



## 行业深度研究报告

## 汽车行业

## 惯性导航专题报告（二）

推荐

（维持评级）

2018年12月7日

先进制造研究部副总监：谭潇刚

中国科学技术大学博士，知名券商背景，兼备理工/金融复合背景和跨一、二级市场研究视角；专注新能源汽车产业链，深度挖掘锂电池材料、回收、设备等细分领域机会。

电话：0755-83068383-8033

E-mail:tanxiaogang@jiyechangqing.cn

先进制造研究部汽车行业研究员：曾凯

北京交通大学动力机械及工程硕士，曾在吉利、北汽担任主管研发工程师等职、拥有六年汽车研发背景，参与多款量产车型研发。

电话：0755-83068383-8173

E-mail: zengkai@jiyechangqing.cn

先进制造研究部汽车行业研实习生：吴梓薇

北京大学数量金融学硕士，华南理工大学自动化学士。

【智能汽车行业专题报告】汽车如何迈入智能时代.....2018年8月24日

【惯性导航专题报告】惯性导航——被低估的自动驾驶关键技术，千亿级市场撬杆

.....2018年9月12日

基业常青经济研究院携国内最强大的一级市场研究团队，专注一级市场产业研究，坚持“深耕产业研究，助力资本增值，让股权投资信息不对称成为历史”的经营理念，帮助资金寻找优质项目，帮助优质项目对接资金，助力上市公司做强做大，帮助地方政府产业升级，为股权投资机构发掘投资机会，致力于开创中国一级市场研究、投资和融资的新格局！

### 特别声明：

作者保证本报告中的信息均来源于合规的渠道，研究逻辑力求客观、严谨；报告的结论是在独立、公正的前提下得出，并已经清晰、准确地反映了作者的研究观点。除特别声明的情况外，在作者知情的范围内，本报告所研究的企业与作者无直接利益相关。特此声明。

# 惯性导航——自动驾驶不可或缺的定位系统核心

## ● 惯性导航定位系统将成为自动驾驶刚需

（1）自动驾驶已成为汽车行业发展的确定性趋势。自动驾驶的三个核心问题：在哪里？去哪里？如何去？定位系统在自动驾驶中专注于解决“在哪里？”这个问题。

（2）自动驾驶定位系统的最核心关键词是高精度。高精定位能够实现极端天气和环境下的车道级定位、高精度定位要能实现感知信息的时空同步、降低自动驾驶系统运算力要求、降低系统复杂度、有利于实现V2X应用及自动驾驶的安全性和舒适性。

（3）惯性导航系统是高精定位中必不可少的关键部件。惯性导航系统是唯—可以输出完备的六自由度数据的设备、数据更新频率高、是定位信息的融合中心。目前GNSS+IMU构成的组合导航系统是主流的定位系统方案。

## ● 车用惯导系统进入快速发展阶段，爆发可期

（1）惯性导航系统应用从军工走向汽车。惯性导航技术发展至今已有百余年历史。惯导在军事领域的应用相对成熟，目前已开始应用在自动驾驶领域，迎来快速增长。

（2）2022年惯导系统全球市场空间将达45亿美元。惯性传感器IMU到2022年将达9亿美元，惯导系统至2022年为45亿美元，对应2018-2022年CAGR为54%。

（3）国内惯导系统研发尚处起步阶段。中国整体处于具备部分研发能力的第三梯队。国内的惯性导航组合研发起步较晚，技术上与国外存在不小的差距。

## ● 车用惯导系统的核心关键在算法及芯片

（1）惯导系统短期内是算法的竞争。惯导中使用的核心算法主要包括3种：1. 惯性导航解算算法；2. 组合导航的卡尔曼滤波器的耦合。3. 环境特征信息与惯性导航融合是必然趋势。

（2）惯导系统长期竞争力在芯片的设计及封装。汽车用的传感器对性能、体积、寿命要求非常高，决定了车用惯导传感器将采用MEMS技术。同时对高性能、低功耗惯性器件及系统的需求，使得MEMS惯性器件朝着高精度、集成化、低成本、组合化和多功能化方向发展。MEMS的封装技术是决定MEMS惯性器件的性能的重要因素。

## ● 投资策略：

惯性导航是自动驾驶不可或缺的定位系统核心，目前已进入高速发展阶段。我们建议关注已经在惯性导航系统算法有深厚积累，同时进入主机厂供应体系的相关公司。

推荐重点关注企业：深圳导远科技有限公司。

建议关注企业：上海戴世智能科技有限公司、北京义朗科技有限公司。

## ● 风险提示：

政策调整风险，自动驾驶市场化不及预期的风险。



## 内容目录

1 惯性导航定位系统将成为自动驾驶刚需 .....	4
1.1 自动驾驶为什么需要定位层? .....	4
1.2 自动驾驶要什么样的定位? .....	5
1.3 高精度定位为什么少不了惯导? .....	7
2 车用惯导系统进入快速发展阶段, 爆发可期.....	13
2.1 惯性导航系统的工作原理及核心部件 .....	13
2.2 惯性导航系统应用从军工走向汽车 .....	14
2.3 2022 年惯导系统全球市场空间将达 45 亿美元 .....	16
2.4 国内惯导系统研发尚处起步阶段.....	17
3 车用惯导系统的核心关键在算法及芯片.....	19
3.1 惯导系统短期内是算法的竞争 .....	19
3.2 惯导系统长期竞争力在芯片的设计及封装.....	23
4 投资策略.....	25
4.1 推荐重点关注企业: 深圳导远科技有限公司.....	26
5 风险提示 .....	27



## 图表目录

图表 1 自动驾驶发展历程 .....	4
图表 2 自动驾驶的核心框架图 .....	5
图表 3 自动驾驶的定位系统核心框架图 .....	5
图表 4 使用高精地图的高精度定位系统可以实现车道级定位 .....	6
图表 5 高精度定位系统有利于实现 V2X 应用 .....	7
图表 6 百度阿波罗使用了三种定位技术 .....	8
图表 7 GNSS 定位技术原理 .....	8
图表 8 GNSS-RTK 定位原理图 .....	9
图表 9 环境特征匹配定位原理图 .....	9
图表 10 惯性定位原理示意图 .....	10
图表 11 三种定位方式的优点和缺点 .....	10
图表 12 GNSS+IMU 的融合原理示意图 .....	11
图表 13 惯导系统作为定位信息中心融合其他模块提供的定位信息 .....	12
图表 14 GNSS+IMU 定位系统示意图 .....	13
图表 15 惯性系统工作原理图 .....	13
图表 16 惯性系统工作原理图 .....	14
图表 17 惯性导航系统发展历史 .....	15
图表 18 惯性导航系统的主要应用领域 .....	16
图表 19 自动驾驶 IMU 市场规模 .....	17
图表 20 惯性技术领域研究的开发国家的 4 个层次 .....	17
图表 21 世界主要惯性技术企业和科研机构分布图 .....	18
图表 22 MEMS 惯性传感器研发、制造商一览表 .....	18
图表 23 组合导航系统核心算法框架 .....	19
图表 24 惯性导航解算算法原理图 .....	20
图表 25 惯性导航初始化原理图 .....	20
图表 26 卡尔曼滤波器的松耦合原理图 .....	21
图表 27 卡尔曼滤波器的紧耦合原理图 .....	21
图表 28 卡尔曼滤波器松耦合和紧耦合的优点和不足对比 .....	21
图表 29 百度阿波罗卡尔曼滤波器的松耦合 .....	21
图表 30 卡尔曼滤波融合示意 .....	21
图表 31 对楼宇等长时间卫星信号微弱的场景，GNSS+IMU 系统的定位效果稳定性仍需提升 .....	22
图表 32 一种组合导航和环境感知信息融合的架构示意图 .....	23
图表 33 百度阿波罗的惯性融合定位模块框架 .....	23
图表 34 自动驾驶对惯性传感器芯片的基本要求 .....	24
图表 35 MEMS 惯性传感器融合程度不断提高 .....	24
图表 36 MEMS 器件的融合对 MEMS 的封装技术提出新的要求 .....	25
图表 37 导远科技车载组合导航总成和路测效果 .....	26

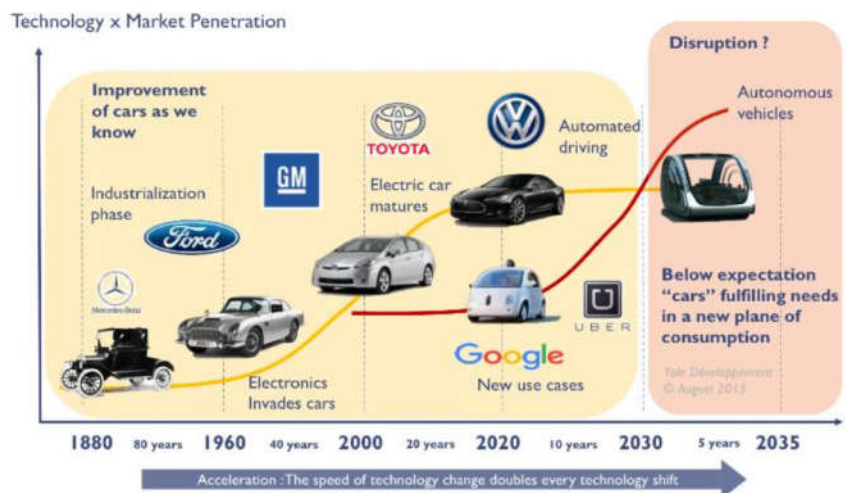
## 1 惯性导航定位系统将成为自动驾驶刚需

### 1.1 自动驾驶为什么需要定位层？

自动驾驶已成为汽车行业发展的确定性趋势。自动驾驶最大的意义在于解放驾驶员的双手，带来人类空间意义首次的无缝连接，智能汽车使汽车的角色不再局限于交通工具，可以是移动的生活空间，通讯工具，娱乐平台等更富有想象力的定位。

2020 年将是自动驾驶关键一年。按照 SAE 制定的自动化标准，自动驾驶可分为 L0-L5 级别，目前自动驾驶的量产车型处于 L2/L3 之间的状态。随着芯片、算法、高精度地图等技术的日趋成熟，政策法规的不断完善，激光雷达等传感器技术发展，预计 2020 年将迎来 L3 级自动驾驶的爆发。JP Morgan 预计 2021 年全球智能驾驶汽车超 200 万台，2024 年超 1000 万台。

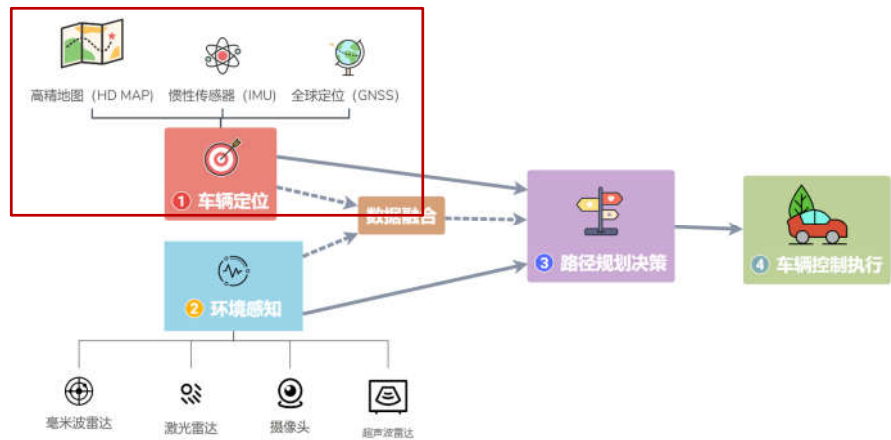
图表 1 自动驾驶发展历程



资料来源：Yole Development，基业常青

自动驾驶的三个核心问题是：在哪里？去哪里？如何去？定位系统在自动驾驶中专注于解决“在哪里？”这个问题。自动驾驶的核心内涵包括定位、感知、决策、执行四个部分，其中定位是决策和执行的前提，是自动驾驶中必不可少的关键环节。

图表 2 自动驾驶的核心框架图

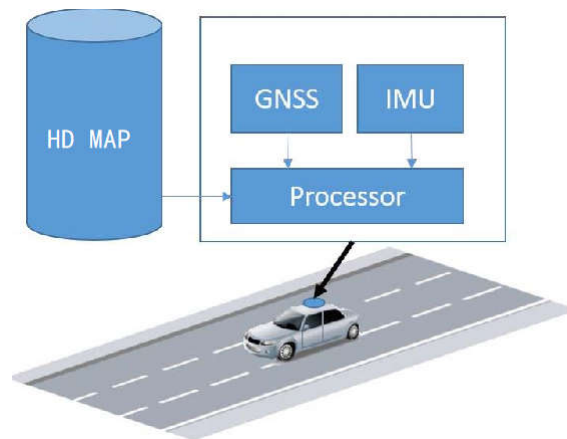


资料来源：基业常青

## 1.2 自动驾驶要什么样的定位？

自动驾驶使用的定位系统是以高精地图为依托，通过惯性传感器（IMU）和全球定位系统（GNSS），来定位车辆的位置。高精地图（HD MAP）为车辆环境感知提供辅助，提供超视距路况信息，并帮助车辆进行规划决策；惯导系统是不依赖于外部信息、使用惯性传感器来进行定位的自主式导航系统；全球定位系统是通过卫星信号定位，使用三角定位法定位地球表面或近地空间的任何地点的定位系统。

图表 3 自动驾驶的定位系统核心框架图



资料来源：基业常青

自动驾驶定位系统的最核心关键词是高精度。定位精度越高，自动驾驶的可靠性越高。高精度定位系统在自动驾驶中的重要性主要体现在5个方面：

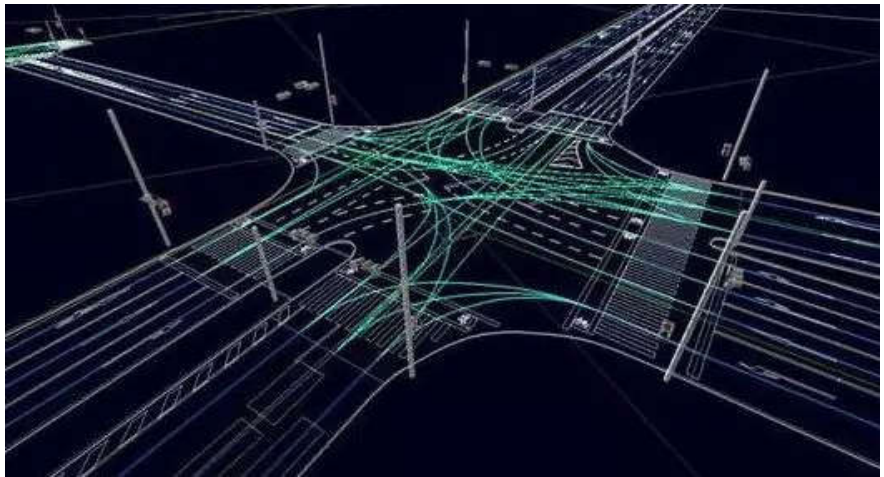
### 1.2.1 高精度定位系统能够稳定实现极端天气和环境下的车道级位置感知

高精度定位系统不易受环境及天气因素的影响，高精度定位系统配合高精度地图，车辆可以对自己的位置做出非常准确的判断。例如：雨天积水反



射灯光、冬天路面积雪覆盖等情况下，利用视觉传感器和激光雷达很难识别车道线；而在没有车道线的道路，如开阔的广场，或较大的停车场等封闭区域，不一定有明显的道路边线，且周围没有相对比较容易辨识的参照物，视觉和激光雷达很难做出相对定位。此外，强阳光会短暂致盲摄像头，而夜间行车时车灯的照明距离有限，视觉系统的精度会受很大影响。而高精度定位系统需要不受以上等环境因素影响，能持续稳定地给出定位位置。

图表 4 使用高精地图的高精度定位系统可以实现车道级定位



资料来源：高德地图，基业常青

#### 1.2.2 高精度定位要能实现感知信息的时空同步

一般来说，不同的传感器有不同的工作时钟和延迟，在某些情况下，测量值和测量时刻的位置、时间对不上。例如，通常单纯采用 GNSS 的定位系统的延迟是 100ms，在车辆行驶的时候，由于延迟，摄像头拍摄环境目标的时候图像实际位置和 GNSS 报告的位置其实是不一致的，在时速 120km/h 的时候，100ms 的延迟意味着 3.3 米的误差。高精度定位系统的延迟比较低，通常在几 ms，这样能确保拍摄图像的瞬间、位置和时间是能实时对应上的。

#### 1.2.3 高精度定位系统能够降低自动驾驶系统运算力要求，降低系统复杂度

如图 2 所示，自动驾驶中，决策层的信息来源包括感知层和定位层信息，其中感知层包含了特征提取、分类处理等模块，这些模块均需要较大的运算能力和较复杂的算法支撑。因此通过感知层获得精度较高的位置信息，系统的复杂程度也会随之提高。

目前一些自动驾驶车的后备箱里，放置大型的服务器来运算和处理，这种模式很难实现工程化或者商业化应用。使用高精度定位系统可以在较少资源下获得较高的定位精度，从而减少数据运算量，降低系统复杂程度。

#### 1.2.4 高精度定位系统有利于实现 V2X 应用

V2X (vehicle to everything，即车对外界的信息交换)。在交叉路口的车辆穿行和避让场景中，如果每一辆车都能够精确地定出自己的位置，通过车

车通信和车路通信把自己的位置分享给其他车辆,由此每辆车都会对彼此的位置和路口的交通情况有清楚的了解,通过这种智能路车调度系统,可以实现交叉行驶车辆的调度。达到一定程度时,甚至可以取消红绿灯。

图表 5 高精度定位系统有利于实现 V2X 应用



资料来源：车云网，基业常青

#### 1.2.5 高精度定位系统有利于自动驾驶的安全性和舒适性。

车辆在高速路上行使时,如果有急弯道,用视觉或激光雷达的方式去判断,车辆必须快接近这个弯道时才能做出响应,这样便会造成急刹车、急转弯等现象,给驾驶的安全性和舒适性造成影响。

如果使用高精度定位技术,车辆对自己的位置有清晰的了解,可以通过智能决策系统去判断,什么时候、提前多少米开始刹车、转向以及转向的角度,可以提升整个驾驶系统的安全性和舒适性。

### 1.3 高精度定位为什么少不了惯导?

#### 1.3.1 定位技术各有优劣

自动驾驶获得定位的技术方法通常有 3 种:

1. 基于信号的定位: 以通过全球卫星 GNSS 的卫星信号进行定位的技术为代表, 其他还包括使用 WIFI, FM 微波等信号获取信息等技术;
2. 环境特征匹配: 基于视觉或激光雷达定位, 用观测到的特征和数据库里的语义地图或特征地图进行匹配, 得到车辆的位置和姿态;
3. 惯性定位: 依靠惯性传感器获得加速度和角速度信息, 通过推算获得当前的位置和方位的定位技术。

图表6 百度阿波罗使用了三种定位技术

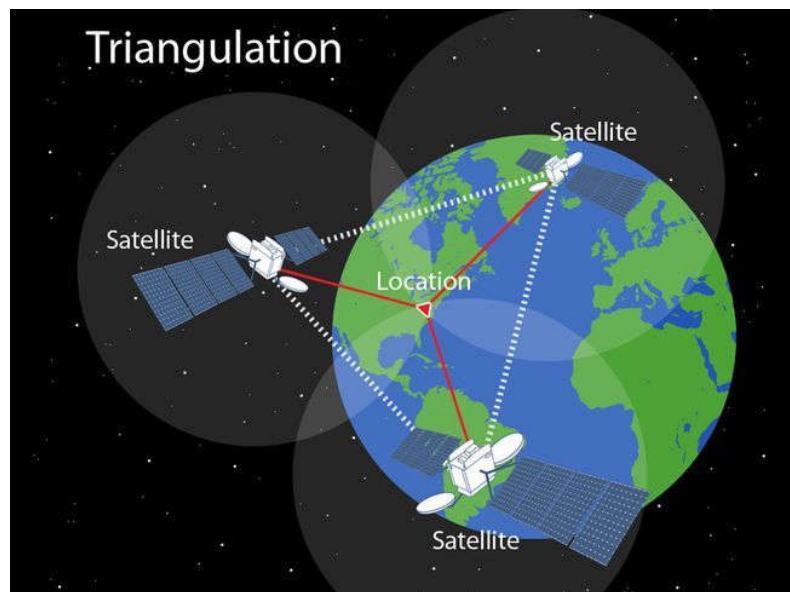


资料来源：百度阿波罗，基业常青

#### 1. GNSS 定位

GNSS 定位技术是比较成熟的常用技术。GNSS 是使用三角定位法，通过 3 颗以上的卫星，可以准确地定位地球表面的任一位置。

图表7 GNSS 定位技术原理



资料来源：National geographic，基业常青

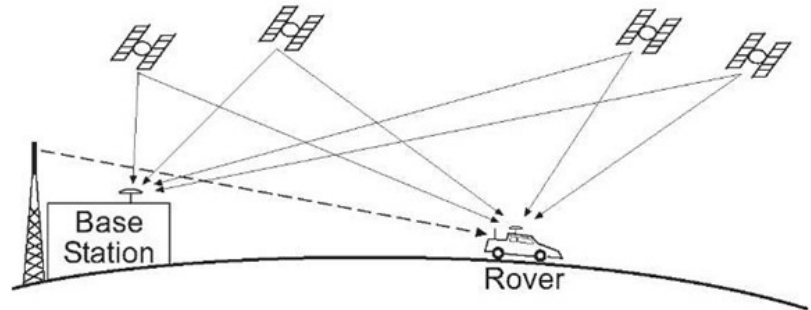
自动驾驶通常使用实时动态技术(RTK)获得较高精度的定位。

- 首先需要在地面上建基站（Base Station，基站建立时，可得到基站的经纬度等精确位置信息。
- 当基站的 GNSS 接收机与车载 GNSS 接收机相距<30km 时，可认为两者的 GNSS 信号通过同一片大气区域，即两者的信号误差基本一致。
- 根据基站的精确位置和信号传播的时间，反推此时的信号传播误差，之后



利用该误差修正车载的 GNSS 信号，即可降低云层、天气等对信号传输的影响，从而实现高精度(分米甚至厘米级)的定位。

图表 8 GNSS-RTK 定位原理图



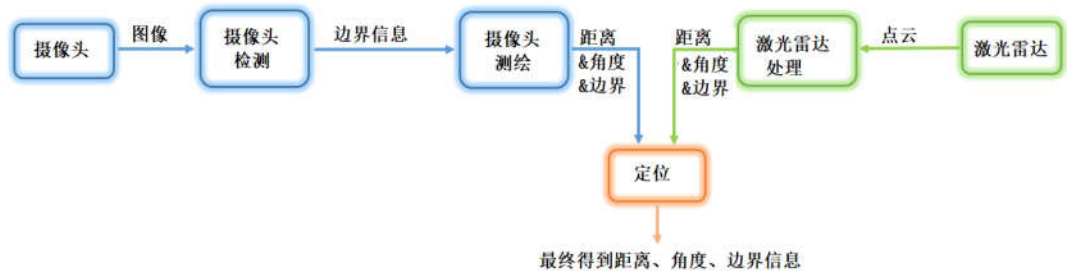
资料来源：<Carrier-Smoothed Code (GNSS)>，基业常青

GNSS-RTK 技术的定位结果精度较高且稳定，目前已广泛应用于自动驾驶导航系统中，但该方法也有比较明显的缺陷——依赖卫星信号。定位成功至少需三颗可见卫星，然而在实际的运行环境中，例如城市峡谷，由于多路径效应、卫星信号被遮挡等原因，会使可见星数目不足，这种情况将影响 GNSS-RTK 定位和测速的精确性以及其可靠性。

## 2. 环境特征匹配

使用摄像头和激光雷达等传感器，获取周围环境信息，经过处理后也可以获得定位信息。

图表 9 环境特征匹配定位原理图



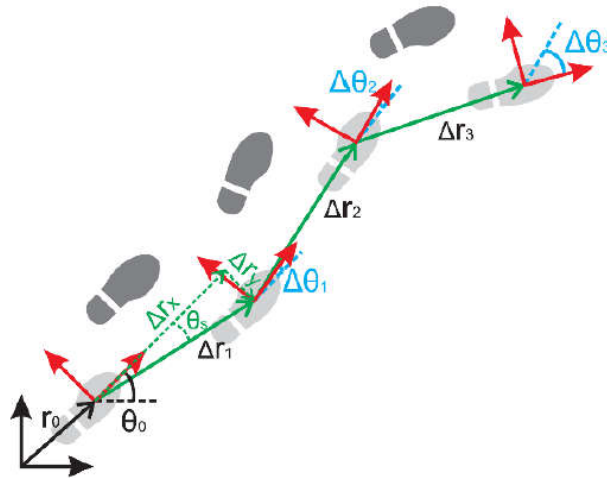
资料来源：基业常青

以激光定位为例，激光点云定位一般先通过激光雷达，获取车上的实时点云，获得目标空间分布和目标表面特性的海量点集合。经过处理后的点云数据与预先制作的地图进行匹配，最终得到车辆的距离、角度和边界信息。

## 3. 惯性定位

从惯性传感器(包含加速度计和陀螺仪)得到每一刻的加速度和角速度，通过时间积分，得到速度和角度，再通过空间累加，就可以推算出实时的位置。

图表 10 惯性定位原理示意图



资料来源：导远科技，基业常青

这三种定位方法各有优劣。而惯性导航定位可保证不受外界信息影响，在任何时刻以高频次输出车辆运动参数，为决策中心提供连续的车辆位置、姿态信息，具有任何传感器都无法比拟的优势。

图表 11 三种定位方式的优点和缺点

定位方法	优势	不足
GNSS-RTK定位	<ul style="list-style-type: none"> <li>可实现全球、全天候、全天时定位，绝对位置准确</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>依赖卫星信号，在受到遮挡时，信号丢失，无法做到定位；</li> <li>容易受到电磁环境干扰。</li> </ul>
环境特征匹配定位	<ul style="list-style-type: none"> <li>可获得周围环境的3D信息</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>传感器会受到天气、环境、光线等的影响</li> </ul>
惯性导航定位	<ul style="list-style-type: none"> <li>不依赖于任何外部信息，不受外界电磁干扰的影响；</li> <li>数据更新频率高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>存在累计误差</li> </ul>

资料来源：基业常青

### 1.3.2 惯性导航系统是自动驾驶中必不可少的关键部件

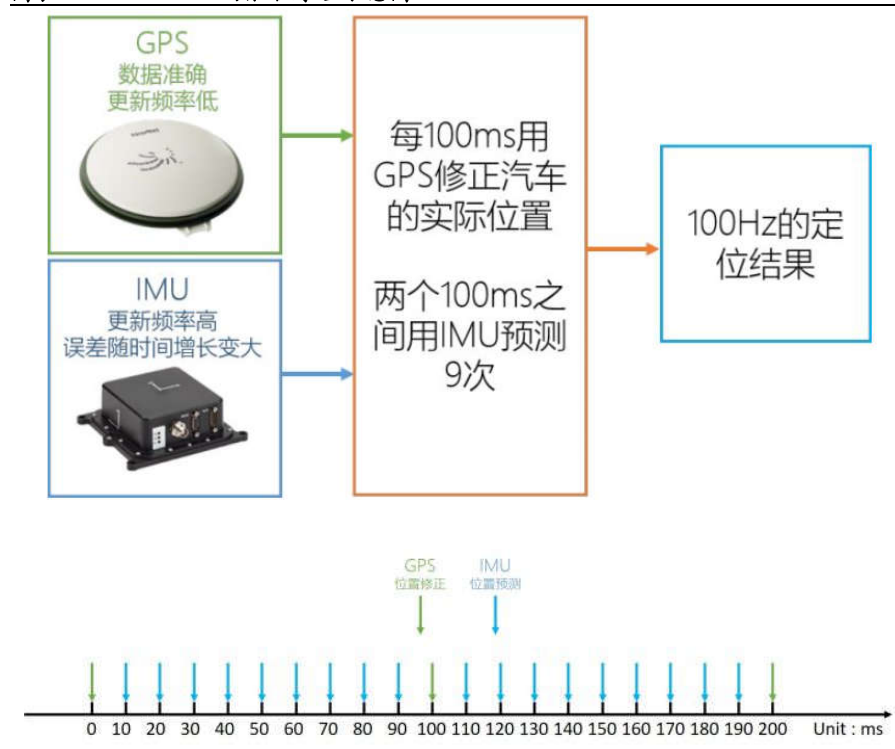
惯性导航在自动驾驶定位系统中具有不可替代性。惯导具有输出信息不间断、不受外界干扰等独特优势，可保证在任何时刻以高频次输出车辆运动参数，为决策中心提供连续的车辆位置、姿态信息，这是任何传感器都无法比拟的。

1. 惯性导航系统是**唯一**可以输出完备的六自由度数据的设备，惯导能够计算  $x, y, z$  三个维度的平动量（位置、速度、加速度）和转动量（角度、角速度），并可以通过观测模型，推测其他传感器状态的测量值，再用预测值和测量值的差用于加权滤波。若要获得实时的姿态角、方位角、速度和位置，惯导是唯一的选择。

2. 惯性导航的数据更新频率更高，可以提供高频率的定位结果输出。摄像头的帧率一般是 30Hz，时间不确定性为 33ms；GNSS 延迟一般是 100-200ms；而惯导预测状态的延迟最短只有几 ms，因此可以用惯导估算并补偿其他传感器的延迟，实现全局同步。

在车辆行驶的时候，GNSS 的延迟是 100ms，摄像头拍摄环境目标时，图像实际位置和 GNSS 报告的位置将会出现不一致，假设汽车时速 120km/h，100ms 的延迟意味着 3.3 米的距离的延迟，此时地图和目标识别的精度再高也失去意义。而如果使用组合惯导，位置的延迟将约为 2.5ms，由此导致的误差仅为 0.08m，更能够保证行车的安全性。

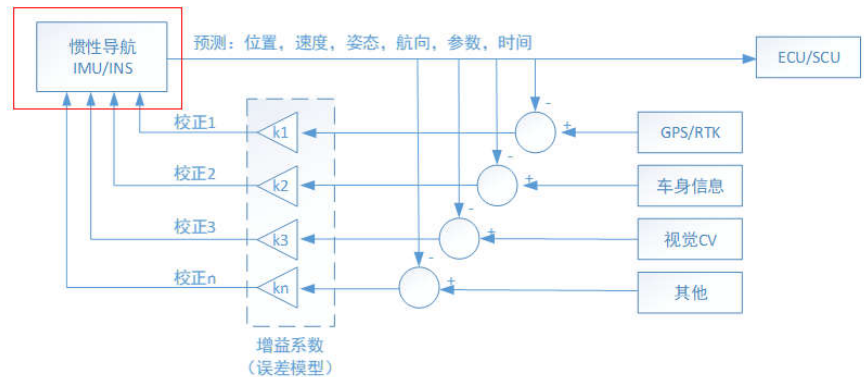
图表 12 GNSS+IMU 的融合原理示意图



资料来源：知乎（ID：陈光），基业常青

3. 惯性导航是定位信息的融合中心，融合激光雷达、摄像头、车身系统的信息。在 L3 及更高级别的自动驾驶汽车中，将引入更多的传感器来支撑系统的功能，惯导系统是所有定位技术中最容易实现与其他传感器提供的定位信息进行融合的主体，作为定位信息融合的中心，将视觉传感器、雷达、激光雷达、车身系统信息进行更深层次的融合，为决策层提供精确可靠的连续的车辆位置、姿态的信息。

图表 13 惯导系统作为定位信息中心融合其他模块提供的定位信息



资料来源：基业常青

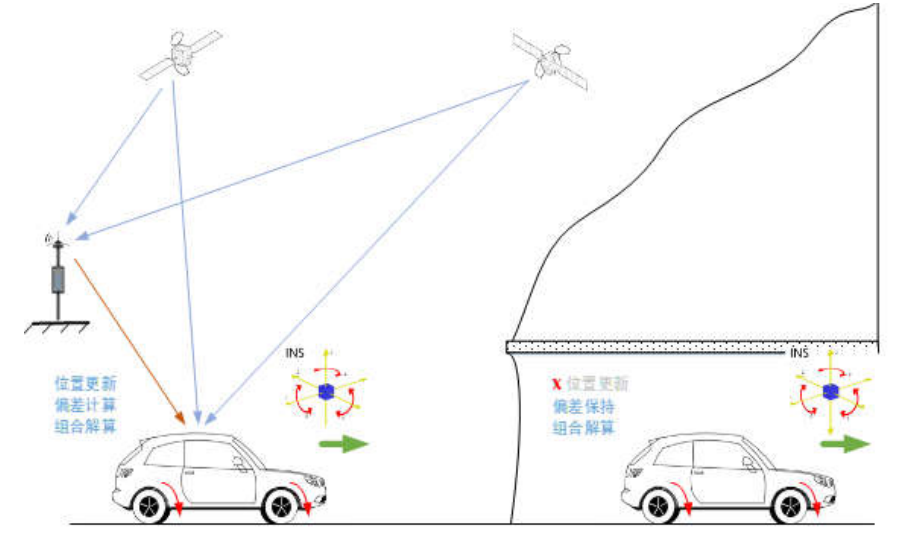
### 1.3.3 GNSS+IMU 构成的组合导航系统 (INS) 是主流的定位系统方案

惯性导航系统与卫星定位所得的车辆初始点结合，可以得到实时的精确定位。惯导系统原理是通过加速度的二次积分，得到相对的位移变量。但仅依靠惯导，无法获得车辆的绝对位置，因此必须加入 GNSS 所得的车辆初始点信息，即通过原始参照点+相对位移的方法，共同实现既准确又足够实时的位置更新。

- GNSS 在卫星信号良好时可以提供厘米级定位，但地下车库和城市楼宇之间等卫星信号丢失或者信号微弱的场景，提供的定位精度会大大下降。惯导可以不依赖外界环境提供稳定的信号。
- GNSS 更新频率过低（仅有 10Hz）不足以提供足够实时的位置更新，IMU 的更新频率可以达到 100Hz 或者更高完全能弥补 GNSS 所欠缺的实时性。GNSS/IMU 组合系统通过高达 100Hz 频率的全球定位和惯性更新数据，可以帮助自动驾驶完成定位。
- 在卫星信号良好时，INS 系统可以正常输出得到 GNSS 的厘米级的定位；而卫星信号较弱时，惯导系统可以依靠 IMU 信号提供定位信息。



图表 14 GNSS+IMU 定位系统示意图



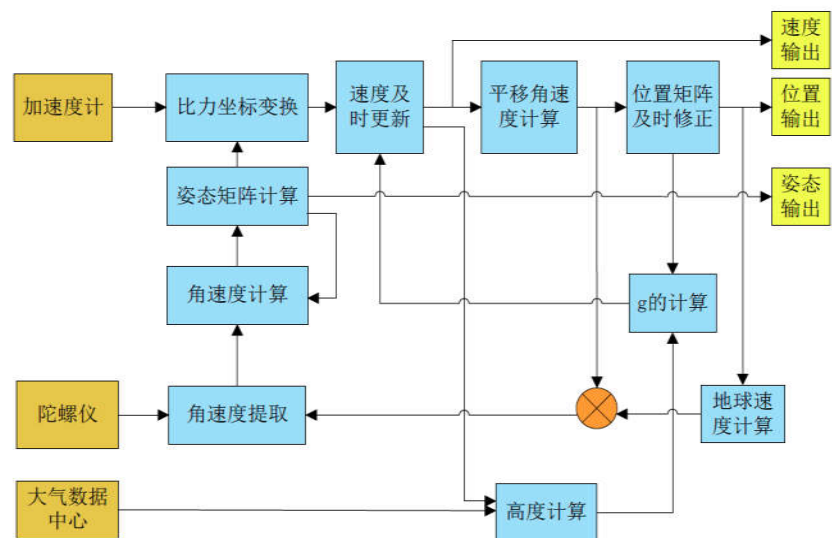
资料来源：导远科技，基业常青

## 2 车用惯导系统进入快速发展阶段，爆发可期

### 2.1 惯性导航系统的工作原理及核心部件

惯性导航系统（INS）是利用惯性传感器（IMU）测量载体的比力及角速度信息，结合给定的初始条件，与 GNSS 等系统的信息融合，从而进行实时推算速度、位置、姿态等参数的自主式导航系统。具体来说惯性导航系统属于一种推算导航方式。即从一已知点的位置根据连续测得的运载体航向角和速度推算出其下一点的位置，因而可连续测出运动体的当前位置。

图表 15 惯性系统工作原理图

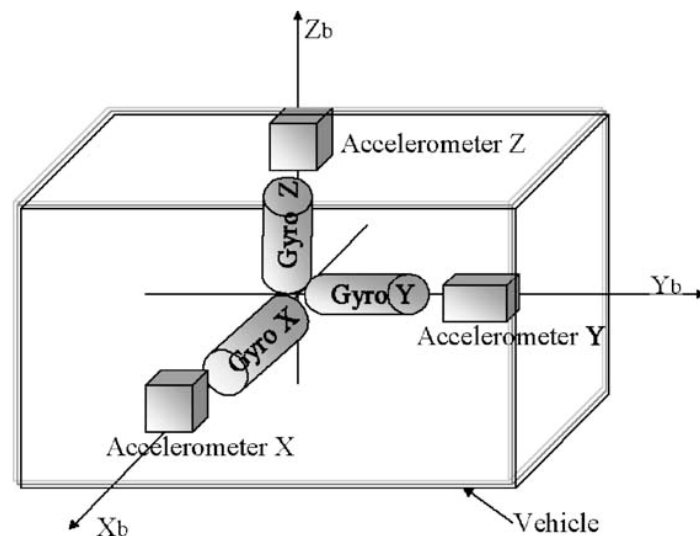


资料来源：星网宇达，基业常青

惯性导航系统采用加速度计和陀螺仪传感器来测量载体的运动参数。其中三个垂直布置的陀螺仪用于测量载体绕自身三个坐标轴的转动角速度，同时也敏感地球自转的角速度。

加速度计基于牛顿第二定律，采用电容式、压阻式或热对流原理，通过在加速过程中对质量块对应惯性力的测量来获得加速度值。用来测量运动体坐标系上各轴的加速度。

图表 16 惯性系统工作原理图



资料来源：XiaoyingKong/University of Technology, Sydney, Australia，基业常青

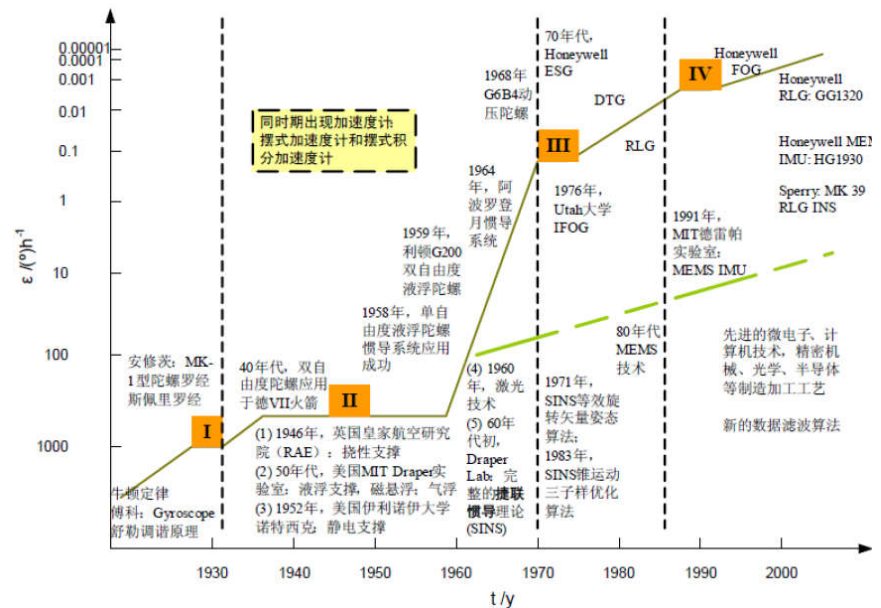
惯性导航系统分为平台式和捷联式两类。平台式惯导的传感器安装在多轴伺服平台上作为反馈元件，控制伺服平台的姿态达到设定值。捷联式惯导的传感器和载体一同运动，汽车用惯导目前都是采用捷联式的。惯导通过对陀螺仪测量的角速度进行积分运算和坐标变换，计算车体的姿态角（横滚、俯仰角）和方位角。根据姿态角可以计算出重力加速度在各个坐标轴上的分量，加速度计测量得的各轴加速度，减去重力加速度分量后积分，得到速度和位置。

惯导计算得到的状态，用于预测车辆当前的位置，再和卫星定位接收机得到的位置（或观测数据）进行比较。比较的偏差包含了惯导的推算误差和卫星接收机的定位误差，通过数据融合算法进行加权后，用于修正惯导的预测，让惯导的预测越来越准确。

## 2.2 惯性导航系统应用从军工走向汽车

惯性导航技术起源并发展于西方，发展至今已有百余年历史。其发展历程共分为四个阶段。下图中，折线下方为该阶段主要技术理论，上方为出现的惯性器件及其精度。各技术发展阶段间并没有完整界限。

图表 17 惯性导航系统发展历史



DTG: 动力调谐陀螺 FOG: 光纤陀螺 ESG: 静电陀螺 MEMS: 微机电系统  
IMU: 惯性测量单元 RLG: 激光陀螺 ε: 陀螺误差

资料来源:《惯性导航技术的新进展及发展趋势》,基业常青

20 世纪初期,随着火箭技术的大规模发展,惯性技术开始蓬勃发展。德国率先以惯性技术为基础成功研制了 V-II 火箭的制导系统,标志着惯性技术在导航领域的首次成功应用。其后惯性导航不断被应用于潜水艇、卫星、导弹、飞机、太空实验平台等工作环境复杂、数据要求全面的运载体之上。

随着技术的进步,惯性技术应用的领域得到了不断的扩展。利用惯性技术实现对运动体高动态、全方位的测量,并在测量结果基础上实现对运动体的有效控制,成为了惯性技术在导航应用之外的新兴应用领域。近年来大量仪器仪表和任务设备车载、船载、机载化的需求,引发工业控制、测量、消费电子、石油、交通及通信等多个行业的产品正从静基座向动基座转变,惯性测量和惯性稳控作为其核心技术已在上述行业中得到广泛应用。

图表 18 惯性导航系统的主要应用领域



资料来源：星网宇达，基业常青

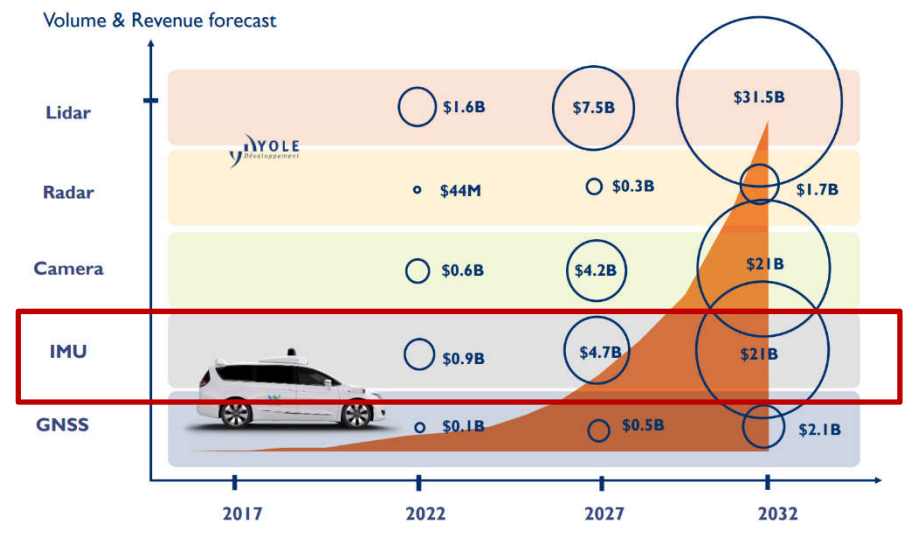
在惯导的众多应用领域当中，军事领域的应用相对成熟，而自动驾驶领域，仍是惯导系统应用一片亟待开发的蓝海市场。目前市场上车载组合系统的价格普遍在 10 万元以上，不能满足乘用车的成本和产量要求，主要瓶颈在高精度惯组芯片设计、封装以及组合导航算法设计技术上。

### 2.3 2022 年惯导系统全球市场空间将达 45 亿美元

惯导系统的市场正起步，2022 年全球市场空间将达 45 亿美元。车用高精度的惯性导航是随着智能驾驶的兴起新增的市场。根据半导体/传感器研究机构 Yole development 的估计，惯性传感器 IMU 的 2018 年的全球市场空间为 1.6 亿美元，到 2022 年将达 9 亿美元。惯性导航传感器价格一般是惯性导航系统的 1/5，由此测算惯导系统的全球市场空间在 2018 年为 8 亿美元，至 2022 年为 45 亿美元，对应 2018-2022 年 CAGR 为 54%。



图表 19 自动驾驶 IMU 市场规模



资料来源：Yole development，基业常青

## 2.4 国内惯导系统研发尚处起步阶段

美国国防部把从事惯性技术领域研究和开发的国家分为 4 个层次，中国整体处于具备部分研发能力的第三梯队。

图表 20 惯性技术领域研究的开发国家的 4 个层次

层次	定义	国家
第一梯队	完全具备自主研究和开发惯性技术能力的国家	美国、英国和法国
第二梯队	具备大部分的自主研发能力的国家	俄罗斯、德国、以色列和日本
第三梯队	具备部分研发能力的国家	中国、澳大利亚、加拿大、瑞典、乌克兰
第四梯队	具备很有限的从事惯性技术研发能力的国家	韩国、印度、巴西、朝鲜、瑞士、意大利等

资料来源：基业常青

图表 21 世界主要惯性技术企业和科研机构分布图



资料来源：《2017 年国外惯性技术发展回顾》，基业常青

国内的惯性导航组合研发起步较晚，技术上与国外存在不小的差距。惯性导航传感器的核心元器件是加速度传感器和陀螺仪，应用领域分为消费级、工业级和汽车级、军工级和宇航级。各个领域均是国外企业占据领先地位。

图表 22 MEMS 惯性传感器研发、制造商一览表

	加速度传感器	陀螺、IMU、AHRS、VG
消费级	ADI、Invensense、ST、Freescale、Sensor Dynamics、MSI(ICSensor)、MEMSIC、VTI、Inflinc	ADI、Knoix、ST、Infine、Methes、Murata、National 上海深迪
工业级、汽车级	ADI、Silicon design、Honeywell、MSI、VTI、Colibry、青岛智腾	Microstrain、Crossbow、Sensoror、SSS、Bosch、Delphi、Xsens、ADI、导远电子、西安精准、北斗星通
军工级、宇航级	Honeywell、Silicon designs、Drapor、Colibrys、电子 26 所、航天 33 所、陕西华燕	BEI、Drapor、Honeywell、Sorsonor、SSS、Northrop Grumman 电子 26 所、航天 33 所、航天 13 所、航空 618 所、国防科大、船舶 707 所

资料来源：基业常青

- **全球市场：**全球高性能的 MEMS 惯导主要掌握在以下几家企业手中：Honeywell、Analog Devices Inc、Sensoror、Silicon Sensing Systems 及 Systron Donner (QMEMS)。但面向武器装备和船舶为主，高精度，高成本，几乎全线禁运，并且价格高昂，最便宜的 ADI 低端战术级精度价格>2 万元。
- **国内市场：**国内传统惯导技术源头包括航天科技 13 所、航天科工 33 所、船舶 707 所、航空 618 所及兵器 214 所等。主要为军工企业，面向武器装备为主，高精度，高成本，低产量，对民用市场不敏感。

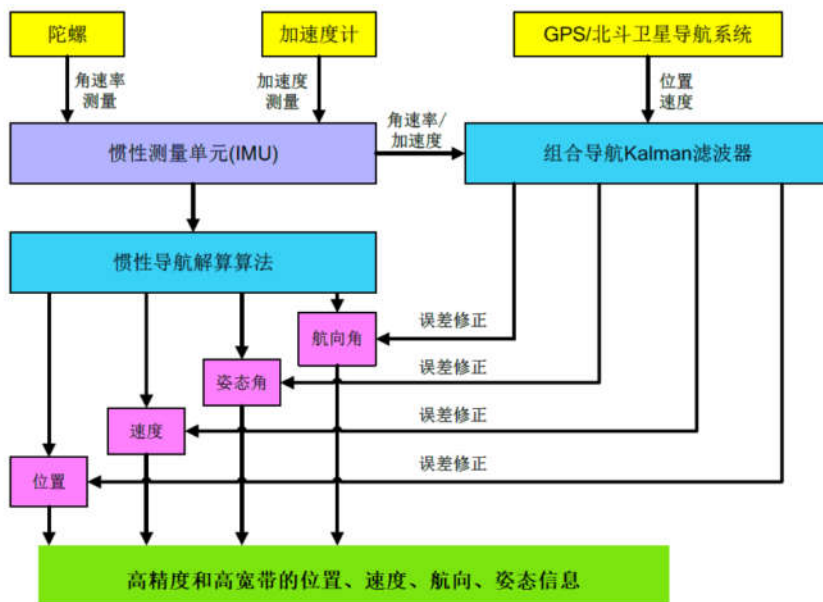
### 3 车用惯导系统的核心关键在算法及芯片

#### 3.1 惯导系统短期内是算法的竞争

惯性导航系统在自动驾驶中的应用属于起步阶段,短期内竞争力主要体现在算法上。算法的优劣决定传感器是否能发挥其最佳性能,也决定了惯性导航系统的稳定性和可靠性。惯导中使用的核心算法主要包括3种:

1. 惯性导航解算算法。包括 MEMS 惯性传感器的标定等硬件信息的处理,速度、加速度、航向及姿态的确定等;
2. 组合导航的卡尔曼滤波器的耦合。对 IMU 及 GNSS 等的输出信号进行融合。
3. 环境特征信息与惯性导航融合是必然趋势。

图表 23 组合导航系统核心算法框架



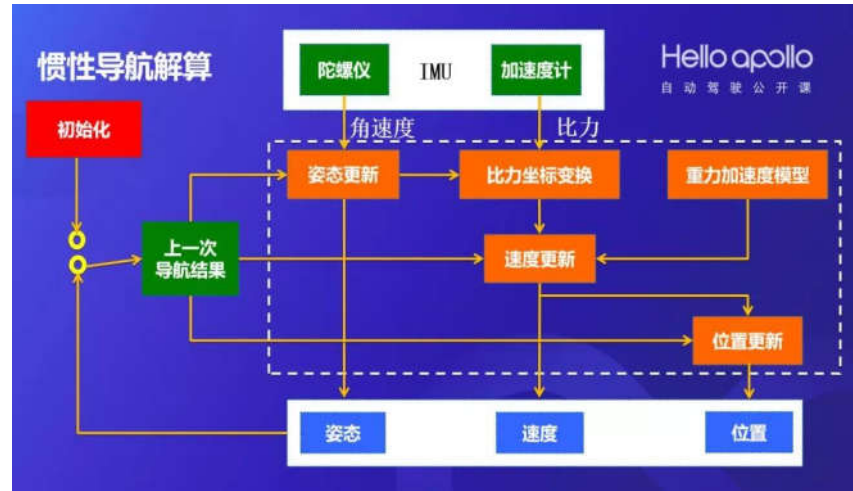
资料来源：星网宇达，基业常青

##### 3.1.1. 惯性导航解算算法

具体以百度阿波罗的惯性导航算法为例，通常分以下几步：

- ◆ 姿态更新：对陀螺仪输出的角速度进行积分得到姿态增量，叠加到上次的姿态上；
- ◆ 比力坐标转换：从 IMU 载体坐标系到位置、速度求解坐标系（惯性坐标系）；
- ◆ 速度更新：需要考虑重力加速度的去除，得到惯性系下的加速度，通过积分得到速度；
- ◆ 位置更新：通过速度积分得到位置。

图表 24 惯性导航解算算法原理图



资料来源：百度阿波罗，基业常青

在惯性导航中，导航方程的每一次迭代都需要利用上一次的导航结果作为初始值，因此惯导的初始化是比较重要的部分之一。姿态对准是指得到IMU的roll, pitch, yaw。roll, pitch的对准过程一般称为调平。使当车静止时，加速度计测量的比力仅由重力导致，可以通过 $f=C*g$ 来求解；对于非常高精度的IMU可通过罗经对准的方式，车静止时，通过测量载体体系中的地球自转来确定载体的方位(yaw)。

图表 25 惯性导航初始化原理图



资料来源：百度阿波罗，基业常青

### 3.1.2. 基于卡尔曼滤波器组合导航的定位结果融合

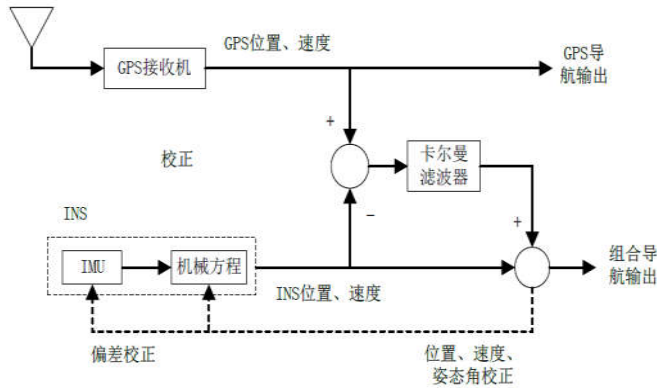
使用 Kalman 滤波器的耦合，对 IMU 和 GNSS 即点云定位结果进行融合。可分为松耦合和紧耦合两种方法。

松耦合滤波器采用位置、速度量测值和解算的位置速度之差作为组合导航滤波器输入，也即卡尔曼滤波器的量测量。紧耦合的数据包括 GNSS 的导

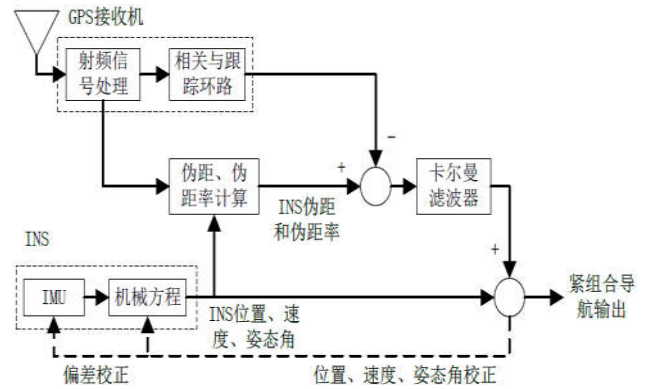


航参数、定位中的伪距、距离变化等。

图表 26 卡尔曼滤波器的松耦合原理图



图表 27 卡尔曼滤波器的紧耦合原理图



资料来源：《车载 MEMS/GNSS 紧组合导航系统研究》，基业常青

资料来源：《车载 MEMS/GNSS 紧组合导航系统研究》，基业常青

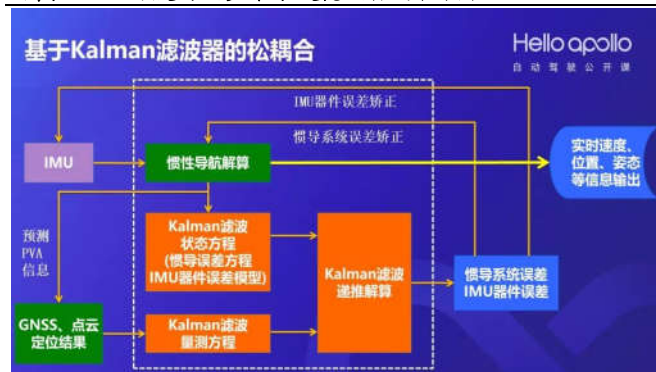
图表 28 卡尔曼滤波器松耦合和紧耦合的优点和不足对比

耦合类型	优势	不足
松耦合	<ul style="list-style-type: none"> <li>简单、灵活、滤波器维数低；</li> <li>拥有全局最优估计精度。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>必须要有四颗可见卫星，否则 GNSS 无法解算出位置和速度作为滤波器输入。</li> </ul>
紧耦合	<ul style="list-style-type: none"> <li>在可见星数目小于 4 时仍然可以进行测量更新；</li> <li>可以检测到粗劣的 GNSS 测量值并移除。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>滤波器复杂；</li> <li>在滤波之前需要消除滤波误差。</li> </ul>

资料来源：基业常青

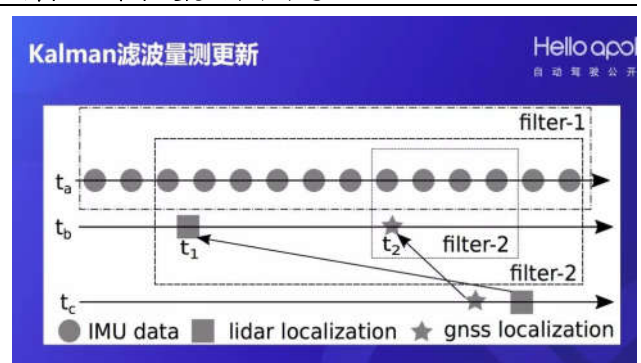
以百度阿波罗使用的惯导系统为例，采用了松耦合的方式，并且使用了一个误差卡尔曼滤波器。惯性导航解算的结果用于 Kalman 滤波器的时间更新，即预测；而 GNSS、点云定位结果用于 Kalman 滤波器的量测更新。Kalman 滤波会输出位置、速度、姿态的误差用来修正惯导模块，IMU 期间误差用来补偿 IMU 原始数据。

图表 29 百度阿波罗卡尔曼滤波器的松耦合



资料来源：百度阿波罗，基业常青

图表 30 卡尔曼滤波融合示意

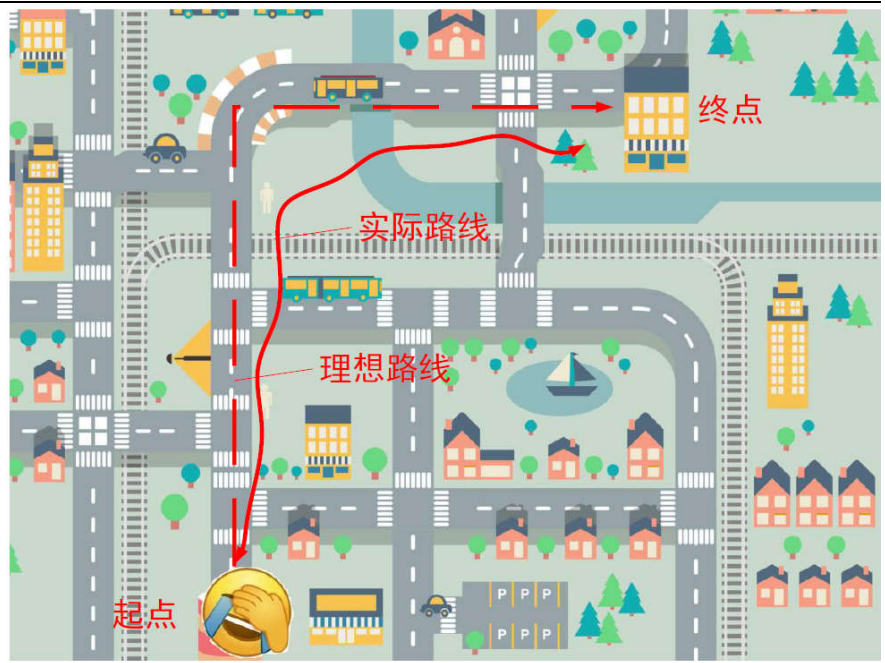


资料来源：百度阿波罗，基业常青

### 3.1.3. 环境特征信息与惯性导航融合是必然趋势

目前常用的 GNSS+IMU 组合惯导方案在一些场景的定位精度稳定性仍不能完全满足自动驾驶的要求。例如，城市楼宇群、地下车库等 GNSS 长时间信号微弱的场景下，依靠 GNSS 信号更新精确定位稳定性不足，因此必须引入新的精确定位更新数据源，在组合惯导中引入并融合激光雷达/视觉传感定位等环境信息进行融合定位成为必然趋势。

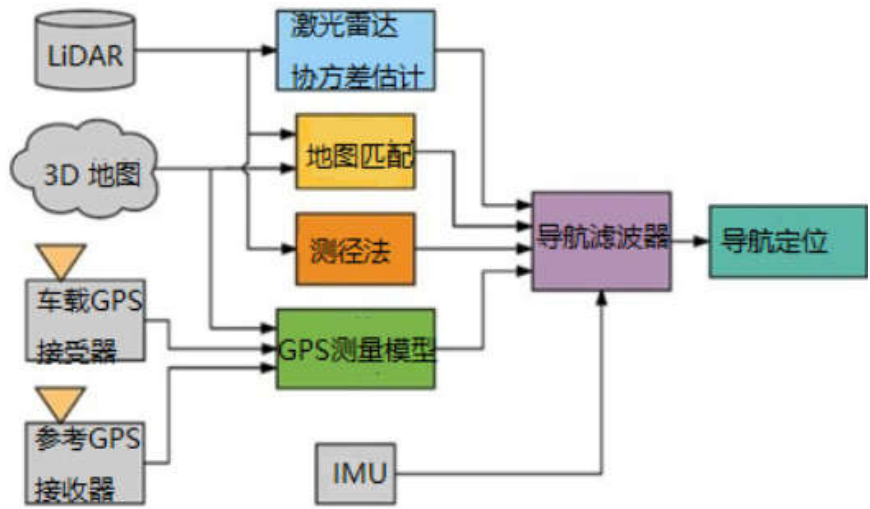
图表 31 对楼宇等长时间卫星信号微弱的场景，GNSS+IMU 系统的定位效果稳定性仍需提升



资料来源：基业常青

环境特征信息与惯性导航融合可以大大提升高精度定位系统的场景覆盖能力。通过 GNSS-RTK 的定位技术可以实现 65% 综合场景定位误差小于 20cm 的覆盖率，GNSS+IMU 的组合惯导则可以实现 85% 左右的覆盖，但距离自动驾驶对定位误差小于 20cm 的综合场景覆盖要达到 97.5% 以上的要求仍有差距。而 GNSS+IMU+LiDAR/CV 的融合高精度定位系统可以实现使覆盖率达到 97.5% 以上。组合导航系统与环境特征信息融合将成为必然趋势。

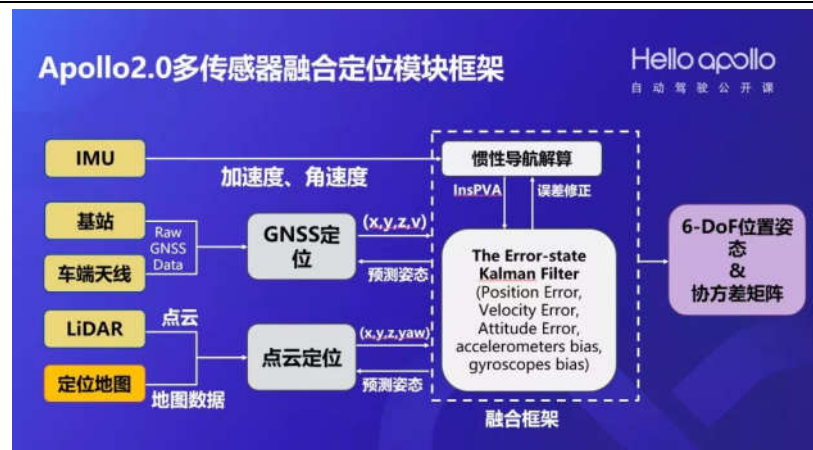
图表 32 一种组合导航和环境感知信息融合的架构示意图



资料来源：基业常青

以百度阿波罗的多传感器融合定位系统解决方案为例，惯性导航系统处于定位模块的中心位置，模块将 IMU、GNSS、Lidar 等定位信息进行融合，通过惯性导航系统解算修正后最终输出满足自动驾驶需求的 6 个自由度的高精度位置信息。

图表 33 百度阿波罗的惯性融合定位模块框架



资料来源：百度阿波罗，基业常青

### 3.2 惯导系统长期竞争力在芯片的设计及封装

汽车用的传感器对性能、体积、寿命要求非常高，决定了车用惯导传感器将采用 MEMS 技术。从长远看，惯性导航系统的竞争力在惯性传感器芯片设计和封装能力。随着自动驾驶技术级别的提升，对 MEMS 惯性传感器芯片的性能要求将持续提高；同时随着惯性导航系统算法的不断成熟，通过算法优

化来提升系统性能的空间越来越小，而对惯性传感器芯片硬件性能的依赖程度则会相应提高。汽车行业使用的 MEMS 传感器必须兼备高精度、长期稳定性和大批量生产的特性。MEMS 惯性传感器芯片的设计、制造、封测及标定将成为惯性导航系统中比较关键的环节。

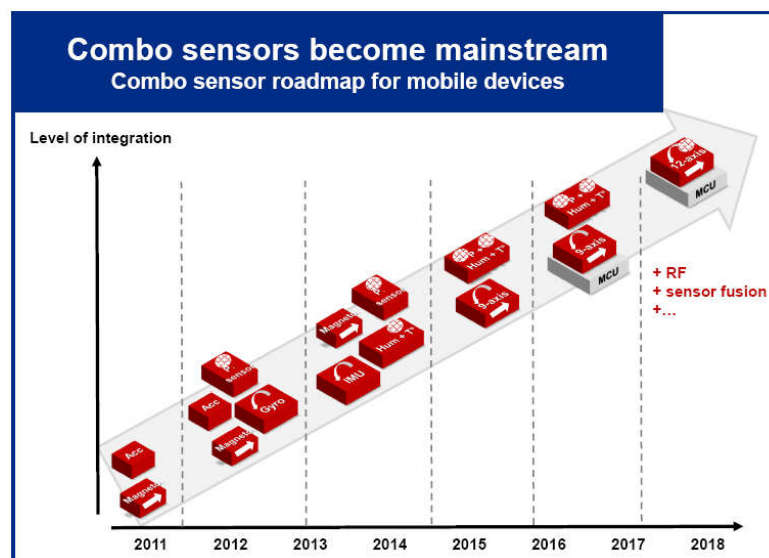
图表 34 自动驾驶对惯性传感器芯片的基本要求

指标需求	L2 级智能驾驶	L3 及以上级别自动驾驶
MEMS	10° /h	1-5° /h
陀螺不稳定性		
MEMS	10mg	2mg
加速度计精度		
组合定位精度	5m	10cm
惯导系统形式	惯性测量单元	惯性组合导航系统

资料来源：基业常青

同时对高性能、低功耗惯性器件及系统的需求，使得 MEMS 惯性器件朝着高精度、集成化、低成本、组合化和多功能化方向发展。2011 年，惯性传感器仅和磁传感器融合，发展到 2017 年，惯性传感器已经演变到 9 轴，并且能够实现与 MCU 的融合。这种出现在移动终端的 MEMS 惯性传感器高集成化的趋势，汽车 MEMS 惯性传感器也在经历这种过程。对 MEMS 惯性传感器芯片的设计提出了更高的要求，芯片的设计能力也成核心的竞争力。

图表 35 MEMS 惯性传感器融合程度不断提高



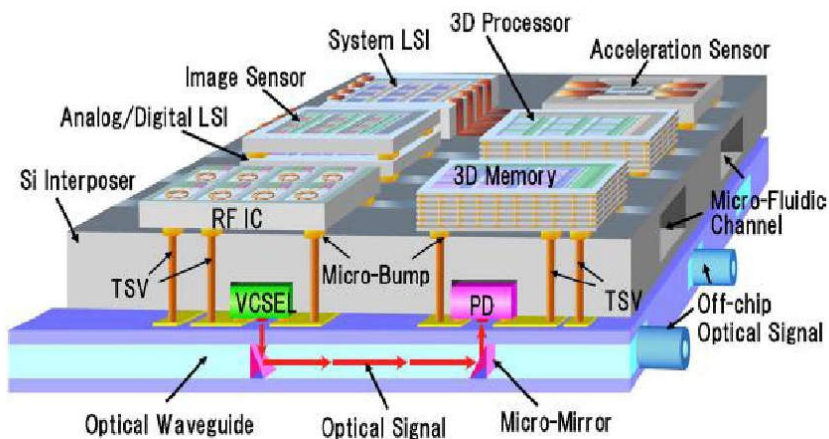
资料来源：南京理工大学，基业常青

MEMS 惯性传感器的封装技术是决定 MEMS 惯性器件的性能的重要因素。MEMS 陀螺仪的器件级真空封装的难点是如何降低封装应力、提高真空度以及高真空保持度。对于 MEMS 惯性传感器，其性能更是容易受封装的应力、真空度、气密性、隔离度等影响。例如气密性，MEMS 陀螺的可靠性和稳定性受气密性影响很大，必须在稳定的气密条件下次才能可靠长期地工作。



此外，MEMS 封装通常需要考虑电源分配、信号分配、散热通道、机械支撑和环境保护等内容。MEMS 惯性传感器集成化的趋势，也对封装技术提出了新的要求。MEMS 惯性芯片的封装技术已成为核心的技术。

图表 36 MEMS 器件的融合对 MEMS 的封装技术提出新的要求



资料来源：南京理工大学，基业常青

## 4 投资策略

定位系统是自动驾驶决策和执行的前提，实现高精定位是自动驾驶汽车路径规划的必要条件，是未来出行可能性的基础保障。而惯性导航系统由于具有的输出信息不间断、不受外界干扰的独特优势，同时可以将多传感器及车身信息进行更深层次的融合，为决策层提供精确可靠的连续的车辆位置，因而将成为定位信息融合的中心。

目前国内已有多家优秀初创企业在车用惯性导航系统领域发展较快：

- **深圳导远科技有限公司**：公司专业从事惯性导航和光电技术开发，是国内先进惯性及光电传感产品的供应商。目前已为主流主机厂多款车型定点配套供货。
- **上海戴世智能科技有限公司**：目前已与上汽有战略合作。核心团队有汽车行业背景。公司惯导产品算法融合了车辆动力学方程，产品已经应用在无人机系统、汽车自动驾驶测试领域。
- **北京义朗科技有限公司**：公司团队在军用惯导领域有深厚积累。目前已与京东无人车等进行合作。

我们建议关注已经在惯性导航系统算法有深厚积累，同时进入主机厂供应体系的相关公司。

#### 4.1 推荐重点关注企业：深圳导远科技有限公司

公司成立于 2014 年，拥有 IATF16949:2016 汽车行业质量体系认证和 ISO9001:2015 质量体系认证，国标委成员单位，是一家专注于提供 MEMS 惯性测量单元，组合导航，航姿及控制解决方案的技术型企业。公司产品用于定位及导航的使用场景，主要客户群体为整车主机厂、汽车 Tier 1 供应商、军工企业和自动驾驶解决方案公司。公司核心优势主要有四点：

- **拥有组合导航系统和高性能 IMU 惯组的设计和批产能力：**多年来同时参与军工和汽车项目研发，技术积累深厚。车规级组合导航总成级产品能实现厘米级动态定位精度和 2‰D 的短期航位推算精度，以及 0.1° 的动态姿态精度。产品在航空航天、船舶、卫星通信等专业市场上也有应用。

图表 37 导远科技车载组合导航总成和路测效果



资料来源：导远科技，基业常青

- **团队技术背景雄厚，能力圈互补性强：**导远团队核心成员拥有 12 年的组合导航及超过 20 年的 MEMS 研发经验，行业理解深刻，能为公司发展提供较强技术支撑。除了技术方面人才，公司还拥有工作经验和行业积累丰富的销售和运营人才。团队背景雄厚，在行业中有较深积累，能力圈互补性强。
- **技术实力领先，对视觉-卫惯组合进行前瞻布局：**公司的融合算法能够实现空间环境的图像特征点和地理位置的关系进行辨识、预测和匹配，实现动态高精度地图快速构建以及动态目标的识别和跟踪。通过高精度定位和机器视觉融合实现轻量级 SLAM（同步定位和地图构建），并进一步实现载体的实时路线规划。主要应用场景是：场地无人车，场地高精度地图低成本构建，无人机目标跟踪和动态着陆。
- **渠道扩展能力强，先发优势明显：**相比同行尚未进入汽车厂商供应体系，导远科技的组合导航产品已经为主流主机厂多款車型定点配套供货，技术和质量得到了主机厂的认可。导远科技的产品将于 2019 年开始进入放量阶段。通过所配套的 L2.5 和 L3 智驾车型上市带来的品牌效应和宣传效果，导远电子可以更容易开拓新客户市场，占据更大的市场份额，获得值得期待的发展前景。



## 5 风险提示

(1) **政策调整风险**：汽车行业受政策影响较大，宏观和行业政策决定行业发展大方向。智能汽车及自动驾驶的相关政策直接影响技术路线和盈利水平，若出现预期之外的政策调整将对现有市场形成较大冲击。

(2) **自动驾驶市场化不及预期的风险**：自动驾驶处于快速发展阶段，但依然存在技术落地进度较慢、市场化不及预期、市场接受度不达预期的风险。



## 投资评级

类别	级别	定义
公司 投资 评级	推荐	企业未来发展前景看好，具有较高的投资价值和安全边际
	谨慎推荐	企业未来发展有一定的不确定性，但仍具正向的投资价值
	中性	企业未来发展不确定性较大，投资价值尚不明朗
	回避	企业未来发展形势严峻，不建议投资
	(不评级)	企业的相关信息资料较少，不足以给出评价
行业 投资 评级	推荐	预计下一个完整会计年度，行业规模增速为 20%以上
	谨慎推荐	预计下一个完整会计年度，行业规模增速为 5%—20%之间
	中性	预计下一个完整会计年度，行业规模变动幅度介于±5%之间
	回避	预计下一个完整会计年度，行业规模降速为 5%以上
	(不评级)	行业的相关数据不可得，或无法可靠预测

## 免责条款

本报告信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述企业的投资决策。我公司及其雇员对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。我公司或关联机构可能会持有报告中所提到的企业的权益并进行交易，还可能为这些企业提供或争取提供投资银行业务服务。本报告版权归基业常青经济研究院所有，未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、刊登。

## 基业常青经济研究院

基业常青经济研究院携国内最强大的一级市场研究团队，专注一级市场产业研究，坚持“深耕产业研究，助力资本增值，让股权投资信息不对称成为历史”的经营理念，帮助资金寻找优质项目，帮助优质项目对接资金，助力上市公司做强做大，帮助地方政府产业升级，为股权投资机构发掘投资机会，致力于开创中国一级市场研究、投资和融资的新格局！