

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2105867

一种基于GNSS卫星共视的标准时间复现终端研制*

陈瑞琼^{1,3} 卢建福² 刘娅^{1,3} 李孝辉^{1,3}(1.中国科学院国家授时中心 西安 710600; 2.中国电子科技集团公司第三十四研究所 桂林 541000;
3.中国科学院研究生院 北京 100190)

摘要: 研制了一种基于GNSS卫星共视的标准时间复现终端,终端所用技术对传统卫星共视进行了改进,使其共视周期根据用户所使用的时钟源类型不同可进行灵活配置,不局限于传统共视的16 min。另外,利用该技术搭建了一套远程复现系统,系统由基准站与用户站组成,两地均放置一台标准时间复现终端,终端主要由卫星卡、时间间隔计数器、时钟源组成,具备体积小、成本低、组成灵活等特点。通过利用基准站与用户站的共视比对结果,调整用户站的时钟源输出信号,最终可在用户本地实时复现出与基准站同步的时间频率信号,同步的绝对偏差可保持在10 ns以内(95%)。对于用户来说,不需要深入了解其中的实现原理,只需要一台复现终端,就可以得到与基准站时间高精度同步的时间频率信号,从而满足了各行各业用户对时频信号的需求。根据测试试验,得出双频版复现终端异地恢复的时频信号与国家标准时间UTC(NTSC)频率信号偏差最大为7.19 ns,标准差为1.49 ns,频率准确度为 4.25×10^{-14} ;单频版复现终端异地恢复的时频信号与国家标准时间UTC(NTSC)频率信号偏差最大为10.9 ns,标准差为4.23 ns,频率准确度为 3.79×10^{-14} 。

关键词: 时钟监测;共视;时间频率;远距离;复现

中图分类号: TH76;TP873 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015

Development of a standard time recurring terminal based on GNSS satellite common-view

Chen Ruiqiong^{1,3} Lu Jianfu² Liu Ya^{1,3} Li Xiaohui^{1,3}(1.National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences,Xi'an 710600, China;
2.The 34th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation,Guilin 541000, China;
3.Graduate University of Chinese Academy of Sciences,Beijing 100190, China)

Abstract: Develops a standard time reproduction terminal based on GNSS satellite common-view. The technology used by the terminal has improved the traditional satellite common-view, so that the common-view period can be flexibly configured according to the type of clock source used by the users, and is not limited 16 minutes in the traditional common view. In addition, a set of remote reproduction system is built using this technology. The system is composed of a reference station and a user station. A standard time reproduction terminal is placed in both places. The terminal is mainly composed of a satellite card, a time interval counter, and a clock source. Features such as small size, low cost and flexible composition. By using the common view comparison result of the base station and the user station to adjust the clock source output signal of the user station, the time and frequency signal synchronized with the base station can be reproduced locally in the user in real time, and the absolute deviation of synchronization can be kept within 10 ns (95%). For users, there is no need to deeply understand the implementation principle, only a reproduction terminal is needed to obtain a time-frequency signal synchronized with the time of the reference station with high precision, thus meeting the needs of users in all walks of life for time-frequency signals. According to the test experiment, it is concluded that the time-frequency signal of the dual-frequency version of the reproduction terminal has a maximum deviation of 7.19 ns from the national standard time UTC (NTSC) frequency signal, the standard deviation is 1.49 ns, and the frequency accuracy is 4.25×10^{-14} . The maximum deviation between the time-frequency signal recovered in the remote location of the single-frequency version of the terminal and the national standard time UTC (NTSC) frequency signal is 10.9 ns, the standard deviation is 4.23 ns, and the frequency accuracy is 3.79×10^{-14} .

Keywords: clock monitoring; common-view; time-frequency; remote; reproduction

0 引言

国家标准时间(Coordinated Universal Time, National Time

Service Center, UTC(NTSC))远距离异地复现是国家授时中心根据当前具备的装置资源条件,以及结合市场对高精度时频信号、时间溯源等服务需求,提出的一种新概念。它的目标是

收稿日期:2021-03-02

* 基金项目:国家自然科学基金(12003040)项目资助

在用户所在地恢复出与国家标准时间同步的时间频率信号,且能自动运行、持续保持溯源到国家标准时间^[1-3]。

在一个同步区域内,原则上网内所有设备的时钟最终都应溯源到一个基准时钟上。因此,该基准时钟必须保证具有满足相应标准要求的性能,方可保证全网的同步质量。在现代通信行业,时钟同步网是通信网络中最重要的支撑网络之一,为通信网的数字设备提供高精度的定时基准,使通信网内运行的所有设备工作在一个相同的平均速率上,是所有通信设备安全可靠运行的关键^[4-5]。

另外,随着通信技术的不断发展,5G 承载网在大带宽、低时延、云化等需求驱动下,对同步网的时间同步性能提出了更高的要求,同步精度需求可能提升至 30 ns 内,而现网的时间同步技术难以满足,且目前各运营单位普遍缺少专

用的此类高精度监测设备。为了解决这一问题,本文提出了一种基于 GNSS 卫星共视的远程时间频率复现技术,并基于此研制了标准时间复现终端,该终端是一种测试精度优于被测对象两个量级的第三方独立测试设备,可远距离实时异地恢复国家标准时间^[6]。

1 设备组成结构

复现终端设备由卫星卡、计数器、信号产生及分配、主控单元和远程数据传输模块,以及为整个设备供电的供电模块组成,设备组成结构如图 1 所示,所有模块集成在一块主板上,外接 220 V 电源为各部件供电,其中卫星卡、时间间隔计数器、信号源模块通过嵌入式微处理器与主控模块通信,交换数据。

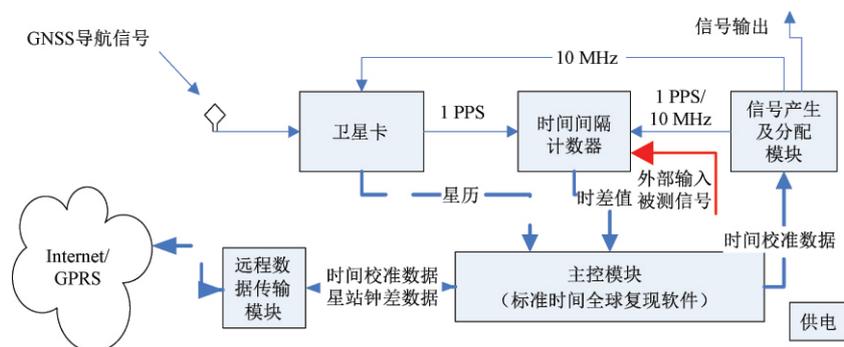


图 1 设备组成结构

1.1 卫星卡模块

卫星卡模块分为双模单频点和双模双频点工作单元两种类型,两种类型的卫星接收单元硬件组成结构相同,如图 2 所示,由于卫星卡接收模块多为 3.3 V 供电的低功耗芯片,模块输出的驱动能力不强,无法直接与采用 5 V 供电的主控模块对通信,因此需要接口转换模块进行电平转换,接口转换模块不会改变数据包的格式或内容^[7]。

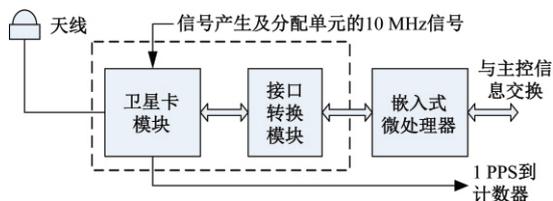


图 2 卫星卡硬件组成结构

嵌入式微处理器主要用于发送查询命令到卫星接收模块,获取满足需求的各项数据包并存储;另一方面,将接收到来自卫星卡模块的数据包按照要求发送给主控模块,因此需要对从卫星卡模块获取的各项数据进行转换、排序、组合,以约定的时间频度输出给主控模块。

目前,设备卫星卡模块双模单频点的接收模块采用 u-blox 公司的 LEA-M8T 授时型接收模块。双模双频点的接收模块为 Novatel 公司的 OEM 638 接收板。

接口转换模块是指卫星卡与主控模块通信采用串口,

卫星卡与主控模块之间采用串口转换芯片进行电平转换。

1.2 时间间隔计数器模块

时间间隔计数器是该设备的测量模块,其基本功能是测试一个开门通道和两个关门通道之间的时间间隔,完成本地时间和卫星卡秒信号之间的时间间隔测量^[8-9]。

工作原理是基于 FPGA 来实现量程为 1 s、分辨率为 0.1 ns 的时间间隔测量模块,采用粗测量和细测量相结合的思路来分别满足量程和分辨率的要求,如图 3 所示。粗测量部分在 FPGA 片内利用基准时钟直接进行脉冲计数来实现,时钟周期为 T_p , N 为粗计数个数,时钟周期和粗测量计数器的计数范围确定了测量的量程,要达到 1 s 的量程,粗计数的时钟周期定为 250 MHz,采用 28 bit 位宽的二进制计数器,可以实现的测量范围为 1.073 ns。细测量包括两个方面,一方面测量起始信号上升沿相对于下一个基准时钟上升沿之间的时间间隔 ΔT_1 ,另一方面测量截止信号上升沿相对于下一个基准时钟上升沿之间的时间间隔 ΔT_2 。因此,待测的时间间隔为:

$$T = NT_p + \Delta T_1 - \Delta T_2$$

1.3 信号产生及分配模块

信号产生及分配模块是标准时间复现终端的重要组成部分,其主要功能是负责产生设备输出的 1 PPS+TOD 信号、输出 10 MHz 信号、输出 5 MHz 信号、1 PPS 信号;为设备的卫星卡和计数器模块提供参考频率信号;为主控模

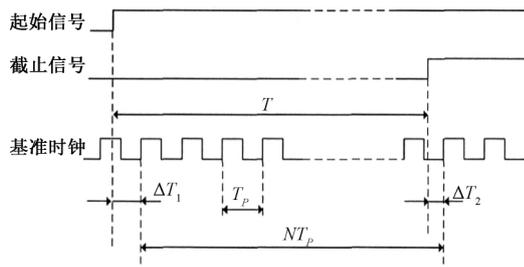


图3 时间间隔测量基本原理

块提供工作状态信息。本文使用恒温压控晶振作为时钟源,输出10 MHz频率信号为基准,利用来自主控模块的时差数据控制时钟源的输出,使其输出的信号与国家标准时间同步,其组成结构如图4所示。

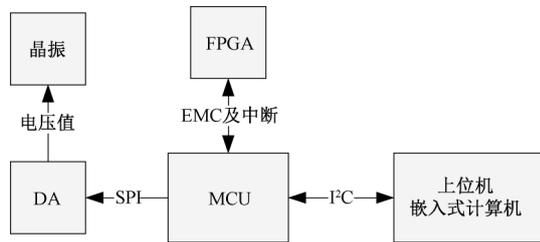


图4 信号产生及分配模块组成结构

信号产生与分配模块由晶振、DA和控制器组成,控制软件的主要功能包括:

- 1)晶振,接收主控模块发来的时差数据,对该数据进行处理,得到调整量,进而控制DA,调制晶振的压控电压;
- 2)与主控模块进行通信,主要包含状态监测、计数器数据传输、时间校准数据获得及其他的的信息。

1.4 主控模块

主控模块是设备的最主要模块,所有硬件及软件模块最终都需要集成到主控模块,主控模块分为硬件部分与软件部分。

1)硬件部分

主控模块硬件部分的主要功能是提供接口与卫星卡、数据传输模块、信号产生及分配模块通信,及监视各模块的状态,并为设备提供电源。

主控模块主要由主控板 MIO3260LZ22GS3A1E 和控制芯片 MCULPC1788 两部分组成,组成结构如图5中虚线框所示。主控板主要负责运行软件,提供各类物理接口。

2)软件部分

主控模块软件部分的主要功能是支持设备的核心功能软件标准时间全球复现软件运行,软件主界面如图6所示。

软件具备的主要功能描述如下:

(1)基本参数初始化功能:当硬件系统启动后,软件即可自动启动,并会自动调用最后一次更新的基本信息参数配置表,对软件基本信息进行初始化设置。

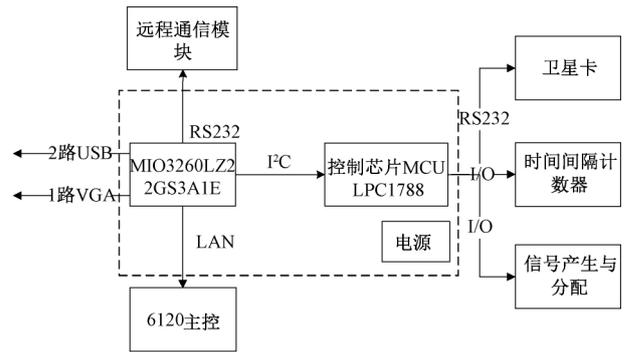


图5 主控模块硬件结构



图6 主控模块软件主界面

(2)通信参数配置功能:该功能包括卫星卡模块和远程数据传输模块通过RS232接口的通信配置;与主控模块通过IIC接口的通信设置等。

(3)数据解析功能:采集解析卫星卡模块发送的卫星信息及测站天线坐标信息,并能主动发送相应指令至主控模块控制卫星卡的输入输出;采集解析MCU主控模块发送的各类数据;采集解析计数器模块、信号产生与分配模块发送的各类数据等。

(4)数据分析功能:将原始数据进行数据分析处理,生成相应的时差数据,且具备频率稳定度分析功能,可选择某个时间段内时间校准数据进行时间方差,最大间隔误差,频率准确度等分析功能。

(5)实时显示功能:具备各类数据结果实时显示,及数据分析处理结果实时显示包括时间方差,最大间隔误差,频率准确度等计算结果显示及图形绘制功能。

(6)存储功能:具备实时存储时间校准数据、星站钟差数据、测站天线坐标数据、校准模式数据至数据库的功能,并能实时文本存储原始数据至本机的功能;并可以将界面实时绘制的各类图形进行保存。

(7)数据查询功能:具备从数据库查询各项历史数据功能,包括时间校准数据、星站钟差数据、测站天线坐标数据、校准模式数据。

(8)状态监视功能:可根据主控模块提供的状态信息

及收到的相关数据,实时判断各模块的工作状态是否正常,具体响应主界面各模块状态指示灯,红色代表异常,绿色代表正常。

另外,主控模块软件支持 3 种工作模式,可根据信号接入情况自动切换。溯源模式:通过卫星共视与标准或参考时间同步;本地模式:以本地铯钟或类似原子钟信号为参考,产生信号;自保持模式:溯源模式下失去溯源数据、也没有本地参考时钟时,采用自主时钟算法维持。

1.5 远程数据传输模块

远程数据传输模块的目的是为了通过无线网络,透明转发数据,实现异地设备的点对多和点对点通信,方便、快捷的实现异地数据传输。

目前是基于 4G 的无线通信实现,远程数据通信模块主要由嵌入式数据传输单元 (data transmission unit, DTU)、串口服务器、数传中心服务器等硬件及数据中转软件组成,结构如图 7 所示。嵌入式 DTU 集成在终端,通过串口实现数据传输;DTU 通过 4G 网络接入互联网与数传中心服务器形成通信联络;数传中心服务器与数据处理中心站使用串口服务器通过串口实现数据传输,最终主控模块软件与数据处理中心站数据双向传输。

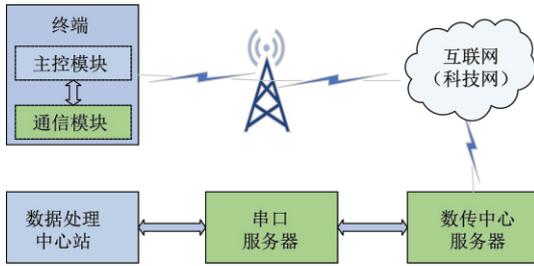


图 7 远程数据传输模块组成结构

具体实现为将配置好的 DTU 与设备通过 RS232 串口连接并启动,DTU 会自动与数传中心服务器建立基于 TCP/IP 协议连接,完成设备与数传中心服务器的通信链路;数据处理中心通过 RS232 串口线与串口服务器连接,进而完成数据处理中心与数传中心服务器的通信链路;数传中心服务器上的数据中心处理软件完成网络端口到串口的数据转发,最终实现数据中心到设备的点对多通信链路。

2 工作原理

标准时间复现终端与国家标准时间基准站间的实现是基于一种新的实时的卫星共视方法,其基本原理与标准卫星共视法相似,如图 8 所示,不同之处在于,该方法不采用标准卫星共视法的共视周期,即不使用国际权度局 (BIPM) 规定的共视时刻表进行观测,而是采用连续的时间比对方法,根据所使用信号源的不同,可设置任意周期作为一个完整的观测周期,两个观测周期之间无缝连接,解决传统卫星共视存在 18.75% 测量盲区,且不能满足对被测信号连续监测的需求^[10-11]。

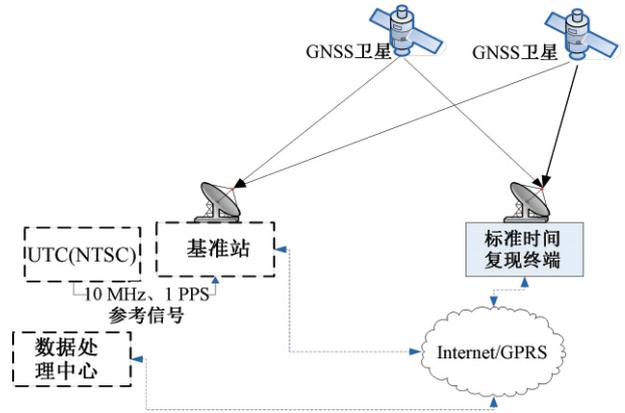


图 8 设备工作原理

标准时间复现终端内部工作原理为:卫星卡在信号产生及分配模块提供的 10 MHz 参考频率信号驱动下,接收各导航系统卫星信号,并实时输出 1 PPS 信号和导航电文数据,分别将其发送至计数器和主控模块,计数器模块测量卫星卡输出 1 PPS 与信号产生及分配模块输出 1 PPS 信号之间的时差,将时差测量结果输出到主控模块。主控模块通过通信接口读取时差测量结果,以及来自卫星卡的导航电文数据,分析计算后生成星站钟差数据(即卫星与测站间的时差数据),通过远程数据传输模块发送到远端的数据处理中心如图 8 所示。数据处理中心收集各设备及基准站的星站钟差数据,并计算各设备与基准站 UTC(NTSC) 的差值,称为时间校准数据,然后通过远程数据传输模块将该结果返还给设备主控模块。主控模块将获得的时间校准数据通过通信端口转发给信号产生及分配模块,由该模块根据当前的时间校准数据量和历史数据,生成对信号源控制量,控制信号产生及分配模块的输出,使其保持与 UTC(NTSC) 同步。供电模块负责为系统各模块提供直流电源。

另外,标准时间复现终端还可以作为远程时间测量设备使用。当作为测量设备时,被测信号如图 1 中加粗实线所示,被接入设备计数器模块,由计数器(计数器有 3 个测量通道和 1 个参考信号输入通道,测量通道分别接入卫星卡输出的 1 PPS 信号,信号产生及分配输出的 1 PPS 信号,以及外部输入的被测信号,来自信号产生及分配输出的 10 MHz 作为计数器的基准时钟从参考信号输入通道接入)测量与卫星卡输出 1 PPS 信号的时差。主控模块通过通信接口读取时差测量结果数据,以及来自卫星卡的星历等数据,分析计算后生成星站钟差数据,通过远程数据传输模块发送到远端的数据处理中心。数据处理中心收集包括基准站在内各站的星站钟差数据,计算各站与基准站的差值,生成时间校准数据,然后通过远程数据传输模块返还给主控模块。主控模块在软件中显示并保存该结果,作为用户输入信号与 UTC(NTSC) 的偏差结果^[12-15]。

3 测试结果

根据设备卫星卡模块硬件配置的不同,将标准时间复现终端设备分为两款,一款是基于双模单频点卫星卡,称为单频版,另外一款是基于双模双频点卫星卡,称为双频版。下面分别对两款标准时间复现终端设备进行时间同步性能测试。

3.1 双频版测试结果

试验使用时间间隔计数器 SR620 对双频版设备复现输出的 1 PPS 信号及 UTC(NTSC) 标准时间信号的时差进行测试,偏差结果如图 9 所示。测试时间为 2018 年 9 月 1 日~2018 年 9 月 2 日,试验持续测试 48 h。计算得出复现同步信号与 UTC(NTSC) 偏差均值为 4.2×10^{-5} ns, 标准差为 1.49 ns, 均方根为 1.49 ns, 最大值为 7.19 ns, 最小值为 -6.03 ns, 万秒稳定度为 2.18×10^{-13} , 频率准确度为 4.25×10^{-14} 。

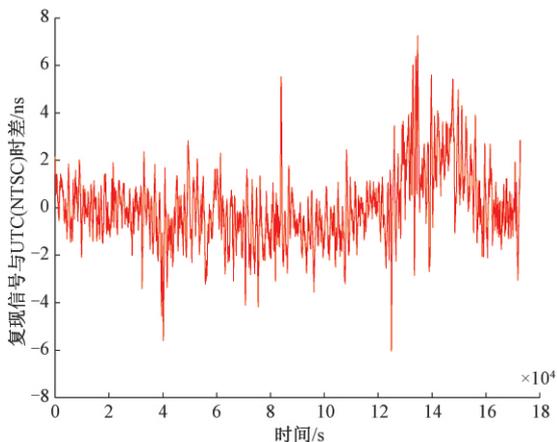


图9 双频版测试结果

3.2 单频版测试结果

单频版测试试验仍使用时间间隔计数器 SR620 对设备输出 1 PPS 信号及 UTC(NTSC) 标准信号进行测试,结果如图 10 所示。测试时间为 2018 年 9 月 1 日~2018 年

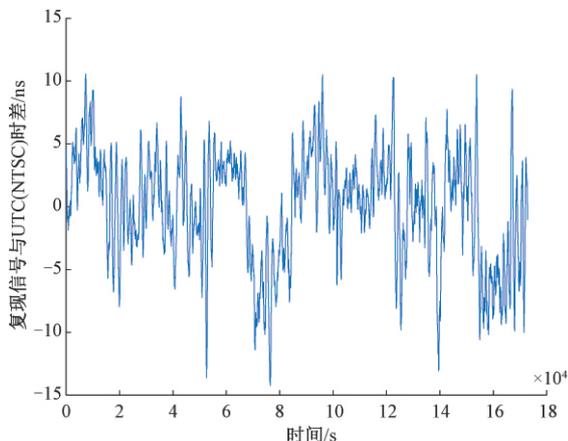


图10 单频版测试结果

9月2日,持续测试48h。计算得出设备复现信号与UTC(NTSC)偏差,均值为0.0175 ns,标准差为4.23 ns,均方根为4.23 ns,最大值为10.5 ns,最小值为-10.9 ns,万秒稳定度为 7.93×10^{-13} , 频率准确度为 3.79×10^{-14} 。

4 结论

为了解决现有通信网内部时钟高精度同步问题,本文研制出了一款基于GNSS卫星共视的标准时间复现终端设备,根据所配置的卫星卡类型不同,设备分为单频版和双频版两种,其主要由卫星卡、时间间隔计数器、信号源、主控模块、远程数据传输模块等集成,具备体积小、成本低、系统组成灵活等特点。不仅可为用户远距离实时提供国家标准时间频率信号,也可对同步网内时钟进行实时监测,且两款设备均可实现时间同步偏差优于10 ns,复现信号的频率准确度优于 1×10^{-13} 。另外,提出了一种连续的卫星共视比对方法,解决传统卫星共视存在18.75%测量盲区,且不能满足对被测信号连续监测的需求,同时也是卫星共视技术在通信行业应用的重要发展方向,预期将会为下一代移动通信时间同步技术,具有产业化应用前景。

参考文献

- [1] 张继海,武文俊,广伟,等.基于北斗共视的国际时间必读研究[J].仪器仪表学报,2018,39(6):96-102.
- [2] 陈瑞琼,刘娅,李孝辉.一种高精度国家标准时间远程复现方法[J].武汉大学学报,2018,43(2):188-192.
- [3] 许龙霞,陈婧亚,李丹丹.一种卫星双向时频传递设备时延差的标定方法[J].仪器仪表学报,2016,37(9):2085-2090.
- [4] 刘娅,陈瑞琼,赵志雄,等.UTC(NTSC)远程高精度复现方法研究及工程实现[J].时间频率学报,2016,39(3):178-191.
- [5] 王彦辉,秘金钟,谷守周.不同基线长度的GPS共视授时算法[J].导航定位学报,2017,5(4):41-45.
- [6] 程禹,吴限德,韩华,等.基于卡尔曼滤波和RTS事后平滑的GNSS共视时间比对算法[J].哈尔滨工程大学学报,2018,39(5):915-919.
- [7] 翟瑞,周静雷.基于STM32的USB转串口通信端口设计[J].国外电子测量技术,2021,40(1):92-95.
- [8] 陈瑞琼,刘娅,李孝辉.基于改进的卫星共视法的远程时间比对研究[J].仪器仪表学报,2016,37(4):757-761.
- [9] 周维虎,石俊凯,纪荣祎.飞秒激光频率梳精密测距技术综述[J].仪器仪表学报,2017,38(8):1860-1868.
- [10] 江志恒.GPS全视法时间传递回顾与展望[J].宇航计测技术,2007(S1):53-71.
- [11] 陈婧亚,许龙霞,李孝辉.接收机位置误差对GNSS定时的影响分析[J].仪器仪表学报,2017,38(6):1459-1464.

- [12] 张鹏飞,涂锐,高玉平.基于北斗的时间传递方法及其精度分析[J].仪器仪表学报,2017,38(11):2700-2706.
- [13] 陈瑞琼,刘娅,杨莹,等.基于不同共视周期的标准时间远程复现分析[J].仪器仪表学报,2018,39(5):33-37.
- [14] 汪志宇,刘春,戴雷.小波变换组合双线性插值法在北斗周跳中的应用[J].电子测量与仪器学报,2020,34(11):20-57.
- [15] 张梅,荣昆,张双双.基于卡尔曼滤波的 TPSN 时钟同

步算法[J].电子测量技术,2020,43(18):43-46.

作者简介

陈瑞琼,博士,主要研究方向为高精度时间频率的测量方法及多导航卫星共视。

E-mail: crq@ntsc.ac.cn

卢建福,硕士,主要研究方向为光纤通信技术。

E-mail: fuzai777@163.com