

# 이동거리기반 경로추종 제어에 의한 모형차량의 자동주차 Autonomous Parking of a Model Car with Travel-Distance based Path Tracking Control

\*김창환, #장효환, 정우진

\*C. H. Kim, #H. W. Chang(hwchang@korea.ac.kr), W. Chung  
고려대학교 기계공학과

Key words : Autonomous Parking, Path Tracking Control, ANFIS, Model Car

## 1. 서론

최근 전기 전자 및 센서 기술의 급속한 발전에 따라 기술 융합을 통해 자동차의 안전성과 편의성을 향상시키는 지능형 자동차에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.<sup>1</sup> 그중 주차에 어려움을 느끼는 운전자에게 도움을 줄 수 있는 주차지원시스템이 있다. 주차지원시스템에는 자동과 반자동 주차지원시스템으로 분류되는데, 반자동 주차지원시스템은 차량이 주차에 필요한 조향만을 제어하는 것이고, 자동 주차지원시스템은 조향과 속도를 모두 제어하는 것이다.

경로추종 제어에 관한 기존 연구는 차량형 이동로봇 분야에서 많이 연구되어 왔다.<sup>2</sup> 하지만 기존연구에서는 기준경로가 이동시간에 따른 위치로 결정되고, 제어입력으로 휠 각속도와 차량의 속도를 사용하기 때문에 반자동 주차지원시스템에는 적용이 불가능하다.

따라서 본 연구에서는 반자동 주차지원시스템에 적합하도록 기준경로를 이동거리에 따른 기준위치로 제시하였다. 차량의 휠각도 제어를 위해 제안하는 경로추종 제어기는 경험 지식을 기반으로 차량의 횡방향 오차와 요각도 오차의 멤버십 함수를 이용해 차량의 휠각도를 제어하는 퍼지 제어기를 설계하고, 실시간 제어에 적합하도록 제어 규칙을 학습을 통해 ANFIS(Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System)로 변환하여 사용하였다. 모형차량을 이용한 실험을 통하여 제어성능을 고찰하고, 초기위치 변화를 통해 외란에 대한 강인성을 확인하였다.

## 2. 경로추종 운동제어

### 2.1 차량 모델 및 오차 정의

차량모델은 Fig.1과 같이 기구학적 모델로 가정하였고, 식(1)과 같이 나타내어진다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_r \\ \dot{y}_r \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_r \cdot \cos \theta \\ v_r \cdot \sin \theta \\ \frac{v_r}{l} \cdot \tan \phi \end{pmatrix} \quad (1)$$

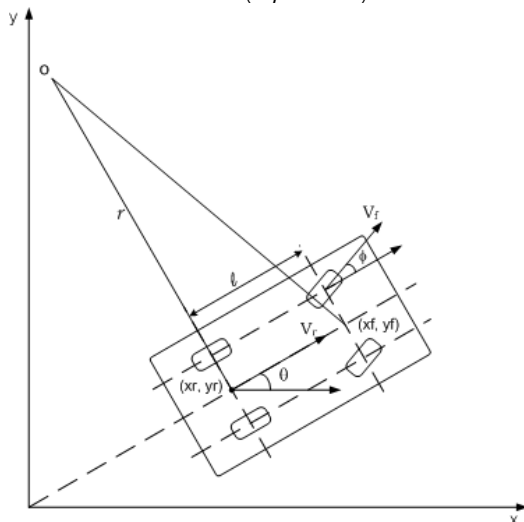


Fig. 1 Vehicle kinematics model

진행방향의 오차를  $x_e$ , 횡방향 오차를  $y_e$ , 차량각도 오차를  $\theta_e$ 라 정의한다. 목표위치와 차량의 현재위치와의 오차벡터는 식(2)와 같이 표현된다. 차량의 위치는 확장 칼만 필터를 사용하여 차량의 여러 센서와 엔코더 정보를 융합하여 추정할 수 있다고 가정하였다.<sup>3</sup>

$$p_e = \begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ \theta_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_c & \sin \theta_c & 0 \\ -\sin \theta_c & \cos \theta_c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} (p_r - p_c) \quad (2)$$

여기서,  $P_r$  = 목표위치 자세 ( $x_r, y_r, \theta_r$ )

$P_c$  = 현재위치 자세 ( $x_c, y_c, \theta_c$ )

### 2.2 경로추종 제어기

본 연구에서는 각 입력당 9개의 멤버십 함수를 가지는 ANFIS를 사용하였으나, Fig.2는 각 입력당 2개의 멤버십 함수를 가지는 ANFIS의 구조를 보여주고 있다. ANFIS는 5개의 층으로 이루어져 있다. 층1은 퍼지화 층으로 멤버십 등급을 생성하고 층2는 룰 층으로 발화 강도(firing strength)를 생성한다. 층3은 정규화층으로서 발화 강도를 정규화하고 층4는 비퍼지화층으로 결론부 파라메타를 근거로 하는 출력을 생성한다. 층5에서는 층4의 입력을 모두 합하여 출력한다.<sup>4</sup>

ANFIS의 학습을 위해서 차량의 횡방향 오차와 요각도 오차의 멤버십 함수를 이용하여 차량의 휠각도를 제어하는 83개의 룰을 가지는 Mandani 방식 퍼지 제어기를 설계하였다. 설계된 퍼지 제어기를 이용하여 학습을 통해 각 입력당 9개의 멤버십 함수와 81개의 룰을 가진 ANFIS로 변환하였다. ANFIS 학습은 least square estimator와 gradient descent방식을 혼합한 하이브리드 방식을 사용하였다.<sup>4</sup>

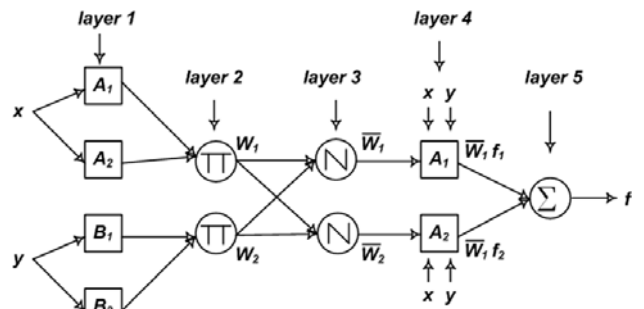


Fig. 2 An ANFIS architecture

학습된 ANFIS 제어기는 Mandani 방식 퍼지 제어기에 비해 빠른 연산 속도를 보인다. Process Explorer -Sysinternals 소프트웨어를 이용하여 각 제어기에서 10,000번 연산에 필요한 시간을 측정하여 Table.1에 나타내었다. ANFIS 제어기의 연산 시간은 Mandani 방식 퍼지 제어기의 약 1/2로 실시간 제어에 보다 유리함을 알 수 있다.

Table.1 Comparison of computational time

	ANFIS	Fuzzy
Computational time (sec)	13.234 (1.323ms/computati on)	25.281 (2.528ms/computati on)

### 3. 실험 및 결과 고찰

Fig. 3은 자동주차 실험 장치를 나타내고 있다. 모형차량(축간 거리:31.5cm)에는 위치 인식을 위한 StarGazer센서, 조향을 위한 서보모터, 이동을 위한 DC모터, Host Computer와 통신을 위한 Bluetooth, 모터 및 통신 제어를 위한 마이크로프로세서 (Atmega128)가 장착되어 있다. 적외선 LED와 카메라로 구성된 StarGazer센서는 천정에 부착한 4개의 경계표(Landmark)에 대한 상대자세로부터 현재 위치를 인식하게 된다. StarGazer센서를 통해 얻은 현재위치는 Bluetooth를 이용하여 80msec마다 Host Computer에 전송된다. Host Computer는 모형차량으로부터 전송 받은 위치 정보를 통해 기준 경로와의 횡방향 오차와 요각도 오차를 계산하여 그에 따른 횡각도를 모형차량에 전송한다. 운전자가 곡선에서는 감속한다고 가정하여, 차량의 이동속도는 직선 구간에서는 8cm/sec, 곡선구간에서는 7.5cm/sec으로 고정하여 실험하였다. 실험에 사용된 기준경로는 직각주차와 평행주차 2가지 경로로서, 한 번의 후진으로 주차가 가능하도록 경로계획에 의해 생성되었다.

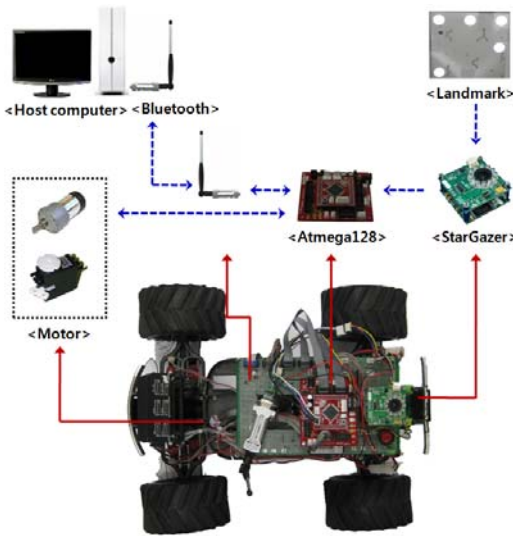


Fig.3 Experimental Setup

Fig.4와 Fig.5는 본 논문에서 제안한 경로추종 제어기를 직각주차와 평행주차에 적용한 결과를 보여주고 있다. 초기위치 C(0,0,0)는 기준경로의 시작점과 동일한 곳이며, 초기위치 A와 B는 초기 위치인식 오류 또는 위치인식 후 차량의 미끄러짐을 가정한 것이다. 각 주차 경로에 대한 초기위치 A와 B는 Table 2에 나타내었다. 5회 반복 실험에 대한 평균 최종 위치 오차는 Table 3에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 비교적 정밀하게 기준경로를 추종하는 것을 알 수 있었고, 최종위치에서의 횡방향 오차는 1.53cm, 요각도 오차는 2.86° 이내였다.

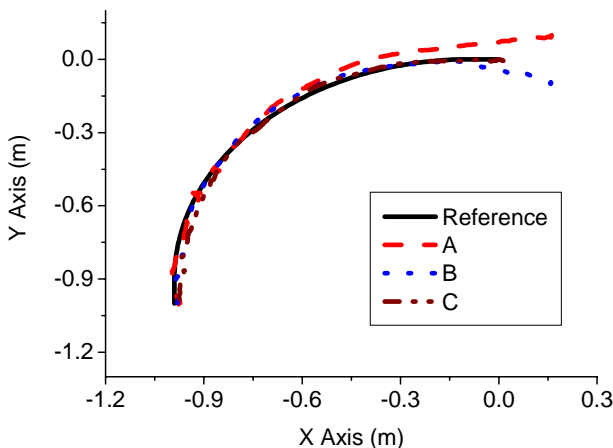


Fig.4 Tracking performance (garage parking)

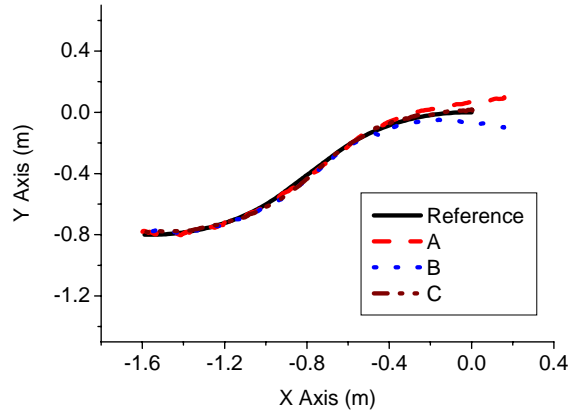


Fig.5 Tracking performance (parallel parking)

Table.2 Initial conditions of the model car

Garage Parking	A	(0.15, 0.08, 10deg)
	B	(0.15, -0.05, -15deg)
Parallel Parking	A	(0.15, 0.07, 11deg)
	B	(0.15, -0.07, -10deg)

Table.3 Comparison of final tracking errors

		Garage Parking	Parallel Parking
$y_e$ (cm)	A	1.15	-1.53
	B	1.02	-0.91
	C	0.73	-1.11
$\theta_e$ (deg)	A	-1.15	2.86
	B	-0.81	2.29
	C	-0.46	2.29

### 4. 결론

본 연구에서는 반자동 주차지원시스템을 위한 이동거리 기반 경로추종 제어 알고리즘을 제안하고, 모형 차량을 이용한 실험을 통하여 제어성능을 고찰하였다. 초기위치의 변화를 통해 외란에 대한 강인성을 실험한 결과 만족할 만한 결과를 얻었다.

### 참고문헌

1. Pohl, J., Sethsson, M., Degerman, P., and Larsson, J., "A Semi-Automated Parallel Parking System for Passenger Cars", Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: J. of Automobile Engineering, Vol.220, No.1, 53-65, 2006.
2. Kanayama, Y., Kimura, Y., "A Stable Tracking Control Method for a Non-Holonomic Mobile Robot", IEEE/RST Int. Workshop on Intelligent Robots and Systems, No. 91TH0375-6, 1236-1241, 1991.
3. Lee, K., Chung, W., and Chang, H. W., "Improvement of Odometry Accuracy and Parking Control for a Car-Like Mobile Robot", The J. of Korea Robotics Society, Vol.3, No.1, 16-22, 2008.
4. Shing, J., Jang, R., "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.23, No.3, 665-685, 1993.