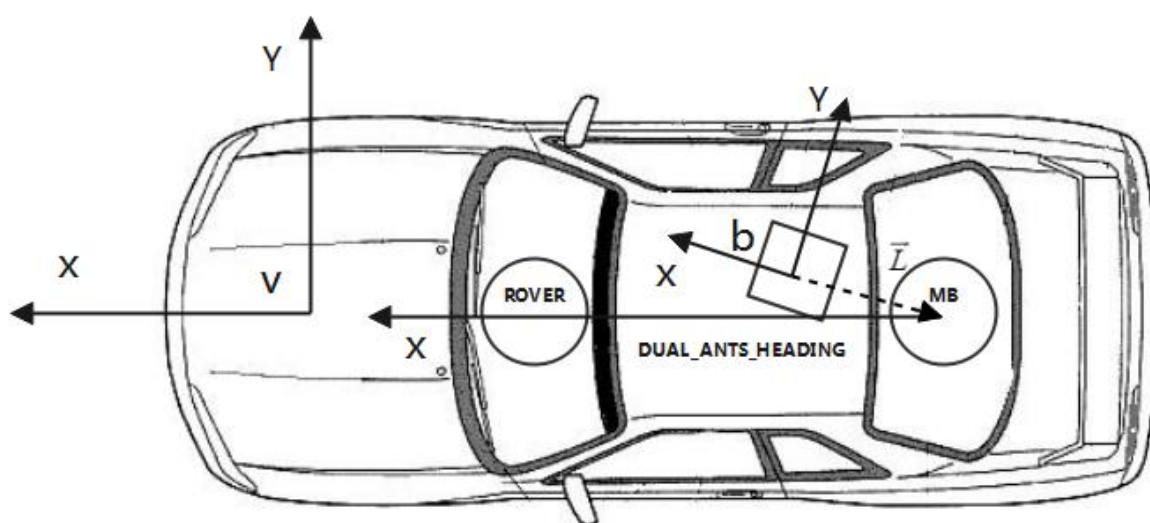


1.1 惯导双天线安装与校准说明

FDISYSTEMS 的 Sigma系列支持双天线定向功能，其优势是在静止或者低速的环境下能够获得精准的航向角度，因此能以最快的速度初始化GNSS/INS 组合导航的航向角。由于双天线输出的航向角是由移动基站（MB）天线相位中心指向移动站（ROVER）天线相位中心的射线与地理北的夹角，即与双天线的相对安装位置息息相关，因此需要对惯导双天线的安装进行说明。

1.1.1 惯导双天线安装说明



如上图所示，我们以车载为例，对几个坐标系以及符号进行简单说明：

- 符号 v ：载体（vehicle）坐标系， X 轴指向载体前进方向， Y 轴朝右， Z 轴朝下，为右手坐标系。
- 符号 b ：惯导（body）坐标系， X 轴， Y 轴与 Z 轴在标识在外壳上，组成方向同样为右手坐标系。
- ROVER：代指移动站（辅天线）。
- MB：代指移动基站（主天线）。
- DUAL_ANTS_HEADING：双天线航向角，定义为由 MB 天线相位中心指向 ROVER 天线相位中心的射线与地理北的夹角，单位是度，范围 0° - 360° 。
- $\vec{L}$ ：惯导模组到MB天线相位中心的杆臂矢量在 b 系下的表示，条件允许的情况下请测量该值并填入上位机参数表中，或者将惯导模组和 MB 尽量安装在一起。

1.1.2 RBV和双天线安装误差角补偿

如上图所示，惯导和天线安装在载体上时，最理想的状态是惯导坐标系 X 轴与载体坐标系 X 轴平行，主天线与辅天线的连线方向与载体坐标系 X 轴平行，这样惯导输出的航向角和双天线航向角就是载体前进方向。实际上，由于安装环境限制以及人为安装误差，惯导安装在载体上时与载体坐标系存在安装误差角，需要将惯导坐标系旋转到载体坐标系，即RBV (rotation from body to vehicle)。惯导坐标系与载体坐标系的安装误差角分为：

- ◆ 横滚安装误差角 BODY_TO_VEHICLE_ALGN_ROLL；
- ◆ 俯仰安装误差角 BODY_TO_VEHICLE_ALGN_PITCH；
- ◆ 和航向安装误差角 BODY_TO_VEHICLE_ALGN_YAW；

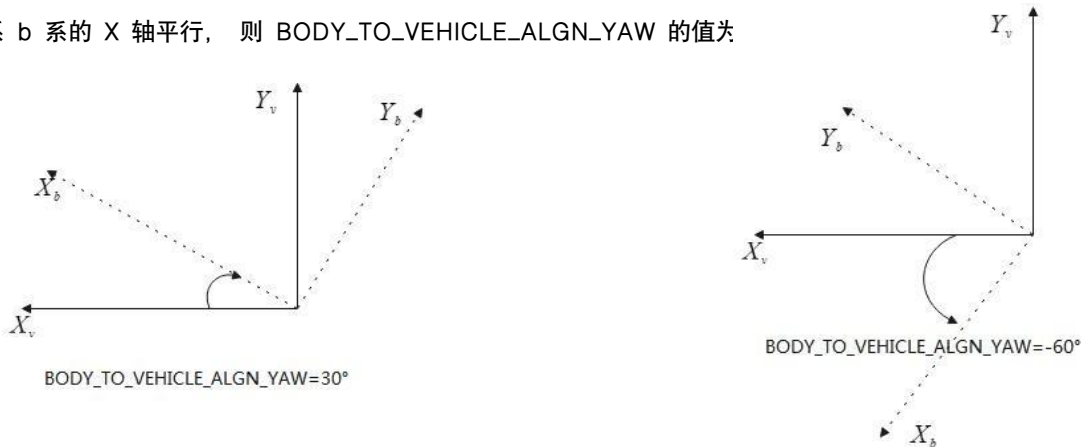
Onboard Parameters		Firmware Update
Parameter	Value	
▼ System FDI 133		
▶ IMU		
▼ BODY		
BODY_TO_VEHICLE_ALGN_ROLL	0	
BODY_TO_VEHICLE_ALGN_PITCH	0	
BODY_TO_VEHICLE_ALGN_YAW	0	

在上位机参数表 (Parameter) 的 BODY 一栏中可以设置，如下图所示，单位是度：

一般而言，惯导安装在载体上时，横滚和俯仰安装误差角很小，航向误差角较大，因此，用户如果有全站仪等角度测量设备时，可以对航向误差角进行测量并填写到该参数表中，最后保存并写入到固件里。或者使用下一节提供的上位机校准工具进行自动计算。

惯导航向误差角定义如下：

$\Delta\psi$ 是一个 0° 到 180° 之间的角度，如果载体坐标系 v 系的 X 轴沿顺时针旋转 $\Delta\psi$ 能与惯导坐标系 b 系的 X 轴平行，则 BODY_TO_VEHICLE_ALGN_YAW 的值为 $\Delta\psi$ ；相对应的，如果载体坐标系 v 系的 X 轴沿逆时针旋转 $\Delta\psi$ 能与惯导坐标系 b 系的 X 轴平行，则 BODY_TO_VEHICLE_ALGN_YAW 的值为



双天线航向误差角 GNSS_ANTS_HEADING_BIAS 定义为双天线原始输出航向角与载体前进航向角之差，在上位机参数表 (Parameter) 的 GNSS 一栏中可以设置,单位是度：

Onboard Parameters		Firmware Update
Parameter		Value
▼ System FDI 133		
▶ IMU		
▶ BODY		
▶ MAG		
▼ GNSS		
GNSS_ANTS_OFFSET_TYPE		0
GNSS_ANTS_HEADING_BIAS		0
GNSS_ANTS_PITCH_BIAS		0
GNSS_ANTS_ROLL_BIAS		0
GNSS_CAL_HEADING_DIFF_THR...		0
GNSS_L_ANTS_BASE_LINE		0
GNSS_L_IMU_ANT1_X		0
GNSS_L_IMU_ANT1_Y		0
GNSS_L_IMU_ANT1_Z		0
GNSS_MIN_VACC		3.5
GNSS_MIN_ACC		1.8

双天线航向误差角定义与惯导航向误差角定义一致。

1.1.3 惯导-天线杆臂以及惯导-载体杆臂补偿

- **惯导-天线杆臂：**FDISYSTEMS 模组使用MB（主天线）的速度与位置作为观测量对惯导进行修正，一般而言主天线与惯导位置不重合，惯导到天线相位中心的矢量称之为 GNSS 杆臂，杆臂会给 GNSS/INS 组合导航带来不好的影响，尤其是在载体存在角速度时（转弯），因此需要对其进行补偿。FDIGroundStation 提供了杆臂值的参数界面，以便您在测量杆臂数据后输入，如下图所示。注意杆臂数据是在惯导模组坐标系中测量得出的（见第5.5节），若天线安装在惯导上方，则Z轴方向的杆臂值为负。

Onboard Parameters		Firmware Update
Parameter	Value	
▼ System FDI 133		
▶ IMU		
▶ BODY		
▶ MAG		
▼ GNSS		
GNSS_ANTS_OFFSET_TYPE	0	
GNSS_ANTS_HEADING_BIAS	0	
GNSS_ANTS_PITCH_BIAS	0	
GNSS_ANTS_ROLL_BIAS	0	
GNSS_CAL_HEADING_DIFF_THR...	3	
GNSS_L_ANTS_BASE_LINE	0	
GNSS_L_IMU_ANTI_X	0	
GNSS_L_IMU_ANTI_Y	0	
GNSS_L_IMU_ANTI_Z	0	
GNSS_MIN_VACC	3.5	
GNSS_MIN_ACC	1.8	

- **惯导-载体杆臂：**使用 NHC 车辆非完整性约束时，除了RBV需要校准，即将惯导坐标系旋转到载体坐标系，此外还需要测量惯导模组与车辆后轮中心的杆臂，否则在gnss中断的环境下，尤其是转弯的过程中，NHC模型的失准会影响其修正导航数据的效果。惯导-载体杆臂定义为载体左右后轮连线中心在惯导坐标系下的三维位置，FDIGroundStation 提供了该杆臂值的参数配置界面，以便用户在测量杆臂数据后输入，在参数表的 ODOM 一栏内，如下图所示：

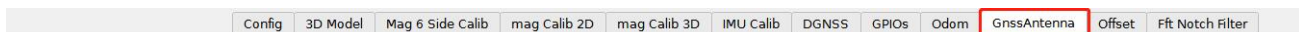
▼ ODOM	
ODOM_TYPE	0
ODOM_SCAL1	1
ODOM_SCAL2	1
ODOM_L_IMU_ODOM_X	0
ODOM_L_IMU_ODOM_Y	0
ODOM_L_IMU_ODOM_Z	0
ODOM_IMU_ALGN_PITCH	0
ODOM_IMU_ALGN_YAW	0
ODOM_PARAM_ESTIMATION_OPTION	0
ODOM_FILTER_OPTION	0

- **参数保存：**参数配置完成按下图依次点击Transmit（1）和Write Flash（2）完成参数传递与保存：



1.1.4 惯导双天线自动校准说明

当用户没有测量设备计算上述安装误差角时（杆臂必须手动测量），可以使用 FDIGroundStation 自带的惯导双天线校准功



能进行自动计算，该功能在 Config 界面的 GNSSAntenna 中：

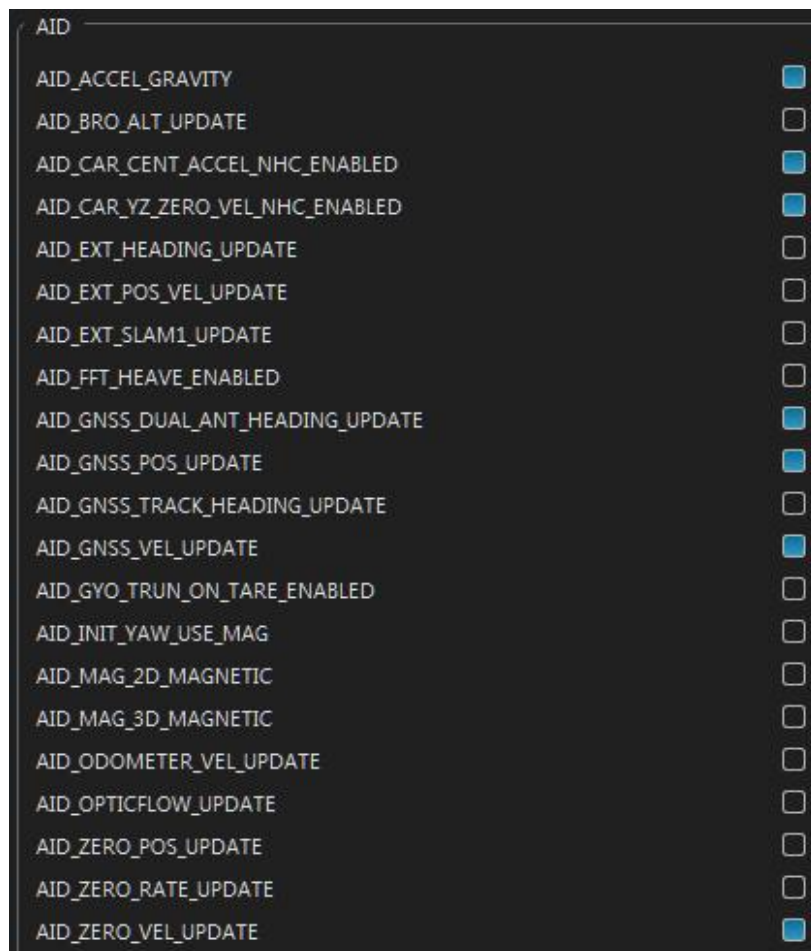
该校准功能使用的前提是两个 GPS 接收机均进入固定解状态，即必须架设基站给MB发送RTCM修正数据（或网络RTK模式），此时上位机右上方的状态必须变为绿色的 RTK_DUAL 字样，如下图所示，此时GNSS定位解算达到厘米级，双天线定向可用。



具体校准步骤如下：

Step1: 首先用户确认一下config界面的配置，DYNAMICS一栏里选择的是AUTODRIVER_MODEL，AID里相关的配置如下所示：





对于汽车应用场景来说上述AID的配置是最优配置，用户如果与上述配置不同，请修改后并点击右下角的 SAVE TO FDI 进行保存；

Step2: 点击到 GNSSAntenna 界面内，先点击下方的Refresh (1) 按钮刷新界面，然后确认10.9.2章节描述的惯导-天线杆臂 (2)、惯导-载体杆臂 (3) 以及RBV、双天线安装误差角 (4) 是否输入，如果没有的话请在这个界面的框内手动输入：

Primary Antenna Imu Arm:

Offset from IMU to primary antenna

X: 2 0.000m Y: 0.000m Z: 0.000m

AutoCalibration

Stop

IMU To Vehicle Arm:

Offset from IMU to Vehicle Rear-wheel-center[odometer&NHC]

X: 3 0.000m Y: 0.000m Z: 0.000m

Auto Calibration

Dual-ants heading offset&IMU To vehicle rotation offset

Imu Heading offset: 0.00°

Imu Pitch offset: 4 0.00°

Dual Ants Heading offset: 0.00°

Filtering convergence flag

State Imu Roll Offset 0.000°

State Imu Pitch Offset 0.000°

State Imu Heading Offset 0.000°

State Dual-Ants Heading offset 0.000°

State Vehicle Speed 0.000m/s

Cailb Start Stop

1 Refresh

Save

需要说明的是，用户的惯导设备尽量水平的放在载体上，同时惯导x轴大致与车体前进方向平行，这样第三个红框内的imu heading offset以及imu pitch offset直接填0即可（如果之前校准过有值，此次校准仍要手动置0），对于双天线安装偏移 Dual Ants Heading offset，用户需要输入一个大概正确的数值，参考如下：

- 主天线到辅天线连线与车头方向一致时（主天线车尾，辅天线车头），填0即可；
- 主天线到辅天线连线沿车头向右大约90度，填90即可；沿车头向左大约90度，填270即可；
- 主天线到辅天线连线与车头方向相反时（主天线车头，辅天线车尾），填180即可；

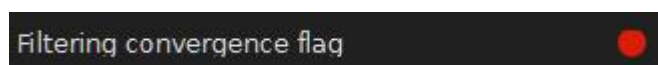
上述杆臂和相关角度均设置无误，点击下面的save（1）按钮保存，接着点击左下角write flash（2）按钮将参数写入模组内，最后点击红色按钮restart（3）进行软重启（或者断电重启），等待重启完成后进入step3；



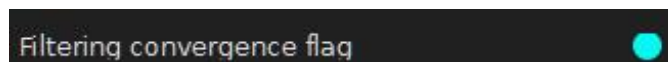
Step3: 重启后仍然在 GNSSAntenna 界面内，点击 **Calib Start** 按钮开启RBV和双天线安装误差角的自动校准，注意需要在双天线均处于固定解的状态下（RTK DUAL）校准才会进行，否则自动退出。该自动校准算法需要汽车沿“口”或者“日”字型道路行驶，即存在直线和90度弯道的路况，行驶速度建议不低于20km/h。该算法分为两个阶段：

第一阶段判断收敛： 行驶的过程中该模组会实时估计GNSS/INS组合导航的滤波是否收敛，未收敛时下图中的 Filtering convergence flag 为红色，收敛后变为蓝色，通常4个左右的90度转弯就能使滤波收敛（不推荐掉头运动）；

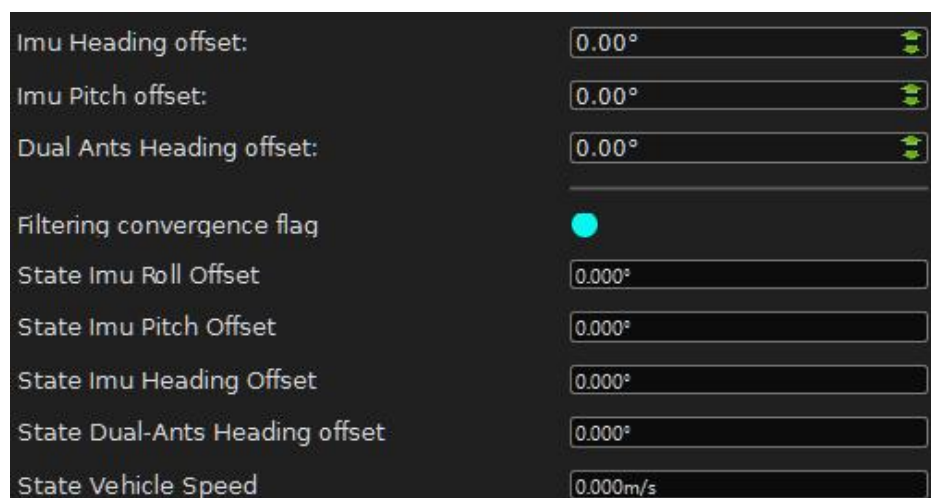
收敛前显示：



收敛后显示：



第二阶段估计参数： 在滤波收敛后，模组开始自动实时计算下面几个待估计的状态，其过程发生在车辆沿直线行驶的场景；用户只需要在直线的道路时尽量笔直行驶，转弯道路依旧转弯，是否沿直线行驶由模组内部自动判断，当模组内部计算累计足够时长的直线运动数据后，结果便会显示在上面三个数据框内，同时上位机打印输出 RBV and Dual ANTS Calibration Finished 字样，并自动退出校准，打印输出 Disarmed；



(EPSILON 014) RBV and Dual ANTS Calibration Finished
(EPSILON 014) Disarmed

状态的具体解释如下：

- ◆ IMU Heading offset: 最终计算的 RBV 里的航向误差角，单位度，校准前需要置0，见 **step2** ；
- ◆ IMU Pitch offset: 最终计算的 RBV 里的俯仰误差角，单位度，校准前需要置0，见 **step2** ；
- ◆ Dual Ants Heading offst: 最终计算的双天线航向误差角，单位度，校准前需要给定一个大概的初值，见 **step2** ；
- ◆ State IMU Roll Offset: RBV里的横滚误差角的实时估计状态值，单位度；
- ◆ State IMU Pitch Offset: RBV里的俯仰误差角的实时估计状态值，单位度；
- ◆ State IMU Heading Offset: RBV里的航向误差角的实时估计状态值，单位度；
- ◆ State Dual-Ants Heading Offset: 双天线与载体之间的航向误差角的实时估计状态值，单位度；
- ◆ State Vehicle Speed: 实时载体速度，单位米每秒；

用户在模组自动计算过程中，或者计算结束后，觉得和实际安装误差角度相差较大时，可以点击 **stop** 按钮，同时再执行 **step3** 的过程；

Step4: RBV 以及双天线安装误差角计算完成后，点击左侧的 write flash 按钮将计算参数保存到模组内部并点击 restart 按钮重启，重启后模组就能正常使用了，此时以已经将惯导坐标系和双天线坐标系与载体坐标系对齐。



1.1.5 惯导双天线校准总结

FDISYSTEMS 建议用户在安装惯导模块和双天线时, 尽量将惯导 X 轴和双天线航向矢量与载体前进方向一致。RBV和双天线安装误差角可以通过光学测量仪器或者 FDIGroundStation 自带的校准功能进行自动计算。

惯导和 gnss 主天线的杆臂是不能忽略的, 它在转弯时对gnss/ins组合导航有很大的影响, 因此需要准确的测量; RBV校准的作用是将 IMU 坐标系对齐到载体坐标系, 和惯导-载体杆臂的测量一样, 是为了使 NHC 车辆非完整性约束的模型更加精准, 从而使载体在隧道、地下车库等 gnss 中断的环境也能实现较好的导航效果。

FDIGroundStation 自带的校准功能计算的结果存在一定的误差, 与下面几种原因相关:

- ✓ 惯导-天线杆臂测量的越准, 计算的 RBV 越准;
- ✓ 双天线的安装基线越长, 计算的双天线航向误差角越准, 推荐基线长度至少1米;
- ✓ 载体行驶速度越快 (大于20km/h), 越平稳 (路面越平整), 直线路段行驶的越笔直, 计算的 RBV 和 双天线航向误差角越准;
- ✓ 模组需要用螺母固定在载体内并远离发动机等大的振动源, 双天线用磁吸底座同样需要稳稳固定在载体上, 在行驶过程中不能有相对移动, 否则计算的 RBV 和 双天线航向误差角误差变大;
- ✓ 校准必须开阔的天空环境执行, 双天线必须处于固定解, 否则将自动退出校准过程;