

毫米波雷达在自动驾驶系统中的地位及应用

叶凌峡

汽车作为人们最重要的交通工具，对人们的日常出行和生活方式有着巨大的影响。随着科技的不断发展，人们也一直致力于发展和革新汽车技术，追求着自动驾驶的梦想。

自动驾驶系统的工作原理就是利用安装在车辆上的各种传感器收集数据，在行驶过程中随时感知周围的环境，收集数据，进行静态、动态物体的识别、侦测与追踪，并结合导航仪地图数据，进行系统的运算与分析，从而预先判断可能发生的危险，使汽车行驶的舒适性和安全性达到最佳。目前感知环境的传感器有摄像头、毫米波雷达、激光雷达和超声波传感器等。

由于激光雷达能对周围环境实现 3D 感知而备受当前自动/无人驾驶开发者的“热捧”。但是无论是激光雷达还是摄像头、超声波传感器，都容易受恶劣天气环境影响导致性能降低甚至失效，因而都存在“致命”缺陷。这时候，毫米波雷达凭借其可穿透尘雾、雨雪、不受恶劣天气影响的绝对优势，且能够“全天候”工作的超强能力，成为了汽车自动驾驶不可或缺的感知传感器。

一、毫米波雷达的定义

毫米波雷达，顾名思义，就是工作在毫米波频段的雷达。毫米波（Millimeter-Wave），是指长度在 1~10mm 的电磁波，对应的频率范围为 30~300GHz。如图 1 所示，毫米波位于微波与远红外波相交叠的波长范围，所以毫米波兼有这两种波谱的优点，同时也有自己独特的性质。毫米波的理论和技术分别是微波向高频的延伸和光波向低频的发展。

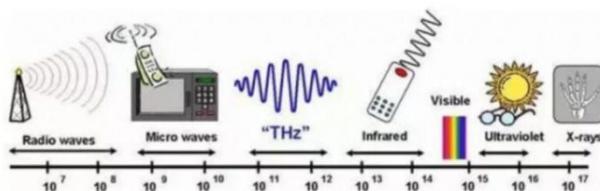


图 1 电磁波谱

目前，各大国的车载雷达频段主要集中在在 24GHz、60GHz 和 77GHz 这 3 个频段，如表 1 展示了主要国家地区车载雷达频率划分情况。其中，24GHz 的波长是 1.25cm（虽然 24GHz 的波长是 1.25cm，但是目前业界也依然将其称之为毫米波），60GHz 是 5mm，77GHz 的波长则更短，只有 3.9mm。正如前面所说，频率越高波长越短，分辨率、精准度就越高。所以，精度更高的 77GHz 雷达正成为汽车领域主流传感器。

表 1 主要国家地区车载雷达频率划分情况

国家	24GHz	60GHz	77GHz
美国	允许		允许
欧盟	允许		允许
日本	允许	允许	允许
中国	允许		允许

二、车载毫米波雷达的工作原理

毫米波雷达在测量目标的距离、速度和角度上展现的性能和其他传感器是有区别的。视觉传感器得到的是二维信息，没有深度信息，而毫米波雷达则是具备深度信息的，可以提供目标的距离；激光雷达对于速度并不敏感，而毫米波雷达则对速度非常敏感，可以直接获得目标的速度，因为毫米波雷达会有很明显的多普勒效应，通过检测其多普勒频移可将目标的速度提取出来。

毫米波雷达最基本的探测技术是使用 FMCW 连续线性调频波去探测前方物体的距离。如图 2 所示其基本原理在于：振荡器会产生一个频率随时间逐渐增加的信号，这个信号遇到障碍物之后，会反弹回来，其时延是 2 倍距离/光速。返回来的波形和发出的波形之间有个频率差，这个频率差和时延是呈线性关系的：物体越远，返回的波收到的时间就越晚，那么它跟入射波的频率差值就越大。将这两个频率做一个减法，就可以得到二者频率的差频（差拍频率），通过判断差拍频率的高低就可以判断障碍物的距离。

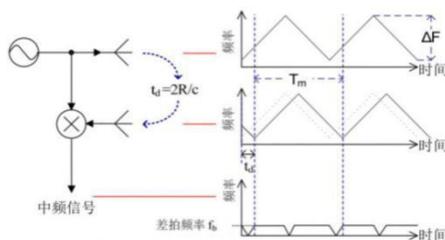


图 2 毫米波雷达测距基本原理

使用毫米波雷达探测目标的速度，可以采用更为高级的调频技术来实现，主要以多普勒频移原理为基础。所谓多普勒效应就是，当声音、光和无线电波等振动源与观测者以相对速度 v 运动时，观测者所收到的振动频率与振动源所发出的频率有不同。也就是说，当发射的电磁波和被探测目标有相对移动，回波的频率会和发射波的频率不同。当目标向雷达天线靠近时，反射信号频率将高于发射信号频率；反之，当目标远离天线而去时，反射信号频率将低于发射信号频率，由多普勒效应所形成的频率变化叫做多普勒频移，它与相对速度 v 成正比，与振动的频率成反比。如此，通过检测这个频率差，可以测得目标相对于毫米波雷达的移动速度，也就是目标与毫米波雷达的相对速度。

车载毫米波雷达对角度的探测是通过多个接收天线接收到信号的时延来实现。举个简单的例子，假设有 2 根天线，接收从某个方向发出的电磁波，这个电磁波到达 2 根天线的时间是有差值的，或者说是相位差，通过这个相位差可以评估信号的角度。

三、毫米波雷达在自动驾驶中的主要应用

对于车辆安全来说，最主要的判断依据就是两车之间的相对距离和相对速度信息，特别车辆在高速行驶中，如果两车的距离过近，是容易导致追尾事故。凭借出色的测距测速能力，毫米波雷达被广泛地应用在自适应巡航控制（ACC）、前向防碰撞报警（FCW）、紧急自主制动（AEB）、盲点检测（BSD）、辅助变道（LCA）等汽车自动驾驶功能中。

早期的毫米波雷达采用机械扫描的多束雷达波或者多个固定的重叠波束为雷达系统如自适应巡航系统探测物体，而当前先进的多模式电子扫描雷达使用单个雷达同时提供宽覆盖范围的中距离检测和高精度

的长距离检测能力。宽覆盖的中距离检测不仅能够快速检测从相邻车道切入的车辆，而且能够检测从本车前方横向穿过的车辆和行人。长距离检测提供了准确的距离和速度数据并能够识别最多达 64 个目标，如德尔福的 ESR 毫米波雷达。

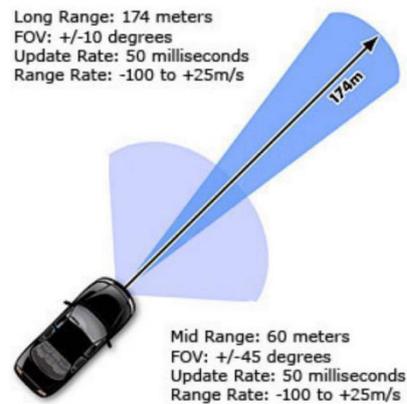


图 3 德尔福 ESR 雷达的参数

通常，为了满足不同距离范围的探测需要，一辆汽车上会安装多颗短距、中距和长距毫米波雷达。不同的毫米波雷达“各司其职”，在车辆前方、车身和后方发挥不同的作用。



图 4 毫米波雷达应用配置示例

四、毫米波雷达应用举例

• 自适应巡航 -ACC

传统的巡航控制技术设计用于保持车辆以恒定的车速行驶，与此不同，ACC 技术使车速与交通状况相适应，如果与前车距离太近，则会降速，在路况允许时，会加速到设定速度行驶。

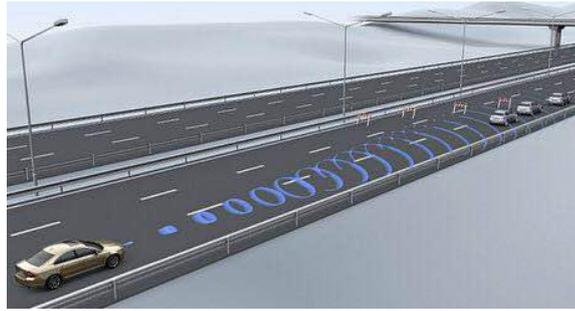


图 5 ACC 应用

- **前向碰撞预警 - FCW**

FCW 是一种高级安全辅助系统，它通过感应和计算在行驶过程中车辆与前车的距离来判断潜在的碰撞风险，并立即发出警示。FCW 在驾驶者分心未能注意到前方状况、或者疲劳犯困或者使用手机等情况时具有显著的实际效用。

- **自动紧急制动 - AEB**

当雷达探测到突然或紧急出现的碰撞危险时，AEB 将启动自主刹车，最大程度减少碰撞伤害。

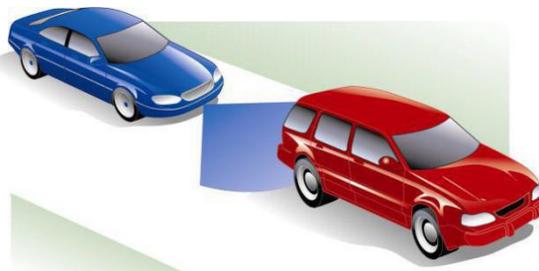


图 6 AEB 应用

- **盲区检测 - BSD**

车辆侧边后视镜存在视觉盲区，车辆在行驶过程中，毫米波雷达对侧边后视镜盲点区域进行持续检测，当盲点区域存在车辆时，通过报警灯或声音来提醒驾驶员。

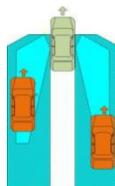


图 7 BSD 应用

- 快速逼近报警- CVW

目标车辆在毫米波雷达侧后向检测范围内以较大相对速度靠近本车，当两车相对距离小于一定数值时，系统通过报警灯或声音提醒驾驶员。

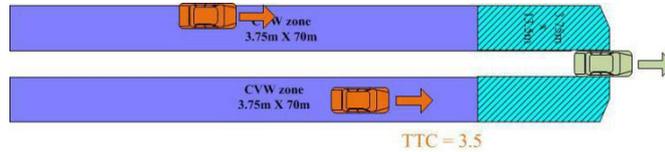


图 8 CVW 应用

- 横向行驶车辆告警 - CTA

当本车倒车时，在车辆的行驶轨迹上有横向穿越的车辆，此穿越车辆与本车存在碰撞的可能，系统根据可能的碰撞情况提醒驾驶员注意。

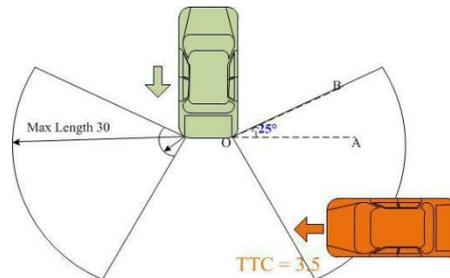


图 9 CTA 应用

- 开门告警- SEA

当本车停止时，车辆乘员准备开门下车，此时有车辆从本车后方快速靠近，对下车乘员安全构成威胁，此时系统提醒车辆乘员注意。

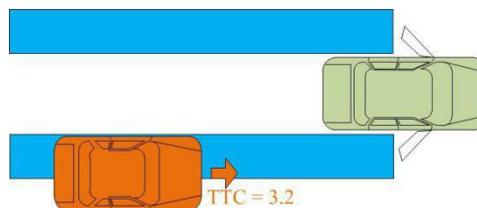


图 10 SEA 应用

五、结束语

虽然自动驾驶汽车大范围上路目前还不现实，还有较长的路要走，除了技术和成本的因素，还有相关的法律和伦理问题尚待解决。但自动驾驶技术的分级发展已经形成规模，各种不同类型、不同层次的自

自动驾驶技术将呈现共同发展，各自覆盖不同市场需求和不同商业模式的情形。在这些自动驾驶技术中，毫米波雷达、摄像头、激光雷达等传感器各有优劣势，为了保证安全永远第一，多传感器融合是大势所趋，这也为更高阶的自动驾驶方案的实现提供了必要的技术储备。无论是现阶段的 ADAS，还是未来高阶的无人驾驶，毫米波雷达作为能够全天候全天时工作的传感器都将是不可或缺的环境感知传感器，是为必选。

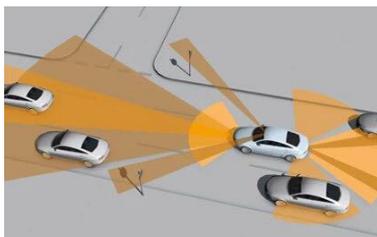


图 11 感知融合应用

作者简介：叶凌峡，重庆大学硕士，目前就职于驭势（上海）汽车科技有限公司，自动驾驶技术部总监，研究方向：高速乘用车自动驾驶技术，多传感器融合技术，基于机器学习的感知技术等。

（本文原载：微信公众号：临菲信息技术港）

