

관심 영역 기반의 자동 노출 조절 알고리즘을 적용한 다중 노출 차량용 스마트 카메라의 설계 및 구현

전 용 수*, 박 희 진*, 윤 영 섭*, 백 운 주°

Design and Implementation of Multi Exposure Smart Vehicular Camera Applying Auto Exposure Control Algorithm Based on Region of Interest

Yongsu Jeon*, Heejin Park*, Youngsub Yoon*, Yunju Baek°

요 약

최근 첨단 운전자 보조 시스템에 대한 활발한 연구가 이루어지고 있으며 특히 도로 영상을 활용한 도로 상황 분석에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 도로 상황 분석 성능을 높이기 위해 좋은 품질의 영상이 필요하고, 이를 위해 적절한 노출 시간으로 영상을 획득할 필요가 있다. 본 논문에서는 온보드 카메라와 다양한 센서들로 주변의 정보를 습득하고 분석하여 운전자에게 정보를 제공해 줄 수 있는 다중 노출 차량용 스마트 카메라를 설계 및 구현하였다. 그리고 도로 환경에 적합한 자동 노출 조절 알고리즘을 고안하여 영상 처리 성능을 높이고자 하였다. 추가적으로 임베디드 장치의 제한된 계산 성능을 보완할 뿐만 아니라 영상 분석의 성능을 더 높일 수 있는 기존 관심 영역 기법을 응용한 관심 영역 전환 기법에 대한 연구를 수행하였다. 제안한 다중 노출 차량용 스마트 카메라의 프로토타입을 구현하여 실제 도로 환경에서 노출 조절 알고리즘과 관심 영역 전환 기법의 성능을 평가하였으며 실험을 통해 제안하는 노출 조절 알고리즘과 관심 영역 전환 기법을 사용하였을 때, 영상 인식의 정확도가 평균 13.45% 증가함을 확인하였다.

Key Words : ADAS, Auto Exposure Control, Region of Interest

ABSTRACT

Recently, many researches are carried out for Advanced Driver Assistant Systems(ADAS). Especially, many studies are carried out to analyze the road situation using road images. In order to improve the performance of the road situation analysis, it is necessary to acquire images with appropriate exposure time. In this paper, we design and implement multi exposure smart vehicular camera which provides road traffic information to driver. Proposed device can acquire road traffic information by on-board camera and various sensors. And we propose an auto exposure control algorithm for the road environment to increase accuracy of image recognition. In addition, we also propose the switching ROI method that apply existing ROI techniques to overcome a limited computation power of embedded devices. We developed prototype of multi exposure smart vehicular camera and performed experiments to evaluate proposed auto exposure control algorithm and switching ROI method. The results show that the average accuracy of image recognition increased by 13.45%.

※ 이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음

◆ First Author : Pusan National University Dept. of Electrical and Computer Engineering, ysjeon@pusan.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Pusan National University Dept. of Electrical and Computer Engineering, yunju@pusan.ac.kr, 종신회원

* Pusan National University Dept. of Electrical and Computer Engineering, {heejin.park, youngsub.yoon}@eslab.re.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2016-10-328, Received October 24, 2016; Revised December 17, 2016; Accepted January 13, 2017

I. 서 론

사회가 발전함에 따라 차량의 수가 증가하고 도로 환경이 복잡해지고 있으며 많은 수의 교통사고가 매년 발생하고 있다.^[1,2] 이에 따라 안전운전에 대한 관심이 높아지고 있고, 관련된 기술들이 활발히 연구되고 있다. 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS; Advanced Driver Assistant System)은 도로 전방의 위험 요소를 인지하고 운전자에게 알람을 주거나 차량을 직접 제어하여 안전운전을 도와주는 시스템이다. 첨단 운전자 보조 시스템에는 적응형 순항 제어 장치(Adaptive Cruise Control System), 차선 유지 보조 시스템(Lane Departure Warning System), 충돌 예방 시스템(Collision Avoidance System) 등이 있다.

또한 많은 수의 교통사고 발생 횟수가 지속함에 따라 사고 시점의 영상을 기록할 수 있는 장치에 대한 관심도 지속적으로 유지되고 있다. 이러한 장치는 차량용 블랙박스로 대표되는데, 최근 단순히 영상을 기록할 뿐만 아니라 사고 당시 운전자 및 동승자들의 음성이나 차량 내 OBD(On-Board Diagnostics) 시스템과 연동하여 차량 정보와 같이 영상을 기록할 수 있는 블랙박스에 대한 관심이 높아지고 있다.^[3] 첨단 운전자 보조 시스템에 대한 활발한 연구와 기술개발에도 불구하고 실제 시장에서 시스템 보급률은 높지 못하다. 대표적인 이유로 기존 차량에 시스템을 탑재하는 것이 매우 어렵기 때문이다. 다시 말해 운전자가 첨단 운전자 보조 시스템을 사용하기 위해서는 새로운 차량을 구매해야 한다는 의미이다. 또한 현재 첨단 운전자 시스템이 포함된 차량은 고가에 판매되고 있기 때문에 많은 사람들이 이용하지 못하는 실정이다.

본 논문에서는 첨단 운전자 보조 시스템을 일부 대신할 수 있는 다중 노출 차량용 스마트 카메라를 제안한다. 제안하는 장치는 전방의 도로 상황을 인지하고 장애물 및 위험요소를 인식하여 운전자에게 경고해 줄 수 있는 기능을 가지고 있으며 기존 차량용 블랙박스과 유사한 형태로 차량의 전면 유리에 부착하는 형태로 사용할 수 있다. 또한 분석한 도로 상황을 주변 차량 및 중앙 서버에게 공유할 수 있는 기능이 포함되어 추가적인 다양한 응용을 적용할 수 있는 형태로 고안하였다.

첨단 운전자 보조 시스템의 많은 어플리케이션에서 온보드 카메라를 통해 획득한 영상을 목표물 인식과 같은 기법을 사용하여 전방 도로의 상황을 분석한다. 즉 첨단 운전자 보조 시스템의 성능은 목표물 인식 성능과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있고 목표물 인식

성능을 끌어올리기 위해 원본 영상이 적절한 밝기를 가지는 이미지를 획득해야 하는 것은 당연하다. 일반적으로 카메라를 활용하여 이미지의 밝기를 조절하기 위해서는 노출 시간, 조리개 값, ISO와 같은 값들의 설정을 변경해야 한다. 하지만 온보드 카메라는 일반적으로 고정된 조리개 값을 가질뿐더러 촬영 시 필요한 파라미터 값들을 사용자가 조작하기 어려워 좋은 품질의 영상을 얻기 힘들다. 최근 개발되고 있는 온보드 카메라들은 자동 노출 조절 기능이 하드웨어로 구현되어 있으며 프레임 전체의 평균 밝기를 활용하여 노출 시간을 자동으로 조절한다. 이러한 방법은 충분히 밝은 조명과 전체적으로 균일한 밝기 분포를 가지는 경우 큰 효과를 발휘한다. 하지만 도로 환경의 경우 도로 위의 터널, 소음 방지벽 등의 인공 구조물들이 밝기 분포를 불균일하게 만들뿐 아니라 시간의 변화와 날씨의 변화 등으로 충분한 일조량을 확보하기 어려울 가능성이 있다.

일반적으로 목표물 인식과 같은 영상 처리 알고리즘은 많은 연산량을 요구하며 최근 임베디드 장치에서 사용하는 MCU(Micro Controller Unit)의 발전에도 불구하고 고해상도의 영상을 고속으로 처리하기는 어렵다. 이에 많은 연구에서 다양한 방법으로 관심 영역 기법을 활용하여 연산해야 할 영역을 줄임으로써 고속으로 영상을 처리한다.^{[4][5][6]} 자동 노출 조절 알고리즘도 최종 영상으로 출력되기 전의 프레임을 분석하여 카메라의 설정 값을 변경하는 영상 처리 알고리즘의 한 종류이지만, 출력 전에 적용되는 알고리즘이기 때문에 관심 영역 기법을 활용하기 힘들다.

이에 본 논문에서는 관심 영역 기법을 자동 노출 조절 알고리즘에 적용할 수 있는 새로운 접근 방법을 제안한다. 또한 전술한 도로 환경과 온보드 카메라 및 임베디드 장치의 특징을 고려하여 다중 노출 차량용 스마트 카메라에 적합한 관심 영역 기반의 자동 노출 조절 알고리즘을 제안한다.

II. 관련 연구

2.1 자동 노출 조절 알고리즘의 원리

일반적으로 디지털 카메라에서 획득하는 영상의 밝기에는 카메라의 네 가지 변수가 영향을 준다^[7]. 이에 관련된 선행 연구^[8,9]에 따르면, 네 가지 변수와 영상의 밝기는 식 1를 만족 시킨다.

$$B = k \times L \times G \times T \times \left(\frac{F}{A}\right)^{-2} \quad (1)$$

B는 최종 영상의 밝기, L은 실제 환경의 밝기, G는 시그널 게인(Signal Gain), T는 노출 시간, (F/A)은 조리개 값을 의미한다. 일반적으로 온보드 카메라에서는 조리개 값이 고정되어 있고 시그널 게인과 잡음은 비례하므로 낮은 값으로 고정하기 때문에 모든 프레임에 대해 같은 값을 가진다. 그러므로 만약 프레임 F_n의 밝기를 B_n이라고 하면 프레임 F_n과 F_{n+1}의 밝기는 각각 식 2와 식 3과 같다.

$$B_n = k \times L_n \times G_n \times T_n \times \left(\frac{F}{A}\right)^{-2} \quad (2)$$

$$B_{n+1} = k \times L_{n+1} \times G_{n+1} \times T_{n+1} \times \left(\frac{F}{A}\right)^{-2} \quad (3)$$

식 2에서 L_n은 프레임 F_n 획득 시 실제 환경의 밝기를 의미하고, G_n은 프레임 획득 시점의 시그널 게인을 의미한다. 마찬가지로 T_n은 프레임 획득 시 사용된 노출 시간을 의미한다. 동일하게 식 3에서 L_{n+1}, G_{n+1}, T_{n+1}은 프레임 F_{n+1}을 획득할 때 사용한 각 변수들을 의미한다. 우리는 식 2와 식 3로부터 식 4를 얻을 수 있다.

연속으로 프레임 획득 시 L_n과 L_{n+1}은 유사한 값일 가능성이 높기 때문에 식 4를 통해 최종 프레임의 밝기에 영향을 미치는 변수는 노출 시간인 것을 알 수 있다.

$$\frac{B_n}{B_{n+1}} = \frac{T_n}{T_{n+1}} \times \frac{L_n}{L_{n+1}} \quad (4)$$

2.2 차량 간 네트워크

차량 간 네트워크(VANET, Vehicular Ad-hoc Network)에서의 네트워크 구성요서는 이동 노드인 차량과 정지한 노드인 노변 기지국(RSU, Road-Side Unit)으로 이루어진다. 차량 간 네트워크에서 네트워크에 참여하는 노드의 종류에 따라 Vehicle-to-Vehicle(V2V) 통신과 Vehicle-to-Infrastructure(V2I) 통신으로 구분하고, 통칭하여 V2X로 명명한다. 차량 간 네트워크에 대한 관련 표준으로는 IEEE 802.11p, IEEE 1609.x 등이 존재 한다. IEEE 802.11p에서 물리 계층과 매체 접근 계층을 정의하며 IEEE 1609.x에서 상위 계층에 대한 내용을 정의하고 있다.

하지만 기술의 상용화를 통한 인프라 구축 및 표준 활용 상황은 아직 미흡한 상태이며 실질적으로 현재 V2V 통신을 구현하기 위한 무선 통신 기술은 IEEE

802.11 b/g/n 기술을 많이 사용한다. 특히 IEEE 802.11 Ad-hoc과 같은 통신 기술을 활용하여 V2V 네트워크를 구현한 경우가 많다. V2I 통신을 위한 기술은 주로 Wideband Code Division Multiple Access(WCDMA), Long Term Evolution(LTE) 등의 이동 통신망이 많이 사용된다. 이동 통신망을 사용할 경우 기반 시설 및 타 시스템과 손쉽게 신뢰성 있는 연결을 보장할 수 있지만 유료이므로 사용에 제한이 있다.

III. 본 론

3.1 다중 노출 스마트 차량용 카메라

다중 노출 스마트 차량용 카메라 장치는 온 보드 카메라를 통해 촬영한 영상으로부터 도로 위의 다양한 위험 요소를 분석하고 다른 장치들과 공유하며 위험요소 인지 시 운전자에게 알림을 해준다. 그림 1은 다중 노출 스마트 차량용 카메라 장치의 하드웨어 구조를 나타내고 있다. 장치는 크게 정보 수집을 위한 센서 부분과 수집한 정보를 처리하는 코어 부분과 처리된 정보를 다른 다중 노출 스마트 차량용 카메라 장치와 공유하기 위한 통신부분으로 구성된다.

센서부는 차량 내 On-Board Diagnostics(OBD) 시스템과 통신할 수 있는 OBD 스캐너, Global Positioning System(GPS), 가속도 센서 및 카메라로 구성된다. OBD 시스템을 활용하여 차량 내 포함된 다양한 센서 값 들을 획득할 수 있다. 특히 OBD 표준^[10]에 명시된 센서들의 경우 대부분의 차량에서 센서 값을 획득할 수 있다. 가속도 센서를 통해 차량에 가해지는 충격의 정도나 차량의 가속도 변화량을 확인할 수 있으며, 이를 통해 차량의 사고 정보와 출발 및

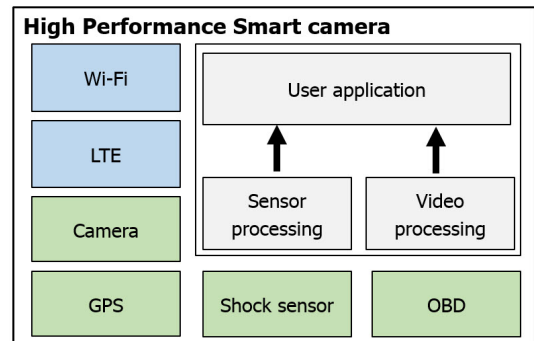


그림 1. 다중 노출 스마트 차량용 카메라 장치 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of multi exposure smart vehicular camera

정지 상태를 추측할 수 있다. 마지막으로 GPS는 차량의 위치정보를 획득하는데 활용되며, 카메라는 차량 전방의 영상을 획득하는데 사용된다.

코어부분에서는 카메라로부터 획득한 영상정보를 처리하여 전방 도로의 장애물, 보행자, 차량 및 차선을 인식한다. 또한 센서부에 포함된 다양한 센서들의 정보를 영상 인식 결과와 합쳐서 전방 도로에 대한 메타데이터를 생성한다. 제안하는 장치는 빠른 속도로 입력되는 영상데이터와 센서 데이터로부터 영상 인식 및 메타 데이터를 생성하는 작업이 높은 계산처리능력이 요구되므로 고성능의 임베디드 프로세서의 적용이 필요하며, 특히 빠른 속도로 영상 인식을 하기 위해 GPU를 포함한 임베디드 프로세서를 활용해야 한다.

마지막으로 통신부는 생성된 메타데이터를 주변 차량과 서버에 전송하고 공유하게 되며 V2V 통신을 위한 Wi-Fi P2P(Peer to Peer) 통신이 가능한 Wi-Fi 모듈과 V2I 통신을 위한 LTE 모듈로 구성하였다. 그리고 블루투스 통신을 위한 블루투스 모듈이 포함되며, 이를 통해 사용자의 스마트 폰과 연결되고 위험 발생 시 운전자에게 알림을 보낸다.

제안하는 장치의 기본적인 동작을 위해 필요한 소프트웨어 구성요소는 다음과 같다. 먼저 각종 모듈을 제어할 수 있는 임베디드 리눅스 운영체제와 해당 환경에서 적합하게 동작할 수 있는 영상 인식, 센서 데이터 추출 및 무선 통신 라이브러리가 필요하다. 또한 영상 정보와 센서 정보로부터 추출한 메타데이터를 효율적으로 저장할 수 있는 데이터베이스와 GPU 활용을 위한 프레임워크가 필요하다. 이러한 점들을 고려하여 그림 2와 같이 소프트웨어 스택을 구성하였다. 영상인식 라이브러리로는 OpenCV^[11]를 사용하였고 병렬 처리를 위해 CUDA 6.0^[12] 프레임워크를 사용하였다. 센서 모듈들을 제어하기 위해 각 센서 별로 디바이스 드라이버를 작성하여 활용하였다. 데이터베이스로는 Oracle Berkeley DB^[13]를 사용하였고 Wi-Fi

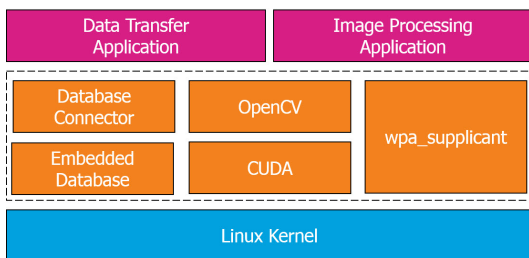


그림 2. 다중 노출 스마트 차량용 카메라 소프트웨어 스택
Fig. 2. Software stack of multi exposure smart vehicular camera

P2P 모듈을 제어하기 위해 Linux Wireless^[14]의 wpa supplicant를 사용하였고 모듈을 인식시키기 위해 Linux Kernel에 Wi-Fi P2P 모듈에 대한 디바이스 드라이버를 추가하여 사용하였다.

설계한 다중 노출 스마트 차량용 카메라를 토대로 장치의 프로토타입을 구현하였다. 그림 3은 구현한 장치의 모습을 나타낸다. 구현한 프로토타입은 NVIDIA사의 Jetson TK1^[15] 보드를 이용하였으며 OBD 스캐너를 포함하는 다양한 센서와 네트워크 모듈을 포함했다. 장치의 코어는 ARM Cortex-A15 기반의 CPU로 NVIDIA사의 특별한 구조인 4-Plus-1 구조를 가진다. 또한 코어 내 192개의 CUDA코어를 가지는 Kepler 구조의 GPU가 포함되어 있다. 장치의 메인 메모리는 2GB를 사용하였다. Wi-Fi 모듈은 Netgear사의 WN111v2를 사용하였으며 GPS모듈은 아센 코리아사의 GPS680 모듈을 사용하였다. OBD 스캐너는 32비트 마이크로프로세서와 CAN 트랜시버를 이용하여 직접 제작한 것을 사용하였다.

표 1. 다중 노출 스마트 차량용 카메라 하드웨어 상세
Table. 1. Specification of multi exposure smart vehicular camera

Item	Instruction	
Microprocessor	NVIDIA Tegra K1	
Comm. module	LTE	KMK-L200
	Wi-Fi P2P	WN111v2
GPS module	GMMU1	
Accelerator sensor	LIS331DLH	
CAN transceiver	MCP2551	



그림 3. 다중 노출 스마트 차량용 카메라 프로토타입
Fig. 3. Prototype of multi exposure smart vehicular camera

3.2 차량용 네트워크 기술

다중 노출 스마트 차량용 카메라 장치는 영상 인식 기술과 센서들로부터 차량 전방의 정보를 데이터화시키고 이를 메타데이터로 변환하여 주변 차량 혹은 시스템과 공유할 수 있도록 설계되었다. 이러한 기능을 설계 및 구현하기 위해서는 차량용 네트워크 기술이 필수 불가결하다. 본 논문에서는 메타데이터의 공유를 위해 오버레이 네트워크^[16]를 구성하여 활용하였다. 오버레이 네트워크는 V2V 네트워크와 V2I 네트워크 두 계층으로 구성하였으며 장치 내 포함 된 두 가지 네트워크 인터페이스를 통해 각각의 네트워크를 활용하였다.

본 논문에서는 Wi-Fi P2P^[17]를 활용하여 V2V 네트워크를 구현하였으며 LTE를 활용하여 V2I 네트워크를 구현하였다. Wi-Fi P2P는 각 노드가 그룹 오너와 클라이언트 역할을 하여 단일 홉 네트워크를 구성하는 기술이지만 다수의 인터페이스를 통해 그림 4와 같이 다중 홉 네트워크를 구성할 수 있다. 그림 4는 각 차량 내 제안하는 장치가 2개의 Wi-Fi P2P 인터페이스를 가지고 있는 모습을 나타내며, 각각의 인터페이스가 Wi-Fi P2P 그룹 오너(Group Owner)와 Wi-Fi P2P 클라이언트(Client) 역할을 맡고 있는 것을 확인할 수 있다.

전술하였듯이 제안하는 장치는 메타데이터를 생성하고 오버레이 네트워크를 활용하여 이를 공유한다. 메타데이터는 날짜, 위치, 차량 ID 등이 포함된 헤더 부분과 영상 인식 결과, 센서 값들이 포함된 페이로드 부분으로 구성된다.

헤더 부분 구성 시 날짜와 위치 정보를 17 바이트로 압축하였다. 날짜 정보의 년, 월, 일 데이터를 각 1 바이트로 나타내었으며 시간 데이터의 시, 분, 초를 각 1바이트로 나타내었다. 또한 위도와 경도 정보를 각각 4바이트로 나타내었으며 유효성과 위도, 경도의 방향성을 나타내기 위해 각 1바이트씩 사용하였다. 헤더 부분의 차량 ID 정보는 차량등록번호를 활용하며,

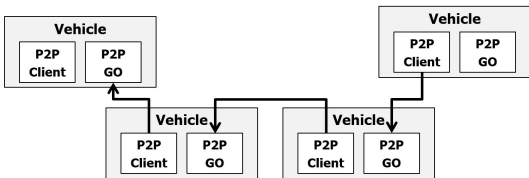


그림 4. 다수의 Wi-Fi 인터페이스를 활용한 다중 홉 통신 방안
Fig. 4. Multi-hop communication scheme using multiple Wi-Fi interfaces

숫자 부분을 2바이트로 나타내고 문자 부분을 2바이트로 나타내어 총 4바이트를 사용하였다.

페이로드 부분 구성 시에는 영상 처리 결과를 나타내기 위해 인식 대상의 종류를 1바이트, 인식 결과를 1바이트, 프레임 내 위치를 4바이트로 표현 하였으며 장치 내 포함된 센서 값을 매번 보내는 것이 아니라 센서 값의 변화가 충분히 클 경우에만 페이로드에 포함을 시켰다. 예를 들어 가속도 센서의 경우 각 축의 가속도 정보를 하나의 3차원 벡터로 생각하고, 벡터의 크기를 기준으로 센서의 변화량을 측정할 수 있다. 아스팔트 도로, 콘트리트 도로 등의 다양한 포장 도로 환경에서 일반 주행 시 발생하는 진동으로 인한 장치 내 가속도 센서 값의 변화량을 50회 측정하였고 가속도 벡터의 크기가 최대 9만 까지 변화하는 것을 확인하였다. 이를 활용하여 제안하는 장치에서는 가속도 벡터의 크기를 기준으로 일반 주행 상황과 차량에 외부 충격이 가해진 상황을 식별하였고, 외부 충격이 가해졌다고 판단한 경우에만 페이로드에 가속도 센서 데이터 값을 포함시켜 일반 주행 상황에서는 데이터 양을 줄일 수 있도록 하였다.

3.3 자동 노출 조절 알고리즘

일반적으로 디지털 카메라로부터 출력되는 영상의 밝기를 조절하기 위해서는 장치의 휘도 값, 조리개 크기, 노출 시간 및 게인(Gain) 등의 네 가지 팩터들이 사용된다. 앞서 설명했듯이 디지털 카메라로부터 출력되는 영상의 밝기와 네 가지 팩터는 식 1을 따른다.

임베디드 시스템에서 사용하는 일반적인 온보드 카메라의 시그널 게인이나 조리개 크기와 같은 값을 변경하여 사용하기가 힘들지만 노출 시간의 경우 조절할 수 있는 기능을 제공하며, 각종 라이브러리나 드라이버(Device Driver) 등을 통해 소프트웨어로 제어할 수 있다. 이에 본 논문에서는 노출 시간을 조절하여 온보드 카메라를 통해 획득하는 영상의 밝기를 조절하는 기법을 제안한다.

3.3.1 제안하는 자동 노출 조절 알고리즘

현재 주로 사용하는 온보드 카메라에서는 프레임 내 전체 픽셀의 평균 밝기를 계산하고, 그 값에 따라 노출 시간을 조절하는 자동 노출 조절 알고리즘을 많이 사용한다. 이러한 방식을 사용하는 온보드 카메라로 영상을 촬영할 경우 평균 밝기가 일정한 범위 내에서 변동되는데, 이를 그림 5와 그림 6을 통해서 확인할 수 있다. 그림 5는 온보드 카메라를 차량에 장착하고 시내도로를 주행하여 획득한 프레임들의 평균 밝

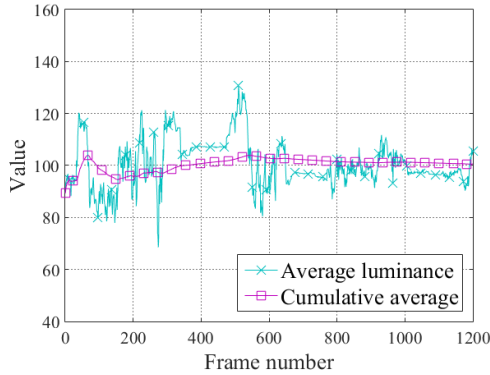


그림 5. 도심 환경에서 일반 노출 조절 알고리즘 사용 시 프레임의 평균 밝기 변화
 Fig. 5. Average luminance using the general auto exposure control algorithm in an urban environment

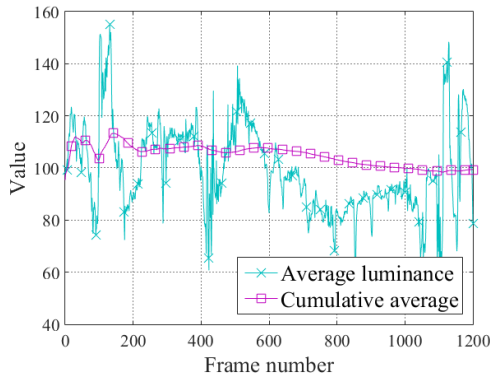


그림 6. 고속도로 환경에서 일반 노출 조절 알고리즘 사용 시 프레임의 평균 밝기 변화
 Fig. 6. Average luminance using the general auto exposure control algorithm in an highway environment

기와 누적 평균을 나타낸 그래프이다. 그래프를 살펴 보면 평균 밝기는 [50, 150] 구간에서 변하는 것을 확인할 수 있고, 누적 평균의 경우 100 근처로 수렴하는 성향을 확인할 수 있다. 그림 6은 고속도로를 주행하여 획득한 프레임들의 평균 밝기 와 표준편차를 나타낸 그래프이다. 시내도로의 경우와 마찬가지로 평균 밝기는 특정 구간에서 변화하며, 누적 평균은 100 근처로 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

이러한 방식의 자동 노출 조절 알고리즘은 평균값을 활용하므로 극단적인 값을 가지는 픽셀이 많을수록 성능이 떨어진다. 다시 말해 피사체의 밝기가 전체적으로 비슷할 때 큰 효과를 발휘한다. 제한하는 장치의 경우 주로 전방 도로의 상황을 분석하게 되는데, 도로 환경의 경우 터널, 소음방지벽, 신호등, 전방 큰 차량 등의 인공구조물로 인해 피사체의 밝기가 균일하지 못한 경우가 존재한다. 이에 본 논문에서는 도로

환경에서 적용할 수 있는 새로운 노출조절 알고리즘을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 초기화 단계와 반복 단계로 이루어져 있다. 초기화 단계에서는 최소 노출 시간과 최대 노출 시간을 설정하여 노출 시간에 대한 구간을 설정한다. 최소 노출 시간은 장치에서 지원하는 가장 작은 노출 시간으로 설정한다. 최대 노출 시간은 촬영하는 영상의 프레임 레이트(Frame Rate)가 감소하지 않는 값으로 설정한다. 예를 들어 온보드 카메라 장치의 지원 노출 시간이 10ms부터 1000ms라고 하고 25FPS(Frame Per Second)로 촬영을 한다고 하자. 전술한대로 최소 노출 시간은 장치의 최소 노출 시간인 10ms이다. 그리고 25FPS로 촬영을 하므로 프레임 당 허용된 최대 노출 시간은 40ms이다. 다시 말해 노출 시간이 40ms가 넘어가면 촬영된 영상의 FPS가 감소한다. 그림 7의 노출 시간이 55ms인 경우를 통해 이를 확인할 수 있다.

반복 단계에서는 초기화 단계를 통해 계산된 노출 구간 E를 부분 노출 구간 $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ 으로 나누고 각각의 부분 노출 구간에 우선순위를 두어 순서대로 탐색하여 구간 내 적절한 노출 시간을 찾는다. 부분 노출 구간의 개수, 구간 길이, 구간 끝 값 등은 반복적인 실험을 통해 최적화된 값을 찾을 수 있다.

본 논문에서는 반복적인 실험을 통해 부분 노출 구간을 설정하였다. 실험은 시간대 별로 실제 도로 및 터널에서 약 30회 진행하였으며, 먼저 해당 환경에서 모든 노출시간에 대해 영상을 촬영한 후 육안 검사(Visual Inspection)을 통해 적절히 구간을 나누었다. 이를 활용하여 다시 실제 도로 및 터널에서 동작시켜 보고, 최적 노출 탐색 속도 및 정확성 등을 고려하여 구간 범위를 조절하는 방식으로 진행하였다. 실험에 사용한 온보드 카메라의 최소 노출 시간이 0.1ms이고 전술한 방법으로 계산한 최대 노출 시간이 33ms임을 확인하였다. 주간 시간대 도로 환경의 부분 노출 구간은 0.1ms부터 3.0ms까지로 설정하였고 터널 내에서 적합한 부분 노출 구간과 야간 시간대 도로 환경의 부분 노출 구간은 20.0ms부터 25.0ms로 설정하였으며

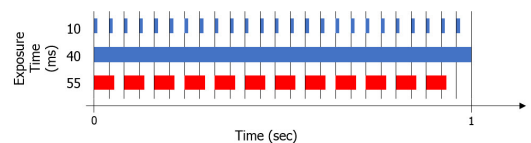


그림 7. 최대 노출 시간 계산 원리
 Fig. 7. The principle of maximum exposure time calculation

나머지 구간은 잔여 구간으로 남겨두었다.

각 부분 노출 구간 탐색 시 제안하는 알고리즘은 부분 노출 구간 내 모든 노출 시간에 대해 프레임을 분석한다. 프레임 내 검은색 픽셀과 흰색 픽셀의 개수 차이를 계산하여 프레임을 분석한다. 프레임 분석을 통해 산출한 값들 중 가장 작은 값을 가지는 프레임이 해당 시점에서 가장 적절한 노출 값을 가지는 프레임이 된다. 프레임 내 검은색 픽셀과 흰색 픽셀의 개수가 알고리즘의 결과가 크게 연관되어 있으므로, 검은색 픽셀과 흰색 픽셀을 판단하는 기준이 중요하다.

본 논문에서는 반복적인 실험을 통해 도로 환경에 적합한 값을 찾았다. 모든 노출 시간에 대해 도로 환경에서 영상을 약 30회 촬영하고, 흰색이라고 판단하는 최대 밝기 값과 검은 색이라고 판단하는 최소 밝기 값을 초기 기준으로 설정하여 실험을 진행하였다. 촬영한 영상에서 육안 검사를 통해 검증한 적절한 노출 시간으로 촬영 된 프레임과 흰 픽셀과 검은 픽셀의 차이가 최소가 되는 프레임과 동일한지 비교하고 흰 픽셀과 검은 픽셀의 기준 값을 변경해가며 적절한 기준 값을 찾았다. 결과적으로 픽셀의 밝기 값을 기준으로 0xE7 이상일 경우 흰 픽셀으로 판단하였고, 0x20 이하일 때 검은 픽셀로 판단하였다.

그림 8의 제안하는 알고리즘의 의사코드로, 7번째 줄부터 22번째 줄까지의 반복문에서 해당 노출 구간 내에서 가장 적합한 노출 시간을 탐색한다. 이 때 ExposureClass는 노출 구간을 의미하고 NumberOfExposureClass는 노출 구간 전체 개수를

```

1: procedure FindExposure()
2:   nWhite, nBlack, exp ← 0
3:   state ← InitialState
4:   Criterion ← MaximumCriterion
5:   minCriterion ← Integer.MaxValue
6:   for i ← 1, NumberOfExposureClass do
7:     for exp ← ExposureClass[i].min, ExposureClass[i].max do
8:       Frame ← GetFrame(exp)
9:       SelectedFrame ← ROI(state, Frame)
10:      for all pixel k in SelectedFrame do
11:        if k > WHITE then
12:          nWhite ← nWhite + 1
13:        else if k < BLACK then
14:          nBlack ← nBlack + 1
15:        end if
16:      end for
17:      Criterion ← abs(nWhite - nBlack)
18:      if Criterion < minCriterion then
19:        minCriterion ← Criterion
20:        minExp ← exp
21:      end if
22:    end for
23:    if FinalCheck(nWhite, nBlack, SelectedFrame) then
24:      selectedExp[state] ← minExp
25:      state ← NextState
26:      break
27:    end if
28:  end for
29: end procedure
    
```

그림 8. Selective ROI 알고리즘에 대한 의사 코드
Fig. 8. Pseudo code of selective ROI algorithm

의미한다. 해당 반복문에서 GetFrame 프로시저를 통해 노출시간 exp로 촬영한 프레임을 획득하고 ROI 프로시저를 관심 영역을 추출한다. ROI 프로시저에서 사용하는 state 변수는 후술 할 관심 영역 전환 기법과 관련이 있는데, 인식할 대상의 종류를 의미한다. nWhite, nBlack은 영상에서 흰색과 검은색 픽셀의 개수를 나타낸다. 10번째 줄부터 16번째 줄까지의 반복문에서 입력 프레임 내 흰 픽셀과 검은색 픽셀의 개수를 계산한다.

그리고 23번째 줄의 조건문을 통해 i번째 노출 구간에서 획득한 최적 노출 시간이 적합하지 판단하는데, 구간 내에 적합한 노출 시간이 없을 경우 흰 픽셀과 검은 픽셀의 개수 차이가 최저라고 하더라도 지나치게 어둡거나 밝은 영상이라고 예상할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 먼저 계산하였던 흰 픽셀의 개수와 검은 픽셀의 개수를 활용하는데, 전체 픽셀 중 두 종류의 픽셀이 차지하는 비율이 기준치보다 작을 경우 최적 노출이라고 판단한다. 후술할 온보드 카메라로 촬영한 영상의 특성으로 흰 픽셀과 검은 픽셀의 비율이 작다면 적당한 밝기를 가지는 픽셀들의 비율이 높아지기 때문이다. 본 논문에서는 해당 비율을 10%로 설정하였는데, 흰 픽셀과 검은 픽셀의 차이가 최소가 되는 프레임들 중 노출조절에 실패한 프레임들을 분석한 결과 흰 픽셀이나 검은 픽셀이 약 10%보다 많을 경우에 노출 조절에 실패하는 것을 확인하였다.

제안하는 알고리즘은 온보드 카메라를 통해 촬영한 프레임의 특징 때문에 당위성을 가진다. 이를 설명하기 위해 도로 환경에서 온보드 카메라로 촬영한 프레임들을 히스토그램으로 나타내고, 유사한 형태를 나타내는 히스토그램들을 그룹으로 나타내었다. 그 결과 그림 9에서 알 수 있듯이 도로 환경에서 온보드 카메라로 촬영한 프레임들은 크게 3가지 종류로 나뉜다.

그림 9의 over exposure는 과노출된 프레임의 히스토그램으로 피사체의 밝기가 이미지 센서가 측정 가능한 범위를 넘어섰기 때문에 일부 픽셀들이 0xFF 값을 가진다. 이로 인해 히스토그램이 우측으로 치우쳐진 형태를 이루고 있다. 그림 9의 normal exposure는 적절하게 노출된 프레임의 히스토그램으로 피사체의 밝기가 이미지 센서가 측정 가능한 범위에 있는 상태이다. 히스토그램을 살펴보면 중간부분에 해당되는 픽셀들이 많이 존재함을 알 수 있고, 프레임의 일부가 하얗거나 검게 촬영되어 피사체를 식별하기 어려운 상황이 발생할 확률이 낮은 것을 직감적으로 알 수 있다. 마지막으로 그림 9의 under exposure는 저노출된

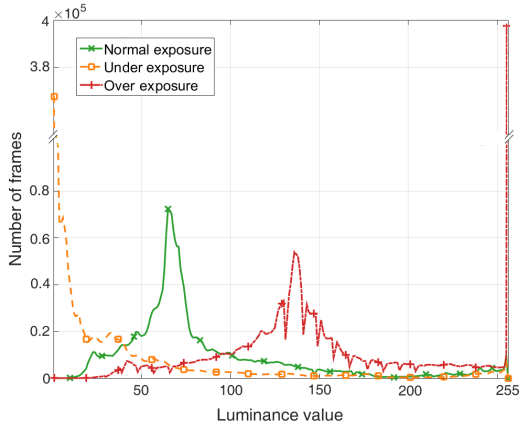


그림 9. 온보드 카메라로 촬영한 프레임들의 대표적인 히스토그램

Fig. 9. Typical histogram of frames taken by on-board camera

프레임의 히스토그램으로 피사체의 밝기가 이미지 센서가 측정 가능한 범위보다 어둡기 때문에 많은 픽셀들이 밝기 값으로 0x00을 가진다. 이로 인해 히스토그램의 형태가 왼쪽으로 치우쳐져 있으며, 프레임의 일부분이 검게 표시된다.

다시 말해 온보드 카메라를 통해 촬영한 프레임은 저노출, 적정 노출 과노출 상태 중 하나를 가지게 됨을 알 수 있다. 당연하게도 저노출과 과노출의 경우가 적정노출의 경우보다 흰색 픽셀과 검은색 픽셀의 개수 차이가 더 크다. 또한 같은 적정 노출 상태이더라도, 극단적인 밝기 값을 가지는 픽셀의 개수가 적을수록 프레임 내 이미지의 선명도가 좋아질 것이라는 것을 예상할 수 있다. 즉, 흰색 픽셀과 검은색 픽셀의 개수 차이가 가장 작은 경우 극단적인 밝기 값을 가지는 픽셀의 개수가 가장 작고 선명한 프레임이라고 할 수 있다.

3.3.2 관심 영역 전환 기법

영상처리 분야에서 관심 영역을 활용하는 방법은 많은 연구에서 사용하고 있는 방법이며, 고해상도 영상 처리에 필요한 연산능력이 부족한 임베디드 환경에서는 주로 사용 중인 방법이다. 도로 위의 다양한 목표물을 인식해야 하는 첨단 운전자 보조 시스템 응용에서 각 목표물이 나타나는 위치는 대략적으로 비슷하다^[18]. 이러한 인식 대상들의 위치 특성을 활용하여 관심 영역(Region of Interest) 전환 기법을 활용하여 도로 환경에서 전방 장애물 등을 인식한다. 제안하는 장치는 차량 내 고정된 위치에서 같은 영역을 감지하고 있으므로 관심 영역을 직관적으로 설정할 수 있

고, 이를 활용하여 연산 시간을 감소시킬 수 있다. 또한 전술한 노출 조절 알고리즘을 관심 영역에만 적용 시킴으로써 관심 영역이 다른 부분에 비해 선명하게 보이기 때문에 오인식 확률을 줄일 수 있다.

그림 10은 임의의 프레임에 보행자, 차선, 전방 차량 번호판 인식을 위한 관심 영역을 설정한 모습이다. 보행자 인식의 경우 상단 하늘 영역과 하단 보닛 영역을 제외하고 좌우 영역의 경우 반대 차선 혹은 보도 구간임을 고려하여 관심 영역에서 제외시켰다. 번호판 인식의 경우 입력 영상에서 상단 영역과 하단 영역의 절반을 제외하고, 좌우를 1/6씩 제외하여 프레임 전체 크기의 33%에 해당하는 공간을 관심영역으로 설정하였다. 차선 인식의 경우 실험을 통해 획득한 많은 수의 도로 사진을 바탕으로 차선 너비만큼의 영역을 관심 영역으로 설정하였다.

일반적으로 영상 처리 알고리즘에서 관심 영역을 설정하는 방법은 획득한 프레임 중 일부를 선택하는 것이다. 하지만 자동 노출조절 알고리즘은 알고리즘이 적용된 후에 영상을 획득할 수 있다. 그러므로 기존 영상처리 알고리즘에서 관심 영역을 사용하던 방법을 그대로 사용하기는 어렵다. 본 논문에서는 관심 영역 기법을 노출 조절 알고리즘에 적용하기 위해 프레임을 시간 축으로 분리하여, 이전 프레임들의 정보를 현재 프레임에 활용한다.

예를 들어, 시점 T_i 에 획득한 프레임을 F_i 라 하고 장치는 보행자, 차선, 전방 차량의 번호판을 인식해야 한다고 하자. 또한 전술한 노출 조절 알고리즘을 통해 최적 노출 값을 찾기 위해 30개의 프레임이 필요하다고 하자. 이러한 경우 프레임 F_i 부터 프레임 F_{i+29} 까지 노출 시간을 찾기 위해 사용된다. 이 때, 각 프레임에 보행자에 대한 관심 영역을 지정하여 최적 노출 시간을 찾는다. 이 결과를 활용하여 프레임 F_{i+30} 은 보행자에 대한 최적화된 노출 시간을 가진다. 마찬가지로 프

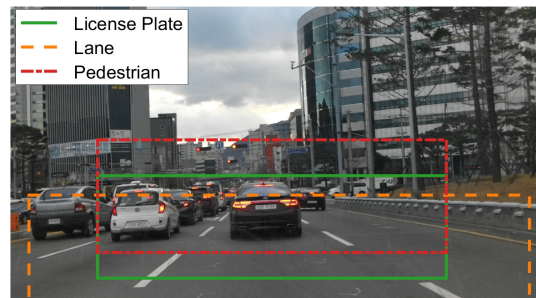


그림 10. 하나의 프레임에 다양한 관심 영역을 적용한 예시
Fig. 10. Example of multiple ROIs adapted on a single frame

프레임 F_{i+31} 부터 F_{i+60} 까지의 프레임들은 차선에 대한 최적 노출 시간을 계산하고 프레임 F_{i+61} 에서 차선에 대한 영상 인식을 시도한다. 마지막으로 F_{i+62} 부터 F_{i+91} 까지의 프레임들은 번호판의 관심 영역에 대한 최적 노출 시간을 계산하는데 사용되고, 프레임 F_{i+92} 에서 번호판 인식을 시도한다.

제안하는 관심 영역 전환 기법을 응용하여 각 인식 대상에 대한 우선순위를 조절할 수 있다. 예를 들어 보행자, 차선, 전방 차량의 번호판을 인식하는 경우를 생각해 보자. 보행자 - 차선 - 번호판 순으로 인식하는 경우 모든 인식 대상이 동등한 우선순위를 가진다. 하지만 보행자 - 차선 - 보행자 - 번호판 순으로 인식하는 경우 보행자 인식을 더 자주 시도하게 되고, 이는 보행자 인식에 대한 우선순위를 높인 것으로 생각할 수 있다. 이러한 과정을 그림 11에 도식화 하여 나타내었다.

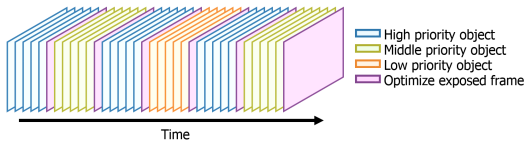


그림 11. 다수의 프레임에 적용한 관심 영역 전환 기법
Fig. 11. ROI switching method adapted to multiple frames

IV. 성능 평가

4.1 다중 노출 스마트 차량용 카메라 플랫폼

상기 구현한 플랫폼을 이용하여 메타데이터를 추출하는 속도를 측정하였다. 한 번의 메타데이터 생성 시 포함할 정보량에 따라서 메타데이터를 추출하는 속도가 달라질 수 있다. 하나의 메타데이터에 여러 인식 대상에 대한 인식 결과를 포함하거나 다양한 센서 데이터를 포함할수록 속도가 느려진다.

전방 차량 번호판 인식의 경우 약 171ms 소요되며, 보행자 인식의 경우 약 40ms가 소요된다. 또한 차선 인식의 경우 약 134ms가 소요된다. 제안하는 노출 조절 알고리즘과 관심 영역 전환 기법으로 인해 여러 목표물을 인식하더라도 개별 목표물의 인식 속도는 차이나지 않지만 전체 목표물을 인식하는 주기는 길어진다.

센서 데이터의 경우 각 센서 모듈에 따라 추출할 수 있는 주기가 달라진다. GPS의 경우 모듈의 설정에 따라 다양한 주기로 위치 정보를 출력한다. 본 논문에서는 1초에 한 번 측정할 수 있도록 설정하였다. 가속도 센서의 경우 초당 약 15000회 이상 측정이 가능하

며, 차량에 가해지는 충격 인식을 위해 0.1초 동안 변화한 평균 가속량을 측정하였다. 차량 내부의 각종 센서 정보를 수집하는 OBD 스캐너는 차량 속도, RPM(Revolutions Per Minute), 엔진 온도 등 다섯 종류의 센서 정보를 수집하도록 설정 하였으며 1초에 약 25회 측정이 가능하다. OBD 스캐너 정보는 1초 동안 변화한 변화량을 측정하였다.

제안하는 장치의 무선 네트워크 성능 평가를 위해 5대의 장치를 통해 Wi-Fi P2P 네트워크를 구성하고, 1대의 장치에 LTE 모듈을 장착하여 서버와 연결했다. 듀얼 인터페이스를 활용하여 4대의 장치를 각각 2홉으로 연결하였다. 최후방의 장치가 최전방의 장치에게 데이터를 요청 후 최전방의 장치로부터 데이터를 수신할 때 까지 걸리는 지연시간과 전송속도를 각각 측정하였다. 수행 결과 지연시간은 0.421초, 전송 속도는 평균 8.2Mbps로 확인할 수 있었다.

4.2 노출 조절 알고리즘 및 관심 영역 전환 기법

본 논문에서 제안한 노출 조절 알고리즘의 수행 시간을 실험을 통해 측정하고, 노출 조절 알고리즘과 관심 영역 전환 기법을 사용한 경우의 인식 대상의 인식률 변화를 측정하였다. 실험은 실제 도로 환경에서 진행되었으며, 시내도로와 고속도로를 각각 15분씩 주행하여 성능을 평가하였다. 인식 목표물은 단일 목표로 전방 차량의 번호판 인식으로 설정하였다.

그림 12는 주간 시간과 야간 시간에 제안하는 자동 노출 조절 알고리즘과 일반적으로 사용되는 자동 노출 조절 알고리즘의 수행 시간을 비교한 실험 결과이다. 일반적으로 사용되는 자동 노출 조절 알고리즘에는 프레임 내 픽셀들의 밝기 평균값을 활용하는 방법과 히스토그램을 활용하는 방법이 있다. 본 논문에서 구현한 다중 노출 스마트 차량용 카메라 플랫폼에 사

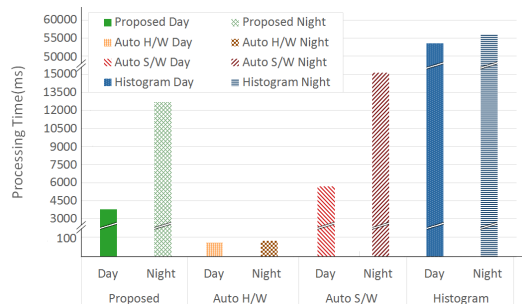


그림 12. 주간 및 야간 시간에 대한 자동 노출 조절 알고리즘들의 연산 시간
Fig. 12. Processing time of auto exposure control algorithms for the day and night time

용된 온보드 카메라는 프레임 내 픽셀들의 밝기 평균값을 일정하게 유지시키는 알고리즘이 하드웨어 기반으로 구현되어 있었다. 이에 밝기 평균값을 활용하는 알고리즘을 소프트웨어 기반으로 추가 구현하여 실험을 진행하였다. 실험 결과 제안하는 알고리즘은 주간 시간에는 3792ms, 야간 시간에 12280ms가 필요하였다. 하드웨어 기반으로 구현된 평균값을 활용하는 알고리즘은 주간 시간에 67ms, 야간 시간에 77ms가 필요하였다. 반면 소프트웨어 기반으로 구현된 경우에는 주간 시간에 5605ms, 야간 시간에 14618ms가 필요하였다. 히스토그램을 기반으로 동작하는 알고리즘의 경우에는 주간시간에 53132ms, 야간시간에 55149ms가 소요되었다. 이를 통해 제안하는 알고리즘이 기존의 평균 밝기를 활용하는 알고리즘이나 히스토그램을 활용하는 알고리즘보다 복잡하지 않다는 것을 확인하였으며, 제안하는 알고리즘을 하드웨어로 구현하였을 경우 더 빠르게 노출 조절을 할 수 있을 것이라 기대할 수 있다.

그림 13은 노출 조절 알고리즘에 따른 번호판 인식의 정확도를 나타낸 그래프이다. 본 논문에서 사용한 정확도는 프레임 내 번호판이 존재하고 프로그램이 이를 인식하였을 때를 True Positive로 설정하고, 프레임 내 번호판이 존재하지 않을 때 프로그램이 번호판이 없다고 응답하였을 때를 True Negative로 설정하였다. 두 가지 응답을 한 경우와 전체 경우의 비율을 정확도로 계산하였다. FHD(1920x1080) 해상도와 30 FPS(Frame Per Second)를 가지는 20분 길이의 실제 도로 주행 영상과 OpenALPR^[19] 라이브러리를 사용하여 개인용 2006년 개정 번호판^[20]에 대해 인식률을 측정하였다. Strictness는 OpenALPR 라이브러리에서 사용하는 파라미터인데, 값이 커질수록 정밀한 판단 기준을 사용하여 더 엄격하게 번호판 영역을 검사한다. 그림 14는 strictness가 높을 때 발생하는 오인

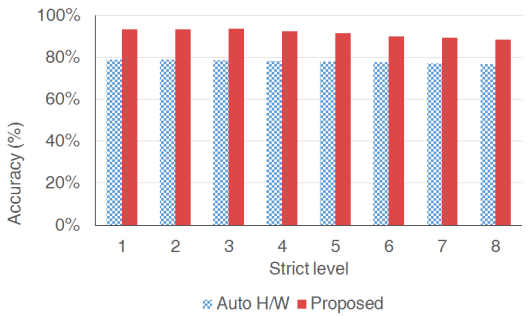


그림 13. 차량 번호판 인식 실험 결과
Fig. 13. Experimental result of car plate recognition



그림 14. 높은 strict level에서의 오인식
Fig. 14. Error case in high strict level

식 경우를 보여준다. 관심 영역 내 차량 번호판이 있음에도 불구하고 지나치게 정밀한 판단기준으로 인해 인식되지 않은 경우이다. 반대로 그림 15는 strictness가 낮을 때 발생하는 오인식 경우를 나타낸다. 관심 영역 내 목표로 하는 차량 번호판이 없음에도 불구하고 인식되는 경우를 나타낸다.

실험 결과 제안하는 노출 조절 알고리즘을 사용했을 때에는 평균 91.49%의 인식 정확도를 보였으며, 기존 온보드 카메라에 사용되던 알고리즘의 경우 78.04%의 인식 정확도를 보였다. 또한 모든 strictness level에서 제안하는 알고리즘을 사용하였을 때 더 좋은 인식 결과를 보였다.



그림 15. 낮은 strict level에서의 오인식
Fig. 15. Error case in low strict level

V. 결론

본 논문에서는 관심 영역 기반의 자동 노출 조절 알고리즘을 포함한 다중 노출 스마트 차량용 카메라 기술을 연구하였다. 카메라를 통해 전방의 영상을 획득하고 고성능 프로세서를 활용하여 분석한다. 영상 분석 결과와 함께 장치 내 센서와 차량 내 센서 값들을 사용하여 메타데이터를 생성한다. 메타데이터는 활용 방법에 따라 운전자에게 위험을 경고하거나 네트워크를 통해 다른 차량과 공유할 수 있다. 또한 영상 분석의 정확성을 높이기 위해 도로 환경에 적합한 관심 영역 기반의 자동 노출 조절 알고리즘을 제안하고 성능평가를 수행하였다.

실제 도로를 주행하면서 실험을 진행하였고, 실험을 통해 인식률이 평균 13.45% 향상되었음을 확인하였으나 노출 조절을 위해 추가적인 프레임이 필요한 것을 확인하였다. 다시 말해 제안하는 관심 영역 전환

기법과 노출 조절 알고리즘은 최종적으로 여러 프레임을 활용하여 목표물을 인식하게 된다. 그에 따라 목표물을 인식하는데 있어 지연시간이 생긴다. 하지만 도로 환경의 특징으로 인해 짧은 시간 내 인접한 프레임의 경우 매우 비슷한 형태를 나타내고, 이는 비슷한 여러 프레임 중 한 프레임만 인식하더라도 응용에 적용할 수 있다는 것을 의미한다. 결과적으로 본 논문에서 제안하는 자동 노출 조절 알고리즘은 도로 환경에서 적용 가능성을 알 수 있다.

References

- [1] J. B. Yoo and C. Y. Park, "The road reservation scheme in emergency situation for intelligent transportation systems," *J. KICS*, vol. 36, no. 11, pp. 1346-1356, Nov. 2011.
- [2] S. H. Son, T. W. Kim, Y. S. Jeon, and Y. J. Baek, "Smart camera technology to support high speed video processing in vehicular network," *J. KICS*, vol. 40, no. 01, pp. 152-164, Jan. 2015.
- [3] M. Y. Kim and J. W. Jang, "Implement automobile black box system for proving cause of sudden unintended acceleration," *J. Korea Inst. Inf. and Commun. Eng.*, vol. 18, no. 6, pp. 1429-1434, Jun. 2014.
- [4] O. M. Lee, I. S. won, S. M. lee, and J. W. Kwon, "On-road car detection system using VD-GMM 2.0," *J. KICS*, vol. 40, no. 11, pp. 2291-2297, Nov. 2015.
- [5] D. S. Shin, S. R. Lee, and J. W. Kwon, "Improvement of lipreading performance using gabor filter for ship environment," *J. KICS*, vol. 35, no. 7, pp. 598-603, Jul. 2010.
- [6] C. K. Cheong, "A high speed road lane detection based on optimal extraction of ROI-LB," *J. Broadcast Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 253-264, Mar. 2009.
- [7] T. Li, Y. Song, and T. Mei, "An auto exposure control algorithm based on lane recognition for on-board camera," *2015 IEEE Intell. Veh. Symp. (IV)*, pp. 851-856, Seoul, Korea, Jun. 2015.
- [8] T. Kuno, H. Sugiura, and N. Matoba, "A new automatic exposure system for digital still camera," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 44, no. 1, pp. 192-199, Feb. 1998.
- [9] J. Y. Liang, Y. J. Qin, and Z. L. Hong, "An auto-exposure algorithm for detecting high contrast lighting conditions," in *Proc. Int. Conf. ASIC*, pp. 725-728, Guilin, China, Oct. 2007.
- [10] SAE, *Surface vehicle recommended practice*, SAE J1939, Jan. 2005.
- [11] OpenCV, Retrieved Oct. 20, 2016, from <http://opencv.org>
- [12] NVIDIA Corp., *Nvidia cuda compute unified device architecture programming guide*, 2014.
- [13] M. A. Olson, K. Bostic, and M. Seltzer, "Berkeley DB," in *Proc. FREENIX Track: 1999 USENIX Annu. Tech. Conf.*, Monterey, California, USA, Jun. 1999.
- [14] Linuxwireless, Retrieved Oct. 15, 2016, from <http://wireless.kernel.org>
- [15] NVIDIA Corp., *NVIDIA jetson TK1 development kit bringing GPU-accelerated computing to embedded systems*, 2014
- [16] D. Borsetti and J. Gozalvez, "Infrastructure assisted geo-routing for cooperative vehicular networks," in *Proc. IEEE Veh. Netw. Conf.*, pp. 255-262, Jersey City, NJ, Dec. 2010.
- [17] Wi-Fi direct, Retrieved Sept. 10, 2016, from <http://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-direct>
- [18] Y. S. Jeon, T. W. Kim, S. H. Son, and Y. J. Baek, "Design and implementation of vehicular network based smart camera device to support high speed video processing," in *Proc. Symp. KICS*, pp. 378-379, Jeju Island, Korea, Jun. 2014.
- [19] OpenALPR, Retrieved Sept. 24, 2016, from <https://github.com/openalpr/openalpr>
- [20] S. N. Yang, Y. M. Jun, J. S. Jung, and S. H. Ryu, "An extraction method of number plates for various vehicles using digital signal analysis processing techniques," *IEEK - System and Control*, vol. 45, no. 3, pp. 12-19, May 2008.

전 용 수 (Yongsu Jeon)



2013년 2월 : 부산대학교 컴퓨터공학과 공학학사
2015년 2월 : 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사
2015년 3월~현재 : 부산대학교 컴퓨터 공학과 박사과정
<관심분야> WSN, 임베디드 시스템

윤 영 섭 (Youngsub Yoon)



2015년 8월 : 부산대학교 컴퓨터공학과 공학학사
2017년 2월 : 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사
<관심분야> CSD, RF 모듈을 이용한 다양한 시스템 설계

박 희 진 (Heejin Park)



2015년 2월 : 부산대학교 컴퓨터공학과 공학학사
2017년 2월 : 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사
<관심분야> 하드웨어 모듈 기반 시스템 설계, 임베디드 OS 설계

백 윤 주 (Yunju Baek)



1990년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 공학학사
1992년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 공학석사
1997년 2월 : 한국 과학기술원 전산학과 공학박사
1999년~2002년 : NHN 기술연구소 소장

2003년~현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 정교수
<관심분야> RFID, 센서 네트워크, 임베디드 시스템, RTLS, 스마트 블랙박스, WiFi P2P