

차량 궤적 예측기법을 이용한 차량 정지/서행 순항 제어

Vehicle Stop and Go Cruise Control using a Vehicle Trajectory Prediction Method

조상민*, 이경수**
Sangmin Cho, Kyongsu Yi

ABSTRACT

This paper proposes a vehicle trajectory prediction method for application to vehicle-to-vehicle distance control. This method is based on 2-dimensional kinematics and a Kalman filter has been used to estimate acceleration of the object vehicle. The simulation results using the proposed control method show that the relative distance characteristics can be improved via the trajectory prediction method compared to the customary vehicle stop and go cruise control systems which makes the vehicle remain at a safe distance from a preceding vehicle according to the driver's preference, automatically slow down and come to a full stop behind a preceding vehicle.

주요기술용어 : Trajectory prediction(궤적 예측), Bicycle model(자전거 모델), Prediction algorithm(예측 알고리즘), Intelligent cruise control(지능형 순항 제어), Stop and go cruise control(정지/서행 순항 제어), Vehicle cruise control(차량 순항 제어), Optimal design(최적 설계)

Nomenclature

d : distance or position of the vehicle, m
 u, v : velocity of the vehicle, m/s
 a : acceleration of the vehicle, m/
 θ : aspect angle, degree
 α : tire slip angle, degree
 δ : steering angle, degree
 ψ : yaw angle, degree
 M : mass, kg
 F : tracking force, N

T : braking force, N
 c : clearance, m

Subscripts

x, y : longitudinal, lateral aspect
 L, R : longitudinal, lateral
 f, r : front, rear
 r : relative
 c : controlled vehicle

1. 서론

차량 순항제어에서 일반적으로 지능형 순항 제어는 고속주행에 적용되는 시스템으로 교통

* 회원, 한양대학교 대학원 자동차공학과

** 회원, 한양대학교 기계공학부

정체가 심한 실제도로 주행에서는 적용될 수 있는 구간이 적은 것으로 보고되며, 그런 이유로 정지/서행 순항 제어 시스템이 소개되었다. 정지/서행 순항 제어 시스템이란, 정지를 포함한 근거리 지능형 순항제어으로써 정체된 도심주행에서 정지/서행의 반복적인 동작을 자동으로 제어하는 기능과 선행차량과의 안전거리를 유지하며 자동 주행하는 기능으로 이루어진 시스템이다. 이제까지 다양한 상황에서의 충돌 경보/회피에 관한 연구¹⁾가 진행되었고, 퍼지논리와 비례적분제어기를 적용한 연구,²⁾ 타이어 슬립을 고려한 슬라이딩 모드 제어기를 이용한 충돌 회피 시스템에 관한 연구³⁾도 진행되었다. 궤적예측 알고리즘은 유도 미사일의 조준 점을 예측하는 분야에서 많은 연구가 진행되었는데, 목표물의 각 방향 가속도가 일정하다는 가정 하에 미사일의 조준 각을 결정한다.⁴⁾ 기존 연구로 비전센서인 CCD Camera로 장애물을 인식하고 차량의 위치를 예측하여 장애물을 회피하는 연구가 진행되고 있으나, 이는 의료용 휠체어와 같은 국소 범위에서 사용하는 방식⁵⁾이므로, 본 논문에서는 레이더 센서를 이용해 상대 차량과 자 차량의 궤적을 예측하고 예측된 정보를 이용하여 차량간 거리 제어 성능을 향상시켰다.

2. 차량 궤적 예측 알고리즘

2차원 좌표계에서 궤적을 예측하기 위해 진행 방향 가속도(a_L)와 횡 방향 가속도(a_R)는 일정하다고 가정하고, 차량의 운동은 두개의 병진운동과 하나의 회전운동으로 표현한다.

차량의 종 방향 속도를 u 라 하면 u_x, u_y 는 각 x, y 방향의 속도가 되고, 차량의 방향각을 θ 라 하면 다음의 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$u(t) = u_0 + a_L t \quad (1)$$

$$u_x(t) = u(t) \cos \theta(t) \quad (2)$$

$$u_y(t) = u(t) \sin \theta(t) \quad (3)$$

$$\dot{\theta}(t) = \frac{a_R}{u_0 + a_L t} \quad (4)$$

여기서 식 (4)의 양변을 적분하면 방향각에 관한 식으로 나타낼 수 있는데 다음과 같다.

$$\theta(t) = \theta_0 + \alpha(t), \quad \alpha(t) = \frac{a_R}{a_L} \ln \left(\frac{u_0 + a_L t}{u_0} \right) \quad (5)$$

Fig. 1은 차량의 좌표계를 나타낸다.

앞에 나타낸 식 중에서 차량의 위치는 식 (2)와 식 (3)을 적분하여 구할 수 있는데, 최종적으로 차량의 위치를 나타내는 식은 다음과 같다.

$$y(t) = y_0 + \frac{1}{a_R^2 + 4a_L^2} \left(\sin \theta_0 (a_R u^2 \sin \alpha + 2a_L \cos \alpha u^2 - 2a_L u_0^2) + \cos \theta_0 (a_R u_R^2 - \cos \alpha a_R u^2 + 2a_L \sin \alpha u_L^2) \right) \quad (6)$$

$$x(t) = x_0 + \frac{1}{a_R^2 + 4a_L^2} \left(\cos \theta_0 (a_R u^2 \sin \alpha + 2a_L \cos \alpha u^2 - 2a_L u_0^2) - \sin \theta_0 (a_R u_R^2 - \cos \alpha a_R u^2 + 2a_L \sin \alpha u_L^2) \right) \quad (7)$$

위의 식 (6)과 식 (7)을 통해 현재 상태의 각 방향의 가속도, 속도, 위치 성분으로부터 시간 t 초 이후의 위치를 예측할 수 있다.

예측 시간은 0.3초의 간격으로 10개의 시간 구간을 나누어 각 시간 구간에서 매 순간 0.05초 후의 위치를 예측하는데, 최고 3초 후의 위치까지 예측하도록 하였다.

Fig. 2는 궤적예측 알고리즘을 나타내고 있다.

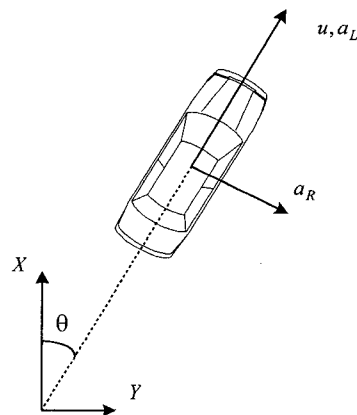


Fig. 1 Geometry of vehicle coordinates

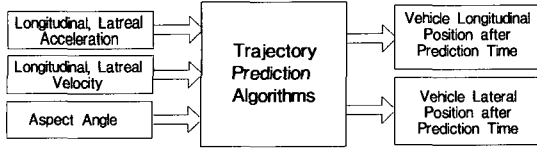


Fig. 2 Trajectory prediction algorithms

3. 차량간 정보 추정 및 차량 모델

3.1 차량간 좌표계

상대 차량과의 충돌 시간을 예측하기 위해서는 자 차량 뿐만 아니라 상대 차량의 각 방향 위치, 속도, 그리고 가속도를 알아야 한다.

본 연구에서는 자 차량의 위치(d_x, d_y), 각 방향 속도 성분(v_x, v_y)을 측정하고 칼만 필터를 이용하여 가속도(a_x, a_y)를 구한다. 또한 센서로부터 상대 차량과의 상대 거리(d_r), 상대 속도(v_r) 그리고 방위각(θ)을 측정하고 칼만 필터를 이용하여 상대 차량의 위치(z_1, z_2), 속도(\dot{z}_1, \dot{z}_2), 및 가속도(\ddot{z}_1, \ddot{z}_2) 성분을 구한다.

Fig. 3은 각 차량의 좌표계와 센서의 측정 신호로써 자 차량의 진행 방향, 횡 방향 가속도(a_x, a_y), 속도(v_x, v_y), 및 위치(d_x, d_y)와 상대 차량의 좌표계 즉, 센서로부터 측정되는 상대거리(d_r), 상대속도(v_r)를 나타낸다.

3.2 3자유도 상대 차량 모델

진행 방향, 횡 방향 그리고, 요 방향으로 구성된 3-자유도 자전거 모델은 Fig. 4와 같다.

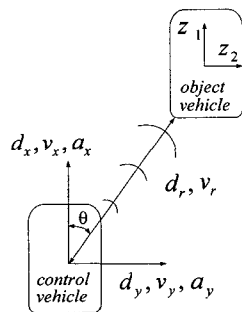


Fig. 3 Schematic of coordinates and sensor

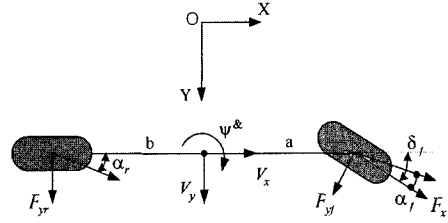


Fig. 4 3-DOF vehicle model

위 그림의 3-자유도 자전거 모델의 운동 방정식(Dynamic equation)은 아래와 같다.

$$\dot{V}_x = \frac{1}{m} (F_x - C_x V_x^2 + \delta_f F_{yf}) + V_y \psi \quad (8)$$

$$\dot{V}_y = \frac{1}{m} (F_{yf} - F_{yr} - C_y V_y^2) + V_x \psi \quad (9)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{I_z} (a \cdot F_{yf} - b \cdot F_{yr}) \quad (10)$$

V_x 는 진행방향속도, V_y 는 횡 방향속도, ψ 는 요 각이다. 진행 방향 힘(F_x)은 엔진에서 가해지는 힘이고, 횡 방향 힘(F_y)은 $F_y = C_a \cdot a$ 와 같이 근사화 한다. (C_a 는 Cornering stiffness)

또한 C_x, C_y 는 진행/횡 방향 공기저항 계수(Drag coefficient) 이고 a, b 는 무게 중심점에서 전/후 차축까지의 거리이다. 타이어 슬립 각(Tire slip angle)은 다음과 같이 근사화 한다.

$$\alpha_f = \delta_f - \frac{V_y + a \cdot \psi}{V_x}, \quad \alpha_r = -\frac{b \cdot \psi}{V_x} \quad (11)$$

3.3 정지/서행 순항 제어 차량 모델

Fig. 5는 시뮬레이션에 사용된 자 차량 모델로 비선형 차량 모델을 나타내었다.

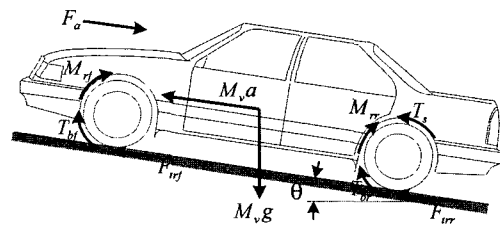


Fig. 5 Vehicle model

차속의 상태 방정식은 다음과 같다. F_{trr} 와 F_{trf} 는 구동륜과 피동륜의 구동력이고 F_a 는 공기저항력, θ 는 도로 경사각도, M_v 는 차량의 총 무게, F_{rr} 은 구름저항이다.

$$M_v \dot{v} = F_{trf} + F_{trr} - F_L \quad (12)$$

여기서 F_L 는 주행부하로 경사부하, 공기부하 및 구름저항에 대한 부하를 모두 포함한 값이다. 구동륜과 피동륜 휠의 각속도 상태 방정식은 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} J_{wr} \dot{\omega}_{wr} &= T_s - r_r F_{trr} - T_{br} \\ J_{wf} \dot{\omega}_{wf} &= -r_f F_{trf} - T_{bf} \end{aligned} \quad (13)$$

r_f , r_r 는 전륜/후륜의 반지름, J_{wf} , J_{wr} 는 각 휠의 관성, T_{br} , T_{bf} 는 각 휠의 제동력을 나타낸다. 본 연구에서는 차량 감속 제어를 위하여 전자 제어 부스터(Electronic Vacuum Booster, EVB)를 사용하였다.⁶⁾ EVB 브레이크 액츄에이터 시스템 동역학은 비선형적 특성을 나타내며 무시될 수 없다. 그러므로 피드 포워드(Feed-Forward)와 PID 제어 기법이 EVB 압력을 제어하는데 사용되었다.

4. 정지/서행 순항 제어 차량에의 적용

정지/서행 순항 제어 시스템은 선행차량의 속도 및 차간거리 정보로부터 적절한 안전거리를 유지하도록 자차의 스로틀 또는 브레이크를 제어하게 된다.

Fig. 6은 선행 차량과 정지/서행 차량의 정보신호를 간략히 표시한 것이다.

정지/서행 순항제어의 안전거리는 다음과 같이 정의한다.⁷⁾

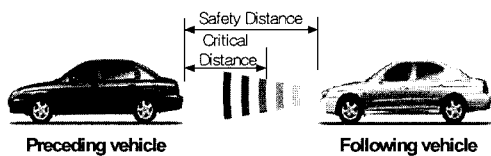


Fig. 6 Stop and go cruise control system

$$d_s = t_h v_p + d_c \quad (14)$$

여기서 t_h 는 헤드웨이 시간으로 1.2sec로 정의하고, v_p 는 선행(상대) 차량의 속도, d_c 는 선행 차량이 정지할 때의 최소 유지거리(안전 거리)로써 2m로 정의한다. 또한 최소한의 승차감 보장을 위해 최대 목표 감가속도를 설계기준에 맞추어 0.2G ~ 0.45G로 제한하였다.

정지/서행 순항제어 알고리즘은 크게 속도설정 알고리즘, 속도제어 알고리즘, 거리제어 알고리즘, 그리고 스로틀/브레이크 제어 알고리즘으로 구성된다. 선행차량이 없는 경우, 속도설정 알고리즘에 의해 목표 감가속도를 다음과 같이 나타낸다.

$$a_{des} = K(v_{set} - v_c) \quad (15)$$

여기서 K 는 게인, v_{set} 은 운전자에 의해 결정되는 설정속도, 그리고 v_c 는 제어차량의 속도이다.

선행차량이 있는 경우에는 선행차량과 제어 차량 간의 거리에 의해 속도제어 또는 거리 제어를 하게 되는데, 상대거리(Relative clearance)가 헤드웨이 거리(Desired clearance)보다 크면 속도 제어를 하고 반대로, 헤드웨이 거리보다 작으면 거리제어를 하도록 한다.

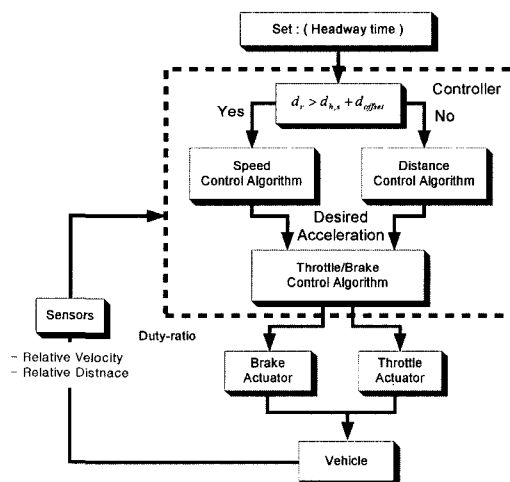


Fig. 7 Block diagram of a stop and go cruise control algorithm

여기서, 속도제어 알고리즘의 목표 감가속도는 다음과 같이 나타낸다.

$$a_{des} = K(\nu_{des} - \nu_c) \quad (16)$$

$$\nu_{des} = \nu_f + \nu_{offset} \quad (17)$$

여기서 K 는 게인, ν_{des} 목표 속도, 그리고 ν_c 는 제어차량의 속도이다. 또한 목표 속도에서 ν_f 는 선행차량의 속도이고, ν_{offset} 은 offset 속도이다. 또한, 거리제어 알고리즘의 목표 감가속도는 다음과 같이 나타낸다.

$$a_{des} = -k_1(c_{des} - c_{act}) - k_2(\nu_f - \nu_c) \quad (18)$$

여기서 k_1 과 k_2 는 게인, c_{des} 와 c_{act} 는 선행 차량과 제어 차량 간의 목표 거리(Desired clearance)와 실제 상대 거리(Actual relative clearance)이다.

일반적인 도로 주행 상황에서 옆 차선으로 주행하는 차량이 갑자기 차선 변경하는 상황에 대해 운전자가 미리 대처하지 못하면 위험한 상황에 처할 수 있으나, 옆 차선으로 주행하는 차량의 정보를 알고 그 궤적을 예측한다고 가정하면, 옆 차선에서 주행하는 차량의 예측된 위치를 통해 정지/서행 순항 제어 차량의 주행차선으로 차선 변경한다고 판단될 경우 예측된 주행 궤적의 상대거리가 헤드웨이 거리보다 작으면 거리제어를 하고 반대로, 헤드웨이 거리보다 크면 설정된 속도로 주행하도록 한다. 본 논문에서는 단순화된 차량모델을 이용하여 차간 거리를 제어하는 정지/서행 순항 제어 알고리즘을 사용하였다.⁷⁾

5. 시뮬레이션 결과

자 차량은 32km/h의 속도(ν_{cc})로 주행하고, 선행 차량은 30km/h의 속도(ν_{op})로 동일 주행 차선에서 초기 상대 거리(d_{ci}) 12m로 주행 중이며, 상대 차량은 옆 차선에서 선행 차량과 동일한 초기 속도(ν_{ci}) 30km/h, 초기 상대 거리(d_{or}) 7m에서 0.05G의 감속도로 감속하며 자 차량의 주행 차선으로 진입하다가 차선 변경이 완료된 후 0.05G의

가속도로 다시 가속하는 상황에 대해 시뮬레이션을 하였다.

Fig. 8은 위의 상황을 그림으로 간략하게 나타낸 것이다.

Fig. 9는 시간에 따른 상대 차량의 횡 방향 위치를 나타낸 것으로 상대 차량이 1초까지는 초기 상대거리를 유지하다가 1초부터 옆 차선으로 차선을 변경하기 시작해 7초에 이르러서는 차선 변경이 완료되는 것을 확인할 수 있다.

또한 감가속도는 1초부터 0.05G로 감속을 시작하였다가 6초 이후부터 다시 0.05G로 가속을 시작하여 초기의 주행 속도인 30km/h까지 이르는 것으로 상황을 구성하였다.

Fig. 10은 기존 정지/서행 순항 제어 차량의 시뮬레이션 결과로 상대차량이 센서에 감지되는 시간 이전에는 선행 차량과의 거리 제어를 위해 헤드웨이 거리(Desired clearance)를 유지하도록 감속하다가 상대 차량이 감지되는 약 3초 부근부터 상대 차량과의 거리제어가 시작된다.

따라서, 자 차량이 상대 차량과의 안전 거리를 유지하기 위해 감속하므로 상대 차량과의 상대 거리(Relative clearance)가 급격히 줄어들어 약 3.5m까지 줄어들게 되는 것을 확인할 수 있으며

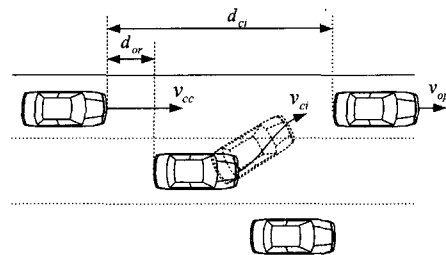


Fig. 8 Situation of cut-in

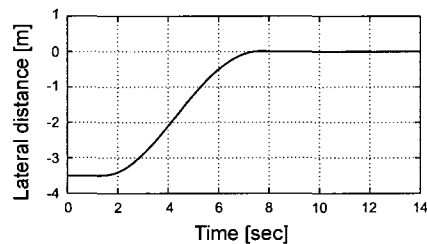


Fig. 9 Trajectory of the side vehicle

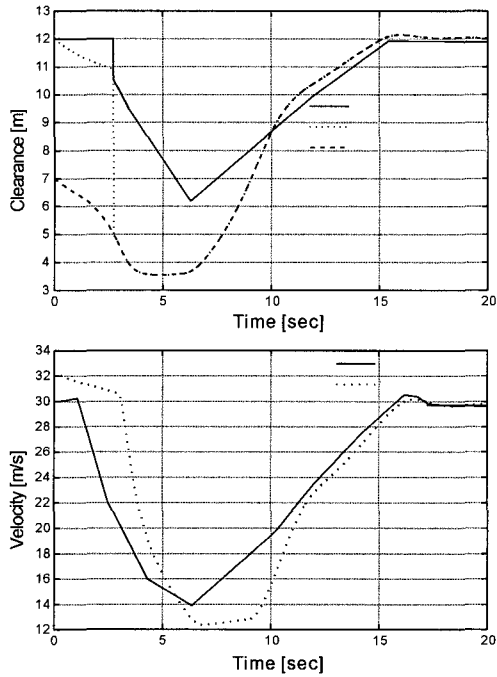


Fig. 10 Customary stop & go cruise control vehicle

속도는 최저 12km/h까지 저속으로 떨어지는 것을 확인 할 수가 있다.

Fig. 11은 궤적 예측 정지/서행 순항 제어 차량의 시뮬레이션 결과로 차 차량이 선행 차량과의 거리 제어를 위해 헤드웨이 거리를 유지하도록 감속을 하다가 상대 차량의 조향이 시작된 순간부터 상대 차량 궤적을 예측하여 미리 1.5초 부근에서 상대 차량과의 거리 제어가 시작되어 차 차량이 감속하는 것을 볼 수 있다. 상대 차량과의 상대 거리가 약 5m까지 줄어들므로 기존 정지/서행 순항 제어 차량보다 약 1.5m 정도의 상대 거리를 더욱 확보하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 12는 기존 정지/서행 순항 제어 차량의 가속도 변화와 궤적 예측 정지/서행 순항 제어 차량의 가속도 변화를 나타낸 것이다. 결과를 비교하여 볼 때, 두 제어 차량 모델 모두 목표 감가속도 범위 내에서 감속과 가속을 하고 있음을 볼 수가 있다. 하지만, 궤적 예측 정지/서행 순항 제어 차량은 상대 차량의 궤적을 예측하고 예측한 궤적을 통해 거리 제어를 하여 보다 적은 감속도의 응

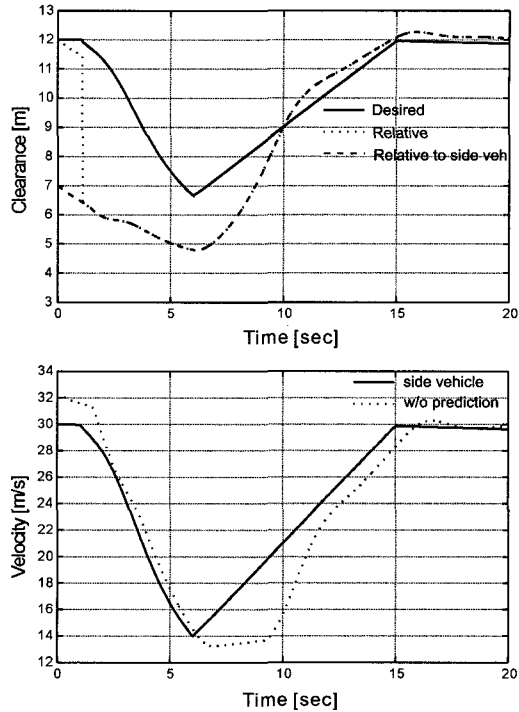


Fig. 11 Stop & go cruise control vehicle using a trajectory prediction method

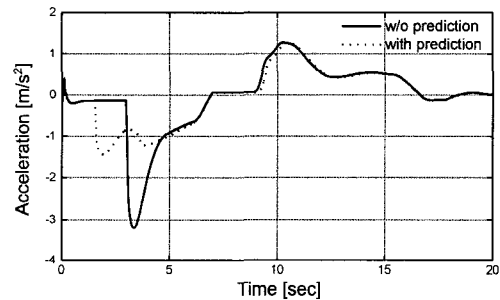


Fig. 12 Comparison of vehicles' acceleration

답 특성을 보이고 있다.

이는 운전자의 승차감을 개선할 수 있는 요인이 되는 조건이므로 기존 정지/서행 순항 제어 차량에 비해 궤적 예측 정지/서행 순항 제어 차량이 보다 개선된 시스템임을 확인할 수가 있다.

Fig. 13은 기존 정지/서행 순항 제어 차량과 궤적 예측 정지/서행 순항 제어 차량의 브레이크 차압 변화를 비교한 그림으로 궤적 예측을 하지 않는 경우 브레이크 차압이 약 3초 부근에서 급격

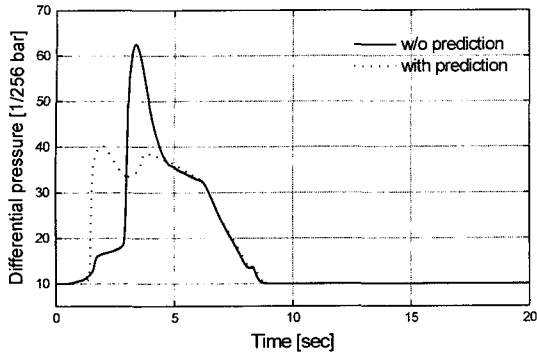


Fig. 13 Comparison of vehicles' differential pressure

히 증가, 감소하는 것을 볼 수 있으나 궤적 예측을 하는 경우에는 1.5초 부근에서 적절한 값으로 증가하여 그 값을 유지하다 감소하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 14는 기존 정지/서행 순항 제어 차량과 궤적 예측 정지/서행 순항 제어 차량의 스톱들 앵글 변화량을 비교한 그림으로 스톱들 앵글의 변화를 보면 시뮬레이션 상에서 중점적으로 보고있는 것이 상대 차량과의 거리 제어를 통한 정지/서행의 결과이므로 해서 궤적 예측을 하는 경우와 별다른 차이가 없음을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 상대 차량의 위치, 속도 및 가속도를 이용해 차량의 궤적을 예측한 뒤, 이를 정지/서행 순항 제어 차량에 적용하여 기존 정지/서행 순항 제어 차량과 비교하였다.

현재의 상대 차량 정보로 제어기를 구성한 기존 제어와는 달리 상대 차량의 예측된 정보를 이용한 제어를 하므로써 상대 차량의 주행 궤적을 예측하고 보다 먼저 상대 차량의 차선 변경 위치를 파악하여 상대 거리(Relative clearance)를 보다 길게 확보하는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있었다.

또한 상대 차량과의 거리 제어를 위해 가속도의 변화가 기존 정지/서행 순항 제어보다 작은 감/가속도로 추종하는 것으로 보아 궤적 예측 기법

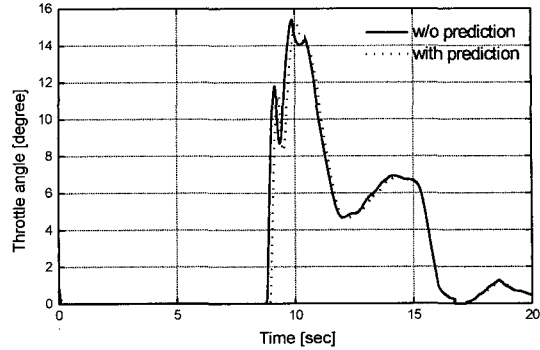


Fig. 14 Comparison of vehicles' throttle angle

을 이용한 정지/서행 순항 제어가 운전자에게 보다 향상된 승차감을 제공할 것이라 생각된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단(KOSEF) 목적기초연구(2000-2-30400-007-3)지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- 1) S. H. Kim, C. H. Song, K. S. Kim, S. Lee, M. Woo, K. Yi, "Hardware-in-the Loop Simulations of a CW/CA System for Automobiles," 5th World Congress on ITS, Paper No. 4077, pp.1-8, 1999.
- 2) S. K. Oh, E. S. Kim, J. J. Lee, "Autonomous Intelligent Cruise Control using Scanning Laser Sensor," 5th World Congress on ITS, Paper No. 4044, pp.1-7, 1998.
- 3) P. Seiler, B. Song, S. Lee, "Application of Nonlinear Control to a Collision Avoidance System," 5th World Congress on ITS, Paper No. 1022, pp.1-8, 1998.
- 4) L. P. Tsao, C. L. Chou, C.M. Chen, C. T. Chen, "Aiming Point Guidance Law for Air-to-Air Missiles," International Journal of Systems Science, Vol.29, No.2, pp.95-102, 1998.
- 5) C.H. Ku, W.H. Tsai, "Obstacle Avoidance in Person Following for Vision-Based Autonomous Land Vehicle Guidance Using Vehicle Location Estimation and Quadratic Pattern Classifier," IEEE Transactions on Industrial Electronics,

- Vol.48, No.1, pp.205-215, 2001.
- 6) K. Yi, S. Lee, "Modeling and Control of an Electronic-Vacuum Booster for Vehicle-to-Vehicle Distance Control," 5th International Symposium on Advanced Vehicle Control, Ann Arbor, USA, Paper No.29, 2000.
- 7) 이동현, 장광수, "슬라이딩 모드를 이용한 차량 간격 자동 제어 알고리즘에 관한 연구," 한국자동차공학회 논문집, 제8권 제2호, pp.92-101, 2000.
- 8) Y. Seki, J. Ohya, M. Miyoshi, "Collision Avoidance System for Vehicles applying Model Predictive Control Theory," IEEE International Conference, Intelligent Transportation Systems, pp.453-458, 1999.