

汽车智能座舱白皮书

(2021)



2021年12月

正文目录

第一章 智能座舱定义与意义	12
1.1 智能座舱定义.....	12
1.2 智能座舱意义.....	18
第二章 智能座舱典型功能与特性分析	22
2.1 裸眼 3D 仪表.....	22
2.2 大屏与多屏.....	28
2.3 智能交互.....	47
2.3.1 智能语音交互.....	48
2.3.2 基于视觉感知的智能交互.....	59
2.3.3 基于视觉+语音的多模交互.....	65
2.4 AR 导航.....	70
2.5 接收音频流媒体与卫星收音.....	72
2.6 电子倒车镜.....	75
2.7 OTA.....	92
2.8 后排控制系统.....	97
2.9 HUD.....	100
2.9.1 HUD 简介.....	100
2.9.2 AR-HUD 简介.....	106

2.9.3 AR-HUD 技术：光场型与光波导型	111
2.9.4 DLP AR-HUD 在奔驰上的实例	115
2.9.5 激光 AR HUD.....	117
2.9.6 AR-HUD 的设计	120
2.10 车窗透明显示	131
2.11 驾驶员状态监控.....	137
2.12 音响.....	147
第三章 智能座舱技术体系	151
3.1 虚拟机.....	151
3.2 座舱显示接口技术	173
3.3 汽车解串行 SerDer.....	180
3.4 车载以太网.....	191
3.4.1 汽车总线介绍.....	191
3.4.2 车载以太网	194
3.4.3 车载以太网物理层	197
3.4.4 车载以太网链路层标准 TSN	200
3.4.5 车载以太网决定汽车 E/E 架构.....	216
3.5 座舱操作系统.....	220

第四章 智能座舱核心：主 SoC 产业格局	230
4.1 NXP	230
4.2 英伟达	233
4.3 高通	238
4.4 瑞萨	242
4.5 英特尔	245
4.6 Telechips	247
4.7 联发科	249
4.8 地平线	252
4.9 其他	255



佐思汽研
shujubang.com

图表目录

图表 1 2020 年顶级座舱算力	12
图表 2 智能座舱典型功能	13
图表 3 主要厂家车载 SoC.....	15
图表 4 目前与未来常见座舱 SoC 算力统计	17
图表 5 智能座舱配置用户需求意向及新车渗透率	18
图表 6 座舱智能配置对购车决策的影响	19
图表 7 购买新车时，功能配置影响购买意愿情况	20
图表 8 2019-2025 年新上市车型平均屏幕数量	21
图表 9 2019-2025 年汽车中控尺寸市场份额	21
图表 10 标致 208 顶配的 3D 仪表	22
图表 11 大陆为 GV80 打造的 3D 仪表	24
图表 12 奔驰 S 级仪表	25
图表 13 博世的 3D 仪表（1）	26
图表 14 博世 3D 仪表（2）	27
图表 15 宝马 i4 座舱	29
图表 16 奔驰新 S 级的座舱	30
图表 17 奔驰 S 级座舱各显示屏主要参数	30
图表 18 奔驰 EQS 座舱	31
图表 19 奔驰 EQS 的超长大屏	32
图表 20 新一代凯迪拉克 Escalade 座舱	33
图表 21 新一代凯迪拉克 Escalade 座舱显示屏	33
图表 22 新一代凯迪拉克 Escalade 座舱显示屏俯视图	34
图表 23 新一代凯迪拉克 Escalade 座舱显示屏结构	34
图表 24 新一代凯迪拉克 Escalade 座舱显示屏结构	35
图表 25 LUCID AIR 座舱	35
图表 26 LUCID AIR 座舱中央控制屏	36
图表 27 凯迪拉克电动车 Lyriq 的座舱	37

图表 28 吉普 Grand Wagoneer 座舱	38
图表 29 吉普 Grand Wagoneer 座舱中控屏	38
图表 30 吉普 Grand Wagoneer 座舱全液晶仪表盘	39
图表 31 吉普 Grand Wagoneer 座舱 Comfort Display	40
图表 32 吉普 Grand Wagoneer 的后座娱乐显示屏	40
图表 33 吉普 Grand Wagoneer 的副驾驶屏	41
图表 34 本田 e	42
图表 35 本田 e 座舱	43
图表 36 本田 e 中控与副驾驶屏无缝衔接	44
图表 37 本田 e 的副驾屏打游戏	45
图表 38 长安福特 EVOS 的座舱显示屏	45
图表 39 长安福特 EVOS 中控与副驾驶两块屏可以合为一块屏	46
图表 40 智能交互感知算法分类	47
图表 41 美国主要汽车品牌月度车载语音助手使用率	49
图表 42 美国车载语音助手主要应用场景	49
图表 43 美国汽车消费者对车载语音助手需求度	50
图表 44 常见 NLU 的处理过程	51
图表 45 车载语音识别发展趋势	51
图表 46 Cerence SSE	53
图表 47 车载语音助手深度学习的四个环节	55
图表 48 Sliced RNN	56
图表 49 车载语音识别硬件框架	58
图表 50 Cerence 软件协议栈的主要内容	58
图表 51 智能座舱视觉感知应用	60
图表 52 长安 UNI-K 中控屏	62
图表 53 理想 ONE 车内四麦克风位置	64
图表 54 地平线多音区分布式麦克风阵列示例	64
图表 55 多模语音算法技术案例	66

图表 56 多模语音算法技术框架	67
图表 57 多模识别算法框架	67
图表 58 多模语音的前融合与后融合	68
图表 59 凯雷德 AR 导航	70
图表 60 奔驰 AR 导航	71
图表 61 AR 导航的车辆姿态预测	71
图表 62 SiriusXM 会员模式	72
图表 63 奥迪 E-TRON 的电子后视镜	75
图表 64 Genesis GV60 的座舱	76
图表 65 索尼 Vision-S 的座舱	77
图表 66 奥迪 e-tron 在 CMS 系统	78
图表 67 雷克萨斯 ES350 选配 CMS	79
图表 68 雷克萨斯 ES350 选配 CMS 夜晚表现	79
图表 69 典型的 CMS 与传统玻璃倒车镜的 FOV 对比	80
图表 70 CMS 与玻璃倒车镜有效距离对比	81
图表 71 商用车盲区	82
图表 72 奔驰 Actors 标配了 CMS 系统	83
图表 73 德国大陆为奔驰公交车提供的 CMS 系统	84
图表 74 CMS 测试流程	87
图表 75 ADAS 加 CMS 系统电路架构图	88
图表 76 RAA278842 框架图	89
图表 77 OTA 生态结构	92
图表 78 OTA 供应商市场占有率	93
图表 79 OTA 的三种主要类型	94
图表 80 FOTA 流程	95
图表 81 奥迪 A8 后排	97
图表 82 奥迪 A8 后排遥控器	98
图表 83 SCON2 主要功能	99

图表 84 典型 HUD 的爆炸图	100
图表 85 HUD 关键参数	102
图表 86 HUD 最佳 VID	103
图表 87 HUD 像素与视角之间的关系	103
图表 88 美国人的典型瞳距图	104
图表 89 京瓷 PGU 一览	105
图表 90 松下 AR-HUD	106
图表 91 多层图像 HUD 设计	107
图表 92 主要 HUD 各种图像层对比	108
图表 93 奥迪 A4 的 AR HUD	109
图表 94 奥迪 Q4 AR-HUD 的 VID 距离	109
图表 95 双焦面 HUD 结构示意图	110
图表 96 三星电子的光场型 AR-HUD 示意图	111
图表 97 三星电子的光场型 AR-HUD 的 Lenticular 透镜	112
图表 98 三星电子光场型 AR-HUD 透镜模型	112
图表 99 三星电子光场型 AR-HUD 的参数	113
图表 100 奔驰 S 级 AR-HUD 表现	115
图表 101 理光激光 HUD 示意图	116
图表 102 激光全息 HUD	117
图表 103 松下在 2021 年 CES 大展上与 Envisics 合作的激光全息 HUD	119
图表 104 AR-HUD 基本特征	120
图表 105 AR-HUD 显示信号处理	121
图表 106 宝马的 AR HUD 框架图	122
图表 107 最高等级的 AR HUD 的框架图	124
图表 108 准确标注公交车道信息的 HUD	125
图表 109 德州仪器车载 DMD 芯片路线图	126
图表 110 德州仪器 DLP5531 系统框架图	126
图表 111 单层图像 AR HUD 与双层图像 AR HUD	127

图表 112 德国大陆的双层图像 AR HUD	128
图表 113 德国大陆的双层图像 AR HUD 部分参数	128
图表 114 ARHUD UI/UX 设计图例.....	129
图表 115 ARHUD UI/UX 设计图例.....	130
图表 116 比较常见的 AR HUD 用 UI.....	130
图表 117 车窗透明显示图例	131
图表 118 车窗透明显示充电状态	132
图表 119 车窗透明显示提醒儿童遗忘车内	132
图表 120 共享汽车车窗输入密码	133
图表 121 共享汽车车窗输入签名操作	133
图表 122 共享汽车车窗显示选择服务类型和价格	134
图表 123 LGD 柔性显示专利图解.....	135
图表 124 德州仪器开发的适用于车窗透明显示的短焦 DLP 投影机	136
图表 125 主要视觉方案对比	137
图表 126: 凯迪拉克 CT6 2D 平面相机.....	138
图表 127 地球太阳辐射光谱	140
图表 128 LED VS VCSEL.....	143
图表 129 VCSEL 的 FOV.....	144
图表 130 宝马最新座舱电子架构	147
图表 131 宝马 RAM 系统拓扑图	148
图表 132 全球主要汽车品牌选配的音响	150
图表 133 Hypervisor 特权模式	153
图表 134 Exception Level	154
图表 135 主要 Hypervisor 介绍.....	156
图表 136 QNX 虚拟机虚拟 CPU 模式	157
图表 137 QNX 虚拟优先级共享模式	158
图表 138 GPU 虚拟化	158
图表 139 ACRN 虚拟参考框架	160

图表 140 奇瑞星途 VX 座舱内饰	161
图表 141 ACRN 在 ADAS 的应用	162
图表 142 L4Re 介绍	163
图表 143 NOVA 架构	164
图表 144 L4 的虚拟 SOCKS	167
图表 145 L4 的虚拟 CONSOLE	167
图表 146 COQOS 虚拟系统	168
图表 147 基于 Xen Project 虚拟系统的座舱电子系统框架	169
图表 148 VOSYSmonitor 虚拟机	170
图表 149 基于 MT2712 平台下的 VOSYSmonitor 虚拟机性能	170
图表 150 NXP i.mx8qm 的虚拟机图	171
图表 151 德州仪器 TDA4VM	172
图表 152 汽车显示屏演进趋势	173
图表 153 V-by-One®HS 技术	175
图表 154 MIPI 多媒体规范	176
图表 155 在 CSI-2 相机应用中的 D-PHY 和 C-PHY 的 Lane 配置	177
图表 156 显示有效载荷预测	177
图表 157 在端点设备中集成本地 MIPI A-PHY, 消除桥接芯片	178
图表 158 FPD Link 串行器	181
图表 159 存在多种系统接口选项时解决方案	182
图表 160 FPD LINK IV 路线图	183
图表 161 GMSL 的典型应用	186
图表 162 各种传输方式的速率对比	187
图表 163 索尼 GVIF	188
图表 164 汽车总线典型应用	192
图表 165 车载以太网 OSI 模型	197
图表 166 车载以太网 PHY 标准分布	198
图表 167 以太网系统框架图	199

图表 168 TSN 构成	202
图表 169 PTP 协议延迟响应机制	203
图表 170 以太网第二层所定义的 1588 规范	204
图表 171 汽车控制数据	206
图表 172 汽车控制数据级别	207
图表 173 IEEE802.1Qbv 时间感知整形	207
图表 174 时间感知整形器算法	209
图表 175 802.1Qbu/802.3br 抢先机制	210
图表 176 802.1Qbu 抢先机制	211
图表 177 TSN 与 802.1CB 标准	212
图表 178 802.1CB 冗余处理通讯机制	213
图表 179 FRER 介绍	214
图表 180 FRER 双冗余备份	214
图表 181 FRER 多失效冗余	215
图表 182 FRER 失效原因分析机制	215
图表 183 汽车 E/E 架构演进路线图	216
图表 184 TSN 为骨干网的 Zonal 架构	217
图表 185 大众 MEB 架构	217
图表 186 Zonal 架构网关	218
图表 187 Zonal 网关的内部框架图	218
图表 188 CAN 到以太网	219
图表 189 帧的分组	219
图表 190 汽车操作系统	220
图表 191 确认使用 AAOS 的车型汇总	228
图表 192 2021-2026 年主要操作系统份额	229
图表 193 2019 年 1 季度-2021 年 3 季度 NXP 汽车业务收入统计	230
图表 194 i.mx6 座舱 Soc 简介	230
图表 195 i.MX8 座舱 SoC 简介	232

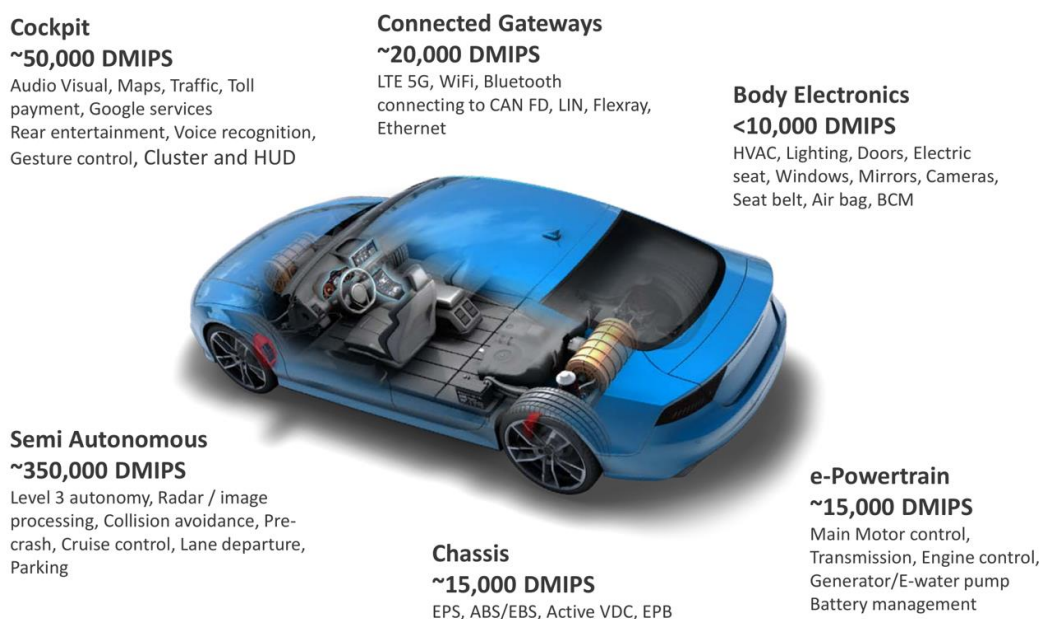
图表 196 i.MX8 内部框架图	232
图表 197 英伟达 ORIN	233
图表 198 英伟达 Drive IX 全套协议栈	234
图表 199 英伟达 IX 的注意力监测, 附带有语音提示	235
图表 200 英伟达 Confidence View 信心视图	235
图表 201 英伟达眼球追踪	236
图表 202 英伟达脸部识别进入车辆	236
图表 203 现代汽车 GV60 座舱内饰	237
图表 204 SA8155P 简介	238
图表 205 高通第四代座舱 SoC	239
图表 206 高通第四代座舱 SoC 内部框架图	240
图表 207 2019 年 1 季度-2021 年 3 季度瑞萨汽车业务收入	242
图表 208 瑞萨 R-CAR 第三代产品列表	243
图表 209 瑞萨座舱 SoC 应用选择	243
图表 210 瑞萨 R-CAR 第三代增强版产品	243
图表 211 瑞萨 M3 一机带 3 屏	244
图表 212 英特尔 A3900 系列产品	246
图表 213 2013-2021 年 Telechips 收入与净利润	247
图表 214 Telechips Dolphin3 内部框架图	248
图表 215 MT8666 内部框架图与整套解决方案	250
图表 216 联发科座舱 Soc 产品规划	251
图表 217 地平线征程 3 内部框架图	252
图表 218 搭载地平线征程系列芯片的部分车型	253
图表 219 基于征程 3 的地平线 Halo3 车载智能交互方案及主要交互能力	254

第一章 智能座舱定义与意义

1.1 智能座舱定义

图表 1 2020 年顶级座舱算力

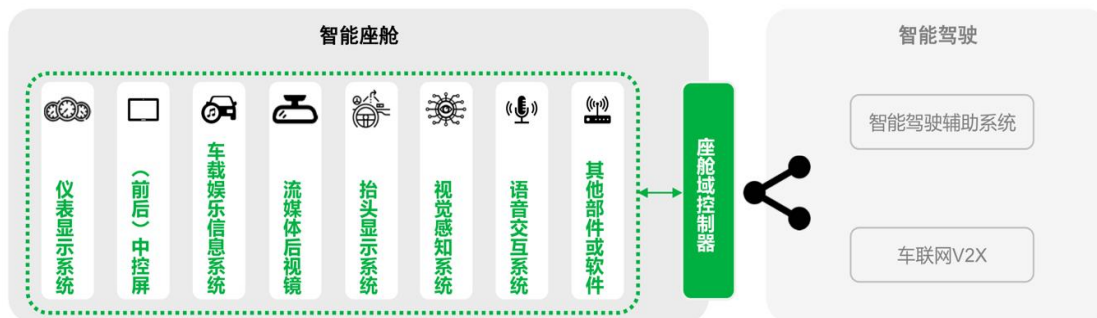
Automotive compute in 2020



来源：ARM

上图为 ARM 在 2017 年投资者大会上发布的内容，ARM 预计 2020 年顶级座舱的算力是 50K DMIPS。

图表 2 智能座舱典型功能



来源：IHS Markit

对于座舱来说，决定其功能和性能的关键是主 SoC 的算力，衡量 CPU 算力的单位主要是 DMIPS，DMIPS 是 Dhrystone Million Instructions Per Second 的缩写，每秒处理的百万级的机器语言指令数。基本上 SoC 高于 20,000 DMIPS 才能流畅地运行智能座舱的主要功能（AR 导航或云导航、360 全景、播放流媒体、AR-HUD、多操作系统虚拟机等）。GPU 方面，只需要 100GFLOPS 的算力就可以支持 3 个 720P 屏幕。因此简单定义一下，**CPU 高于 20,000DMIPS，GPU 高于 100GFLOPS 的 SoC 的座舱就是智能座舱。**

程序编译和运行过程中，代码会经过编译器转化成机器可以理解的指令。CPU 每个指令周期分为取指令、指令译码、指令执行三个过程，只有在指令执行时才真正有效，在取指令和指令译码时，CPU 时间是白白浪费的，而同样的运算在不同架构不同指令集需要的指令数也不一样。

不同的 CPU 指令集不同、硬件加速器不同、CPU 架构不同，导致不能简单的用核心数和 CPU 主频来评估性能，所以出了一个跑分算法叫 **Dhrystone**：程序用来测试 CPU 整数计算性能，其输出结果为每秒钟运行 **Dhrystone** 的次数，即每秒钟迭代主循环的次数。

Dhrystone 所代表的处理器分数比 **MIPS**（**Million instructions per second** 每秒钟执行的指令数）更有意义，因为在不同的指令系统中，比如 **RISC**（**Reduced Instruction Set Computer** 精简指令集计算机）系统和 **CISC**（**Complex Instruction Set Computer** 复杂指令集计算机）系统，**Dhrystone** 的得分更能表现其真正性能。由于在一个高级任务中，**RISC** 可能需要更多的指令，但是其执行的时间可能会比在 **CISC** 中的一条指令还要快。由于 **Dhrystone** 仅将每秒钟程序执行次数作为指标，所以可以让不同的机器用其自身的方式去完成任务。

另一项基于 **Dhrystone** 的分数为 **DMIPS**（**DhrystoneMIPS**），其含义为每秒钟执行 **Dhrystone** 的次数除以 1757（这一数值来自于 **VAX 11/780** 机器，此机器在名义上为 **1MIPS** 机器，它每秒运行 **Dhrystone** 次数为 1757 次）。

目前车载 **SoC** 除了英特尔，基本上都是 **ARM** 架构，**ARM** 架构 **SoC** 的算力。

图表 3 主要厂家车载 SOC

厂家	型号或代号	IPC 解码位宽	L1 Cache	L2 Cache	L3 Cache	算力 DMIPS/MHz	对应制造工艺 (纳米)
ARM	X1	5	128 KiB	512 -1024KiB	0-8 MiB	17 (估计, 中间值)	3-5
ARM	A78	4	128 KiB	256-512KiB	0-4 MiB	15.5 (中间 值)	5-7
ARM	A76	4	128 KiB	128-512KiB	0-4 MiB	11.6 (中 间值)	7-12
ARM	A72	3	80KiB	256 -512KiB	0	6.35	16-28
ARM	A57	3	80KiB	256 -512KiB	0	4.8	20-28
ARM	A53	2	64KiB	128 -512KiB	0	2.3	28-40
APPLE	FireStorm	8	320kB (大 核)	4MB	8MB	18 (估计)	5-7

资料来源：佐思汽研

对于一个 SoC 或者内核来说，最重要的参数有两个，一个是 IPC，即每周期平均执行指令数，它还有一个名字就是解码位宽。还有一个是 L1 缓存，因为指令是从缓存中取得的，L1 缓存有分为 L1i 和 L1d，分别用来存储指令和数据。L2 缓存是不区分指令和数据的。L3 缓存多个核心共用一个，通常也不区分指令和数据。还有一种缓存叫 TLB，它主要用来缓存 MMU 使用的页表，通常我们讲缓存 (cache) 的时候是不算它的。架构的算力不是一个固定值，但架构决定了其算力大致范围，Cache 的大小在这个有限的范围内再确定算力值。

通常 L1 Cache 离 CPU 核心需要数据的地方更近，而 L2 Cache 则处于边缓位置，访问数据时，L2 Cache 需要通过更远的铜线，甚至更多的电路，从而增加了延时。L1 Cache 分为 ICache（指令缓存）和 DCache（数据缓存），指令缓存 ICache 通常是放在 CPU 核心的指令预取单元附近的，数据缓存 DCache 通常是放在 CPU 核心的 load/store 单元附近。而 L2 Cache 是放在 CPU pipeline 之外的。

为什么不把 L2 Cache 也放在很近的地方呢？由于 Cache 的容量越大，面积越大，相应的边长的就越长（假设是正方形的话），总有离核远的。很简单，L1 的容量越大，性能自然就越高。



图表 4 目前与未来常见座舱 SoC 算力统计

厂家	型号	CPU 算力 (DMIPS)	GPU 算力 (GFLOPS)	NPU 算力 (TOP@INT8)
瑞萨	R-CAR H3E	49K	288	无
瑞萨	R-CAR H3	40K	288	无
英特尔	A3960	48K	216	无
高通	820A Prem	45k	320	无
高通	SA8155P	105K	1142	4
高通	SA8195P	150K (估)	1843	10 (估)
高通	SA8295P	200K	1720	30
NXP	i.MX8QM	29K	128	无
德州仪器	TDA4VM	25K	180	8
德州仪器	TDA4 H	100K	320	32
英伟达	XavierNX	96K	691	21
英伟达	Parker	59K	500	无
三星	Exynos Auto V9	111K	1205	5.7
Telechips	Dolphin 3H	90k	336	无
Telechips	Dolphin 3E	31K	100	
联发科	MT2712	22K	133	无
联发科	MT8195	139K	926	4

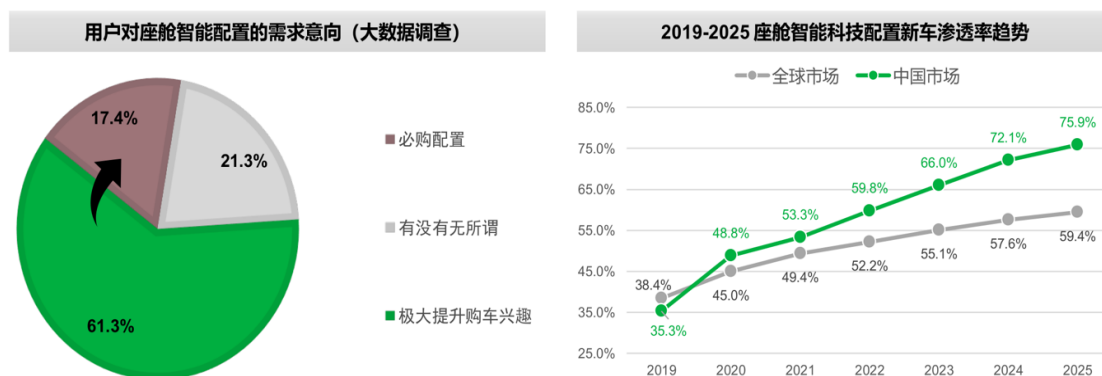
资料来源：佐思汽研

1.2 智能座舱意义

大数据调查显示，座舱智能科技配置需求的相关消费习惯尚在培育阶段，但仍有超过 60% 的用户认可座舱智能配置的价值并有望实现需求的转化，反映出用户层面的座舱智能配置需求有很大的上升空间。

- 目前中国市场座舱智能配置水平的新车渗透率约为 48.8%，到 2025 年预计可以超过 75%，均高于全球市场的装配率水平，以期满足中国日益增长的座舱智能配置需求。

图表 5 智能座舱配置用户需求意向及新车渗透率

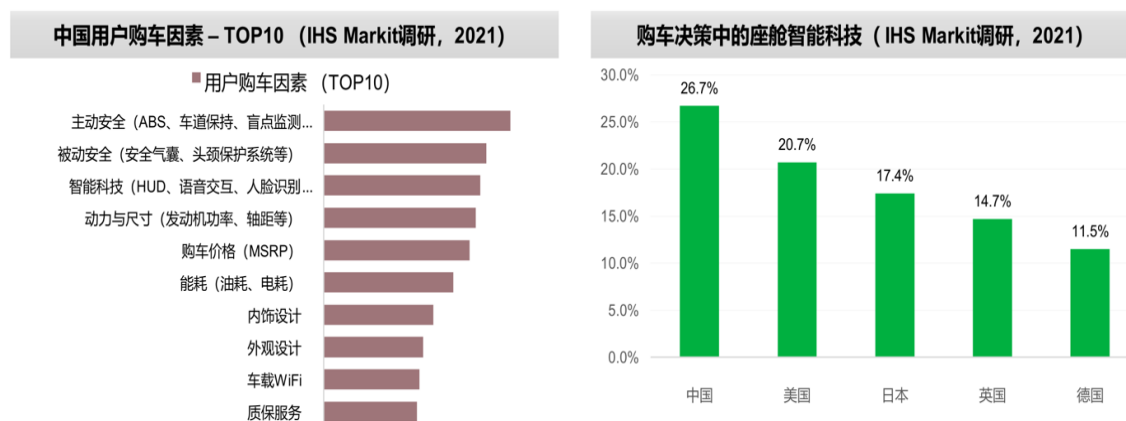


资料来源：IHS

从用户购买决策的关键因素来看，根据 IHS Markit 最新的调研结果，座舱智能科技配置水平是仅次于安全配置的第二大类关键要素，其重要程度已超过动力、空间与价格等传统购车关键要素，反映出座舱智能科技已成为用户购车的重要考量。

• 与众多成熟市场相比，早已对移动互联网与智能手机形成依赖的中国用户对座舱的智能科技配置有着更高的关注度，相关配置在中国消费者的购车决策中起着更为重要的作用。

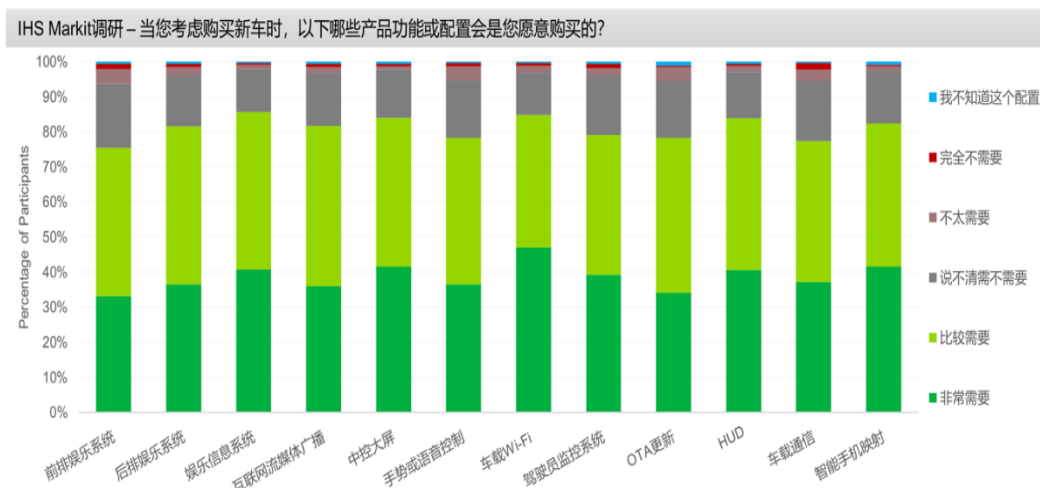
图表 6 座舱智能配置对购车决策的影响



资料来源：IHS

超过 80%的用户对座舱智能配置表现出了购买意愿（含“非常需要”与“比较需要”），其中对娱乐信息系统、HUD与中控大屏的购买意愿相对较高。

图表 7 购买新车时，功能配置影响购买意愿情况

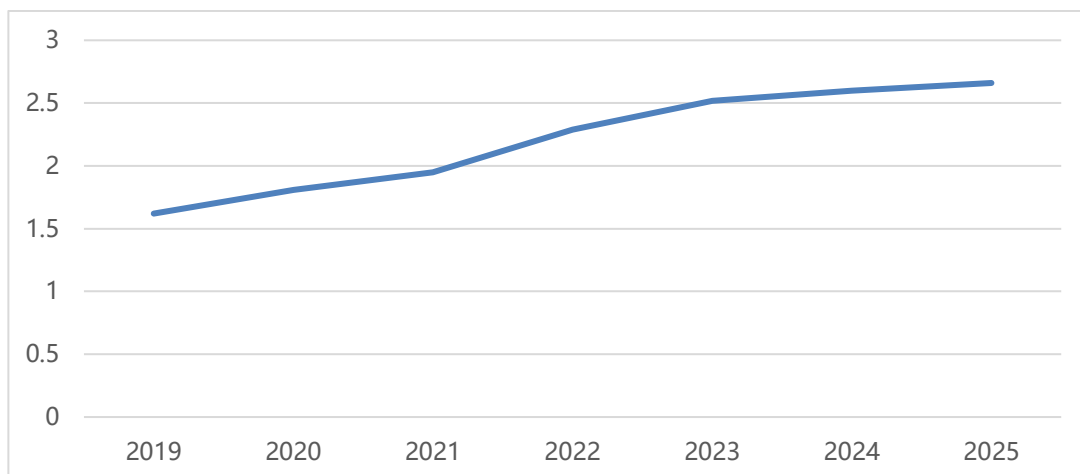


资料来源：IHS

进入电动车时代后，座舱成为各厂家竞争的主要领域，因为电动车的加速性能远超燃油车，换句话说，电动车的加速性能已经过剩，由于电动车的关键电池被几个大厂垄断，CATL、LG 化学、SK 和松下占据了超 80% 的市场。电动机是很成熟的产品，性能没有提升空间。种种因素造成，电动车同质化严重，要想从竞争中脱颖而出，就是要靠智能座舱，只有智能座舱才能做差异化设计。

而随着智能驾驶技术的不断提升，人们在车内有更多的闲暇时间需要娱乐或其他活动，座舱成为人们的第二个办公室、第二个客厅。这将强力刺激智能座舱的普及。厂家为应对智能座舱普及，纷纷增加屏幕，加大屏幕尺寸。这也反映出智能座舱的价值，智能座舱正在成为汽车行业的焦点。

图表 8 2019-2025 年新上市车型平均屏幕数量



	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
新上市车型平均屏幕数量	1.62	1.81	1.95	2.29	2.52	2.60	2.66

资料来源：佐思汽研

图表 9 2019-2025 年汽车中控尺寸市场份额

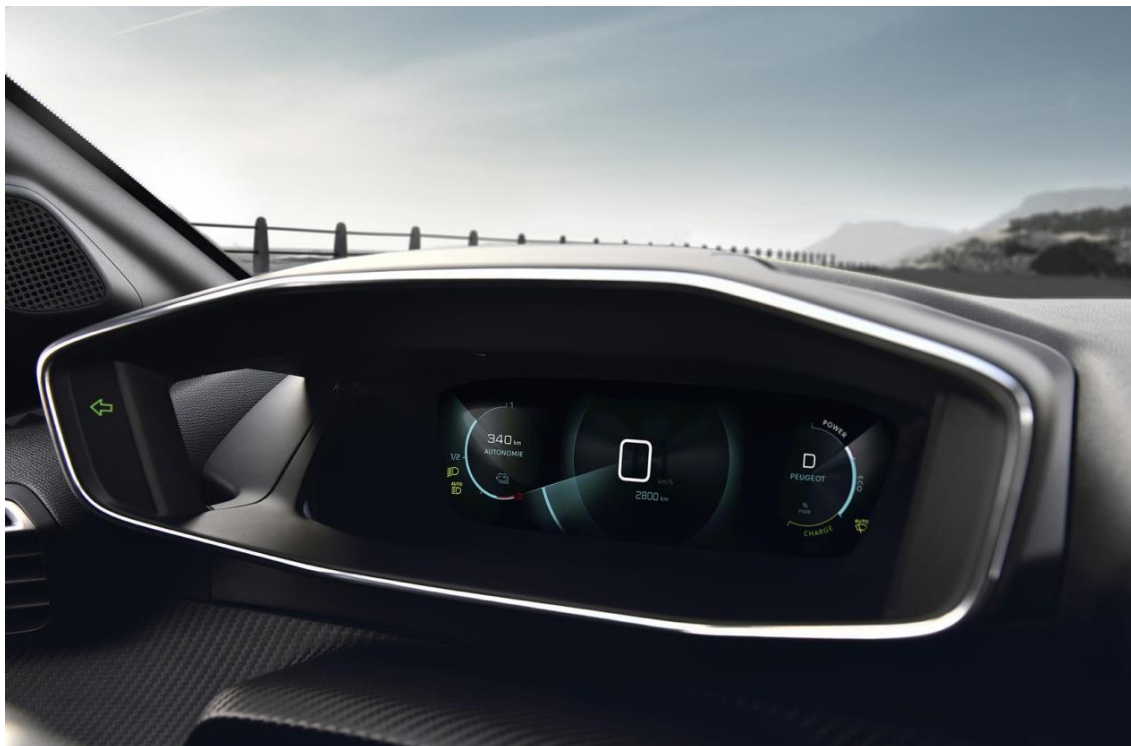
中控屏尺寸 (英寸)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0-8	72%	63%	51%	40%	35%	31%	28%
8-14	26%	33%	41%	47%	49%	51%	52%
14 以上	2%	4%	8%	13%	16%	18%	20%

资料来源：佐思汽研

第二章 智能座舱典型功能与特性分析

2.1 裸眼 3D 仪表

图表 10 标致 208 顶配的 3D 仪表



资料来源：伟世通

全球首部 3D 仪表是 2019 年 5 月发布的标致 208 和 DS3。3D 仪表的出现是因为不少车厂在液晶仪表的交互设计上还比较欠缺经验，设计自由反而导致过犹不及。比如有些产品界面设计地太过花哨，显示的信息过于丰富，用户找不到信息的重点。自此，有些用户开始怀念曾经机械仪表盘简单粗暴的日子。所以，为了将液晶仪表的「科技感」和机械仪表的「重点突出」相结合，兼顾科技与实用，就衍生出了「3D 仪表盘」。

标致 208 的仪表，它的确像机械仪表一样突出了关键信息，比如速度/警告等。而且据伟世通介绍，用户在使用时可以调整阴影效果，自由创建深度，调整颜色和外观显示。在驾驶辅助模式下，可以实时显示动态的 3D 效果。在硬件上，它由两块 TFT（液晶显示屏）组成：一块 10.25 英寸的液晶屏作为「背景」，一块 7 英寸的半反射叶片作为「前景」。光在距离 15 毫米的两屏之间利用反射原理，呈现出 3D 效果。简单来说，原理就是：利用两层屏幕结构，通过双眼的视觉角度差异来实现裸眼 3D 的立体感。而且，这种 3D 呈像技术，相比一般的 AR/VR 立体成像技术而言，可以避免用户感受到的焦距与实际焦距不一致的情况。

除了国外版的全新标致 208，现代 2019 款 Genesis G70 也搭载了类似的技术。供应商是 LG Display。

图表 11 大陆为 GV80 打造的 3D 仪表



资料来源：大陆汽车

2020 年 3 月，大陆汽车在现代 Genesis GV80 推出了另一种 3D 液晶仪表。大陆公司在该裸眼 3D 仪表盘上，使用视差屏障技术分割图像，分别为左眼和右眼形成两个不同的、稍微偏移的视角，从而形成 3D 图像。并且仪表盘上方的内置摄像头可以检测驾驶员的视线，并调整 3D 视图位置，以精确对准驾驶员的头部。同时，为了防止驾驶员将注意力长时间集中在 3D 屏幕上，摄像头还采用注意力检测技术，识别驾驶员注意力分散或疲劳状态。通过使仪表集群 3D 可视化，能够确保驾驶员的注意力不被 ADAS、传统显示器、通信服务和信息娱乐应用所提供的信息淹没。

图表 12 奔驰 S 级仪表



资料来源：奔驰

2021 年奔驰 S 级也开始提供 3D 仪表，在后视镜附近安装了一个立体双目摄像头，用以监测驾驶员头部的位置，根据驾驶员头部的位置，让液晶显示屏显示两种不同的图像，利用双目视差来形成 3D 图像，当然也可以关闭。

博世也在为奥迪和大众开发 3D 仪表，但还没有量产车采用。

图表 13 博世的 3D 仪表（1）



资料来源：博世

博世的 3D 仪表一是为了模拟机械仪表，二是为了显示 3D 地图，因为奥迪的仪表是博世提供的，可以显示导航地图。

图表 14 博世 3D 仪表 (2)



资料来源：博世

还有一个作用是显示真实的距离，因为某些时候人们很难判断车头与墙壁的距离，博世的设计是将在车头装摄像头，将图像导入仪表，利用 3D 显示模拟车头与墙壁的距离。

马瑞利也在开发 3D 仪表。

3D 仪表成本高，实际可以加强仪表的字符显示，突出显示重要信息，也能取得近似 3D 的效果，因此未来前景不乐观。

2.2 大屏与多屏

电动车时代，由于加速性能远胜燃油车，比拼性能已经几乎没有意义，因此电动车从比拼动力性能转变为比拼科技感，特别是座舱领域，大屏或多屏几乎是电动车的标配，这有带动中高端燃油车也不得不采用多屏或大屏与电动车竞争。

目前中高端车，基本标配全液晶仪表和中控大屏。全液晶仪表尺寸主要有 7、10.3、12.3 英寸三种。通常 10.3 英寸有 1280*480 和 1920*720 两种分辨率，12.3 英寸则有 1280*480、1440*540、1920*720、2400*900 四种分辨率。中控大屏尺寸有 8、10、11.3、12.3、12.8、14、15、17、17.7 多种。

宝马的 i4、ix 的中控屏为 14.9 英寸，分辨率为 2880*1080，像素密度达 206ppi，是目前量产车中最高的，可能由日本 JDI 提供。排名第二的是奔驰的 MBUX，12.8 英寸屏幕分辨率达 1888*1728，像素密度达 200ppi，比宝马略微低一点点，几乎可以算并列第一，奔驰 EQS 上的 MBUX Hyperscreen 的超大 56 英寸联屏中，中央大屏是 17.7 英寸，分辨率 3088*1728。排名第三的是凯迪拉克的新凯雷德，车机屏是一块 16.9 英寸 OLED 曲面屏，分辨率达 2940*816，像素密度为 181ppi。

论像素密度的话，蔚来 ES8 升级版更高，京东方为其提供的液晶屏 11.3 英寸大小，分辨率达 1400*1600，像素密度可达 188ppi。排名第四的是特斯拉的新 Models，17 英寸车机屏分辨率是 2200*1300，像素密度 150ppi。顶级特斯拉也不如国产蔚来 ES8。

图表 15 宝马 i4 座舱



资料来源：宝马

宝马 i4 座舱，是经典的双联屏，不过是特别的曲面。

图表 16 奔驰新 S 级的座舱



资料来源：奔驰

图表 17 奔驰 S 级座舱各显示屏主要参数

	仪表 (Driver Display)	中控	后排显示	后排中平板
尺寸	12.3	12.8	11.6	7.0
分辨率	2400*900	1888*1728	1920*1080	1280*800
触控	否	是	是	是

资料来源：奔驰

奔驰在座舱领域丝毫不吝啬，五块显示屏都是订制的，目前也是同尺寸分辨率最高的车载显示屏，MBUX 的中控屏更是成本高昂的 OLED 显示屏。

奔驰二代 MBUX 最大的亮点实际并非是 OLED 屏，而是超级强大的后排系统，对奔驰而言，后排乘客才是主要服务对象，不像一般的后排系统仅仅是一块显示屏，仅仅是用来哄小孩。奔驰的后排控制系统为 RSU，其电路架构几乎和前排完全一致，只是去掉了导航、收音和音频部分，可谓不惜血本，后排系统也是 MBUX，几乎拥有前排所有功能，包括独立后排座椅控制、独立后排空调控制、独立后排上网、USB 充电与 USB 外接播放，HDMI Mini 视频接口，独立耳机和麦克风接口，独立音频与视频。后排平板电脑不仅可在车内使用，也可在车外使用。

图表 18 奔驰 EQS 座舱



资料来源：奔驰

奔驰 EQS 座舱，屏幕长达 56 英寸，也就是 141 厘米，显示面积有 2,432 平方厘米，存储带宽高达 46.4GB/s。有三块大屏组成，分别是仪表的 12.3 英寸屏，分辨率 2,400*900。中控大屏 17.7 英寸，分辨率 3,088*1,728，副驾大屏也是 12.3 英寸，分辨率 2,400*900。

图表 19 奔驰 EQS 的超长大屏



资料来源：奔驰

图表 20 新一代凯迪拉克 Escalade 座舱



资料来源：通用汽车

新一代凯迪拉克的 Escalade，与雪佛兰 Suburban 和 GMC Yukon 属同平台车型。其座舱采用了 38 英寸大屏，且是曲面 OLED 大屏。

图表 21 新一代凯迪拉克 Escalade 座舱显示屏



资料来源：LG 电子

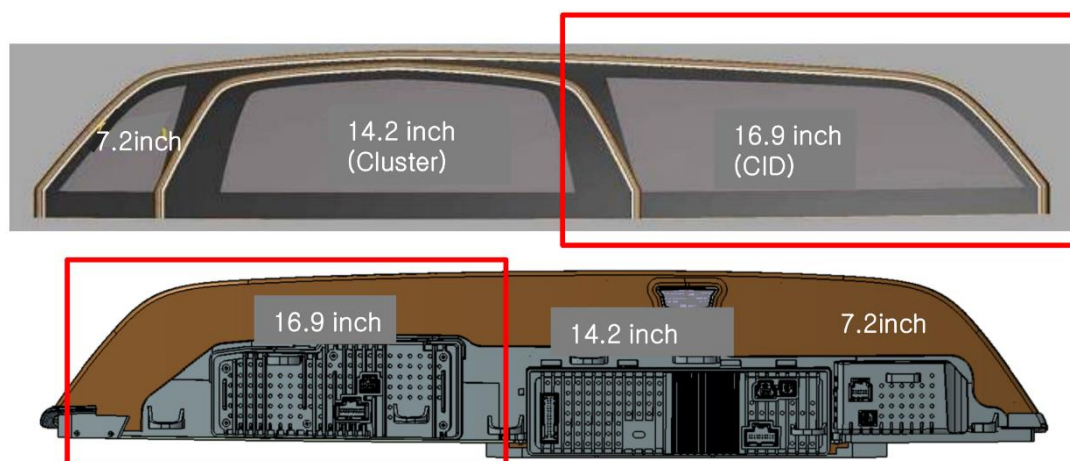
图表 22 新一代凯迪拉克 Escalade 座舱显示屏俯视图



资料来源：LG 电子

大屏的俯视图，可以看到有轻微的弯曲。

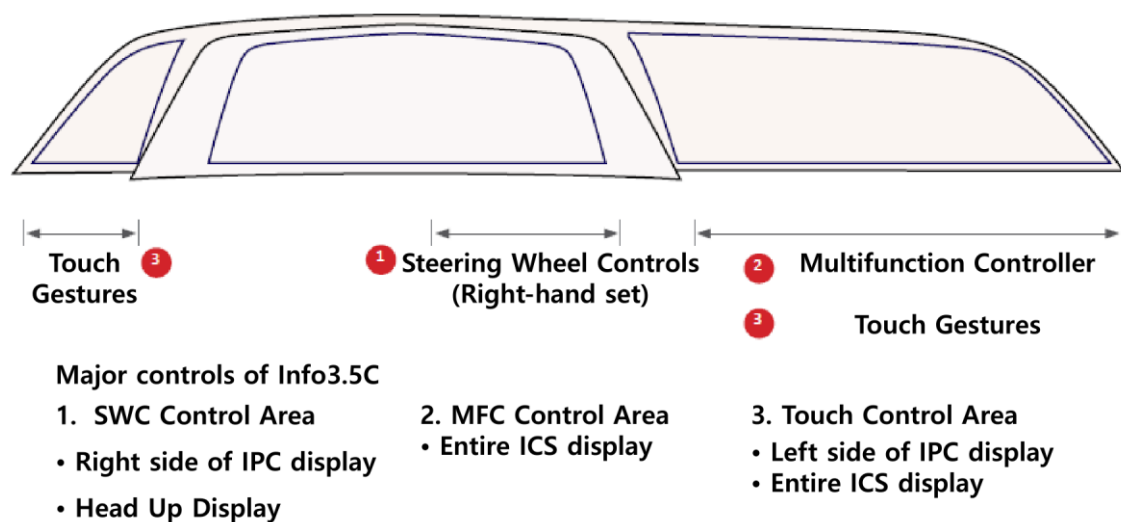
图表 23 新一代凯迪拉克 Escalade 座舱显示屏结构



资料来源：LG 电子

实际上是 3 块屏幕，中间的是仪表，右边的是 CID，中央信息显示，左边的是车辆控制。

图表 24 新一代凯迪拉克 Escalade 座舱显示屏结构



资料来源：LG 电子

两边的屏幕可以用手势和触控操作。

图表 25 LUCID AIR 座舱



资料来源：LUCID

美国新兴造车 Lucid 的豪华轿车采用 4 屏设计，正前方长达 34 英寸的一体曲面屏幕，整体分辨率达 5K。中控扶手处还有一块 14 英寸大屏，可以自动收藏在扶手箱前方。

这块屏幕显示的内容只要用手指向下一拉就可以映射到扶手箱附近的屏幕上，很酷炫。

图表 26 LUCID AIR 座舱中央控制屏



资料来源：LUCID

扶手箱处的 15 英寸大屏，这块屏幕主要是空调、座椅、车门和音乐播放控制。

图表 27 凯迪拉克电动车 Lyriq 的座舱



资料来源：通用汽车

这和凯迪拉克的电动车 Lyriq 的座舱设计很像，Lyriq 的屏幕有 33 英寸长，但显示面积比 Lucid 要大。两者的 UI 设计基本相同，左边的小屏幕主要是有关车本身的如灯光、雨刷。中间显示车辆信息，右边显示导航、音乐、收音、电话。

图表 28 吉普 Grand Wagoneer 座舱



资料来源：吉普

吉普的 Grand Wagoneer 的内饰设计，黑色与驼色加上原木的棕色，非常大气，豪华感十足，科技感也不差。

图表 29 吉普 Grand Wagoneer 座舱中控屏



资料来源：吉普

中控屏特写，正在连接在 iPhone 12 Pro Max 上。

图表 30 吉普 Grand Wagoneer 座舱全液晶仪表盘屏



资料来源：吉普

全液晶仪表特写，注意，这是 FLIR 的夜视热成像图，夜视情况 FLIR 热成像仪还可以监测行人，还能识别限速标识，这也是目前最好的车辆夜视成像。

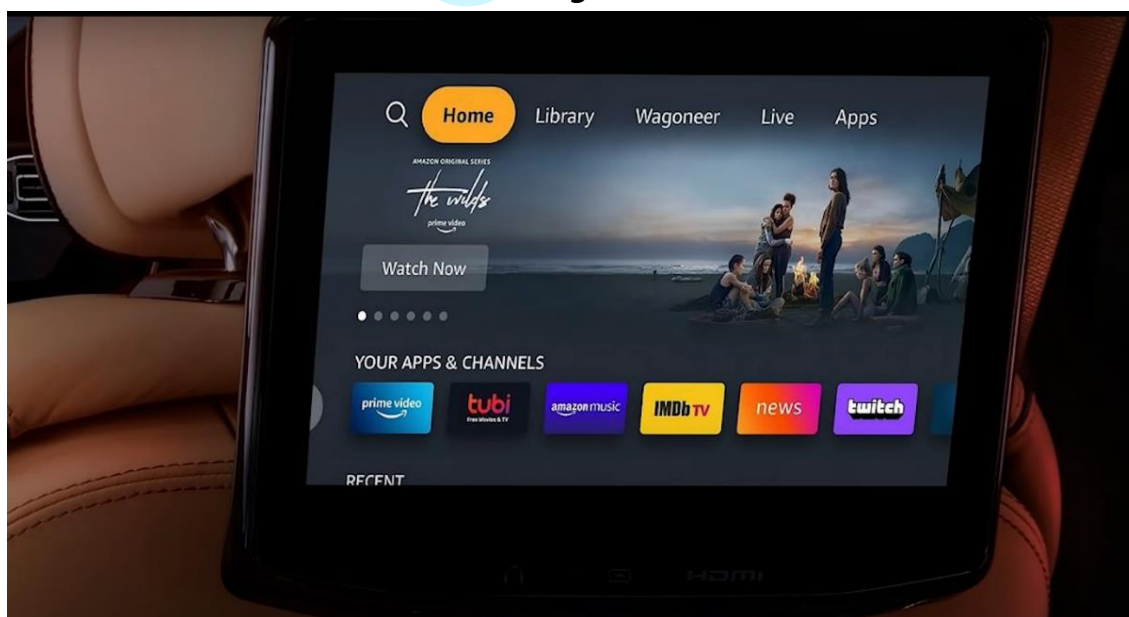
图表 31 吉普 Grand Wagoneer 座舱 Comfort Display



资料来源：吉普

Comfort Display 屏特写，显然这是按摩座椅。这个屏是隐藏的，有个按键，按一下自动滑出。

图表 32 吉普 Grand Wagoneer 的后座娱乐显示屏



资料来源：吉普

后座娱乐显示屏，后座娱乐屏与前方大屏联动，也能单独上网，连接游戏机手柄，并且也是触摸屏，绝大部分后座屏都是非触摸屏，并且可以在屏幕上手指滑动分享给另一块后座屏，可两人联机打游戏，非常好玩。

图表 33 吉普 Grand Wagoneer 的副驾驶屏



资料来源：吉普

副驾屏特写

即使小车都采用大屏。

图表 34 本田 e



资料来源：本田

本田在 2020 年 9 月发布其第一款电动车即本田 e，这款车小巧玲珑，长 3895 毫米，宽 1750 毫米，高 1495 毫米。但只在欧洲和日本销售，不在中国和北美销售。这是一款纯粹主打外型与内饰的小车，该车搭载一台最大功率为 154 马力，峰值扭矩为 315 牛·米的驱动电机，采用后轮驱动，百公里加速小于 8 秒。顶配是来自松下容量的 35.5 千瓦时的电池组，WLTC 测试工况下续航为 280 公里，中国 NEDC 标准下大概有 330 公里。基础车型是 137 英里续航，也就是大约 200 公里续航，中国 NEDC 标准下大概 240 公里续航。新车在快充模式下，可在 30 分钟内补充 202 公里的电量。基础版车型为 451 万日元（约合人民币 29 万元），高配版车型 495 万日元（约合人民币 31.9 万元）。

价格高到离谱，这个价格可以轻松拿下特斯拉 Model 3 的高配车型，本田对这款车的定位非常奇怪，定位是城市通勤车的同时却又价格高昂。这样的小车在北美和中国恐怕乏人问津。

图表 35 本田 e 座舱



资料来源：本田

本田 e 的座舱令人惊艳，完全不是本田一贯的简约风格，座舱多达 6 块屏幕，仪表盘是 8.8 英寸，中控和副驾驶位还各有一块 12.3 英寸的屏幕，连起来就是惊人的 33.4 英寸，靠近车窗还各有一个 6 英寸小屏幕。顶上的后视镜实际也是一个屏幕，大约有 7 英寸。本田一直致力打造温暖、居家式的内饰风格，本田 e 的织物材质和磨砂效果的木饰，可以说将本田的这种理念发挥到了一个新的高度。也导致成本增加不少。

中控和副驾驶位的屏幕可以做到几乎无缝，本田特别为用户提供了墙纸玩法，两块屏幕的分辨率都是 1920*720。

图表 36 本田 e 中控与副驾驶屏无缝衔接



资料来源：本田

屏幕也可以做显示器，允许 HDMI 输入。

图表 37 本田 e 的副驾屏打游戏



资料来源：本田

图表 38 长安福特 EVOS 的座舱显示屏



资料来源：长安福特

长安福特 EVOS 的座舱，有一块长达 1.1 米的大屏，仪表屏是 12.3 英寸，中控屏 13.5 英寸，副驾屏也是 13.5 英寸。分辨率可能都是 1920*1080。

图表 39 长安福特 EVOS 中控与副驾驶两块屏可以合为一块屏



资料来源：长安福特

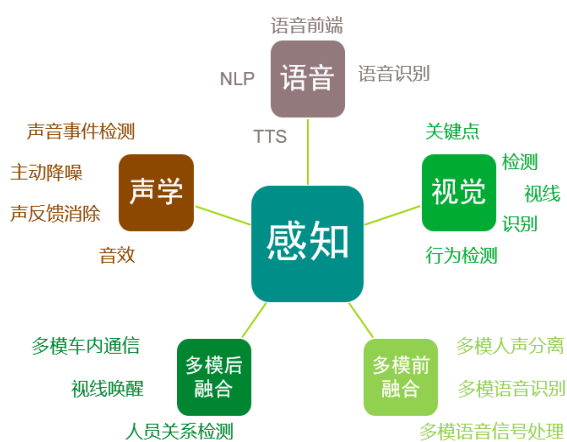
2.3 智能交互

智能汽车传感器不断提升的同时，大算力芯片迭代速度也在加快，AI技术核心的算法模型的使用，改变了传统单模的交互方式，图像视觉感知、人脸识别、视线追踪、手势识别、情绪识别、语音感知的多维度的感知结果通过AI神经网络技术进行的融合，将汽车座舱从被动交互转变到主动交互模式，高度场景化的决策推荐模式，极大的提升了人机交互的体验。

图表 40 智能交互感知算法分类

感知算法 – 基本分类

- 智能座舱的技术树中，一般将感知算法分为语音类与非语音类。语音类感知算法包括单模语音与多模融合。非语音类感知算法分为视觉、声学、多模策略、上层应用、硬件、云服务。



- 语音：指通过单模语音交互技术，如降噪、回声消除、语音识别，声纹识别等。
- 视觉：基于图像信息、ToF等传感器算法的技术，如人脸识别，手势识别，活体检测，抽烟、情绪检测等。
- 多模前融合：将多种模态深度渗透、深度融合的技术，为多模融合。多模语音识别和多模人声分离是典型的多模融合技术。
- 声学：特指非语音交互范围的声学相关技术，包括：声音事件检测、声场调控等。
- 多模后融合：基于单模的感知结果进行浅层的结合的技术。多模命令词、多模ASR深度融合不属于这一类。

资料来源：IHS Markit

2.3.1 智能语音交互

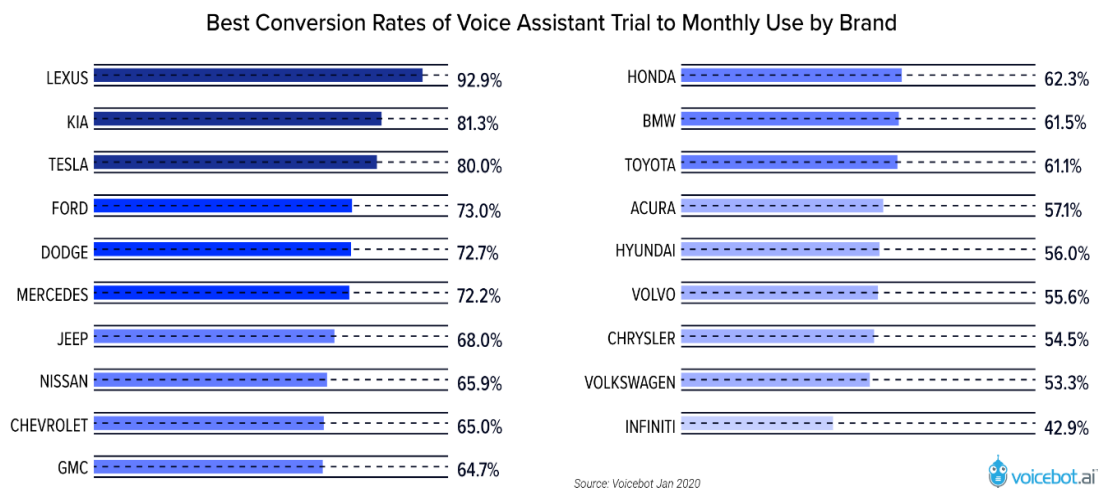
语音交互是车内最简洁最人性化最安全的交互方式，也是未来最主要的车内交互方式，随着AI和硬件性能的增强，语音交互是未来汽车的绝对主流。

智能语音交互主要涵盖语音唤醒、语音识别、自然语言理解、语音合成等技术，其核心是自然语言理解。车载智能语音交互主要是车载自然语言处理与语音助手，也可以简单地说是NLP和NLU技术。不同于早期的只能拨打电话或简单地识别几个单词，自然语音识别一般指可以识别一个句子，语音助手则是基于自然语义的理解并做出对应的调整或给出对应的资讯。2020年智能座舱中自然语音识别搭载率大约为67%，预计2024年可达84%。

无人驾驶时代还将加入紧急车辆如救护车、消防车声音识别，多座位智能识别。未来还将识别车主的情绪，如喜悦，愤怒等，并根据情绪调整灯光或音乐音量，语音交互是最自然的交互。此外还有声纹识别。

中美两国是自然语音识别与语音助手的最主要市场，根据车载语音识别专业调查公司VOICEBOT的2021年8月的调查报告，美国的车载语音助手使用高达1.27亿人次，月度活跃使用为8,380万人次。德国是2,700万人次，英国是1,900万人次。

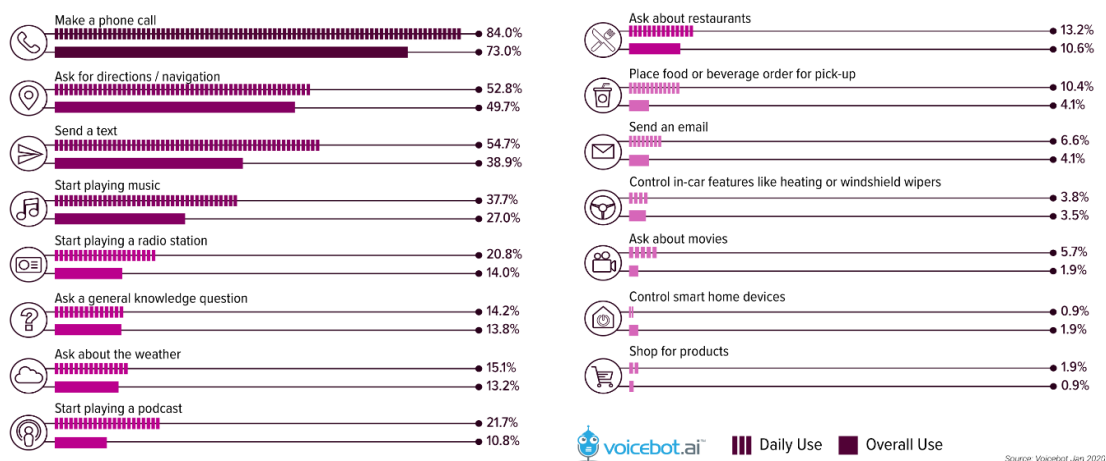
图表 41 美国主要汽车品牌月度车载语音助手使用率



资料来源: Voicebot. ai

美国市场汽车品牌月度语音助手使用率，从中可以看出并非只有豪华车才有高的使用率，起亚、福特、Dodge都是平价车型为主，强调操控的豪华品牌如宝马和讴歌，使用率很低。实际上就是语音助手做得好，用户立刻就会养成使用习惯，也就是说即使廉价车型也很有必要装语音助手。

图表 42 美国车载语音助手主要应用场景

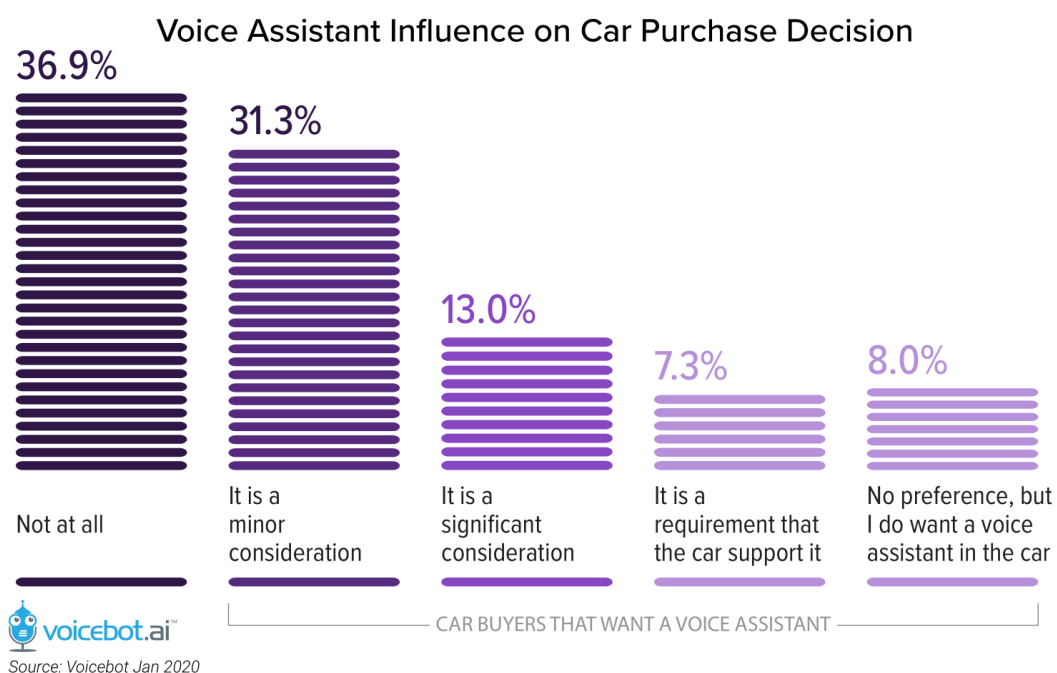


资料来源: Voicebot. ai

美国市场车载语音助手的主要应用场景，打电话、问路、发送短信、播放音乐、找电台、询问天气、找饭店是高频应用。

在中国，新兴造车厂家无一例外都对语音助手非常重视，这是科技感的主要来源，典型如蔚来的NOMI。

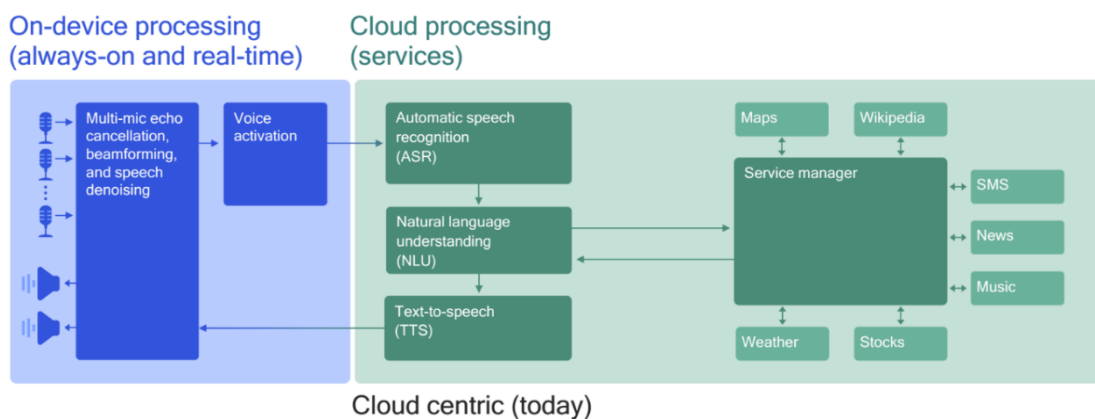
图表 43 美国汽车消费者对车载语音助手需求度



资料来源：Voicebot.ai

美国消费者购车时对语音助手的需求度，某些消费者还是语音助手的铁杆粉丝。

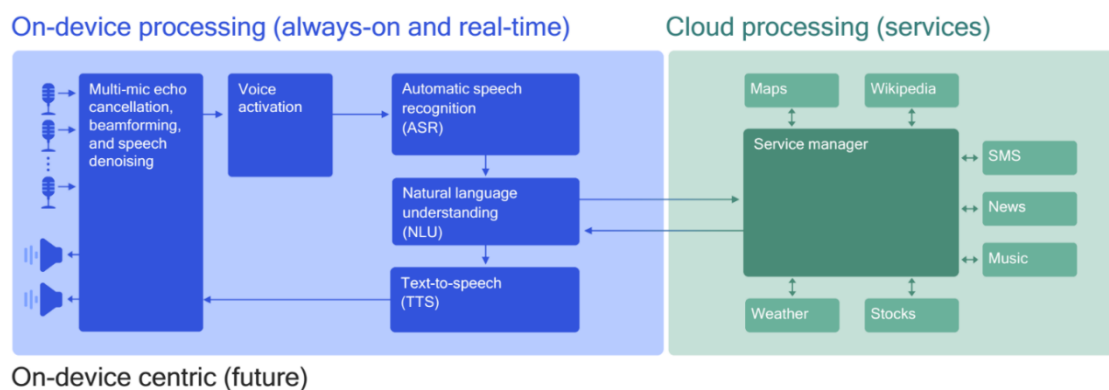
图表 44 常见 NLU 的处理过程



资料来源：德州仪器

由于车机硬件性能远低于手机和PC，所以车载语音助手大部分都是采用在线方式，也有少部分豪华车采用离线与在线相结合的方式，如奔驰的MBUX。地端由麦克风阵列拾取人声，对人声进行ADC模拟数字转换，然后过滤掉噪音和背景声以及远离拾音区的信号，再将过滤后的信号上传到云端，云端服务器主要进行ASR和NLU，识别后返回原通道再转换为命令或规划给汽车MCU。

图表 45 车载语音识别发展趋势



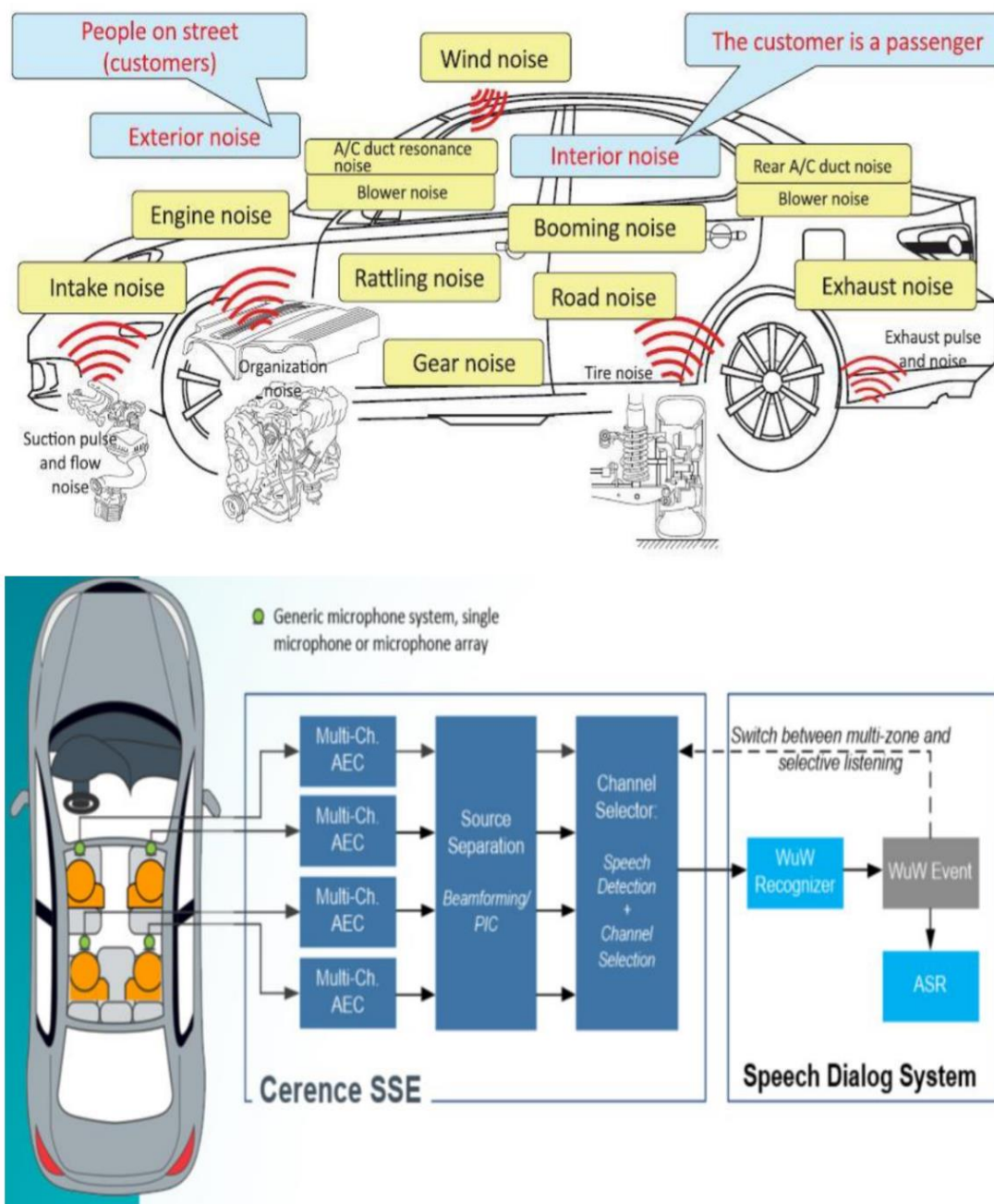
资料来源：德州仪器

离线与在线结合的方式，将ASR和NLU也加入车机，联网情况下用云端服务器，不联网也可以本土离线使用。离线使用也可最大限度保留隐私和保证数据安全，其他优点还有延迟时间短，表现稳定。

奔驰的第二代MBUX主SoC为英伟达Xavier NX，最高拥有高达21TOPS的AI算力，语音助手功能更强，支持27种自然理解（NLU）的语言，除了可以进行更多对话外，即使没有激活关键字也可以执行某些操作；同时，语音助手内含完整的用户手册，你可以咨询车内是否具备某种功能或某个配置，方向盘按键的功能定义，仪表上某个标志的意义，如何连接手机，如何使用Carplay。此外支持声音识别，根据声音为驾驶者建立不同的用户账户，支持个性化配置。还支持前后排声源定位，车辆能精准识别指令由哪个座位的乘客发起，且该乘客区域的氛围灯会闪烁。

语音助手在技术上有三大难点：一是准确拾音，消除噪音，即SSE（Speech Signal Enhancement）。二是深度学习训练模型的语料问题。三是语音识别特征抽出模型的并行计算。

图表 46 Cerence SSE



资料来源: Cerence

与家庭的语音音箱助手比，车载语音助手最大的难点在于噪音和指向性，不过车载语音助手成本敏感度比家用语音音箱要低，噪音和指向性一般通过麦克风阵列加AI解决。上图是全球车载语音助手市场占有率超过70%的Cerence的SSE，包括回音消除，波束成型、盲源分离、AGC自动增益、噪音控制、解混响。考虑到未来有可能在车内开网络会议，Cerence能做到根据席位自动关闭或打开麦克风。

语料即语音识别的训练数据，与家用不同，车载要特别考虑车载环境，并且是不同的车型车载环境，比如电动车的车内噪音与燃油车差别就很大，柴油车与汽油车的车内噪音差别也不小。需要针对车型搜集相关数据，这导致开发成本高企和开发周期很长。

最后是并行计算问题。

图表 47 车载语音助手深度学习的四个环节

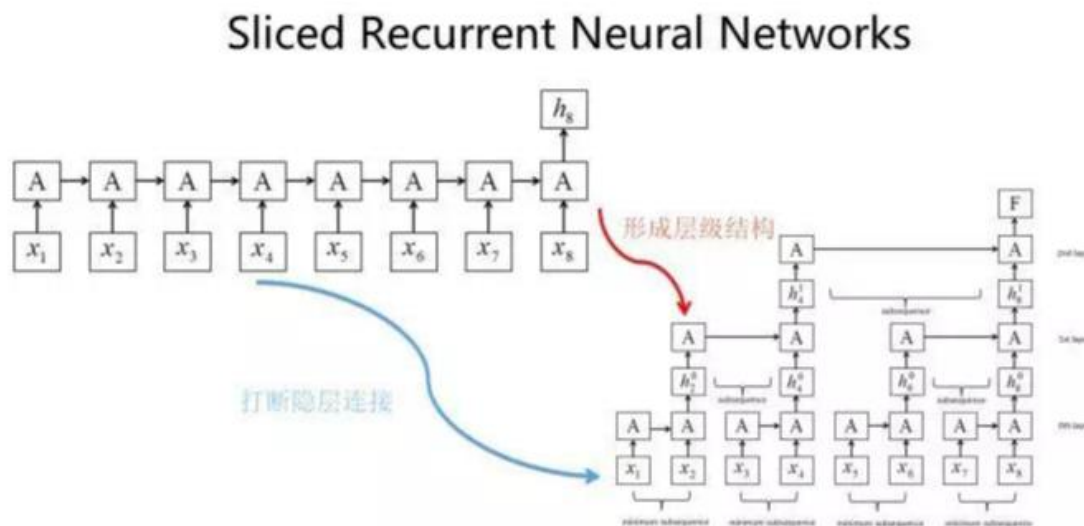
Engines	ML Techniques
Speech Signal Enhancement (SSE)	<ul style="list-style-type: none"> Feed-forward DNN and Gated Recurrent Units (GRU) for noise reduction.
Automatic Speech Recognition (ASR)	<ul style="list-style-type: none"> Feed-forward DNN (FF-DNN) for speech detection Linearly-Augmented DNN (LA-DNN) and Long Short-Term Memory RNN for acoustic modelling and language modelling Multi-Task and Transfer Learning for cross-language training
Natural Language Understanding (NLU)	<ul style="list-style-type: none"> Word Embedding (WE) and Sequence-to-sequence (seq2seq) Transformer for intent classification, mention extraction, and question answering Gazetteers, literal annotators and Corrective Training for quick adaptations. Pre-training and Transfer Learning.
Text-to-Speech (TTS)	<ul style="list-style-type: none"> Bidirectional LSTM (BLSTM) for prosody prediction and unit selection WE, Convolutional Neural Networks (CNN), BLSTM, Seq2seq Transformer in structured combinations for linguistic analysis Seq2seq, WaveRNN and others for neural wave synthesis Generative End-to-End Neural Synthesis (GEEEnE) for cloud TTS, combining the above with Transformers and GRU-based NWS Structured learning and Transfer Learning

资料来源: Cerence

车载语音助手有4个环节需要用到深度学习，与图像类深度学习不同，运算量最大的是LSTM，也就是RNN。目前来说RNN是最成熟最主流的技术，因为它（1）适合解决线性序列问题；（2）可以接纳不定长输入；（3）LSTM三门的引入，捕获长距离依赖能力加强。但是RNN本身的序列依赖结构对于大规模并行计算来说相当之不友好。为什么并行差？因为 $s(t)$ 的计算依赖于 $s(t-1)$ ，且不同step的隐层之间全连接。就是说T时刻某个隐层神经元与T-1时刻所有隐层神经元都有连接。

而车载的运算资源主要就是并行运算资源，如GPU，串行计算一般由CPU或特制的NPU完成，强大的CPU意味着高昂的成本，大多数芯片里的NPU都是针对图像深度学习的，或者说是针对CNN的，这也是为什么大家都不愿意做离线方案的原因。

图表 48 Sliced RNN



资料来源：互联网

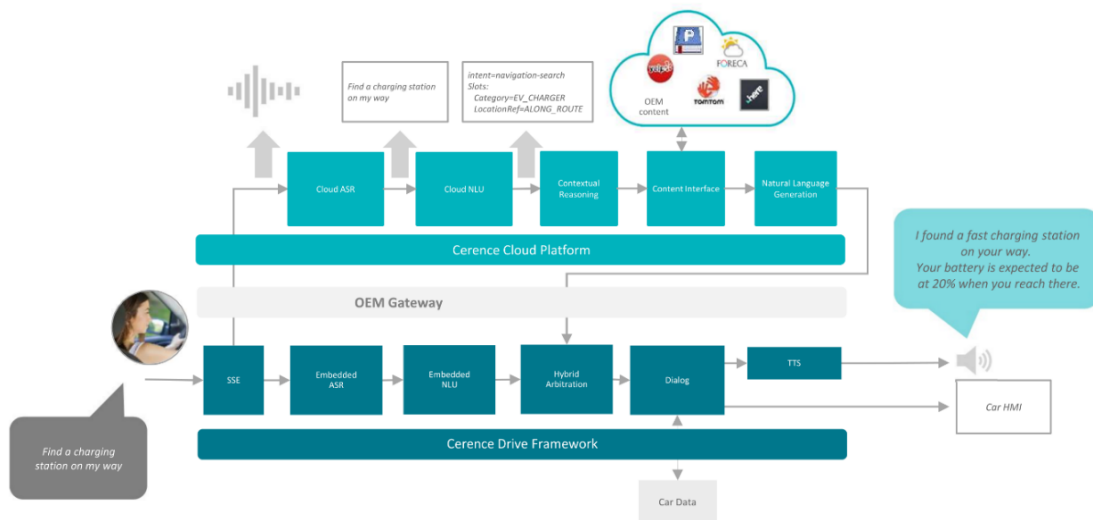
目前有两种思路：

第一种思路是改造RNN。方法一是把隐层之间的神经元依赖由全连接改成了哈达马乘积，这样T时刻隐层单元本来对T-1时刻所有隐层单元的依赖，改成了只是对T-1时刻对应单元的依赖，于是可以在隐层单元之间进行并行计算，但是收集信息仍然是按照时间序列来进行的。所以其并行性是在隐层单元之间发生的，而不是在不同时间步之间发生的。

方法二，为了能够在不同时间步输入之间进行并行计算，那么只有一种做法，那就是打断隐层之间的连接，但是又不能全打断，因为这样基本就无法捕获组合特征了，所以唯一能选的策略就是部分打断，比如每隔2个时间步打断一次，但是距离稍微远点的特征只能加层深，通过层深来建立远距离特征之间的联系。这意味着模型很大，代表性模型比如上图展示的Sliced RNN。车载环境，有时信号比较弱，噪音大，此外存储空间也不大，因此不太适合特别复杂的大的模型。

第二种思路是新兴的Transformer模型。Transformer是谷歌在17年做机器翻译任务的“Attention is all you need”的论文中提出的，引起了相当大的反响。Transformer做法跟CNN是类似的，一般设定输入的最大长度，如果句子没那么长，则用Padding填充，这样整个模型输入起码看起来是定长的了。目前主要是科研领域，量产商业化产品恐怕还没有Transformer，车载领域应用就更晚了。

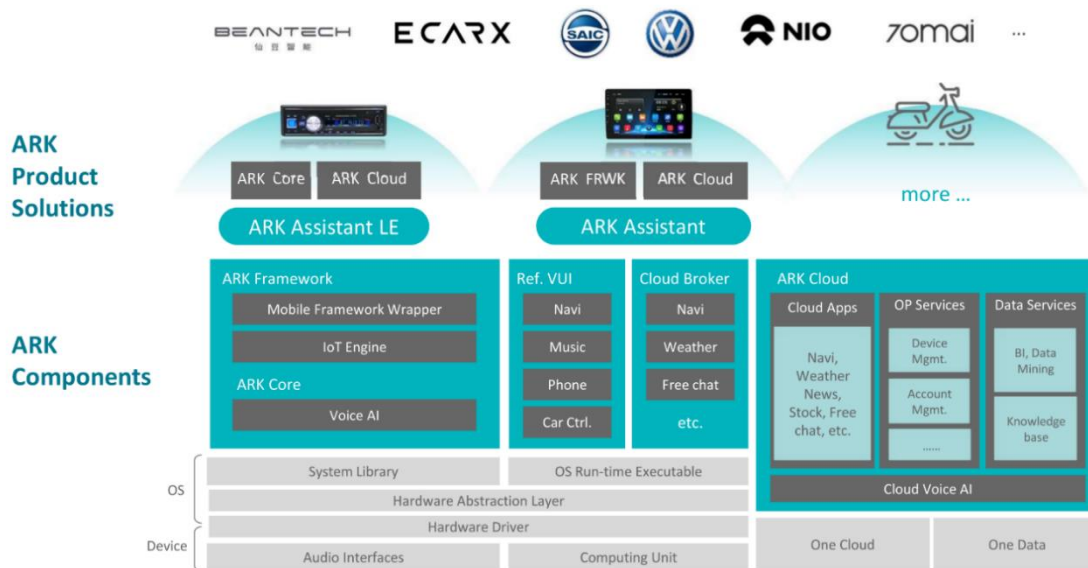
图表 49 车载语音识别硬件框架



资料来源：Cerence

对语音助手公司来说，其产品就是一套软件协议栈，通常不会提供硬件。

图表 50 Cerence 软件协议栈的主要内容



资料来源：Cerence

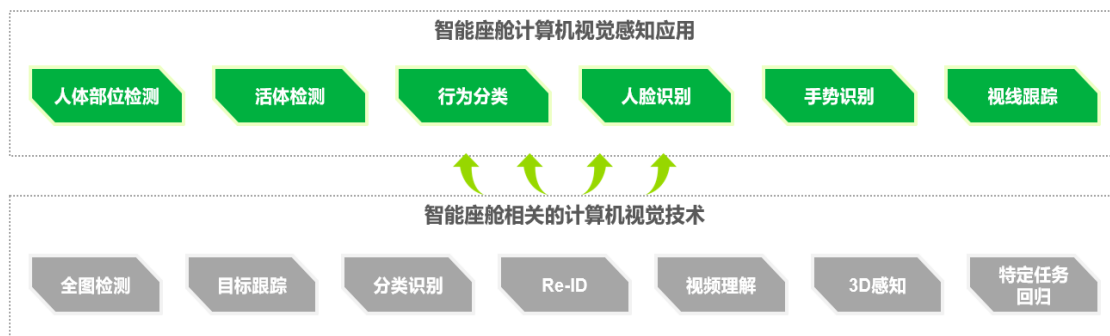
语音助手公司与车厂的合作有两种，一种是间接的，透过车机Tier1进行。一种是直接和整车厂合作，提供SDK。以Cerence为例，2020财年其56%的收入来自整车厂，44%来自车机Tier1。2020财年最大客户为丰田，占了Cerence 23%的收入。而在2018财年来自整车厂的收入只有36%，来自Tier1的有60%，显然整车厂有意跳过Tier1自己来搞座舱软件。

2.3.2 基于视觉感知的智能交互

心理学相关研究表明，人类接触的信息之中，来自于视觉的占比为 83%。计算机视觉技术，正是将从图像和视频中获取高级、抽象信息的能力赋予计算机。作为最大承载量的信息转换器，视觉基础技术是多模技术的重要基石。

在智能座舱领域，计算机视觉使用深度学习等先进技术，配合摄像头和显示器等输入输出设备，结合专业的 AI 计算芯片，及时有效地存储、传输、处理图像信息，帮助大幅度提升信息转化效率和用户体验。计算机视觉的底层技术可分为全图检测、目标跟踪、分类识别（粗细粒度）、Re-ID、视频理解、3D 感知及特定任务回归等。结合应用可以进一步扩展为人体部位检测、活体检测、行为分类、人脸识别、手势识别和视线跟踪等方向，这些视觉感知结果为座舱的人机交互提供了基础能力。

图表 51 智能座舱视觉感知应用



资料来源：IHS Markit

部分视觉感知结果可以单独作为核心要素，如人脸识别，可作为用户的 ID 描述产生直接价值。但更多的视觉感知结果则作为多模技术的输入，结合其他技术模块协同产生价值。例如唇部位置作为目标检测的结果，是多模语音技术的直接输入；眼部位置则是多模视线技术的基本输入；人体关键点的位置信息，则为行为识别提供了基本的结构化信息。具体而言，涉及以下几种：

手势交互：

手势交流是人的本能，在学会语言和文字之前，就已经能用肢体语言与人交流。它使人类能够与机器（HMI）进行通信，并且无需任何机械设备即可自然地进行交互。基于视觉的手势识别主要包括：手势分割、手势特征提取、静态手势识别、动态手势识别。

简单地说，手势识别就是一种用手势来直接控制计算机运算的一种技术，简单且便捷。当考虑一个操作是否合适加入手势交互设计时，需要考虑的因素涉及安全性、体验性和使用频次等。

汽车手势交互属于新兴的行为设计门类，具有巨大的发展潜力。与人脸识别、HUD 显示和语音命令等先进技术相结合，将更好的应用于汽车交互。

作为长安 UNI 系列的第二款车型，通过与地平线的合作，UNI-K 在智能座舱的功能设计上，引入了动态手势识别技术，驾驶员通过不同的手势交互可以实现接挂电话、调节音量、选择歌曲、控制导航、控制车辆（空调、座椅、窗户等）、拍照等功能，不会因触控屏幕而减少对路面的注意力，导致危险概率升高。同时，手势交互也让副驾和后排乘客操作系统也不再受距离限制，分享更尽兴。据悉，通过车机的 OTA 升级，用户还可不断更新隔空手势功能，给予安全持续进化的能力。

图表 52 长安 UNI-K 中控屏



资料来源：互联网

视线交互：

视线追踪技术可确定人在数字屏幕上的注视位置，反馈眨眼频率以及瞳孔对不同刺激的反应。该技术在智能手机、AR/VR 游戏等领域的人机交互有着广泛的应用前景。在智能汽车领域，通过实时模拟驾驶员的视野，根据驾驶员视线判断盲区，及时提醒可能存在的危险；当驾驶员眼皮下垂(犯困)或眨眼次数减少(走神)等，给出及时提醒。此外，通过视觉技术识别驾驶员的视线方向及焦点，可以精准实现分神提醒、视线亮屏等功能，提升安全驾驶。

情绪识别：

情绪识别原本是指个体对于他人情绪的识别，现多指 AI 通过获取个体的生理或非生理信号对个体的情绪状态进行自动辨别，是情感计算的一个重要组成部分。情绪识别研究的内容包括面部表情、语音、心率、行为、文本和生理信号识别等方面，通过以上内容来判断用户的情绪状态。在智能汽车领域，情感技术可能通过迎合人们的情绪来提高道路安全性。现代化的汽车装置实现了对使用者状态的非接触式检测，这为通过情绪调节系统促进安全驾驶行为铺平了道路。

全车智能语音交互（多音区识别）：

通过座舱双 MIC 或者 4MIC 技术，结合人声分离技术实现车内多音区多路语音识别，让车内每个用户都能享受出行乐趣的重点。地平线底层技术加持下，理想 ONE 利用车内的四个高灵敏度麦克风，结合领先的声源定位、盲源分离和降噪算法，能够实现对不同位置乘客的语音指令的精准区分和识别，快速响应乘客对于车辆设置、导航、音乐、视频等多种需求，让车内交互更加方便快捷。实测证明，该方案声源定位准确率高达 95%。

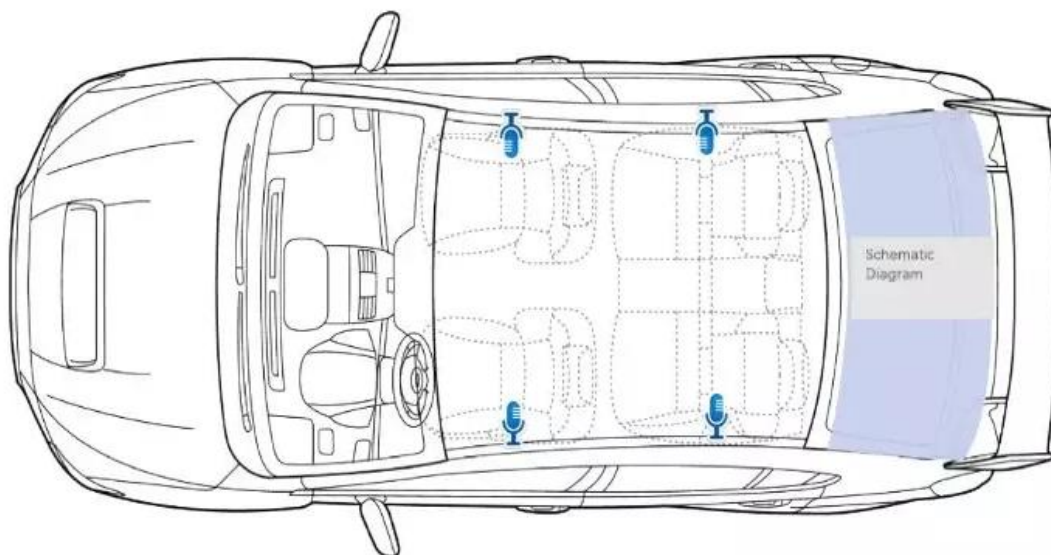
.....

图表 53 理想 ONE 车内四麦克风位置



资料来源：理想汽车

图表 54 地平线多音区分布式麦克风阵列示例



🎤 麦克风安装位置

资料来源：地平线

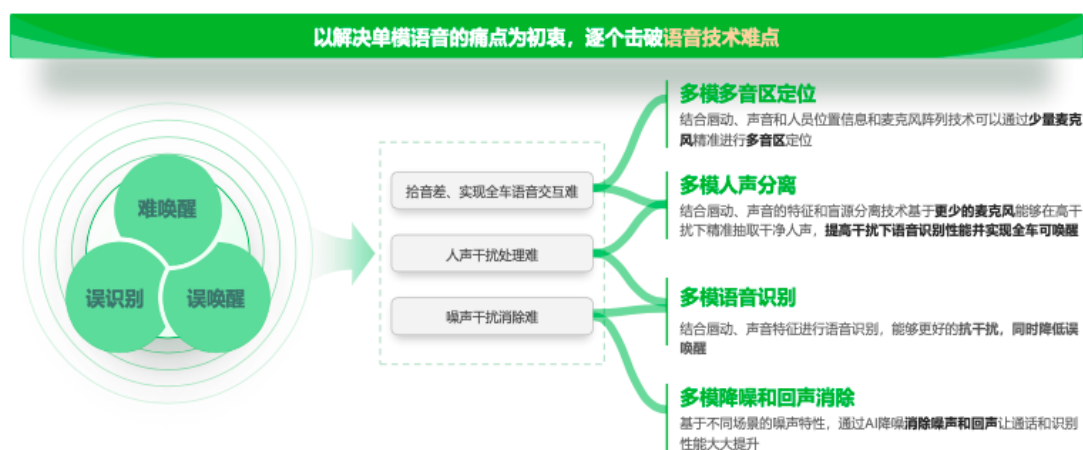
2.3.3 基于视觉+语音的多模交互

人机交互系统的核心是多模态交互，对应技术是多模感知的算法融合技术，从被动交互走向主导交互，实现个性化推荐，多模意图理解，多模态输出等。

多模语音是典型的多模融合技术，该技术深度融合了语音和唇部图像信息，有非常明显的优点，无论语音前端和语音后端都可以借助于多模技术提升算法性能。多模语音技术的主要优点主要体现在“跨界”图像信息的引入、误唤醒的控制以及音区个数的增加。

随着终端AI芯片的丰富算力能支持视频流和音频流的实时处理，结合视觉辅助的多模语音方案正成为技术演进的一大趋势。相较于纯语音算法日益趋缓的发展，多模语音方案不仅能够带来高噪声景下指标的显著提升，解决高噪环境语音方案难用的传统痛点，同时能更简单地解决“谁说了什么”的问题，大大提高使用体验。

图表 55 多模语音算法技术案例



资料来源：IHS Markit

谷歌在2018年推出论文《Looking to Listen at the Cocktail Party: A Speaker-Independent Audio-Visual Model for Speech Separation》，第一次通过实验证明引入视觉模态能够实现相近人声甚至相同人声的分离。此后，多模语音算法的研发开始在产业界发端，包括奈飞、谷歌、地平线、科大讯飞等企业都在进行这一前沿技术的研发。

图表 56 多模语音算法技术框架



图表 57 多模识别算法框架



多模语音的融合方案分为前融合和后融合。前融合即以一个模型对多种感知数据进行融合处理并输出结果；后融合则是先对不同来源数据分别进行感知处理再对其结果进行融合计算。

图表 58 多模语音的前融合与后融合



前融合在数据补全和精度上有着绝对优势，但同时也面临着数据来源、时空同步等难题。目前，国内采用前融合实现多模语音落地的仅为地平线与科大讯飞寥寥几家。地平线多模语音技术方案在长安 UNI-T 上实现了多模命令词，这也是业内首个量产落地的多模命令词。

作为世界上第一款能够读懂唇语的车，长安 UNI-T 在复杂噪声场景中，对命令词的召回率高达 90% 以上，是某顶尖竞品公

司同类方案召回率的 9 倍。尤其在高噪声场景下，车内语音识别得以超越单模限制，听得更清。



2.4 AR 导航

AR 导航是顶级豪华车的功能，目前奔驰 S 级和电动车都配备 AR 导航，奔驰的 A 级也可以选配。凯迪拉克在 2022 年发售的凯雷德、宝马在 2022 年发售的 ix 旗舰电动车、现代 Genesis 的第一辆电动车 GV80 上配备了 AR 导航。

AR 导航有 HUD 显示和车内屏幕显示两种，AR-HUD 目前只有奔驰 S 级做到。简单地说，车内屏幕显示的 AR 导航是用一个非鱼眼的常规镜头相机把车前图像传输到屏幕上，再与 GPU 渲染的导航图标叠加。

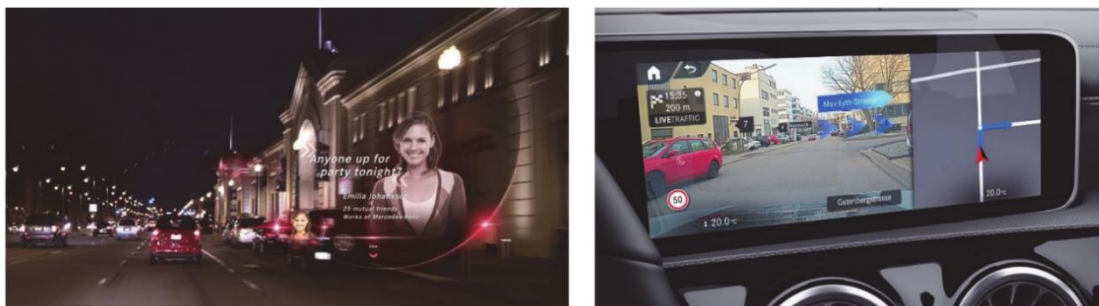
图表 59 凯雷德 AR 导航



资料来源：通用汽车

以凯迪拉克凯雷德上的 AR 导航为例，AR 导航显示默认是在仪表屏上，也可以显示在其他屏上。

图表 60 奔驰 AR 导航



资料来源：奔驰

奔驰的 AR 导航默认显示是显示在中控屏上，不仅可以显示图标，还可以显示文本。

AR 导航难度极高，对软硬件皆是如此。硬件方面，需要高精度定位，最好是车道级定位，车辆姿态要准确，需要高精度的 IMU。需要强大的 GPU 和至少 10 英寸以上显示屏。软件方面，如何设计图标，即简洁直接又不影响视线。需要准确估算深度或者说距离，需要考虑延迟。车辆姿态预测。

图表 61 AR 导航的车辆姿态预测

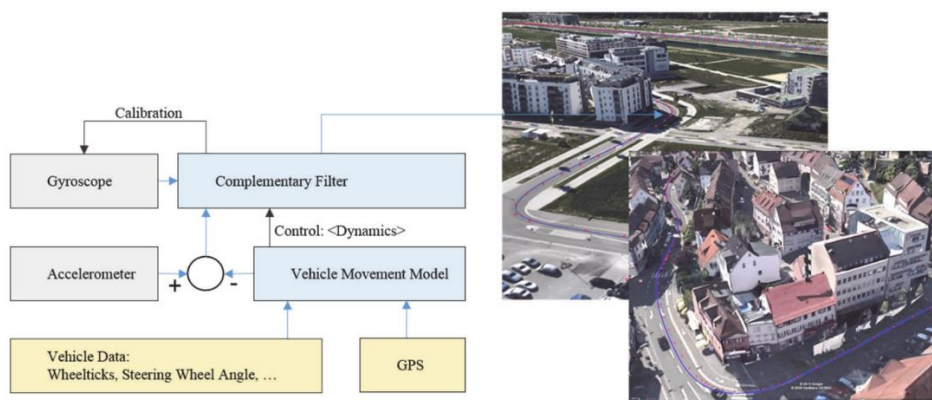


Fig. 4 Sensor fusion data flow for in-vehicle pose estimation (left). Visualization of pose data (blue line) and raw GPS data (red dots) are in Google Earth (right).




资料来源：奔驰

2.5 接收音频流媒体与卫星收音

在美国，汽车音频还是主流，消费者对卫星收音和音频流媒体需求旺盛，卫星需要加装卫星接收模块。音频流媒体则大多是收费的流媒体。卫星方面只有 SiriusXM，流媒体就比较多，比较受欢迎的有 Spotify 和 Tidal，美国高端座舱车机必备 SiriusXM。

SiriusXM（天狼星 XM）是一家卫星广播巨头。现在美国销售的大部分汽车上，都能看到预装的 SiriusXM 应用，并且提供 3-6 个月不等的免费试用期，方便购买新车的人免费试用。它提供丰富的电台节目，除了新闻、体育赛事转播外，聊天对谈、脱口秀喜剧节目也是很多人的最爱。其会员模式有三种，请参见下图。

图表 62 SiriusXM 会员模式

STREAMING	CAR + STREAMING	CAR + STREAMING
<p>Premier</p> <p>\$1 for 3 Months</p> <p>with a Premier subscription. Then \$13 a month. Fees and taxes apply. See Offer Details below.</p>  <p>Our premium streaming package. Listen on your phone, at home, and online. View Channel Lineup</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 300+ channels to enjoy on your phone, at home, and online ✓ News, entertainment, comedy, and sports ✓ Ad-free music for every genre and decade, plus streaming channels for your party, workout, and more ✓ Thousands of shows and videos available on demand ✓ Top sports talk and analysis ✓ NHL®, NCAA® play-by-play ✓ NFL play-by-play ✓ Create your own stations based on artists or songs you choose ✓ Two dedicated Howard Stern channels, including video 	<p>Select</p> <p>\$5/mo for 12 Months</p> <p>Then \$16.99 per month. Fees and taxes apply. See Offer Details below.</p>  <p>All your favorites. Listen in your car, on your phone, or at home. Channel lineup varies by radio device. View Channel Lineup</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 325+ channels, including 155+ in your car, plus even more you can stream on your phone, at home, and online ✓ News, entertainment, comedy, and sports ✓ Ad-free music for every genre and decade, plus streaming channels for your party, workout, and more ✓ Thousands of shows and videos available on demand ✓ Top sports talk and analysis ✓ MLB®, NBA, NHL®, NCAA® play-by-play 	<p>All Access</p> <p>\$8.25/mo for 12 Months</p> <p>Then \$21.99 per month. Fees and taxes apply. See Offer Details below.</p>  <p>Our widest variety of entertainment, with the power to customize it to you. View Channel Lineup</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 350+ channels, including 165+ in your car, plus even more you can stream on your phone, at home, and online ✓ News, entertainment, comedy, and sports ✓ Ad-free music for every genre and decade, plus streaming channels for your party, workout, and more ✓ Thousands of shows and videos available on demand ✓ Top sports talk and analysis ✓ MLB®, NBA, NHL®, NCAA® play-by-play ✓ NFL play-by-play and NASCAR® races ✓ Create your own stations based on artists or songs you choose ✓ Two dedicated Howard Stern channels, including video

资料来源：SiriusXM

Tidal 作为新的音乐流媒体平台，这几年越来越为大众熟悉，尤其是 2015 年被传奇说唱歌手 Jay-Z 收购后，背后许多音乐人支持。Tidal 并不提供免费版本，但有免费试用期。Tidal 最大的特点是提供高音质的音乐：普通 Premium 套餐提供 320Kbps 普通音质串流，高级 HiFi 套餐 TIDAL Masters 提供最高 24bit/96kHz（码率 1411Kbps）、号称“录音室级别”音质。

Google 在 2015 年推出 YouTube Music 服务，使得 2011 年推出的 Google Play Music 位置十分尴尬；2018 年宣布 Google Play Music 将关闭，音乐库等都将过渡到 YouTube Music 平台；通过 YouTube Music 播放时，都将自动转换成 256Kbps AAC 格式播放，不过用户可以使用 Google Takeout 工具下载音乐库音乐文件的时候，下载的将是原始文件。

Amazon Prime Music HD 提供超过 5000 万首高品质音乐，格式为 16-bit, 44.1kHz（接近 CD），而数百万首超高音质音乐格式为 24-bit, 192kHz。高品质与超高音质都将以无损的 FLAC 格式播放，高品质的码率为 850kpbs，超高音质码率最高为 3750kpbs。可以在 Amazon Echo Studio 上使用 Sony 360 Reality Audio 和 Dolby Atmos 杜比全景声音乐。

2008 年 10 月在瑞典首都斯德哥尔摩正式上线的 Spotify，现在已经成长为最著名、最流行的正版流媒体在线音乐服务平台。截止 2020 年第一季度的报告，Spotify 在全球拥有 2.86 亿月活跃用户，其中 1.3 亿为 Spotify Premium 付费用户。Spotify 应该是综合体验最好的音乐平台之一，音乐版权相当丰富。现在除了音乐外，Spotify 也大力发展 Podcast 播客服务，牢牢抓住用户耳朵。Spotify 的中文歌曲版权也十分丰富，用户可以直接使用中文搜索。Spotify 在个性化推荐上也被许多用户津津乐道，用户也可以自己直接建立歌单，通过社交平台分享给朋友。用户也可以访问一些音乐达人、大 V 建立的歌单。



2.6 电子倒车镜

电子倒车镜（侧后视镜）Camera Monitor System（CMS）。

图表 63 奥迪 E-TRON 的电子后视镜



资料来源：奥迪

电子倒车镜即用电子方式取代传统的玻璃镜面倒车镜，它有很多个名字，有叫电子侧视镜，虚拟倒车镜，电子倒车镜，电子取代镜等，ISO 国际标准组织称其为摄像头监控系统，即 Camera Monitor System。

奥迪已经量产的 E-Tron 纯电动 SUV 提供的类似功能的选装（1,250 欧元，折合人民币约 9,500 元）以及雷克萨斯选装（1,900 美金）。

本田 e 是全球首款提供全系标配 CMS 的车型。本田旗下首款纯电动微型车本田 e 于 2020 年夏天在欧洲上市销售，德国价格为 33,470 欧元起，折合人民币约 261,745 元。大众非常冷门车型，柴油混动近乎概念车的 XL1 也标配 CMS，这款车在 2013 年上市，最近复出，特别增加 CMS。特斯拉推出的首款纯电动皮卡 Cybertruck 也采用了 CMS。奔驰 2019 年 6 月推出的新一代顶级卡车 Actros 则是全球第一款标配 CMS 的卡车，CMS 系统由博世提供。顶级跑车阿斯顿马丁则采用了 Gentex 的 CMS 系统，与众不同的是其屏幕与电子后视镜合二为一，没有单独屏幕。现代的豪华品牌 Genesis 第一辆电动车 GV60 采用 CMS 系统。

图表 64 Genesis GV60 的座舱



资料来源：现代汽车

图表 65 索尼 Vision-S 的座舱



资料来源：索尼

奥迪 E-Tron 上的 CMS 由西班牙 Ficosa 供应，据说历时十年才研发成功，Ficosa 在 2015 年被松下收购了 49% 的股份，2017 年再被收购 20% 的股份，松下已经控股该公司。用户图形界面则是由中科创达旗下的 Rightware 公司提供的 Kanzi 软件做支持。大众 XL1 的 CMS 由 Kappa 供应，雷克萨斯的 CMS 可能由电装欧洲设计，RT-RK 提供算法，使用德州仪器的 TDA2 或 TDA3，帧率达 60Hz。本田的可能是由日本电产供应。法雷奥和日本市光也计划在 2021 年推出 CMS 系统，用于日产的高级车型上。全球最大的倒车镜厂家麦格纳也有成熟的 CMS 系统。

图表 66 奥迪 e-tron 在 CMS 系统



资料来源：奥迪

奥迪 e-tron 在 CMS 系统搭载了两个 7 英寸、1280x1080 的 OLED 屏幕。据称是 OLED 屏响应速度快大约 100 毫秒。奥迪表示，外侧摄像头系统有助于将阻力系数从美国版的 0.28 提高到欧洲版的 0.27。对于纯电动汽车来说，在高速公路上，这个微小的差别可以增加 3 英里的续航里程。这个非规则形状的 OLED 屏成本极高，且角度略低，容易导致驾驶员分心，下一代奥迪很有可能改回标准矩形，放在 A 柱附近。

图表 67 雷克萨斯 ES350 选配 CMS



资料来源：雷克萨斯

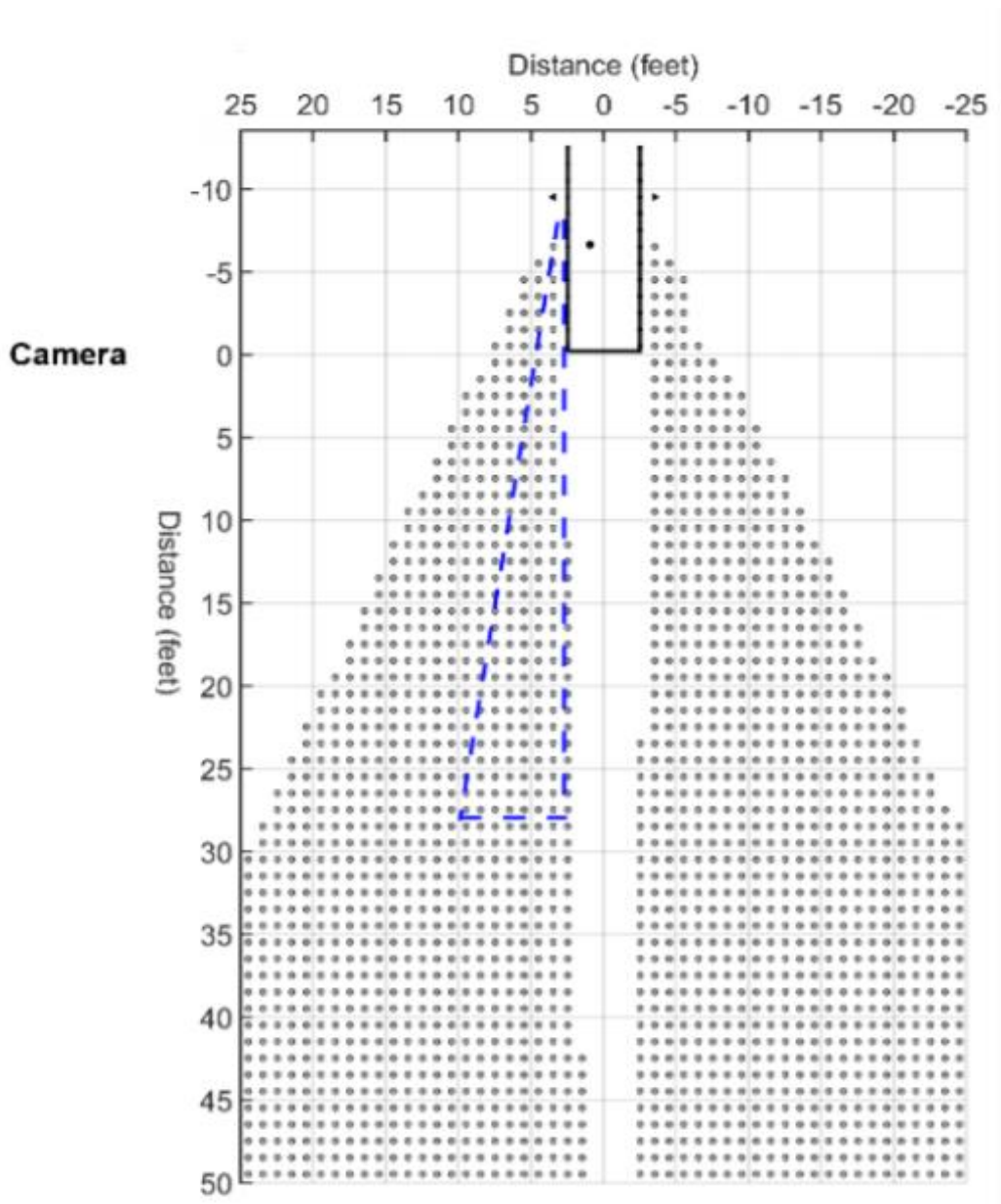
雷克萨斯 ES350 可选配 CMS，屏幕尺寸为 7 英寸，下雨天表现远比传统玻璃倒车镜要好太多。也有类似于毫米波雷达的盲点提醒功能。夜视效果也远比传统玻璃倒车镜要好。

图表 68 雷克萨斯 ES350 选配 CMS 夜晚表现



资料来源：雷克萨斯

图表 69 典型的 CMS 与传统玻璃倒车镜的 FOV 对比



资料来源：NHTSA

与传统玻璃倒车镜比最大优势在于 FOV 的拓宽和有效距离的延伸，上图为典型的 CMS 与传统玻璃倒车镜的对比，蓝虚线为传统玻璃倒车镜的 FOV，传统玻璃倒车镜的 FOV 大约为 15 度，典型 CMS 为 35 度。

图表 70 CMS 与玻璃倒车镜有效距离对比

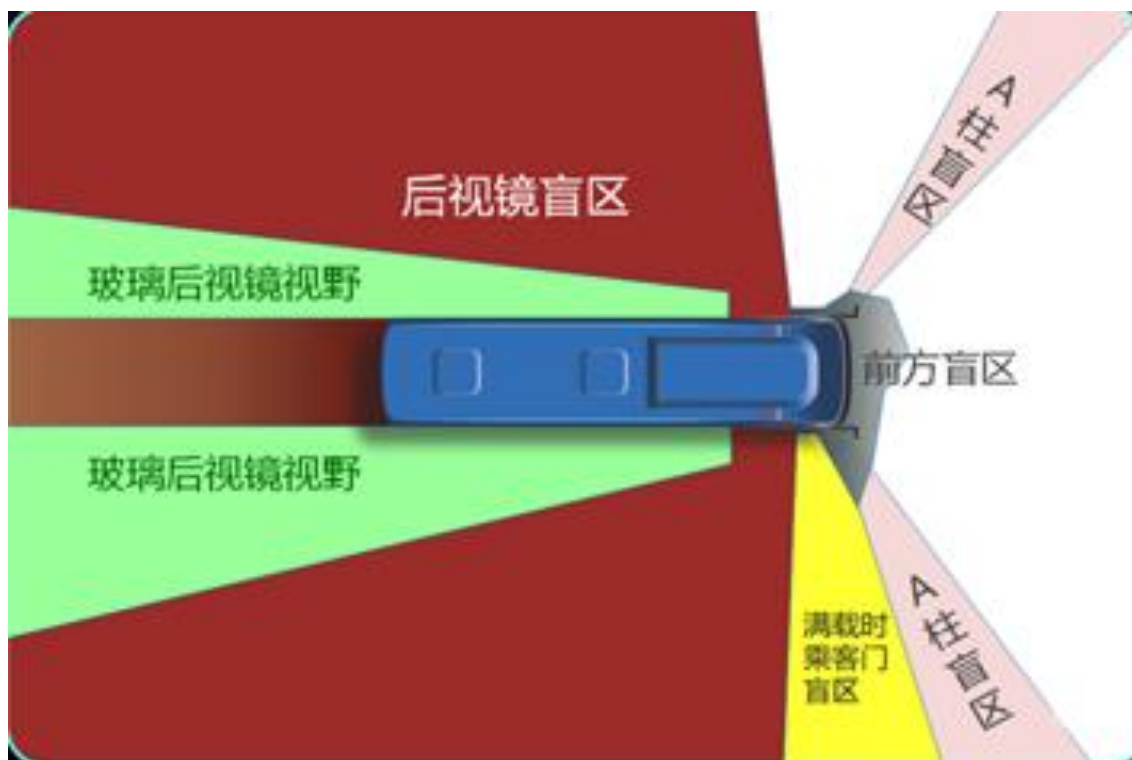
Day/Night	Test Object Position		Sedan		Posable Child Mannequin	
	Longitudinal Location With Respect to Test Vehicle Bumper	Driver/Passenger Side	CMS	Mirrors	CMS	Mirrors
Day	5 ft (1.52 m) aft of front	Driver	Visible	No	No	No
		Passenger	Visible	No	No	No
	10 ft (3.05 m) aft of front	Driver	Visible	No	No	No
		Passenger	Visible	Visible	No	No
	15 ft (4.57 m) aft of front	Driver	Visible	No	No	No
		Passenger	Visible	Visible	No	No
	5 ft (1.52 m) aft of rear	Driver	Visible	Visible	Visible	No
		Passenger	Visible	Visible	Visible	Visible
	16.4 ft (5 m) aft of rear	Driver	Visible	Visible	Visible	Visible
		Passenger	Visible	Visible	Visible	Visible
	32.8 ft (10 m) aft of rear	Driver	Visible	Visible	Visible	Visible
		Passenger	Visible	Visible	Visible	Visible
	82 ft (25 m) aft of rear	Driver	Visible	Visible	Visible	Visible
		Passenger	Visible	Visible	Visible	Visible
Night	5 ft (1.52 m) aft of front	Driver	Visible	No	No	No
		Passenger	Visible	No	No	No
	10 ft (3.05 m) aft of front	Driver	Visible	No	No	No
		Passenger	Visible	Visible	No	No
	15 ft (4.57 m) aft of front	Driver	Visible	No	No	No
		Passenger	Visible	Visible	No	No
	5 ft (1.52 m) aft of rear	Driver	Visible	Visible	Visible	No
		Passenger	Visible	Visible	Visible	No
	16.4 ft (5 m) aft of rear	Driver	Visible	Visible	Visible	No
		Passenger	Visible	Visible	Visible	No
	32.8 ft (10 m) aft of rear	Driver	Visible	Visible	Visible	No
		Passenger	Visible	Visible	No	No
	82 ft (25 m) aft of rear	Driver	Visible	Visible	No	No
		Passenger	Visible	Visible	No	No

资料来源：NHTSA

上表为 CMS 与玻璃倒车镜对比，CMS 对于消除盲区非常有效，夜晚优势更明显。

商用车特别是客车上 CMS 更有价值。

图表 71 商用车盲区



资料来源：重汽

重型高底盘商用车盲区非常大，也是造成事故的主要原因之一。公交车因为行驶速度不高，正向一般不会发生碰撞，但是公交车最常见的安全事故就是在转弯时，在车辆的侧面发生刮蹭安全事故，一旦出现这种事故，会带来人身的伤亡、财产的损失，还会给公交公司带来很大的舆论压力和管理压力。车辆的内轮差，大家肯定都清楚，前后轮因为转弯的轨迹不一样，存在内轮差的陷阱，在这个盲区中，司机是看不到的。玻璃补盲镜，但是这个也会带来更多的问题，视觉变形大，需要司机

来回的切换视线，容易形成人注意力的分散。与此同时还有光线的问题，玻璃后视镜夜间很难提供清晰的成像，如果在夜间+雨天基本上是完全失效的，什么也看不见，高速上下雨天根本不敢变道。

奔驰在 2019 年推出的旗舰卡车 Actros 上标配了 CMS 系统，奔驰称之为 MirrorCam 系统。

图表 72 奔驰 Actros 标配了 CMS 系统



资料来源：奔驰

采用双摄像头设计，屏幕尺寸为 15.2 英寸，分辨率为 720*1920。

图表 73 德国大陆为奔驰公交车提供的 CMS 系统



资料来源：大陆汽车

上图为德国大陆为奔驰公交车提供的 CMS 系统，采用双摄像头设计，一个 FOV 为 60 度，一个为 100 度。分辨率为 100 万像素，26*26*46 毫米尺寸，IP69K 级防护，LVDS 界面。显示屏为 12.3 英寸，IPS HD 屏。

目前全球只有日本和欧洲的法规允许使用电子后视镜系统代替玻璃视镜。欧洲法规方面主要有 **UN ECE R46-2016** 《关于间接视野装置及安装间接视野装置车辆认证的统一规定》和 **ISO 16505-2019** 《摄像头监视系统的人体工程学和性能方面的要求和试验程序》。还有一个法规 **IEEE P 2020 Standard for Automotive System Image Quality**（车载相机图像质量标准），**IEEE P2020** 希望规范是车上的所有的摄像头图像质量相关的测试和问题。无论是人类视觉应用，还是计算机视觉应用都在其范畴。并且其主要规范的就是摄像头成像系统的图像质量。

中国的法规方面，中国法规 **GB 15084-2013** 《机动车辆间接视野装置性能和安装要求》目前允许安装电子后视镜，但还不允许电子后视镜取代玻璃后视镜，在未来 1 到 2 年内 **15084** 的升版会跟上 **UN ECE R46-2016**，下一次升版可能会允许取代。

美国 **NHTSA** 在 2014 年允许使用 **CMS**，但不能完全取代传统玻璃反射镜。商用车方面特别开了绿灯，2019 年 1 月起，可以试用 5 年，用 **CMS** 取代传统的玻璃反射镜。**SAE** 正在制定的 **J3155** 标准则允许乘用车也用 **CMS** 取代传统的玻璃反射镜。

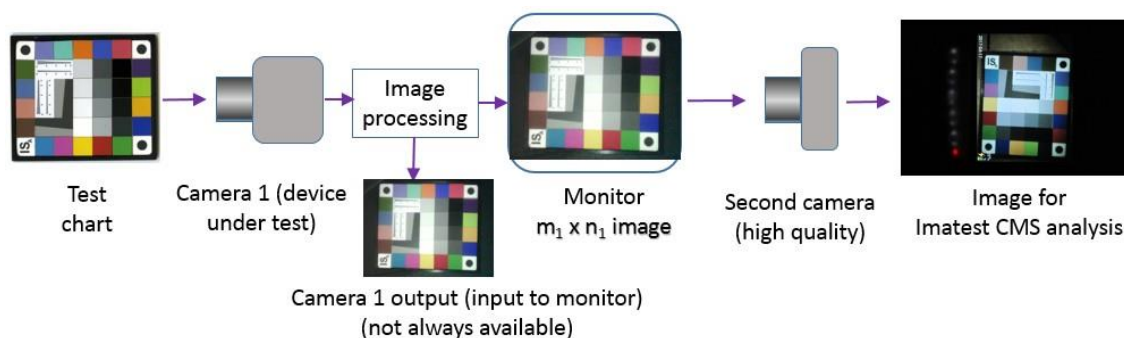
ISO 16505 标准的目的是为摄像机监控系统(CMS)提供最低限度的行驶安全、人体工程学的性能要求及测试方法，以取代道路车辆的强制性内外后视镜。在可能的情况下，为提供特定法律规定的视角的 CMS 所确定的要求是基于提供该视场的传统镜面系统的特性。

在需求定义和性能测试方面，CMS 被视为一个功能系统。ISO 16505 国际标准概述了有关 CMS 的基本方面的一般要求和测试方法，例如预期用途、操作准备、视野、放大率等。

此外，该国际标准概述了关于 CMS 提供的必要对象大小和分辨率的要求和测试方法。除了要更换的反射镜系统的特性外，这些要求也是基于人体操作人员的物理方面(例如视力)。如给定的需求遵循这样的假设，即 CMS 提供了真实世界场景的理想映射。

为了与现实相对应，该国际标准还对所有使理想映射(如各向同性或人工制品)恶化的相关参数提供了要求和测试方法。标准给出了时间行为和故障行为方面的要求和测试方法。包括针对 ISO26262 的功能安全。

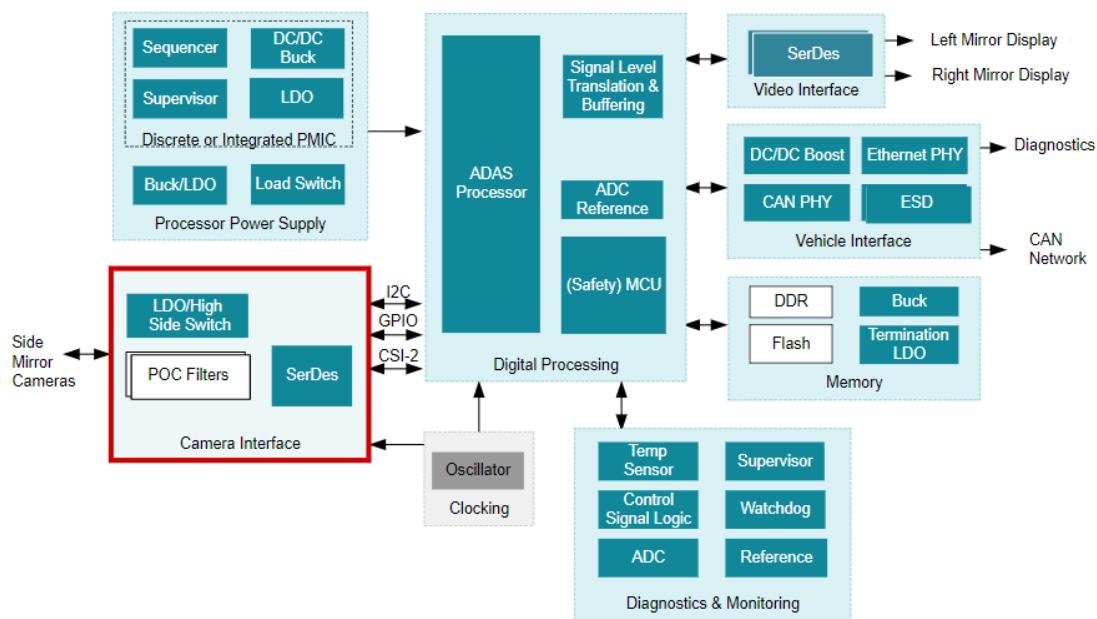
图表 74 CMS 测试流程



资料来源：互联网

CMS 的测试异常复杂，设备设施昂贵，需要专业的图像实验室。要测试解析度，亮度和对比度，Sharpness，景深，均匀度，色彩还原性，Artefacts，几何畸变，帧率延迟等等。测试软件一般是 Imatest，主要是测试传感器本身。清晰度是 ISO-16505-SFR，MTF 分析。噪点是 ISO16505-GreyScale 噪声卡，ISO-16505-CB 棋盘格卡测试畸变。ISO-16505-Color 测试色彩，ISO-16505-Gray18 测试 18%灰卡。

图表 75 ADAS 加 CMS 系统电路架构图



资料来源：德州仪器

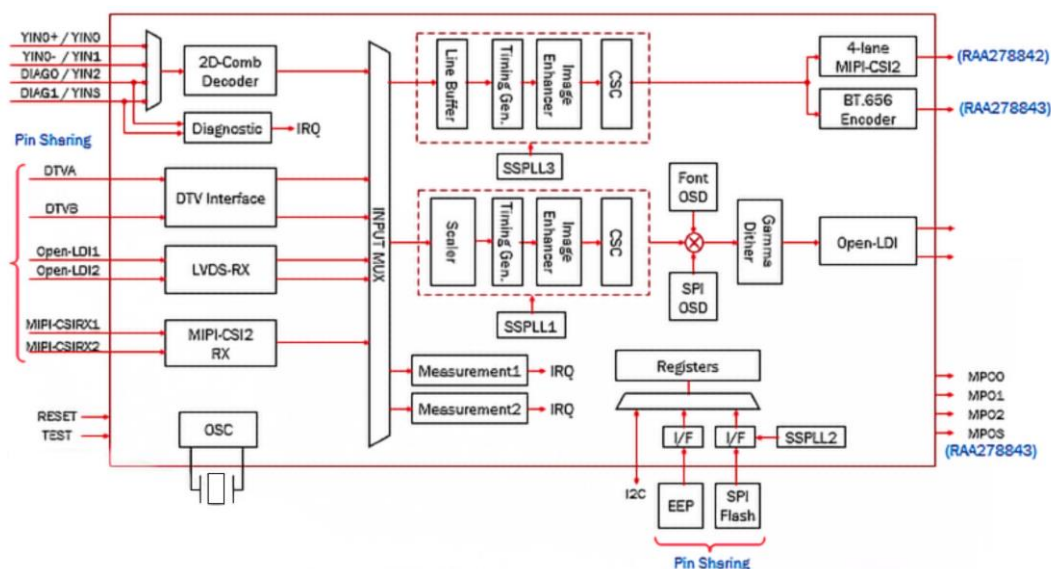
CMS 可以分为纯显示型和显示加 ADAS 型，雷克萨斯的是典型的显示加 ADAS 型，能够检测车辆或行人，比毫米波雷达盲点探测更直观更准确。其电路架构如上图，需要两对解串行芯片，成本不低。POC 即通过同轴电缆供电，德州仪器的解串行提供 POC 收发器，减少供电电路布设的麻烦。德州仪器推荐使用 DS90UB953 和 DS90UB954，带宽 4.16Gbps，最高支持 200 万像素每秒 60 帧或 400 万像素每秒 30 帧。

纯显示型可以采用三种设计：一是 FPGA；二是瑞萨的 ASIC；三就是还选择解串行加视频编解码器芯片。FPGA 首选 Lattice 的，价格比较低。

FPGA 的灵活度最高，适应面最广，比较适合 4 摄像头的商用车 CMS，这个 FPGA 的门数较少，但毕竟是 FPGA，使用起来还是需要比较高的技术水平的。欧洲的商用车基本都是采用 FPGA 方案。

瑞萨在 2019 年 9 月量产 RAA278842 和 RAA278843。

图表 76 RAA278842 框架图



资料来源：瑞萨

RAA278842 框架图如上，输入方面拥有 MIPI CSI 4 通道最高 4Gbps 的带宽，输出有单双 LVDS 通道，最高支持 1920*1080 分辨率，还有 YCbCr 4:2:2 输出，也有一个 MIPI CSI 4lanes 输出，也支持 YUV422 和 24 比特 RGB 输出。

还有 OSD 显示，无需外加微控制器基于 SPIFlash 的屏幕显示（OSD），能够在九个窗口中显示位图图形任意水平和垂直缩放器，可显示汽车制造商的徽标或实时摄像头视频。控制器的屏幕显示功能还可以模拟仪表盘应用中的传统警示灯检查。

以上两款控制器均符合 FMVSS-111 安全法，即要求在驾驶员将车辆置于倒档后小于两秒的时间内显示车辆后方的盲点区域。其集成的视频诊断功能可检测传入的视频是否已卡顿或损坏，并为后置摄像头拍摄的视频提供直接路径，以便在 LCD 上显示，显著提升后置摄像头显示的可靠性，几乎消除了因软件相关问题而导致的后置摄像头视频显示不正确或根本无法显示的可能性。由于某些应用处理器需要几秒钟才能启动（取决于操作系统），RAA278842 可以在 500 毫秒内将摄像头图像显示在 LCD 上，从而满足许多 OEM 快速启动的要求。

RAA278842 和 RAA278843 可与瑞萨 R-Car 系列 SoC、RH850 系列 MCU 和 RL78 系列 MCU 相结合，也可以使用 ISL78302 双 LDO、ISL78322 双 2A/1.7A 同步降压稳压器和 ISL78228 双 800mA 同步降压稳压器为汽车信息娱乐系统板载的 RAA27884x 及其它 IC 供电。

显示屏方面，尺寸不能太大，毕竟 A 柱附近空间有限，也不能太小，否则看起来太吃力。6 寸或 7 寸是最合适的尺寸，分辨率尽量高。目前 7 寸以下量产车载显示屏最高分辨率为 1,280*720，且只有一款，就是群创的 NJ068IA-07A。6.8 寸，对比度为 900: 1，亮度为 550 cd/m² (Typ.)。工作温度为 -20 ~ 70° C，存储温度为 -30 ~ 80° C，耐振动性为 1.5G (14.7 m/s²)。采用 40 脚单通道 LVDS 界面。亮度略低，工作温度略窄，若放宽分辨率到 1,024*768，则有京东方的 TV070Z8M-NC0-28P0 可选择，7 寸，对比度为 900: 1，亮度为 100 cd/m² (Typ.)。工作温度为 -30 ~ 85° C，存储温度为 -40 ~ 90° C。

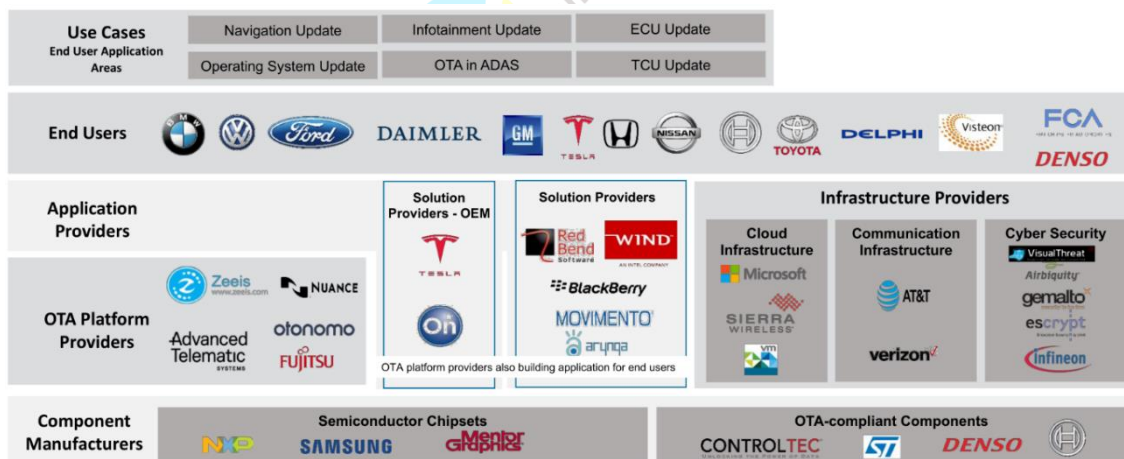
图像传感器方面，自然是要求高动态范围，像素数不用太高，毕竟显示屏的分辨率也不高。帧率要求达到 60Hz，且是 RGB 格式，不少车载图像传感器是用来做机器视觉的，大都是单色的。安森美的 AR0132AT 和索尼的 IMX224 比较合适。

2.7 OTA

OTA 即空中升级，一般分 FOTA 和 SOTA。前者为固件 OTA 难度远高于后者软件 OTA，前者可简单看成 ECU 功能或控制策略的升级，后者主要是应用软件的升级，如导航地图等。

特斯拉最早使用 FOTA，其 OTA 供应商是三星哈曼，也是全球最大的 OTA 供应商，几乎垄断 FOTA 市场。三星哈曼 OTA 能力来自 2015 年收购的以色列厂家 Redbend，当年收购价格为 0.99 亿美元股票和 0.71 亿美元现金，仅 1.7 亿美元，收购价格可谓相当低。Redbend 也是手机领域第一大 OTA 供应商，市场占有率超过 70%。

图表 77 OTA 生态结构

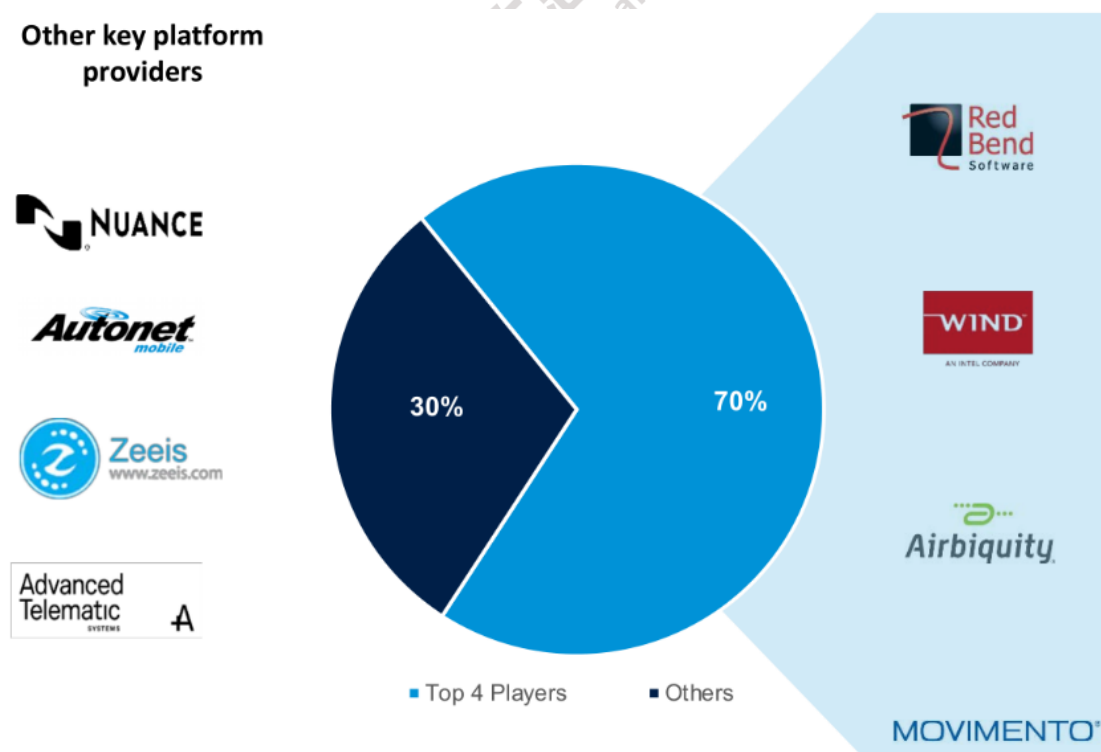


资料来源：互联网

并非是特斯拉技术领先其他车厂才让特斯拉拥有 FOTA 能力，而是绝大部分车厂为了降低研发成本，提高研发成果复用率，减少研发时间，避免新架构带来的风险，绝大部分车厂的 E/E 架构都很老，传统车厂一般一个车型生命周期是 7 到 8 年，而 E/E 架构延续使用一般是两代，大多是本世纪初的水平。

典型的如大众，就算是最新的旗舰奥迪 Q8，E/E 架构中的 Infotainment 还是 MOST 总线，这是 1998 年的设计了。当然大众已经痛改前非，2020 年导入全新的 MEB 平台。特斯拉没有历史包袱，可以使用最新的技术。

图表 78 OTA 供应商市场占有率



资料来源：瑞萨

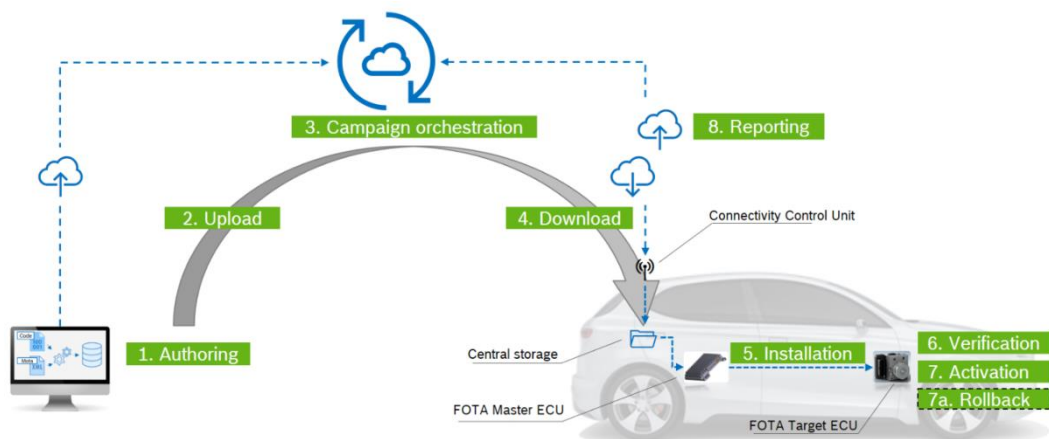
实际 OTA 能力有限，因为目前很多功能受限于硬件的性能，中低端汽车硬件的性能落后手机领域 10 年以上，甚至 15 年以上，可能连在板编程或足够的 Flash 空间都没有。还有很多机械部件的缺陷或错误，当然无法靠 OTA 解决。想要软件定义汽车对硬件要求极高，那种汽车注定只能是高端车。

图表 79 OTA 的三种主要类型

Type of partnerships	Opportunity Area	Key OTA partnerships for solution delivery (SOTA/FOTA)
<p>OEMs and Tier-1s</p> <p>OTA solution providers/telecom providers/component providers</p> <p>to build over-the-air(OTA) enabled solutions</p>	<p>Service providers can partner with OTA solution providers to update the application for OEMs and Tier 1</p>	<p>BlackBerry BlackBerry's QNX software already powers Ford's interactive SYNC 3 infotainment system in more than 60 million cars</p> <p>Red Bend Red Bend Software's Smart Delta technology allows Tesla to replace the code over the air, instead of replacing the entire file</p> <p>verizon Develop a connected vehicle equipped with Verizon's LTE Multicast technology to offer vehicle manufacturers an unparalleled solution for FOTA updates</p> <p>NXP NXP's secured gateway processors, embedded with the new HARMAN update management technology, will enable every ECU, regardless of memory, CPU or network resource, to benefit from secure OTA updates.</p>
<p>Application providers</p> <p>OTA solution providers</p> <p>to deliver over-the-air(OTA) app updates</p>	<p>Partner with OTA solution providers to provide solution to application providers</p>	<p>Red Bend Red Bend automatically delivers OTA updates of new user interface elements, maps and points of interest to Garmin's K2 infotainment platform</p> <p>Autonet Remote over-the-air (OTA) updates for Connected Vehicles</p> <p>Red Bend Update Automotive ECUs using Delta and Over-the-Air (OTA) Technology</p> <p>Red Bend Red Bend offers an over-the-air (OTA) software update solution for Link Motion to ensure the IVI platform is relevant and easy to maintain</p>
<p>Telecom providers</p> <p>OTA solution providers</p> <p>to build over-the-air(OTA) compatible operating systems</p>	<p>Service provider can partner with OTA providers to build/update customised applications</p>	<p>AT&T Autonet For smartphone based over-the-air (OTA) update solutions, drivers use Autonet Mobile's integrated telematics solution to control their connected cars remotely through an app on their smartphone</p>

资料来源：瑞萨

图表 80 FOTA 流程



资料来源：瑞萨

典型的先进的 FOTA 流程分 8 个步骤：第一步是授权给电信运营商。第二步是将要更新的数据上传到电信运营商的服务器中。第三步是 OTA 的活动编排，包括与驾驶员和车辆的互动，对比前后软件版本大小，提出差分包，询问驾驶员升级安排。OTA 供应商的主要工作就在这个环节。Redbend 之所以市场占有率超过 50% 就是因为其更新包最小，无需考虑操作系统，无需考虑芯片或存储器等硬件限制。

第四步是汽车上的 T-Box 下载更新包，下载后放在中央存储器中。第五步是加载在 FOTA 主 ECU 上，也就是中央网关 ECU，由中央网关分发到目标 ECU。第六步，目标 ECU 确认无误。

第七步是激活，自适应 Autosar 的 FOTA，类似 Windows 的 A/B 分区升级，旧软件在 A 区，新软件在 B 区，新软件不会对旧软件造成任何中断，检测到发动机或驱动电机关闭且处于驻车

状态一次后（即真正重启后），即以 B 区启动。某些老旧的 OTA 设计不合理，一旦启动 OTA 就全车锁死，一动不动。在激活前，ECU 会诊断新软件的可靠性或准确性，如果发现有误，则自动回滚到升级前的状态，并将这个错误回报云端。如果准确无误，就激活新软件。第八步，回报云端服务器。

这种 FOTA 离不开 Redbend 这样第三方的支持，OEM 或 Tier1 的工作量不小，没有统一的标准。

自适应 Autosar 为此特别增加了一个 UCM 模块来对应 OTA，UCM 定义了 OTA 过程中各种数据格式、接口和流程，让 FOTA 变得易如反掌，人人都能像特斯拉那样 OTA。UCM 即 Update and Configuration Management，它通过自适应 Autosar 的 ara::com 服务界面实现各种功能，没有直接的 API，也就是说任何 ECU 里都不需要添加 UCM。而特斯拉现在有些 OTA 是需要自己开发 API 的。人人都能像特斯拉那样 OTA，并且比特斯拉更先进。此外，UCM 可以将软件包存储到本地存储库中，在此处可以按照 UCM Client 或 UCM 主 Server 请求的顺序处理软件包，无需等待数据缓冲。传输阶段可以与处理阶段分离，UCM 支持不受限制地从多个 Client 接收数据。这都是特斯拉无法做到的。

2.8 后排控制系统

图表 81 奥迪 A8 后排



资料来源：奥迪

在豪华车如奔驰 S、宝马 7 系和奥迪 A8 的后排，可选三座与两座，两座的中央扶手位置有一块类似 iPad 的小设备，称之为后排遥控器，也可以取出，用于后排乘客遥控座椅、空调和屏幕。

图表 82 奥迪 A8 后排遥控器

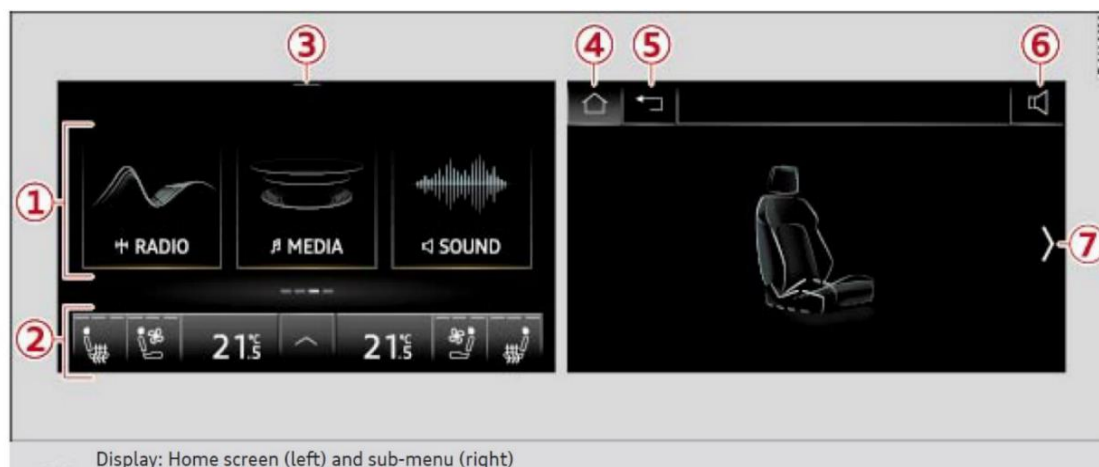


资料来源：奥迪

奥迪称这个遥控器为 **SCON2**，它几乎可以做到前排能做到的所有功能。

SCON2 功能丰富，包括调节座椅、灯光，播放媒体，选择收音，打电话，声音设置等等。

图表 83 SCON2 主要功能



	Symbol / marking	Description
①	Applications	Selecting and calling up applications. Depending on your vehicle's equipment, you may be able to operate the following applications: SEATS, LIGHTS, MEDIA, RADIO, TV, TELEPHONE, DEVICES, SOUND, SETTINGS, TIPS
②	Air conditioner	Setting and operating the air conditioner for the rear cabin
③	☰ Quick access bar	Swipe downwards once with your finger from the top edge of the screen to open the quick access bar. You can adjust the volume or access the telephone functions during a phone call
④	🏠 Home screen	Calling up the home screen
⑤	⏪ Back	Go back one step
⑥	Media playback	Adjusting volume, accessing telephone functions during a phone call
⑦	Select left/right for vehicle functions	Switching between different seats

资料来源：奥迪

2.9 HUD

2.9.1 HUD 简介

HUD(Head Up Display)中文一般称之为抬头显示，分风挡玻璃型（Windshield，W型）和集成显示型（Combined，C型）。HUD最早出现在通用的Corvette上，时间是2001年，2004年宝马推出第一个彩色显示HUD。

图表 84 典型 HUD 的爆炸图



资料来源：大陆汽车

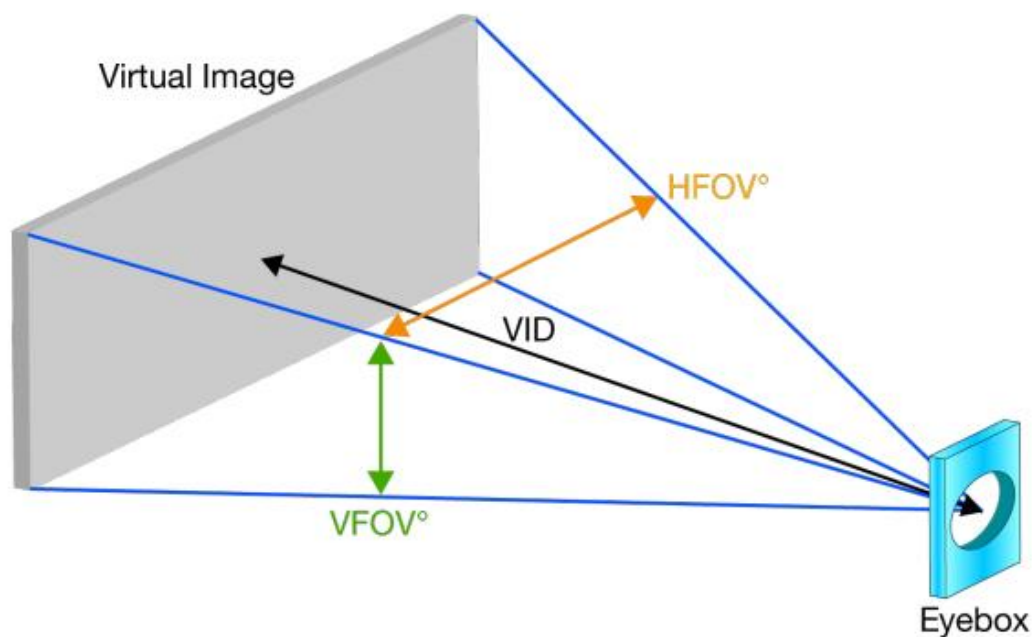
上图为奥迪 A7 上的 HUD 爆炸图，由大陆汽车提供。VID 为 2.2 米，HFOV 为 6 度，VFOV 为 2 度，分辨率为 860*480。目前 C 型 HUD 已经基本淘汰。

W 型 HUD 门槛极高，从光学的角度来看，挡风玻璃是自由曲面，而为了形成不失真的图像，就要求 HUD 中的凹透镜发出非常精确的图像。因此，在制造大镜片的过程中对容差的要求更加严格：大陆集团采用塑料注塑成形方法生产此类大型非球面镜，整个表面的容差在 5 微米 (0.005 mm) 以下。由于环境亮度的变化范围大，HUD 需具有极高的亮度和精确的亮度控制（取决于虚拟影像的背景亮度），以形成可轻松读取的图像。

全球只有日本、德国和台湾拥有先进的光学非球面制造技术，HUD 的光学引擎异常复杂，连美国都没有能力制造。

HUD 有三个术语比较重要，首先是 VID(Virtual Image Distance)，虚拟图像距离。其次是 HFOV 和 VFOV，水平视角和垂直视角。最后是 Eyebbox。

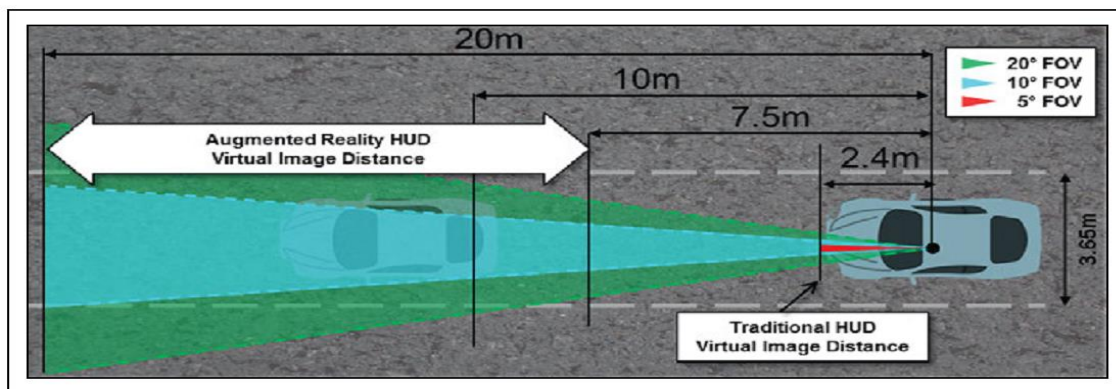
图表 85 HUD 关键参数



资料来源：德州仪器

VID 最佳距离是多少？我们知道 HUD 的初衷是让人在驾驶车辆的大部分时间里都不再低头看仪表盘，因为人眼在道路和仪表之间来回切换需要眼睛调整焦点，频繁调整焦点会导致视觉疲劳，也不安全。一般人驾车时眼睛需要至少覆盖两到三个车道的宽度，也就是大约 7.5 米。为了避免眼睛频繁调整焦点，VID 的最佳距离是 10-20 米。而目前所有 HUD 的 VID 都不超过 2.5 米。也就是说驾驶者仍然需要频繁地从 HUD 到路面之间切换，同样会感觉疲惫。

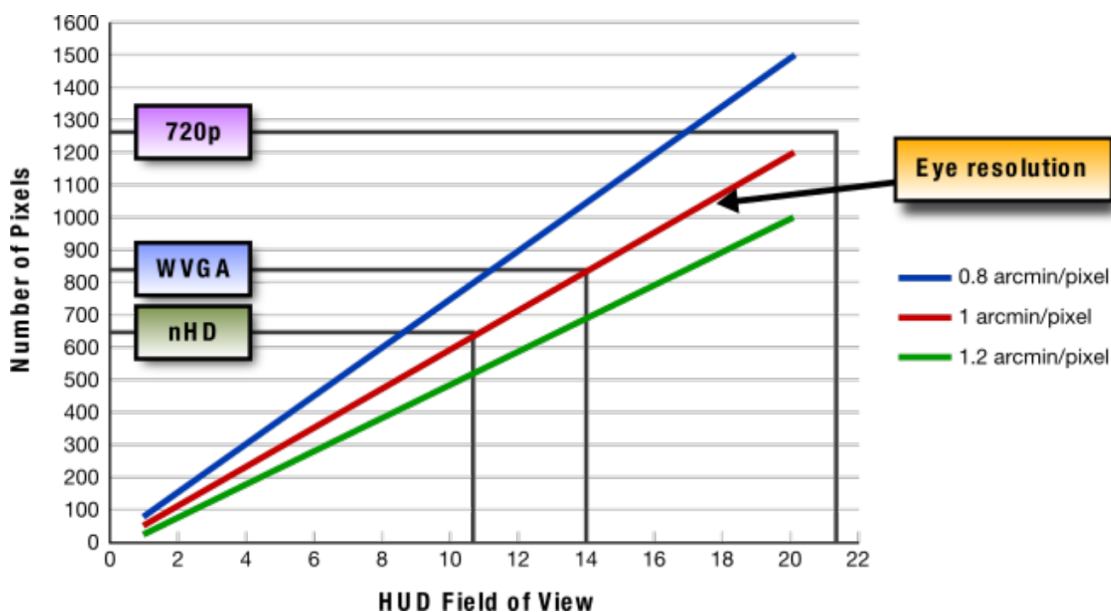
图表 86 HUD 最佳 VID



资料来源：德州仪器

广视角带来另一个问题，这就是分辨率的问题，人眼是有分辨率的。理论上认为人眼能辨识所视物的最小视角是 0.78 弧分度（1 弧分度 $\text{arcmin} = 1/60$ 度）。在理论数据的基础上，考虑到环境光线对成像质量的影响，数据上通常取人眼的最小视角为 1 弧分度（ $1/60$ 度）。

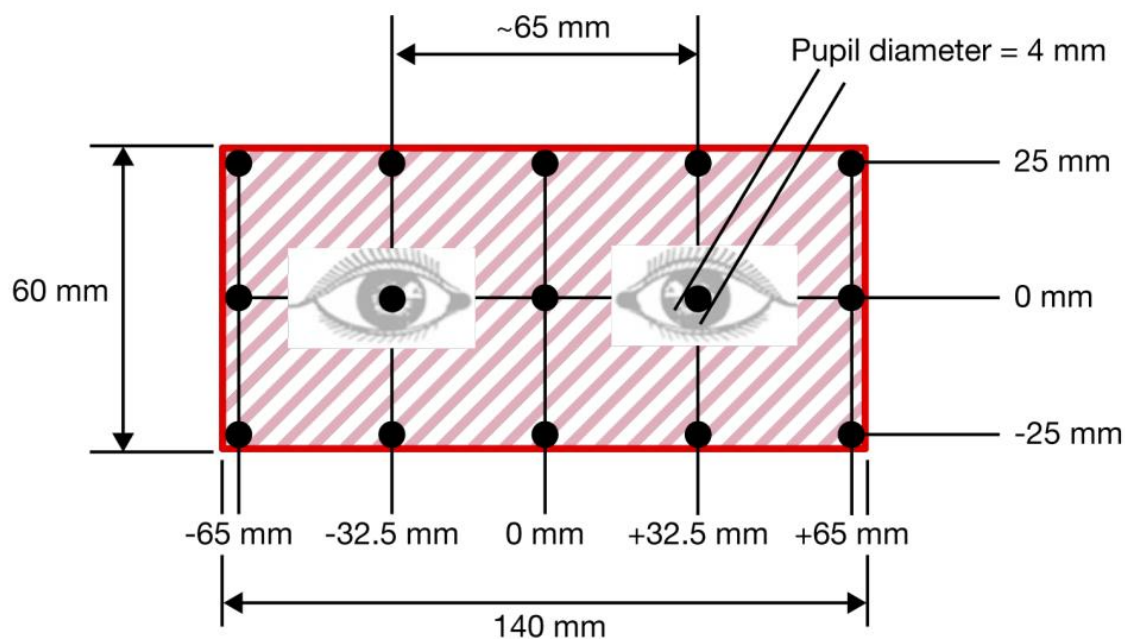
图表 87 HUD 像素与视角之间的关系



资料来源：德州仪器

上图为 HUD 像素与视角之间的关系，如果 HUD 的水平视角为 14 度，那么 HUD 的最佳分辨率是 WVGA。如果水平视角接近 22 度，那就需要 720p 的分辨率。再有一个是对比度的问题，对比度太低，环境亮度高就无法看清，因此 HUD 的对比度在 2000:1 之上是比较好的。还有一个 Eyebox，牵涉到一个专业术语，瞳距（Interpupillary Distance，简称 IPD）。

图表 88 美国人的典型瞳距图



资料来源：德州仪器

上图是美国人的典型瞳距图，中国人估计要略窄一点点，Eyebox 的最佳尺寸就是水平 140 毫米，垂直 60 毫米。水平尺寸通常做到 140 毫米不容易，而垂直尺寸则相对比较容易。一般我们看到的 W 型 HUD，Eyebox 是 168*60 毫米。

PGU 即图像生成方面，目前主要是 TFT-LCD，虽然德州仪器一再宣称 DLP 才是 AR-HUD 的首选，但高昂的价格让人望而却步，未来恐怕 TFT-LCD 还是主流。还有冷门的 LCOS，在谷歌 AR 眼镜上有使用，由台湾群创关联公司奇景提供。

TFT-LCD 的 PGU 的主要供应商是日本 JDI 和京瓷，松下能够自产 PGU，这也是松下 HUD 快速崛起的主要原因。台湾的友达和群创也有，国内的天马和京东方也有 TFT-LCD 的 PGU。日本 JDI 和京瓷的 PGU 市场占有率估计超过 80% 甚至更高，因为日本企业电装、松下、日本精机三家在 HUD 的市场占有率有 60% 左右。

图表 89 京瓷 PGU 一览

画面尺寸 screen size	1.12	1.8	2.6	3.1	4.1
状态 status	MP	7.3% = MP 8.5% = ES 10% = Under Development	ES	Under Development	
机种型号 part No.	T-57196GD011HU-T-XXN	T-55931GD018HU-T-XXN	T-57236GD026HU-T-XXN	T-57636GD031HU-T-XXN	TBD
分辨率 dot pixels	300 (W) x 160 (H) [R.G.B]	480 (W) x 240 (H) [R.G.B]	800 (W) x 480 (H) [R.G.B]	800 (W) x 480 (H) [R.G.B]	1280 (W) x 640 (H) [R.G.B]
像素尺寸 pixel pitch	0.028 (W) x 0.084 (H) [R.G.B]	0.0284 (W) x 0.0852 (H) [R.G.B]	0.024 (W) x 0.072 (H) [R.G.B]	0.0285 (W) x 0.08550 (H) [R.G.B]	TBD
对比度 contrast ratio	1200:1			1700:1	1500:1
像素密度 ppi	298	298	359	298	352
透光率 transmittance	7.1%	7.3% ▶ 8.5% ▶ 10%	6.3%	8.5%	7.5%
像素排列 pixel arrangement	RGB stripe				
色深 color depth	262k colors		16.7M colors		
液晶类型 LCD type	TFT / Normally black - mode / Transmissive				
数据传送方式 Data transfer	18-bit digital RGB interface(6-bit / color) + CPU or SPI		LVDS(JEIDA Format) data transfer 8bit + CPU or SPI		

资料来源：京瓷

京瓷 PGU 一览见上表，目前 3.1 英寸已经量产，4.1 英寸也完成了研发。目前主流 PGU 为 3.1 英寸，AR-HUD 至少也要 3.1 英寸，非 AR-HUD 考虑成本有用 1.8 甚至 1.1 英寸的。

2.9.2 AR-HUD 简介

图表 90 松下 AR-HUD

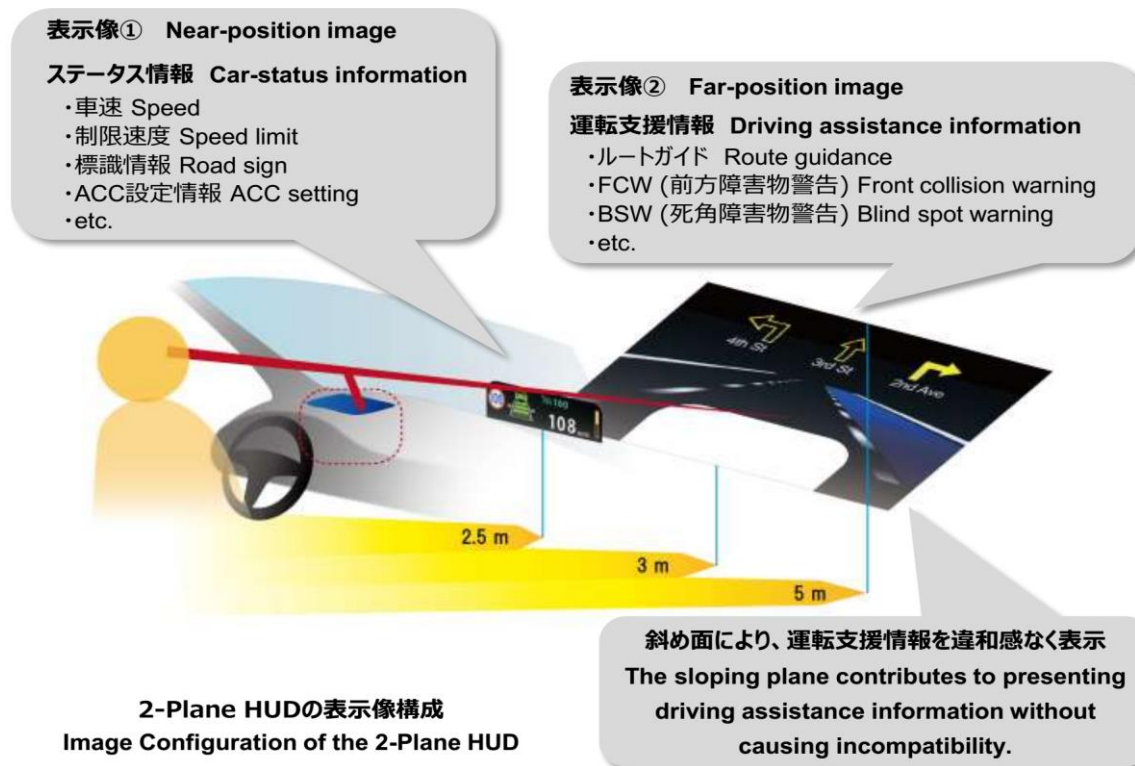


资料来源：松下

大众 ID3/4 与最近的奥迪 Q4 都采用了 AR-HUD，AR-HUD 成为汽车电子的热门话题，几乎所有的新车都规划使用 AR-HUD。

按照图像生成单元（即 PGU）常见的 HUD 分为 TFT、DLP 和激光三大类，也有冷门的很少人提及的 LCOS。按光源可以分为 LED 和激光两大类，按投影成像技术可以分为多片、全息和光场三大类。所谓 AR-HUD 实际就是增加了 AR 图像层（也有把层说成焦段），在常规车辆信息如速度和能耗外增加了导航和 ADAS 信息。

图表 91 多层图像 HUD 设计



资料来源：日本精机

上图是全球第一大 HUD 厂家日本精机的多层图像 HUD 设计。近层图像主要显示仪表和设置调整信息，远场图像显示路径导航和各种警告信息。还有一个侧方立体信息，如盲点和车道偏离警告。通常只是增加一个远场 AR 图像层，其虚拟成像距离 VID 一般是 5 到 10 米，常规图像层的 VID 是 2 米。

图表 92 主要 HUD 各种图像层对比

	传统 HUD	多层 (Multi-Plane)	全息 (Holographic)	光场 (Light-field)
AR 层深度匹配	无	分离深度	真实深度	连续深度
算法复杂性	低	中	高	中
硬件复杂性	低	高	中	低

资料来源：佐思汽研

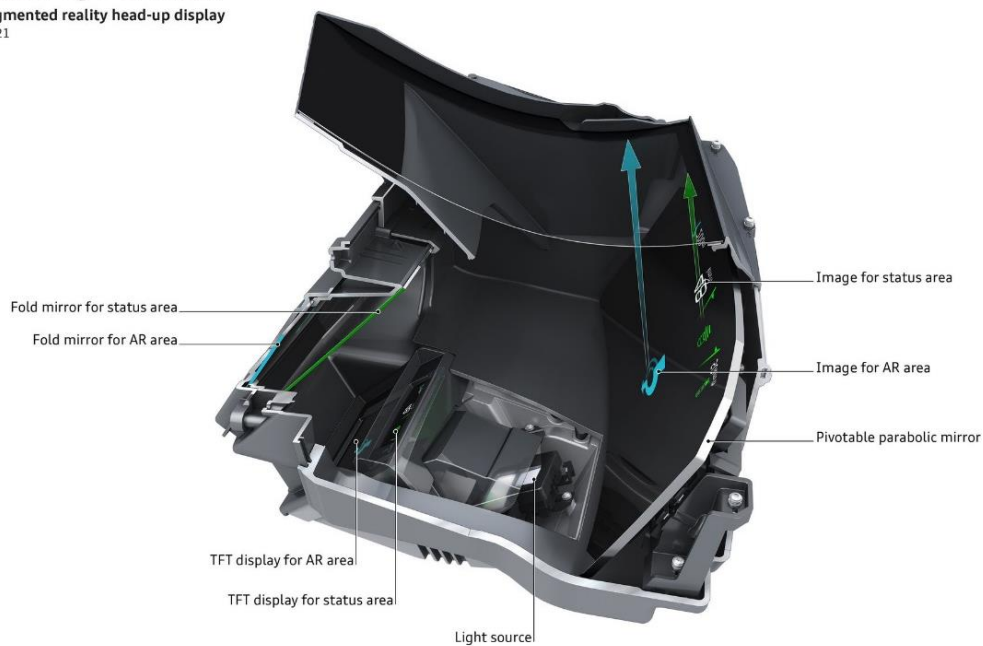
目前主流是多层。多层又可分为单 PGU 与多 PGU 两种。

下图为奥迪 A4 的 AR HUD，应该是两个 PGU，一个是静态图像层，即常规车辆信息。另一个是 AR 图像层。光机部分也基本是两套，可以说这是两套普通 HUD 放在一个盒子里，成本高且复杂。

静态图像层 3 米的 VID，AR 图像层 10 米的 VID。

图表 93 奥迪 A4 的 AR HUD

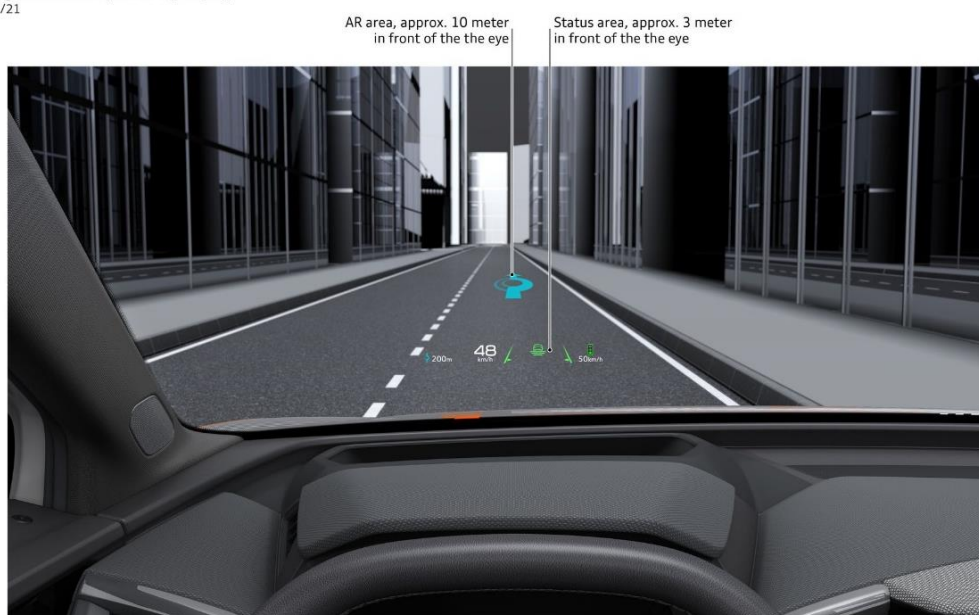
Audi Q4 e-tron
Augmented reality head-up display
03/21



资料来源：奥迪

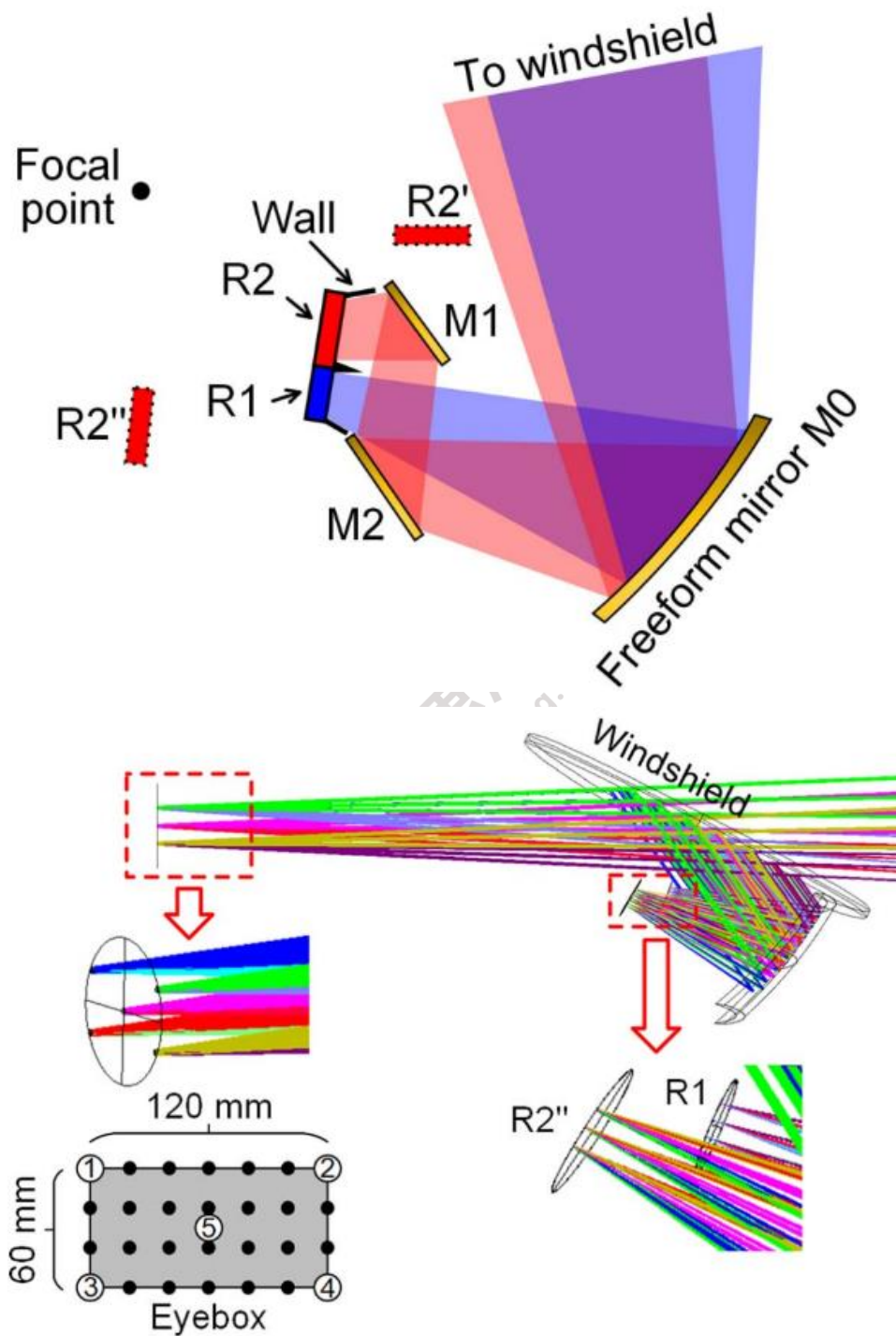
图表 94 奥迪 Q4 AR-HUD 的 VID 距离

Audi Q4 e-tron
Augmented reality head-up display
03/21



资料来源：奥迪

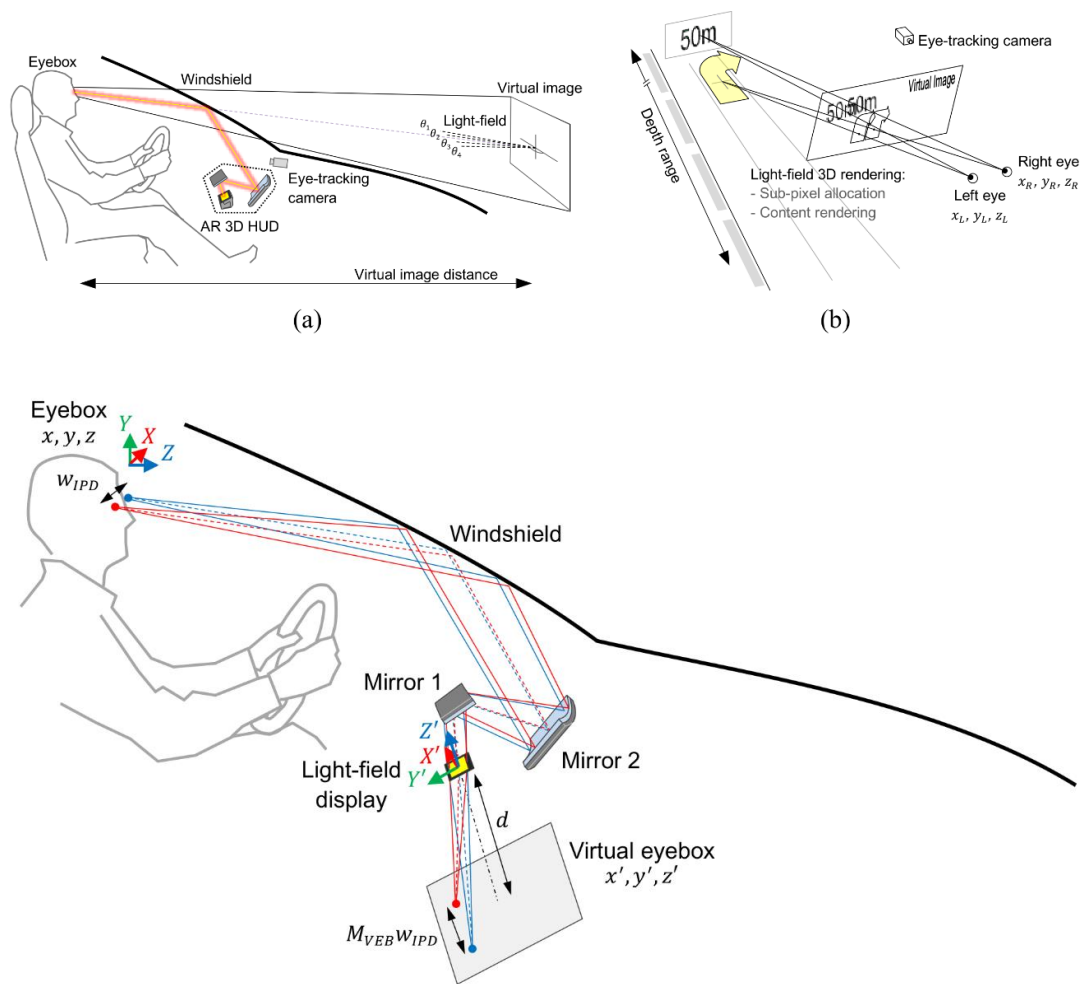
图表 95 双焦面 HUD 结构示意图



资料来源：互联网

2.9.3 AR-HUD 技术：光场型与光波导型

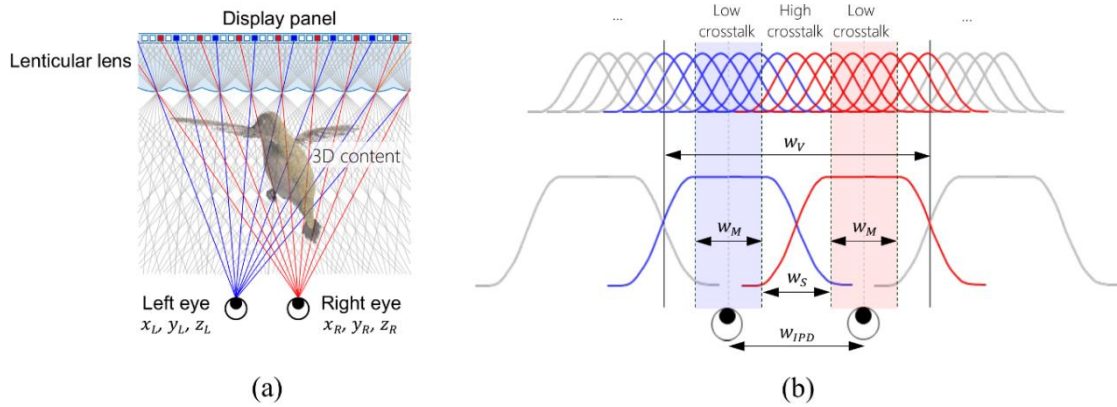
图表 96 三星电子的光场型 AR-HUD 示意图



资料来源：三星

光场型 AR-HUD 的缺点是需要一个眼球追踪摄像头追踪眼球的位置，通常是立体双目摄像头，典型如奔驰 S 级的，也有 TOF 摄像头，理论上完全可行，但还未见到量产产品。

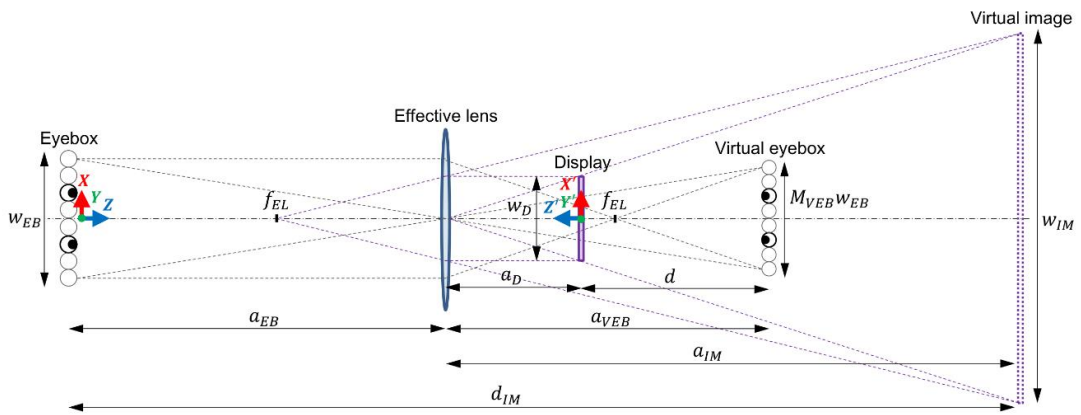
图表 97 三星电子的光场型 AR-HUD 的 Lenticular 透镜



资料来源：三星

三星电子的光场型 AR-HUD 的核心是 Lenticular 透镜。

图表 98 三星电子光场型 AR-HUD 透镜模型



资料来源：三星

未来三星哈曼将量产这种 AR-HUD。

图表 99 三星电子光场型 AR-HUD 的参数

Parameter	Design value
FoV	10° (H) × 5° (V)
Virtual image distance	7000 mm
Look-down angle	-2.5°
Look-over angle	0.7°
Eyebox size	140 mm × 80 mm
Optical resolution, mean (range)	0.6 arcmin (0.25–0.9 arcmin)
Optical distortion, mean (range)	0.6% (0.3–1.0%)
Horizontal BM as convergence or divergence, mean (range)	0.4 mrad (0.1–0.6 mrad)
Vertical BM as dipvergence, mean (range)	0.2 mrad (0.1–0.6 mrad)
Brightness drop over eyebox, mean (range)	3.7% (1.9–5.5%)

资料来源：三星

全息技术方面，有多种技术组合，异常复杂，简单地说有两种，一种是光波导，一种是 LCOS-SLM，LCOS-SLM 通常都结合激光 HUD 使用。

波导技术并不是什么新发明，我们熟悉的光通信系统中，用来传输信号的光纤组成了无数条连接大洋彼岸的海底光缆，就是波导的一种，只不过传输的是我们看不见的红外波段的光。在 AR-HUD 中，要想光在传输的过程中无损失无泄漏，“全反射”是关键，即光在波导中像只游蛇一样通过来回反射前进而并不会透射出来。

简单来说达到全反射需要满足两个条件：**(1)** 传输介质即波导材料需要具备比周围介质高的折射率；**(2)** 光进入波导的入射角需要大于临界角 θ_c 。光机完成成像过程后，波导将光耦合进自己的玻璃基底中，通过“全反射”原理将光传输到眼睛前方

再释放出来。这个过程中波导只负责传输图像，一般情况下不对图像本身做任何“功”(比如放大缩小等)，可以理解为“平行光进，平行光出”，所以它是独立于成像系统而存在的一个单独元件。

光波导总体上可以分为几何光波导 (Geometric Waveguide) 和衍射光波导 (Diffractive Waveguide) 两种。几何光波导就是所谓的阵列光波导，其通过阵列反射镜堆叠实现图像的输出和动眼框的扩大，代表光学公司是以色列的 Lumus，目前市场上还未出现大规模的量产眼镜产品。衍射光波导主要有利用光刻技术制造的表面浮雕光栅波导 (Surface Relief Grating) 和基于全息干涉技术制造的全息体光栅波导 VHG (Volumetric Holographic Grating) 或 HOE (Holographic optical element)。HoloLens 2, Magic Leap One 均属于前者，全息体光栅光波导则是使用全息体光栅元件代替浮雕光栅，苹果公司收购的 Akonia 公司采用的便是全息体光栅，另外致力于这个方向的还有 Digilens (HOE)。德国大陆汽车向 Digilens 投资了 2500 万美元，目前持有该公司股份接近 18%，并保有董事会席位。DigiLens 的其他一些投资者还包括 Universal Display Corporation、Samsung Venture Investment、Niantic、Sony Innovation Fund、Diamond Edge Ventures 和 Mitsubishi Chemical Holdings Corporation 等。

2.9.4 DLP AR-HUD 在奔驰上的实例

奔驰新 S 级对成本不敏感，自然采用了 DLP 做 AR HUD，不过使用 DLP 技术做 HUD，奔驰并非第一家，林肯大陆和导航员也都使用了 DLP 做 HUD，但仍然是传统 HUD，都由德国大陆汽车提供。林肯大陆和导航员使用的是德州仪器早期 DMD 芯片 DLP3030，只有 40 万像素。奔驰 AR HUD 使用德州仪器最新的 DMD 芯片 DLP5531（2018 年下半年才量产，所以林肯没用上），有 130 万像素，FOV 为 $10 \times 5^\circ$ ，VID 距离为 33 英尺即 10 米，奔驰称这相当于 77 英寸显示器。不仅在 HUD 上使用了 DLP 投影，在车大灯上，奔驰还极尽奢华使用了 DLP 投影，也是 DLP5531。

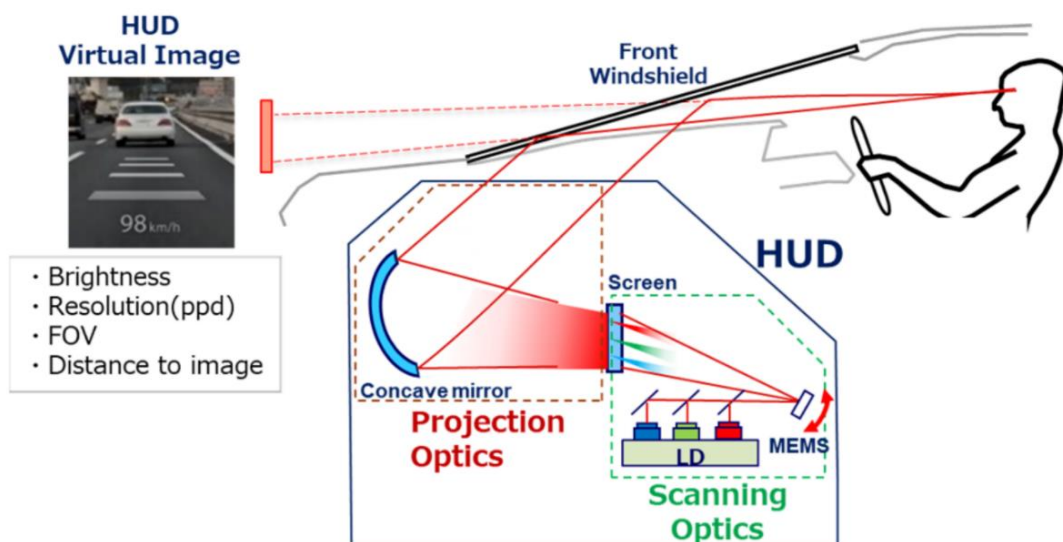
图表 100 奔驰 S 级 AR-HUD 表现



资料来源：奔驰

德州仪器的 DLP PGU 也就是 DMD，目前主推的是 DLP3030-Q1，分辨率和 TFT 型 PGU 一样，也是 864*480，性能并不算突出，因此市场一直受限，高端产品则有 DLP5531-Q1，分辨率 1280*720，还有一款 2020 年 9 月推出的 DLP5530-Q1，外接 GPU 和钻石预处理分辨率可达 2304*1152，德州仪器雄心勃勃，试图用 DLP5530-Q1 打造 IP HOE 挡风玻璃全息仪表，完全取代传统仪表。

图表 101 理光激光 HUD 示意图

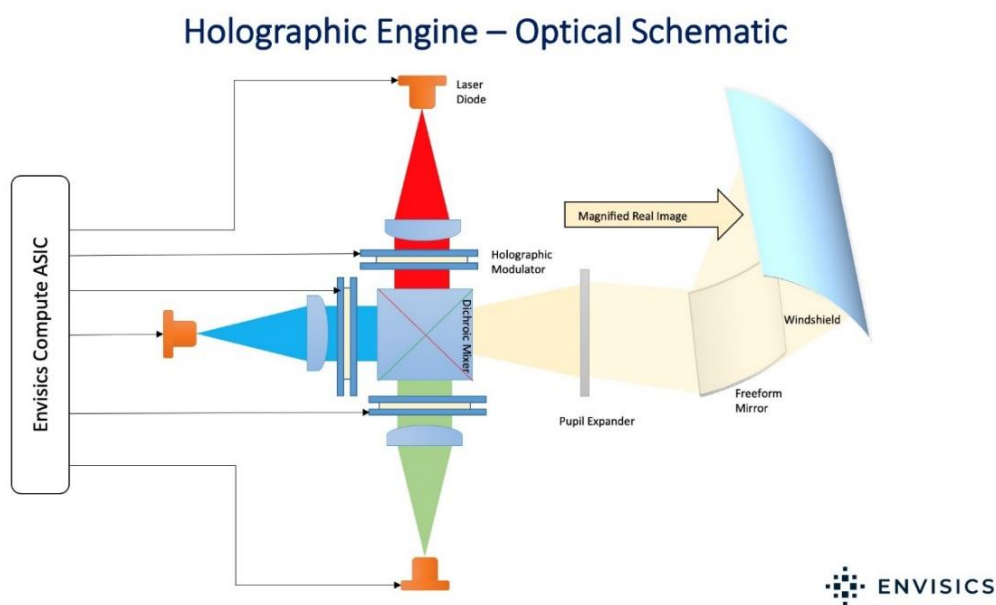


资料来源：理光

2.9.5 激光 AR HUD

激光 HUD 是性能最强劲的，或许是自动驾驶时代的标配，需要注意这里的激光不是指光源，而是成像单元。简单地说，这很像一个 MEMS 激光雷达，RGB 三色激光二极管编译图像成激光，用一个二轴扫描 MEMS 镜扫描成像。

图表 102 激光全息 HUD



传统 HUD 技术通常在微型显示屏上生成图像，然后投影到固定的焦点平面上，这种技术光损率太高，在光线传播过程中通常会浪费 90%光源，不仅功耗更高而且发热量还会大一些。

激光 HUD 是将图像直接生成在挡风玻璃上，而不是 PGU 里。因此激光 HUD 具备无与伦比的性能和效率优势。比如 FOV，顶级 AR-HUD 的 FOV 仅 $10\times 5^\circ$ ，而激光 HUD 可以达到 180 度。对比度和亮度方面，激光更是具备压倒性的优势，分辨率方面，可以做到 4K 级的分辨率，DLP 或 TFT 要做到的话，成本会高出激光不少。

光机引擎方面，采用 MEMS 扫描的光机引擎体积非常小，远低于 DLP 或 TFT-LCD。捷豹路虎（就是 Envisics 供应的）和日本先锋在 2014 年曾经推出过激光 HUD，限于当时的技术条件，AR 全息技术当时远未达实用地步，传统 HUD 完全无法发挥激光 HUD 的优势。如今 AR 全息已经成熟。激光 HUD 差不多是公认的未来方向。日本企业尤其积极，矢崎、ALPS 阿尔派、松下、瑞萨、理光、先锋、电装都有不少激光 HUD 专利和相关产品。其最大缺点是成本太高，当然了，成本是可以降低的。还有一个缺点是激光二极管发热量大，可能需要水冷。

激光 AR-HUD 可以显示异常丰富的内容，分辨率足够高，视觉效果非常好，自动驾驶时代尤其适合，能够为人们提供足够的自动驾驶使用信心。

图表 103 松下在 2021 年 CES 大展上与 Envisics 合作的激光全息 HUD



资料来源：松下

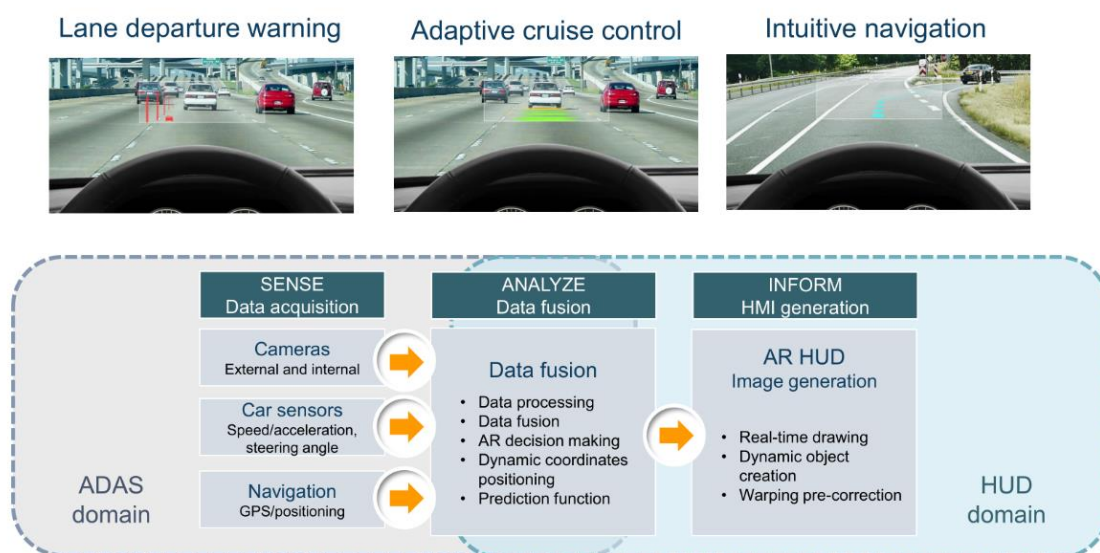
总结一下，长时间内 TFT-LCD 型 AR-HUD 恐怕都是主流，未来可能从两个 PGU 缩成一个，成本更低，竞争力更强。DLP 曲高和寡，只能在顶级豪华车上看到，恐怕奔驰 E 级都不可能使用。激光 HUD 是未来发展方向，但恐怕只用在 L3 级以上自动驾驶车辆上。

2.9.6 AR-HUD 的设计

全球第一个搭载 AR-HUD 的量产车型，新一代奔驰 S 级轿车将在今年秋季上市，明年底上市的奥迪 Q4 E-tron 也将搭载 AR-HUD，宝马在 2022 年上市的 iNext 也将搭载 AR HUD，同时 PSA 和路虎也已经规划使用 AR HUD。

AR HUD 主要是增加了导航信息和 ADAS 信息。与传统 HUD 的设计差别极大，传统 HUD 只是把部分仪表信息投影到挡风玻璃而已，AR HUD 则要大幅度增加复杂度。

图表 104 AR-HUD 基本特征

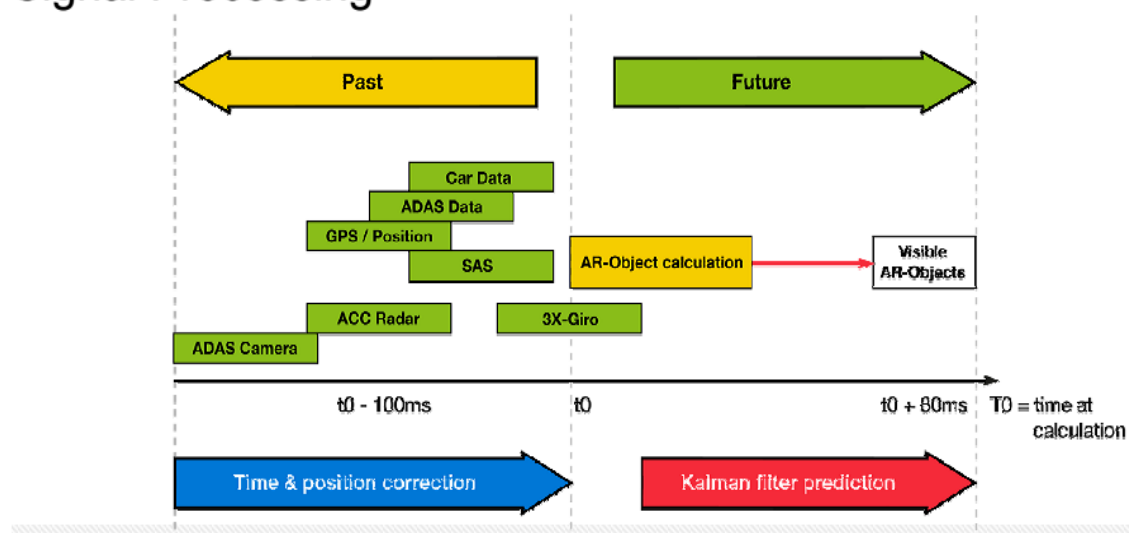


资料来源：伟世通

AR HUD 三个核心，一是感知与数据收取，二是数据混合与分析，三是 3D HMI 信息生成。

图表 105 AR-HUD 显示信号处理

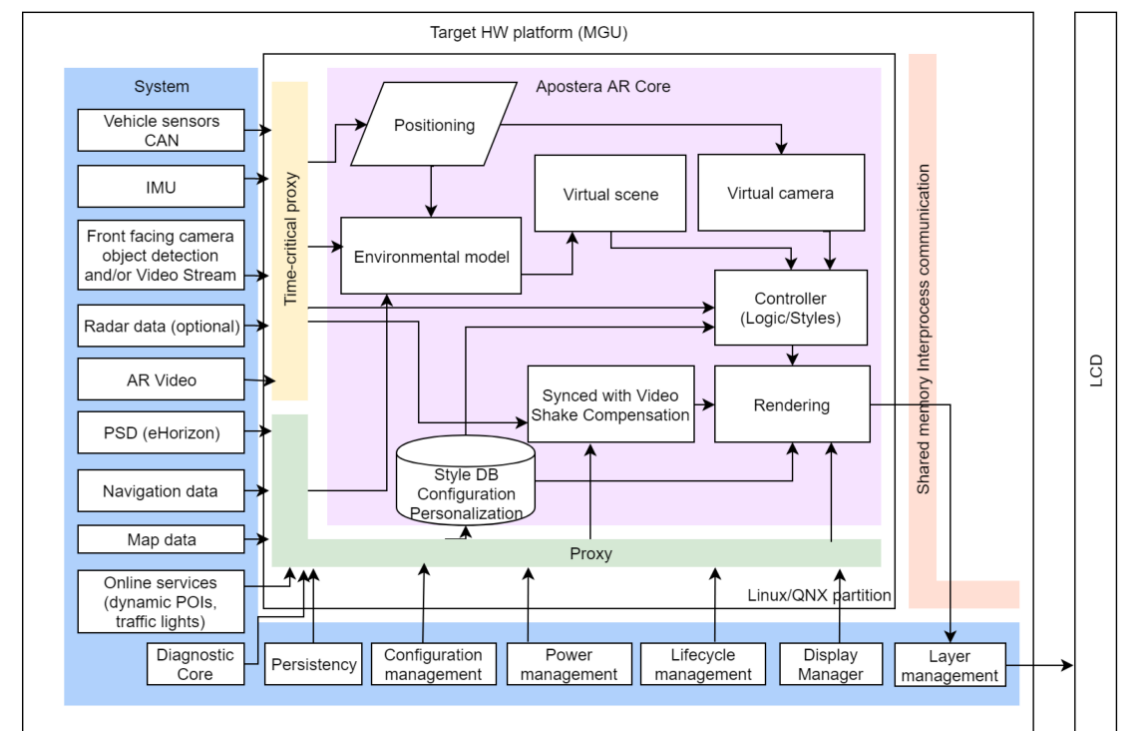
Augmented Reality Head-up Display Signal Processing



资料来源：互联网

AR HUD 不仅要融合来自导航和 ADAS 系统的信息，还要考虑到精确定位、时间戳、3D 渲染、UI/UX，还要有提前预测的功能。因为 AR HUD 的显示要有前瞻性和预见性。在有些设计中，考虑到 ADAS 系统的安全，必须保证 ADAS 系统最大的独立性，同时为了提高 AR HUD 系统的可靠性和独立性，因此 AR HUD 干脆也具备强大的目标探测与识别能力，等于一套没有执行系统的 ADAS。当然这样成本很高。

图表 106 宝马的 AR HUD 框架图



资料来源：宝马

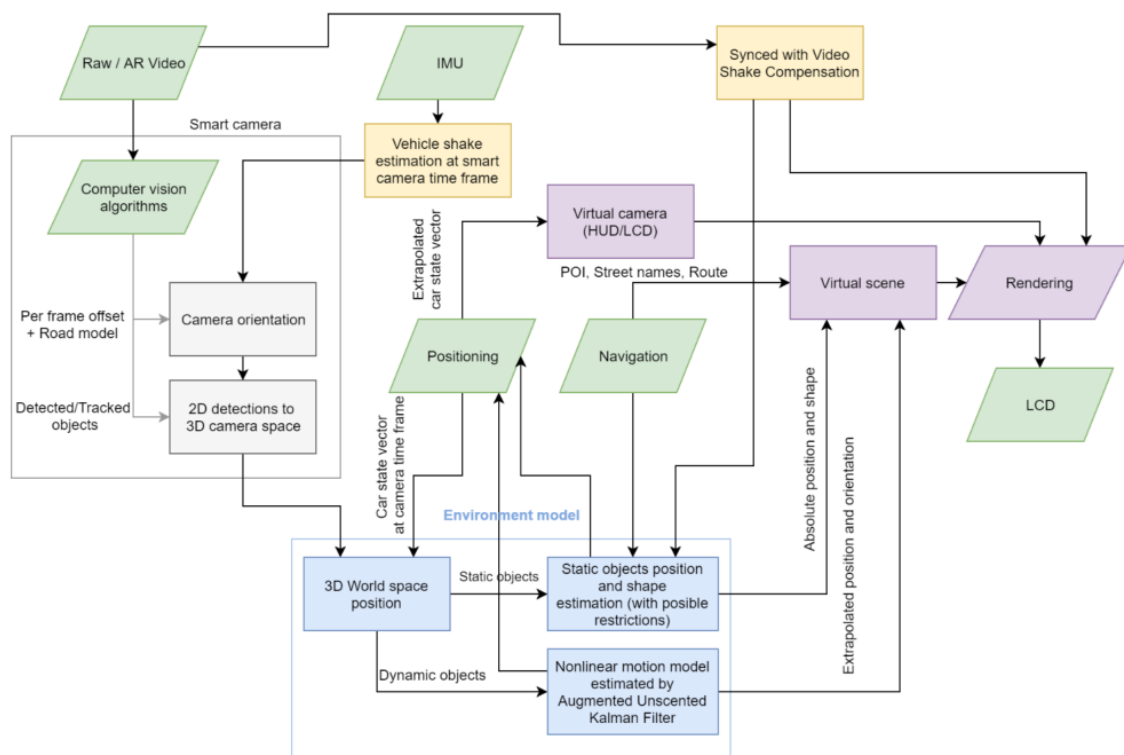
上图为宝马的 AR HUD 框架图，由 Apostera 公司提供，MGU 即宝马新一代 Infotainment 的代号，最后的 LCD 应该改为 PGU，图像生成单元。可以看出输入信息非常多，包括车辆传感器信息（从车身网关获得，CAN 总线，包括速度、电量、续航等仪表所需要表示的一切信息）、IMU（惯性导航单元，与摄像头或激光雷达配合推测车辆的空间位置，全局坐标位置）、前摄像头目标探测或视频流（不仅要动态目标探测还要静态目标如速度限制标志信息）、毫米波雷达信息，这些是时间要求苛刻型数据。

PSD 是德国大陆汽车的电子地平线，可以近似看做 V2I 系统。还有导航数据、地图数据、在线服务数据包括动态兴趣点和交通信号灯。其他还有诊断、配置、电源管理、显示管理、层管理。

如此复杂的系统需要强大的硬件支持，3D 实时动态渲染意味着不低于 150GFLOPS 的浮点运算能力。高实时性，强大的数据融合分析能力意味着至少 20000DMIPS 以上的 CPU 运算能力，还要有丰富的接口。有瑞萨的 R-CAR H3、高通的 820a High、英特尔的 A3950/A3960、英伟达的 Parker 能够胜任。

奔驰声称在新一代 S 级座舱的第二代 MBUX 系统的浮点运算能力是 691GFLOPS，比第一代的 500GFLOPS 提高 191GFLOPS。可能主要是针对 AR HUD 所做的提升。

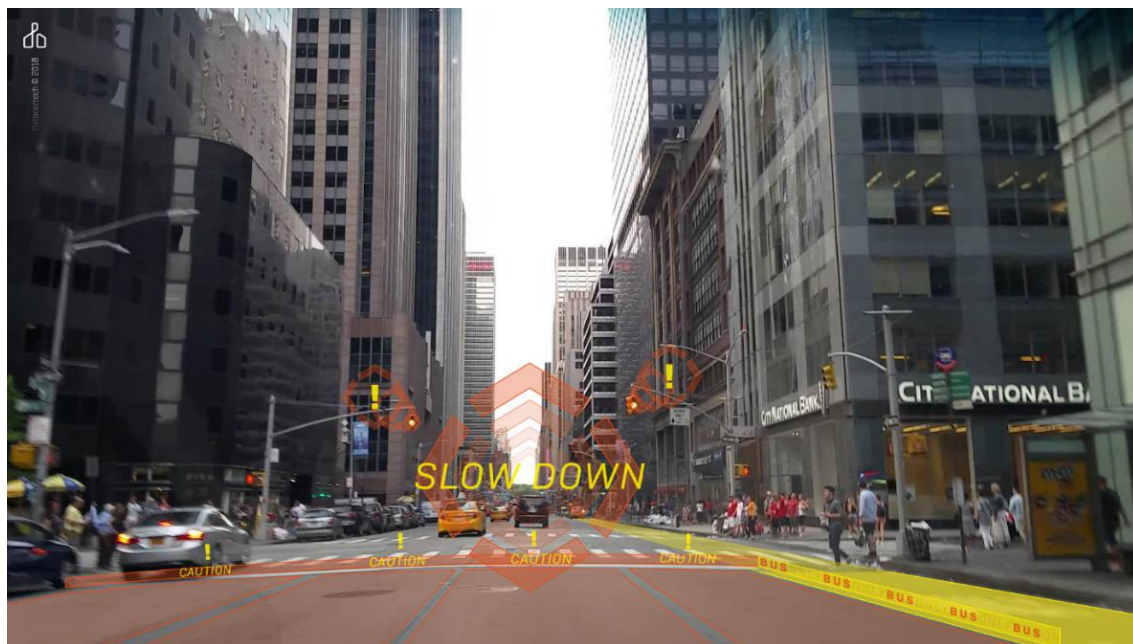
图表 107 最高等级的 AR HUD 的框架图



资料来源：英伟达

上图为最高等级的 AR HUD 的框架图，最后的 LCD 应该改为 PGU，即图像生成单元。依靠摄像头反推 3D 全局空间位置并建立道路环境模型，同时识别并探测动态目标和静态目标。这显然不是摄像头系统能实现的，必须用激光雷达，还是至少 64 线以上的高线束的激光雷达，这样才能准确提供高度和深度信息。

图表 108 准确标注公交车道信息的 HUD



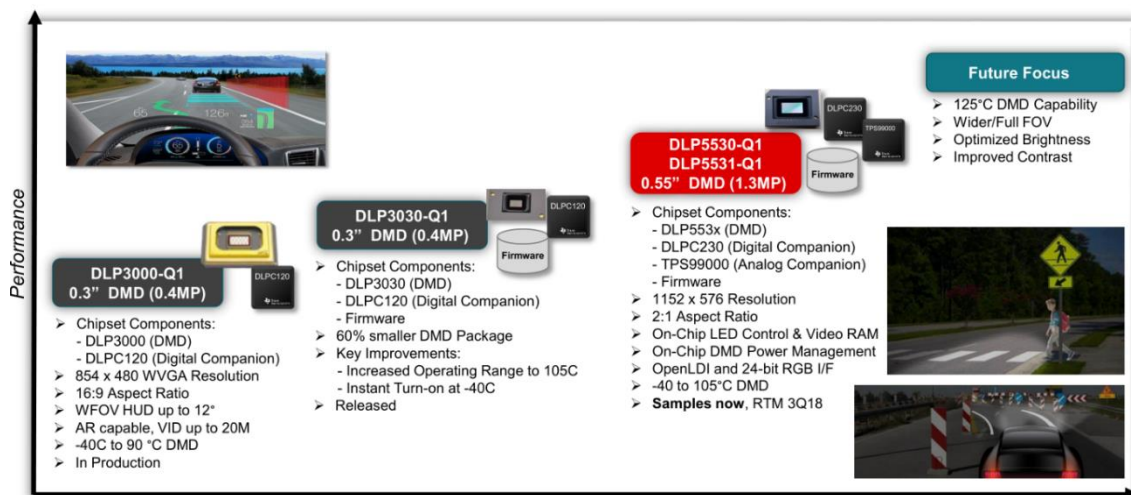
资料来源：互联网

像这样准确标注公交车道信息的 HUD 需要精确的空间定位，这需要高精度地图的侧向或鸟瞰型激光雷达的准确配合才能做到。

AR HUD 的光学设计方面，TFT-LCD 是肯定无法满足需求的，因为 AR HUD 要求至少 10° 的水平 FOV，5 米以上的 VID 虚像距离。目前最成熟的技术只有 DLP，奔驰新一代 S 级（W223）、林肯大陆和领航员都选用了 DLP 技术做 HUD。林肯大陆和领航员也都使用了 DLP 做 HUD，但仍然是传统 HUD，都由德国大陆汽车提供。林肯大陆和领航员使用的是德州仪器早期 DMD 芯片 DLP3030，只有 40 万像素。

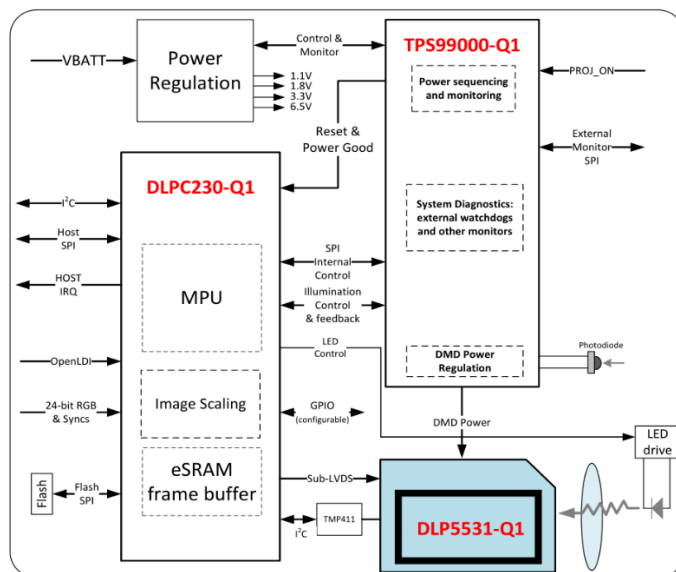
奔驰 AR HUD 使用德州仪器最新的 DMD 芯片 DLP5531（2018 年下半年才量产，所以林肯没用上），有 130 万像素，FOV 为 10X5°，VID 距离为 33 英尺即 10 米，奔驰称这相当于 77 英寸显示器。

图表 109 德州仪器车载 DMD 芯片路线图



资料来源：德州仪器

图表 110 德州仪器 DLP5531 系统框架图



资料来源：德州仪器

上图为德州仪器 DLP5531 系统框架图。成本允许的话推荐用激光二极管做光源。

图像设计方面有单层图像和双层图像，奔驰 W223 似乎选择了单层图像。

图表 111 单层图像 AR HUD 与双层图像 AR HUD

Single image AR HUD – fixed virtual image distance

- Vertical virtual image ($10^\circ \times 4.5^\circ$ at 15m)
- Not parallax-free, eye tracking system required
- Lower optical design complexity



Dual image AR HUD – variable virtual image distance

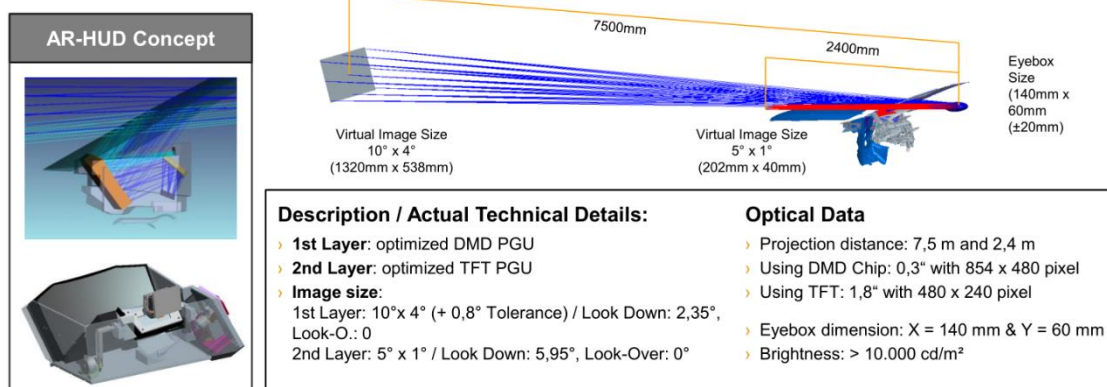
- Parallax-free, no eye-tracking system required
- Dual optical system to add conventional HUD information ($10^\circ \times 5^\circ$ lying on the road at 10 to 20m / $5^\circ \times 1^\circ$ classic HUD @ 2m)
- More complex optical design and increased packaging challenge



资料来源：伟世通

单层图像的 VID 距离是固定的，因此需要眼球追踪技术，奔驰 W223 采用独特的双目视觉做眼球追踪。

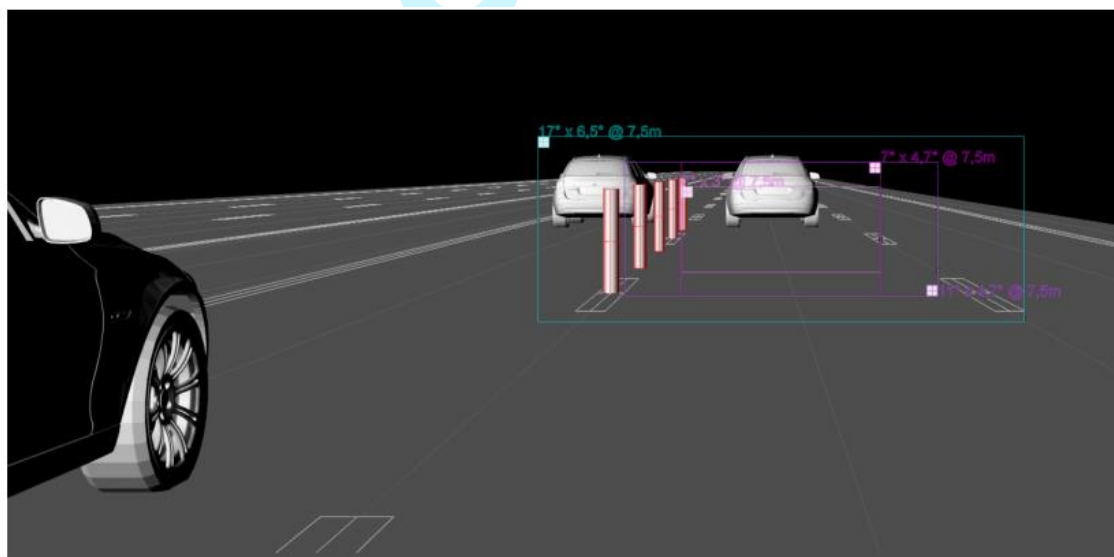
图表 112 德国大陆的双层图像 AR HUD



资料来源：德国大陆

德国大陆汽车、伟世通和日本精机都倾向于采用双层图像设计，如上图是德国大陆的双层图像，第一层的图像 VID 只有 2.4 米，用 TFT-LCD 做 PGU，第二层图像 VID 达 7.5 米，用 DLP 技术实现。

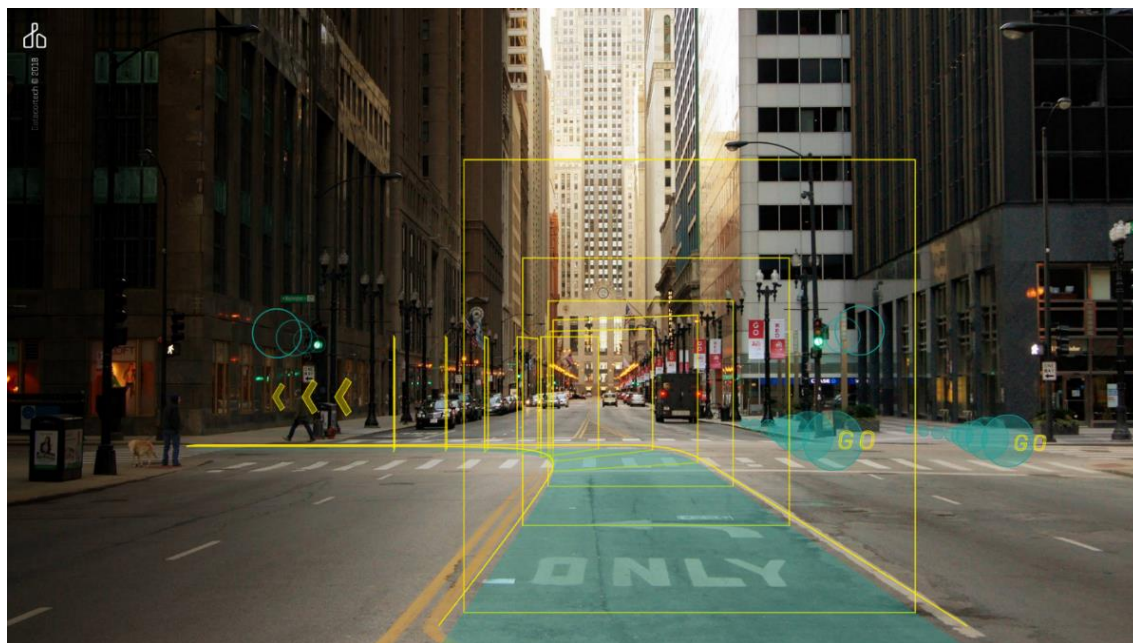
图表 113 德国大陆的双层图像 AR HUD 部分参数



资料来源：德国大陆

最后是 UI/UX 设计，可以找专业的 UI/UX 设计公司做，也可以内部完成，外部的 UI/UX 设计公司通常过于理想化，设计的 UI/UX 显示难度较高。

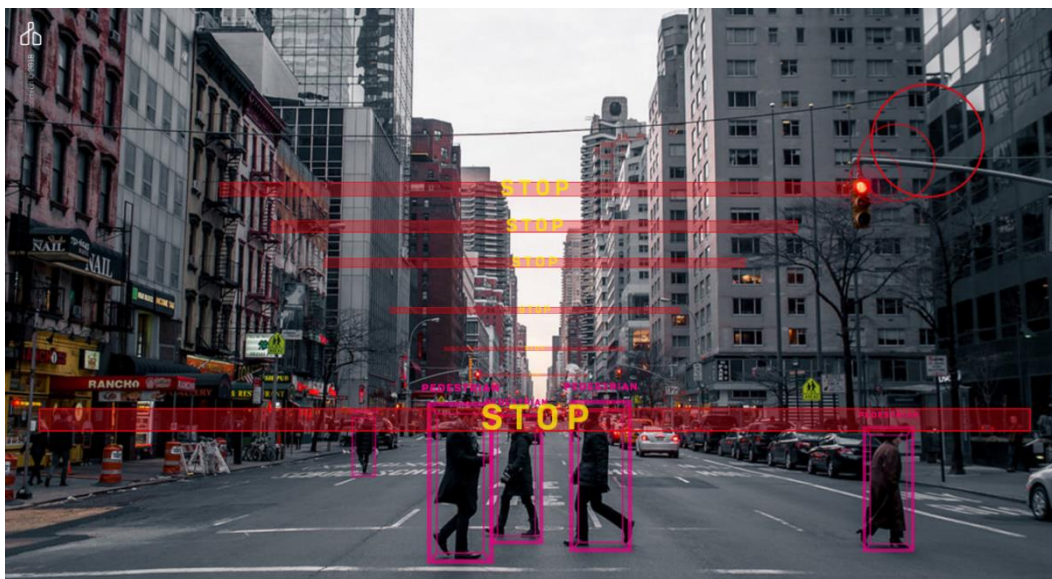
图表 114 ARHUD UI/UX 设计图例



资料来源：互联网

如上图，好看且直观，但对于空间定位要求很高，需要精确到车道级的定位信息。

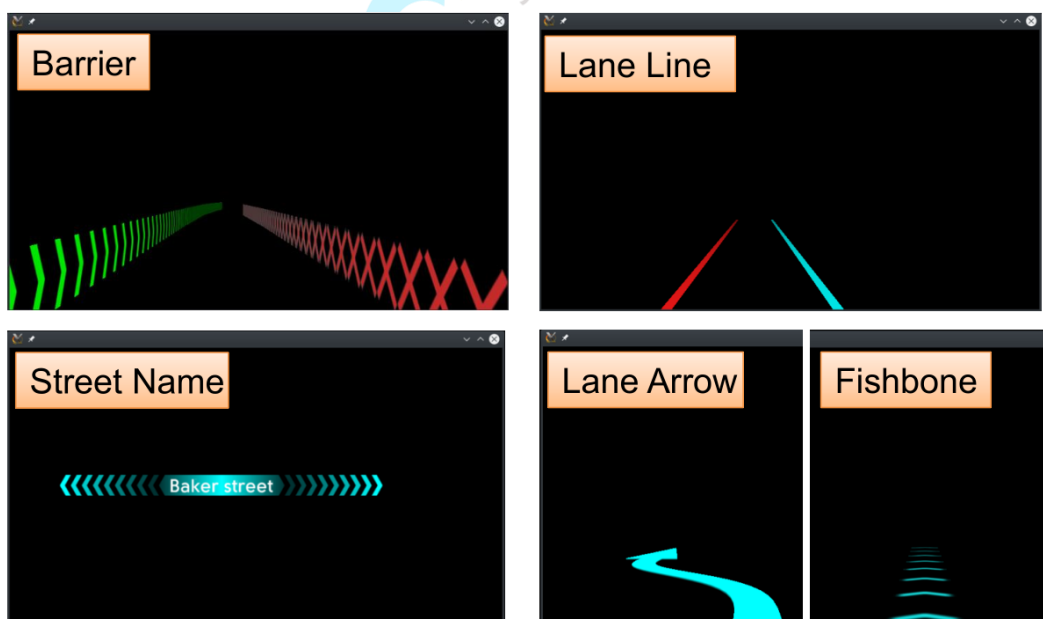
图表 115 ARHUD UI/UX 设计图例



资料来源：互联网

需要很高的投影分辨率。内部团队完成设计则配合度比较高，不过通常都比较一般，不够惊艳。

图表 116 比较常见的 AR HUD 用 UI

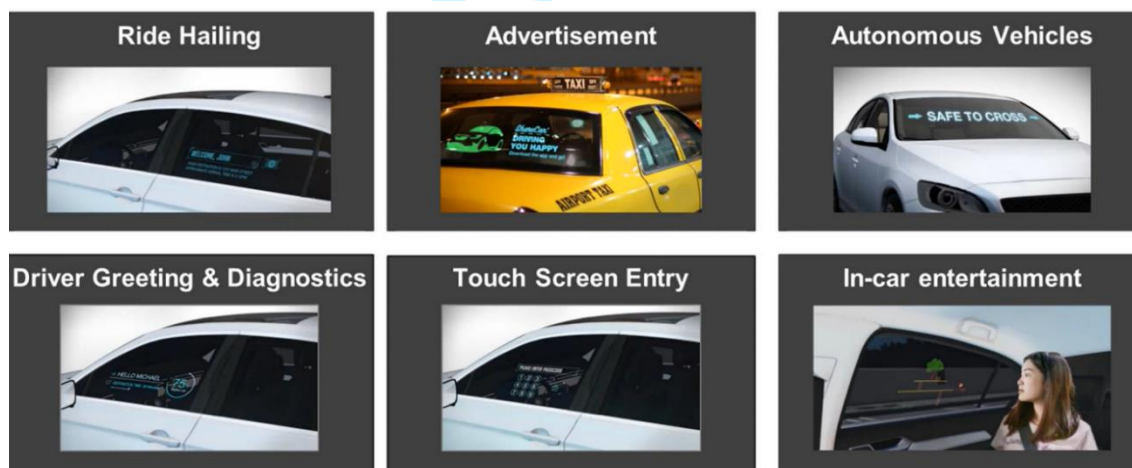


资料来源：伟世通

2.10 车窗透明显示

车窗透明显示关键应用有两类，第一类是无人车，无人车与行人或其他车辆通讯沟通，车窗透明显示是最方便的方式。特别是无人车上路初期或测试阶段，提醒行人或其他车辆，这辆车是无人驾驶的。第二类是为驾驶员在车窗上显示问候词，这个看起来炫酷无比，满满的科技感。其他非关键应用还有出租车载客显示、广告、车内娱乐。最后是一类可能也是关键的应用，共享车辆触摸屏进入，手机也可以实现这个功能，但是如果能做到本地，网络安全性必然大幅度提高。并且不是所有国家智能手机普及率都是像中国这么高。

图表 117 车窗透明显示图例



资料来源：互联网

可能还有些应用，比如下图的充电状态。

图表 118 车窗透明显示充电状态



资料来源：互联网

还可以提醒驾驶员于有婴儿或儿童遗忘在车内。

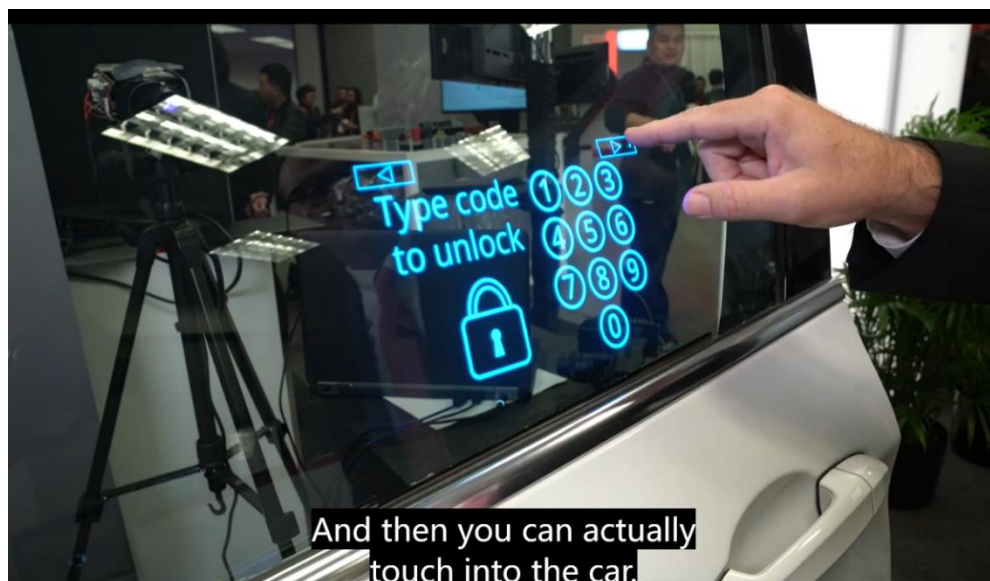
图表 119 车窗透明显示提醒儿童遗忘车内



资料来源：互联网

下面是共享汽车进入的流程。

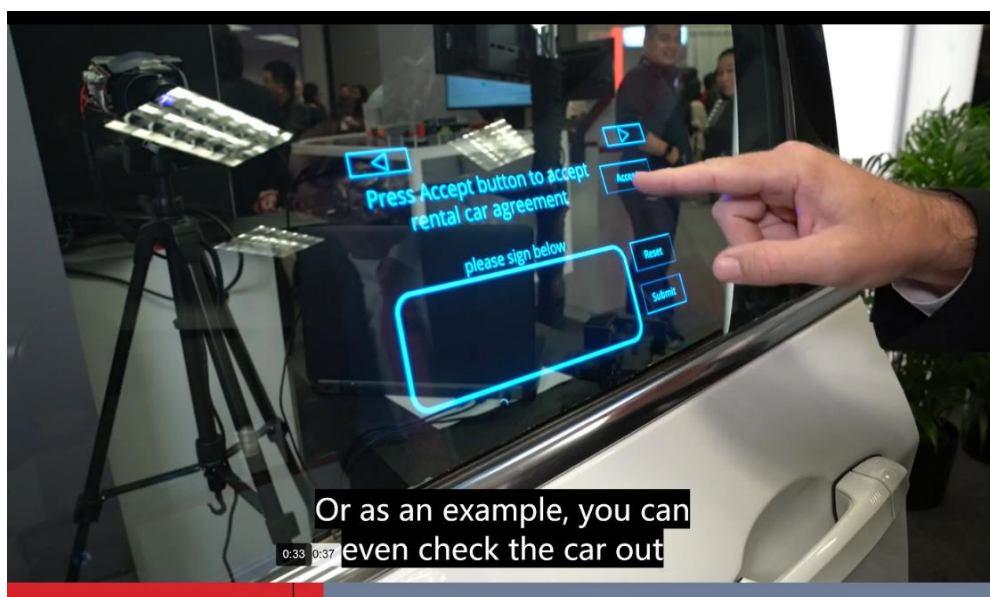
图表 120 共享汽车车窗输入密码



资料来源：互联网

在家中网络上预约共享汽车，发送密码，顾客在车窗上输入密码。

图表 121 共享汽车车窗输入签名操作

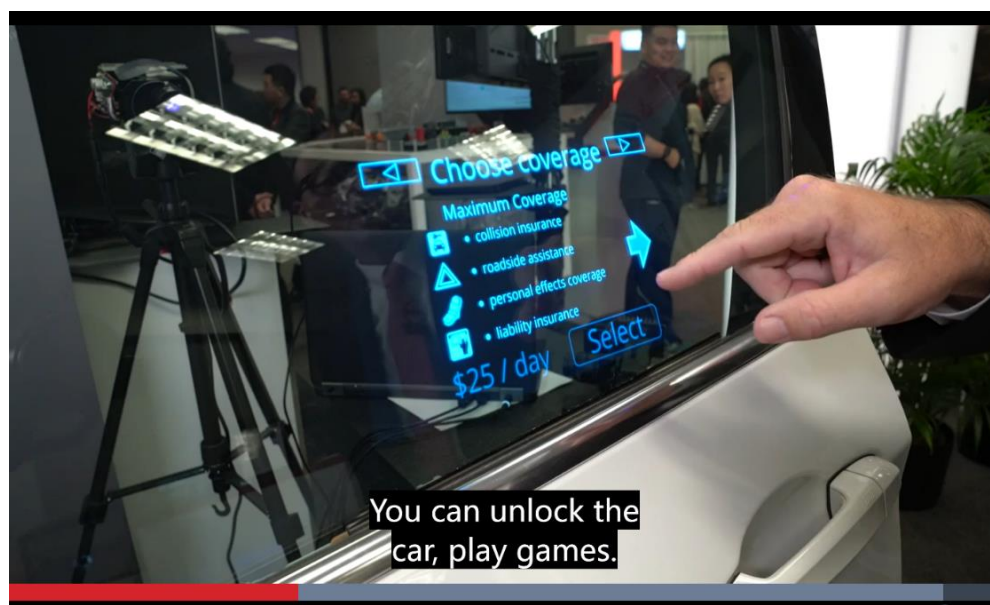


资料来源：互联网

输入签名。

选择服务类型和价格。

图表 122 共享汽车车窗显示选择服务类型和价格



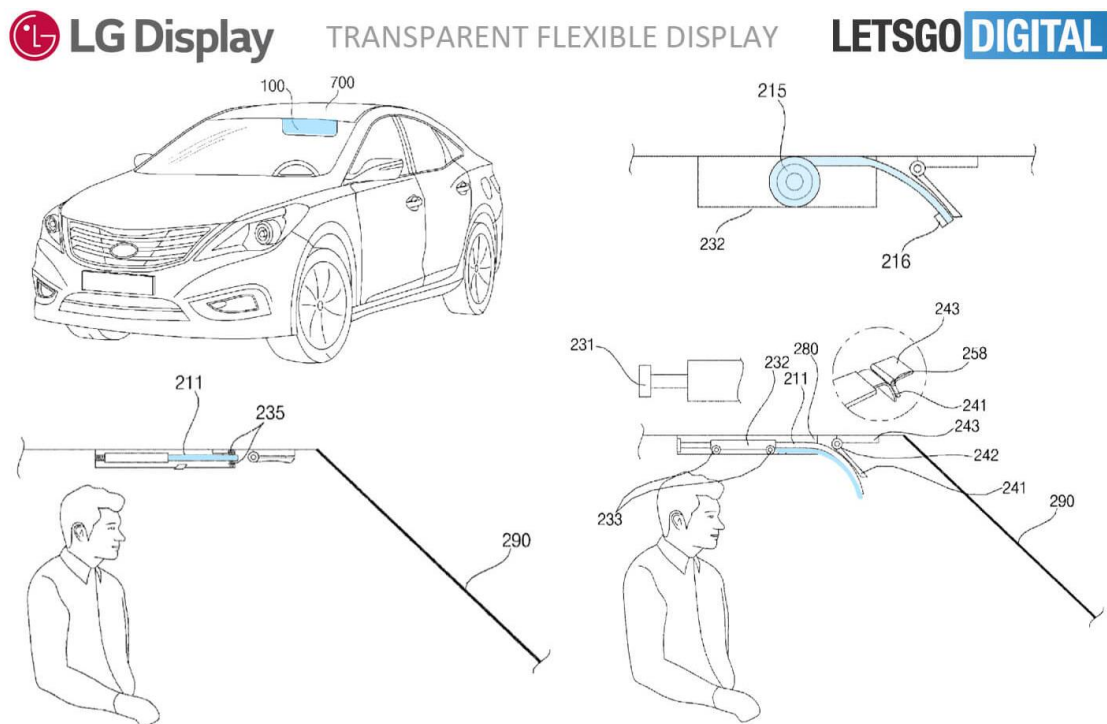
资料来源：互联网

或许出租车还可以提醒乘客下车不要忘记带随身物品。

车窗透明显示跟 HUD 的技术路线是完全一样的，目前有两种技术，一是传统的投影方式，二是用可显示材料贴/挂在车窗表面或夹在车窗玻璃内。

LG 显示在 2016 年就提出了柔性 OLED 显示，据说奔驰当时很感兴趣，但技术成熟度不高，最终还是放弃了，LG 显示申请了相关专利。

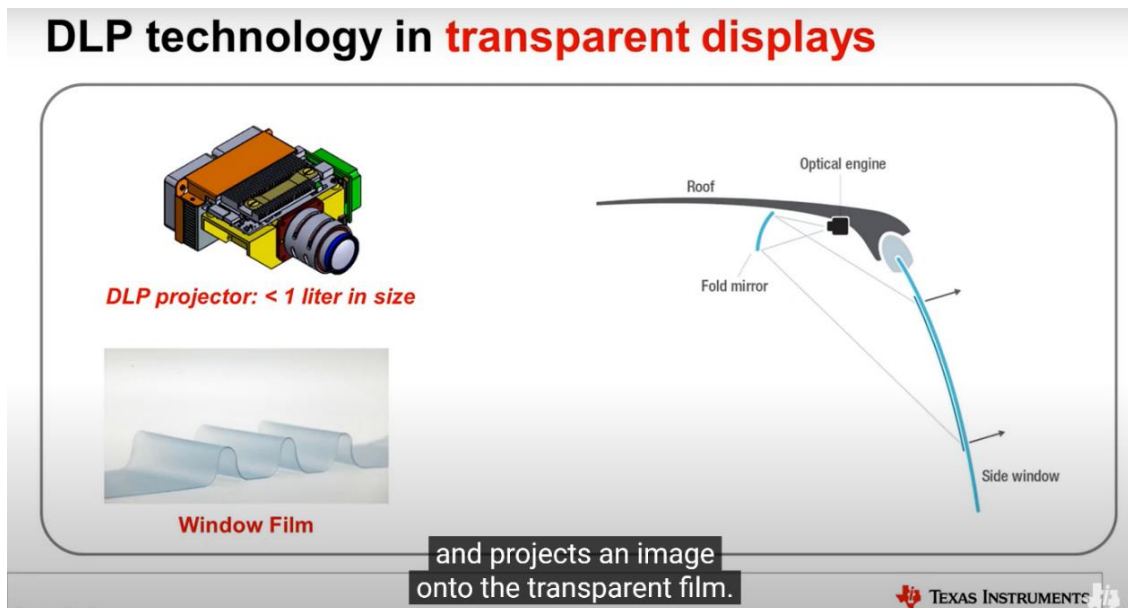
图表 123 LGD 柔性显示专利图解



资料来源：LGD

另一种就是德州仪器的 DLP 投影，技术成熟度很高，完全可以量产实用，但成本略高。并且即便如此还要在车窗玻璃中夹一层 PVB 层。

图表 124 德州仪器开发的适用于车窗透明显示的短焦 DLP 投影机



资料来源：德州仪器

德州仪器为车窗透明显示开发了特别小巧的短焦 DLP 投影机，体积小于 1 升。

PVB 层的材料可以由汽车玻璃厂家决定。

2.11 驾驶员状态监控

通常手势控制和驾驶员状态监控 DMS 可以共用一套硬件方案实现，这就是深度相机。未来两者合二为一是大势所趋。此外它还可以增加两个功能，一个是 FaceID，还有一个是车内人员存在监测 Occupant Detection。

图表 125 主要视觉方案对比

	ToF 相机	2D 相机	立体双目	结构光
算法处理硬件成本	低	极高	高	中
算法复杂度	低	高	极高	中
整体成本	低	高	高	中
体积	小	小	大	大
响应速度	快	慢	中	慢
阳光等外部光线影响	无	严重	中等	严重
低照度影响	无	严重	中等	无
有效距离	远	远	有基线限制	近
深度数据精度	中	无	高	低
功耗	低	低	中	高
隐私保护	好	无保护	无保护	好
应用	三者解可	主要是 DMS	DMS 与手势	DMS 与手势
标定	无	中等	很麻烦	很麻烦

资料来源：佐思汽研

图表 126: 凯迪拉克 CT6 2D 平面相机



资料来源：互联网

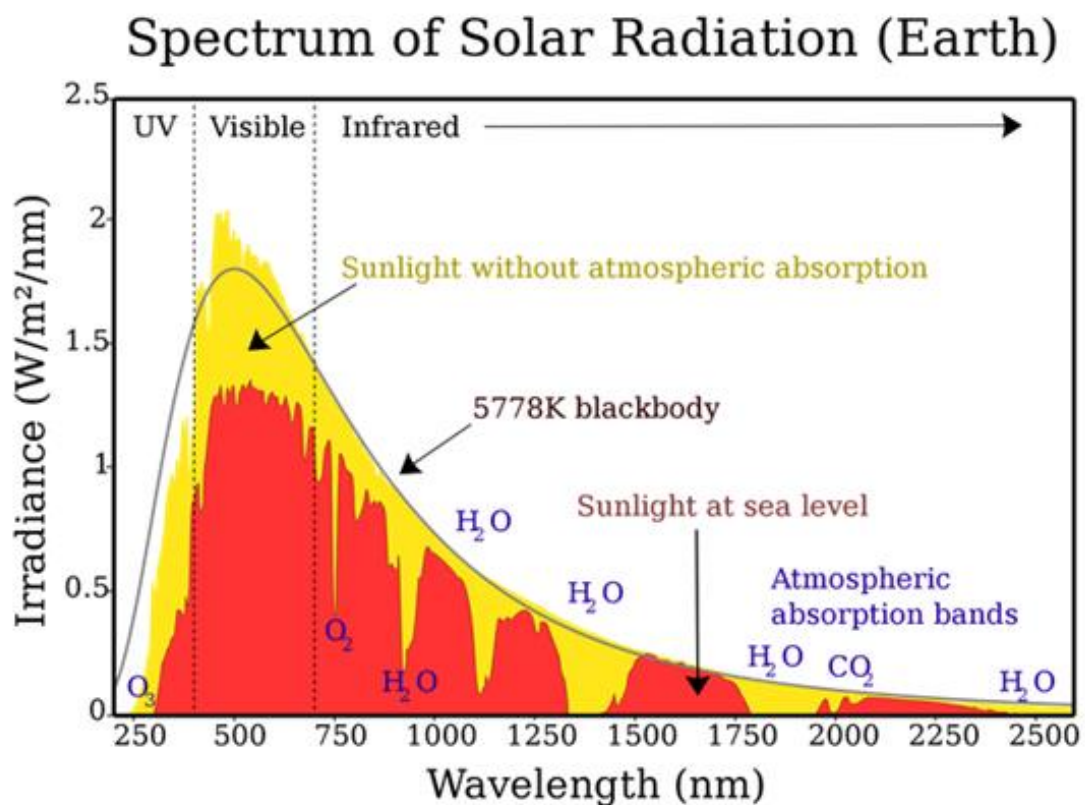
2D 平面相机主要做车内的 DMS，典型代表是凯迪拉克 CT6，2017 年初研发，通用凡搭配 Super Cruise 都是此类设计，供应商为中国宁波均胜旗下的均胜安全系统，算法由澳大利亚上市公司 See Machine 提供，硬件为 Xilinx 的 Zynq-7000 FPGA。福特的 Blue Cruise 也是类似的设计，包括了 F-150，Mustang Mach-E 和 Evos 车型，算法由 See Machine 提供，硬件为 Xilinx 的 Zynq-7000 FPGA。宝马早期的 DMS 由安波福提供，算法是 Smart Eye，核心芯片则是英伟达。英伟达的东西自然不便宜。不过自 ix、i4 开始，宝马转向 ToF。

2D 平面相机自然不能做 FaceID 和手势控制，从手机领域就能看出，没有人敢这样做，没有深度数据，2D 平面相机很容易被欺骗。手势控制也自不必多言。在 DMS 领域，2D 平面相机也面临诸多挑战，一是强光或快速光线变化，如阳光照射摄像头、林荫大道等场景，2D 平面相机会致盲或者反应不过来。二是算法，深度学习模型越来越大，消耗的算法资源越来越多，意味着硬件处理器的成本越来越高。三是准确度，没有深度数据，或者用深度学习推测的深度数据不仅精度很低且耗费大量运算资源。

2D 平面相机通常只能计算眨眼次数，眼帘开合程度这种平面信息，对欧美人种，大眼还能凑合，亚洲人眼小，眯成一条缝很常见，准确度非常低，可能频繁误报，驾驶员一上车就会关掉 DMS。眼球追踪，头部姿态算法是未来 DMS 的主流，用 2D 平面相机来做，准确度低且消耗运算资源多，成本高。

为了解决阳光问题，厂家们推出了 NIR 红外，940nm 处的太阳光能量比 850nm 处的要少得多，因此将光路的工作波长改为 940nm 基本上消除了致盲问题。

图表 127 地球太阳辐射光谱



然而问题来了，CMOS 图像传感器的量子效率在 940nm 远低于 850nm，这意味着必须使用更强大的 LED 来照亮驾驶员的脸。由于距离很近，且是一直开启，这不像激光雷达，只会偶尔扫到，可能百分之一秒，这是一上车就开启的，很难做到人眼安全，驾驶员有失明的风险。所以只能降低功率，结果就是效果很差，准确度很低，尤其是夜间，最需要 DMS 的时候。

还有一个隐私问题，4月7日，工信部发布了《智能网联汽车生产企业及产品准入管理指南（试行）》（征求意见稿），对智能网联汽车网络安全作出了多项要求。《征求意见稿》显然针对未来车载数据隐私问题，提出了新的明确要求，“智能网联汽车生产企业应依法收集、使用和保护个人信息，实施数据分类分级管理，制定重要数据目录，不得泄露涉及国家安全的敏感信息。”2D平面相机无法根本上解决隐私问题。

还有一个小麻烦，2D平面摄像头都是在转向柱上的，这就意味着你要转向柱厂家与你配合，成本自然要增加了，小厂家估计就没有转向柱厂家为你订做此类产品。

结构光主要还是用在手机上，因为它距离有限，很难超过1米，车内应用几乎没见过。结构光要依赖光源投影的 pattern。结构光最大的缺点是无法应对动态环境，也就是室外环境，光线环境的快速变化让结构光很容易受到干扰。其次是材料成本高，再次是响应速度慢，需要消耗比较多的运算资源。再次是尺寸大，无法做到水滴屏，必须是大刘海。理论上结构光可以缩小尺寸，但有效距离也会大幅度缩小，必须脸紧贴屏幕，显然这是不实用的。

立体双目在车内应用只有最新的奔驰 S 级，奔驰在立体双目领域耕耘超过 25 年，即便是在整个计算机视觉领域，奔驰都是立体双目技术的最顶尖公司。立体双目利用视差图提供深度信息，对光线变换敏感度降低，但仍有标定复杂，消耗运算资源多，成本高的缺点。也只有奔驰这种将立体双目烂熟于心的厂家才能玩得好。

ToF 相机具备一切优势，包括阳光干扰、光线变化干扰、隐私、有效距离、深度精度、体积方面。dToF 相机就是 Flash 激光雷达，iToF 就是 FMCW 激光雷达。其物理重建 3D 过程包括点云数据生成和点云配准，点云数据生成主要是坐标变换，点云匹配最常见的是 ICP 算法（ICP 算法由 Besl and McKay 1992, Method for registration of 3-D shapes 文章提出，该算法已经在 PCL 库中实现）。ICP 算法本质上是基于最小二乘法的最优配准方法。通过选择对应两个点云的关系点，然后重复计算最优变换，直到满足正确配准条件。3D 人脸识别处理的是 3D 的数据，如点云、体素等，这些数据是完整的，立体的，准确度高，且无需深度学习的卷积加入，算法简洁可靠，鲁棒性高具备可解释性，消耗运算资源很少。中控 CPU（如常见的高通 665）的运算资源就足以覆盖，无需单独外加运算 SoC，这是 ToF 相机最强大的地方。

此外，因为测距精度高，FOV 宽，能够监测大范围的头部运动，同时也更容易集成到车内后视镜，而不是集成到转向柱上。

那为什么很少听说 ToF 相机在车上的应用呢？原因有两点：一是 B 柱上的人脸识别 FaceID 刚刚出现，这个应用场合，非 ToF 相机莫属。众多新兴造车将在明年开始上这个功能，人脸车钥匙。二是早期的 ToF 的光源也是近红外，近期才改用 VCSEL，只有 VCSEL 才能发挥 ToF 的潜力。

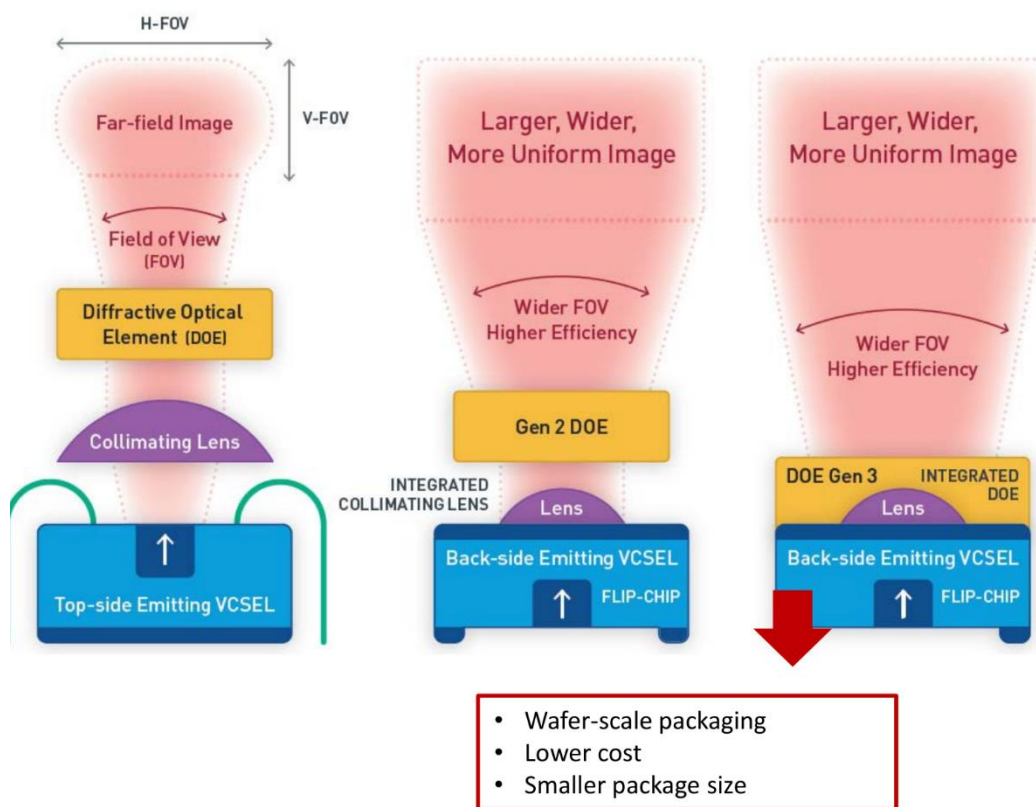
图表 128 LED VS VCSEL

	LED	Edge Emitter	VCSEL
Output Power	Up to 1W CW typical	100mWs CW	>3W CW >30W pulsed
Wall-Plug Efficiency	~25%	>45%	>35%
Beam Divergence & Quality	180 degrees Circular No speckle	11x40 degrees Elliptical Speckle	~17 degrees Circular No speckle
Wavelength Stability	Broadband 0.3nm/C	0.3nm/C	0.07nm/C
Pulse Speed	10s or 100s Nanoseconds	Nanoseconds	Nanoseconds
Packaging	Lowest cost, mature, surface-mount	Complex, larger, But low Z-height	Lower cost, Surface Mount

资料来源：互联网

LED 的功率密度低，脉冲速度低，效率低，波长稳定性低，用于消费类电子尚可。最大缺点是 FOV 窄，用于手持设备尚可，用于车内不行。

图表 129 VCSEL 的 FOV



资料来源：互联网

不过 VCSEL 进步很快，ToF 终修成正果。

ToF 又可以分为 iToF（间接飞行时间）和 dToF（直接飞行时间）两类。dToF 和 iToF 的原理区别主要在于发射和反射光的区别。

dToF 的原理比较直接，即直接发射一个光脉冲，之后测量反射光脉冲和发射光脉冲之间的时间间隔，就可以得到光的飞行时间。而 iToF 的原理则要复杂一些。在 iToF 中，发射的并非一个光脉冲，而是调制过的光。接收到的反射调制光和发射的调制光之间存在一个相位差，通过检测该相位差就能测量出飞行时间，从而估计出距离。

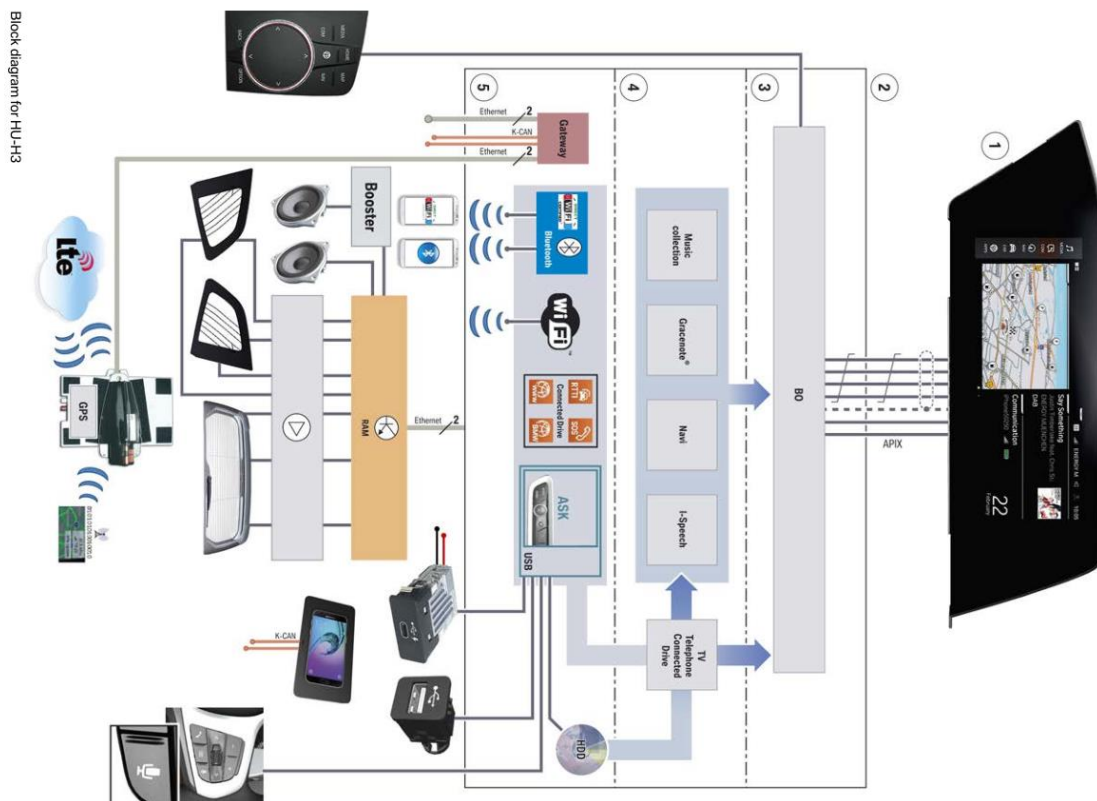
iToF 的最大问题就在于最大测距距离和测距精度之间的矛盾。举例来说，当调制频率为 100MHz 时，那么无论飞行时间是 1ns 还是 11ns 反应在调制相位差上都是 36 度，因此其最大测距距离就被调制周期所限制了；iToF 有效距离通常不超过 2 米，但在车内应用足够了。另一个小缺点，iToF 由于在检测相位差的时候使用了积分，所以环境光也会在积分过程中对于 iToF 电路造成干扰，因此 iToF 在明亮环境下的性能会受到影响。但仍比 2D 相机要好得多。

iToF 的测距精度也比 dToF 高，制造难度也比 dToF 低。dToF 深度算法相对简单，但是因为要检测光脉冲信号（纳秒甚至皮秒级），对光的敏感度要求很高，因此接收端通常选择 SPAD 即单光子阵列，早期 SPAD 成本高，良率低，像素低，目前随着松下、佳能、索尼和三星的大力研发，这些缺点都已不存在。当然同样成本下，iToF 的分辨率会高一点。dToF 则完全不受环境光的影响。

全球范围内可以提供 3D ToF 图像传感器的供应商，包括松下、佳能、索尼、英飞凌、Melexis、ADI、EPC Photonics、三星以及 Artilux 等多家公司。目前能过车规的主要是 Melexis 和松下。日本厂家技术能力强，毕竟 CCD 时代，日本厂家是垄断的，CCD 时代的经验累积让日本厂家以 dToF 为方向，欧美厂家则以难度低的 iToF 为主。

2.12 音响

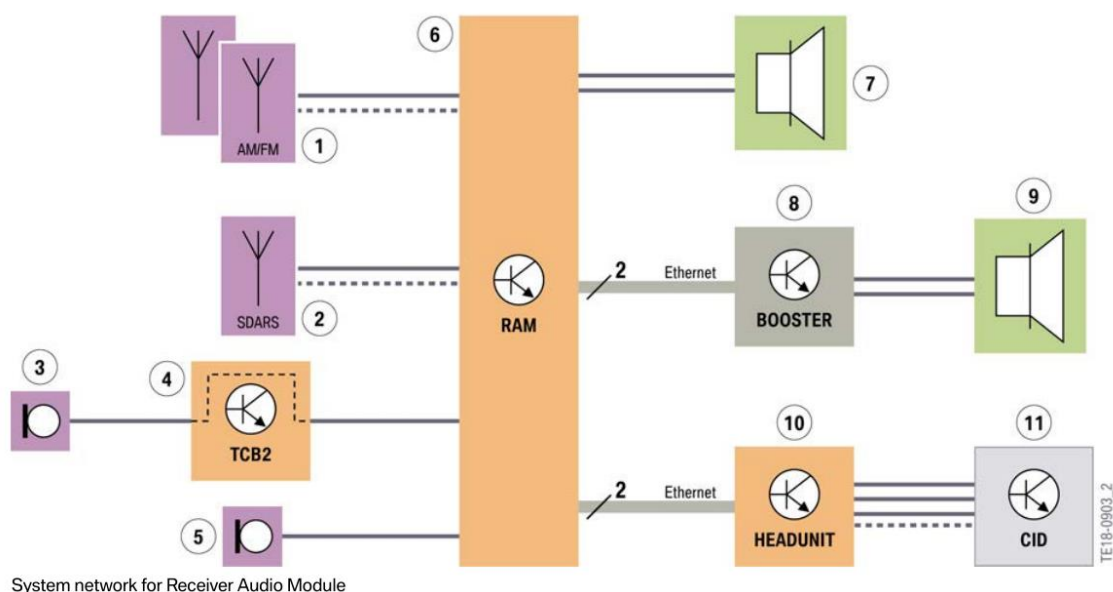
图表 130 宝马最新座舱电子架构



资料来源: 宝马

1 为 Central Information Display, CID, 2 为 HU-H3, 3 为用户界面, 4 为应用软件, 5 为连接系统。宝马等豪华车把音频部分通过以太网或 A2B 总线传输到一个单独的盒子做处理, 宝马系统里这个盒子叫 RAM, 主要是为了保证比较好的音质。

图表 131 宝马 RAM 系统拓扑图



资料来源：宝马

10 为 HU-H3，6 为 RAM，8 为 Booster 即低音音频放大器，3 是驾驶员侧麦克风，5 是乘客侧麦克风。1 为 AM/FM 天线，2 为 SDARS 卫星收音天线，4 为 T-box，7 为中高音扬声器，9 为低音扬声器，11 为仪表。宝马对音响系统尤其重视，共分三个版本，标准版（SA676）的功率是 205 瓦，包括 3 个高音，5 个中音，2 个低音单元。中级版（SA688）是哈曼卡顿环绕声，功率 464 瓦，包括 5 个高音，5 个中音，2 个低音单元。高级版（SA6F1）是 Bowers&Wilkins 钻石环绕声，功率 1200 瓦，包括 7 个高音，7 个中音，2 个低音。

国产品牌对汽车音响基本都不重视，都把精力放在能看见的地方，如大屏多屏，或者是联网功能上，汽车座舱最核心最常用功能还是听音乐，国产品牌显然是本末倒置了，不过这也难怪，在汽车销售时，说音响好不够直观，难以打动消费者。此外音响好坏难以有统一的标准，难以让人信服确实好。

国外品牌除了主打低端市场的品牌，基本都有特别选配的音响系统。绝大部分选配的音响系统都有家用 HI-FI 音响产品，目前音响发烧友已经沦为一个特别小的圈子，对音响发烧友来说车载音响是没有音质可言的，因为目前音响发烧友基本上只听黑胶唱片，CD 都很少听，也有用 DAT 母带听的，最重要的是音响发烧友只认两声道音箱。再有就是年轻一代的音响发烧友多是耳机党。理性的角度分析，对音质影响最大的是音源，但是极少有厂家愿意单独设计声音数模转换系统，通常都

选配音响按品牌可以分为两大类，一种是中高端，如常见的 Bose、Harman/Kardon，有些豪华车标配 Bose。另一种是豪华型。需要指出 JBL、AKG、Revel、MarkLevinson、Lexicon、Infinity 这些品牌都隶属三星哈曼集团。此外 Naim 和 Focal 也隶属一家企业。

图表 132 全球主要汽车品牌选配的音响

品牌	选配音响品牌	选配音响品牌 属地	选配音响品牌家用 音响擅长产品	适合音乐类型（仅 供参考）
宾利（Bentley）	Naim	英国	转盘与放大器	古典
劳斯莱斯	Bespoke	英国	前置放大器	
日产、大众	Fender	美国	吉他	摇滚乐
林肯	Revel	美国	音箱	蓝调、爵士、流行
宝马、沃尔沃、 Maserati	B&W	英国	音箱	
雷克萨斯	MarkLevinson	美国	放大器	蓝调、爵士、流 行、新时代
吉普	Mcintosh	美国	电子管放大器	流行
奔驰、保时捷	Burmster	德国	放大器与音箱	流行尤其是电吉他
奥迪、宝马、 Lucid、兰博基尼	B&O	丹麦	音箱与播放器	流行
凯迪拉克凯雷德	AKG	美国	麦克风、耳机	流行
法拉利 488、丰田	JBL	美国	音箱	流行
Genesis	Lexicon	美国	音箱	
捷豹路虎、起亚 K8、Rivian	Meridian	英国	播放器与音箱	古典
DS	Focal	法国	音箱	流行
ACURA	ELS（实际是松下）	日本		流行

资料来源：佐思汽研

第三章 智能座舱技术体系

3.1 虚拟机

虚拟机 Hypervisor，有些也把它称为 VMM（virtual machine monitor），这个概念来自 PC 界，随着座舱处理器的性能越来越强，座舱屏幕越来越多，座舱电子涵盖的功能越来越多，虚拟机已经成为座舱电子不可或缺的软件系统，ARM V8-A 架构芯片的大量出现也使得虚拟化很容易实现，多核高性能处理器不用虚拟机也难发挥全部性能，虚拟机已经是高性能多核处理器的标配。单处理器可以节约大量成本，无需仪表 MCU，无需仪表的 10 层 PCB，无需仪表 ECU 盒子，无需存储器，无需 CAN 收发器和大量线束。目前主要用在座舱领域，主要也是中国市场，典型代表如长城关联公司诺博采用高通 SA8155P 芯片加黑莓 QNX 虚拟机为 2022 版哈弗 H6 运动型打造的座舱系统，包括全液晶仪表、HUD、360 环视、驾驶员状态监控、语音识别、增强现实导航、OMS 等功能。奇瑞瑞虎 8 和捷途由德赛西威打造的座舱也是黑莓 QNX 虚拟机。

在虚拟化环境下，物理服务器的 CPU、内存和 I/O 等硬件资源被虚拟化并受 Hypervisor 的调度，多个操作系统在 Hypervisor

的协调下可以共享这些虚拟化后的硬件资源，同时每个操作系统又可以保存彼此的独立性。

对座舱电子来说通常是三个 OS：一个是强调实时性的仪表 OS，一般是 ASIL B；一个是丰富功能的娱乐 OS，一般是 ASIL A；还有一个弱 ADAS 功能，如 360 环视，DMS 驾驶者行为监控，面部识别等，一般是 ASIL C。通常都称之为 Guest OS。

根据 Hypervisor 所处层次的不同和 Guest OS 对硬件资源的不同使用方式，Hypervisor 虚拟化被分为两种类型：Bare-metal 虚拟化方式（“裸机”虚拟化）和 Host OS 虚拟化方式（基于操作系统的虚拟化，宿主型虚拟化）。车载系统基本上都是裸机虚拟机，一般称之为 Type-1 型。除了基于软件的虚拟化之外，还有一类基于硬件的虚拟化，德州仪器和 NXP 更看好硬件虚拟化，他们首推硬件虚拟化。

Hypervisor 直接给物理外设打交道，那它当然需要运行在特权 privilege 模式了，在过去没有 virtualization extension 的情况下，guest os 和 guest application 只能都运行在 de-privileged 模式，如下图所示。

图表 133 Hypervisor 特权模式

Deprivileged	Guest 1	Guest 2
Privileged	Hypervisor	
	Hardware	

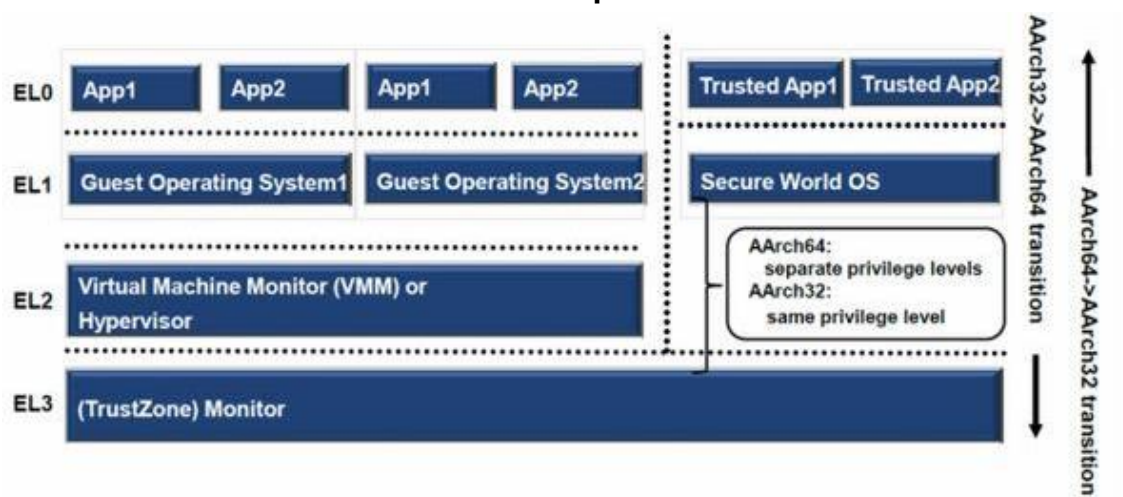
资料来源：互联网

特权模式下执行的指令分成了两类：**sensitive instructions**（敏感指令）：这些指令试图去更改系统资源的配置信息，或者它的执行结果依赖于系统的状态。**privileged instructions**（特权指令）：这些指令在非特权模式下会 **trap**（产生异常，陷入中断向量表），在特权模式下可以正常执行。

敏感指令是特权指令的子集。这种标准现在被称为 **classically virtualized**（经典可虚拟化模型），不满足这个要求的情况下也可以做虚拟化（二进制翻译技术）。

ARMV7 架构中包含 8 种处理器模式，其中包含 1 种非特权模式和 7 种特权模式：V8 取而代之的是 4 个固定的 **Exception level**，分别为 EL0 到 EL3，其中数字越大代表特权(**privilege**)越大。类似地，可以将 EL0 归属于 **non-privilege level**，EL1/2/3 属于 **privilege level**。如下图所示。

图表 134 Exception Level



资料来源：互联网

EL0: 无特权模式(unprivileged), EL1: 操作系统核心模式(OS kernel mode), EL2: 虚拟机监视器模式(Hypervisor mode), EL3: TrustZone® monitor mode。只有在异常(如: 中断、page faults 等)发生时(或者异常处理返回时), 才能切换 Exception level (这也是 Exception level 的命名原因, 为了处理异常)。当异常发生时, 有两种选择, 停留在当前的 EL, 或者跳转到更高的 EL, EL 不能降级。对于 ARMv8, Hypervisor 运行在 EL2 异常级别。只有运行在 EL2 或更高异常级别的软件才可以访问并配置各项虚拟化功能。在 EL2 中实现额外的存储器转换层, 称为“Stage 2 转换”。Hypervisor 将为每个虚拟机创建和管理 Stage 2 的页表; 提供 3 种虚拟异常的支持, Virtual SError, Virtual IRQ, 和 Virtual FIQ。

物理异常被配置为 Hypervisor 捕获，虚拟异常将会被注入到 Guest OS，针对 Guest OS 中 dma 设备，提供 smmu 硬件以支持 dma 重映射。

对于 x86 架构，运行在 X86 架构上的操作系统（Operating System，OS）被设计为具有直接访问和控制硬件资源的权限。X86 架构使用 0、1、2 和 3 四个权限 Ring 来控制管理硬件访问权限，其中用户应用程序运行在 Ring3 权限中。OS 因为需要直接访问物理硬件资源而在 Ring0 中执行。X86 架构下的这种层级授权机制也会被应用到虚拟机中。虚拟化上，x86 架构要比 ARM V8 难得多。

虚拟机分全虚拟和半虚拟两种，全虚拟是应用在虚拟操作系统上，半虚拟是 API 应用在虚拟操作系统上。

目前常见的虚拟机包括黑莓的 QNX、英特尔主导的 ACRN、Mobica 为代表的 XEN、松下收购的 Open Synergy 的 COQOS、德国大陆汽车的 L4RE，法国 VOSyS 的 VOSySmonitor，其余还有很多，包括 Green Hills 的 Integrity，日本的 eSOL，SYSGO 的 Pike，Mentor 的 Nucleus，三星哈曼的 Redbend，EPAM 的 Xen 等。

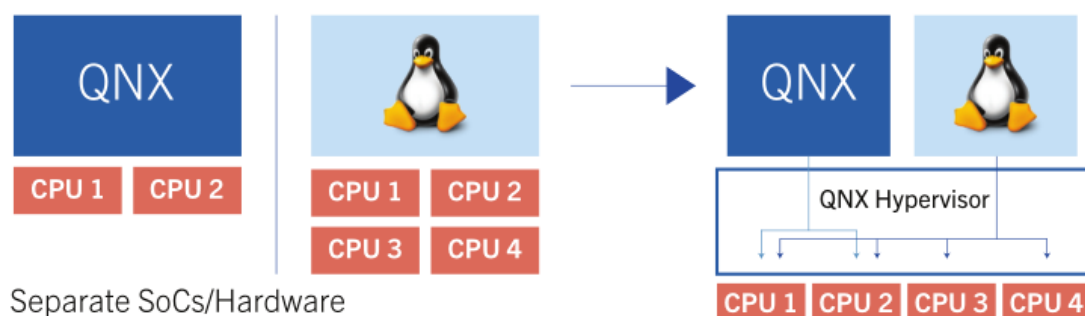
图表 135 主要 Hypervisor 介绍

	QNX	ACRN	XEN (Mobica)	COQOS	L4RE	VOSSmonitor
入门费 (万美元)	21	免费	免费	15 (估计)	免费	免费
代码行数	20K	25K	290K	30K	31K	100k(估计)
主导企业或机构	黑莓	英特尔与 Linux 基金会	Linux 基金会、Mobica、ARM	松下	德国大陆汽车旗下 Elektrobit	法国 VOSS
支持 SoC 平台	英特尔 A3900 系列、NXP I.MX8 系列、高通 820a 系列、瑞萨 R-CAR 3	英特尔 E3900、A3900 系列	联发科 MT2712	高通 s8155、NXP I.MX8、NXP S32G、瑞萨 R-Car 3	瑞萨 R-CAR 3	MT2712, 瑞萨 R-CAR 3, Xilinx Zynq UltraScale+ MPSoC, 瑞萨 RZ/N1D
安全等级	ASIL D	-	-	ASIL B	-	ASIL C
量产实例	斯巴鲁力狮和傲虎、路虎卫士、广汽 AionLX	奇瑞星途、长城 F7、红旗	下一代丰田低端车型 (估计)	下一代日产顶级车型 (估计)	大众最新迈腾 (估计)	-
Tier One 支持	伟世通、电装、博世、马瑞利	三星哈曼、东软、LG	-	松下、佛吉亚电子 (歌乐与 Parrot)	德国大陆汽车	-
中国区支持	中科创达、南京诚迈	英特尔中国	-	上海智允信息	-	-

资料来源：佐思汽研

QNX 公认是最成熟安全程度最高的座舱虚拟机操作系统，不过收费较高，包括入门费、席位费、服务费和授权费（按屏幕数量收费）。QNX 虚拟机采用虚拟 CPU 模式。

图表 136 QNX 虚拟机虚拟 CPU 模式



Hypervisor microkernel scheduler:

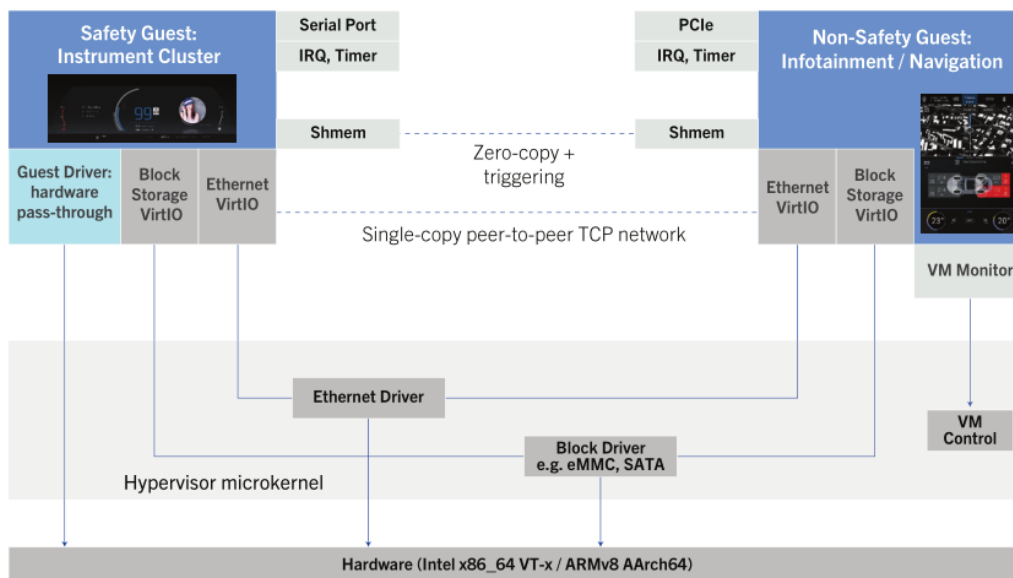
- vCPU has **priority**, processor affinity mask, and processor budget

资料来源：QNX

QNX 使用基于优先级的虚拟 CPU 共享模式，每个虚拟 CPU 拥有自己的优先级和时间任务安排序列（scheduling），确保高安全优先级 OS 能够从低优先级 OS 那里抢占更多的物理 CPU 资源。虚拟 CPU 拥有估计资源预算能力，进而在物理 CPU 上实现自适应分区。能够最大化利用硬件资源。

各 OS 之间可以共享设备 I/O 界面，有助减低成本，减少开发周期。

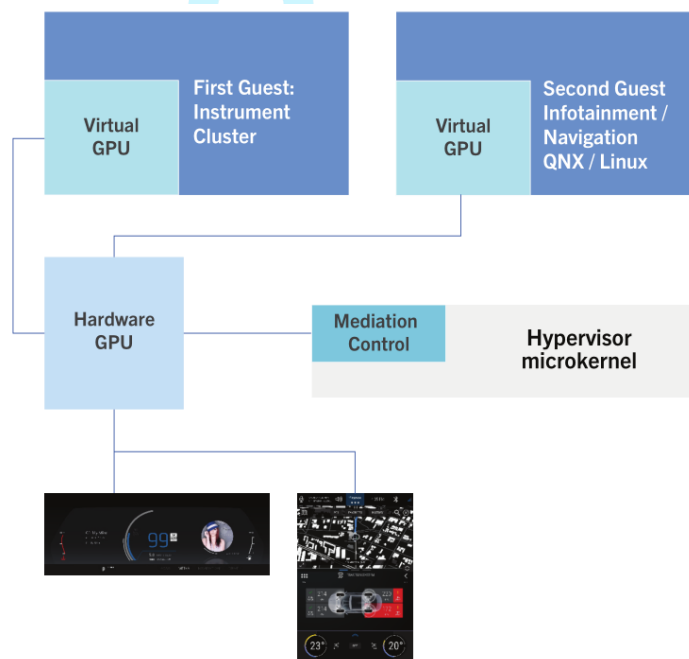
图表 137 QNX 虚拟优先级共享模式



资料来源: QNX

在 GPU 虚拟方面, QNX 引入仲裁机制, 优先为高安全等级 OS 提供 GPU 资源。

图表 138 GPU 虚拟化



资料来源: QNX

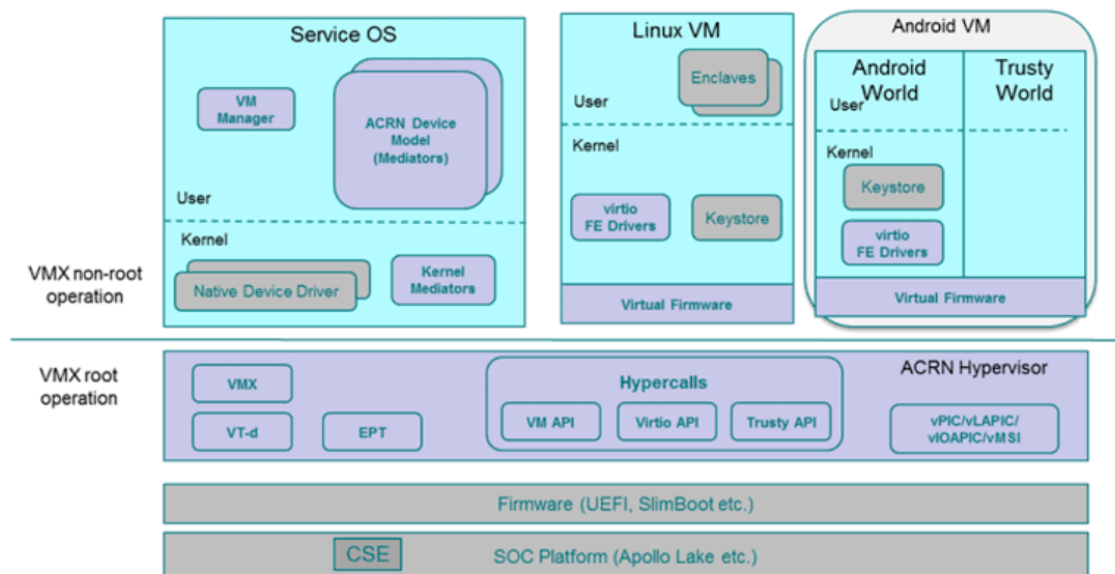
在 2018 年的 Linux 嵌入式大会上发布的 ACRN，是一款灵活的、轻量级的参考 hypervisor，以实时性和关键的安全性为设计出发点，并且通过开源平台为精简嵌入式开发进行优化。

ACRN 的最大优势之一是尺寸小，发布时大约只有 25K 行代码。英特尔开源技术中心为项目贡献了源代码，ACRN 的早期支持者包括英特尔、ADLink 凌华科技、Aptiv、LG 电子和东软。后续则有三星哈曼加入。

ACRN 不是缩写，发音为“acorn”，（acorn 英文意思为橡子）寓意虽然开始很小，但最终可以长的很大。

ACRN 有两个关键组成：hypervisor 和 ACRN 设备模块。ACRN Hypervisor 是一个 Type 1 的 hypervisor，可以直接运行于裸机上。ACRN 设备模块是针对虚拟设备仿真的参考框架实现，它提供丰富的 I/O 虚拟化支持，目前计划支持音频、视频、图形和 USB。随着社区发展，预计会有更多设备虚拟化功能加入。

图表 139 ACRN 虚拟参考框架



资料来源：ACRN

ACRN Hypervisor 运行在裸机上，然后在其上可以运行一个基于 Linux 的服务操作系统（SOS），然后可以同时运行多个客户操作系统，以便整合工作负载。

ACRN hypervisor 为 Service OS 创造了第一个虚拟环境，然后启动 Guest OS。Service OS 运行本地设备驱动程序来管理硬件，向 Guest OS 提供 I/O mediation。Service OS 以系统最高优先级的虚拟机运行，以满足时间对敏感需求和系统服务质量（QoS）的要求。Service OS 目前可以运行 Clear Linux，但是 ACRN 也支持其它 Linux 的发行版或者专有 RTOS 作为 Service OS 或 Guest OS。

为了保持 ACRN hypervisor 代码库尽可能小且高效，大部分设备模块的实现驻留在 Service OS，用来提供设备共享和其它功能。目的是保证在资源受限的设备上实现小尺寸，低延迟的代码库的优化。

图表 140 奇瑞星途 VX 座舱内饰



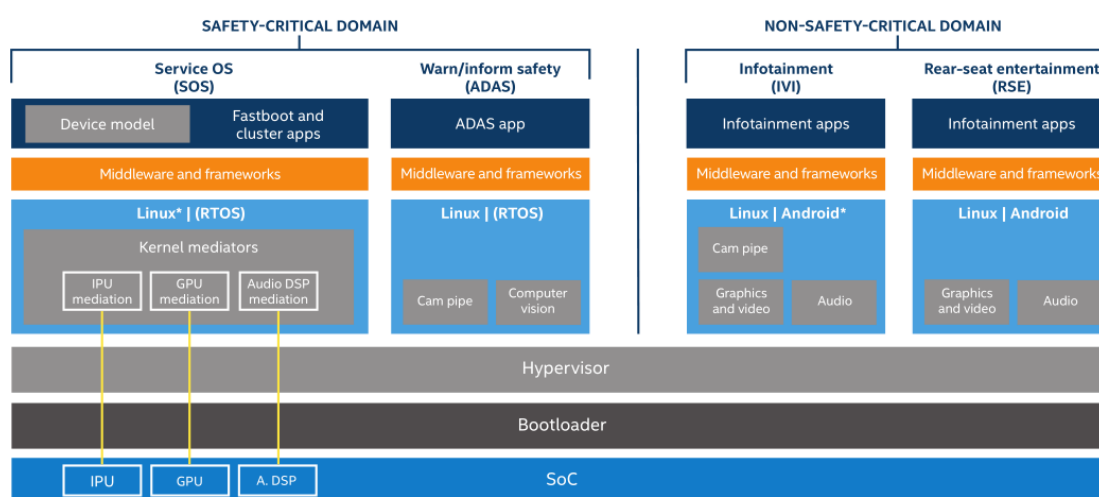
资料来源：奇瑞星途

ACRN 的典型用例是奇瑞星途 VX，这是奇瑞有史以来最高等级的车，也是奇瑞尺寸最大的车。配备了双 12.3 英寸液晶显示屏，仪表使用 Clear Linux，仪表盘显示刷新频率达 60Hz，中控采用最新的安卓 9.0 系统，这是转为车载系统开发的，包括一些专用功能，比如 AI 语音助手，空调灯光音量语音控制，导航 AR 增强等。

同时，奇瑞星途 VX 配备面部识别系统，根据面部识别系统可以个性化设置内饰，同时导航是增强现实 AR 导航。使用 Slim Boot Loader (SBL) 技术让仪表盘冷启动低于 2 秒。

ACRN 也有对 ADAS 的对应。

图表 141 ACRN 在 ADAS 的应用



资料来源：ACRN

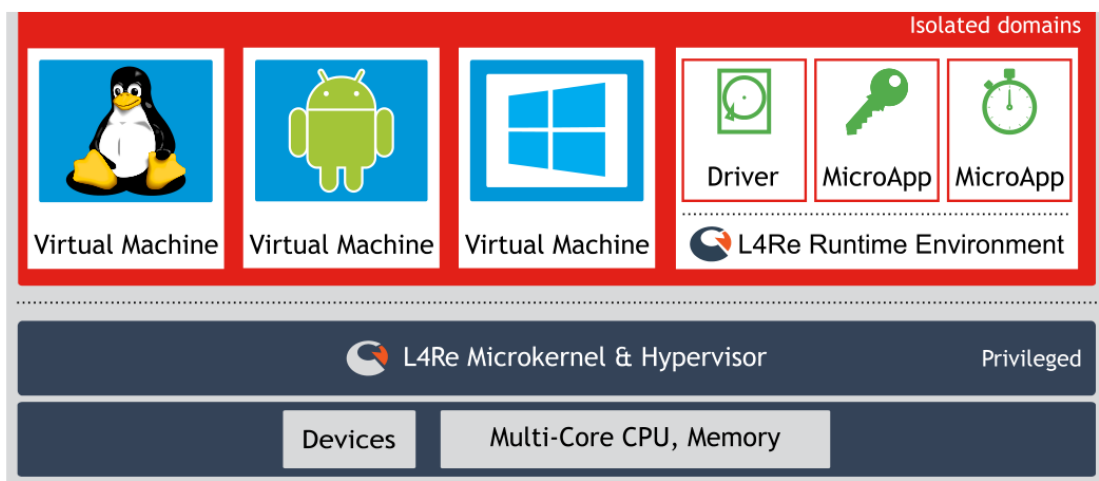
L4 微内核系统由德国国家信息技术研究院 JochenLiedtke 设计（此人已在 2001 年过世），1995 年公开。众所周知，基于消息传递（Message Passing）IPC 机制是微内核系统的基本特点之一。这一设计理念有助于提高系统的灵活性，模块化，安全性，以及可扩展性。IPC 的性能表现是决定微内核系统性能的关键因素，因为绝大多数系统调用和很多应用程序的服务都需要两个 IPC，一个服务请求，一个结果返回。

消息传递 IPC 机制现在已经大量用于多种计算机系统中，但是很多 IPC 实现的性能并不太好。根据 CPU 性能和消息长短不同，一个 IPC 大概需要 50 到 500 μ s。

L4 内核支持三种抽象概念：地址空间，线程，和 IPC。他只提供 7 个系统调用，只有 12K 字节代码。在 486-DX50 机器上，一个地址空间切换 IPC，8 字节参数传递，只需要 5 μ s。

1998 年德国德累斯顿大学开发了基于 L4 的开源操作系统 Fiasco.OC，采用基于对象的 C++ 语言。同时也开发了 L4 运行环境，即 L4Re。德国和法国的虚拟机系统推测有不少都是基于 L4Re 的。

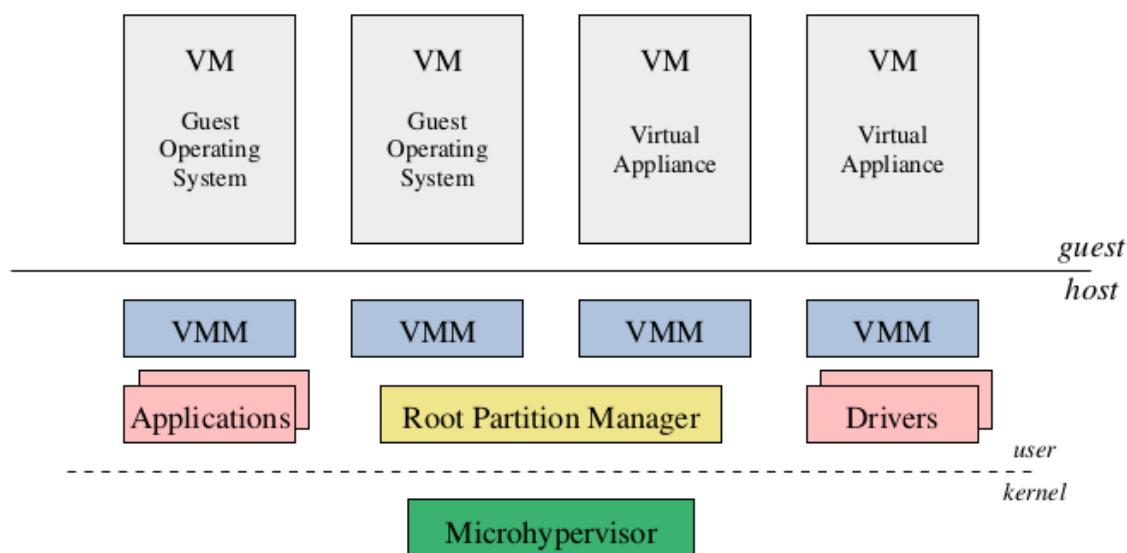
图表 142 L4Re 介绍



资料来源：L4Re

Fiasco.OC 里有专为虚拟机开发的部分，称之为 NOVA，这也是德累斯顿大学的作品。

图表 143 NOVA 架构



资料来源：Fiasco.OC

上图为 NOVA 架构，和虚拟化有关的主要是三个 Microhypervisor，VMM（Virtual Machine Monitor）和 Root Partition Manager。可以看出 hypervisor 是对硬件的一种抽象，而且提供一种硬件的并发访问和隔离机制（多个 `guest+os` 同时运行，共享硬件，但是又互相不影响），这些功能与操作系统的功能十分类似，能不能把 hypervisor 和 `os+kernel` 结合起来？答案是肯定的，这就构成 microhypervisor，微内核与 hypervisor 有许多共性，使得它们的结合巧妙而自然。

VMM 在这里的功能是负责管理 Virtual+Machine (VM) 和 host+os (microkernel) 之间物理资源的交互。每一个 VMM 都向它的 VM 提供一组类似于物理硬件的接口，让所有的 guest+os 觉得自己好像运行在真实的物理机器上一样，同时 microhypervisor 保证它们之间的隔离性。

需要强调的是，在 NOVA 里面，hypervisor 和 VMM 不是同义词。一般情况下，我们认为 hypervisor 和 VMM 都可以译为虚拟机管理器，都是为了实现对硬件资源的抽象和复用以便支持多个 os，但是在 NOVA 中，hypervisor 是代表的 privileged+kernel (microhypervisor) 而 VMM 是代表一个 deprivileged+user+component (从 NOVA 的架构图上很容易得出)。

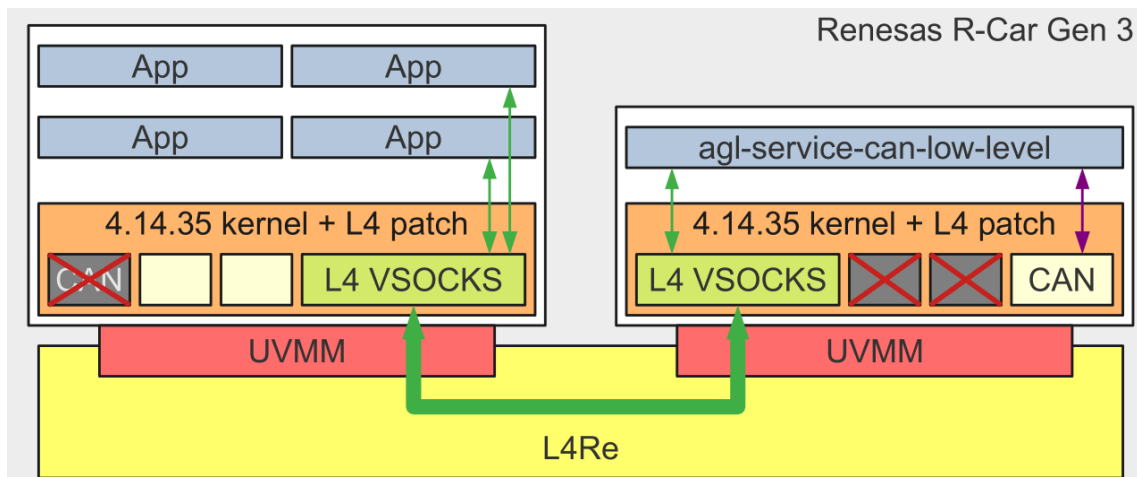
微内核是不包含 policy 的，所以关于资源分配的策略也应该放在用户空间单独实现。其实这里的 Root+Partition+Manager 我们认为就是 Sigma0，Sigma0 是 L4/fiasco 微内核的第一个用户进程，除了内核自己使用的内存之外，所有的内存、外设端口都交给 Sigma0 进程来管理，Sigma0 负责向其他用户进程分配内存和外设资源。这也正体现了 L4 微内核的递归内存分配，而且所有的分配策略都在用户层决定。

对于 **guest+os** 来说，它使用的是 **virtual+cpu**（后文简写为 **vcpu**），**vcpu** 在 **guest+os** 看来是一个硬件，类似于真实的 **cpu**，但是对于 **microhypervisor** 来说就是一个 **thread**。**microhypervisor** 采用的是基于优先级的、可抢占的、时间片轮转调度策略，每个物理 **cpu** 都保存一个 **runqueue**。每一次调度的时候，调度器都会就绪队列里选择出当前优先级最高的线程进行执行，把当前上下文切换到要调度的线程的上下文（**context+switch**）。对于调度器来说，它并不区分调度的线程是 **native+thread** 还是 **vcpu+thread**。

大众下一代（最新的迈腾可能已经使用）中级车采用瑞萨的 **R-CAR M3**（**W** 或 **N**）平台，它采用 6 核设计，两个 **A57** 四个 **A53**，德国厂家的 **L4RE** 一般都基于 **M3** 或 **H3** 平台研究，一般都使用两个 **A53** 做仪表，每一个 **A57** 运行一个虚拟机 **VM**。

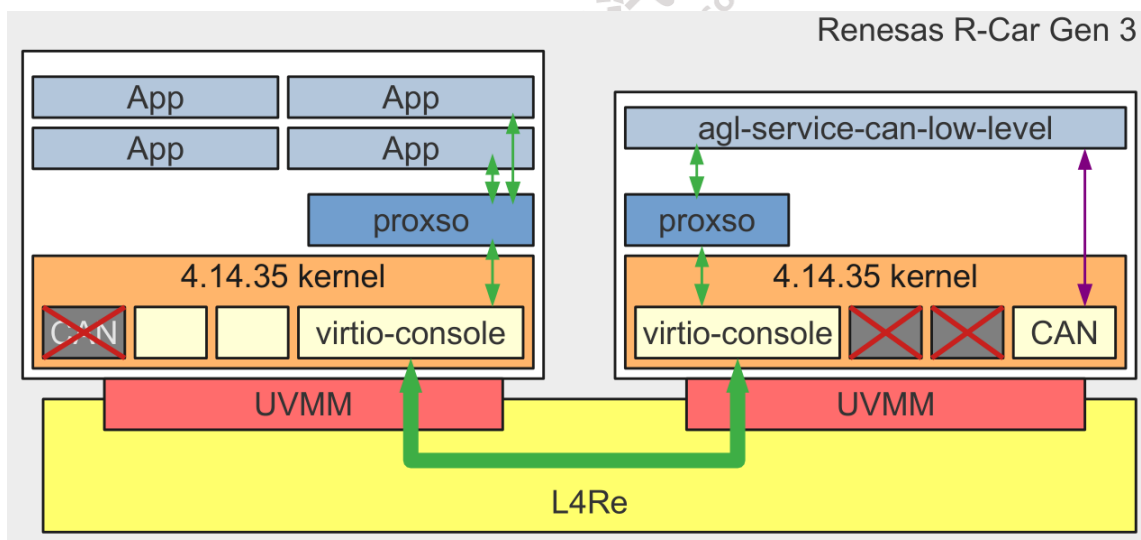
L4Re 也通常和 **AGL**（车规级 **Linux**）连在一起使用。下图为 **L4** 的虚拟 **SOCKS** 和虚拟 **CONSOLE**。

图表 144 L4 的虚拟 SOCKS



资料来源：大众

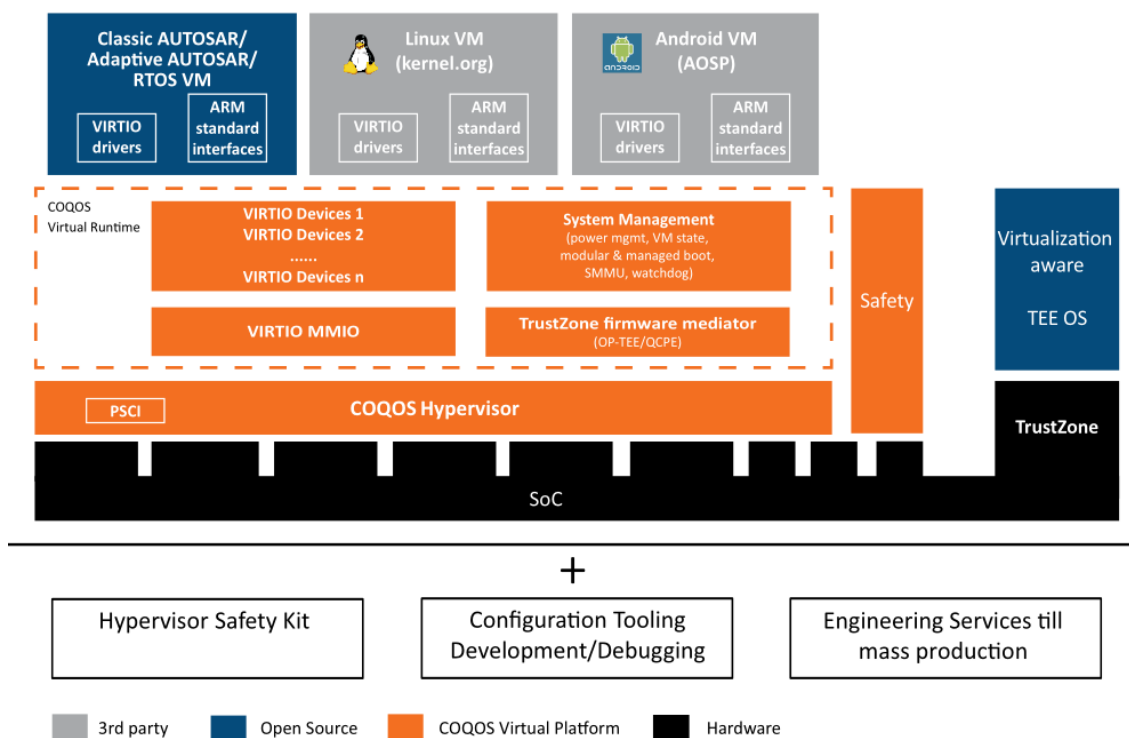
图表 145 L4 的虚拟 CONSOLE



资料来源：大众

2016 年 7 月，松下收购了 Opensynergy，该公司有一套名为 COQOS 的虚拟机系统。不仅可用于座舱，也可以用于自动驾驶系统，对自适应 Autosar 也有对应。并且也通过了 2018 版的 ASIL B 级认证。下一代日产、福特有可能采用这套系统（基于瑞萨 R-CAR 3）。

图表 146 COQOS 虚拟系统



资料来源：松下

2019 年 9 月 ARM 在 IAA 展会上展出了由 Mobica 与联发科 MT2712 合作的三屏座舱电子系统，包括中控导航、仪表和副驾（360 度环视），集成了 TomTom 的导航系统，该解决方案是使用 Google 的 Android 开放源代码项目（AOSP）开发的，可让 OEM 保留数据 IP，以用于未来的获利策略。Mobica 的虚拟机主要基于 Xen Project。

图表 147 基于 Xen Project 虚拟系统的座舱电子系统框架

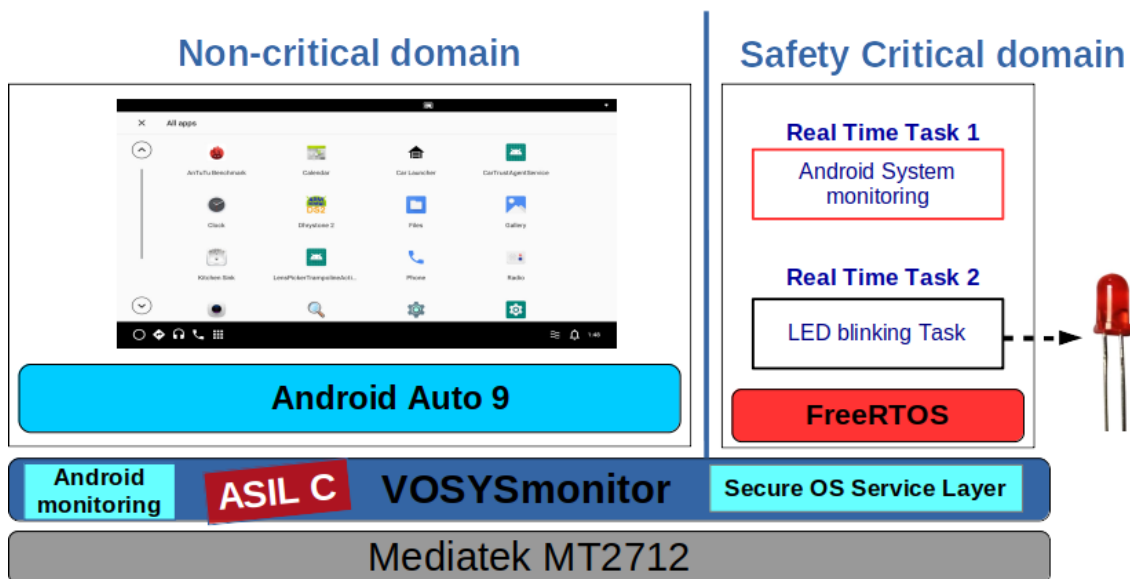


资料来源：ARM

法国 Virtual Open System 公司在几乎在同时推出了基于 MT2712 的虚拟机样品，即 VOSYSmonitor，并称通过了 ASIL C 级认证。它不是严格意义上的虚拟机，更像是一个虚拟分区系统。

它利用 ARM 的 TrustZone，支持多个并行不同类型不同安全等级的操作系统。

图表 148 VOSYSmonitor 虚拟机



资料来源: Virtual Open System

由于不是类似小型操作系统的虚拟机，这种轻量级系统性能比较好，但需要硬件配合，硬件必须像两个芯片那样设计。

图表 149 基于 MT2712 平台下的 VOSYSmonitor 虚拟机性能

Item	Description	Performance results
Safety critical OS boot time	Full boot time needed to enter in the Safety critical OS from a Power-On operation.	265ms (including 1ms of VOSySmonitor setup time)
Safety critical OS FIQ latency	Overhead induced by VOSySmonitor context switch to forward an FIQ to Safety critical OS	Average = 1,6µs - 4,33µs
Android AnTuTu benchmark	Benchmarks for Android devices that test/stress several parts of a device and assigns a score	Native Android: 91201 Android with VOSySmonitor: 86367
Android Drhystone benchmark	Computing benchmark (integer) that allows to measure the general CPU performance	Native Android: Avg=188,9ms Android with VOSySmonitor: Avg=191,1ms
Non-critical domain IRQ latency	IRQ latency of non-critical domain induced by prioritizing Safety critical domain execution	Native Normal world app: 4,33µs Normal world app with VOSySmonitor: 4,33µs

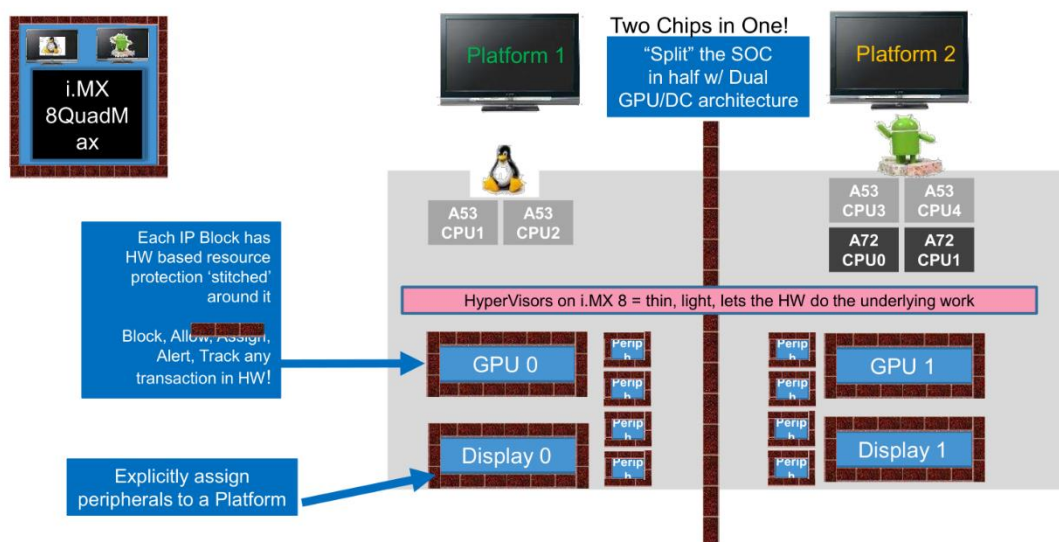
VOSySmonitor benchmarked performances on Mediatek MT2712 platform

资料来源: Virtual Open System

全软件虚拟机的优点是软件灵活度很高，可以达到软件定义座舱的程度，也可以减少整体软件开发成本。缺点一是硬件资源消耗必然不低，因此也多在高通和英特尔平台上见到。缺点二，虚拟机对软件技术不足的企业来说，第三方的支持费用会非常高，如果出货量低的话，远不如使用两套独立的系统。

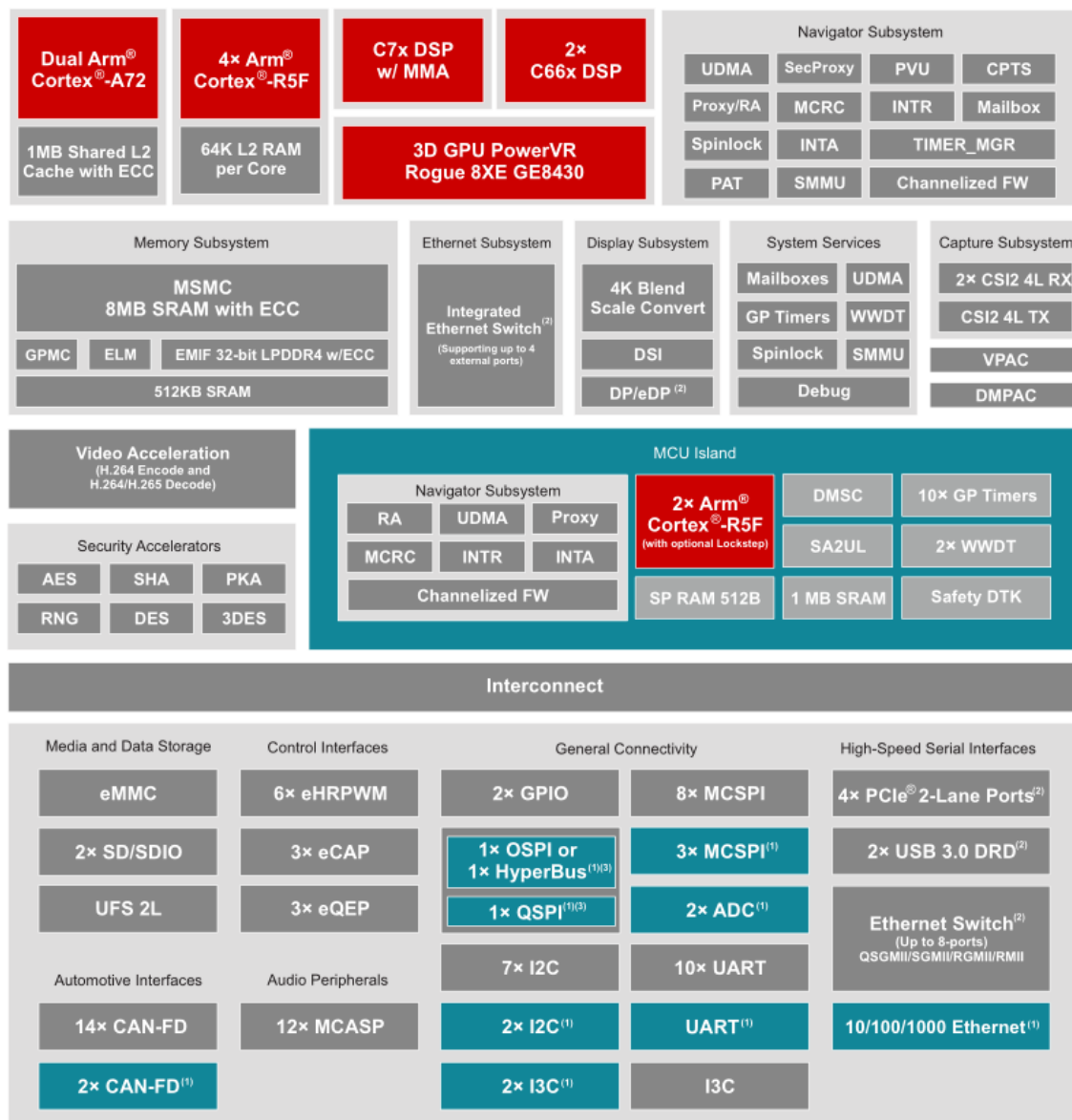
硬件虚拟化的优点恰恰是针对这两个缺点的。像德州仪器 J6 这样的性能不足的芯片都可以虚拟化，第三方支持费用会很低，适合出货量不高的系统。缺点是灵活度不足。至于可靠性，硬件虚拟化有物理区域隔离，似乎更可靠，但全软件虚拟机也主打高可靠性，两者应该相差无几。

图表 150 NXP i.mx8qm 的虚拟机图



资料来源：NXP

图表 151 德州仪器 TDA4VM

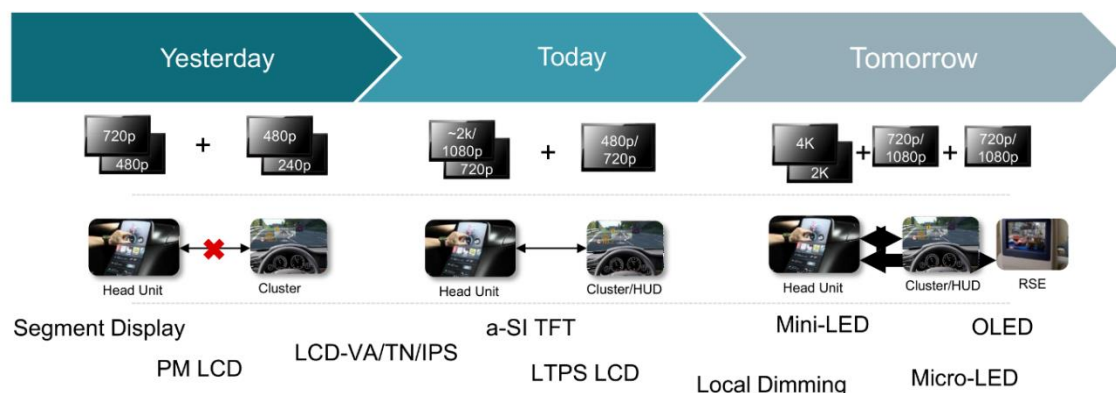


资料来源：德州仪器

上图是德州仪器最新的J7即TDA4VM，整体达到ASIL B级，MCU岛达到ASIL C级。使用多达6个Cortex R5F来保证实时性和可靠性。

3.2 座舱显示接口技术

图表 152 汽车显示屏演进趋势



资料来源：互联网

汽车显示屏接口目前主要是 LVDS，未来追求更高分辨率和更大尺寸，可能会采用 eDP 或 V-By-One，此外 HUD 一般分辨率比较低，且是模拟显示，一般是 RGB 接口。

RGB 接口又叫 TTL 接口，比如常见的 TFT W 型 HUD 其显示屏一般是 JDI 的 ACK453AKC-E，1.8 英寸大小，分辨率 480*240，6 比特 RGB 接口。此外一些小于 6 英寸的屏幕一般也多用 TTL 接口。

LVDS，即 Low Voltage Differential Signaling，是一种低压差分信号技术接口。它是美国 NS 公司（美国国家半导体公司）为克服以 TTL 电平方式传输宽带高码率数据时功耗大、EMI 电磁干扰大等缺点而研制的一种数字视频信号传输方式。

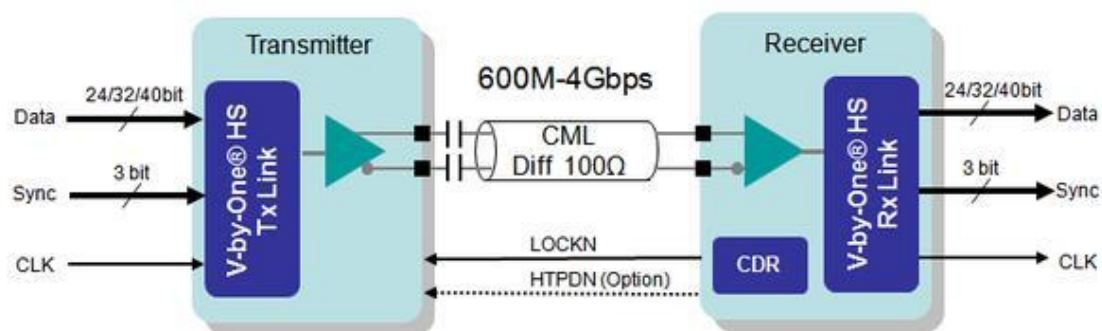
LVDS 就分成单通道与双通道两种扁排线，前者负责传输视频信号的电线只有 8 条，后者就有 16 条，单通道 LVDS 最高只支持到 1366×768 的分辨率，若要支持 1440×900 （含）以上高分辨率的 LCD 屏，就一定要双通道 LVDS 的扁排线。分辨率越高，排线越密集，成本很高，体积很大。同时排线之间容易干扰。因此 LVDS 传输距离一般不超过 30 厘米。大部分车载高级 SoC 芯片都不是针对车载原始设计的，多是针对手机设计的，视频输出都是 HDMI 或 MIPI，需要转换为 LVDS 信号。车内显示屏基本都是 LVDS 接口。不过车内的 LVDS 与其他领域的 LVDS 不同，车内 LVDS 约定俗成就是同轴连接的 LVDS，而其他领域则是排线。

eDP, Embedded DisplayPort 它是一种基于 DisplayPort 架构和协议的一种内部数字接口。主要在新式笔记本电脑、工业电脑和工控机上使用。英特尔从 Haswell（搭配 8 系列芯片组）平台之后，芯片组就取消 LVDS 接口的支持，只保留直接由 CPU 直接输出的 eDP 信号。4 条线就可以传输 2K 视频，LVDS 需要 32 条以上。微封包结构，能够实现多数据的同时传输，较大的传输速率，4lanes 高达 21.6Gbps，较小的尺寸，宽 26.3mm，高 1.1mm，利于产品的轻薄化，无需 LVDS 转换电路，简化设计，eDP 通过数据加干扰可以取得较小的 EMI（电磁干扰）。

LVDS 只能传输图像数据信号，eDP 使用类似通讯协议的封装传输，也可以传输控制信号。同时 LVDS 电压较高，现在的图像处理系统芯片都是 0.11 微米以下工艺，这种工艺无法做到高电压，eDP 是低电压工艺，可以使用先进制程，LVDS 无法支持 4K，即使 2K 的成本也高于 eDP，LVDS 正在向 eDP 迁移，市场需求正在飞速增加。

还有一种 LVDS 的升级接口 V-by-One，性能与 eDP 相当，但改动更少，LVDS 几乎可以无缝过渡到 V-by-One，在超大尺寸车载和显示器领域也有一席之地，如京东方为拜腾生产的 28 英寸超大车载屏。V-by-One® HS 是 Thine（哉英电子）独立开发的专用于视频信号传输的 Gb 级串行化接口技术，Thine(哉英电子)通过将 40bit/像素的图像数据转换为一对差分信号，使其每对传输线的最大传输速度可以达到 4Gbps，结合上独家的均衡器技术，实现品质优良的数据传输性能。

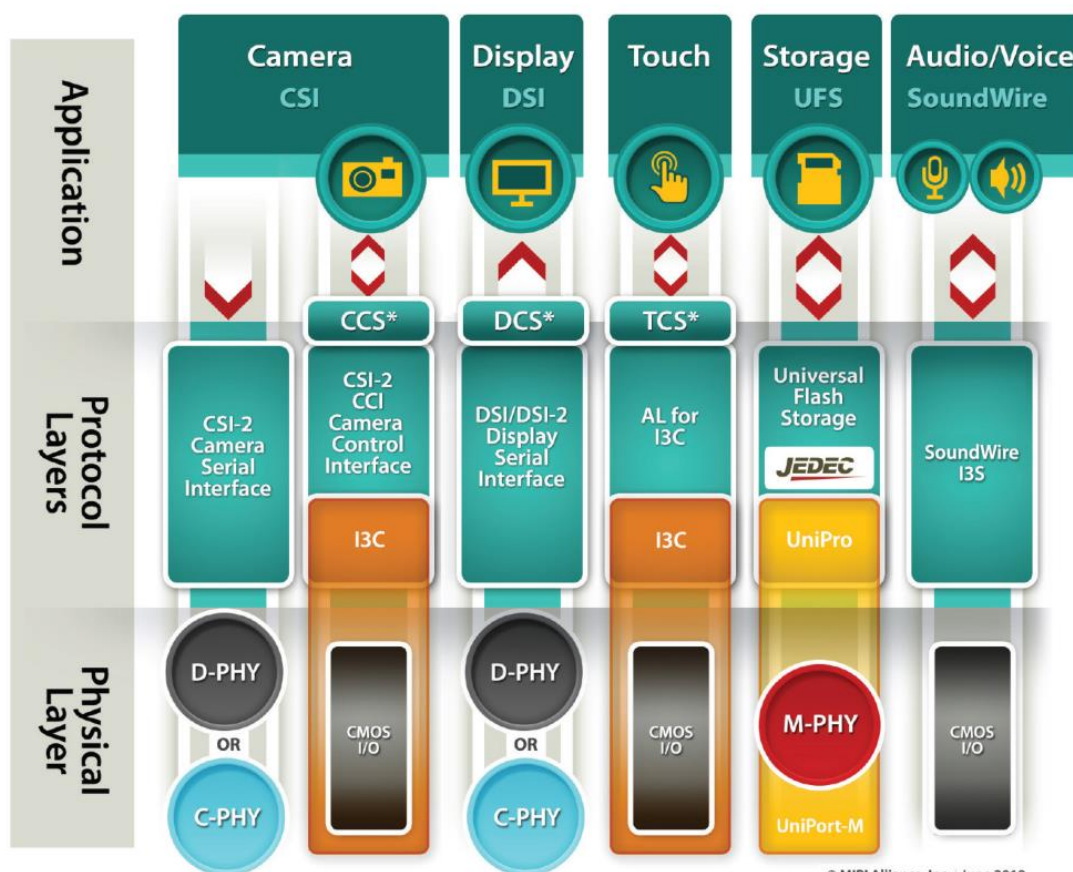
图表 153 V-by-One®HS 技术



资料来源：Thine

外部接口方面，HDMI 已经为大家熟知，未来变化也不大，无需赘言。DVI 和 DP 都是用在电脑领域，车载领域极为罕见。唯一需要多说的是 MIPI，这种原本为手机摄像头和显示屏开发的近距离传输标准，目前越来越强大，应用范围越来越广。MIPI CSI 针对摄像头，已经取得业内主流地位，DSI 针对显示。两者的核心都是基于 D-PHY，未来将会有 C-PHY 和 A-PHY。

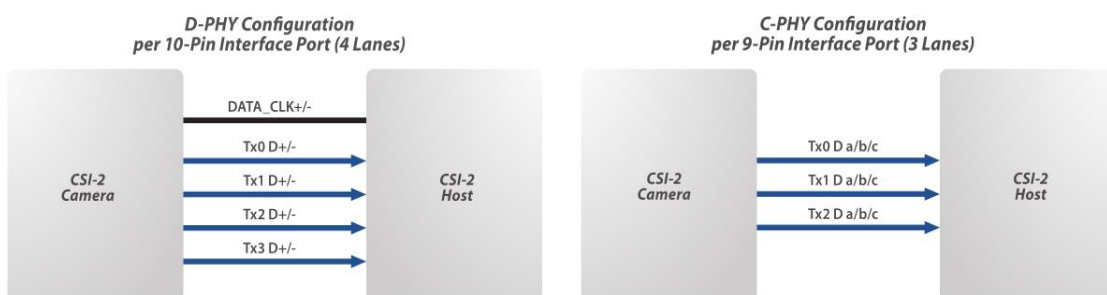
图表 154 MIPI 多媒体规范



资料来源：MIPI 联盟

未来 C-PHY 也将进入市场，与 D-PHY 相比，它少了一条 Lane，但传输带宽更高。目前最高的 4lane10 线带宽为 18Gbps，单 Lane 有 4.5Gbps。C-PHY 单 Lane 就可达到 13.7Gbps。3Lane 达 41.1Gbps。控制总线也改为 MIPI I3C，带宽达 33Mbps。

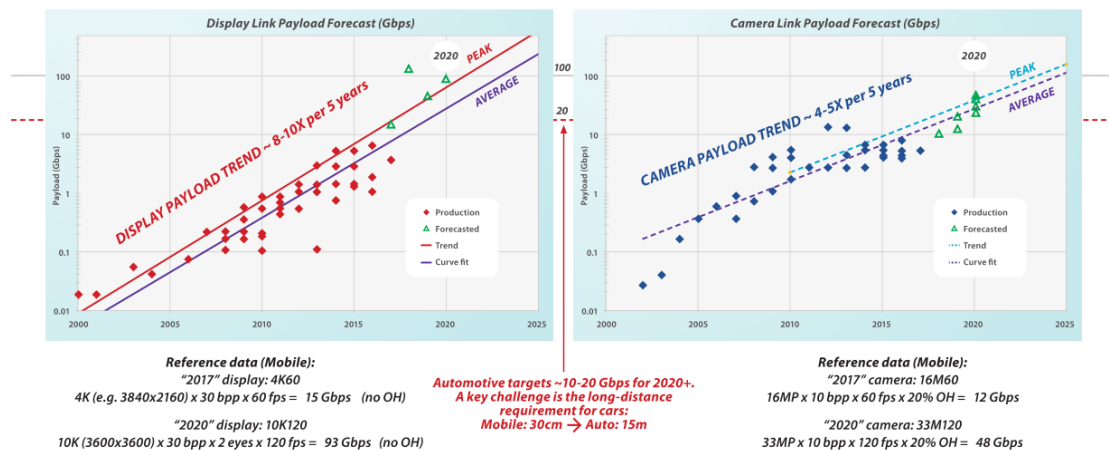
图表 155 在 CSI-2 相机应用中的 D-PHY 和 C-PHY 的 Lane 配置



资料来源：MIPI 联盟

C-PHY 针对 10K120 级显示和 1600 万像素和 3300 万像素输入。

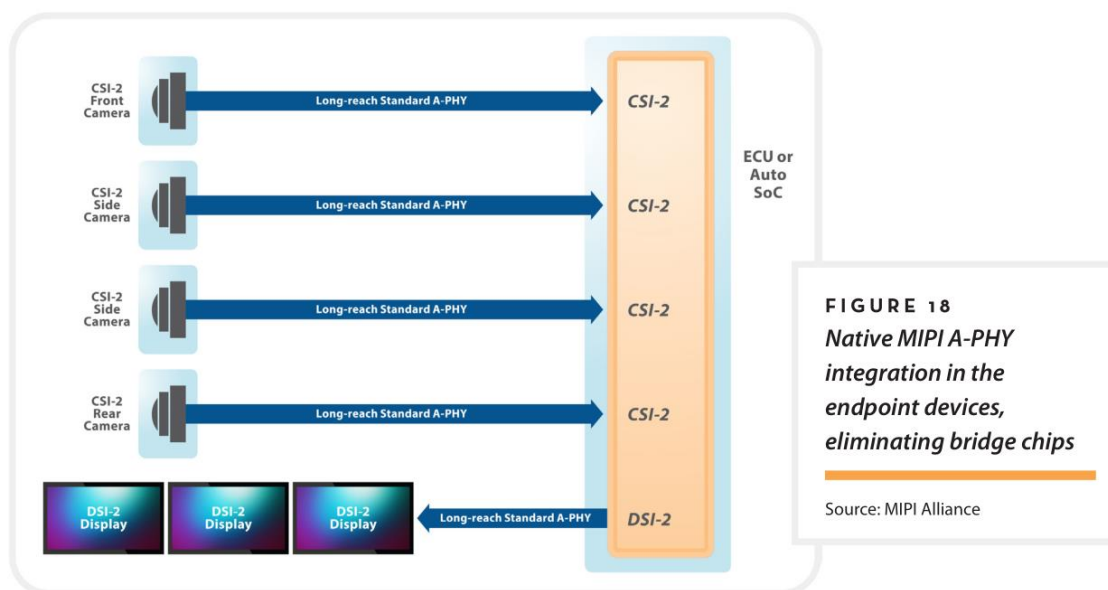
图表 156 显示有效载荷预测



资料来源：MIPI 联盟

MIPI 联盟最雄心勃勃的是 A-PHY，这是转为长距离传输设计的 PHY，意图取代目前热门的 SerDes 解串行桥接芯片。按照 MIPI 联盟的设想，第一步把 A-PHY 嵌入在桥接芯片内部，待时机成熟，把 A-PHY 嵌入传感器内部。无需使用任何桥接芯片，即可长距离传送数据。

图表 157 在 endpoint 设备中集成本地 MIPI A-PHY，消除桥接芯片



资料来源：MIPI 联盟

信号传输分为并行与串行两种，在高速状态下，并行口的几根数据线之间存在串扰，而并行口需要信号同时发送同时接收，任何一根数据线的延迟都会引起问题。

而串行只有一根数据线，不存在信号线之间的串扰，而且串行还可以采用低压差分信号，可以大大提高它的抗干扰性，所以可以实现更高的传输速率，尽管并行可以一次传多个数据位，但是时钟远远低于串行，所以目前串行传输是高速传输的首选。

不过相同频率下，并行传输的效率较高，因此在近距离高速传输中，并行更常见。像笔记本电脑屏幕与主板的 LVDS 传输，电脑内部的硬盘与主板，芯片内部的 PCIe 都是并行。

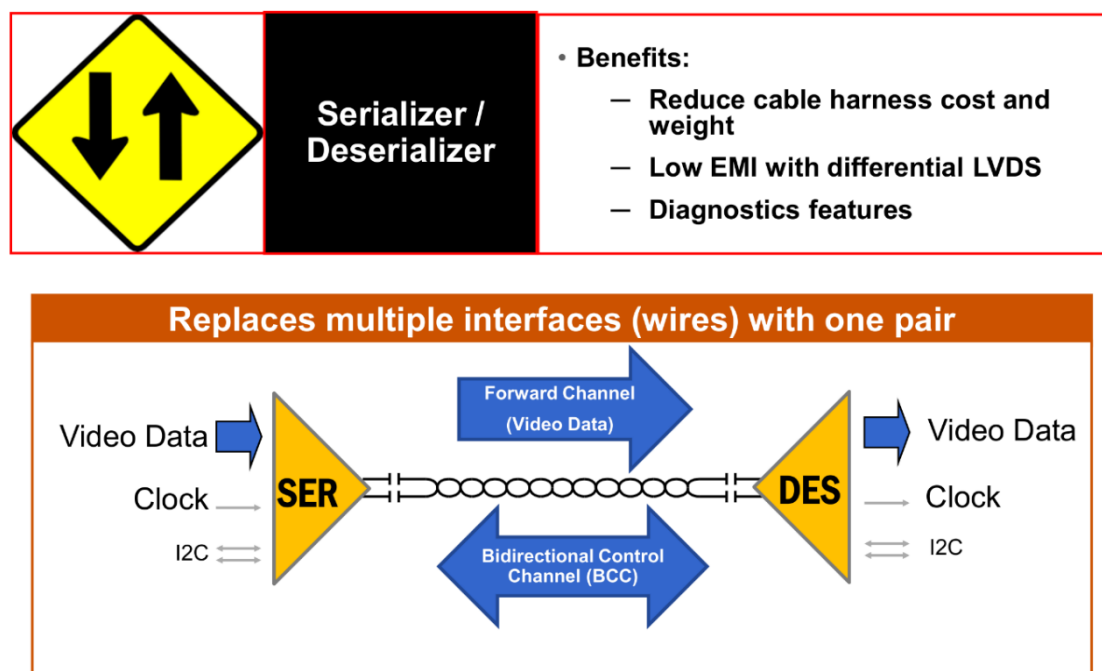


3.3 汽车解串行 SerDer

在车载领域，传输线要求一根电缆最好，通常都是一根同轴电缆，这样即降低成本、又提高可靠性、又降低 EMI 电磁干扰，这就必须用采用串行形式，但有些数据格式是并行的如 MIPI，这就需要解串行的形式，在传输前将数据格式整形为串行，在接收后将数据格式转换为并行，这就是 SerDes。它有两个芯片，发送端叫 Serializer，接收端叫 Deserializer。串行器 Serializer 把并行信号转化为串行信号。Deserializer 把串行信号转化为并行信号。一般地，并行信号为 8/10bit 或者 16/20bit 宽度，串行信号为 1bit 宽度(也可以分阶段串行化，如 8bit->4bit->2bit->equalizer->1bit 以降低 equalizer 的工作频率)。采用扰码(scrambled)的协议通常工作在光纤服务器领域如 SDH/SONET, SMPTE SDI 使用 8/16bit 的并行宽度，采用 8B/10B 编码的协议如 PCIExpress, GbE 使用 10bits/20bits 宽度。接收方向除了 Deserializer 之外，一般带有还有对齐功能逻辑(Aligner)。相对 SerDes 发送端，SerDes 接收端起始工作的时刻是任意的，接收器正确接收的第一个 bit 可能是发送并行数据的任意 bit 位置。因此需要对齐逻辑来判断从什么 bit 位置开始，以组成正确的并行数据。

SerDes 不传送时钟信号，这也是 SerDes 最特别的地方，SerDes 在接收端集成了 CDR(Clock Data Recovery)电路，利用 CDR 从数据的边沿信息中抽取时钟，并找到最优的采样位置。也是最难的地方。

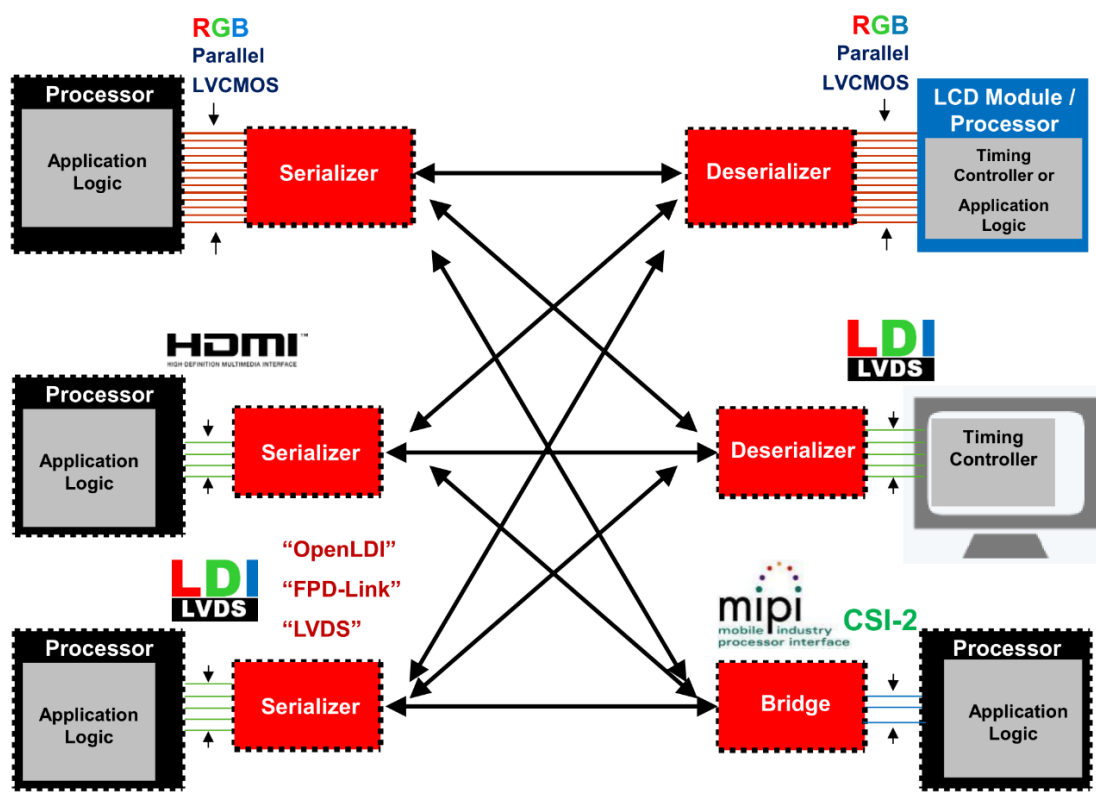
图表 158 FPD Link 串行器



资料来源：德州仪器

通常这些芯片还包括视频格式转换，如将 HDMI 或 MIPI DSI 转 LVDS。德州仪器是车载显示解串行芯片的主要厂家，几乎垄断市场，美信半导体在车载摄像头解串行芯片领域几乎垄断。

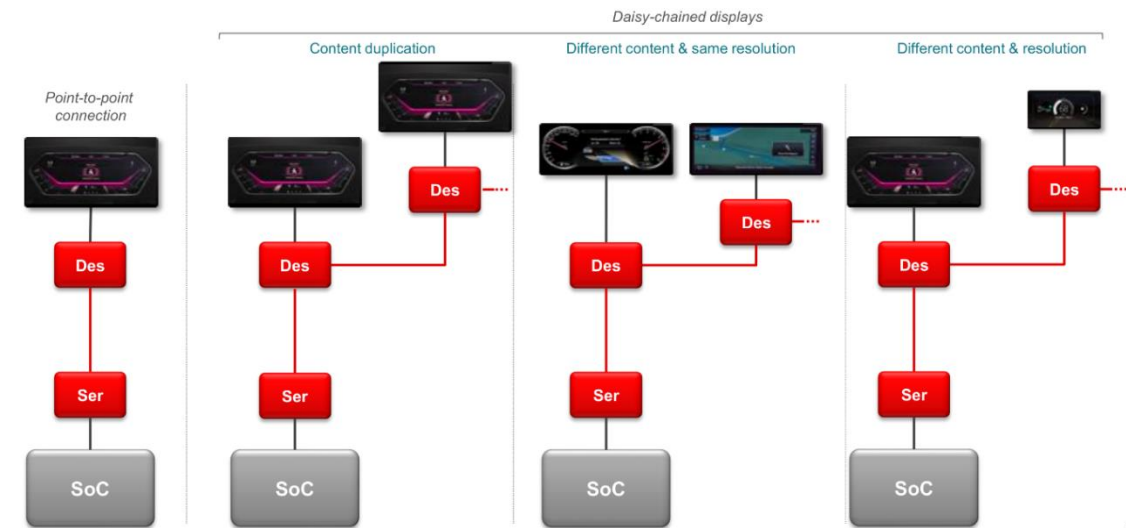
图表 159 存在多种系统接口选项时解决方案



资料来源：德州仪器

SerDes 不仅可以点对点，还可以复制一路再输出。

图表 160 FPD LINK IV 路线图



资料来源：德州仪器

在车载摄像头里，一幅图像数据经过 ISP 处理完成后，接下来就是考虑以怎样的方式传输出去。像环视、倒车后视摄像头等，其在车上安装的位置往往与中央处理器相隔少则数十厘米，长则数米的距离，考虑到信号稳定性和线束成本等因素，决定了摄像头必须采用串行传输的方式，也就需要 SerDes。

最早当摄像头开始应用在汽车上做倒车影像功能时，使用 CVBS（Composite Video Broadcast Signal）接口传输的方式居多，它以模拟波形来传输数据（PAL 或 NTSC 制式），支持的摄像头像素在 41 万以下。

当前在汽车上常见的传输方案，除了采用模拟信号方式传输的 AHD，还有采用数字信号方式传输的 GMSL、FPD-Link、V-by-One 等。类似方案的玩家还有 Rohm（方案称之为 Clockless Link），THine（方案称之为 V-By-One），Inova（方案称之为 APIX），Sony（方案称之为 GVIF）等。

AHD（Analog High Definition），基于 AHD 协议，能够在已有的模拟传输线上实现超长距离高清视频信号的传输。AHD 有三大格式：① AHD-L：清晰度远高于模拟 960H，略低于高清 720P；② AHD-M：清晰度等同于高清 720P；③ AHD-H：清晰度等同于 1080P 的全高清。

在汽车上，AHD 的方案以 Nextchip 的使用居多，其产品可以做到 1080P@30fps 的传输能力。跟 AHD 类似的还有浙江大华的 CVI，全名为“高清复合影像接口”（High Definition Composite Video Interface, HDCVI），美国硅谷 Techpoint Inc 公司研发 TVI，全名叫“高清影像传输接口”（High Definition Transport Video Interface, HDTVI）。不过车载领域基本上都是 AHD。

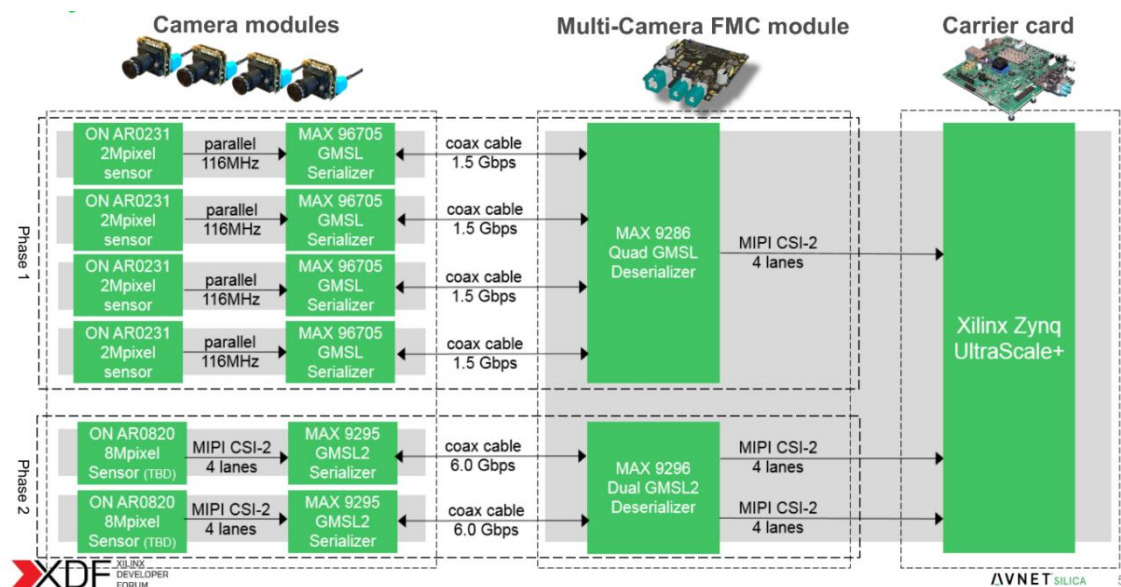
AHD 的优点是成本低，无论是芯片，还是连接器和线材，成本都远低于数字视频摄像头。但是有几个致命缺点：首先是图像质量比较差；其次是比较容易受干扰，鸣笛、大电流设备附近就能出现干扰图像；再有就是很难通过 EMC 电磁干扰；再有就是图像最多支持 130 万像素；再有就是难以自诊断，一旦出现问题，难以找到故障处，也无法传输控制信号，需要单独传输控制信号；最后是无法通过连接线供应电源。

低端车仍然有采用 AHD 的，大部分中高端车辆都采用了数字信号传输方式，这种方式能避免模拟传输的一切缺点，但就是成本高，无论连接器、线缆、芯片，成本都不低，且调试过程复杂繁琐。最常见的是美信的 GMSL。

GMSL (Gigabit Multimedia Serial Links) 在车载摄像头领域几乎垄断，特别是 360 环视。加串行置于摄像头内部，通常是 MAX96705，解串器在 ECU 内部。MAX9286 解串器可以对应四路输入，大大节约布线系统的成本和麻烦。性能方面，TI 的 FPD-Link 方案在 8kV 接触放电、15kV 空气放电的时候不会发生不可逆的物理损坏。但在 8kV 的接触放电实验时，TI 的 FPD-Link 方案可能会发生滚屏现象，复现几率大。6kV 接触放电的情况下，也会有概率可以复现该现象。

相比而言，Maxim 的 GMSL 方案可以保证在 8kV 接触放电、15kV 空气放电的时候，视频信号不受影响。

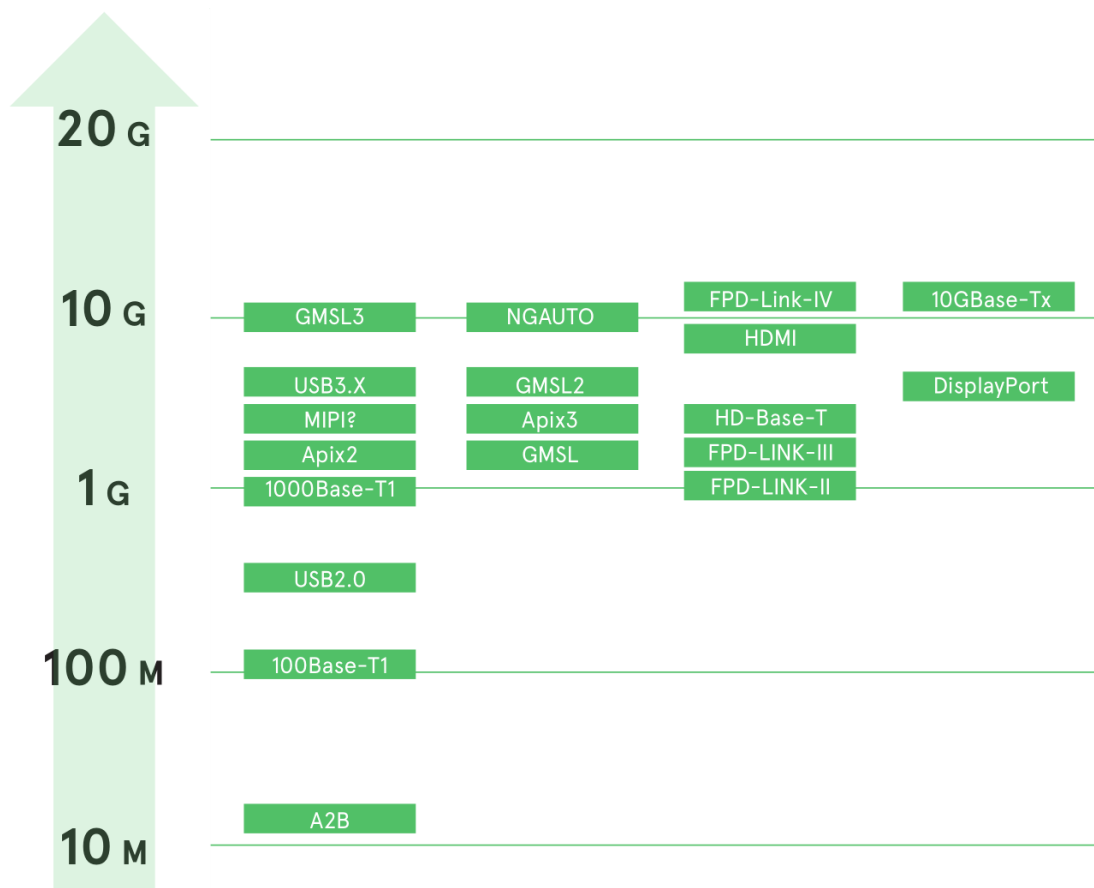
图表 161 GMSL 的典型应用



资料来源: XDF

上图为 GMSL 的典型应用，4 个 200 万像素信号加 MAX96705 串行器输入到一个解串器 MAX9286 里。两个 800 万像素加串行器 MAX9295 输入到一个解串器 MAX9296 里。MAX9295 是目前唯一能对应 800 万像素的串行器。

图表 162 各种传输方式的速率对比

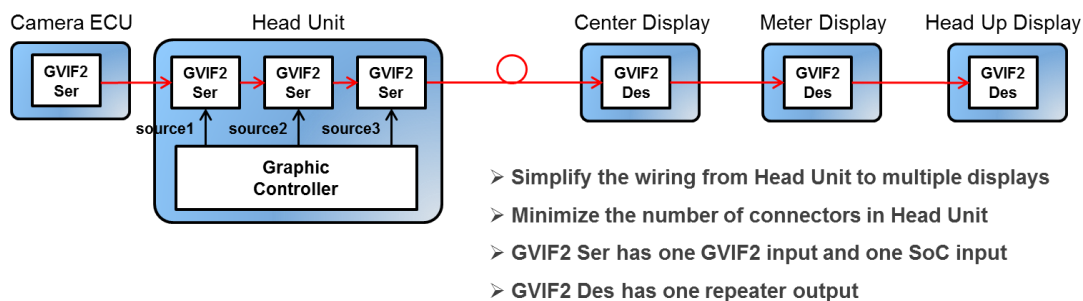


资料来源: Molex

APIX(Automotive Pixel link)是德国 Inova Semiconductorsnova 开发的多通道技术,类似于美信的 GMSL 和德州仪器的 FPDLINK,宝马全系列都使用 APIX 技术,是 Inova 的主要客户,捷豹、大众和沃尔沃部分车型也有使用。全新 APIX3 版本通过单独双绞线(STP)可实现高达 6Gbps 的传输速度,通过四双绞线(QTP)速度可达 12Gbps。

在摄像头解串行方面，索尼不必求助美信的 GMSL 或德州仪器的 FPD-LINK，索尼自己有类似的技术，即 GVIF。

图表 163 索尼 GVIF



资料来源：索尼半导体

日本丰田特别是雷克萨斯也是全线使用索尼的 GVIF 芯片。GVIF2 中的 CXD4960ER-W, CXD4961ER-W, CXD4962ER-W, CXD4963ER-W, CXD4960GG-W, CXD4963GG 可以支持 4 百万像素 60 帧每秒，因此支持索尼的 540 万像素 40 帧每秒是没有问题的。

这些 SerDes 是混合 IC，包含有模拟和数字。众所周知，模拟 IC 处理的信号都具有连续性，可以转换为正弦波研究，而数字 IC 处理的是非连续性信号，都是脉冲方波。模拟电路比较注重经验，设计门槛高，学习周期 10-15 年，数字电路则有 EDA 工具辅助，学习周期 3-5 年。

模拟 IC 强调的是高信噪比、低失真、低耗电、高可靠性和稳定性。产品一旦达到设计目标就具备长久的生命力，生命周期长达 10 年以上的模拟 IC 产品也不在少数。如音频运算放大器 NE5532，生命周期超过 50 年，现在还在用。数字 IC 多采用 CMOS 工艺，而模拟 IC 少采用 CMOS 工艺。因为模拟 IC 通常要输出高电压或者大电流来驱动其他元件，而 CMOS 工艺的驱动能力很差。此外，模拟 IC 最关键的是低失真和高信噪比，这两者都是在高电压下比较容易做到的。而 CMOS 工艺主要用在 5V 以下的低电压环境，并且持续朝低电压方向发展。对于数字电路来说是没有噪音和失真的，数字电路设计者完全不用考虑这些因素。此外由于工艺技术的限制，模拟电路设计时应尽量少用或不用电阻和电容，特别是高阻值电阻和大容量电容，只有这样才能提高集成度和降低成本。某些射频 IC 在电路板的布局也必须考虑在内，而这些是数字 IC 设计所不用考虑的。因此模拟 IC 的设计者必须熟悉几乎所有的电子元器件。

另一个门槛是 CDR，即时钟数据恢复，对于高速的串行总线来说，一般情况下都是通过数据编码把时钟信息嵌入到传输的数据流里，然后在接收端通过时钟恢复把时钟信息提取出来，并用这个恢复出来的时钟对数据进行采样，因此时钟恢复电路对于高速串行信号的传输和接收至关重要。

对于高速的串行总线来说，一般情况下都是通过数据编码把时钟信息嵌入到传输的数据流里，然后在接收端通过时钟恢复把时钟信息提取出来，并用这个恢复出来的时钟对数据进行采样，因此时钟恢复电路对于高速串行信号的传输和接收至关重要。CDR 接口的主要设计挑战是抖动，即实际数据传送位置相对于所期望位置的偏移。总抖动(TJ)由确定性抖动和随机抖动组成。大多数抖动是确定的，其分量包括码间干扰、串扰、占空失真和周期抖动(例如来自开关电源的干扰)。而通常随机抖动是半导体发热问题的副产品，且很难预测。传送参考时钟、传送 PLL、串化器和高速输出缓冲器都对会传送抖动造成影响。一般来说对低频的抖动容忍度很高，PLL 电路能够很好地跟踪，恢复出来的时钟和被测信号一起抖动。高频比较麻烦，要设置 PLL 电路过滤掉，如何设置，没有电脑辅助，全靠经验，没有 10 年左右的经验是做不好的。

这也使得界面 IC 的护城河非常宽阔，可以允许非常小的厂家存在，它可能只有一款产品，但生命力异常顽强。界面 IC 厂家的历史都非常悠远，最少都在 10 年以上，大部分超过 20 年。中国极少这种厂家。

3.4 车载以太网

3.4.1 汽车总线介绍

汽车 ECU 之间，ECU 与传感器之间执行器之间互相通信需要特定的通讯协议和通信网络，这种通信网络称之为总线网络。车载总线常见的有 LIN、CAN、MOST、CAN-FD、以太网（Ethernet）、Flexray、PSI5。

车身与舒适部分多用 LIN 和 CAN 总线，底盘和 ADAS 部分多用 Flexray，动力传递部分多用高速 CAN 或 CAN-FD，被动安全部分多用 PSI5，信息娱乐部分大众和奥迪多用 MOST，这是一种环形光纤网络，新车型已经放弃了 MOST 技术。

CAN 主要用于车上控制数据传输，是现役车载网络应用最为广泛的标准，最大传输速度为 1 Mb/s，可以说兴起于 20 世纪 90 年代的控制局域网（CAN）革命，对于整个汽车电子行业发展的推动是巨大的。

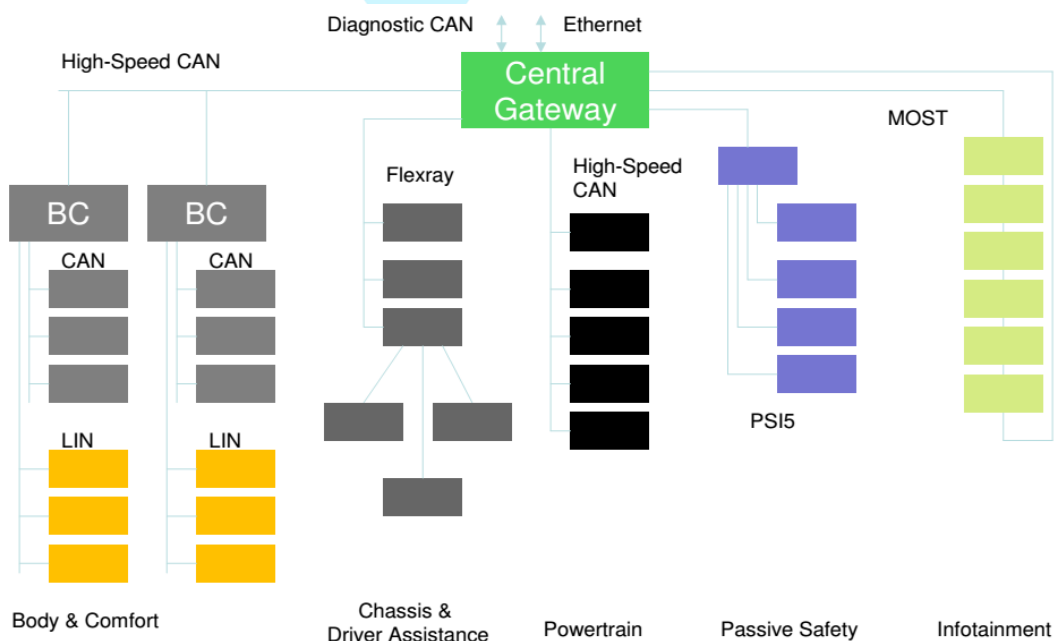
LIN 是一种低成本通用串行总线，在汽车领域主要用于车门、天窗、座椅控制等，最大传输速度为 20 kb/s。

FlexRay 是继 CAN 和 LIN 之后的新一代汽车控制总线技术，同样属于共享式总线技术，带宽可达 10Mbps。

FlexRay 的主要优势在于相比 CAN 总线具有较高的带宽，可以满足汽车关键应用的要求，但是同样作为共享式总线技术，其成本却很高，主要适用于中高端车中的线控系统（如悬架控制、变速箱控制、制动器控制、转向控制等）。主要由宝马、奔驰和沃尔沃在用。Flexray 总线最早由奔驰在 2000 年提出，2009 年 Flexray 总线标准改为 ISO17458，Flexray 协会也就此解散。Flexray 的核心成员是奔驰、宝马、通用、沃尔沃、大众、NXP、博世、Vector。Flexray 总线收发器由 NXP 垄断 90% 的市场，开发工具则由 Vector 垄断，导致其整体成本很高，大约比 CAN 贵 50%。主要用在豪华车上。

未来方向是车载以太网。

图表 164 汽车总线典型应用



资料来源：NXP

2010 年后汽车电子爆发，ECU 数量，ECU 的运算能力需求都呈现爆发式增长，在 ADAS 时代和即将到来的无人驾驶时代讲更加明显，同时对运算带宽的需求也开始爆发。造成汽车电子系统成本大增，一方面是 ECU 系统数量和质量的增加，由于是分布式计算，大量的运算资源被浪费了，由此产生的成本增加大约 300-500 美元，如果沿用目前的电子架构体系，产生的成本增加最少也是 1000 美元。另一方面是线束系统。一辆低端车的线束系统成本只要大约 300 美元，重量大约 30 公斤，长度大约 1500 米，线束大约 600 根，1200 个接点。而目前一辆豪华车的线束系统成本大约 550-650 美元，重量大约 60 公斤，线束大约 1500 根，长度大约 5000 米，3000 个接点。如果沿用目前的电子架构体系，无人车时代的线束成本不会低于 1000 美元，重量可达 100 公斤。

车载以太网使用单对非屏蔽电缆以及更小型紧凑的连接器和，使用非屏蔽双绞线时可支持 15m 的传输距离(对于屏蔽双绞线可支持 40m)，这种优化处理使车载以太网可满足车载 EMC 要求。可减少高达 80% 的车内连接成本和高达 30% 的车内布线重量 100M 车载以太网的 PHY 采用了 1G 以太网的技术，可通过使用回声抵消在单线对上实现双向通信。

以太网供电 PoE 技术于 2003 年推出，可通过标准的以太网线缆提供 15.4W 的供电功率。在一条电缆上同时支持供电与数据传输，对进一步减少车上电缆的重量和成本很有意义。由于常规的 PoE 是为 4 对电缆的以太网设计的，因此专门为车载以太网开发了 PoDL，可在一对线缆上为电子控制单元 ECU 的正常运行提供 12VDC 或者 5VDC 供电电压。除了增加成本，系统的可靠性也大大降低，容易受到网络攻击。还有功耗的问题。

当然，对带宽的需求也是一个因素，各种传感器，特别是激光雷达和高分辨率摄像头，必须用以太网传输数据。

3.4.2 车载以太网

为什么车载不能使用传统的以太网呢？

以太网是由鲍勃梅特卡夫（Bob Metcalfe）于 1973 年提出的，以太网络使用 CSMA/CD（载波监听多路访问及冲突检测）技术，目前通常使用双绞线（UTP 线缆）进行组网。包括标准的以太网(10Mbit/s)、快速以太网(100Mbit/s)、千兆网(1Gbit/s)和 10G（10Gbit/s）以太网。它们都符合 IEEE802.3。（注：bps=bit/s）。

以太网中所有的传输都是串行传输，就是说在网卡的物理端口会在每一个单位时间内“写入”或是“读取”一个电位值(0 或 1)。那么这个单位时间对于 1Gbps 带宽来说就是 $1 \div 1000,000,000 = 1\text{ns}$ ，每 8 个位(bit)相当于 1 个字节(Byte)。多个字节(Byte)可以组成一个数据帧。以太网传输数据是以帧为单位的。以太网规定每一个数据帧的最小字节是 64byte，最大字节是 1,518byte。实际上每个数据帧之间还会有一个 12 字节的间隔。

由于带宽通常是由多个设备共享的，这也是以太网的优势所在。但是所有的发送端没有基于时间的流量控制，并且这些发送端永远是尽最大可能发送数据帧。这样来自不同设备的数据流就会在时间上产生重叠，即我们通常所说的冲突。因为所有数据流重叠/冲突的部分会遵循 QoS 优先机制进行转发，一部分的数据包肯定会被丢弃。在 IT 专业里有一个不成文的规定。当某个交换机的带宽占用率超过 40%时就必须得扩容，其目的就是通过提高网络带宽来避免拥堵的产生。

由于以太网的发明时间太早，并没有考虑实时信息的传输问题。尽管 RTP (Realtime Transport Protocol) 能在一定程度上保证实时数据的传输，但并不能为按顺序传送数据包提供可靠的传送机制。

因此，想要对所有的数据包进行排序，就离不开对数据的缓冲（**Buffer**）。但一旦采用缓冲的机制就又会带来新的问题——极大的“延时”。换句话说，当数据包在以太网中传输的时候从不考虑延时、排序和可靠交付。

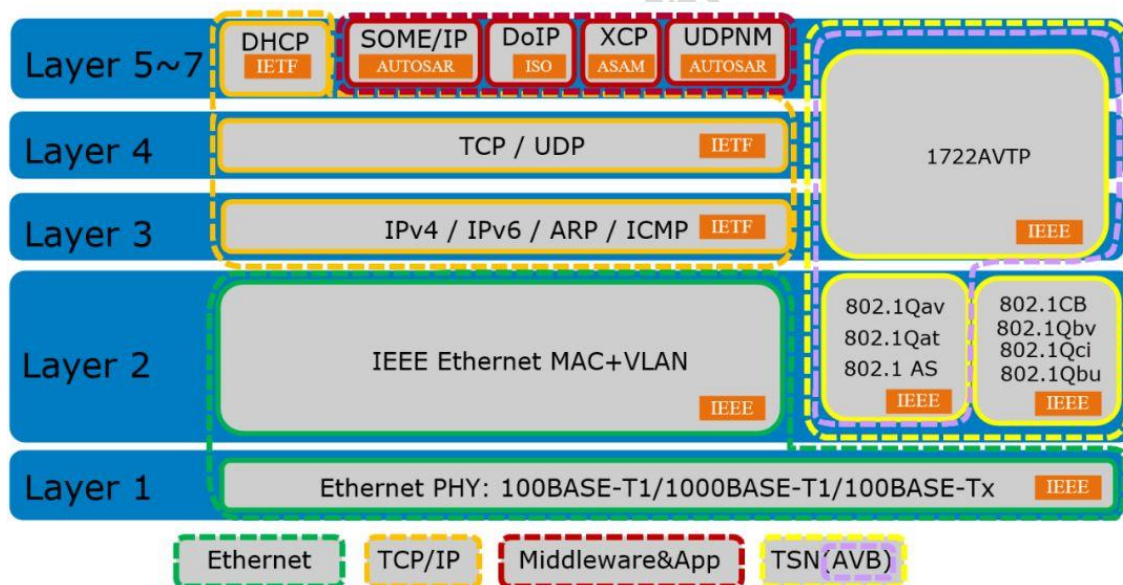
传统以太网最大的缺点是不确定性或者说非实时性，由于 **Ethernet** 采用 **CSMA/CD** 方式，网络负荷较大时，网络传输的不确定性不能满足工业控制的实时要求，故传统以太网技术难以满足控制系统要求准确定时通信的实时性要求，一直被视为“非确定性”的网络。尽管传统二层网络已经引入了优先级 (**Priority**) 机制，三层网络也已内置了服务质量 (**QoS**) 机制，仍然无法满足实时性数据的传输。此外，在传统以太网中，只有当现有的包都处理完后才会处理新到的包，即使是在 **Gbit/s** 的速率下也需要几百微秒的延迟，满足不了车内应用的需求。更何况目前是 **Mbit/s** 的速率，延迟最多可能达上百毫秒，这肯定是无法接受的。普通以太网采用的是事件触发传输模式，在该模式下端系统可以随时访问网络，对于端系统的服务也是先到先服务。事件触发模式的一个明显的缺点是当几个端系统需要在同一传输媒介上进行数据通讯时，所产生的传输时延和时间抖动会累积。

随着音视频娱乐大量进入汽车座舱，IEEE 开始着手开发用于音视频传输的以太网，这就是 EAVB。

EAVB——以太网音视频桥接技术（Ethernet Audio Video Bridging）是 IEEE 的 802.1 任务组于 2005 开始制定的一套基于新的以太网架构的用于实时音视频的传输协议集。

3.4.3 车载以太网物理层

图表 165 车载以太网 OSI 模型



资料来源：Marvell

车载以太网标准分两部分，一部分是最底层的 PHY 标准，另一部分是链路层标准。这两个标准都以 IEEE 的标准应用最广泛。

车载以太网 PHY 标准主要是制定单对双绞线标准，传统以太网与车载以太网最大不同是传统以太网需要 2-4 对线，车载以太网只需要一对，且是非屏蔽的，仅仅此一项，可以减少 70-80% 的连接成本，可以减少 30% 的重量。这是车载以太网诞生的最主要原因。同时也是为了满足车内的 EMC 电磁干扰。

图表 166 车载以太网 PHY 标准分布

Name	Standard	Year Published	Speed (M bit/sec)	Pairs of Wires	Maximum Distance (m)
10Base-T	802.3i	1990	10	2	100
100Base-TX	802.3u	1995	100	2	100
1000Base-T	802.3ab	1999	1,000	4	100
10GBase-T	802.3an	2006	10,000	4	100
100Base-T1	802.3bw	2016	100	1	15
1000Base-T1	802.3bp	2016	1,000	1	15
10Base-T1S	802.3cg	2020	10	1	15
2.5GBase-T1	802.3ch	2020	2,500	1	15
5GBase-T1	802.3ch	2020	5,000	1	15
10GBase-T1	802.3ch	2020	10,000	1	15

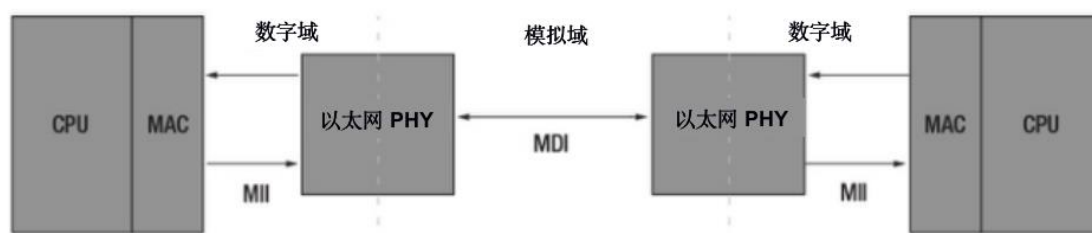
■ Automotive Ethernet

资料来源：Marvell

车载以太网野心勃勃，10Base-T1S 是试图取代传统的 CAN 网络的。10BASE-T1S 即 IEEE 802.3cg 也就是 OPEN Alliance 的 TC14，100BASE-T1 即 IEEE 802.3bw 也就是 OPEN Alliance TC1，100/1000BASE-T1 ECU 测试标准即 OPEN Alliance 的 TC8，1000BASE-T1 即 IEEE 802.3bp 也就是 OPEN Alliance 的 TC12，2.5/5/10GBASE-T1 即 IEEE 802.3ch 也就是 OPEN Alliance 的 TC15 标准。

车载以太网物理层 IC，100Mbps 的大约 3-4 美元，德州仪器、NXP 传统汽车芯片大厂市场占有率高，传统网络芯片厂家博通也略强。1Gbps 的大约 15-20 美元，Marvell 在此领域实力超强，博通和 Microchip 也有一席之地。1Gbps 以上基本只有 Aquantia，Aquantia 已经被 Marvell 以 4.52 亿美元收购。10Gbps 有 Aquantia 的 AQV107，大约 40 美元一片。

图表 167 以太网系统框架图



资料来源：互联网

PHY 在发送数据的时候，收到 MAC 过来的数据（对 PHY 来说，没有帧的概念，对它来说，都是数据而不管什么地址，数据还是 CRC），每 4bit 就增加 1bit 的检错码，然后把并行数据转化为串行流数据，再按照物理层的编码规则（10Based-T 的 NRZ 编码或 100based-T 的曼彻斯特编码）把数据编码，再变为模拟信号把数据送出去。

网线上的到底是模拟信号还是数字信号呢？答案是模拟信号，因为它传出和接收是采用的模拟的技术。虽然它传送的信息是数字的，并不是传送的信号是数字的。

通常交换器 IC 和 MCU 会集成低端（如 CAN 网络）的物理层，高端（如以太、Flexray 网络）物理层一般都是单独的芯片。

3.4.4 车载以太网链路层标准 TSN

汽车以太网最早的前身要追溯到 2002 年的 IEEE1588，以太网在 1985 年成为 IEEE802.3 标准后，计算机和网络业界也在致力于解决以太网的时钟同步能力不足的问题，开发出一种软件方式的网络时间协议（NTP），提高各网络设备之间的定时同步能力。2000 年底倡议成立网络精密时钟同步委员会，2001 年中获得 IEEE 仪器和测量委员会美国标准技术研究所（NIST）的支持，该委员会起草的规范在 2002 年底获得 IEEE 标准委员会通过，即 IEEE1588 标准。

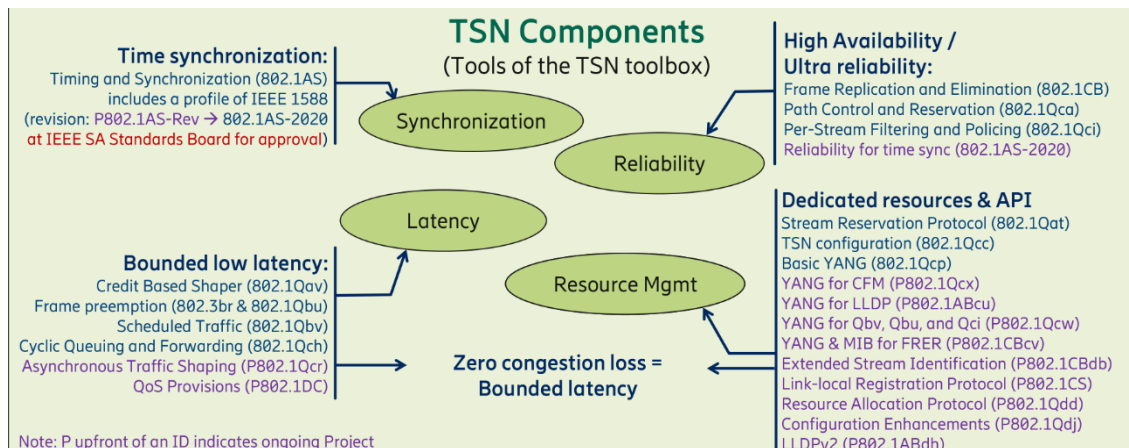
IEEE1588 标准既有软件也有硬件，灵活度比较差，为了在以太网上传输动态数据，802.3 工作组与 IEEE1588 委员会合作在 2005 年 11 月成立 802.1AVB 小组，AVB 于 2009 年 7 月颁布了草案，并在 2010 年和 2011 年陆续完成，它由四个基础标准：IEEE 802.1AS(PTP)、IEEE 802.1Qat (SRP)、IEEE 802.1Qav (Qav) 和 IEEE802.1BA 组成。这就是今天常见的车载以太网：Ethernet AVB（下简写为 EAVB）。

其背后主要支持者是宝马和哈曼。哈曼主要是致力于音频系统的以太网传输。宝马则在 2013 年的 X5 上第一个用 EAVB 做 360 环视，实际诊断用车载以太网关在 2008 年就已经量产，核心处理器是飞思卡尔的 MPC5667，X5 的 360 环视核心处理器是飞思卡尔的 MPC5604E，至今还有人使用。

EAVB 主要在针对多媒体数据，适用面太窄，2012 年 11 月，EAVB 工作小组改名 TSN 工作小组。TSN 是一系列标准的集和。TSN 的核心应用是异构性网络的实时、高可靠性，高时钟同步性数据交换。也就是说主要用于骨干传输网，而非节点。汽车、工业自动化是主要应用场合，这些场合至少有两种以上的传输总线，通常是 CAN 和以太网。

汽车则还有 MOST、Flexray、LIN、PSI5、CAN-FD 等，这些是用户习惯、成本和研发成果复用性决定的，不可能改变。如果非异构性网络，TSN 优势不明显。TSN 也可用于 5G，5G 的前传 Fronthaul 采用的就是 TSN 802.1CM 标准。

图表 168 TSN 构成



资料来源：TSN

TSN 标准包括时钟同步、超高可靠性、低延迟、资源管理四大类，截至 2020 年 1 月，紫色字体为尚未完成。2020 年 6 月 19 日，802.1AS-2020 版已经完成。

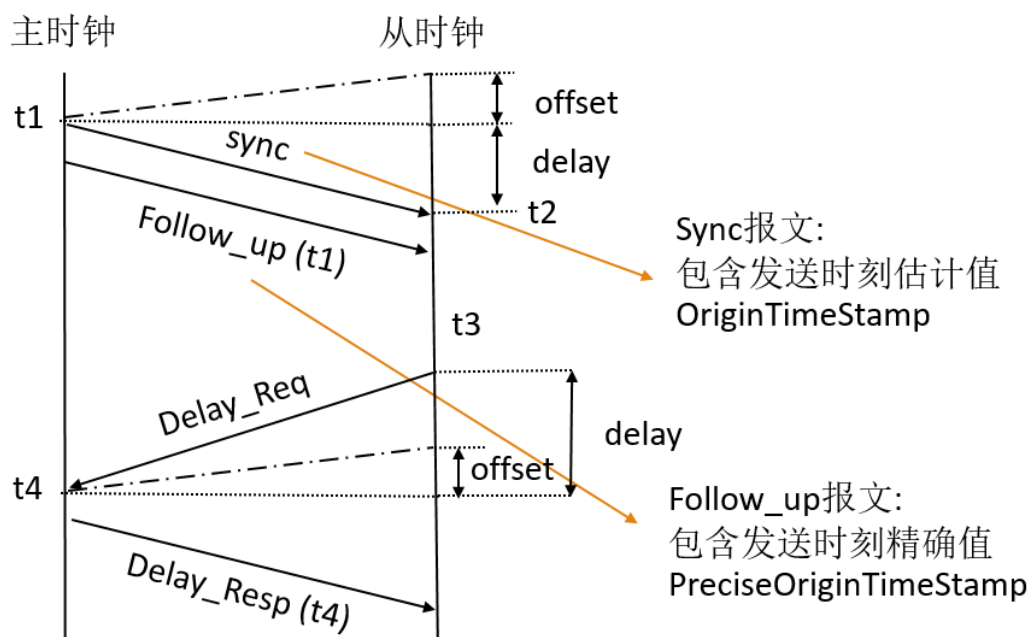
下面介绍 TSN 的关键标准。

3.4.4.1 时间同步

所有通信问题均基于时钟，确保时钟同步精度是最为基础的问题，TSN 工作组开发基于 IEEE1588 的时钟，并制定新的标准 IEEE802.1AS-Rev。它用于实现高精度的时钟同步。对于 TSN 而言，其最为重要的不是“最快的传输”和“平均延时”，而是“最差状态下的延时”——这如同“木桶理论”，系统的能力取决于最短的那块板，即，对于确定性网络而言，最差的延时才是系统的延时定义。

IEEE1588 协议，又称 PTP（precise time protocol，精确时间协议），可以达到亚微秒级别时间同步精度，于 2002 年发布 version 1，2008 年发布 version 2。它的主要原理是通过一个同步信号周期性地对网络中所有节点的时钟进行校正同步，可以使基于以太网的分布式系统达到精确同步，IEEE1588PTP 时钟同步技术也可以应用于任何组播网络中。

图表 169 PTP 协议延迟响应机制



资料来源：IEEE1588 协议

IEEE1588 协议的同步原理，所提出的 Delay Request-Response Mechanism（延时响应机制）如上图，IEEE1588 把所涉及到的报文分为：“事件报文”和“通用报文”。

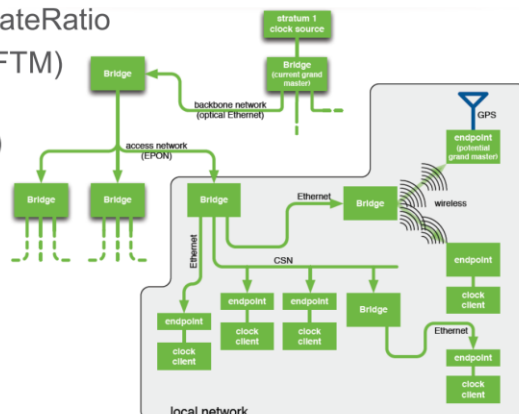
其分类依据是：是否在收发报文时需要记录精确时间戳。

根据上文中所描述的几种报文，可以进行如下分类：

- 事件报文 (event message) < 收发时候需要记录精确时间戳 > : sync /Delay_Req/Pdelay_Req/Pdelay_Resp。
- 通用报文 (general message)< 收发时候不需要记录精确时间戳 > : Announce/Follow_up/Delay_resp /Pdelay_Resp_Follow_Up/Magnament/Siganling。 Pdelay_Req /Pdelay_Resp/ Pdelay_Resp_Follow_Up 通过 peer 延迟机制测量两个时钟端口之间的链接延时，链接延时被用来更正 Sync 和 Follow_Up 报文中的时间信息。

图表 170 以太网第二层所定义的 1588 规范

- > A profile of 1588 for Layer 2 Ethernet
- > The Revision includes:
 - Common peer delay service for all domains, for measuring link delay and neighborRateRatio
 - Support of Fine Timing Measurement (FTM) for IEEE 802.11 transport
 - Support for Link Aggregation (802.1AX)
 - Improved scalability
 - One step processing
 - Improved support for long chains, rings
 - More responsive
 - Faster Grand Master change over
 - Reduce BMCA convergence time
 - Multiple domains with synchronization information
 - Redundancy: configure redundant paths and redundant GMs



资料来源：互联网

IEEE802.1AS-Rev 是为以太网第二层所定义的 1588 规范加以扩展，它的扩展包括了所有域常用 peer 延迟服务，支持精细时间测量 FTM，对链路聚合(802.1AX)的支持，改善的使用范围包括 1 步时间戳标准化处理以及针对长链、环的支持，更好的响应能力，这包括了更快的主站交互、降低 BMCA 收敛时间。

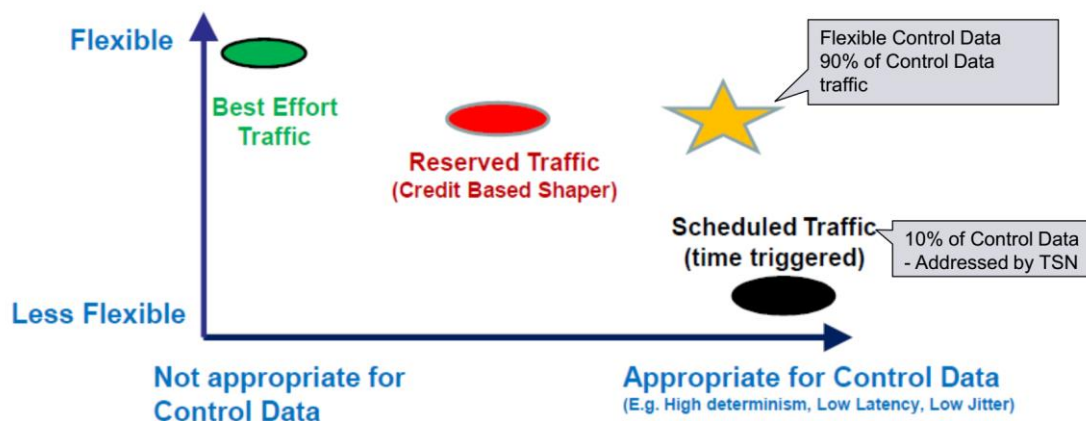
另外 IEEE802.1AS-Rev 支持了多域的同步信息传输以及冗余支持能力（可配置冗余路径和冗余主站）。对无线网络采用时间测量提供更好的支持。

IEEE802.1AS-Rev 的制定得到了 AVNU 联盟的大力支持，AVNU 联盟由英特尔、思科和三星哈曼发起，是 EAVB 协议的主要提供者，AVNU 联盟为 IEEE802.1AS-Rev 的实施提供协助，能够提供完整的协议栈和测试认证。

3.4.4.2 低延迟

图表 171 汽车控制数据

Automotive Control Data Traffic Requirement



资料来源：互联网

汽车控制数据可以分为三种，Scheduled Traffic、Reserved Traffic、Best-effort Traffic。

Scheduled Traffic 如底盘控制数据，没有任何的妥协余地，必须按照严格的时间要求送达，有些是只需要尽力而为的如娱乐系统数据，可以灵活掌握。汽车行业一般要求底盘系统延迟不超过 5 毫秒，最好是 2.5 毫秒或 1 毫秒，这也是车载以太网与通用以太网最大不同之处，要求低延迟。

图表 172 汽车控制数据级别

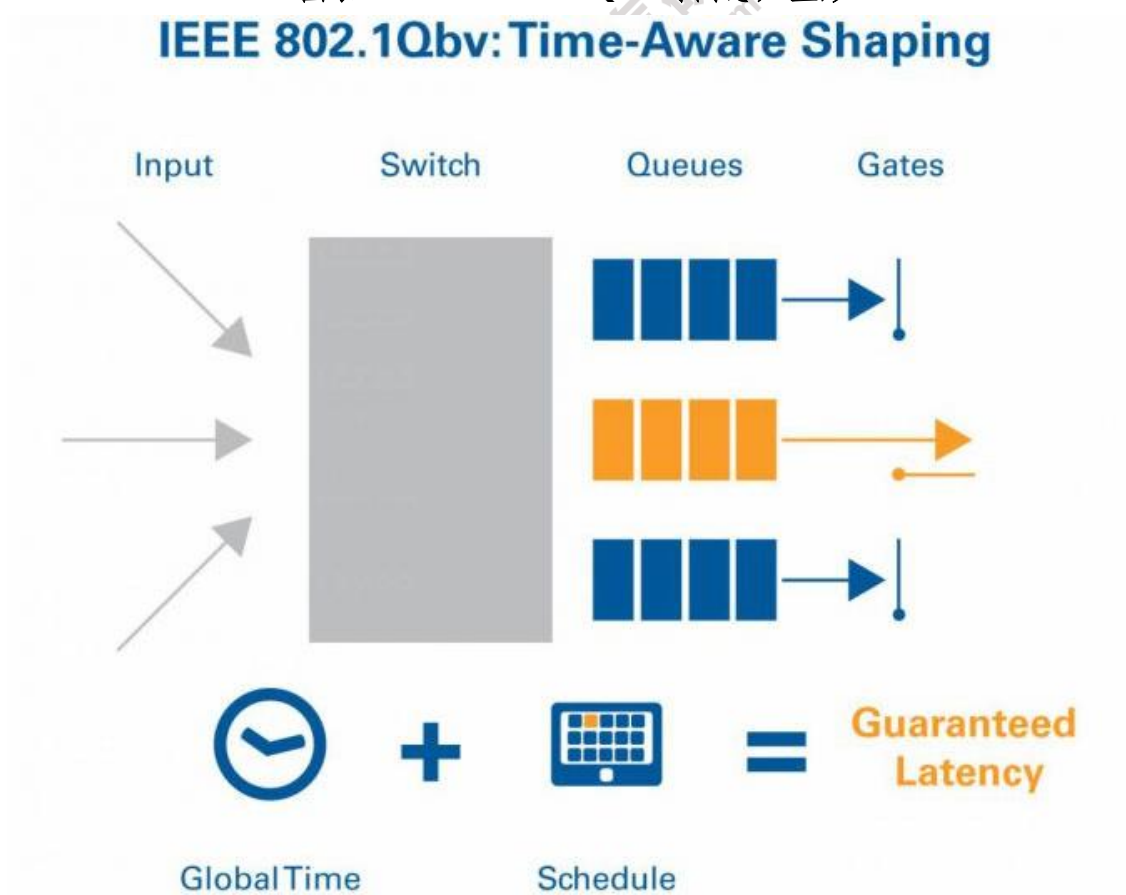
Traffic Class	Max. Frame Size (MTU)	Transmission Period	Expected Latency
Class CDT	128 bytes	500 μ s	100 μ s (over 5 hops)
Class A	256 bytes	125 μ s	2 ms (over 7 hops)
Class B	256 bytes	250 μ s	50 ms (over 7 hops)
Class BE	256 bytes	-	-

资料来源：TSN 标准

在 TSN 标准里，数据则被分为 4 级，最高的预计延迟时间仅为 100 微秒。

低延迟的核心标准是 IEEE802.1Qbv 时间感知队列。

图表 173 IEEE802.1Qbv 时间感知整形

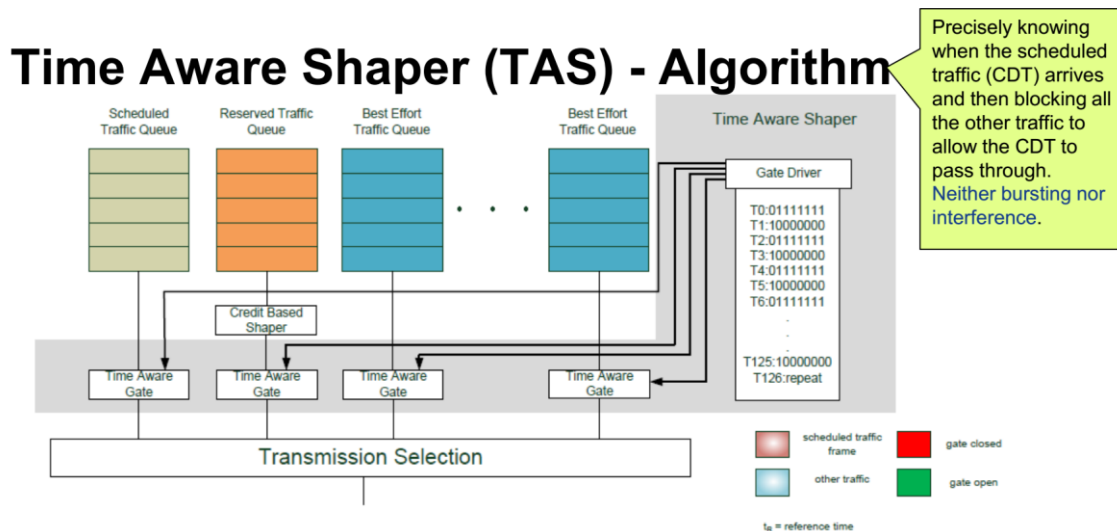


资料来源：IEEE802.1Qbv

通过时间感知整形器(TAS 即 Time Aware Shaper)使 TSN 交换机能够来控制队列流量 (queued traffic)，以太网帧被标识并指派给基于优先级的 VLAN Tag，每个队列在一个时间表中定义，然后这些数据队列报文的在预定时间窗口在出口执行传输。其它队列将被锁定在规定时间窗口里。因此消除了周期性数据被非周期性数据所影响的结果。这意味着每个交换机的延迟是确定的，可知的。而在 TSN 网络的数据报文延时被得到保障。

TAS 介绍了一个传输门概念，这个门有“开”、“关”两个状态。传输的选择过程仅选择那些数据队列的门是“开”状态的信息。而这些门的状态由网络时间进度表 Network schedule 进行定义。对没有进入 Network schedule 的队列流量关闭，这样就能保障那些对传输时间要求严格的队列的带宽和延迟时间。TAS 保障时间要求严苛的队列免受其它网络信息的干扰，它未必带来最佳的带宽使用和最小通信延迟。当优先级非常高时，抢占机制可以被使用。

图表 174 时间感知整形器算法



资料来源：互联网

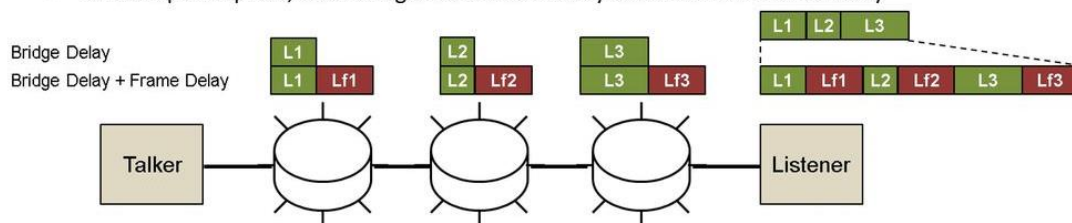
在网络进行配置时队列分为 Scheduled Traffic、Reserved Traffic、Best-effort Traffic 三种。

对于 Schedule 而言则直接按照原定的时间规划通过，其它则按优先级，Best-effort 通常排在最后。Qbv 主要为那些时间严苛型应用而设计，其必须确保非常低的抖动和延时。Qbv 确保了实时数据的传输，以及其它非实时数据的交换。

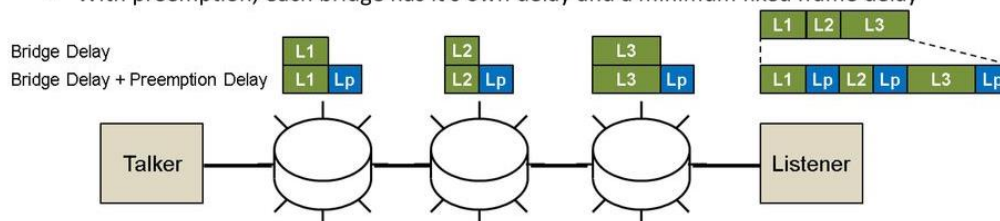
图表 175 802.1Qbu/802.3br 抢先机制

Preemption, IEEE 802.1Qbu / 802.3br (1 of 2)

- ▶ Purpose: Ensure high priority traffic arrives at a destination with a fixed latency
- ▶ How? Break-up frames into smaller pieces
- ▶ Preemption allows unscheduled traffic to be prioritized to have a fixed latency
 - Without preemption, each bridge has its own delay and maximum frame delay



- With preemption, each bridge has its own delay and a minimum fixed frame delay



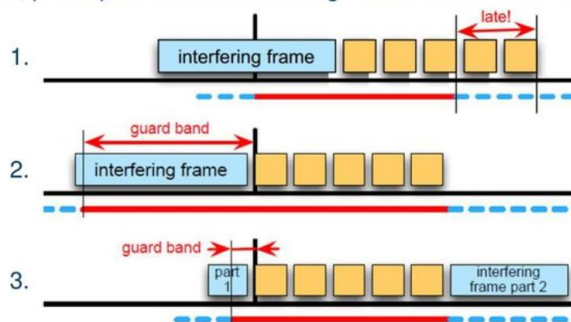
资料来源: ANAGLOG DEVICES

对于特别重要的数据，TSN 规定了一个抢占机制，它由 802.1Qbu/802.3br 共同构成。

对于 IEEE802.1Qbu 的抢占而言，正在进行的传输可以被中断，报文按等级可被分为可被抢占和抢占帧，抢占生成框架，最小以太网帧受到保护的，127 字节的数据帧（或剩余帧）不能被抢占。IEEE802.1br 定义了，设计了快速帧的 MAC 数据通道，可以抢占 Preemptable MAC 的数据传输。IEEE802.3br 也同样可以与 IEEE802.1Qbv 配合进行增强型的数据转发。

图表 176 802.1Qbu 抢先机制

- ▶ Purpose: Reduce impact of frames interfering with scheduled traffic
- ▶ How? Break-up frames into smaller pieces
- ▶ Scheduled traffic requires a "guard band" so non-scheduled traffic frames don't cause scheduled frames to be late
 1. Frame transmission before the start of a reserved time period can extend outside its allocated window, interfering with more critical traffic
 2. Guard bands solves this problem, but reduce the transmission efficiency
 3. To solve this, preemption breaks interfering frames into smaller "fragments"

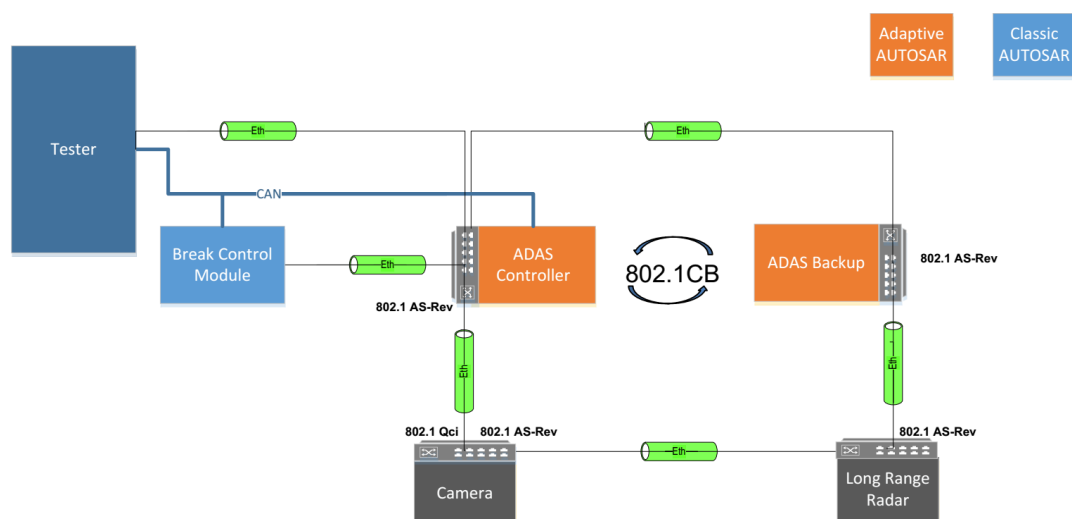
ANALOG
DEVICES

资料来源: ANALOG DEVICES

3.3.4.3 高可靠性

TSN 中保证高可靠性主要依靠 802.1CB 标准。这也是无人驾驶必须用 TSN 的主要原因，也只有 TSN 能让整个系统达到功能安全的最高等级 ASIL D 级。同样，与自适应 AUTOSAR 的捆绑程度也比较高。

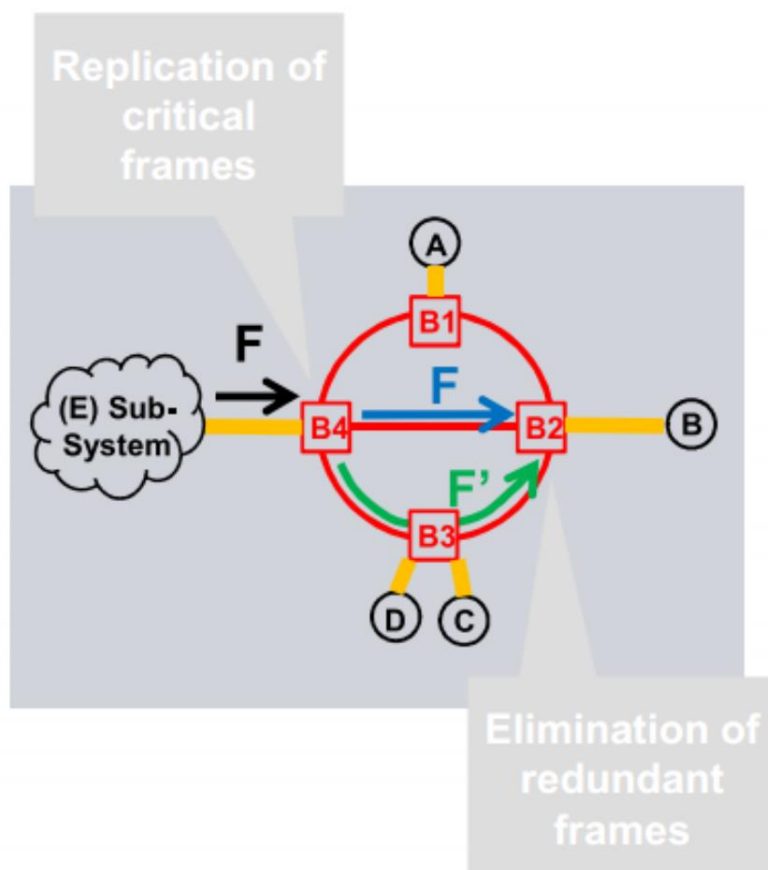
图表 177 TSN 与 802.1CB 标准



资料来源：互联网

众所周知，L4 级无人驾驶需要一个冗余处理器，但是主处理系统和冗余处理系统之间的通讯机制如何建立？这就是 802.1CB 的用武之地了。802.1CB 是两套系统间的冗余，芯片之间的冗余还是多采用 PCIE 交换机的多主机 fail-operational 机制，两者有相似之处。

图表 178 802.1CB 冗余处理通讯机制



资料来源：ANALOG DEVICES

对于非常重要的数据，802.1CB 会多发送一个数据备份，这个备份会沿着最远离主数据路径交集的路径传输。如果两个数据都接收到，在接收端把冗余帧消除，如果只接受到一帧数据，那么就进入后备模式。在 ISO/IEC 62439-3 中已经定义了 PRP 和 HSR 两种冗余，这种属于全局冗余，成本较高，802.1CB 只针对关键帧做冗余，降低了成本。802.1CB 标准的制定主要依靠思科和博通。

图表 179 FRER 介绍

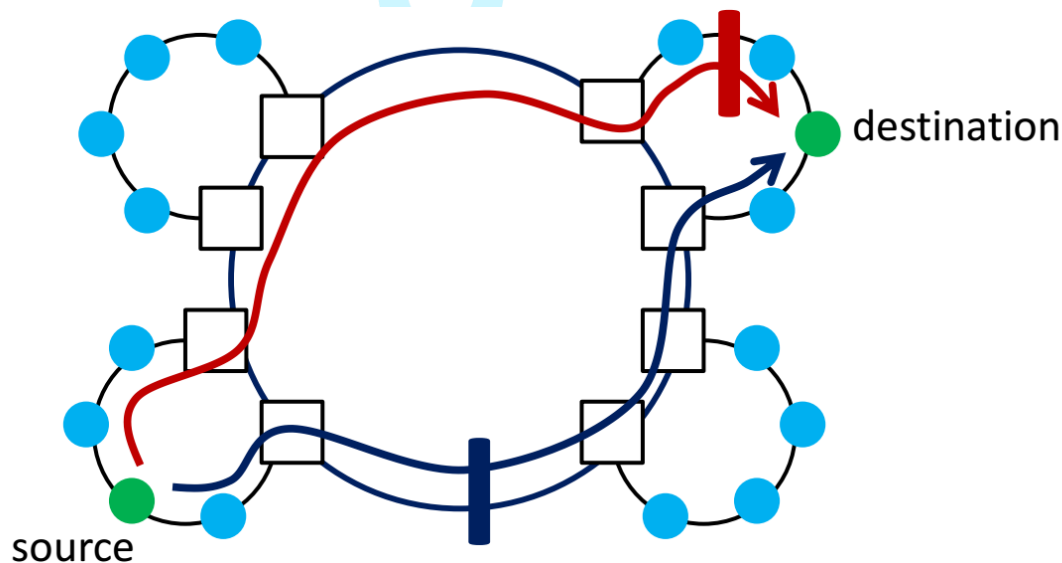
Frame Replication and Elimination for Reliability (FRER)

1. Provide a **sequence number** for every packet in the stream.
2. Replicate each packet, and send the replicated streams over two (or more) **fixed paths** towards the destination(s).
 - Paths may be set up statically or with ISIS, but once set up, they do not shift with link failures.
3. Near the destination(s), keep track of what packets have and have not been seen, and **eliminate the duplicates**.
 - That is, the receiver does not switch between streams. It looks at every packet to ensure that exactly one copy of each is passed on.

资料来源：互联网

802.1CB 也可以缩写为 FRER。

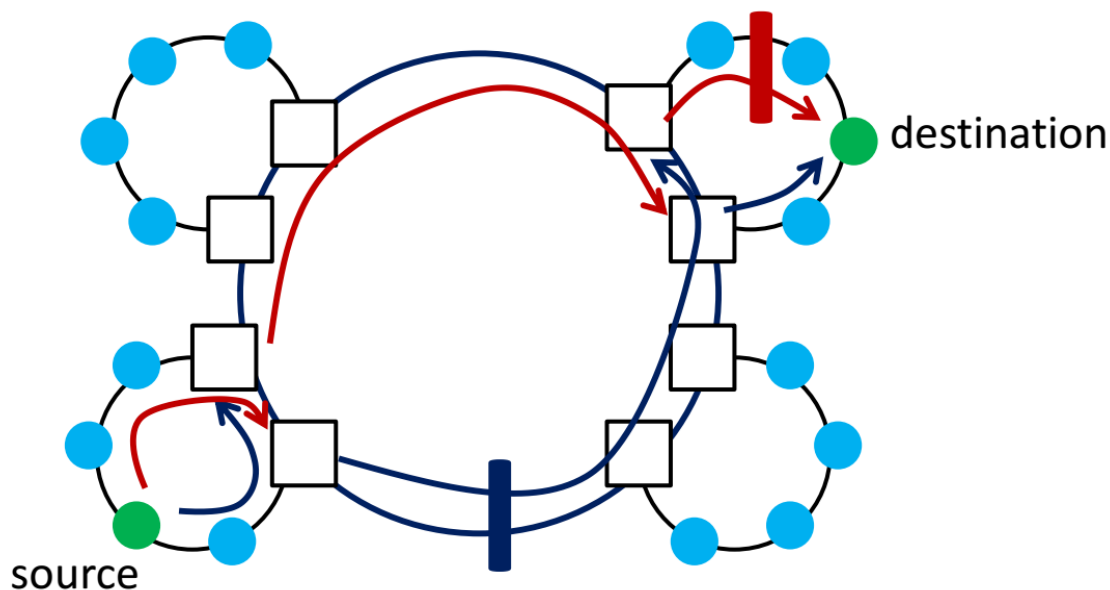
图表 180 FRER 双冗余备份



资料来源：互联网

FRER 不仅能提供双失效冗余，也可以提供多失效冗余。

图表 181 FRER 多失效冗余



资料来源：互联网

802.1CB 也有简单的失效原因分析机制。

图表 182 FRER 失效原因分析机制

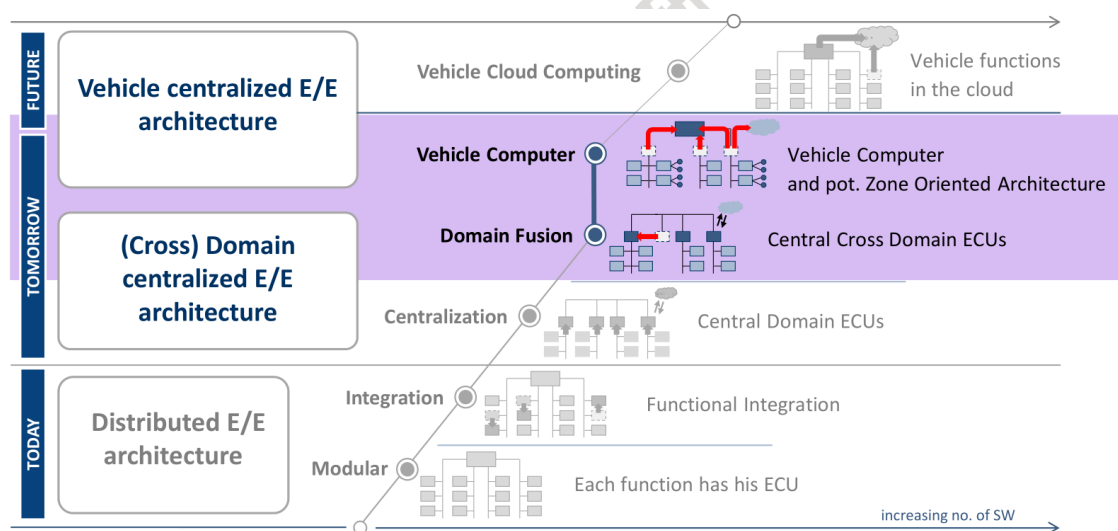
	Failure Mode	Interpretation
Adressed by 802.1CB (not in scope of this slide set)	Failure of communication peer	Failure that results in that a box stops communicating ("fail-silent")
	Message Loss	Packet is dropped (e.g., by FCS verification or buffer overrun)
Job of 802.1Qci (not in scope of this slide set)	Insertion of Message	New packets are "spawned", existing packets are forwarded incorrectly
	Masquerading	Packet gets a wrong SA, DA, Tag, etc.
Not yet considered (802.1CB does not guarantee in order delivery)	Resequencing	Out-of-order delivery
	Message Corruption	Bitflips, bad octets, oversized packets, etc.
Initially addressed in this slide set	Unintended Message Repetition	The same packet is transmitted repeatedly
	Message Delay	Packets remains longer than expected in a queue

资料来源：IEEE 802.1 Time Sensitive Networks

域控制器阶段，TSN 的必要性还不是太突出，但是 ADAS 领域的域控制器，TSN 或者说 802.1CB 的优势明显，未来进入到 SOA 架构阶段，即混合域和 Zonal 阶段，TSN 交换机和物理层 IC 都是不可或缺的。一旦转进到 SOA 架构，TSN 很快将取代 EAVB 成为主流。

3.4.5 车载以太网决定汽车 E/E 架构

图表 183 汽车 E/E 架构演进路线图

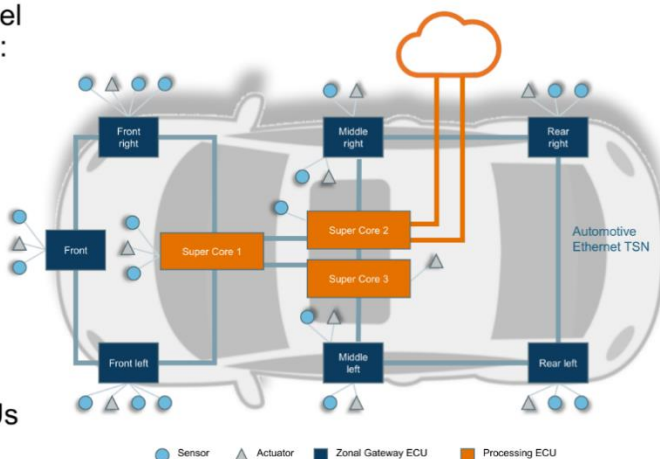


资料来源：博世

Vehicle Computer 阶段实际就是 Zonal 架构，Centralization 中央化就是域控制器架构。这都离不开 TSN。

图表 184 TSN 为骨干网的 Zonal 架构

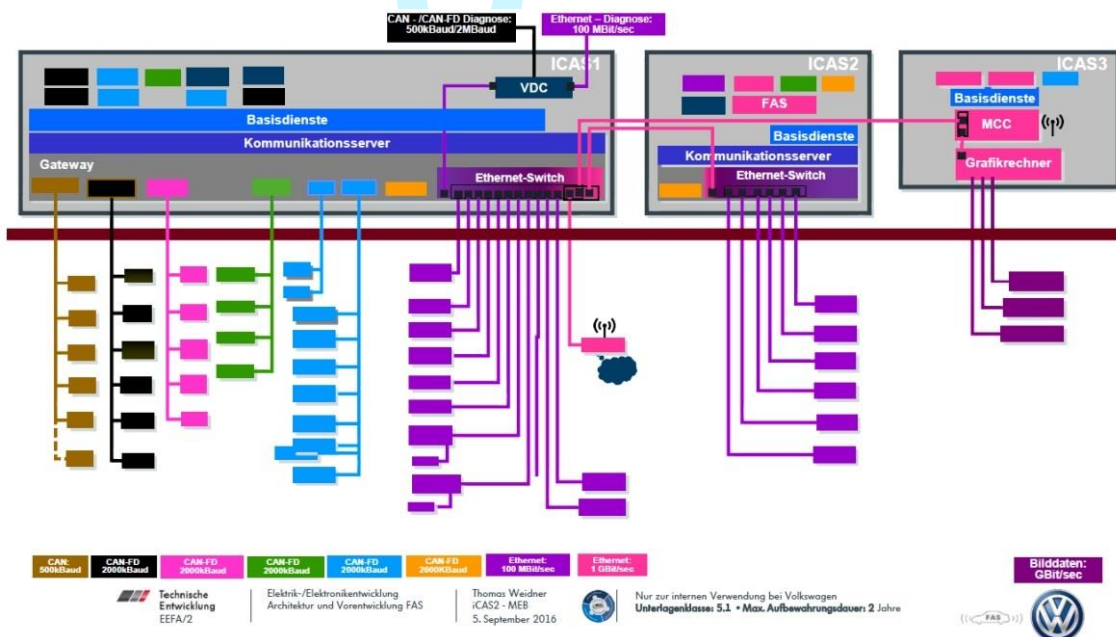
- Zonal approach including first level of consolidation in three domains:
 - ADAS Super Core
 - Body Super Core
 - Cockpit Super Core
- Automotive Ethernet TSN backbone with high bandwidth and deterministic real-time communication facilities
- Sensors and actuators are connected to zonal gateway ECUs



资料来源：伟世通

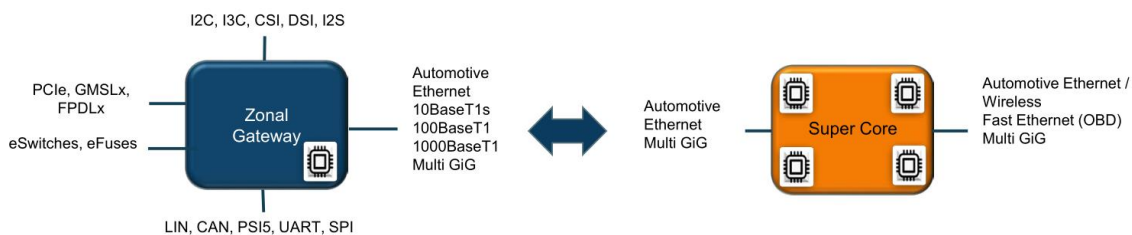
Zonal 架构可算是 SOA 架构的典型代表，可以说 SOA 架构离不开 TSN。ADAS/座舱/车身三个运算单元类似大众 MEB 里的 ICAS。

图表 185 大众 MEB 架构



资料来源：大众汽车

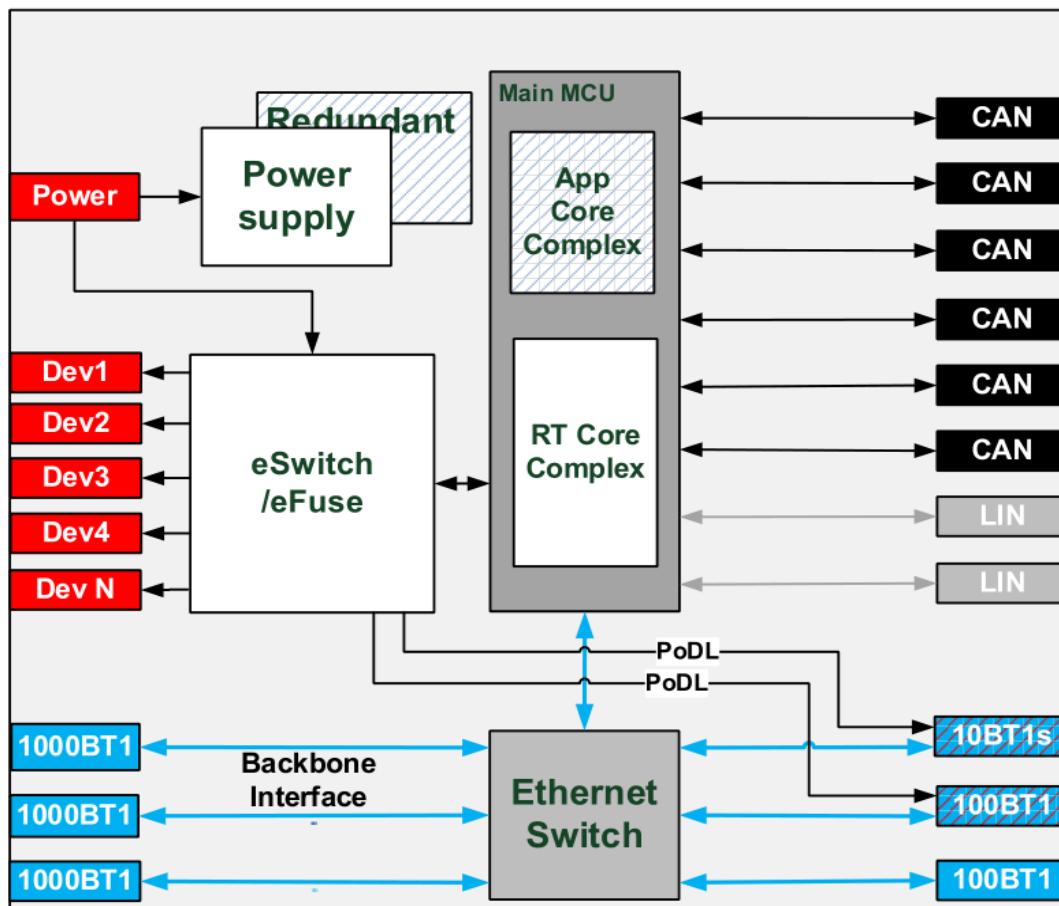
图表 186 Zonal 架构网关



资料来源：伟世通

网关中最核心的则是对应 TSN 的交换机。

图表 187 Zonal 网关的内部框架图

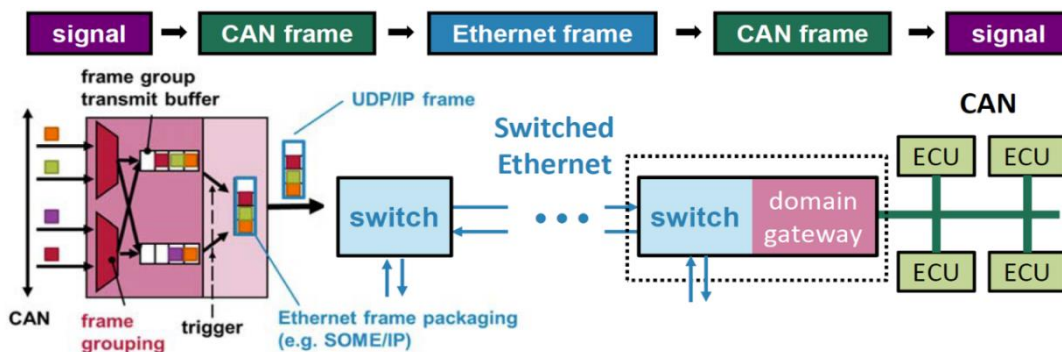


PoDL - Power over Data Line

资料来源：伟世通

图表 188 CAN 到以太网

▪ **Packaging** is additional **source of interference**



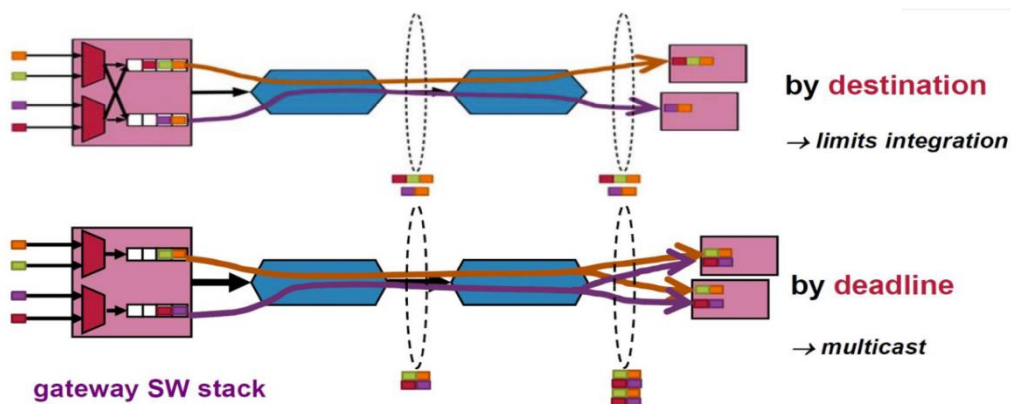
资料来源：ECRTS.org

CAN 到以太网，即 SOME/IP-UDP-IP-MAC，或 TCP-IP-MAC。这也意味着经典 Autosar 或自适应 Autosar 不可或缺。TSN、Autosar 是 SOA 不可或缺的成分。

图表 189 帧的分组

▪ **Frame grouping:**

- by **destination** – minimise multicast overhead
- by **priority** (e.g. CAN ID) – enable QoS for different traffic classes
- by **period** or **deadline** – minimise sampling delay



资料来源：ECRTS.org

帧的分组，包括目的地，优先级，截至周期等。

3.5 座舱操作系统

图表 190 汽车操作系统



资料来源：互联网

什么是内核？

以电动车为例，内核近似包含轮子以及电池系统的底盘，操作系统就是套上外壳加上椅子以及内饰后的整体成品。内核仅仅是操作系统的一部分，是真正与硬件交互的那部分软件，与硬件交互包括读写硬盘、读写网盘、读写内存以及任何连接到系统中的硬件。除了与硬件交互外，内核还负责分配资源，分配什么资源呢？所谓资源就是硬件，比如 CPU 时间、内存、IO 等等，这些都是资源。

内核原创的就是底层操作系统，操作系统需要提供两种接口：给用户提供操作接口，给程序员提供编程接口。实际上我们熟悉的 **Linux** 只是内核而不能称得上是操作系统。它没有统一的操作接口，都需要自己开发。绝大部分程序员都不关心内核，都和内核无关，操作系统用系统调用，**system call** 来为程序员服务，当然，直接使用系统调用是非常繁琐的，因此通常会在这之上提供一层封装。如果是 **Windows**，这个封装就是 **Windows API**，**Linux** 只是一个开源的内核，如果一定要找一个类似的东西话那就是 **libc**，也就是 **C** 标准库，这里同样包括了对系统调用的封装以及一些库函数，但 **libc** 不包含创建带有图形界面应用程序的功能。

对底层操作系统做一定程度的修改，但不动内核的属于 **ROM** 型操作系统。集合了多种功能，但对底层操作系统不做修改的叫超级 **APP**，也称为电话地图系统是一种多功能的 **APP**，集地图，音乐，语音，社交等功能于一体，可满足车主的需求。例如百度的 **Carlife** 和苹果 **CarPlay** 以及谷歌的 **Android Auto**。

车载软件平台自下而上可大致划分为硬件平台、系统软件（硬件抽象层+OS 内核+）中间件）、功能软件（库组件+中间件）和应用算法软件等四个部分。

a) 硬件抽象层：包括 BSP（板卡支持包）、Hypervisor（硬件虚拟化技术，提供虚拟平台支持多操作系统）等。BSP 包括了 Bootloader（以基础支持代码来加载操作系统的引导程序）、HAL（硬件抽象层）代码、驱动程序、配置文档等，是内核与硬件之间的接口层，目的是为操作系统提供虚拟硬件平台，使其具有硬件无关性，可以在多平台上移植。

b) 操作系统内核（Kernel）：即为狭义操作系统，如 QNX、OSEK OS、VxWorks、RT-Linux 等。内核提供操作系统最基本的功能，负责管理系统的进程、内存、设备驱动程序、文件和网络系统，决定着系统的性能和稳定性。

c) 中间件：处于应用和操作系统之间的软件，实现异构网络环境下软件互联和互操作等共性问题，提供标准接口、协议，具有较高的移植性，如 POSIX/ARA（自适应 AutoSAR 运行时环境即中间件 API 接口）和 DDS（分布式实时通信中间件）等。

d) 应用算法软件：即为实现某个具体功能如驾驶者行为监测的软件。也包括一些基础功能软件：如深度学习的框架，如相关算法的编程框架（如 TensorFlow、Caffe、PaddlePaddle 等）。

e) 次操作系统：主要是座舱部分，对安卓等系统不涉及内核的 ROM 型操作系统，比亚迪 DiLink、奇瑞 GKUI、蔚来 NIO OS、小鹏 Xmart OS 等。

它们仍然在中间件之上，可以看做是应用算法软件的集合。还有像英伟达的 **Drivier OS** 超级汽车 APP（又称 车机互联或手机映射系统），不是完整意义的汽车 OS，指简单地把手机屏幕内容映射到车载中控，通过整合地图、音乐、社交等功能为一体来满足车主需求的 APP，如苹果 **CarPlay**、谷歌 **Android Auto**、百度 **CarLife**、华为 **Hicar** 等。

目前欧美新开发的车机操作系统基本都抛弃了 **QNX**，因为其灵活度太差，添加新应用困难，这也是微内核的缺点，更新迭代缓慢。目前座舱新应用层出不穷，和手机关联度也比较高，安卓是最佳选择，但考虑到安卓背后的谷歌一家独大，车厂无力掌控，日本和欧洲车厂更倾向于 **Linux**。中美厂家都拥抱安卓，中国厂家尤其注重生态系统，因此几乎全部选择手机版的安卓做一些微小修改。美国厂家则多选择车机版安卓。因为谷歌的某些应用在国内无法使用，国内使用完整的车机版安卓几乎不可能。

内核的开发难度是极高的，人类目前只有三种：一种是基于 **UNIX** 的 **QNX** 内核；另一种是 **Linux** 内核，绝大部分操作系统都是基于 **Linux**，包括谷歌的安卓、华为的鸿蒙；最后一种自然就是 **Windows**。

Linux 领域再分为三类：一类是完全独立的开发，如特斯拉，一向特立独行；二是松散联盟性质的 Genivi；最后是车规级 Linux 的 AGL。

Genivi 在 2021 年 10 月改名为 COVESA 即 Connected Vehicle Systems Alliance。其顶级成员是宝马和博世，核心会员是电装、现代摩比斯、LG、瑞萨、风河、Mentor 汽车和 Geotab。其他重要成员还有奔驰、本田、现代汽车、ARM、瑞萨、英伟达、NXP。宝马、奔驰几乎全线使用 GENIVI 的 Linux 平台，现代的 Genesis 也是如此，其他厂家较少见到有用 Genivi。

AGL 即 Automotive Grade Linux，车规级 Linux。成立于 2016 年 1 月，但是第一版 AGL 发布是在 2014 年的 6 月 30 日，实际上就是 Tizen 的修改版，Tizen 源自三星，Tizen 是三星电子开发的一款基于 Linux 核心的开放源代码移动操作系统，可适用设备包括智能手机、平板电脑、智能手表、上网本、车载消息娱乐设备（IVI）和智能电视。该项目最初由 Linux 基金会以及 LiMo 基金会合力推出，目的在于取代 MeeGo 与 LiMo 平台。在 Linux 基金会中，由技术指导小组（TSG）管理。目前三星是唯一推出使用 Tizen 的设备的业者，也是 Tizen 的最大支持者。至 2017 年结束，Tizen 是世界第二大智能手表操作系统，仅次于苹果 watchOS，比基于 Android 的 Wear OS 还要多。

2011 年 9 月，三星和英特尔与 Linux 基金会宣布致力在 2012 年开发出 Tizen，2012 年 1 月 1 日，LiMo 基金会更名为 Tizen 协会。大概在 2015 年，Tizen 就基本没人支持了，但是 AGL 开始慢慢起来。这也算是失之东隅，收之桑榆。

AGL 的顶级白金会员有亚马逊、马自达、电装、瑞萨、铃木、丰田、松下。白银会员则有爱信精机、奔驰、福特、高通、上汽、大众。其他重要会员还有阿尔派、ARM、博世、BOSE、中国移动、大陆、德赛西威、富士通、本田、现代、三星哈曼、HERE、日立、GreenHills、英特尔、JVC 建伍、李尔、LG、马瑞利、Mentor、Microchip、三菱、NEC、东软、日本精机、NXP、英伟达、三星、先锋、索尼、东芝、Telechips、德州仪器。

目前采用 AGL 的车型主要有新一代奥迪 MIB3TOP、丰田凯美瑞、马自达 3 和斯巴鲁傲虎及力狮。还有一款奔驰的 MPV。大众在 2019 年 4 月加入 AGL，大众未来也极有可能选用 AGL 做车机系统。

AGL 的主要优势之一是它的统一代码库（UCB），这是一个新的 Linux 发行版，它基于 AGL 和另外两个汽车开源项目：Tizen 和 GENIVI Alliance。UCB 是第二代 Linux 汽车系统。它从底层开始开发，一直到特定的汽车应用软件。完成了操作系统大约 70% 的工作。

目前 AGL 应用都在 IVI (In-Vehilcs Infotainment) 上, AGL 正努力开拓在仪表和 ADAS 领域, 不过这两个领域对实时性要求较高, 阻力很大。

在很多厂家都使用手机版安卓之时, 谷歌也分别推出了 Android Auto 和 Android Automotive OS, 安卓 Auto 是一个超级 App, 不是一个操作系统, 但 Android Automotive OS 就是一个操作系统, 简称 AAOS。Android 官网上, Android Auto 这个分类, 是和 Android TV、Web OS by Google 并列。而在 Android 官网开发者页面处, 我们能发现更多谷歌意图独立车载系统的想法。在 Google 官方的「Android developer guide」(安卓开发者引导) 中, Android Automotive OS 和 Chrome OS 也是以「OS (operation system, 操作系统)」命名的。AAOS 确实是为了解决 Android 本身在车机方面的一些问题。Automotive OS 采用了与正代安卓差异较大的显示和交互逻辑, 「区块」成为 Automotive OS 最基本的设计语言。在操作准确度要求非常高的车内环境里面, 触屏相对孱弱的反馈被谷歌以硕大的图标设计和菜单划分得以补偿。

早在 2016 年, Google 官方统计, 安卓的碎片化版本已经达到了 6000 多个不同的版本, 而且随着时间的增加, 安卓的版本碎片化也越来越严重。

早年，在手机领域，同等条件下，相比安卓系统而言，苹果的系统会更加的流畅一点，也是安卓碎片化最被诟病的槽点。这其中有两个主要原因。安卓平台最大的缺点就是碎片化严重，设备繁多，品牌众多，版本各异，分辨率不统一等，任何一个成功的智能操作系统都是由庞大的软件资源支撑起来，这要求系统和硬件有一定的一致性，这样才能确保软件的兼容性，以确保软件和设备完全兼容。而由于 **Android** 完全免费以及完全开源的性质，最终导致 **Android** 设备的软件兼容性变差。**Linux** 更易于维护系统的碎片化呢。一言一概括之，因为，内核选择更小，可以由车企自由定制，并管理版本。超 **98%** 的应用存在开发隐患、修复管理滞后、漏洞监测困难等安全风险。而 **92%** 安卓应用存在过度获取隐私权限。作为一款车载，很多情况下，是不需要考虑兼容 **Android** 的所有应用，也不会允许别的第三方软件加入进来，这相对于自身也是一种保护。

安卓是有大量的应用，但是不同厂商的定制系统，很可能导致未经过 **A** 厂商设备适配的 **B** 厂商安卓应用无法安装、使用出错、安全问题。同时，**Android** 国内版本的大量应用，在不同的应用市场无法做到严格审核，安全隐患。

最终在 **2017** 年 **3** 月，谷歌正式宣布 **AAOS**，第一个采用 **AAOS** 的是沃尔沃旗下的电动车 **Polestar**。

图表 191 确认使用 AAOS 的车型汇总

序号	车型
1	2022 GMC Hummer EV
2	2022 GMC Sierra
3	2022 GMC Yukon
4	2022 Chevrolet Tahoe
5	2022 Chevrolet Suburban
6	2022 Chevrolet Silverado
7	2023 Cadillac Lyriq
8	2022 Renault Mégane E-Tech Electric
9	2021 Volvo XC40 P8
10	2021 Volvo XC40 Recharge
11	2022 Volvo C40 Recharge
12	2022 Volvo XC60
13	2022 Volvo S90
14	2022 Volvo V90
15	2022 Volvo V90 Cross Country
16	2021 Lucid Air

资料来源：佐思汽研

上面为确定使用 AAOS 的车型，还未确定车型但确定使用的还有 2023 年的 PSA 与 FCA，包括 Dodge Durango 和 Chrysler Pacifica，2023 年的福特和林肯，2022 年的本田。

目前 AAOS 主要在英特尔 A3900 系列和高通 SA8150/8155 上运行，谷歌一开始就是和英特尔合作，A3900 系列的 AAOS 的支持度比高通还高。

目前欧美新开发的车机操作系统基本都抛弃了 QNX，因为其灵活度太差，添加新应用困难，这也是微内核的缺点，更新迭代缓慢。目前座舱新应用层出不穷，和手机关联度也比较高，安卓是最佳选择，但考虑到安卓背后的谷歌一家独大，车厂无力掌控，日本和欧洲车厂更倾向于 Linux。中美厂家都拥抱安卓，中国厂家尤其注重生态系统，因此几乎全部选择手机版的安卓做一些微小修改。美国厂家则多选择车机版安卓即 AAOS。因为谷歌的某些应用在国内无法使用，国内使用完整的车机版安卓几乎不可能。

图表 192 2021-2026 年主要操作系统份额

	QNX	Linux 直改	AGL	GENIVI	AAOS	安卓直改
2021	45%	16%	6%	8%	5%	20%
2026	10%	20%	10%	10%	25%	25%

资料来源：佐思汽研

第四章 智能座舱核心：主 SoC 产业格局

4.1 NXP

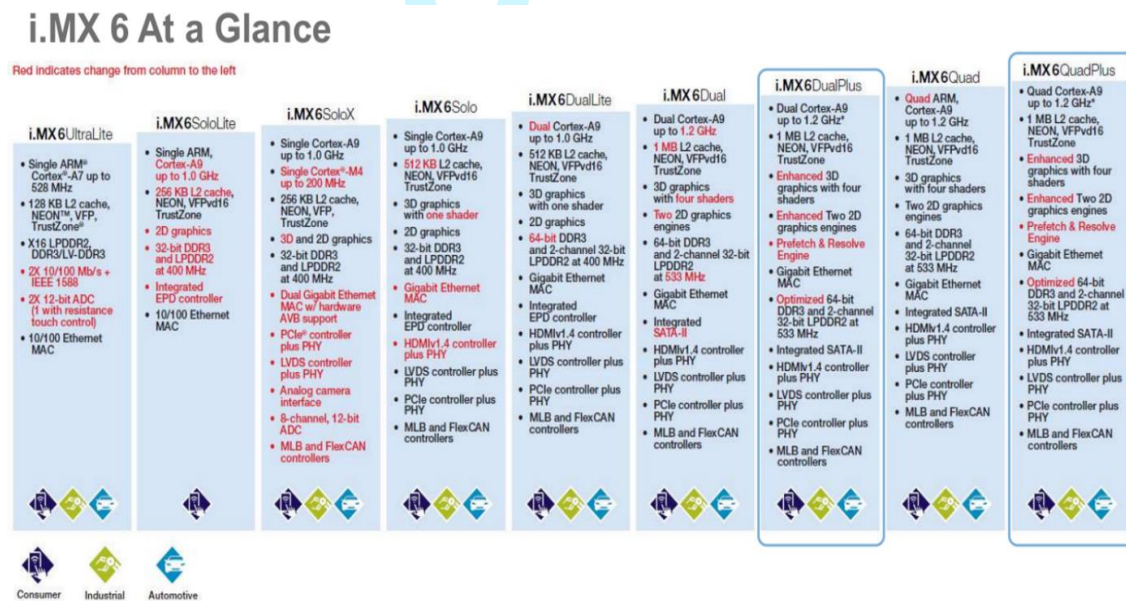
图表 193 2019 年 1 季度-2021 年 3 季度 NXP 汽车业务收入统计

单位：百万美元	Q1/19	Q2/19	Q3/19	Q4/19	Q1/20	Q2/20	Q3/20	Q4/20	Q1/21	Q2/21	Q3/21
收入	1,036	1,031	1,048	1,097	994	674	964	1,193	1,229	1,262	1,455

资料来源：NXP，佐思汽研整理

NXP 的强项在网络与射频领域，尤其射频领域，如车载收音几乎垄断，毫米波雷达芯片市场占有率超过 50%，MOST 和 FLEXRAY 总线 PHY 垄断市场，车载音频功率放大器市场占有率也超过 50%，但是座舱 SoC 领域，NXP 已经是后继无力。

图表 194 i.mx6 座舱 Soc 简介



资料来源：NXP

NXP 靠 i.mx6 曾经几乎垄断座舱，虽然已经过了 10 年，四核 i.mx6 仍然是中低端 Infotainment 领域霸主。主要客户包括长安、丰田、日产、PSA、福特中低端。

但是 NXP 在 2016 年以后明显落后了，NXP 目前最先进的已经量产的还是 ARM 在 2015 年 2 月发布的 Cortex-A72 架构。而高通和英伟达已经在用 A78 架构了。A78 还需要先进制程架构支持，众所周知，7 纳米 5 纳米费用惊人，NXP 现在最先进不过是 16 纳米。NXP 一向强调成本控制，对于先进制程敬而远之。NXP 最后一代座舱处理器 i.mx8 早在 2013 年 9 月就已经发布，然而直到 8 年多后的现在，下一代针对座舱 i.mx 处理器还未公开发布。很有可能 NXP 停止维护这条产品线了。

目前座舱 SoC 市场迭代速度很快，每一代的生命周期很短，出货量不高。这使得研发成本很难摊薄。如果跟进高通、三星这样的对手，那么要么被拖死，要么亏损巨大。而高通、三星依靠手机领域庞大的出货量和强大的财力轻松分摊研发成本，还能快速迭代，拖着对手前进。NXP 无力跟进。NXP i.mx8 只拿下福特一个大客户和少数几个中国小客户。向上无法突破，向下也没价值，低端市场是越来越小的。

i.MX8 系列处理器多达几十种，但针对座舱的只有两种，即 i.MX8QM 和 i.MX8QP。

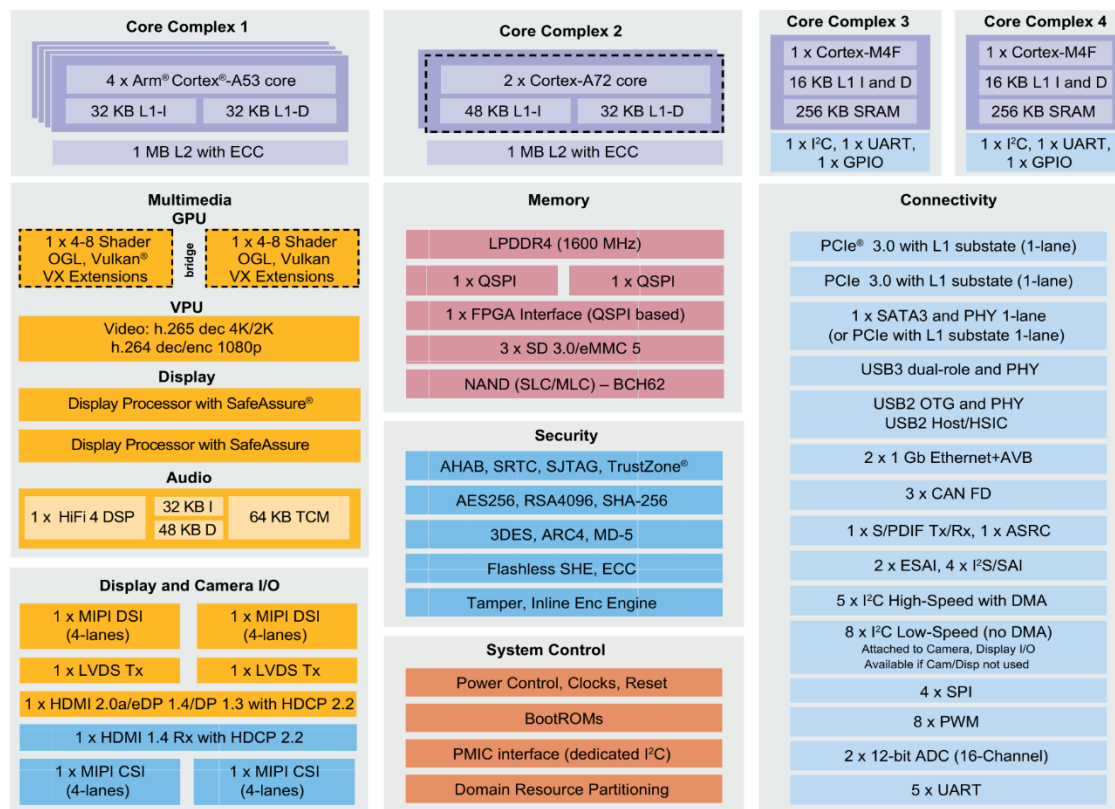
图表 195 i.MX8 座舱 SoC 简介

Feature	i.MX 8QuadMax	i.MX 8QuadPlus
Arm® Core	2 x Arm Cortex®-A72	1 x Cortex-A72
Arm Core	4 x Cortex-A53	4 x Cortex-A53
Arm Core	2 x Cortex-M4F	2 x Cortex-M4F
DSP Core	HiFi 4 DSP	HiFi 4 DSP
GPU	2 x GC7000XSVX	2 x GC7000XSVX
PCIe 3.0	1 x PCIe (2-lane)*	1 x PCIe (1-lane)

*2-lane PCIe can act as 2 x 1-lane PCIe

资料来源：NXP

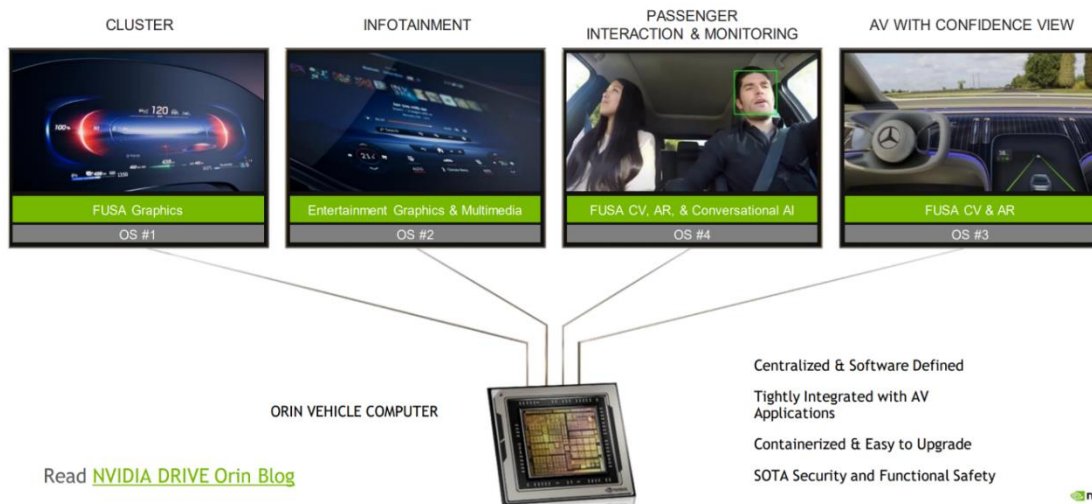
图表 196 i.MX8 内部框架图



资料来源：NXP

4.2 英伟达

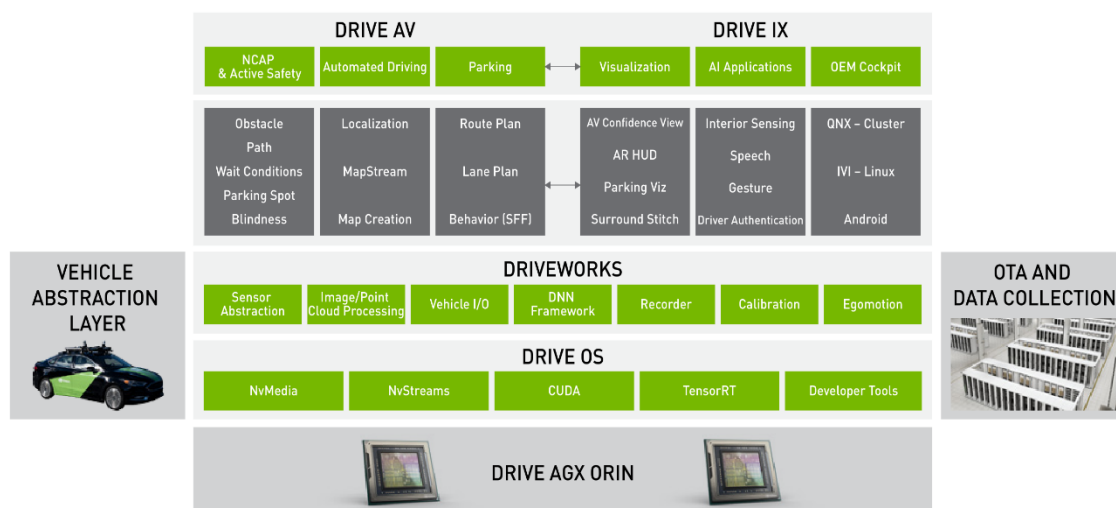
图表 197 英伟达 ORIN
ORIN CENTRAL COMPUTER
1 Chip - 4 Domains



资料来源：英伟达

英伟达除了针对自动驾驶的 **DRIVE AV** 全套协议栈还有针对座舱的 **DRIVE IX** 全套协议栈，以前英伟达只是单纯地贩卖芯片，并且 **DRIVE IX** 是从针对自动驾驶的 **Orin** 芯片开始，也包括之前的 **Parker** 和 **Xavier**。**Orin** 如果只做智能驾驶，出货量肯定非常低，远不能收回研发成本，座舱领域的出货量会远高于智能驾驶。

图表 198 英伟达 Drive IX 全套协议栈

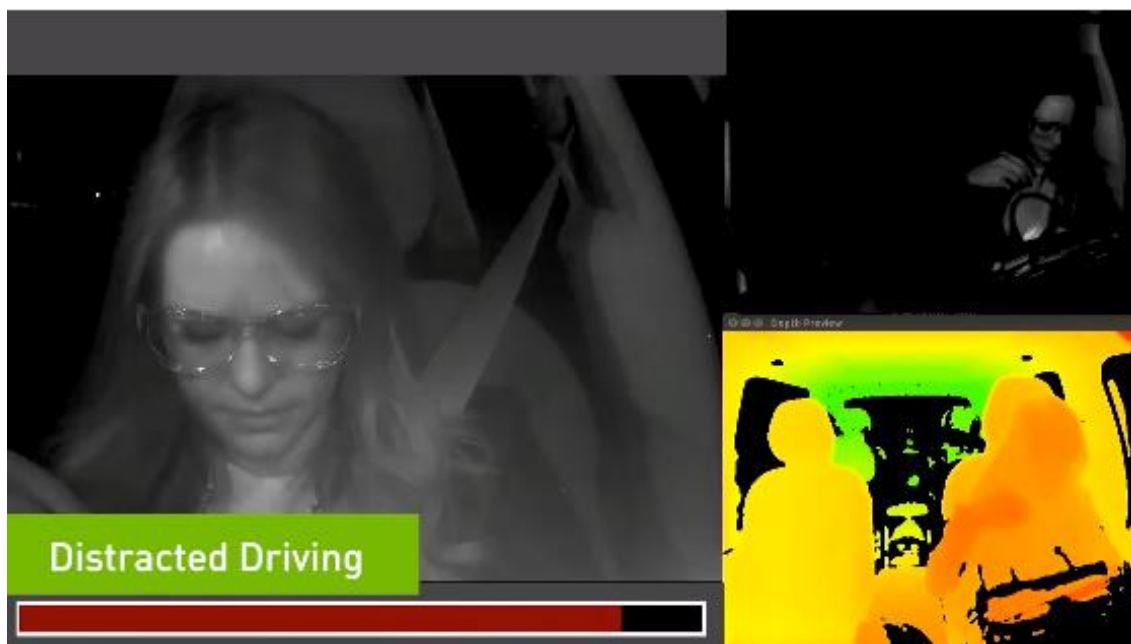


资料来源：英伟达

英伟达提供全套算法，包括障碍物识别、路径规划、行为决策、执行策略、定位、地图流制造、自动泊车，还有底层软件系统，内含了 QNX 的驱动，CUDA 生态系统等等。

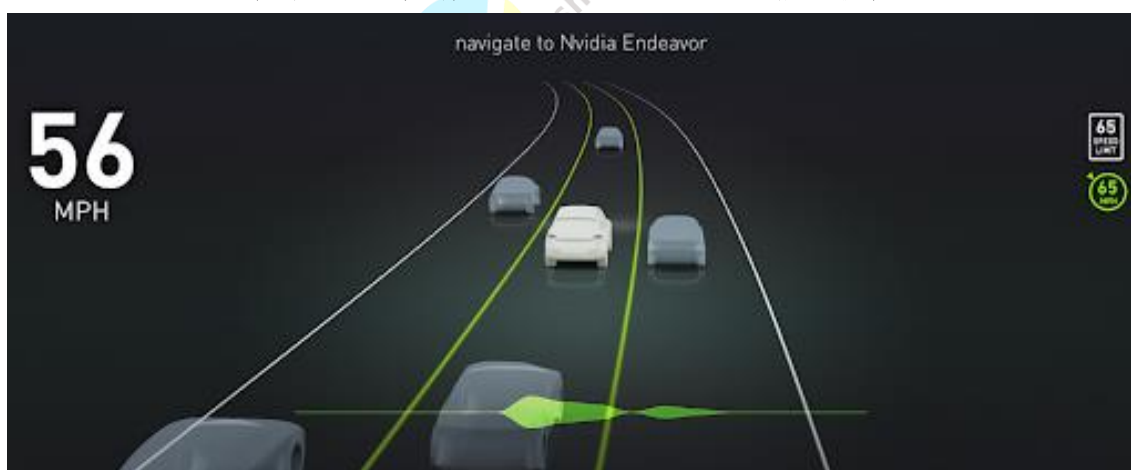
现在不仅是自动驾驶部分，Orin 开发平台还全面进军座舱即 DRIVE IX，包括了驾驶员状态监测、AR HUD、泊车视觉化、NLP 自然语音识别、虚拟机、电子倒车镜后视镜等。并且英伟达野心不止 L3/L4，新一代开发平台也包括了 L2。

图表 199 英伟达 IX 的注意力监测，附带有语音提示



资料来源：英伟达

图表 200 英伟达 Confidence View 信心视图



资料来源：英伟达

图表 201 英伟达眼球追踪



资料来源：英伟达

图表 202 英伟达脸部识别进入车辆



资料来源：英伟达

2020 年 11 月，英伟达与现代宣布达成合作协议，在座舱领域全面合作。他们的第一个作品就是现代高端品牌的第一辆电动车 GV60，实际两者自 2019 年就开始合作了。

图表 203 现代汽车 GV60 座舱内饰



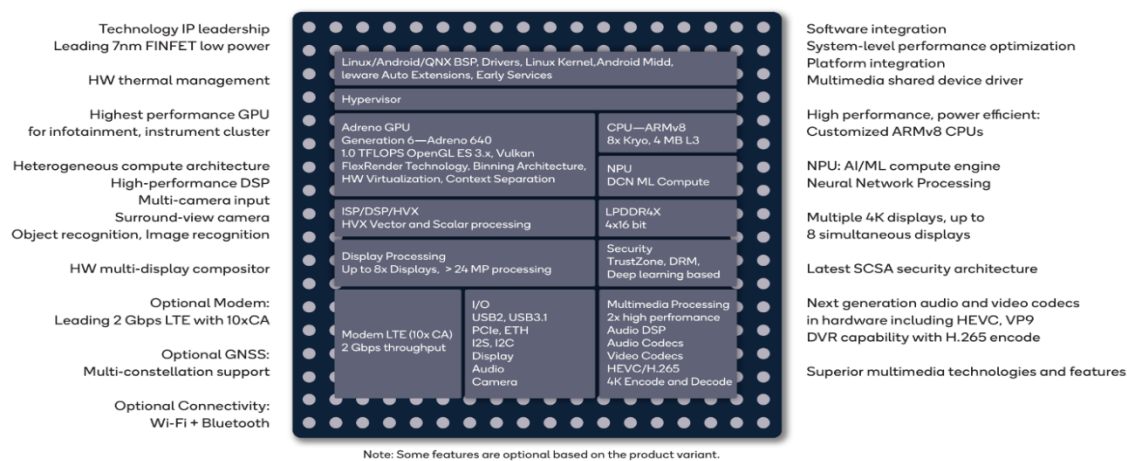
资料来源：现代汽车

座舱方面，GV60 的座舱被现代称之为 Connected Car Integrated Cockpit 即 CCIC，无缝连接仪表、中控、HUD、电子倒车镜。CCIC 应该使用了 QNX 的虚拟机，一套硬件拖动中控、仪表和两个电子倒车镜。仪表和中控的尺寸都是 12.3 英寸，与宝马旗舰 IX 的座舱设计颇为近似。

4.3 高通

高通 820A 正式发布在 2016 年的 CES 大展上，当时可谓惊艳，820A 共三个型号，分别是 820A SCL、820A High 和 820A Prem，820A SCL 是最低端型号。大众、路虎、小鹏等一系列厂家都有采用。但是 4 核的产品很快跟不上潮流，高通 8 核的第三代产品有三款分别是 SA6155P、SA8155P 和 SA8195P。SA6155P 性能不突出，很少人使用，SA8155P 对应的手机平台是高通骁龙 855，性能强劲，新兴造车选择 SA8155P 比较多。

图表 204 SA8155P 简介



资料来源：高通

SA8155P 是第一款 7 纳米汽车座舱 SoC 芯片，采用 8 核设计，3 个中核为 Kryo 435，相当于 ARM Cortex-A76，运行频率 2.1GHz，一个 Kryo 435 大核，运行频率 2.4GHz，4 个 Kryo Silver

小核，相当于 ARM Cortex-A55，运行频率 1.8GHz，一个 Adreno 640 GPU。

SA8195P 并非源自手机骁龙系列，而是源自 PC 系列平台，高通在 2017 年开始进军 PC 领域，主要是瞄准微软 Surface 和平板与笔记本电脑二合一型电脑。第一个产品是骁龙 835，之后是骁龙 850，之后改名为骁龙 7C，2019 年则有骁龙 8C，骁龙 8C（SC8180）还有升级版骁龙 8cx 和 8cx 5G，SA8195P 就是基于骁龙 8C 的产品。

国内平板笔记本二合一电脑并不受欢迎，在美国还是颇受欢迎的，再有就是骁龙 7C/8C 都自带 Modem，车规版 SA8195P 有不带 Modem 的版本。

图表 205 高通第四代座舱 SoC

Announcement

Introducing
Qualcomm
snapdragon
automotive cockpit
platform, gen 4

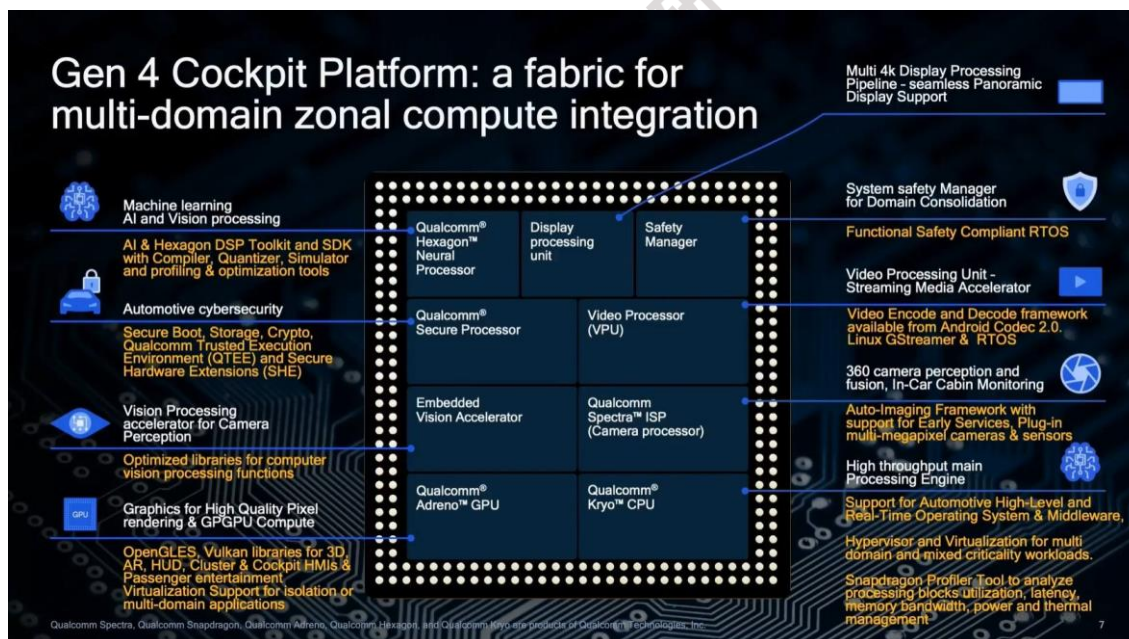
	Performance	Premier	Paramount
5nm process technology	4K center information 4K cluster display FHD AR-HUD Multi-zone audio with ECNC & ICC 360 stitched AVM 4 MP DMS/OMS 360 informational safety + personalization	Performance plus FHD passenger display FHD e-Mirrors 4 MP DMS/OMS/CPD 360 informational safety + personalization + VRU + sign detection	Premier plus 4K passenger display (or) stitched panoramic display Multi-zone audio with ECNC and ICC with sound bubbles 4k RSE (x2) 8 MP DMS/OMS/CPD

Expected Q2 2021

资料来源：高通

高通在 2021 年 1 月推出第四代座舱 SoC，目前可以确定的型号是 SA8295，可能是 Premier，采用 5 纳米设计。SA8295 源自手机领域的 Snapdragon 888 采用 8 核设计，一个 Cortex-X1 的超大核，运行频率 2.84GHz，车机版应该低一点，估计 2.5GHz，3 个 A78 大核，运行频率 2.4GHz 车机版低一点，估计 2.1GHz，4 个 A55 高效率核，运行频率 1.8GHz，估计车机版也要再降 100MHz。

图表 206 高通第四代座舱 SoC 内部框架图



资料来源：高通

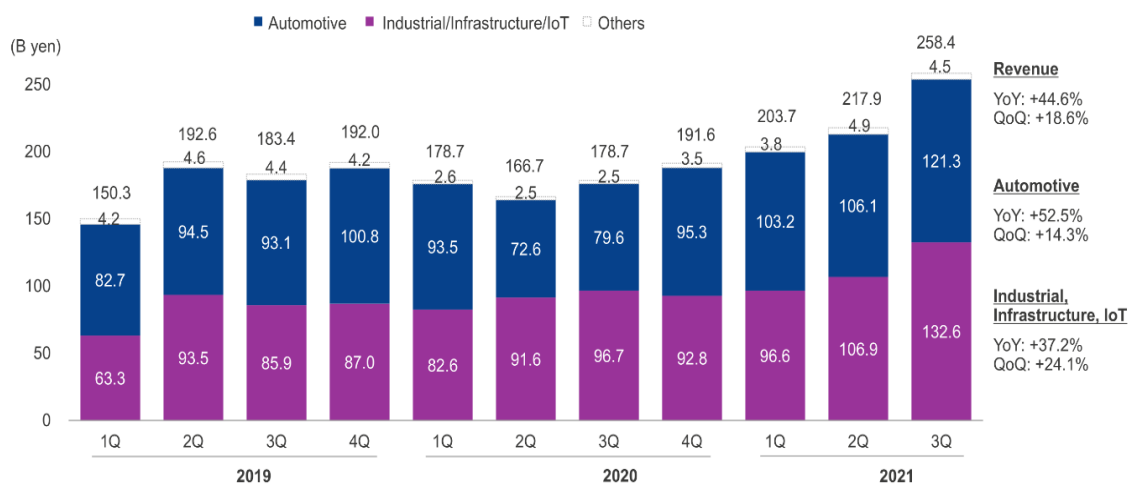
此外还有一些非车规芯片，如高通 625 也被中国厂家大量使用。高通非车规座舱 SoC 有两大类，一类是 CSR 芯片，CSR 是高通在 2015 年 24 亿美元收购的，其车机 SoC 芯片实际来自 CSR 在 2009 年 1.36 亿美元收购的 SiRF 技术，以前主打后装市场，现在有在前装发扬光大的趋势。另一类则是手机用的非车规的骁龙 625，虽是 2016 年 2 月发布的芯片，但性能足够满足目前的主流应用。



4.4 瑞萨

瑞萨是日本日立、三菱电机和 NEC 三家的半导体业务合并而成的企业。

图表 207 2019 年 1 季度-2021 年 3 季度瑞萨汽车业务收入



资料来源：瑞萨

瑞萨是日本最大的芯片厂家，其汽车 MCU 市场占有率比较高，大约有 1/3，座舱领域的 MCU 基本由瑞萨垄断。

座舱 SoC 方面，目前主推 R-CAR 3 代，这是 2015 年 12 月发布，大约 2018 年中量产的芯片。

图表 208 瑞萨 R-CAR 第三代产品列表

← CPU performance: **18x** Memory bandwidth: **13x** →

	R-Car D3	R-Car E3	R-Car M3N	R-Car M3	R-Car H3N	R-Car H3
CPU	1x CA53	2x CA53, 1x R7	2x CA57, 1x R7	2x CA57, 4x CA53, 1x R7	4x CA57, 4x CA53, 1x R7	4x CA57, 4x CA53, 1x R7
Main CPU (MHz)	1000	1200	1800	1800	1500	1700
Total DMIPS	2.3k	7.5k	19k	31k	41k	45k
DDR Mem (GB/s)	3.75	7.5	12.8	25.6	25.6	51.2
Video Enc/Decoder* (VCP4) (if iVDP1C is used)	-	H.265 or H.264 1080p60	H.265 or H.264 1080p120	H.265 or H.264 1080p120	H.265 or H.264 1080p120	H.265 or H.264 1080p120
Video Enc/Decoder* (VCP4) (if iVDP1C is not used)	-	H.265 1080p60 + H.264 1080p60	H.265 1080p120 + H.264 1080p120	H.265 1080p120 + H.264 1080p120	H.265 1080p120 + H.264 1080p120	H.265 1080p120 + H.264 1080p120
Video Decoder (iVDP1C)	-	H.264 1080p30	H.264 1080p60	H.264 1080p60	H.264 1080p60	H.264 1080p60
2D drawing	Yes + plane composition	Yes + plane composition	Yes + plane composition	Yes + plane composition	plane composition	plane composition

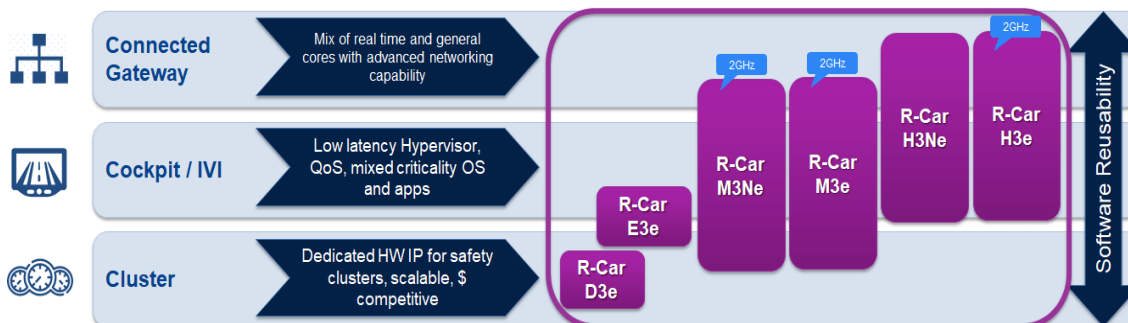
资料来源：瑞萨

图表 209 瑞萨座舱 SoC 应用选择



资料来源：瑞萨

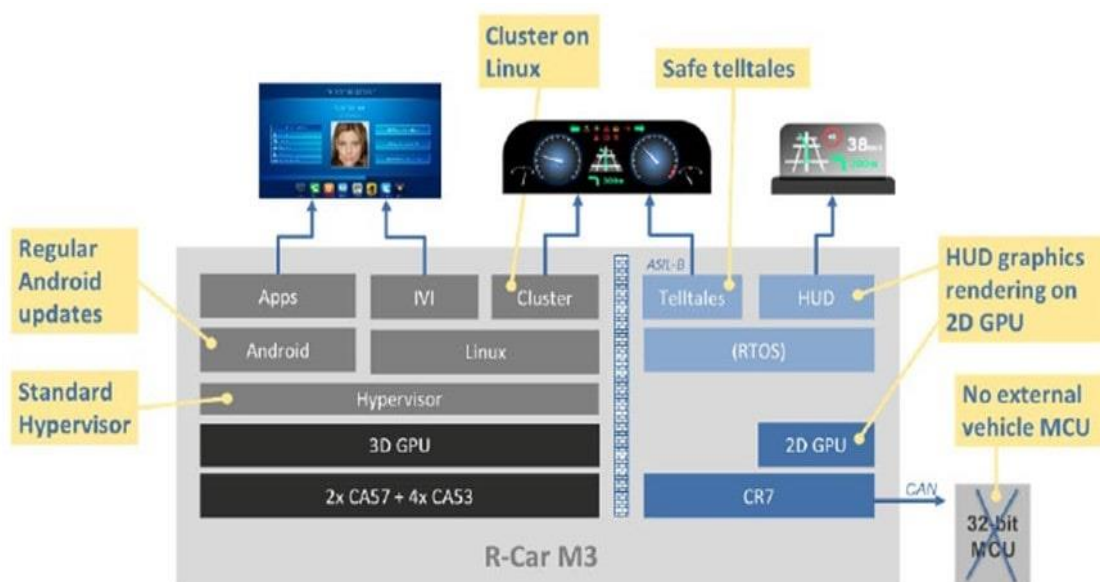
图表 210 瑞萨 R-CAR 第三代增强版产品



资料来源：瑞萨

瑞萨在 2021 年中期推出第三代增强版，就是将 CPU 频率提高到 2GHz，算力有所提升。第四代 R-CAR 可能要到 2023 年才宣布。

图表 211 瑞萨 M3 一机带 3 屏



资料来源：瑞萨

瑞萨主要客户是丰田、大众、长城和日产。

4.5 英特尔

英特尔目前有 5 款芯片可选，其中 4 款是 2016 年 8 月推出的，即 A3930/A3940/A3950/A3960，2018 年底新增一款 A3920，性能略高于特斯拉 Model 3 用的 A3950，但没有通过 AEC-Q100 车规认证，不过价格远低于 A3950，国内有几家非一线新兴造车厂家在用。

论性能，英特尔的 A3900 系列远不如其他三家来得高，毕竟它是 4 核芯片，且推出自 2016 年。但英特尔是最成功的，客户范围最广，包括铁杆支持者宝马，几乎全部使用旗舰 A3960。通用的一众主力车型，如 GMC 的 SIERRA 和 DENALI，还有未来的电动悍马。凯迪拉克的高端凯雷德，还有 2022 或 2023 年上市的凯迪拉克旗舰轿车 Celestiq。其余还有现代起亚的高端产品和选配产品，还有高端的 Genesis。斯巴鲁的中高端也是全线使用英特尔的芯片。此外还包括沃尔沃的主力车型 XC40/60 以及捷豹路虎的部分车型。

国内则包括了红旗的三款主力车型以及长城的轿跑 F7，还有奇瑞的星途。

图表 212 英特尔 A3900 系列产品

Intel Atom® A3900 Processor Series (D-0 stepping) SKU List

	Intel Atom® x7 A3920	Intel Atom® x5 A3930	Intel Atom® x5 A3940	Intel Atom® x7 A3950	Intel Atom® x7 A3960
SSPEC	REJZ	R33R	R33L	R33N	R33U
MM#	953085	953087	953082	953084	953096
Stepping	D-0	D-0	D-0	D-0	D-0
No. of Cores	4	2	4	4	4
Processor Frequency LFM/HFM/ Burst	800 MHz / 1.6 GHz / 2.08 GHz	800 MHz / 1.3 GHz / 1.8 GHz	800 MHz / 1.6 GHz / 1.8 GHz	800 MHz / 1.6 GHz / 2.0 GHz	800 MHz / 1.9 GHz / 2.4 GHz
Graphics Frequency LFM/HFM/ Burst	100 MHz / 500 MHz / 650 MHz	100 MHz / 400 MHz / 550 MHz	100 MHz / 400 MHz / 600 MHz	100 MHz / 500 MHz / 650 MHz	100 MHz / 600 MHz / 750 MHz
ISP Frequency Low/High/Burst	200 MHz / 550 MHz / 700 MHz	200 MHz / 550 MHz / 675 MHz	200 MHz / 550 MHz / 675 MHz	200 MHz / 550 MHz / 700 MHz	200 MHz / 550 MHz / 700 MHz
GFX Industrial Reliability Frequency	400 MHz	NA	NA	NA	NA
GFX EU	18	12	12	18	18
TDP (W) at TjMax	12	6	8	9.5	12.5
SOi3 Power (mW) at 30°C	18	15	15	18	18
S3 Power (mW) at 30°C	16	13	13	16	12
S5 Power (mW) at 30°C	16	13	13	16	12
DDR3L ECC Option	No	No	No	No	No
AEC-Q100 Qualification	No	Yes	Yes	Yes	Yes
LPDDR4 Frequency	up to 2400 MT/s	up to 2133 MT/s	up to 2133 MT/s	up to 2400 MT/s	up to 2400 MT/s

资料来源：英特尔

英特尔除了 2018 年底添加了 A3920 后，一直没有新产品推出，所以英特尔的老顾客大部分转投了高通阵营。

4.6 Telechips

Telechips 成立于 1999 年，2004 年在韩国上市，目前有大约 356 名员工，研发人员占 66.8%。

图表 213 2013-2021 年 Telechips 收入与净利润

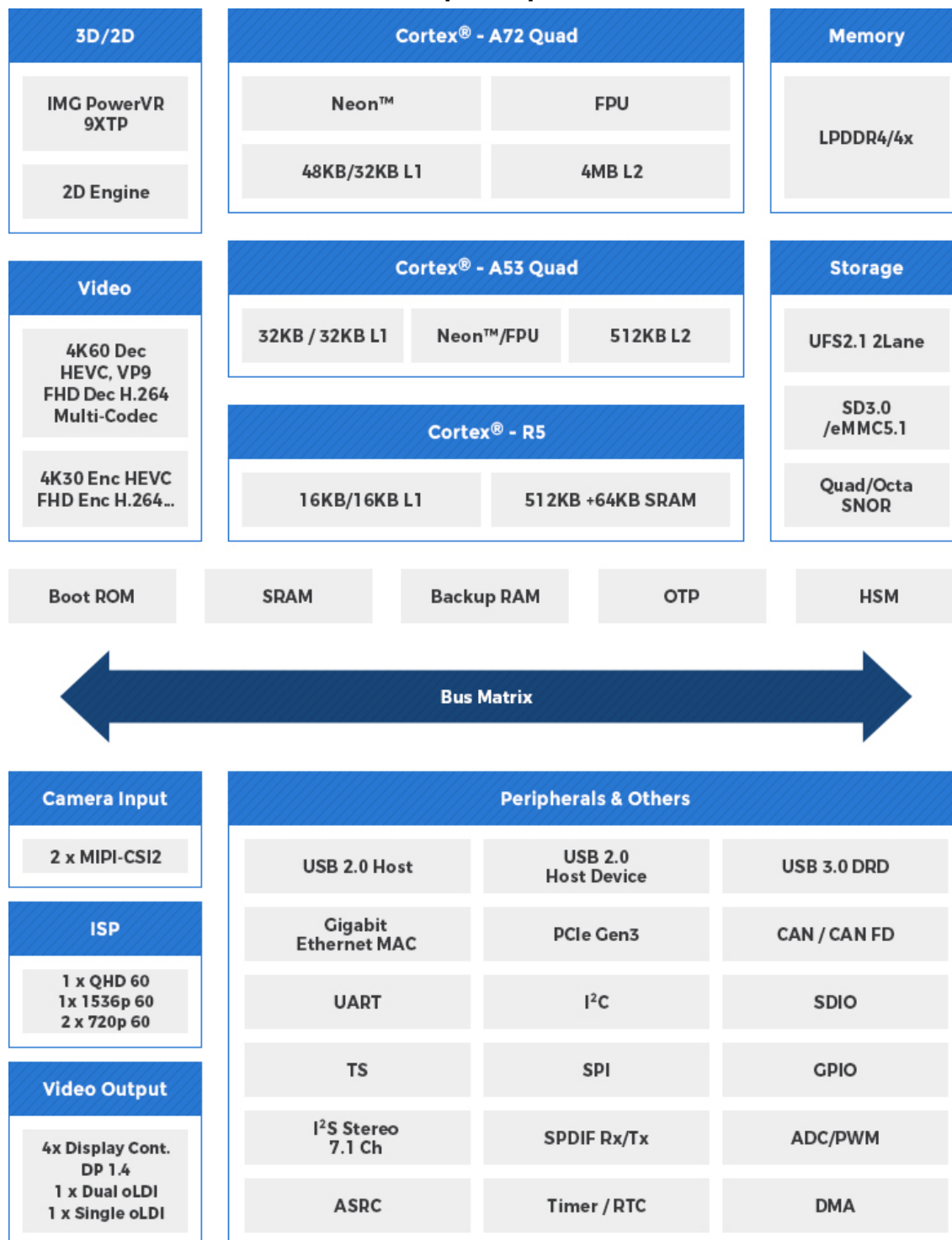
单位：亿韩元	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021F
收入	740	753	821	1010	1227	1261	1322	1007	1235
净利润	-173	14	20	105	15	92	83	-94	40

资料来源：Telechips；佐思汽研整理

Telechips 大约 90% 的产品用于车上，其中 65% 是 SoC，35% 是音频芯片。主要客户是现代汽车，占其 65% 的收入，其他客户还有丰田、日产、长安。

Telechips 积极进军高端市场，顶级旗舰 Dolphin3H 包含 8 个 A72，8 个 A53 内核，把高通 SA8155 当做对手。Dolphin3H 的 16 核设计也是座舱 SoC 中内核最多的。

图表 214 Telechips Dolphin3 内部框架图



资料来源: Telechips

4.7 联发科

联发科给大部分人的印象都是一家手机芯片公司，实际联发科是多元化的，以 2021 年 2 季度为例，手机所占收入比例为 57%，智慧装置包括车载、IoT、ASIC（主要是网络与服务器领域）和计算（主要是人工智能芯片）占收入比例为 22%，智能家庭占 14%，功率芯片占 7%。联发科已经是全球第四大 IC 设计公司，预计 2021 年收入大约 150 亿美元。

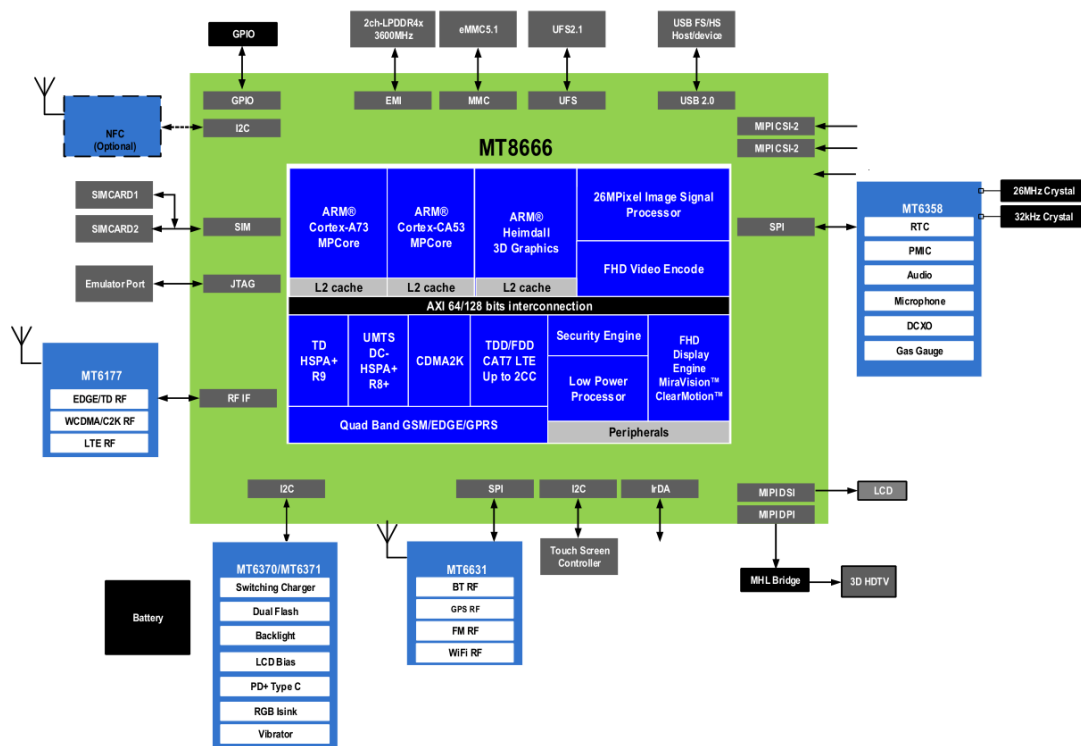
联发科车载领域产品代号黄山，联发科在 2016 年开始研发车载芯片，一度是独立的事业部，2020 年 9 月并入智慧装置事业部。主要产品一个是与吉利合作的产品，另外一个是对座舱的 MT2712，还有针对超短距离毫米波雷达的 MT2706，针对 TCU 的 MT2731。

目前 MT2712 进展比较快。采用 MT2712 的厂家主要有大众、现代、奥迪，合作 Tier1 有三星哈曼、LG 电子、伟世通。大众的 MIB 3 Regio 版车机就是采用 MT2712，2020 年主要是用在南美地区，2021 年下半年拓展到北美地区，合作 Tier1 是伟世通。与 LG 的合作主要是印度的现代与起亚中档车型，与三星哈曼的合作主要是奥迪的后排遥控系统，未来会进一步拓展，可能会包括虚拟后视镜。

MT2712 的升级产品为 MT2713，采用 7 纳米工艺。

目前联发科与吉利合作的主要产品是 MT8666。

图表 215 MT8666 内部框架图与整套解决方案



资料来源：联发科

MT8666 具有集成的蓝牙、FM、WLAN 和 gps 模块，是一个高度集成的基带平台，包括调制解调器和应用处理子系统。该芯片集成了最多 2.2GHz 的 arm Cortex-A73，最多 2.2GHz 的 ARM Cortex-A53 和 MALI G72 的 GPU。LPDDR 3 可达 4GB(32 位数据总线宽度的单通道)，LPDDR4X 高达 8GB(16 位数据总线宽度的双通道)，内存时钟至 lpd3-1866 或 lddr4-3600，LTE Cat 7 (300Mbps)。

图表 216 联发科座舱 Soc 产品规划



资料来源：联发科

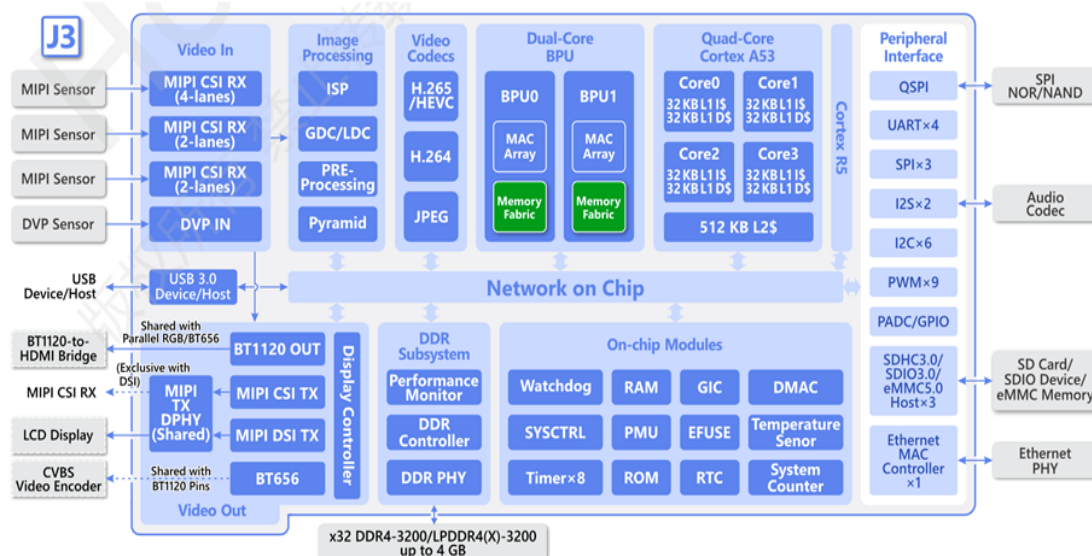
针对 SA8155P，联发科对应的产品应该是 MT8192，针对 SA8195P，联发科对应的产品应该是 MT8195。虽然这两个都是针对笔记本电脑领域的，但现在这个界限很模糊了。

4.8 地平线

地平线是国内唯一一家车规级 AI 芯片大规模前装量产的企业，以软硬结合为底层技术理念。在智能驾驶领域，地平线不但能提供高效能边缘 AI 芯片，还可以结合丰富算法 IP、开放工具链等在内的全面赋能服务，加速合作伙伴智能驾驶的应用落地。

地平线于 2019 年发布中国首款车规级 AI 芯片——征程 2 后，又于 2020 年和 2021 年分别发布地平线征程 3 和征程 5。于今年发布的第三代车规级产品征程 5，兼具高性能和大算力，单颗芯片 AI 算力 128TOPS，支持 16 路摄像头感知计算，能够支持整车智能所需要的多传感器融合、预测和规划控制等需求。

图表 217 地平线征程 3 内部框架图



资料来源：地平线

截至 2021 年 12 月，地平线征程系列芯片出货量已突破 80 万片，已公布搭载征程系列芯片的有长安 UNI-T、奇瑞蚂蚁、智己汽车、长安 UNI-K、广汽埃安 AION Y、哈弗 H9、岚图 FREE、江淮汽车思皓 QX、广汽传祺 GS4 Plus、上汽大通 MAXUS MIFA 概念车、2021 款理想 ONE 等十余款车型。其中，首款搭载征程 2，于 2020 年 3 月上市的主力车型长安 UNI-T 在上市半年内实现了每月销量上万的佳绩，验证了“有算法能力的 AI 芯片公司+整车厂”合作模式的潜力。

图表 218 搭载地平线征程系列芯片的部分车型



资料来源：地平线

基于芯片+算法的软硬结合理念，地平线打造了 Horizon Halo™ 车载智能交互解决方案，Halo3 可支持 4 麦克加 7 摄像头的接入，其中舱内三颗高清摄像头 DMS+IMS+RMS，车外 AVR，四路 APA 环视视觉感知处理摄像头，通过建立前排与后排、车内与车外、视觉与语音的全方位感知交互，形成更多的联动交互可能性。

目前，Horizon Halo 3 覆盖多个场景已有近两百个算法模型，其主打的多模交互可极大提升汽车对用户的意图理解与行为理解，减少用户在人机交互中的多轮对答，借助语音+视觉的融合算法模型实现了全时免唤醒、可见即可说、可见即可控等特色功能。

此外还支持动静态手势、场景编辑、儿童关怀、DVR 车外智能识别与感知、后排行为、全车人脸识别等。

图表 219 地平线 Halo3 车载智能交互方案及主要交互能力



资料来源：地平线

自研 AI 算力的冗余，还使得地平线的人机交互方案可同时结合 OTA 技术，完成快速的升级迭代，不断融合更多感知能力。同样得益于其 AI 算力优势，地平线也是唯一一家能够在单芯片上提供舱泊一体化的公司。

4.9 其他

低端的 Display Audio 市场主要是 ST 和松下，由于市场萎缩，松下也出售了半导体业务，但仍有很多 Display Audio 车机使用松下芯片，因为松下汽车系统是全球最大的 Display Audio 车机厂家。ST 对 Display Audio 市场还有比较高的关注度，主打高性价比的手机投射应用，力求获取更大的市场份额，主要型号是 ST1275 和 ST1295。

德州仪器的 J6 系列早期是大众、奔驰、宝马、奥迪座舱的主 SoC，随着时代发展，J6 系列算力低下，而 J7 系列到 2020 年才量产，长时间的产品断档，让德州仪器失去了市场，但奔驰、宝马、奥迪为了减少研发投入，最大化利用研发成果，座舱的副 SoC 还是 J6 不变，主要负责导航和收音，再增加一颗高算力的主 SoC，未来如果全新设计，J6 系列就无容身之地了。

J7 时代即 TDA4 系列，基本上放弃了座舱市场，主打自动泊车、ADAS、DMS。

汽车智能座舱白皮书(2021)

作者：佐思团队

2021年12月第一版



关注佐思汽车研究公众号
了解更多资讯

