

数据采集和处理部分

采集平台



采集平台为一个搭载了各类传感器的四轮差速轮式机器人。其中底盘为松灵 Agilex Scout 2.0 四轮差速底盘，激光雷达为 OUSTER64 线激光雷达，内置 IMU，定位采用 P3-DU 北斗高精度定位测向接收机，相机为 RealSense d435，我们只取了 RGB 三个维度，上位机为英特尔 NUC i7-1165G7。

数据采集

数据的采集和处理我们采用在线记录数据，离线处理数据的方式。借助 ROS 平台，使用相应的驱动和 ROS 节点实现各个组件数据的读取和通信，利用 rosbag 记录对应的所有数据，离线处理的代码理论上兼备在线处理功能，可以通过订阅相应的 topic，在回调函数中实现数据同步、预处理和保存，但由于数据体积大、频率高，即使把二次生成数据部分全部分离，在实时的读取和保存过程中，还会出现数据丢失现象，故最后采用离线处理的方式。

数据预处理

数据整体上是格式上的处理，定位数据的处理比较繁琐。GPS 数据由于其为全局视角、没有漂移，用于生成里程计信息，即全局的位置和角度数据，这在实际的使用过程中有较大的噪声，对此我们记录 IMU 数据，利用 IMU 的高动态、高精度来弥补 GPS 中的噪声，同时利用 GPS 的全局性来弥补 IMU 的漂移。

我们使用 EKF 对两个数据进行融合，设状态量 $X = [x, y, \psi, v]$ ，分别表示机器人位置、机器人全局朝向、机器人线速度。控制量 $U = [\omega_z, a_x]$ ，分别表示 z 轴转速和 x 轴加速度。我们设定状态转移方程如下：

$$X' = \begin{bmatrix} x + \frac{v}{\omega}(-\sin(\psi) + \sin(\psi + \omega_z \delta_t)) \\ y + \frac{v}{\omega}(\cos(\psi) - \cos(\psi + \omega_z \delta_t)) \\ \psi + \omega_z \delta_t \\ v + a_z \delta_t \end{bmatrix}$$

观测方程为：

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} X$$

对于算法内部，计算状态雅克比矩阵如下：

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{v}{w_z} \cos(\psi) + \frac{v}{w_z} \cos(\psi + \omega_z \delta_t) & -\frac{\sin(\psi)}{w_z} + \frac{\sin(\psi + \omega_z \delta_t)}{w_z} \\ 0 & 1 & -\frac{v}{w_z} \sin(\psi) + \frac{v}{w_z} \sin(\psi + \omega_z \delta_t) & \frac{\cos(\psi)}{w_z} - \frac{\cos(\psi + \omega_z \delta_t)}{w_z} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中角速度为零时，取极限为：

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -v \cdot \sin(\psi) \delta_t & \cos(\psi) \delta_t \\ 0 & 1 & v \cdot \cos(\psi) \delta_t & \sin(\psi) \delta_t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

运动过程雅克比如下：

$$V = \begin{bmatrix} \frac{v}{w^2}(\sin(\psi) - \sin(\psi + \omega_z \delta_t)) + \frac{v}{w} \cos(\psi + \omega_z \delta_t) \delta_t & 0 \\ -\frac{v}{w^2}(\cos(\psi) - \cos(\psi + \omega_z \delta_t)) + \frac{v}{w} \sin(\psi + \omega_z \delta_t) \delta_t & 0 \\ \delta_t & 0 \\ 0 & \delta_t \end{bmatrix}$$

角速度为 0 时，取极限为：

$$V = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} \delta_t^2 \sin(\psi) & 0 \\ \frac{1}{2} \delta_t^2 \cos(\psi) & 0 \\ \delta_t & 0 \\ 0 & \delta_t \end{bmatrix}$$

观测过程雅克比显然为：

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由上，得到预测部分为：

$$R = VMV^T$$

$$\bar{\mu} = X'$$

$$\bar{\Sigma} = G\Sigma G^T + R$$

观测更新部分为：

$$K = \bar{\Sigma} H^T (H \bar{\Sigma} H^T + Q)^{-1}$$

$$\mu = \bar{\mu} + K(Z - H\bar{\mu})$$

$$\Sigma = (I - KH)\bar{\Sigma}$$

其中 R 为运动过程协方差， M 为运动量的噪声， Q 为观测过程的噪声， $\bar{\mu}$ ， $\bar{\Sigma}$ 为预测部分的置信度表达。

实际过程中我们取 imu 的 z 轴角速度数据和 x 轴加速度数据作状态预测，取 GPS 经纬度转化为 xy 坐标（单位为 m），作为观测更新。我们对采到的数据进行处理，生成轨迹，得到原始数据为红线所示，滤波后的数据如蓝线所示，可以看到在局部范围里 imu 和 GPS 通过 EKF 融合得到的数据更加平滑，在全局范围内，整个轨迹也得到闭环，说明 GPS 很好地减小了 imu 的漂移问题。



对于 GPS 数据转化为坐标的处理，我们参考相关论文[1]，小规模情况下，近似经纬线为直线，只会产生较小误差，我们在测定的区域内确定一个点（O 点）作为平面直角坐标系的原点，那么，区域内任意一点（C 点）沿纬线方向偏离此原点的距离 OA 就是这一点的 Y 坐标值，沿经线方向偏离原点的距离 OB 是其 X 坐标值。当地球被近似为椭球体时，我们可以得到如下公式：

$$x_o = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 + b^2 \tan^2 B_o}}$$

$$y_o = \frac{b^2}{\sqrt{b^2 + a^2 \cot^2 B_o}}$$

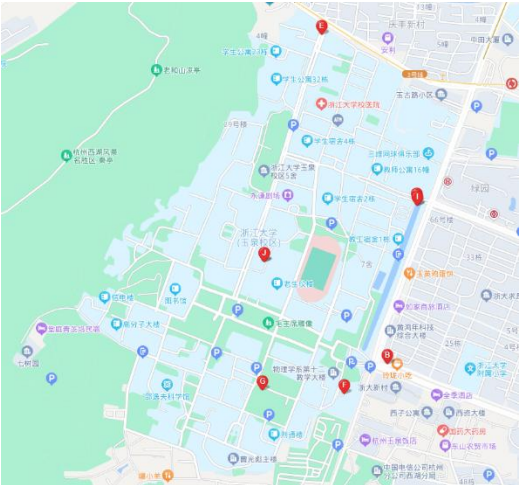
$$OA = \sqrt{(x_A - x_o)^2 + (y_A - y_o)^2}$$

$$OB = x_oL_{OB}$$

其中 a 为地球椭圆长半轴， b 为短半轴， B_o 为 o 点纬度， L_{OB} 为两点纬度差。 x_A, x_B 算法同上。本次实验中我们取 O 点经纬度 $(120.11,30.26)$ ，经纬度坐标数据在经过一些标志物的标定后小范围内稳定接近真实值。

导航图生成部分

我们截取固定的玉泉地图如下：



运行我们特定编写的程序，手动在图上绘制相应的路线，经过特定处理，得到如下全局导航图：



对每一个实际运行中采集的 GPS 数据，我们通过获取相对的位置和角度，截取一定范围，的图片，即可得到需要的导航图。

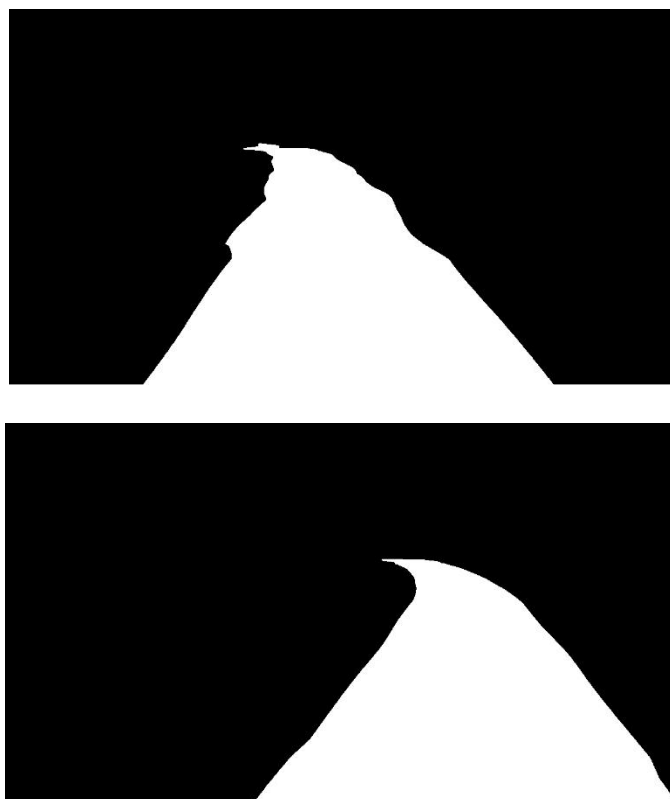


但由于导航图为手绘，以及 GPS 存在的定位误差、波动，实际获取导航图的过程中可能截取位置和真实位置不对应，而导致出现几乎空白的导航图。

真值生成部分

需要生成的真值有两种，分别为未来轨迹在相机坐标系的投影和车坐标系下的势场图。

对于前者，我们取当前位置固定距离内的位姿，先进行插值处理，再根据朝向计算车坐标系下的两侧边缘点，并通过透视变换，变换到相机坐标系，绘制直线，得到数据类似如下：



其中前图为同一时刻下完全 GPS 数据得到的结果，后图为融合 IMU 数据后的结果，可以看到数据融合效果较为显著。

在得到 EKF 数据前，甚至会有如图所示的情况：



这是由 GPS 数据波动导致的朝向漂动引起的，这会导致训练难以进行，在引入 IMU 后，这种数据基本上被消除。

对于后一项任务，我们对前一结果进行逆透视变换，做俯视图投影，然后结合点云数据滤除一定高度后的投影得到势场图，大致如下：



参考文献

[1]肖体琼, 陈怡群, 常春. GPS 经纬度坐标转平面坐标的简化计算方法及精度分析[C]// 农业工程科技创新与建设现代农业——2005 年中国农业工程学会学术年会论文集第三分册. 2005.