 연산 수행 후 스팟(Spot)의 위치를 검출한 뒤 스팟의 중심 위치를 기준으로 그레이 원본영상에 영역 확장분할(Region Growing) 기법을 이용하여 영역을 찾고 그 영역에 모양 필터(Shape filter)를 이용하여 신호등이 아닌 노이즈를 제거한다. 그 후 지리정보(Geometry)를 이용한 적응형 템플릿 필터(Adaptive Template Matcher)를 이용하여 신호등을 인식한다. 이 방법은 실시간 연산은 가능하지만 Top-Hat 연산을 위한 마스크의 크기에 영향을 받기 때문에 스팟의 크기가 4 픽셀보다 큰 경우에만 가능한 단점이 있다.

2009년도 이후, 국내에서 사용되는 교통신호등은 백열전구에서 LED로 교체되었다. LED 신호등은 PMW(Pulse Width Modulation) 방식을 사용하기 때문에 LED 신호등의 주파수와 카메라의 촬영 주파수가 서로 달라서 획득된 영상에서 신호등의 깜빡임(Blink) 현상이 나타난다. 따라서 본 논문에서는 주간 LED 신호등을 자동으로 인식하고 전방에 존재하는 신호등의 종류를 운전자에게 알려주어 교차로에서의 전방 주행 안전성을 향상시키기 위한 방법을 제안한다. 실제 도로에서 주행 중 녹화한 주간 영상을 수집하여 본 논문에서 제안한 주간 신호등 인식 실험을 수행한다. 특히, 전방 20 - 100 m 내의 신호등을 인식한 후 그 종류를 판별하여 인식된 신호등이 적색등이고 신호등과의 도달 거리가 50 m 이내면 적색등 경고 신호를 발생하도록 한다.

## II. 제안하는 신호등 인식 방법

본 연구에서 제안하는 신호등 인식 방법은 주간 주행 환경에 한정하여 적용할 수 있다. YCbCr 컬러 영상이 입력이 되면 카메라와 입력 영상의 정보를 이용하여 수평선을 계산하고 입력영상에서 수평선 좌표보다 위쪽 영역을 영상 관심 영역으로 설정한다. 신호등 컬러 영역 추출 모듈에서는 앞에서 설정된 관심영역에서 적색과 녹색의 신호등을 추출을 위해 컬러 영상을 각각 Y, Cb, Cr 즉, 3 개의 채널을 그레이레벨 영상으로 분리, 각각의 영상에 임계값을 적용하여 녹색 영역, 적색 영역(이진 영상)을 추출한다. 이때, 신호등 인식 모듈에서 하알-유사(haar-like) 특징[9] 값의 계산에 사용하기 위한 Y 컬러의 그레이레벨 영상도 생성한다. 신호등 인식 모듈은 앞서 추출된 녹색/적색의 이진 영상에서 라벨링 과정을 거쳐서 Blob 를 추출하고, 추출된 Blob의 가로/세로 길이 비, 넓이 비, 최대 넓이, 하알-유사 특징 값을 기준으로 신호등 인지 아닌지를 판단한다. 신호등 판단 모듈은 신호등 인식 모듈에서 최종적으로 판단된 신호등의 Blob를 바탕으로 Blob 의 위치, 신호등 인식 상태 변수를 이용하여 인식된 신호등 종류를 판단하고 신호등과 차량사이의 거리, 알람 등 을 최종 결과로 결과영상과 함께 출력한다.

### 1. 영상 관심영역 설정

카메라를 통해 얻은 영상에서 신호등의 위치는 수평선보다 위쪽에 위치하기 때문에 신호등 인식을 위한 관심 영역을 추출하기 위해서는 영상에서의 수평선 좌표를 알아야 한다. 이를 위해 카메라의 heading 각도, 카메라 장착 높이, 카메라 시야각의 정보를 이용하여 역 투영 연산(IPM: Inverse Perspective Mapping)을 통하여 영상에서의 수평선 좌표를 계산한다[4]. 연산된 좌표를 이용하여 수평선 위의 영역을 검출 영역으로 설정하여 신호등 이외의 잡음 요소를 검출하는 범위를 제한한다.

$$X = \frac{h \times \sin\left(\gamma - \alpha_v\right) + v \frac{2\alpha_v}{m-1}}{\tan\left(\theta - \alpha_u\right) + u \frac{2\alpha_u}{n-1}} \quad (1)$$

$$Z = \frac{h \times \cos\left(\gamma - \alpha_v\right) + v \frac{2\alpha_v}{m-1}}{\tan\left(\theta - \alpha_u\right) + u \frac{2\alpha_u}{n-1}} \quad (2)$$

표 1. 카메라 센서와 영상의 정보

Table 1. informations of camera and image

구분	심볼	값
영상의 수평 해상도	$m$	640
영상의 수직 해상도	$n$	480
카메라 수평 시야각	$\alpha_u$	40.5°
카메라 수직 시야각	$\alpha_v$	40.5°
장착된 카메라 수평 각도	$\tau$	0°
장착된 카메라 수직 각도	$\theta$	0°
카메라 장착 높이	$H$	1.27 m

$$\tan\left(\theta - \alpha_u + u \frac{2\alpha_u}{n-1}\right) \quad (3)$$

영상의 정보와 카메라 정보가 표 1과 같다면 영상 좌표계에서 점  $(u, v)$ 는 식 (1), (2)를 통해 실 좌표계에서 점  $(X, Z)$ 로 변환된다. 수평선은 실 좌표계에서  $Z$ 가 무한대( $\infty$ )의 값을 가지므로 영상 좌표에서 수평선의  $u$  좌표는 식 (2)에서  $Z$ 가 최대를 갖는 값을 구하면 된다. 식 (2)에서  $Z$ 가 최대가 되려면 식 (2)의 분모가 최소가 되어야 하므로, 식 (3)이 최소가 되는  $u$  값을 구하면 수평선의 영상좌표에서의 높이 값을 구할 수 있다.

2. 신호등 컬러 영역 추출

신호등 컬러 영역 추출을 위해 본 연구자가 2011년도에 연구한 방법을 사용한다 [9]. 본 논문에서는 녹색과 적색 화살표 신호등 패턴과 황색 신호등 패턴을 제외한 녹색과 적색 원형 신호등만을 인식한다. 따라서 신호등 컬러 영역 추출 모듈에서는 영상에서 적색과 녹색의 신호등을 추출을 위해 그림 1과 같이 YCbCr 컬러 영상을 Y, Cb, Cr 각각 3개의 채널을 그레이레벨 영상으로 분리하고, 각각의 영상에 임계값을 적용하여 녹색 영역, 적색 영역(이진 영상)을 추출 한다.

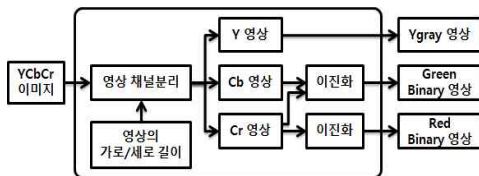


그림 1. 신호등 인식을 위한 컬러 추출 방법  
Fig. 1 Color extraction method for traffic light detection

녹색 이진영상 추출을 위해 ( $Cr < 112$  &&  $Cb > 120$ ) 조건을 사용하고 적색 이진 영상 추출을 위해 ( $Cr > 145$ ) 조건을 사용한다. 또한, 신호등 인식 모듈에서 하알-유사 특징 값의 계산에 사용하기 위한 Y 컬러의 그레이레벨 영상도 생성한다.

3. 신호등 인식

신호등 인식 모듈은 그림 2와 같이 추출된 녹색/적색 이진 영상에서 라벨링 과정을 거쳐서 Blob를 추출하고 추출된 Blob의 가로세로 길이 비, 넓이 비, 최대 넓이, 하알-유사 특징 값을 기준으로 신호등인지 아닌지를 판단하여 신호등으로 판단된 경우 신호등 인식 상태 변수 blobOK에 1을 입력한다.

하알-유사특징[10] 값 계산 시 녹색 신호등의 인식을 위해 표 2의 위쪽 마스크를, 적색 신호등의 하알-유사 특징 값 계산 시 표 2의 아래쪽 마스크를 사용한다. 이때 A영역은 추출된 Blob의 영역이며 B영역은 A영역을 기준으로 색상 정보에 따라 좌/우로 3배 확장 시킨 영역으로 적용하고 B영역은 A영역을 포함한다.  $\sum A$ 는 A영역의 영상 밝기 합을  $\sum B$ 는 B영역의 영상 밝기 합을 의미한다. 최대넓이 판단을 위한 임계값으로 160을, 가로/세로 비와 넓이 비의 조건으로 1.5를 적용하고 적색 신호등 하알-유사 특징 분류 기준으로 7을, 녹색 신호등 하알-유사 특징 분류 기준으로 20을 적용한다.

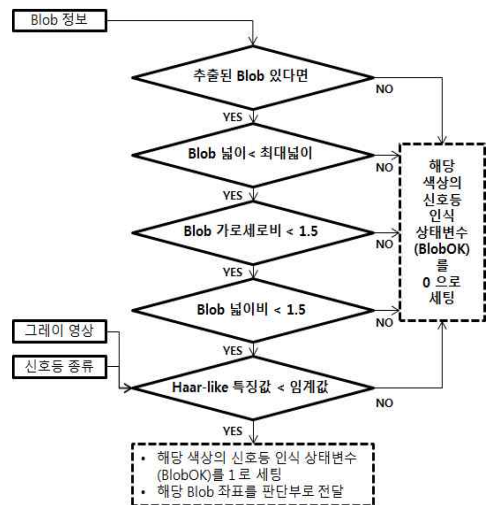
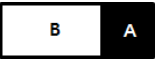



그림 2. 신호등 인식 방법  
Fig. 2 Traffic light detection method

표 2. 신호등 종류에 따른 하알-유사 특징 마스크  
Table 2. Haar-like feature mask as traffic light types

신호등 종류	Haar-like 마스크	Haar-like 특징값 계산식
녹색		흰색/검정 영역의 밝기합의 평균 차이
적색		$\frac{\sum B - 2\sum A}{B \text{ 영역 픽셀 개수}}$

최대 넓이 판단을 위한 임계값으로 160 을, 가로/세로비와 넓이 비의 조건으로 1.5 를 적용하고 적색 신호등 하알-유사 특징 분류 기준으로 7 을, 녹색 신호등 하알-유사 특징 분류 기준으로 20 을 적용한다.

4. 신호등 판단

신호등 판단 모듈은 그림 3과 같이 신호등 인식 모듈의 결과인 검출된 해당 색상의 Blob의 위치, 검출 상태변수를 바탕으로 인식된 신호등 종류를 판단하고 식 (2)를 이용하여 신호등과 차량사이의 거리, 경고신호 등을 결과영상에 출력한다. 표 3과 같이 신호등 인식과 미인식 시의 가중치의 증감량을 다르게 이용하는 가중치 딜레이 필터 (Weighted delay filter)를 사용하여 LED 신호등의 깜빡임 현상으로 인해 신호등이 미인식 또는 오인식 되더라도 인식이 떨어지지 않도록 한다.

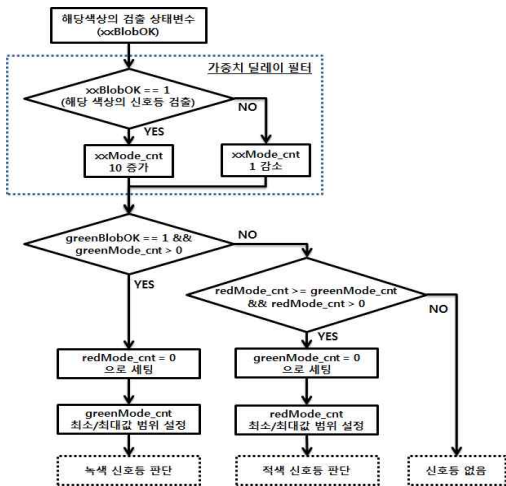


그림 3. 신호등 판단 방법

Fig. 3 Traffic light recognition method

표 3. 신호등 인식 결과에 따른 가중치 증감량  
Table 3. Weighting value as results of traffic light detection

신호등 인식 유/무	가중치 증감량
신호등 인식	+ 10
신호등 미인식	- 1

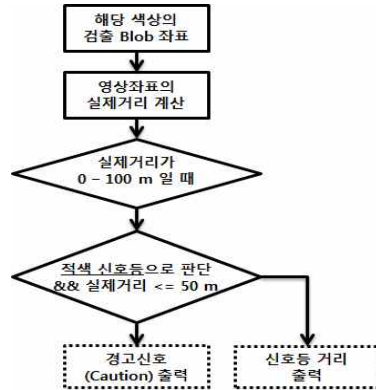


그림 4. 신호등 정보 출력 방법

Fig. 4 Display method of traffic light information

도로 교통법 상의 교통 신호등의 설치 기준에 근거하여 신호등의 높이를 4.5 m 와 5 m 로 간주하고, 그림 4와 같이 신호등 거리 판단은 식 (2)를 사용하여 신호등의 높이가 4.5 m, 5 m 인 경우의 거리를 계산하여 두 결과의 평균을 계산된 신호등 거리로 산출한다. 특히, 그림 5와 같이 적색 신호등 판단 후 적색 신호등 거리가 50 m 이하일 경우 운전자에게 경고를 위해 “Caution”을 디스플레이를 한다. 그림 5와 6은 인식된 신호등의 정보 출력 결과이다.



그림 5. 적색 신호등 인식과 경고 알람 결과

Fig. 5 Red Traffic light detection and caution alarm display



그림 6. 녹색 신호등 인식 결과  
Fig. 6 Green Traffic light detection

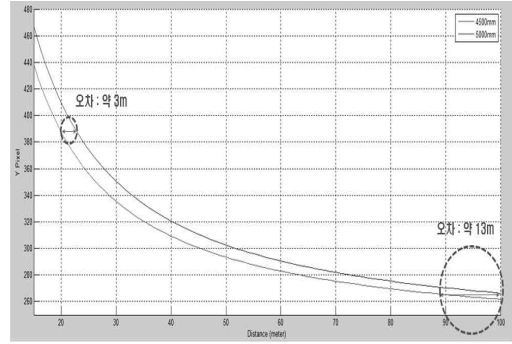


그림 7. 신호등 영상좌표(Y)에 따른 실제 거리  
Fig. 7 Real distance as horizontal coordinate (y) of image

### III. 실험결과

본 논문에서 제안한 주간 신호등 인식 방법의 정량적인 평가를 위해 640×480의 해상도를 가진 30 fps의 30분 분량의 실제 도로 영상을 획득하여 실험을 한 결과, 전체 시스템의 연산 속도는 약 11 ms 으로 실시간 신호등 인식 시스템에 적용하기에 무리가 없다고 판단된다.

그림 7은 표 1의 카메라와 렌즈 파라미터를 식 (2)에 적용하여 신호등의 높이가 4.5 m 와 5 m 일 경우, 신호등 영상좌표에 따른 자동차와 신호등 사이의 실제 거리를 이론적으로 계산한 그래프이다. 신호등이 20 m 거리에 있을 때는 오차가 약 3 m 이지만 신호등이 90 m 거리에 있을 때 오차가 약 13 m 로 나타났다. 신호등까지의 실제 거리가 70 m 이상 일 때 영상 좌표의 높이 구분이 어렵다는 것을 보여준다.

표 4는 거리에 따른 신호등의 인식률과 신호등 색상에 따른 최종 판단율을 나타낸다. 인식률은 영상 프레임에서 실제로 신호등이 있을 때 신호등을 인식한 비율이며 판단율은 신호등으로 인식된 프레임에 한해 신호등 색상을 제대로 판단한 비율이다.

표 4. 거리에 따른 신호등 인식률과 종류 판단율  
Table 4. Traffic light detection and recognition rate as distance between vehicle and traffic light

	인식률	판단율
20 - 100 m	94.50 %	90.24 %
20 - 50 m	96.07 %	98.32 %
51 - 100 m	92.93 %	82.16 %

차량과 신호등사이의 거리가 20~100 m 일 때 신호등의 평균 인식률은 94.50 %, 신호등 종류의 평균 판단율은 90.24% 로 나타났으며, 차량과 신호등 사이의 거리가 50 m 이내 일 때 신호등 인식률은 96.07%, 판단율은 98.32 %, 그리고 적색등 경고 신호 발생률은 98.89 %로 나타났다. 그러나 거리가 50 m 이상일때 신호등 인식률은 92.93%, 판단율은 82.16 %로 차량과 신호등 사이의 거리가 50 m 를 기준으로, 멀어질수록 신호등 인식률과 신호등 종류의 판단율이 급격하게 감소되었다. 이 같은 결과가 나타나는 이유는 거리가 멀수록 신호등의 색상을 추출하기 어렵고 거리 판단 또한 어렵기 때문이라고 판단된다.

### IV. 결 론

본 논문은 100 m 내의 신호등 인식 방법과 적색, 녹색 신호등의 종류를 판단 할 수 있는 방법을 제안하였다. 또한 신호등 판단 시 LED 신호등의 깜빡임 현상으로 인해 신호등이 미인식 또는 오인식 되더라도 인식률이 떨어지지 않도록 신호등 인식과 미인식 시의 가중치의 증감량을 다르게 이용하는 가중치 딜레이필터 (Weighted delay filter)를 제안하였다.

향후, 신호등의 녹색 화살표 인식을 위한 추가적인 신호등 특징 추출 방법 및 시간 도메인에서의 신호등 패턴 상태의 분석을 통한 여러 가지 패턴의 신호등 판단의 연구가 필요할 것으로 예상된다.

## References

- [1] Z. Sun, "On-Road Vehicle Detection: A Review," IEEE Trans on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 28, No. 5, pp.694-711, 2006.
- [2] U. Franke, D. Gavrila, S. Goerzig, F. Lindner, F. Paetzold, C. Woehler, "Autonomous Driving Goes Downtown," IEEE Intelligent Systems, Vol. 13, No. 6, pp.40-48, 1998.
- [3] Z. Tu, R. Li, "Automatic recognition of civil infrastructure objects in mobile mapping imagery using a markov random field model," ISPRS Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.
- [4] M. Shneier, "Road Sign Detection and Recognition," Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005.
- [5] M.D.S. Blancard, "Road Sign Recognition: A Study of Vision-based decision making for road environment recognition," Vision-based Vehicle Guidance, Springer-Verlag, Berlin, pp.167-175, 1992.
- [6] G. Piccoli, E. De Micheli, P. Parodi, M. Campani, "Robust Road Sign Detection and Recognition from Image Sequences," Proceedings of Intelligent Vehicles Symposium, pp.278-283, 1994.
- [7] R.D. Charette, F. Nashashibi, "Real time visual traffic lights recognition based on Spot Light Detection and adaptive traffic lights templates," Proceedings of IEEE Symposium on Intelligent Vehicles, pp.358-363 2009.
- [8] H.K. Kim, Y. Ju, J. Lee, Y. Park, H.Y. Jung, "Lane Detection for Adaptive Control of Autonomous Vehicle", IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol 4, No 4, pp.180-188, 2009 (in Korean).
- [9] J.H. Son, H.K. Kim, J.H. Park, H.Y. Jung, "Vision Based Daytime Traffic Light Detection Method for a Driving Assistance System", Proceedings of Conference on IEMEK, pp.234-235, 2011 (in Korean).
- [10] P. Viola, M. Jones, "Rapid object detection using boosted cascade of simple features," Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001.

## 저 자 소 개

## 김 현 구



2009년, 영남대학교 정보통신공학과 학사.

2011년, 영남대학교 정보통신공학과 석사.

2013년, 영남대학교 정보통신공학과 박사수료.

현재, 경북IT융합산업기술원 미래연구개발본부 SW융합연구팀 선임연구원, 영남대학교 정보통신학과 박사과정.

관심분야: 운전자보조지원시스템, 융합신호처리

Email: hkkim@gitc.or.kr

## 박 주 현



1990년, 경북대학교 전자공학 학사.

1992년, 경북대학교 전자공학과 석사.

1997년, 포항공과대학교 전기전자공학부 박사.

현재, 영남대학교 전기공학과 교수.

관심분야: Complex networks, Embedded control systems.

Email: jessie@ynu.ac.kr

## 정 호 열



1988년, 아주대학교 전자공학 학사.

1990년, 아주대학교 전자공학 석사.

1998년, 프랑스 INSA de Lyon 전자공학 박사.

현재, 영남대 정보통신공학과 교수.

관심분야: 지능형자동차, 디지털위터마킹.

Email: hoyoul@yu.ac.kr