

지능형 자동차의 통합 위험 관리 시스템

이 경 수^{*†}, 최 재 응^{*}

* 서울대학교 기계공학부

Integrated Risk Management System for Intelligent Vehicle

Kyongsu Yi^{*†} and Jaewoong Choi^{*}

* School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul Nat'l Univ.

(Received May 3, 2012 ; Revised September 4, 2012 ; Accepted September 7, 2012)

Key Words: Integrated Risk Management System(통합 위험 관리 시스템), Collision Avoidance(충돌 회피), Collision index(충돌 위험 지수)

초록: 본 논문은 종/횡방향 충돌 회피 시스템의 통합을 통한 통합 위험 관리 시스템 (IRMS) 에 대하여 기술하였다. 이를 위하여 종/횡방향 충돌 위험을 나타낼 수 있는 지표가 개발되었으며, 이를 통하여 통합 제어 전략을 구성하였다. 충돌 회피 제어를 위하여 운전자-제어기-차량 시스템에 대한 선형 모델을 구성, 이를 바탕으로 운전자-제어기간 협력을 통한 충돌 회피 제어 알고리즘을 개발하였다. 개발된 통합 위험 관리 시스템은 차량 동역학 모의 시험 프로그램인 CARSIM 과 MATLAB/Simulink 를 연동, 모의시험을 통하여 성능을 확인하였다.

Abstract: This paper presents an Integrated Risk Management System (IRMS), which is designed to integrate longitudinal and lateral collision avoidance systems. Indices representing longitudinal and lateral collision risks are designed. From the designed indices, an integrated control strategy is designed. A collision avoidance algorithm is designed to assist the driver in avoiding collisions by using a vehicle-driver-controller integrated linear model. The performance of the proposed algorithm is investigated via computer simulations conducted using the vehicle dynamics software CARSIM and Matlab/Simulink.

- 기호설명 -

C_f : 전륜 코너링 강성계수 [-]

C_r : 후륜 코너링 강성계수 [-]

t_f : 궤도폭 [m]

m : 차량 질량 [kg]

δ_f : 전륜 조향각 [rad]

v_x : 차량 종방향 속도 [m/s]

v_y : 차량 횡방향 속도 [m/s]

γ : 요속도 [rad/s]

F_{yf} : 차량 전륜 횡력 [N]

F_{yr} : 차량 후륜 횡력 [N]

M_z : 요 모멘트 [Nm]

l_f : 차량 무게중심과 전륜 차축간의 거리 [m]

l_r : 차량 무게중심과 후륜 차축간의 거리 [m]

I_z : 요 축에 대한 관성 모멘트 [Nms²/rad]

J_s : 킹핀에 대한 전륜 관성 모멘트 [Nms²/rad]

b_s : 조향 감쇠계수 [Nms]

K_s : 조향 축 강성계수 [Nm/rad]

N_m : 보조 모터 감속비 [-]

N_g : 조향 기어 비 [-]

α_f : 타이어 미끌림 각 [rad]

ξ : 뉴매틱트레일 [m]

ρ_{ref} : 도로 곡률 [1/m]

† Corresponding Author, kyi@snu.ac.kr

1. 서 론

지능형 자동차와 운전자 보조 시스템은 운전자와 보행자의 안전 확보를 위한 큰 이슈이다. 최근에 세계의 차량 제작 업체들은 수동 안전 시스템 뿐만 아니라 능동 안전 시스템을 적극적으로 개발하고 있으며, 최근의 센서 시스템의 발전으로 차선 이탈 경고(LDWS), 전방 충돌 방지 시스템(FCWS)과 같은 많은 시스템이 개발/실용화 되고 있다.⁽¹⁻⁶⁾

많은 종류의 시스템 개발로 인하여 통합 제어에 대한 요구가 높아지고 있다. 통합 제어 시스템의 개발은 사시 제어 분야에서 많은 연구가 이루어졌으며,⁽⁸⁾ 운전자 보조, 능동 안전 시스템의 통합에 대하여도 연구가 시작단계에 있다.

충돌 방지 시스템과 관련하여 기존 연구는 전방 충돌 상황에서 자동 제동 시스템을 활용, 충돌을 방지하거나 충돌 속도를 감소시키는 것에서 큰 성과를 보이고 있으며,⁽³⁾ 횡방향의 충돌을 방지하는 LDWS(Lane Departure Warning System) 및 BSD(Blind Spot Detection) 등의 시스템이 개발되어 있다.^(11,12)

통합 위험 관리 시스템의 개발은 현재 초기 단계에 있다. 통합 위험 관리를 위해서는 기존의 중/횡방향 충돌 방지/위험 경감 시스템의 기능을 통합하는 알고리즘이 개발되어야 한다. 종방향 통합 제어 연구의 경우, 높은 수준의 연구가 상용화 단계에 있지만, 횡방향 충돌 방지 시스템의 경우는 운전자의 사각 지대에 차량의 유/무, 차선의 이탈 여부 등에 따른 경고 기능의 수준에 있다. 따라서 현재 취약 부분이라 할 수 있는 횡방향 충돌 위험 관리 시스템이 선 개발되어야 하며, 따라서 본 연에서는 횡방향 위험 상황 제어에 초점을 맞추었다.

본 논문에서는 통합 충돌 위험 관리 시스템의 개발을 위하여 중/횡방향 충돌 위험 지수를 개발하고, 이에 따른 횡방향 충돌 위험 제어 시스템 개발에 초점을 맞추었다. 제어기 설계를 위하여 차량-운전자-제어기 통합 모델이 구성되었으며, 이를 통하여 운전자 - 제어기간 협조를 통하여 충돌을 회피할 수 있도록 알고리즘을 구성하였다.

2. 충돌 위험 지수

2.1 종방향 충돌 위험 지수

주행 차량 간 종방향 충돌 위험 상황을 표현하기 위한 지수로서 역충돌시간(TTC⁻¹)과 충돌경보

지수(warning index)에 대한 연구가 수행된 바 있다.^(7,8) 충돌경보지수는 현재 주행 상황에 대한 물리적 충돌 위험을 표현하기 위한 것으로 다음과 같은 수식으로 표현될 수 있다.

$$x = \frac{p_{long} - d_{br}}{d_w - d_{br}} \tag{1}$$

p_{long} 은 자차량과 종방향 주행 차량에 대한 간격이며, d_{br} 과 d_w 은 각각 감속임계거리(braking-critical distance) 및 경보임계거리(warning-critical distance)을 의미한다. 대상 차량과의 간격이 감속임계거리와 경보임계거리보다 크면 안전한 주행 상황, 반대의 경우에는 충돌 위험이 존재하는 상황으로 볼 수 있다. 감속임계거리와 경보임계거리는 다음과 같이 나타낸다.

$$d_{br} = v_{long} T_{s,delay} + f(\mu) \left(\frac{v_s^2 - (v_s - v_{long})^2}{2a_{max}} \right) \tag{2}$$

$$d_w = v_{long} T_{s,delay} + f(\mu) \left(\frac{v_s^2 - (v_s - v_{long})^2}{2a_{max}} \right) + v_s T_{h,delay}$$

v_{long} 과 v_s 는 각각 자차량과 대상 차량 간의 상대 속도와 자차량 속도를 나타내고, a_{max} 는 시스템 지연시간($T_{sys,delay}$)과 운전자의 인지/조작 지연시간($T_{h,delay}$)를 고려한 브레이크 입력의 최대 감속도를 나타낸다. $f(-)$ 는 타이어와 노면간 마찰 계수에 의한 영향을 반영하기 위한 조정 함수를 의미한다. 역충돌 시간은 충돌 경고/회피 시스템(CW/CA)에 적용되는 위험 지수로서 다음과 같이 정의된다.

$$TTC^{-1} = \frac{p_{long}}{v_{long}} \tag{3}$$

충돌경보지수와 역충돌시간은 각각 충돌 상황에서의 충돌 거리 및 시간에 대한 표현으로서, 본 연구에서는 이를 활용하여, 충돌 위험 상황을 하나의 수치화된 값으로 나타낸 종방향 충돌 위험 지수를 식 (4)와 같이 정의하였다. 종방향 충돌 위험 지수는 차량의 주행 상태를 안전 상태와 위험 상태로 구분할 수 있는 경계값에 대한 현재 주행 상태의 충돌경보지수와 역충돌시간의 비율을 통하여 나타낸다.

$$I_{longitudinal} = \max \left(\frac{|x_{max} - x|}{|x_{max} - x_{th}|}, \left| \frac{TTC^{-1}}{TTC_{th}^{-1}} \right| \right) \tag{4}$$

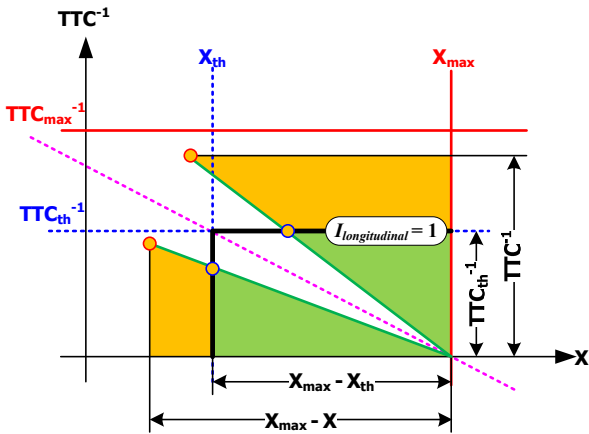


Fig. 1 The warning index-inverse TTC plane

2.2 횡방향 충돌 위험 지수

다차선 주행로에서 운전자의 차선 변경 의지가 있거나 운전자의 졸음, 부주의에 의한 의도치 않은 차선 이탈이 발생하는 경우, 최대 감속 거리와 차량간 거리와의 비교 또는 대상 차량과의 통신 등에 기반한 정확한 거동 정보로 기하학적 분석을 통하여 인접 차선에서 주행하는 차량과의 충돌 위험을 나타내는 연구가 진행된 바 있다.^(9,10) 본 연구에서는 가까운 미래에 상용 가능성이 있는 외장 센서인 측후방 레이더와 비전 센서를 통하여 획득 가능한 신호들에 기반하여 횡방향 충돌 위험 지수를 제안하였다. 자차량의 급작스러운 차선 이탈로 인해 측방/측후방에서 주행하는 차량이 충돌 위험을 감지하고 최대 감속을 했을 때, 최소안전거리에서 차량 간 상대 속도가 0 이 되는 목표 차간 거리와 현재 차간 거리의 차이인 충돌안전거리, d_s 는 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$v_{rel}^2 = 2g(\mu) \cdot a_{rel} \cdot (c_{des} - c_{min})$$

$$c_{des} = \frac{(v_o - v_s)^2}{2g(\mu) \cdot (a_{o,max} - a_s)} + c_{min} \tag{5}$$

$$d_s = c - c_{des}$$

where, $v_{rel} = v_o - v_s$
 $a_{rel} = a_{o,max} - a_s$

$g(\mu)$ 는 노면마찰계수를 반영하기 위한 함수이며,^(7,8) 횡방향 충돌 위험 지수는 충돌 안전거리와 충돌 안전거리 임계값(d_{th})의 비로써 나타낸다.

$$I_{lat} = \frac{d_s}{d_{th}} \tag{6}$$

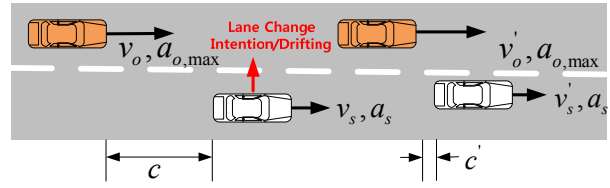


Fig. 2 Schematic description of lateral collision

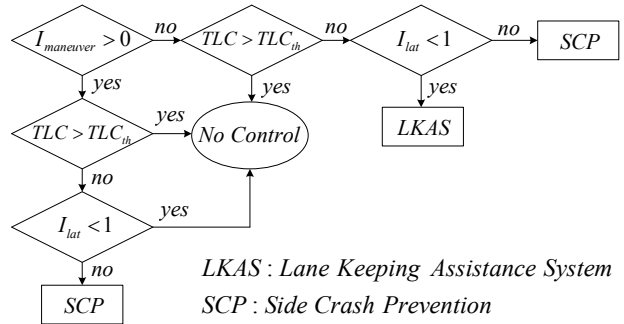


Fig. 3 Lateral safety control flow

자차량의 급작스러운 차선 이탈 상황을 표현하기 위해 차량이 현재 상태를 유지할 때, 차선을 이탈하기까지 걸리는 시간(Time to lane cross)으로 나타낸다. 차선 이탈 거리(Distance to lane cross)와 차선 이탈 시간은 차량 전면부에 장착된 비전 센서로 측정가능하며, 이는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$TLC = \frac{DLC}{v_{lateral}} \tag{7}$$

종방향 충돌 위험 지수와 횡방향 충돌 위험 지수에 기반하여 위험 상황에 따른 다양한 방식의 충돌 회피 알고리즘을 적용할 수 있다. 종방향 충돌이 예견되는 경우, 자동 브레이크를 통한 감속 지원이나 긴급 회피 지원 알고리즘 등을 적용할 수 있다. 횡방향 충돌 위험은 다음의 순서도에 따라 나타내며 각각의 위험 상황에 따라 차선 유지 보조 시스템(LKAS), 측방 충돌 방지 시스템(SCP)의 제어 전략을 적용할 수 있다.

3. 차량 횡방향 거동 제어기 개발

본 연구에서는 차량의 횡방향 거동을 제어하여 차량의 안정성을 향상시키고 측방 충돌 사고를 방지하는 것이 목적이다. 운전자가 상황 판단을 늦게 하거나, 급격한 차량 조종으로 안정성을 잃는 순간에도 운전자를 대신하여 차량의 횡방향 거동

을 효과적으로 제어하기 위해 본 연구에서는 MDPS 와 ESC 를 탑재한 차량 모델 및 운전자 모델을 기반으로 제어를 설계하였다.

3.1 차량 모델

본 연구에서는 기존의 2 자유도 차량 모델에 ESC 의 차등제동에 의한 요모멘트 항을 추가하고 MDPS 조향 시스템의 동역학을 반영하여 차량 모델을 구성하였다. 기존의 2 자유도 차량 모델에 차등 제동에 의한 요모멘트 항을 추가하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.⁽¹⁶⁾

$$m\dot{v}_y + mv_x\gamma = F_{yf} + F_{yr} \quad (7)$$

$$I_z\dot{\gamma} = l_f F_{yf} - l_r F_{yr} + M_z \quad (8)$$

차량의 횡방향 미끌림각이 작다고 가정하면 다음과 같이 단순화된 타이어 모델을 사용할 수 있다.⁽¹³⁾

$$F_{yf} = 2C_f \left(\delta_f - \frac{v_y + l_f \gamma}{v_x} \right) \quad (9)$$

$$F_{yr} = 2C_r \left(-\frac{v_y - l_r \gamma}{v_x} \right) \quad (10)$$

도로에 따른 차량의 상태로 차량 모델을 표현하기 위해 차량 모델의 상태변수를 도로에 따른 차량 무게 중심의 위치와 도로에 대한 차량의 진행 방향에 관하여 다시 정의하였다.

도로에 대한 차량의 상태변수를 이용하여 2 자유도 차량 모델을 다시 구성하면 다음과 같은 상태 방정식으로 표현할 수 있다.⁽¹³⁾

$$\dot{x}_v = A_v x + B_v u_v + F_\rho \rho_{ref} \quad (11)$$

$$x_v = [y_r \quad \dot{y}_r \quad e_\psi \quad \dot{e}_\psi]^T, u_v = [\delta_f \quad M_z]^T$$

여기서,

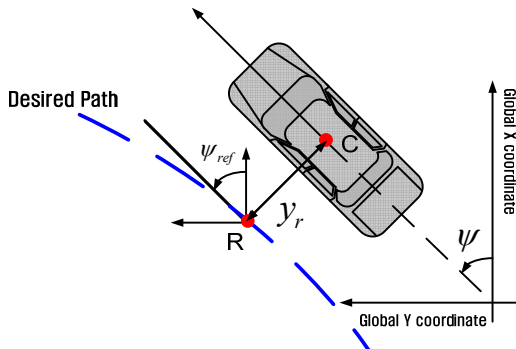


Fig. 4 Lateral vehicle dynamics

$$A_v = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & a_{v,22} & a_{v,23} & a_{v,24} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & a_{v,42} & a_{v,43} & a_{v,44} \end{bmatrix},$$

$$B_v = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ b_{v,21} & 0 \\ 0 & 0 \\ b_{v,41} & b_{v,42} \end{bmatrix}, F_\rho = \begin{bmatrix} 0 \\ f_{21} \\ 0 \\ f_{41} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$a_{v,22} = -\frac{2C_f + 2C_r}{mv_x}, a_{v,23} = \frac{2C_f + 2C_r}{m},$$

$$a_{v,24} = \frac{-2C_f l_f + 2C_r l_r}{mv_x}, a_{v,42} = -\frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{I_z v_x},$$

$$a_{v,43} = \frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{I_z}, a_{v,44} = -\frac{2C_f l_f^2 + 2C_r l_r^2}{I_z v_x},$$

$$b_{v,21} = \frac{2C_f}{m}, b_{v,41} = \frac{2C_f l_f}{I_z}, b_{v,42} = \frac{1}{I_z},$$

$$f_{21} = \frac{-2C_f l_f + 2C_r l_r}{mv_x} - v_x, f_{41} = -\frac{2C_f l_f^2 + 2C_r l_r^2}{I_z v_x}$$

Fig. 5 는 본 연구에서 사용된 MDPS 조향 시스템으로 동역학 모델은 다음 식 (13)과 같이 표현할 수 있다.⁽¹⁸⁾

$$J_s \ddot{\delta}_f = -b_s \dot{\delta}_f - K_s \delta_f + N_g N_m T_M + N_g T_h - T_{align} \quad (13)$$

여기서, T_h 는 운전자 토크, T_M 은 모터 토크, T_{align} 은 self-aligning 토크이다. T_{align} 은 타이어 미끌림 각과 다음과 같은 선형 관계로 표현할 수 있다.⁽¹⁷⁾

$$T_{align} = 2C_f \cdot \xi \cdot \alpha_f = 2C_f \cdot \xi \cdot \left(\delta_f - \frac{v_y + l_f \gamma}{v_x} \right) \quad (14)$$

T_M 은 운전자의 조향을 보조하는 토크, T_{assist} ,와 제어기에 의해 가해지는 토크, $T_{overlay}$,의 합으로 표현할 수 있다.

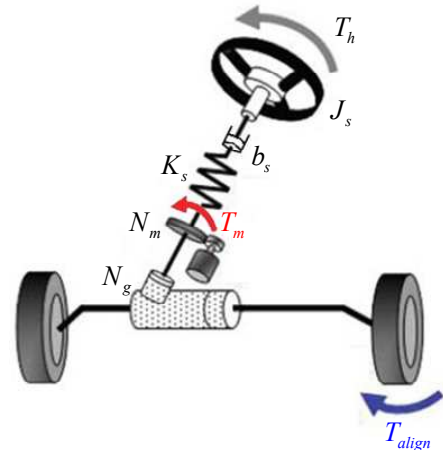


Fig. 5 Motor driven power steering model

$$T_M = T_{assist} + T_{overlay} \quad (15)$$

T_M 은 운전자가 원하는 방향으로 운전자를 보조하는 역할을 한다. 이때, 조향 보조 토크량은 차량의 속도 및 운전자의 토크와 상관관계가 있음을 현대자동차 MDPS 장착 차량인 투싼 실험차량을 이용하여 일반 도로 주행 상황에서 수집된 데이터를 분석한 결과 Fig. 6 과 같이 확인할 수 있다.

위의 Fig. 6 에서 유추할 수 있듯이 운전자 토크와 조향 보조 토크 사이에는 선형 관계가 있다고 가정할 수 있다.

$$T_{assist} = k_a \cdot T_h + \Delta T_{assist} \quad (16)$$

이때, 비례상수 k_a 는 차량의 속도에 대한 함수로 표현할 수 있다.

위에서 정리한 2 자유도 차량 모델과 MDPS 동역학을 조합하면 다음과 같은 차량 모델 상태방정식을 구성할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_a &= A_a x_a + B_a u + D \cdot T_h + F_a \rho_{ref}, \\ x_a &= [y_r \quad \dot{y}_r \quad e_\psi \quad \dot{e}_\psi \quad \delta_f \quad \dot{\delta}_f]^T, \\ u &= [M_z \quad T_{overlay}]^T \end{aligned} \quad (17)$$

여기서,

$$\begin{aligned} A_a &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{v,22} & a_{v,23} & a_{v,24} & a_{v,25} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & a_{v,42} & a_{v,43} & a_{v,44} & a_{v,45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix}, \\ B_a &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ b_{41} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & b_{62} \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ d_{61} \end{bmatrix}, F_a = \begin{bmatrix} 0 \\ f_{21} \\ 0 \\ f_{41} \\ 0 \\ f_{61} \end{bmatrix}, \\ a_{25} &= \frac{2C_{af}}{m}, a_{45} = \frac{2C_{af}l_f}{I_z}, a_{62} = \frac{2C_{af}\xi}{J_s v_x}, \\ a_{63} &= -\frac{2C_{af}\xi}{J_s}, a_{64} = \frac{2C_{af}l_f\xi}{J_s v_x}, a_{66} = -\frac{b_s}{J_s}, \\ a_{65} &= -\frac{2C_{af}\xi}{J_s} - \frac{K_s}{J_s}, b_{41} = \frac{1}{I_z}, b_{62} = \frac{N_g N_m}{J_s}, \\ d_{61} &= \frac{N_g}{J_s} + \frac{N_g N_m}{J_s} \cdot k_a, f_{61} = \frac{2C_{af}l_f\xi}{J_s} \end{aligned} \quad (18)$$

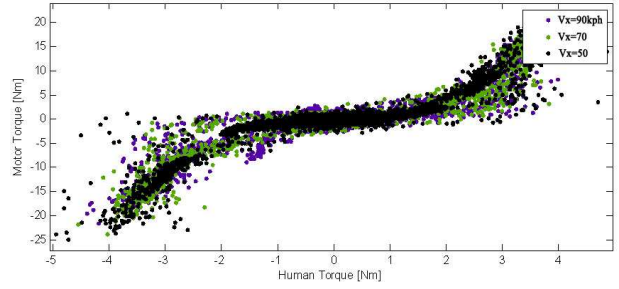


Fig. 6 Assist torque corresponding to human torque

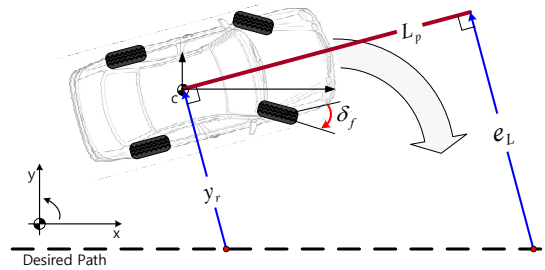


Fig. 7 Desired steering with preview distance

3.2 운전자 모델

운전자는 목표 궤적 혹은 도로를 추종하기 위한 조향 토크를 핸들에 가한다. 운전자는 일반적으로 차선을 벗어나지 않게 주행하려는 특성을 나타내므로 목표 궤적을 도로의 중앙으로 설정하였을 경우 운전자의 목표 조향각은 다음 식 (19)과 같이 나타내질 수 있다.⁽¹⁵⁾

$$\delta_{des} = -k_1 y_r - k_2 e_L = -k_1 y_r - k_2 (y_r + L_p e_\psi) \quad (19)$$

이때, L_p 는 운전자의 주시거리를 나타내고 k_1 는 현재 차량 중심과 목표 궤적간의 거리오차에 대한 피드백 게인값, k_2 는 전방 주시거리에서의 차량 중심과 목표 궤적간의 예상 거리오차에 대한 피드백 게인값을 나타낸다. 운전자는 목표 조향각을 추종하기 위한 토크를 MDPS 조향 시스템에 가하게 된다. 운전자의 조향 토크는 목표 조향각과 실제 조향각 차이의 비례한다고 간단하게 모델링 할 수 있다. 이때, 운전자가 목표 조향각을 결정한 시간과 운전자가 조향 시스템에 토크를 가하는 시간 사이에 근육신경계로 인한 시간 지연이 발생하게 된다. 이러한 시간 지연 τ_T 을 고려하면 운전자의 조향 토크를 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\dot{T}_h = \frac{k_T}{\tau_T} \cdot \delta_f - \frac{k_T}{\tau_T} \cdot \delta_{des} - \frac{1}{\tau_T} \cdot T_h \quad (20)$$

이때, k_T 는 운전자의 조향 토크 피드백 게인값을 나타낸다. 운전자의 조향 토크까지 고려하여 운전자와 차량 횡방향 동역학을 통합한 상태방정식을 정리하면 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u + F \cdot \rho_{ref} \quad (21)$$

$$x = [y_r \quad \dot{y}_r \quad e_\psi \quad \dot{e}_\psi \quad \delta_f \quad \dot{\delta}_f \quad T_h]^T \quad (22)$$

여기서,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{v,22} & a_{v,23} & a_{v,24} & a_{25} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{v,42} & a_{v,43} & a_{v,44} & a_{45} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} & a_{67} \\ a_{71} & 0 & a_{73} & 0 & a_{75} & 0 & a_{77} \end{bmatrix}, \quad (23)$$

$$B = \begin{bmatrix} B_a \\ 0 \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} F_a \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$a_{67} = \frac{N_g k_a + N_g}{J_s}, a_{71} = \frac{1}{\tau_T} k_T (k_1 + k_2),$$

$$a_{73} = \frac{1}{\tau_T} k_T k_2 L_p, a_{75} = \frac{1}{\tau_T} k_T, a_{77} = -\frac{1}{\tau_T}$$

3.3 제어기 설계

앞서 언급한대로 본 연구의 목적은 운전자와 제어기 간의 협조를 통해 횡방향 충돌을 회피하고 차량 안정성을 향상시키는 제어 알고리즘을 구성하는 것이다. 이를 위해서는 운전자의 정상적인 상태뿐만 아니라 운전자가 부주의한 상태, 혹은 당황하여 급격한 조종을 하는 상태를 고려하여 제어기를 설계할 필요가 있다. 운전자의 주행 상태는 앞서 언급된 k_1, k_2 및 L_p 를 적절히 조절하여 모사할 수 있다.

횡방향 충돌 위험을 줄이면서 차량의 안정성을 향상시키려면 도로에 대한 차량의 진행 방향을 0으로 수렴하도록 해야 한다. 따라서 목표 요 속도는 다음과 같이 설계할 수 있다.

$$\gamma_{des} = -k_c \cdot e_\psi(t) + \gamma_{ref} \quad (24)$$

목표 요 속도를 추종하기 위한 목표 요 모멘트는 슬라이딩 제어 기법을 통해 계산하였다. 슬라이딩 표면을 식 (25)와 같이 요 속도 오차로 정의하였다.

$$s = \gamma - \gamma_{des} \quad (25)$$

제어 목표는 위에서 정의한 슬라이딩 표면을 0으로 수렴하도록 하는 것이다. 이는 식 (26)의 슬라이딩 상태 조건을 통해 만족시킬 수 있다.

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{d}{dt} \cdot s^2 = s \cdot \dot{s} = -\eta \cdot |s| \quad (26)$$

2-DOF 의 Bicycle 모델을 이용하여 목표 요 모멘트를 계산하면 식 (27)과 같이 정리할 수 있다.

$$M_{z,des} = \frac{-2 \cdot (-l_f \cdot C_f + l_r \cdot C_r)}{v_x} \cdot \dot{y}_r + 2 \cdot (-l_f \cdot C_f + l_r \cdot C_r) \cdot e_\psi - 2 \cdot l_f \cdot C_f \cdot \delta_f + \left(\frac{2 \cdot (l_f^2 \cdot C_f + l_r^2 \cdot C_r)}{v_x} - I_z \cdot k_c \right) \cdot \dot{e}_\psi + 2 \cdot (l_f^2 \cdot C_f + l_r^2 \cdot C_r) \cdot \rho_{ref} - I_z \cdot \eta \cdot \text{sat}\left(\frac{s}{\Phi}\right) \quad (27)$$

2-DOF 차량 모델을 이용하여 목표 요 속도로부터 목표 조향각 역시 결정할 수 있고 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\delta_{des} = \left(l_f + l_r + \frac{m \cdot V_x^2 \cdot (l_r \cdot C_r - l_f \cdot C_f)}{2 C_f \cdot C_r \cdot (l_f + l_r)} \right) \cdot \frac{\gamma_{des}}{V_x} \quad (28)$$

MDPS 로 운전자에게 주는 조향 간섭 토크, $T_{overlay}$, 는 목표 조향각과 실제 조향각 차이를 줄이도록 선형 피드백 제어를 하였다.

$$T_{overlay} = -k_{overlay} \cdot (\delta_f - \delta_{des}) \quad (29)$$

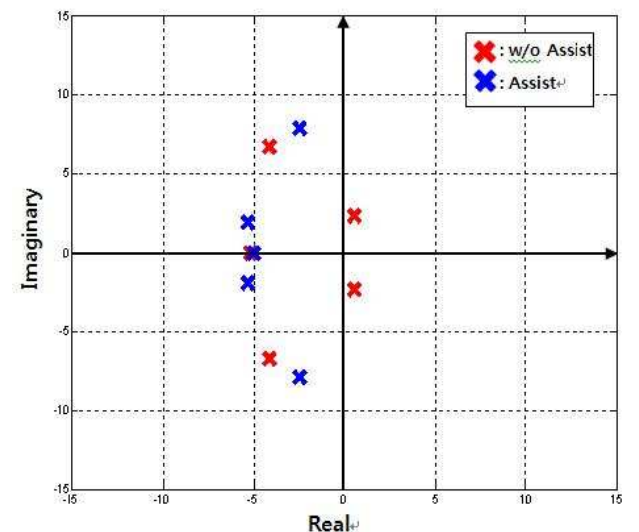


Fig. 8 Pole analysis for controller design

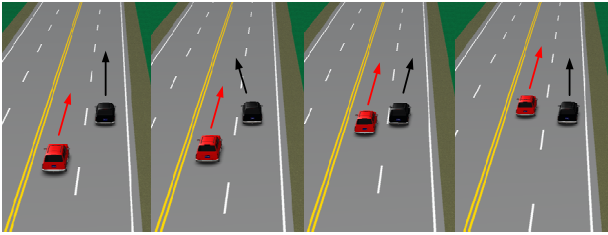
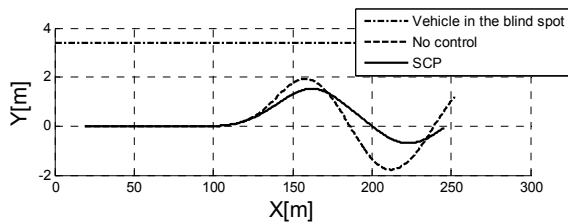
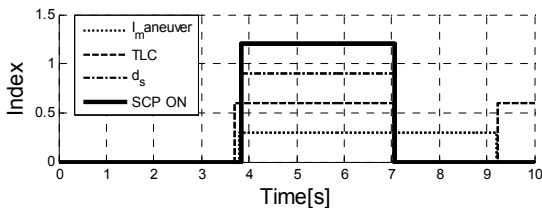


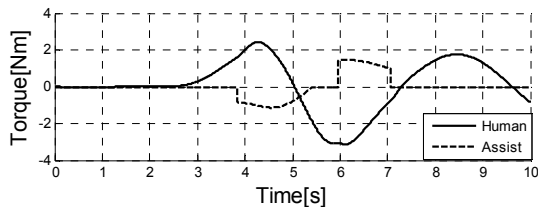
Fig. 9 Simulation situation



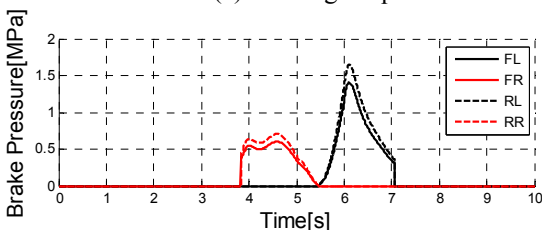
(a) Trajectory



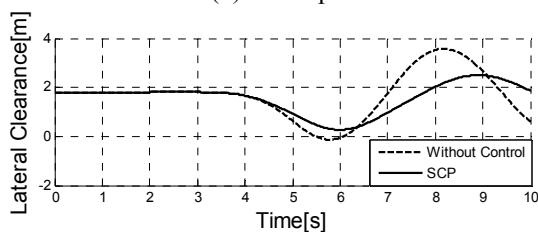
(b) Index



(c) Steering torque



(d) Brake pressure



(e) Lateral clearance

Fig. 10 Simulation situation

운전자의 주행 상태를 반영하지 않고 제어를 설계할 경우 불필요하고 과한 제어입력으로 되려 조향성 및 차량의 안정성을 보장하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 운전자의 주행 상태를 반영하여 제어 입력을 결정하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 차량-운전자-제어기 통합 모델의 극점 분석을 통해 k_c 및 $k_{overlay}$ 을 결정하였다.

4. 시뮬레이션

개발된 알고리즘은 차량 동역학 시뮬레이션 소프트웨어 CARSIM 과 MATLAB/SIMULINK 를 활용하여 시뮬레이션하였다. 기존 연구에서 개발된 운전자 모델이 활용되었으며,⁽¹⁶⁾ 이를 활용하여 페루프 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션은 Fig. 9 와 같이 운전자가 옆 차선 사각지역의 차량을 발견하지 못하고 차선변경을 시도하는 상황을 가정하였다. 이때 운전자 모델은 차선 변경 약 1.5 초 후에 옆 차량을 발견하여 다시 자 차선으로 복귀하도록 설정하였다. 이 때 자 차량과 타 차량의 초기 속도는 90km/h, 상대 종방향 거리는 10m 이다.

시뮬레이션 결과는 Fig. 10 과 같다. 횡 방향 충돌 위험은 순서도(Fig. 3)에 따라 판별되고 제어 시점이 이를 통해 결정되는 것을 Fig. 10(b)를 통해 알 수 있다. 횡 방향 충돌 방지 제어 알고리즘은 $I_{maneuver}$, TLC, d_s 에 대한 각각의 지수들이 동시에 만족되는 순간 이를 위험 상황으로 판단하여 작동하게 된다. 그 결과 Fig. 10(a), (e)에서 확인할 수 있듯이 본 시스템이 MDPS 와 ESC 보조를 통해서 횡 방향 충돌을 방지 하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 통합 위험 관리 알고리즘을 개발하였다. 인덱스를 통하여 현재 상황 위험 정도를 판단하고, 인덱스를 바탕으로 제어 전략을 결정하였다. 충돌 회피를 위한 제어 알고리즘은 자동차-운전자-제어기 통합 모델로부터 유도되었으며, 이를 통하여 MDPS/ESC 의 제어량을 결정하였다.

개발된 알고리즘은 차량 동역학 시뮬레이션 소프트웨어 CARSIM 과 MATALB/SIMULINK 를 활용하여 시뮬레이션 되었으며, 제어를 통하여 차간 최소 거리가 증가하는 것을 확인하였다.

추후에는 고급 액추에이터, 그리고 전방향 복합 위험 상황에 대하여 다양한 충돌 상황을 적용, 연구를 확장할 계획이다.

후 기

This work was supported by the BK21 program, SNU-IAMD, the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government (MEST) (KRF-2009-200-D00003), and the National Research Foundation of Korea Grant Funded by the Korean Government (2011-0001277).

참고문헌

- (1) Motoyama, S., Ohta, T., Watanabe, T. and Ito, Y., "Development of Lane Departure Warning System," *Proc. 7th ITS World Congress*. No. 3270, Turin, Italy.
- (2) An, X., Wu, M. and He, H., 2006, "A Novel Approach to Provide Lane Departure Warning Using Only One Forward-Looking Camera," *Proc. Int. Symp. Collaborative Technologies and Systems*, pp. 356~362.
- (3) Moon, S., Moon, I. and Yi, K., 2009, "Design, Tuning, and Evaluation of a Full-Range Adaptive Cruise Control System with Collision Avoidance," *Control Engineering Practice*, Vol. 17, No. 4, pp.442~455.
- (4) Seiler, P., Song, B. and Hedrick, J. K., 1998, "Development of a Collision Avoidance System," *Proc. SAE Conference*, pp. 97~103.
- (5) Vahidi, A. and Eskandarian, A., 2003, "Research Advances in Intelligent Collision Avoidance and Adaptive Cruise Control," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 4, No. 3, pp.143~153.
- (6) Rimini-Doering, M. and Altmueller, T., 2005, "Effect of Lane Departure Warning on Drowsy Drivers' Performance and State in a Simulator," *Proceedings of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training & Vehicle Design*, pp. 88~95.
- (7) Moon, S. and Yi, K., 2008, "Human Driving Data-based Design of a Vehicle Adaptive Cruise Control Algorithm," *Vehicle System Dynamics*, Vol.8, No.4, pp. 661~690.
- (8) Yoon, J., Cho, W., Koo, B. and Yi, K., 2009, "Unified Chassis Control for Rollover Prevention and Lateral Stability," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 58, no. 2, pp. 596~609.
- (9) Ruder, M, Enkelmann, W. and Garnitz, R, 2002, "Highway Lane Change Assistant," *Intelligent Vehicle Symposium, IEEE 2002*, Vol.1, pp. 240~244.
- (10) Kaempchen, N., Schiele, B. and Dietmayer, K., 2009, "Situation Assessment of an Autonomous Emergency Brake for Arbitrary Vehicle-to-Vehicle Collision Scenarios," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.10, No.4, pp. 678~687.
- (11) Hayakawa, Y., Sato, K. and Kobayashi, M., 2011, "Development of Blind Spot Assistance System based on Lane-marker Detection and Blind Spot Vehicle Detection," *Fast-zero*, Tokyo, Japan.
- (12) Song, J.H. and Lee, W.S., 2008, "Lane Departure Warning Based On Driver Monitoring," *Proceedings of 2008 KSAE Meeting*.
- (13) Rajamani, R., 2005, "Vehicle Dynamics and Control," New York: Springer-Verlag.
- (14) Hoffmann, E.R. and Mortimer, R. G., 1996, "Scaling of Relative Velocity Between Vehicles," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 28, No. 4, pp. 415~421.
- (15) Ungoren, A.Y. and Peng, H., 2005, "An Adaptive Lateral Preview Driver Model," *Vehicle System Dynamics*, Vol. 43 Issue. 4, pp. 245~259.
- (16) Yoon, J., Yi, K., Cho, W. and Kim, D., 2007, "Unified Chassis Control to Prevent Vehicle Rollover," *KSME Spring Annual Meeting*, pp. 1132~1137.
- (17) Hwang, J., Huh, K., Na, H., Jung, H., Kang, H. and Yoon, P., 2008, "Development of a Model Based Predictive Controller for Lane Keeping Assistance," *SAE International, 2008 World Congress Detroit, Michigan, USA*.
- (18) Ohta, T., Mimuro, T. and Lee, J., 2002, "Robust Lateral Control System with Steering Torque Assist," *AVEC*, Hiroshima, Japan, pp. 225~230.