

## 进阶课程 ⑬ | Apollo无人车自定位技术入门

定位系统可以与高精地图配合提供静态场景感知，可将感知得到的动态物体正确放入静态场景，而位置和姿态用于路径规划和车辆控制。因此**定位系统对于无人驾驶至关重要**。

而要获得**精确的定位，也面临诸多挑战**。譬如：定位需要非常高精度和高鲁棒性；GPS信号遇到阻隔会引起信号丢失；在复杂的城市环境中，由于建筑物和植物的存在，引起多径效应导致定位不准；由于天气情况，或者人为修缮，会导致定位精度不高。

以下，ENJOY



# 什么是无人车自定位系统

apollo 开发者社区

1

## 什么是无人车自定位系统

相对某一个坐标系，确定无人车的位置和姿态。

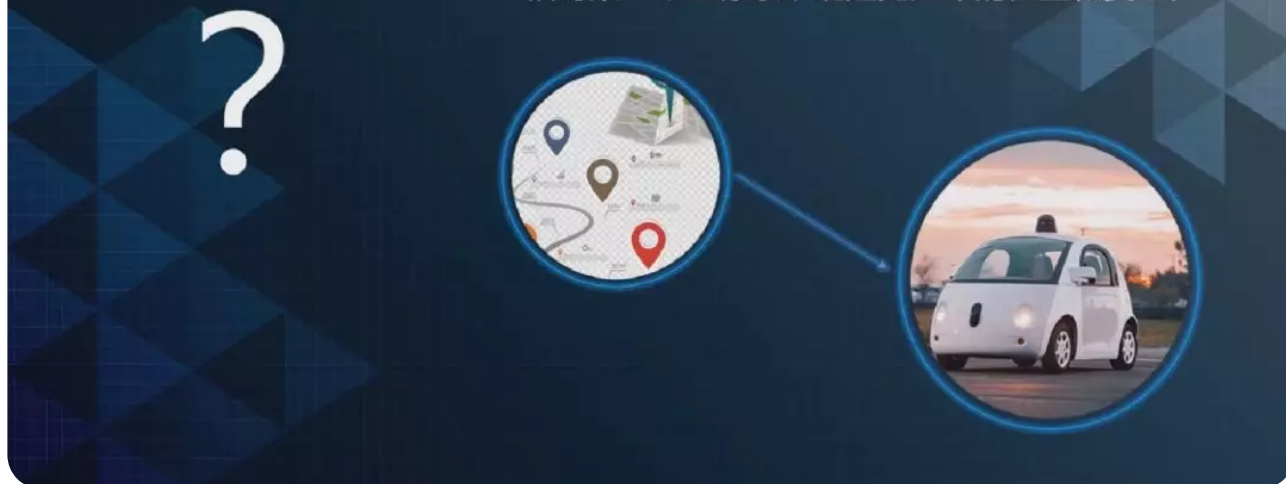


图1.相对一个坐标系来确定无人车的位置和姿态

**无人车的自动定位系统**，简单来说，就是相对一个坐标系，无人车的自定位系统知道汽车的位置和姿态。

这个坐标系可以是一个局部的坐标系，比如一个园区.采集这个园区的一些地图，随便定一个原点，这个局部坐标系已经建好，相对于这个坐标系来得到车辆的位置和姿态。

坐标系也可以是一个全局的坐标系，比如全球坐标系，可以知道一个很精确的位置。

什么是**位置**和**姿态**？位置和姿态分别有三个**自由度**。

位置对应 $X, Y, Z$ ，即相当于某个坐标系，汽车的平移是多少。

姿态是三个方向的一个旋转，一般会用**欧拉角**来表示。包括**横滚、俯仰和航向**，分别相对于 **$X, Y, Z$ 三个坐标轴**。

如果本地坐标系已经定义好，现在有一个车上的坐标系，它相对于本地坐标系的变化（即姿态的变化），就可用三个角度来表示，也就是本地坐标系的三个轴和相对坐标系的这三个轴之间的夹角。

1

## 什么是无人车自定位系统

相对某一个坐标系，确定无人车的位置和姿态

项目	内容	自由度
位置	X、Y、Z	3
姿态	Yaw、Pitch、Roll	3
速度	$v_x$ 、 $v_y$ 、 $v_z$	3
加速度	$a_x$ 、 $a_y$ 、 $a_z$	3
角速度	$\omega_x$ 、 $\omega_y$ 、 $\omega_z$	3

图2、自定位系统需要的基础信息

除了位置和姿态这两个维度，自定位系统还要输出很多信息。除去速度、加速度和角速度外，自定位系统还需要对位置和姿态加上一个**置信度**，表示这次输出的定位结果好不好。

1

## 什么是无人车自定位系统

自动驾驶汽车定位系统指标要求

项目	指标	理想值
精度	误差均值	<10cm
鲁棒性	最大误差	<30cm
场景	覆盖场景	全天候

图3.自动驾驶汽车的定位系统指标要求

对于自动驾驶汽车，**定位的指标**要求大概分为三个部分：

- 精度
- 鲁棒性
- 场景

**定位精度**必须控制在10厘米以内，才能使行驶中的自动驾驶车辆避免出现碰撞/车道偏离的情况。

**鲁棒性**一般情况下用最大值来衡量。也就是最大的误差不要超过30厘米。但是在有些时候，纵向误差稍微大一点点，只要没有偏离车道就没有太大影响。

超过30厘米的误差对前后距离的控制会有很大风险。

对于定位模块而言，需要覆盖很多的**场景**。例如：

白天、黑夜，不同的照明条件，定位的效果是否有区别？

春夏秋冬有落叶、雨雪天气等很多种极端情况，定位清晰度是否受到干扰？

城市场景下，遇到楼宇、林荫道、隧道、地下车库等对GPS信号有不同程度的遮挡，是否还能精准定位？

很多种这样的场景，对应模块是否能够完全地在这些场景当中工作，至关重要。因为L4和L5自动驾驶需要自定位系统在各种场景下面都能够工作。

## 为什么无人车需要精确的定位系统

apollo 开发者社区

2

## 为什么无人车需要精确的定位系统？



图4.无人车需要精准的定位系统

无人车需要**精准的定位系统**。否则，它无法获悉自己在什么地方，前方是什么情况，哪里是行驶区等。

感知和决策本身的能力并没有达到像人类这样聪明的程度，所以需要定位和地图。

定位模块还有一些其他的用处，比如速度，在开车的时候，人就看到前面有限速之类的路标，这时候我们马上就会慢一点。或者有最低限速，我们需要快一点。

对于车来讲，**速度信息来源于定位模块**。定位模块告诉车辆现在的速度是多少。

定位模块告知前面可能要开慢一点。**控制模块接收到指令之后会控制车辆慢一点。**

此外，定位模块还输出加速度和角速度，加速度和角速度是相对于车体本身的，告知车辆当时瞬时的加速度和角速度，对人的乘坐体验非常重要。控制模块根据这些信息做一些控制上的优化，让人的体感更好。

定位的方法大体上可以分为三个部分

- 基于电子信号的定位
- 航迹的推算

- 环境特征的匹配

**基于电子信号的定位**方法中最有特点的就是**GNSS（全球导航卫星系统）**。它的作用机制是通过一组卫星的伪距、星历、卫星发射时间等观测量，以及用户钟差，得知你现在大概的位置。

**航迹推算**最有特点的就是**IMU**。**航迹推算**就是根据上一时刻“我”的“位置”和“姿态”，叠加一些测量信息可以知道现在的“位置”和“姿态”。

IMU是一个惯性测量单元。它包含了加速度计和陀螺仪。加速度计会输出加速度的信息。但是不止加速度，它还包含重力加速度。陀螺仪是一个旋转，即是前面所讲到三个轴上的一个旋转。

**环境特征匹配**相对较多，比如LiDAR的匹配。在建好了点云定位的地图，将LiDAR的数据和已建好的地图做匹配，以此来计算自己的位置。或者通过摄像头，知道了一些车道线，红绿灯的标志，然后确定自身的位置。

GPS手机定位的精度非常低。大概都是五到十米，好一点的话三四米。但是对于车辆定位，这远远不够。

因此现在有一些差分的技术，即卫星的实时动态差分技术可以弥补这些方面的缺憾。

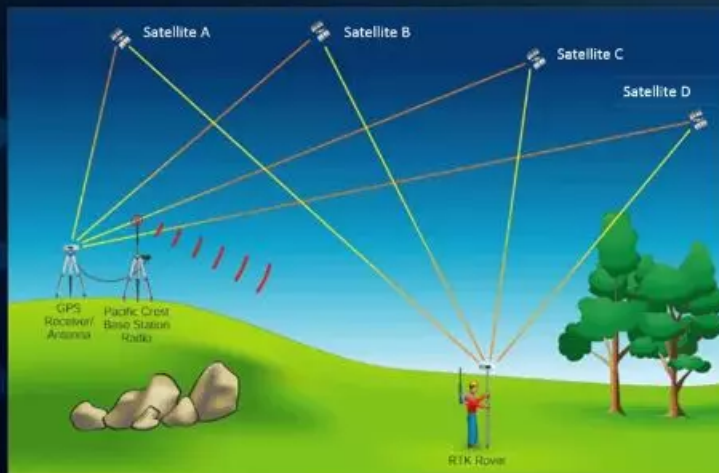
差分技术分为物理差分 and 距离差分两种。距离差分又分为伪距差分 and 载波相位差分。

**伪距差分**的精度不会特别的高，大概在米级的这么一个量级，还不能满足要求。因此发展出实时动态的载波相位差分。

**载波相位差分**最主要的是要估计一个载波相位的一个整周，定位精确基本上是在厘米级（小于5厘米）。



## 为什么无人车需要精确的定位系统？



### 优点

- ❖ 全球、全天候、全天时
- ❖ 高精度

### 缺点

- ❖ 基站布设成本高：硬件+人力
- ❖ 强依赖可视卫星数
- ❖ 易受电磁环境干扰等
- ❖ GNSS信号遮挡引起多径效应

图5.载波相位差分定位的优缺点

但是**载波相位差分**有一些**缺点**。

它需要硬件成本。比如基站的设置，人力的维护。

它还需要对可视卫星的依赖。即在这个场景下面能看到的卫星是必须比较多的，否则就差分不出误差。

另外，该方法也容易受到一些电磁环境的干扰。电磁环境不好会干扰精准度。

最后，如果在一下市中心楼宇比较多的地方，会引起一些多径效应，多次传播，计算出来距离的误差会很大。

在环境特征匹配里面，我们将选择激光定位和视觉定位进行讲解。

## 激光定位

2

## 激光定位



图6.2D概率地图

**激光定位**是预先制作一个地图，不管是3D的Voxel地图或者是点云地图，又或者是2D的概率地图。

**2D概率地图**是把所有的这个点云数据铺到一块，压成了一个2D地图。2D地图分成很多小格子，每个格子里面存储了颜色信息，位置。位置上面可能只存Z的这个维度，因为2D地图有XY。

另外，还包括一些**概率**，概率和点云的数量以及分布相关。拿实时的激光点云和这个地图去做匹配。

举例而言，如图6左下角所示的搜索方式，选择了一个XY化的矩形或者正方形，在每个小格子里面去匹配。这个范围大概是几米乘几米。

每个里面会算一个匹配的概率，匹配可能会用实时点云里面的颜色值或者高度值的分部和2D地图去匹配，最后会得到一个概率图。根据该概率图，用加权平均会得到XY的位置。

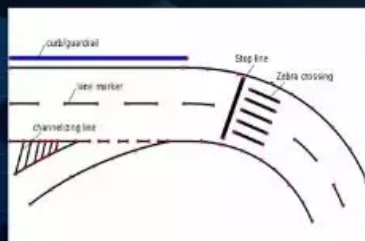
这就是一个激光定位的例子。

## 视觉定位



2

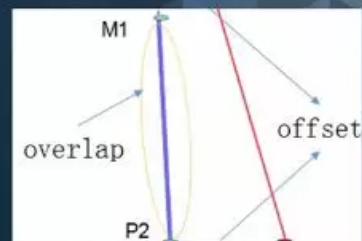
## 视觉定位



视觉车道线地图



在线车道线检测



车道线匹配定位

图7.视觉定位

对于**视觉定位**，如果照明环境变化越大，例如这次跑过去的光照度和下次跑过去的光照度不一样，视觉所受到的影响就越大。

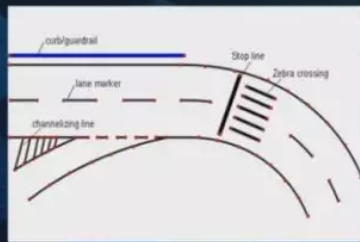
所以基于这种特征点的定位，比如SLAM里面用Relocalization并不是很适用于车的视觉定位。

为什么？因为下次可能检测不到那些特征，比如**SIFT特征或者别的特征就会造成定位的失败。**

但是有一些特征具有明显Semantic意义，比如车道线或者旁边立的这些柱子，红绿灯的柱子或者红绿灯本身或者一些Traffic Sign之类的，对于定位而言非常有用。

2

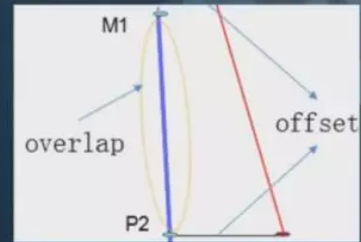
## 视觉定位



视觉车道线地图



在线车道线检测



车道线匹配定位

图8.车道线检测

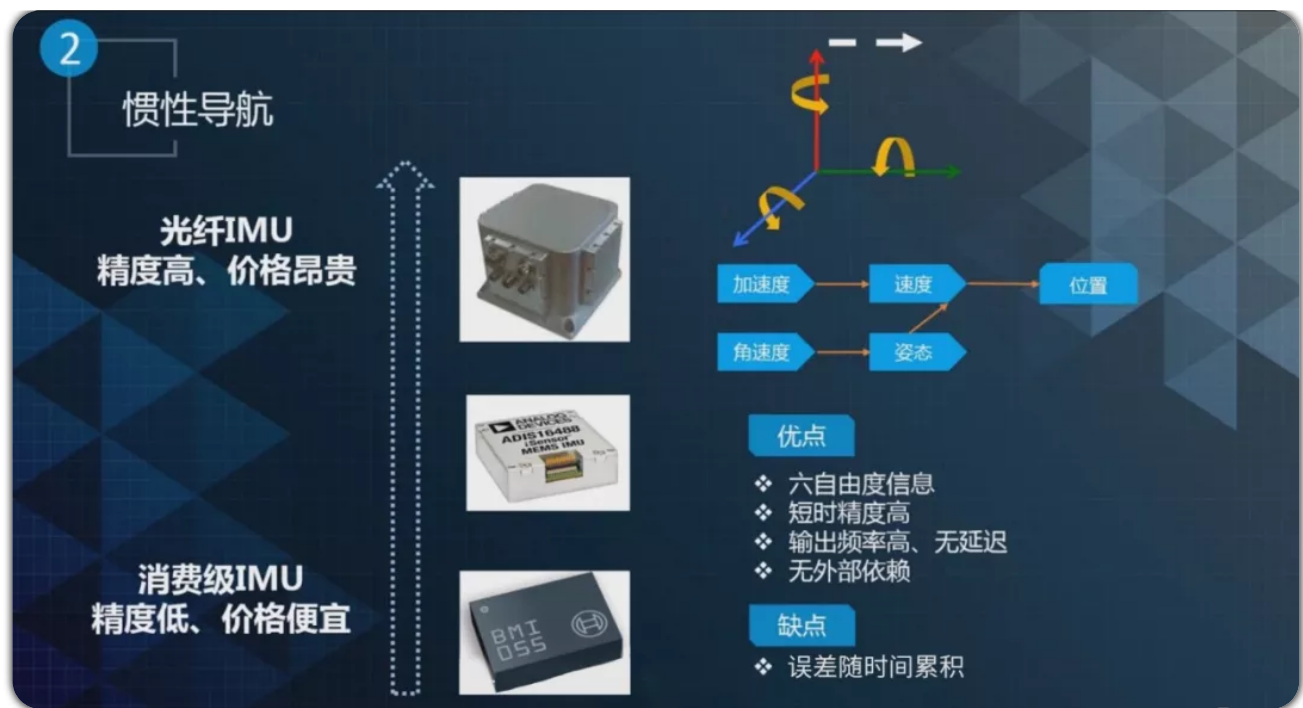
需要先做好这种高精度地图，它里面包含车道线的信息，然后把每个线段两个端点拿出来。

在第二幅图里面可以看到，在线去跑的时候，车上这个摄像头会用深度学习的方式检查出这些车道线。

车道线也是一段一段的，然后我们会去做匹配。匹配的方法有很多种。

这里介绍一种方法，两个线段怎么去匹配？简单地给一个Metric的方式，一个线段到另一个线段的投影的重合度怎么样？或者两个端点到你的距离大小怎么样？用这两个匹配的方式来度量匹配到底好不好。

## 惯性导航



惯性导航是基于IMU的，里面包含有**加速度计**和**陀螺仪**。

加速度计会提供瞬时的加速度，陀螺仪提供瞬时角速度。加速度计提供的不仅是加速度，还测量了重力加速度，所以用的时候需要先把重力加速度剔除掉。

IMU的价格分布非常的广，从手机上用到的几十块钱到几千万的，例如航海级别的。中间价格的分布很多，几千、几万和几十万的型号都有。

**无人车现在使用的比较多的型号定价在一二十万**。我们现在也在尝试一些万元左右的设备，这种设备都属于MEMS消费级。

图9给出IMU的工作过程。首先是角速度通过积分后得到一个姿态，并把它应用到加速度上，对加速度积分得到速度，再得到最后的位置。

优点是可以得到一个六自由度的信息，不光是XYZ yaw之类，还有Roll和Pitch，是一个全量的信息。另外，它的短时精度非常高，比如十来万级别的设备，坚持五六百毫秒是没有问题的，它是很准的，包括在大机动的时候。

IMU的出频率非常的高，基本上都是200赫兹以上，这样有助于同步。因为它有精准的时间戳，它检测的数据传输过来之后可以精准知道它的时间戳，有精准的时间戳就可以给出精准的位姿，

即它在全局坐标系下有自己的位置。

可以把它投到3D坐标系下，大家融合成一块。

IMU是一个很独立的一个设备，没有外部依赖，使用自己的输入就可以。但是缺点也很明显，例如十几万的设备也就坚持几百毫秒，对于自动驾驶汽车是远远不够的。

前面介绍了GNSS定位、激光定位、视觉定位还有惯性导航，这四种定位方式都有各自的特点。如果把它们放到一块就可以做到一个很好的系统——**多传感器融合定位**。

## 多传感器融合定位

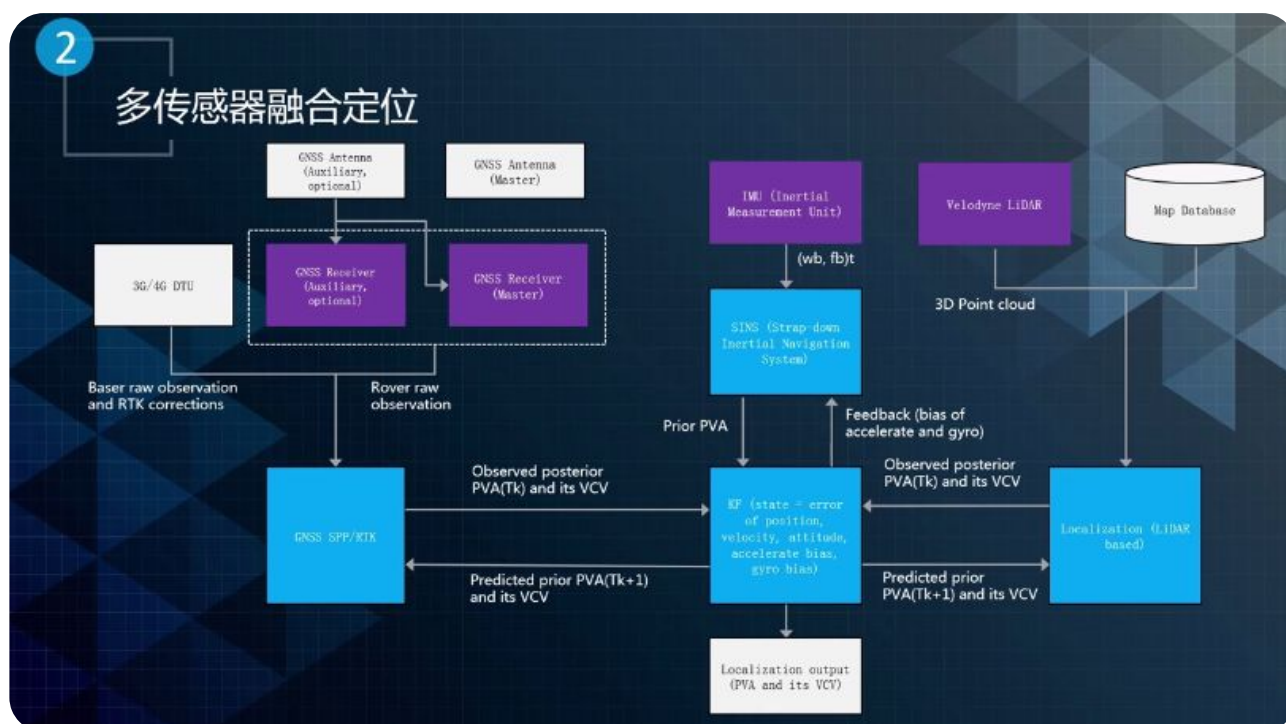


图10.多传感器融合定位

多传感器融合定位的核心是中间的**卡尔曼滤波器**，这是一个状态误差的卡尔曼滤波器。

该滤波器接收惯性导航输出的递推，作为它的时间更新，保证滤波器往前走和高频的输出。还接受GPS、激光点云定位，或者是视觉定位的输出去做低频的状态更新。

