



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Curso de Pós graduação em Engenharia Elétrica
PSI5121 Sistemas Automotivos



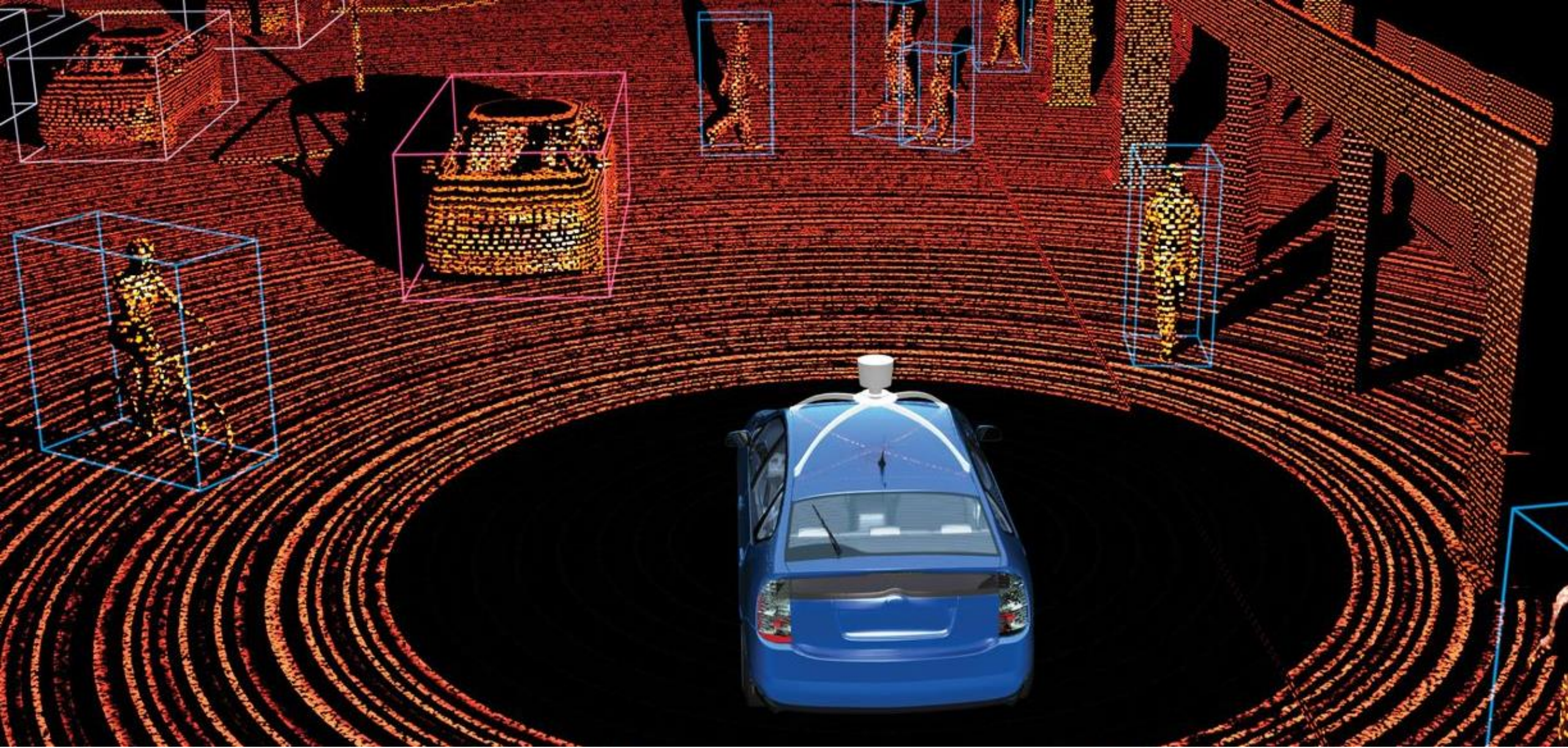
Veículos Autônomos

Prof. Leopoldo Yoshioka
Novembro 2019



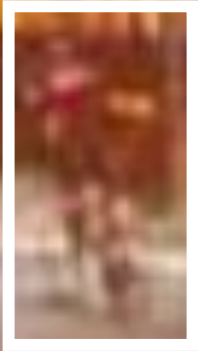
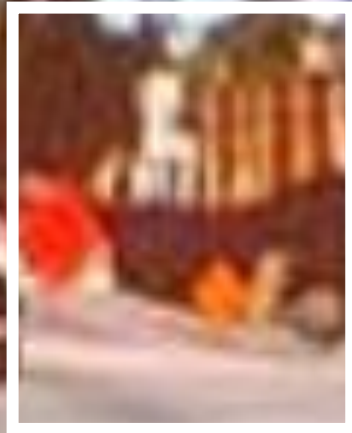
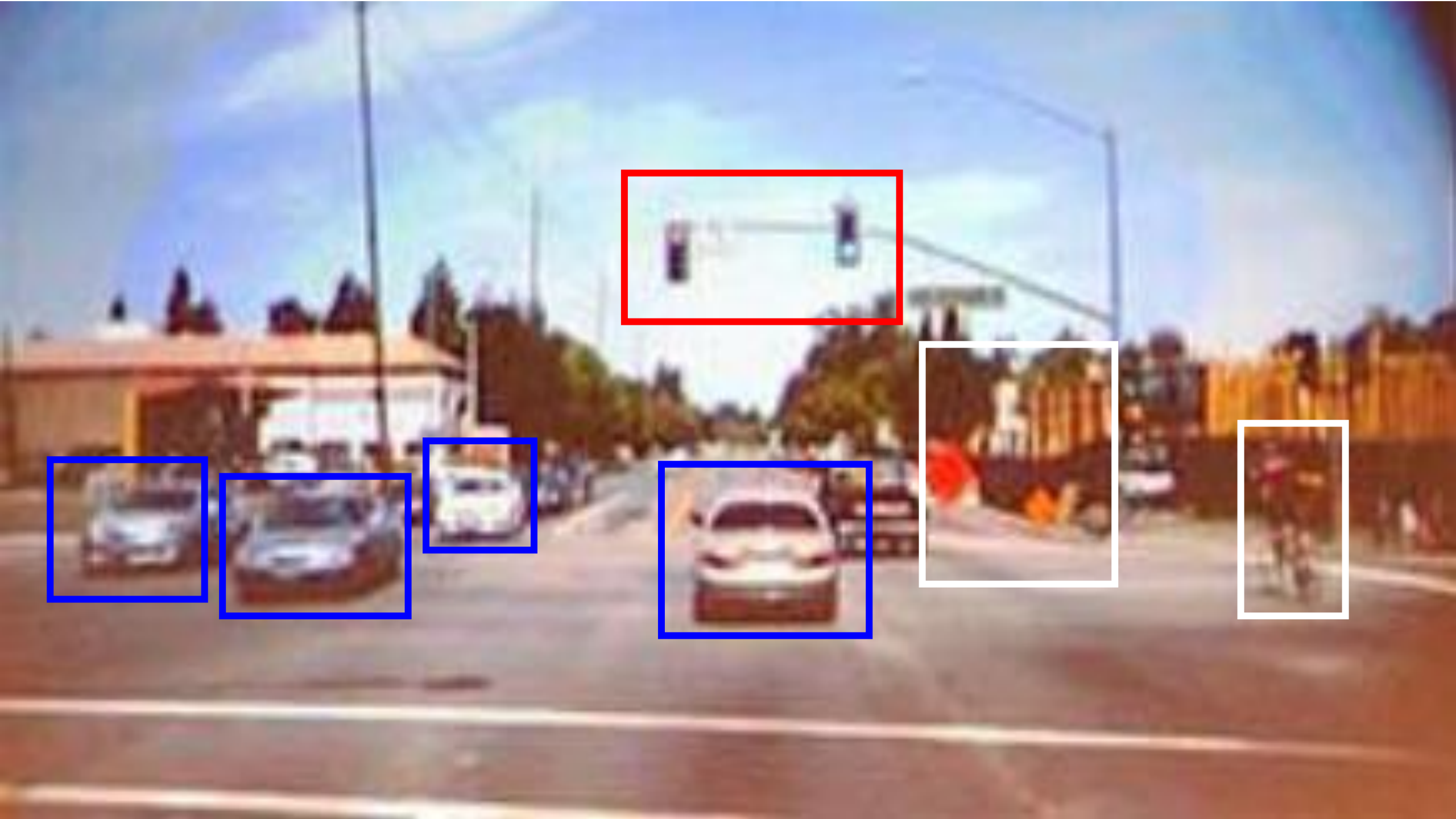
HIGHLIGHTS

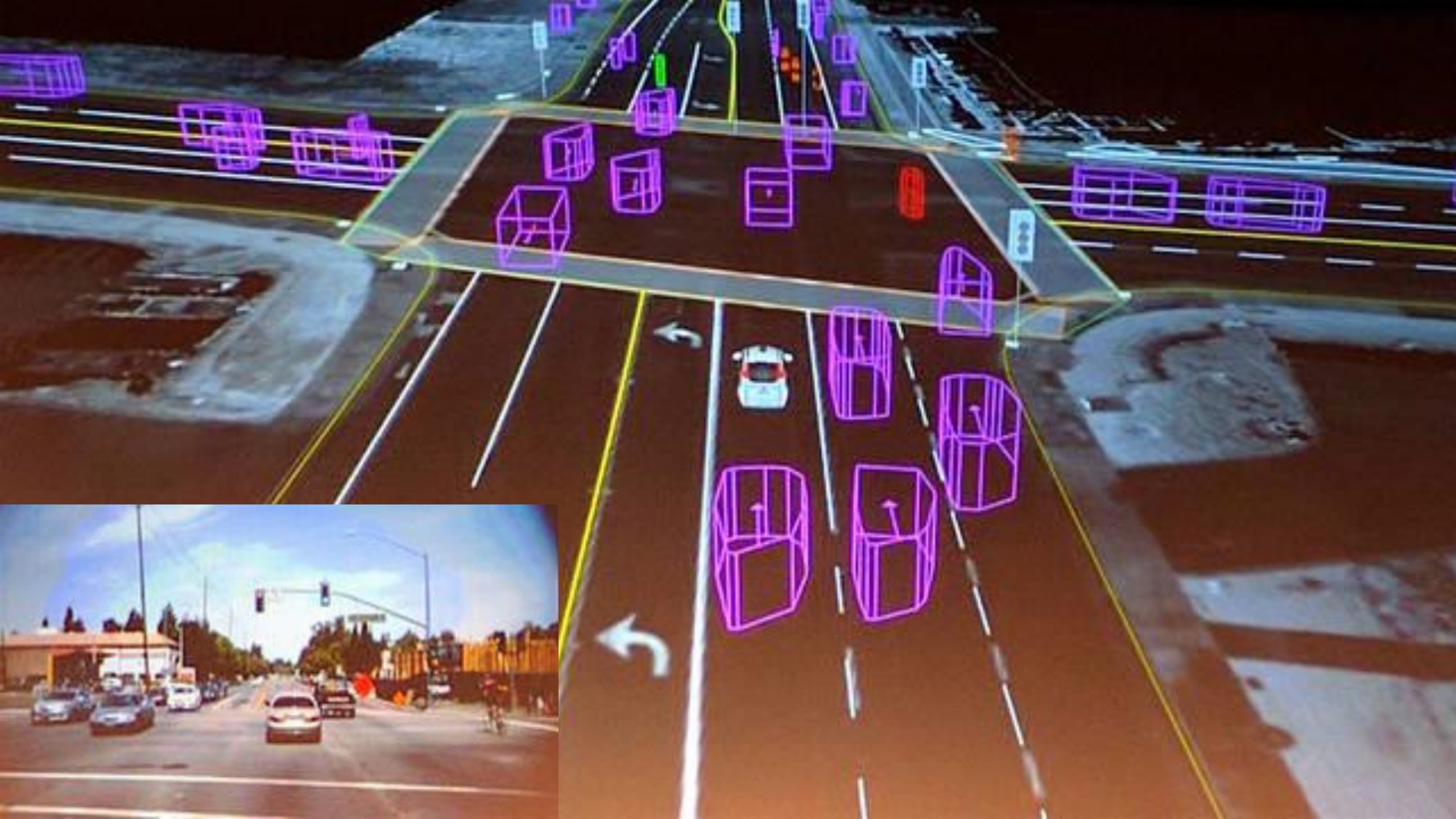
DO CORSO

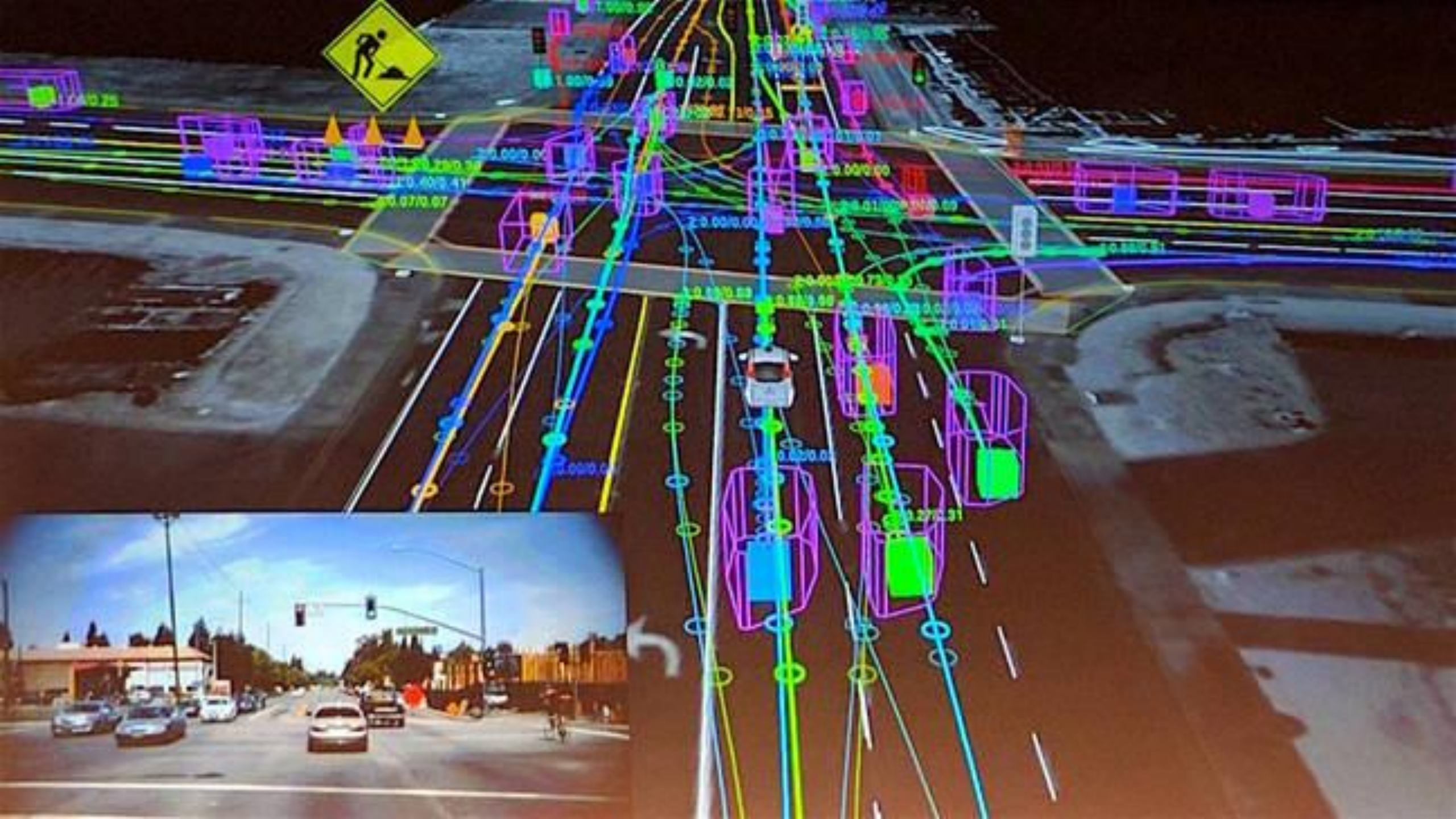


Popular Science, 2013 - How a Self-Driving Car Sees The World
(<https://www.popsci.com/cars/article/2013-09/google-self-driving-car/>)

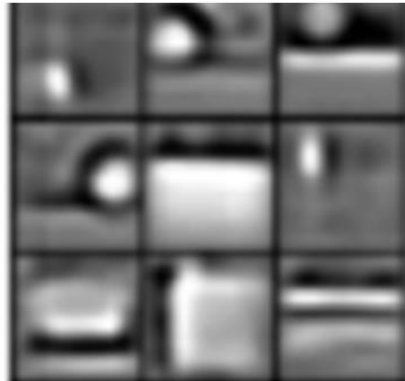
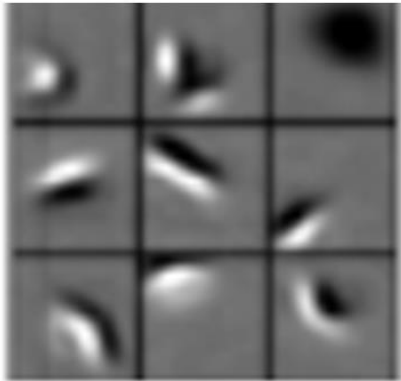
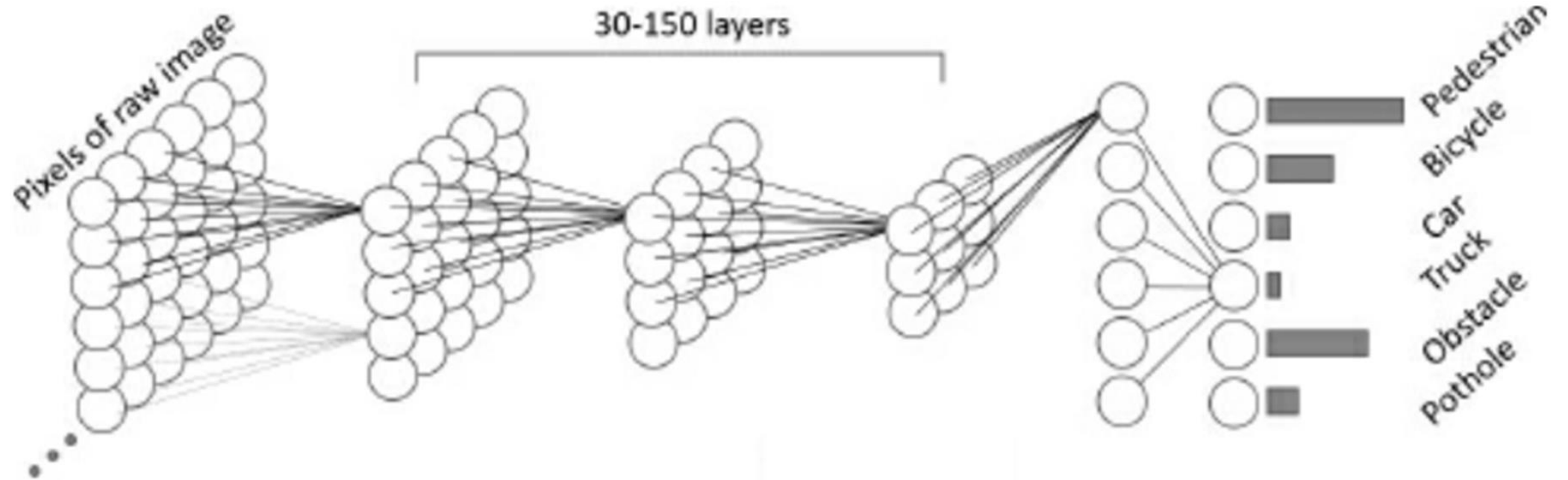




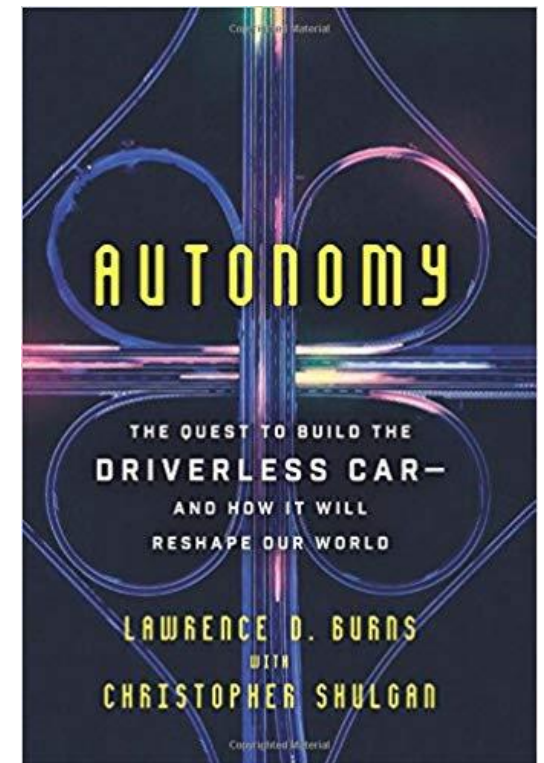
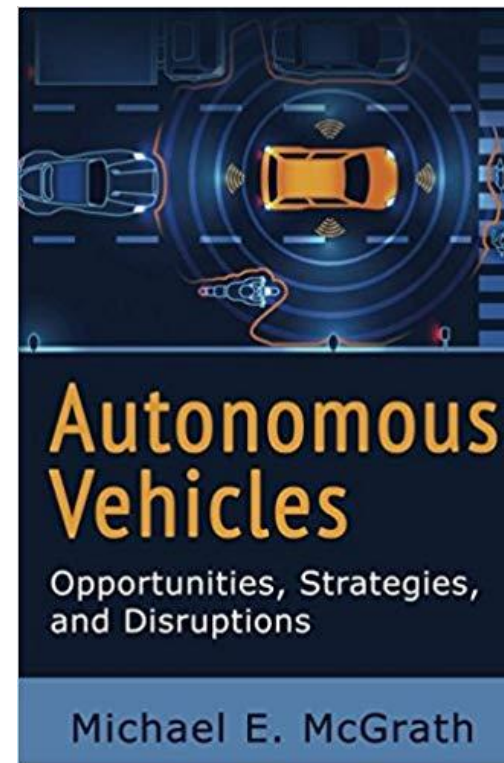
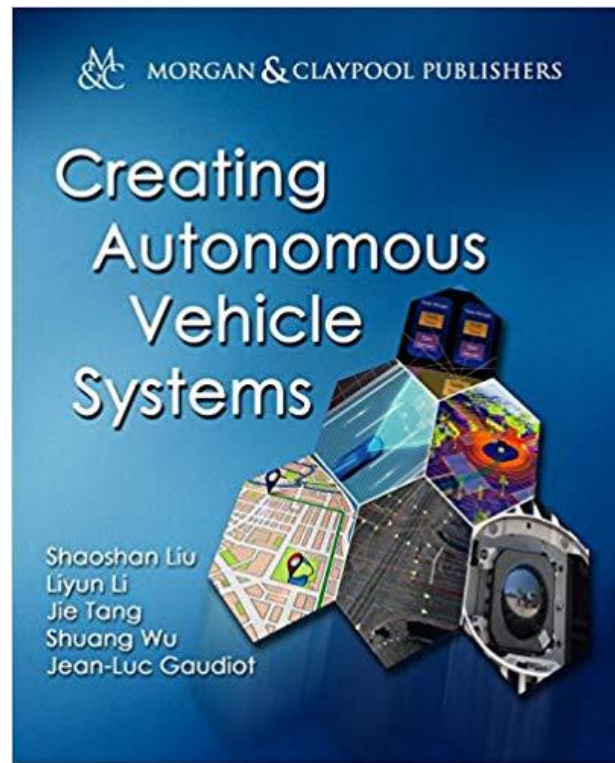
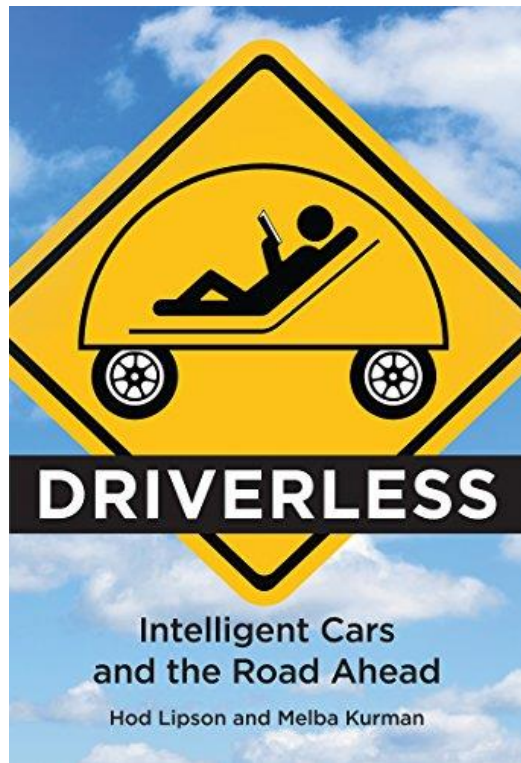




Deep Learning - RedeNeural Convolucional



Leitura recomendada (1)



Leitura recomendada (2)

Autonomous Driving in Urban Environments: Boss and the Urban Challenge

Chris Umson, Joshua Anhalt, Drew Bagnell, Christopher Baker, Robert Bittner, M. N. Clark, John Dolan, Dave Duggins, Tugrul Galatali, Chris Geyer, Michele Gittleman, Sam Harbaugh, Martial Hebert, Thomas M. Howard, Sascha Kolski, Alonzo Kelly, Maxim Likhachev, Matt McNaughton, Nick Miller, Kevin Peterson, Brian Plinick, Raj Rajkumar, Paul Rybski, Bryan Salesky, Young-Woo Seo, Sanjiv Singh, Jarrod Snider, Anthony Stentz, William "Red" Whittaker, Ziv Wolkowicki, and Jason Zlgar
Carnegie Mellon University
Pittsburgh, Pennsylvania 15213
e-mail: curmson@ri.cmu.edu

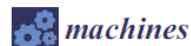
Hong Bae, Thomas Brown, Daniel Demitrish, Bakhtiar Litkouhi, Jim Nickolaou, Varsha Sadekar, and Wendu Zhang
General Motors Research and Development
Warren, Michigan 48090

Joshua Struble and Michael Taylor
Caterpillar, Inc.
Peoria, Illinois 61656

Michael Darms
Continental AG
Auburn Hills, Michigan 48326

Dave Ferguson
Intel Research
Pittsburgh, Pennsylvania 15213

Received 26 February 2008; accepted 19 June 2008



Article

Perception, Planning, Control, and Coordination for Autonomous Vehicles

Scott Drew Pendleton^{1,*}, Hans Andersen¹, Xinxin Du², Xiaotong Shen², Malika Meghiani², You Hong Eng², Daniela Rus³ and Marcelo H. Ang Jr.¹

¹ Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, Singapore 119077, Singapore; hans.andersen@u.nus.edu (H.A.); mpeangh@nus.edu.sg (M.H.A.J.)

² Future Urban Mobility, Singapore-MIT Alliance for Research and Technology, Singapore 138602, Singapore; xinxin@smart.mit.edu (X.D.); xiaotong@smart.mit.edu (X.S.); malika@smart.mit.edu (M.M.); youhong@smart.mit.edu (Y.H.E.)

³ Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA; rus@csail.mit.edu

* Correspondence: scott.pendleton01@u.nus.edu

Academic Editor: Robert Parkin

Received: 3 January 2017; Accepted: 13 February 2017; Published: 17 February 2017

Abstract: Autonomous vehicles are expected to play a key role in the future of urban transportation systems, as they offer potential for additional safety, increased productivity, greater accessibility, better road efficiency, and positive impact on the environment. Research in autonomous systems has seen dramatic advances in recent years, due to the increases in available computing power and reduced cost in sensing and computing technologies, resulting in maturing technological readiness level of fully autonomous vehicles. The objective of this paper is to provide a general overview of the recent developments in the realm of autonomous vehicle software systems. Fundamental components of autonomous vehicle software are reviewed, and recent developments in each area are discussed.

Keywords: autonomous vehicles; localization; perception; planning; automotive control; multi-vehicle cooperation

1. Introduction

Autonomous Vehicles (AVs) are widely anticipated to alleviate road congestion through higher throughput, improve road safety by eliminating human error, and free drivers from the burden of driving, allowing greater productivity and/or time for rest, along with a myriad of other foreseen benefits. The past three decades have seen steadily increasing research efforts in developing self-driving vehicle technology, in part fueled by advances in sensing and computing technologies which have resulted in reduced size and price of necessary hardware. Furthermore, the perceived societal benefits continue to grow in scale along with the rapid global increase of vehicle ownership. As of 2010, the number of vehicles in use in the world was estimated to be 1.015 billion [1], while the world population was estimated to be 6.916 billion [2]. This translates to one vehicle for every seven persons. The societal cost of traffic crashes in the United States was approximately 300 billion USD in 2009 [3].

CARLA: An Open Urban Driving Simulator

Alexey Dosovitskiy¹, German Ros^{2,3}, Felpe Codevilla^{1,3}, Antonio López², and Vladlen Koltun¹

¹Intel Labs ²Toyota Research Institute ³Computer Vision Center, Barcelona

Abstract: We introduce CARLA, an open-source simulator for autonomous driving research. CARLA has been developed from the ground up to support development, training, and validation of autonomous urban driving systems. In addition to open-source code and protocols, CARLA provides open digital assets (urban layouts, buildings, vehicles) that were created for this purpose and can be used freely. The simulation platform supports flexible specification of sensor suites and environmental conditions. We use CARLA to study the performance of three approaches to autonomous driving: a classic modular pipeline, an end-to-end model trained via imitation learning, and an end-to-end model trained via reinforcement learning. The approaches are evaluated in controlled scenarios of increasing difficulty, and their performance is examined via metrics provided by CARLA, illustrating the platform's utility for autonomous driving research.

Keywords: Autonomous driving, sensorimotor control, simulation

1 Introduction

Sensorimotor control in three-dimensional environments remains a major challenge in machine learning and robotics. The development of autonomous ground vehicles is a long-studied instantiation of this problem [22, 26]. Its most difficult form is navigation in densely populated urban environments [21]. This setting is particularly challenging due to complex multi-agent dynamics at traffic intersections; the necessity to track and respond to the motion of tens or hundreds of other actors that may be in view at any given time; prescriptive traffic rules that necessitate recognizing street signs, street lights, and road markings and distinguishing between multiple types of other vehicles; the long tail of rare events – road construction, a child running onto the road, an accident ahead, a rogue driver barreling on the wrong side; and the necessity to rapidly reconcile conflicting objectives, such as applying appropriate deceleration when an absent-minded pedestrian strays onto the road ahead but another car is rapidly approaching from behind and may rear-end if one brakes too hard.

Research in autonomous urban driving is hindered by infrastructure costs and the logistical difficulties of training and testing systems in the physical world. Instrumenting and operating even one robotic car requires significant funds and manpower. And a single vehicle is far from sufficient for collecting the requisite data that cover the multitude of corner cases that must be processed for both training and validation. This is true for classic modular pipelines [21, 8] and even more so for data-hungry deep learning techniques. Training and validation of sensorimotor control models for urban driving in the physical world is beyond the reach of most research groups.

Vídeos recomendados



The Evolution of Self-Driving Vehicles

Palestra do Sebastian Thrun e
Chris Urmson (3 partes)

<https://www.youtube.com/watch?v=z7ub5Doyapk>



Chris Urmson: How a driverless car sees the road

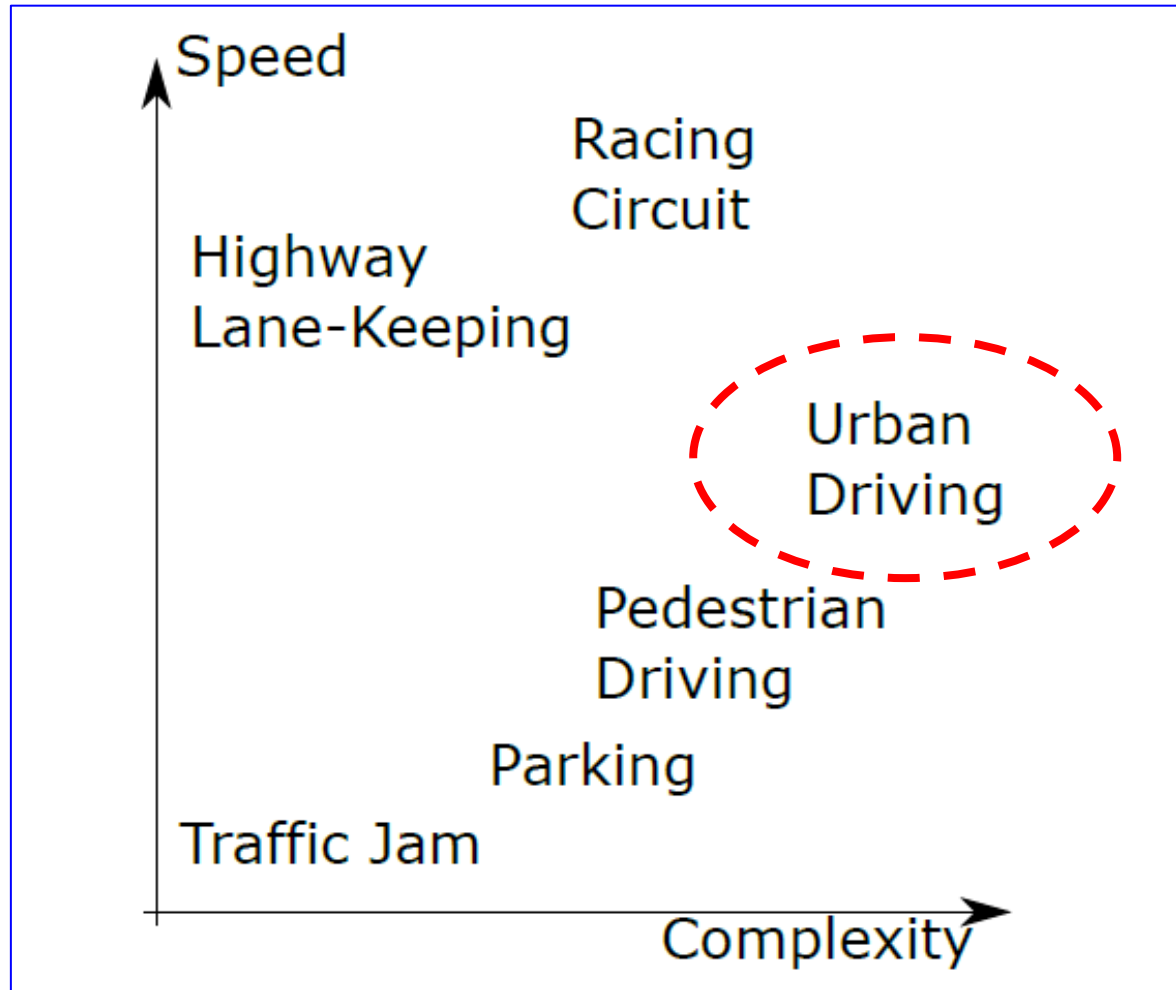
<https://www.youtube.com/watch?v=tiwVMrTLUWg&t=236s>



How we teach computers to understand pictures | Fei Fei Li

<https://www.youtube.com/watch?v=40riCqvRoMs>

Mapa de complexidade de Operação

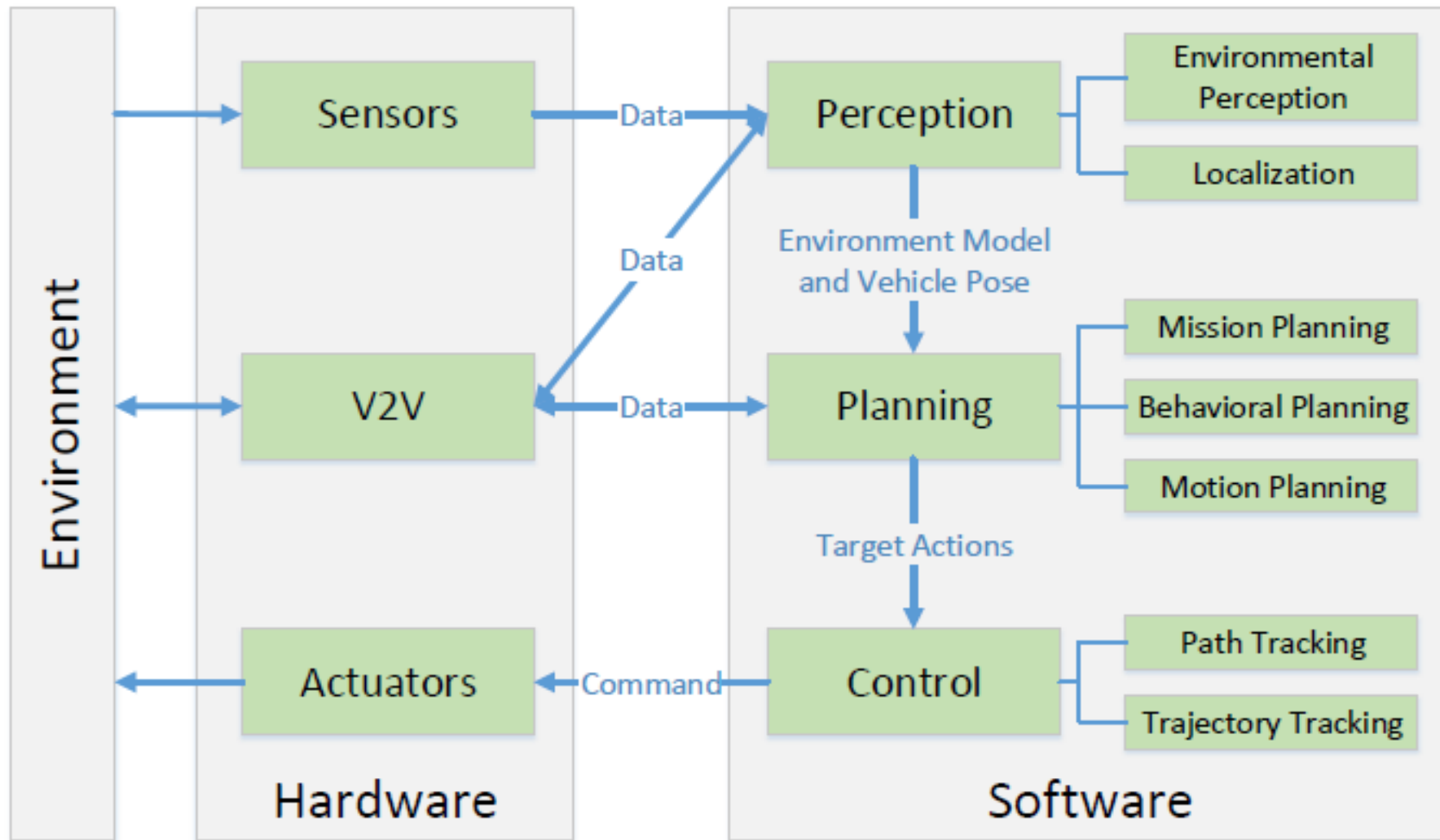


(Pendleton, 2017)

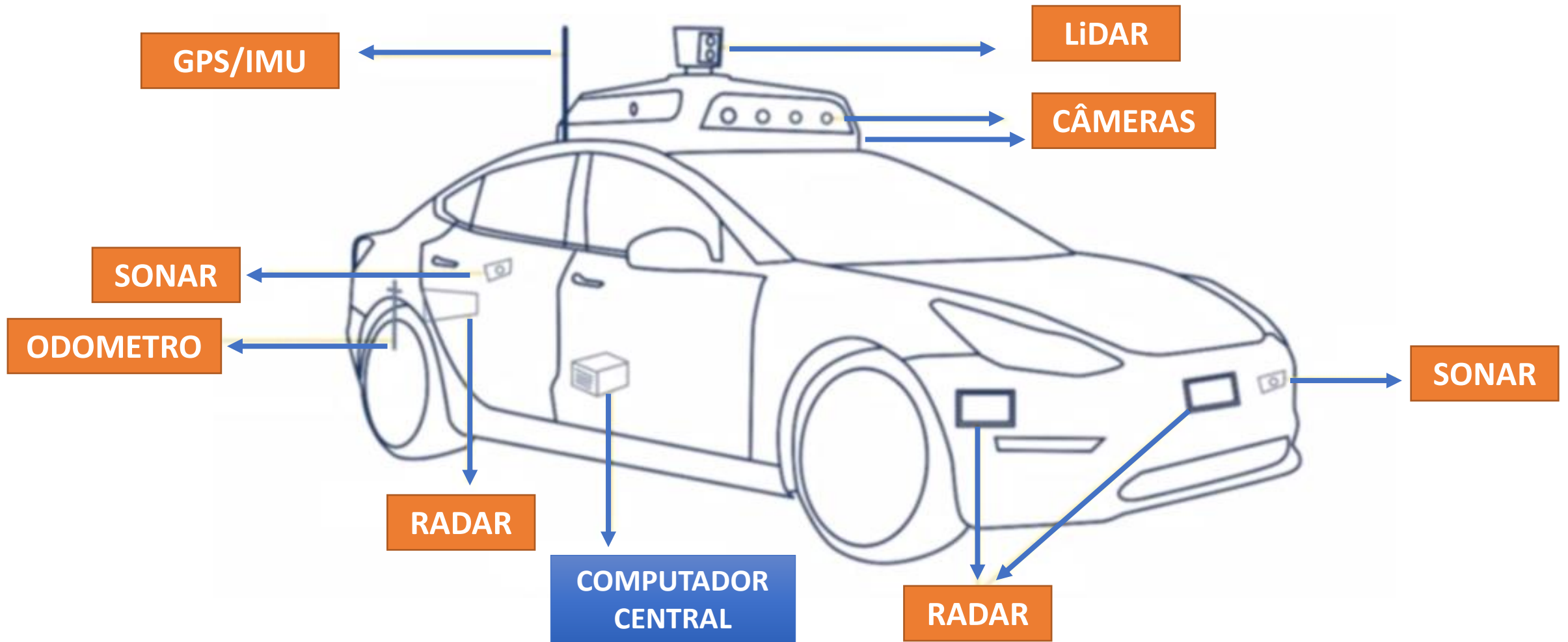


Exemplo de Tráfego urbano
Arco do Triunfo, Paris (Google Images)

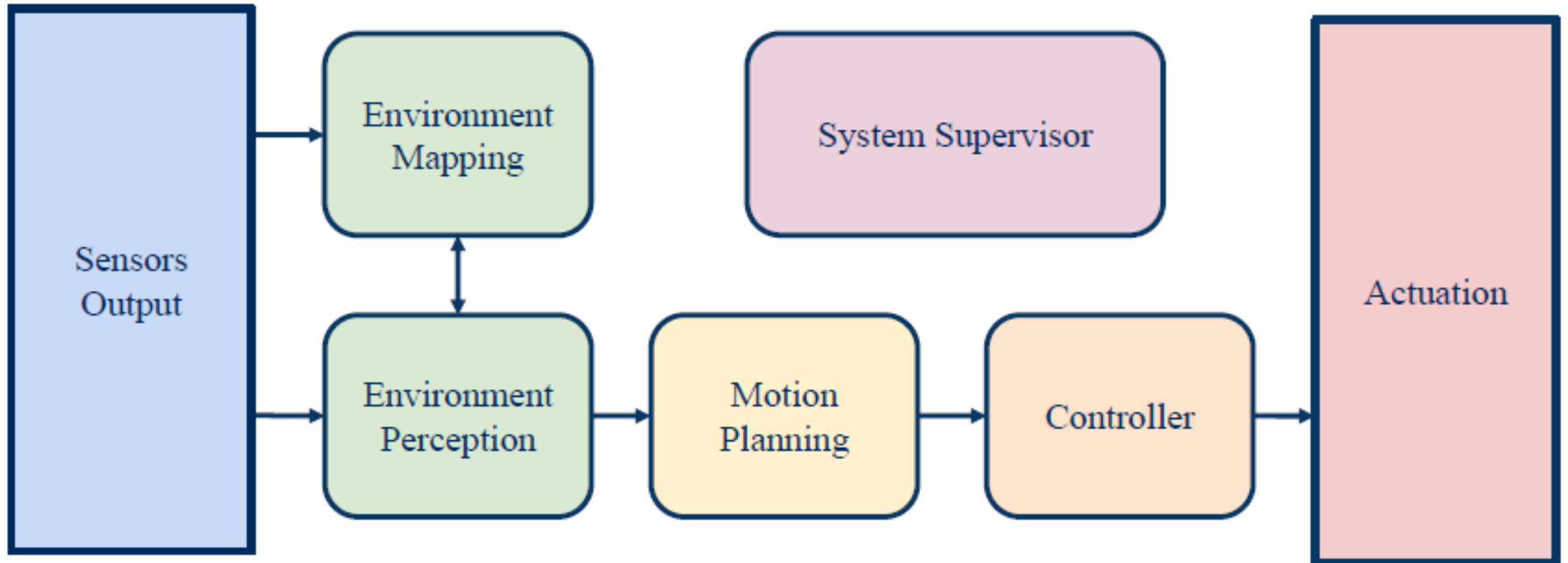
Arquitetura geral de um veículo autônomo



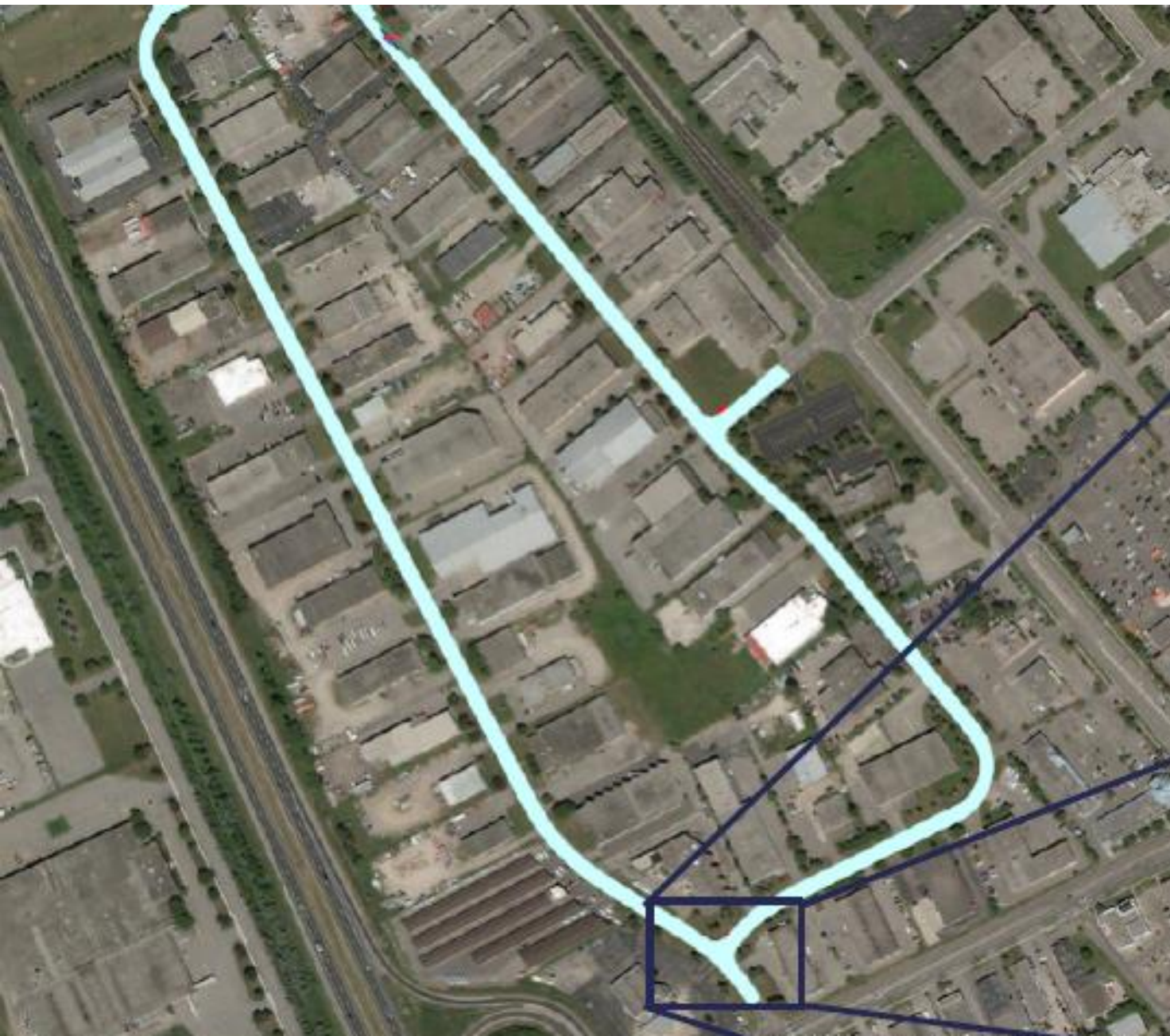
SENSORES PARA PERCEPÇÃO



Arquitectura de Software (alto nivel)



Mapa viária detalhada



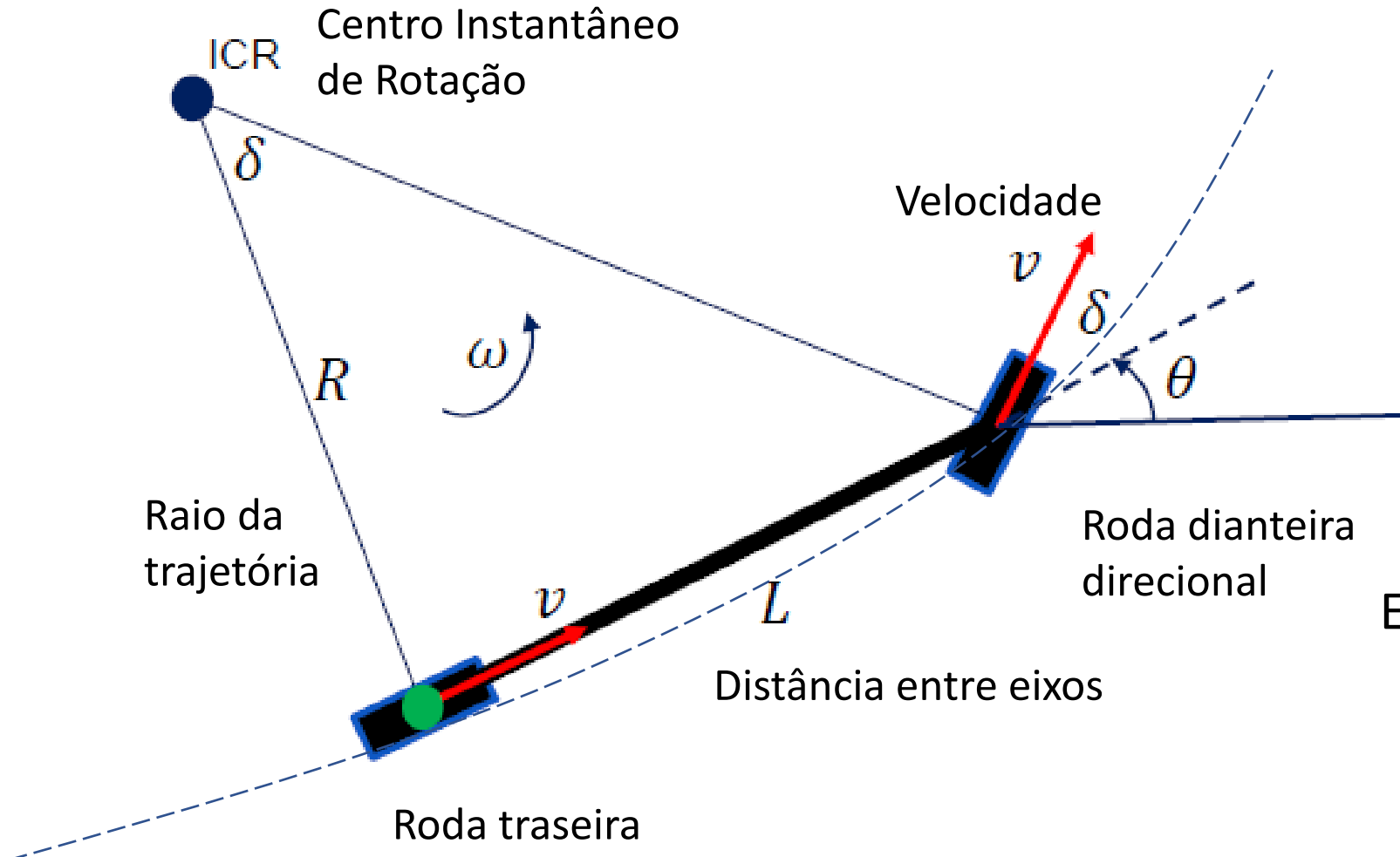
Regulação
de tráfego

Limites das
Faixas



Modelo cinemático do veículo em 2D

(Bicycle Model)



$$\dot{\theta} = \omega = \frac{v}{R}$$

$$\tan \delta = \frac{L}{R}$$

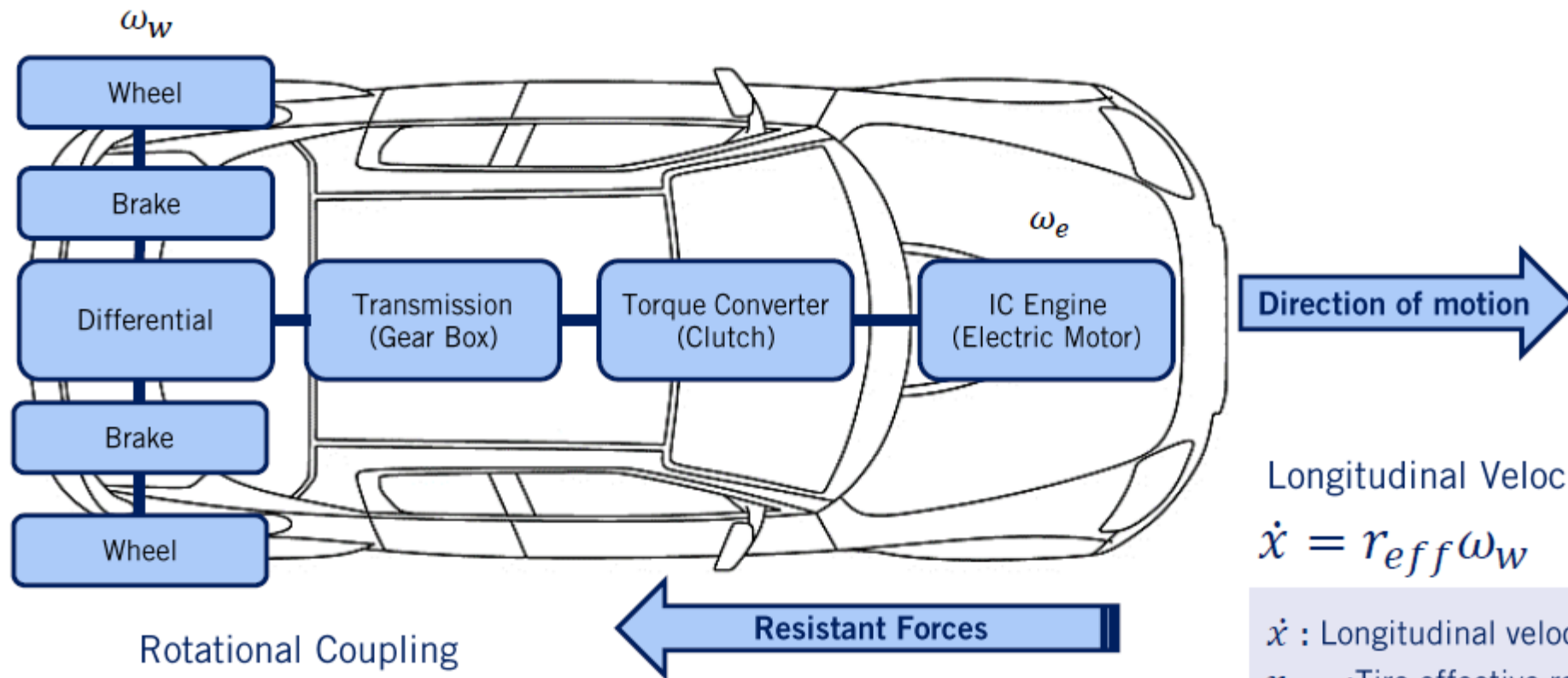
Equação da trajetória do veículo

$$\dot{\theta} = \omega = \frac{v}{R} = \frac{v \tan \delta}{L}$$

Modelo dinâmico do veículo em 2D



Powertrain Modeling



Rotational Coupling

$$\omega_w = GR\omega_t = GR\omega_e$$

ω_w :wheel angular speed
 ω_t :turbine angular speed
 ω_e :engine angular speed
 GR : Combined gear ratios

Longitudinal Velocity

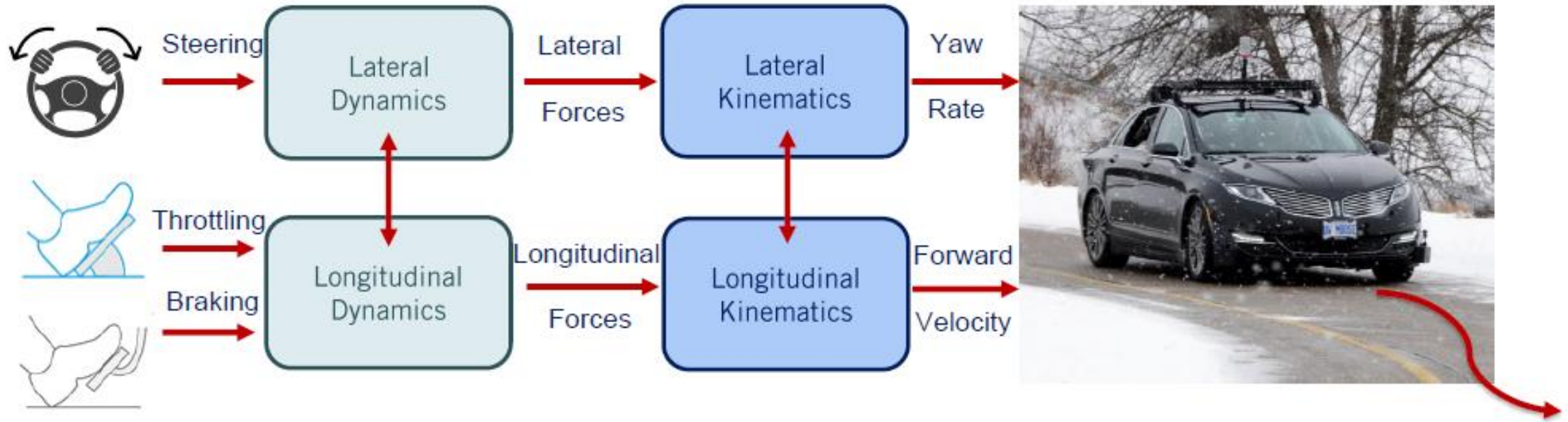
$$\dot{x} = r_{eff}\omega_w$$

\dot{x} : Longitudinal velocity
 r_{eff} :Tire effective radius

Longitudinal acceleration

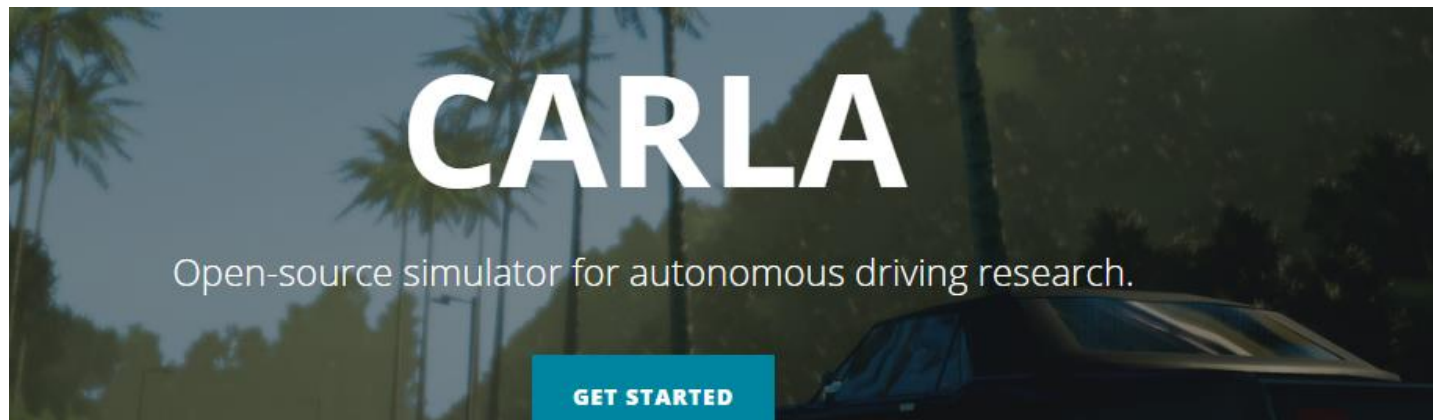
$$\ddot{x} = r_{eff}GR\dot{\omega}_e$$

Coupled Lateral & Longitudinal



Objetivo do controle:

- manter o veículo na trajetória na velocidade desejada.



<http://carla.org/>

Video



CARLA – uma plataforma de simulação open-source para pesquisa em direção autônoma

- **CAR Learning to Act - CARLA**
- Suporte para desenvolvimento, prototipação, e validação de modelos de veículos autônomos, incluindo **percepção** e **controle**
- Possui uma base de dados de layouts urbanos, prédios e veículos, pedestres e semáforos
- Permite especificar os sensores e as condições ambientais



Uma rua do Town 2 com diferentes condições ambientais

Trabalho do módulo Veículos Autônomos

Projeto: My Autonomous Car

Implementar um controlador de veículo autônomo utilizando o simulador CARLA. O objetivo é controlar um veículo de forma que ele percorra uma rota navegando por pontos de controle pré-definidos (*waypoints*). O veículo deverá passar pelos pontos de controle a uma determinada velocidade (configurada previamente), de modo que será necessário aplicar tanto o controle longitudinal como o controle lateral.

Será fornecido **código fonte em Python** de um controlador de referência.

Trabalho em **grupo de até 3 alunos**.

Prazo: **15 de dezembro de 2019**

Parte 1 - Introdução

- Contextualização
- Motivações
- Breve histórico
- Mudanças de visão sobre a mobilidade
- Veículos de transporte personalizado (PRT)
- Veículos autônomos de entrega

Parte 1 - Introdução

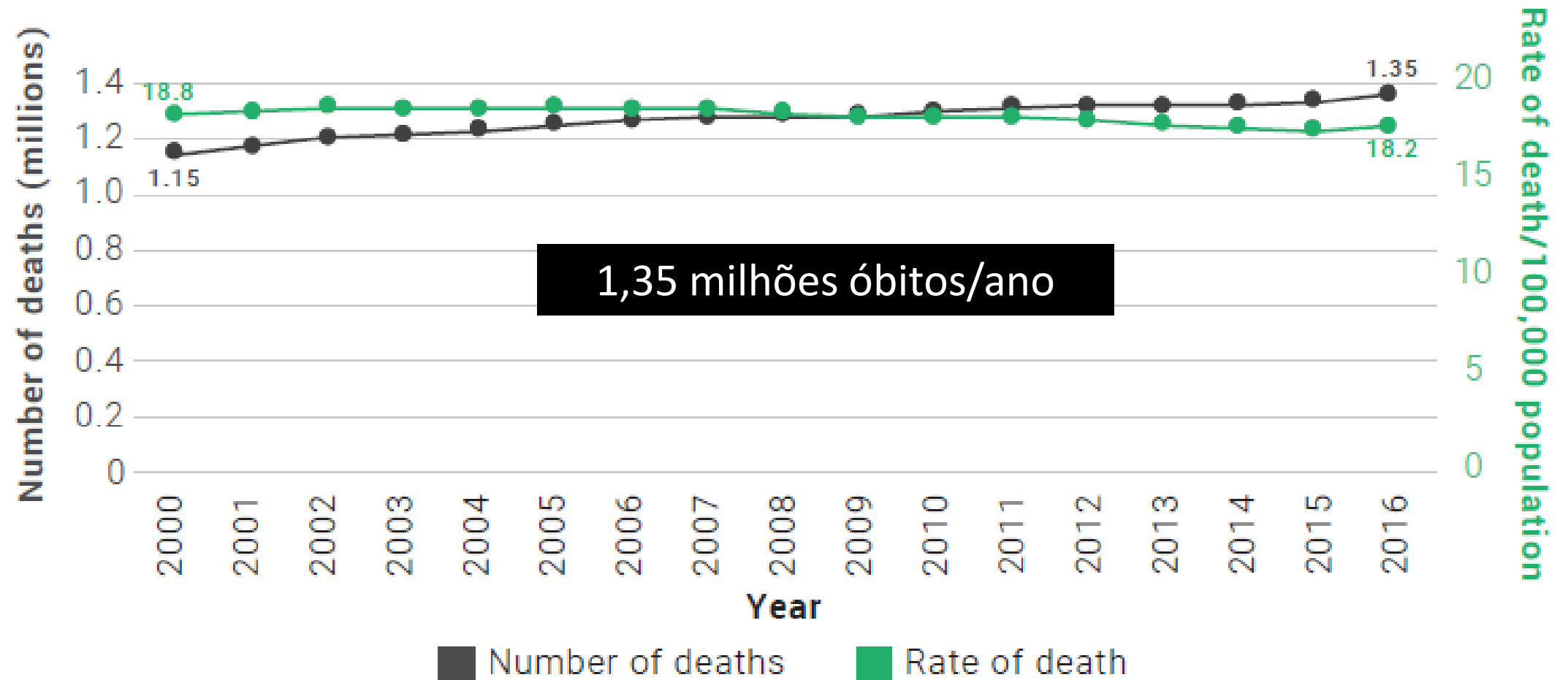
- **Contextualização**
- Motivações
- Breve histórico
- Mudanças de visão sobre a mobilidade
- Veículos de transporte personalizado (PRT)
- Veículos autônomos de entrega

Contextualização

- O número de veículos motorizados no mundo é da aproximadamente **2,1 bilhões** para uma população de 7 bilhões.
- As grandes cidades e rodovias enfrentam **congestionamentos** constantes
- **Tempo** de viagem e **variabilidade** maiores
- **1,35 milhões** de óbitos/ano no mundo em decorrência de acidentes de trânsito (OMS)
- Cerca de **95%** das causas são devido a **falhas humanas** (imperícia, distração, álcool etc)

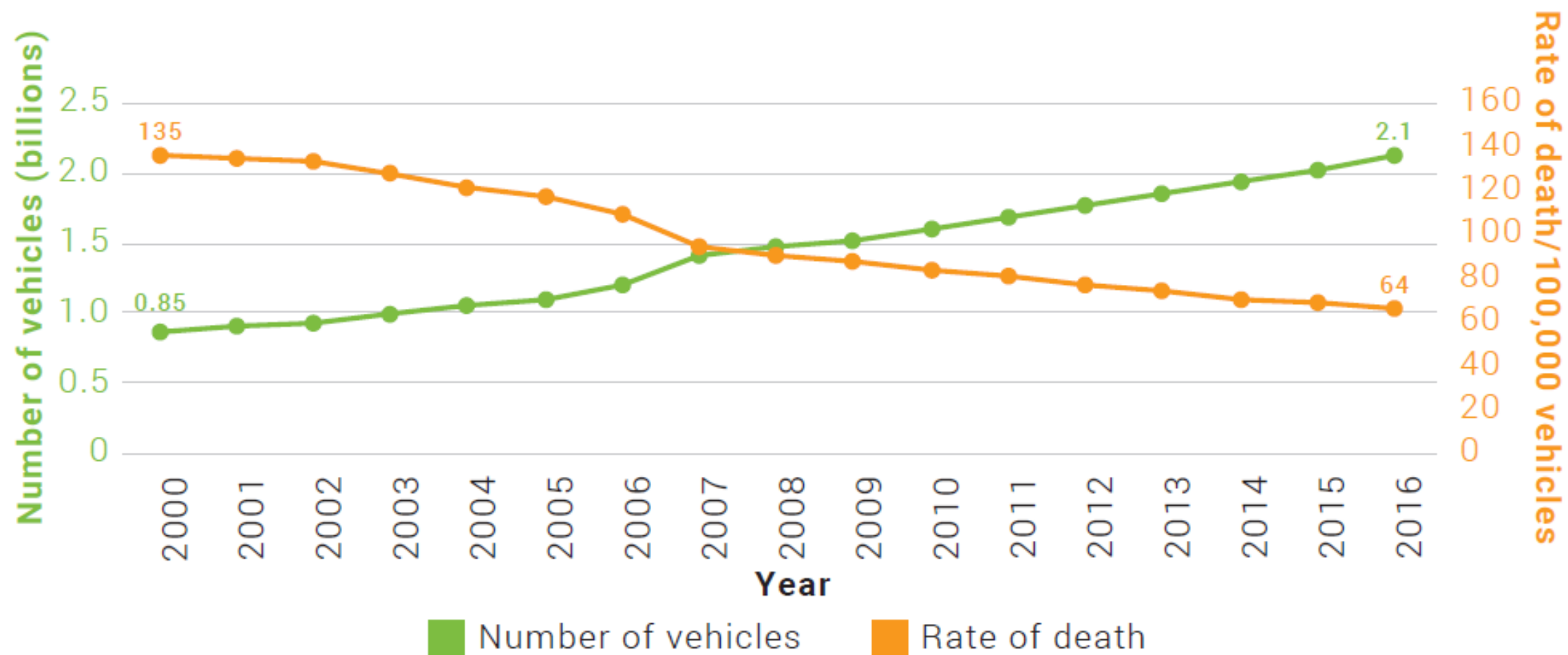
(Fonte: [Global status report on road safety 2018](#) – PDF disponível no eDisciplinas)

Figure 1: Number and rate of road traffic death per 100,000 population: 2000–2016



(OMS, 2018)

Figure 2: Number of motor vehicles and rate of road traffic death per 100,000 vehicles: 2000–2016



Países com maiores números absolutos de morte no trânsito - 2010

Ranking	País	Posição no IDH	População estimada ¹	Nº de mortes ²	Taxa de Mortes por 100 mil hab.	Número de veículos registrados	Taxa de mortes por 1 mil veículos
1º	China	101º	1.348.932.032	275.983	20,5	207.061.286	1,33
2º	Índia	136º	1.224.614.272	231.027	18,9	114.952.000	2,01
3º	Nigéria	153º	158.423.184	53.339	33,7	12.545.177	4,25
4º	Brasil ³	85º	194.946.488	42.844	22	64.817.974	0,66
5º	Indonésia	121º	239.870.944	42.734	17,8	72.692.951	0,59
6º	Estados Unidos	3º	310.383.968	35.490	11,4	258.957.503	0,14
7º	Paquistão	146º	173.593.384	30.131	17,4	7.853.022	3,84
8º	Rússia	55º	142.958.156	26.567	18,6	43.325.312	0,61
9º	Tailândia	103º	69.122.232	26.312	38,1	28.484.829	0,92
10º	Irã	76º	73.973.628	25.224	34,1	20.657.627	1,22

(Fonte: Datasus, 2010)

Parte 1 - Introdução

- Contextualização
- **Motivações**
- Breve histórico
- Mudanças de visão sobre a mobilidade
- Veículos de transporte personalizado (PRT)
- Veículos autônomos de entrega

Motivações

- Tornar as **viagens** com os veículos mais **seguras**
- Aumentar a **eficiência** da rede de transportes, reduzindo tempos de viagens e a previsibilidade.
- Aumentar o **conforto** dos ocupantes
- Aumentar a **acessibilidade** aos serviços de transporte
- Contribuir para o estabelecimento **novas formas de mobilidade**

Parte 1 - Introdução

- Contextualização
- Motivações
- **Breve histórico**
- Mudanças de visão sobre a mobilidade
- Veículos de transporte personalizado (PRT)
- Veículos autônomos de entrega

Histórico (1/2)

- **1939** - Futurama (GM)
- **1988** – NAVLAB (Carnegie Mellon Univ.)
- **1997** – Automatic High System (DoT / NHTSA)
- **2004 e 2005** – DARPA Grand challenge
- **2007** – DARPA Urban challenge
- **2012** – Toyota Prius com **tecnologia driverless** do **Google** recebe licença circulação do Departamento de Trânsito de Nevada



California PATH



Histórico (2/2)

- **2014** – Firefly (Google)
- **2016** – GM comprou Cruise Automation
- **2016** – Uber compra Otto
- **2017** – A8 (Audi)
- **2017** – Ford compra Argo AI
- **2018** – Serviço de carona em Phoenix, Arizona (Waymo)



Parte 1 - Introdução

- Contextualização
- Motivações
- Breve histórico
- **Mudanças de visão sobre a mobilidade**
- Veículos de transporte personalizado (PRT)
- Veículos autônomos de entrega

Mudanças na mentalidade em relação à mobilidade

- Os veículos urbanos são super-dimensionados e sub-utilizados
- Possuem capacidade para alcançar velocidade de 160 km/h enquanto que o limite de velocidade é de 30 a 60 km/h. Pesam quase 2 toneladas para transportar menos de 100kg.
- Ficam parados mais de 90% do tempo, ocupando espaço.
- Diante disso, surgem novas propostas de estratégias de mobilidade pessoal baseado no conceito “*one way*” de **mobilidade por demanda** (MoD) ou **mobilidade como serviço**(MaaS).

Exemplos de MoD ou MaaS

- **Car2Go** - joint venture entre Mercedes-Benz e BMW (investimento de U\$1,1bi). Oferece serviço de locação de veículo **por hora** via **App**
- **Canvas** - Ford Lincon
- **Maven** - General Motors
- **Care by Volvo**

Há uma mudança em curso de **comportamento** das pessoas em relação à **mobilidade**, buscando maior **acessibilidade** e **conveniência** em relação ao modelo de mobilidade tradicional baseado em veículo **próprio**.

Antes de continuar...

Eles estão chegando antes
dos veículos autônomos

Parte 1 - Introdução

- Contextualização
- Motivações
- Breve histórico
- Mudanças de visão sobre a mobilidade
- **Veículos de transporte personalizado (PRT)**
- Veículos autônomos de entrega

Personal Rapid Transit - veículos elétricos autônomos



Heathrow Airport, Londres



Rivium Parkshuttle, Holanda



Masdar City, Emirados Arabes

Minibus elétricos autônomos



EasyMile (Alstom, Continental)

- 12 passageiros (6 sentados)
- Opera em 30 cidades de 16 países

<https://easymile.com/>



Apollo (Baidu, Toyota)

- 14 passageiros (8 sentados)

<http://apollo.auto/minibus/index.html>

e-Palette (Toyota) – Olimpíada de Tokyo 2020



Serviço circular dentro da Vila Olímpica



7 passageiros sentados e 4 cadeirantes

<https://www.dezeen.com/2019/10/14/toyota-e-palette-tokyo-2020-olympics/>

Parte 1 - Introdução

- Contextualização
- Motivações
- Breve histórico
- Mudanças de visão sobre a mobilidade
- Veículos de transporte personalizado (PRT)
- **Veículos autônomos de entrega**

Veículos autônomos de entrega (*delivery robots*)



Starship



Amazon



FEDEX

https://www.youtube.com/watch?v=dagjQW_jgtE

Parte 2 – Fundamentos

- Termos e Definições
- Classificação de níveis de autonomia
- Percepção do ambiente
- Planejamento e tomada de decisão

Parte 2 – Fundamentos

- **Termos e Definições**
- Classificação de níveis de autonomia
- Percepção do ambiente
- Planejamento e tomada de decisão

Termos e definições

- **Tarefas** associadas à **condução** de um veículo
 - Planejar como ir do ponto **A** (partida) para o ponto **B** (destino)
 - Perceber o ambiente
 - Controlar o veículo
- **Domínio de Operação de Projeto (ODD – *Operational Design Domain*)**
 - Condições climáticas, infraestrutura da via, velocidade máxima etc

- **Tarefas mais específicas de condução de veículo**

- Controle Lateral - esterçamento das rodas direcionais
- Controle longitudinal – frenagem, aceleração
- Detecção de objetos e eventos e resposta (OEDR) – detecção e reação



Esterçamento



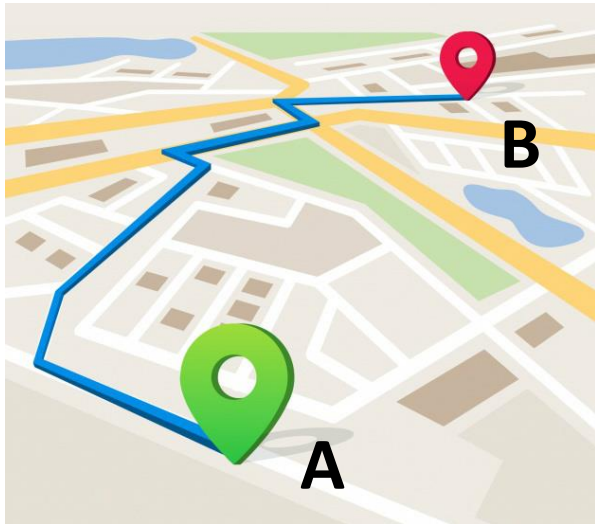
Aceleração e
frenagem



Detecção e reação

- **Planejamento**

- Longo prazo – rota para ir do ponto A ao ponto B
- Curto prazo – trajetória a ser seguida



Planejamento de rota



Trajетória linear
numa avenida



Rotatória no Arco do Triunfo, Paris
com múltiplas opções de trajetória

Parte 2 – Fundamentos

- Termos e Definições
- **Classificação de níveis de autonomia**
- Percepção do ambiente
- Planejamento e tomada de decisão

Classificação de nível de Autonomia

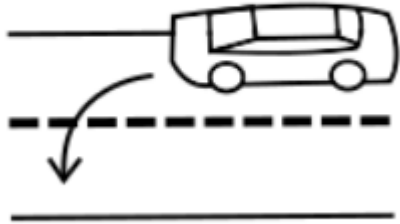
- Controle lateral automatizada?
- Controle longitudinal automatizada?
- Como é tratada **OEDR** (**O**bject and **E**vent **D**etection and **R**esponse)
 - Resposta automática à emergência
 - Supervisão do motorista
- Quanto ao **ODD** (**O**peration **D**omain **D**esign)
 - Restrito
 - Irrestrito

Nível 0 - sem automação

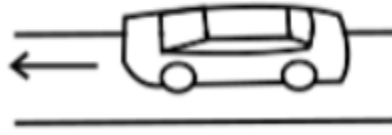
- Veículos convencionais
 - ABS
 - Airbag

Nível 1 - direção assistida

Controle lateral



Controle longitudinal



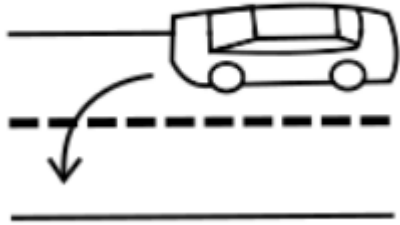
Um dos dois controles,
não ambas

Exemplos:

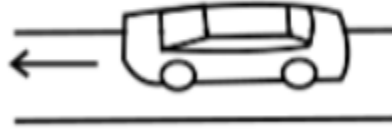
- **Assistente de manutenção de faixa (*lane keeping*)**
 - Ajuda a manter a sua faixa, caso desvie
- **Controle Adaptativo de Cruzeiro (ACC)**
 - Mantêm a velocidade desejada, o condutor controla a direção

Nível 2 - automação parcial de direção

Controle lateral



Controle longitudinal



Ambas

Exemplos:



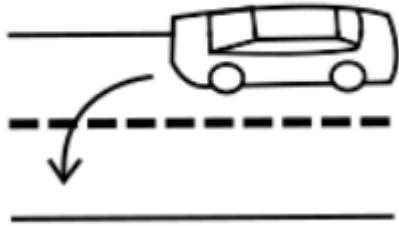
GM Super Cruise



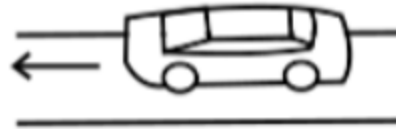
Nissan ProPilot Assist

Nível 3 - automação condicional

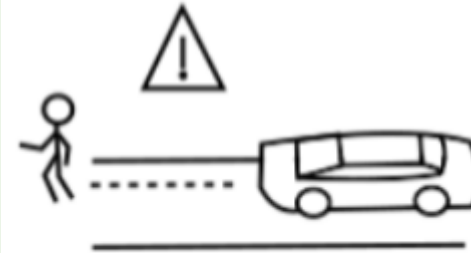
Controle lateral



Controle longitudinal



OEDR



Inclui capacidade detecção de **objetos** e **eventos** e resposta

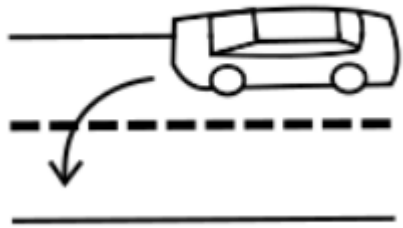
Exemplo:

[Audi A8 Sedan](#)

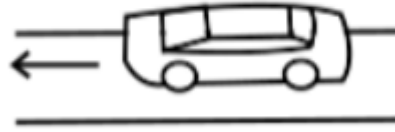


Nível 4 - elevado nível de automação

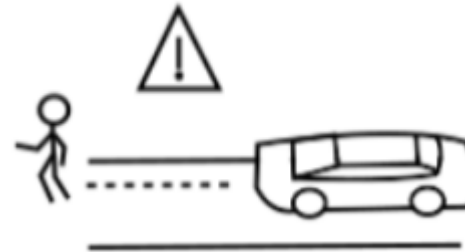
Controle lateral



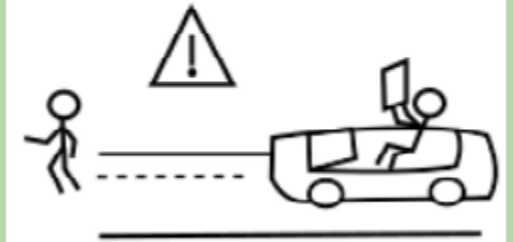
Controle longitudinal



OEDR



Fallback



Trata de emergências de forma autônoma. O motorista pode focar em outras tarefas

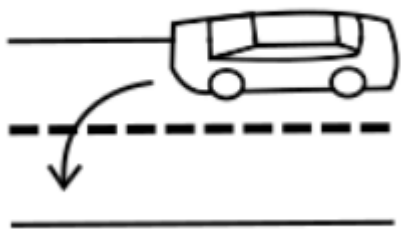
Exemplo:

[WAYMO](https://www.waymo.com/)

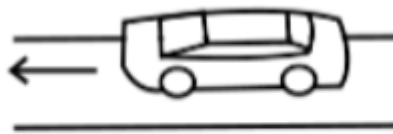


Nível 5 - automação completa

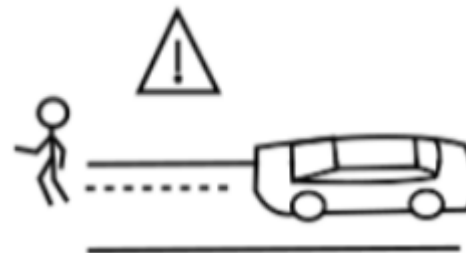
Controle lateral



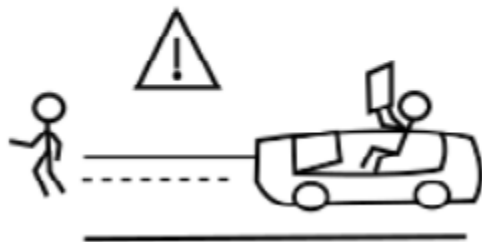
Controle longitudinal



OEDR



Fallback

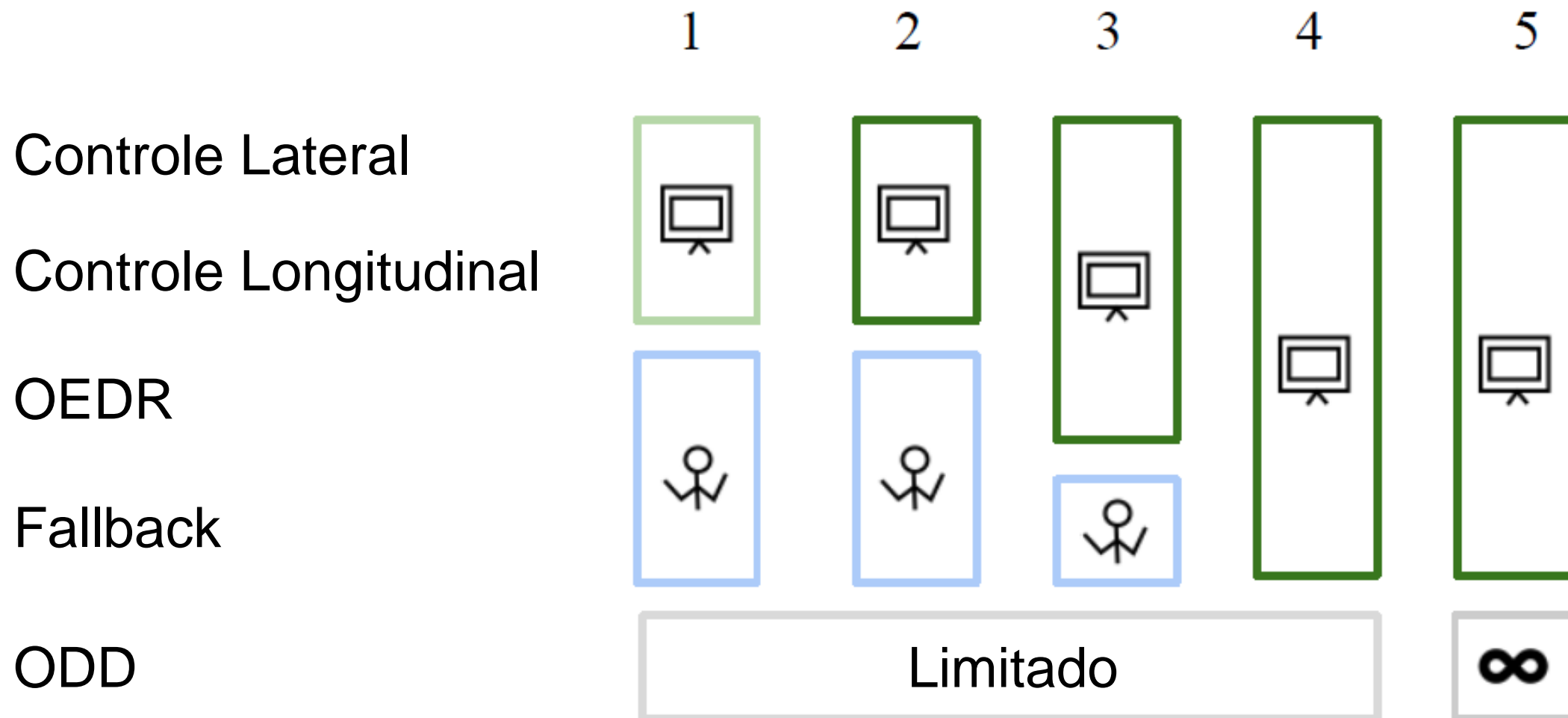


ODD irrestrito



Pode operar autonomamente em qual que clima e em todos os lugares.

Resumo: níveis de automação



Suplemento

Detecção de objetos e eventos, e Resposta (OEDR)

Inclui:

- **monitorar** o ambiente de condução
 - detecção, reconhecimento e classificação de
 - objetos na via
 - ocorrência de eventos
- **responder** adequadamente aos objetos e eventos

Exemplo OEDR



Exemplo OEDR



Parte 2 – Fundamentos

- Termos e Definições
- Classificação de níveis de autonomia
- **Percepção do ambiente**
- Planejamento e tomada de decisão

Percepção do Ambiente

- O que é percepção
- Os objetivos da percepção
 - objetos estáticos e dinâmicos
- Desafios da percepção

Processo:



(Visão do entorno)



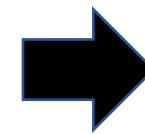
Analisar o
movimento e
o ambiente

(Percepção)



Decidir e
planejar a
manobra

(Planejamento)



(Manobra)

Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos estáticos**
 - Via e sinalizações horizontais (dentro da via)



Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos estáticos**
 - Meio-fio (fora da via)



Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos estáticos**
 - Semáforos (fora da via)



Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos estáticos**
 - Sinalização vertical (fora da via)



Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos estáticos**
 - Sinalização de obras, obstruções, desvios etc



Objetivos da percepção

- Reconhecer **objetos dinâmicos (na via)**

- Reconhecer **objetos dinâmicos (na via)**

- Veículos

- Automóveis

- caminhões



- Reconhecer **objetos dinâmicos (na via)**

- Duas rodas

- motocicletas

- bicicletas



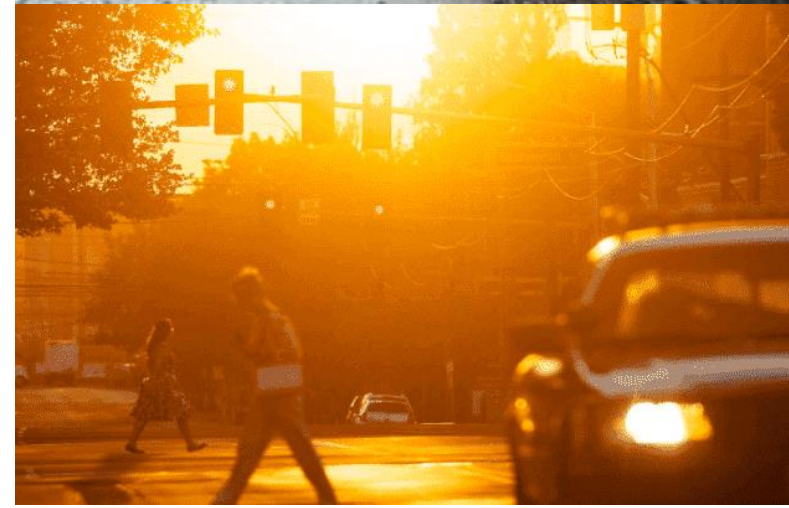
- Reconhecer **objetos dinâmicos (na via)**
 - Pedestres



- **Reconhecer a sua localização precisa (Ego localization)**
 - localização
 - posição na via (faixa)
 - velocidade, aceleração
 - direção, movimento angular

Desafios da percepção

- Detecção robusta e segmentação
- Incerteza dos sensores
- Oclusão, reflexão
- Iluminação, reflexo na lente
- Clima, precipitações



Parte 2 – Fundamentos

- Termos e Definições
- Classificação de níveis de autonomia
- Percepção do ambiente
- **Planejamento e tomada de decisão**

Planejamento e tomada de decisão

- Planejamentos de acordo com janela de tempo
- Decisões necessárias num cenário de intersecção simples
- Tipos de planejamento
 - Reativo
 - preditivo

Planejamento de acordo com janela de tempo

- **Longo prazo** (próximos 15 ~ 30 minutos ou horas)
 - Qual rota vou escolher para ir de São Paulo a Santos
- **Curto prazo** (próximos segundos)
 - Posso mudar para a faixa da esquerda?
 - Posso entrar nesta intersecção e virar à esquerda?
- **Imediato** (ação atual)
 - Posso continuar na trajetória atual nesta via curva?
 - Acelerar ou frear, quanto?

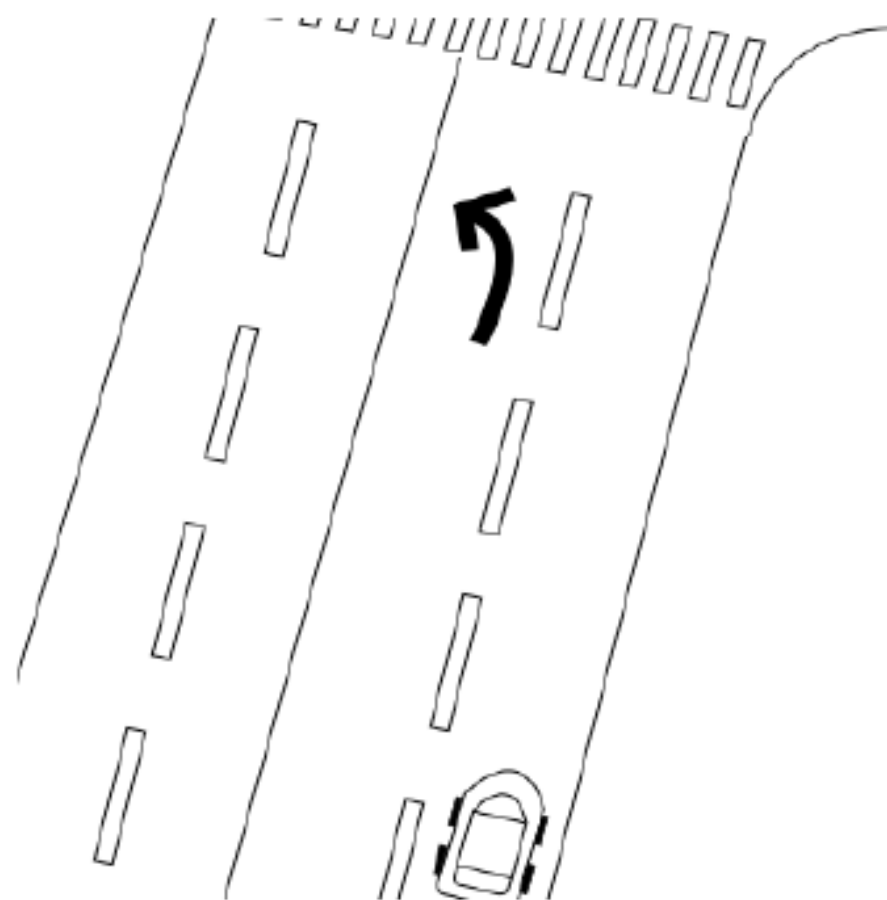
Exemplo: virar à esquerda numa intersecção

- Você está se aproximando de uma **intersecção** e pretende **virar à esquerda**
- **Assumir** que a intersecção tem **semaforização**



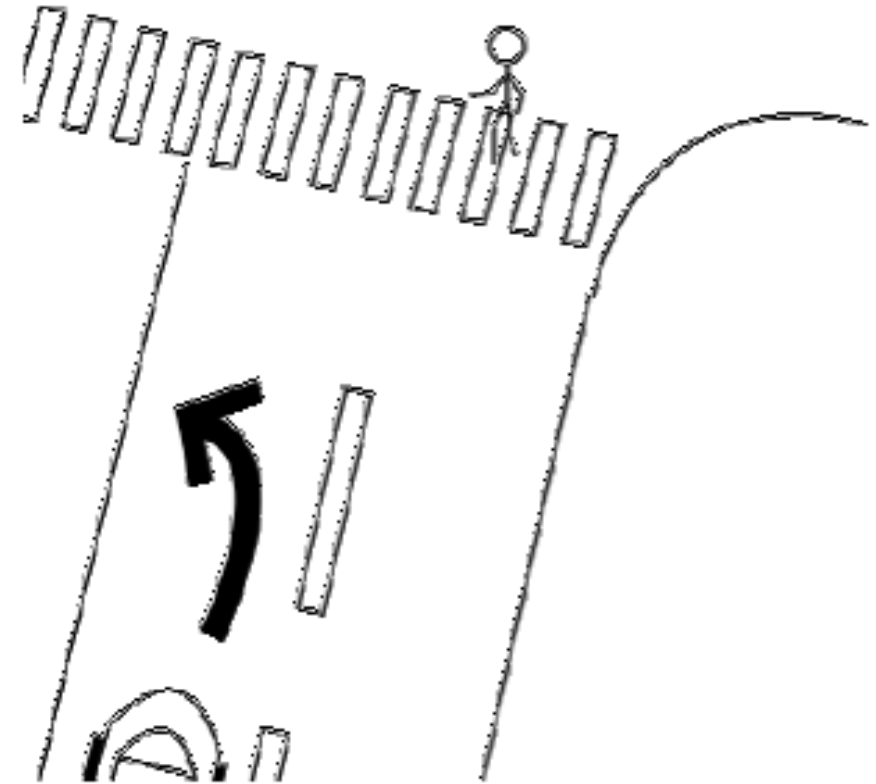
Exemplo: virar à esquerda numa intersecção

- **Identificar a faixa** para virar à esquerda



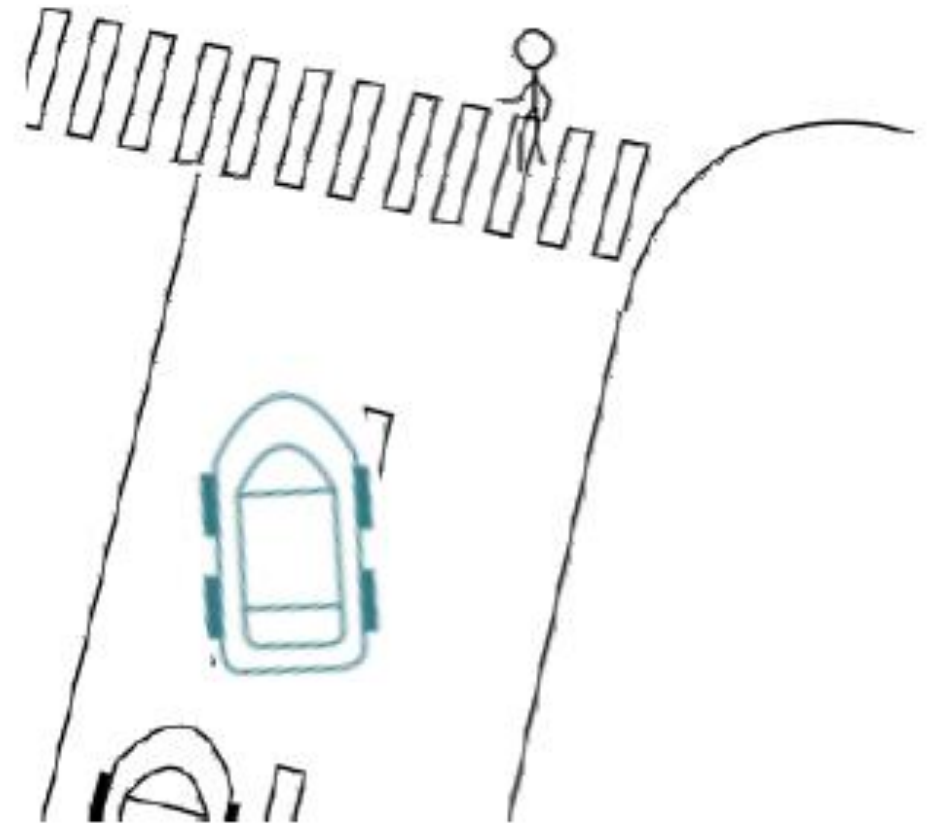
Exemplo: virar à esquerda numa intersecção

- Identificar a faixa para virar à esquerda
- Se **aproximar** da intersecção, desacelerar suavemente e **parar** antes da intersecção



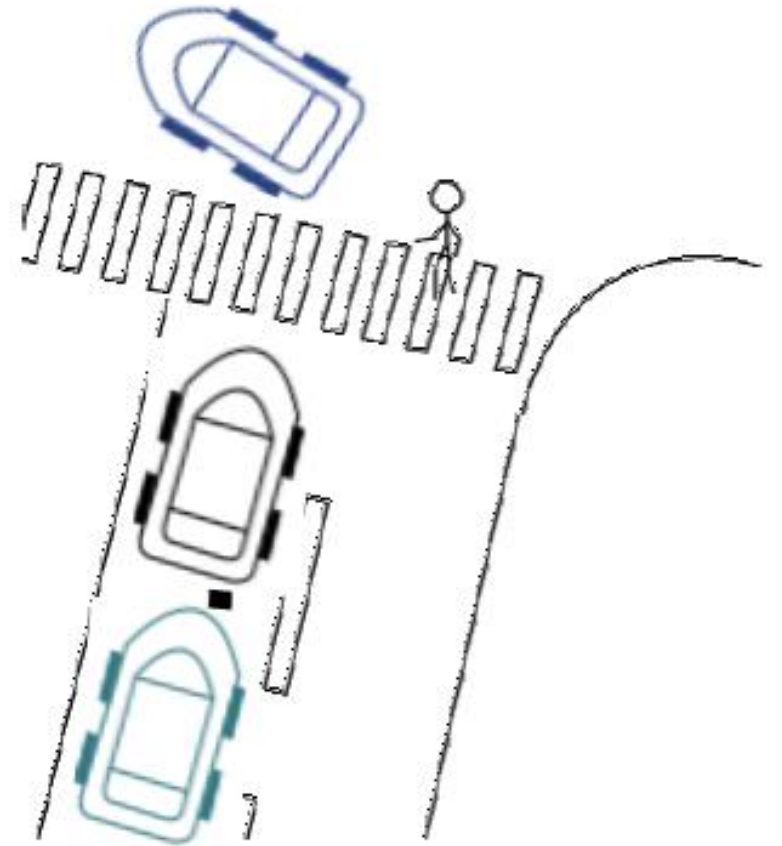
Exemplo: virar à esquerda numa intersecção

- Identificar a faixa para virar à esquerda
- Se aproximar da intersecção, desacelerar suavemente e parar antes da intersecção
- O que fazer se
 - Um veículo entra na frente?
 - Tem um pedestre atravessando?



Exemplo: virar à esquerda numa intersecção

- Identificar a faixa para virar à esquerda
- Se aproximar da intersecção, desacelerar suavemente e parar antes da intersecção
- O que fazer se
 - Um veículo entra na frente?
 - Tem um pedestre atravessando?
 - Um carro atrás de você?



Exemplo: virar à esquerda numa intersecção

- Este foi um exemplo de manobra relativamente simples, mas observe que requer 3 ~4 níveis de decisão para executar a conversão
- Observe quantas regras são necessárias para dirigir:
 - Segurança
 - Eficiência
 - Obedecer a todas regras de trânsito
 - Seguir somente aquelas regras que todos estão seguindo !!
- Veja que as tomadas de decisão no trânsito é bastante complicado !!

Planejamento reativo

- O planejamento que fizemos no exemplo anterior foi um **planejamento reativo** baseado em regras
 - Envolve árvores de decisão
- No planejamento reativo baseado em regras, nós aplicamos as regras levando em conta o próprio estado corrente e os estados dos outros objetos para tomar a decisão.
- Exemplos:
 - Se tem um pedestre na via, vou parar
 - Se mudar o limite de velocidade da via, vou ajustar a velocidade para adequar à mudança

Planejamento preditivo

- Consiste em fazer previsão sobre outros veículos de acordo com o movimento dos mesmos. Então tomar a decisão baseado na previsão.
- Exemplo:
 - Aquele carro está parado nos últimos 10 segundos. Vai continuar parado nos próximos segundos.
 - Tem um pedestre se aproximando da via. Ele vai entrar na minha faixa justamente quando eu estiver passando.

Na aula 1 buscamos responder:

- Quais são os tópicos mais quentes que o engenheiro de veículos autônomos deve conhecer? (Highlights)
- Quais são as principais taxonomias relacionados com veículos autônomos? (Parte 1)
- O que é a percepção? (Parte 2 – A)
- Como é o processo de planejamento e tomada de decisão? (Parte 2 – B)

Exercício para fazer em casa:

1) Ler os 3 artigos recomendados

- DARPA Urban Challenge (2007)
- Pendleton (2017)
- CARLA (2017)

2) Instalar o simulador CARLA no seu computador