

# Android 移动终端单频 BDS/GPS 实时 PPP 技术研究

李 杰<sup>1,2</sup>, 郑作亚<sup>3</sup>, 张大众<sup>4</sup>, 李得海<sup>2</sup>, 谷守周<sup>2</sup>, 张 涛<sup>5</sup>

(1. 威海市房地产测绘中心有限公司, 山东 威海 264200; 2. 中国测绘科学研究院, 北京 100036;  
3. 中国电子科技集团公司 电子科学研究院, 北京 100041; 4. 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266590;  
5. 国家测绘地理信息局 第一大地测量队, 西安 710054)

**摘 要:** 针对 Android 移动终端定位精度较差的问题, 该文对 Android 框架结构进行了研究, 提出了基于 Android 移动终端实时 BDS/GPS 双系统精密单点定位 (PPP) 方法。利用 Android studio 2.2.2、Java 语言及 JNI 技术, 对终端 GNSS 驱动进行开发, 成功通过串口读取北斗移动终端 RTCM MSM4 原始卫星观测数据, 并在硬件抽象层进行网络实时差分数据解析、文件读取和输出, 最终实现增强定位。在移动终端上运行 BDS/GPS 实时 PPP 软件, 分析定位结果显示双系统单频精密单点定位精度  $N$ 、 $E$  方向 0.6 m 左右,  $U$  方向 1.5 m 左右。

**关键词:** Android; 实时精密单点定位; 驱动; 精度分析

【中图分类号】P228

【文献标志码】A

【文章编号】1009-2307(2019)03-0149-05

DOI: 10.16251/j.cnki.1009-2307.2019.03.024

## Research on real-time BDS/GPS single-frequency PPP technology for Android mobile terminal

**Abstract:** Aiming at the low positioning accuracy for Android mobile terminal, the Android frame structure was studied, and the precise point positioning (PPP) method for BDS/GPS single-frequency based on the Android mobile terminal was proposed in this paper. The terminal GNSS driver was developed by using the Android studio 2.2.2, JAVA and JNI technology, and the original satellite observation data of the mobile terminal RTCM MSM4 was read successfully through the serial port, and the network real time differential data analysis, file reading and output were carried out in the hardware abstraction layer and PPP was realized. On the mobile terminal, dual-system single-frequency PPP accuracy at  $N$  and  $E$  direction was about 0.6 m respectively, and at  $U$  direction was about 1.5 m by the BDS/GPS real-time PPP software.

**Keywords:** Android; real-time PPP; drive; precision analysis

LI Jie<sup>1,2</sup>, ZHENG Zuoya<sup>3</sup>, ZHANG Dazhong<sup>4</sup>, LI Dehai<sup>2</sup>, GU Shouzhou<sup>2</sup>, ZHANG Tao<sup>5</sup>

(1. Weihai Real Estate Center of Surveying and Mapping Corporation, Weihai, Shandong 264200, China; 2. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100036, China; 3. China Academy of Electronics and Information Technology, Beijing 100041; 4. College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China; 5. The First Geodetic Surveying Brigade of NASG, Xi'an 710054, China)



**作者简介:** 李杰 (1986—), 男, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要研究方向为 GNSS 精密单点定位  
E-mail: uplijie@126.com

收稿日期: 2018-01-07

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFB0501405); 公益性行业专项 (B1503); 国家基础测绘科技项目 (2016KJ0205); 中国第二代卫星导航系统重大专项项目 (GFZX0301040308-06); 国家重点研发计划课题项目 (2016YFB0502105, 2016YFB0502101); 国家 863 计划项目 (2015AA124001); 国家测绘地理信息局科技项目 (2016KJ0200, 2016KJ0205); 中国测绘科学研究院基本科研业务费项目 (7771604, 7771612)

## 0 引言

Android 操作系统自 2007 年 11 月问世以来迅速扩张, 中国互联网数据中心 (Internet Data Center, IDC) 报告 2016 年 12 月底全球智能手机出货量达到 14.5 亿部, 而其中安卓系统的市场份额达到了 85%。基于智能手机位置服务应用已经成为人们生活中的必需品, 包括智能出行、智能交通、智能锻炼、智能环保等, 通过智能手机提供的位置信息可以为用户提供方便快捷的路线规划方案。智能手机室外定位应用较多研究较少, 目前按照技术手段分类主要有 3 种方式: ①利用智能

手机内置全球定位系统(global positioning system, GPS)芯片获取手机位置;②利用智能手机 WiFi 定位;③利用手机基站进行三角定位。对于内置 GPS 芯片定位而言 A-GPS 是效果最好的定位方式,它解决了以往智能手机 GPS 定位较慢的问题,但是在观测条件较好的情况下定位精度在 5 m 以内<sup>[1]</sup>。基站定位与 WiFi 定位精度更适合城市内定位,对于远离城市的区域这 2 种定位方式基本无用。无论是否在城市这 3 种方式都很难满足分米级高精度<sup>[2]</sup>。

本文首先对 Android 框架结构进行了深入研究,利用 Android 智能手机平台原始载波、伪距观测数据进行单频精密单点定位,通过对终端串口驱动层进行开发,成功读取到北斗移动终端 RTCM (radio technical commission for martine services) MSM4 (multiple signal messages 4)原始卫星观测数据,并在中间层进行网络实时差分数据解析获取轨道、钟差改正,采用单频相位和伪距原始观测量作为观测方程,利用国际 GNSS 服务(international GNSS service, IGS)提供的全球电离层格网图采用格网电离层模型改正两种观测量的电离延迟,以及硬件延迟(differential code bias, DCB),并最终实现分米级高精度。

## 1 关键技术

### 1.1 Android 系统架构

Android 系统是依托 Linux 系统平台开发的一种开放源代码的操作系统,采用软件叠层的方式进行构建。这种方式保证了层与层之间相互分离,当某一层发生变化时,其他层受影响很少。Android 的整体架构分为 5 层,许多资料中将硬件抽象层(hardware abstraction layer, HAL)放在运行库中使整个架构分为 4 层,对于本文将 HAL 单独一层的原因是 HAL 对 Linux 内核驱动程序进行封装,把对硬件的支持分成了两层:一层放在用户空间;另一层放在内核空间,HAL 是为了保护硬件厂商的知识产权提出来的,目的是绕开 Linux 的 GPL 限制。如图 1 系统架构图所示,Android 的前两层主要由 JAVA 代码实现,后三层由 C 和 C++ 实现<sup>[3-4]</sup>。

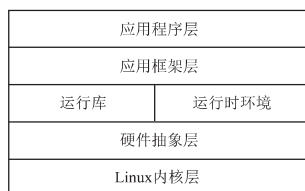


图 1 Android 系统架构图

Fig 1 Android System Architecture Diagram

### 1.2 Android 精密单点定位系统结构

本文使用的移动终端为首欣通达 W135,将其

GNSS 模块进行定制,并对 GNSS 标准输出部分进行改造,使其不仅能输出 NEMA 0183 格式数据,还能将 GNSS RTCM MSM4 格式原始观测数据输出,这就保证了一部分用户可以个性化开发,W135 手机 GNSS 模块从卫星信号到 Android 终端地图显示流程如图 2 所示。本文使用的软件即在 HAL 中进行二次开发,利用 Android studio 2.2.2 平台中 cmake 插件工具以及 jni 技术将 C/C++ 语言开发的精密单点定位程序编译成动态链接库即 libppp.so 库,提供接口供应用程序层进行调用;在应用框架层进行了重新设计,即将 Android 系统 NEMA 0183 数据结构中对应的 GpsLocation 结构体进行简化设计,采用自定义的数据格式提供应用程序层使用。软件使用的自定义数据格式信息主要包括了 WGS84 坐标系下的 BLH、世界时、解算模式、卫星颗数、方差信息、协方差信息。软件界面如图 3 所示。

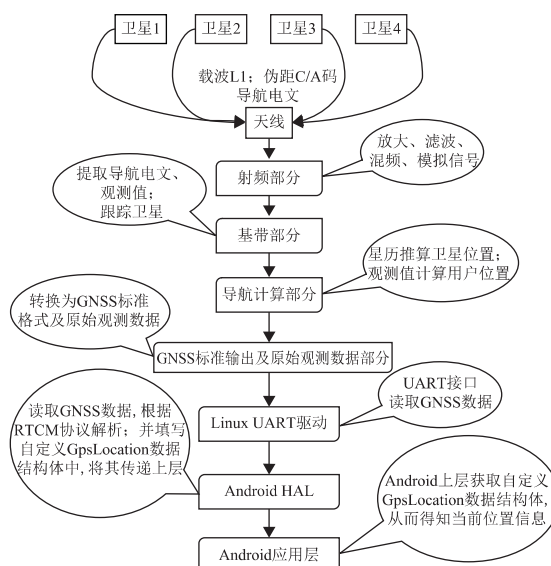


图 2 Android 移动终端 GNSS 定位流程图

Fig 2 Flow Chart of Android Mobile Terminal GNSS Positioning



图 3 软件界面

Fig 3 Software Interface

## 2 误差模型改正

### 2.1 观测模型

GPS 载波相位观测方程与伪距观测方程可表示为式(1)。

$$\left. \begin{aligned} \varphi^j \cdot \lambda &= \rho^j + c \cdot \delta t + c \cdot \delta t^j + N^j \cdot \lambda - I^j + T^j + \epsilon \\ P^j &= \rho^j + c \cdot \delta t + c \cdot \delta t^j + I^j + T^j + \epsilon \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中:  $j$  为卫星标志;  $\varphi$  为载波相位观测值;  $\lambda$  为载波波长;  $P^j$  为伪距观测值;  $(x, y, z)$  为接收机的三维坐标;  $(X^j, Y^j, Z^j)$  为  $j$  卫星的三维坐标;  $\rho^j$  为卫星与接收机天线之间的几何距离,  $\rho^j = \sqrt{(x - X^j)^2 + (y - Y^j)^2 + (z - Z^j)^2}$ ;  $c$  为光速;  $\delta t$  为接收机钟差;  $\delta t^j$  为  $j$  卫星钟差;  $I^j$  为电离层延迟;  $T^j$  为对流层延迟;  $N^j$  为  $j$  卫星相位观测值的整周模糊度;  $\epsilon$  为未模型化误差包括噪声和多路径。

### 2.2 相位平滑伪距观测值

相位平滑伪距原理是充分利用码伪距观测值的无模糊度特性和高精度的相位观测值, 通过对两种观测值的数据融合, 得到精度更高、可靠性更强的伪距观测值。其公式见式(2)。

$$p(k) = \frac{1}{k} p(k) + \frac{k-1}{k} [\bar{p}(k-1) + \varphi(k) - \varphi(k-1)] \quad (2)$$

式中:  $\bar{p}(k)$  和  $p(k)$  分别为历元  $k$  的码平滑值和观测值;  $\varphi(k)$  和  $\varphi(k-1)$  分别为历元  $k$  和  $(k-1)$  的相位观测值。由于相位观测值的精度约为码观测值的 100 倍, 平滑后的码观测值精度大大提高。

### 2.3 实时卫星轨道和钟差改正

近年来, 基于 NTRIP(networked transport of RTCM via internet protocol)通过 Internet 实时获取各种 GNSS 产品得到了快速发展, NTRIP 协议于 2004 年 11 月份正式成为 RTCM 标准, 可用于发送 RTCM2.0 及 3.0 格式的 GNSS 数据流。本文使用中国测绘科学研究院北斗分析监测中心播发的实时 SSR(state space representation)混合数据流, 通过自主开发的 Android 精密单点定位(precise point positioning, PPP)软件解析包含 SSR 改正信息的 NTRIP 数据流<sup>[5]</sup>, 来计算卫星轨道、钟差改正值, 最终实现定位。值得提出的是本文实验使用的 SSR 改正信息参考点是基于卫星天线相位中心作为参考点, 具体计算方法参考文献 [6], 有关 SSR 信息格式的具体描述, 可参考文献 [5]。

### 2.4 电离层模型

电离层是主要的误差源之一, 双频用户很容易解决这个问题, 但对于单频用户来讲这仍是很困难的事情。低仰角的情况下电离层延迟可以达到 100 m。

IONEX 文件是按照经纬度  $5^\circ \times 2.5^\circ$  间隔将全球进行划分的格网电离层文件, 每 2 h 产生一个全球格网电离层。由于电离层在一定的周期内变化趋势比较稳定<sup>[7-8]</sup>, 在正常的情况下对于实时用户来讲使用前一天欧洲定轨中心 (Center for Orbit Determination in Europe, CODE)发布的预报格网电离层文件既能达到理想的效果, 具体计算方法参考文献 [9]。

### 2.5 群延迟

GPS 广播星历中卫星钟差参数是双 P 码伪距(L1P(Y)码和 L2P(Y)码)利用无电离层组合观测值解算得到, 并将 L1 天线相位中心与 L1/L2P(Y)码无电离层组合参考点间的时间延迟定义为 GPS-TGD(time group delay)参数, 因而只适用于用 L1P(Y)码和 L2P(Y)码来测距进而进行导航和定位的用户。如果是单频用户则不能直接应用广播星历给出的钟差参数, 需要在此基础上加上一个群延迟改正。与 GPS 系统不同, 中国北斗卫星导航系统(BeiDou navigation satellite system, BDS)将 B3 频点的硬件延迟合并到卫星钟差, 导航电文播发的卫星钟差参数参考与 B3 频点观测值, 定义 2 个 TGD 参数, TGD1 和 TGD2, 分别为 B1、B2 频点相对于 B3 频点的差分码偏差(differential code bias, DCB)参数。具体差分码偏差 DCB 与群延迟 TGD 的计算参考文献 [10-11]。

### 2.6 其他误差改正

其他误差模型如对流层模型采用的 Saastammonien 模型、相对论效应、地球自转改正、相位绕转和潮汐影响等误差模型较为成熟稳定, 本文不再一一赘述, 详细参考文献 [11-15]。

## 3 实验结果与分析

为了测试软件的稳定性及精度, 进行了如下实验。

1) 实时数据流实验。在湖南省长沙市利用长沙 CORS 中心站的 BDS/GPS 实时观测数据, 接入中国测绘科学研究院北斗分析中心提供实时 SSR 改正信息, 选取挂载点为 CLK93 的实时 NTRIP 数据流, 采样率为 1 s, 卫星截止高度角设为  $15^\circ$ , 在 Android 系统平台上安装该软件便可接收和解码

实时数据流并实现定位, 结果如图 4 所示, 该方法主要为了验证软件的可靠性、稳定性。

2) W135 北斗移动终端外接天线静态定位实验。在湖南省长沙市利用 W135 北斗移动终端外接天线在已知坐标站上进行静态测量, 具体做法将 W135 手机与微带天线连接, 并将微带天线放置在已知坐标点, 利用开发的 Android 双系统精密单点定位软件, 分别进行单 GPS 系统定位与双系统组合定位实验, 时间都为 2 h 左右, 结果如图 5、图 6 所示。(注: 由于 W135 手机经过改造, 手机自身天线已经失去自有功能, 所以靠外部设备才能进行定位。)

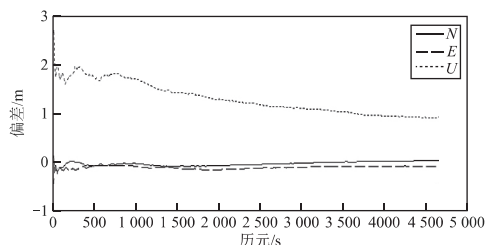


图 4 CORS 数据流双系统 PPP 结果

Fig 4 PPP Results of CORS Real-time Data Flow Dual-system

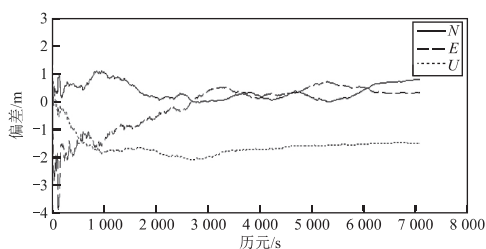


图 5 Android 移动终端单 GPS 系统 PPP 结果

Fig 5 PPP Results of Android Mobile Terminal Single GPS System

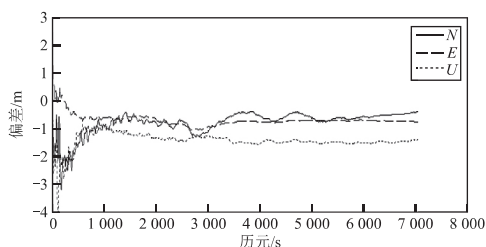


图 6 Android 移动终端双系统 PPP 结果

Fig 6 PPP Results of Android Mobile Terminal Dual-system

为了分析 Android 精密单点定位精度, 将终端采集的数据与准确坐标对比, 分别计算其  $N$ 、 $E$ 、 $U$  3 方向的残差进行分析, 为了便于分析做出统计见表 1。

由表 1 可以看出 CORS 站数据流, 在平面精度和空间精度上都高于移动终端定位精度,  $N$ 、 $E$  方向均方根 (root mean square, RMS) 值为 6、13 cm,  $U$  方向 RMS 值为 1.29 m, 主要原因是 CORS 实时数据流使用的高精度板卡输出的原始观测数据, 而 W135 移动终端标称精度 10 m, 此实验也验证了程序稳定性、可靠性。移动终端 GPS 定位平面和空间精度分别为 0.90、1.88 m, 移动终端组合定位平面和组合精度为 0.88、1.74 m, 可以看出 GPS 定位和组合定位的平面和空间位置精度基本相当。本文进一步统计分析其卫星颗数与位置精度因子 (position dilution of precision, PDOP) 见表 2, 可以看出组合定位 PDOP 值优于单 GPS 系统。从图 5 和图 6 也可以看出, 组合定位波动比较小。根据数据统计组合定位在 15 min 便可在  $N$ 、 $E$  方向进入 1 m 以内, 而单系统收敛时间比较长但  $N$ 、 $E$  方向在 25 min 以内便可进入 1 m 以内。

表 1 实验结果外符合精度统计

Tab 1 RMS Results of Real-time Static PPP m

定位方法	平均值			RMS		
	$N$	$E$	$U$	$N$	$E$	$U$
CORS 数据流	-0.06	-0.13	1.29	0.09	0.18	1.33
移动终端 GPS 定位	0.35	0.56	-1.61	0.46	0.78	1.65
移动终端组合定位	-0.47	-0.63	-1.45	0.58	0.67	1.5

表 2 卫星数与 PDOP 统计

Tab 2 Statistics of Satellite Number and PDOP

定位方法	卫星数/颗			PDOP		
	最大	最小	平均值	最大	最小	平均值
移动终端 GPS 定位	8	5	7.2	3.42	1.56	2.10
移动终端组合定位	14	9	12.1	2.74	1.45	1.49

## 4 结束语

本文研究了 Android 系统架构及其定位流程, 并开发了基于 Android 移动终端单频精密单点定位软件, 实验表明, 本软件具有可靠性和稳定性特点, 平面定位精度在分米级, 这对于今后的 GNSS 卫星技术在低成本移动终端位置服务中具有实际意义。但本软件仍有不足之处, 主要在于并未进行动态测试, 主要原因在于 W135 手机目前还在改造阶段, 部分结构不稳定不具备动态测试条件, 但本文依然对下一步工作具有十分重要的意义。

## 参考文献

- [1] 毕京学, 甄杰, 郭英. Android 手机 GPS 和 A-GPS 定位精度分析[J]. 测绘通报, 2016(7): 10-13. (BI Jingxue, ZHEN Jie, GUO Ying. Accuracy of GPS and A-GPS positioning on Android phone[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2016(7): 10-13.)
- [2] 董超. 基于 Android 的手机定位服务系统设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2013. (DONG Chao. Design of mobile positioning service system based on Android [D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2013.)
- [3] 王振丽. Android 底层开发技术实战详解: 内核、移植和驱动[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2015: 81-95. (WANG Zhenli. Detailed introduction of underlying development technology under Android system: kernel, migration, and driver[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2015: 81-95.)
- [4] 邓凡平. 深入理解 Android: Wi-Fi、NFC 和 GPS 卷[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014: 207-244. (DENG Fanping. Thorough understanding of Android: Wi-Fi, NFC and GPS [M]. Beijing: China Machine Press, 2014: 207-244.)
- [5] Federal Agency for Cartography And Geodesy (BKG). BKG Ntrip PClient (BNC) Version 2. 7 manual[M]. Frankfurt, Germany: [s. n.], 2012.
- [6] 刘志强, 王解先. 广播星历 SSR 改正的实时精密单点定位及精度分析[J]. 测绘科学, 2014, 39(1): 15-19, 109. (LIU Zhiqiang, WANG Jiexian. Realization and analysis of real-time precise point positioning based on SSR broadcast ephemeris corrections [J]. Science of Surveying and Mapping, 2014, 39(1): 15-19, 109.)
- [7] 霍星亮, 袁运斌, 欧吉坤, 等. 基于 GPS 资料研究中国区域电离层 TEC 的周日变化、半年度及冬季异常现象[J]. 自然科学进展, 2005, 15(5): 626-630. (HUO Xingliang, YUAN Yunbin, OU Jikun, et al. Study on the abnormal changes of the ionospheric TEC in China in the daily, half year, and winter based on GPS data[J]. Progress in Natural Science, 2005, 15(5): 626-630.)
- [8] 韩吉德, 王祖顺, 王春青. 全球电离层时空变化特性分析[J]. 测绘地理信息, 2012, 37(6): 26-29. (HAN Jide, WANG Zushun, WANG Chunqing. Analysis of temporal and spatial change in global ionosphere[J]. Journal of Geomatics, 2012, 37(6): 26-29.)
- [9] 汪平, 许家琨, 沈国康, 等. 格网电离层模型在单频精密单点定位中的应用[J]. 测绘科学技术学报, 2010, 27(5): 337-340. (WANG Ping, XU Jiakun, SHEN Guokang, et al. Application of grid ionospheric model in single-frequency precise point positioning [J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2010, 27(5): 337-340.)
- [10] 王彬, 刘经南, 隋心. BDS 与 GPS 群延迟的异同分析与应用[J]. 测绘科学, 2015, 40(10): 142-145. (WANG Bin, LIU Jingnan, SUI Xin. Analysis and research of difference between BDS-TGD and GPS-TGD[J]. Science of Surveying and Mapping, 2015, 40(10): 142-145.)
- [11] 胡丽乐, 向泽华, 胡焕校, 等. 顾及 TGD 与 DCB 改正的单点定位研究[J]. 全球定位系统, 2014, 39(6): 15-18. (HU Lile, XIANG Zehua, HU Huanxiao, et al. The research considering TGD and DCB corrections for single point positioning [J]. GNSS World of China, 2014, 39(6): 15-18.)
- [12] 祁芳. 卡尔曼滤波算法在 GPS 非差相位精密单点定位中的应用研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2003. (QI Fang. Research on Kalman filter algorithm in GPS precise point positioning using un-differenced phase [D]. Wuhan: Wuhan University, 2003.)
- [13] 李浩军, 王解先, 陈俊平, 等. 基于 GNSS 网络的实时精密单点定位及精度分析[J]. 地球物理学报, 2010, 53(6): 1302-1307. (LI Haojun, WANG Jiexian, CHEN Junping, et al. The realization and analysis of GNSS network based real-time precise point positioning [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53(6): 1302-1307.)
- [14] LE A Q, TIBERIUS C. Single-frequency precise point positioning with optimal filtering[J]. GPS Solutions, 2007, 11(11): 61-69.
- [15] LE A Q, TEUNISSEN P J G. Recursive least-squares filtering of pseudorange measurements[C] // Proceedings of the European Navigation Conference, 2006[2018-01-07]. <http://gnss.curtin.edu.au/wp-content/uploads/sites/21/2016/04/Le2006Recursive.pdf>.

(责任编辑: 侯琳)