从零开始手写VIO 第二课作业

边城量子 2019.6.18

基础作业,必做

- 设置IMU仿真代码中的不同的参数, 生成Allan方差标定曲线.
  - Allan方差工具:
    - https://github.com/gaowenliang/imu_utils
    - https://github.com/rpng/kalibr_allan
  - IMU仿真代码:
    - http://www.shenlanxueyuan.com/course/160/activiy/2275/download?materialId=1552
- 将IMU仿真代码中的欧拉积分替换成中值积分

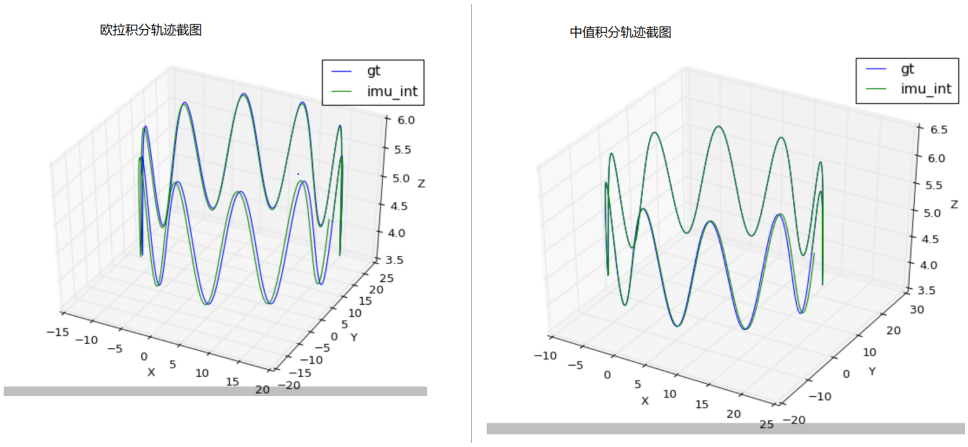
回答:

- **目标1: 编译非ROS版本, 绘制trajectory轨迹, 比较欧拉积分和中值积分的轨迹差异**
  - 1. 编译过程
    - 1.1 解压后编译 vio_data_simulation-master
      - 备注: 需要提前安装Eigen3, Sophus, Ceres等相关库
    - 1.2 在bin下新建 keyframe 文件夹: mkdir bin/keyframe
  - 2. 欧拉积分轨迹绘制
    - 2.1 进入bin目录, 运行 ./data_gen, 在bin目录下生成轨迹数据

```
all_points.txt    cam_pose.txt  demo.png     imu_int_pose_noise.txt
imu_pose_noise.txt  keyframe
cam_pose_tum.txt  data_gen      house_model  imu_int_pose.txt
imu_pose.txt
```

    - 2.2 进入python_tool目录, 运行 python draw_trajecory.py, 画出欧拉积分图形,图形见下文
  - 3. 中值积分轨迹绘制
    - 3.1 修改src/imu.cpp文件, 欧拉积分改为中值积分,修改后的代码如下文附录所示
    - 3.2 重新编译，再次执行 bin/data_gen和python_tool下的python脚本， 画出中值积分图形,图形见下文
  - 4. 欧拉积分与中值积分的轨迹比较

- 4.1 欧拉与中值积分的轨迹截图比较如下, 可以看出中值积分误差稍小些:



- 5. 附: 中值积分代码修改后如下，代码行[50,68]:

```
//读取生成的imu数据并用imu动力学模型对数据进行计算，最后保存imu积分以后的轨迹，
//用来验证数据以及模型的有效性。
void IMU::testImu(std::string src, std::string dist)
{
    std::vector<MotionData>imudata;
    LoadPose(src,imudata);

    std::ofstream save_points;
    save_points.open(dist);

    double dt = param_.imu_timestep;
    // position :    from  imu measurements
    Eigen::Vector3d Pwb = init_twb_;
    // quaterniond:  from imu measurements
    Eigen::Quaterniond Qwb(init_Rwb_);
    // velocity  :   from imu measurements
    Eigen::Vector3d Vw = init_velocity_;
    Eigen::Vector3d gw(0,0,-9.81);    // ENU frame
    Eigen::Vector3d temp_a;
    Eigen::Vector3d theta;
    for (int i = 1; i < imudata.size(); ++i) {

        MotionData imupose = imudata[i];
        MotionData imupose_ = imudata[i-1];

        /// --------- imu 动力学模型 中值积分  BEGIN ----------

        //delta_q = [1 , 1/2 * thetax , 1/2 * theta_y, 1/2 * theta_z]
        Eigen::Quaterniond dq;
        // i时刻与i-1时刻的gyro相加后除以2，得到中值角速度
        Eigen::Vector3d dtheta_half =  0.5* (imupose.imu_gyro +
                                            imupose_.imu_gyro) * dt /2.0;
        dq.w() = 1;
        dq.x() = dtheta_half.x();
        dq.y() = dtheta_half.y();
        dq.z() = dtheta_half.z();

        // i时刻与i-1时刻加速度相加后除以 2 ，得到中值加速度
        Eigen::Vector3d acc_w = (Qwb * imupose.imu_acc +
                                        Qwb*dq*imupose_.imu_acc) * 0.5 + gw;

        // {body}系角速度转为{world}系角速度
```

```
        Qwb = Qwb * dq;
        // {body}系中点在{world}系中的坐标的刷新（ p_w' = p_w + v_w*t + 0.5*t*t*a_w
)
        Pwb = Pwb + Vw * dt + 0.5 * dt * dt * acc_w;
        // {body}系中的点在{world}系中的速度刷新（ v_w' = v_w + a_w*t）
        Vw = Vw + acc_w * dt;


        /// --------- imu 动力学模型 中值积分  END ----------

        //  按着imu postion, imu quaternion , cam postion, cam quaternion
        //    的格式存储，由于没有cam，所以imu存了两次
        save_points<<imupose.timestamp<<" "
                <<Qwb.w()<<" "
                <<Qwb.x()<<" "
                <<Qwb.y()<<" "
                <<Qwb.z()<<" "
                <<Pwb(0)<<" "
                <<Pwb(1)<<" "
                <<Pwb(2)<<" "
                <<Qwb.w()<<" "
                <<Qwb.x()<<" "
                <<Qwb.y()<<" "
                <<Qwb.z()<<" "
                <<Pwb(0)<<" "
                <<Pwb(1)<<" "
                <<Pwb(2)<<" "
                <<std::endl;

    }

    std::cout<<"test  end"<<std::endl;

}
```

- **目标2: 编译ROS版本, imu_utils 绘制Allan曲线, 分析结果**
    - 1. 下载所需的ROS包
        - 1.1 下载imu_utils: https://codeload.github.com/gaowenliang/imu_utils/zip/master
        - 1.2 下载code_utils: https://codeload.github.com/gaowenliang/code_utils/zip/master
        - 1.3 下载vio_data_simulation-ros_version: http://www.shenlanxueyuan.com/course/160/activiy/2275/download?materialId=1552
        - 1.4 以上三个ros的package均解压后放入 `~/catkin_ws/src` 下
    - 2. 修改代码bug, 准备必备文件, 填各种坑, 为编译做准备,如下:
        - 2.1 修改 `~/catkin_ws/src/imu_utils-master/package.xml`， 添加对 `code_utils` 的依赖， 避免编译时提示找不到 `code_utils` 的错误, 修改后内容如下(备注：其中 `<buildtools_depend>` 所在行属于原有内容):

```
<buildtool_depend>catkin</buildtool_depend>
<build_depend>code_utils</build_depend>
```

- 2.2 修改`~/catkin_ws/src/vio_data_simulation-ros_version/src/gener_alldata.cpp`文件第18行，将生成`imu.bag`的地址改为本机存在的地址，例如`~/Downloads/imu.bag`，避免未来执行`node`时出现无法打开`imu.bag`的错误。修改后代码如下：

```
rosbag::Bag bag;
bag.open("/home/hadoop/Downloads/imu.bag", rosbag::bagmode::Write);
```

- 2.3 修改`~/catkin_ws/src/code_utils-master/src/sumpixel_test.cpp`的包含文件路径，把`#include "backward.hpp"`改为如下所示, 避免编译时出现找不到`backward.hpp`的错误，修改后代码如下：

```
#include "code_utils/backward.hpp"
```

- 2.4 在`~/catkin_ws/src/imu_utils-master/launch/`下添加新的`launch`文件`vio_imu.launch`，内容如下:

```
<launch>
    <node pkg="imu_utils" type="imu_an" name="imu_an"
output="screen">
        <param name="imu_topic" type="string" value= "/imu"/>
        <param name="imu_name" type="string" value= "vio_imu"/>
        <param name="data_save_path" type="string" value= "$(find
imu_utils)/data/"/>
        <param name="max_time_min" type="int" value= "120"/>
        <param name="max_cluster" type="int" value= "100"/>
    </node>
</launch>
```

- 3. 编译与执行
  - 3.1 执行`catkin_make`进行编译如上的三个包
  - 3.2 在多个终端分别执行如下语句，运行`vio_data_simulation_node`节点生成`imu.bag`文件：

```
终端1：  roscore
终端2：  rosrun vio_data_simulation vio_data_simulation_node
```

  - 3.3 在多个终端分别执行如下语句，回放`imu.bag`并使用`imu_utils`进行分析得到数据：

```
终端2：roslaunch imu_utils vio_imu.launch
终端3：rosbag play -r 500 ~/Downloads/imu.bag
```

其中-r 500表示是以500倍的速率播放这120分钟的数据,一般接近播放完毕时终端2上就会显示结果和生成数据;

`~/catkin_ws/src/code_utils-master/data/`目录下, 生成的分析数据的文件列表：

```
data_vio_imu_acc_t.txt  data_vio_imu_gyr_x.txt
data_vio_imu_sim_acc_y.txt  data_vio_imu_sim_gyr_z.txt
data_vio_imu_acc_x.txt  data_vio_imu_gyr_y.txt
data_vio_imu_sim_acc_z.txt  vio_imu_imu_param.yaml
data_vio_imu_acc_y.txt  data_vio_imu_gyr_z.txt
data_vio_imu_sim_gyr_t.txt data_vio_imu_acc_z.txt
data_vio_imu_sim_acc_t.txt  data_vio_imu_sim_gyr_x.txt
data_vio_imu_gyr_t.txt  data_vio_imu_sim_acc_x.txt
data_vio_imu_sim_gyr_y.txt
```

- 3.4 查看结果, `~/catkin_ws/src/code_utils-master/data/vio_imu_imu_param.yaml` 文件内容,可以看出 gyr_n即gyr的噪声值为0.21, gyr_w即gyr的bias随机游走约为0.00072, acc_n即acc的噪声约为0.268, acc_w即acc的bias随机游走约为0.0036:

```
%YAML:1.0
---
type: IMU
name: vio_imu
Gyr:
unit: " rad/s"
avg-axis:
    gyr_n: 2.1105657814671464e-01
    gyr_w: 7.1662674189783239e-04
x-axis:
    gyr_n: 2.1177628132040993e-01
    gyr_w: 8.5279050640430637e-04
y-axis:
    gyr_n: 2.1246606280232497e-01
    gyr_w: 4.2323679207795977e-04
z-axis:
    gyr_n: 2.0892739031740898e-01
    gyr_w: 8.7385292721123102e-04
Acc:
unit: " m/s^2"
avg-axis:
    acc_n: 2.6819340623544052e-01
    acc_w: 3.5774598464253763e-03
x-axis:
    acc_n: 2.6830418287375574e-01
    acc_w: 3.2635148262893290e-03
y-axis:
    acc_n: 2.6755589669114294e-01
    acc_w: 3.6611895452645497e-03
z-axis:
    acc_n: 2.6872013914142284e-01
    acc_w: 3.8076751677222510e-03
```

- 3.4 编写`~/catkin_ws/src/imu_utils/scripts/draw_vio_imu_allan.m`，文件内容如下:

```
clear
close all

dt = dlmread('../data/data_vio_imu_gyr_t.txt');
```

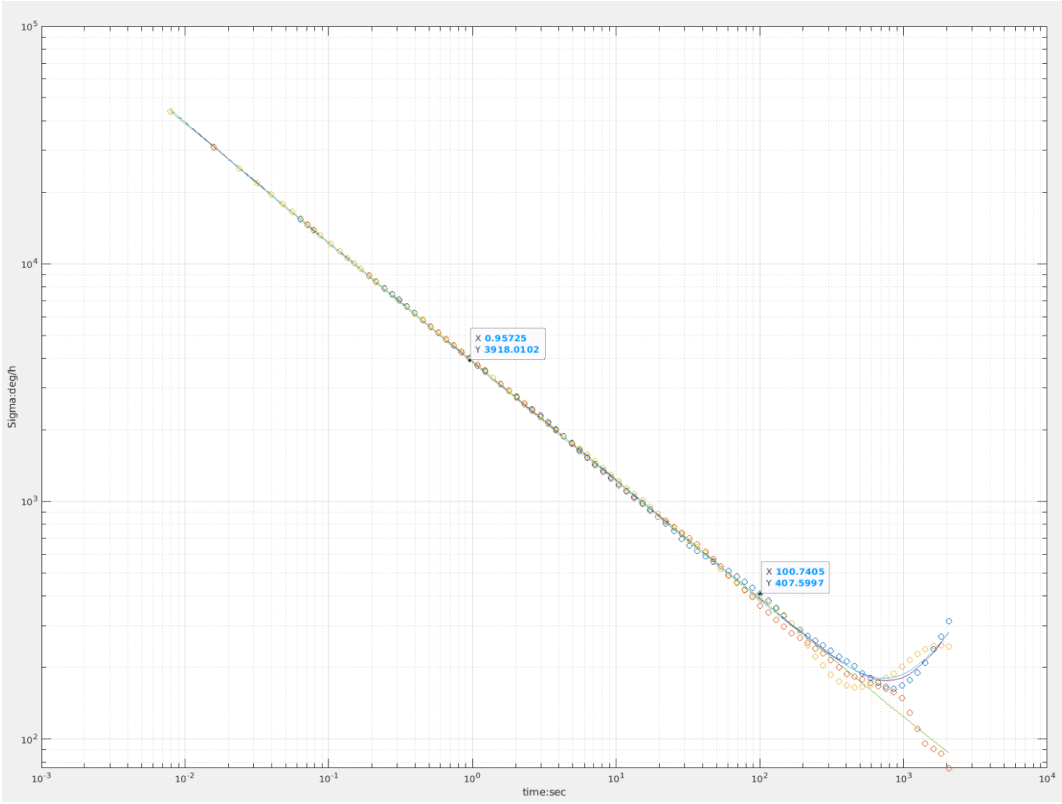
```
data_x = dlmread('../data/data_vio_imu_gyr_x.txt');
data_y= dlmread('../data/data_vio_imu_gyr_y.txt');
data_z = dlmread('../data/data_vio_imu_gyr_z.txt');
data_draw=[data_x data_y data_z] ;

data_sim_x= dlmread('../data/data_vio_imu_sim_gyr_x.txt');
data_sim_y= dlmread('../data/data_vio_imu_sim_gyr_y.txt');
data_sim_z= dlmread('../data/data_vio_imu_sim_gyr_z.txt');
data_sim_draw=[data_sim_x data_sim_y data_sim_z] ;
figure
loglog(dt, data_draw , 'o');
% loglog(dt, data_sim_draw , '-');
xlabel('time:sec');
ylabel('Sigma:deg/h');
% legend('x','y','z');
grid on;
hold on;
loglog(dt, data_sim_draw , '-');
```

- 4. 绘制allan曲线, 分析结果
  - 4.1 安装matlab， 然后执行如下脚本生成allan曲线:

```
cd ~/catkin_ws/src/imu_utils/scripts
matlab -r draw_vio_imu_allan.m
```

生成的曲线如下图所示( ):



- 5. 设定不同噪声参数的标定结果比较
  - 修改param.h中噪声和bias的设定值, 然后按照上述过程执行, 反复三次, 得到三组数据如下:
  - 5.1 第一组:

程序项名称	程序设定值	单位	工具标定名称	工具标定值	工具标定值(精确)
gyro_bias_sigma	0.00005		gyr_w	0.00072	7.1662674189783239e-04
acc_bias_sigma	0.0005		acc_n	0.269	2.6819340623544052e-01
gyro_noise_sigma	0.015	rad/s	gyr_n	0.21	2.1105657814671464e-01
acc_noise_sigma	0.019	m/(s^2)	acc_w	0.0036	3.5774598464253763e-03

- 5.2 第二组:

程序项名称	程序设定值	单位	工具标定名称	工具标定值	工具标定值(精确)
gyro_bias_sigma	0.0001		gyr_w	0.00147	1.4657805294837946e-03
acc_bias_sigma	0.001		acc_n	0.00623	6.2342927057711965e-03
gyro_noise_sigma	0.030	rad/s	gyr_n	0.428	4.2823808776695610e-01
acc_noise_sigma	0.035	m/(s^2)	acc_w	0.494	4.9445930067300020e-01

- 5.3 第三组:

程序项名称	程序设定值	单位	工具标定名称	工具标定值	工具标定值(精确)
gyro_bias_sigma	0.0005		gyr_w	0.000782	7.8284393455931543e-04
acc_bias_sigma	0.005		acc_n	0.00604	6.0371737347246048e-03
gyro_noise_sigma	0.001	rad/s	gyr_n	0.0147	1.4735668185605065e-02
acc_noise_sigma	0.005	m/(s^2)	acc_w	0.0857	8.5741277324662635e-02

结论: 可以看到gyro的noise比较吻合, 但是整个bias都很差, 根据与贺博交流, 反馈说imu_utils中yaml文件中得到的值(即allan曲线最低点)也并不能代表正确的标定值, 建议还是换用kalidr_allan工具标定就可以避免这种问题.

- **目标3: 编译ROS版本, 使用 kalidr_allan 绘制Allan曲线, 分析标定结果**
  - 1. 下载所需的ROS包
    - 1.1 下载kalibr_allan: https://codeload.github.com/rpng/kalibr_allan/zip/master
    - 1.2 下载vio_data_simulation-ros_version: http://www.shenlanxueyuan.com/course/160/activiy/2275/download?materialId=1552

- 1.3 以上两个ros的package均解压后放入 `~/catkin_ws/src` 下, 注意 kalibr_allan中的bagconvert才是ROS package,需拷贝
- 1.4 kalibr_allan_master 所在目录为 `~/Documents/kalibr_allan_master`

- 2. 准备必备文件, 为编译和后续运行做准备,如下:
  - 2.1 修改 `~/Documents/kalibr_allan_master/matlab/SCRIPT_allan_matparallel.m` 第11行, 修改 `imu.mat` 文件保存位置:

```
mat_path = '/home/hadoop/Downloads/imu.mat';
```

    修改104行, 指定分析结果文件保存的位置在 `~/Documents/` 下;

```
// 分析结果的保存文件
filename = ['results.mat'];
fprintf('saving to: %s\n',filename);
// 分析结果文件所保存的目录
save(['/home/hadoop/Documents/',filename],'update_rate','ts_imua','
ts_imuw','tau',

 'taumax','results_ax','results_ay','results_az','results_wx','resu
lts_wy','results_wz')
```

  - 2.2 修改 `~/Documents/kalibr_allan_master/matlab/SCRIPT_process_results.m` 第17行, 指定分析结果文件所在位置(必须与上一步指定的相同):

```
mat_path = '/home/hadoop/Documents/results.mat';
```

  - 2.2 修改 `~/catkin_ws/src/vio_data_simulation-ros_version/src/gener_alldata.cpp` 文件第18行，将生成 `imu.bag` 的地址改为本机存在的地址，例如 `~/Downloads/imu.bag`，避免未来执行 `node` 时出现无法打开 `imu.bag` 的错误。修改后代码如下：

```
rosbag::Bag bag;
bag.open("/home/hadoop/Downloads/imu.bag", rosbag::bagmode::Write);
```

    修改66行, 把输出的topic从 `imu` 改为 `/imu`:

```
bag.write("/imu", time_now, imu_data);
```

- 3. 运行与分析:
  - 3.1 执行 `catkin_make` 进行编译如上的两个包
  - 3.1 在多个终端分别执行如下语句，运行 `vio_data_simulation_node` 节点生成 `imu.bag` 文件:

```
终端1:  roscore
终端2:  rosrun vio_data_simulation vio_data_simulation_node
```

  - 3.3 执行如下语句，把 `imu.bag` 转换为 `imu.mat`,执行时间较长,几十分钟:

```
终端2：rosrun bagconvert bagconvert /home/hadoop/Downloads/imu.bag
/imu
其中/imu为topic名称
```

- 3.4 安装matlab, 执行如下脚本对`imu.mat`数据进行分析,根据上面步骤的修改, 分析结果应该存入在`/home/hadoop/Documents/results.mat`; 安装matlab， 然后执行如下脚本生成allan曲线：

```
  cd ~/Documents/kalibr_allan-master/matlab/
  matlab -r SCRIPT_allan_matparallel.m
```

- 3.5 执行如下脚本获得标定结果, 并画出allan曲线.

```
cd ~/Documents/kalibr_allan-master/matlab/
matlab -r SCRIPT_process_results.m
```

标定结果的命令行输出如下:

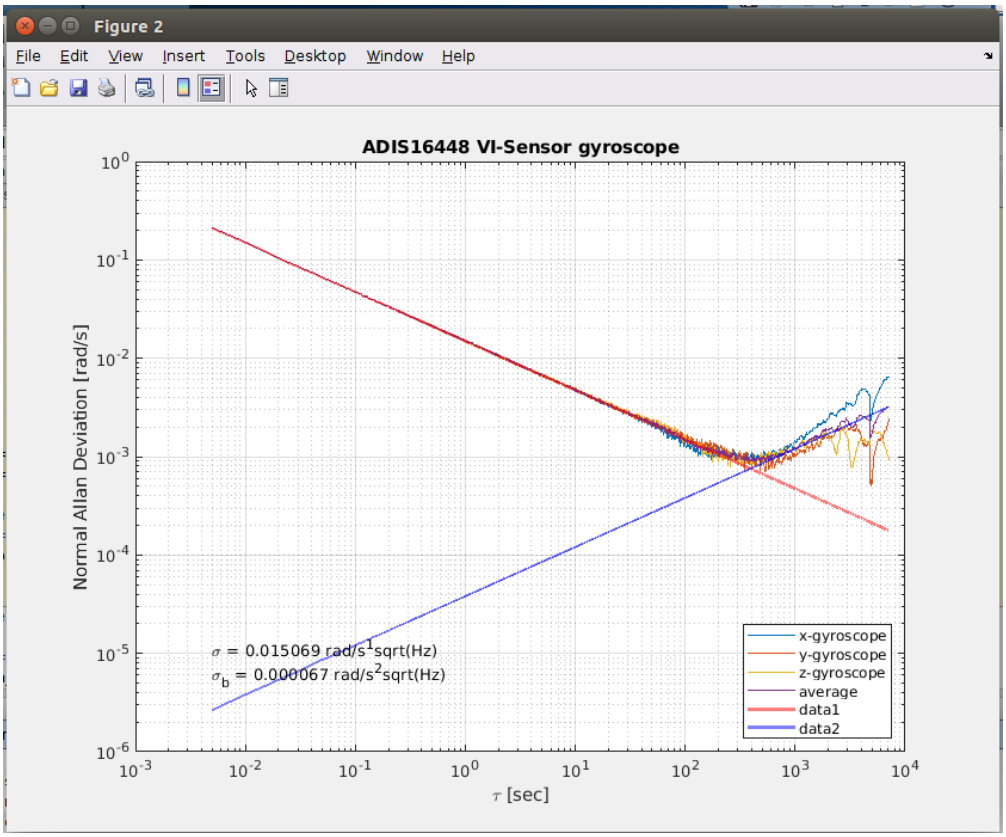
```
=> final results
accelerometer_noise_density = 0.01906135
accelerometer_random_walk   = 0.00046694
gyroscope_noise_density     = 0.01506933
gyroscope_random_walk       = 0.00006665
```

标定结果与程序设定值的比较如下:

程序项名称	程序设定值	单位	工具标定名称	工具标定值	单位
gyro_bias_sigma	0.00005		gyroscope_random_walk	0.00006665	
acc_bias_sigma	0.0005		accelerometer_noise_density	0.00046694	
gyro_noise_sigma	0.015	rad/s	gyroscope_noise_density	0.01506933	rad/s
acc_noise_sigma	0.019	m/(s^2)	accelerometer_noise_density	0.01906135	m/(s^2)

结论: 通过上表可以得出: kalibr_allan 工具标定值与程序原设定值非常接近.

曲线如下:



提升作业, 选做

- 阅读从已有轨迹生成imu数据的论文, 撰写总结推导:
  - 2013年 BMVC, Steven Lovegrove, Spline Fusion: A continuous-timerepresentation for visual-inertial fusion withapplication to rolling shutter cameras.

回答:

- 已知多个离散的观测点, 通过B样条拟合曲线过这多个离散点
- 对光滑拟合曲线按照Δt 为单位进行求导和二阶导,可以得到速度与加速度
- 两个时刻之间的R的变化即为旋转角
- 具体总结推导如下:
  - 待进一步完善