

---

# PRIDE PPP-AR 运动学定轨扩展其它低轨卫星修改建议

## 一 相关脚本

### 1. *lat2obx.py*

将低轨卫星姿态文件（四元数）按 ORBEX 格式读取。PRIDE 课题组发布的只支持 GRACE/GRACE-FO 卫星。

需要注意对应的姿态产品定义，是星固系和惯性系相互转换还是和地固系相互转换。

脚本会在生成的文件头部加一个 `FRAME_TYPE` 关键字来判别，惯性系和地固系分别对应的值分别为 ECI（如 GRACE/GRACE-FO 卫星）和 ECEF（如 Swarm 卫星）。

```
82 def wr_obxh(wr, leocode):
83     ref_fra = 'ECEF'
84     if leocode[0:3] == 'gra':
85         ref_fra = 'ECI'
86     wr.write("%=ORBEX 0.09\n")
87     wr.write("%%\n")
88     wr.write("+FILE/DESCRIPTION\n")
89     wr.write("%s\n" % (" DESCRIPTION".ljust(21, ' '), "LEO satellite attitude quaternions "))
90     wr.write("%s\n" % (" CONVERTED BY".ljust(21, ' '), "PRIDE Lab, GNSS Research Center, Wuhan University"))
91     wr.write("%s\n" % (" CONTACT".ljust(21, ' '), "pride@whu.edu.cn"))
92     wr.write("%s\n" % (" LEO SATELLITE".ljust(21, ' '), leocode))
93     wr.write("%s\n" % (" FRAME TYPE".ljust(21, ' '), ref_fra))
94     wr.write("-FILE/DESCRIPTION\n")
95     wr.write("+EPHEMERIS/DATA\n")
```

图 1 lat2obx.py 脚本截图

### 2. *leoatx.py*

将低轨 PCO 按频点加入到 ANTEX 文件中。PRIDE 课题组发布的只支持 GRACE/GRACE-FO 卫星。

在 ATX 类 PCO 变量中按嵌套字典{卫星 ID1:(起始时间, 结束时间):{频率号 1:PCO 值, 频率号 2:PCO 值}, 卫星 ID2....}的格式存储 PCO, 卫星 ID 为四位小写字母, 频率 2 按 ANTEX 的频率标识规范, PCO 单位为 mm。

```
class ATX:
    def __init__(self):
        self.PCO = {'graa': {(52368, 58058): {'G01': "-0.4 -0.4 -451.142", 'G02': "-0.4 -0.4 -475.65"}},
                    'grab': {(52368, 58058): {'G01': "0.6 0.754 -451.73", 'G02': "0.6 0.754 -475.96"}},
                    'grac': {(58260, 99999): {'G01': "-1.28 260.23 -486.24", 'G02': "-1.28 260.23 -492.24"}},
                    'grad': {(58260, 99999): {'G01': "-1.07 260.04 -485.45", 'G02': "-1.07 260.04 -491.45"}},
                    }
```

图 2 leoatx.py 脚本截图

### 3. *plotkin2pso.py*

绘制定轨误差时序图（以精密科学轨道作为参考）。PRIDE 课题组发布的只支持 GRACE/GRACE-FO 卫星。

### 4. *pso2kin.py*

将精密科学轨道转为 PRIDE PPPAR 的 kin 文件格式, 用于作为位置参数初值。PRIDE 课题组发布的只支持 GRACE/GRACE-FO 卫星。如无相应的精密科学轨道, 则使用 SPP 的计算结果作为 PPP 位置参数初值。

### 5. *prepare\_leodata.sh*

用于下载 GRACE/GRACE-FO 星载观测文件、姿态文件和精密科学轨道。观测文件存放于 “\${year}/data/” 目录下，后两者存放在 “\${year}/product/leo” 目录下且其命名格式分别为 “lat\_\${year}\${doy}\_\${sat}” 和 “pso\_\${year}\${doy}\_\${sat}”。\${year}、\${doy} 和 \${sat} 分别表示年、年积日和四位的卫星 ID。这样的路径设置和文件命名是为了便于软件识别，简化操作（pdp3 脚本默认按这样的路径和命名格式读取文件）。

```
case $prefix in
"GPS1B" )
    local rnx1="grac${ydo[1]}0.${yy}o"
    local rnx2="grad${ydo[1]}0.${yy}o"
    mv $file1 data/${ymd[0]}/$rnx1
    mv $file2 data/${ymd[0]}/$rnx2
    ;;
"SCA1B" )
    local lat1="lat_${ydo[0]}${ydo[1]}_grac"
    local lat2="lat_${ydo[0]}${ydo[1]}_grad"
    lat2obx.py $file1 grac && mv $lat1 ${ymd[0]}/product/leo/
    lat2obx.py $file2 grad && mv $lat2 ${ymd[0]}/product/leo/
    rm -f $file1 $file2
    ;;
"GNV1B" )
    local pso1="pso_${ydo[0]}${ydo[1]}_grac"
    local pso2="pso_${ydo[0]}${ydo[1]}_grad"
    mv $file1 ${ymd[0]}/product/leo/$pso1
    mv $file2 ${ymd[0]}/product/leo/$pso2
```

图 3 prepare\_leodata.sh 脚本截图

## 6. pdp3.sh

1) LEO 卫星 ID 匹配。调用 pdp3 脚本未使用 -n 参数指定测站名时，从观测文件头部 “MARKER NAME” 匹配四个字符的卫星 ID（如 graa/grab/grac/grad），这儿卫星 ID 和上面 *leoatx.py* 以及姿态文件名中的卫星 ID 对应。添加其他卫星时需要更新这儿，或者每次调用 pdp3 时通过 -n 参数指定卫星 ID。

```
---
623 # Get LEO satellite name from observation file and set site name
624 if [ "$mode" == "L" -a -z "$site" ]; then
625     site=$(grep "MARKER NAME" "$rnxo_path" | awk -v sep='-' '{print $1sep$2}')
626     [ -n "$site" ] && site="${site:0:3}${site:4:1}"
627 fi
```

图 4 pdp3 脚本中匹配低轨卫星卫星 ID

2) 有个需要注意的地方：低轨卫星姿态定义为星固系和惯性系之间互相转换时，需要准备前一天和后一天的 ERP 参数。

3) 用 *leoatx.py* 将低轨卫星 PCO 添加到天线文件中。

```
2767 ### LEO ANTEX
2768 if [ "$mode" == "L" ]; then
2769     grep -q "^${site} .*TYPE / SERIAL NO$" abs_igs.atx || leoatx.py abs_igs.atx ${site}
2770 fi
2771
2772 echo -e "$MSGINF Prepare IGS ANTEX file: $abs_atx done"
2773
```

图 5 pdp3 脚本调用 leoatx.py 添加低轨卫星 PCO

## 二 代码相关

### 1. *tedit*

针对低轨卫星星载 GNSS 数据添加了基于 MW 组合的 *lfbmwa.f90* 和基于 GF 组合的 *mstpir.f90*。低轨卫星不同于地面载体，其星载数据观测弧端短、短期内经过的空间环境复杂且电离层延迟变化迅速。需要注意这两个函数中一些经验值是否适用于相应低轨卫星的星载数据。可参考

Zeng, Jing , et al. "Improving cycle slip detection in ambiguity-fixed precise point positioning for kinematic LEO orbit determination." *GPS Solutions* 28.3(2024).

### 2. *lsq*

*gpsmod.f90* 等子程序调用 *read\_lat* 子程序读取姿态文件 “lat\_{\$year}\_{\$doy}\_{\$sat}” 计算低轨卫星星固系转换至惯性系的旋转矩阵 *rot\_l2j*。基于 *rot\_l2j* 计算低轨卫星星载接收机对应的 PCO 改正和相位缠绕(子程序 *lphase\_windup.f90*)。注意没有计算名义姿态相关函数，需要有姿态文件或者自行添加计算名义姿态的部分。

### 3. *lib*/相关库函数

#### 1) *read\_lat.f90*

按 ORBEX 格式读取低轨姿态文件，调用 *leoqua2mat.f90* 计算低轨卫星星固系转换至惯性系的旋转矩阵 *rot\_l2j*。

#### 2) *leoqua2mat.f90*

需要注意四元数对应旋转矩阵的计算方式，如代码中有 GRACE 卫星和 GRACE-FO 卫星的计算方式。

```
if (index(leoid, 'gra') .ne. 0) then      ! GRACE & GRACE-FO
  xmat(1,1)=q00+q11-q22-q33
  xmat(1,2)=2.d0*(q12+q03)
  xmat(1,3)=2.d0*(q13-q02)
  xmat(2,1)=2.d0*(q12-q03)
  xmat(2,2)=q00-q11+q22-q33
  xmat(2,3)=2.d0*(q23+q01)
  xmat(3,1)=2.d0*(q13+q02)
  xmat(3,2)=2.d0*(q23-q01)
  xmat(3,3)=q00-q11-q22+q33
else
  xmat(1,1)=1.d0-2.d0*q11-2*q22
  xmat(2,1)=2.d0*(q01+q23)
  xmat(3,1)=2.d0*(q02-q13)
  xmat(1,2)=2.d0*(q01-q23)
  xmat(2,2)=1.d0-2.d0*q00-2.d0*q22
  xmat(3,2)=2.d0*(q12+q03)
  xmat(1,3)=2.d0*(q02+q13)
  xmat(2,3)=2.d0*(q03-q12)
  xmat(3,3)=1.d0-2.d0*q00-2.d0*q11
endif
```

图 6 *leoqua2mat.f90* 代码截图