

引用格式: 金晓臻, 华宇, 李孝辉, 等. 电话授时技术发展[J]. 时间频率学报, 2026, 49(1): 121-126.

电话授时技术发展

金晓臻^{1,2}, 华宇^{1,2,3}, 李孝辉^{1,2,3}, 刘长虹^{1,2}, 冯平^{1,2,3}, 闫温和^{1,2}

1. 中国科学院 国家授时中心, 西安 710600;
2. 时间基准及应用重点实验室(中国科学院), 西安 710600;
3. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 电话授时技术最早在 1988 年开展于美国, 由于其安全性高、抗干扰能力强, 很快在各国得到了推广。中国科学院国家授时中心于 1998 年推出了我国首个电话授时系统, 经不同汇接局后的时间同步精度优于 6 ms, 填补了国内空白, 随后, 中国计量科学研究院和电信科学技术第五研究所开展了电话授时技术研究, 取得了较好的授时效果。2017 年, 国家授时中心采用传输伪噪声 PN 码测时延的方法, 将经同一端局的电话授时不确定度提高至 100 μ s 级。2022 年, 全国范围的电话授时系统建成, 该系统包含西安、北京、南京、深圳 4 个站点, 利用北斗卫星共视技术实现各站点时间同步, 在全国复杂电话网络环境下, 授时不确定度优于 10 ms, 可以满足用户对电话授时的需求。

关键词: 电话授时; 授时不确定度; 时延测量

DOI: 10.13875/j.issn.1674-0637.2026-01-0121-06

Development of telephone time service technology

JIN Xiao-zhen^{1,2}, HUA Yu^{1,2,3}, LI Xiao-hui^{1,2,3}, LIU Chang-hong^{1,2},
FENG Ping^{1,2,3}, YAN Wen-he^{1,2}

1. National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China;
2. Key Laboratory of Time Reference and Applications, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China;
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The telephone time service technology was first developed in the United States in 1988. Due to its high security and strong anti-interference ability, it was quickly promoted in various countries. The National Time Service Center of Chinese Academy of Sciences launched China's first telephone time service system in 1998. The accuracy of time synchronization for this system is better than 6 ms. It filled the domestic gap. Subsequently, the National Institute of Metrology, China and the Fifth Research Institute of Telecommunication Science and Technology conducted research on telephone time service technology and achieved good results. In 2017, the National Time Service Center improved the uncertainty of telephone time service through the same terminal office to the level of 100 μ s by adopting the method of transmitting pseudo-noise(PN) code to measure time delay. In 2022, a nationwide telephone time service system was established, including four stations: Xi'an, Beijing, Nanjing, and Shenzhen. The system utilized Beidou satellite common view technology to achieve time synchronization among various stations. In the complex telephone network environment across the country, the uncertainty of time service is better than 10 ms,

收稿日期: 2025-09-10; 接受日期: 2025-11-02

基金项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划(XAB2022YN19)

作者简介: 金晓臻, 男, 博士, 高级工程师, 主要从事有线授时技术的研究。

which can meet the needs of users for the telephone time service.

Keywords: telephone time service; time service uncertainty; time delay measurement

电话授时是一种通过电话网传输标准时间信息的有线授时方式。电话授时多采用问询方式向用户提供标准时间;用户通过调制解调器拨打授时系统的专用电话,授时系统服务器收到用户请求后将标准时间信息发送给用户,完成授时服务^[1]。

电话授时依靠电话网传播授时信号,电话网应用广泛,使电话授时在覆盖范围方面具有得天独厚的优势。电话授时不受信号遮挡影响,且不易受人为攻击和干扰,可以弥补卫星授时和无线电授时在这一方面的缺陷。此外,电话授时在网络安全方面风险较小,且便于身份认证和端到端加密,能够提供更高的授时安全性。上述特点使电话授时既适用于地下工事、坑道、室内等信号受遮挡的应用场合,又能够服务于金融、电力、交通等对时间安全性要求较高的领域。

本文将对电话授时技术的技术特点、系统组成和性能指标的发展进行分析和阐述。

1 国外技术发展概况

1988年,美国首次开展了一种利用公共通信系统传递标准时间的新手段——计算机自动时间服务(ACTS),它通过调制解调器与12路电话线路相连接,可同时向12个用户发播标准时间,ACTS的授时准确度为10 ms^[2]。到了1998年,美国的电话授时应用已经非常普遍,每天约有7 000用户访问。

在美国开展电话授时之后,各国也相继开展了这项服务,且多采用字符传输时间信息。1995年,日本情报通信研究机构(NICT)研制了电话授时服务系统,使用专用的接收机可以获得与日本国家标准时间同步精度达1 ms的时间^[3]。2004年,罗马尼亚国家计量研究所(INM)进行了电话授时实验,通过调制解调器与计算机连接,在全国不同地点分别对装有DOS系统和WINDOWS系统的计算机进行了时间同步测试,测试结果显示基于DOS系统的同步精度为几十毫秒,基于WINDOWS系统的同步精度为几百毫秒^[4]。2002年,印度国家物理实验室(NPLI)开展了电话授时服务,并于2008年研制了两款电话授时设备:固定电话时钟接收机和移动电话时钟接收机^[5]。

2 国内技术发展概况

1996年6月,中国科学院陕西天文台(2001年

更名为中国科学院国家授时中心)开展了电话授时系统研究,系统组成如图1所示^[2],电话授时系统主要由如下几部分组成。

① 时间源

时间源来自于陕西天文台的协调世界时UTC(CSAO)提供的标准时间,GPS(Global Positioning System)时间后备支持系统提供的时间作为备份。

② 时间编码及发送装置

时间编码及发送装置与用户接收终端配合完成电话线路时延测量,并发送包含标准时间的时间编码。

时间编码及发送装置向用户接收终端发送字符A,同时启动一个100 kHz的时间间隔计数器,当用户接收终端收到发送装置发来的字符A时,立即向发送装置返回一个字符B,发送装置收到B后,读取计数器的计数值,其二分之一即为电话线路的时延。

完成时延测量后,时间编码及发送装置在向用户接收终端发送标准时间时进行时延修正,即提前发送至用户接收终端,从用户接收终端来看,接收到时间编码的时刻和标准时间是同步的。

③ 用户接收终端

用户接收终端接收到时间编码后,以秒信号和时间显示的形式输出标准时间。

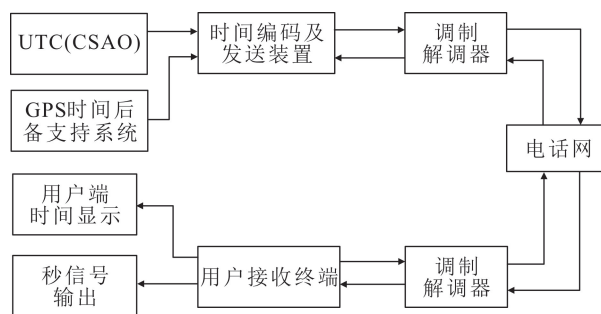


图1 国家授时中心电话授时系统

1998年8月,中国科学院西安分院对电话授时系统进行了成果鉴定,鉴定报告显示:电话授时系统在同一交换机内部,时间同步精度优于4 ms,经过汇接局后,时间同步精度优于6 ms,填补了国内的空白,达到了国际先进水平^[6]。该电话授时系统获得了2000年陕西省科学院科技进步一等奖。

随后陕西天文台又研制了电话授时系统“TSS-I接收器”,该接收器应用于西安市临潼广播电视台、陕西人民广播电台播出部、陕西省计量测试研究所

等单位,取得了理想的效果,“TSS-I 接收器”被国家经济贸易委员会认定为 2000 年度国家级新产品^[7]。

2006 年 4 月,国家授时中心为上海海岸电台研制了电话授时时间传递设备,通过电话授时的方式将其时间溯源至国家授时中心的标准时间。

2000 年,中国计量科学研究院建立了面向全国“试运行的电话授时系统”,随后于 2003 年完成了“正式运行的电话授时系统”的研制,系统由并行运行的主备两台授时主机和一台监控主机组成,一台授时主机和监控主机的组成如图 2 所示^[8]。

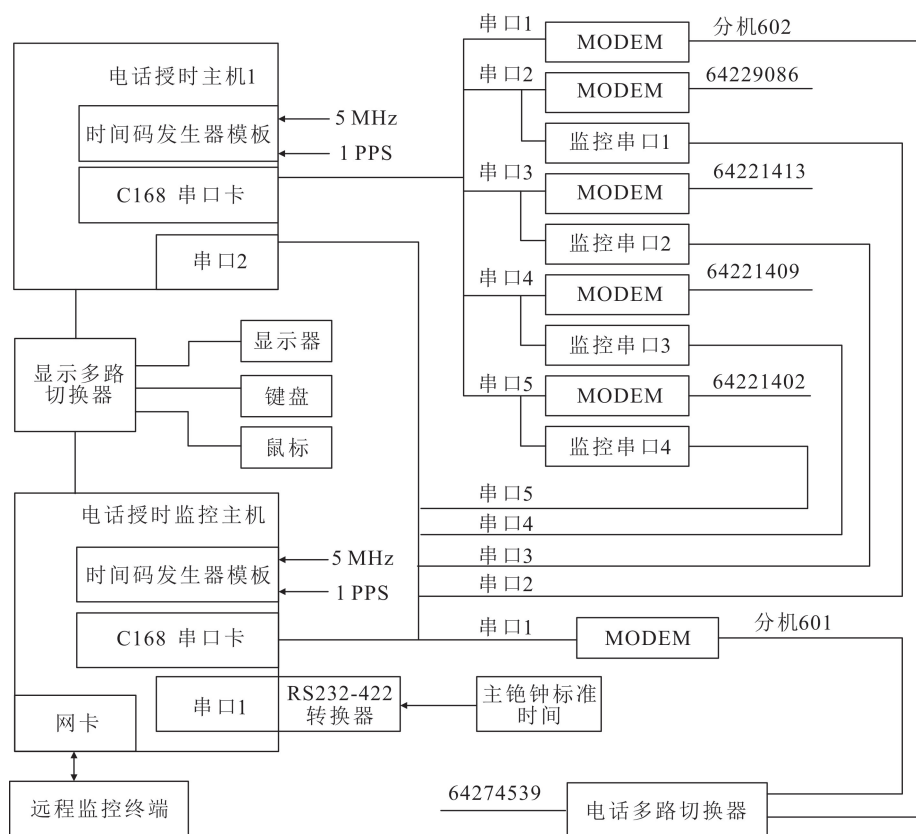


图 2 中国计量科学研究院电话授时系统

每台授时主机内插 3 块时间码发生器模板,接收来自中国原子时标计量基准 UTC(NIM) 的 5 MHz 信号和 1 PPS 信号,3 个模板独立产生时码信息,相互校验。每台授时主机包含一块八串口扩展卡,8 个串行口均可连接调制解调器,可同时为 8 个不同的用户进行电话授时服务。

监控主机内插一块时间码发生器模板,它的时间来自于原子时标铯钟,监控主机通过串行口与每台授时主机进行相互通讯,当授时主机与监控主机时间比对不一致或监控主机与铯钟时间不一致时,授时主机停止服务。同时,监控主机定时拨打授时服务电话,检查授时主机工作是否正常,另外监控主机还通过直接监听授时主机发给用户的时间码信息来判断授时主机工作是否正常。

根据全国不同区域的测试,当电话线路和调制解调器固定时,该系统单次波动(每秒收到的准时标记时刻与标准时间之差)小于 8 ms,对于一般用

户(使用授时合格的几种调制解调器),电话授时不确定度优于 10 ms。

2015 年,电信科学技术第五研究所设计了一种 ACTS 校时方法^[9],所采用的电话授时原理与图 1 类似,在电话授时工作流程方面有所区别,主要区别在于:该 ACTS 校时方法定义了一种电话授时的时码格式,时码格式中包含时延值帧,这意味着该方法不通过服务器端提前发送时码使用户端时间同步于标准时间,而是用户端通过时延值修正接收到的标准时间。

此外部分技术细节存在区别,区别如下。

① 增加了时延测量跨秒的判断

在时延计算时只计入小数秒时间(以 100 μ s 为单位计小于 1 s 的时间),故加入了时延测量跨秒的判断,当出现时延跨秒时,即接收到时码协议帧时刻小于发送时码协议帧时刻时,时延值为接收时刻减去发送时刻加 1 s 的二分之一,当没出现跨秒时,

时延值为两个时刻差值的二分之一。

② 增加了对时延值的判断

当时延值处于 30 ms 至 300 ms 之间时认为授时有效,若不在此区间则重新授时。

3 电话授时技术的数字化改进

通用的电话授时系统均采用传输字符测量电话线路时延,这种方法存在两个缺点:① 处理器记录的时延发送时刻与接收时刻不够准确;② 调制解调字符过程会引入较大时延波动。

针对上述缺点,2010 年,国家授时中心提出了通过传输 PN(pseudo-noise)码测量电话线路时延的方法^[10-11]。该方法采用 PN 码作为时延测量信号,通过 1 PPS 上升沿触发产生 PN 码,提高了发送时刻的精度,并采用 FPGA(field programmable gate array)捕获 PN 码,提高了记录接收时刻的精度。此外该方法服务器端对 PN 码调制后进行 DA(digital-to-analog)转换,将时延测量信号转换为模拟信号,省去了调制字符过程,同理,用户端省了解调字符过程。

基于 PN 码的时延测量原理如图 3 所示^[12],服务器端用本地的 1 PPS 信号触发产生 PN 码,后将 PN 码信号与载波信号进行幅度调制,使调制后的信号满足电话线路带宽要求,然后将调制信号经 DA 转换后变为模拟信号送入电话网,用户端对模拟信号 AD 采样后进行幅度解调,再通过匹配滤波器对 PN 码信号进行捕获,匹配滤波器在一秒钟内完成对一个周期 PN 码的捕获并产生最大相关峰值,在最大相关峰处可生成 1 PPS 信号,将此 1 PPS 信号与服务器端的 1 PPS 信号进行比对,对比值即为电话线路的时延值。

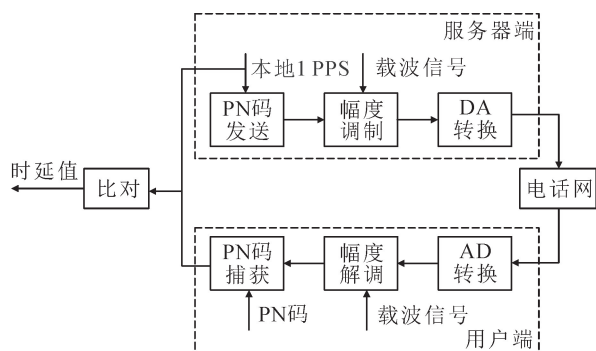


图 3 基于 PN 码的时延测量原理

2017 年,国家授时中心采用将基于 PN 码测时延的方法和基于 BCH 编码加 FSK 调制传输时间信息的方法相结合的数字化信号处理方式^[13-14],替代通过调制解调器传输字符的方式,研制了电话授时

设备,经多次测试,该设备在同一电话端局下的授时不确定度最大值为 $164 \mu\text{s}$ ^[13]。根据该技术研制的时统设备已应用于北京某银行数据中心。

然而随着固定电话的网络化转型,电话网从传统的以电路交换为主的 PSTN(公共交换电话网络)转变为以 IP(Internet Protocol)分组技术为主的 NGN(下一代网络),IP 分组技术与传输路径密切相关,与电路交换方式相比,IP 分组技术给电话线路带来了更大的时延波动,并增加了上下行时延的不对称性,这对电话授时不确定度有较大影响。尽管基于 PN 码的时延测量技术提高了收发两端的测量精度,但在全国范围内的测试中,仅能达到 30 ms 的授时不确定度^[13]。

4 全国范围电话授时服务系统建设

我国虽然已经建成了较为完备的天基和陆基授时服务系统,但尚未建成完善、可靠的有线授时服务系统。现有电话授时存在服务站点少,服务能力弱的缺点,为了增强对我国城市复杂环境和一些特殊条件下授时信号的覆盖,提高我国用时的安全性和可靠性,迫切需要建设一套完整的、可靠的电话授时服务系统。

2022 年 7 月,国家授时中心完成了全国范围电话授时服务系统的建设,在西安、北京、南京、深圳建立了 4 个电话授时站点,各站点均包含电话授时单元和授时监测单元,电话授时服务系统的组成如图 4 所示,西安站点通过直连的方式获取国家时间基准 UTC(NTSC)的标准时间,北京、南京、深圳等站点通过北斗卫星共视的方式使本地时间同步于 UTC(NTSC),各授时站点相互备份,全国用户可以通过电话定时接收机拨打任一电话授时站点的电话号码获取标准时间,图 5 为各站点的设备组成。

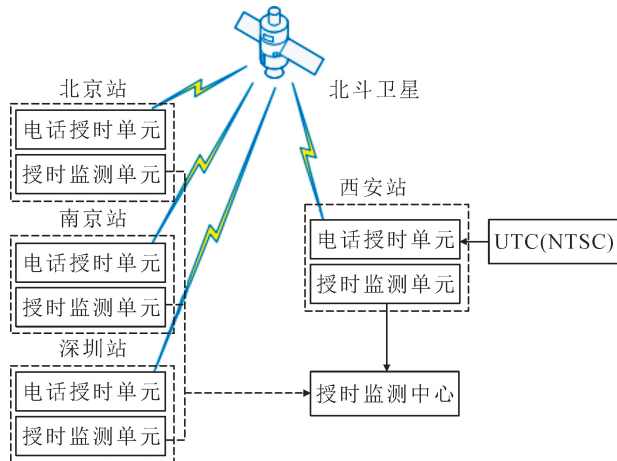


图 4 全国范围电话授时服务系统



图 5 各地电话授时站点内的设备组成

此外,位于西安的授时监测中心通过各站点的授时监测单元对站点内的设备状态及电话授时的运行状态进行自动监控,实时掌握电话授时服务系统的运行情况。

针对目前电话网的发展情况,结合全国范围内多运营商互联的复杂电话网络环境,新建电话授时系统对基于传输字符的电话授时方式进行了改进,改进后用户端获取标准时间的步骤如下。

Step1:用户端拨打服务器端(站点内的电话授时单元)的电话号码,服务器端检测到振铃后摘机,两端建立连接后用户端在 T_1 时刻向服务器端发送基于字符的授时请求信号;

Step2:服务器端在 T_2 时刻接收并识别出授时请求信号后向用户端发送基于字符的电话授时信号(服务器端从接收信号到发送信号的时间间隔忽略不计);

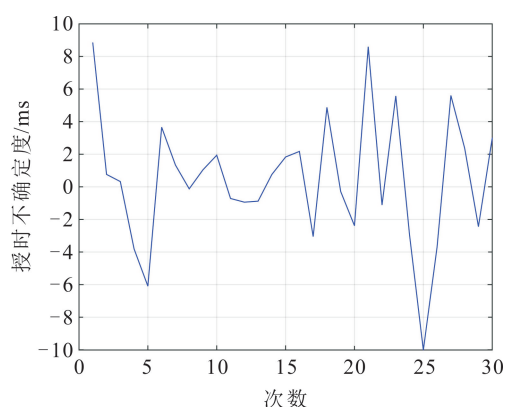
Step3:用户端在 T_3 时刻收到电话授时信号,默认授时请求信号和电话授时信号在电话线路内的传输时间相同,用户端根据时间戳 T_1 、 T_2 、 T_3 计算收发两端钟差,校对本地时间,输出时码信号和 1 PPS 信号,随后挂机结束授时。

上述电话授时步骤对传统电话授时步骤的改进在于:通过用户端先发送时延测量信号和服务器端后回发电话授时信号组成一次信号往返传输,完成了时延测量和电话授时过程,而传统的电话授时方式通过两次信号传输完成上述两个过程,这一改进可以提高电话授时效率,增加时延测量次数,有助于更好的标定电话线路时延不对称性,进而减小电话授时不确定度。

此外,还定义了时延测量信号和电话授时信号的信号格式,电话授时信号格式内不包含时延值

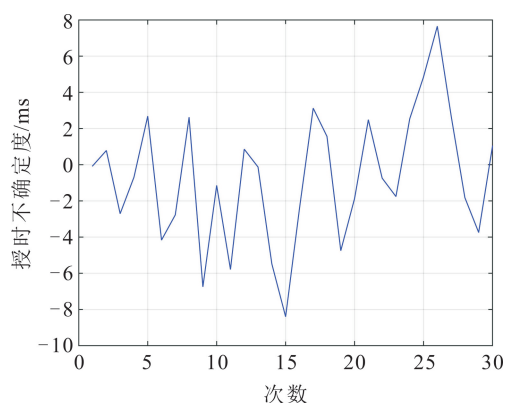
帧,此项由用户端计算。

2022 年 12 月前,对新建成的电话授时系统进行了测试验收,在全国范围内多个城市对系统进行了大量测量,测量结果表明该电话授时系统的授时不确定度优于 10 ms。以南京电话授时站点为例,在全国 6 个城市对南京站点的电话授时不确定度进行了测量,测量结果如图 6 所示。



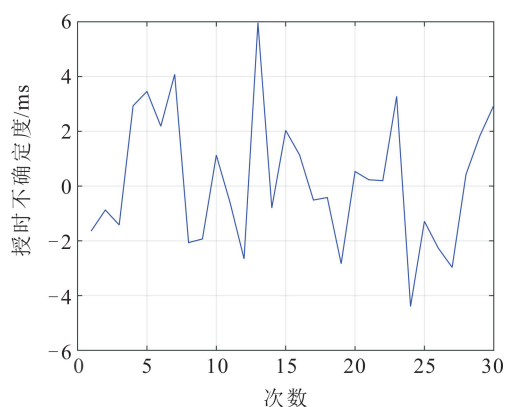
注:测试时间为2022年9月22日

(a) 北京—南京



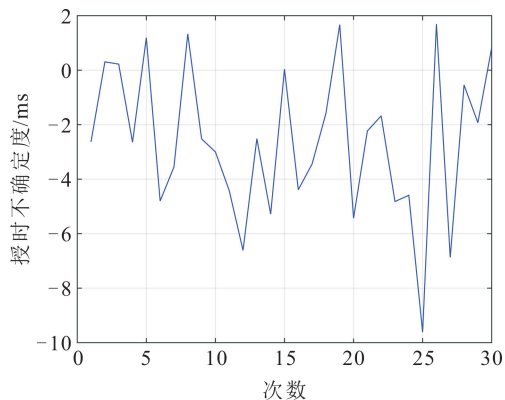
注:测试时间为2022年9月18日

(b) 兰州—南京

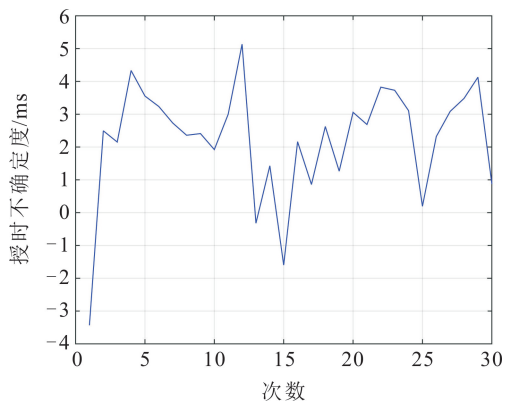


注:测试时间为2022年9月21日

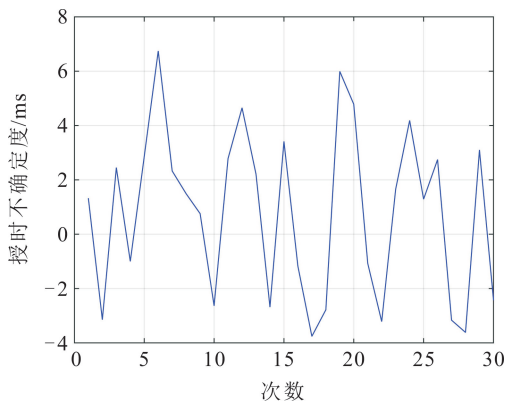
(c) 深圳—南京



(d) 武汉—南京



(e) 西安—南京



(f) 郑州—南京

图6 南京站点电话授时不确定度测量结果

5 结语

自20世纪80年代美国率先开展电话授时至今,电话授时在各国都得到了不同程度的发展,几十年来,中国的科研人员对于电话授时技术进行了深入的研究,使得我国的电话授时技术得以持续发展,随着全国范围电话授时系统的建成,目前我国已具有了完备的电话授时服务和监测系统。

任何一种授时方式都不可能满足所有用户的

需求,我们在推广卫星授时、光纤授时等高精度授时技术应用的同时,也应发挥电话授时“泛在、可靠、安全、简单”的独特优势,使其成为国家授时服务体系的重要一环和战略备份,提高授时韧性和安全性。在技术发展方面,可以通过提升授时不确定度、多种授时源融合、开发轻量化电话授时协议等方式对电话授时系统进行技术升级,使其得到更好的推广应用。

参考文献:

- [1] 漆贯荣. 时间科学基础[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [2] 柯熙政,和康元,袁海波,等. 电话授时系统的时间同步准确度研究[J]. 宇航计测技术,2000,20(1):27-31+43.
- [3] 情报通信研究机构(NICT). 电话时间传播介绍:日本[EB/OL]. (2025-08-22)[2025-09-05]. https://jty.nict.go.jp/time/teljty/teljty_p1-e.html.
- [4] NICULESCU A, ANGELESCU M. Time dissemination via telephone lines using commercial modems[C]//18th European Frequency and Time Forum(EFTF 2004), 2004:187.
- [5] BANERJEE P, THORAT P P, SURI A K. An innovative time service via telephone network-a study on its potentiality[C]// IEEE International Frequency Control Symposium Joint with the 22nd European Frequency and Time Forum 2009, Besancon:IEEE,2009:733-737.
- [6] 中国科学院陕西天文台. 电话授时系统科学技术成果鉴定书[Z]. 西安:中国科学院西安分院,1998.
- [7] 中国科学院陕西天文台. TSS-I接收器认定证书[Z]. 北京:国际经济贸易委员会,2000.
- [8] 林平卫,王平,李明寿,等. 正式运行的电话授时系统的研制[C]//2003年全国时间频率学术交流会,贵阳:中国宇航协会,2003:163-168.
- [9] 王茂凌,孙旭,楚鹰军,等. 一种改进的 ACTS 校时方法,104811293[P]. 2017-12-26.
- [10] 华宇,董道鹏,曾婷,等. 伪随机码电话授时的时间服务器,201533337[P]. 2010-07-21.
- [11] 曾婷. 电话授时系统信道时延测量新技术研究[D]. 西安:中国科学院研究生院(中国科学院国家授时中心),2010.
- [12] 金晓臻,华宇. 基于PN码的电话信道时延测量方法研究[J]. 时间频率学报,2017,40(4):221-230.
- [13] 金晓臻. 数字化电话授时理论基础与授时服务系统设计实现[D]. 西安:中国科学院大学(中国科学院国家授时中心),2017.
- [14] 金晓臻,华宇,武晓亮,等. 一种通过传输语音信号实现电话授时的装置,112511288[P]. 2024-05-31.