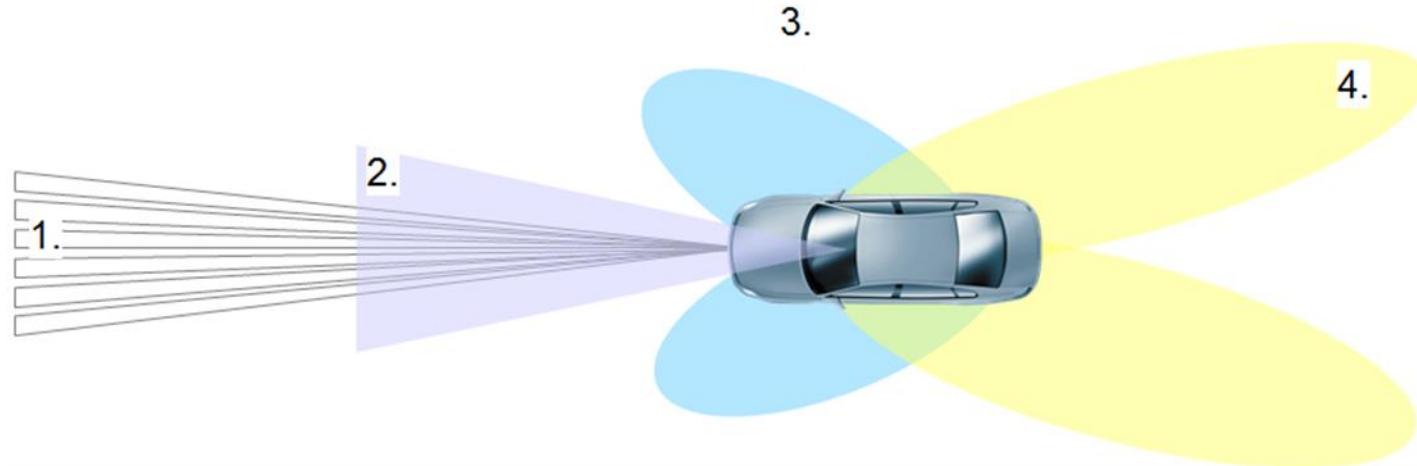


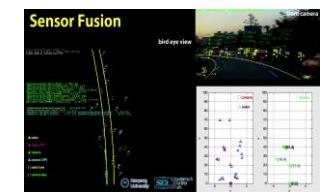
인공지능개론

기계학습

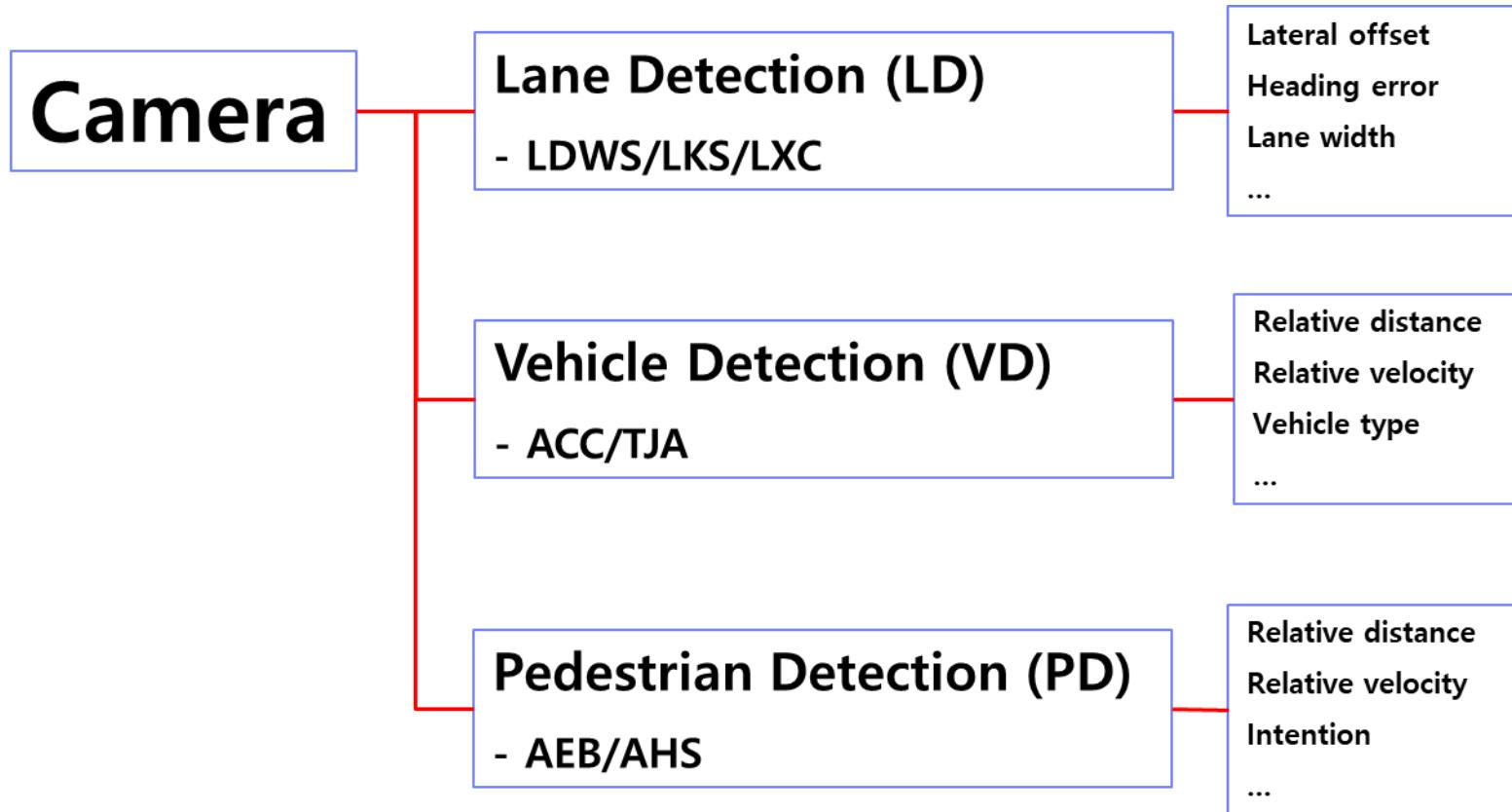
Sensors for autonomous vehicle



Components	Installed Position
1. Long Range Radar Sensor (77GHz)	Front
2. Camera (lane and object)	Front
3. Sensors	Side
4. 24GHz Radar Sensors	Rear



Sensors for autonomous vehicle



Sensors for autonomous vehicle



실차주행 환경에서의
ECU 기반 다중차선 인식 결과 영상

전방차량 검출 알고리즘 영상

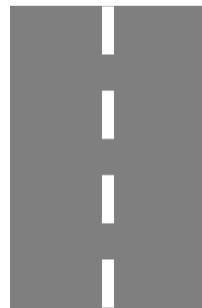
보행자 검출 알고리즘 영상

Ref : DOLLAR ET AL.: PEDESTRIAN DETECTION: AN EVALUATION OF THE STATE OF THE ART
한양대학교 영상공학 연구실

Sensors for autonomous vehicle

a wide catalogue of scenarios:

- _ solid, dashed, double and triple lane markings
- _ white, yellow and blue lane markings
- _ bright sunlight and inclement (rainy/stormy) weather.



점선(백색)



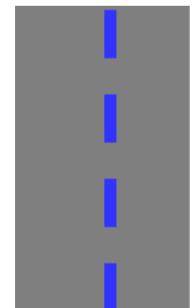
실선(백색)



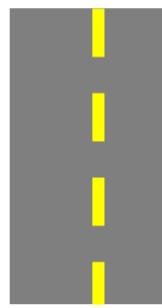
점선+점선(백색)



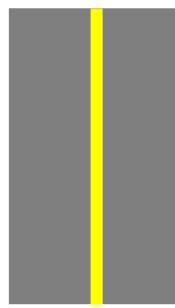
실선+점선(백색)



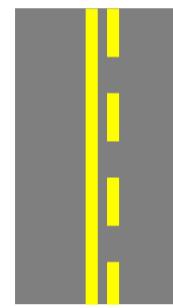
점선(청색)



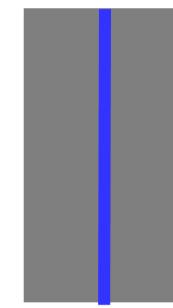
점선(황색)



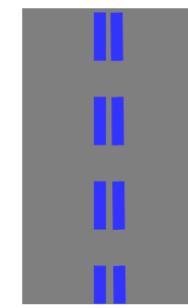
실선(황색)



실선+점선(황색)



실선(청색)



점선+점선(청색)

Sensors for autonomous vehicle

- Vision sensor의 한계점



Accuracy of longitudinal direction



Accuracy of lateral direction



Sensors for autonomous vehicle

- **Vision sensor** : Camera among optical sensors has received attentions from industry since relatively low cost camera can provide lane information effectively.



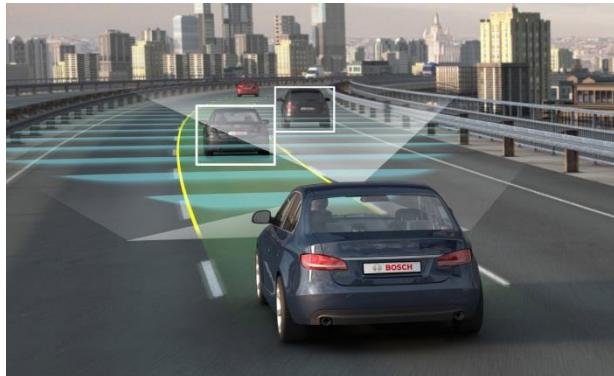
Fig.1 Front view road lane information

$$f_c(s) = c_0 + c_1 s + c_2 s^2 + c_3 s^3$$

- c_0 : the lateral lane center offset at c.g
- c_1 : the heading angle error at c.g
- c_2 : curvature/2 at c.g
- c_3 : the curvature-rate divided by 6 c.g.

1. Introduction

1-1. 배경 및 목적



운전자 보조 시스템
ADAS (advanced driver assistance system)



< 산업통상자원부 '자율주행 자동차 산업 발전 심포지엄' >

Risk Assessment (위험 평가)

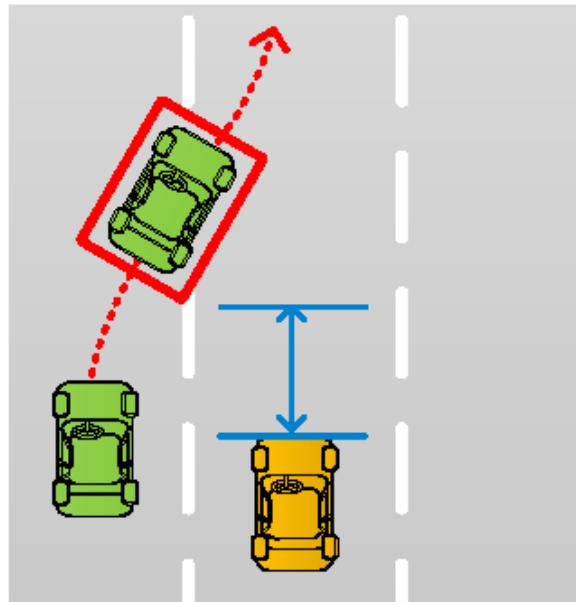
Collision Avoidance (충돌 방지)

“주변 차량 주행 경로 예측”이 중요

1. Introduction

1-1. 배경

주변 차량이 자 차량의 주행 차로로 급격히 차선 변경



<주변 차량이 급격히 차선변경 하는 상황>



ACC (adaptive cruise control)의 경우

주변 차량이 자 차량의 주행 경로 위에 존재할 때 CIPV
(closest in path vehicle)로 인식하므로
주변 차량을 CIPV로 인식했을 때에는
이미 주변 차량이 자 차량의 주행 차로로 들어온 상태



충돌을 피하기 위해 자 차량에 **급격한 움직임** 요구
충돌을 피할 수 없는 경우 **사고가 발생 가능**

1. Introduction

1-2. 기존 방법

주변 차량의 주행 경로를 예측 하는 것은

센서가 주변 차량을 얼마나 잘 tracking 하느냐에 달려있다.

따라서 주변 차량을 tracking하는 것에 대하여 이미 많은 연구가 진행되어왔다.

“An IMM Algorithm for Tracking Maneuvering Vehicles in an Adaptive Cruise Control Environment”

“Specific Features of IMM Tracking Filter Design”

“Interacting Multiple Model Methods in Target Tracking: A Survey”

“Sensor Fusion for Predicting Vehicle’s Path for Collision Avoidance System”

“Multi-Target Multi-Object Tracking, Sensor Fusion of Radar and Infrared”

“Multi-Vehicle Target Selection for Adaptive Cruise Control”

“Vehicle Trajectory Prediction for Adaptive Cruise Control”

“주행특성지수를 이용한 차량 주행상태 분류 연구”

:

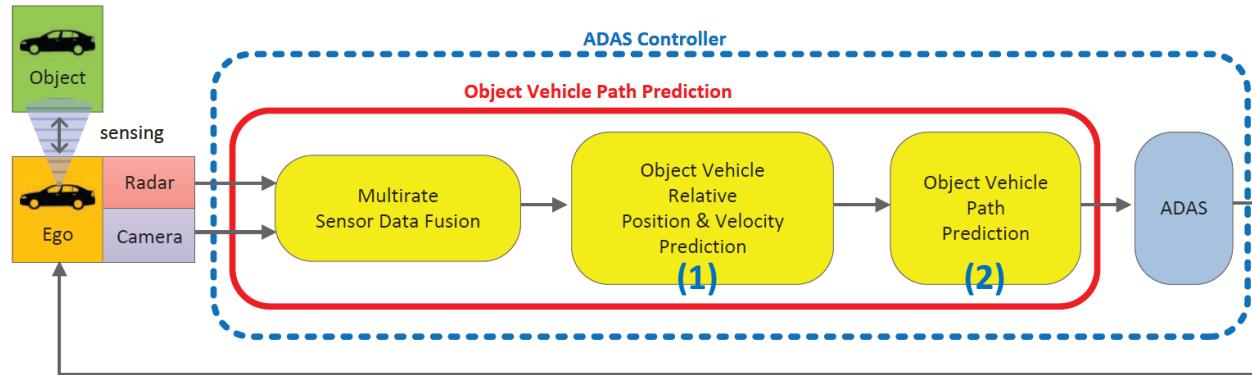
1. Introduction

주변 차량의 주행 경로 예측을 통해
주변 차량이 급격한 움직임을 보일 때 발생할 수 있는 문제를 해결하여
ADAS의 성능 향상을 돋는 것을 목표로 하므로

등 속도 또는 등 가속도 모델을 가정하기 보다는
곡선 적합을 통해 주변 차량의 움직임의 history를 반영하여
주변 차량의 주행 경로를 예측한다.

또한 보다 정확한 주행 경로 예측을 위해서는
정확하고 신뢰성 높은 센서 데이터가 요구되므로
센서 퓨전을 통해 센싱 정확도를 높인다.

1. Introduction



< 주변 차량 주행 경로 예측 흐름도 >

주행 경로 예측을 위와 같이 **두 단계**로 나눈 이유는,

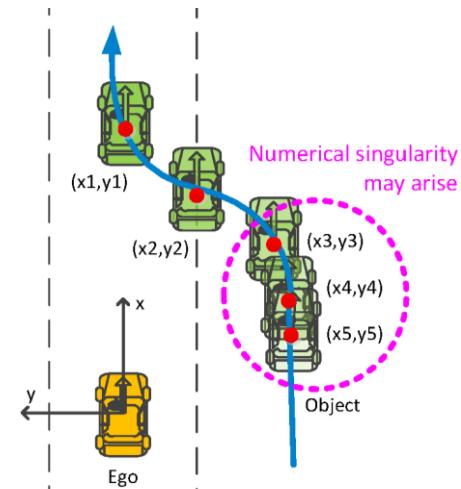
Geometric 위치에 대하여 곡선 적합할 경우

주변 차량의 상대적인 위치가 크게 변하지 않을 때

Numerical Singularity가 발생할 수 있으므로

시간에 대하여 곡선 적합하여

주행 경로를 예측하기 위함이다.

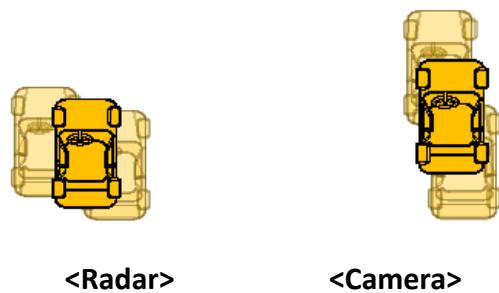


< geometric 위치에 대하여 곡선 적합 >

2. Parametric Trajectory Prediction

2-1. 센서 퓨전

1) 센싱 정확도



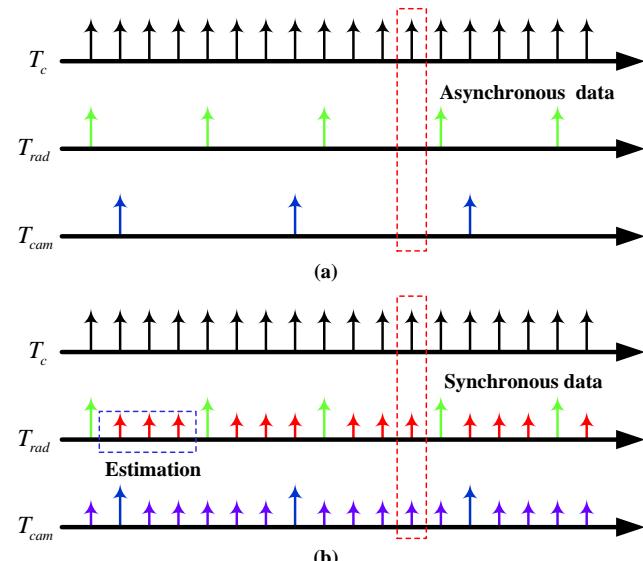
레이더 : 횡방향 정확도 < 종방향 정확도

카메라 : 횡방향 정확도 > 종방향 정확도

퓨전 : 횡방향 정확도↑, 종방향 정확도 ↑

2) 센서 update time 동기화

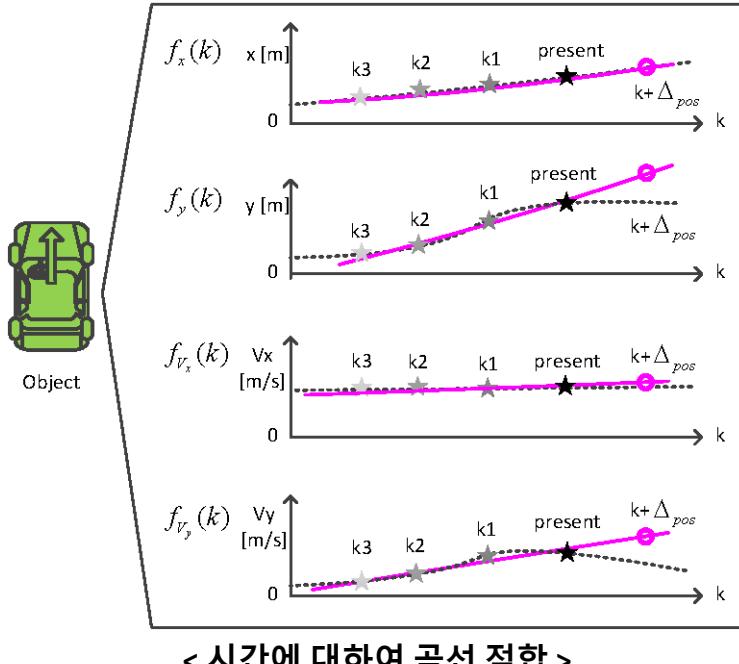
$T_{rad} = R_{mr}T_c$, $T_{cam} = R_{mv}T_c$ 를
가정 Multirate Kalman Filter 설계



< a) 동기화 전, b) 동기화 후 >

2. Parametric Trajectory Prediction

2-2. 주변 차량 상대 위치 & 속도 예측



다음과 같은 M차 곡선으로
곡선 적합 할 경우

$$f(k) = a_0 + a_1 k + \dots + a_M k^M$$

N개의 sensor data를
다음과 같이 matrix 형태로 나타낼 수 있다.

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & k_1 & \dots & k_1^M \\ 1 & k_2 & \dots & k_2^M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & k_N & \dots & k_N^M \end{bmatrix}}_K \underbrace{\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}}_A = \underbrace{\begin{bmatrix} f(k) \\ f(k_1) \\ f(k_2) \\ \vdots \\ f(k_N) \end{bmatrix}}_F \quad \text{where } N \geq M + 1$$

다음과 같은 weighting matrix를 추가한 뒤
weighted least square method를 통해
곡선 적합 한다.

$$W = \text{diag}(w_1, w_2, \dots, w_N)$$

$$WKA = WF$$

$$\therefore A = \left((WK)^T WK \right)^{-1} (WK)^T WF$$

2. Parametric Trajectory Prediction

2-3. 주변 차량 주행 경로 예측

2-3-1. position based prediction

앞에서 곡선 적합한

종방향 상대 위치 곡선, 횡방향 상대 위치 곡선이 다음과 같을 때

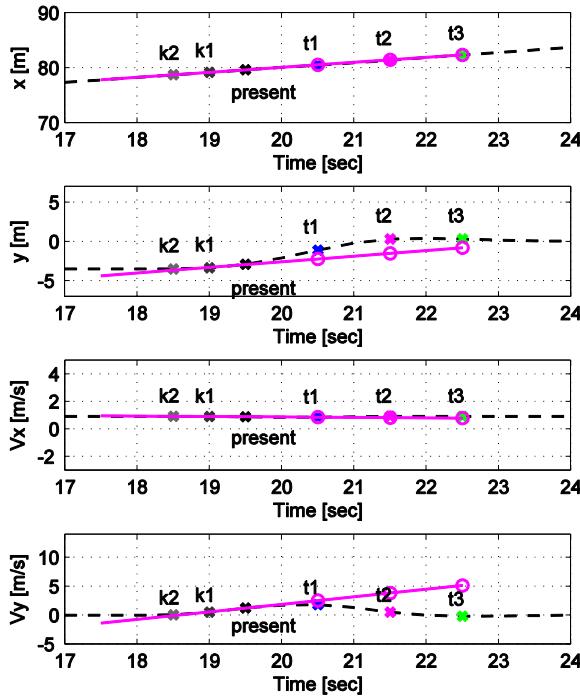
$$\begin{aligned} \text{종방향 상대 위치 곡선 : } f_x(k) &= a_{0x} + a_{1x}k + \cdots + a_{Mx}k^M \\ \text{횡방향 상대 위치 곡선 : } f_y(k) &= a_{0y} + a_{1y}k + \cdots + a_{My}k^M \end{aligned}$$

주변 차량의 Δ_{pos} 시간 이후의 상대 위치를 다음과 같이 예측할 수 있다.

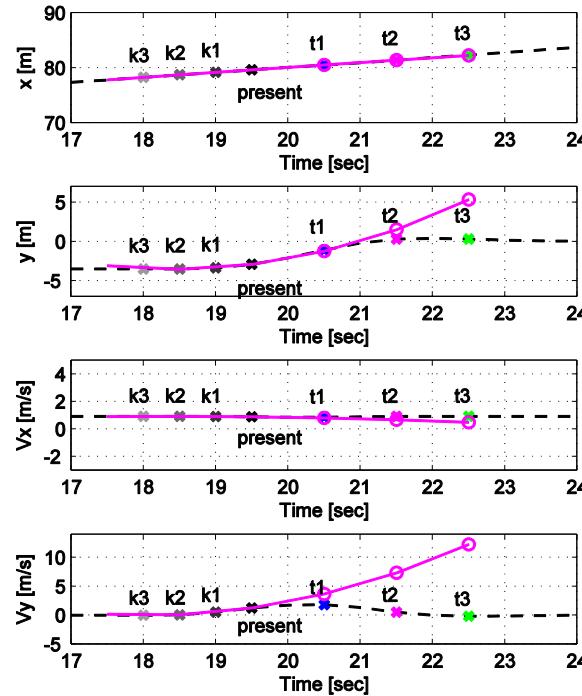
$$\begin{aligned} x(k + \Delta_{pos}) &= f_x(k + \Delta_{pos}) \\ y(k + \Delta_{pos}) &= f_y(k + \Delta_{pos}) \end{aligned}$$

3. Experimental Results

모의 실험에서 곡선 적합에 사용될 곡선의 종류를 결정하기 위해
주변 차량의 상대 위치와 속도를
1차 곡선과, 2차 곡선으로 예측한 뒤 결과를 비교



< 1차 곡선 적합 결과 >



< 2차 곡선 적합 결과 >

---	fused data
×	fused data at k3, k2, k1, present, t1, t2, t3
○	predicting data at t1, t2, t3
-	prediction curve of each data

1차 곡선으로도
충분하다고 판단

3. Experimental Results

1) Simulation in 직선 도로

자 차량 속도 : 29m/s, 주변 차량 속도 : 30m/s

2) Simulation in 곡선 도로

자 차량 속도 : 29m/s, 주변 차량 속도 : 30m/s

3) Test with 실제 센서 데이터

자 차량 속도 : 14m/s~16m/s, 주변 차량 속도 : 12~16m/s

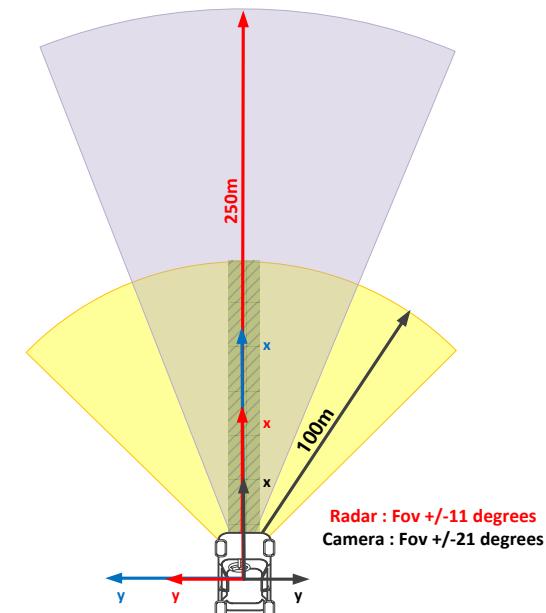


$$T_c : 0.01\text{sec} / R_{mr} : 5 / R_{mv} : 8 / \Delta_{pos} : 1\text{sec}, 2\text{sec}, 3\text{sec} / N : 3$$

① position based prediction 수행

② velocity based prediction 중 method 3 수행

③ constant velocity model을 가정한 뒤 Kalman filter를 통해 예측

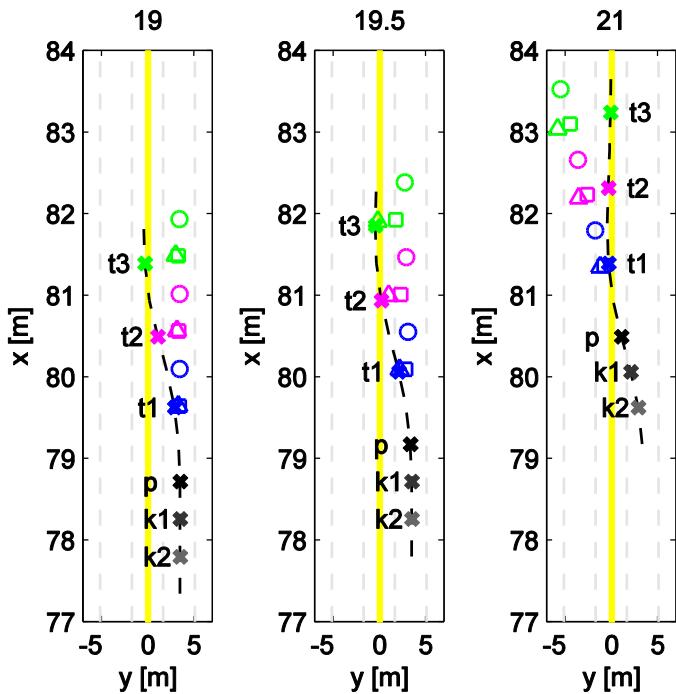


3. Experimental Results

3-2. 모의 실험 결과

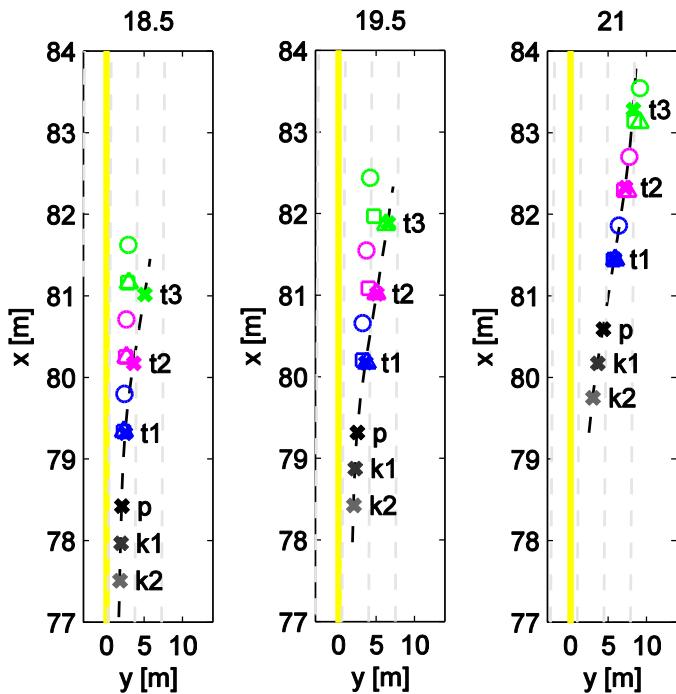
3-2-1. Simulation

----	lane	----	fused data
X	fused data at k2, k1, present, t1, t2, t3		
—	x-coordinate of the local coordinate		



< Simulation in 직선 도로 결과 >

오른쪽 차로에서 자차량의 주행 차로로 차선변경



< Simulation in 곡선 도로 결과 >

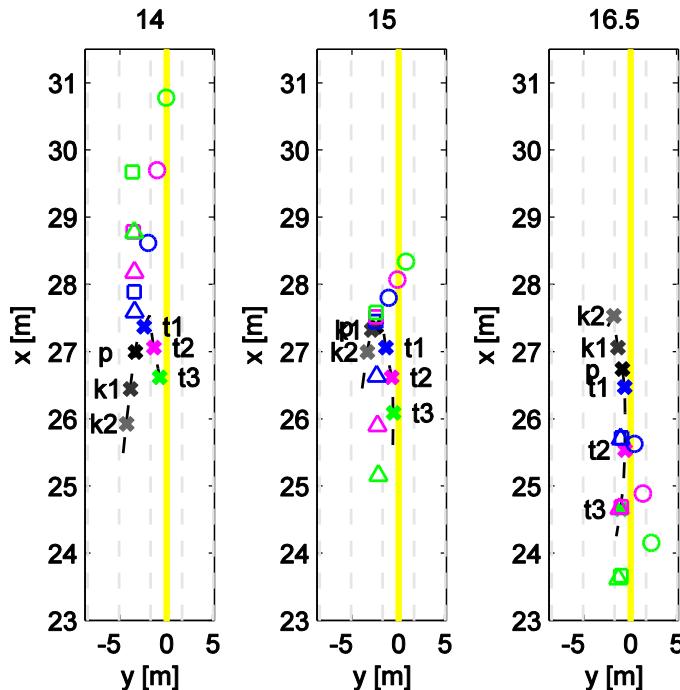
자차량의 주행 차로에서 오른쪽 차로로 차선변경

3. Experimental Results

3-2. 모의 실험 결과

3-2-2. Test with 실제 센서 데이터

---	lane	----	fused data
×	fused data at k2, k1, present, t1, t2, t3		
—	x-coordinate of the local coordinate		
○	position based prediction		
△	velocity based prediction		
□	predict by using Kalman filter with assuming constant velocity model		



< Test with 실제 센서 데이터 결과 >

왼쪽 차로에서 자 차량의 주행 차로로 감속하며 차선변경