

# GNSS 精密定位软件——Net\_Diff

中国科学院上海天文台

东京海洋大学

2020/04/08

## 目录

1 Net_Diff 简介 .....	3
2 Net_Diff 安装 .....	6
3. Net_Diff 使用.....	7
4. Net_Diff 在线 PPP/RTK 服务.....	9
5. 其他.....	10
参考文献.....	11
附录 Net_Diff 定位性能 .....	12
A1 SPP .....	12
A2 PPP .....	12
A3 PPP-AR.....	17
A4 RTK.....	19
A5 PPP-RTK.....	24

## 1 Net\_Diff 简介

GNSS (GPS) 已经成为日常生活中无处不在, 不可或缺的重要技术。作为导航定位方面的学生和科研人员, 每天的工作除了看论文写论文, 大量的时间可能都用在了写代码、处理 GNSS 数据上。

无论是初学者还是使用者, 一款合适的软件都是不可或缺的重要工具, 以便在此基础上进行修改或作为参考借鉴。目前 GNSS 领域的软件通常可以分为三类: (1) 商业软件, 如天宝的 TGO, 徕卡的 LGO, 这些软件通常需要付费或随机购买, 精度较高, 但由于用户只能看到定位结果, 更适合工程应用而不适合科研用途; (2) 综合型科研软件, 如 Bernese, GAMIT, EPOS, PANDA 等, 这些软件由于包含定轨功能, 通常体量较大, 使用起来也并不方便, 而且一般需要付费购买或很难获得。(3) 小型科研软件, 包括 RTKLIB, GAMP, gLAB, PPPH, goGPS, PRIDE 等。这些软件一般都进行了开源, 是大部分导航定位领域初学者学习的入门工具, 其中以东京海洋大学的 Tomoji TAKASU 开发的 RTKLIB 最为知名。然而, 除了 RTKLIB, 大部分软件都只是针对 SPP/PPP, 或者不包含多频多系统。针对 RTK 方面的软件目前仍然不多 (但实际上 RTK 是商业应用最多的技术)。RTKLIB 虽然集成了 PPP 和 RTK 功能, 但由于目前更新并不频繁, 有很多 bug 需要改进, 特别是针对北斗系统的快速发展和更新换代, RTKLIB 并没有及时更新; 对于实测动态数据, RTKLIB 在抗差估计方面也存在不足。

因此, 在这里为大家介绍一款 GNSS 精密定位软件——Net\_Diff。

Net\_Diff 目前支持的定位模式包括 SPP/PPP/PPP-AR/DSPP/DPPP/RTK/PPP-RTK。相信用过 RTKLIB 的人一眼就看出来了, 部分功能和 RTKLIB 有些

类似。但和 RTKLIB 相比，Net\_Diff 进行了很多配置和定位性能上的改进，另外也增加了 PPP-AR 和 PPP-RTK 功能，其中 PPP-RTK 是针对日本的厘米级增强系统 CLAS 来说的（目前 PPP-RTK 比较成熟的公开服务应该只有 CLAS）。

此外，Net\_Diff 还提供数据结果分析，除了定位坐标展示，还包括卫星天空图，卫星数，PDOP 值，卫星可见性，对流层，电离层，周跳，验前误差，验后残差的结果，KML 文件生成（Google Earth 使用），以及包括支持 NMEA/POS 等多种格式的坐标比较等。

同时，Net\_Diff 支持 IGS 及其他公开的 CORS 网络提供的 GNSS 数据及相关产品的批量下载（包括 RINEX2/3 观测数据，广播星历，目前所有分析中心的轨道钟差产品，及电离层对流层坐标等产品）。

另外，针对一些 GNSS 常用工具，Net\_Diff 提供了时间系统，坐标系统的转换，实时 RTCM 数据的接收（借鉴了 goGPS），RINEX 文件的编辑，接收机原始数据到 RINEX 文件的转换（从 RTKLIB 中移植而来），安卓手机原始 GNSS 数据到 RINEX 的转换，SSR 数据的转换，以及 CLASLIB 定位功能（从 CLASLIB 中移植而来）。

此外，Net\_Diff 还支持基于开普勒参数的卫星轨道简单仿真。

作为内部使用功能，Net\_Diff 还支持 GNSS 数据仿真，基于北斗广域增强信息的 PPP 定位，IMU 融合，GNSS 网解，以及基于 GNSS 网络的钟差估计，DCB 解算等。

相比于 RTKLIB 或其他软件，Net\_Diff 的特点包括：

- 在软件使用上：

- (1) 提供了 SPP/PPP/RTK 三种定位模式的定位模板，操作简单；

- (2) 对用户定位设置进行检查和提醒，方便使用；
- (3) 支持各类 GNSS 数据和产品自动下载；
- (4) 自动化定位报告生成。

● 在定位功能上：

- (1) 支持所有 GNSS 系统 (GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo/QZSS/IRNSS) 的所有卫星 (包括北斗 3 最新卫星)；
- (2) 支持所有频率信号，包括 GPS 的 L1/L2/L5, GLONASS 的 G1/G2/G3, BeiDou 的 B1/B2/B3/B1c/B2a, Galileo 的 E1/E5a/E5b/E5/E6, QZSS 的 L1/L2/L5/L6, IRNSS 的 L5。同时这些信号在定位时可以任意组合混合使用；
- (3) 支持适用于单频/双频/三频的观测值非组合及消电离层组合定模型的 PPP/RTK；
- (4) 支持适用于双频/三频的 PPP-AR；
- (5) 支持基于 SSR 改正的 PPP/PPP-AR；
- (6) 支持基于 CNES, WHU, JAXA 提供的 FCB 改正的 PPP-AR；
- (7) 支持长基线 RTK；
- (8) 支持 moving baseline RTK (双天线测向)；
- (9) 支持 PPP-RTK (CLAS)；
- (10) 支持不同策略下的部分模糊度固定；
- (11) 支持系统间偏差 ISB 的不同估计模型，GLONASS 的频间偏差 IFB 的不同估计模型；
- (12) 支持不同的对流层模型和映射函数，包括 GPT 系列, EGNOS, UNB3m, SHAtropE, NMF, GMF, VMF1；

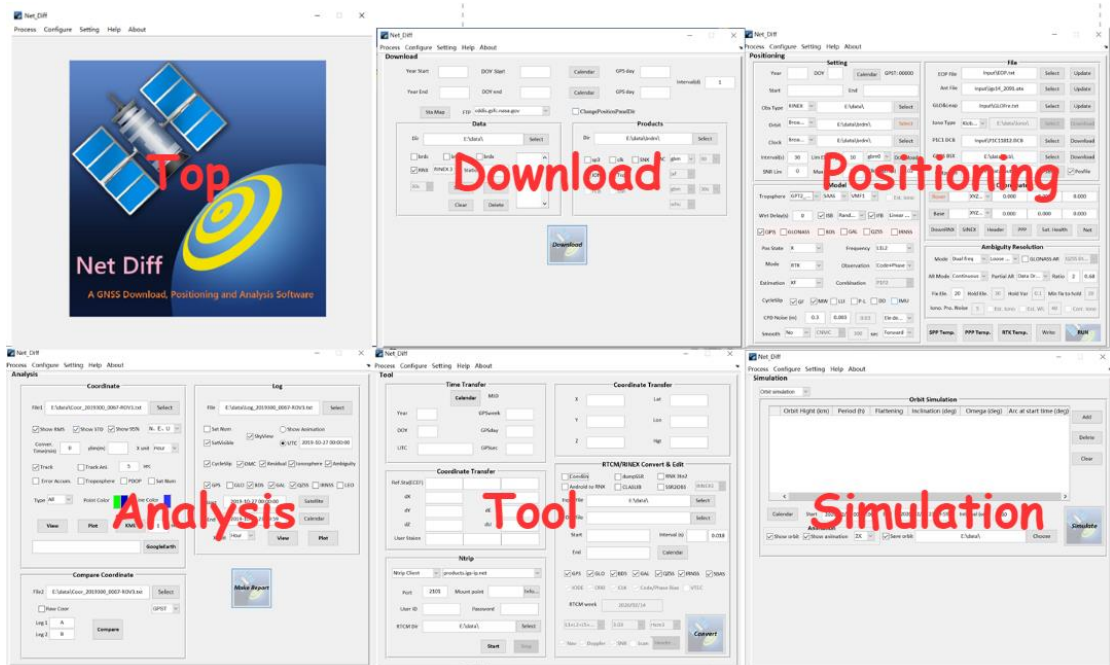
(13) 采用了精确的北斗卫星姿态和 PCO 改正模型；

(14) 改进的周跳探测模型，包括适用于双频的 GF 和 MW，适用于单频的 LLI 和 P-L；

(15) 支持多普勒数据融合定位；

(16) 支持单频，双频，三频的伪距平滑功能。

Net\_Diff 总体功能和界面如下图所示。目前软件在 GitHub 上可以免费下载，并对部分代码进行了开源 ([https://github.com/YizeZhang/Net\\_Diff](https://github.com/YizeZhang/Net_Diff))。



## 2 Net\_Diff 安装

Net\_Diff 的安装十分简单，具体步骤和注意事项在 GitHub 的 ReadMe ([https://github.com/YizeZhang/Net\\_Diff/ReadMe.md](https://github.com/YizeZhang/Net_Diff/ReadMe.md)) 及帮助文档<A guide to use Net\_Diff.pdf>中也可以找到。简单来说，可以分成三步：

- 1 安装 gzip

这是为了对 FTP 上下载的数据进行自动解压，如果不需要解压，可以忽略这一步。

- 2 安装 Net\_Diff

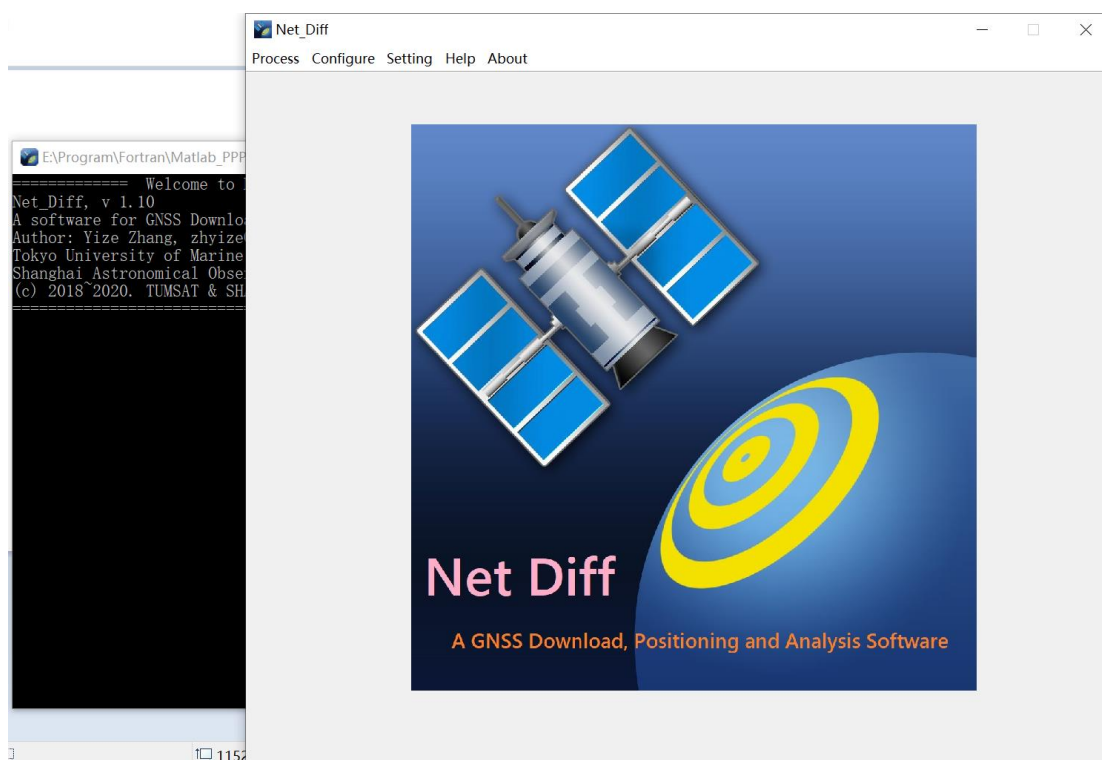
点击 Net\_Diff\_Installer\_web.exe 即可完成（安装过程中需要连接网络）。

- 3 设置环境变量

这是为了可以从桌面或者 Windows Start 正常使用 Net\_Diff，如果是在安装路径下启动 Net\_Diff，这一步也可以忽略。

### 3. Net\_Diff 使用

安装完成后，打开 Net\_Diff，即可看到如下界面。



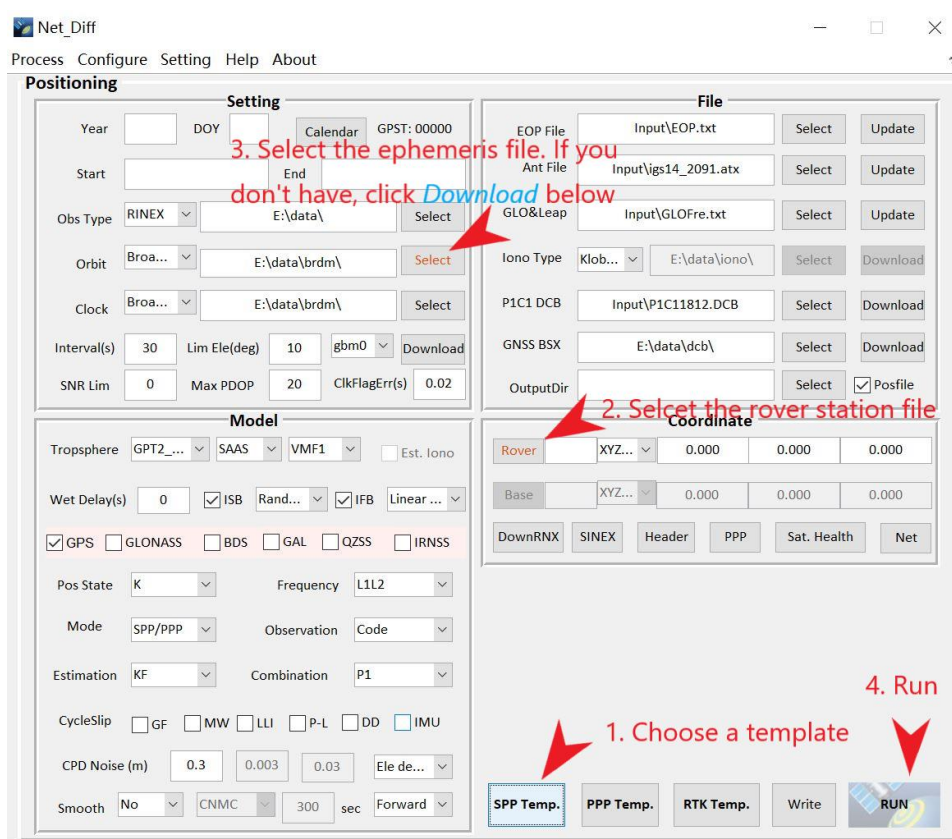
其中背后的 DOS 窗口主要用于显示软件处理过程中的提醒信息，包括提示 (INFO)，告警 (WARN)，错误 (ERROR) 等。

主界面的 Process 菜单中包括下载 (Download), 定位 (Positioning), 分析 (Analysis), 工具 (Tool), 仿真 (Simulation) 几大功能。

Configuration 菜单可用于加载和保存配置文件, Setting 菜单中可调整提示语言和中断设置, Help 菜单中可查看数据来源, 软件链接和帮助文档。

软件的具体使用可以参考安装目录下的帮助文档 <A guide to use Net\_Diff.pdf>, 各个控件也有对应的提示。

作为一个快速上手的例子, 下图给出了 GPS SPP 定位的使用流程, 只需四步就可以完成。其他定位模式如 PPP 或 RTK 等, 过程与此类似。



上述定位完成后, 可按照提示转入结果分析 (Analysis) 页面, 点击 Make Report, 即可生成结果分析报告。



## 4. Net\_Diff 在线 PPP/RTK 服务

Net\_Diff 也提供了在线 PPP 和 RTK 服务([http://www.shao.ac.cn/shao\\_gnss\\_ac](http://www.shao.ac.cn/shao_gnss_ac)) or (<http://129.211.69.159:8090>)。在网页上, 用户只要上传 RINEX 格式观测数据, 选择相关设置并填写邮箱地址后提交, 几分钟后即可通过邮件收到 pos 格式定位结果和定位报告, 可用 Net\_Diff 的 GUI 或 RTKPLOT 进行查看。

Net\_Diff 在线 PPP/RTK 的定位模式包括 Basic 版本和 Advanced 版本。在 Basic 版本中, 用户可选择 GNSS 系统, 支持动态或静态定位模式, 支持单频、双频或三频数据。RTK 模式默认为传统短基线定位模型。Advanced 版本目前仍在开发中, 后续将会开放。

Welcome to the online PPP/RTK service of Net\_Diff

Basic Process | Advanced Process

### Basic User Submission

**Input Observation File**

Process Mode:

Rover Station:

Base Station:

BaseCoord(N/E/Z):

**Select System**

GPS  On

GLONASS  On

BeiDou  On

Galileo  On

QZSS  On

**Select Processing Parameters**

Start Time:

End Time:

Interval(s):

Frequency:  Single  Dual  Triple

Pos State:  Static  Kinematic

Email:

The Report will be sent to the email address provided above.

**Notes:**

- (1) The Net\_Diff group does not assume any liability of the online positioning service.
- (2) Supported format is standard RINEX 2 and RINEX3.
- (3) For PPP, it is recommended to provide data at least 1 hour in length.
- (4) For PPP, the coordinate frame and the reference epoch is the same as IGS products.
- (5) For RTK, it is better to provide the coordinate of the base station. Otherwise, the coordinate using SPP in the first epoch will be used.
- (6) For PPP, BDS and Galileo are supported after Jan 1 2015; For RTK, BDS is supported after 11 Feb 2013, Galileo is supported after 12 Mar 2013.
- (7) For GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo/QZSS, the single-frequency indicates L1/G1/R1/E1/L1; dual-frequency indicates L1/L2/G1/G2/R1/R2/E1/E2/L1/L2; triple-frequency indicates L1/L2/L5/G1/G2/G3/R1/R2/R3/E1/E2/E5/L1/L2/L5. For other frequencies, please use the advanced mode of the desktop version.

[Return SHA Home](#) | [About Net\\_Diff](#)

The orbit and clock products from the International GNSS Service (IGS) are acknowledged.

Online services provided by the GNSS Analysis Center at Shanghai Astronomical Observatory (SHA)  
Group leader: Junping Chen (junping@shao.ac.cn)  
Contact us:  
Software: Yize Zhang (yize@163.com)  
Online service: Yangfei Hou (yfh@tongj.edu.cn)  
Xinzheng Ding (dingxinzheng@shao.ac.cn)

## 5. 其他

GitHub 上也提供了几个 SPP/PPP/RTK 的定位数据和模板，方便初学者熟悉流程和软件设置 ([https://github.com/YizeZhang/Net\\_Diff/tree/master/test](https://github.com/YizeZhang/Net_Diff/tree/master/test))。

Net\_Diff 是作者在同济大学/上海天文台/东京海洋大学学习和研究期间逐步开发和完善的，也部分参考了 RTKLIB, gLAB, LTIW, goGPS, CLASLIB, GNSSAnalysis 等软件的思路和代码，在此一并感谢。

当然，Net\_Diff 还有很多需要完善之处，如您在使用过程中有任何问题或建议，可联系作者：张益泽，QQ:362089467； Email: zhyize@163.com

## 参考文献

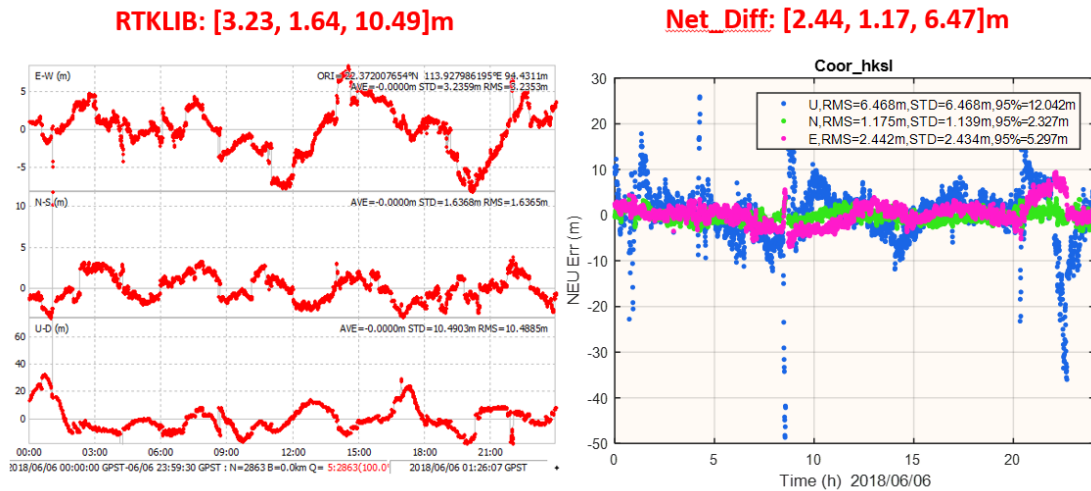
- [1] RTKLIB. <http://www.rtklib.com/>
- [2] rtkexplorer. <http://rtkexplorer.com>
- [3] gLAB. <http://www.gage.es/gLAB>
- [4] goGPS. <https://gogps-project.github.io/>
- [5] CLASLIB. <https://qzss.go.jp/en/>
- [6] GNSSAnalysis. <https://github.com/google/gps-measurement-tools/releases>
- [7] 王解先, 陈俊平. (2011). 精密定位软件研制与应用. 同济大学学报 (自然科学版), 39(5), 764-767.
- [8] SHAO GNSS AC. [http://www.shao.ac.cn/shao\\_gnss\\_ac/](http://www.shao.ac.cn/shao_gnss_ac/)
- [9] Net\_Diff. [https://github.com/YizeZhang/Net\\_Diff](https://github.com/YizeZhang/Net_Diff)
- [10] IGS. <http://www.igs.org/>
- [11] Kouba, J. (2009). A guide to using International GNSS Service (IGS) products.  
<https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/201271873-A-Guide-to-Using-the-IGS-Products>

## 附录 Net\_Diff 定位性能

作为一款 GNSS 定位软件，使用者最关心的还是软件定位性能。这里给出几种定位模式的定位结果，供读者参考。作为对照，部分结果与 RTKLIB 进行了比较。

### A1 SPP

SPP 是定位的入门，受伪距和广播星历精度限制，目前大部分软件在基本配置相近的情况下，基本结果都大同小异。唯一特殊的是 GLONASS，由于不同卫星频间偏差的存在，Net\_Diff 对其进行了模型化。下图给出了 HKSL 站使用 RTKLIB 和 Net\_Diff 的 GLONASS SPP 的定位结果和 RMS。



### A2 PPP

PPP 一直是定位研究的热点，与 SPP 类似，单系统双频 PPP 定位的模型大部分都已经比较成熟，相同配置参数下的结果应该都大同小异。对于北斗及多系

统的多频定位模型处理，不同软件的设置和支持模型不尽相同。

如前所述，Net\_Diff 支持目前所有 GNSS 系统从单频到三频的不同频点不同组合的 PPP 定位，定位配置可选择性更多。

作为比较和参考，这里选择了 IGS 的 50 个站在 2019 年 12 月 17 日至 12 月 23 日共一周的数据，分别对 GPS(G), BeiDou(C), GPS+BeiDou(G+C)进行传统的双频无电离层组合 PPP 分析，考察 Net\_Diff 的基本定位性能。

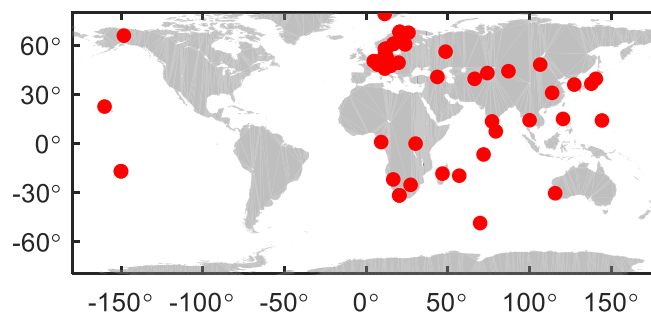


图 测站选择

下图分别给出了静态最终天解和动态半小时后 PPP 的三个方向定位精度和前两小时的平面高程收敛情况。由于数据与统计策略不同，没有与其他论文或参考进行直接比较。不过总体上，对于 GPS，静态和动态定位精度和目前其他软件的结果在相同水平。具体来说，对于 GPS 静态 PPP，平面精度约为 0.5cm，高程精度约为 0.8cm；对于北斗静态 PPP 平面精度约为 0.8cm，高程精度约为 1.3cm。对于动态 PPP，GPS 为平面 2.2cm，高程 3.4cm；北斗为平面 2.9cm，高程 5.3cm。双系统结合则效果更好。

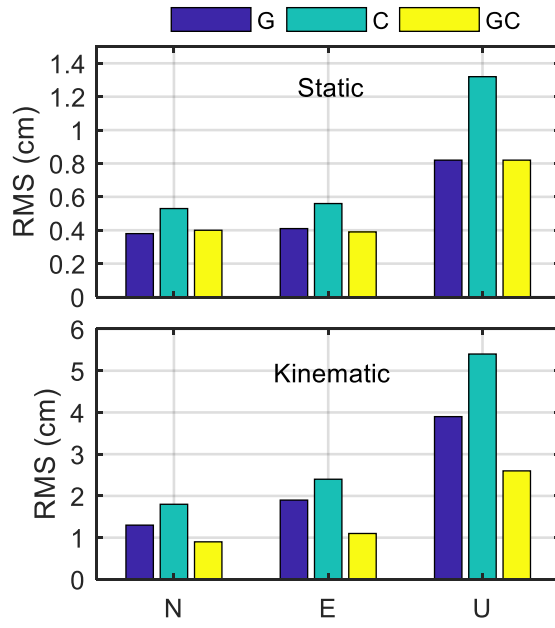


图 静态 (Static) 和动态 (Kinematic) PPP 精度

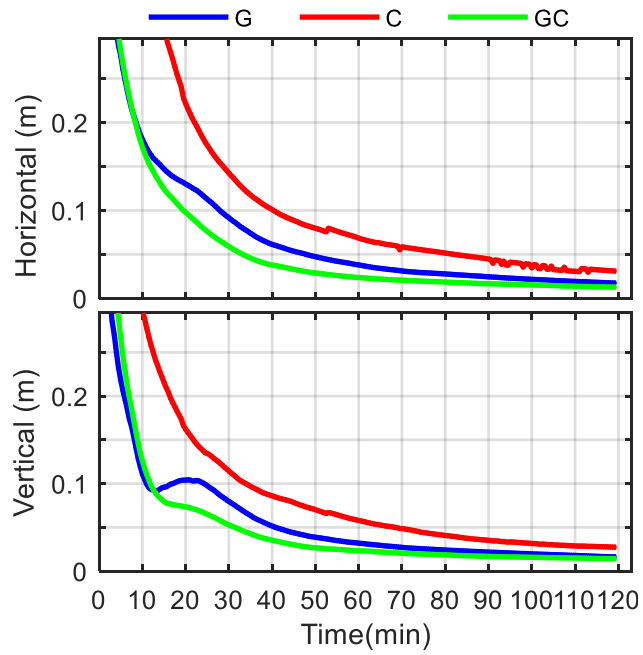


图 静态 PPP 收敛情况

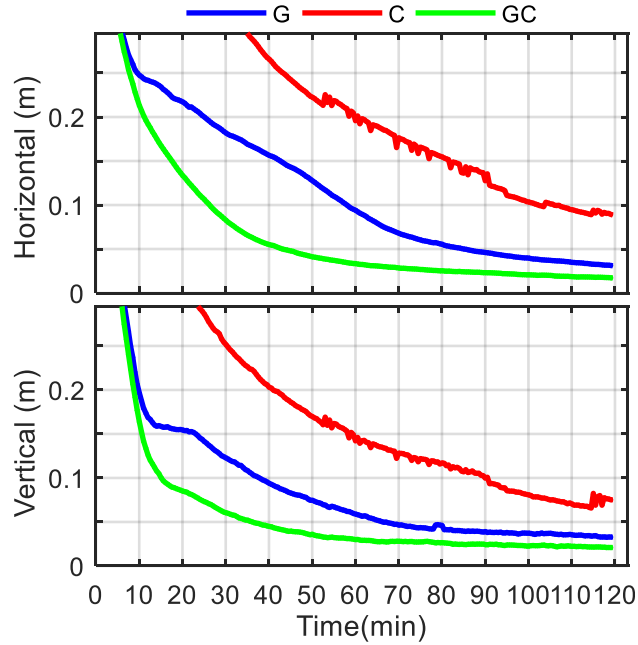
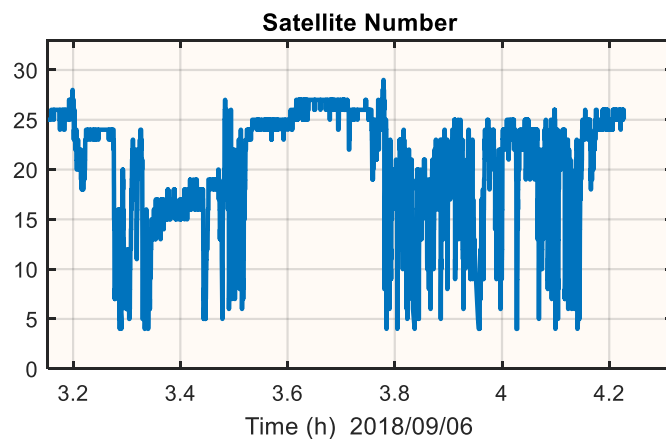


图 动态 PPP 收敛情况

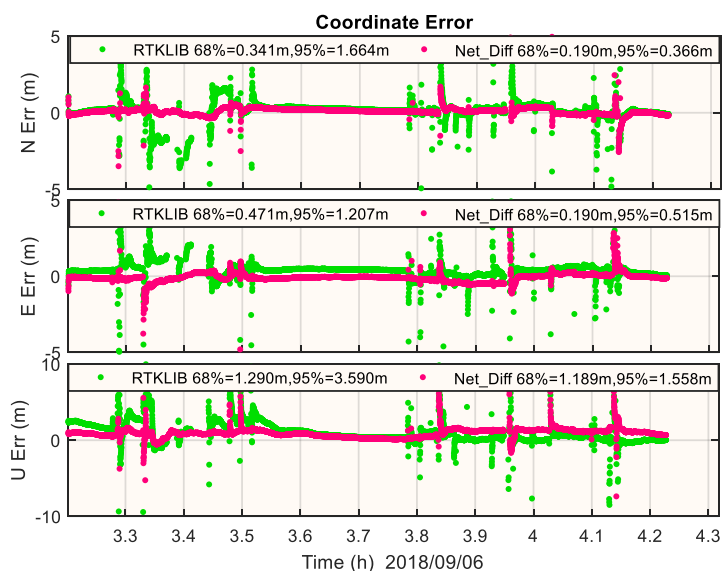
对于静态或静态模拟动态数据，因为数据质量比较好，实际上不同软件差别都大同小异。因此下面主要考察实测动态数据。对于实测动态 PPP，这里采用 2018/09/06 约 1 小时的车载数据，接收机为 Trimble Net\_R9，包含 GRCEJ 观测数据，采样间隔为 0.5s。分别使用 Net\_Diff 和 RTKLIB 进行时候动态 PPP，将定位结果与 POSLV 系统（GNSS+惯导）的结果进行比较。下图分别为车载轨迹，定位使用卫星数，Net\_Diff 和 RTKLIB 的 PPP 定位误差分布情况，可以看到 Net\_Diff 在动态 PPP 定位上相比 RTKLIB，抗差性更好。



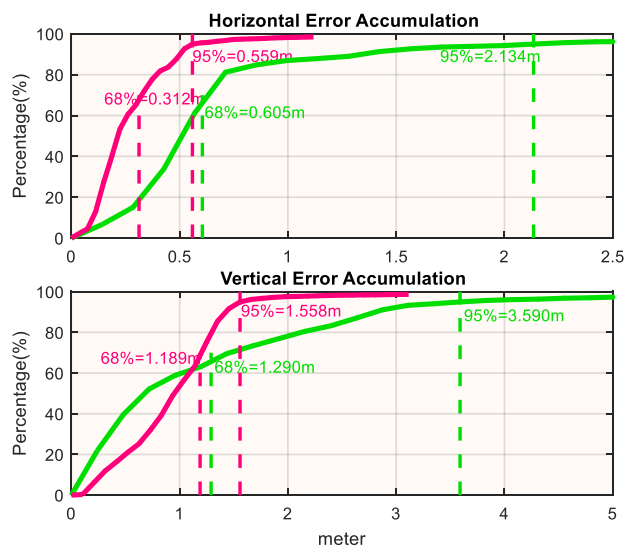
### 车载测试行驶轨迹



### 可用卫星数



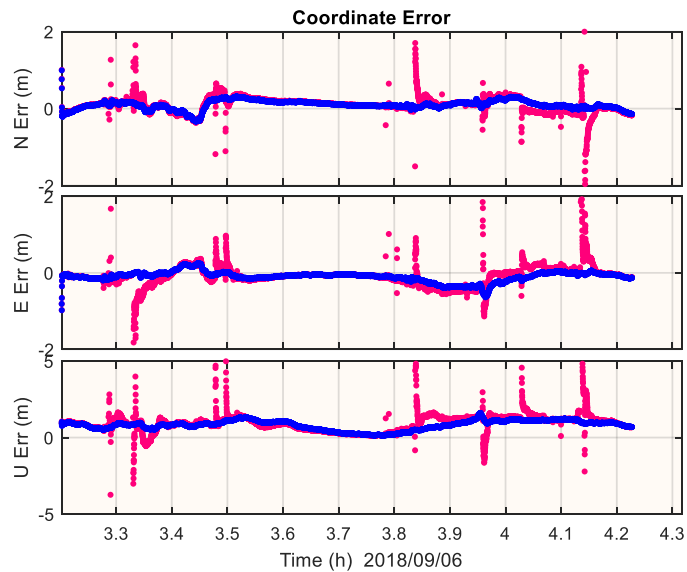
NEU 三个方向的定位误差，绿色为 RTKLIB，红色为 Net\_Diff





水平和高程方向上的累积误差，绿色为 RTKLIB，红色为 Net\_Diff

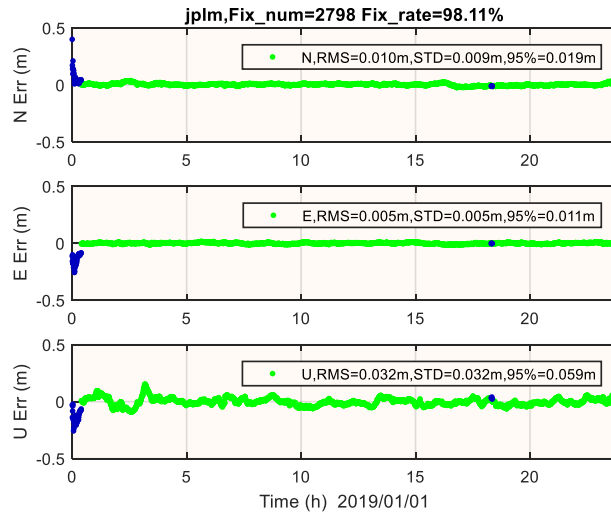
另外，如果结合 IMU 数据，可将粗差有效剔除，见下图蓝色结果。



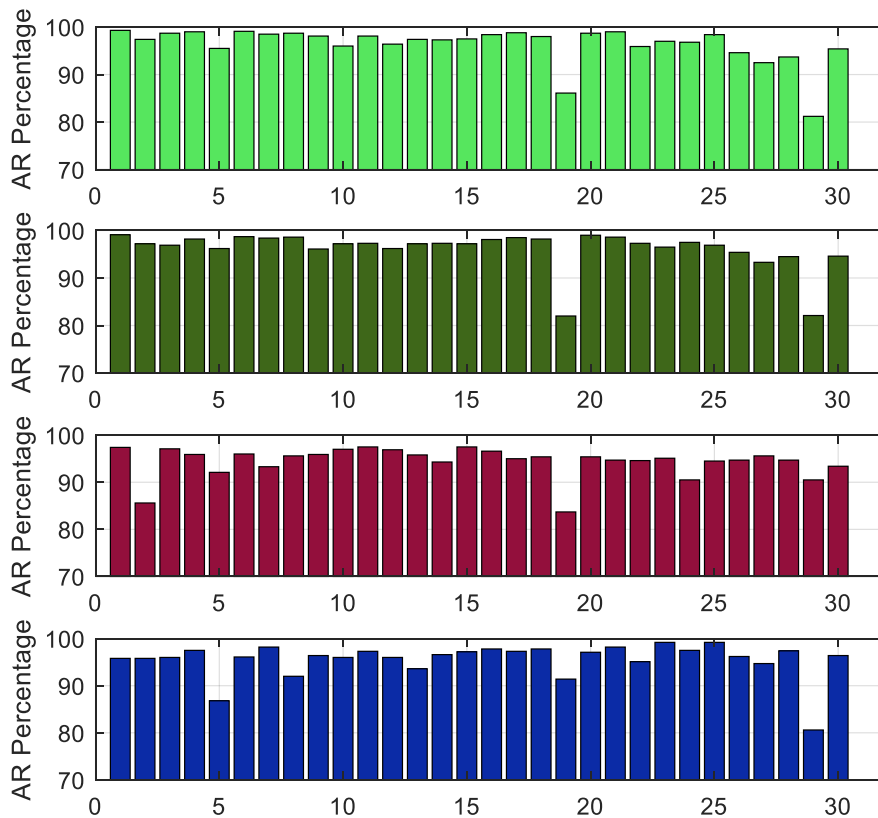
### A3 PPP-AR

目前 Net\_Diff 支持根据 CNES, WHU 或 JAXA 提供的伪距相位偏差进行多系统 PPP-AR。

作为测试,采用 WHU 提供的 GPS 伪距相位偏差改正进行定位。以 2019/01/01 的 jplm 站为例, PPP-AR 动态定位结果如下, 其中绿色为模糊度固定部分, 蓝色为浮点解。可以看到大概半小时后开始输出固定解, 固定率为 98% (图中 RMS 和 STD 为模糊度固定后的统计结果)。



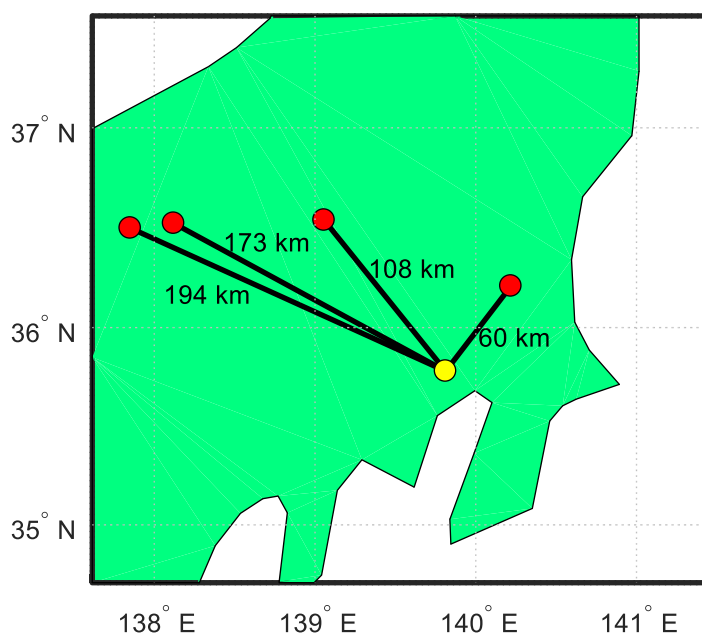
另外，采用 CNES 提供的偏差产品，对 4 个 IGS 站连续 30 天的数据进行了 GPS PPP-AR 动态测试，结果见下图，固定率大部分天数都在 95% 以上。可以预见，若使用多 GNSS 系统，定位性能和首次固定时间将进一步改善。



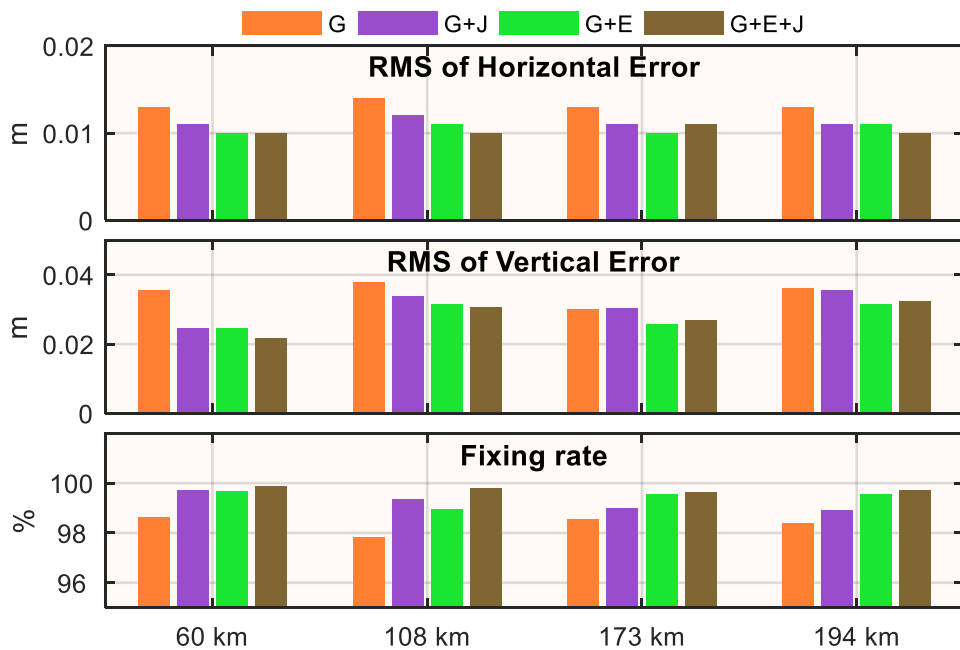
## A4 RTK

RTK 的思路和参数设置主要参考了 RTKLIB，目前静态短基线大部分软件都处理地很好，这里主要比较长基线和实测动态的定位结果。

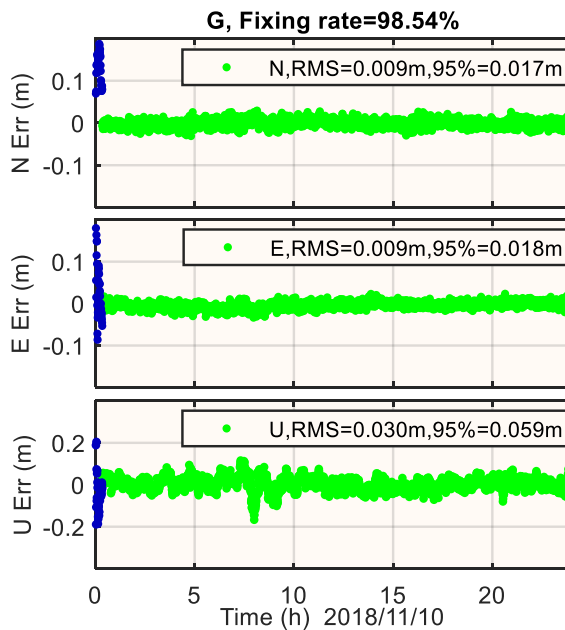
作为长基线测试，用了 2018/11/10 的四条基线，位于东京及附近，基线长度 60~200km 不等。



RTK 定位精度和模糊度固定率如下，可以看到平面精度约 1cm，高程精度约 3cm，固定率在 98% 以上，未固定部分主要在初始化阶段。



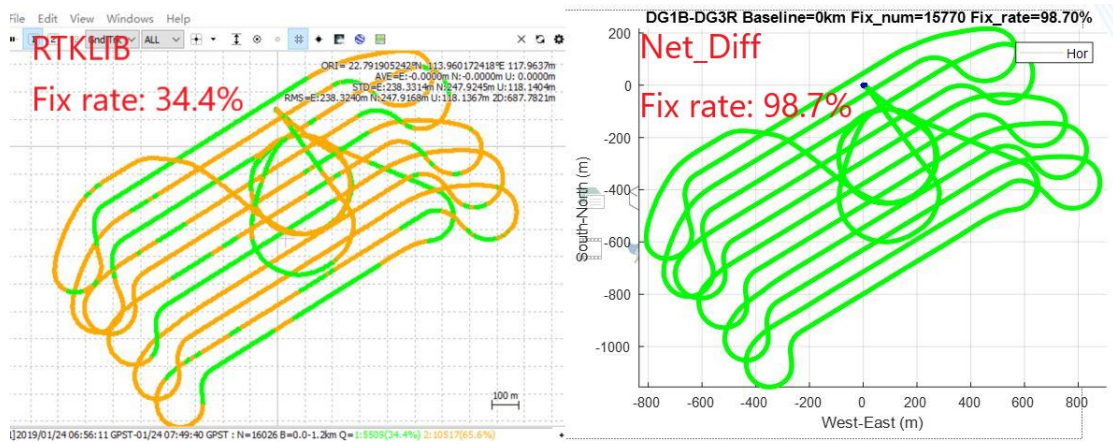
其中一条 173km 的 GPS 单系统定位结果如下,绿色部分表示模糊度已固定。



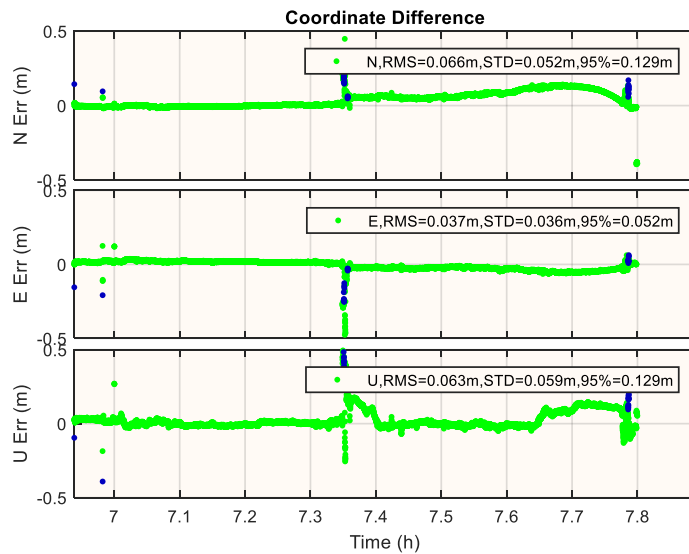
对于实测动态 RTK, 一共使用了两个测试数据, 一个是无人机数据, 一个是城市环境下的车载数据。

无人机数据使用的是 NovAtel OEM6 双频 GPS+GLONASS+BeiDou 数据, 数据时间为 2019/1/24, 数据时长约 1 个小时, 采样间隔为 0.2s。分别使用 RTKLIB

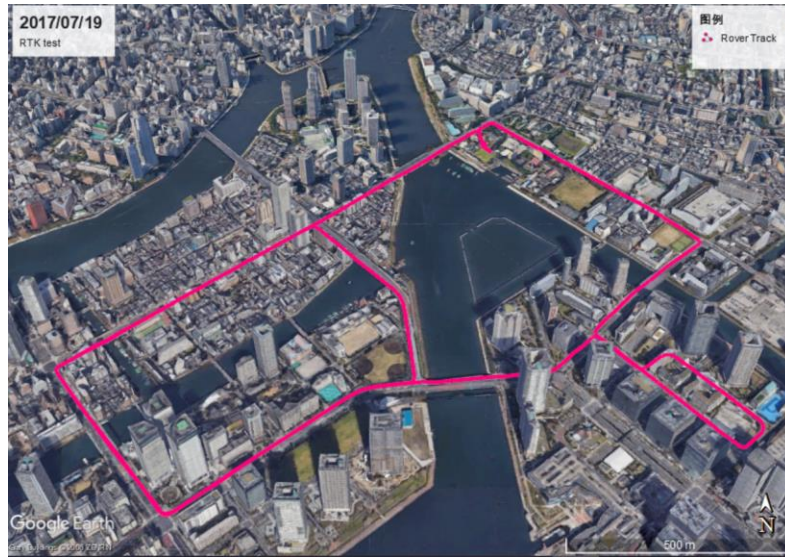
和 Net\_Diff 进行短基线 RTK 处理，模糊度固定率如下图。可以看到 Net\_Diff 接近 100% 固定，RTKLIB 则比较差，主要因为 RTKLIB 中未使用部分模糊度固定。



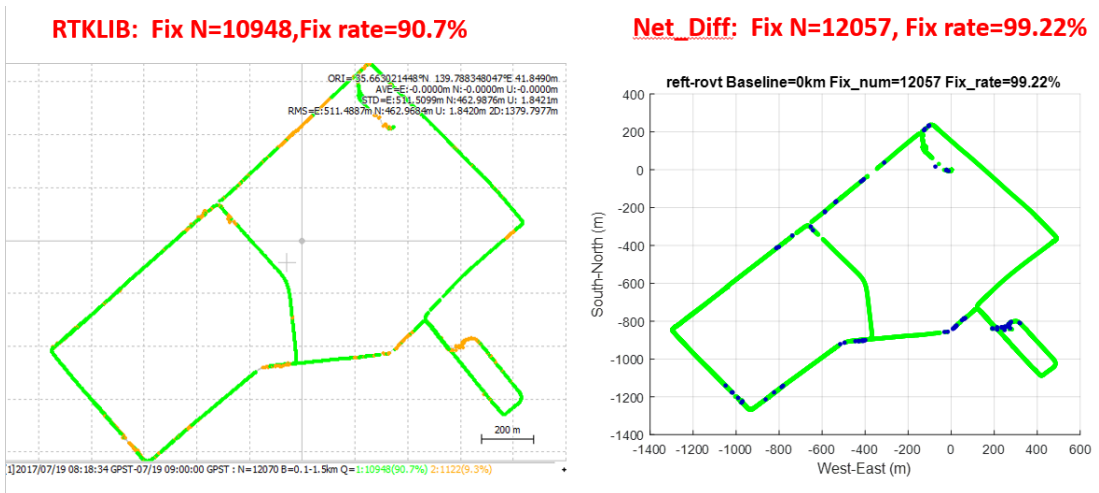
在定位精度上，将 Net\_Diff 与 NoaAtel 的 Inertial Explorer (IE) 软件结果进行了比较 (IE 使用了 GNSS/INS 组合)。Net\_Diff 的 RTK 定位精度如下图，可以看到平面和高程精度均在 cm 级。



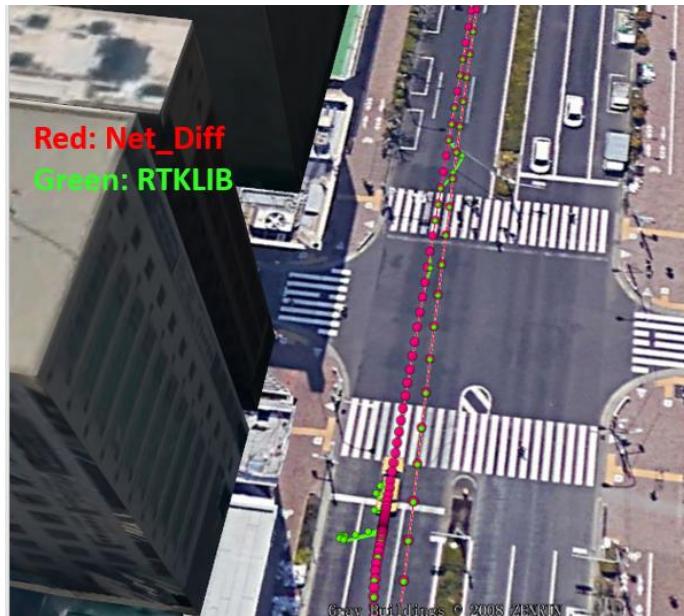
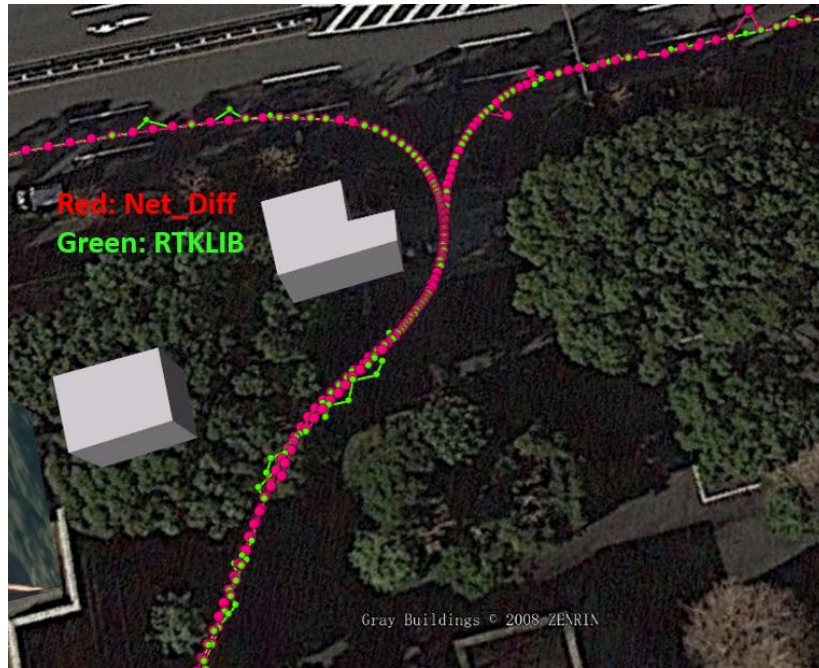
对于车载数据，使用 Trimble Net\_R9 接收机在 2017/07/19 于东京采集的动态数据，数据时长约为 40 分钟，采样间隔为 0.2s。车载轨迹见下图。

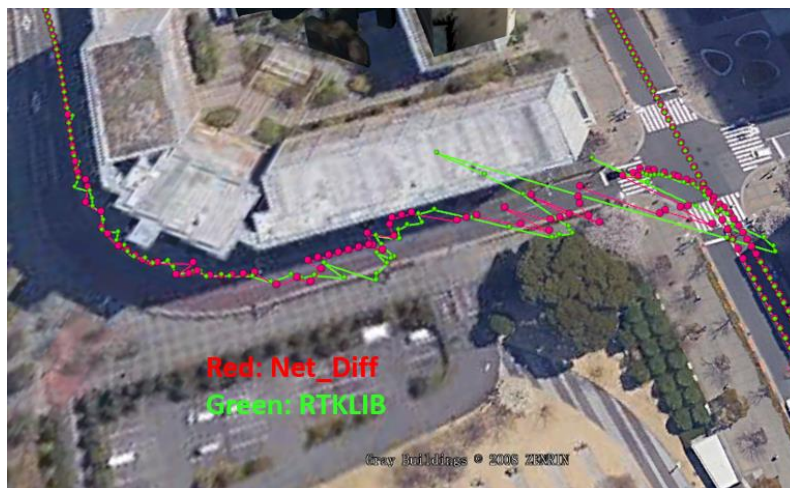


下图是 RTKLIB 和 Net\_Diff 的总体模糊度固定情况，分别为 91%和 99%。



再看一些复杂场景下两个软件的定位情况：





## A5 PPP-RTK

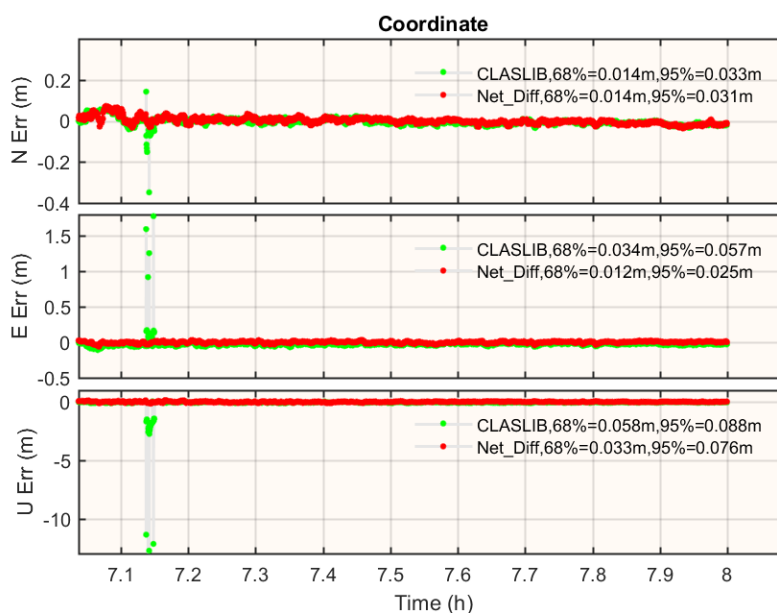
这里的 PPP-RTK 主要是指 QZSS 提供的 CLAS 服务, 需要注意的是 CLAS 的服务范围只针对日本境内。Net\_Diff 在 Tool 中集成了 QZSS 官方提供的 CLASLIB 定位软件, 并对 CLASLIB 进行改进, 支持低成本接收机如 ublox 的 CLAS 定位, 用户可以根据 CLAS 的 ICD 文件进行使用。另外, Net\_Diff 也在 CLASLIB 提供



的 OSR 的基础上，实现基于 CLAS 的 PPP-RTK 定位。

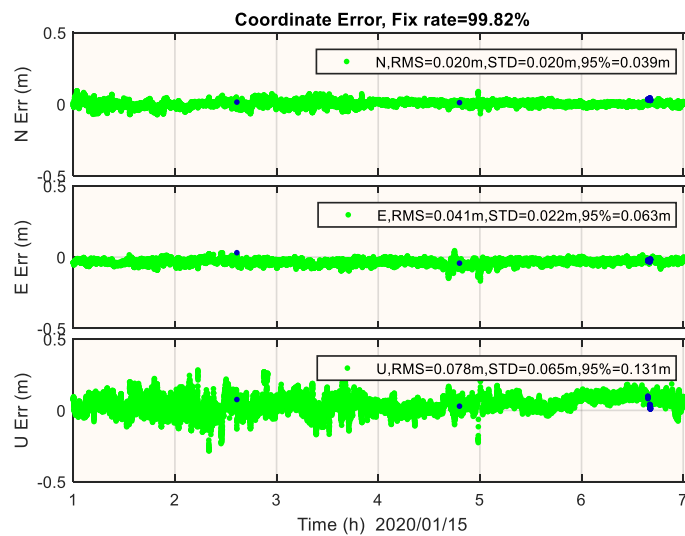
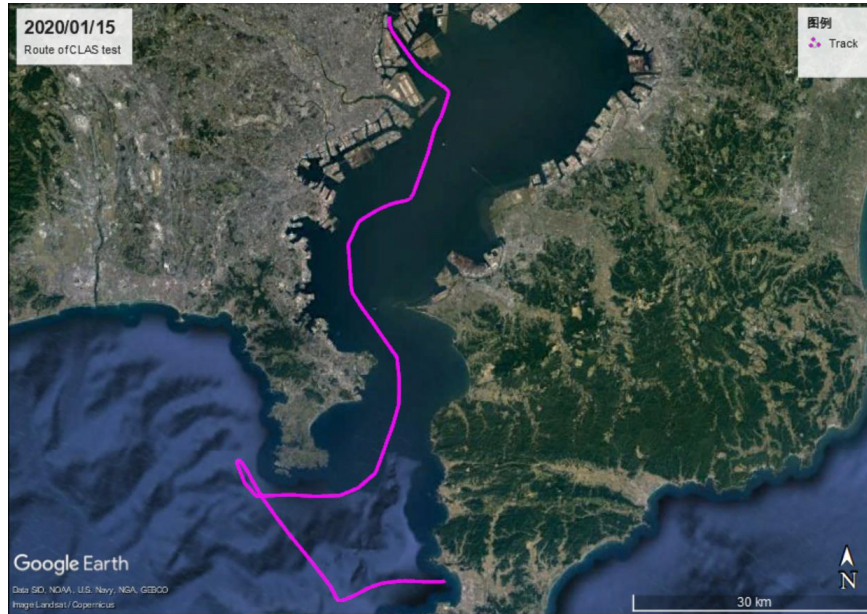
下面给出三个例子，分别为一个 ublox 静态模拟动态，一个 Trimble 船载动态数据，一个 Trimble 车载动态数据。

首先是静态数据，下图是 2019/12/02 位于东京，采样间隔为 1 秒的 ublox-F9 一小时的静态模拟动态定位结果，分别为 CLASLIB（绿色）和 Net\_Diff（红色）的结果比较。其中 CLASLIB 的固定率为 98.8%，Net\_Diff 的固定率为 100%。若只比较固定解，则二者定位精度相当，RMS 均在水平 2cm，高程 3cm 左右（CLAS 官方指标为水平 7cm，高程 12cm）。对于首次固定时间（TTFF），本次结果中 CLASLIB 为 5s，Net\_Diff 为 1s（CLAS 官方指标为 95%在 60s 内）。

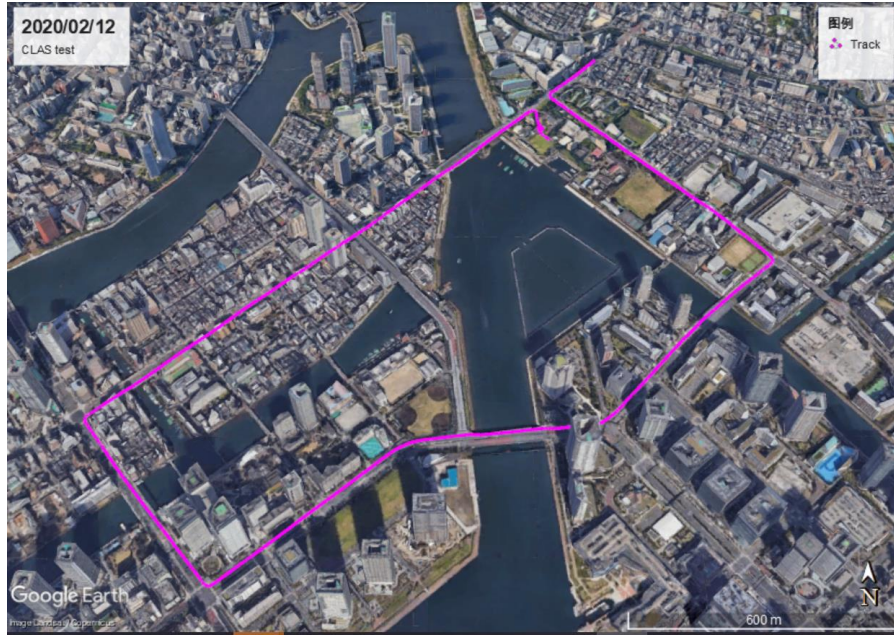


船载实验为 2020/01/15，从东京出发至千叶县馆山市，数据时长一共约 6 个小时，采样间隔为 1s，船舶行驶轨迹见下图，接收机同样为 Trimble Net\_R9。将定位结果与长基线 RTK 结果进行比较（RTK 前后滤波固定率接近 100%，认为其精度为水平 1cm，高程 3cm），可以看到，使用 Net\_Diff 的 CLAS PPP-RTK 固定率为 99.82%，定位精度 RMS 为水平 4.5cm，高程 7.8cm（满足 CLAS 官方指标）。

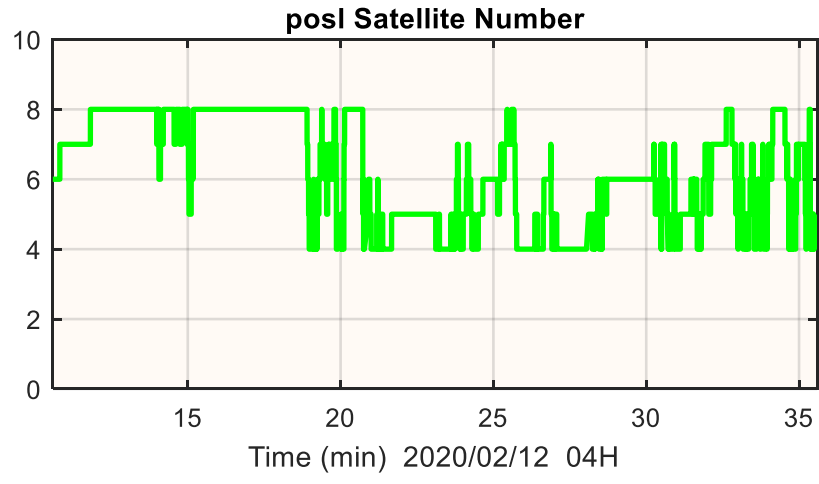
另外可以看到,图中第一个历元即固定了模糊度。为了进一步验证首次固定时间,每隔 10 分钟将滤波重新初始化,发现结果和图中一样,也即在此段数据和此次时间范围内,CLAS 可以实现瞬时固定模糊度!



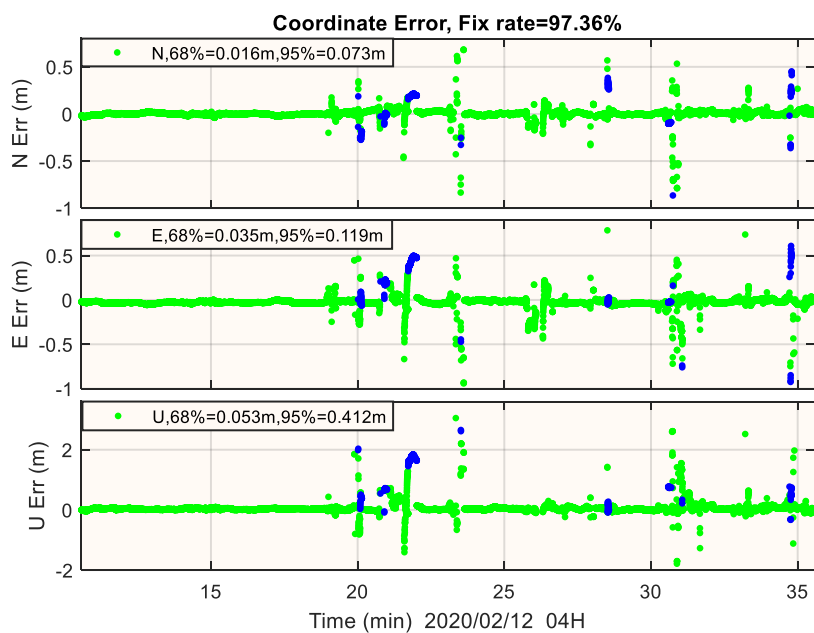
车载实验为 2020/02/12 在东京使用 Trimble Net\_R9 采集的数据,数据时长约为 25min, 采样间隔为 0.1s。下图是车辆行驶轨迹。



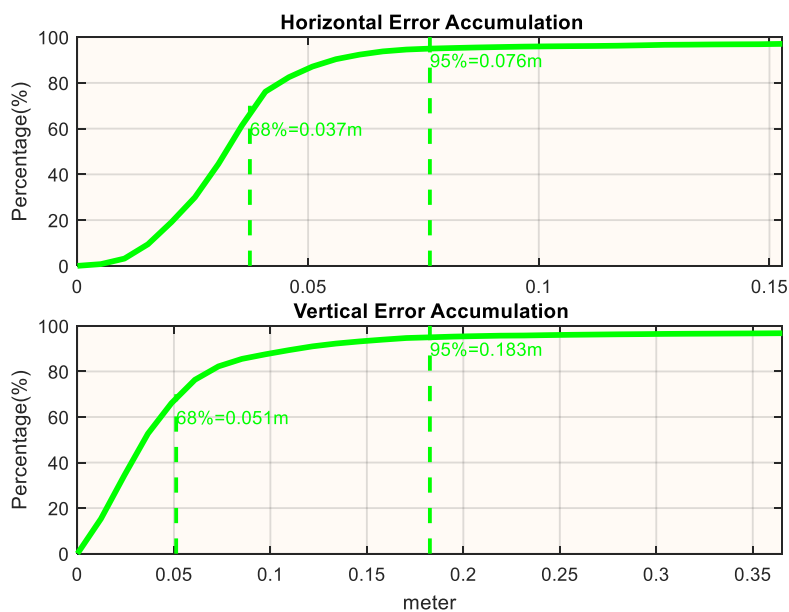
将 Net\_Diff 的 CLAS 定位结果与短基线 RTK 结果比较。需要注意的是虽然 RTK 固定率达到 99.6%，但仍存在错误固定的点。下图是 CLAS 定位可用卫星数，误差时间分布及累积情况。可以看到，由于建筑物信号遮挡等原因，可用卫星数较少（部分时间段无法定位）。模糊度固定率虽然达到 97.36%，但存在许多错误固定的点（作为参考的 RTK 结果也存在错误固定情况）。但统计结果上看，平面和高程定位精度仍然满足 CLAS 官方指标（95%平面小于 12cm，高程小于 24cm）。



可用卫星数(不含参考卫星)



NEU 方向定位误差 (绿色为固定解, 蓝色为浮点解)



平面和高程误差累积 (只统计固定解)

对于动态数据，采用 2019/09/26 在东京湾的船上数据，接收机为 Trimble Net\_R9，数据时长约为半个小时，采样间隔为 1s。下图是船舶行驶轨迹。



定位结果与 Trimble 的 SPS 结果比较 (精度 3~4cm)。同样分别使用 CLASLIB 和 Net\_Diff，下图是两个软件的平面和高程方向误差积累的概率图。可以看到 Net\_Diff 在定位精度上略优于 CLASLIB，但两个软件定位精度均超过了 CLAS 官方指标，部分原因是经过桥下时受信号遮挡的影响。

