

교통 정체 예방을 위한 자동 신호등 제어시스템 개발

Development of Auto Traffic Light Control System for Prevention of Traffic Jam

백 광 무*, 신 지 환*, 박 무 훈**

Kwang-Moo Beck*, Ji-Hwan Shin*, Mu-Hun Park**

요약

본 논문에서는 교차로에 설치된 한 대의 카메라를 활용하여 각 도로로 유입, 유출 되는 교통량을 동시에 측정할 수 있도록 하였으며 그 데이터를 기반으로 영상처리를 통해 신호등을 자동으로 제어하는 새로운 시스템을 제안한다. 또한 왕복 8차선 교차로의 교통량을 한 대의 카메라로 모니터링 가능하게 하여 차선 1개당 1대의 카메라 또는 루프 코일을 사용하던 기존 방식보다 효율적으로 광범위한 교통량 흐름을 통계적으로 모니터링 할 수 있도록 고안하였다. 실시간으로 배경영상이 업데이트되므로 불규칙적인 조건을 갖는 실 상황에서도 자동차 객체가 효율적으로 검지되도록 하였으며 관심영역 설정으로 보다 정확도 높은 교통량 측정을 가능하게 하였다. 본 논문에서 제안한 신호등 자동제어 알고리즘을 이용하여 정체가 일어나기 전에 각 도로간 교통량을 조절함으로써 교통 정체로 발생하는 운전자의 시간 낭비 및 에너지 낭비를 예방할 수 있다.

ABSTRACT

This paper suggests a new system based on image-processed information which is designed to control traffic light by measuring two-way traffic at the same time with a surveillance camera. With this system, the existing way of using one camera for one lane or loop coil will be improved to the more effective way of using only one camera to monitor a two-way, 8 lane roads statistically. Car images can be detected clearly even in irregular condition because of the background updating in real time. In addition, more accurate measurement is possible to users by selecting extra attention-needed regions. The automatic traffic light controlling algorithm, suggested in this paper, will prevent users and drivers from wasting their time and energy by controlling the number of traffic in advance.

Keywords : Image-processed information, Surveillance camera, Real time, Automatic traffic light controlling algorithm

I. 서론

지능형 교통 시스템(ITS : Intelligent Transport System)은 전자 및 정보통신 기술을 활용하여 도로의 차량 통행량을 측정하고, 측정된 데이터를 중앙통제실에서 분석하여 교통 흐름을 원활하게 소통되도록 유도하는 시스템이다.

이 시스템을 이용하여 차량 집중현상으로 인한 교통 정체에 효율적으로 대처하여 교통 혼잡을 완화시키고 차량의 이동성 향상 및 교통 정체로 인한 에너지 낭비 및 교통사고 등을 미연에 방지할 수 있다.

지능형 교통 시스템을 구성하는 요소로는 ATMS (Advanced Traffic Management System), ATIS (Advanced Traveler Information System), APTS(Advanced Public Transportation),

CVO (Commercial Vehicle Operation), AVHS (Advanced Vehicle and Highway System) 등의 정보 시스템이 있다.

ATMS는 도로 상에 차량특성 및 속도 등의 교통 정보를 감지할 수 있는 시스템으로 교통 상황을 실시간으로 분석하고, 이를 토대로 도로 교통의 관리와 최적 신호 체계의 구현을 목적으로 한다.

ATIS는 교통 여건, 도로 상황 및 출발지에서 목적지까지의 최단 경로, 소요 시간 및 주차장 상황 등 각종 교통 정보를 운전자에게 제공하여 안전하고 원활한 최적의 교통 상황이 되도록 지원하는 시스템이다.

이 두 가지 시스템을 구축하는 데에 있어 도로 상의 차량 통행량을 측정된 교통량 통계정보가 중요한 기반이 된다. 그리고 현재 교통량을 측정하기 위한 시스템은 차선 1개당 1대의 카메라를 필요로 하는 방법과 도로 아래 루프코일을 매설하여 측정하는 방법이 사용되고 있다. [1][2][3]

본 논문에서는 교차로에 설치된 카메라를 활용하여 각 도로로 유입, 유출 되는 교통량을 한 번에 측정할 수 있도록 하였

* 창원대학교

** 창원대학교(교신저자)

이 논문은 2013-2014년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

투고 일자 : 2014. 9. 2 수정완료일자 : 2014. 11. 1

계재확정일자 : 2014. 11. 2

으며 영상처리를 통해 차선의 개수에 상관없이 한 대의 카메라로 각 차선의 교통량을 측정할 수 있는 방법을 제안한다. 또한 측정된 교통량을 활용한 자동신호등 제어 알고리즘을 통하여 정체가 일어나기 전에 각 도로간 교통량을 조절함으로써 교통 정체로 발생하는 운전자의 시간 낭비 및 에너지 낭비를 예방하도록 고안하였다.

II. 자동차 객체 추출

2.1 평균배경과 차 연산

자동차 객체를 추출하기 위하여 평균배경방법으로 배경 영상을 만들고 배경 영상과 입력 영상의 차 연산을 수행하여 움직이는 자동차 객체 이미지만을 얻을 수 있다.

배경 추출 시 평균배경을 활용하여 실시간으로 들어오는 입력영상 각 픽셀의 평균값을 배경으로 사용하기 때문에 일반적인 차 연산을 활용한 배경제거기법 보다 움직이는 배경을 제거하는데 높은 효율을 보인다.

$$\begin{aligned} & \text{if } \text{mask}(x,y) \neq 0 \\ & \text{acc}(x,y) = (1-a) \cdot \text{acc}(x,y) + a \cdot \text{imag}(x,y) \end{aligned} \quad (1)$$



그림 1. 교차로 영상
Fig. 1. Intersection image

그림 1은 366초간 촬영한 교차로 동영상 중 10초가 되는 시점을 캡처한 사진이며 그림 2는 배경제거 이 후의 결과 영상으로써 평균배경과 차 연산을 이용하여 움직이는 자동차만 객체로 추출 하였다.

본 논문에서는 배경처리에 사용되는 평균배경 이미지를 실시간으로 업데이트되게 하여 일정시간 움직이지 않는 새로운 물체는 배경으로 처리하도록 함으로써 실시간 움직이는 객체 추출에 좋은 성능을 보이도록 고안하였다.

2.2 침식과 팽창영상을 통한 노이즈 제거

그림 2에서 표시한 부분과 같이 자동차 객체 추출 후 노이즈가 발생하는 것을 볼 수가 있다.

실시간 배경이 업데이트됨에 따라 일정시간이 지나면 사라지겠지만 보다 정확한 객체 데이터를 추출하기 위하여 침식과 팽창 연산을 수행한다.



그림 2. 자동차 객체 추출 영상과 잡음
Fig. 2. Image about getting car object and noise

2.2.1 침식 연산

2차원 정수 공간 Z^2 내의 집합 A와 B에 대해, B에 대한 A의 침식은 $A \ominus B$ 로 표기하고 아래와 같이 식 (2)에 정의된다. [4]

$$A \ominus B = \{w : B_w \subseteq A\} \quad (2)$$

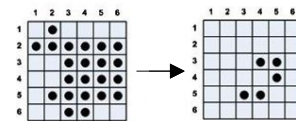


그림 3. 침식연산
Fig. 3. Erosion operation

그림 3의 침식연산은 영상의 물체와 배경 사이에 스파크 잡음이 있을 때 이 잡음을 제거하거나 전체 영상에서 아주 작은 물체나 잡음을 제거하는데 응용된다.

2.2.2 팽창 연산

Z^2 내의 집합 A와 B에 대해, B에 대한 A의 팽창은 식 (3)으로 정의되며 그림 4에서 나타낸 것과 같이 물체 내부의 돌출부는 감소하고 외부의 돌출부는 증가시켜서 물체의 크기를 확장하고 배경은 축소시킨다. [5][9]

$$A \oplus B = \{(a,b) + (u,v) : (a,b) \in A, (u,v) \in B\} \quad (3)$$

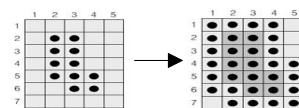


그림 4. 팽창연산
Fig. 4. Dilation operation

그림 5는 그림 2를 침식과 팽창 연산을 실행한 이후의 영상

이며 그림 2에서의 흰점으로 표시된 노이즈를 침식 연산을 통해 효과적으로 제거하고 팽창 연산을 통해 침식 연산으로 변형되었던 필요한 데이터를 정확하게 표시 해줌으로써 자동차 객체만을 성공적으로 추출할 수 있음을 확인할 수 있다.

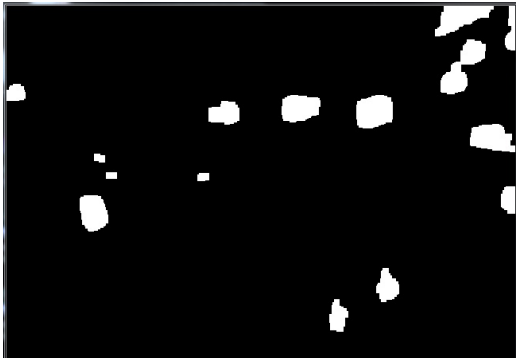


그림 5. 침식 및 팽창연산 이후 영상
Fig. 5. Image after erosion and dilation operation

III. 관심영역 설정

3.1 관심영역

차선별, 통행 방향별 교통량 측정 데이터를 각각 얻을 수 있게 도로부분에 관심영역을 설정한다.



그림 6. 관심영역 설정
Fig. 6. Setting the region of interest

그림 6은 설정된 10개의 관심영역을 나타낸다. 초기 관심영역을 크게 설정하여 영역 내 레이블링되는 자동차 객체의 수를 연산하여 교통량을 측정하는 방법을 시도 하였으나 카메라 각도에 따라 큰 차량 뒤에 가려진 차량은 측정되지 않는 오차가 발생하여 세부 차선별로 10개의 관심영역을 설정함으로써 오차를 해결하였다. [6]

IV. 교통 상황 측정

4.1 레이블링

레이블링이란 인접한 특정 픽셀 집합에 고유의 숫자를 매기

는 작업을 의미한다. 그림 7에서 나타내는 레이블링 기법은 객체인식을 위한 전 처리 과정으로 많이 사용되는 기법이다.

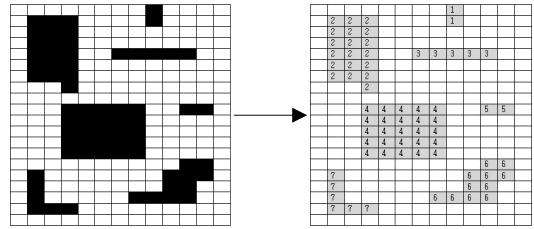


그림 7. 레이블링
Fig. 7. Labeling

본 논문에서는 교통량 측정을 위해 레이블링 기법을 변형하여 사용하였다. 레이블링을 이용한 자동차 객체 수 측정 방법은 레이블링되는 숫자를 변수로 받아와 측정하는 방법이 흔히 사용되는데 이는 갑작스런 조도변화로 노이즈가 발생할 때 레이블링 변수값에 오차를 발생시키게 된다. 이를 개선하기 위해 관심영역 내 레이블링 변수 값을 토글 방식으로 받아와 카운트하고 다시 레이블링 변수 값을 초기화시킴으로써 노이즈로 인한 에러나 오차를 줄였다. 그 결과 조도와 노이즈의 영향을 적게 받게 되어 빠른 연산속도를 가지는 특징을 가지게 되었다.

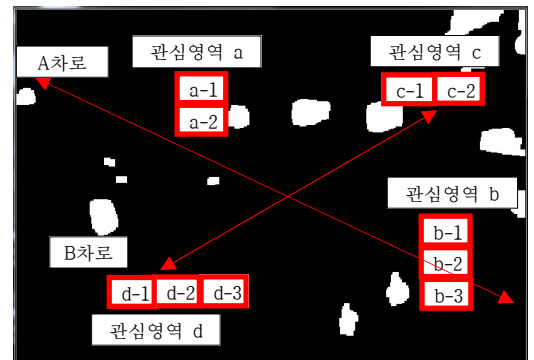


그림 8. 차로 및 관심영역
Fig. 8. Image about setting road name

그림 8은 각 관심영역의 차선별 교통량 데이터를 합산하여 차로별 신호등을 자동으로 제어하기 위해 분할한 관심영역과 차로를 나타낸다.

추출된 자동차 객체는 관심 영역 내에서 레이블링되는 값을 카운팅하여 교통량으로 측정되고 차로에 따라 합산되어 출력된다. [7]

그림 9는 10개의 관심영역 내의 이미지를 출력한 영상이며 흰색의 자동차 객체 이미지가 검출되어 레이블링이 되면 카운팅이 되고 빨간색 네모로 표시되게 하였다. [8][10][11]



그림 9. 10개 관심영역 캡처영상
Fig. 9. Image about 10 region of interest



그림 12. 관심영역 설정이미지
Fig. 12. Image after ROA

4.2 레이블링 시 겹침 현상

레이블링을 통해 차량 수를 측정할 때 위 그림 10과 같은 상황이 발생하면 아래 그림 11과 같이 서로 다른 차선의 차량이 겹쳐 레이블링 시 차량 3대가 1대로 인식되는 오류가 발생한다.

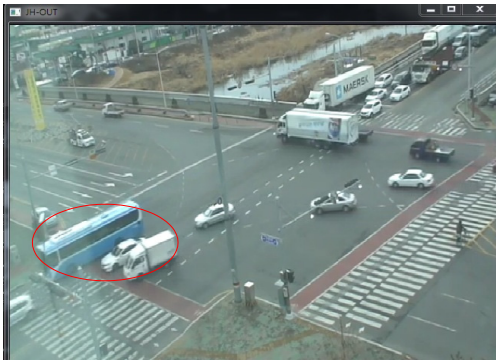


그림 10. 레이블링 원본 이미지
Fig. 10. Original Image about labeling

이를 해결하기 위하여 그림 12와 같이 각 차선별로 관심영역을 설정하고 각 관심영역 내의 픽셀변화를 토글 방식으로 카운팅하여 차량수를 측정함으로써 레이블링 시 1대로 인식되던 차들을 3대로 인식되도록 하였다.



그림 11. 레이블링 사진
Fig. 11. Image about labeling

4.3 정체유무 판단

도로의 교통 상태를 정확하게 판단하기 위한 기반 데이터 수집을 위하여 차량 빈도수와 더불어 차량정체 유무, 적색 점등 차로로 대기 차량수를 측정한다.



그림 13. 정체유무 판단
Fig. 13. Detecting of traffic jam

실제 도로 상황을 촬영한 동영상내 원활한 교통 상황에서 신호등 교체 점등 시 교차로의 중앙부분은 약 2초간 차량통행이 없다. 하지만 교통 정체 발생 시 차량 누적으로 인하여 통과하지 못한 차량이 교차로의 중앙부분에 발생하게 된다.

그림 13과 같이 신호등 교체 점등 후 2초간 교차로 중앙부분의 차량유무 및 이동을 관심영역으로 설정하여 교통 정체 유무를 판단할 수 있다.

4.4 신호 대기 차량 측정

그림 14에서 나타낸 신호 대기 차량은 해당차선 적색 점등 이후 진입 차량을 카메라가 허용하는 최대 범위에서 누적 카운팅 하였고 무신호 좌회전 및 우회전 차량은 신호 대기 차량이 아니므로 측정에서 제외하였다.



그림 14. 신호 대기 차량 측정
Fig. 14. Measuring of waiting vehicle

대기 차량은 적색 점등에만 발생하므로 리소스를 줄이기 위해 신호등 제어기로부터 적색점등 신호를 수신하였을 때 적색 점등 차로만 누적 카운팅 한다. 차로별 이동 차량 수와 교통 정체 유무, 신호 대기 차량 수를 측정하는 데이터는 향후 신호등을 자동 제어하는 자료가 된다.

4.5 도로 상황 측정 결과

표 1은 교통량 측정 조건이며, 그림 15는 각 차선의 교통량 및 정체유무, 신호대기 차량수를 측정하는 것이며 자동신호등 제어시스템을 제어하는 기반 데이터를 생성한 결과이다. [13][14]

표 1. 교통량 측정 조건
Table 1. The traffic measuring condition

교통량	설정된 관심영역을 통과하는 움직이는 객체
A차로 신호대기차량 수	A차로 빨간불 점등 후 A차로 진입차량
B차로 신호대기차량 수	B차로 빨간불 점등 후 B차로 진입차량
도로 상황	각 차로 신호교차 직후 2초 후 3초간 교차로 중앙 내 움직이는 객체

표 2는 교통 상황 측정 결과에 대한 교통신호 제어 시뮬레이션 조건을 나타낸 것이다. [15]

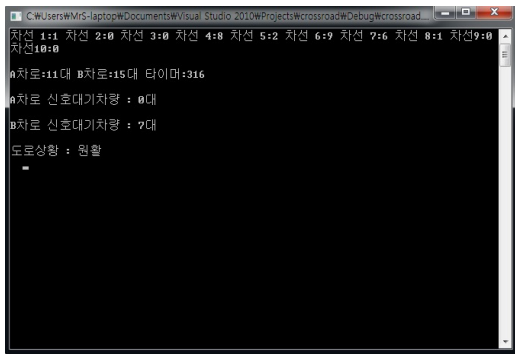


그림 15. 교통 상황 측정결과
Fig. 15. Result of traffic detection

표 2. 신호등제어 시뮬레이션 조건
Table 2. The condition of signal control simulation

시뮬레이션 조건	교통량
조건 1 (A차로 누적수 < B차로 누적수) & 원활 & (B차로 대기차량 > A차로 대기차량)	A차로 < B차로
조건 2 (A차로 누적수 > B차로 누적수) & 원활 & (B차로 대기차량 < A차로 대기차량)	A차로 > B차로
조건 3 조건1 & (A차로 누적수 - B차로 누적수) > 30	A차로 << B차로
조건 4 조건2 & (A차로 누적수 - B차로 누적수) > 30	A차로 >> B차로

표 3은 그림 15에서 얻어진 교통량 측정결과를 기반으로 설정한 신호등 점등시간을 나타낸 것이다.

A차로 또는 B차로의 교통량이 많을 때 유발되는 교통 정체를 미연에 방지하기 위하여 교통량이 많은 차로의 녹색 점등 시간을 길게 부여하였다.

표 3. 교통량에 따른 녹색 신호등 점등시간
Table 3. Time of green light depend on traffic

교통량	A차로 녹색 점등시간	B차로 녹색 점등시간
A차로 < B차로	60초	90초
A차로 > B차로	90초	60초
A차로 << B차로	60초	120초
A차로 >> B차로	120초	60초

현 신호등은 신호대기 중인 차량 및 이동차량의 수에 관계 없이 일정한 시간 간격으로 녹색과 적색이 교차 점등된다. 이로 인하여 한 차로에는 대기차량이 없음에도 불구하고 다른 차로의 차량은 두 번의 신호대기시간을 가지게 되는데 이는 교통 정체의 원인이 된다.

이를 해소하기 위하여 그림 16과 같이 실제 교차로에서 두 번의 신호를 받아야만 통과가 가능한 차량이 한 번의 신호로 통과할 수 있도록 녹색 점등 시간을 실제로 측정하여 시뮬레이션에 반영하였다.

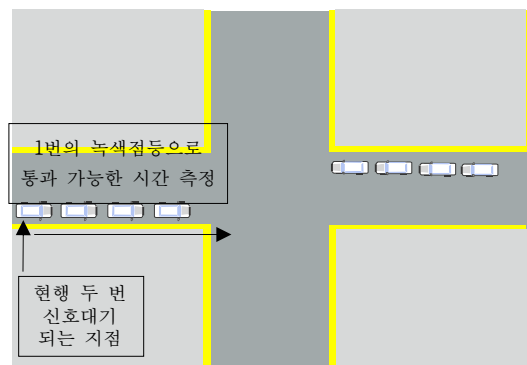


그림 16. 신호 제어시간 조건
Fig. 16. The condition of signal control time

V. 모의실험 결과

교차로에서의 후속차량 대기시간을 현행 신호체계와 비교 측정하기 위하여 AT128과 근거리 무선통신을 활용하여 자동 신호등 제어시스템을 그림 17과 같이 구현하였다.

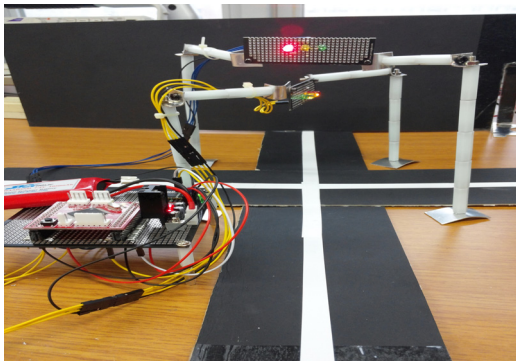


그림 17. 자동신호등 제어시스템 모의실험

Fig. 17. Simulation of Auto traffic light control system

표 4는 후속차량 신호 대기시간을 측정한 결과이다. 그림 1의 교차로 영상을 이용하여 현행 신호체계에서 B차로의 후속차량 대기시간을 측정해 본 결과 B차로에 교통량이 증가하여 후속차량은 두 번의 녹색신호로 교차로를 통과하였고 이로 인하여 대기시간은 282초가 소요되었다.

표 4. 후속차량 신호 대기시간 비교

Table 4. Waiting time of subsequent vehicle

구분	B차로 후속차량 신호 대기시간
현행 신호체계	282초
제안한 시스템을 적용한 신호체계	122초

본 논문에서 제안한 자동신호등 제어시스템을 적용하여 모의실험을 한 결과 교통량이 많은 B차로의 녹색점등 시간은 교통량에 따라 증가됨으로 후속차량은 한 번의 녹색신호로 교차로를 통과할 수 있어서 대기시간은 122초로 감소하였다.

B차로 교통량 증가로 인해 자동차가 누적되어 발생하는 후속차량 대기시간이 282초에서 122초로 줄어든 것을 모의실험을 통해 알 수 있었다.

VI. 결 론

자동차의 증가로 인한 교통 정체를 완화하고 에너지 낭비를 미연에 방지하고자 자동신호등 제어시스템을 고안하게 되었다.

현재 사용되고 있는 신호체계와 본 논문에서 제안한 자동신호등 제어시스템을 적용하여 후속차량 대기시간을 측정해 보았을 때 본 논문에서 제안한 시스템을 적용 했을 때의 후속

차량 대기시간이 짧아진 것을 확인할 수 있었다.

지능형 교통 시스템과 함께 본 논문에서 제안하는 자동신호등 제어시스템을 실제로 적용한다면 교통 정체를 미연에 방지함으로써 차량 정차 시 발생하는 에너지 낭비 및 교통사고 등을 미연에 방지할 수 있을 것으로 기대한다.

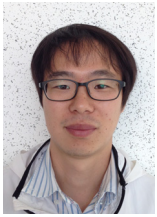
하지만 신호대기중인 차량 수를 충분하게 측정하기 위한 카메라의 위치와 정확한 교통 빈도수를 측정하기 위한 카메라의 위치에 대한 절충점이 고려되어야 한다. 또한 현재는 영상처리 기법을 통해 측정된 기반 데이터로 단순 조건에 의한 일반적인 신호등제어밖에 구현하지 못했지만 차후에는 측정된 기반 데이터를 퍼지이론을 적용하여 더욱 정밀하고 교통 상황에 인공 지능적으로 대처할 수 있는 시스템 구축을 위한 연구를 지속할 것이다.

향후 좌회전 및 우회전, U턴 차량의 판별방법을 연구하여 자동신호등 제어알고리즘에 데이터를 추가하고 교통 상황 측정 기반 데이터를 토대로 퍼지이론을 활용하여 신호등을 자동 제어한다면 교통 흐름을 보다 정밀하게 제어할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 장대현, 이양원, 표성배, “도시 교통 정보 시스템 개발,” 한국컴퓨터정보학회 제24회 논문집, pp. 89-90, 2011.
- [2] 김광백, “퍼지 기법을 이용한 지능형교통신호 제어” 한국정보통신학회, vol. 15, pp. 1593-1598, Aug 2012.
- [3] 진선미, 김성호, 도철웅, “Fuzzy Logic을 적용한 간선도로 상의 교통감응 신호제어” 대한교통학회지, vol. 21, no. 3, pp. 71-83, Jun. 2003.
- [4] Gary-Rost Bradski and Adrian Keahler, *Learning OpenCV*. Korea, HANBIT Media, pp. 176-180, 2009.
- [5] 신경홍, 장성봉, 지인호, 디지털 영상처리 입문. 한빛미디어, pp. 392-404, 2009.
- [6] Rafael C. Gnaez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*. England, EG: Addison Wesley Longman Limited, pp. 164-168, 1992.
- [7] 강동중, 하중은, VISUAL C++와 OpenCV로 배우는 디지털 영상처리. 인피니티박스, pp. 267-278, 2010.
- [8] 황선규, 영상처리 프로그래밍 by C++. 한빛미디어, pp. 660-671, 2009.
- [9] 남윤용, 최유주, 홍상진, 조위덕, 지능형 영상감시 시스템의 원리 및 응용. pp. 20-40, 진한M&B, 2011.
- [10] 이재성, 교통 영상처리의 기초. 동화지식, pp. 17-50, 2013.
- [11] 엄민영, 김성제, 영상을 이용한 디지털 신호처리. 한빛미디어, pp. 245-254, 2010.
- [12] Jamshidi-Mohammad, *Applications of fuzzy logic : towards high machine intelligence quotient systems*, Upper Saddle River, N.J : Prentice Hall PTR, 1997.

- [13] Ross Timothy J, *Fuzzy logic with engineering applications*, Hoboken, pp. 80-110, NJ : John Wiley, 2010.
- [14] 김광백, “퍼지추론규칙을 이용한 교통 신호 제어” 한국컴퓨터정보학회, vol. 15, no. 9, pp. 19-24, Sep. 2010.
- [15] 정영걸, 엄태억, 김덕규, “Fuzzy Logic Controller를 이용한 효과적인 교통신호 제어기에 관한 연구” 한국통신학회 9회 논문집, vol. 9, no. 1, pp. 615-618, 1996.



백 광 무 (Kwang-Moo Beck)

2005년 2월 창원대학교 전자공학과 공학사
2013년 3월~창원대학교 전자공학과 석사과정
주관심분야 : 디지털 신호처리,
영상 신호처리,
아날로그/디지털 회로설계



신 지 환 (Ji-Hwan Shin)

2013년 2월 창원대학교 전자공학과 공학사
2013년 3월~창원대학교 전자공학과 석사과정
주관심분야 : 디지털 신호처리, 영상 신호
처리, 센서 네트워크, CAN 통신
시스템



박 무 훈 (Mu-Hun Park)

正會員

1990년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사
1993년 3월 東北대학교 전기통신공학과
공학석사
1996년 3월 東北대학교 전기통신공학과
공학박사

1998년 ~ 국립 창원대학교 전자공학과 교수
주관심분야 : 영상 신호처리