

차량 운전조건과 속도변화를 고려한 요우모멘트제어

장영진, 남광희
포항공과대학교

The Direct Yaw-Moment Control regarding to control the vehicle handling condition

Young Jin Jang, and Kwang Hee Nam
Pohang university of science and technology (POSTECH)

ABSTRACT

By using differential force between left and right wheel, lateral motion can be controlled known as Direct Yaw-moment Control (DYC). In previous researches, DYC control is proposed to increase the stability of the vehicle, but maneuverability has not been discussed sufficiently. The car handling condition which is called the index parameter of maneuverability is dependent on the vehicle velocity and steering angle. To achieve the desired vehicle's cornering path, the car handling condition must be considered sufficiently.

In this paper, the novel DYC method is proposed which gives the car handling condition regardless of the longitudinal speed. The proposed controller is based on the PI controller to feedback the curvature parameter. The controlled system shows the advantages of DYC regarding to the reference trajectory by the dual motor system. With respect to the uncontrolled model, the effectiveness of the proposed method is validated by numerical examples.

1. 서론

많은 논문들이 요우모멘트 제어에 관하여 발표되었다.[1][2] 차량의 요율을 추정할 수 있는 옵저버를 이용함으로써, 차량의 운동이 불안정해지면 각 휠의 독립된 제동력으로 요우모멘트를 제어하여 안정된 주행을 도와주게 된다.[3] 이러한 요우모멘트 제어의 목적은 결국 요율의 변화를 억제함으로써 차량의 주행 안정성 향상에 있다고 할 수 있다.

그러나 차량의 궤도수정에 관한 요우모멘트 제어는 별로 연구되지 않았다. 몇몇 논문에서 차량 운전조건 구현에 관한 요우모멘트 제어가 연구되었으나[4] 속도가 일정하고 제한적인 경우를 다루었다.

이번 논문에서는 전기자동차에서 차량 운전조건을 고려한 차량 궤도 수정 제어방법을 소개한다. 차량운전조건을 변화시킬 수 있는 제어기법을 개발한다. 이 요우모멘트 제어를 이용하여, 차량의 속도가 임의로 변할 때, 궤도를 일정하게 유지시킬 제어방법을 연구한다.

2. 요우모멘트를 이용한 차량 궤도 제어

2.1 자전거 모델

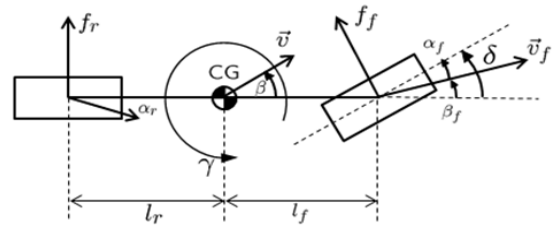


그림 1 자동차의 자전거 모델

그림 1과 같이 자동차의 횡력에 관한 식은 자전거 모델[5]을 통해서 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(v)x(t) + B(v)u(t), \\ x(t) &= \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix}, u(t) = \begin{bmatrix} \delta \\ N_z \end{bmatrix}, \\ A(v) &= \begin{bmatrix} -\frac{2(C_f+C_r)}{mv} & -1 - \frac{2(l_f C_f - l_r C_r)}{mv} \\ -\frac{2(l_f C_f - l_r C_r)}{I} & -\frac{2(l_f^2 C_f + l_r^2 C_r)}{Iv} \end{bmatrix}, \\ B(v) &= \begin{bmatrix} \frac{2C_f}{I} & 0 \\ \frac{2l_f C_f}{I} & \frac{1}{I} \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (1)$$

2.2 차량 운전 조건

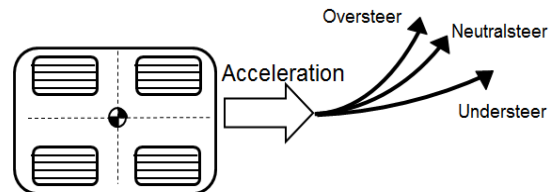


그림 2 차량 운전 조건에 따른 궤도변화

차량 운전조건은 크게 3가지로 나뉜다. 그림 2 에서 볼 수 있듯, 차량이 가속했을 때 곡률반경이 커지는 경우 understeer 이라 한다. 이는 바퀴의 강성계수가 $l_f C_f, l_r C_r < 0$ 을 만족할 때로 일반 차량에서 발생하는 특성이다. neutralsteer는 속도와 관계없이 곡률반경이 일정한 경우이고, oversteer는 곡률반경이 줄어들 때이다.

2.2.1. Neutralsteer 모델

Neutralsteer는 (1) 식에서 속도가 어떤 특정한 상수를 가진

경우로 생각할 수 있다. 속도가 일정할 때 결국 곡률반경이 바뀌지 않기 때문이다. 따라서 기존 understeer 모델식을 이용하여 얻은 neutralsteer식은 다음과 같다. $v(t) = v_c$

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{x}} &= A(v_c)\tilde{x} + B(v_c)\tilde{u}, \\ \tilde{x} &= \begin{bmatrix} \tilde{\beta} \\ \tilde{\gamma} \end{bmatrix}, u(t) = \begin{bmatrix} \delta \\ 0 \end{bmatrix}, \\ A(v_c) &= \begin{bmatrix} -\frac{2(C_f+C_r)}{mv_c} & -1 - \frac{2(l_f C_f - l_r C_r)}{mv_c^2} \\ -\frac{2(l_f C_f - l_r C_r)}{I} & -\frac{2(l_f^2 C_f + l_r^2 C_r)}{I v_c} \end{bmatrix}, \\ \tilde{B}(v_c) &= \begin{bmatrix} \frac{2C_f}{I} \\ \frac{2l_f C_f}{I} \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (2)$$

2.3 곡률반경 상수

곡률반경은 k라는 변수를 도입해서 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} k &= \frac{\dot{\beta} + \gamma}{v} \\ &= \frac{1}{v} \left[-\frac{2(C_f+C_r)}{mv} \beta - \left(\frac{2(C_f l_f - C_r l_r)}{mv^2} - 1 \right) \gamma + 2 \frac{C_f}{mv} \delta + \gamma \right] \\ &= -\frac{2(C_f+C_r)}{mv^2} \beta - \frac{2(C_f l_f - C_r l_r)}{mv^3} \gamma + 2 \frac{C_f}{mv^2} \delta \end{aligned} \quad (3)$$

변수 k는 차량이 순간회전정도를 측정하는 변수로 생각될 수 있다. 곡률반경정의에 따라서 차량의 위치는 k를 사용하여 표현할 수 있으며[6], 최종적으로 곡률반경을 판단할수 있는 변수라는 것을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \int_0^t v(\tau)k(\tau)d\tau + \theta(0) \\ x(t) &= \int_0^t v(\tau) \cos \theta(\tau)d\tau + x(0) \\ y(t) &= \int_0^t v(\tau) \sin \theta(\tau)d\tau + y(0) \end{aligned} \quad (4)$$

2.4 궤도 제어 시스템

차량 운전조건에 따른 궤도제어는 다음과 같다.

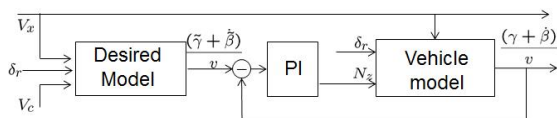


그림 3 차량 궤도 제어 시스템

이번 논문에서는 PI 제어기에 기반하여 요우모멘트 제어방식을 제안한다. 특정한 속도(Vc)값을 토대로 우리가 원하는 곡률반경을 가진 neutralsteer 식을 얻을 수 있다. 이를 이용하여 곡률반경 k를 보상하는 PI제어기를 이용하여 회전시, 차량이 neutralsteer가 되도록 맞춰줄 수가 있다.

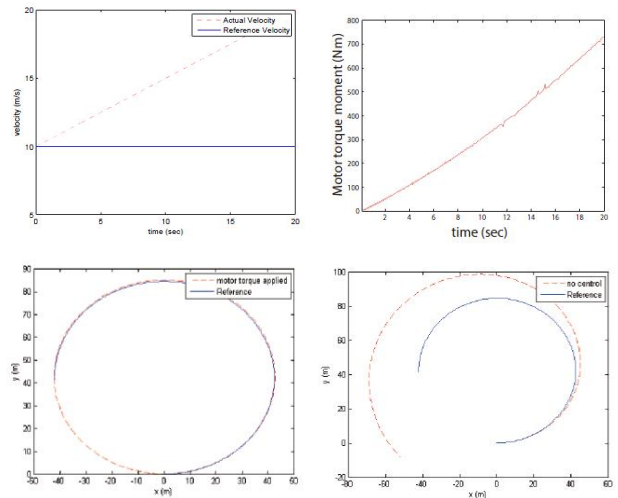
3. 시뮬레이션

표 1 요우모멘트제어의 변수들

C_f	50000	l_f	0.689m
C_r	80000	l_r	0.591m
m	400kg		

차량속도를 20초동안 10m/s에서 20m/s로 가속시킬 때, 요우모멘트 제어가 어떻게 작용하는지 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 가속으로 인해 기존의 궤적은 곡률반경이 커지는 모양을

보였지만, 요우모멘트 제어를 했을때는 곡률반경이 유지되는 neutralsteer의 궤적을 보임을 알 수 있다.



4. 결론

본 논문에서는 속도가 변할 때 차량 운전조건을 고려한 차량 궤도수정 제어를 제안하였다. 곡률반경을 판단할 변수로, 요우모멘트와 차량미끄러짐각, 조향각을 활용한 k라는 변수를 도입했다. 이를 PI 제어를 통해서 차량운전조건을 변경하였고 시뮬레이션 결과 곡률반경이 잘 제어됨을 알 수 있었다.

이 논문은 포항공과대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고 문헌

- [1] Y. Hori, "Vehicle Driven by Electricity and Control. REsearch on Four Wheel Motord 'UOT Electric March II'", in *IEEE Trans on Industrial Electronics*, vol. 51, no. 5, pp. 954-962, 2004.
- [2] S. Sakai, H. Sado, and Y. Hori, "MOtion control in an Electric Vehicle with 4 independently Driven In Wheel Motors", in *IEEE Trans. on Mechatronics*, vol. 4, no. 1, pp. 9-16, 1999.
- [3] H. Fujimoto, T. Saito, and T. Noguchi, "Motion Stabilization control of Electric Vehicle under Snowy conditions Based on Yaw Moment Observer", in *Proc. 8th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control(AMC'04)*, pp. 35-40, 2004.
- [4] H. Okjima, S. Yonaha, N. Matunaga and S. Kawaji, "Direct Yaw Moment Control Method for Electric Vehicles to Follow the Desired Path by Driver", in *Proceedings of SICE Annual conference*, pp. 642-647, 2010.
- [5] R. Rajamani, "Vehicle Dynamics and Control", in *Springer*, 2012.
- [6] J. M. Lee, "Riemannian Manifolds : An Introduction to Curvature", in *Springer*, 1997.