

안전주행을 위한 DGPS/GIS 기반의 차량제어 연구

이 광 희 · 박 정 현 · 이 철 희*

인하대학교 기계공학과

A Study on DGPS/GIS-based Vehicle Control for Safe Driving

Kwanghee Lee · Jeong-Hyeon Bak · Chul-Hee Lee*

Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea
(Received 23 May 2012 / Revised 15 January 2013 / Accepted 21 February 2013)

Abstract : In recent days, vehicles have become equipped with electric systems that assist and help drivers driving safe by reducing possible accidents. LDWS(Lane Departure Warning System) and LKAS(Lane Keeping Assistant System) are involved in assist systems, especially for lateral motion of vehicles. Sudden and inattentive lateral motion of vehicles due to drivers' fatigue, illness, inattention, and drowsiness are major causes of accidents in highway. LDWS and LKAS provide drivers with warnings or assisting power to reduce any possibilities of accidents. In order to prevent or minimize the possibilities of accidents, lateral motion control of vehicles has been introduced in this research. DGPS/RTK(Differential Global Positioning System/Real Time Kinematics) and GIS(Geographic Information System) have been used to obtain the current position of vehicles and decide when activate controlling lateral motion of vehicles. The presented lateral motion control has been validated with actual vehicle tests.

Key words : Vehivle control(차량제어), Advanced driver assist system(운전보조장치), Lane departure warning system(차선이탈경보장치), DGPS(위성항법보조시스템), Safe driving(안전주행)

1. 서 론

고속도로 위에서 일어나는 대부분의 사고들은 운전자의 부주의, 졸음 또는 익숙하지 못한 주행으로 인하여 발생하지만, 자동차의 결함이나 도로 내 장애물 및 날씨와 같은 주변 환경과 같은 외부 환경들 또한 사고의 주요 원인들이기도 하다. 특히 졸음운전의 경우 고속도로 내에서 일어나는 사고의 원인들의 대부분을 차지한다.¹⁾ 위와 같은 원인들에 의해 주변차량과의 전후방 및 측방향 충돌이 발생하고 운전자가 사망하거나 큰 부상의 위험이 증가한다. 특히 측방향 충돌 및 사고의 경우, 차량이 차로 중심을 이탈하여 최종적으로 의도하지 않게 차선을 이탈하는 경우는 다른 사고의 경우와 비교하여 더 큰

사고를 유발하고 있다. 위와 같은 사고들을 예방하고 운전자가 보다 안전한 주행을 할 수 있도록 보조할 수 있는 ADAS (Advanced Driver Assist System)가 점차적으로 차량에 장착되고 있다. 이러한 ADAS는 차선이탈경보장치, 차선유지보조장치, 사각지대 경보 시스템, 혹은 차간거리제어 시스템 등이 포함되어 있다. 하지만 차량의 측면방향에 대한 시스템은 크게 차선이탈경보장치와 차선유지보조 시스템으로 나눌 수 있다. 차선이탈 경보장치는 차량이 운전자가 의도하지 않게 차선을 이탈하는 경우 운전자에게 소리나 진동을 통해서 경보를 전달하는 시스템이며, 차선유지보조 시스템은 운전자가 조향을 제어하지 못하는 경우 자동차 스스로 차선을 감지하여 차량이 차선을 이탈하는 것을 방지하는 시스템이다.^{2,3)} 위와 같은 장치들은 대부분 영상센서를

*Corresponding author, E-mail: chulhee@inha.ac.kr

기반으로 차선과 차량의 현재 위치를 파악하여 작동한다. 영상센서 이외에 GPS(Global positioning system) 혹은 magnet marker를 활용한 연구도 진행되었다.^{4,7)} 도로 및 날씨와 같은 환경에 영향을 많이 받는 영상 센서 기반의 차량제어 한계를 보완하기 위한 연구도 많이 진행되고 있지만 본 연구에서는 도로 통신환경 및 GIS(Geographical information system)를 활용하여 차량 제어를 수행한다.

본 연구에서는 의도하지 않은 차량의 횡방향 주행에 대해 발생할 수 있는 사고 발생 가능성을 줄이기 위하여 차량의 횡방향 움직임을 제어할 수 있는 시스템을 제안하였다. DGPS/RTK(Differential Global Positioning System/Real Time Kinematics)를 사용하여 차량의 현재 위치를 파악하고 GIS정보를 이용하여 도로 내 차선의 위치를 파악하며 이를 통해 차량의 횡방향 제어를 수행하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션 배경

본 연구에서는 도로의 곡률과 경사는 고려하지 않고 직선이라 가정하였다. 이는 대부분의 고속도로가 직선구간이기 때문이고 차량의 횡방향 이동은 주로 직선구간에서 일어나기 때문이다.

Fig. 1은 차량의 횡방향 제어과정에 대한 개략적으로 도식화한 것이다. DGPS/RTK를 이용하여 차량의 정확한 위치를 파악한다. 운전자의 졸음이나 부주의한 운전에 의해 차량이 차선을 이탈하려고 하는 경우 차량의 제어 시스템이 작동하게 되며 이를 통해 차량은 원래의 주행로로 복귀하게 되고 운전

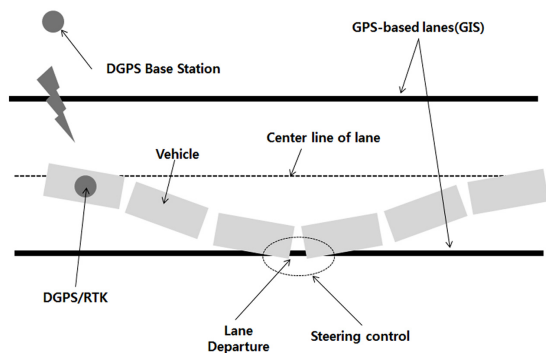


Fig. 1 Schematic diagram of vehicle control process

자는 다시 안전하게 주행이 가능하게 된다. 차량의 차선 이탈 여부는 DGPS/RTK를 이용한 차량의 위치 정보와 GIS를 통한 차선 정보를 통해 파악한다.

기존 차선유지보조장치와 같은 시스템은 차량의 위치와 차선의 위치를 영상센서를 기반으로 획득하여 차량제어를 하지만 제안된 제어 시스템은 DGPS/RTK를 이용하여 차량의 횡방향 제어를 수행한다. 영상센서를 사용할 수 없는 경우, 예를 들어 굽은 날씨 혹은 도로 내 차선이 명확하지 않은 경우 DGPS/RTK 활용하여 차량의 횡방향 제어에 보조적으로 활용할 수 있다.

2.2 차량제어모델

이번 연구의 목적은 의도하지 않은 차량의 차선 이탈로 인한 사고 가능성을 최소화하기 위해서 차량의 횡방향 제어만을 목적으로 한다. 차량 횡방향 제어를 위한 동역학 모델은 기본적인 이륜차 모델을 사용하였다.⁸⁾ 이륜차 모델을 사용한 차량의 State space model은 아래 식(1)~(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{X} = A \cdot X + B \cdot \delta \tag{1}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2C_{\alpha f} + 2C_{\alpha r}}{mV_x} & 0 & -V_x - \frac{2C_{\alpha f}l_f - 2C_{\alpha r}l_r}{mV_x} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{2C_{\alpha f}l_f - 2C_{\alpha r}l_r}{I_z V_x} & 0 & -\frac{2C_{\alpha f}l_f^2 + 2C_{\alpha r}l_r^2}{I_z V_x} \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$B = \begin{Bmatrix} 0 \\ \frac{2C_{\alpha f}}{m} \\ 0 \\ \frac{2l_f C_{\alpha f}}{I_z} \end{Bmatrix} \tag{3}$$

$$X = [y \dot{y} \psi \dot{\psi}] \tag{4}$$

여기서 X 는 state vector이며, y 는 lateral position of vehicle, \dot{y} 는 lateral velocity at c.g. of vehicle, ψ 는 yaw angle of vehicle, $\dot{\psi}$ 는 yaw rate of vehicle을 나타낸다. δ 는 차량의 steering wheel angle을 나타낸다. 차량 모델의 다른 변수와 값 들은 아래 Table 1에 나타나 있다.

Table 1 Yaw moment of inertia of vehicle 2,454kg m²

Symbol	Explanation	Value
m	Vehicle weight	1,900kg
$C_{\alpha f}$	Connering stiffness of front tires	28,600N/rad
$C_{\alpha r}$	Connering stiffness of rear tires	26,400N/rad
I_z	Yaw moment of inertia of vehicle	1,900kg
l_f	Longitudinal distance from c.g. to front tires	1.3m
l_r	Longitudinal distance from c.g. to rear tires	1.5m
V_m	Vehicle velocity	40km/h

차량의 속도는 일정하다고 가정하였고, 모델에서 rolling dynamics를 고려하지 않았다. 또한 선형 타이어 모델을 사용함으로써 타이어의 회전강성은 모두 일정하다고 가정하였다. 위 차량 동역학 모델로부터 아래 식 (5)~(8)과 같이 오차항에 대한 동역학 모델⁸⁾을 생성하고 Linear Quadratic (LQ) regulator를 사용하여 제어를 수행하였다.

$$\dot{X}' = A' \cdot X' + B' \cdot \delta \tag{5}$$

$$A' = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{2C_{\alpha f} + 2C_{\alpha r}}{mV_x} & \frac{2C_{\alpha f} + 2C_{\alpha r}}{m} & -\frac{2C_{\alpha f}l_f + 2C_{\alpha r}l_r}{mV_x} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{2C_{\alpha f}l_f - 2C_{\alpha r}l_r}{I_zV_x} & \frac{2C_{\alpha f}l_f - 2C_{\alpha r}l_r}{I_z} & -\frac{2C_{\alpha f}l_f^2 + 2C_{\alpha r}l_r^2}{I_zV_x} \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$B' = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2C_{\alpha f}}{m} \\ 0 \\ \frac{2C_{\alpha f}l_f}{I_z} \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$X' = [e_1 \dot{e}_1 e_2 \dot{e}_2] \tag{8}$$

여기서 X' 는 modified dynamic model에 대한 state vector이며, e_1 는 lateral position error with respect to road이고, e_2 는 yaw angle error with respect to road을 나타낸다. 모델의 다른 변수들은 기존과 같다. Fig. 2는 차량 제어를 위한 흐름도를 나타낸 것이다.

2.3 제어구간

차량의 급작스럽거나 의도하지 않은 횡방향 이동

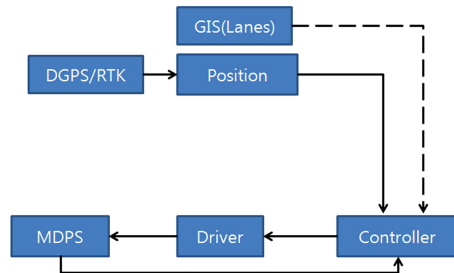


Fig. 2 Algorithm for controlling vehicle

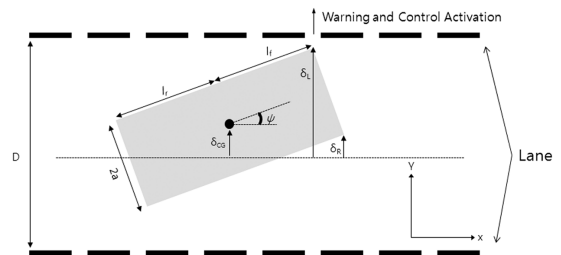


Fig. 3 Schimatic diagram of activation law

에 의한 사고를 예방하기 위해 차량의 횡방향 제어를 수행하고, 제어조건은 다음과 같이 정의하였다. 횡방향 제어를 시작하기 전 경고구간을 통해 운전자에게 경고를 주며 동시에 운전자가 다시 차량을 제어할 수 있는 시간을 제공한다. 경고 구간을 지날 경우 조향제어를 통해 차량을 원래 주행 차선으로 복귀시키며 차량이 차선 내부로 완전히 복귀된 경우 제어를 종료한다. 아래 Fig. 3은 제어구간에 대해 도식화한 내용이다.

경고 및 제어 구간은 아래 식을 통해 나타낼 수 있다. 차량 앞 왼쪽 타이어와 차로 중심선과의 거리는 아래 식 (9)와 같이 나타낼 수 있고, yaw angle이 매우 작다고 가정하면 식 (10)과 같이 간략하게 나타낼 수 있다.

$$\delta_L = l_f \cdot \sin\psi + \delta_{CG} + a \cdot \cos\psi \tag{9}$$

$$\delta_L = l_f \cdot \psi + \delta_{CG} + a \tag{10}$$

차로 중심선과 차량 앞 왼쪽 타이어 사이 거리, δ_L , 가 차로 너비의 반과 같을 때 경고가 작동함과 동시에 제어가 작동하게 된다. 제어가 시작된 후 차량이 차로에 복귀하고 제어 시작 시 작동 거리의 값이 음수를 가지는 경우 제어가 해제된다.

2.4 시뮬레이션 결과

위 제어기를 바탕으로 가상도로 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 검은색 점선은 차량의 궤적을 나타내며, 붉은색 실선은 차량 제어 시 조향각을 나타낸다. 차량궤적과 제어 조향각 위 푸른 실선은 제어 동작여부를 알려준다. 시뮬레이션을 통해 차량이 차선을 이탈했을 시 제어가 작동하고, 이를 통해 차량이 원래 차로로 복귀하는 것을 아래 Fig. 4에서 확인할 수 있다. 모터 조향각은 양의 값(우)과 음의 값(좌)으로 정의하였으며 차량이 차선을 이탈하는 경우 조향 제어가 시작된다. Fig. 4를 통해 차선을 이탈하는 경우 제어가 시작되며 차량이 차선 안쪽으로 복귀할 때까지 조향 제어가 계속되며 복귀 시 제어가 해제되는 것을 확인할 수 있다.

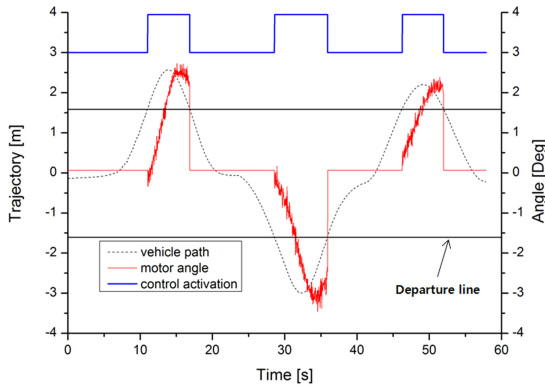


Fig. 4 Simulation result of lateral vehicle control

3. 실험 및 결과

본 연구에서는 DGPS를 활용하여 차량의 위치를 파악하고 차선과 차량 사이의 위치 또한 판단한다. 차량 위치 파악 및 차선 인식을 위한 DGPS를 장착한 시험차량은 아래 Fig. 5에 나타나 있다. 차량 제어를 위한 액츄에이터는 차량에 장착된 MDPS를 사용하였다.

위 시험차량을 바탕으로 실차 실험을 진행하였다. 도로 환경은 직선구간으로 한정하였으며, 차량의 속도는 40km/h로 일정하게 유지하였다. 검은색 점선은 차량의 궤적이며, 붉은색 실선은 차량 제어 각을 나타낸다. 또한, 제어의 작동 및 해제 시점은 푸른색 실선으로 Fig. 6에 표시되어 있다. Fig. 4의 시뮬레이션 결과를 통해 얻은 모터 조향각과 실제 차량

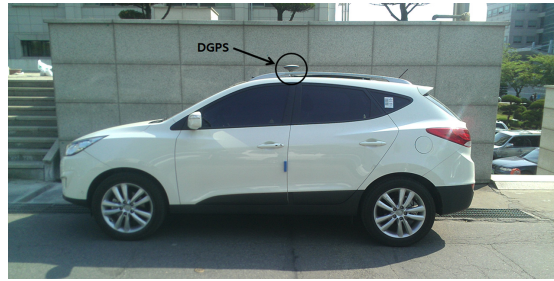


Fig. 5 Test vehicle for safe driving control

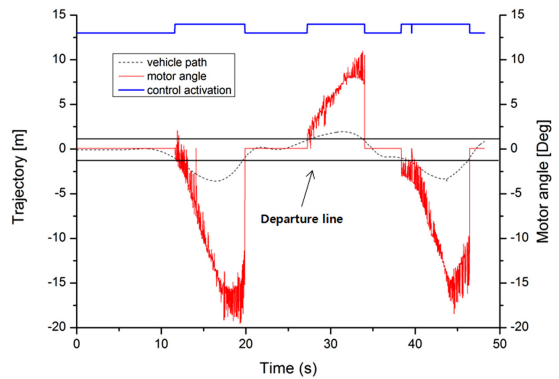


Fig. 6 Test results of lateral control of vehicle

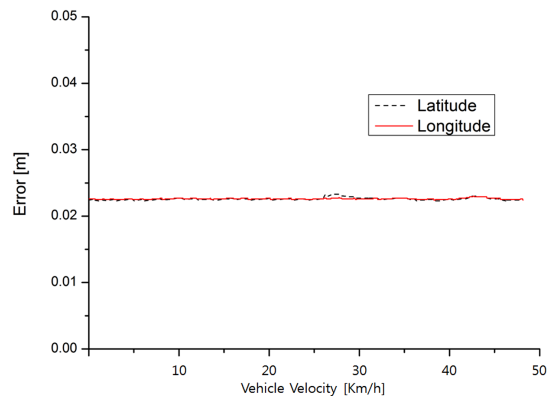


Fig. 7 Latitude and longitude errors of DGPS

조향각이 Fig. 6에 나타나 있다. 조향을 위한 모터는 실제 차량에 기어를 통해 동작하므로 모터 조향각과 실제 차량의 실제 조향각의 비는 10:1로 정의하였다.

차량이 차선을 이탈했을 시 제어가 작동하며 다시 차량이 차선으로 복귀했을 경우 제어가 중지되는 것을 확인할 수 있다. DGPS에 의해 차량의 위치 및 차선을 인식하기 때문에 속도별 DGPS의 위도 및 경도에 대한 오차를 고려하였다. 아래 Fig. 7에서는

이번 실험에 사용된 DGPS의 속도에 따른 위도 및 경도에 대한 오차를 나타낸다. 위도 및 경도 오차가 평균적으로 2.25cm로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 본 연구는 직선 구간에서 상대적으로 낮은 속도만을 고려하였기 때문에 추후 곡선 구간, 높은 속도, 터널과 같은 GPS에 영향을 줄 수 있는 환경을 고려한 연구가 보다 높은 차량 안전을 고려하기 위하여 필요하다.

4. 결 론

본 연구는 차량 횡방향 제어를 통해 차선 이탈 시 발생할 수 있는 사고 가능성을 예방하는 것에 목적을 두고 있다. 기존 영상 기반의 센서를 통해 차선을 인식하고 차량의 위치를 파악하는 것과 달리 DGPS/RTK와 도로 GIS정보를 이용하여 차량의 횡방향 제어를 수행하였다.

- 1) 이륜차 동역학 모델과 DGPS/RTK를 활용하여 차량의 위치 및 차선과의 위치 관계를 통한 차량 횡방향 제어기를 설계하였다.
- 2) 시뮬레이션을 통해 차선 이탈 시 차량의 횡방향 제어가 시작되고 이를 통해 차량이 원래 차선으로 복귀하는 것을 확인하였다.
- 3) 시험조건은 직선구간이며 차량속도는 일정한 상태에서 실험을 진행하였다. 실차 실험을 통해 차량 속도 40km/h에서 차선 이탈 시 차량이 원래 차선으로 복귀하는 것을 확인하였다.
- 4) 차량 제어 위하여 DGPS의 오차를 분석하였고, 차량 속도 0~120km/h까지 위도와 경도에 대한 평균 오차가 약 2cm 정도 이므로 제어 정확도에는 큰 문제가 없는 것을 확인하였다.
- 5) 추후 실제 차량 안전성을 고려하기 위해 곡선 구간, 높은 속도, 터널 구간 등에서의 검증이 필요하다.

후 기

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 또한 본 연구는 지식경제부 지능형자동차기술개발사업(No.1004723, 지능형 주차보조 시스템을 위한 장거리 조음과 센서 개발)으로 지원된 연구 결과입니다.

References

- 1) N. M. Enache, M. Netto, S. Mammam and B. Lusetti, "Driver Steering Assistance for Lane Departure Avoidance," Control Engineering Practice, Vol.17, Issue 6, pp.642-651, 2009.
- 2) J. Wang, S. Schroedl, K. Mezger, R. Ortloff, A. Joos and T. Passegger, "Lane Keeping Based on Location Technology," Intelligent Transportation Systems, Vol.6, Issue 3, pp.351-356, 2005.
- 3) P. Raksincharoensak, H. Mouri and M. Nagai, "Evaluation of Four-wheel-steering System from the Viewpoint of Lane-keeping Control," Int. J. Automotive Technology, Vol.5, No.2, pp.69-76, 2004.
- 4) S. Bajikar, A. Gorjestani, P. Simpkins and M. Donath, "Evaluation of In-vehicle GPS-based Lane Position Sensing for Preventing Road Departure," Intelligent Transportation System, pp.397-402. 1997.
- 5) J. Yang, T. N. Chang and E. Hou, "Lateral Control for Vehicles' Automatic Steering with Front Sensor and GPS," Control Automation and Systems (ICCAS), pp.928-932. 2010.
- 6) J. I. Hernandez and C. Y. Kuo, "Steering Control of Automated Vehicles using Absolute Positioning GPS and Magnetic Markers," Vehicular Technology, Vol.52, Issue 1, pp.150-161. 2003.
- 7) J. H. Bak, K. Lee and C. Lee, "Study on Active Steering Control of Vehicle for Safe Driving in Highway," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.2143-2145, 2011.
- 8) R. Rajamani, Vehicle Dynamics and Control, Springer, pp.37-43, 2006.