
역투영 변환을 이용한 고속도로 환경에서의 실시간 차선 추적

여재윤* · 구경모* · 차의영*

*부산대학교

A Real-time Lane Tracking Using Inverse Perspective Mapping

Jae-yun Yeo* · Kyung-mo Koo* · Eui-young Cha*

*Pusan National University

E-mail : yjn870@pusan.ac.kr

요 약

본 논문에서는 차선 이탈 경고 장치 시스템에서 사용되는 실시간 차선 추적 방법을 제안한다. 먼저 입력 영상의 원근효과를 제거하기 위해 역투영 변환을 이용하여 조감도 영상을 생성한다. 그 다음 차선의 사전 정보를 이용하여 차선 검출에 적합한 특징들을 추출한다. 블록단위의 관심영역에 해당하는 차선 특징과 RANSAC(RANdom Sample Consensus) 알고리즘을 사용하여 차선 후보군을 검출하고 클러스터링 과정을 수행하여 주행 차선을 결정한다. 마지막으로 칼만 필터를 사용하여 현재 검출된 주행 차선을 추적한다. 제안하는 알고리즘을 주간, 야간 등의 다양한 고속도로 환경에서 실험한 결과 실시간 환경에서 사용가능한 30ms 이내의 처리 속도와 90% 가량의 추적률을 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, A real-time lane tracking algorithm is proposed for lane departure warning system. To eliminate perspective effect, input image is converted into Bird's View by inverse perspective mapping. Next, suitable features are extracted for lane detection. Lane feature that correspond to area of interest and RANSAC are used to detect lane candidates. And driving lane is decided by clustering of lane candidates. Finally, detected lane is tracked using the Kalman filter. Experimental results show that the proposed algorithm can be processed within 30ms and its detection rate is approximately 90% on the highway in a variety of environments such as day and night.

키워드

차선 검출, 역투영 변환, RANSAC, 차선 추적, 칼만 필터

I. 서 론

과거부터 지금까지 운전자의 편리와 안전을 위한 다양한 운전자 보조 시스템(Driver Assistance Systems)들이 연구되어져왔다. 그 결과 현재 컴퓨터 기술의 발전과 기계식에서 전자식으로 자동차의 핵심 기술이 변화함에 따라 이미 상용화되어 사용 중인 ABS(Anti-lock Brake System)나 VDC(Vehicle Dynamic Control)와 같이 하드웨어 시스템을 통하여 수동적으로 주행을 보조해주는 장치를 넘어선 전방 충돌 경고 시스템(Forward Collision Warning System)이나 차선 이탈 경고 시스템(Lan

e Departure Warning System)과 같은 첨단 운전자 보조 시스템(Advanced Driver Assistance Systems)에 주목하고 연구들이 이뤄지고 있다. 특히 차선 이탈 경고 시스템은 주행 중인 차선 정보를 이용해 차량의 차선 이탈 정도를 측정하고 운전자가 인지하지 못한 위험 상황을 경고해 운전자가 유동적으로 상황을 대처할 수 있도록 도움을 줄 수 있는 장점을 가지고 있다.

Han and Joe는 그림자 정보와 HSV 컬러 모델 기반의 차선 검출 방법을 제안하였다[1]. 여기서는 HSV 컬러 모델을 사용하여 그림자 정보 내에

존재하는 채도 성분과 명도 성분을 이용해 차선의 특징을 추출하고 라인 패치를 사용하여 차선의 후보군을 생성한 다음 기울기 정보를 이용하여 차선을 결정하는 방법을 사용한다.

Mohamed Aly는 탑뷰(Top View) 영상과 RANSAC 알고리즘을 이용한 차선 검출 방법을 제안하였다[2]. 차량의 전방 영상에 존재하는 원근 효과를 제거하기 위하여 역투영 변환(Inverse Perspective Mapping) 방법을 사용하여 탑뷰 영상을 생성한다. 이후 제안된 가우시안 커널을 이용하여 차선 특징을 추출하고 RANSAC Spline Fitting 기법을 사용하여 차선을 검출하는 방법을 사용한다.

Guolian Liu는 통계학적 허프 변환과 파티클 필터를 이용하여 차선을 검출하고 추적하는 방법을 제안하였다[3]. 기존의 허프 변환 대신 차선 검출에 강건한 통계학적 허프 변환을 사용하여 차선을 검출하고 파티클 필터를 사용하여 차선을 추적하는 방법을 제시하였다.

본 논문에서는 고속도로 환경에서 차량의 전방 영상을 이용해 주행차선을 실시간으로 검출 및 추적하는 방법을 제안한다. 이를 위하여 전처리 과정을 통하여 고속도로 노면의 노이즈를 감소시킨 뒤 역투영 변환을 통해 원근 효과가 제거된 조감도(Bird's View) 영상을 생성한다. 이후 차선의 사전정보를 이용하여 주위 환경에 강건한 차선 특징들을 추출한다. 그리고 블롭 레이블링(Blob Labeling)과 RANSAC[4]을 이용하여 차선 후보군들을 검출하고 차선 확장 기법과 클러스터링 과정을 거쳐 최종 주행 차선 모델을 결정한다. 마지막으로 검출된 주행 차선 모델 값과 갈만 필터를 사용하여 차선을 추적한다. 그 결과 낮과 밤과 같은 주위 환경의 밝기 변화나 다양한 형태의 차선에 대해 좋은 추적 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 조감도 영상에서 차선을 검출하는 방법을 소개한다. 3장에서는 검출된 차선을 추적하는 방법을 제안한다. 4장에서는 제안하는 방법을 이용하여 얻은 실험 결과를 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 차선 검출

2.1 전처리 과정

차량의 전방에 설치된 카메라를 통하여 획득된 입력 영상에는 고속도로 노면의 손상이나 이물질과 같은 잡음이 존재한다. 이런 노이즈를 감소시키기 위해서 본 논문에서는 입력 영상에 아래의 식 (1)과 같은 2차원 가우시안 필터를 적용하여 노이즈가 감소된 영상을 생성한다.

$$G_{\sigma}(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

2.2 조감도 영상 생성

차선 검출을 위해 사용되는 차선 파라미터 값은 실세계 좌표계에 대한 절대 값이기 때문에 2차원 입력 영상에서 나타나는 차선을 3차원 실세계 좌표계로 변환하는 작업이 필요하다. 본 논문에서는 Massimo Bertozzi가 제안한 역투영 변환 방법[4]을 사용하여 입력 영상의 원근 효과를 제거하고 실세계 좌표계로 변환된 조감도 영상을 얻을 수 있다. 조감도 영상을 얻기 위해서는 입력 영상의 각 픽셀들을 차량의 전방에 위치한 도로 영역의 탑뷰라는 새로운 2차원 평면으로 리샘플링(Resampling)하는 작업이 필요하다. 이를 위하여 식 (2)와 같은 2개의 유클리디언(Euclidean) 공간 W, I 가 정의된다.

$$\begin{aligned} W &= (x,y,z) \in E^3 : 3\text{차원 실세계좌표계} \\ I &= (u,v) \in E^2 : 2\text{차원 영상좌표계} \end{aligned} \quad (2)$$

그리고 아래의 식 (3)을 이용하여 I 를 W 로 매핑(Mapping)하는 과정을 통하여 조감도 영상을 생성할 수 있다. 그림 (1)은 이 과정을 통하여 생성된 조감도 영상을 나타낸 것이다. 또한 본 논문에서는 주행 차선을 검출함이 목적이므로 그림 (2)와 같이 검출 영역을 설정하여 불필요한 연산을 줄인다.

$$\begin{cases} x(u,v) = \frac{h}{\tan[(\bar{\theta}-\alpha) + u\frac{2\alpha}{n-1}]} \times \\ \cos[(\bar{r}-\alpha) + v\frac{2\alpha}{n-1}] + l \\ y(u,v) = \frac{h}{\tan[(\bar{\theta}-\alpha) + u\frac{2\alpha}{n-1}]} \times \\ \sin[(\bar{r}-\alpha) + v\frac{2\alpha}{n-1}] + d \\ z = 0 \end{cases} \quad (3)$$



그림 1. 역투영 변환 결과
(a) 원본 영상 (b) 조감도 영상



그림 2. 검출 영역 설정 결과
(a) 원본 영상 (b) 검출 영역

2.3 차선 특징 추출

2.2에서 생성된 조감도 영상을 이용하여 고속도로 환경에서 강건한 차선의 특징을 추출하기 위해서는 표 (1)과 같은 차선 특징 추출 과정을 수행한다. 이후 노면에 남아 있는 잡음으로 인해 잘못 추출된 특징들을 감소시키기 위해서 Sung이 제안한 체인코드 기법[5]에서 차선으로 판단될 수 있는 방향에 대해서만 필터링을 수행하여 최종 차선 특징을 생성한다. 이를 수행한 결과는 그림 (3)과 같이 나타난다.

표 1. 차선 특징 추출

```

Search All Vertical Line
G(x) = I(x+1) - I(x-1)
MiG = MAX(G)
MiG = MIN(G)
MasG(i) = FindLocalMaximas(G)
MisG(i) = FindLocalMinimas(G)
//Local Extremas 필터링
dist = MasG - MiG - (MisG - MiG)
FOR i = 0 TO |MasG|
    IF Mas(i) < MasG - MiG + dist*w
        Mas(i) = NULL
FOR i = 0 TO |MisG|
    IF Mis(i) > MisG - MiG - dist*w
        Mis(i) = NULL
//Zero Crossing Point 찾기
FOR i = 0 TO 영상의너비
    MinIndex = FindMinimumGradient(i, α, β)
    γ = (G(i) - MiG + G(MinIndex) - MiG) / 2
    δ = ((G(i) - MiG) / 2) / γ
    IF δ > 0.5 and δ < 1.5
        I((i + MinIndex) / 2)는 차선 특징
    (α: 0.3 × 차선의 너비, β = 차선의너비
     FindMinimumGradient: i + α ~ i + β 범위 내에서
     최소 Gradient를 찾음)
    
```

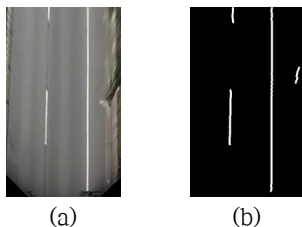


그림 3. 차선 특징 추출 결과
(a) 조감도 영상 (b) 추출된 특징 영상

2.4 차선 후보군 검출

조감도 영상에서 나타나는 차선은 직선이거나 곡선 형태의 특성을 지니고 있다. 그래서 본 논문에서는 2.3에서 생성된 차선 특징을 위, 아래 두 개의 영역으로 나누어 각각의 영역에서 직선인 차선 후보군을 검출한다. 그리고 위와 아래 차선 특징 영상에 대해서 각각 블롭 레이블링을 수행하고 레이블링 내에 포함된 특징들에 대해서 직선 모델($y = ax + b$)의 RANSAC 알고리즘을 수행하여 차선에 해당하는 직선 성분들을 검출한 뒤 표 (2)과 같은 사전 정보를 이용한 필터링을 수행하여 차선 후보군들을 검출한다. 그리고 이 과정을 수행한 결과는 그림 (4)와 같이 나타난다.

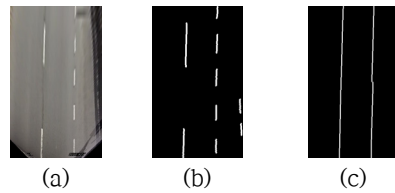


그림 4. 차선 후보군 검출 결과
(a) 조감도 영상 (b) 특징 영상 (c) 후보군 영상

표 2. 차선 후보군 검출

```

FOR i = 0 TO |L|
    FOR j = 0 TO |L|
        Lane Width = 110
        α = 0.7, β = 1.3, γ = 20
        IF abs(L(i).x - L(j).x) > α × Lane Width AND
           abs(L(i).x - L(j).x) < β × Lane Width
            IF (L(i).h / Img.h) × 100 > γ
               AND (L(j).h / Img.h) × 100 > γ
                L'(i) = L(i)
                L'(j) = L(j)
        FOR i = 0 TO |L'|
            t = ((Img.Center.x - L'(i).Center.x) /
                (Img.Width / 2)) × 100
            Value = (L'(i).h / Img.h) × 100 × 0.8 + α × 1.2
            IF Value > SelectedL.Value
                SelectedL = L'(i)
        SelectedL은 차선 후보군
    (L: 직선성분, h: 높이)
    
```

2.5 차선 결정

2.4에서 검출된 위와 아래 영역의 차선 후보군은 영상에 차선이 존재하지 않거나 존재하는 차선의 형태나 잡음과 같은 방해 요소 따라 두 영

역에서 차선이 전부 검출되거나 하나의 영역에서만 검출될 수 있다. 본 논문에서는 차선 후보군이 한 영역에서만 검출된 경우 차선 확장 기법을 이용해 미 검출된 영역의 차선 후보군을 생성한다. 차선 확장 기법은 미 검출된 영역에서 이전에 검출된 차선 후보군 직선 모델을 사용하여 차선 후보군이 검출된 다른 영역의 위치와 이어지는 부분에 차선 후보군을 생성하는 과정을 수행하며 그 결과는 그림 (5)와 같다.

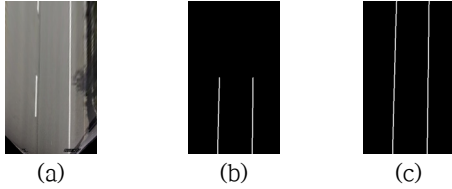


그림 5. 차선 확장 결과

(a) 조감도 영상 (b) 미 검출 영상 (c) 확장 영상

이렇게 생성된 위와 아래의 영역에서 이어지는 차선 후보군을 하나로 합쳐 최종 차선 후보군을 결정하고 이 차선 후보군들의 특징들을 사용해 곡선 모델($x = ay^2 + by + c$)의 RANSAC 알고리즘을 수행하여 최종 차선 모델을 생성한다. 그리고 이 과정이 수행된 결과는 그림 (6)과 같이 나타난다.

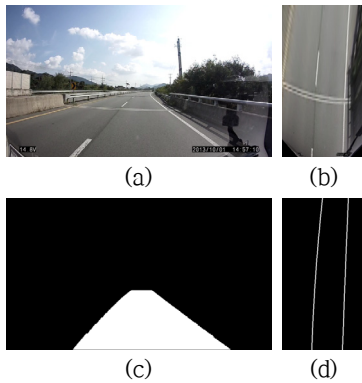


그림 6. 최종 차선 모델 검출 결과

(a) 입력 영상 (b) 조감도 영상
(c), (d) 차선 검출 결과

III. 차선 추적

검출된 차선의 운동 모델은 주행 중인 차선이 변경되지 않는다면 선형성을 띤다는 점에 착안하여 칼만 필터(Kalman Filter)[6]를 사용해 검출된 차선을 추적한다.

본 논문에서는 2.5에서 검출된 차선 모델 값(a, b, c)과 그 변화량($\Delta a, \Delta b, \Delta c$)을 이용하여 식

(4)와 같은 상태 벡터를 설정하였다. 칼만 필터는 다음과 같은 식 (5)의 상태 예측과 식 (6)의 오차 공분산 예측의 예측 단계와 식 (7)의 칼만 이득 값의 추정과 식 (8)의 측정값에 의한 식 (9)의 새로운 상태 추정 그리고 식 (10)의 새로운 상태 추정에 의한 오차 공분산 추정의 추정 단계를 번갈아가며 수행하고 이를 통하여 갱신된 최적의 상태 벡터를 사용해 추적하고자 하는 대상의 다음 상태를 알 수 있다.

$$x(t) = [a, b, c, \Delta a, \Delta b, \Delta c]^T \quad (4)$$

$$x_k = Fx_{k-1} + Bu_k + w_k \quad (5)$$

$$P_k^- = FP_{k-1}F^T + Q_{k-1} \quad (6)$$

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad (7)$$

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (8)$$

$$x_k = x_k^- + K_k (z_k^- - H_k x_k^-) \quad (9)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (10)$$

IV. 실험 결과

제안하는 주행 차선 추적 알고리즘은 다음과 같은 경부 고속도로, 남해 고속도로 상에서 차량의 앞 유리에 설치된 카메라를 통하여 1280×720의 해상도와 초당 30프레임으로 캡처된 영상을 사용하여 실험하였다. 표 (3)은 시간에 따른 차선 검출 결과를 나타낸 것으로 야간보다는 차선 특징들이 많이 추출될 수 있는 주간에 검출률이 높음을 살펴볼 수 있다.

표 3. 주위 밝기에 따른 차선 검출률

| 데이터 명 | 프레임 수 | 검출률 |
|-------|-------|--------|
| 주간 1 | 1766 | 95.32% |
| 주간 2 | 1766 | 94.49% |
| 야간 1 | 1766 | 91.01% |
| 야간 2 | 1766 | 93.52% |

표 (4)는 차선의 형태에 따른 차선 검출 결과를 나타낸 것으로 점선이 많이 포함된 차선의 경우에는 다른 형태의 차선에 비해 검출률이 떨어지는 경향을 보인다. 이는 검출을 위한 특징들이 다른 차선 형태보다 적게 존재하기 때문이다.

표 4. 주간 1에서 차선 형태에 따른 차선 검출률

| 차선형태 | 프레임 수 | 추적률 |
|-------|-------|--------|
| 실선 | 1091 | 95.32% |
| 점선+실선 | 374 | 92.99% |

그림 (7)은 실험에서 사용된 데이터별 차선 추

적 결과를 나타낸다.

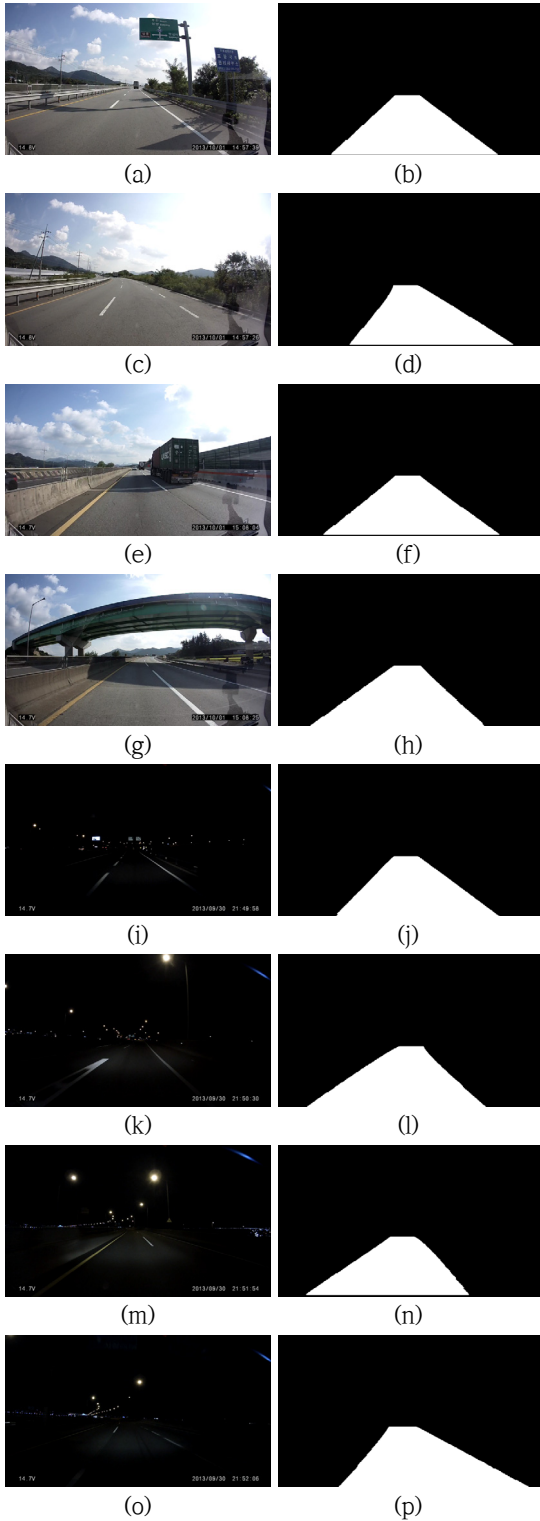


그림 7. 데이터별 차선 추적 실험 결과
 (a) ~ (d) 주간 1 데이터 (e) ~ (h) 주간 2 데이터
 (i) ~ (l) 야간 1 데이터 (m) ~ (p) 야간 2 데이터

본 논문에서 제안하는 알고리즘을 Intel i5 1.8G Hz, 4GB RAM의 컴퓨터에서 실험한 결과 20~30m s 내외의 처리시간이 소요되었고 고속도로의 나가는 구간과 같이 차선의 곡률이 큰 경우를 제외하고는 만족할만한 수준으로 차선 검출 및 추적이 이루어졌다.

V. 결 론

본 논문에서는 역투영 변환을 통해 생성된 조감도 영상을 사용해 고속도로 환경에서 실시간으로 차선을 추적하는 방법을 제안하였다. 전처리 과정을 수행하여 고속도로 노면에 존재하는 노이즈를 감소시켰으며 차선의 사전 정보를 이용하여 생성된 조감도 영상을 사용해 차선을 검출함으로써 연산시간의 이점을 얻을 수 있었고 주위 환경에 강건한 차선 검출 특징을 사용하고 차선 확장 기법과 같은 검출 오류에 대한 보정을 수행하여 차선 검출률을 높일 수 있었다. 하지만 차선의 곡률이 높은 경우에는 검출률이 떨어지는 문제점이 발생하므로 이를 보완하기 위한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] 한상훈, 조형제 “그림자 정보를 이용한 HS V 컬러 모델 기반의 전방 차량 검출 및 차선 정보 검출,” 한국멀티미디어학회지, 제 5권, 제 2호, pp. 176-190, 2002.

[2] Mohamed Aly, “Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets,” Intelligent Vehicles Symposium, pp. 7-12, 2008.

[3] Guoliang Liu, Florentin Wörgötter, Irene Markelic, “Combining Statistical Hough Transform and Particle Filter for Robust Lane Detection and Tracking,” Intelligent Vehicles Symposium, pp. 993-997, 2010.

[4] Martin A. Fischler, Robert C. Bolles, “Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography,” Communications of the ACM, pp. 381-395, 1981.

[5] 성민철, 이상화, 조남익, “체인코드를 이용한 새로운 에지 방향 결정 기법,” 한국군사과학기술학회지, 제 10권, 제 1호, pp. 101-106, 2007.

[6] Greg Welch, Gray Bishop, “An Introduction to the Kalman Filter,” 1995.