

自动紧急制动 (AEB)

近期一个话题

友商讲了AEB，我认为99%是假的，它就是造假。

连AEB是什么，居然有车企的一把手还根本没有搞懂呢！

我最近评价了一个行业乱象，结果行业没急，非行业的倒急了，不知道他急什么

意义

- AEB 已经成为主动安全领域研究的热点
 - 94%的严重撞车事故的主要原因是驾驶员本身的失误
 - 根据美国国家公路交通安全管理局 (NHTSA) 的数据
 - Euro NCAP研究表明，AEB可以避免27%的碰撞事故，AEB 能够很大程度上避免或缓解追尾事故的发生，保护驾乘人员安全

发展

- 1957年，运用在航空交通工具上的碰撞预警装置是目前的AEB系统的雏形
- 二十世纪八十年代，汽车主动避撞技术真正取得实质性的进步，世界各国的汽车研发中心基于航空业的碰撞预警理论开始对AEB系统进行不懈探索与研究
- 2007年，沃尔沃公司发布城市安全系统(City Safety System, CSS)，通过激光雷达探测前方危险目标，实时探测并判断即将发生的碰撞危险并提醒驾驶员，必要时自动采取紧急制动措施，以达到避免碰撞事故或减少碰撞事故带来的危害的目的。
 - 仅为城市工况设计，当本车时速低于30km/h时才能正常工作。在二代及增强版系统中采取了多传感器输入模式，将各传感器数据进行融合，大大加强了系统的可靠性和安全性
- 新能源时代，高速发展

AEB 测试纳入规程

- 中国新车评价规程(China-New Car Assessment Program, C-NCAP)
- 欧盟新车评价规程(The European New Car Assessment Program, Euro NCAP)
- 美国高速公路安全管理局 (National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)

难点

- 故障性风险：车辆零部件的失效
- 非故障风险，此类风险在特定场景触发下会导致车辆发生危害行为，难以提前预见
 - 系统内部功能组件设计不足
 - 2018年美国，自动驾驶测试车辆在夜间与自行车相撞，其决策系统在设计之初未考虑行人会横穿马路
 - 性能局限
 - 特斯拉汽车曾发生3起与白色货车相撞的事故，感知系统在特定的光照条件下将白色车厢识别为天空
 - 幽灵刹车问题，该现象产生是因为在特殊光照条件、角度及距离情况下车辆将道路上非障碍物识别为障碍物
 - 组件间信息交互障碍

AEB

- AEB系统是通过自动制动来避免或者缓解碰撞的一种主动安全技术，属于先进驾驶辅助系统(advanced driver assistance system, ADAS)的范畴
- AEB系统需要全天候全时段监测车辆前方行驶环境，在碰撞发生前提醒驾驶员，并自动启动车辆制动系统使车辆减速，以避免或减轻碰撞
- AEB 系统主要适用于两车追尾工况，弥补紧急情况下驾驶员制动过慢或者制动力不足的缺陷，主要通过2种方式来提高安全：
 - 通过提前辨别危险情况并警告驾驶员来避免事故
 - 通过主动制动车辆，降低不可避免事故的严重程度

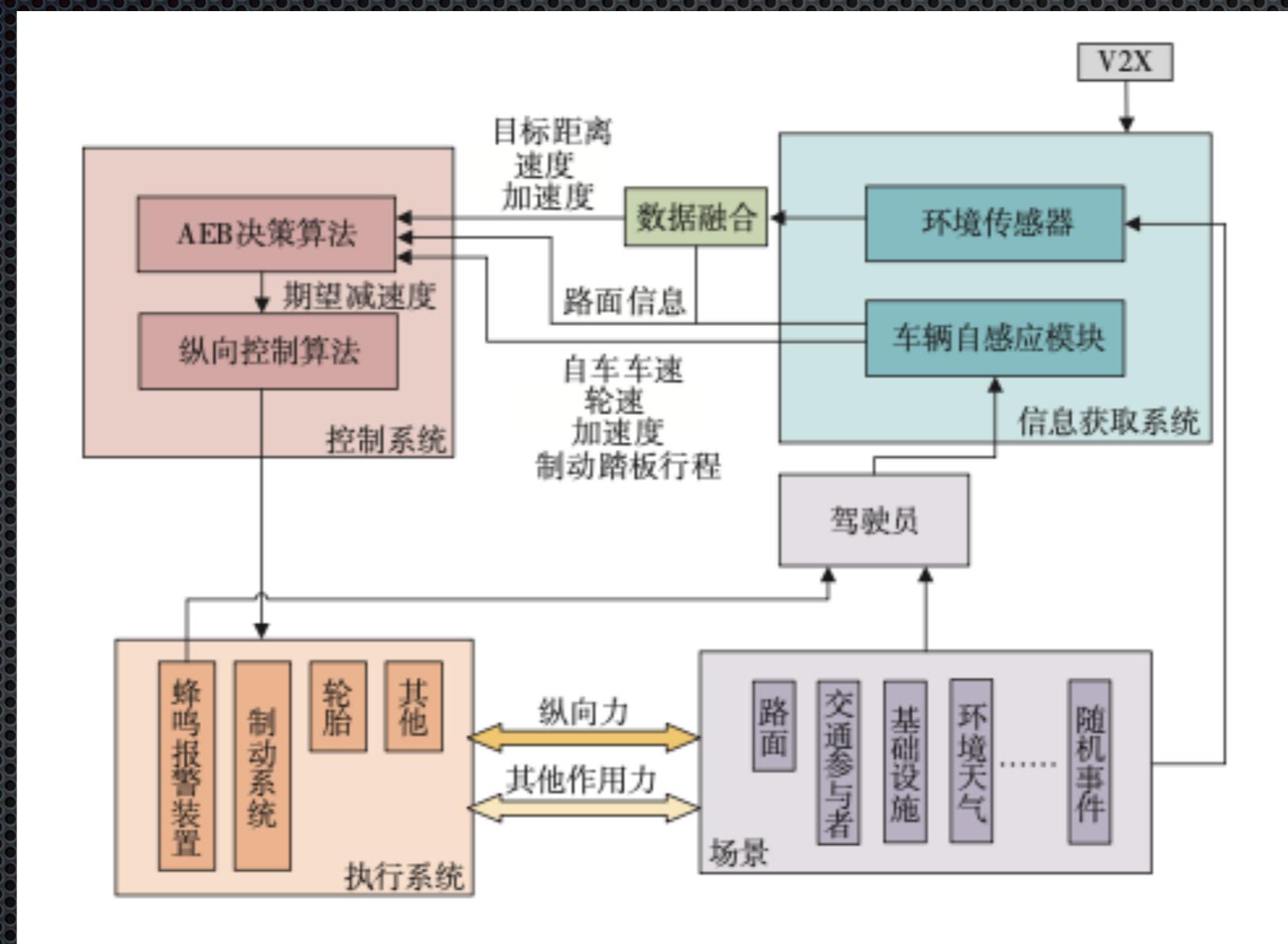
AEB分类

- 根据不同的路况，AEB 可分为：
 - 用于城市路况的城市AEB：城市AEB主要利用激光雷达来探测前方10m内的目标车辆，在车速不超过20km/h情况下工作；
 - 用于高速公路路况的城际AEB：城际AEB主要利用毫米波雷达等远距离雷达来探测前方100m内的目标车辆，在车速介于50到80km/h情况下工作；
 - 用于保护行人的行人AEB：主要利用摄像头、红外装置等来探测目标行人。

AEB 系统功能规范

- 标准GB/T33901-2021《乘用车自动紧急制动系统(AEBS)性能要求及试验方法》中规定，AEB系统应具备以下功能：
 - 碰撞预警和紧急制动功能：车辆直线行驶遇到静止、低速行驶或紧急减速的障碍物(车辆)时，车辆应以光学、触觉及振动等模式预警，且在预警阶段车速不能显著下降，并最终不与障碍物发生碰撞；
 - 系统失效后的警告信号：当 AEB 系统失效时，系统应启动常亮警告信号，直至 AEB 系统功能恢复；
 - 驾驶员干扰性能：系统在预警和紧急制动阶段均允许驾驶员通过主动动作中断系统工作；
 - 相邻车道车辆误响应性能：车辆遇到相邻车道车辆行驶时，系统不应启动；
 - 车道内铁板误响应性能：车辆行驶时遇到井盖和限高杆等设施时，系统不应启动。

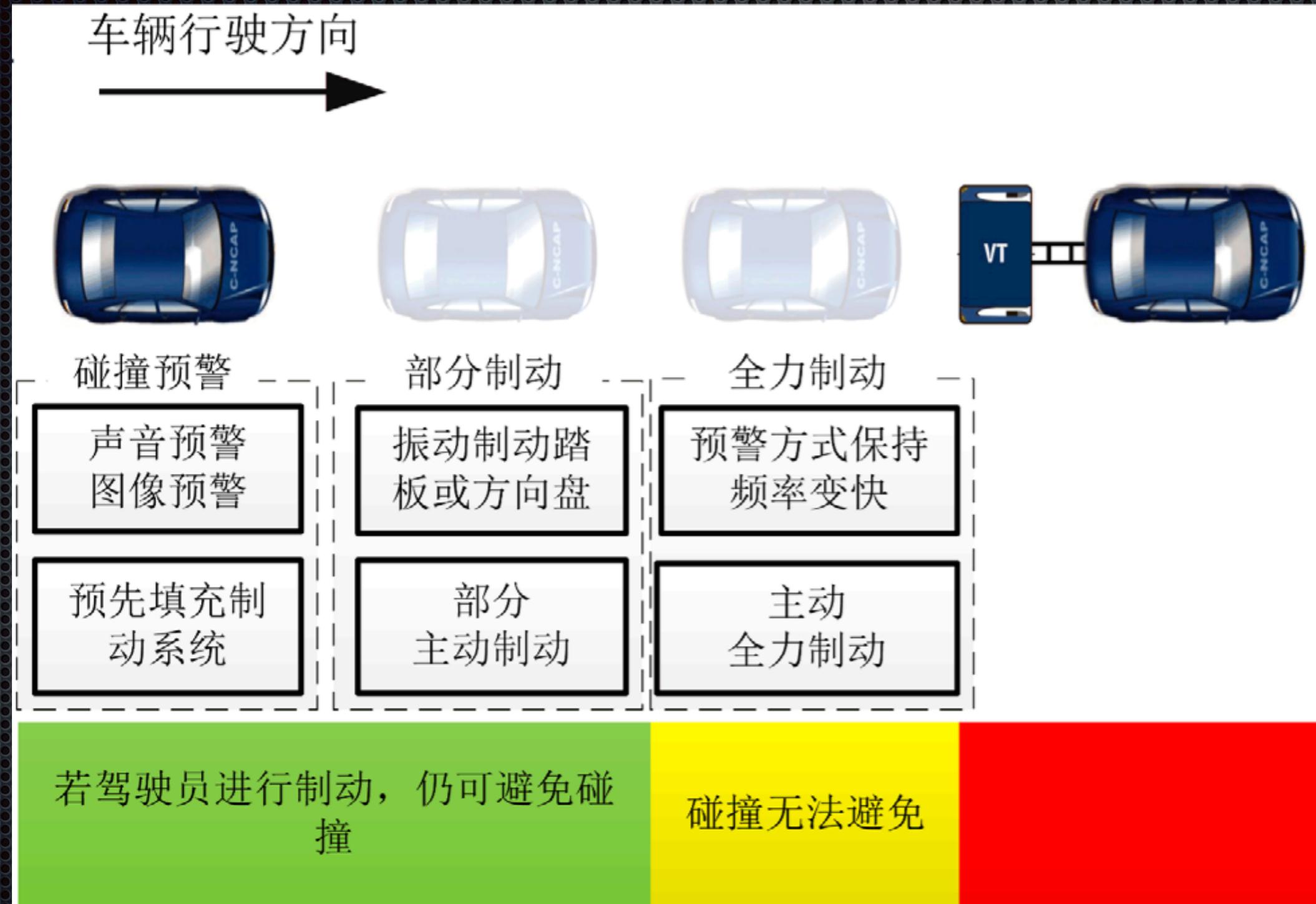
AEB系统系统理论过程分析（STPA）控制架构



流程

- 一般来说，AEB系统的流程如下
 - 在融合了雷达和视觉信息之后，系统先是进行物体的识别，这里的识别不需要知道物体的类别，任何有可能和本车碰撞的物体都是我们关心的
 - 推断出物体的位姿，相对速度，相对距离等信息
 - 找出最危险的障碍物，值得一提的是，如果距离最近的障碍物和本车的距离并没有快速缩短，那么它并不是最危险的障碍物
 - 检查在之后的路径上，是否会和最危险障碍物发生碰撞

自动紧急制动系统工作过程



AEB系统工况参数

- 环境参数
 - 照明情况（良好/差）、道路特征（是否路口）、路面状况（干燥/雨天/雪天）
- 车辆参数
 - 车速、车辆运动状态（直行/转弯）、视野是否遮挡
- 行人参数
 - 行人速度（0-5km/h-10km/h）、行人运动状态（静止/行走/奔跑）、行人行走方向（从左/右侧过马路/沿路直行）

车速与制动距离关系

车速与制动距离关系

车速/ (km·h ⁻¹)	制动距离/m	车速/ (km·h ⁻¹)	制动距离/m
20	2.0	60	17.7
30	4.4	70	24.1
40	7.9	80	31.5
50	12.3	90	39.7

假定在路面摩擦系数为 0.85 的情况下，车型为 C 级车，正常荷载

AEB系统的输入/输出

- AEB系统输入：环境感知系统提供的障碍物信息、车载传感器提供的自身车辆状态信息以及驾驶员的主动操作信息；
- AEB系统输出：光学、声音及振动等预警信息和制动系统的控制命令。
- 对输入输出的假设为：传感器输入到系统的信息真实可信、系统输出的指令可被执行器正确执行
- AEB系统功能启动时对车辆控制的优先级低于驾驶员，当驾驶员通过主动动作控制车辆时，功能关闭，控制权归驾驶员。

自动紧急制动系统(AEB)避撞策略

- 目前国内外汽车厂商及研究机构针对AEB避撞策略的制定主要以提高AEB系统的综合性能为目标
 - 基于行车间距的安全距离避撞策略
 - 基于驾驶员反应特性的碰撞发生时间避撞策略
-

基于行车间距的安全距离避撞策略

- 基于行车间距的安全距离避撞策略是指尽可能避免与前方车辆发生碰撞所要保持的安全距离
 - 从距离尺度将自车与前车的实时车间距作为衡量行车危险状态的指标
 - 与策略中预警安全距离与紧急制动安全距离进行比较判断，从而指导AEB系统做出预警和主动制动的避撞操作
- 预警安全距离与紧急制动安全距离主要由如下参数实时确定：
 - 自车车速
 - 与目标车的相对车速
 - 自车最大制动减速度
 - 目标车最大制动减速度
 - 系统延迟时间
 - 驾驶员反应时间
 - 车辆停止后需要保持的车间距

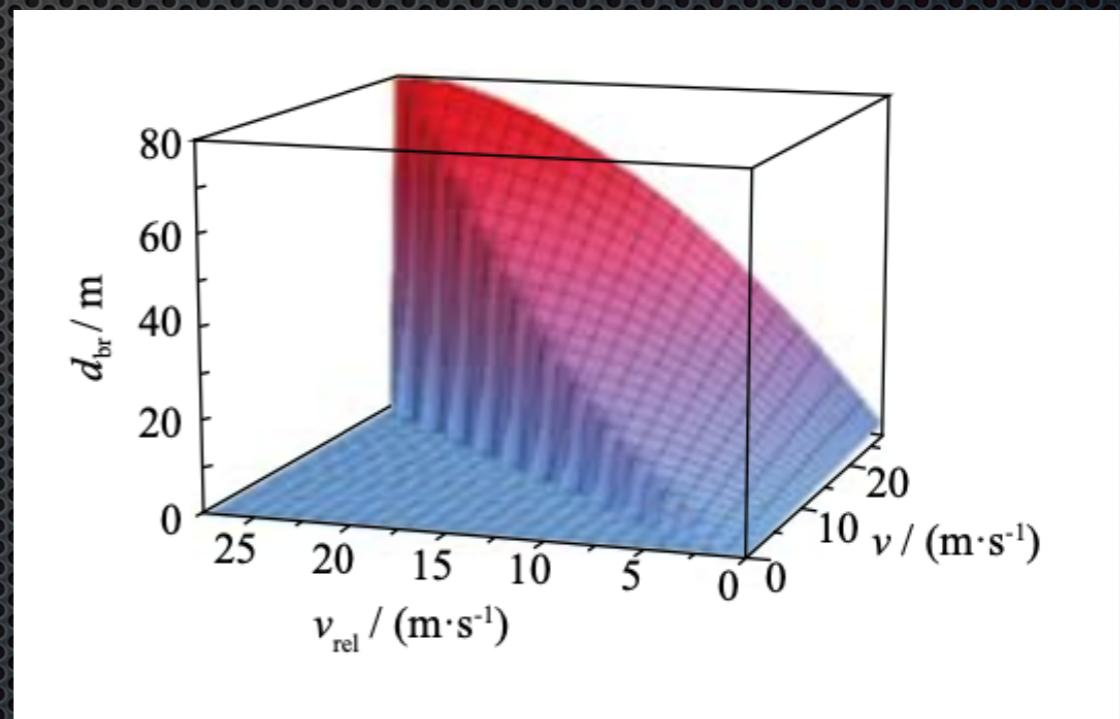
基于驾驶员反应特性的碰撞发生时间避撞策略

- 基于驾驶员反应特性的碰撞发生时间避撞策略是指在符合驾驶员对行车危险情况下的认知和判断条件下，从时间尺度将自车当前运动状态到与前车发生碰撞所剩余的碰撞发生时间(time to collision, TTC)作为衡量行车危险状态的指标
- 策略将前端雷达获取到的实际车间距与相对车速相除得到实时TTC值，并与系统中所设定的碰撞预警的TTC值和紧急制动的TTC值进行比较判断，从而指导AEB系统做出预警和主动制动的避撞操作

Mazda 模型

- 危险制动距离为
- 式中： v 为己车车速， v_{rel} 为相对车速， a_1 为己车最大减速度， a_2 为前车最大减速度， t_1 为驾驶员反应延迟时间， t_2 为制动器延迟时间， d_0 为最小停车距离。当两车使用全力制动时， d_0 能够确保两车不发生碰撞。增加延迟时间 t_1 、 t_2 ，能够使系统更加保守
- 在此，取 $a_1=6m/s^2$ ， $a_2=8m/s^2$ ， $t_1=0.1s$ ， $t_2=0.6s$ ， $d_0=3m$ 。当 $v_{rel}>v$ ，制定 $d_{br}=0$

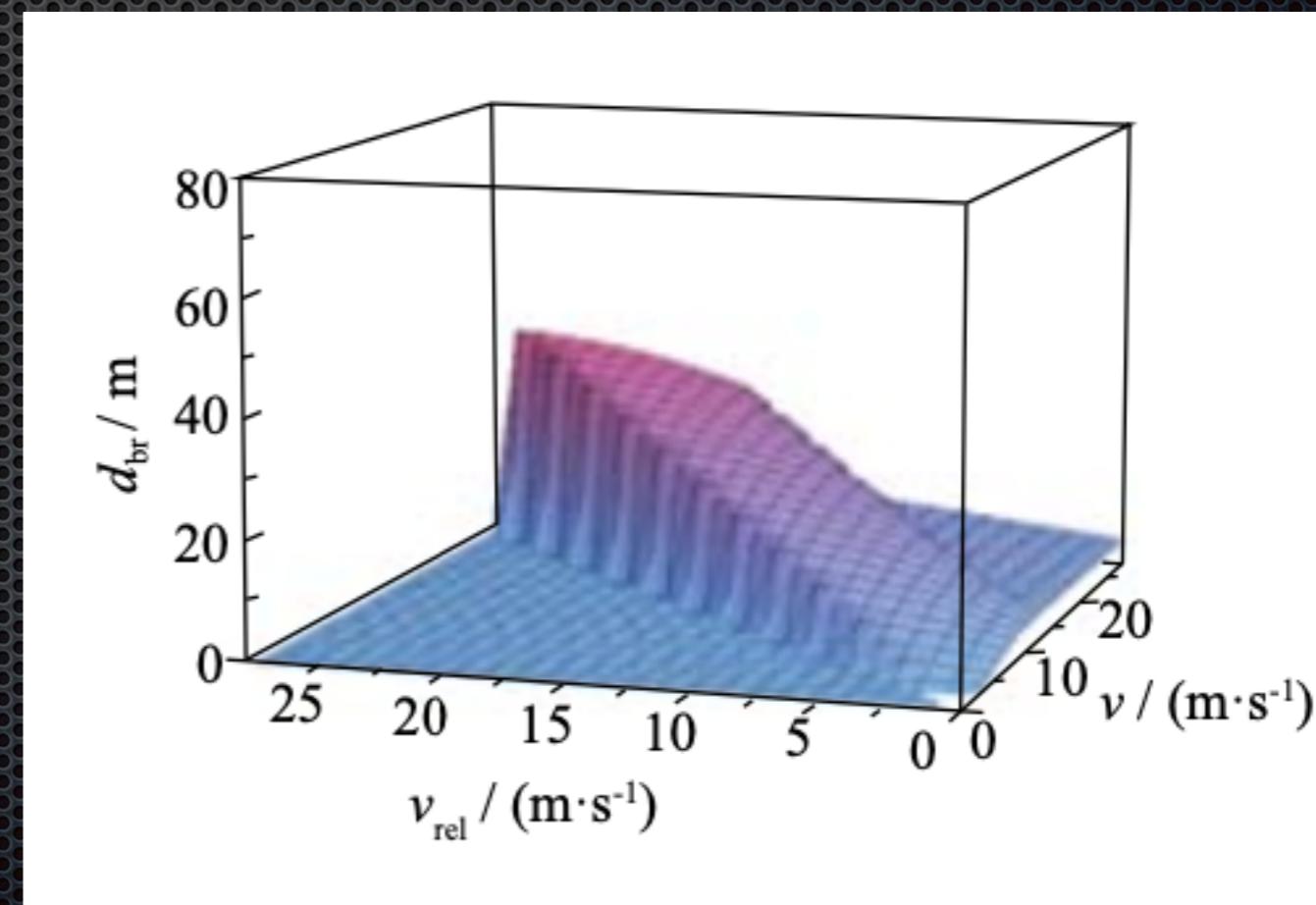
$$d_{br} = \frac{1}{2} \left[\frac{v^2}{a_1} - \frac{(v-v_{rel})^2}{a_2} \right] + vt_1 + v_{rel}t_2 + d_0.$$



Honda 模型

- 制动危险距离为
- 式中： v 为本车车速； v_2 为前车车速， a_1 、 a_2 分别为本车和前车的最大减速度； t_1 、 t_2 分别为系统延迟时间和制动时间
- 在此，取 $a_1=a_2=7.8m/s^2$, $t_1=0.5s$, $t_2=1.5s$ ，Honda模型的危险距离模型如图所示

$$d_{\text{br}} = t_2 v_{\text{rel}} + t_1 t_2 a_1 - 0.5 a_1 t_1^2, \quad \frac{v_2}{a_2} \geq t_2;$$
$$d_{\text{br}} = t_2 v - 0.5(t_2 - t_1)^2 a_1 - \frac{v_2^2}{2a_2}, \quad \frac{v_2}{a_2} < t_2.$$



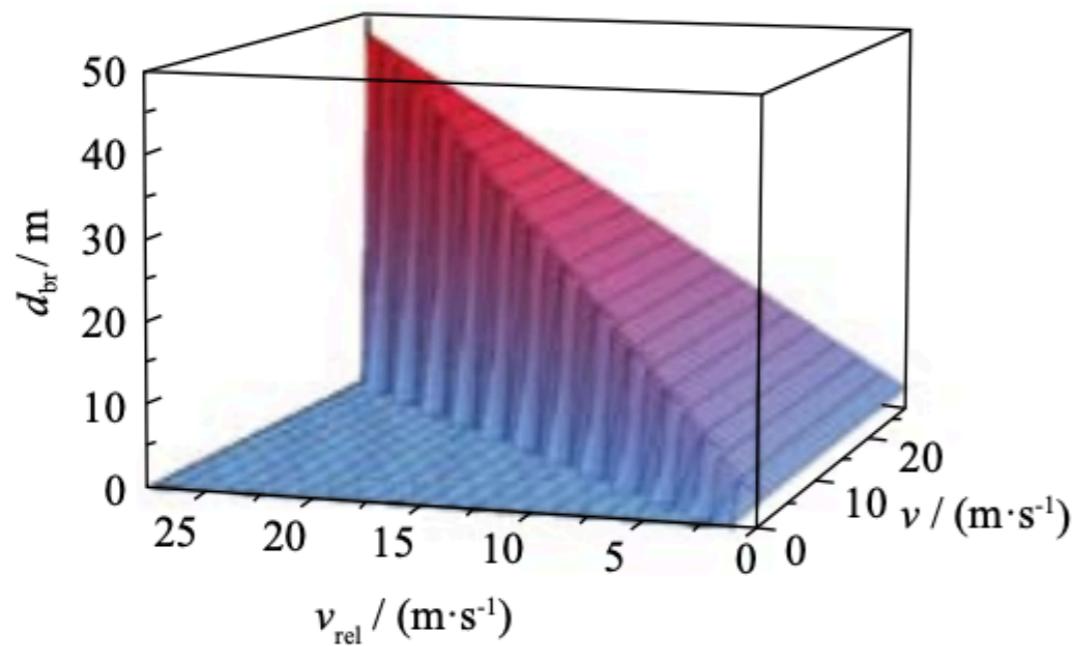
TTC 模型

- TTC模型公式中, d_{br} 为制动距离, D 为两车相对距离, d_0 为安全停车距离(取 $d_0=3m$)
-
- TTC模型算法逻辑为:
 - 如果 TTC 小于所有延迟时间 (系统制动延迟时间与驾驶员反应时间), 驾驶员没有对碰撞预警做出反应, 则在这时候系统应该自动制动
-

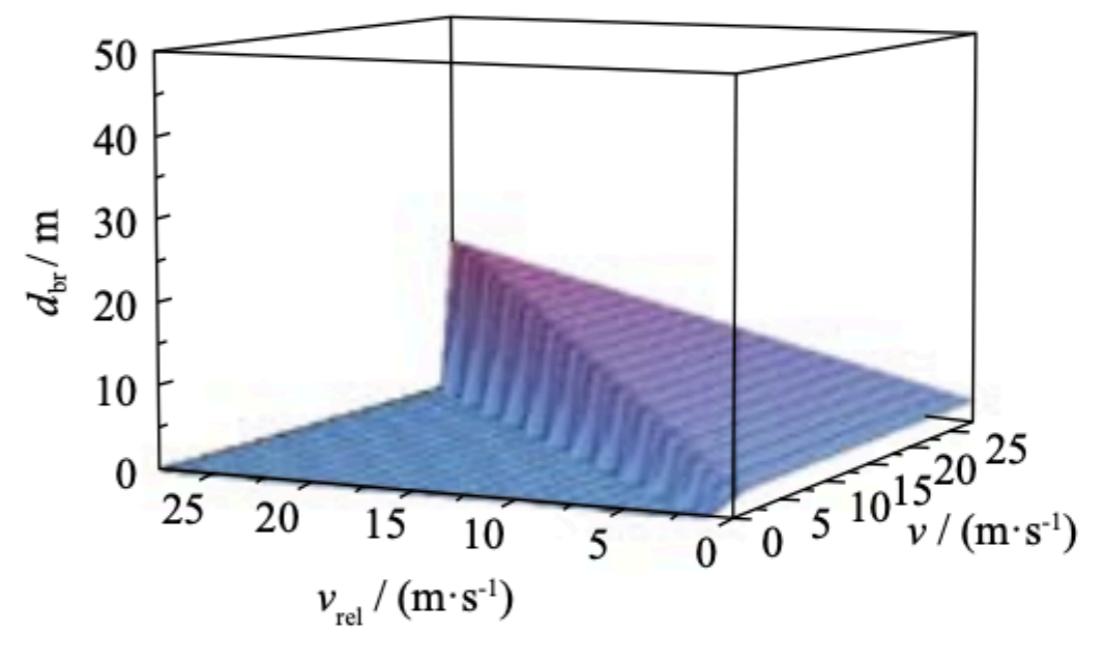
$$\text{TTC} = \frac{D}{v_{\text{rel}}},$$

$$d_{\text{br}} = \text{TTC} \cdot v_{\text{rel}} + d_0.$$

部分制动和全力制动 TTC 模型



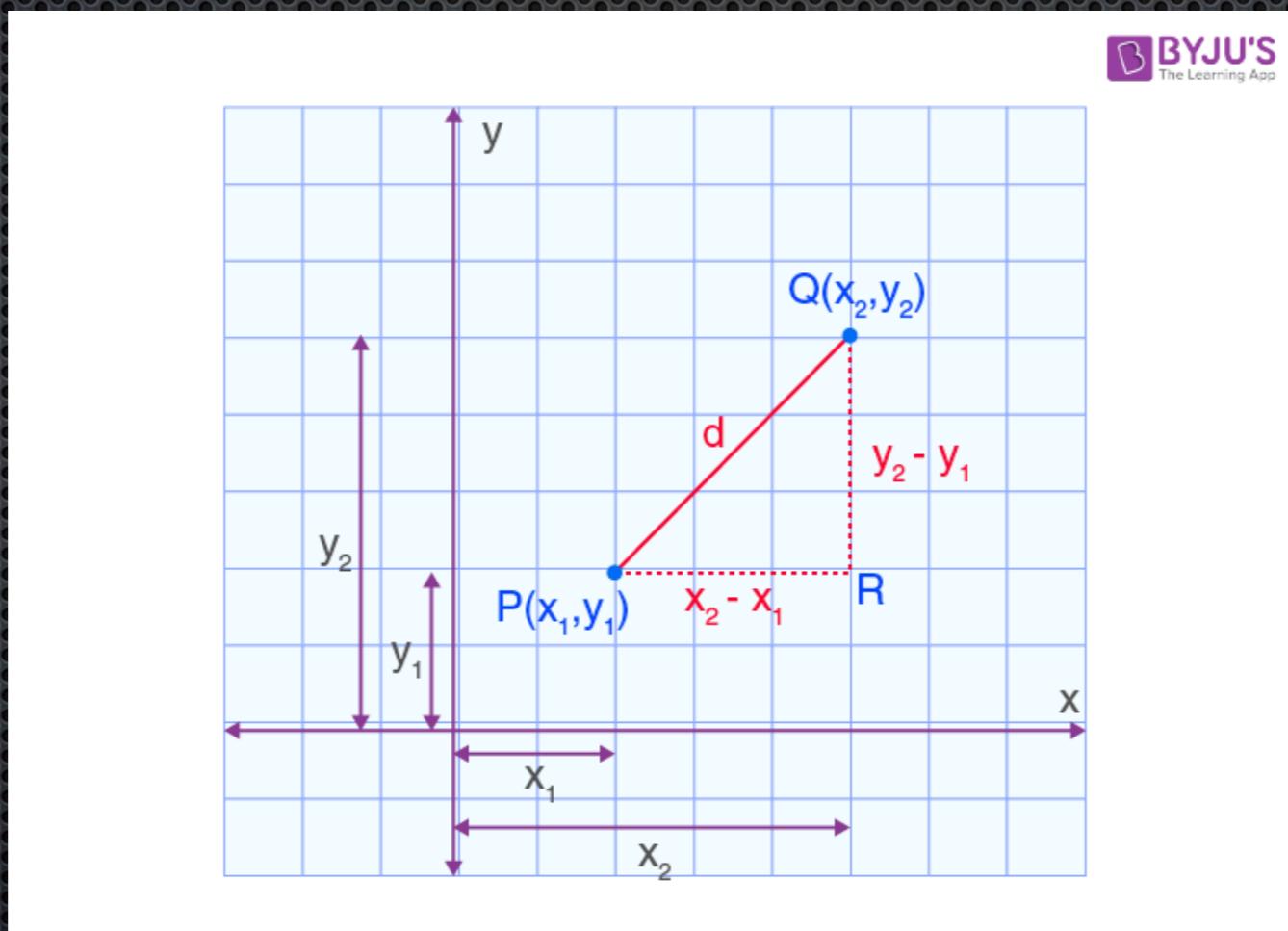
部分制动



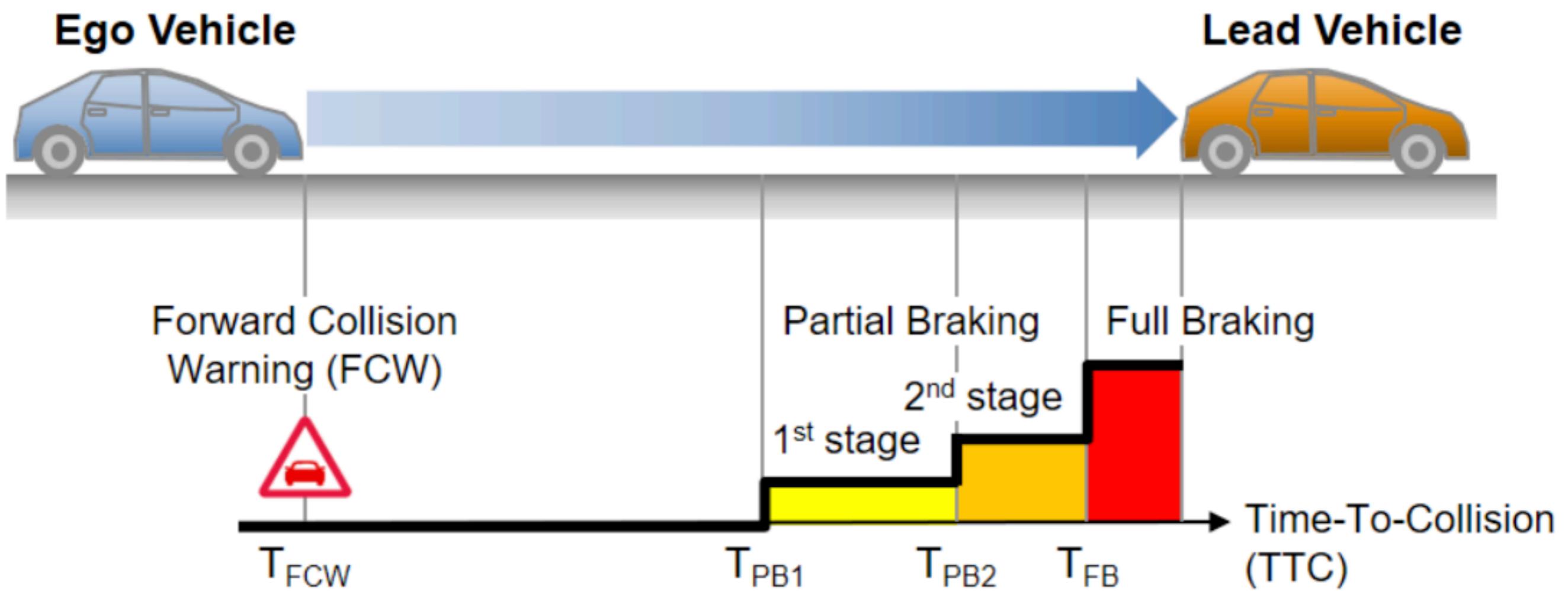
全力制动

为什么不用欧式距离 (Euclidean distance)

- 在数学中，欧式距离被定义为两点之间的距离。也就是说，欧式空间中两点之间的欧式距离定义为两点之间线段的长度



<https://byjus.com/math/euclidean-distance/>

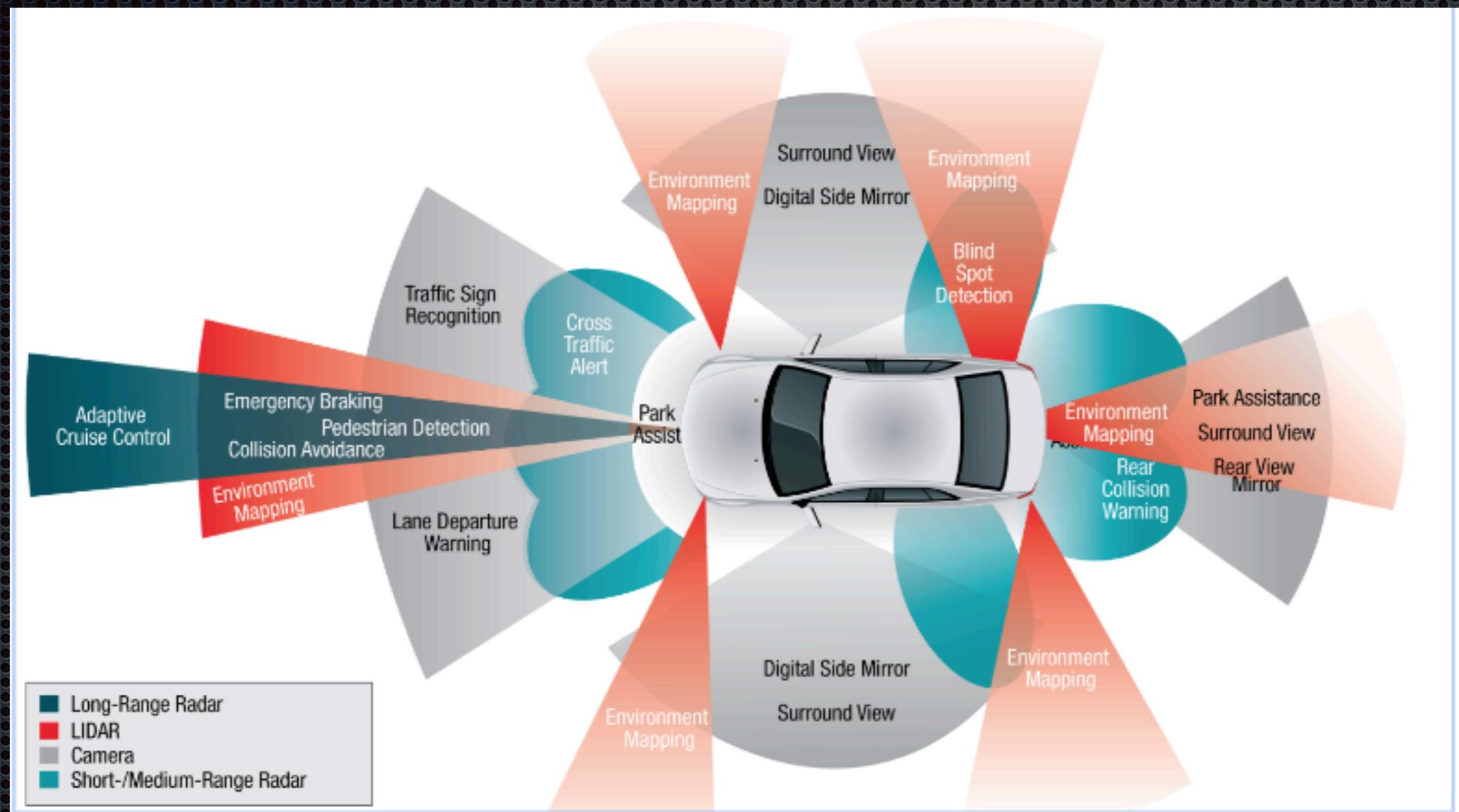


<https://blog.csdn.net/liuxiaodong400>

传感器

- AEB 通过毫米波雷达、激光雷达、单目/双目摄像头等传感器来探测前方目标信息，并根据前方目标信息(如目标车速、相对距离等)实时计算碰撞危险程度





AEB环境感知设备对比

表 3 3 种 AEB 环境感知机构对比

参数 / 性能	毫米波雷达	单目 / 双目摄像头	激光雷达
最远探测距离 / m	250	50	200
探测角度 / (°)	10 ~ 70	30	15 ~ 360
夜间环境探测能力	好	差	好
不良天气探测能力	好	差	差
目标识别能力	差	好	较好
周围环境信息获取能力	差	较好	好
适用 AEB 功能	城市 AEB、城际 AEB	城市 AEB、行人 AEB	城市 AEB、行人 AEB
成本	低	较低	高
主要供应商	BOSCH、Continental、DELPHI、 TRW、DENSO、HITACHI	BOSCH、Continental、DENSO、 DELPHI、Mobileye、LG	Velodyne、Quanergy、Ibeo

LIDAR

- 光学雷达，或称光达或激光雷达（Light Detection And Ranging）
- 是一种光学遥感技术，它通过向目标照射一束光，通常是一束脉冲激光来测量目标的距离等参数
- 激光雷达在测绘学、考古学、地理学、地貌、地震、林业、遥感以及大气物理等领域都有应用，此外，这项技术还用于机载激光地图测绘、激光测高、激光雷达等高线绘制等具体应用中
- 典型应用
 - 林业：林业人员利用LiDAR更好地了解树木的结构和形状
 - 自动驾驶汽车：自动驾驶汽车利用LiDAR扫描仪检测行人、骑自行车的人、停车标志和其他障碍物
 - 考古学：考古学家利用LiDAR在地面上寻找方形图案，这些图案是玛雅和埃及文明建造的古老建筑和金字塔
 - 水文：水文学家根据LiDAR划定河流秩序和支流

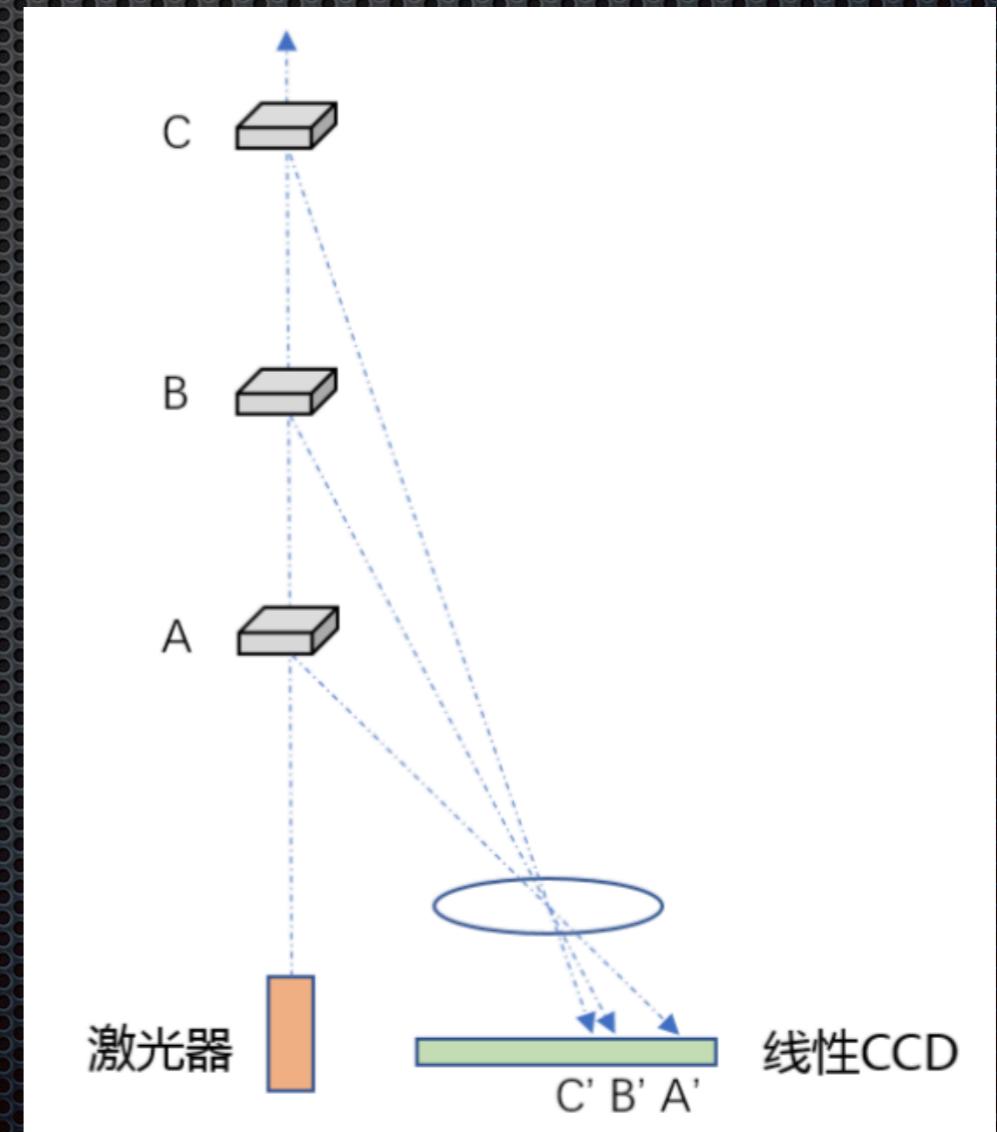
分类

- 激光雷达通常以硬件技术与实现原理分类，可分为
 - 机械式激光雷达
 - 纯固态式激光雷达
 - MEMS
 - 光学相控阵OPA
 - Flash
 - 半固态激光雷达
 - 转镜式
 - 旋镜式
 - 振镜式

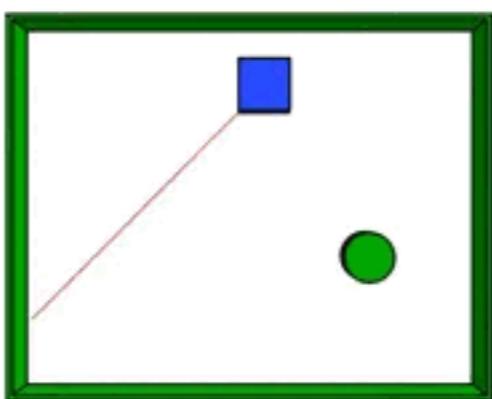
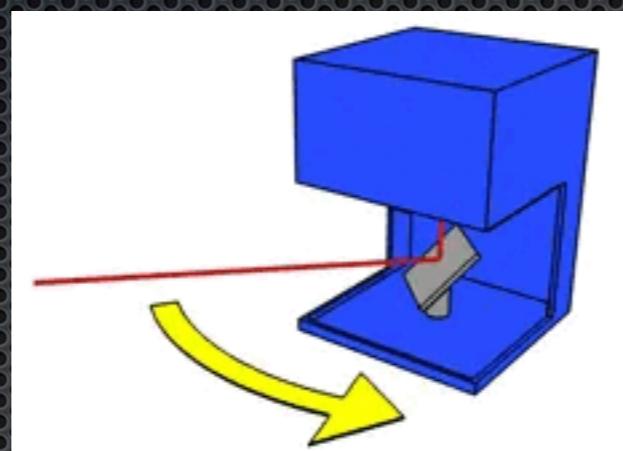


测距

- 光学雷达对物体距离的测量与通常所说的雷达类似，都是通过测量发送和接受到的脉冲信号时间间隔来计算物体的距离。



- 现阶段，完整的车规级激光雷达解决方案，组合：
 - 近距补盲
 - 远距感知





传感器	
扫描原理	机械旋转
线数	32
量程	0.05 ~ 120 m
测远能力	80 m @10%反射率 (通道 9~24) 50 m @10%反射率 (通道 1~8, 25~32)
测距准确度	±1 cm (典型值)
测距精度	0.5 cm (典型值)
水平视场角	360°
水平角分辨率	0.09° (5 Hz) 0.18° (10 Hz) 0.36° (20 Hz)
垂直视场角	31° (-16° ~ +15°)
垂直角分辨率	1°
扫描频率	5 Hz, 10 Hz, 20 Hz
回波模式	单回波 (最后、最强、第一) 双回波
已通过认证	
Class 1 激光产品	
CE, FCC, FDA, IC, RCM, EAC, KCC, UKCA	
注意 以上参数如有更改, 请见最新版产品手册	
机械/电气/操作	
波长	905 nm
激光器等级	Class 1 人眼安全
防护等级	IP6K7
尺寸	高度: 76.0 mm 顶盖/底座直径: 100.0 / 103.0 mm
额定电压范围	DC 9 ~ 36 V
功耗	10 W (典型值)
工作温度	-20°C ~ 65°C
重量	0.8 kg
数据输入/输出	
传输方式	UDP/IP 百兆以太网
测量数据	距离、角度、反射率
点频	单回波: 640,000 点/秒 双回波: 1,280,000 点/秒
点云数据传输率	单回波: 21.40 Mbps 双回波: 42.80 Mbps
时间来源	
PTP 同步准确度	≤1 μs
PTP 时钟漂移	≤1 μs/s

参数

- 线数：单线激光雷达只能获取二维平面信息，多线即可获取三维信息（通常来说，线条越多，对环境描述越充分）
- 视场角：主要分为水平视场角及竖直视场角（类比相机）
 - 机械式水平视场角通常为 360° ，竖直视场角与激光发射-接收装置的排列有关
- 角分辨率：与扫描频率有关
 - 可理解为点频（每秒点云数）固定，扫描频率越高，角分辨率便越低，针对细小物体的辨别能力也就越弱
 - 水平角分辨率通常是均匀的，但竖直角分辨率可能不均（与场景有关，如中间分辨率高，两侧分辨率低等）
- 扫描频率：转速（也可理解为帧率，设备采集一圈为一帧），雷达通常按梯度配置为可调，便于角分辨率的选择
 - 10Hz就是一秒转10圈

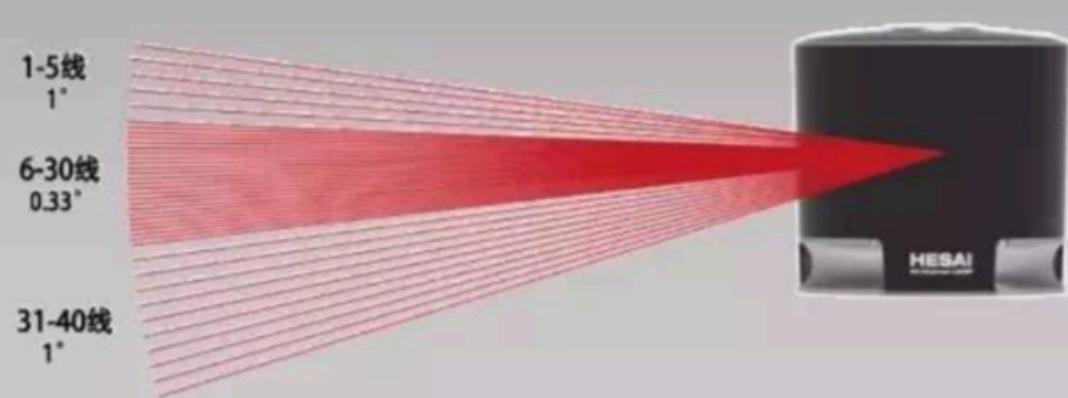
参数（续）

- 量程：激光雷达以量程远且精度高为特性，所标称的量程多以10%反射率的漫反射物体（如白纸）作为测试基准。
- 波长：业界常用905nm和1550 nm两种激光波长（自然光390~780nm）。其中905nm波长激光光损失较少，且探测器价格较低，应用更为广泛；同时1550nm波长激光器对人眼安全性更高，价格也相对更高（通常短距采用905nm，长距采用1550nm）。
- 准度（绝对精度）：表示在目标物距离确定时，单通道测量值与真值的差值（室外，30°C，10%反射率），主要受目标物距离、环境温度及目标物反射率的影响。
- 精度（重复性精度）：表示在目标物距离确定时，单通道多次测量值的标准差（室外，30°C，10%反射率），同样受目标物距离、环境温度及目标物反射率的影响。
- 回波模式：表示激光雷达打出一束激光后可以接收几个回波（激光点有一定面积，可能出现一个激光点打到两个物体上情况；若单回波模式可能导致一个物体上的激光点没有被捕捉到，造成信息丢失）。

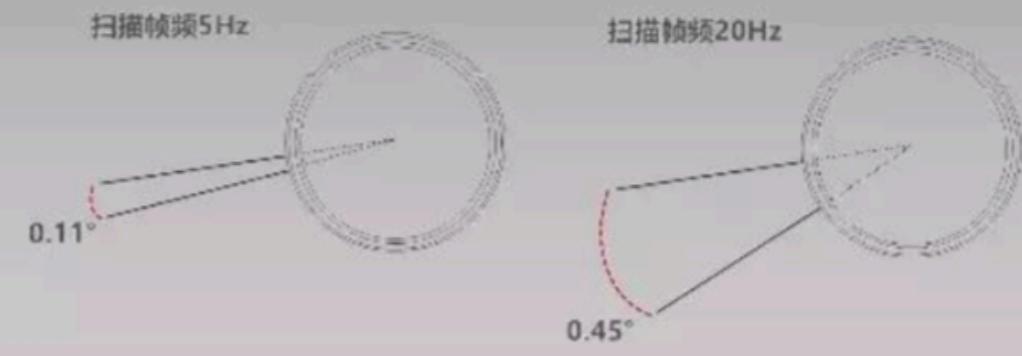
角分辨率对远距离物体识别至关重要

垂直角分辨率	100米外垂直方向 空间分辨率
2°	3.50m
1°	1.75m
0.43°	0.75m
0.33°	0.58m

Pandar 40 垂直角分辨率



Pandar 40 水平角分辨率



LiDAR俯视图

消息类型: sensor_msgs/LaserScan

```
#  
# 测量的激光扫描角度, 逆时针为正  
# 设备坐标帧的0度面向前 (沿着X轴方向)  
  
Header header      # Header也是一个结构体,包含了seq,stamp,frame_id,  
# 其中seq指的是扫描顺序增加的id,  
#stamp包含了开始扫描的时间和与开始扫描的时间差,  
# frame_id是扫描的参考系名称.注意扫描是逆时针从正前方开始扫描的.  
  
float32 angle_min    # 开始扫描的角度(角度)  
float32 angle_max    # 结束扫描的角度(角度)  
float32 angle_increment # 每一次扫描增加的角度(角度)  
  
float32 time_increment # 测量的时间间隔(s)  
float32 scan_time      # 扫描的时间间隔(s)  
  
float32 range_min      # 距离最小值(m)  
float32 range_max      # 距离最大值(m)  
  
float32[] ranges        # 距离数组(长度360)(注意: 值 < range_min 或 > range_max 应当被丢弃)  
float32[] intensities   # 与设备有关,强度数组(长度360)
```

/odom

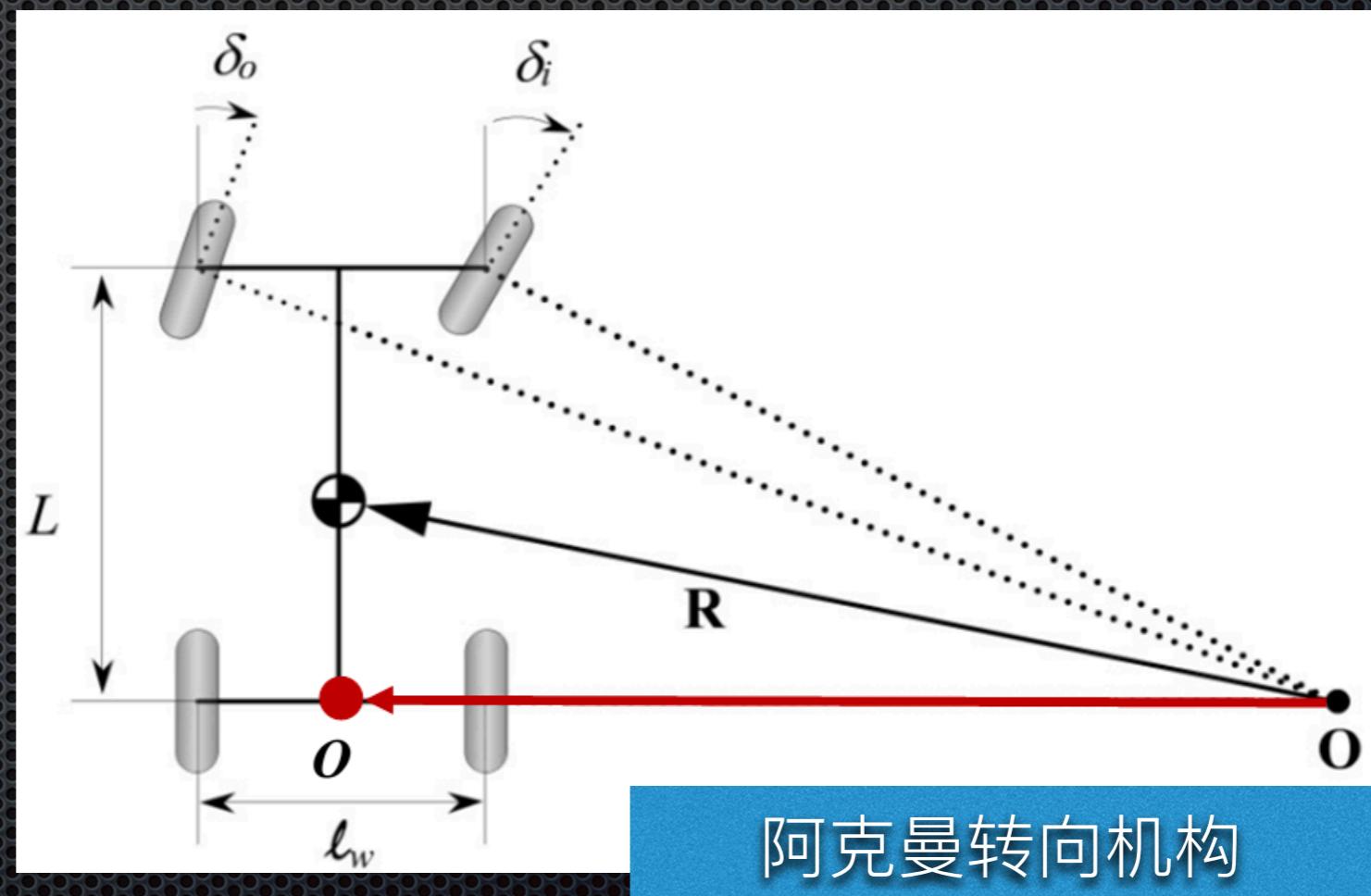
- nav_msgs/Odometry - 里程计（位姿+线速度角速度+各自协方差）
- 典型的 odom frame 是通过运动源来计算出来的,例如采用电机编码器来获取、视觉偏移等

AckermannDriveStamped 消息

- 可以通过查找urdf或者xacro文件查看轴距和轮距，也可以通过在gazebo中查看四个轮子中前后和左右坐标差来计算

Bool message: /brake bool

Brake message: /brake



TTC计算

$$TTC = \frac{r}{[-\dot{r}]_+}$$

- 其中
 - r 是两个物体之间的距离
 - \dot{r} 是这个距离的时间导数, \dot{r} 的计算方法是将汽车的相对速度投影到两个物体之间的距离矢量上
 - 运算符 $[x]_+:= max(x, 0)$

基于TTC的AEB

- 本作业中，编制一个安全节点，应该在汽车撞上障碍物之前让汽车停下来
- 为此，创建一个订阅LaserScan和Odometry消息的ROS节点。应该分析LaserScan数据，如果有必要，发布一个AckermannDriveStamped，速度场设置为0.0 m/s, Bool消息设置为True
- 注意：确保在启动模拟器的终端窗口中按键盘上的B键，这将激活AEB，并允许行为控制器在布尔值发布为True时将Mux切换到紧急制动，再次按B键将关闭AEB。

Topic	
LaserScan	/scan
Odometry	/odom
Bool message	/brake bool
Brake message	/brake

要求

- 单独完成
- TTC模型可自行确定，给出完整描述
- C++或python
- 框架可参照附件

提交

- 提交内容包括：
 - 完整的源代码
 - 文档，包括所使用TTC模型描述、亮点/重点、自己进行的实验及结果等
 - 提交含term用户名（Ubuntu用户名为各自姓名的汉语拼音）的界面截图
 - 录屏视频
 - 格式：学号姓名.zip/rar

参考文献

- 何仁, 冯海鹏。自动紧急制动(AEB)技术的研究与进展。汽车安全与节能学报, 第 10 卷 第 1 期 , 2019 年
- 胡远志。基于PreScan的AEB系统纵向避撞算法及仿真验证
- 标准号: GB/T 39901-2021, 中文标准名称: 乘用车自动紧急制动系统(AEBS)性能要求及试验方法
-