

논문 2012-50-5-26

악 조건 환경에서의 강건한 차선 인식 방법

(Robust Lane Detection Method Under Severe Environment)

임 동 혁*, Trung-Thien Tran*, 조 상 복**

(Dong-Hyeog Lim, Trung-Thien Tran, and Sang-Bock Cho[©])

요 약

운전자 보조 시스템에서 차선 경계 검출은 매우 중요하다. 본 연구는 악조건인 환경에서 차선 경계를 검출하기 위한 강건한 방법을 제안한다. 첫 번째로 원래의 image에서 iVMD(improve Vertical Mean Distribution) Method를 이용하여 수평선을 검출하고, 수평선 하위영역 image를 결정하며, 두 번째로 Canny edge detector를 사용하여 하위 영역에서 차선 표시를 추출한다. 마지막으로, RANSAC algorithm을 이용하여 각각에 맞는 line model을 적용하기 전에, k-means clustering algorithm을 이용하여 오른쪽 왼쪽 차선을 분류 한다. 제안된 알고리즘은 변종조명, 갈라진 도로, 복잡한 차선 표시, 교통신호에 관하여 상당히 정확한 차선 검출 기능을 나타낸다. 실험결과는 제안된 방법이 악조건인 환경하에서 실시간으로 효율적인 요구 사항을 충족함을 보여준다.

Abstract

Lane boundary detection plays a key role in the driver assistance system. This study proposes a robust method for detecting lane boundary in severe environment. First, a horizontal line detects form the original image using improved Vertical Mean Distribution Method (iVMD) and the sub-region image which is under the horizontal line, is determined. Second, we extract the lane marking from the sub-region image using Canny edge detector. Finally, K-means clustering algorithm classifi left and right lane cluster under variant illumination, cracked road, complex lane marking and passing traffic. Experimental results show that the proposed method satisfie the real-time and efficient requirement of the intelligent transportation system.

Keywords : 수평라인, iVMD, 차선 검출, k-means clustering, RANSAC,

I. 서 론

자동차등 융합산업의 발전에 따라 고화질의 영상 데이터를 필요로 하는 분야가 계속 증가 하면서 산업화를 위하여 저 비용 영상 처리 시스템 개발이 시급한 실정이다. 또한 교통사고가 많은 한국에서는 2012년 교통사고 분석에 따르면 223,441건의 교통사고가 발생했으며, 그 중 5,363명이 사망하고, 341,437명이 부상을 입은 것으로 나타났다. 특히 운전자의 부주의나 돌발 상황, 환

경적 요인, 도로의 나쁜 상태에 의한 요인들이 주된 원인이 되어 가고 있으며 이로 인하여 사고들이 점점 증가되어 가고 있는 추세이다. 도로교통 관리공단의 자료를 보면 인적사고인 221,711건에서 전방주시 태만, 환경적 요인으로 발생한 사고가 162,582건으로 73.3%를 차지함으로써 운전자의 상황 인식 능력을 높이면 사고율이 감소할 것으로 예상 된다. 이에 ITS(Intelligent Transport Systems)의 구성 요소 중 차선 경계 검출은 막대한 인명피해를 줄이는데 도움이 되며 차량 내비게이션, 수평 제어, 충돌 방지 또는 차선 이탈 경고 시스템에 사용하게 된다.

현재는 lane detection과 lane following을 연구하는 많은 연구자가 있다. 다중 센서(GPS, RADAR, LASER, GIS)를 이용해 차선 경계를 검출하는 연구는 속도가 빠

* 학생회원, ** 정회원, 울산대학교 전기공학부

(School of Electrical Engineering, Univ of Ulsan)

※ 본 논문은 2011년도 울산대학교 교비연구비의 지원에 의해 작성되었음.

© Corresponding Author(E-mail:sbcho@ulsan.ac.kr)

접수일자: 2013년2월15일, 수정완료일: 2013년4월25일

르고 정확한 차선을 검출 할 수 있다는 장점이 있지만 이러한 센서를 이용하였을 경우 비용도 많이 들고 GIS(Geographic Information system) 또는 RNDF(Route Network Definition File) 업데이트가 필요하다라는 단점이 있다.^[1]

또 다른 연구자들은 vision-based system을 lane detection과 lane following에 접목시켰다. 그러나 그들의 대부분은 그림자, 빛의 산란, 도로 위의 인공 물체에 대한 한계를 나타내고 있다.^[2]

최근 일부 연구자들은 노이즈와 데이터 누락에 대해 훨씬 강력한 방법을 시도했다. B-sanke를 이용한 차선 감지 및 추적알고리즘^[3], 그리고 실시간에서의 차선 감지 방법^[4] 및 움직이는 차량과 차선 감지 방법^[5]와 선형 포물선 모델을 사용한 차선 이탈^[6] 기법들은 차선 경계로 간주 된 데이터에 맞게 수학적 모델을 활용하여 그곳에 맞는 데이터를 차선 경계로 간주하는 방법이다. 하지만 계산 시간이 많이 걸리고 필수 조건(parallel lane, fixed width and flat ground)이 요구되는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 악조건 환경에서의 강건한 차선 경계 검출 방법을 제안하여 위의 문제들을 해결하고자 한다.

먼저 grayscale image에서 수평선을 검출하는 새로운 방법을 적용함으로써 전체 이미지 처리에 비해 계산 시간을 단축하고자 한다. 계산 시간이 단축되는 이유는 제안된 방법이 하위 지역 이미지에 초점을 맞추고 있고 카메라의 교정과 평면 바닥 가정을 필요로 하지 않기 때문에 다양한 도로 조건에 대한 견고한 선형 모델과 차선경계를 표현하는데 활용되기 때문이다.

두 번째로 k-means clustering와 RANSAC 알고리즘의 통합 접근 방식이 차선 경계를 결정하기 위해 적용된다. 일부 이전 접근 방식은 고정 너비 차선 형태를 생각하지만 이 방법은 각각 왼쪽과 오른쪽 차선을 감지한다.

그림 1은 제안한 방법의 블록 다이어그램이다.

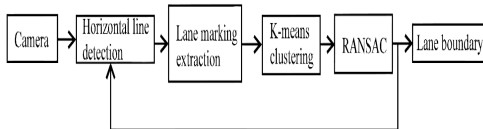


그림 1. 제안한 알고리즘의 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of the proposed algorithm.

II. 본 론

1. 수평선 검출 방법

일반 카메라는 320x240 픽셀의 해상도로 사용해서 수평선 아래에 있는 하위 영역 이미지를 결정한다. 이 방법은 두 가지 장점을 가지게 되는데 첫 번째로 오직 하위 영역 이미지로 간주되기 때문에 전체적인 과정에 대한 계산 시간이 현저하게 줄어든다. 두 번째는 이미지 차선 표시에의 상단 부분에서의 나쁜 영향을 제거한다. 이전 방법은 상부 곡선을 이루고 처음 발생한 최소치를 결정하는 수직 평균 배포 방법을 활용하여 최소한의 위치를 수평 라인으로 간주했다. 세로 평균 분포는 식(1)과 같은 방정식으로 정의된다.^[8]

$$VMD(i) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W Gr(i, j); i \in (1, H) \quad (1)$$

VMD(i)는 i번째 행의 grayscale 값의 평균이고 H는 원본 image의 높이 그리고 W는 원본 image의 너비이다. Gr(i,j)은 원본 image로부터 변환된 grayscale image 안에 i번째 행 그리고 j번째 열의 픽셀의 강도이다.

본 연구에서는 식(2)와 식(3)과 같이 수직 평균 배포 방법 (iVMD)을 사용하여 주간과 야간 장면의 수평 라인을 감지한다.

그림 2(a)~(b)는 주간 장면으로, 첫 번째 최소 상부 곡선에서 발생하는 최소한의 위치, 그림 수평선 (붉은 별)의 위치로 간주된다. 하늘 지역은 보통 도로 화소보다 높은 강도를 보유하고 하늘에 근접한 지상과 같은 강도 차이의 큰 변화가 있을 수 있다.

$$Horizontal\ position = \arg \min_{i \in (1, H)} VMD(i) \quad (2)$$

그림 2(c)~(d)와 같이 야간 장면은 반대로 수직 평

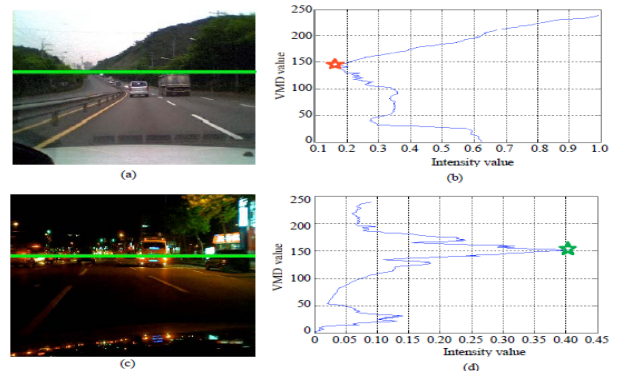


그림 2. 수평라인 검출 알고리즘
Fig. 2. Horizontal line detection algorithm.

균 곡선을 따라 최대 검색이 수평선 (녹색별)의 위치로 간주된다. Image의 위쪽 부분이 종종 조명이 부족하고 수평선 강도가 최고인 부분이다. 결과는 그림2와 같다.

$$\text{Horizontal position} = \arg \max_{i \in (1, H)} VMD(i) \quad (3)$$

그러나, 이 단계는 실패한 프레임 시퀀스 또는 차선 경계 검출의 첫 번째 프레임에 적용되며 다음 프레임을 위한 두 개의 차선 경계 사이의 교차로의 위치가 수평 라인 위치로 간주할 수 있다.

2. 차선 경계 검출 방법

가. 차선 경계 검출 방법

먼저 그림 3(a)처럼 흑백으로 이미지를 얻은 뒤 그림 3(b)와 같이 Canny edge image를 통해 흰색 경계점을 찾게 된다. 그림 3(c)와 같이 곡면이 아닌 직선의 이미지를 특별히 추출하여 그림 3(d)와 같이 k-meas Clustering 알고리즘을 이용하여 객체를 분류한다.

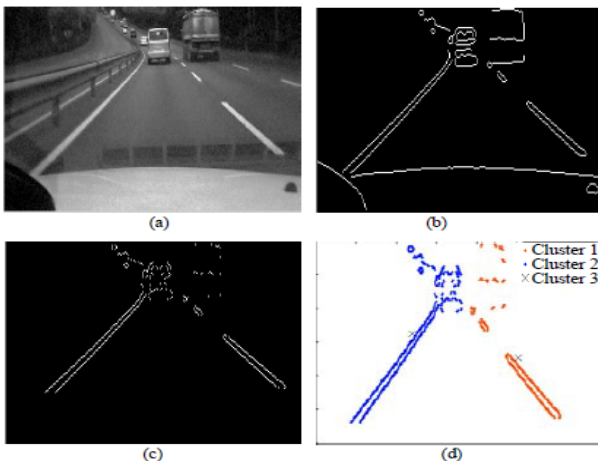


그림 3. 수평라인 검출 알고리즘
Fig. 3. Horizontal line detection algorithm.

나. k-means clustering과 RANSAC 알고리즘

(1) k-means clustering

k-means clustering 알고리즘은 n개의 객체들의 집합을 k개의 군집으로 분해하는 거리에 기반을 둔 clustering 기법이다. 일반적으로 초기화하는 방법으로는 Forgy와 Random Partition 방법이 있다.

먼저 Forgy 방법은 무작위로 데이터 집합에서 k를 관측하여 선택하고 초기 수단으로 이들을 사용하게 되는 방법이다.

Random Partition 방법은 Forgy와 달리 먼저 무작위로 각 관측에 클러스터를 할당하고 클러스터의 무작위 할당 포인트 중심이 될 최초의 수단을 컴퓨팅 및 업데이트 단계로 진행하는 방법이다.

본 논문에서는 상기 검출된 차선 경계에 k-meas clustering 알고리즘을 적용하여 차량의 주행상태에 따른 차선 이탈 또는 차선 변경을 판단하였다.

또한 RANSAC 알고리즘을 적용함으로써 inlier를 고려하여 차선 검출 함수를 반복 수행하여 검출 noise 제거를 하였다.

그림 3(c)와 같이 곡면이 아닌 직선의 이미지를 추출한 것을 이용하여 그림3(d)와 같이 k-means clustering Algorithm와 RANSAC 알고리즘을 통합하여 2개의 객체로 분류하는데, 분류되는 알고리즘은 다음 식(4)를 사용한다.

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (4)$$

여기서 X_i 는 데이터 포인트 사이에 선택된 거리 측정이며 클러스터 중심 C_j 는 해당 클러스터 센터에서 N개의 데이터 포인트의 거리 지표를 의미한다.

본 연구에서는 clustering의 수 k=2를 선택하였으며 두 에지 포인트는 각 차선의 초기 클러스터 중심으로 무작위로 선택하였다. 다른 에지 포인트는 거리, 방향으로부터 측정된 거리에 따라 가장 가까운 클러스터 센터에 할당이 되고 다음 단계에서는 각 클러스터의 수단을 통해 계산된 후에 새로운 클러스터 센터로 이동하여 반복함으로써 그림 3(d)와 같이 표현이 되었다.

(2) RANSAC 알고리즘

RANAC(Random Sample Consensus Algorithm) 알

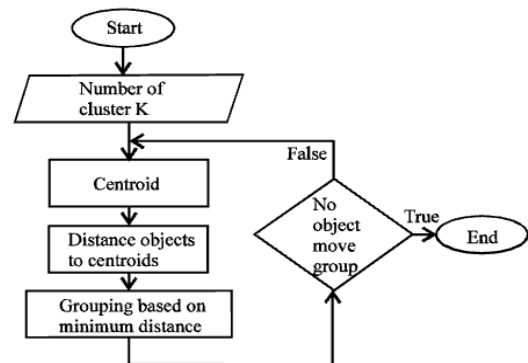


그림 4. k-means clustering 알고리즘
Fig. 4. k-means clustering Algorithm.

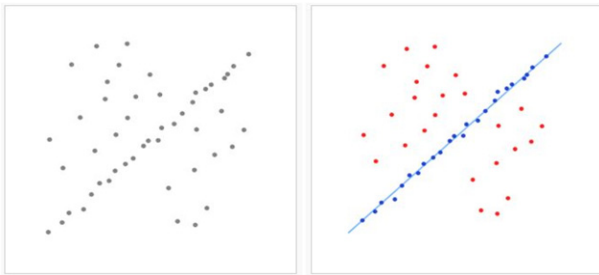


그림 5. RANSAC 알고리즘
Fig. 5. RANSAC algorithm.

고리즘은 Fishler와 Bolles에 의해 제안된 방법으로써 입력 데이터의 수많은 outliers의 큰 비율을 대처하도록 설계한 일반 매개 변수 추정 방법이다. 또한 RANSAC은 기본 모델 매개 변수를 추정하는 데 필요한 최소한의 데이터 포인트를 사용하여 후보 솔루션을 생성하는 resampling 기법이다.^[7]

따라서 본 논문에서 사용된 RANSAC 알고리즘의 목적은 그림 5에서 보는 바와 같이 차선의 매개 변수를 추정하여 작은 범위 안에서 차선을 인식할 때까지 알고리즘을 반복할 뿐만 아니라 inlier를 고려함으로써 차선 검출 함수를 반복 수행하여 검출 노이즈를 제거 하였으며 방법은 다음과 같다.

1. 모델 매개 변수를 결정하기 위해 필요한 포인트의 최소 숫자가 무작위로 선택된다.
2. 모델의 매개 변수를 구한다.
3. 미리 정의된 tolerance E에 맞는 몇 개의 포인트를 선정할지를 결정한다.
4. 세트의 총수 포인트 이상의 분율 또는 inliers의 수가 사전 정의된 임계값 T를 초과하는 경우 모든 inliers를 사용하여 모델 매개 변수에 다시 적용하고 종료한다.
5. 그렇지 않으면 단계 1부터 4까지 반복한다. (Maximum of N times)

N만큼 반복되는 값은 충분히 높은 결과를 가지기 위하여 $p(0.99)$ 로 설정을 선택한다. 이는 outlier는 무작위 샘플 중 그 이상을 포함하지 않기 때문이다. u 는 확률을 나타내며 선택한 모든 데이터 포인트는 inliers 이거나 outlier에서 관찰된 확률 $v=1-u$ 이다. m 이 의미하는 포인트의 최소 값의 N 반복은 식(5)와 같으며

$$1-p=(1-u^m)^N \quad (5)$$

따라서 반복되는 N은 다음 식(6)과 같다.

$$N = \frac{\log(1-p)}{\log(1-(1-v)^m)} \quad (6)$$

마지막으로 왼쪽과 오른쪽 차선 경계가 감지된 후에는 그들 사이의 교차 지점이 결정이 되고 이 점을 시퀀스의 다음 프레임에 위한 수평선 위치로 간주하기 때문에 수평선 검출 단계를 건너뛰고 전체 과정의 견고성을 개선하고 계산 시간을 단축하게 된다.

III. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 Visual Studio 2008, express Edition OpenCV 1.2, Intel (R) Core(TM)2 Quad Q8400 CPU 2.66GHz에서 구현된다.

그림 6~10은 환경적인 요인들에 대한 영상의 프레임임을 제안한 알고리즘을 통하여 그 결과를 확인하였다.



그림 6. 복잡한 도로에서의 제안한 알고리즘 결과
Fig. 6. Some results of proposed method in cracked and complex road.



그림 7. 추월장면에서의 제안한 알고리즘 결과
Fig. 7. Some results of proposed method in overtaking scenes.



그림 8. 복잡한 이미지에서의 제안한 알고리즘 결과
Fig. 8. Some results of proposed method in complex upper image.

그림 6에서는 복잡한 도로 상태에서 제안한 알고리즘을 통해 구현된 image로써 복잡한 도로에서도 차선을 인식하는 것을 볼 수 있었으며 그림 7에서 보는 바와 같이 추월하는 장면에서도 차선을 인식할 수 있는 것을 확인 할 수 있었다.

또한 그림 8와 같이 도로위에 고가도로나 다리위에 철근 구조도 수평선 검출 방법을 이용하여 하위 이미지만을 사용하기 때문에 차선 인식을 할 수 있었다.

그림 9와 같이 야간 장면에서도 차선인식을 잘 할 수 있었으며 그림 10에서와 같이 안개나 비가 올 때에도 차선인식을 할 수 있는 것을 볼 수가 있다.

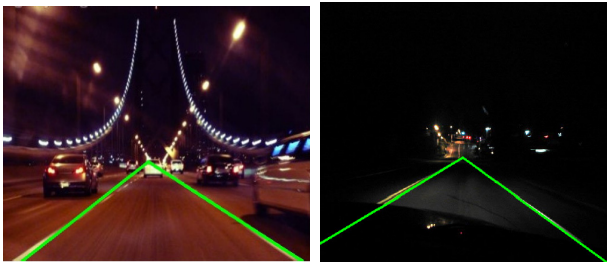


그림 9. 야간 장면에서의 제안한 알고리즘 결과
Fig. 9. Some results of proposed method in night scenes.

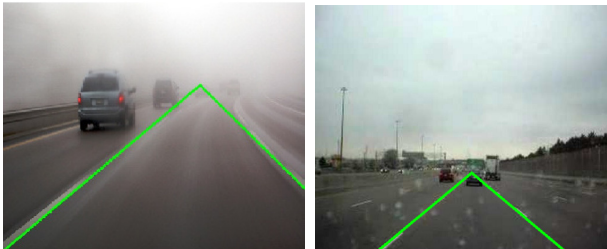


그림 10. 비오는 장면에서의 제안한 알고리즘 결과
Fig. 10. Some results of proposed method in wet scene.

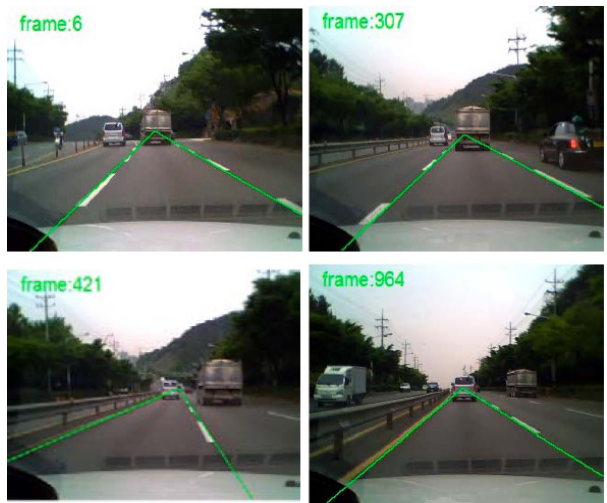


그림 11. 비디오 clip 1 결과
Fig. 11. The results for video clip 1.

그림 11~13은 실제 블랙박스를 이용하여 촬영된 영상을 제안한 알고리즘을 통해서 구현하였다.

clip 1은 고속도로에서의 주간 상태를 촬영한 것이다. 이 결과 데이터는 직선이나 점선, 황색이나 흰색의 차선들의 차이점을 성공적으로 인지하는 것을 보여준다.

clip 2는 울산 시가지에서의 주간 상태를 촬영한 것이며 대부분 차선은 흰 색 점선으로 표현을 하는데 복

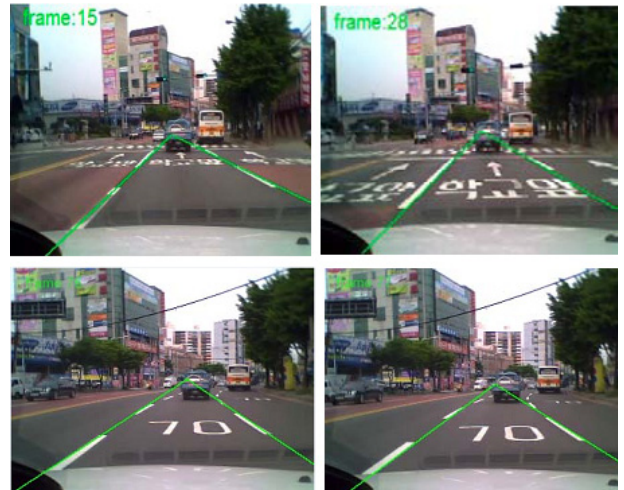


그림 12. 비디오 clip 2 결과
Fig. 12. The results for video clip 2.

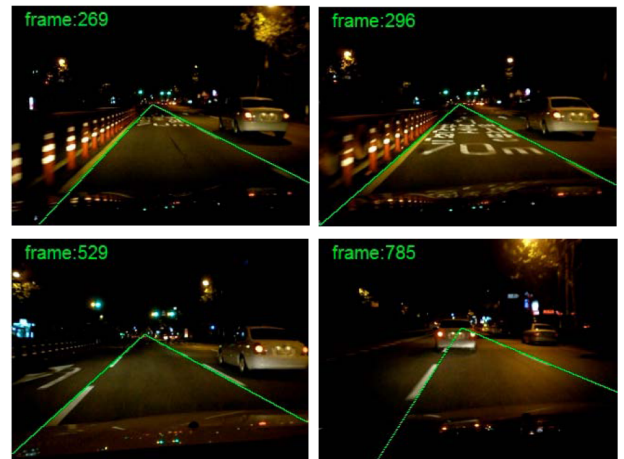


그림 13. 비디오 clip 3 결과
Fig. 13. The results for video clip 3.

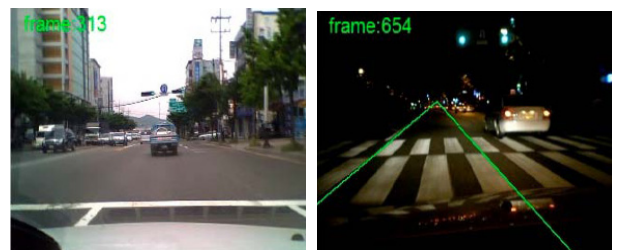


그림 14. 비디오 clip의 일부 잘못된 결과
Fig. 14. Some erroneous result of video clip.

표 1. 제안한 알고리즘의 결과
Table 1. Results of proposed algorithm.

Clip	Total Frame	Detected Frame	Correct rate(%)	Frame/sec
1	1500	1360	90.66	27.0
2	486	348	94.24	27.0
3	885	756	85.42	28.0
Total	2871	2574	90.11	27.3

잡한 형태가 많은 도로에서도 결과 데이터에서 보듯이 차선만 성공적으로 인식하는 것을 보여준다.

clip 3은 야간에서의 상태를 촬영한 것이며 야간에는 차선 인식이 더욱 어렵게 되는데 이는 다른 기호들과 미등 그리고 인공광에 영향을 받기 때문에 correct rate는 다른 clip에 비해 약간 낮은 결과 값을 나타내는 것을 볼 수 있었다.

그림 14에서는 일부 erroneous result를 보여 주었다. 이는 차선이 없는 곳에서는 차선 라인을 인식할 수 없기 때문에 문제가 발생하였고 야간 주행 중 횡당보도에서는 인식을 하나 횡당보도라인에 의해 약간의 오차가 생기는 것을 볼 수가 있다.

결과적으로 차선이 없는 곳이나 야간에는 여러 가지 영향 때문에 낮은 결과를 보여 주고 있으나 환경적인 요건에서는 좋은 결과를 나타내며 평균적으로 90%가 넘는 correct rate 결과를 나타내는 것을 볼 수 있으며 이 결과 값은 표 1에서 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 어떠한 환경요인에도 효과적이면서 실시간 차선 경계 검출을 수행하는 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 연산 시간을 단축하고 방법의 정확도 향상을 위해 개선된 수직 평균 분포를 사용한 후 수평 선 분포를 사용함으로써 달성된다. 그리고 차선 표시는 낮은 임계값을 가진 Canny edge 검출기에 의해 추출되어 졌다. 그 뒤에 k-means clustering 알고리즘을 적용하여 약간의 추정(병렬 및 고정폭 차선)과 사전 설정(카메라 교정) 없이 왼쪽과 오른쪽의 차선을 각각 판단하고, 소실점의 변화에 따라 임계 각도를 설정하여 차선 이탈 계수를 정의하고, 차량의 주행상태에 따라 차선 이탈 또는 차선변경을 판단하였다. 다음에는 RANSAC 알고리즘을 적용하여 inlier과 outlier를 구분하고 상기 inlier만을 고려하여 차선 검출 함수를 반복 수행하여 검출 노이즈를 제거하는 방법을 이용하였다.

따라서 주행 중 차량으로부터 획득하는 영상 정보를 이용하여 차선변경과 일반주행의 구분이 가능하고, 차선 인식결과의 신뢰성을 높여 주며 어떠한 환경 변화에도 정확하게 차선을 인식함으로써 지능형 교통 시스템의 실시간 요구에 대한 응답이 가능하다.

추가적인 작업은 차선 경계의 임의의 모양을 설명하는 다른 모델을 확장하는 것이다. 차선 추적, 차량 및 차선 출발 경고 시스템 등이 구현될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] McCall, J.C. and M.M. Trivedi, "Video-Based Lane Estimation and Tracking for Driver Assistance: Survey System and Evaluation," Intel. Transport. Syst IEEE Transact, Vol. 7, no. 1, 6: 20-37, March 2006.
- [2] Ji-Hue Bae, Jae-Bok Song, "Monocular Vision Based Lane Detection Using Segmented Regions from Edge Information", 2011 IEEE, 8th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, Incheon, Korea(South) p.499-502. Nov 2011
- [3] Wang. Y., E.K Teoh and D. Shen "Lane detection and tracking using B-Snake," Image Vision Comput., volume 22, Issue4, 269-280, April 2004
- [4] Aly. M, "Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets," Proceeding of the IEEE Symposium on Intelligent Vehicles, pp.7-12, Eindhoven, Netherlands. June 2008.
- [5] Cheng. H.Y., B.S. Jeng. P.T. Tseng and K.C.Fan, "Lane Detection With Moving Vehicles in the Traffic Scenes," Intell. Transport. syst., Vol. 7, no. 4, Dec 2006.
- [6] Cheng. H.Y., B.S. Jeng. P.T. Tseng and K.C.Fan, "Lane Detection With Moving Vehicles in the Traffic Scenes," Intell. Transport. syst., Vol. 7, no. 4, Dec 2006.
- [7] M. A. Fischler and R. C. Bolles, "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," Communications of the ACM CACM Homepage archive Volume 24 Issue 6, Pages 381 - 395, June 1981
- [8] Jung. C.R. and C.R. Kelber, "lane following and lane departure using a linear-parabolic model," image vision computing, Volume 23, Issue13, pp. 1192-1202, November 2005.

— 저 자 소 개 —



임 동 혁(학생회원)
2011년 울산대학교 전기전자
공학부 학사 졸업.
2013년 현재 울산대학교 전기공학
부 석사과정

<주관심분야 : 초고해상도 영상복원, 영상 압축
및 처리, CMOS VLSI 및 SoC 설계, 아날로그 설
계>



Trung-Thien Tran(학생회원)
2009년 Hanoi University of
Science and Technology
학사 졸업
2011년 울산대학교 전기공학부
석사 졸업

2013년 Laval University in the Computer Vision
and System Laboratory 연구조교

<주관심분야 : 초고해상도 영상복원, 영상 압축
및 처리, CMOS VLSI 및 SoC 설계, 아날로그 설
계, 3D 모델링 설계 >



조 상 복(정회원)
1979년 한양대학교 전자공학과
학사 졸업.
1981년 한양대학교 전자공학과
석사 졸업.
1985년 한양대학교 전자공학과
박사 졸업.

1994년~1995년 Univ. of Texas, Austin
교환교수

2003년~2004년 Univ. of California, San Diego
교환교수

2000년~2001년 울산대학교
자동차전자연구센터장

2006년 현재 울산대학교 e-Vehicle 연구
인력양성사업단장

<주관심분야 : SoC/VLSI 설계 및 테스트, 자동차
전장시스템 설계, 영상처리 회로 설계 및 제작, 머
신비전 시스템 개발, 초고집적 메모리 설계>