

5G网络辅助的GNSS定位性能分析

The Performance Analysis of 5G Network-assisted GNSS Positioning

张建国¹, 韩春娜², 周鹏云¹ (1. 华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310052; 2. 诺基亚上海贝尔股份有限公司, 浙江 杭州 310053)

Zhang Jianguo¹, Han Chunna², Zhou Pengyun¹ (1. Huaxin Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310052, China; 2. Nokia Shanghai Bell Co., Ltd., Hangzhou 310053, China)

摘要:

首先介绍了5G网络辅助的GNSS定位原理,包括基于UE的GNSS定位和UE辅助的GNSS定位,5G网络的低时延特性使得UE辅助的GNSS定位方法可能用于高速移动的UE。然后分析了UE辅助的GNSS定位精度,当UE移动速度为200 km/h时,对于eMBB TDD SCS=30 kHz、eMBB FDD SCS=15 kHz和uRLLC,由于网络时延造成的GNSS定位误差分别是0.71 m、0.86 m和0.33 m。最后分析了UE GNSS接收机上报的原始测量数据的影响因素和大小,对于BDS和GPS,一次上报的测量数据分别是4 238 bit和5 650 bit,一次同时上报BDS和GPS的测量数据是9 888 bit。

关键词:

5G; GNSS; UE辅助; 定位精度; 无线网络负荷
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2021.04.005
文章编号: 1007-3043(2021)04-0019-04
中图分类号: TN929.5
文献标识码: A
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Firstly, it introduces the theory of 5G network-assisted GNSS positioning, including UE-Based GNSS positioning and UE-Assisted GNSS positioning, it is possible that UE-Assisted GNSS positioning is applied to high speed moving UE because 5G has the feature of low delay. Secondly, it analyzes the accuracy of UE-Assisted GNSS positioning. When the velocity is 200 km/h, the positioning error because of network delay is 0.71 m, 0.86 m and 0.33 m for eMBB TDD SCS=30 kHz, eMBB FDD SCS=15 kHz and uRLLC respectively. Finally, it analyzes the factors and size of original measurement information from UE GNSS receiver, with regard to BDS and GPS, the measurement information is 4 238 bits and 5 650 bits respectively for one report, the measurement information is 9 888 bits if the measurement information of BDS and GPS is reported simultaneously.

Keywords:

5G; GNSS; UE-assisted; Positioning accuracy; Wireless network load

引用格式: 张建国, 韩春娜, 周鹏云. 5G网络辅助的GNSS定位性能分析[J]. 邮电设计技术, 2021(4): 19-22.

0 引言

全球定位导航系统(GNSS——Global Navigation Satellite System)是一种利用卫星进行导航、定位、测量的空间无线定位系统,其基本原理是测量出已知位置的卫星到GNSS接收机之间的距离,然后综合多颗卫星的数据计算出UE的具体位置。目前在轨运行的

GNSS系统包括美国的GPS系统、中国的北斗系统(BDS——BeiDou Navigation Satellite System)、俄罗斯的GLONASS以及欧盟的伽利略系统Galileo^[1]。

GNSS定位方法存在2个部分误差。第1部分是系统性的误差,如卫星钟误差、星历误差、电离层误差、对流层误差等,这类误差对每一个GNSS接收机都是公有的,利用差分技术,可以消除系统性误差,根据差分基准站发送的信息方式不同,差分定位分为位置差分、伪距差分和实时动态(RTK——Real-time kine-

收稿日期: 2021-02-09

matic)载波相位差分。第2部分是随机发生的误差,如接收机的内部噪声、通道延迟、多径效应等,这部分误差无法系统性消除。

5G网络具有大带宽、低时延的特性,当GNSS通过5G网络与GNSS接收机交互信息后,5G网络可以辅助GNSS接收机减少初始化时间、增加接收机灵敏度、减少功耗和提高定位精度。

1 5G网络辅助的GNSS定位原理

5G网络辅助的GNSS定位有2种工作模式,基于UE(UE-Based)的GNSS定位和UE辅助(UE-Assisted)的GNSS定位。

对于基于UE的GNSS定位,UE中包括完整的GNSS接收机,位置计算在GNSS接收机中进行,通过5G网络传输给GNSS接收机的信息分为2类。第一类是星历和时钟模型、历书等信息,这类信息可以减少GNSS接收机的初始化时间、增加GNSS接收机灵敏度,因此显著提高测量速度,使得GNSS接收机能够捕获和跟踪较弱的卫星信号,在较低SNR条件下也能工作,这类信息的有效时间通常是2~4 h^[2]。第2类是RTK改正数据和GNSS物理模式,RTK改正数据包括RTK参考站信息、RTK辅助站数据、RTK观测值、RTK公共观测信息、RTK MAC(Master Auxiliary Concept)修正差、RTK残余等,GNSS物理模式包括状态空间表示(SSR——State Space Representation)轨道修正、SSR时钟改正、SSR码字偏差,这类信息与GNSS接收机的测量信息相结合,可以大幅提高UE的定位精度,这类信息的有效时间通常是几十秒到几分钟^[3]。基于UE的GNSS定位的优点是通过5G网络传输的数据较少,且定位时延较小,缺点是UE需要增加相应的存储器 and 计算能力,尤其是RTK定位,UE需要增加专用的差分定位模块,增加了UE成本^[4]。

对于UE辅助的GNSS定位,GNSS接收机的主要功能在网络侧,UE位置的计算在定位服务中心进行。定位服务中心可以把时间、可见的卫星列表、卫星信号的多普勒和码相位以及搜索窗口,通过5G网络传输给GNSS接收机。GNSS接收机把测量到的码相位和多普勒测量、(可选的)载波相位测量,通过5G网络上报给定位服务中心。定位服务中心根据RTK改正数据以及UE提供的测量数据,计算出UE的精确位置,然后再通过5G网络把精确的位置信息反馈给UE。UE辅助的GNSS定位的优点是把复杂的数据处理功

能交给定位服务中心完成,GNSS接收机不需要增加额外的计算功能,因此对UE的要求较低,缺点是时延较大,且上传的数据量较大。

5G网络辅助的GNSS定位原理如图1所示。其中,基准站接收机负责采集GNSS卫星的测量数据并传送至定位服务中心,定位服务中心用于实时接收基准站接收机的测量数据,进行数据质量分析、处理、评价,提供不同精度等级要求的改正数据,定位服务中心也可以接收GNSS接收机上报的原始测量数据,完成特定UE的差分定位解算。

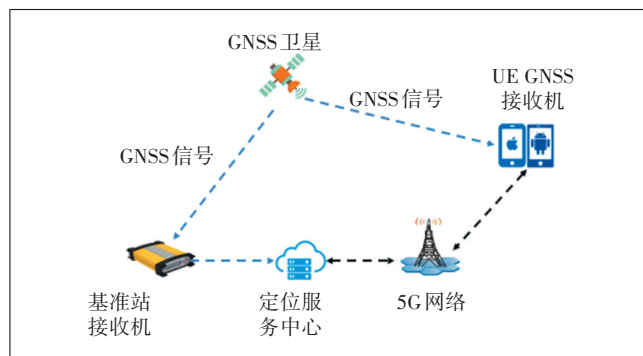


图1 5G网络辅助的GNSS定位原理

传统的无线网络由于速率较低、时延较大,可以满足基于UE的GNSS定位,对于UE辅助的GNSS定位,只能为静止或者低速移动的UE提供高精度定位,不能为高速移动的UE提供高精度定位,5G网络具有低时延特性,使得UE辅助的GNSS定位为高速移动的UE提供高精度定位成为可能。本文接下来从定位精度和5G无线网络负荷2个方面对UE辅助的GNSS定位性能进行分析。

2 UE辅助的GNSS定位精度分析

GNSS的定位精度与定位算法、基准站接收机的位置和数量、RTK改正数据和GNSS接收机测量数据的发送频率等都有关系。以GPS定位为例,民用GPS的定位精度是10~30 m,位置差分、伪距差分的定位精度可以达到米级,RTK载波相位差分的定位精度可以达到厘米级,本文接下来只考虑由于网络时延造成的定位误差。

GNSS接收机的测量数据通过gNB、AMF发送至定位服务中心,定位服务中心完成差分定位解算后,再通过AMF、gNB把精确的位置信息发送给GNSS接收机,总的环回时延由3个部分组成,分别是传输网络的环回时延、设备的处理时间和空口的环回时延。

传输网络的环回时延和GNSS接收机到定位服务中心的光纤长度有关, GNSS接收机到定位服务中心的光纤长度是10 km、100 km和1 000 km时, 传输网络的环回时延分别是0.1 ms、1 ms和10 ms^[5]。

设备的处理时间包括定位服务中心、gNB和AMF的处理时间, 定位服务中心的处理时间通常为2 ms, gNB和AMF的单次处理时间通常是0.5 ms, 因此总的设备处理时间是 $2+4\times 0.5\text{ ms}=4\text{ ms}$ 。

对于eMBB, 空口的环回时延与双工方式(FDD或TDD)、子载波间隔(SCS——Sub-Carrier Spacing)、调度请求(SR——Scheduling Request)周期、数据到达时刻等有关, 假设SR周期=5 ms, 对于TDD SCS=30 kHz, 平均环回时延是7.75 ms, 对于FDD SCS=15 kHz, 平均环回时延是10.5 ms; 使用预调度技术, 对于TDD SCS=30 kHz, 平均环回时延是3.3 ms(按SPS=1 ms计算), 对

于FDD SCS=15 kHz, 平均环回时延是4.5 ms(按SPS=1 ms计算)。对于uRLLC, 通过mini-slot、上行免授权、下行资源抢占等技术, 平均环回时延可以降低到1 ms以下^[6]。

假设GNSS接收机到定位服务中心的光纤长度是100 km, 则传输网络的环回时延是1 ms, eMBB TDD SCS=30 kHz、eMBB FDD SCS=15 kHz和uRLLC的平均环回时延分别是7.75 ms、10.5 ms和1 ms, 则总的环回时延分别是 $1+4+7.75=12.75\text{ ms}$ (eMBB TDD SCS=30 kHz)、 $1+4+10.5=15.5\text{ ms}$ (eMBB FDD SCS=15 kHz)和 $1+4+1=6\text{ ms}$ (uRLLC)。

假设UE的移动速度分别是60 km/h、120 km/h、200 km/h, 则由于网络时延造成的定位误差如表1所示。

从表1可以看出, 在不考虑GNSS定位系统本身定

表1 UE辅助的GNSS定位误差

场景	eMBB TDD SCS=30 kHz			eMBB FDD SCS=15 kHz			uRLLC		
	60	120	200	60	120	200	60	120	200
UE移动速度/(km/h)	60	120	200	60	120	200	60	120	200
UE移动速度/(m/s)	16.67	33.33	55.56	16.67	33.33	55.56	16.67	33.33	55.56
总的环回时延/ms	12.75	12.75	12.75	15.50	15.50	15.50	6.00	6.00	6.00
定位误差/m	0.21	0.43	0.71	0.26	0.52	0.86	0.10	0.20	0.33

位误差的情况下, 由于网络时延造成的定位误差均在1 m以下, 满足3GPP规范和辅助驾驶对高速移动UE的定位精度要求^[7-8]。需要说明的是, 表1计算的定位误差是由于网络时延造成的最大定位误差, 实际上定位服务中心可结合UE的移动速度、移动方向、网络时延和高精度地图等数据, 对UE的移动位置进行预测, 因此由于网络时延造成的定位误差可以远远小于表1中给出的值。此外, 还可以通过低时延的网络结构, 如MEC技术等, 减少总的环回时延, 进一步提高定位精度。

3 5G无线网络负荷分析

对于下行方向, 定位服务中心通过5G网络向GNSS接收机传输的信息的有效期通常是几十秒到几分钟, 定位服务中心通过5G网络传输的位置信息虽然较为频繁, 但是数据量较小, 因此UE辅助的GNSS定位不会给5G网络的下行带来严重的负担。对于上行方向, 通过5G网络传输的是GNSS接收机的原始测量数据, 这类数据通常较大, 因此会给5G网络的上行造成较大的负担, 本文接下来主要分析上行方向的无线

网络负荷。

GNSS接收机上报的原始测量数据的大小与下列因素有关^[9]。

a) GNSS星座数量: 也即GNSS接收机跟踪测量的是哪一个GNSS的信号, 本文假定GNSS接收机跟踪测量的是BDS和GPS。

b) GNSS卫星信号数量 N_{Signal} : 对于每个GNSS, GNSS接收机可以上报最多8个GNSS信号的测量数据。对于BDS, 共计有9种GNSS信号类型, GNSS接收机通常跟踪测量3个信号, 如B1 I、B2 I、B3 I; 对于GPS, 共计有18种GNSS信号类型, GNSS接收机通常跟踪测量4个信号, 如L1 C/A、L1 P、L2 P、L5或L1 C/A、L2 Z-tracking、L2C、L5。

c) GNSS卫星数量 N_{sat} : 也即GNSS接收机跟踪测量的卫星数量, 对于BDS和GPS, GNSS接收机可以分别同时跟踪14个卫星, 在空旷地带的绝大部分地区, 能至少分别跟踪9颗卫星, 对于BDS和GPS, 本文假定GNSS接收机分别上报10个卫星的测量数据。

d) GNSS卫星测量数据: 对于每个卫星的每类信号, 需要上报的测量数据有卫星地址(8 bit)、卫星信号

的载干比(8 bit)、多径指示(2 bit)、载波质量指示(2 bit)、码相位(21 bit)、整数相位(7 bit)、码相位RMS误差(8 bit)、多普勒测量(16 bit)。除此之外,为了提供高精度定位,根据定位服务中心的请求,GNSS接收机还可以上报载波相位测量,载波相位测量也称为累加的三角距离(ADR——Accumulated Delta Range),ADR需要25~41 bit。因此GNSS卫星测量数据 N_{Meas} 共有113 bit,如果不上报ADR,则卫星测量数据 N_{Meas} 共有72 bit。

对于每个GNSS,GNSS接收机一次上报的测量数据 N_{Report} 可以按照公式(1)计算。

$$N_{\text{Report}} = N_{\text{Signal}} \times N_{\text{Sat}} \times N_{\text{Meas}} \times (1+X) \quad (1)$$

其中, X 是LTE定位协议(LPP——LTE Positioning Protocol)层、NAS层、RRC层、PDCP层、RLC层、MAC层等开销信息的比例,通常是20~30%。

假设开销信息的比例是25%,对于BDS和GPS,一次上报的测量数据分别是 $3 \times 10 \times 113 \times (1+25\%) = 4\,238$ bit、 $4 \times 10 \times 113 \times (1+25\%) = 5\,650$ bit,如果BDS和GPS的测量数据同时上报,则一次上报的测量数据是9 888 bit。

假设GNSS接收机上报测量数据的频率是1 Hz,则上报BDS、上报GPS、同时上报BDS和GPS的测量数据的速率分别是4.14 kbit/s、5.52 kbit/s和9.66 kbit/s;假设GNSS接收机上报测量数据的频率是10 Hz,则上报BDS、上报GPS、同时上报BDS和GPS的测量数据的速率分别是41.38 kbit/s、55.18 kbit/s和96.56 kbit/s。

针对上面计算的5G无线网络负荷,有3点需要说明。

a) 对于eMBB,一次传输几千bit不会对上行造成太大的负担,但是对于uRLLC,则会对上行造成较大的负担,因为为了保证低时延和高可靠性,uRLLC单次传输的数据包较小,较大的数据包需要分割成多个较小的数据包后分别传输,相应的增加了空口时延。

b) 为了减少UE上报的测量数据,UE可以只上报信号最好的4颗卫星的测量值,并减少上报的卫星信号数量,如对于每个GNSS,只上报2个卫星信号;另外,在不需要高精度定位的场景下,UE可以不报告ADR,通过以上措施,UE上报的测量数据可以减少80%以上。

c) 根据目前的3GPP规范,GNSS接收机的上报频率较低,当UE高速移动时,该上报频率满足不了高精度定位要求,因此,为了满足高速移动UE的高精度定

位需求,需要提高上报频率或者采用事件触发的上报方式^[9]。

4 结束语

除了通过辅助GNSS,为UE提供高精度定位外,5G网络也可以利用自身的无线信号,在不依赖GNSS的情况下,通过可观察到达时间差(OTDOA——Observed Time Difference Of Arrival)、增强小区ID定位(E-CID——Enhanced Cell ID)等技术为UE提供定位,虽然其提供的定位精度还达不到GNSS的水平,但是5G信号具有大带宽、高SINR的优势,其提供的定位精度显著高于传统的无线网络,基于5G网络的定位具有广阔的应用空间。

参考文献:

- [1] 刘琪,冯毅,邱佳慧. 无线定位原理与技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2017:6-8.
- [2] STEPHAN S, ARMIN D, CHRISTIAN M. Positioning in Wireless Communications Systems[M]. John Wiley & Sons, 2014.
- [3] NG-RAN; Stage 2 functional specification of User Equipment (UE) positioning in NG-RAN: 3GPP TS 38.405 [S/OL]. [2020-4-10]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [4] 田湘,李罡,徐荣. 卫星导航技术专题讲座(四),第8讲,A-GNSS技术[J]. 军事通信技术,2010(2):102-106.
- [5] HOLMA H, TOSKALA A, NAKAMURA T. 5G Technology 3GPP New Radio[M]. John Wiley & Sons, 2020.
- [6] 梁健生,陈晓东. uRLLC关键技术研究及空口时延分析[J]. 移动通信,2020,44(2):35-39.
- [7] Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers for Critical Communications; Stage 1: 3GPP TR 22.862 [S/OL]. [2020-04-10]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [8] IMT-2020 (5G)推进组. 车辆高精度定位白皮书[R/OL]. [2020-04-10]. <https://www.518doc.com/p-5011.html>.
- [9] TSGRAN; LTE Positioning Protocol (LPP): 3GPP TS 37.355 [S/OL]. [2020-04-10]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [10] NR; Base Station (BS) radio transmission and reception: 3GPP TS 38.104 [S/OL]. [2020-04-10]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [11] 张建国,徐恩,张艺译. 5G NR峰值速率综合分析[J]. 邮电设计技术,2019(7):28-32.
- [12] 张建国,徐恩,黄正彬. 5G NR控制信道容量能力综合分析[J]. 邮电设计技术2019(9):45-50.

作者简介:

张建国,毕业于南京邮电学院,高级工程师,硕士,主要从事无线网络的规划和设计工作;韩春娜,毕业于南京邮电学院,工程师,硕士,主要从事cloud和5G相关测试工作;周鹏云,毕业于北京邮电大学,工程师,学士,主要从事无线网络的规划和设计工作。