

项目编号 S2016784

武汉大学大学生创新创业训练计 划项目科研总结

基于多系统多频率 GNSS 的在线 精密位置服务系统研究

院（系）名 称：测绘学院

专 业 名 称 ： 测绘工程

学 生 姓 名 ： 万杨阳 孙章宇 徐德东

指 导 教 师 ： 耿江辉 教授

二〇一七年三月

摘 要

精密位置服务是当今人类越来越精细的社会活动推进到地球的各个角落所产生的必然需求，然而，经典的仅基于 GPS 的位置服务存在可用性和可靠性不足等潜在问题，当前多系统多频率 GNSS（Global Navigation Satellite System）的快速发展为解决这些问题提供了一个重要契机。但是，相关计算平台对普通大众用户和一些专业用户并不开放、易用和免费。本课题面向普通大众和一些专业用户对室外精密位置服务的探索、尝试、研究和作业需求，依托武汉大学 GPS 中心现有的专业 GNSS 资源，融合最新的网络通信和交互服务技术，建立我国开放式的在线多系统多频率 GNSS 精密位置服务系统。本项目由一名 2013 级测绘学院测绘工程学生万杨阳以及两名 2014 级测绘学院导航工程学生孙章宇和徐德东完成，在此次项目中我们将自己所学知识成功运用于项目开发，同时所有团队成员也在完成项目的过程中提高了合作创新的能力。非常感谢 GPS 中心耿江辉老师的悉心指导，没有他的鼓励和引导，我们团队无法顺利地进行系统的设计和开发。

关键词：多系统多频率 GNSS；在线精密位置服务系统；系统框架；前端设计；后台运营

目录

| | |
|--------------------|----|
| 一、项目背景..... | 1 |
| 二、成员介绍..... | 1 |
| (一) 团队成员..... | 1 |
| (二) 指导教师..... | 2 |
| (三) 团队分工..... | 2 |
| 三、创新特色..... | 2 |
| 四、项目成果..... | 3 |
| (一) 前端设计..... | 4 |
| (二) 后台设计..... | 6 |
| 4.1 数据预处理..... | 6 |
| 4.2 星历、轨道数据下载..... | 6 |
| 4.3 生成报告..... | 7 |
| 4.4 报告内容..... | 8 |
| 五、收获体会..... | 13 |

一、项目背景

精密位置服务是当今人类越来越精细的社会活动推进到地球的各个角落所产生的必然需求，然而，经典的仅基于 GPS 的位置服务存在可用性和可靠性不足等潜在问题，当前多系统多频率 GNSS（Global Navigation Satellite System）的快速发展为解决这些问题提供了一个重要契机。但是，相关计算平台对普通大众用户和一些专业用户并不开放、易用和免费。本课题面向普通大众和一些专业用户对室外精密位置服务的探索、尝试、研究和作业需求，依托武汉大学 GPS 中心现有的专业 GNSS 资源，融合最新的网络通信和交互服务技术，建立我国开放式的在线多系统多频率 GNSS 精密位置服务系统。

二、成员介绍

（一） 团队成员

万杨阳：项目负责人，男，2013 级测绘工程卓越班学生。学习成绩优异，创新、实践能力突出，对网站开发有浓厚的兴趣，有较强的组织协调能力。两次获得国家励志奖学金和优秀学生称号，并且获得过大学生数学竞赛湖北省三等奖。大二暑假期间进入湖北省测绘局实习，凭借认真负责的态度以及突出的计算机能力获得单位同事和领导的一致好评。大二期间负责并圆满完成了一项 2015 年度校级大学生科研项目，并且参与了武汉市勘测设计院“控制测量工具集”的开发，负责其中两个板块。对 GNSS 定位相关理论和方法进行了深入的学习，可以在项目开发中起到带头作用。

孙章宇：男，2014 级导航工程专业学生。学习成绩优异，创新思维活跃，获得过 2015 年国家奖学金以及三好学生的称号，深受老师的认可。在大一大二期间，做过关于卫星导航的实习，参加过一些科研项目，编程能力突出，获得过 2015 年度测绘技能大赛软件板块三等奖。不怕困难和挑战，有激情，有创造力，勇于批判和怀疑，学习了导航定位的相关课程，对 GNSS 定位技术的应用方面有极大的兴趣和热情。

徐德东：男，2014 级导航工程专业学生。学习踏实认真，乐于钻研，勇于创新，对科研有着浓厚的兴趣，有良好的集体意识和团队合作精神。熟练掌握 C++、PHP 等程序设计语言。系统地学习并掌握了导航定位基本理论与方法，有

很强的编程能力和实践能力。大二期间有进行过网站开发实习，对于将专业知识与编程能力相结合建立基于多系统多频率 GNSS 的在线开放精密位置服务系统有极大的热情。

（二） 指导教师

课题指导老师耿江辉教授是武大 GPS 中心 2015 年引进的青年千人，关注着多系统多频率 GNSS 定位算法最新发展，对于国外 GNSS 数据解算平台有充分的了解，对于本次项目给予了大力的支持。

（三） 团队分工

- 1) 万杨阳负责项目的总体把握和进度安排，工作总体协调，设计网站的前端界面以及对网站进行推广工作；
- 2) 孙章宇项目的总体把握和进度安排，工作总体协调，设计网站的前端界面以及对网站进行推广工作；
- 3) 徐德东项目的总体把握和进度安排，工作总体协调，设计网站的前端界面以及对网站进行推广工作。

三、创新特色

公开的面向大众精密位置服务需求的在线多系统多频率 GNSS 数据处理平台。多系统多频率 GNSS 数据处理是当前 GNSS 发展的一个热点。相对于 RTKLIB 等桌面软件需要设置复杂的选项、提供卫星星历文件，且多系统多频率 GNSS 功能不完善的不足，以及商业软件的昂贵购置和培训成本，本课题所研制的计算平台是一个在线服务系统，无须用户安装和购买，其基本模式只需要用户提供 RINEX 文件即可，同时对于需要更高精度解算结果的用户，高级模式下也可以对数据解算过程进行更加精确的设置，实行完全免费的大众专业服务模式，可以将对于解算多系统多频率 GNSS 数据的最新科研进展及时推广到大众应用实践中去。

相对于国际上类似的在线服务，其数据处理延迟很小，能够实现近实时处理。由于国际上类似的网站（如加拿大的 GAPS-PPP、美国的 APRS）服务器架设在

国外，其数据处理存在一定的延迟，有时甚至不能访问这些网站。同时本系统将能够使用武汉大学 GPS 中心的实时 GNSS 卫星轨道和高频卫星钟差产品，极大地提高数据处理的时效性，可以做到近实时处理。

四、项目成果

本项目旨在建立可以为普通大众用户和一些专业用户提供在线开放式的精密单点定位解算的服务系统，系统的技术架构如下图所示。

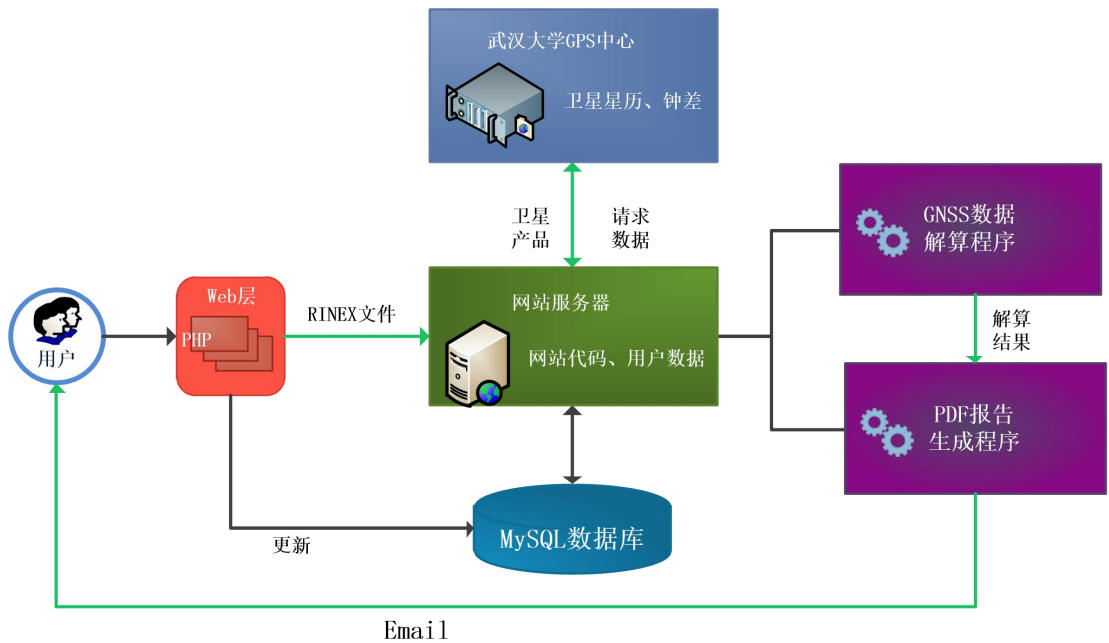


图 4.1 网站架构图

(1) 用户将 GNSS 观测文件通过厂商自带软件转换成 RINEX 格式文件后，通过网页接口将其提交到 Web 服务器，Web 服务器生成计划任务脚本，定时检测数据是否解算完成。网页提供两种模式的接口，简易模式和高级模式，简易模式只需要输入 RINEX 文件和 Email 地址，适合于对 GNSS 解算流程不了解或者不够熟悉、对解算精度要求不高的用户，高级模式可以设置截止高度角、采样间隔、对流层延迟模型、天线类型等，适合于对解算精度有更高要求的用户。

(2) 通过 TEQC 程序检测 RINEX 文件格式是否符合要求，以及 GNSS 数

据的电离层延迟、多路径影响、接收机周跳、卫星信号信噪比等信息。

(3) RINEX 文件提交到 Web 服务器后, 服务器脚本程序会检测 IGS 是否已经发布该观测时段的卫星轨道、钟差产品, 如果已经发布, 则采用 IGS 精密卫星星历、钟差产品, 如果尚未发布, 则采用 IGS 武汉大学数据中心快速卫星轨道、钟差产品, 将相应的卫星轨道、钟差产品下载到网站的服务器上。

(4) 使用 SRI 程序解算 GNSS 观测数据, 生成测站位置、天顶对流层延迟等信息。

(5) 生成 GNSS 数据解算报告, 包括数据质量、解算精度、测站位置时间序列图、天顶对流层延迟图等。

(6) 通过 Email 返回解算报告给用户。

(一) 前端设计

本站前端设计采用了 Bootstrap 框架。网页主要使用 HTML、CSS、JAVASCRIPT 进行设计, 以下是本站的各个页面:

图 4.2 所示为本站首页, 主要是对于本站的基本介绍以及用户提交文件所需要注意事项。



图 4.2 网站首页

图 4.3 为本站为解算精密单点定位所提供的一种解决方案，用户只需要上传观测文件、填写邮件地址、选择截止高度角及观测站状态后提交表单，等待 4-5 分钟，解算结果所生成的 pdf 报告即可发送到用户的邮箱。

主页 关于我们 联系我们 解决方案 ▾

PPP 基本模式

观测文件 * [Browse ...](#)

邮件地址 *

截止高度角 (deg)

观测站状态 ☒ 静态 ☐ 动态

[提交](#)

图 4.3 基本模式

图 4.4 为解决方案的高级模式，用户上传观测文件，填写邮箱地址之后，可以根据自己的实际需求选择其他可选选项，如选择电离层文件、对流层模型、屏蔽卫星等。



主页 关于我们 联系我们 解决方案

PPP 高级模式

必填项

观测文件 * Browse ...

邮件地址 *

电离层

对流层

观测值

其他项

提交

图 4.4 高级模式

(二) 后台设计

4.1 数据预处理

- 1) 使用 RTKLIB 软件和 RINEX 观测文件计算出解算所需要的测站初始坐标
- 2) 使用脚本程序生成跳秒文件
- 3) 移动地球固体潮等解算必须的文件到观测文件目录下

4.2 星历、轨道数据下载

进行精密单点定位的解算不仅需要 rinex 文件（以.yy0 结尾的文件），还需要卫星的位置，也就是星历文件，潮汐文件，跳秒文件等等，卫星星历文件需要自己下载，其他文件在 templateFile 文件夹下，解算的时候直接将这些文件移动到

同一个文件夹下即可进行解算。

卫星的星历文件是我们在 Linux 服务器上使用 `sp3orb.csh` 这个脚本文件从 GPS 中心和相关网站上下载下来的实时星历（图 4.5 为从武大 GPS 数据中心下载的卫星产品示意图）。

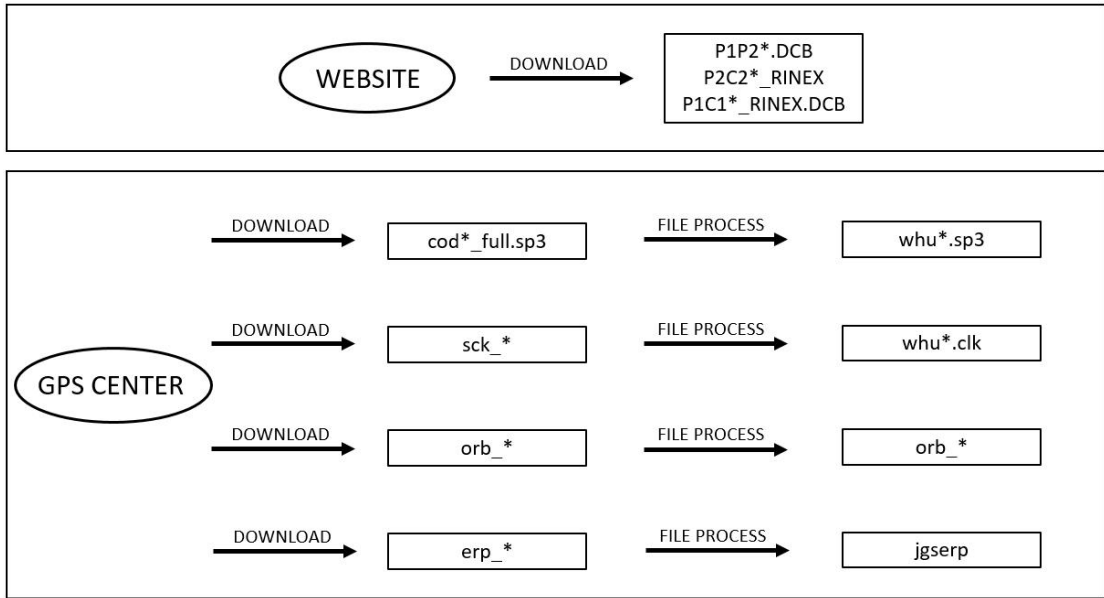


图 4.5 精密卫星产品下载

P1P2*.DCB、P2C2*_RINEX、P1C1*_RINEX.DCB 为 GPS 差分码偏差(DCB)产品,可以从 IGS 的 ftp 上获得。

whu*.sp3 是精密星历文件,可以从 IGS 武大数据中心获得,或者使用其他数据中心的产品。*部分指的是 GPS 周,因为观测数据有可能是连续几天的,我们需要对下载的多个精密星历文件进行处理,将几天的合并到一个文件中 whu*.clk 文件是通过从服务器上下载 sck_*文件改名,同理,可能因为观测数据涉及到多天,我们同样需要将这多天的数据进行处理,合并到一个文件中。

orb_*文件是轨道产品,此文件每 6 个小时产生一个,所以我们需要根据观测时间去判断应该下载所需的一个或者多个文件,再将这些文件合并即可。

4.3 生成报告

所有的数据解算完成后,我们会将这些解算结果绘制成 PDF 文档的形式(图 4.2), PDF 文档中包含了相关精度统计信息,以及最后通过图形展示的解算结果,

制成的 PDF 文档最后会通过邮件的形式发送给用户。

绘制 PDF 报告时主要采用了 TCPDF 和 jgraph 等 PHP 库。


TCPDF 是一个流行的用于生成 PDF 文档的 PHP 类，是当前唯一完整支持 UTF-8 Unicode 以及从右至左书写的语言包括双向文稿的 PHP 库，TCPDF 也是最多人使用的 PHP 库之一，因为最流行的一些基于 PHP 的内容管理系统中都带有 TCPDF，包括：Joomla, Drupal, Moodle, phpMyAdmin, TCExam, Xoops, Elxis CMS, ImpressCMS, JELIX Framework PHP5, SugarCRM, Symfony, TYPO3, Vtiger CRM, Yii Framework, CMS Made Simple 等。

jgraph 是掌握复杂抽象的画图函数，它专门提供图表的类库，只需要从数据库中取出相关数据，定义标题，图表类型，之后就可以用 jgraph 画出我们需要的结果图形了。

4.4 报告内容

报告中包括了在线精密单点定位系统的解算内容，包括测站的基本信息（测站名、观测文件名、观测值开始时间、观测值结束时间、观测日期、提交时间、解算耗时），系统配置信息（定位类型、GPS 轨道钟差产品、载波相位先验中误差、截止高度角、电离层数据、对流层模型、映射函数、对流层过程噪声），仪器信息（接收机类型、天线类型），初始坐标（笛卡尔坐标），残差（载波相位、测码伪距）（图 4.6）。

同时，报告中还包含了用 jgraph 绘制出的各种结果图，包括星空图（图 4.7）、载波相位残差图（图 4.8）、测码伪距残差（图 4.9）、天顶对流层延迟（图 4.10）、坐标时间序列图（图 4.11）。



CENTER 武汉大学卫星导航定位技术研究中心
NSS 国家卫星定位系统工程技术研究中心

在线精密单点定位系统

解算报告

2016-09-06

基本信息

测站名: K0183154
观测文件名: K0183154.150
观测值开始时间: 2015 11 11 07 44 40.000
观测值结束时间: 2015 11 11 08 50 50.000
观测日期: 2015 11 11
提交时间: 2016-09-06 22:41:08
解算耗时: 0 分钟

系统配置

定位类型: 动态
GPS轨道钟差产品: IGS Final
载波相位先验中误差: 0.006 m
测码伪距先验中误差: 1.000 m
截止高度角: 10
电离层数据: NO
对流层模型: PWC:60
映射函数: GMF
对流层过层噪声: .01 m

仪器信息

接收机类型:
天线类型: CHC-T5

初始坐标

笛卡尔坐标(X,Y,Z): (-2267949.235600,5008559.026600,3222125.188700) m

图 4.6 报告封面以及文字信息页面

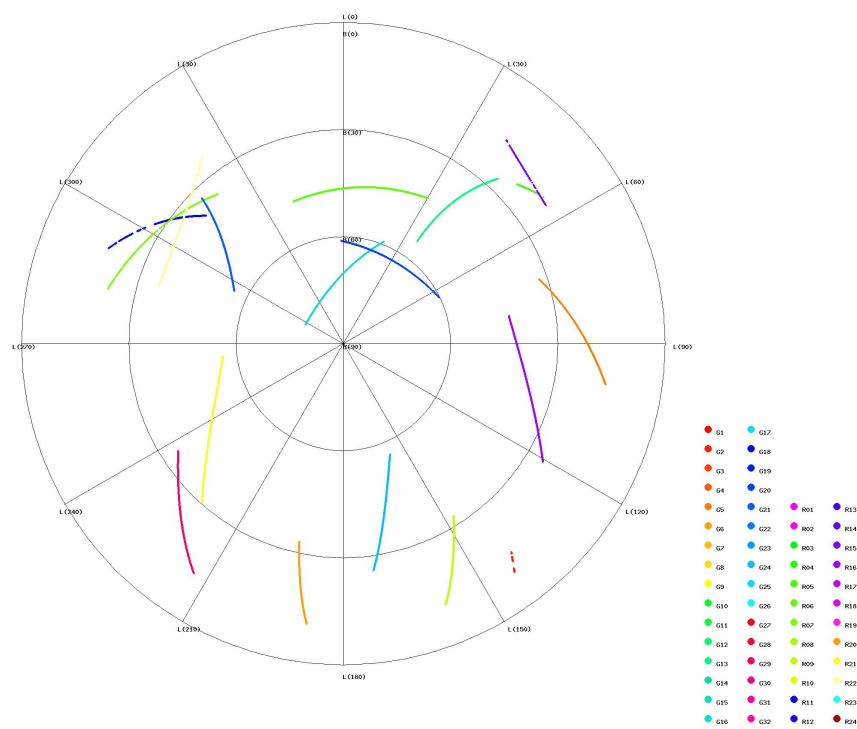


图 4.7 星空图

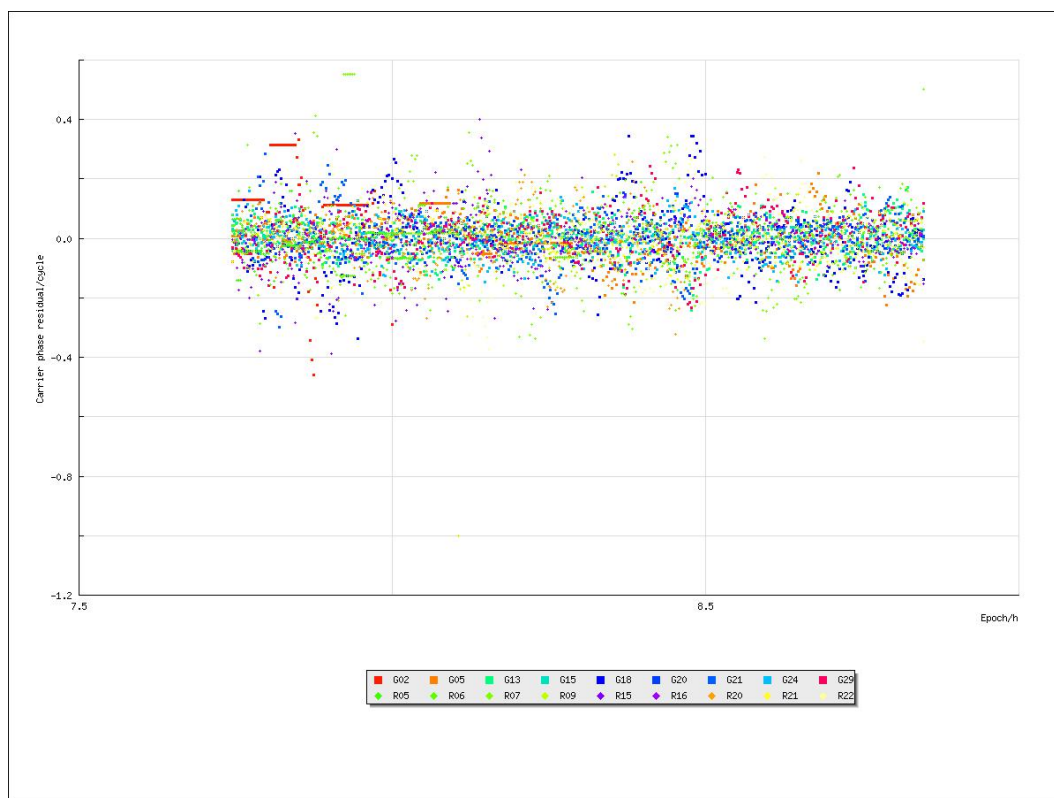


图 4.8 载波相位残差

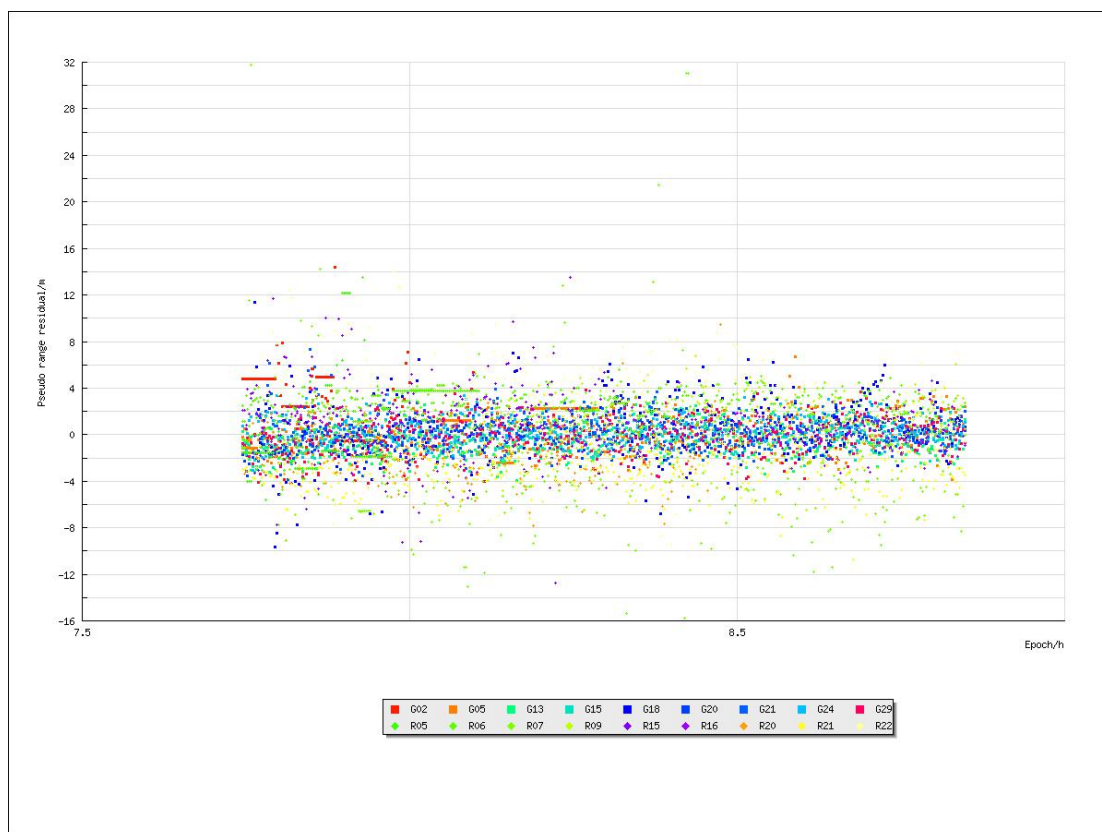


图 4.9 测码伪距残差

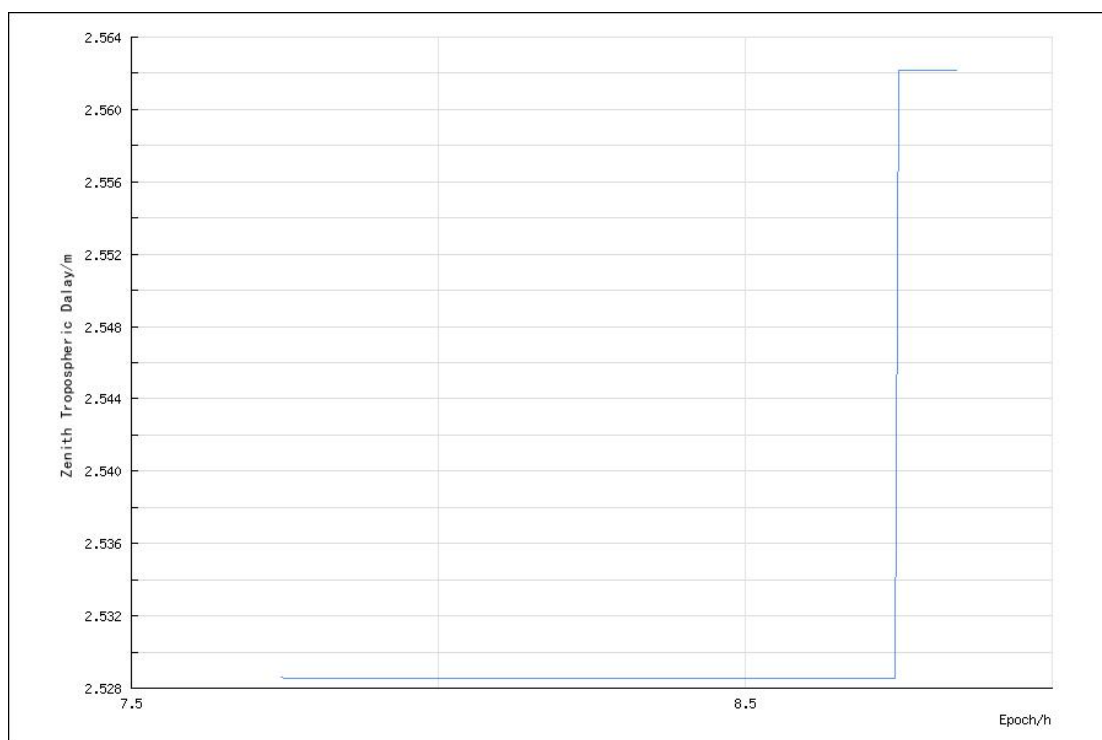


图 4.10 天顶对流层延迟

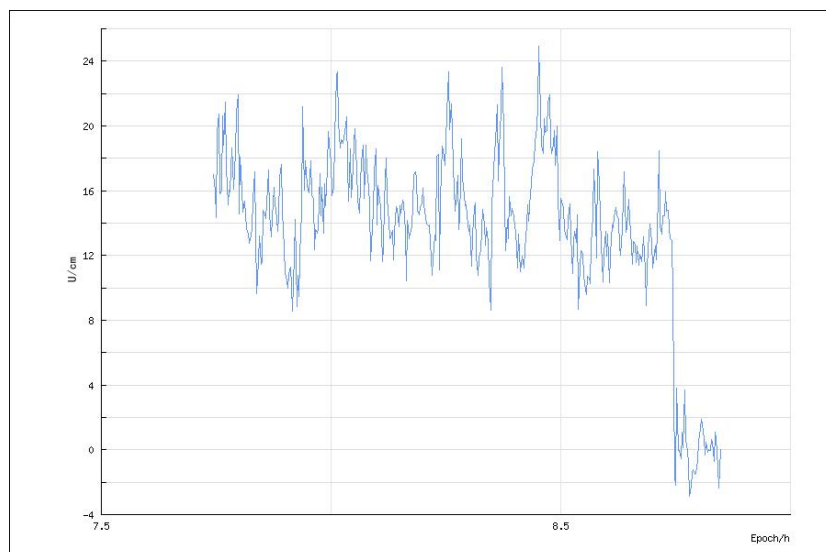
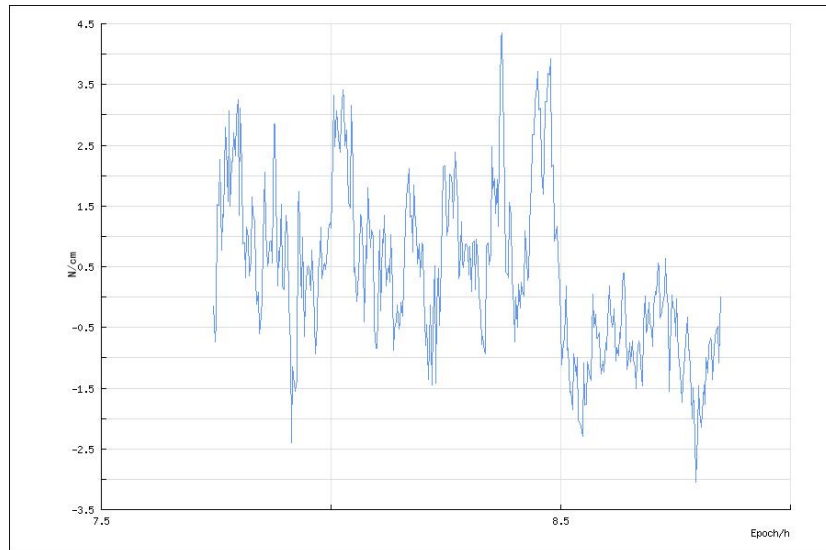
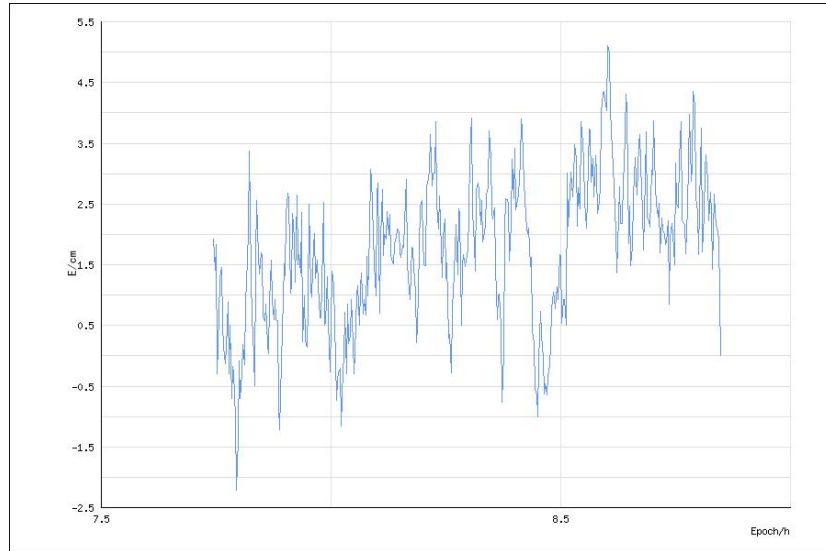


图 4.11 北、东、高坐标时间序列图

五、收获体会

二零一六年三月，经耿江辉教授介绍，我们三个人组成了一个团队。我们的团队属于抱大腿类型的团队，团队里 2013 级的万杨阳学长带着 2014 级的两个学弟孙章宇和徐德东。那个时候，虽然万杨阳学长已经是在科研界混迹一年的老司机，可是孙章宇和徐德东却是从来没有接触过科研的小鲜肉，就是这样一个一带二的团队，在这一年的时间里，摸爬滚打，一点一滴，坎坎坷坷的走过了这一年，回顾这一年的科研历程，不及细细思量，颇多感触却已涌上心头。

一年前，很幸运，由于这个项目是耿江辉教授下的一个项目，万杨阳学长早就已经开始做了，所以那个时候当孙章宇和徐德东进到组里来的时候，万杨阳已经把整个项目的框架搭起来了，自然，申报书学长也自己一个人一手完成了，所以在申报阶段孙章宇和徐德东倒是没有花多大心思，直接就进到组里来开始做科研了。

虽然万杨阳把网站的框架搭起来了，但不代表这个项目就已经临近结题了，这里面依然还有许多的问题没有解决，悲催的是，那个时候万杨阳学长要忙实习，所以没办法再继续在这个项目上投入太多精力了，所以这个项目加下来的胆子就全部压在了孙章宇和徐德东的身上了，两个学弟要肩负起学长未完成的任务，走完这个项目剩下来的路。

所以，从科研项目申请下来之后，这个项目就是属于万杨阳给孙章宇和徐德东布置任务，以及给予指导，剩下的代码，就交给孙章宇和徐德东去敲完了。可是，在这个过程中，必然也是充满了坎坷和不顺的，因为这个项目不是用 C、不是用 C++也不是用 C#写的，是用孙章宇和徐德东从来没有接触过的语言 php 写的，不仅如此，两个学弟还要去接触全新的不同于 windows 的系统 linux，并且学会在 linux 下写 shell 脚本，这意味着，两个学弟在做项目前，首先要去学习这些全系的技术、语言和系统，在学会这些东西的前提下，才能着手把项目完成。这对于孙章宇和徐德东来说确实是个挑战，毕竟要在那么短的时间内学会并掌握这些技术，并用这些技术做出如此大的一个工程，他们俩之前是从来都没有尝试过的。

于是，徐德东开始用科研经费在淘宝上购置大量的学习书籍，孙章宇则在百度上不断地下载各种学习教程和文档，一点一点的从零的开始积累，开始学习。

并在学习的稍微有点眉目后，就将自己学习的知识运用到工程上，着手完成学长交代给我们的任务。这个过程自然也不是顺利的，在绘制各种报告图形时，绘制不出好看的图形，在学长的要求下改来改去；在写报告时，不知道怎么写出中文的 PDF 报告，为此曾一度陷入瓶颈和绝望；在服务端下载各种星历产品时，也是因为两个学弟不会写 shell 脚本而将项目耽误了好长时间无法进行下去。

终于，功夫不负有心人，在 2016 年的暑假，在三个人不懈的努力下，终于把这个网站搭起来完成了这个项目，在网站前端输入各种信息后，当我们可以邮箱接收到所需要的 GPS 精密单点定位的报告后，我们的心情是激动的，几个月的付出终于有了回报，我们终于完成了我们的科研项目。

这几个月，坎坎坷坷，有失败时的懊恼、有成功时的骄傲，在付出的同时，我们学到了很多的东西。在此过程中，我们认识到了团队协作的重要性、提高了编程和文档写作的能力、掌握了自主学习的方法。在今后的学习和工作中，相信这次大学生科研一定会成为我们宝贵的经历。