

차량 횡방향 운동학 모델 기반 차선 예측 시스템

강창목^{*1)} · 이승희¹⁾ · 정정주^{**2)}

한양대학교 전기공학과¹⁾

Kinematic Vehicle Lateral Motion Model based Lane Estimation System

Chang Mook Kang^{*1)} · Seung-Hi Lee¹⁾ · Chung Choo Chung^{**2)}

^{*1)} Department of Electrical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²⁾ Division of Electrical and Biomedical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Abstract : In this paper, we deal with kinematic vehicle models for lane estimation systems. Comparative lane coefficients estimation performance of each dynamic and kinematic model is evaluated according to the tire slip angle. The estimation schme makes use of clothoidal road constraints, respectively. We observe that the kinematic model is robust against unknown vehicle parameters tire-road condition or cornering stiffness for autonomous driving systems under lane keeping situation. The reliability of each model was validated via not only computational simulation results but also experimental results with a test vehicle.

1. 서 론

고급 운전자 보조 시스템, Advanced Driver Assistance Systems(ADASs)은 지능형 차량의 필수요소로 자동차 업계에서 활발히 연구가 이루어져 오던 분야이다. 차량의 종방향 제어인 Adaptive Cruise Control(ACC)뿐만 아니라 횡방향 제어인 Lane Keeping Assistance System(LKAS), Lane Departure Warning(LDW)와 같은 시스템들까지 이미 많은 ADAS의 상용화가 이루어지고 있는 추세다.

다양한 ADASs 중 횡방향 제어는 차량의 동역학 모델(lateral dynamics model)을 이용한 제어가 많이 설계되어 왔다. 하지만 이는 차량의 무게, 관성모멘트, 타이어 모델과 같은 수 많은 차량 변수가 필요하다. 알지 못하는 변수는 차량 변수 추정기의 설계가 추가적으로 필요하게 되고, 계속 변하는 위의 차량 변수들은 차량의 동역학 모델 기반 제어가 반드시 해결해야 할 문제들이다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 차량의 동역학 모델이 아닌 차량의 횡방향 운동학 모델(lateral kinematic model) 기반의 차선 예측 시스템을 제시한다. 운동학 모델 사용시 발생하는 흔들림(oscillation)을 보상하기 위해 look-ahead distance를 고려한 measurement matrix를 구성하고, 카메라와 차량 내부 센서부

터 얻은 정보를 제어기 입력으로 사용하는 횡방향 운동학 모델 기반 4차 상태방정식을 구성하여 clothoidal constraint를 이용한 예측된 차선 정보 값을 내보내 준다.

2. 운동학 기반 차선 유지 시스템

2.1 차선 유지 시스템

본 논문에서 구성하는 차선 예측 시스템(LKS/LKAS)은 도로 위의 차선 정보를 얻을 수 있는 카메라와 차량 정보를 얻을 수 있는 차량 내부 센서를 입력으로 한다. 이 정보들을 기반으로 차선 예측 시스템은 Multirate Kalman Filter를 이용하여 전자제어장치(ECU)의 제어 주기마다 차선정보가 나오지 않을 때 차량 내부센서를 이용하여 예측한 차선정보를 출력한다. ¹⁾ 차선 예측 시스템의 구조는 다음 Fig. 1과 같다.

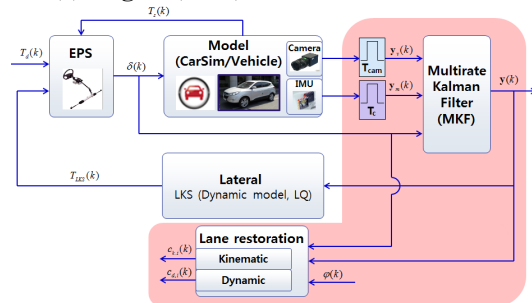


Fig. 1 차선 예측 시스템 구조

2.2 차량 운동학 모델

본 논문에서는 차선 유지 시스템을 위한 차량의 운동학 모델을 제시한다. 차량 운동학 모델은 제어입력 $u(k) = \delta(k)$ 와 상태 벡터 $\mathbf{x}(k) = [e_{yL}(k) \quad \dot{e}_y(k) \quad e_\psi(k) \quad \dot{\psi}(k)]^T$ 그리고 $\varphi(k) = [\dot{\psi}_{des}(k) \quad e_{\psi L}(k) - e_\psi(k) \quad \delta(k-1)]$ 를 이용하여 식 (1)과 같이 구성할 수 있다.²⁾

$$\mathbf{x}(k+1) = \Phi \mathbf{x}(k) + \Gamma u(k) + \Gamma_q \varphi(k)$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & T_c & 0 & -T_c L \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -T_c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \Gamma = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{V_x}{l_f + l_r} \end{bmatrix}$$

$$\text{and } \Gamma_q = \begin{bmatrix} T_c L & T_c V_x & 0 \\ -T_c V_x & 0 & 0 \\ T_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{V_x}{l_f + l_r} \end{bmatrix}$$

3. 모의 실험 결과

제시한 알고리즘은 CarSim, MATLAB/Simulink와 EPS를 연동한 Hardware-in-the-loop(HILS) 및 실차 데이터를 이용하여 검증하였다. 차량은 최소 곡률 반지름이 258m인 3차 도로를 주행하였으며, dynamic model을 이용한 결과 값과 비교하였다. Fig. 3는 각 모델을 이용하여 예측한 차선 정보값을 보여준다. Fig. 3은 각 모델에서 추정된 state 값을 보여준다.

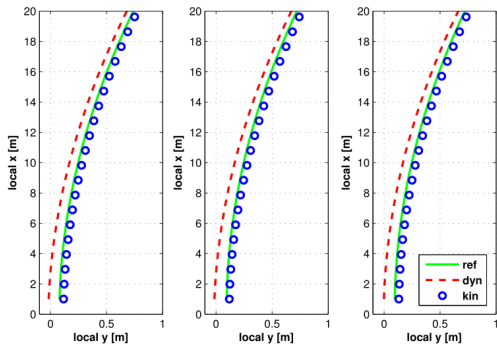
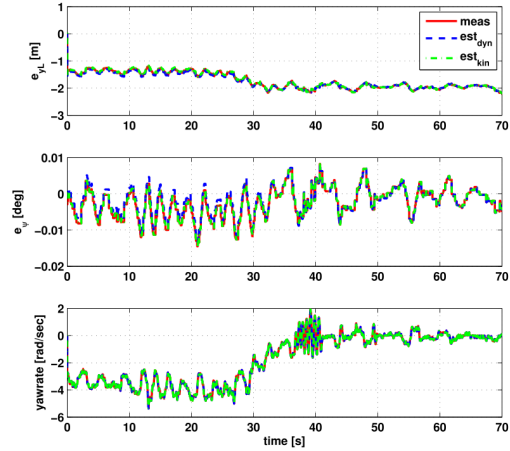


Fig. 2 차선 예측 결과 값



(1)

Fig. 3 state 예측 결과 값

4. 결론

본 논문에서는 차량의 횡방향 운동학 모델기반의 차선 예측 시스템을 제시하였다. 동역학모델 사용시 발생하는 parameter variation에 강인한 예측기를 설계하였으며, 이를 EPS를 연동한 HILS 및 실차 실험을 이용하여 이를 통해 검증하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 연구는 산업통상자원부와 한국지식재산전략원이 지원한 산업기술혁신사업(10044620, 운전 미숙자 지원을 위한 자동 차선 변경 시스템)의 결과임.

References

- 1) Y. Son et al, "Robust Multirate Control Scheme with Predictive Virtual Lanes for Lane-keeping System of Autonomous Highway Driving," Transactions on Vehicular Technology. IEEE, DOI 10.1109/TVT.2014.2356204
- 2) C. M. Kang et al, "Comparative Evaluation of Dynamic and Kinematic Vehicle Models," in Proceeding of IEEE Conference on Decision and Control, pp. 648-653, Dec 15-17, 2014.
- 3) C. M. Kang et al, "A Comparative Study of Lane Keeping System : Dynamic and Kinematic Models with Look-ahead Distance," submitted