

LAB MEETING

국민대학교 지능형 차량 신호 처리 연구실 학부연구생 김지원

2024.12.27(금)



국민대학교
KOOKMIN UNIVERSITY

**Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control
(Fuzzy STSMC) 종방향 속도 제어기 구현**



국민대학교
KOOKMIN UNIVERSITY

Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC) 구현

Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC)

Super Twisting Sliding Mode Control(STSMC)

1. 고차 슬라이딩 모드 제어(HOSMC)의 한 형태
2. 전통적인 SMC에서 발생하는 채터링을 해결하기 위한 제어 기법

System Model

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = f(x_1, x_2) + bu$$

x_1, x_2 : 시스템 상태 변수

$f(x_1, x_2)$: 비선형 시스템 함수

b : 시스템 이득

u : 제어 입력

Sliding Surface

$$\sigma = C_1 e + C_2 \dot{e}$$

σ : 슬라이딩 변수(슬라이딩 표면)

e : 오차 (Reference velocity와 Ego velocity의 차이)

C_1, C_2 : 슬라이딩 계수

Super Twisting Sliding Mode Control Algorithm

$$\lambda = \sqrt{U}$$

$$W = 1.1U \quad U : \text{STSMC 제어 이득, Fuzzy Logic 적용 파라미터}$$

$$\dot{v} = -W \text{sign}(\sigma)$$

$$u = -\lambda \sqrt{|\sigma|} \text{sign}(\sigma) + v \quad : \text{STSMC의 최종 출력}$$

Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC) 구현

Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC)

Fuzzy Logic Algorithm

1. 불확실하고 모호한 정보 처리를 위한 수학적 기법
2. '참'과 '거짓' 사이의 연속적인 상태를 가질 수 있게 하여 복잡한 문제를 모델링 가능.
3. Fuzzy sets, Fuzzification, Rule-based System, Defuzzification, centroid method 등 주요 개념 존재.

Fuzzy Logic Gain Selector(Mamdani FIS)

1. 참고 논문에선 MATLAB Logic Toolbox를 통해 Fuzzy Logic Gain Selector 구현.
2. Fuzzy Logic Algorithm이자, 추론화 시스템인 Mamdani FIS 활용.

퍼지화
(Fuzzification)



퍼지 규칙 기반
(Fuzzy Rule-Based)



퍼지 추론
(Fuzzy Inference)



디퍼지화
(Defuzzification)

- Fuzzification

삼각형 멤버십 함수(MFs)를 통해 입력값을 퍼지 집합으로 변환.

- Fuzzy Rule-Based

오차와 제어 동작(제어 이득)이 비례한다는 판단에 기초하여 규칙 정의.

- Fuzzy Inference

퍼지 규칙 기반으로 입력값에 대한 출력값 도출(추론), 보편적으로 사용되는 MIN-MOD-MAX 방법 사용.

- Defuzzification

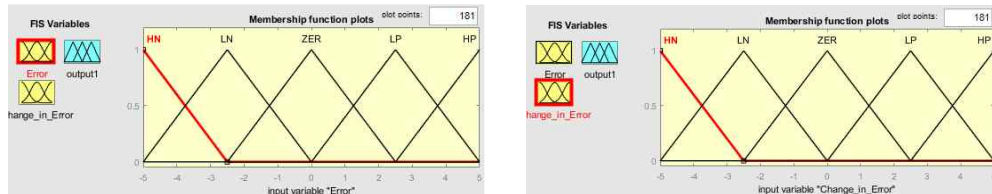
퍼지화된 출력값을 제어기에서 사용 가능한 명확한 값으로 변환, 보편적으로 사용되는 중심법(Centroid method) 사용.

Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC) 구현

Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC)

Fuzzy Logic Gain Selector 구현

Fuzzification



입력 변수(오차, 오차 변화율) 범위는 -5 ~ 5로 정의.

입력 변수 각각 5개의 멤버십 함수(MFs)를 포함.

높은 음수(High Negative, HN), 낮은 음수(LN), 제로(ZER), 낮은 양수(LP), 높은 양수(HP)

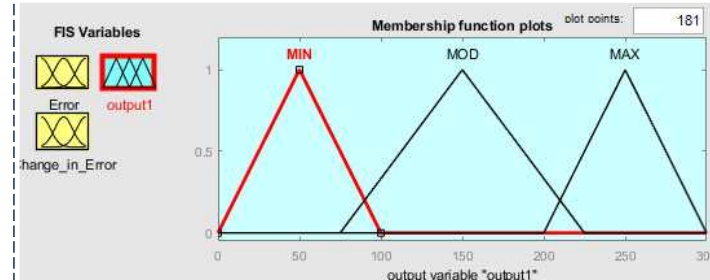
Fuzzy Rule-Based

Error/Change in Error	HN	LN	ZER	LP	HP
HN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
LN	MAX	MOD	MOD	MOD	MAX
ZER	MOD	MIN	MIN	MIN	MOD
LP	MAX	MOD	MOD	MOD	MAX
HP	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX



1. If (Error is HN) and (Change_in_Error is HN) then (output1 is MAX) (1)
2. If (Error is HN) and (Change_in_Error is LN) then (output1 is MAX) (1)
3. If (Error is HN) and (Change_in_Error is ZER) then (output1 is MAX) (1)
4. If (Error is HN) and (Change_in_Error is LP) then (output1 is MAX) (1)
5. If (Error is HN) and (Change_in_Error is HP) then (output1 is MAX) (1)
6. If (Error is LN) and (Change_in_Error is HN) then (output1 is MAX) (1)
7. If (Error is LN) and (Change_in_Error is LN) then (output1 is MOD) (1)
8. If (Error is LN) and (Change_in_Error is ZER) then (output1 is MOD) (1)
9. If (Error is LN) and (Change_in_Error is LP) then (output1 is MOD) (1)
10. If (Error is LN) and (Change_in_Error is HP) then (output1 is MAX) (1)
11. If (Error is ZER) and (Change_in_Error is HN) then (output1 is MOD) (1)
12. If (Error is ZER) and (Change_in_Error is LN) then (output1 is MIN) (1)
13. If (Error is ZER) and (Change_in_Error is ZER) then (output1 is MIN) (1)
14. If (Error is ZER) and (Change_in_Error is LP) then (output1 is MIN) (1)
15. If (Error is ZER) and (Change_in_Error is HP) then (output1 is MOD) (1)
16. If (Error is LP) and (Change_in_Error is HN) then (output1 is MAX) (1)
17. If (Error is LP) and (Change_in_Error is LN) then (output1 is MOD) (1)
18. If (Error is LP) and (Change_in_Error is ZER) then (output1 is MOD) (1)
19. If (Error is LP) and (Change_in_Error is LP) then (output1 is MOD) (1)
20. If (Error is LP) and (Change_in_Error is HP) then (output1 is MAX) (1)
21. If (Error is HP) and (Change_in_Error is HN) then (output1 is MAX) (1)
22. If (Error is HP) and (Change_in_Error is LN) then (output1 is MAX) (1)
23. If (Error is HP) and (Change_in_Error is ZER) then (output1 is MAX) (1)
24. If (Error is HP) and (Change_in_Error is LP) then (output1 is MAX) (1)
25. If (Error is HP) and (Change_in_Error is HP) then (output1 is MAX) (1)

Fuzzy Inference

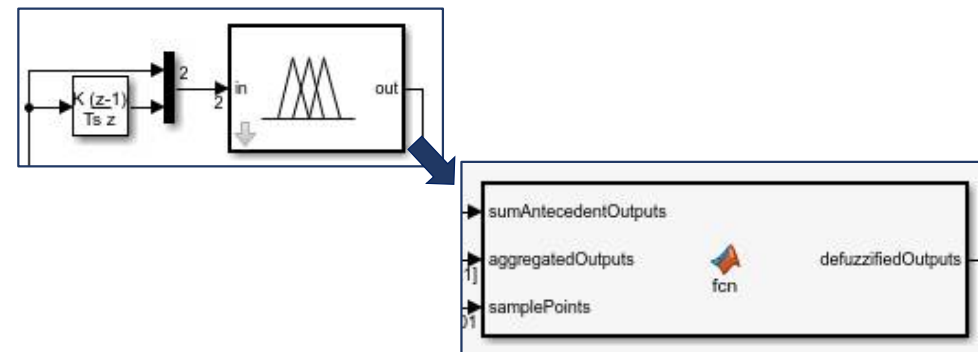


출력 변수(제어 이득(U)) 범위는 0~300으로 정의.

출력 변수는 3개의 멤버십 함수(MFs)를 포함.

최소 동작(Minimal Action, MIN), 중간 동작(MOD), 최대 동작(MAX)

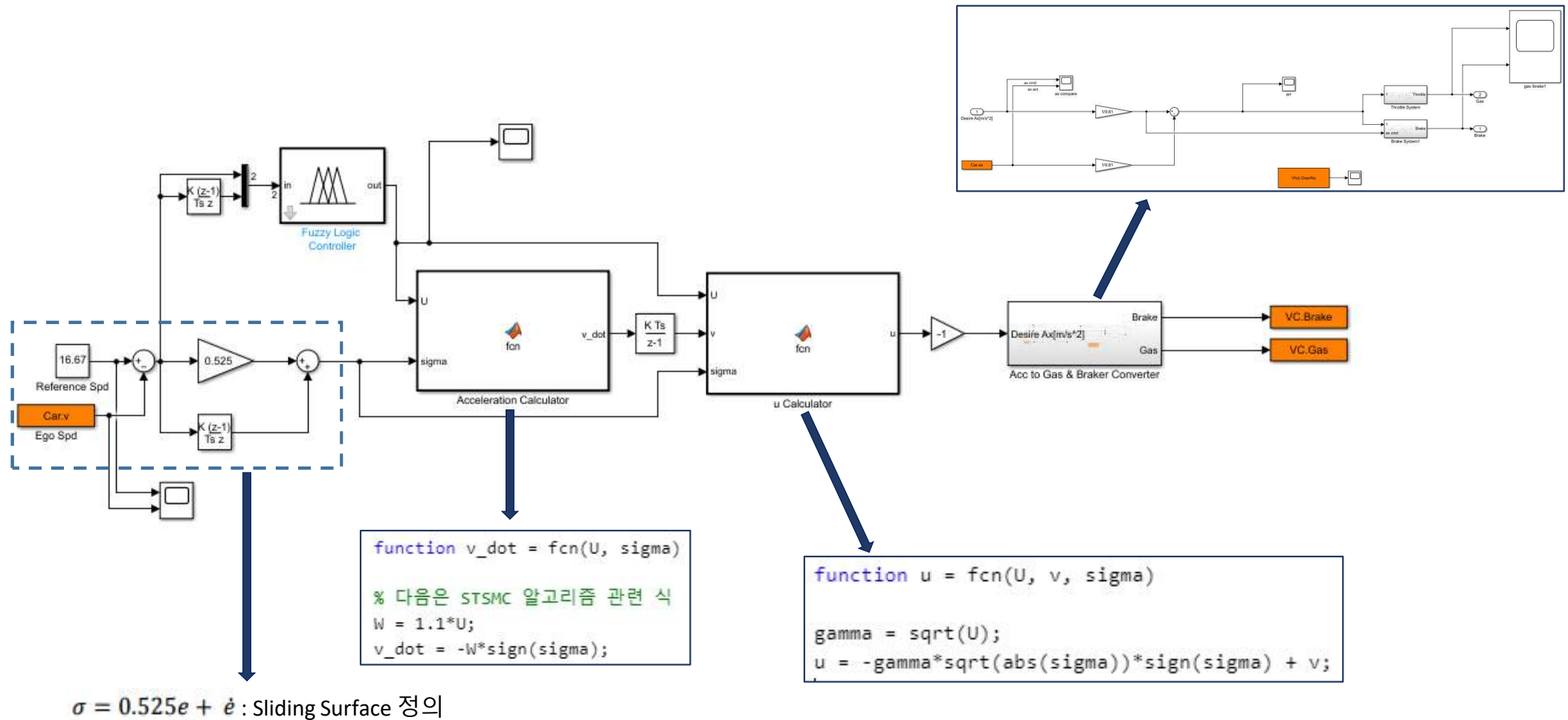
Defuzzification



Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC) 구현

Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC)

Fuzzy STSMC Simulink 구조도

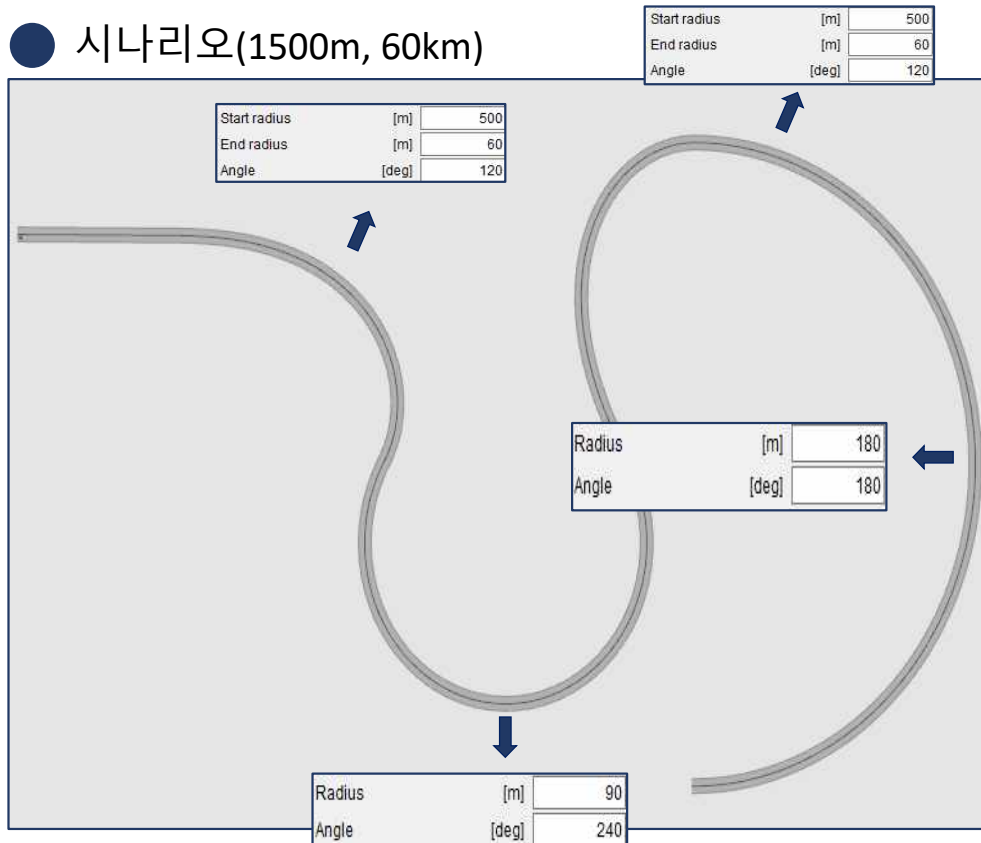


Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC) 구현

Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC)

Scenario / Road

시나리오(1500m, 60km)



Carmaker Setting

Manuever

Start Values

Velocity [km/h] Steer Angle [deg]

Gear Track Offset [m]

Start Condition

Vehicle Operator

Operator State

Global Setting

ScriptControl File

Specification of Maneuver Step

Label / Attr. (Long/Lat)

Description

End Condition

Duration (time/dist) s m

Longitudinal Dynamics

Lateral Dynamics

Follow Course

Tolerance [m]

Sensitivity [0..1]

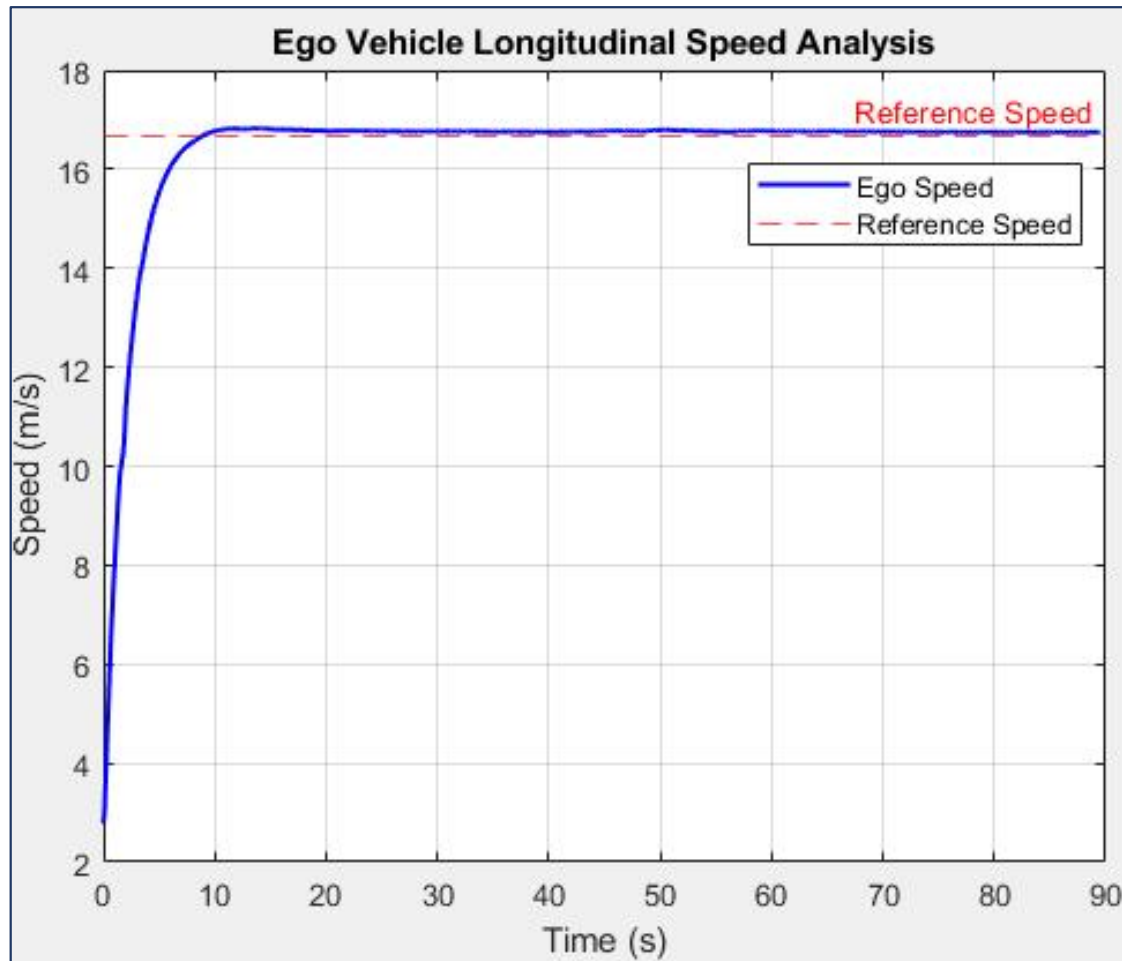
Minimanuever Commands

Sliding Mode Control(SMC) 횡방향 제어기 구현 및 성능 분석

Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC)

Fuzzy STSMC 종방향 제어 성능 분석

Fuzzy STSMC 종방향 속도 성능 분석



V(max)	V(mean)	V(rise time)	V(settling time)	V(overshoot)
13.8922	1.5653	4.4s	89.5s	0.95%

TABLE II. SYSTEM RESPONSE PARAMETERS

Parameter	Adaptive STSMC	Traditional STSMC
Simulation Time	50 secs	50 secs
Rise Time	1.484 secs	4.521 secs
Settling Time	12.95 secs	11.6 secs
Overshoot	3.646 %	0.839 %
ISE	23.18	25.02

● Sliding Mode Control(SMC) 횡방향 제어기 구현 및 성능 분석

Fuzzy Super Twisting Sliding Mode Control(Fuzzy STSMC)

■ Fuzzy STSMC 문제점 및 고도화 방안

● 문제점

1. Fuzzy Logic Algorithm의 이해 및 분석 부족.
2. 상용차에 맞춰진 Low Controller .
3. Fuzzy Gain Selector의 높은 이득 연산 및 STSMC의 과도한 연산량 발생.

● 고도화 방안

1. Fuzzy Logic Algorithm 분석을 통한 MFs, Rule 고도화.
2. Low Controller의 파라미터 튜닝.
3. LQR(Linear Quadratic Regulator), PSO(Particle Swarm Optimization) 등과 같은 새로운 알고리즘 적용.

감사합니다.

국민대학교 지능형 차량 신호 처리 연구실 학부연구생 김지원

2024.12.27(금)



국민대학교
KOOKMIN UNIVERSITY