

Control / Robotics Track

Predictive Active Steering Control for Autonomous Vehicle Systems

P Falcone, F Borrelli, J Asgari, HE Tseng, D Hrovat

IEEE Transactions on control systems technology (2007)

Contents

01 Introduction

02 Modeling

03 Hierarchical framework for
autonomous guidance

04 Active steering controller design

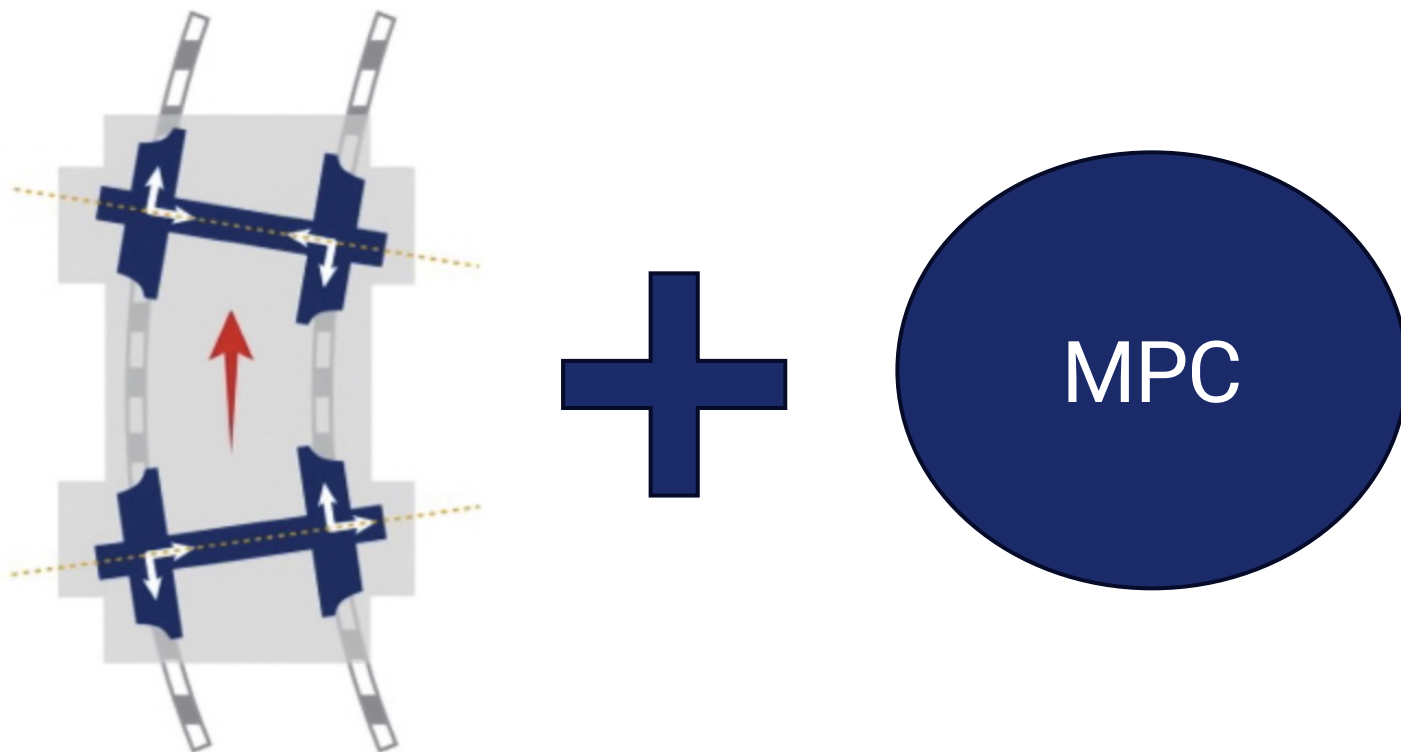
05 Double lane change on snow using
active steering

06 Presentation and discussion of results

07 Conclusion

01 Introduction

능동 조향 시스템(Active Steering System)을 **제어**하기 위해
모델 예측 제어(Model Predictive Control) 접근 방식을 적용



01 Introduction

MPC가 무엇인가

차량이 눈길에서 미끄러져 오는 상황, 단순히 직면한 오차만 보고 조향 하면 늦는다!

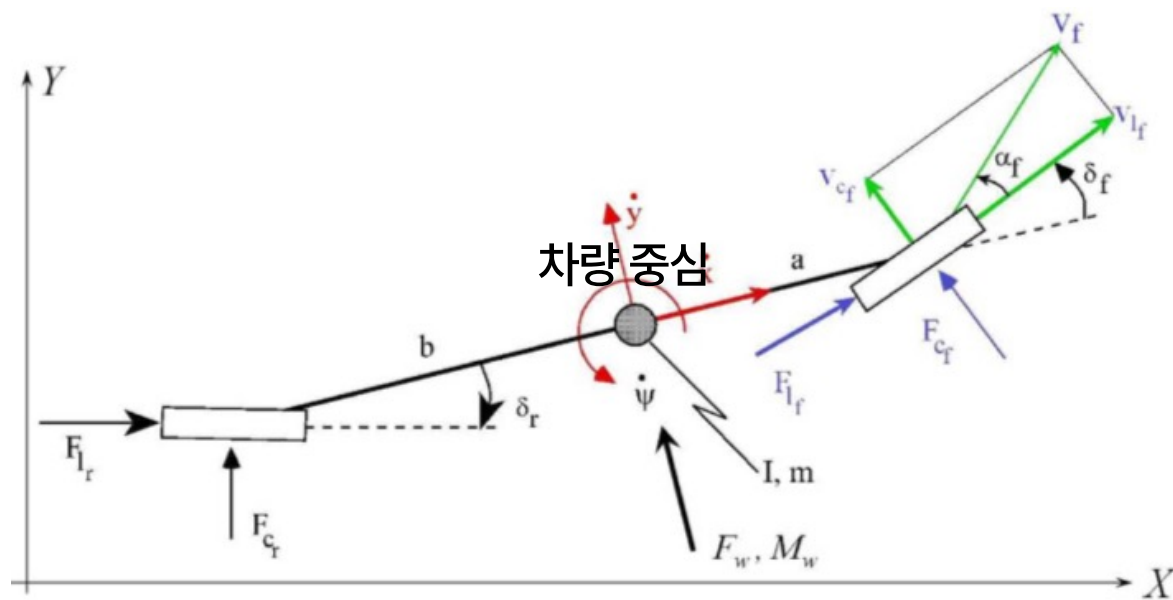


1. 미래 몇 초 동안 차량이 어떻게 움직일지 예측
2. 여러 조향각 후보를 시험해봄
3. 가장 좋은 결과를 만드는 조향각 선택
4. 그 중 첫 번째 조향만 실제 적용

“앞으로 2~3초 미리 시뮬레이션 돌려보고 가장 안전한 핸들 조작을 지금 하는 것”

02 Modeling

차량 모델 – 바이크 모델



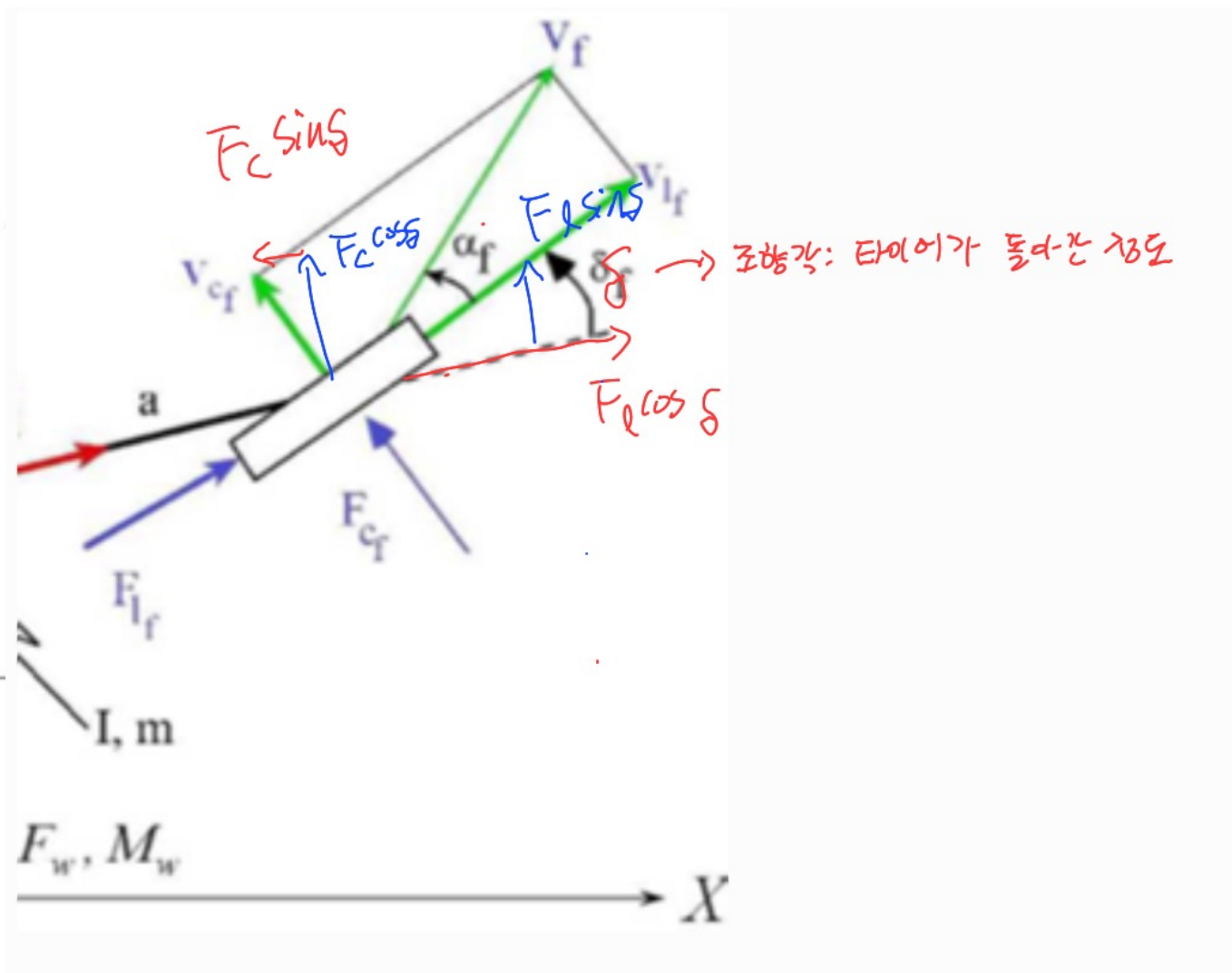
총 종방향 힘(F_x), 총 횡방향 힘(F_y), 타이어의 종방향힘(F_l),
타이어의 횡방향힘(F_c), δ (조향 각도)

$$F_y = F_l \sin \delta + F_c \cos \delta$$

$$F_x = F_l \cos \delta - F_c \sin \delta$$

질량 중심에 작용하는 타이어의 힘(종력 및 횡력)을
삼각함수로 분해하여 관성 좌표계 상의 시스템 움직임을
도출할 수 있다.

02 Modeling



총 종방향 힘(F_x), 총 횡방향 힘(F_y), 타이어의 종방향힘(F_l),
타이어의 횡방향힘(F_c), δ (조향 각도)

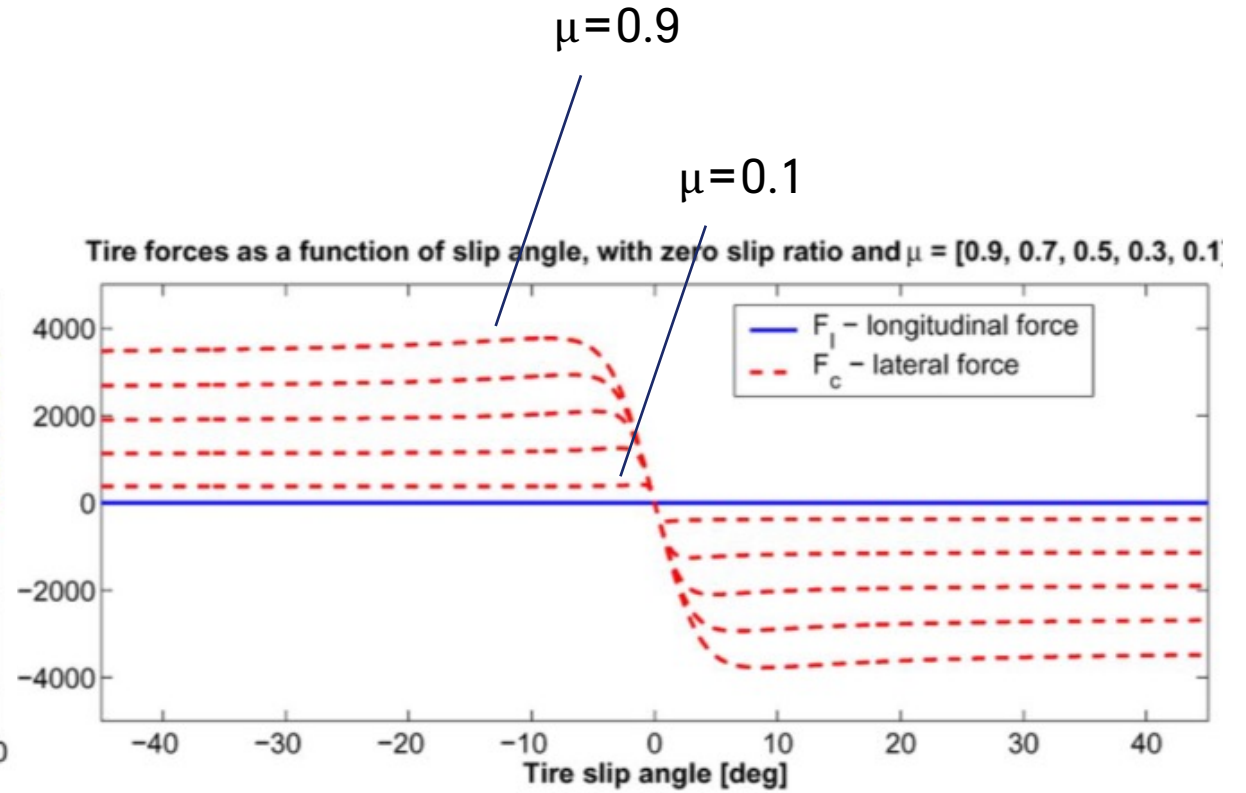
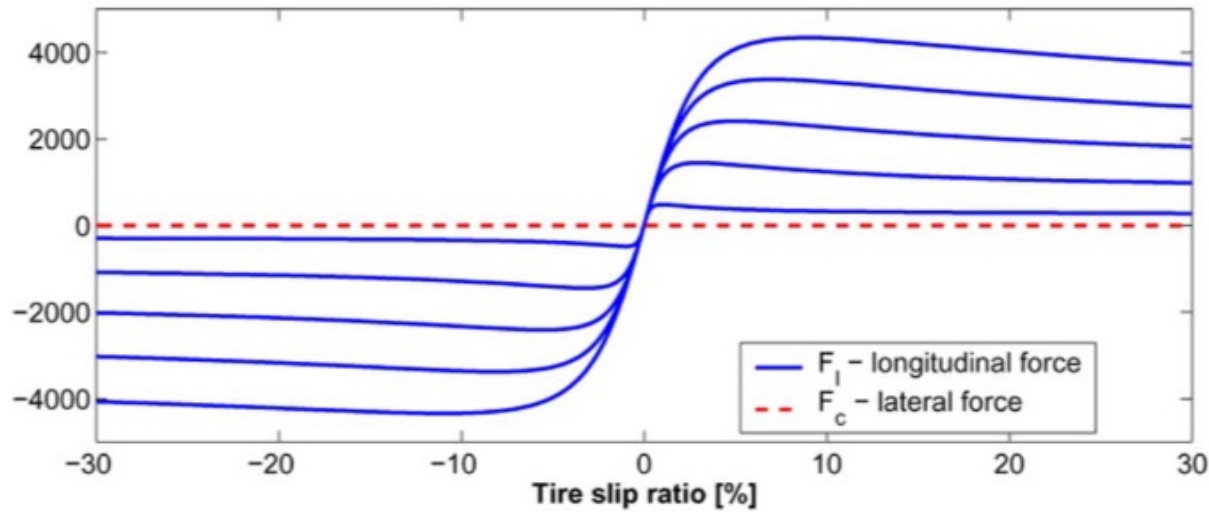
$$F_y = F_l \sin \delta + F_c \cos \delta$$

$$F_x = F_l \cos \delta - F_c \sin \delta$$

질량 중심에 작용하는 타이어의 힘(종력 및 횡력)을
삼각함수로 분해하여 관성 좌표계 상의 시스템 움직임을
도출할 수 있다.

02 Modeling

차량 모델 - 타이어 모델



———— 종방향 힘

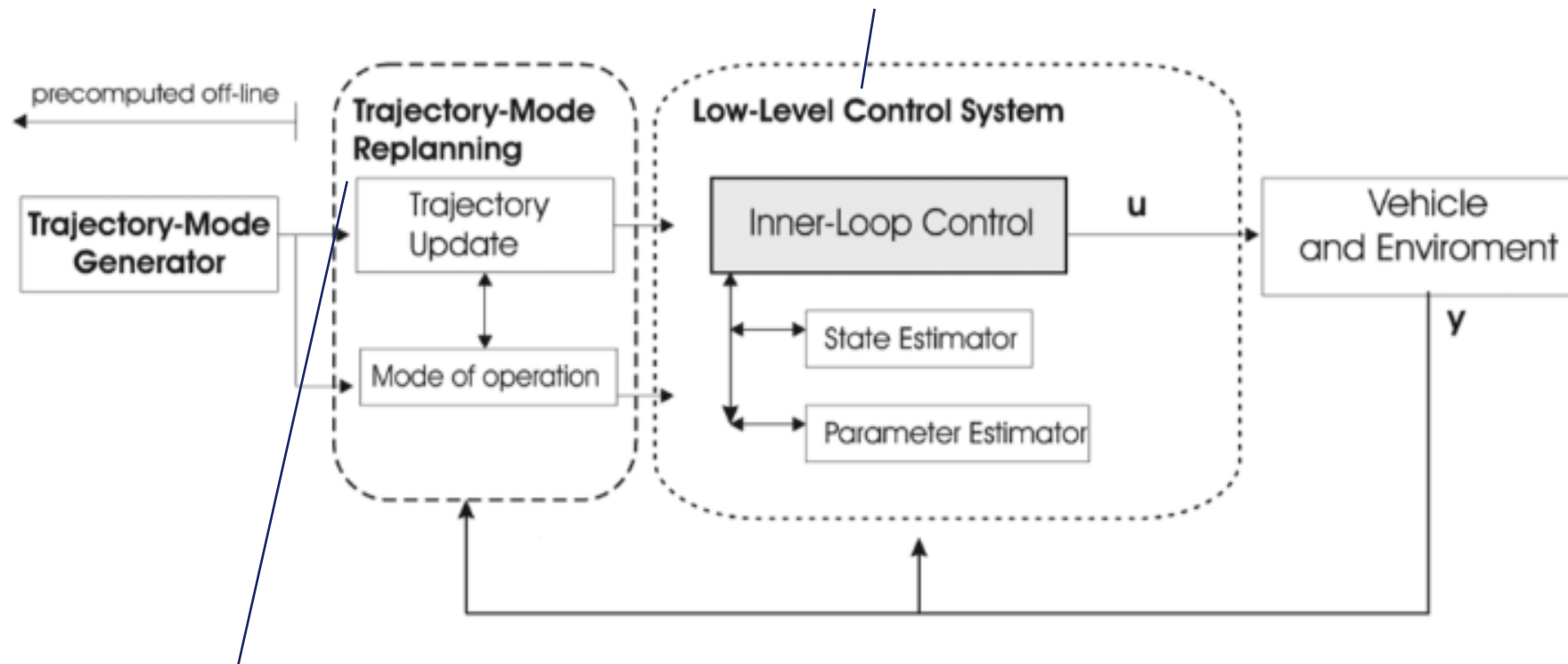
- - - - - 횡방향 힘

도로 마찰계수(μ)

03 Hierarchical framework for autonomous guidance

자율주행의 계층적 구조

앞서 받은 정보로 기기 조작, 노이즈 제어 – 논문에서 집중하는 단계



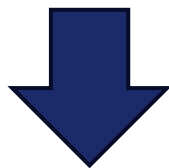
주행 중 돌발 정보를 기반으로 온라인에서 재해석

04 Active steering controller design

Nonlinear MPC

$\frac{d\xi}{dt} = f_{s(t),\mu(t)}(\xi(t), u(t))$ 과 비선형 Pacejka 타이어 모델을 직접 이산화하여 미래상태를 예측해야한다.

$$J(\xi(t), \Delta U_t) = \sum_{i=1}^{H_p} |\eta_{t+i,t} - \eta_{\text{ref}_{t+i,t}}|_Q^2 + \sum_{i=0}^{H_c-1} |\Delta u_{t+i,t}|_R^2 \quad \text{비용함수}$$



상당한 계산 필요

04 Active steering controller design

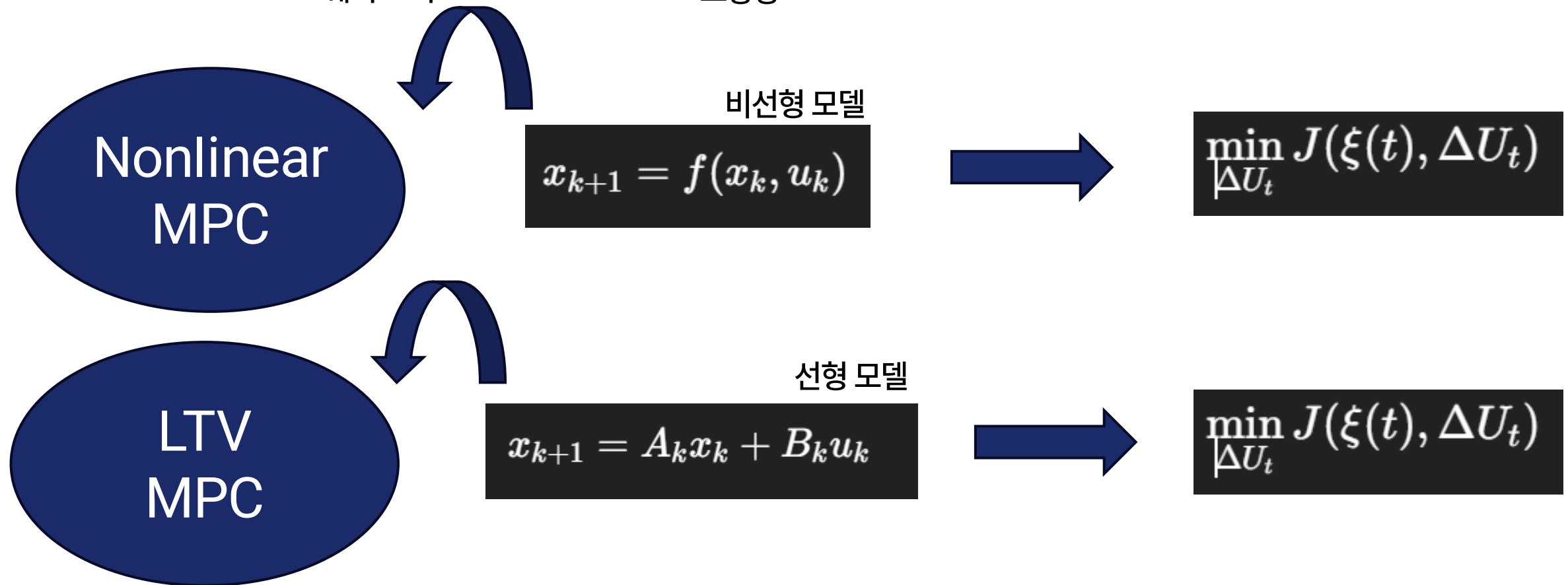
LTV MPC

매 제어 스텝마다 비선형 차량 모델을 현재 측정된 상태와 입력값을 기준으로 선형화하여 (*Successive Online Linearization*), 선형 시변(*LTV*) 모델을 생성합니다.

연산 속도가 극적으로 단축됩니다. 문제 전체가 볼록 2차 최적화(*Convex Quadratic Optimization*)로 치환!

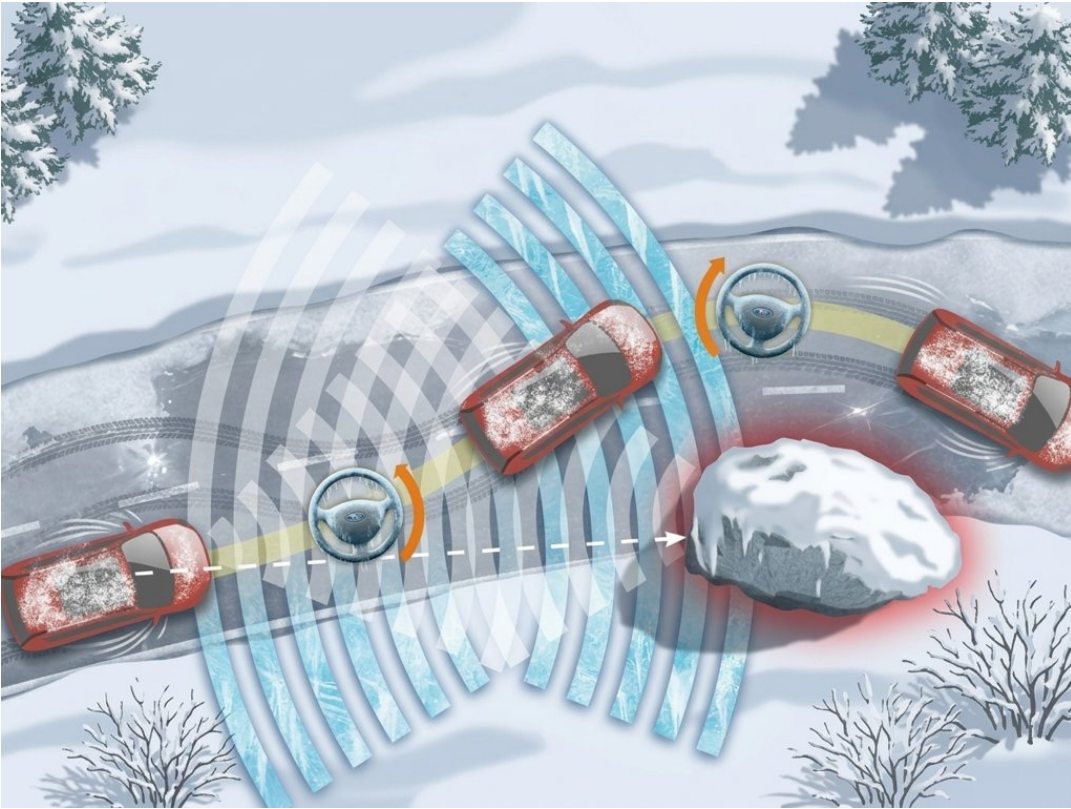
04 Active steering controller design

$$J(\xi(t), \Delta U_t) = \underbrace{\sum_{i=1}^{H_p} |\eta_{t+i,t} - \eta_{\text{ref}_{t+i,t}}|_Q^2}_{\text{궤적 오차}} + \underbrace{\sum_{i=0}^{H_c-1} |\Delta u_{t+i,t}|_R^2}_{\text{조향량}} \quad \text{비용함수}$$



05 Double lane change on snow using active steering

실제 차량, 실시간 컨트롤러, 정밀 센서 시스템 사용해서 실험 진행



차량 속도를 점진적으로 올리며 반복 테스트를 수행,
제어기가 차량 통제력을 잃는 '**한계 속도**'를 찾는다.

06 Presentation and discussion of results-controller A

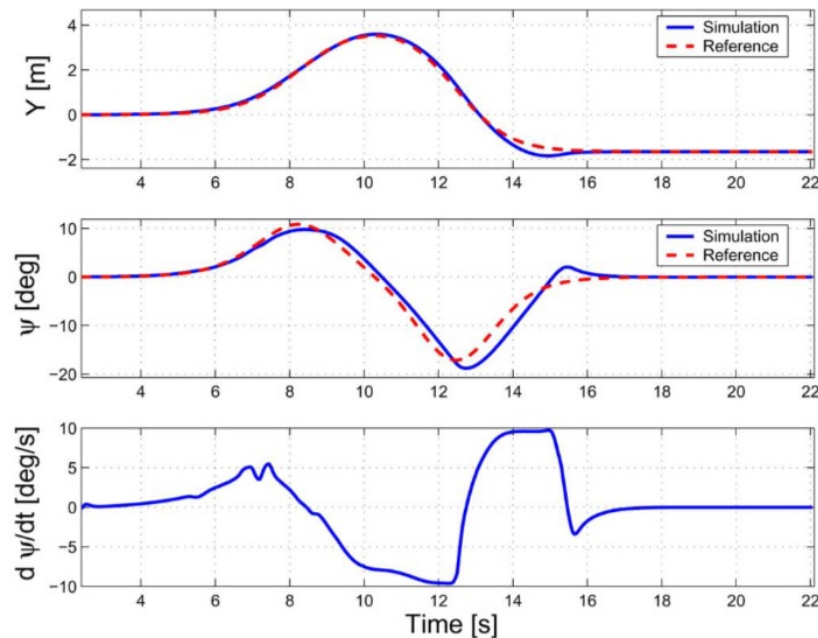
Nonlinear MPC (Controller A)

— 실제 값
- - - 목표 궤적

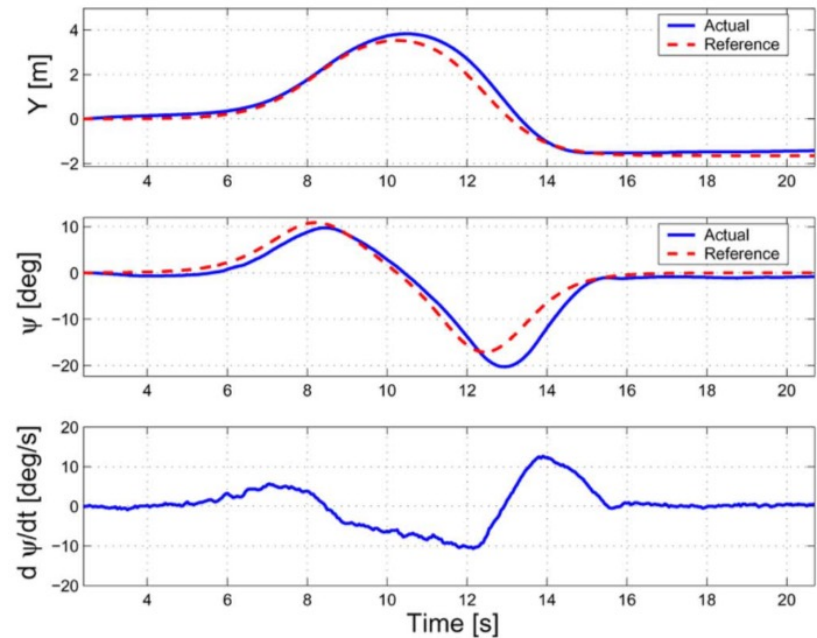
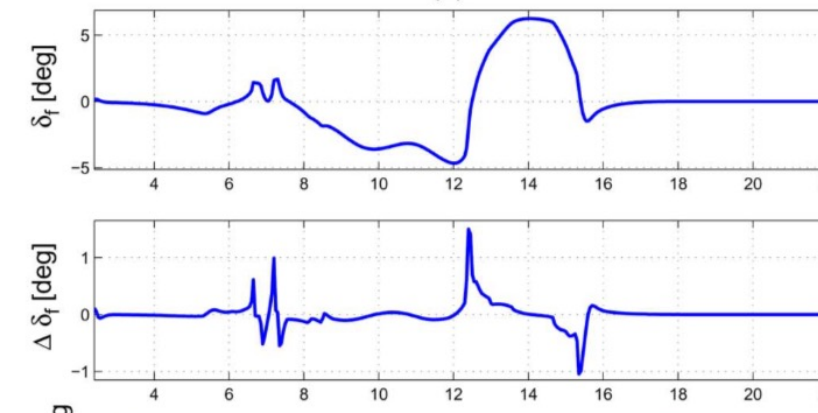
7 m/s 속도

원 : 시뮬레이션

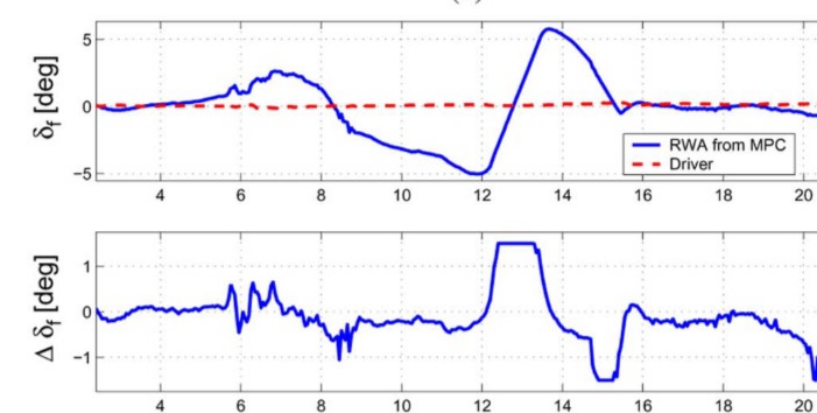
오 : 실험 결과



(a)



(a)

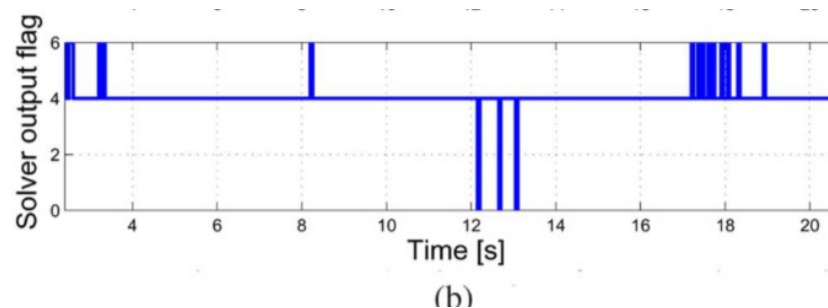
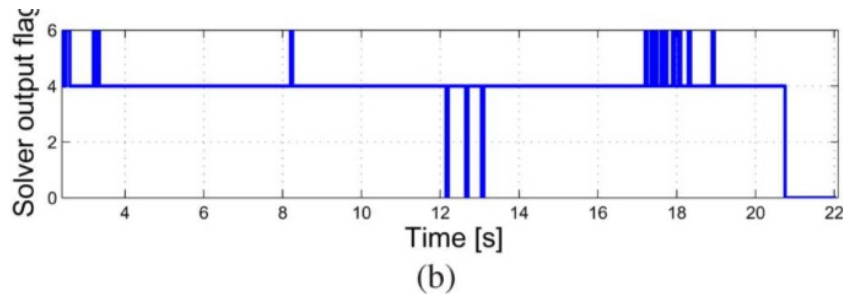


06 Presentation and discussion of results-controller A

Nonlinear MPC (Controller A)

\dot{x} [m/s]	Controller A Comp. time [s]	Controller B Comp. time [s]
10	0.15 ($H_p = 7, H_c = 2$)	0.03 ($H_p = 7, H_c = 3$)
15	0.35 ($H_p = 10, H_c = 4$)	0.03 ($H_p = 10, H_c = 4$)
17	1.3 ($H_p = 10, H_c = 7$)	0.03 ($H_p = 15, H_c = 10$)

계산 시간 급격한 증가



0 : 최적의 해를 찾음

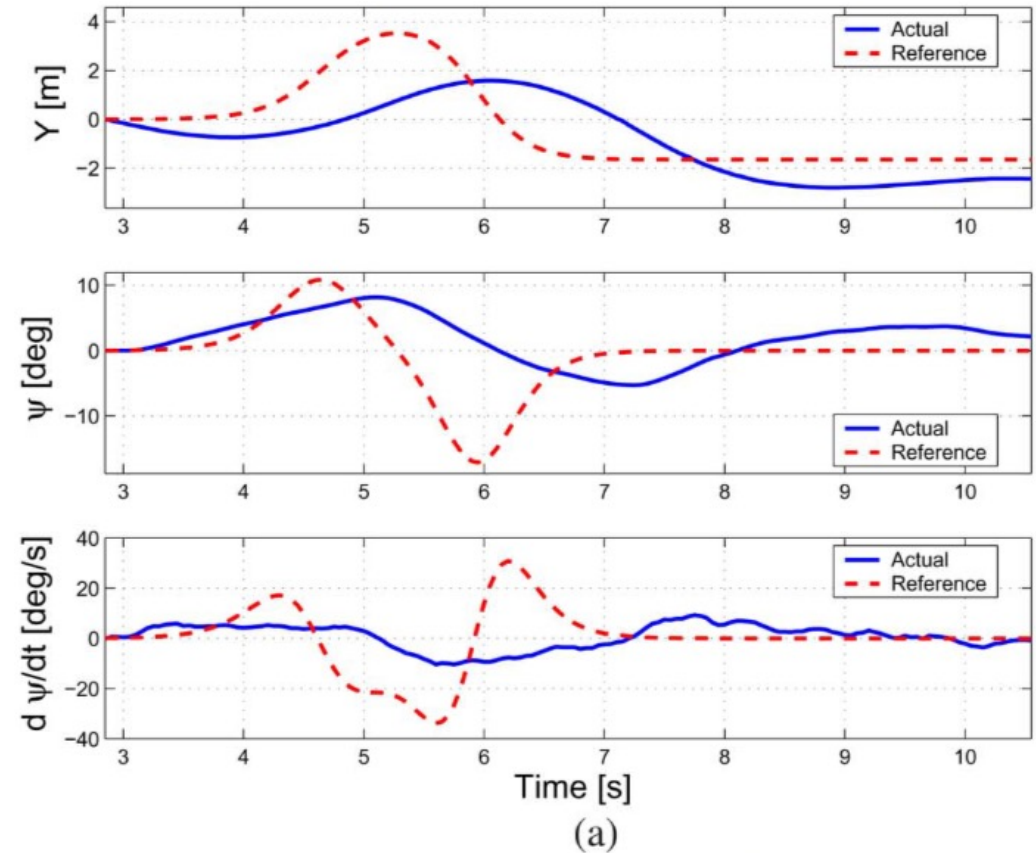
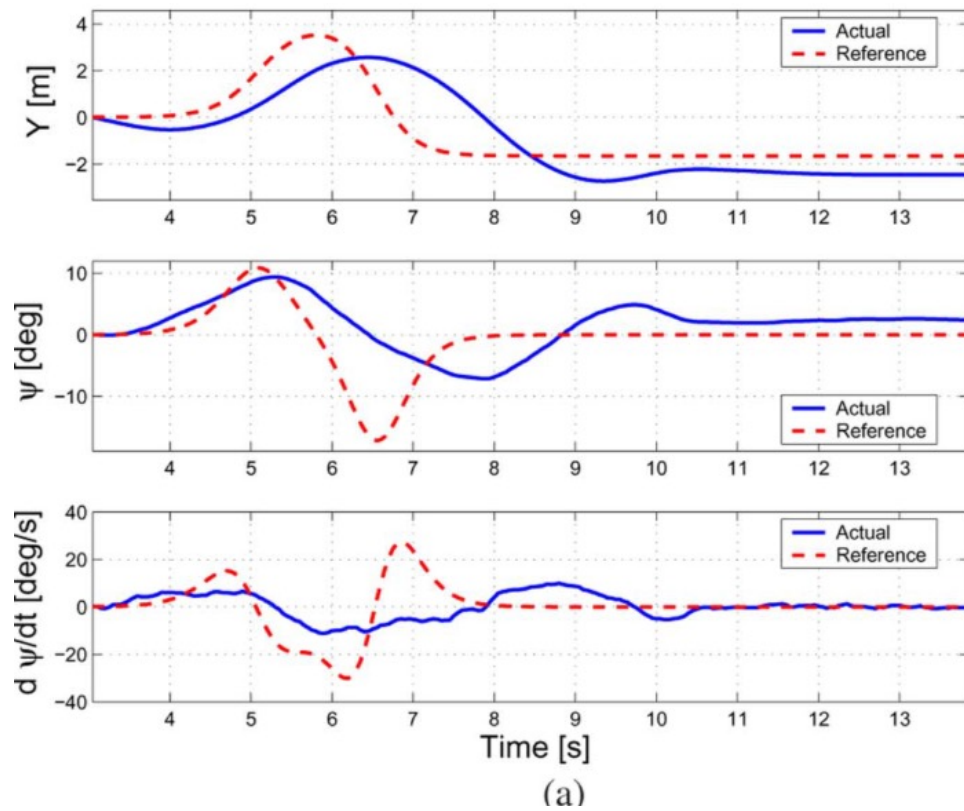
1 : 해를 찾지 못함

4 : 부분 최적의 해

6 : 최적성 조건을 만족하지 못함

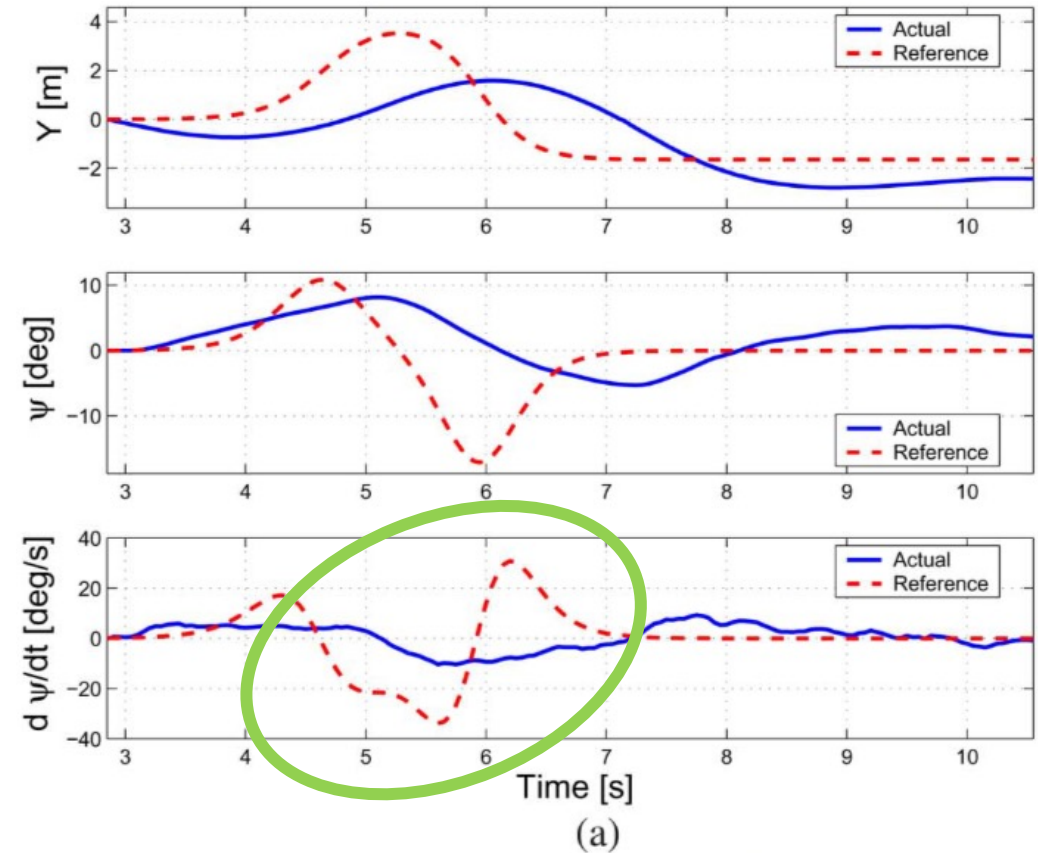
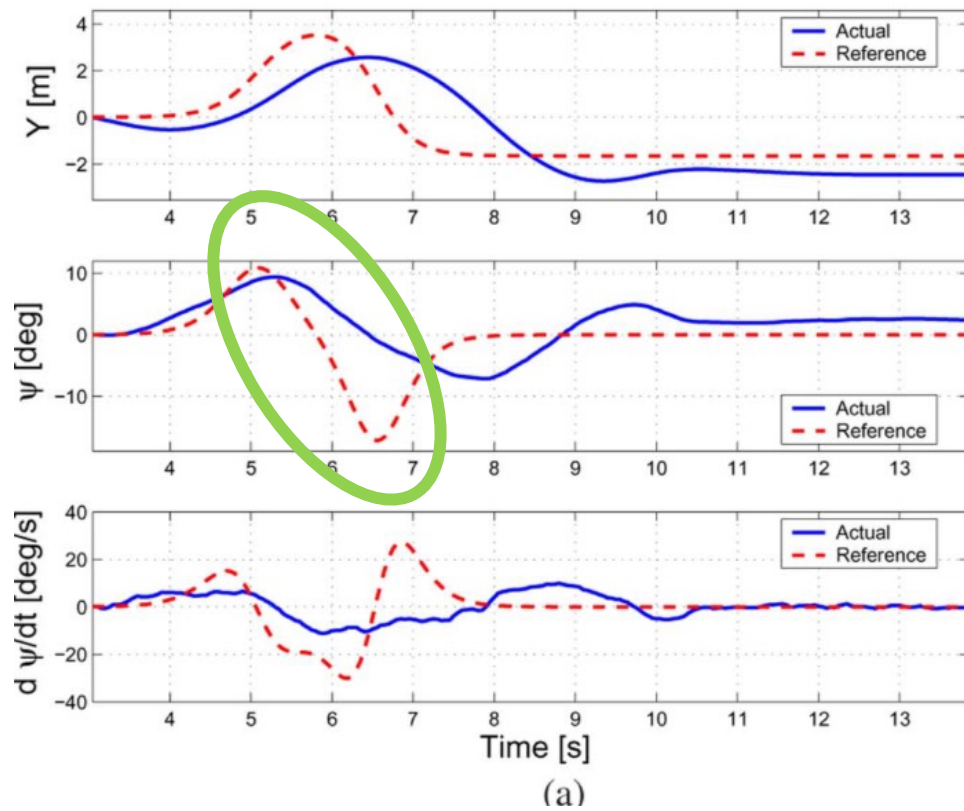
06 Presentation and discussion of results-controller B

LTV MPC (Controller B)



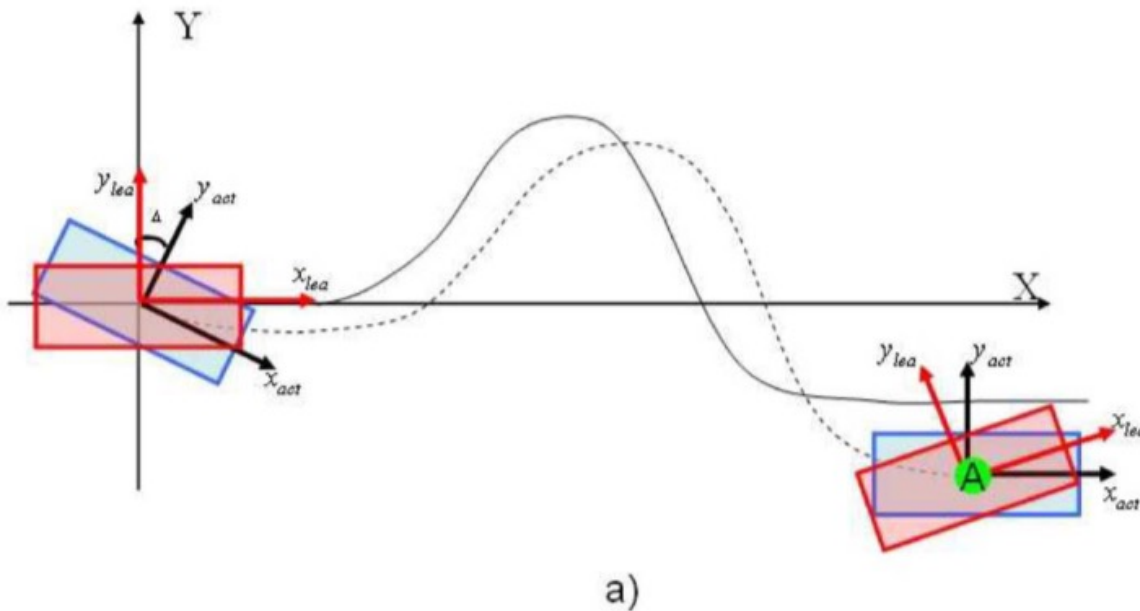
06 Presentation and discussion of results-controller B

LTV MPC (Controller B)



목표 궤적을 잘 따르고 있는게 맞나..?

06 Presentation and discussion of results-controller B



차량의 실제 방향(X_{act})과 목표 경로 방향(X_{lea}) 간의 오차,
즉 헤딩 각도 오차(heading angle error)를 의미

06 Presentation and discussion of results-controller A,B,C

Controller A (Nonlinear MPC)

저속에서의 최고 성능
고속에서의 불안정
계산 부하 복잡

Controller B (LTV MPC)

고속안정성확보
실시간 구현 가능
적절한 성능

Controller C (Low-Order LTV MPC)

가장 빠른 계산 속도

07 Conclusion

MPC 기반 능동 조향 제어기 설계 및 실험 검증 완료

최대 21 m/s 속도에서 미끄러운 노면에서의 이중 차선 변경안정화 입증

세 가지 MPC 접근 방식의 장단점 및 적용 가능성 제시

MPC 성능을 유지하면서 계산 부담을 줄이는 새로운 제어 패러다임 연구

Control / Robotics Track

Thank you

송실대학교 전기공학부 학술 소모임 NOVA

발표자 : 권용현