Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (2015) 21(2):81-86
http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2015.14.9001 ISSN:1976-5622 eISSN:2233-4335

곡선모델 차선검출 기반의 GPS 횡방향 오차보정 성능향상 기법

Curve-Modeled Lane Detection based GPS Lateral Error Correction Enhancement

이 병 현, 임 성 혁, 허 문 범, 지 규 인*
(Byung-Hyun Lee[1], Sung-Hyuck Im[2], Moon-Beom Heo[2], and Gyu-In Jee[1,*])
[1]Department of Electronics Engineering, Konkuk University
[2]Division of Satellite Navigation, Korea Aerospace Research Institute

Abstract: GPS position errors were corrected for guidance of autonomous vehicles. From the vision, we can obtain the lateral distance from the center of lane and the angle difference between the left and right detected line. By using a controller which makes these two measurements zero, a lane following system can be easily implemented. However, the problem is that if there's no lane, such as crossroad, the guidance system of autonomous vehicle does not work. In addition, Line detection has problems working on curved areas. In this case, the lateral distance measurement has an error because of a modeling mismatch. For this reason, we propose GPS error correction filter based on curve-modeled lane detection and evaluated the performance applying it to an autonomous vehicle at the test site.

Keywords: GPS, vision, map, error correction, autonomous vehicle

I. 서론

육상교통 환경에서 정밀 측위는 차선 구분이 가능한 정도의 정확도를 요구한다. 지난 연구[1,2]에 의하면 신호 수신 환경이 양호한 개활지에서는 GPS를 이용한 RTK 기반의 정밀 측위 알고리즘을 사용할 때 차선 구분이 가능한 측위 정확도를 획득할 수 있다. 특히 자율주행차량을 개발하는데 있어서 중요한 부분 중 하나는 유도제어(Guidance)이다. 자율주행 차량은 경로추종(Path following)을 수행해야 한다. 경로추종을 하기 위해서는 차량의 위치정보가 정확해야 한다. 만약 위치정보가 매우 정확하다면 간단한 유도제어 기법을 적용해서 안전한 경로추종을 수행할 수 있다. 하지만 GPS-RTK 시스템은 기준국 데이터와 이를 수신하기 위한 통신링크가 필요하고, 이는 추가적인 인프라를 요구한다. SBAS(Satellite Based Augmentation System) 보정정보를 이용한 단일 GPS(Standalone GPS)는 자율주행차량이 차로를 유지하며 주행할 수 있는 위치 정확도를 제공할 수 없다.

차량의 유도제어를 위해서는 경로점(Waypoint)과 위치 정보가 필요하다. 부정확한 위치 정보와 경로점은 자율주행차량을 잘못된 곳으로 유도하거나 또는 바이어스된 경로를 주행하게 한다. 따라서 보다 정확한 위치 정보가 필요하다. 위치정보를 사용하지 않고 영상만을 이용해서 차선추종(Lane keeping)을 수행할 수 있다. 영상에서 측정된 측정치는 차선 중심으로부터의 횡방향 거리와 양쪽 차선의 각도정보이다. 횡방향 거리와 양쪽 차선의 각도 차이를 0으로 만드는 제어기를 사용하면 간단하게 차선추종 시스템을 구현할 수 있다. 그렇게 되면 자율주행차량이 차선의 중앙을 안전하게 주행할 수 있다. 하지만 이 방법의 단점은 차선이 존재해야 한다는 것이다. 사거리 또는 횡단보도 등과 같이 차선의 연속성이 보장되지 않는 지역에서는 적용할 수 없다. 또한 차선검출을 수행할 때 차선을 직선으로 모델하여 영상처리를 수행하게 되면 곡선구간에서 문제가 발생하게 된다. 본 논문에서는 영상센서를 이용해 곡선 모델을 사용하여 차선을 검출하고, 검출된 차선의 횡방향 거리 정보를 이용하여 GPS 위치 오차를 추정함으로써 안정적인 자율주행 기법을 수행하는 방법을 제안하였다.

* Corresponding Author
Manuscript received November 15, 2014 / revised December 15, 2014 / accepted December 30, 2014
이병현, 지규인: 건국대학교 전자공학부
(maximan@konkuk.ac.kr/gijee@konkuk.ac.kr)
임성혁, 허문범: 한국항공우주연구원 위성항법팀
(ish@kari.re.kr/hmb@kari.re.kr)
※ 본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비 지원(06 교통핵심 A03)에 의해 수행되었음.

II. GPS 위치오차 추정 필터

정밀지도 정보와 차선검출을 이용한 정밀 측위 기법[3]은 차량의 위치 정보를 획득하기 위한 기법으로 가용성 면에서는 자율주행차량에 적합하지 않다. 언급한 바와 같이 차선이 존재하지 않는 구간에서는 사용할 수 없기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 자율주행차량에 적합하도록 GPS 위치 오차를 추정함으로써 차선의 불연속 구간에서도 자율주행을 수행할 수 있는 시스템을 제안하였다.

1. GPS 위치 오차 모델

개활지(Open Sky)에서 GPS의 오차 성분은 열잡음, 시계오차, 그리고 대기권 오차 성분을 제외하면 위성의 배치에 의한 DOP(Dilution of Precision) 오차 성분으로 모델링이 가능하다[4]. 하나의 위성으로부터 획득되는 거리 측정치는 아래와 같이 모델링 할 수 있다.

$$\rho_i = p + dp + c\left(dt - dT\right) + d_{atmosphere} + \varepsilon_\rho \quad (1)$$

여기에서 ρ_i 는 위성 i의 거리 측정치, p 는 위성과 수신기

Copyright© ICROS 2015

사이의 기하학적 거리, dp 는 위성 궤도오차, dt 는 위성 시계오차, dT 는 수신기 시계 오차, $d_{atmosphere}$ 는 대기권 오차(이온층, 대류층 지연오차) 그리고 ε_ρ 는 수신기의 열잡음을 나타낸다. 최소 4개 이상의 거리 측정치가 있어야 위치를 계산할 수 있다. 자율주행차량이 이동하는 환경에서 차선이 존재하지 않는 구간은 매우 짧다. 사거리의 경우 100m 이내의 길이이고, 차량이 36km/h로 주행할 경우 10초에 사거리를 통과할 수 있다. 짧은 시간 동안 DOP의 변화는 거의 없다. 따라서 GPS 오차는 불규칙 상수(random constant)로 모델 할 수 있다. 이러한 모델을 통해 차선이 있는 구간에서 경로점과 영상센서를 이용하여 GPS 오차를 추정하고, 차선이 없는 구간에서는 기 추정된 오차를 적용하여 위치 정보를 보정한다[5].

$$x_k = \begin{bmatrix} e_E \\ e_N \end{bmatrix}, \quad x_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_E \\ e_N \end{bmatrix} \tag{2}$$

여기에서 $e_{(\cdot)}$ 는 상태변수로 GPS 위치 오차를 나타낸다.

2. 오차 추정 필터

오차 추정 필터는 두 센서에서 나오는 측정치를 사용한다. 하나는 GPS이고 다른 하나는 영상센서이다. GPS는 절대 위치정보를 제공한다. 영상센서는 GPS와 달리 차량에 장착되어 차량좌표계에서의 정보를 제공한다. 따라서 오차추정필터는 차량좌표계(Vehicle frame)에서 측정된 정보를 이용하여 항법좌표계(Navigation frame) 정보를 보정하는 구조이다. 경로점을 지도정보로 사용하여 GPS와 경로점 링크 사이의 횡방향 거리를 계산할 수 있다. 영상에서는 차선검출을 통해 차선의 중심으로부터의 횡방향 거리를 측정할 수 있다. 필터를 구성하기 위해 두가지를 가정하였다.

가정 1: 경로점은 차선의 중앙에 놓여있다. 일반적으로 정밀지도를 제작할 때 차선의 위치정보를 측량을 통해 제작한다. 따라서 제작된 정밀지도에서 손쉽게 차선의 중앙을 추출할 수 있다.

가정 2: 곡선 구간에서 경로점은 차체가 차선 밖으로 나가지 않을 정도로 촘촘하다.

그림 1은 차량좌표계의 정의를 나타낸다. 좌표계의 원점은 차량의 뒷바퀴 축의 중심이고 영상센서는 좌표계의 원점으로부터 4m 떨어진 지점에 장착하였다. 전역좌표계는 ENU 좌표계로 설정하였고 방위각은 East로부터 반시계방향으로 증가한다.

오차 추정 필터에서 사용하는 측정치는 영상에서 측정된 차로(차선의 중심)로부터 떨어진 거리(d_v)와 GPS 위치 정보와 경로점으로 계산한 차로로부터 떨어진 거리(d_g)를 사용한다. 영상의 거리측정치 d_v 는 이상적인 경우 표준편차가 0.059m인 매우 정밀한 측정치이다[6]. 따라서 식 (3)과 같은 측정방정식을 수립할 수 있다.

$$z = \Delta d = d_v - d_g \tag{3}$$

필터를 구성하기 위해 차선좌표계(Lane frame)에서 표현할 필요가 있다(그림 2).

그림 2와 같이 차선의 방위각($-\psi$)만큼 좌표계를 회전한다. 그렇게 되면 차선 좌표계로 변환될 수 있다.

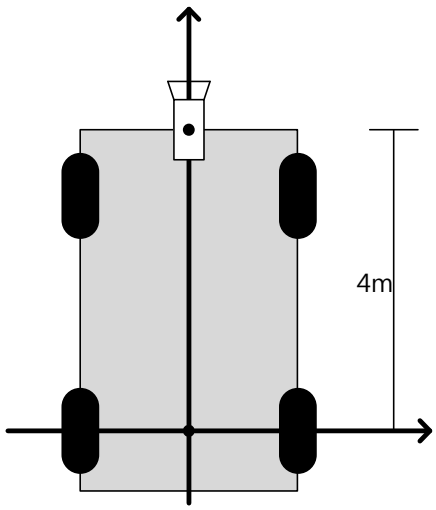

그림 1. 차량 좌표계.
Fig. 1. Vehicle frame.

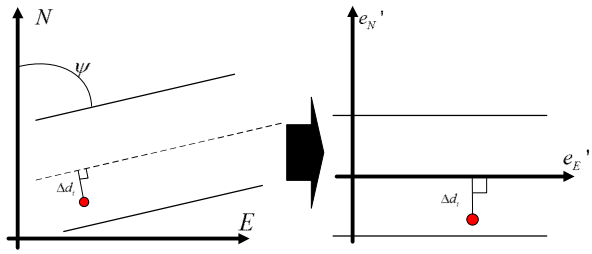

그림 2. 차선 좌표계.
Fig. 2. Lane frame.

$$R(-\psi) = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi \\ -\sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix} \tag{4}$$

회전 후 변환된 $e_{(E)}'$ 축은 차로와 일치한다. 이는 차선에서의 횡방향 거리 정보이다. 따라서 차선좌표계에서는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$-e_N' = -\Delta d_i = -e_E \cdot \sin\psi + e_N \cdot \cos\psi \tag{5}$$

$$h(x) = \Delta d_i = e_E \cdot \sin\psi - e_N \cdot \cos\psi \tag{6}$$

식 (6)을 각 항에 대해 편미분하면 식 (7)을 얻을 수 있다.

$$H(x) = \begin{bmatrix} \frac{h(x)}{\partial E} & \frac{h(x)}{\partial N} \end{bmatrix} = [\sin\psi \quad -\cos\psi] \tag{7}$$

GPS 오차 추정 필터는 아래와 같이 정리될 수 있다.

상태방정식:

$$x_{GPS,k} = \begin{bmatrix} e_E \\ e_N \end{bmatrix}, \quad x_{GPS,k+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_E \\ e_N \end{bmatrix} \tag{8}$$

측정방정식:

$$z = \Delta d = d_v - d_g \tag{9}$$

$$H(x) = \begin{bmatrix} \frac{h(x)}{\partial E} & \frac{h(x)}{\partial N} \end{bmatrix} = [\sin\psi \quad -\cos\psi] \tag{10}$$

3. 곡선 모델의 차선 검출 및 곡선 파라미터 추정

일반적인 차선 검출 기법은 직선 모델을 사용하여 소실점을 추적하는 방식을 사용한다[7]. 직선 모델의 차선 검출 기법은 곡선 구간에서 횡방향 측정치에 오차가 발생한다(그림 3).

그림 3과 같이 실제로 차량의 원점은 차로의 오른쪽에 존재하지만(+) 직선 모델의 차선검출 기법의 측정치는 차로의 왼쪽(-)으로 오차가 발생한다. 따라서 곡선 모델을 이용하여 차선 검출을 수행한다.

그림 4는 곡선 모델의 차선 검출의 흐름도이다. 간단한 윤곽선 검출기를 사용하여 차선이라 판단되는 점 M개 픽셀을 찾은 후 그 중 전방 n개 점들을 이용, 최소자승법을 통해 2차 곡선으로 모델링을 하여 곡선 파라미터를 추정한다. 그 후 추정된 곡선을 이용, 그림 4와 같이 outlier를 제거한다.

본 논문에서 사용한 차선 검증 제한 조건은 다음과 같다.

조건 1: 검출된 두 선의 폭은 2.5~4.5m이다. 일반적인 차선의 폭은 약 3.5m이다.

조건 2: 두 선의 기울기 차이는 0.3 이하이다. 차선은 평행하기 때문이다.

조건 3: 두선의 기울기 변화량의 차이는 0.015 이하이다. 곡선 구간에서도 양쪽 차선의 기울기는 같기 때문이다.

영상좌표계에서 차량좌표계로 변환 시 발생하는 왜곡을 최소화하기 위해 전방 14m로 영역을 제한하였다. 또한 $M=50,\ n=30$ 으로 설정하였다.

GPS 위치 오차를 추정하기 위한 측정치는 횡방향 측정치이다. 따라서 안정적인 횡방향 측정치를 획득하기 위해 Outlier가 제거된 예측된 차선의 점들을 이용하여 칼만 필터 기반으로 곡선 파라미터 $(x_{l,k})$ 를 추정하였다. 곡선 모델은 식 (11)과 같이 2차 곡선모델을 사용하였다.

$$y(x)=a+bx+cx^2 \tag{11}$$

차량이 차속계의 측정치인 속도 v 로 이동하는 간단한 모델을 사용하면 $\Delta s=v\cdot\Delta t$ 가 되고 필터 식은 아래와 같다[8].

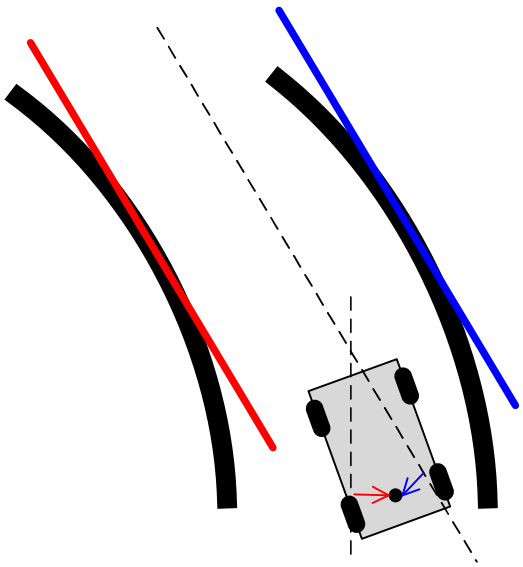

그림 3. 직선 모델의 차선 검출의 횡방향 측정치 오차.
Fig. 3. Error of lateral measurement in line modeled lane detection.

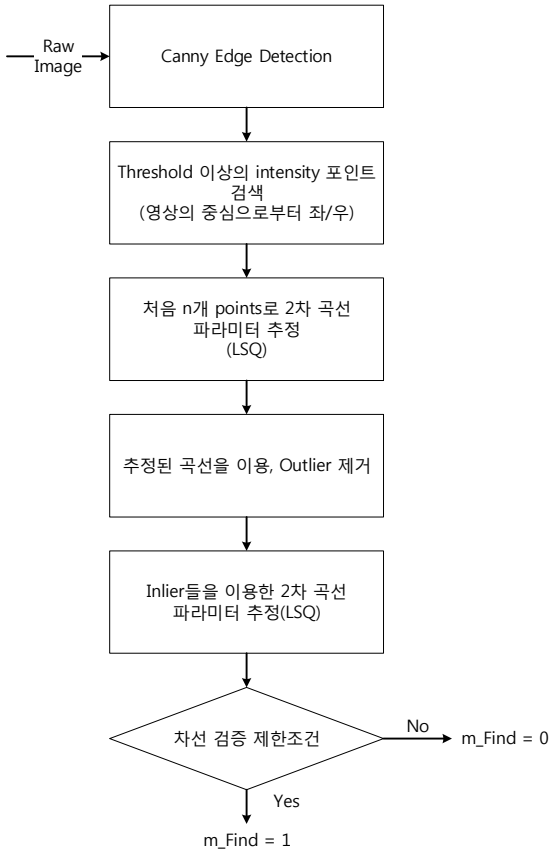

그림 4. 곡선 모델의 차선 검출 흐름도.
Fig. 4. Flowchart of curve modeled lane detection.

상태방정식:

$$x_{l,k+1}=\begin{bmatrix}1 & \Delta s & \frac{\Delta s^2}{2}\\ 0 & 1 & \Delta s\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}x_{l,k} \tag{12}$$

측정방정식:

$$z=\frac{P_{vehicle,left,X}+P_{vehicle,right,X}}{2} \tag{13}$$

$$H=\begin{bmatrix}1 & P_{vehicle,Y} & P_{vehicle,Y}^{\ 2}\\ \vdots & \vdots & \vdots\\ 1 & P_{vehicle,Y} & P_{vehicle,Y}^{\ 2}\end{bmatrix} \tag{14}$$

좌표계는 차량좌표계(그림 5 왼쪽)이고 $P_{vehicle}$ 은 검출된 차선 점들을 차량좌표계에서 표현한 점이다. 최소자승법으로 추정된 차선 점들이기 때문에 검출된 양쪽 차선의 Y축 점은 $P_{vehicle,left,Y}=P_{vehicle,right,Y}=P_{vehicle,Y}$ 이 성립한다.

그림 7과 8은 모든 구간에서 측정된 횡방향 측정치를 나타낸다. 표시된 구간은 급격한 곡선이 연속적으로 있는 구간이다(그림 6).

다음 결과는 수동주행을 통해 최대한 차선의 중앙을 주행하는 데이터를 이용하였다. 따라서 횡방향 측정치는 0에 가까운 값을 가져야 한다. 그림 6에서 ①구간은 우회전 구간이

고, ②~④구간은 좌회전 구간이다. 그림 7과 같이 좌회전 구간에서는 차량이 차로의 왼쪽에 위치하고 있고, 우회전 구간은 차량이 차로의 오른쪽에 위치하고 있다는 오차가 있는 측

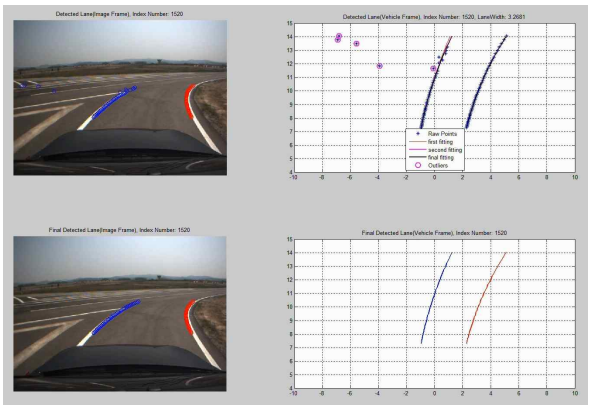

그림 5. 곡선 모델 추정을 통한 outlier 제거 (좌: 영상좌표계, 우: 차량좌표계, 상: outlier 제거 전, 하: outlier 제거 후).

Fig. 5. Outliers removal using quadratic curve parameter estimation (left: image frame, right: vehicle frame, top: before outlier removal, bottom: after outlier removal).

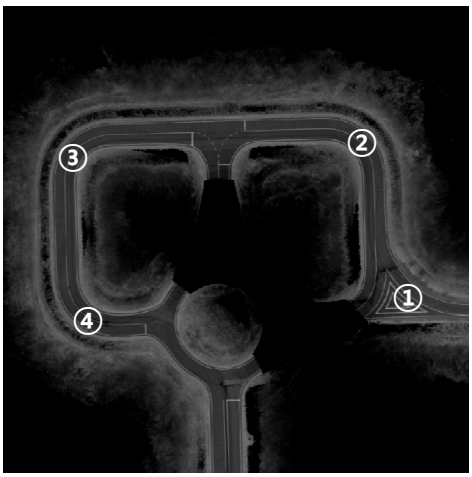

그림 6. 곡선 구간.

Fig. 6. Curve area.

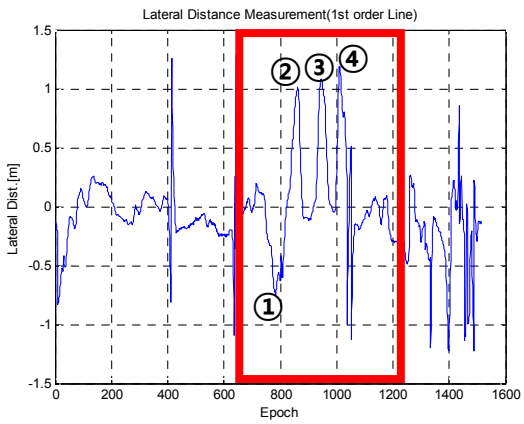

그림 7. 직선 모델의 차선 검출의 횡방향 측정치.

Fig. 7. Lateral measurement in line modeled lane detection.

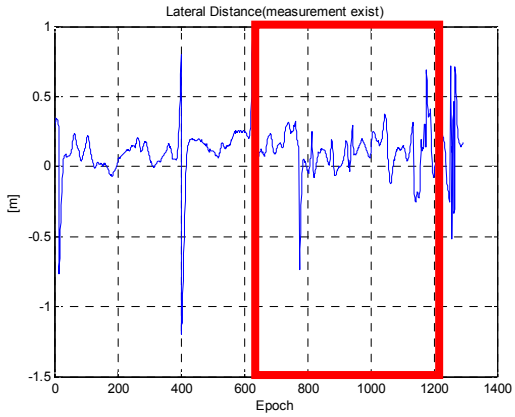

그림 8. 2차 곡선 모델의 차선 검출의 횡방향 측정치.

Fig. 8. Lateral measurement in quadratic curve lane detection.

정치를 생성했다. 급격한 곡선구간일수록 오차는 커진다. 이 측정치를 사용하게 되면 잘못된 GPS 위치 오차를 추정하게 된다. 하지만 그림 8에서 볼 수 있듯이 2차 곡선 모델을 통한 횡방향 측정치가 0에 가깝게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 즉, 곡선 모델을 통해 GPS 위치오차 추정성능을 향상시킬 수 있다.

III. 자율주행 실험 결과

본 논문에서 제안한 곡선 모델을 통한 차선검출과 GPS 위치오차 추정 필터를 자율주행 차량에 적용하여 실험하였

표 1. 실험 환경.

Table 1. Experimental Environments.

GPS	U-Blox EVK6T
영상 센서	BumbleBee2
기준 위치	상용 RTK/INS (Novatel Propak V3+SPAN HG1700)

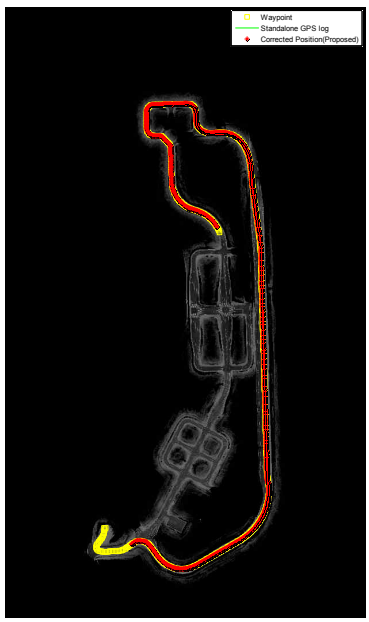

그림 9. 측위 결과 (□:경로점, -: Standalone GPS, *: 결과).

Fig. 9. Positioning result (□: Waypoint, -: Standalone GPS, *: Proposed).

다. 그림 9는 실험지역의 반사도 기반의 지도이다. 지도는 상용 RTK/INS 시스템(Novatel SPAN HG1700)을 사용하여 생성하였다.

동적 환경이기 때문에 위치의 참값을 알 수 없다. 따라서 정량적 분석을 위해 고가의 상용 RTK/INS 시스템을 기준 위치(참값)로 설정하여 분석하였다.

그림 10은 제안한 알고리즘으로 추정된 GPS 위치 오차와 이를 보정한 측위 결과이다. 그 결과 전체 구간에 대해 횡방향 오차 RMS 0.193m의 정확도를 도출하였다.

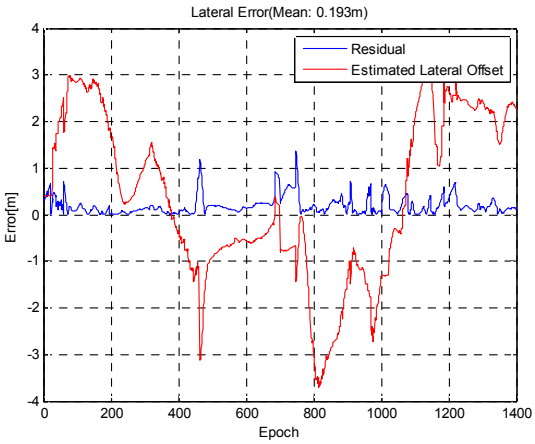

그림 10. 추정된 GPS 횡방향 오차(빨강)와 측위 결과(파랑).
Fig. 10. Estimated GPS lateral error(red) and position error(blue).

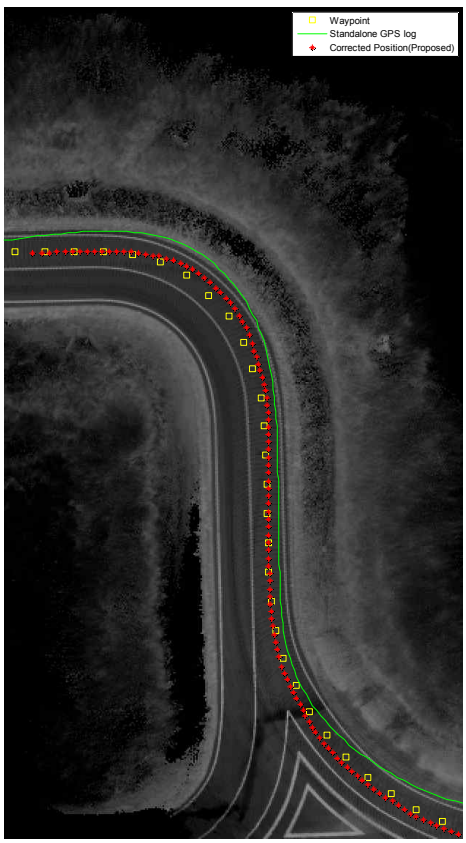

그림 11. 곡선 구간에서의 실험 결과(직선모델 차선검출).
Fig. 11. Result in curve area (lane detection with line model).

그림 11은 급격한 곡선 구간에서 직선 모델의 차선검출 측정치를 이용한 결과이다. 이 구간에서 우회전시 왼쪽으로, 좌회전시 오른쪽으로 치우치는 측위 결과를 확인할 수 있다. 그림 12는 동일한 구간에서 곡선 모델의 차선검출 측정치를 이용한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 직선 모델에 비해 차선의 중앙을 주행하는 궤적을 확인할 수 있다.

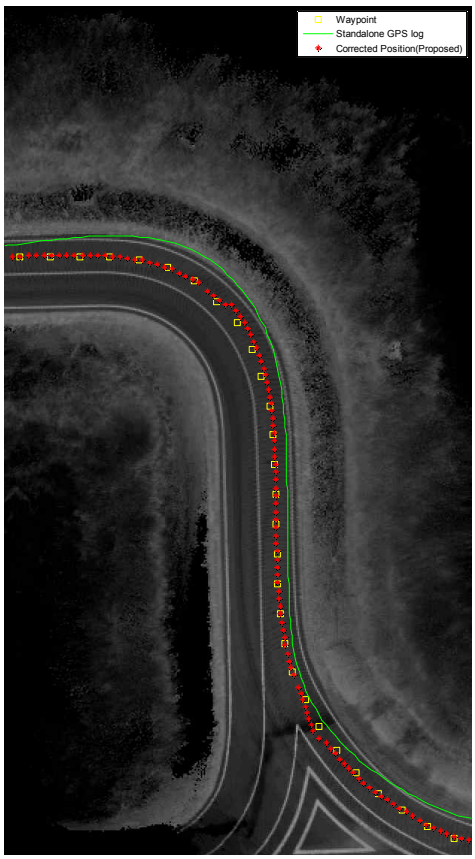

그림 12. 곡선 구간에서의 실험 결과(곡선모델 차선검출).
Fig. 12. Result in curve area (lane detection with line model).

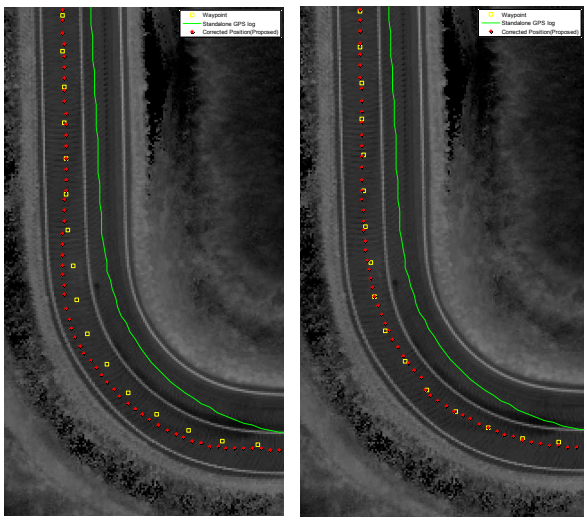

그림 13. 곡선 구간에서의 실험 결과 (좌: 직선 모델 차선검출, 우: 곡선 모델 차선검출).
Fig. 13. Result in curve area (left: line model, right: curve model).

IV. 결론

자율주행차량을 안정적으로 주행시키기 위해서는 정확한 위치정보가 필요하다. 차선 위를 안정적으로 주행하는 방법 중에서 차선을 검출하여 이를 추종해 나가는 방법의 단점은 차선의 불연속 구간에서의 가용성이 확보되지 않는다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 구간에서 보다 안정적으로 주행하기 위해 GPS 위치 오차를 추정하고, 이를 이용하는 자율주행 시스템을 제안하였다. 또한 곡선구간에서 발생하는 횡방향 거리측정치에 오차가 발생하는 문제점을 해결하기 위해 곡선모델을 이용한 차선 검출로 횡방향 거리 측정치의 오차를 줄이는 방법을 제안하였다. 그 결과 자율주행차량에 적용하여 곡선구간에서도 차로를 안정적으로 주행할 수 있음을 확인하였다.

REFERENCES

[1] B.-H. Lee and G-I. Jee, "Performance analysis of GPS-RTK floating solution with doppler measurement," IS-GPS/GNSS Taipei, 2010.

[2] L. Serrano, D. Kim, and R. B. Langley, "A single GPS receiver as a real-time, accurate velocity and acceleration sensor," ION GNSS 17th ITM, Long Beach, CA, USA, Sep. 2004.

[3] B.-H. Lee, S.-H. Im, M.-B. Heo, and G-I. Jee, "Error correction method with precise map data for GPS/DR based on vision/vehicle speed sensor," *ION GNSS+ 2013*, Nashville, USA, 2013.

[4] Hoffman-Wellenhof, Lichtenegger, Wasle, GNSS-Global Navigation Satellite Systems, *GPS, GLONASS, Galileo & more*, Springer Wien NewYork, 2008.

[5] S.-H. Seo, B.-H. Lee, and G-I. Jee, "Position error correction using waypoint and vision sensor," *ISGNSS 2014*, Jeju, Korea.

[6] D. M. Bevly, *GNSS for Vehicle Control*, Artech House Publishers, Boston, MA, USA, 2009.

[7] J.-G. Kuk, J.-H. An, H.-Y. Ki, and N.-I, Cho, "Fast lane detection & tracking based on Hough transform with reduced memory requirement," *ITSC 2010*, Portugal, 2010.

[8] T. Li and D. Zhidon, "A new 3D LIDAR-based lane markings recognition approach," *IEEE ROBIO*, 2013.

[9] B.-H. Lee, S.-H. Im, M.-B. Heo, and G-I. Jee, "GNSS precise positioning design for intelligent transportation system," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 11, pp. 1034-1039, Nov. 2012.

[10] Y.-J. Lee, J.-H. Yang, and N.-J. Kwak, "A lane change recognition system for smart cars," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 21, no. 01, pp. 46-51, Jan. 2015.

[11] D.-J. Lee, Y.-S. Hwang, Y.-M. Yun, and J.-M. Lee, "2D grid map compensation using an ICP algorithm," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 20, no. 11, pp. 1170-1174, Nov. 2014.

이 병 현

2007년 건국대학교 전자공학과(공학사). 2009년 건국대학교 전자공학부(공학석사). 2009년~현재 건국대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 GNSS 수신기 신호처리, 소프트웨어 GNSS 수신기, 재밍 대응 기법, GNSS 정밀 측위 등.

임 성 혁

2003년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학사). 2005년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학석사). 2011년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학박사). 2011년~현재 한국항공우주연구원 선임연구원. 관심분야는 소프트웨어 GPS, GPS anti-jamming, GPS 신호처리, 결합항법 등

허 문 범

1992년 경희대학교 기계공학과 학사 졸업. 1997년 Illinois Institute of Technology 항공기계공학과 석사 졸업. 2004년 동대학원 박사 졸업. 2005년~한국항공우주연구원 책임연구원. 관심분야는 GNSS, 위성항법, 항행시스템 등.

지 규 인

1982년 서울대학교 제어계측공학과(공학사). 1984년 서울대학교 제어계측공학과(공학석사). 1989년 Case Western Reserve University. System and Control Engineering(공학박사). 1992년~현재 건국대학교 전자공학부 교수. 관심분야는 GPS/INS 결합항법, GPS 수신기 신호처리, 재밍 대응 기법 등.