

## 第一课 机器人传感器的认识

### 1. 初步认识 SLAM 机器人

在引出机器人之前，我们需要先了解一下 Slam 框架。那么 slam 是什么呢？SLAM 是同步定位与地图构建(Simultaneous Localization And Mapping)的缩写，主要用于解决移动机器人在未知环境中运行时定位导航与地图构建的问题。SLAM 既可以用于 2D 运动领域，也可以应用于 3D 运动领域。这里，我们将仅讨论 2D 领域内的运动。在学习 SLAM 的过程中，机器人平台是很重要的，其中，机器人平台需要可以移动并且至少包含一个测距单元和里程反馈单元。

在选择机器人平台时需要考虑的主要因素包括易用性，首先，我们所使用的 HiBot 机器人平台几乎包含所有 Slam 框架的实验配置。其次，HiBot 具有高精度的定位性能，定位性能主要衡量机器人仅根据自身的运动对自身位置进行估计的能力。机器人的定位精度非常高。我们也可以采用相应的算法对其定位性能优化提升。

本节课程我们仅仅对 HiBot 所携带的传感器做深度认识，因为认识传感器才能对 slam 框架有深度的领会。也是本次课程的授课目的。

### 2. HiBot 硬件系统了解

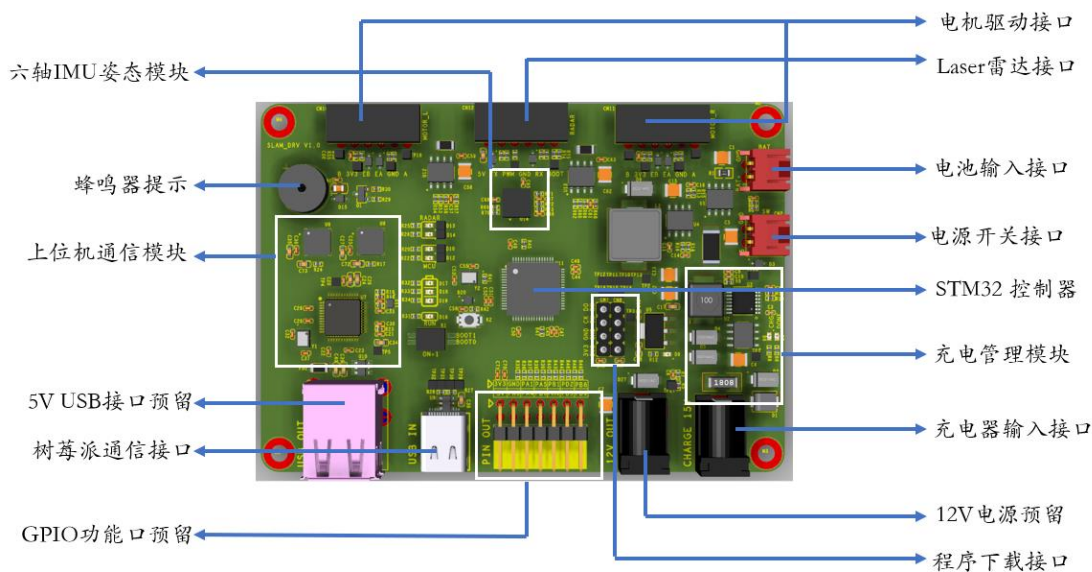


图 2-1.0 HiBot 底盘驱动板

以上图示明确表示了机器人底盘驱动电路中的每一个功能模块，下面我们提取重要的传感器模块做详细的介绍。

### 3. 测距传感器介绍

目前比较常见的测距单元包括激光测距、超声波测距、图像测距。其中，激光测距是最为常用的方式。通常激光测距单元比较精确、高效并且其输出不需要太多的处理。其缺点在于价格一般比较昂贵，但好在目前已经有一些价格比较便宜的激光测距单元。激光测距单元的另外一个问题是其穿过玻璃平面的问题。另外激光测距单元不能够应用于水下测量。

另外一个常用的测距方式是超声波测距。超声波测距以及声波测距等以及在过去得到十分广泛的应用。相对于激光测距单元，其价格比较便宜但其测量精度较低。激光测距单元的发射角最小仅  $0.25^\circ$ ，因而，激光基本上可以看作直线；相对而言，超声波的发射角达到了  $30^\circ$ ，因而，其测量精度较差。但在水下，由于其穿透力较强，是最为常用的测距方式。

第三种常用的测距方式是通过视觉进行测距。传统上来说，通过视觉进行测距需要大量的计算，并且测量结果容易随着光线变化而发生变化。如果机器人运行在光线较暗的房间内，那么视觉测距方法基本无法使用。但最近几年，已经存在一些解决上述问题的方法。一般而言，视觉测距一般使用双目视觉或者三目视觉方法进行测距，并且目前有很多主流的深度多目相机可以使用。使用视觉方法进行测距，机器人可以更好的像人类一样进行思考。另外，通过视觉方法可以获得相对于激光测距和超声波测距更多的信息。但更过的信息也就意味着更高的处理代价，但随着算法的进步和计算能力的提高，上述信息处理的问题正在慢慢得到解决。

这里，我们使用激光测距方法进行距离测量。其可以很容易实现较高的测量精度并且很容易应用于 SLAM 中。本次我们采用的 laser 测距范围 12cm-350cm，测距分辨率  $1^\circ$ ，测距精度 2cm，虽然这款雷达的配置相对较低，但对于室内 Slam 方案的实验已经足够。下图表示了雷达详细配置和外观图片。

製品の詳細スペック		官方参数表	Laser Distance Sensor
Items	Specification		
Supply Voltage	5VDC $\pm$ 5%		
Power consumption	less than 700mA (5V : less than 550mA, 3.3V : less than 150mA)		
Measuring distance	120 ~ 3,500mm (white paper, Lambertian reflectance $\geq 80\%$ )	新产品规格还是比较高的 测距最近12cm最远35m 精度高	
Distance accuracy	120 ~ 499mm : $\pm 15$ mm 500 ~ 3,500mm : $\pm 5\%$		
Distance precision	120 ~ 499mm : $\pm 10$ mm 500 ~ 3,500mm : $\pm 3.5\%$		
Angular resolution	Step angle : approx. $1^\circ$ (360 $^\circ$ /360steps)	角度精度 $1^\circ$ /步	
Safety	Laser safety class 1 (IEC60825-1)		
Scan speed	300 $\pm$ 10rpm	扫描速度	
Interface	3.3V UART (230,400 bps) 42 bytes per 6 degrees measure distance & angle, rotate speed	通讯调试接口参数	
Weight	about 125g		

图 3-1.0 激光雷达配置和外观

### 3.1 三角测距原理和 TOF 测距原理

激光位移传感器的测量方法称为激光三角反射法，激光测距仪的精度是一定的，同样的测距仪测 10 米与 100 米的精度是一样的。而激光三角反射法测量精度是跟量程相关的，量程越大，精度越低。激光测距的另一种原理是激光三角反射法原理：半导体激光器 1 被镜片 2 聚焦到被测物体 6。反射光被镜片 3 收集，投射到 CCD 阵列 4 上；信号处理器 5 通过三角函数计算阵列 4 上的光点位置得到距物体的距离和相对零度的角度。如图 3-1-0

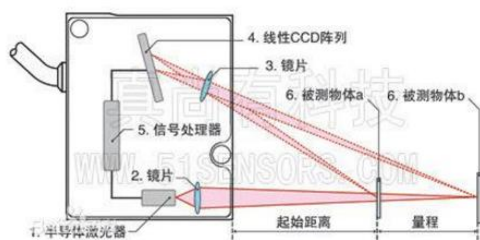


图 3-1-0 三角测距原理示意

TOF 测距原理是基于光飞行时间的测距原理。飞行时间（TOF）测距原理如图 3-1-1，激光器发出激光时，计时器开始计时，接收器接收到反射回来的激光时，计时器停止计时，得到激光传播的时间后，通过光速一定这个条件，很容易计算出激光器到障碍物的距离。由于光速传播太快了，要获取精确的传播时间太难了。所以这种激光雷达自然而然成本也会高很多，但是测距精度很高。



图 3-1-1 TOF 测距原理示意

测距频率是指每秒钟测距的次数（即激光测距模组的采样率）；**扫描频率**是指电机每秒钟转过的圈数；**测距范围**是指落在此距离范围的障碍物才能被测量，测距范围为 12cm-350cm；**扫描角度**为 0~360 度，也就是能够 360 度全方位扫描；**测距分辨率**就是测距精度；**角度分辨率**就是两个相邻扫描点之间的夹角。

### 3.2 扫描频率

扫描频率越高，电机转动一圈的时间约短，扫描获取 1 帧雷达数据的时间越短，这样可以使 SLAM 建图和避障导航实时性更好。简单点说就是机器人运动速度很快时，扫描到的点云数据连续性也比较好，这有利于 SLAM 算法建立稳定的地图，有利于避障导航算法及时发现并避开障碍物。

### 3.3 测距范围

小于测距范围最小值的区域就是雷达的测量盲区，处于盲区中的障碍物无法被探测，所以，盲区当然是越小越好以保证机器人不发生碰撞；大于测距范围最大值的区域就是雷达超量程的区域，在超量程的区域的障碍物无法被探测或者可以探测但误差很大，所以，在比较开阔的环境下应该采用远距离量程的雷达。

### 3.4 扫描角度

大部分雷达都是 0-360 度全方位扫描的，所以就没什么太大的区别了，其实就是机器人不用转动身体的情况下就能一次性扫描出四周的障碍物信息。扫描角度越大，意味着机器人的雷达在扫描周期内得到周边的障碍物信息越完善。越有利于机器人对当前环境的认识和对下一刻运动的决策。

### 3.5 测距分辨率

测距分辨率也就是测距精度，测距精度越高当然有利于 SLAM 建图和避障导航，但是测距精度越高的雷达成本当然也越高，现在国产低成本的雷达普遍为厘米级（cm）的精

度，差一点的雷达 5cm 左右的精度，稍微好一点的雷达 2cm 左右的精度，如果要达到毫米级（mm）的精度成本就非常高了。当然，越高精度的雷达对机器人基于雷达的室内定位越精确。

### 3.6 角度分辨率

角度分辨率决定了两个相邻点云（雷达的两个相邻测距点）之间的夹角，由于雷达是通过旋转进行扫描的，随着距离增加点云会越来越稀疏。如果角度分辨率比较低，在扫描远距离物理时只能得到非常稀疏的几个点云，这样的点云基本上没有什么用处了。

$$\text{角度分辨率} = 360 / (\text{测距频率} / \text{扫描频率})$$

从上面的角度分辨率计算公式来看，一般测距频率为常数值（由激光模组特性决定），那么通过降低扫描频率可以提升角度分辨率，但同时扫描频率降低会影响雷达的实时性，所以这是一个权衡的过程，根据实际情况做选择。

## 4. 运动模组介绍

### 4.1 直流电机

由于 HiBot 配备的是直流有刷电机，所以我们只针对有刷直流电机做介绍，有刷直流电机是直流电机的一种，有刷电机的定子上安装有固定的主磁极和电刷，转子上安装有电枢绕组和换向器。直流电源的电通过电刷和换向器进入电枢绕组，产生电枢电流，电枢电流产生的磁场与主磁场相互作用产生电磁转矩，使电机旋转带动负载。由于电刷和换向器的存在，有刷电机的结构比较复杂，使用寿命相对较低。

在使用时需要配备电机驱动器，驱动器主要对电机的电流速度做高精度的控制，在成熟的运动控制领域当中，要想直流有刷电机安全稳定运行，必须要对电机做电流、速度做 PID 双闭环控制。相应的内容我们会在后面的课程中做详细的介绍。

### 4.1 编码器

编码器（encoder）是将信号（如比特流）或数据进行编制、转换为可用以通讯、传输和存储的信号形式的设备。编码器把角位移或直线位移转换成电信号，前者称为码盘，后者称为码尺。按照读出方式编码器可以分为接触式和非接触式两种；按照工作原理编码器可分为增量式和绝对式两类。增量式编码器是将位移转换成周期性的电信号，再把这个电信号转变成计数脉冲，用脉冲的个数表示位移的大小。绝对式编码器的每一个位置对应一个确定的数字码，因此它的示值只与测量的起始和终止位置有关，而与测量的中间过程无关。

在 HiBot 中我们使用的是增量式编码器，对于机器人从开始运动时刻累计里程，累计的里程我们可以转化统一的单位，如 m/s、rad/s 等单位使用。增量型就是每转过单位的角度就发出一个脉冲信号（也有发正余弦信号，然后对其进行细分，斩波出频率更高的脉冲），通常为 A 相、B 相、Z 相输出，A 相、B 相为相互延迟 1/4 周期的脉冲输出，根据延迟关系可以区别正反转，而且通过取 A 相、B 相的上升和下降沿可以进行 2 或 4 倍频；Z 相为单圈脉冲，即每圈发出一个脉冲。

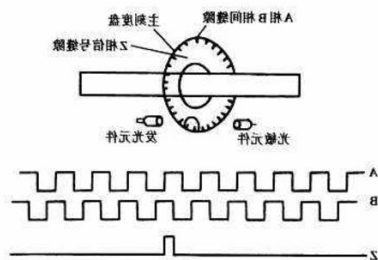


图 4-1-0 编码器工作原理示意

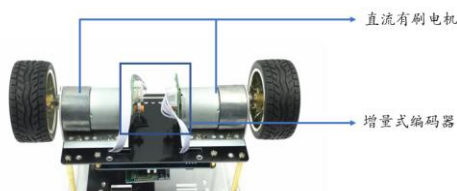


图 4-1-1 HiBot 电机和编码器模组



## 5. IMU 姿态传感器

惯性测量单元 (IMU) 是测量物体三轴姿态角 (或角速率) 以及加速度的装置。一般的, 一个 IMU 包含了三个单轴的加速度计和三个单轴的陀螺仪, 加速度计检测物体在载体坐标系独立三轴的重力加速度信号, 而陀螺仪检测载体相对于导航坐标系的角速度信号, 测量物体在三维空间中的角速度和加速度, 并以此解算出物体的姿态。在 slam 导航系统中有着很重要的应用价值。

利用三轴地磁结合三轴加速度计, 受外力加速度影响很大, 在运动/振动等环境中, 输出方向角误差较大, 此外地磁传感器有缺点, 它的绝对参照物是地磁场的磁力线, 地磁的特点是使用范围大, 但强度较低, 约零点几高斯, 非常容易受到其它磁体的干扰, 如果融合了 Z 轴陀螺仪的瞬时角度, 就可以使系统数据更加稳定。加速度测量的是重力方向, 在无外力加速度的情况下, 能准确输出 ROLL (翻滚角) /PITCH (俯仰角) 两轴姿态角度 并且此角度不会有累积误差, 在更长的时间尺度内都是准确的。但是加速度传感器测角度的缺点是加速度传感器实际上是用 MEMS 技术检测惯性力造成的微小形变, 而惯性力与重力本质是一样的, 所以加速度计就不会区分重力加速度与外力加速度, 当系统在三维空间做变速运动时, 它的输出就开始产生误差

陀螺仪输出角速度, 是瞬时量, 角速度在姿态平衡上是不能直接使用, 需要角速度与时间积分计算角度, 得到的角度变化量与初始角度相加, 就得到目标角度, 其中积分时间  $Dt$  越小, 输出角度越精确, 但陀螺仪的原理决定了它的测量基准是自身, 并没有系统外的绝对参照物, 加上  $Dt$  是不可能无限小, 所以积分的累积误差会随着时间流逝迅速增加, 最终导致输出角度与实际不符, 所以陀螺仪只能工作在相对较短的时间尺度内。所以对于加速度计和陀螺仪的动静态的不同, 我们可以使用扩展卡尔曼利用不同的权值矩阵协方差进行姿态融合, 后面的课程会有相关融合的介绍。

在 HiBot 上我们所采用的是 MPU6050, 芯片内部包含三个单轴的加速度计和三个单轴的陀螺仪, 对于原始的加速度和角速度可以通过 IIC 总线读取, 然后使用 AHRS 算法对系统的姿态进行融合, 可以得到比较高精度的姿态数据。

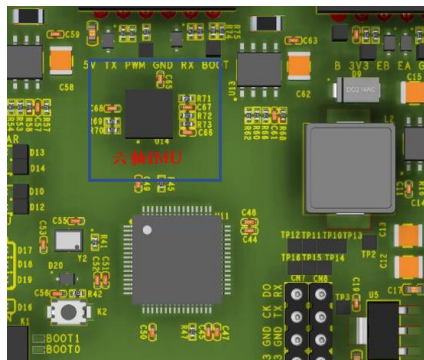


图 5-1-0 IMU 模组介绍

## 6. 课程总结

通过本节课程, 我们可以对 HiBot 的硬件和传感器模组有初步的认识, 同时对于 Slam 框架也有了新的认识。在后续课程中, 我们会对 slam 的每一个细节做详细的梳理和学习。