DOI: 10.12265/j.gnss.2021042501

Android 智能手机 GNSS 数据质量分析

张垠1,2,涂锐1,2,3,洪菊1,2,李芳馨1,2,侯福荣1,2

(1.中国科学院国家授时中心,西安710600;2.中国科学院大学,北京100049;3.中国科学院精密导航定位与定时技术重点实验室,西安710600)

摘 要:随着全球卫星导航系统 (GNSS)的不断建设,智能手机基于移动位置服务 (LBS)得 到了迅猛发展.文中选取市面上常见的 3 种手机机型,包括:三星 S9+(Exynos)、华为 Mate30 和华 为 P40 Pro 作为研究对象,并使用北斗星通 UR4B0-D 高性能 GNSS 接收机进行同步静态观测实 验,从卫星可见数、载嗓比 (CNR)、卫星高度角和多路径误差等方面,对手机 GNSS 数据质量进 行分析.结果表明:不同型号手机在观测能力和数据质量方面存在明显差异. Android 智能手机 的 GNSS 数据质量较差, CNR 较小,且 CNR 与卫星高度角无明显关系.此外,多路径误差是影响 Android 智能手机高精度定位的主要误差项之一.

关键词: Android 智能手机; GNSS 原始观测值; 数据质量评估; 多路径误差; 静态数据分析 中图分类号: P228.4; TN929.53 文献标志码: A 文章编号: 1008-9268(2021)04-0085-08

0 引 言

当今时代, 手机等智能设备由于具有成本低、便 携性好的特点, 该设备已经成为人类生活和工作中不 可或缺的工具. 目前, 智能手机基本都搭载了全球卫 星导航系统 (GNSS) 模块, 极大地方便了人们的日常 生活. 各大卫星导航系统逐步发展, 可见卫星数进一 步增加, 也为基于移动位置服务 (LBS) 的快速发展提 供了保证^[1]. 未来公众对 LBS 服务的需求将会越来越 大, 对定位精度、稳定性要求也会越来越高. 因此, 手 机等智能设备的高精度定位受到学者的广泛关注, 成 为当前导航定位领域的一个研究热点.

在早期的 Android 系统版本中, GNSS 模块只开放了获取 GNSS 芯片输出的位置、速度等信息的应用程序编程接口 (API), 开发者和用户很难得到原始的 GNSS 观测数据, 因此难以开展进一步的研究. 2016 年 5 月谷歌公司宣布, 从 Android N 版本操作系统开始, 开发者和用户可以通过 API 来得到 GNSS的伪距、载波相位、多普勒等原始观测数据, 从而具备进行精确计算的条件, 这对于研究智能设备的精确定位有着重要的意义. 与测量型等专用 GNSS 接收机不同, 手机、平板电脑等这些大众智能设备, 往往采 用体积小、成本低的线性极化天线^[2]和低成本、低功 耗的导航芯片,这必将影响智能设备的 GNSS 原始观 测数据质量,而原始观测数据质量好坏是影响定位精 度的主要因素.

国内外许多学者对智能设备的 GNSS 数据质量 和定位精度进行了研究和分析. 早在谷歌还未开放获 取 GNSS 原始数据的 API 时, 就已经有学者对此产 生了强烈的兴趣. Kirkko-Jaakkola 等^[3]和 Humphreys TE等^[4]使用定制的智能手机诺基亚 Lumia 1520 和 三星 Galaxy S5 获得了 GNSS 原始观测数据, 他们发 现智能手机的 GNSS 数据噪声和异常值均明显高于 低成本接收机. Håkansson M 5 通过 Nexus 9 平板电 脑评估了多路径效应对精确定位的影响. Paziewski J 等 6 使用华为 P20 和 Javad Alpha+GrAnt G3T 天 线评估了智能手机的 GNSS 数据质量. Riley 等¹⁷指 出手机由于电池容量限制存在占空比 (duty cycle) 机 制,这种机制降低了功耗但会导致载波相位观测数据 不连续. LIU 等¹⁸、陈波等¹⁹指出手机 GNSS 数据存 在载波相位与伪距不一致的问题,并且通过平滑伪距 的方式进行了单点定位及差分定位的测试. 薄亚东 等^[10] 对华为 Mate30 和华为 honor V20的 GNSS 原始 观测数据质量和定位结果进行分析,指出智能手机会

收稿日期:2021-04-25

资助项目:国家自然科学基金项目(41674034,41974032);中组部、中科院高层次青年人才项目及王宽诚教育基金会通信作者:涂锐 E-mail:turui-2004@126.com

发生频繁的失锁现象且多路径误差明显,差分定位存 在无法固定模糊度的问题.总体来说,目前针对智能 手机 GNSS 定位的研究相对较少,且大部分并未将单 双频手机进行对比分析.

本文同时使用单频、双频智能手机采集 GNSS 原始观测数据,并将其与北斗星通 UR4B0-D 高性能 GNSS 接收机的数据作对比,从卫星可见性、载噪比 (CNR)、高度角、多路径效应等方面进行分析,评估智 能手机 GNSS 的原始观测数据质量,为后续手机高精 度定位应用提供参考.

1 智能手机 GNSS 原始观测值获取与 分析方法

1.1 智能手机 GNSS 原始观测值获取

自 Android 7.0(即 N 版本) 开始, Android API 等级升级至 24, 开发者可以通过 GNSSClock 和 GNSS-Mearement 两类中的字段直接或者间接的获取伪距 观测值、载波相位观测值、多普勒观测值和 CNR 等. 相关字段如表 1 所示^[11].

字段名	所属类	描述	
TimeNanos	GNSSClock	GNSSClock 手机硬件时间/ns	
BiasNanos	GNSSClock	GNSSClock 手机本地时钟与GPST亚纳秒级钟差/ns	
FullBiasNanos	GNSSClock	手机本地时钟与GPST纳秒级钟差/ns	
DriftNanosPerSecond	GNSSClock	GNSSClock 钟漂/(ns·s ⁻¹)	
TimeOffsetNanos	GNSSMeasurement	手机TimeNanos的偏差修正量/ns	
ConstellationType	GNSSMeasurement	星座类型	
Svid	GNSSMeasurement	卫星编号	
ReceivedSvTimeNanos	GNSSMeasurement	GNSS信号在卫星端的发射时间/ns	
AccumulatedDelataRange	GNSSMeasurement	载波相位观测值/m	
Cn0DbHz	GNSSMeasurement	CNR/(dB·Hz)	
PseudorangeRatemeterperSecond	GNSSMeasurement	伪距变化率	
CarrierFrequencyHz	GNSSMeasurement	载波频率	

表1 Android API 时钟和测量类字段信息

GPS 时间、伪距观测值、多普勒观测值并不能直接通过 Android API 获取到,需要通过计算间接得到. 其中 GPS 时 (GPST) 可由下式计算得到:

$$GPST = TimeNanos - (FullBiasNanos + BiasNanos).$$
(1)

伪距观测值 ρ 的计算公式如下:

$$\rho = \frac{t_R - t^S}{10^9} \times c. \tag{2}$$

其中,

$$t_{R} = TimeNanos - (FullBiasNanos + BiasNanos) + TimeOffsetNanos,$$
(3)

$$t^{s} = ReceivedS vTimeNanos.$$
 (4)

式中, c 为光速.

其中 TimeNanos 和 TimeOffsetNanos 取当前历元

值,而 FullBiasNanos 和 BiasNanos 取第一个历元从 API 获取到的值. 这是因为由于手机钟差不稳定,会 导致接收机硬件时钟与 GPST 的差值会随时间变化, 以第一个历元的偏差值作为偏差估计值可以保证接 收数据的时间间隔一致,避免给后续处理带来麻烦. 多普勒的计算公式如下:

$$Doppler = -PseudorangeRatemeterperS \ econd \times \frac{f}{c}.$$
(5)

式中,f为载波频率.

载波相位观测值及 CNR 可以分别通过 AccumulatedDelataRange 和 Cn0DbHz 字段得到.

由上可知, Andriod N 版本开始应用程序可以通 过相关 API 获取分析所需的 GNSS 原始数据. 许多 公司利用这些应用程序接口, 开发了可以输出 GNSS 原始观测数据的应用程序 (APP), 如谷歌公司的发 布的 GNSSLogger, Geo++公司发布的 Geo++RINEX Logger 等. 但由于 GNSSLogger 无法直接以 RINEX 格式输出原始数据, 不便于后续分析研究, 而 Geo++ RINEX Logger 可以以 RINEX 标准格式输出原始数 据, 因此选择使用 Geo++RINEX Logger 采集原始 数据.

1.2 多路径误差分析方法

在卫星信号传输过程中,信号会在接收机附近的 地面、墙壁等物体表面发生反射现象,反射后的信号 与卫星直接发射的信号同时被接收机接收,从而产生 多路径误差.降低多路径误差主要通过使用较好的 GNSS 天线和选择较为开阔的测量环境两个方面进 行.但 Android 智能手机受到体积限制,只能使用体 积很小的线性极化贴片天线,这使得 Android 智能手 机受到多路径效应的影响较为严重.同时, Android 智能手机的使用环境常常位于高楼林立的城市峡谷 中,这使得多路径误差进一步增大,成为了手机定位 的主要误差项之一.

利用伪距和载波相位观测值的线性组合,再消去 双频信号计算得到的电离层延迟,可以得到 L1 和 L5 频点的多路径效应,计算公式如式 (6) 所示:

$$MP_{i} = \rho_{i} - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)\lambda_{i}\phi_{i} + \frac{2}{\alpha - 1}\lambda_{j}\phi_{j} + K_{i},$$
$$MP_{j} = \rho_{j} - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)\lambda_{j}\phi_{j} + \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)\lambda_{j}\phi_{j} + K_{j}.$$
 (6)

式中: $MP_i 和 MP_j 分别为频点i、频点j 对应的伪距多$ $路径误差值; <math>\rho_i \land \rho_j 为频点i \land 频点j 对应的伪距观测$ $值; <math>\lambda_i \land \lambda_j 为频点i \land 频点j 对应的波长; \phi_i \land \phi_j 为频点i \land$ 频点j 对应的载波相位观测值; $\alpha = \frac{f_i^2}{f_j^2}$, 其中 $f_i n f_j 为$ 频点 $i \land j$ 对应的载波频率; $K_i n K_j$ 为未知的整周 和测量噪声的函数. 可以通过将多个历元取平均, 然 后将包含模糊度参数的序列减去这一均值得出两个 伪距的多路径误差值.

2 实验简介

本文使用三星 S9+(Exynos)(下文简称三星 S9+)、 华为 Mate30、华为 P40 Pro 进行静态观测实验,并且 与测量型接收机北斗星通 UR4B0-D 的同步观测数据 做对比,3款智能手机的具体参数如表2所示.实验 地点为中国科学院国家授时中心临潼园区的综合楼 楼顶,视野开阔无遮挡物,观测条件良好,采样率为1s, 采样时长为3h.实验环境如图1所示.

表 2 三款智能手机具体参数

手机型号	芯片型号	可接收卫星频点
三星S9+(Exynos)	Broadcom BCM4775	GPS L1, Galileo E1, QZSS L1, GLONASS G1, BDS B1
华为P40 Pro	Hisilicon Hi1105	GPS L1+L5, Galileo E1+E5a, QZSS L1+L5, GLONASS G1, BDS B1
华为Mate30	Hisilicon Hi1103	GPS L1+L5, Galileo E1+E5a, QZSS L1+L5, GLONASS G1, BDS B1



图1 实验环境

部分 Android 智能手机为了减少电量消耗以达 到更长的续航时间, 往往采用占空比技术. 在占空比 技术下, 一个脉冲循环内只有一部分时间可以通电, 因此会导致载波相位观测值不连续^[7]. 而部分手机可 以在开发者选项中手动选择"强制进行全 GNSS 测 量"以关闭占空比技术, 如图 2 所示. 本文选用的三 星 S9+采用该方法关闭占空比技术, 而华为 P40 Pro 和华为 Mate30 默认关闭占空比技术.



图 2 开发者选项开启"强制进行全 GNSS 测量"

3 实验结果分析

3.1 可见卫星数分析

对手机原始观测数据进行分析后发现,3台 Android 手机均可以接收北斗二号 (BDS-2) 和北斗三 号 (BDS-3) 卫星数据,但2台双频手机接收到的有双 频数据的卫星数量都很有限.华为 Mate30 可以接收 到7颗同时具有 L1+L5 信号的 GPS 卫星,3颗同时 具有 L1+L5 的准天顶卫星系统 (QZSS) 卫星,在不同 时段最多可以同时接收到7颗具有 E1+E5a 信号的 Galileo 卫星;华为 P40 Pro 可以接收到4颗同时具 有 L1+L5 信号的 GPS 卫星,3 颗同时具有 L1+L5 的 QZSS 卫星,8 颗同时具有 E1+E5a 信号的 Galileo 卫 星.但部分卫星的双频信号并不稳定,存在大量的数 据缺口,导致实际可用的卫星数目远远小于观测到的 可见卫星数.

在3h的观测时间内, 剔除掉未接收到数据的卫 星后,3台智能手机和北斗星通 UR4B0-D 接收机各 历元观测卫星数如图 3~6 所示. 可以非常明显的发 现,接收机的可见卫星数非常稳定且观测到的卫星数 目是最多的,约为45~50颗.3台智能手机中,三星 S9+的可见卫星数是3台手机中最少的,约为25~ 34颗,但相较于另外2部手机卫星数的波动较小,稳 定性更好. 华为 P40 Pro 的可见卫星数约为 32~38 颗,但卫星数的波动是3台手机中最大的.华为 Mate30 接收到的卫星数目约为 35~44 颗, 可见卫星 数的波动较大,但在第6224历元附近出现了数据采 集中断,导致图形出现不正常的跳变. 华为 P40 Pro 和华为 Mate30 的可见卫星数都有较大的波动,这种 波动主要是由于 GLONASS 和北斗卫星导航系统 (BDS) 的可见卫星数波动较大导致的, 而 GPS 和 Galileo 系 统的可见卫星数波动较小.





总体来说,相对于接收机而言手机观测能力和稳 定性均表现较差,且不同机型之间由于采用不同的 GNSS芯片和天线,观测能力也存在着较大的差异. 即使是同品牌的手机,这种差异也比较明显.

3.2 CNR 分析

接收机输出的 CNR 反映了所跟踪 GNSS 卫星的 观测值精度和接收机天线的噪声密度, 是反映测量噪 声水平的重要指标^[11]. CNR 大小和数据质量成正比. 从每个卫星系统中选取 3 颗卫星, 计算接收机和 3 台 手机所选卫星所有历元的平均 CNR. 不同设备在 L1 频点的 CNR 对比如图 7 所示.



图 7 L1 频点不同设备不同卫星 CNR 对比

由于三星 S9+无法接收双频信号,因此在 L5 频 点只进行华为 Mate30 和华为 P40 Pro 与接收机的对 比. 选取 GPS 的 5 颗卫星进行对比,如图 8 所示.



由图 7、图 8 可知, Andriod 智能手机的 CNR 明显低于测量型接收机, L1 频点 3 台手机的 CNR 比测量型接收机低约 10~15 dB·Hz. 3 台手机中只能接受单频数据的三星 S9+ CNR 最大, 大部分卫星平均 CNR 达到了 35~40 dB·Hz. 而华为 P40 Pro 的 CNR 最小, 平均 CNR 约在 30 dB·Hz. 在 L5 频点上, 接收机的 CNR 均在 40 dB·Hz 以上, 而两台双频手机的 CNR 均较低, 华为 Mate30 CNR 约为 29~34 dB·Hz, 而华为 P40 Pro CNR 仅有 22~27 dB·Hz. 较低的 CNR 说明手机接收的数据中存在着大量的噪声.

3.3 高度角分析

选取 G31、G27 两颗卫星分析其 L1 频点 CNR

和高度角的关系,图 9~11分别为接收机、华为 Mate30 和华为 P40 Pro 对 G31 卫星 CNR 和高度角 分析的结果,图 12~14 是三者对 G27 卫星 CNR 和 高度角分析的结果.华为 P40 Pro 仅在 6 064 历元中 接收到 G31 卫星的数据.红色线为高度角,可见对于 G31 卫星,在所有历元中高度角由大到小变化,接收 机的 CNR 也随之减小约 15 dB·Hz,但两部手机的 CNR 没有表现出逐渐减小的趋势,甚至高度角降低 时反而有 CNR 增大的现象.对 G27 卫星,高度角由 小到大变化.在高度角较小时,并未出现 CNR 随高度 角减小而一直减小的现象.可见手机的 CNR 与卫星 高度角的相关性较小.推测是因为手机接收到的数据 中已经包含有大量噪声和多路径误差,高度角减小 时噪声和多路径误差存在波动的情况,但并不会增大 太多.





图 14 华为 P40 Pro G27 卫星 CNR 与高度角

3.4 多路径误差分析

本文分别使用华为 Mate30 和华为 P40 Pro 双频 GPS 信号计算多路径误差,选取 G04 卫星数据分别 对 L1 和 L5 频点进行计算.将两台智能手机多路径 误差与接收机 UR4B0-D 进行比较,计算得到 G04 卫 星 L1、L5 频点的伪距多路径结果如图 15~18 所示.



图 15 华为 Mate30 和接收机 G04 卫星 L1 频段多路径误差







图 17 华为 P40 Pro 和接收机 G04 卫星 L1 频段多路径误差



图 18 华为 P40 Pro 和接收机 G04 卫星 L5 频段多路径误差

计算各终端 G04 卫星多路径误差均方根 (RMS), 结果如表 3 所示. 华为 Mate30 从 5 000 历元开始数 据噪声突然增大,导致多路径误差计算值增大,因此 只分析前 5 000 历元的多路径误差.由图 15~18 以 及表 3 可知,智能手机的多路径误差远远大于接收机 的多路径误差,而华为 Mate30 的多路径误差无论是 L1 频点还是 L5 频点均小于华为 P40 Pro.对比点 L1 和 L5 频点的多路径误差发现,接收机和华为 Mate30 在 L5 频点的多路径误差明显小于 L1 频点的多路径 误差,华为 P40 Pro 在 L5 频点的多路径误差比 L1 频 点的稍大.可见 L5 频点一定程度上可以起到抑制多 路径误差的作用.总体来说,智能手机由于天线特点 导致多路径误差很大,是影响智能手机高精度定位的 主要误差.

表 3 不同终端 G04 卫星多路径误差

终端型号	MP1_RMS	MP5_RMS
北斗星通UR4B0-D	0.014 4	0.010 8
华为P40 Pro	3.227 9	3.424 2
华为Mate30(整体)	2.923 8	4.695 8
华为Mate30(前5 000历元)	2.124 1	1.816 7
华为Mate30(后5 800历元)	3.507 5	6.284 1

4 结束语

本文使用三星 S9+、华为 Mate30 和华为 P40 Pro 进行 GNSS 原始数据采集,并与北斗星通 UR4B0-D 接收机同步采集的数据进行对比,从可见卫星数、 CNR、高度角、多路径误差等方面分析了智能手机的 GNSS 数据质量.结果表明:与接收机相比,Andriod 智能手机 GNSS 原始观测数据质量较差,且不同机型 之间存在较大差异.Andriod 智能手机的 GNSS 数据 存在着数据缺失现象,导致可进行数据处理的卫星数 目小于可见卫星数目.对 CNR 和高度角进行分析后 发现,智能手机的 CNR 较小,且没有表现出随高度 角降低而减小的趋势.对多路径误差进行分析,在 L1 频点上接收机的多路径误差 RMS 为 0.014 4 m, 华为 Mate30 为 2.124 1 m,华为 P40 Pro 为 3.2279 m;而 在 L5 频点上接收机的多路径误差 RMS 为 0.010 8 m, 华为 Mate30 为 1.816 7 m,华为 P40 Pro 为 3.424 2 m, 可见多路径误差是影响智能手机高精度定位的主要 误差,在将来的定位应用研究中应着重进行处理.

致谢:本文的研究得到了国家自然科学基金项目(41674034,41974032)和中组部、中科院高层次 青年人才项目以及王宽诚教育基金会的支持.

参考文献

m

- [1] 杨琪,李四海,刘洋.开放GNSS原始测量对安卓平台定位 精度影响分析[J].导航定位学报,2019,7(3):115-120.
- [2] PESYNA K M, HEATH R W, HUMPHREY T E. Centimeter positioning with a smartphone-quality GNSS antenna[C]// The 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, 2014: 1568-1577. http://hdl.handle.net/2152/63211
- [3] KIRKKO-JAAKKOLA M, SÖDERHOLM S, HONKALA S, et al. Low-cost precise positioning using a national GNSS network[J]. The 28th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, 2015: 2570-2577. http://hdl.handle.net/10138/224849
- [4] HUMPHREYS T E, MURRIAN M, DIGGELEN F V, et al. On the feasibility of cm-accurate positioning via a smartphone's antenna and GNSS chip[C]//IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 2016. DOI: 10.1109/PLANS.2016.7479707
- [5] HÅKANSSON M. Characterization of GNSS observations from a nexus 9 Android tablet[J]. GPS solutions, 2019, 23(1): 21. DOI: 10.1007/s10291-018-0818-7
- [6] PAZIEWSKI J, SIERADZKI R, BARYLA R. Signal characterization and assessment of code GNSS positioning with low-power consumption smartphones[J]. GPS solutions, 2019, 23(4): 98. DOI: 10.1007/s10291-019-0892-5
- [7] RILEY S, LENTZ W, CLARE A. On the path to precisionobservations with android GNSS observables[C]// The 30th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, 2017: 116-129. DOI: 10.33012/ 2017.15244
- [8] LIU Y S, GAO C F, CHEN B, et al. Pseudo-range single point and differential positioning accuracy test based on Android smartphone[C]//China Satellite Navigation Conference, 2019: 72-81. DOI: 10.1007/978-981-13-7751-8_8

- [9] 陈波, 高成发, 刘永胜, 等. 安卓手机终端原始GNSS观测数 据质量分析[J]. 导航定位学报, 2019, 7(3): 87-95.
- [10] 薄亚东, 王广兴, 余强, 等. 智能手机GNSS原始观测值质量 与定位分析[C]//第十一届中国卫星导航年会论文集—— S08测试评估技术, 2020.
- [11] 陈春花,陈冲,赵亚枝.安卓智能手机GNSS数据质量分析 [J].全球定位系统,2020,45(3):22-27.

作者简介

张垠 (1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为 Android 智能手机高精度定位方法.

涂锐 (1985—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为 GNSS 精密定位、测速、时间传递、灾害监测等.

洪菊 (1994—), 女,博士研究生,研究方向 GNSS 精密单点定位增强技术.

Quality assessment of Android smartphone with GNSS raw observations

ZHANG Yin^{1,2}, TU Rui^{1,2,3}, HONG Ju^{1,2}, LI Fangxin^{1,2}, HOU Furong^{1,2}

 National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China;
 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
 Key laboratory of precision navigation and timing technology, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China)

Abstract: With the continuous construction of Global Navigation Satellite System (GNSS), the locationbased service (LBS) of smart phones has rapidly developed. In this paper, several commonly used smartphone are selected as research objects, such as Samsung S9+(Exynos), Huawei Mate30, Huawei P40 Pro. the measurement receiver UR4B0-D from BDStar Navigation is used for synchronous static observation experiment. the GNSS raw data quality of Android smartphone is analyzed from the aspects of satellite visibility, carrier-to-noise ratio (CNR), satellite altitude angle, multipath error and so on. The results show that there are obvious differences in observation capabilities and data quality among different smartphones. Android smartphones have poor data quality and low CNR. The CNR of Android smartphones has no obvious relationships with the satellite altitude angle. In addition, multipath error is one of the main errors that affect the high-precision positioning of Android smartphones.

Keywords: Android smartphone; GNSS raw data; data quality assessment; multipath error; static data analysis