Copyright ⓒ 2013 KSAE
KSAE13-B0307

후진시의 전방 추돌 방지를 위한 조향 보조 시스템 개발

노윤갑[1)] · 최세범[2)]
KAIST 미래자동차학제[1)2)]

Development of Active Front Steering System for Front Collision Prevention on Reverse Maneuver

Yoonkab Noh[1)] · Seibum Choi[2)]

[1)2)] *Department of Mechanical Engineering, KAIST, 373-1 Guseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Korea*

Abstract : In this paper, an active front steering(AFS) algorithm for preventing front collision on low reverse speed is proposed. Whenever a driver wants a car to be pulled out from a parking lot by going reverse, it is hard to determine whether a front part of a vehicle will collide with another side vehicle. When it comes to a vehicle with long nose, the driver should be careful not to apply a large amount of steering which will cause a collision with another side vehicle. The driver will be also distracted by concentrating vehicle's rear part when going reverse. Proposed algorithm uses an ultrasonic sensor installed on the front side of a vehicle which estimates the distance from a side vehicle, calculates optimal steering angle which will not cause to collide with a side vehicle and limits the driver's steering. Also, by continuously calculating the amount of steer limit value, proposed algorithm aids a driver to optimally turn the vehicle, meaning that a vehicle to be turned with minimal turning radius. The simulation has been performed by using CARSIM which is well known as a vehicle dynamic simulator to verify the effectiveness of the proposed AFS algorithm in common parking lot environments.

Key words : AFS(능동 조향 보조), Automated parking(자동 주차), Reverse steer(후진 조향), Automotive control(차량 제어), Collision prevention(충돌 방지)

Nomenclature

L : Length of wheel-base
L_f : Length of a front nose
δ : Front tires' average steer angle
δ_o : Outer front tire's steer angle
R_o : Outer front tire's turning radius
$R_{om\ ax}$: Outer front tip's turning radius
I_w : Length of wheel-track
Ψ : Yaw angle

Subscripts

AFS : Active front steering
SPAS : Smart parking assist system
ACC : Adaptive cruise control

1. 서 론

최근의 양산용 자동차에는 차량의 모든 방향에 초음파 센서, 카메라, 열화상 카메라 또는 레이더 등을 설치함으로써 운전자로 하여금 주변 환경을

* 노윤갑, E-mail: yoonkab.noh@kaist.ac.kr.

보다 정확히 인지하고 반응하도록 하고 있다.[1][2] 또한 이러한 장치들을 이용하여 자동 주차 시스템(SPAS), 자동 항속 제어 시스템(ACC) 등이 개발됨으로써 운전자의 편의성을 향상시키고 있다.[3][4] 차량이 후진을 할 때에는, 대부분의 시스템들이 운전자가 인지하기 어려운 차량의 후방 환경을 카메라 또는 초음파 센서를 설치하여 운전자를 보조한다. 그러나 상황에 따라서 차량의 전방 부분이 추돌할 가능성이 있는데, 운전자는 후진 시에는 자연스럽게 후방 추돌 방지 보조 시스템에 집중하게 됨에 따라서 전방의 상황에 대해서는 잘 집중하지 못하게 된다. 특히 대형 세단 같이 본넷 부분이 긴 차량이 후진을 하여 주차 상태에서 빠져 나오려는 경우, 운전자가 전방을 보고 있다고 하더라도 차량의 전방이 측면 차량에 추돌하는지를 분간하기가 어렵다.

본 논문에서는, 전방의 초음파 센서 또는 레이더로부터 얻은 측면 차량과의 거리를 이용하여, 측면 차량과 추돌하지 않는 최대 스티어링 앵글 값을 계산하고, 이를 능동 조향 보조 시스템에 적용하여 운전자의 스티어링 각을 제한함으로써 주차된 차량이 측면 차량과 접촉하지 않고 빠져나올 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 최대 스티어링 각을 실시간으로 계산함으로써 후진 선회 시 측면 차량과 추돌하지 않는 선에서 차량의 회전을 최대로 할 수 있는 최적의 경로를 추종하도록 하였다. 그리고 설계된 알고리즘의 효과를 검증하기 위해 차량 동역학 시뮬레이션 프로그램인 Carsim 및 Simulink 를 연동하여 3D animator를 구성 및 시뮬레이션 하였고, 그 결과 알고리즘을 적용한 차량이 측면 차량과 추돌하지 않고 빠져나올 수 있음을 보였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 측면 차량과 추돌하지 않기 위한 최적의 스티어링 각을 얻는 방법 및 설계한 알고리즘이 설명된다. 3장에서는 설계된 알고리즘의 검증을 위해 Carsim을 통한 시뮬레이션 결과에 대해 논의된다.

2. 최적 스티어링 값 추정 알고리즘

차량의 회전 Kinematics를 이용하여 스티어링 각에 따른 차체의 궤적을 예상하고, 이로부터 측면 차량과 접촉하지 않는 범위 내에서의 스티어링 각을 실시간으로 계산한다.

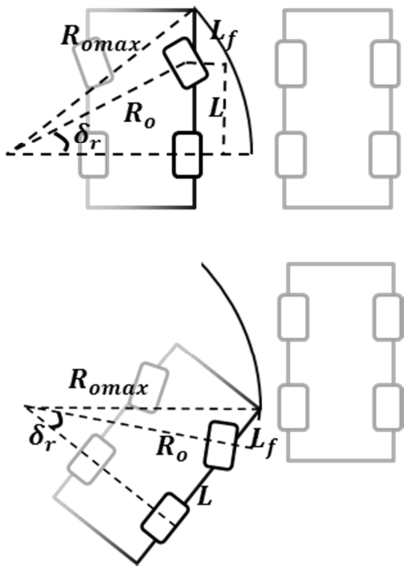

그림 1. Vehicle turning kinematics

2.1 최대 선회 가능 스티어링 값 계산

차량의 후진 선회 시에는 속력이 크지 않기 때문에 동역학적인 요소를 고려할 필요가 없다. 다만 이러한 저속 주행 시에는 고속 주행 시보다 비교적 큰 스티어링 각을 이용하고, 계산 영역 또한 1미터 이내이기 때문에 계산 과정에서 코사인 함수나 사인 함수 등의 근사화를 피해야 한다.

그림 1은 후진 선회 시 상단 끝부분의 궤적을 나타낸 것이다. 이 궤적은 외륜의 반경보다 더 큰 반경인 R_{omax}의 궤적을 따라 선회하게 된다. 그림 1과 같은 후진 선회로 발생하는 횡 방향 편차는 R_{omax}와 뒷바퀴 외륜의 궤적인 $R_o \cos \delta_o$ 의 차이가 되고, 그림 1의 아래 도식과 같이 R_{omax}의 궤적이 측면 차량거리와 평행을 이룰 때 최대가 된다. 그러므로 이 둘의 차이가 측면 차량과의 거리보다 크지 않아야 접촉을 피할 수 있다. 그림 1의 아래 도식으로부터 횡방향 편차를 구하면 다음과 같다.

$$R_{omax} - R_o \cos \delta_o \le y_{space} \quad (1)$$

δ_o은 외륜의 타이어 스티어링 각으로, Ackerman angle에 의해 외륜의 타이어가 내륜의 타이어보다

더 많이 꺾이게 된다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다. [5]

$$\delta_o = \delta + \delta^2 \frac{l_w}{2L} \quad (2)$$

R_o은 앞 바퀴 외륜의 궤적으로 스티어링 각 및 차량의 휠 베이스로 표현할 수 있다. Average ackerman angle은 스티어링 각이 많이 발생하는 주차 운전 시에서는 오차가 크므로 근사화하지 않고 다음과 같이 나타낸다.

$$R_o = \frac{L}{\sin \delta_o} \quad (3)$$

$R_{om\,ax}$는 차량 선회 시의 바깥쪽 상단 끝부분으로, 그림 1에서 코사인 법칙에 의해 구해진다.

$$R_{om\,ax} = \sqrt{R_o^2 + L_f^2 - 2R_o L_f \cos(90 + \delta_o)} \quad (4)$$

식 (2), (3) 및 (4)를 (1)에 대입하고 δ를 계산함으로써 운전자의 측면 차량과 접촉하지 않는 최대 선회 가능 스티어링 각을 알아낼 수 있다.

2.2 선회 가능한 횡 방향 거리 추정

식 (1)에서의 y_{space} 는 그림 2에서 보는 것 같이 선회 가능한 횡 방향 거리를 말한다. 만약 이 횡 방향 거리가 초기 측면차량과의 거리 값으로 고정되어 있다면 계산되는 스티어링 각 또한 고정되고, 이 스티어링 각 입력으로 후진 선회를 하면 측면 차량과 접촉은 면할 수 있지만 효율적인 선회를 하지 못한다. 효율적인 선회란 차량의 방향을 최대한 빠르게 꺾을 수 있는 회전을 말한다. 후진 선회를 어느 정도 진행하여 횡 방향 편차가 최대값을 가지게 되는 이후로는 이 횡 방향 편차는 다시 줄어들게 되고, 그만큼 선회 여유도 발생하기 때문에 입력 스티어링 각 입력을 더 추가하여 최적의 회전 반경을 얻는 효율적인 선회를 할 수 있다.

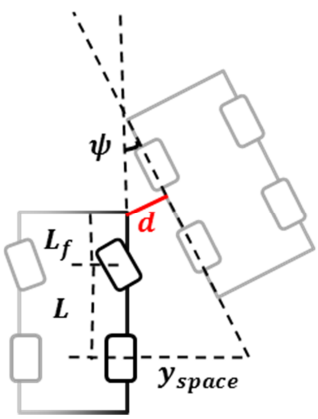

그림 2. 선회 가능 거리 추정

그림 2의 d는 초음파 센서가 실시간으로 추정하는 측면차량과의 거리이다. 초음파 센서는 차량의 모서리로부터 근접한 물체와의 최단 거리를 측정할 수 있다고 가정한다.

그림 2에서 y_{space} 를 구하면 다음과 같다.

$$y_{space} = \left(\frac{d}{\sin(\psi)} + L + L_f\right)\tan(\psi) = \frac{d}{\cos(\psi)} + (L + L_f)\tan(\psi) \quad (5)$$

여기서 ψ는 후진 선회를 시작한 후 발생한 요각으로, 요 레이트를 적분하여 추측할 수 있다.

식 (5)를 다시 식(1)에 대입하여 스티어링 각을 계산하면 실시간으로 최적의 스티어링 각을 얻을 수 있고, 측면 차량과 충돌하지 않는 선에서 최적의 회전 반경을 얻을 수 있다.

2.3 전체 조향 보조 알고리즘

설계한 알고리즘은 차량 센서로부터 얻는 입력 신호를 처리하여 측면의 상황을 예측하고, 측면 차량 또는 장애물과 충돌하지 않는 최적의 스티어링 각을 계산하여, 운전자가 가할 수 있는 스티어링 값을 제한한다. (1)의 식에서 여유 거리 y_{space} 는 주차 상태에서 빠져 나올수록 증가하며, 그에 따라 운전자가 가할 수 있는 스티어링 값도 천천히 증가하게 되고, 차량이 최적의 코스로 후진 선회를 할 수 있도록 유도한다. 식 (1)의 경우 직접 해를 구할 수 없으므로 Non-linear Solver 등을 이용하여 δ를 구해야 하는데, 본 논문에서는 보다 간단한 Iteration 기법을 이용하여 δ의 근사값을 구할 수 있도록 하였다.

3. 시뮬레이션

제안한 알고리즘은 Simulink로 설계하였으며, 차량 동역학 시뮬레이션 상용 프로그램인 Carsim과 연동하였다. 알고리즘은 측면차량과 차량 모서리부분의 최단거리 d와 요 레이트를 Carsim으로부터 입력 받아 최적의 스티어링 각 δ를 계산하고 출력한다. 시뮬레이션 결과는 스티어링 값 및 Carsim의 Animator를 통하여 가시화하였다.

3.1 측면 차량 충돌 방지 시뮬레이션

시뮬레이션은 그림 3과 같은 환경에서 수행하였다. 실험 차량은 측면 차량과 각각 50cm, 25cm씩 간격을 두고 주차된 상태에서, 측면 차량과 충돌하지 않는 최대의 스티어링 각으로 후진 선회하여 빠져나올 수 있도록 하였다. 그림 4는 두 시뮬레이션에서의 타이어 스티어링 각을 나타낸다. 운전자가 그림4의 스티어링 각 이하로만 스티어링을 한다면 측면 차량과 충돌하는 경우는 없을 것이다. 또한 시간이 지날수록 선회 가능한 측면 여유거리가 증가하기 때문에 운전자가 가할 수 있는 스티어링 각도 증가하게 된다.

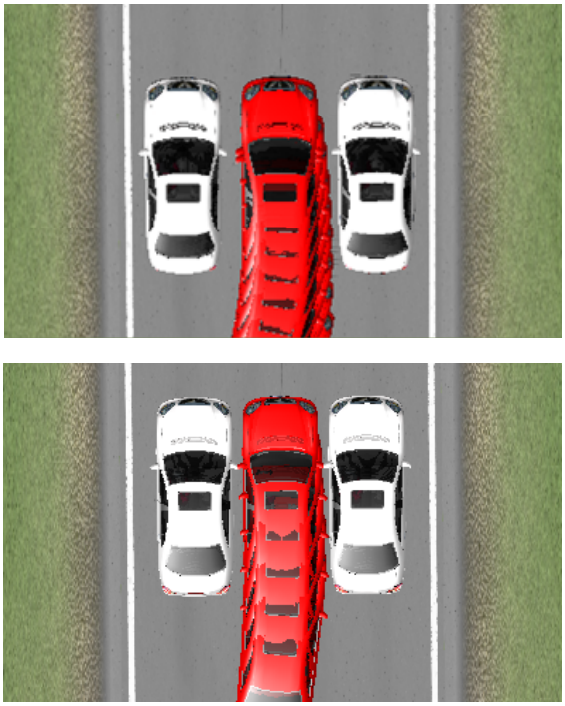

그림 3. 측면 간격 50cm 및 25cm 일 때의 후진 선회 시 차량 궤적

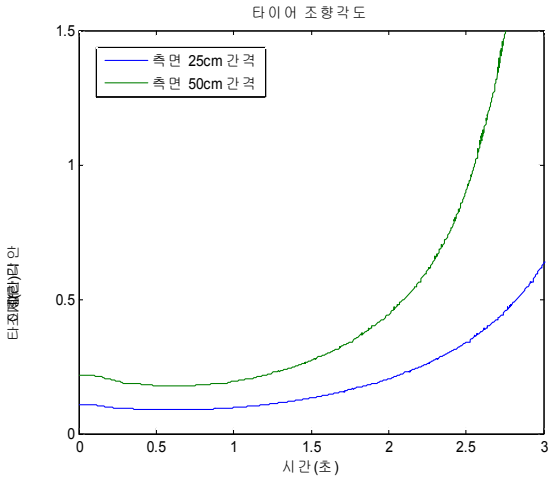

그림 4. 측면 차량과의 거리에 따른 입력되는 타이어 스티어링 각도

3.2 최적 선회 반경 계산

그림 5에서는 측면 차량과 50cm의 간격을 두고 주차된 상태에서 y_{space} 를 각각 고정 그리고 가변되도록 하였을 경우의 차량 궤적이다. 센서로부터 읽는 측면 차량과의 거리를 초기값으로 고정할 경우,

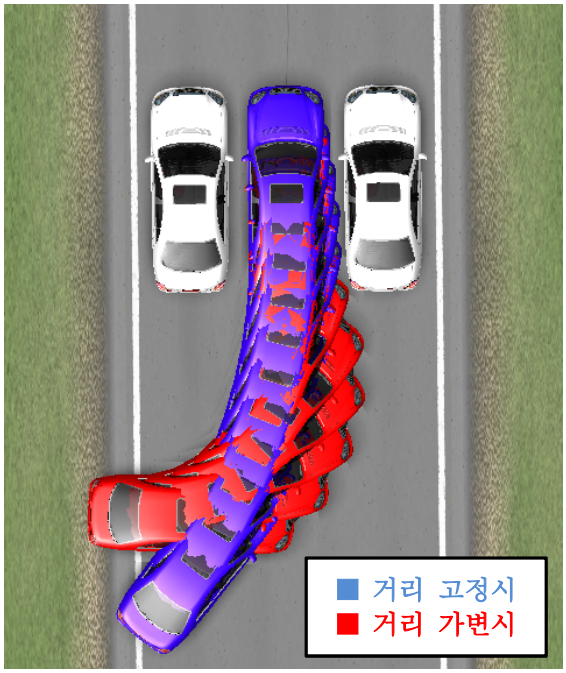

그림 5. 선회 가능한 횡방향 거리를 고정 또는 가변했을 경우의 차량 경로

측면 차량과의 충돌은 피할 수 있지만, 최적의 선회 반경으로 회전할 수는 없다. y_{space} 를 실시간으로 계산하여 스티어링 각을 변화시킬 경우, 그림 5에서의 차량 궤적과 같이 보다 작은 회전반경으로 후진 선회를 하여 주차 상태에서 빠져나올 수 있다.

4. 결 론

오늘날 양산되는 차량에는 전방 및 측 후방에 초음파 센서나 카메라 등을 설치하여 운전자가 보다 안전한 주행 및 주차를 할 수 있도록 하는 많은 시스템들이 개발되고 있다. 만약 차량이 후진 주행을 하는 중이라면 운전자는 차량의 뒤쪽을 주로 신경 쓰게 되는데, 주차장 같은 차량의 밀도가 높은 곳에서는 이러한 후진 상황에서도 운전 미숙으로 인하여 전방 접촉으로 인한 충돌사고가 일어나고 있는 편이다.

본 연구에서는 전방 초음파 센서 및 능동 조향 보조 시스템을 활용하여 후진 선회를 보조하는 알고리즘을 설계하고 이를 시뮬레이션을 통해 보여주었다. 첫째로, 후진 시 측면 차량과 충돌하지 않는 스티어링 각을 계산하고 운전자의 스티어를 제한함으로써 주차 상태에서 쉽게 빠져나올 수 있도록 하였다. 둘째로, 실시간으로 선회 가능 거리를 추정함으로써 차량이 최소의 반경을 가지고 회전할 수 있도록 하여 차량 전방이 측면 차량과 충돌하지 않게 하는 동시에 선회 반경을 최소로 하는 최적의 경로로 후진 및 선회할 수 있음을 보였다.

5. 후 기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2013-H0401-13-1008)

References

1) M. Wada, K. S. Yoon, H. Hashimoto, Development of advanced parking assistance system, IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 50, no. 1, pp. 4-17, 2003
2) J. Lee, S. Moon, K. Yi, B. Yun, S. Yu, A lane departure warning algorithm ad forward collision warning algorithm with an only one camera, KSAE Annual Conference, pp. 1853-1860, 2009.
3) S. H. Jeong, C. G. Choi, J. N. Oh, P. J. Yoon, B. S. Kim, M. Kim, K. H. Lee, Low cost design of parallel parking assist system based on an ultrasonic sensor, KSAE, vol. 11, no. 3, pp. 409-416, 2010
4) S.B. Choi, "The Design of a Control Coupled Observer for the Longitudinal Control of Autonomous Vehicles," ASME J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control, vol. 120, no. 2, pp. 288-289, 1998
5) R. Rajamani, Vehicle dynamics and control, New York: Springer-Verlag, 2005.