

IVHS에서의 Fuzzy 논리를 이용한 차량의 차선 변경 제어

임형순, 김명중, 이창구
전북대학교 제어계측공학과

Control of Lane Change of Vehicles using Fuzzy Logic for the Intelligent Vehicle Highway System (IVHS)

Hyung-Soon Lim, Myung-Joong Kim, Chang-Goo Lee
Dept. of Control and Instrumentation Engineering, Chon-Buk National University

Abstract - A lane change maneuver is a part of lateral control of an automated highway system. Assuming no direct measurement of its position during transition from one lane to another, A vehicle is controlled to follow the virtual desired trajectory using only on-board sensors. This paper investigates the development of a fuzzy controller for automated lateral control during emergencies. The performance of the fuzzy controller is presented at 20m/s for a step lane change and a double lane change. The robustness of fuzzy controller is investigated with respect to change in tire parameters and the number of passengers.

yaw-plane 모델을 이용하였고 운동방정식은 다음과 같이 구할 수 있다[10].

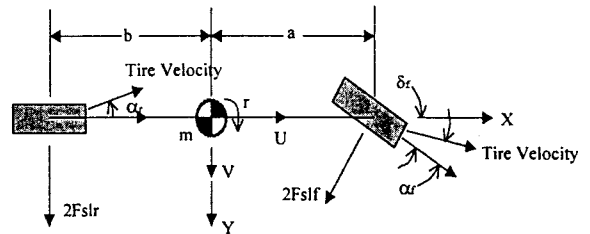


그림 1. 자동차 모델

1. 서 론

Intelligent Vehicle Highway System (IVHS)은 한정된 도로상에서 계속적인 자동차의 증가로 인하여 발생하는 정체문제를 해결하고 도로의 효율성을 높이기 위해 제안된 시스템이다. IVHS에서 자동차 제어에 관련하여 longitudinal 제어와 lateral 제어가 있으며, lateral 제어는 자동차가 도로의 차선을 안정적으로 추적하도록 하는 lane following과 차선을 변경하는 lane change로 나뉘어 연구되고 있다.

지금까지 lane following에 관하여는 많은 연구가 되어왔다. 특히 Peng과 Tomizuka는 다양한 자동차의 모델과 제어 알고리즘을 개발하였고 많은 실험 테스트를 통한 검증을 하였다[1,2,3,4,5,6]. 이에 반하여 lane change는 상대적으로 연구가 거의 이루어지지 않고 있다. 자동차가 일반 주행시 제어를 설계하면서 우선적으로 고려해야 할 것은 탑승자의 편안한 승차감이다. 그러나 차선 변경과 같은 우발적인 변화가 발생할 때에는 탑승자의 안전이 우선적으로 고려되어야 한다. Godthelp는 연구를 통하여 차선 변경시 인간은 정현과 적인 운전 패턴을 나타냄을 발견하였다.

본 논문에서는 탑승자의 안전을 우선적으로 고려한 자동차의 차선 변경을 위한 퍼지 lateral 제어를 설계하였다. 퍼지 제어 알고리즘을 적용하여 인간이 가지는 정성적 지식을 사용하여 인간에게 익숙한 운전을 하도록 하였고 좀더 이상적인 경로를 통하여 차선을 변경하도록 하였다. 이 제어를 단일 차선 변경과 이중 차선 변경에 적용하여 질량변화, 다양한 초기값에 따른 제어기 동작의 강인성등을 Nonlinear-Gain-Optimized(NGO) [8, 9]제어기와 비교하여 우수한 특성을 나타냄을 보였다.

2. 시스템 모델

본 논문에서는 간략화된 선형 자동차 모델을 사용하여 제어를 설계하였다. 그림 1.과 같이 yaw 속도와 lateral 속도만을 고려한 2차 자유도(DOF)

$$\dot{V} = \frac{1}{m}(-mUr + 2F_{slf} + 2F_{slr})$$

$$\dot{r} = \frac{1}{I_{zz}}(2aF_{slf} - 2bF_{slr})$$

위의 방정식에서 U, V, r은 각각 longitudinal, lateral 속도, yaw rate를 나타낸다. F_{sl} 은 타이어에 작용하는 lagged side force를 나타내고, I_{zz} 은 yaw 관성 모멘트를 나타낸다.

2 자유도 자동차 모델에 사용된 타이어 모델은 일차 타이어 side-force lag를 가진 타이어 side-slip 각도에 의하여 구성된 선형 모델이다.

$$\alpha_f = \delta_f - \left(\frac{V + ar}{U}\right)$$

$$\alpha_r = \frac{br - V}{U}$$

$$F_{slf} = (C_{af}\alpha_f - F_{slf})/\tau_{sl}$$

$$F_{slr} = (C_{ar}\alpha_r - F_{slr})/\tau_{sl}$$

$$\tau_{sl} = \frac{C_{sl}R}{U}$$

α_f, α_r 는 각각 앞, 뒤의 slip 각도를 나타내고, C_o 는 타이어에 작용하는 cornering stiffness 이다. R은 바퀴의 회전 반경을 나타내고, τ_{sl} 은 tire side force lag를 나타낸다.

그림 2.에서 자동차와 패스경로와의 관계를 나타내었다. 자동차 무게중심의 lateral offset(Δy)과 자동차의 방향 앵글($\Delta\psi$)의 두개의 변수로 자동차와 패스와의 관계를 정의하였다.

$$\dot{\Delta y} = V + U\Delta\psi$$

$$\dot{\Delta\psi} = r$$

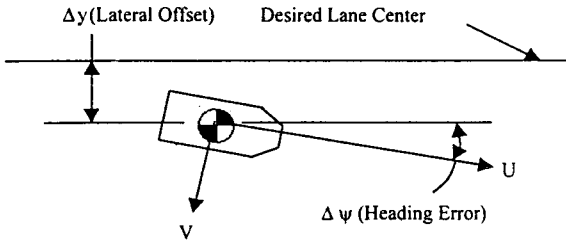


그림 2 자동차와 패스와의 관계

조향 입력으로는 앞 바퀴의 각이어야 하며, 조향 역추 에이터는 다음과 같이 일차 시스템으로 설계된다.

$$\delta_f = \frac{G_{ss} E_{in}}{\tau_{sw}s + 1}$$

선형 차/타이어 모델은 앞의 모델식들에 의하여 다음과 같은 상태 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\dot{X} = AX + BE_{in}$$

$$X = [\Delta y \ \Delta\psi \ V \ r \ F_{slf} \ F_{slr} \ \delta_f]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & U & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -U & \frac{2}{m} & \frac{2}{m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2a}{I_{zz}} & -\frac{2b}{I_{zz}} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{C_{\alpha f}}{C_{sl}R} & -\frac{aC_{\alpha f}}{C_{sl}R} & -\frac{U}{C_{sl}R} & 0 & \frac{UC_{\alpha f}}{C_{sl}R} \\ 0 & 0 & -\frac{C_{\alpha r}}{C_{sl}R} & \frac{bC_{\alpha f}}{C_{sl}R} & 0 & -\frac{U}{C_{sl}R} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_{sw}} \end{bmatrix}$$

$$B = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \frac{G_{ss}}{\tau_{sw}}]^T$$

3. 제어기 설계

제안된 퍼지 제어기의 입력 변수는 lateral offset (Δy)과 방향 에러($\Delta\psi$)를 사용하였다. 규칙의 정성적 표현을 정량화 하기위해 전건부의 입력변수와 결론부의 출력변수는 7개의 언어 집합을 사용하였다. (NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB) 규칙의 소속함수는 전건부는 비교적 계산이 간단한 좌우 대칭 삼각형 형태로 일곱부분으로 분할하여 설계하였다. 입력력 변수에 대한 각 퍼지 멤버십 함수는 그림 3.에 나타내었다. 표 1.은 사용된 퍼지 적응규칙을 나타내고 있으며 49개의 규칙기반으로 구성된다.

Rule1 : IF Δy is A_1 and $\Delta\psi$ is B_1 then E_{in} is C_1
 \vdots
 RuleN : IF Δy is A_N and $\Delta\psi$ is B_N then E_{in} is C_N

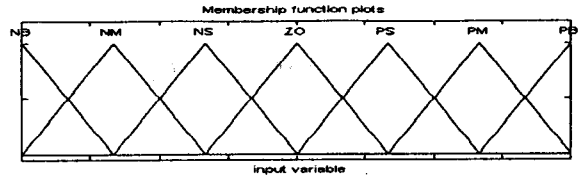


그림 3. 파라미터 추정시 사용된 퍼지집합의 소속함수

표 1. 제어규칙

	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	ZO
NM	PB	PB	PB	PM	PS	ZO	NS
NS	PB	PB	PM	PS	ZO	NS	NM
ZO	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PS	PM	PS	ZO	NS	NM	NB	NB
PM	PS	ZO	NS	NM	NB	NB	NB
PB	ZO	NS	NM	NB	NB	NB	NB

4. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 퍼지 제어기의 타당성을 확인하기 위하여 단일 차선 변경과 이중 차선 변경의 경우에 대해 시뮬레이션을 시행하였다. 자동차의 속도는 20%로 고정하였고 바람, 모래 등의 외란 요소가 없는 정상 도로 상태라고 가정하였다.

4.1 단일 차선 변경

첫 번째로 제어기의 동작을 확인하기 위하여 2차 자동차 모델의 스텝 응답을 살펴보았다. 스텝 입력이 가해졌을 때 인간은 순간 과격하게 핸들을 꺾으면서 급격한 반응을 보인다.

그림 4.에 단일 차선 변경시의 응답을 나타내었다. (a)에서 보는바와 같이 이동 거리는 두 개의 제어기 거리의 7.5m로 같으나 (b)lateral 속도나 (c)yaw rate, (d)조향 입력등에서 NGO 제어기에 비하여 퍼지 제어기의 응답이 더 좋은 것을 알 수 있다.

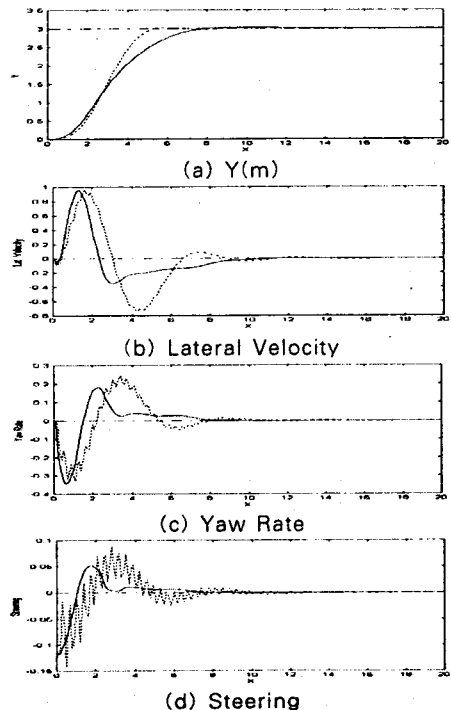


그림 4. 단일 차선 변경시 제어기의 결과 비교 (— : 퍼지 제어, --- : NGO 제어)

4.2 이중 차선 변경

이중 차선 변경의 경우 서로 반대 방향으로 두 번의 단일 차선 변경을 한다고 볼 수 있다. 이런 경우 일반적인 제어기를 적용하면 spinout 현상이 발생한다.

그림 5.에 이중 차선을 변경할 때의 응답 특성을 나타내었다. 여기에서도 퍼지 제어기가 보다 안정적인 특성을 나타내는 것을 볼 수 있다.

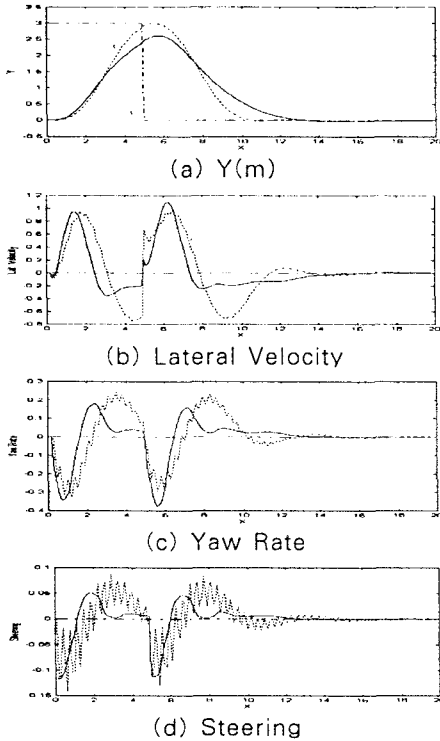


그림 5. 이중 차선 변경시 제어기의 결과 비교
(— : 퍼지 제어, --- : NGO 제어)

4.3 강인성

제어 시스템이 효과가 있기 위해서는 시스템 파라미터의 변화에 대하여 강인성을 지녀야 한다. 여기에서는 타이어 파라미터와 탑승자 수의 변화에 따른 강인성을 시뮬레이션 하였다.

타이어의 경우 닳거나 주위 온도, 팽창 압력등에 의하여 특성이 변하는데 이것은 제어 시스템을 설계하는데 큰 영향을 끼치게 된다. 이런 영향에 의하여 lateral 모션에 영향을 끼치는 타이어 파라미터는 타이어 stiffness, C_a 이다. C_a 는 기준값, 30,000N/rad.의 -50%~25%에서 변하는 경우의 응답 특성을 살펴보았다.

자동차의 질량은 탑승자의 수에 따라서 변한다. 평균적으로 탑승자 일인은 80Kg의 무게가 나간다고 가정하고 최대 4명의 인원이 탑승하였을 경우의 응답을 살펴 보았다.

5. 결 론

선형 2차 자동차 모델에 퍼지 알고리즘을 적용하여 자동차가 차선을 변경할 때 발생하는 돌발적 상황에 탑승자의 안전을 우선적으로 고려한 인간 숙련자의 운전을 모방한 퍼지 lateral 제어기를 설계하였다.

단일 차선 변경과 이중 차선 변경에 퍼지 제어기를 적용하여 NGO제어기와 비교하여 퍼지 제어기가 안전하고 안정적인 응답을 보임을 관찰할 수 있었다. 그리고 시스템 파라미터를 변화시켰을 때의 응답도 관찰하여 C_a 가

$\pm 25\%$ 의 범위에서 변화하였을 때 robustness 특성도 우수함을 보였다.

앞으로 lateral 제어와 속도 제어를 동시에 수행할 수 있는 제어기를 개발하여 범용성을 확장시킬 계획이다.

표 2. 단일 차선 변경시 시스템 파라미터의 변화에 따른 응답특성

C_a (N/rad)	Overshoot (m)	Travel Distance (m)	Steady-State Distance (m)
15000	0.366	16.73	34.20
26250	0.113	15.36	24.20
37500	0.007	15.15	24.65
탑승자수			
2	0.046	15.60	20.64
3	0.032	15.99	21.23
4	0.022	16.66	21.92

(참고 문헌)

- [1] H. Peng and M. Tomizuka. "Preview Control for Vehicle Guidance in Highway Automation", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 115:679-686, December 1993
- [2] R. E. Fenton and R. J. Mayhan. "Automated Highway Studies at The Ohio State University - An Overview". IEEE Transactions on Vehicular Technology, 40(1):100-113, 1991
- [3] S. E. Shladover, C. A. Desoer, J. K. Hedrick, M. Tomizuka, J. Walrand, W. Zhang, D. H. McMahon, H. Peng, S. Sheikholeslam, and N. McKeown. "Automatic Vehicle Control Developments in the PATH Program", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 40(1):114-130, 1991.
- [4] A. Y. Lee. "A Preview Steering Autopilot Control Algorithm for Four-Wheel-Steering Passenger Vehicles", In Advanced Automotive Technologies - 1989, pages 83-98, ASME, 1989, DSC-Vol. 13.
- [5] E. D. Dickmans and A. Zapp. "Autonomous High Speed Road Vehicle Guidance by Computer Vision", Preprints IFAC-Congress 1986, 4:232-237, 1986.
- [6] H. Hwtwal and E. C. Mikulcik. "An Optimal Control Approach to the Path Tracking Problem for an Automobile", Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, 10(4):233-241, 1986.
- [7] Godthelp, J., van der Horst, A.R.A., Burrij, S., and van de Lagemaat, C.. "Open and Closed Loop Steering in a Lane Change Maneuver", Institute for Perception: National Defense Research Organization TNO group, November 1983.
- [8] D. E. Smith and J. M. Starkey. "The Effects of Model Complexity On The Performance Of Automated Vehicle Steering Controllers: Controller Development and Evaluation", Vehicle System Dynamics, 23(8):627-645, 1994.
- [9] D. E. Smith and J. M. Starkey. "The Effects of Model Complexity On The Performance Of Automated Vehicle Steering Controllers: Model Development, Validation and Comparison", Vehicle System Dynamics, 1995. In press.
- [10] D. E. Smith, J. M. Starkey and R. E. Benton. "Nonlinear-Gain-Optimized Controller Development and Evaluation for Automated Emergency Vehicle Steering", American Control Conference, FM6-2:15, June, 1995.