

The background of the slide is a photograph of a silver Volvo SUV driving on a road. The car is shown from a front-quarter perspective, moving towards the right. The license plate is visible and reads 'M TL 1158'.

# PSI3561 – Eletrônica Automotiva

## VEÍCULO AUTÔNOMO

Prof. Leopoldo Yoshioka  
[leopoldo.yoshioka@usp.br](mailto:leopoldo.yoshioka@usp.br)

23 de maio de 2019

# 30 empresas que estão atuando na área de Veículos Autônomos



Fonte: CB Insights, abril 2016)

<https://www.cbinsights.com/blog/autonomous-driverless-vehicles-corporations-list/>

# O que é **Veículo Autônomo** ?

Trata-se\* de uma **disrupção** para indústria, sociedade e mobilidade das pessoas.

*\* tem grande potencial*



# DARPA Grand Challenge



**Defense Advanced Research Projects Agency**

# DARPA Grand Challenge

The final route will be chosen from the highlighted segments.



**OFF-ROAD  
START**

Barstow

**Trajeto: 240 km**

**FINISH**  
(Near Las Vegas/  
Primm)

Primm

Baker

Kingman

Needles

San Bernardino

Los Angeles

Palm Springs

NEVADA

Las Vegas

LAKE MEAD N.R.A.

DEATH VALLEY  
NATIONAL MONUMENT

CALIFORNIA

MOJAVE  
NATIONAL  
PRESERVE

ARIZONA

JOSHUA TREE  
NATIONAL MONUMENT

20 miles



MSNBC

# DARPA Grand Challenge

- **2004: Carnegie Mellon University (12 km)**
- **2005: Stanford University 1º lugar (6h54m) – U\$ 2M**  
**Carnegie Mellon 2º lugar (7h05m) - U\$ 1M**
- **2007: Urban Challenge (11 teams / U\$ 1M in funding)**

# Google Street View Car





# Carro autônomo do Google





# Google's Autonomous Car

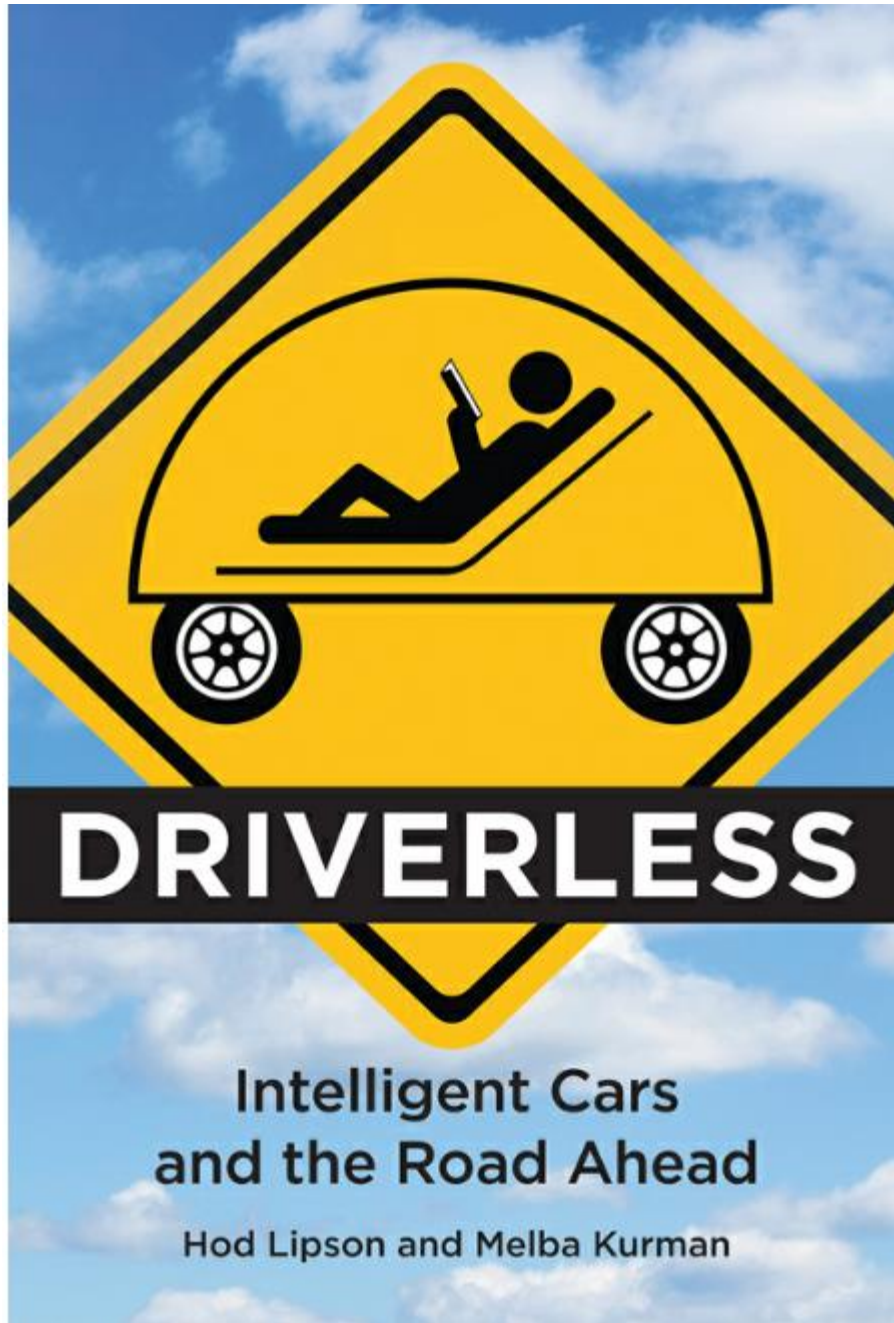
- **2009**: início do projeto liderado por **Sebastian Thrun** com uma equipe de 15 engenheiros.
- **2012**: Google postou um vídeo no YouTube um passeio com o **Toyota Prius autônomo**.
- **2014**: Protótipo do **Self Driven Car** (sem volante)
- **2017**: 6,5 milhões de km de rodagem em testes em estradas públicas de 23 cidades.

2018









Melba Kurman  
Writer about  
technology

Hod Lipson  
Prof. Columbia  
University



Num futuro não muito distante

Um **automóvel** de fabricado em **2019** é exibido em museu

O visitante senta atrás do **volante**, observa a tela do **GPS**, pisa no **freio** e ficará sabendo que numa época não muito distante as pessoas usavam um **meio de transporte** tão **inconveniente e perigoso**.

Os carros de hoje **não possuem inteligência**

Basicamente, possuem **4 rodas, motor a combustão, chassis, carroceria ...**

Essencialmente não houve uma grande mudança nos últimos **100 anos**

Entretanto, o carro causou enorme transformação no nosso **modo de vida**

1 bilhão de carros no planeta

# Walking Robot



O **software** para **guiar** os movimentos de um robô para caminhar é extremamente **complexo** por conta de infinitas combinações de movimentos e posições.



# Vehicle Automation



A tarefa de **guiar** um carro é mais **propício** para se **automatizar** do que fazer um **robô caminhar** sobre um piso irregular.

*Humanos de vários níveis de inteligência e habilidades são capazes de obter licença para dirigir.*

# Vehicle Automation



- Esterçar rodas
- Acelerar
- Frear
- Desviar de obstáculos
- Planejar rotas
- Obdecer as regras de trânsito

Onde está a dificuldade?

**99%** do tempo dirigir o carro costuma ser uma tarefa **simples e previsível**

**1%** do tempo costuma se tornar, de repente, emocionante por conta de **eventos inesperados** (*corner cases*)

# Como escrever um software

## Capaz de tratar uma variedade infinita de situações que o carro autônomo irá encontrar no trânsito?

*Os **processos industriais** são em geral **previsíveis e repetitivos** e operam num **ambiente fechado**, razão pela qual os engenheiros industriais conseguem produzir softwares capazes de automatizar uma planta de produção industriais*



Para dirigir o carro de forma segura são necessárias duas habilidades essenciais

- Comunicação não verbal complexa
- Reconhecer o mesmo objeto em uma vasta gama de cenários e situações

Dirigir requer uma **comunicação social** entre **motoristas** e com os **pedestres**

- balançar a cabeça
- acenar
- contato olho-no-olho

Com o objetivo de **anunciar a intenção**

*Acenar e sorrir é uma ação simples para humanos, mas é uma tarefa extraordinariamente difícil escrever um software capaz de reconhecer expressões faciais e linguagem corporal e reagir apropriadamente.*

Dirigir requer ainda capacidade de

- **perceber** a situação
- **julgar** se o que está vendo **faz sentido**
- **ter consciência e entendimento**  
preciso da **realidade**
- **reagir** de acordo com a situação

Até recentemente não existia  
um software capaz de  
resolver esses problemas



Por mais 50 anos os cientistas do campo da **Inteligência Artificial** não tiveram sucesso em desenvolver **software** capaz de **automatizar** a “**percepção**”.

A falta de um software capaz de entender rapidamente o ambiente visual foi a maior barreira tecnológica na pesquisa de robôs móveis.

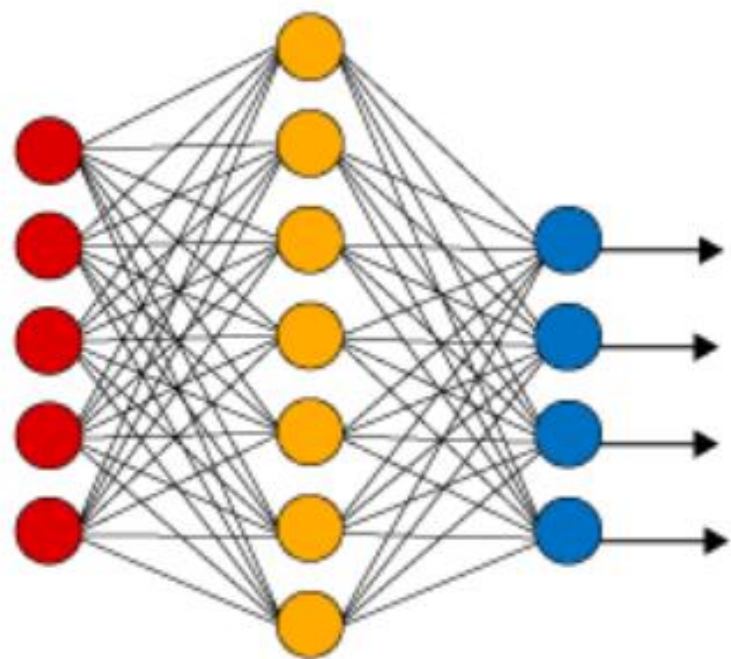
As barreiras incluíam ainda:

- Poder computacional insuficiente
- Reconhecer objeto familiar em cenários não-familiares

Em 2012 surgiu um **novo tipo** de software  
de **Inteligência Artificial**

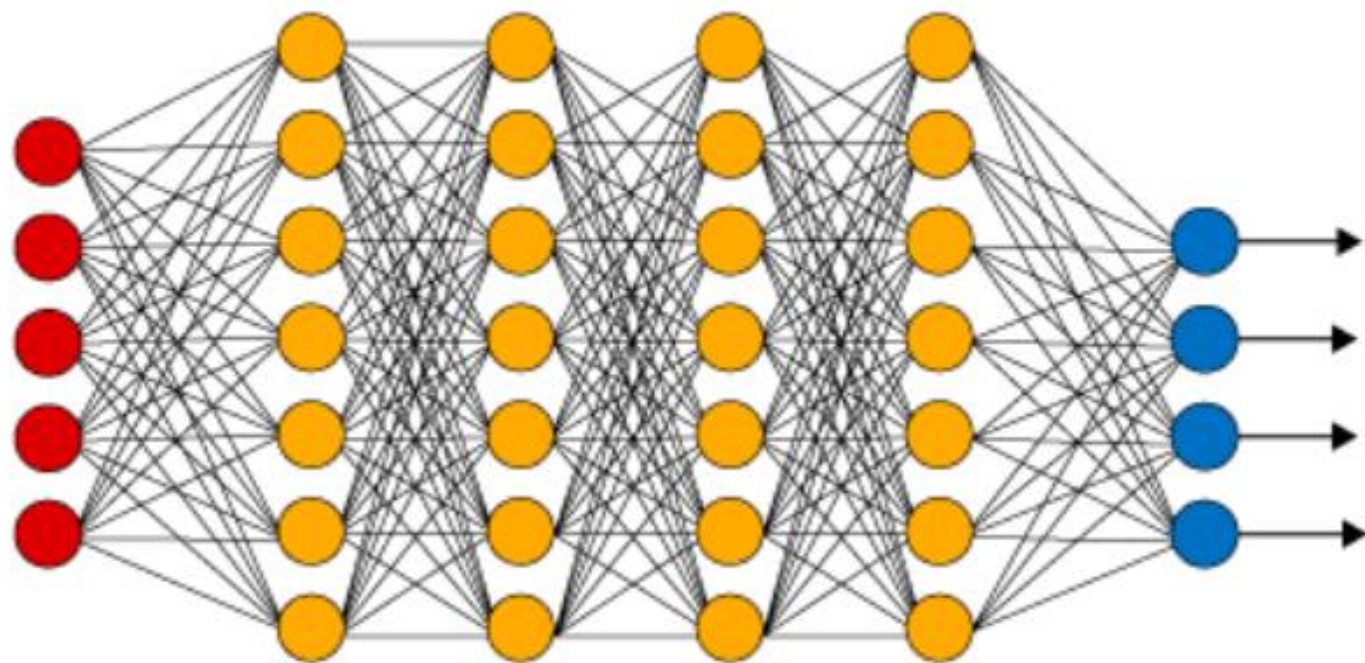
**deep learning**

## Simple Neural Network



● Input Layer

## Deep Learning Neural Network



● Hidden Layer

● Output Layer



O **deep learning** é capaz de aprender (modelar) ambientes não-estruturados. Razão pela qual ser efetivo para tratar de problemas encontrados no trânsito.

Ao invés de tentar construir **modelos do mundo real** utilizando **lógicas** formais e regras, o **software** de aprendizagem de máquina é **treinada** para **executar** uma **tarefa** por meio de uma grande quantidade de **dados de testes**.

Para desenvolver um **software *deep learning*** para um **carro autônomo**, o software é alimentado diariamente com gigabytes de **dados de vídeos** coletados por **câmeras instalados** em milhares de carros.

O fato do software *deep learning* **aprender vendo** o mundo proporciona uma grande vantagem: não é limitado pelas regras.

Ou seja, o *deep learning* classifica os atributos visuais.

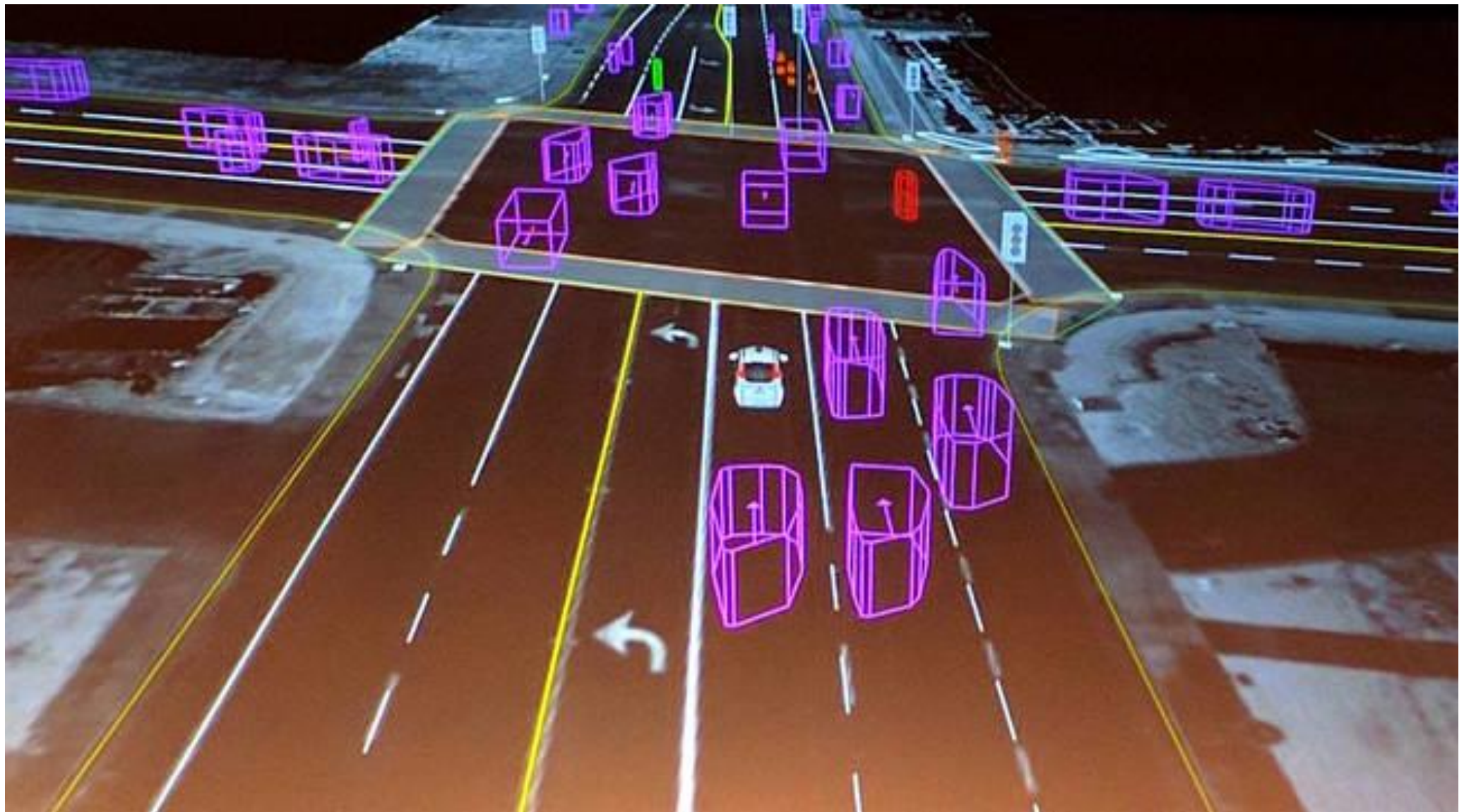
Por exemplo, se um gato andando de bicicleta, o software reconhece que é um gato por conta dos atributos

# gato andando de bicicleta?









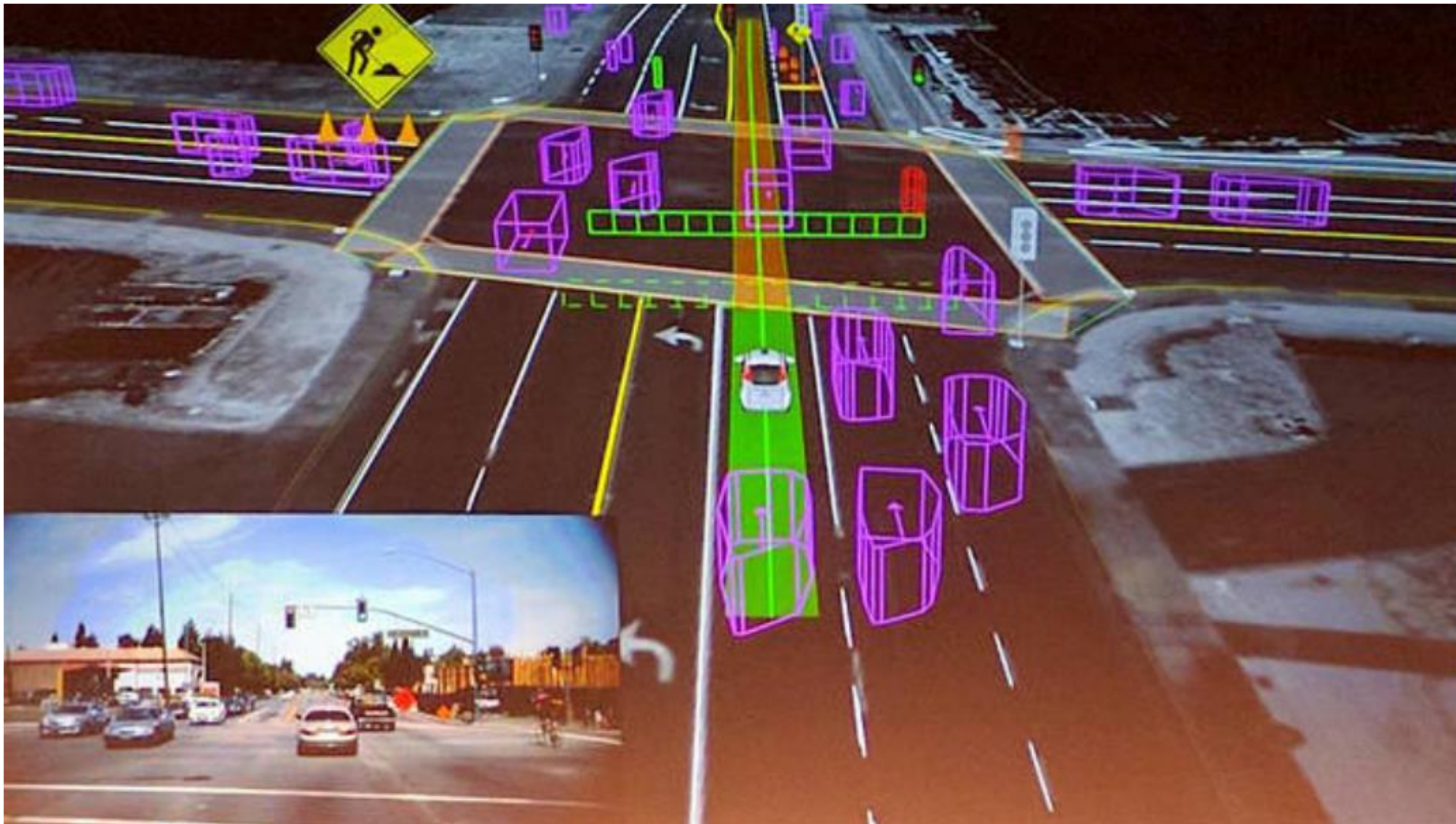
Isto é o que um carro autônomo basicamente vê. **Veículos** detectados em **cor-de-rosa** e **faixas** marcadas em **branco** e **amarelo**. Ciclista em **vermelho**.





Agora, o sistema incluiu a vista de **elementos mais importantes presentes na cena que precisa considerar.**





Agora, o sistema reduziu a visão anterior para os elementos mais importantes: a **cerca verde horizontal** à frente representa uma **barreira virtual** que o carro **não pode atravessar** porque irá colidir com veículos à frente. A **barreira verde pontilhada** é um **alerta**, como **pedestre** atravessando no local. Uma faixa livre é desenhada no centro da via, levando em consideração as **obras** nas laterais.











Visão do semáforo  
obstruído pelo ônibus  
à frente



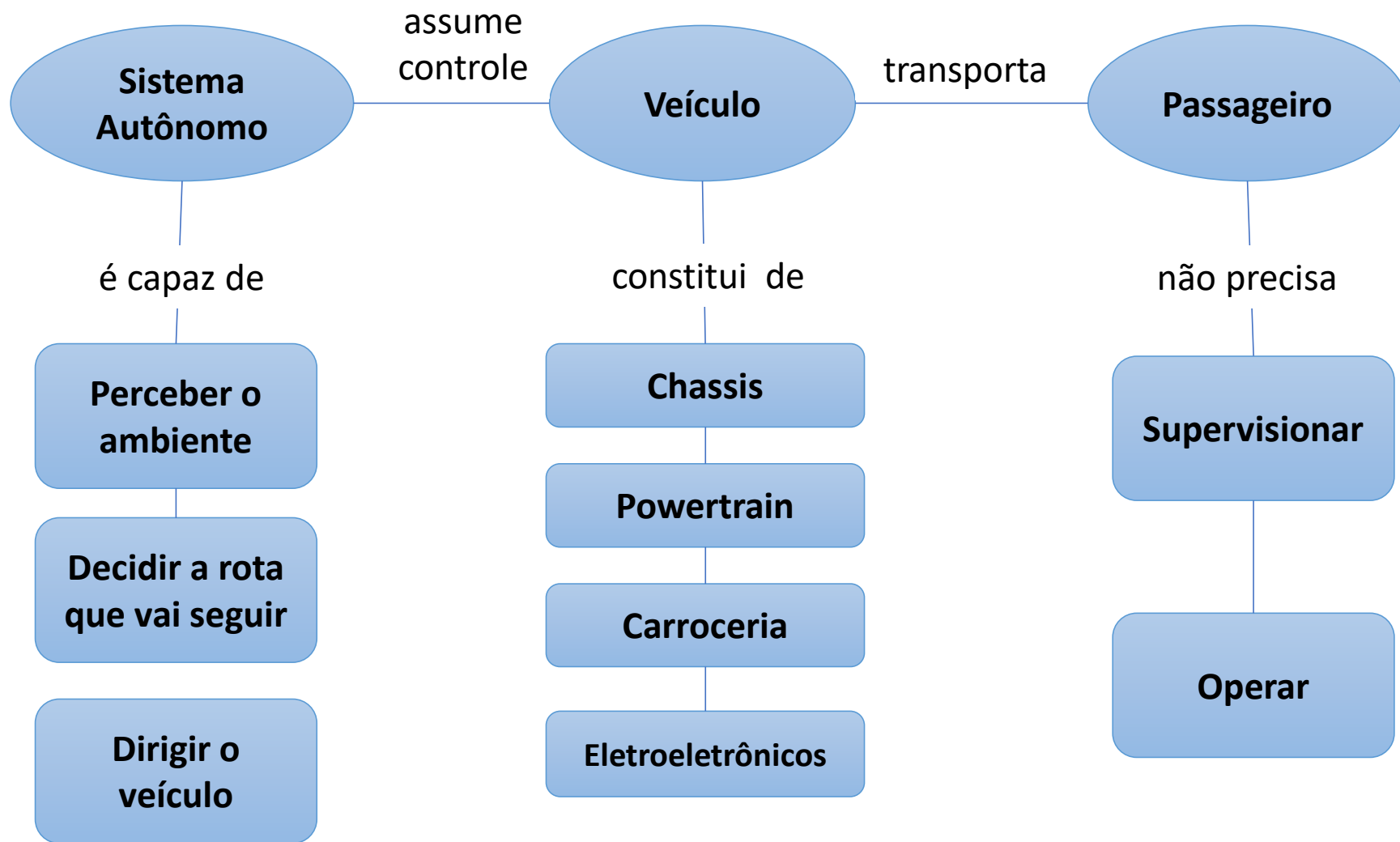


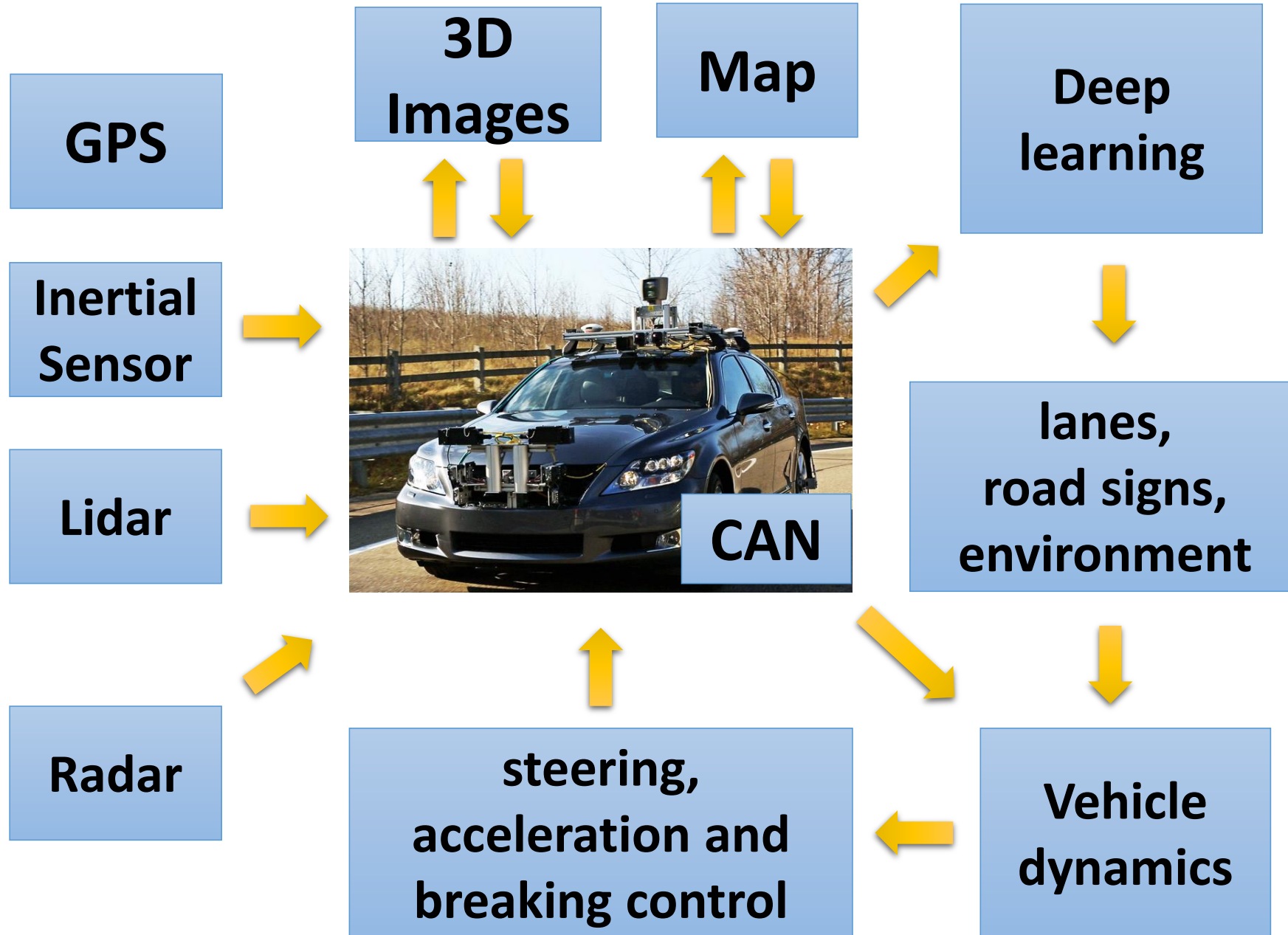
**LEFT TURN**

**YIELD**

**ON GREEN**







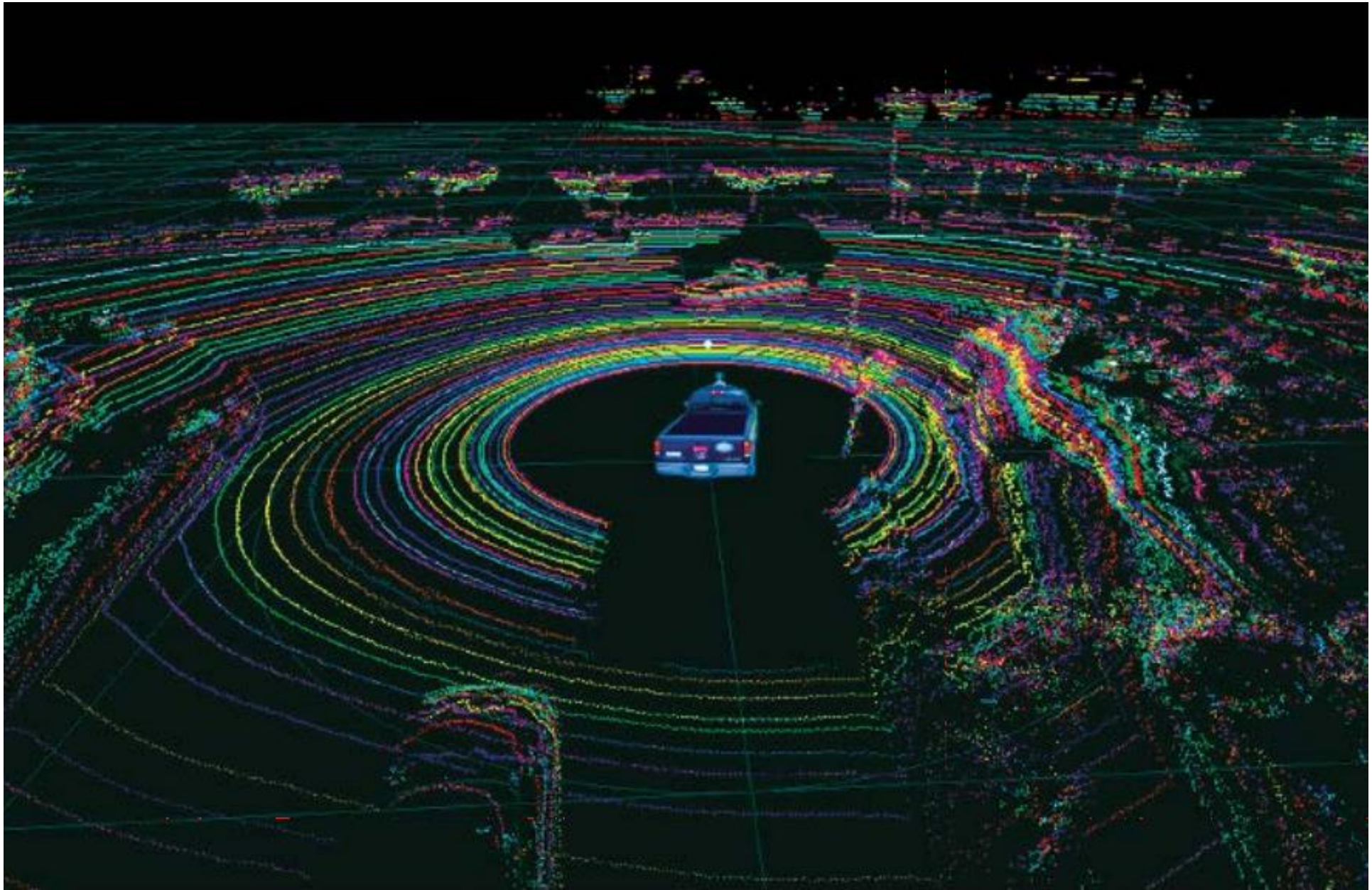


# LIDAR – Light Detection And Ranging



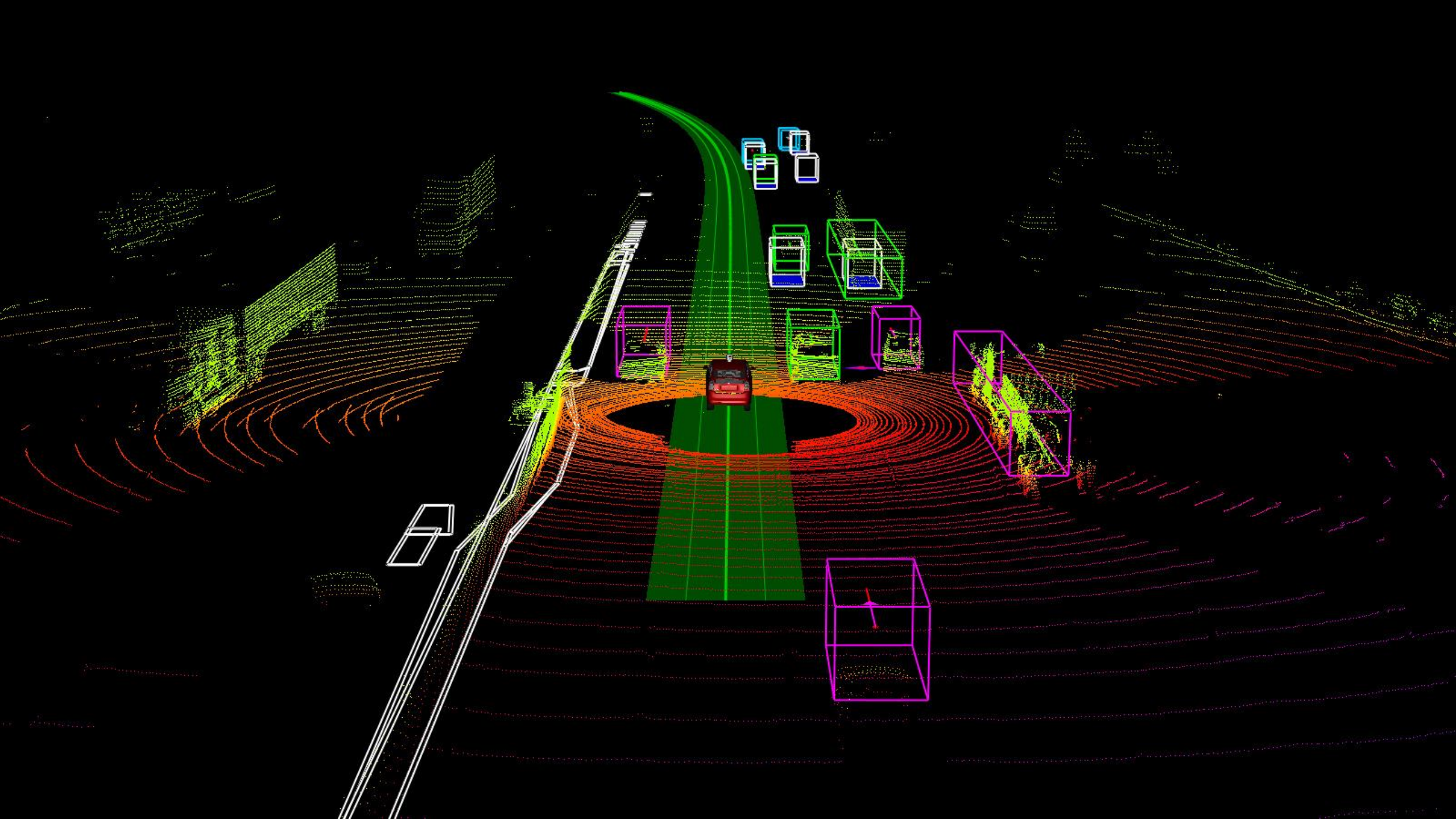
- 5 – 20 Hz frame rate
- 2.2 million points per second
- 64 lasers/detector
- 360 degree field of view
- 0.08 degree angular resolution
- 2 cm distance accuracy
- 50 m range for pavement
- 120 m range for cars
- Laser: 905 nm, ~ 10 ns pulse
- 300 – 1200 RPM spin rate

**HDL-64E**

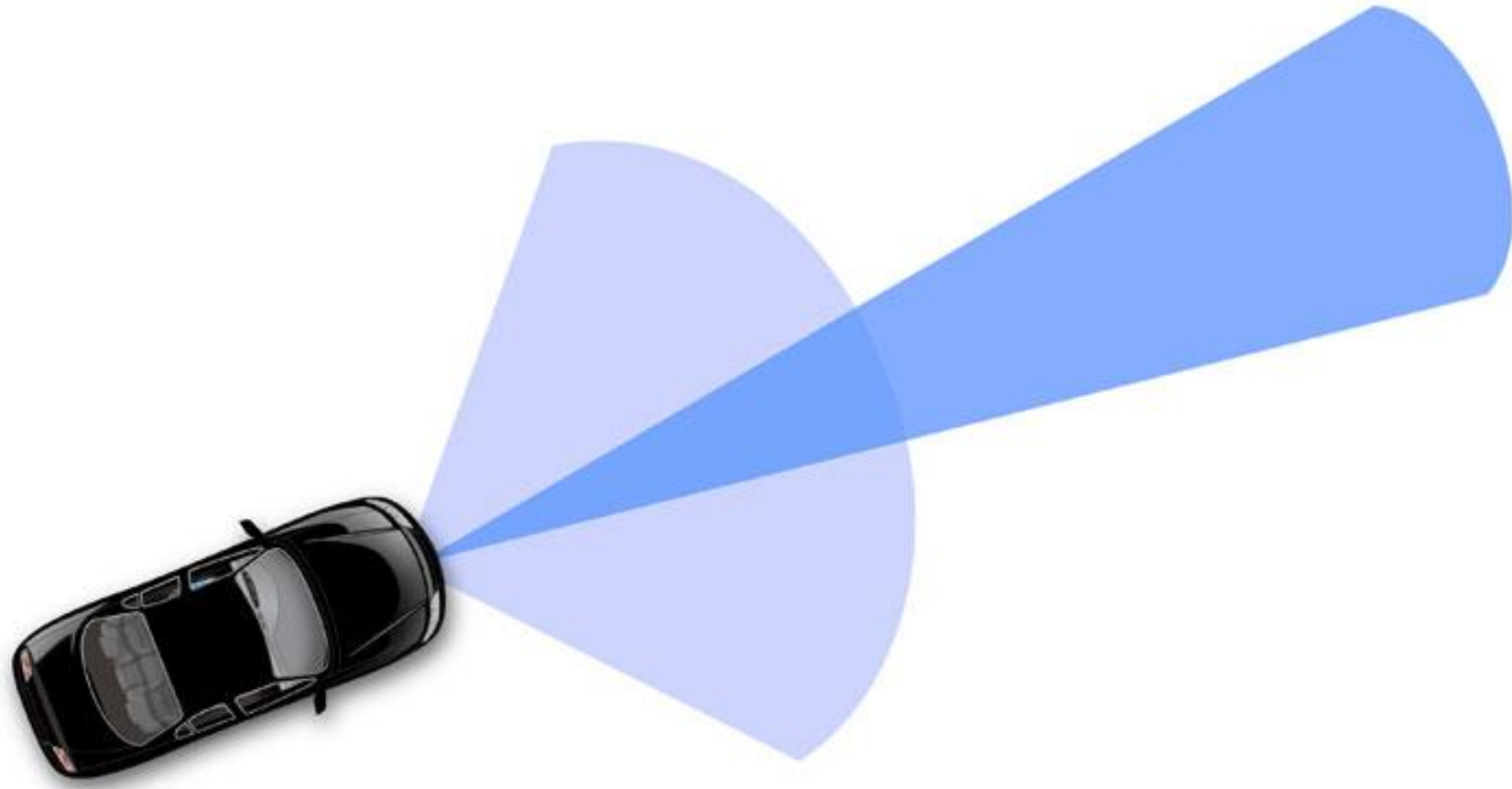


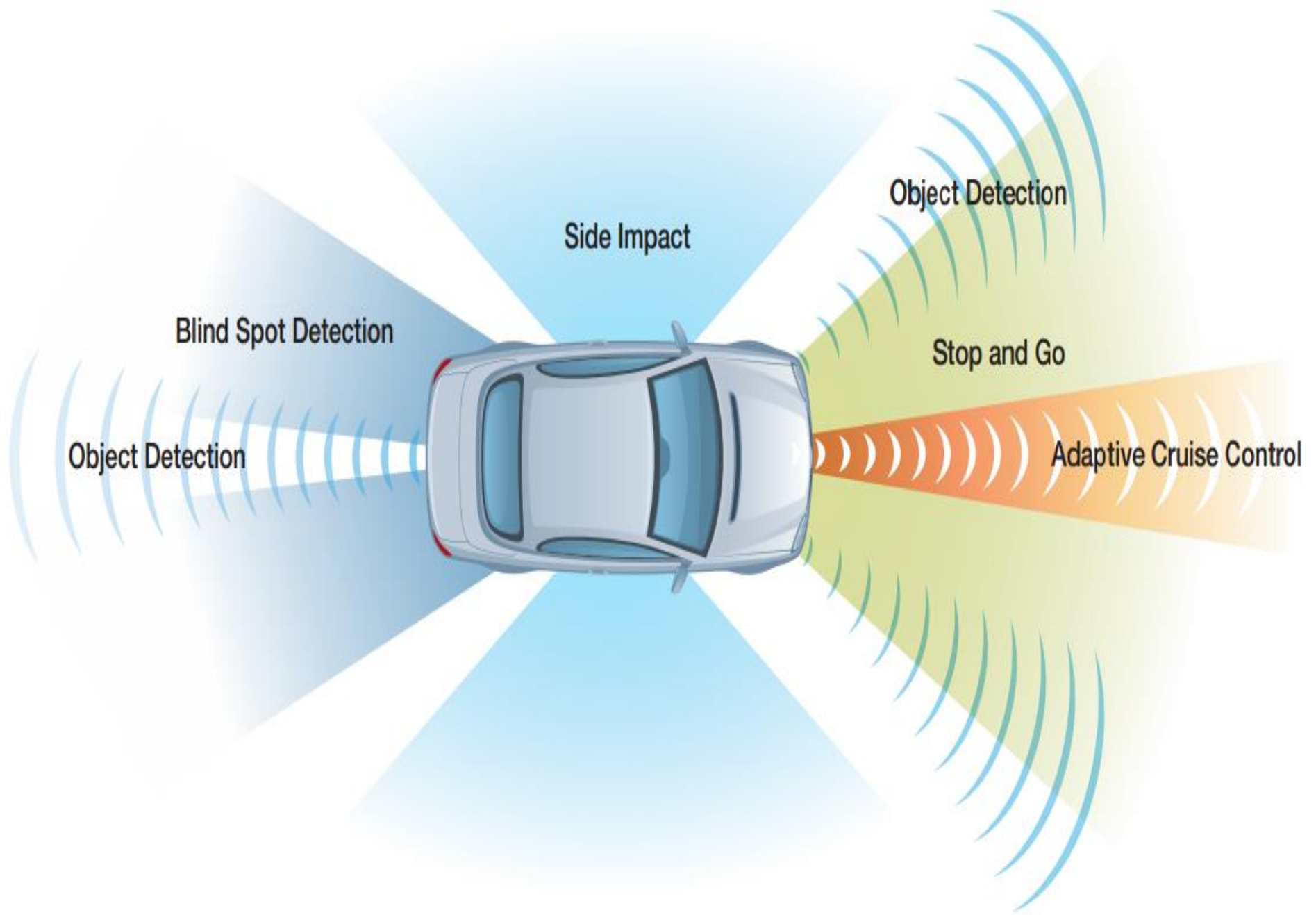
Actual point cloud image from HDL-64E S3 showing vehicle at intersection and other vehicles in vicinity along with road features.

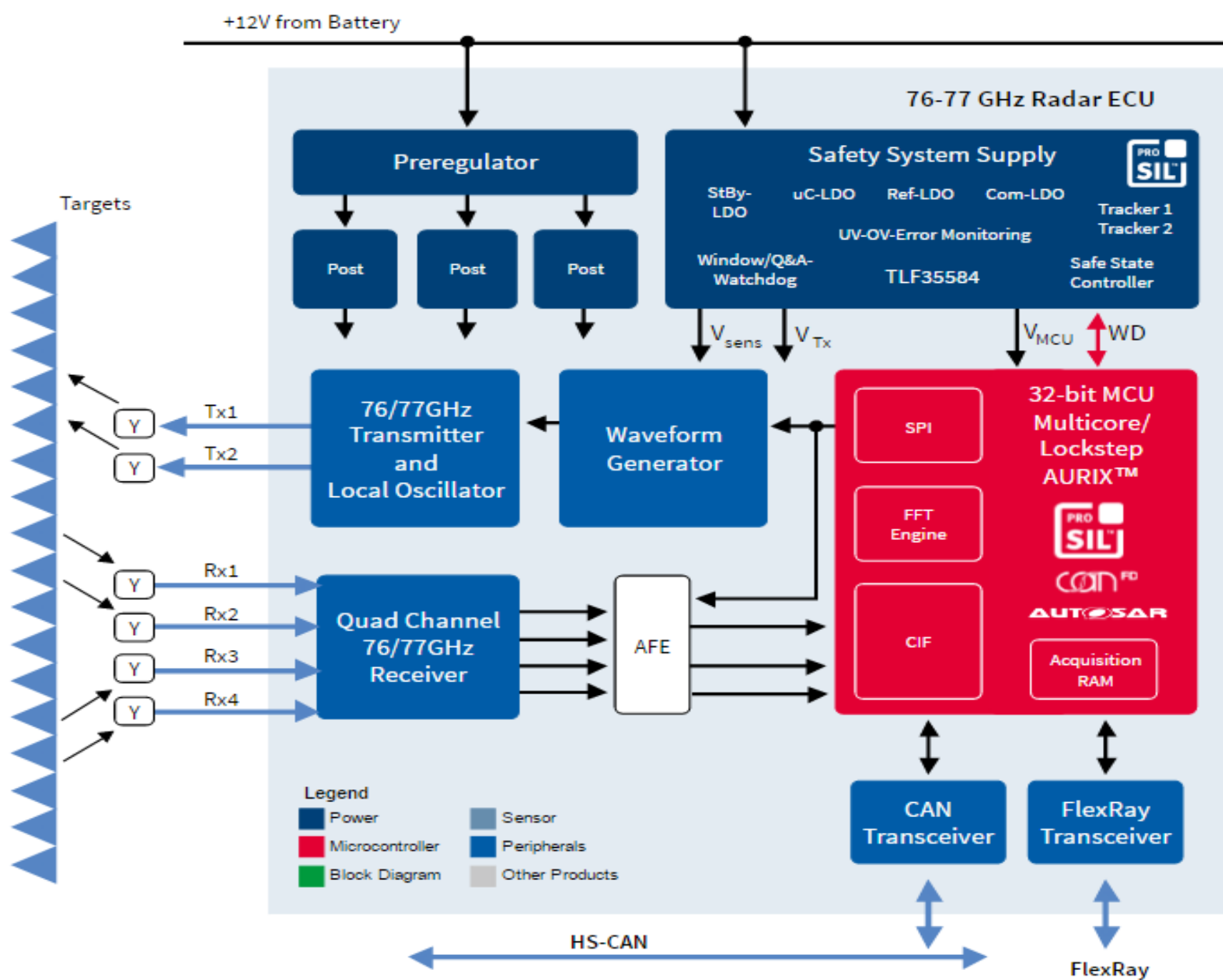




# RADAR (Radio Detection And Ranging)

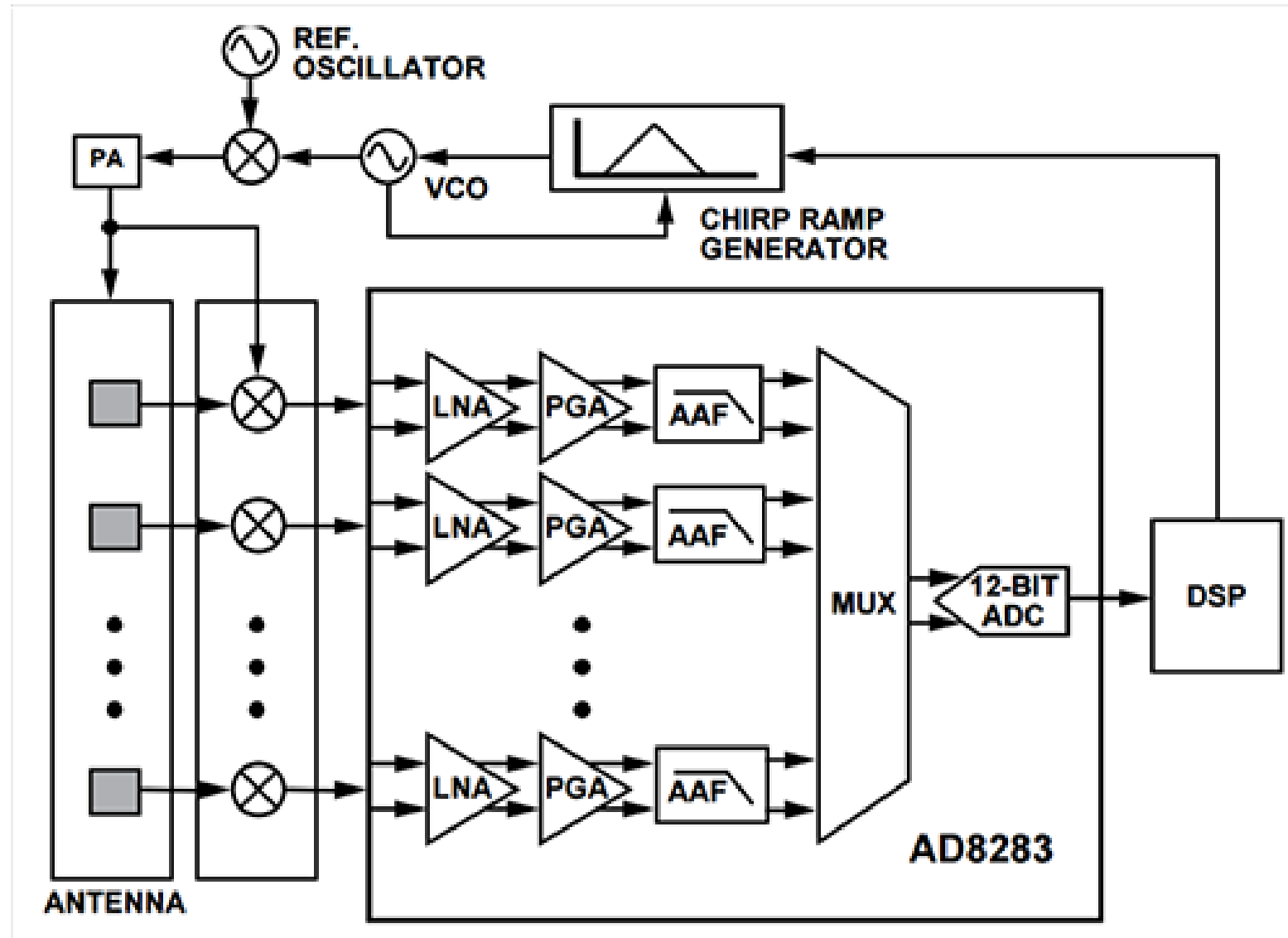






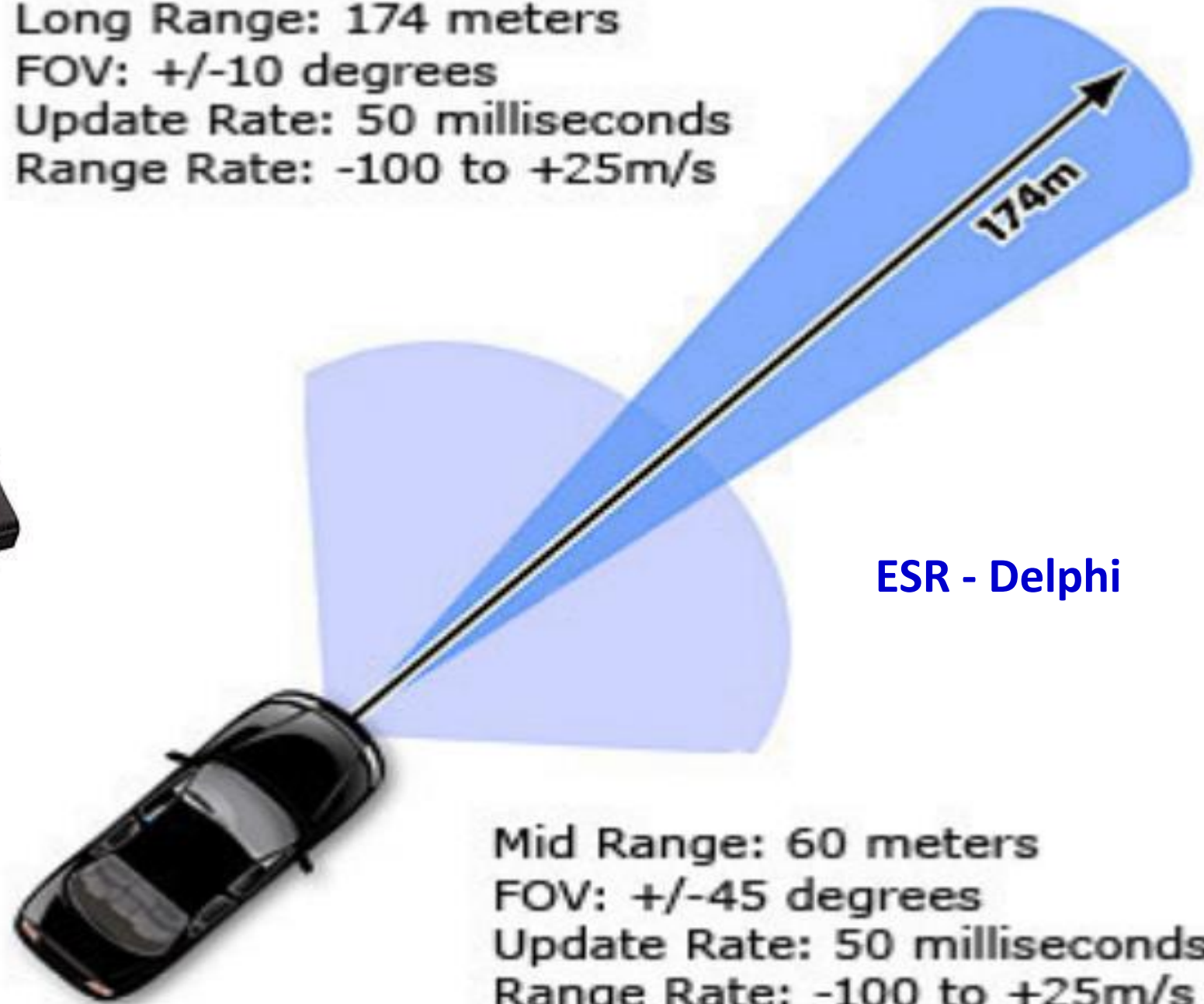


# Radar Automotivo ( 77 ~ 79 GHz)



(6 canais - captura de múltiplas reflexões)

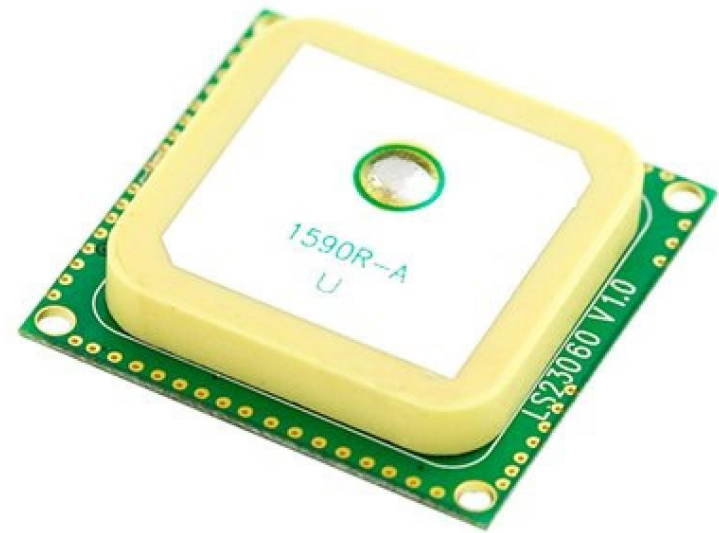
Long Range: 174 meters  
FOV: +/-10 degrees  
Update Rate: 50 milliseconds  
Range Rate: -100 to +25m/s



ESR - Delphi

Mid Range: 60 meters  
FOV: +/-45 degrees  
Update Rate: 50 milliseconds  
Range Rate: -100 to +25m/s

# Global Positioning System (GPS)



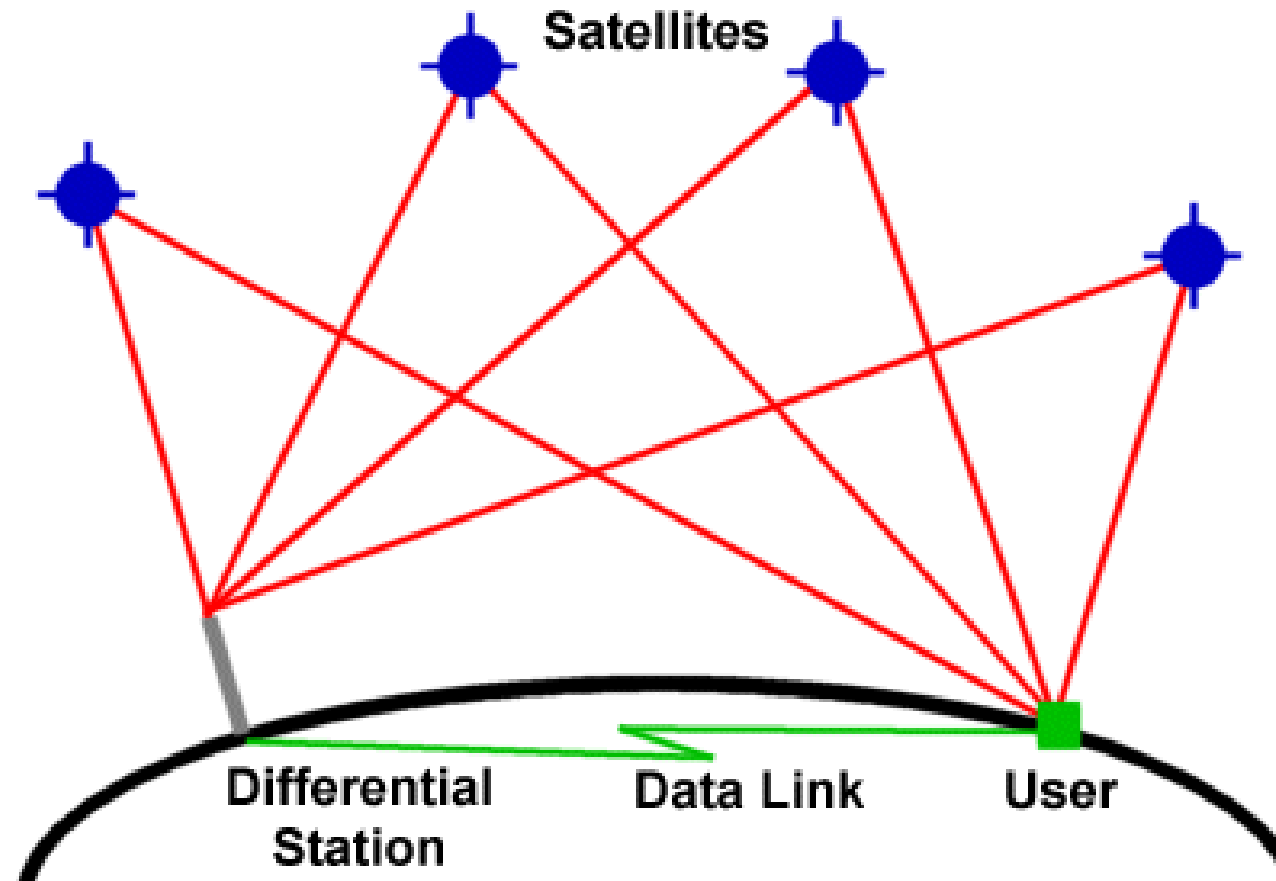
**LS20031 66 Channels 5 Hz  
GPS Receiver  
( 3 m accuracy)**

# #1 Navegação e Guiagem

- **Saber onde estou indo**
  - Onde estou, quais são os caminhos para chegar onde quero?
- **GPS (48 canais)**
  - Regiões com obstruções
- **Inertial Measurement Unit (IMU)**
  - Acelerômetro (MEMS)
  - Giroscópio

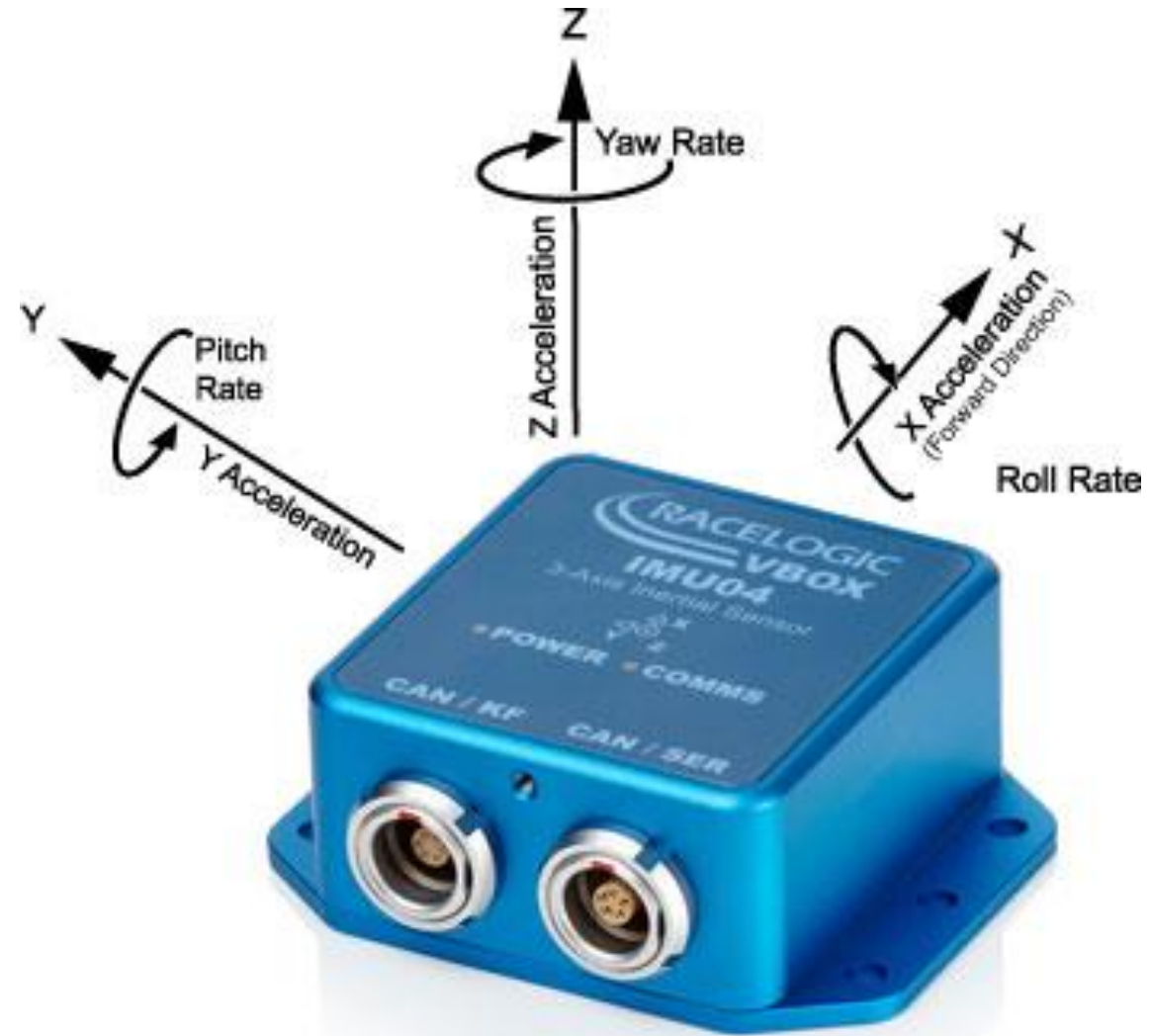


# Diferential GPS (DGPS)

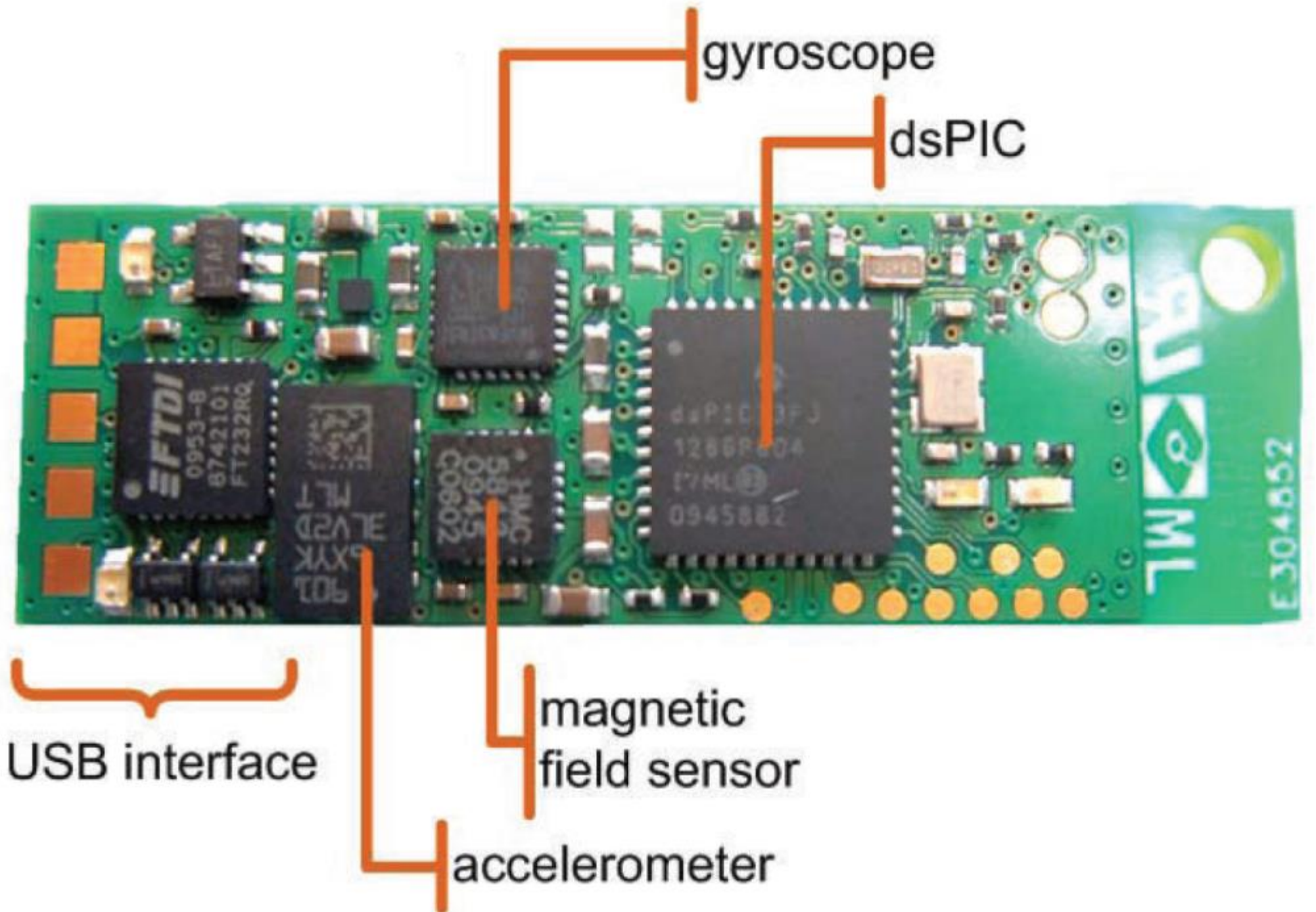


(10 cm accuracy)

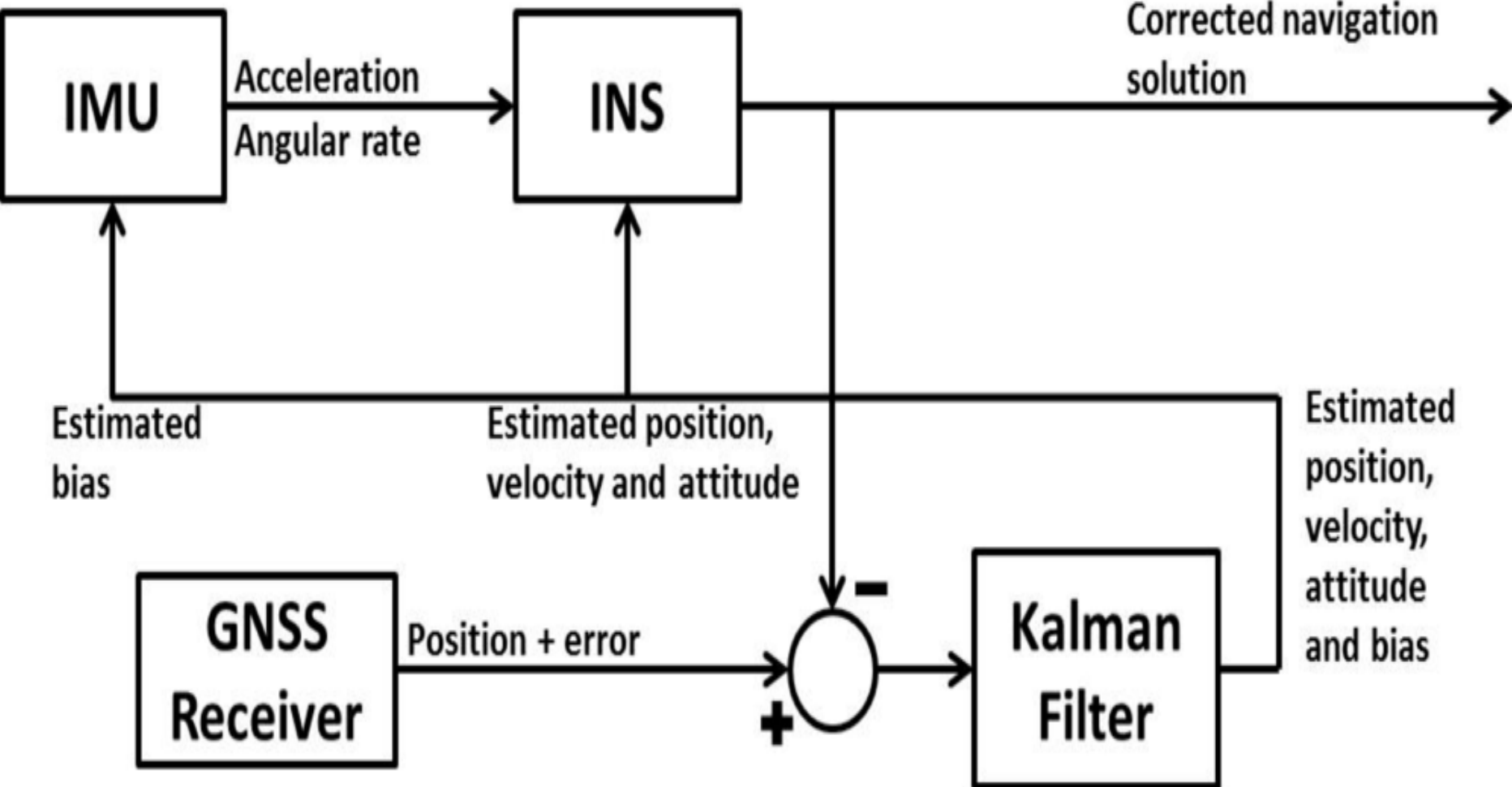
# Inertial Measurement Unit (IMU)



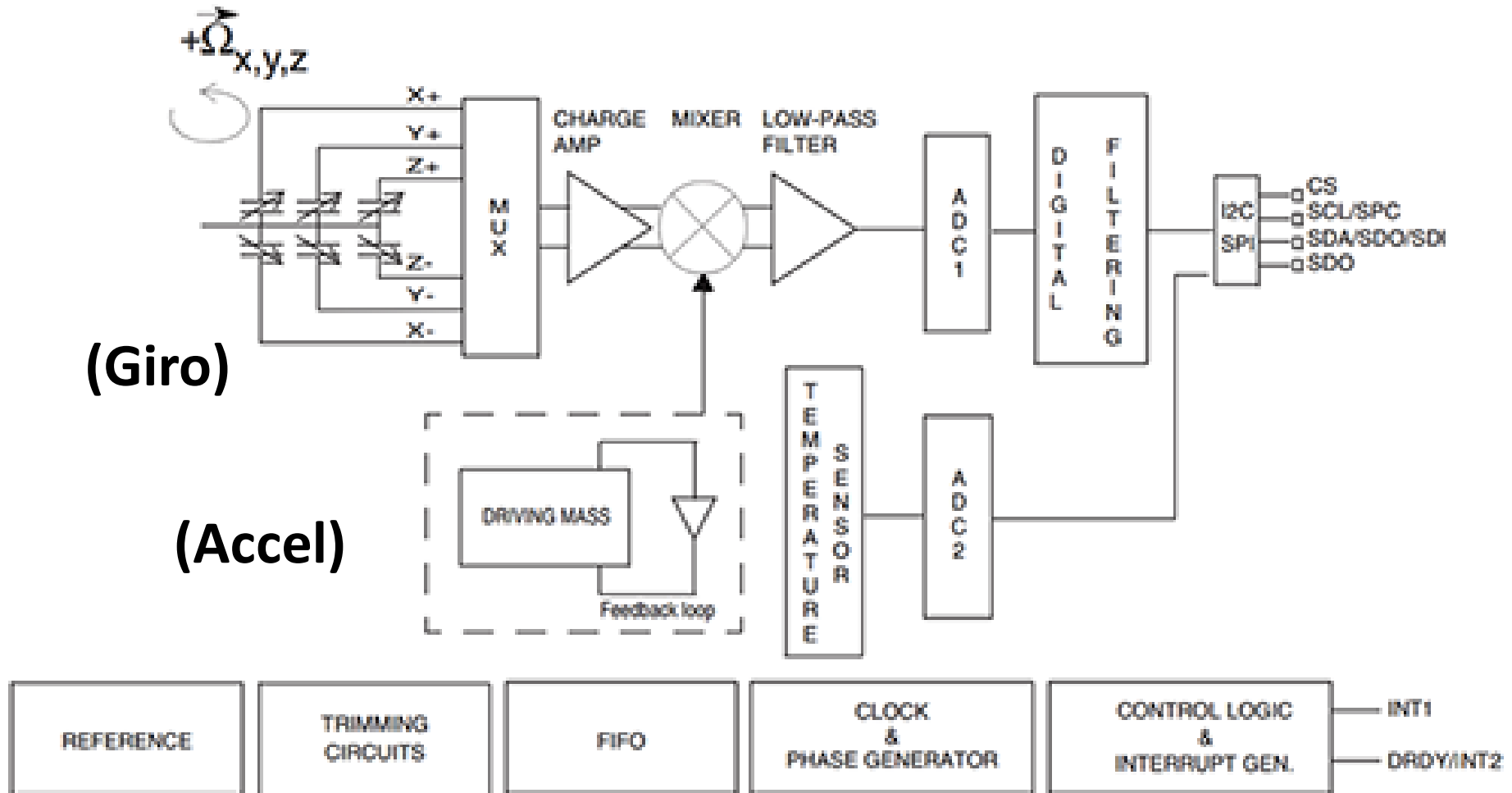




# GPS and IMU Integration



# Sistema de Navegação Inercial (IMU)

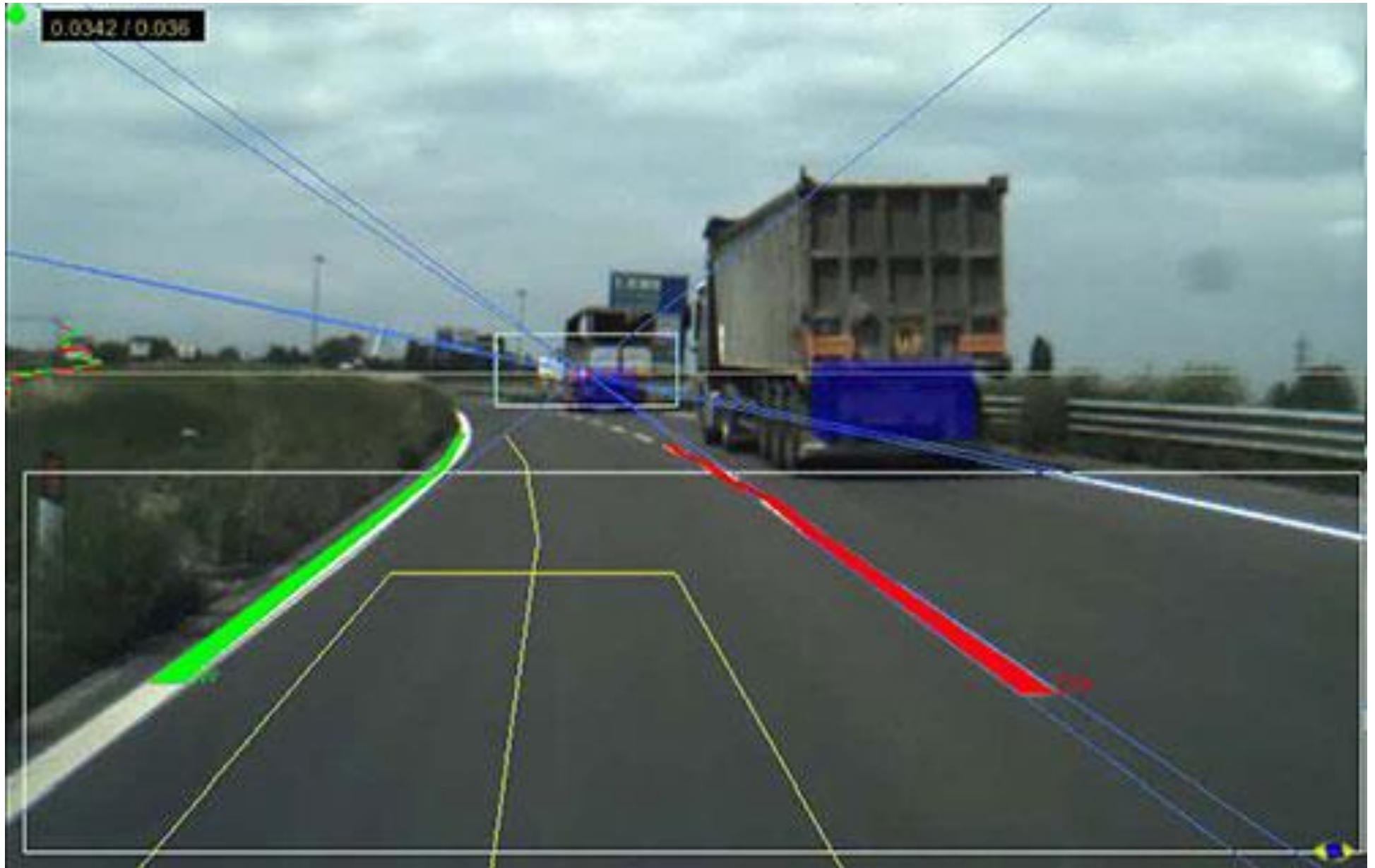


## #2 Ver onde estou indo

- **Interpretar o cenário em volta**
  - Visão 360°
  - **Matriz de câmeras de vídeo**
    - Dificuldade mecânicas de fixação múltipla
    - Volume de dados para processamento
    - Percepção
    - Iluminação, sombras, interferência de raios
  - **LIDAR (Light Detection and Ranging – laser radar)**
    - Fornece informações 3D do ambiente em volta.



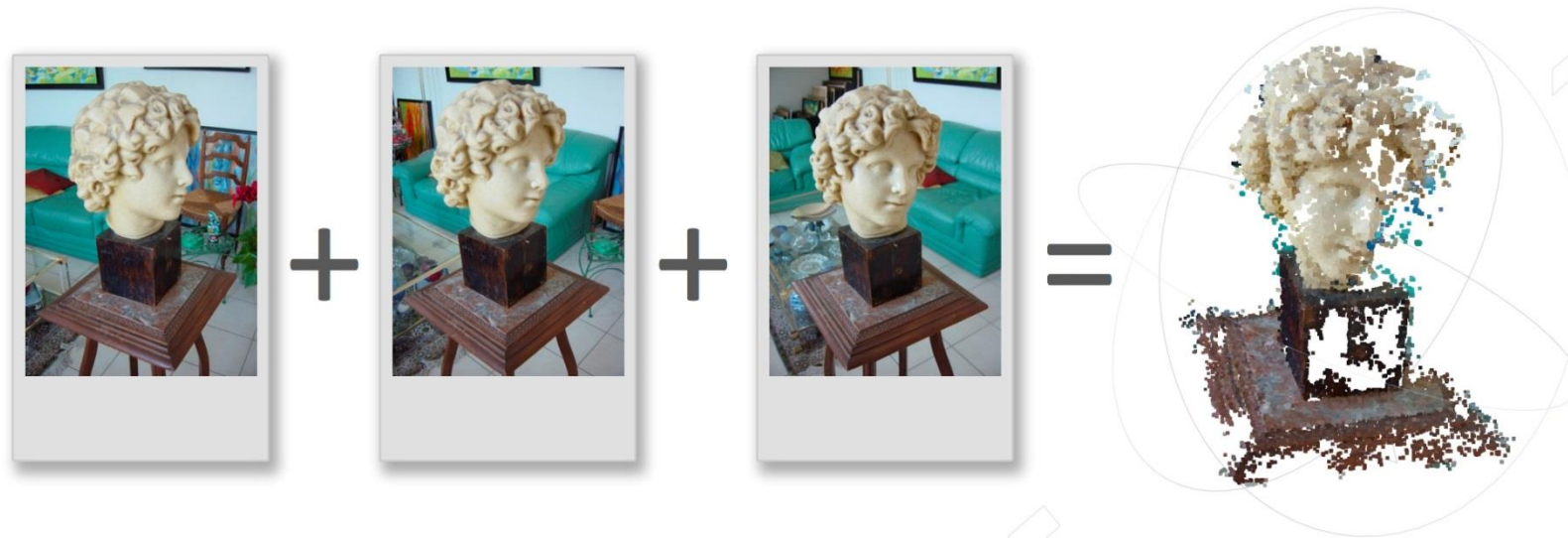
# Video Cameras



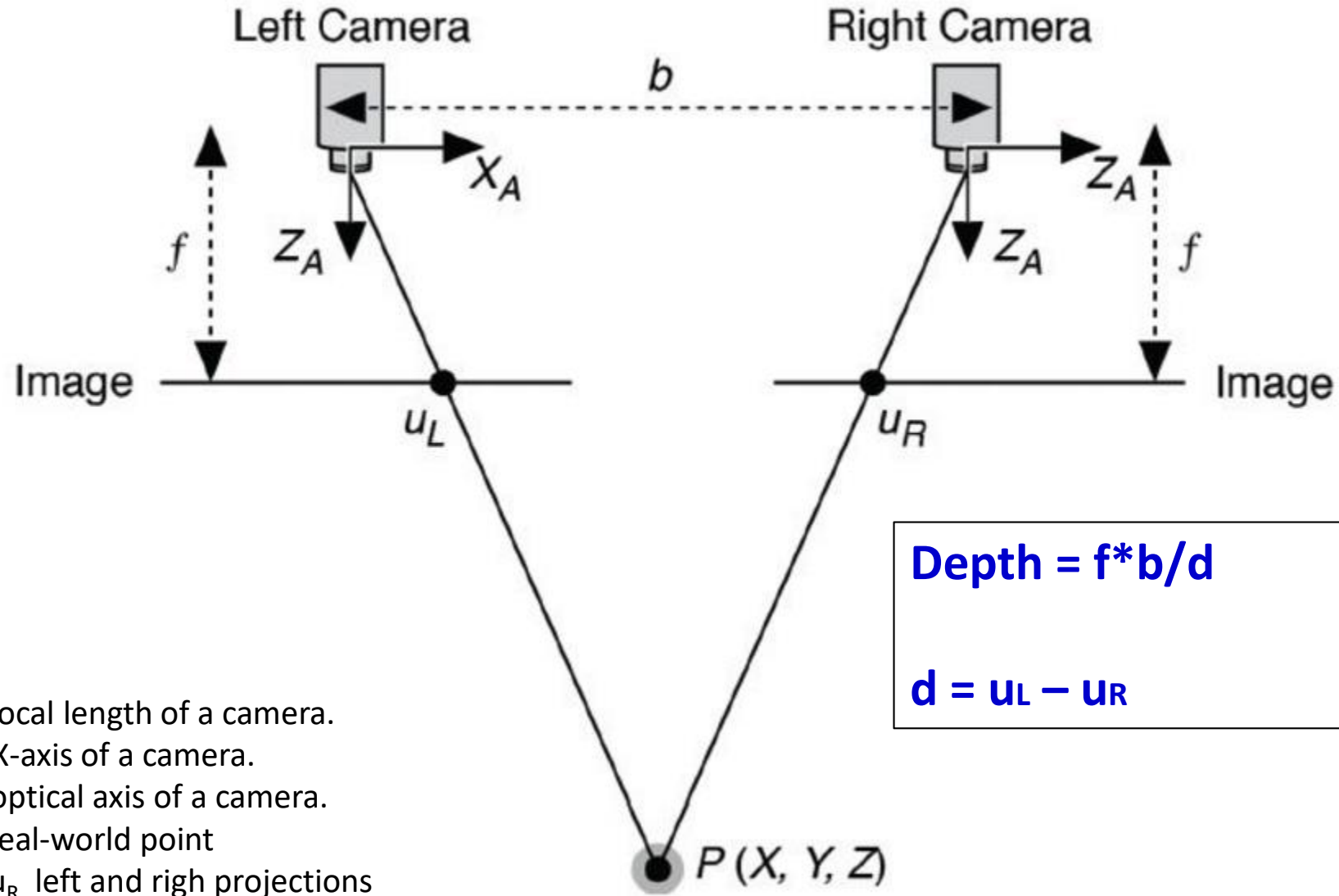
## Structure from Motion (SfM)

Processo de estimação de estruturas 3D a partir de sequencias de imagens 2D.

Problema similar à reconstrução de imagem 3D a partir de visão estéreo.



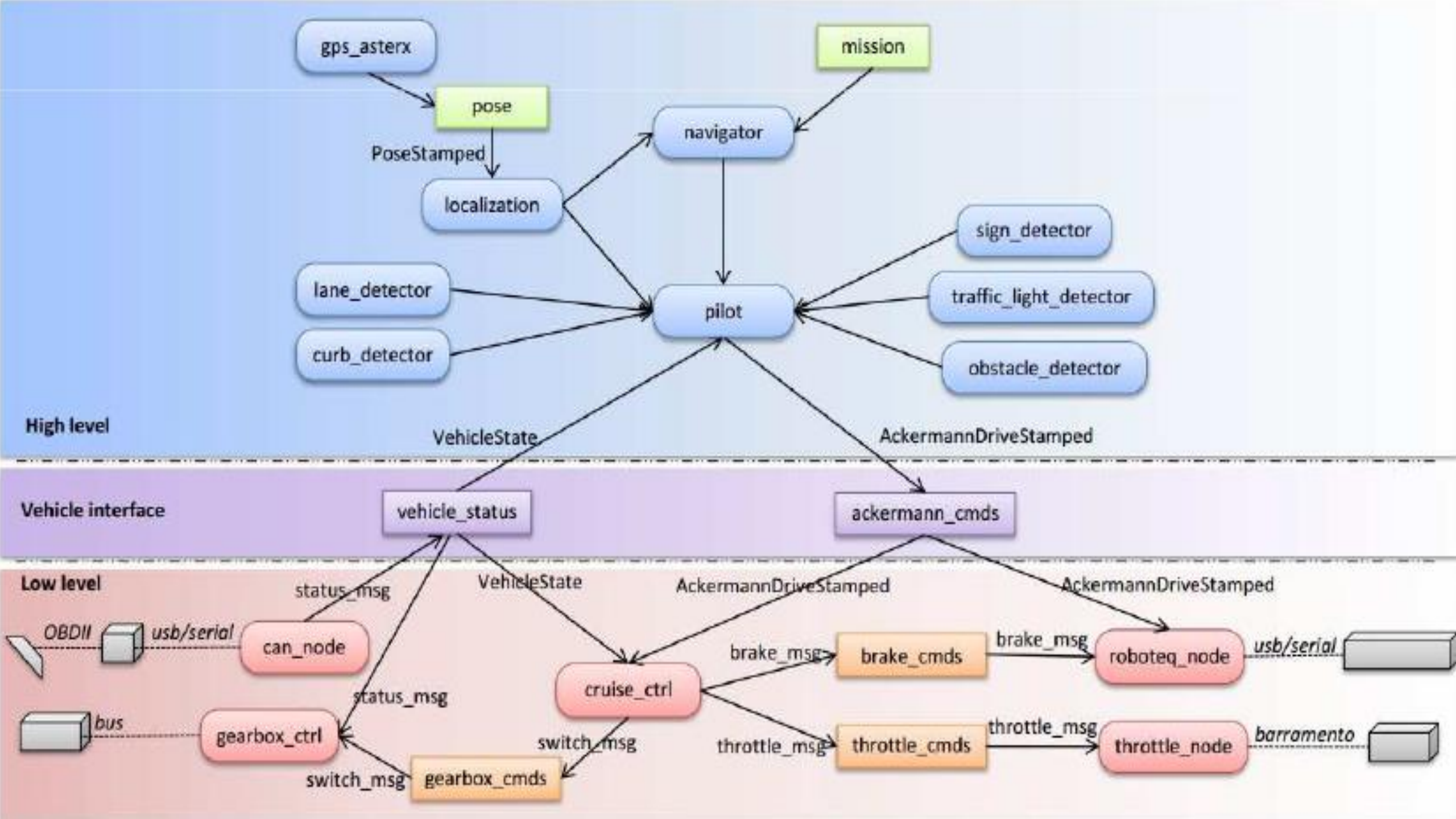
# Visão estéreo e imagem 3D



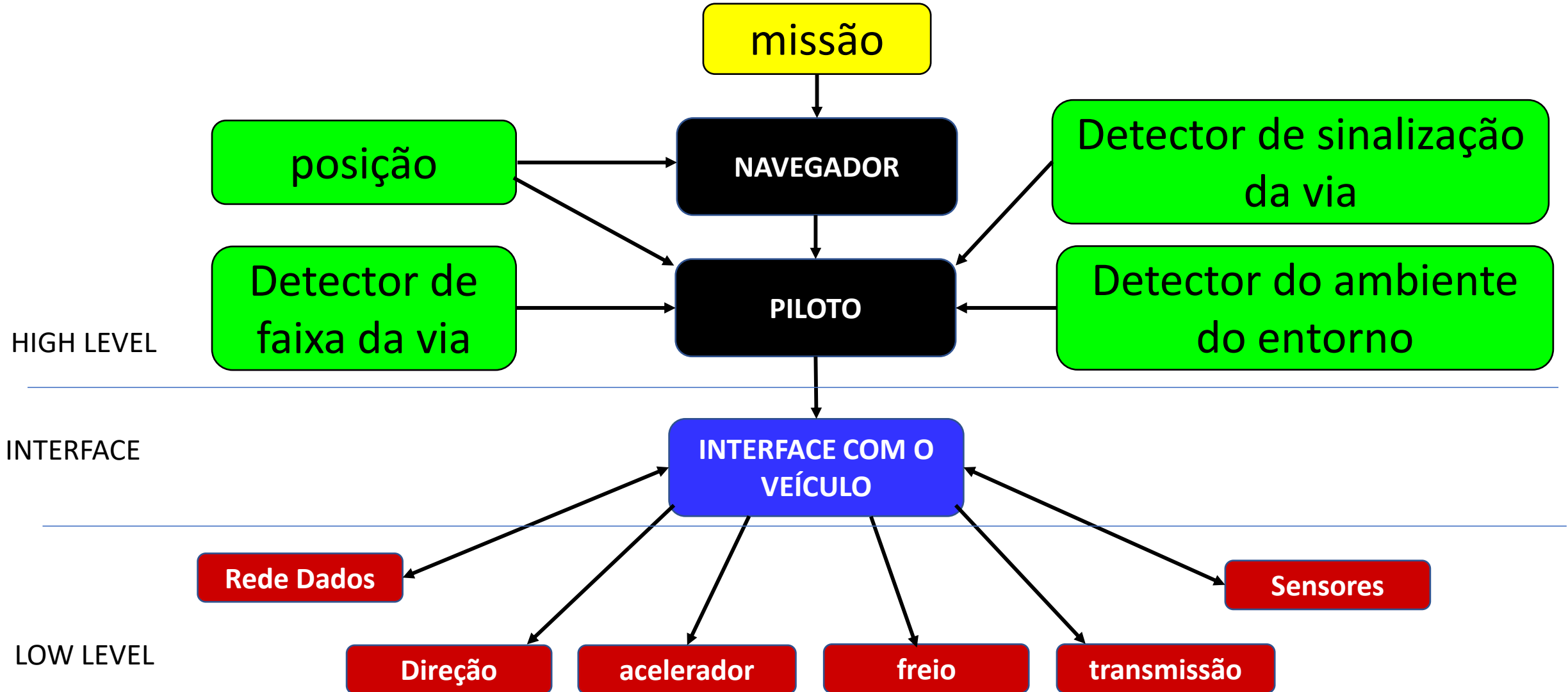
- $f$  : focal length of a camera.
- $X_A$  X-axis of a camera.
- $Z_A$  optical axis of a camera.
- $P$  real-world point
- $u_L$   $u_R$  left and right projections

- **Software**
  - **Comportamento dinâmico**
  - **Outros motoristas**
  - **Pedestres**
  - **Objetos do entorno**
  - **Aprendizagem com experiências:**
    - Veículo lento na faixa da direita
    - Buraco ou algo estranho na via
    - Congestionamento na faixa esquerda





# ARQUITETURA GERAL DE SOFTWARE DO VEÍCULO AUTÔNOMO



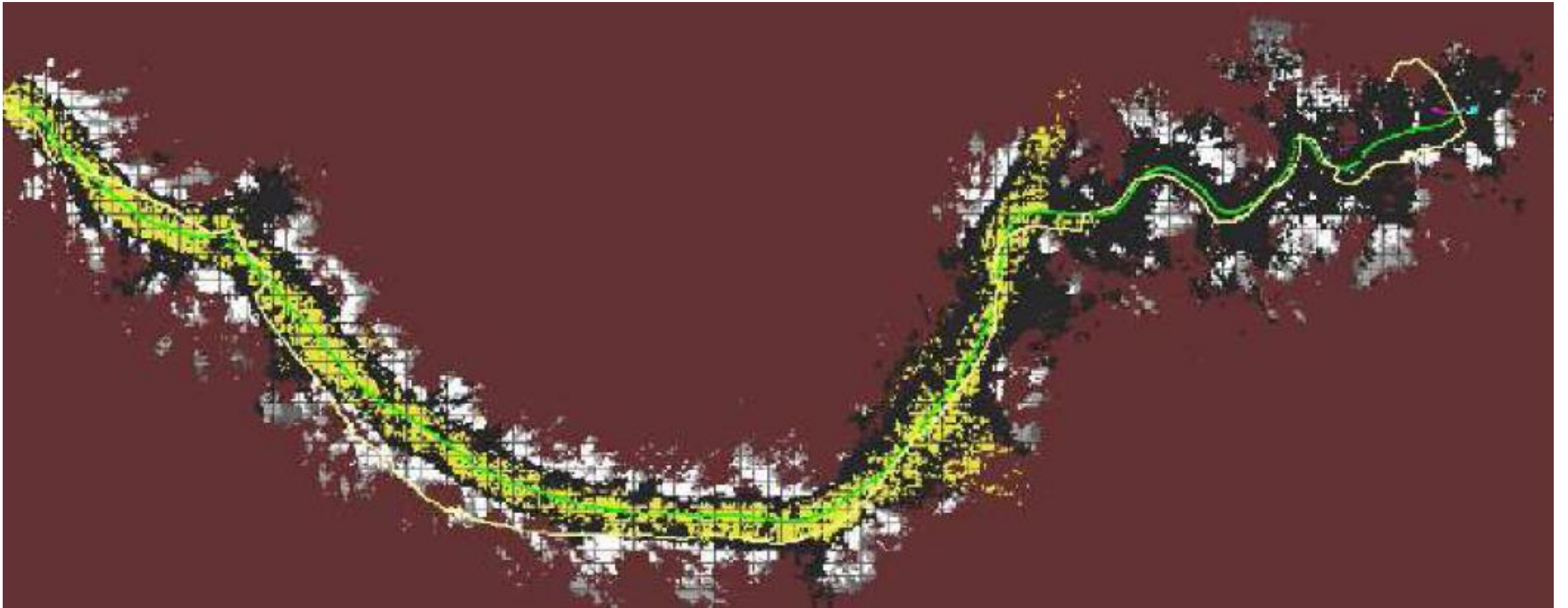
## DETECÇÃO DA VIA:



Modelo de Classificação de  
via e não-via







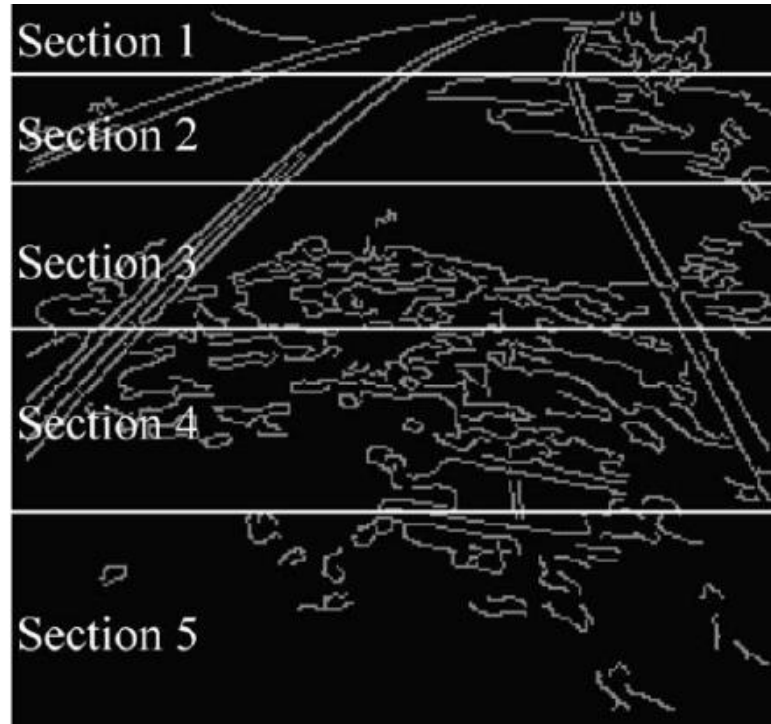
**Mapa de navegabilidade – em amarelo o caminho livre, em preto o espaço livre, em tons de cinza os obstáculos (Knolige, 2009)**



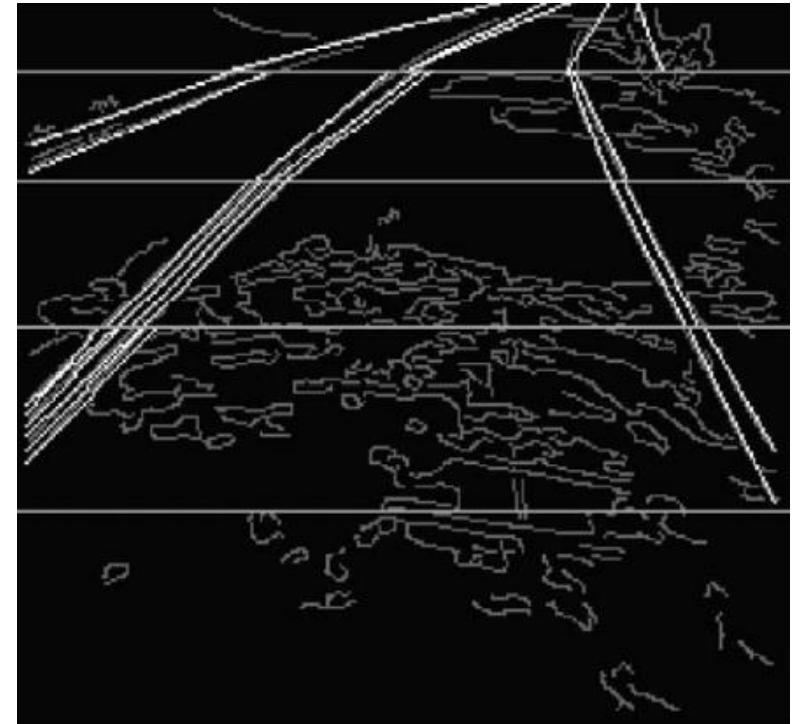
## Método de detecção da Faixas da Via(Wang, 2004)



a) Imagem de Entrada

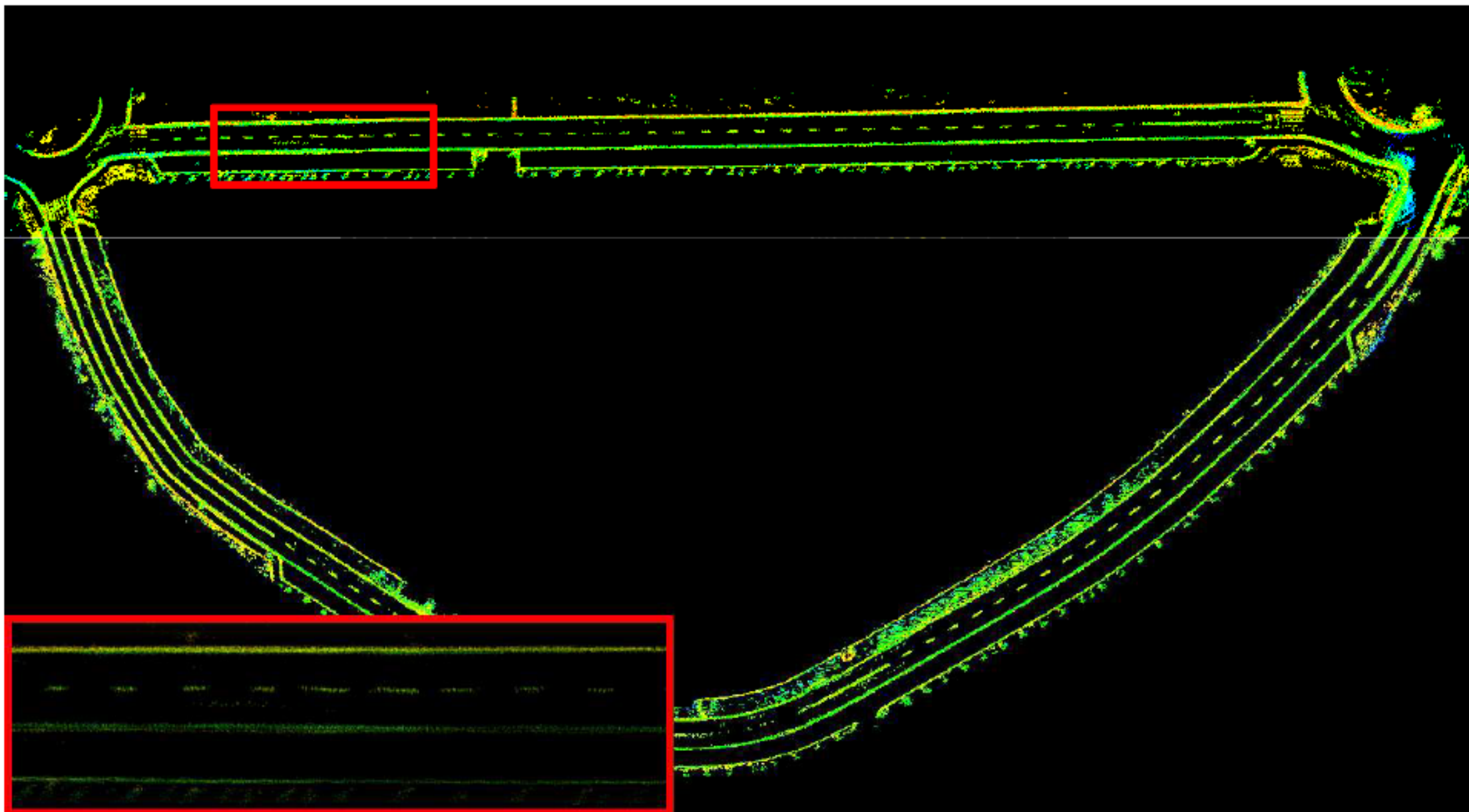


b) Detecção de bordas

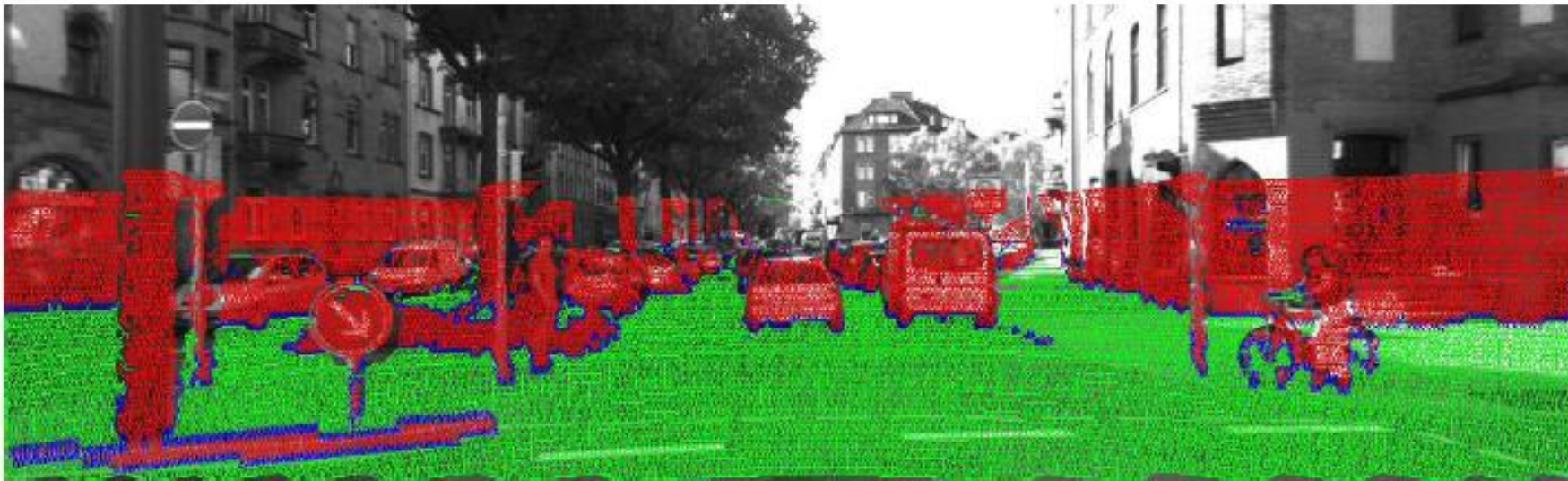


c) Estimação das faixas

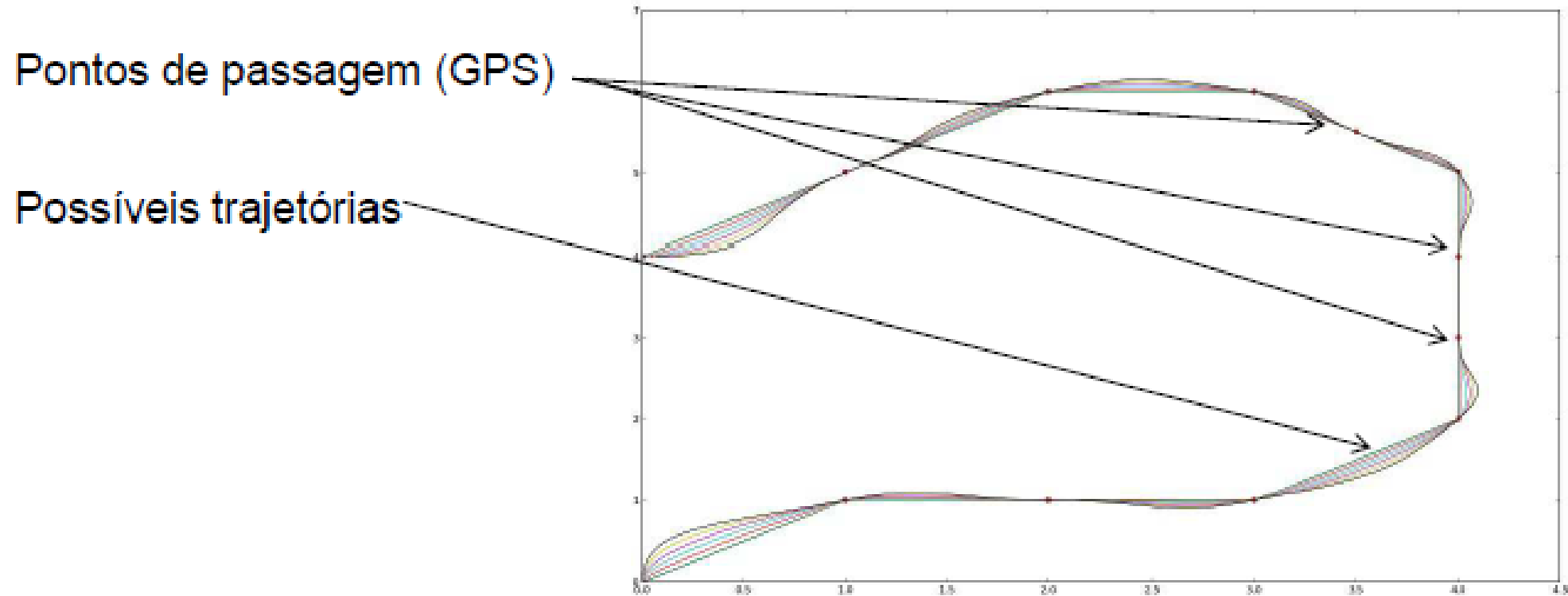
# Detecção de guias e sinalização horizontal



# PERCEPÇÃO



# Planejamento de trajetórias

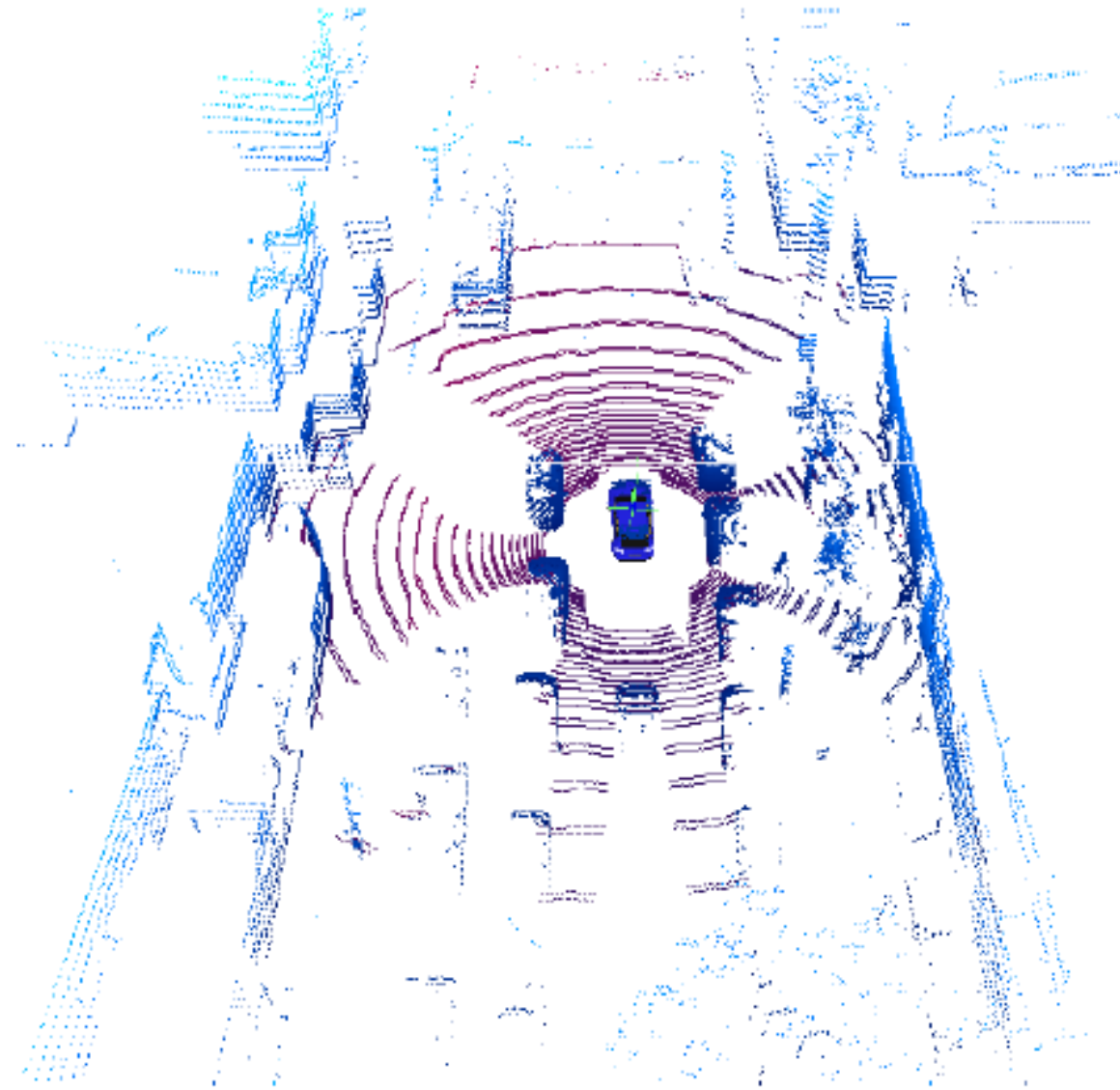


$$\mathbf{C}(t) = (1-t)^3 \mathbf{A} + 3(1-t)^2 t \mathbf{A}' + 3(1-t) t^2 \mathbf{B}' + t^3 \mathbf{B}$$

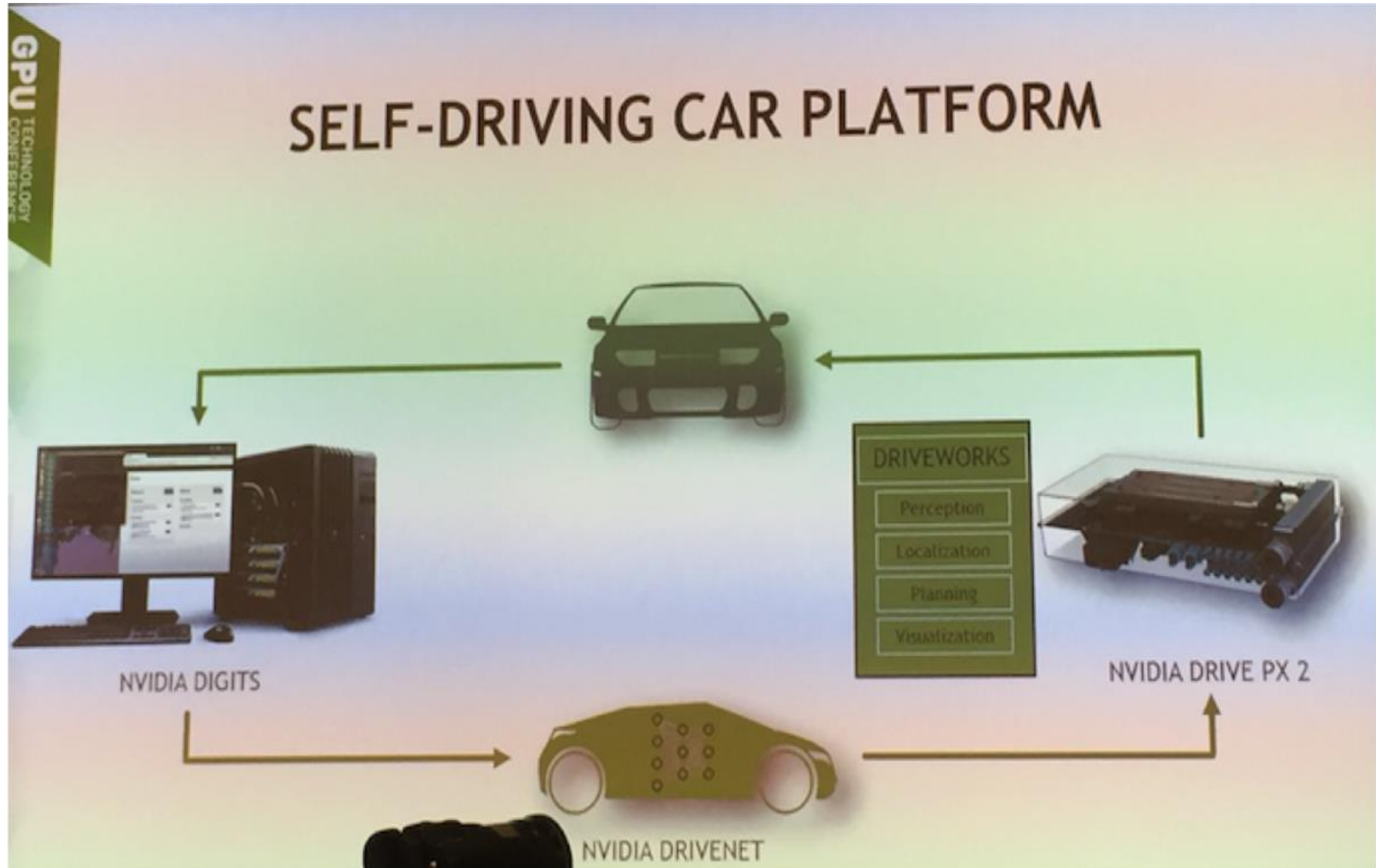
Spline de Bézier



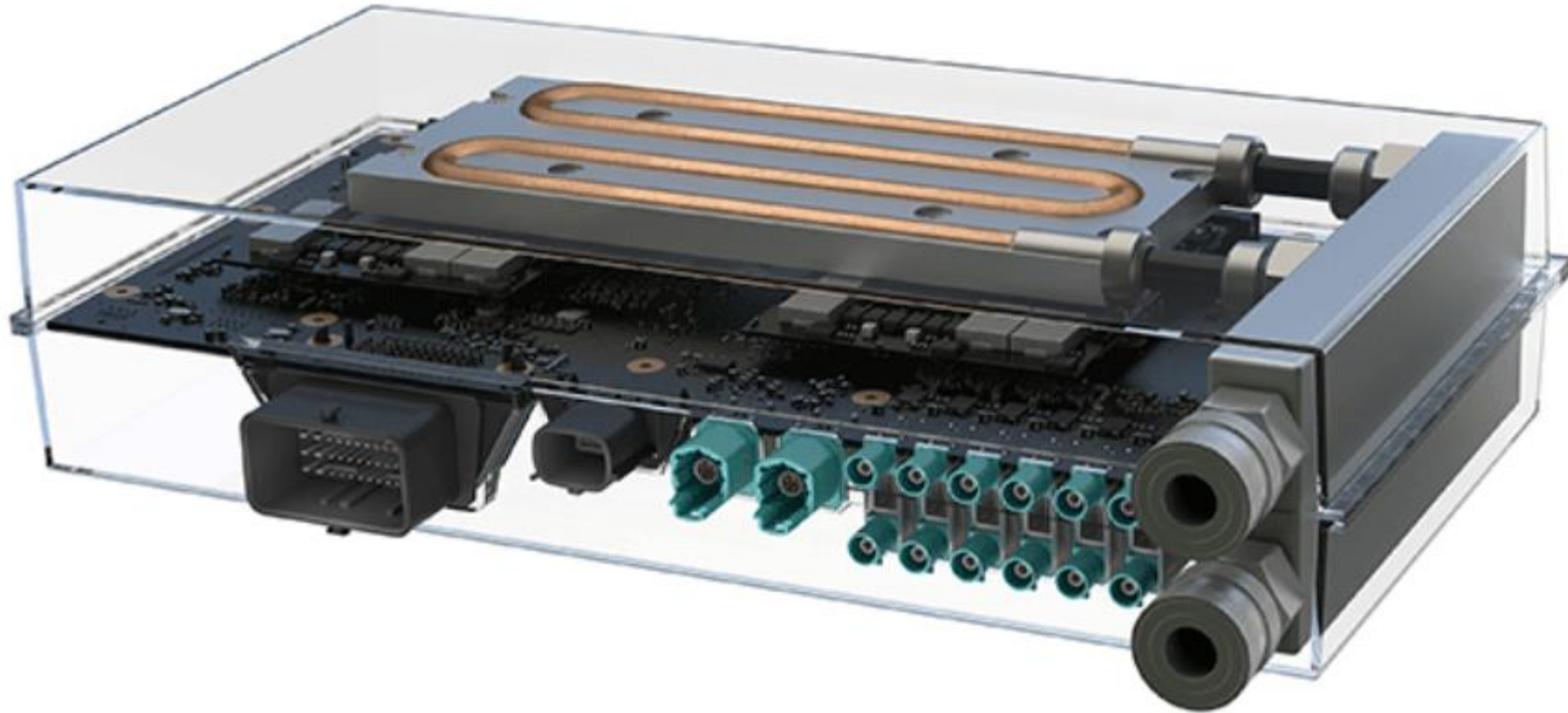
# Nuvem de pontos – Sensor Velodyne



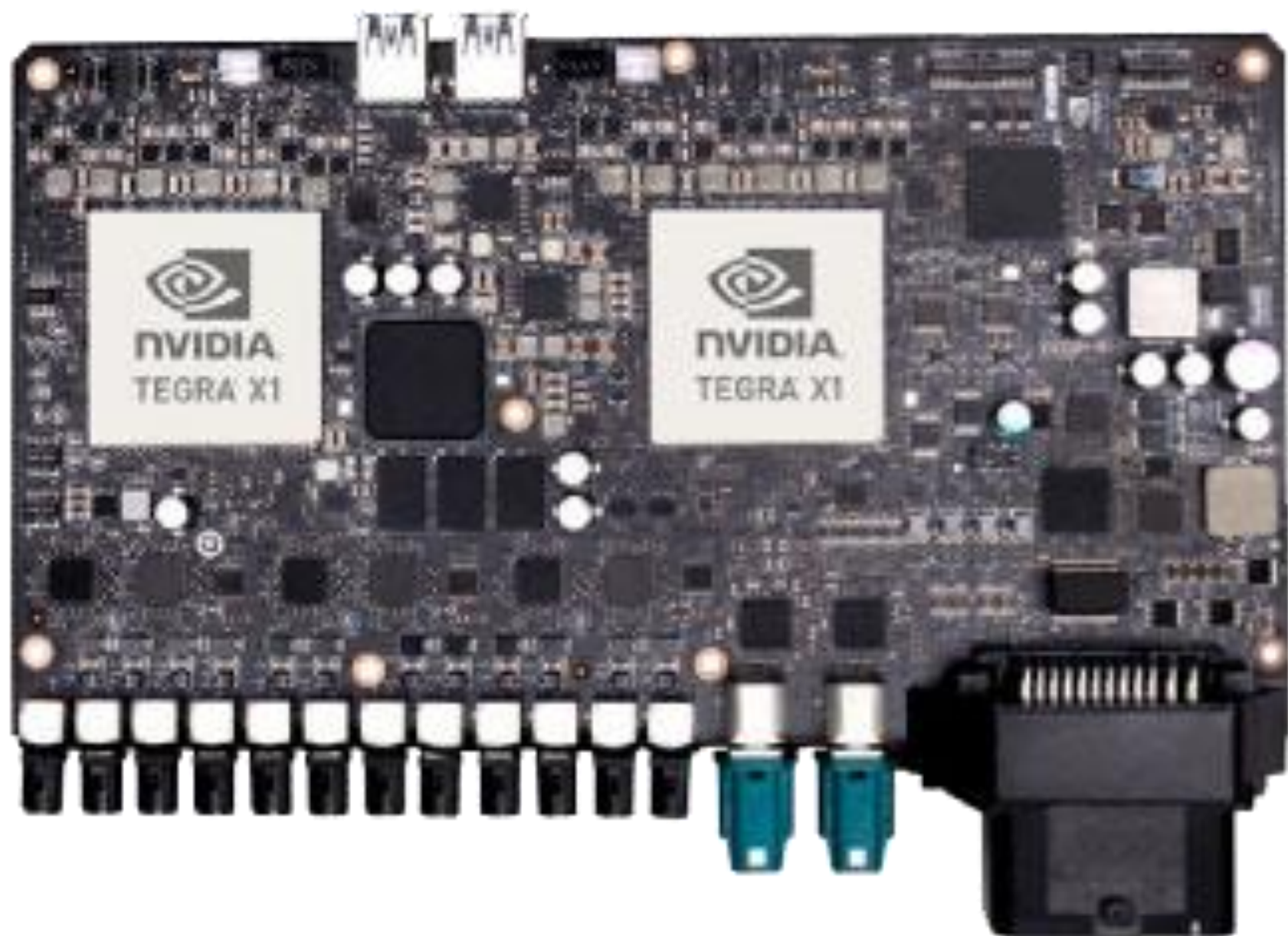
# Sistema Computacional



## GPU and Deep-learning platform



**Nvidia Drive PX2 – 12 CPU cores, 4 GPU, liquid-cooled,  
8 Teraflops of processing power (150 x MacBook Pro)**





# COMPUTATION ENGINES

24 DL TOPS, 8 TFLOPS,  
High Performance CPU Complex

Dual CPU-GPU Cluster  
Connected over  
Gigabit Ethernet

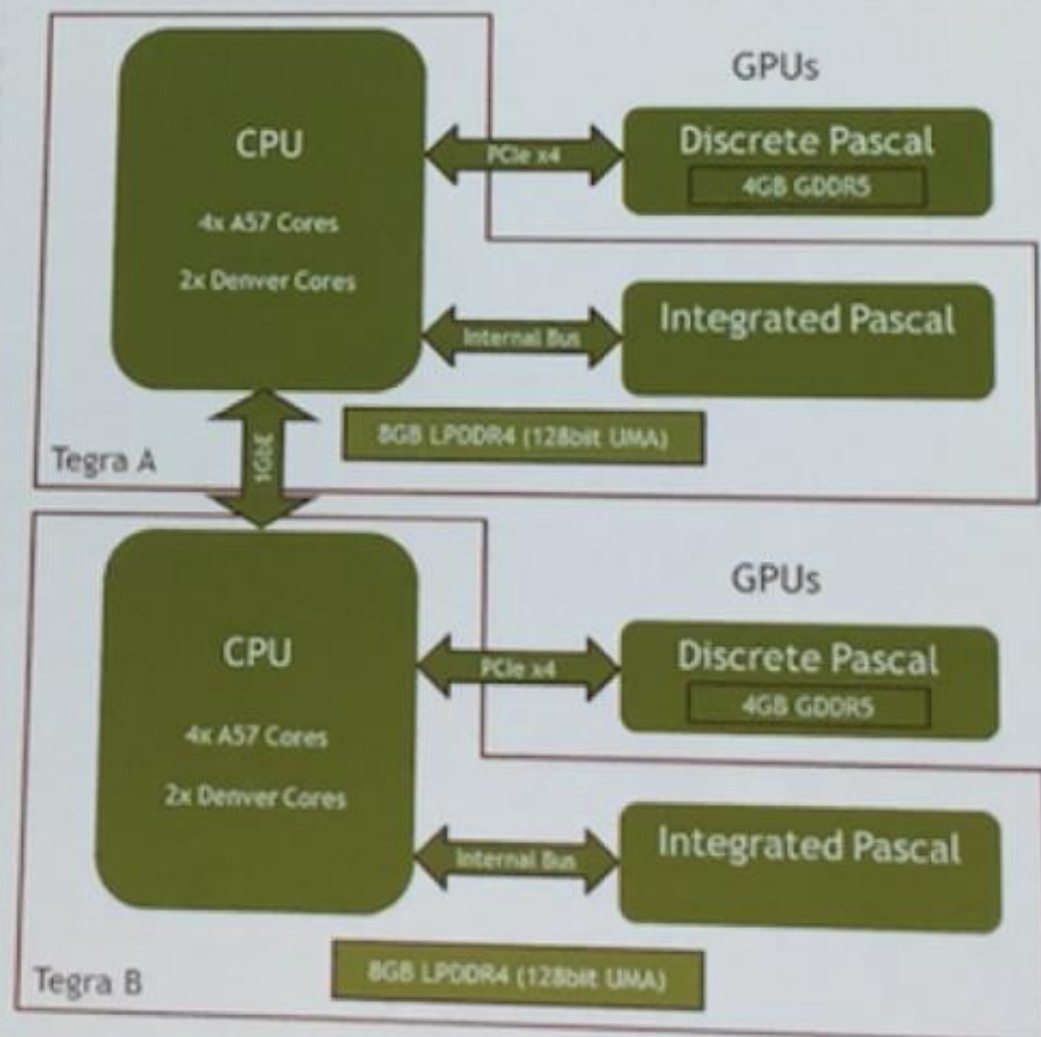
- Scalable + Redundancy Capable

Each GPU has  
dedicated memory

- Independent and specialized  
compute

Specialized  
Instructions for  
Discrete GPU

- Greatly accelerate DNN  
performance







# High Definition Mapping





## Roborace car with Nvidia's Drive PX 2 computer

<http://www.cnet.com/roadshow/news/self-driving-race-car-series-to-use-nvidias-brains/>



## IARA – Intelligent Autonomous Robotic Automobile (UFES)







HDL-32E Velodyne LIDAR

Câmeras Bumblebee

Xsens MTIG



## CARINA (USP São Carlos)

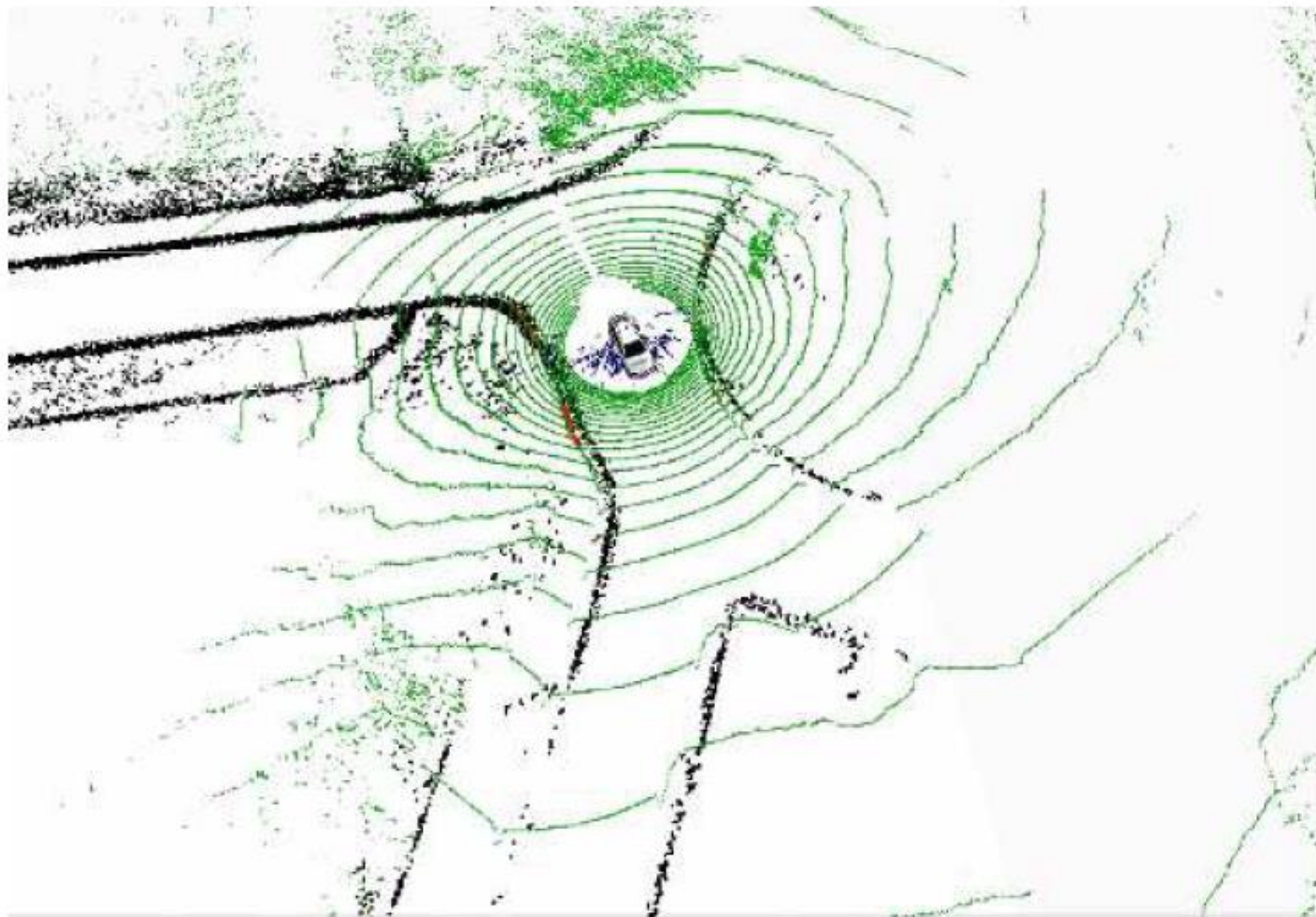




## CARINA (USP São Carlos)



# Localização





# Caminhão autônomo - Austrália



# Trator autônomo - agricultura





# AGV – Armazéns





# Aeroporto de Heathrow (PRT)





# Delivery Robot



# Delivery Robot





# Delivery Robot



# Driverless Shuttle



# Autonomous Store





