

复杂系统智能授时管理方法

张妍典¹ 胡玉梅¹

ZHAGN Yandian HU Yumei

摘要

现有授时设备虽然支持内置高精度时钟源以及 GPS/北斗卫星授时,但面对高度复杂电磁环境的军事训练评估场景,可能由于强干扰、高阻塞等原因导致授时基准源信息获取失败,进而引起整体系统失效风险。针对上述问题,提出一种多时统源的智能授时管理方法。在实现方法中,首先以 FPGA 系统时钟作为基准对输入时统源进行有效性分析;然后基于分析结果进行授时智能仲裁选通,以支持系统运行期间时统源的随时切换,保证系统运行的稳定性和精确性,为复杂系统的抗干扰性和可靠性提供有效支撑。所提出的方法已在某军事训练评估系统中部署使用,并长期稳定运行。

关键词

时统系统; 卫星授时; FPGA; 智能授时

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.03.024

0 引言

在智能化时代,大数据、物联网和云计算等智能技术迅猛发展,通过融合运用,可以实现对军事训练评估全过程和全要素实施“精、准、细、严”的规范和控制,将助力军事训练管理更加及时便利、精准高效,确保管出质效、管出战斗力。基于新型智能技术构建的训练评估系统,可以依托高速通信和计算机网络,通过构建线上对抗平台,组织网络化演训,实现参训人员网上异地同步训练^[1];也可依托建模仿真和虚拟显示技术,通过构建虚拟战场环境、模拟武器装备和敌军官兵,实现从单兵单装标准训和单元要素集成训以及作战力量联合一体训的全面仿真^[2];还可以依托无人化智能技术,通过让无人机、无人车等装备加入作战编组,实现人机融合协同训练^[3];同时,依托高速物联网、大数据技术支撑,实训海量数据采集和智能统计分析,对受训对象进行全方位数据采集、多角度智能分析,精准掌握当前训练进度、质量等情况^[4]。为降低训练评估系统的复杂性,也为了提高系统升级的灵活性,该复杂系统的各个子模块相互独立运行,通过分布式的方式集成为整体。各模块之间时间同步的处理,将会是这个系统一个关键的问题^[5]。如果没有时间同步机制,系统所依赖的虚拟演练、数据分析等核心功能将会受到严重影响,甚至带来负面效果。所以,在复杂训练系统中,要确保系统运行中各设备协同合作的精准性和有效性,以及事后评估分析的真实性,系统内部各个设备必须保持时钟同步,采用统一的时统源对系统内各个设备和子系统进行授时。

时统源(时间统一源)的选择对于时钟同步是至关重要的决策。一般来说,有两种主要的时统源:采用专门的外部时统基准源设备或者直接接收卫星导航信息获取卫星时间。虽然外部时统基准源设备具有更高的授时精度,通常被优先选择为授时源,但也可能由于各种原因发生故障,影响整个系统的时钟同步性能。另一方面,卫星信号作为时统源在面对高强度电磁干扰时,也可能会丢失导航信号。

本文将深入探讨在外部时统基准源设备故障或卫星信号受到干扰的情况下,如何应对这些问题,确保高精度的复杂训练系统能够始终保持精确的时钟同步。将关注故障检测、切换机制、干扰抵御机技术等方面的解决方案,以提高系统的抗干扰性和可靠性。通过深入研究这些关键问题,本文旨在为复杂训练系统的时钟同步提供全面而有效的解决方案,以满足高精度要求。

1 卫星授时

卫星同步授时技术在现代通信、导航、科技以及金融等领域中扮演着至关重要的角色。这项技术通过卫星信号的传输,为全球用户提供了高精度的时间同步基准。卫星同步授时的原理基于卫星作为时间基准源或转发中介,通过接收卫星信号和进行时延补偿的方法,用户可以恢复出原始时间^[6]。这一过程涉及两种主要的授时方式:一是 RNSS(卫星导航定位与授时系统)授时,即卫星携带高精度时间源,用户通过接收多颗卫星信号实现伪距测量及定位解算,从而实现时间同步;二是 RDSS(卫星导航转发式授时系统)授时,当卫星本身没有高精度时间源时,通过接收地面站的信号再进行延时确定的转发方式实现授时^[7]。

1. 中国航空工业集团公司西安航空计算技术研究所
陕西西安 710000

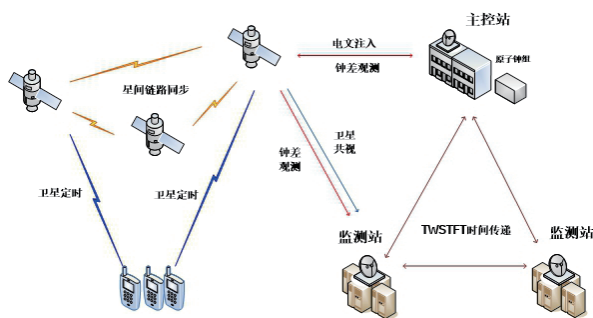


图1 卫星授时

全球定位系统（GPS）是一种典型的 RNSS 授时系统。GPS 卫星通过携带高精度的原子钟，产生导航信号，用户通过接收多颗卫星信号实现精准定时。中国的北斗导航系统和欧洲的伽利略卫星系统也采用了类似的原理。在 RDSS 授时方面，北斗卫星导航实验系统（CAPS）是一个典型的例子。CAPS 通过接收地面站信号，进行延时确定的转发方式实现定时。这种方式的优势在于它可以适应卫星自身没有高精度时间源的情况，通过地面站的辅助，仍然能够提供可靠的时间同步服务。

RDSS 授时可进一步分为双向授时和单向授时。双向授时要求用户向卫星发送请求，再接收卫星应答信息。而单向授时则仅需要用户接收卫星下行信号，适用于低动态用户。在单向授时的模式下，用户需要获取自身的精确位置，可以通过 GPS 辅助定位或高程辅助定位等方法实现^[8]。在实际应用中，现代的 NTP（网络时间协议）服务器是卫星同步授时技术的典型代表^[9]。例如，XBD211NTP 网络时间服务器就是一款应用了这一技术的产品。它通过卫星天线接收 GPS 北斗卫星时间信息，利用同轴电缆传输给时间服务器，通过内部接收机对卫星信号进行处理实现本机的时间同步。接着，该时间服务器通过 NTP 网络协议传输时间信息给网络中的设备，确保各终端设备的时间同步。这样的产品在实现全球范围内的高精度时间同步方面起到了关键作用。

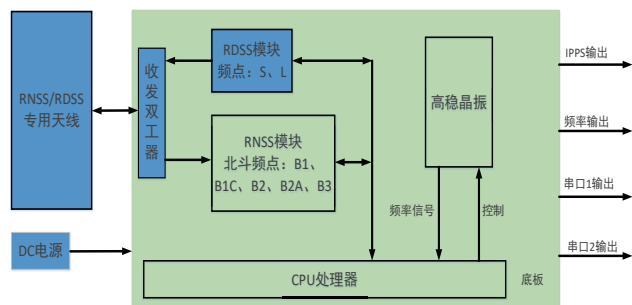


图2 时间同步服务器系统

在 NTP 网络时间服务器的授时原理中，它还具备灵活的守时功能。内置高精度温补晶振，即使在卫星失锁的情况下，也能够实现长时间、高精度的守时功能。此外，XBD211NTP

网络时间服务器还支持多种守时精度更高的模块，如恒温晶振、铷原子钟以及驯服恒温晶振模块等，提供了更为灵活和可选的守时方案。

卫星同步授时技术通过卫星信号的传输，为全球用户提供了高精度的时间同步基准。无论是 RNSS 授时还是 RDSS 授时，都在实际应用中发挥着重要作用。同时，NTP 网络时间服务器等产品在这一技术领域中具有代表性，通过其先进的原理和灵活的守时功能，为各行各业提供了可靠的时间同步服务。

2 时统基准源系统

时间统一基准系统是一种为全球各个领域提供一致和准确时间参考的关键基础设施。这一系统旨在解决因地球自转不均匀和时钟漂移等问题而导致的时间不一致性。在这个系统中，通过采用精确的原子钟等高精度时钟设备，以及卫星同步授时技术等先进手段，确保时间信息在全球范围内保持一致性。

时间统一基准系统设备的核心是采用高精度的原子钟。原子钟是利用原子的特定能级跃迁频率来进行时间测量的设备，具有出色的稳定性和准确性。这使得时间统一基准系统能够提供比传统基于地球自转的方法更为精确和可靠的时间基准。原子钟的使用能有效地规避时钟漂移等问题，为全球提供高度准确的时间标准。最为典型的实现是通过国际原子时（international atomic time, TAI）和协调世界时（coordinated universal time, UTC）的关联来确保时间的准确性。国际原子时是由多个国家的原子钟数据加权平均而得到的极其精密的时间标尺，而协调世界时则通过在国际原子时上添加闰秒的方式，使其与地球自转的时间保持同步。这一联动关系确保了时间的一致性和准确性，为全球各个领域提供了可靠的时间基准。

卫星同步授时技术通过利用卫星作为时间基准源或转发中介，使得用户能够通过接收卫星信号，在本地恢复出原始时间。这一过程涵盖了卫星导航系统、NTP 网络时间服务器等先进设备，确保了全球各个地方的时间同步性。例如，全球定位系统（GPS）以及其他卫星导航系统如北斗、伽利略等，通过携带高精度时间源的方式，为全球提供了可靠的时间同步服务。

在实际应用中，时间统一基准系统的产物广泛应用于科学研究、通信、导航、金融、航空航天等多个领域。例如，在科学研究中，时间的精确性对于实验数据的采集和分析至关重要。在通信领域，确保网络设备和通信系统的时间同步是保证通信效率和可靠性的基础。导航系统如飞行器、船只等也依赖于时间统一基准系统来确保位置的准确计算。金融

交易、电力系统的同步运行以及其他高度时间敏感的应用也都直接受益于这一系统。

在军事训练评估系统中包含多个不同功能的子模块，各模块之间需要相互配合同步工作，确保这些设备在同一时钟基准下协同工作至关重要。在通信领域、工业生产中以及安防监控领域，采用同步时钟服务器设备来实现各子系统之间时间同步，例如赛思电子科技的SM2500、金诺信高科技的XPTM-S731R以及同步电子科技的SYN012型设备^[10]。相较于以上系统，军事训练评估系统运行的环境会更加严酷，并且处于高度复杂电磁环境下对训练的评估本来就是训练的一个环节。这些设备系统中都内置有高精度频率源，同时能接收GPS北斗卫星信号等其他外部时钟源，但是在高电磁干扰、卫星信号微弱的场景下，能否稳定且精确地输出时间同步信号会是一个极大的挑战。

3 复杂系统智能授时管理方法

基于军事训练系统中时统基准源设备所面临的挑战，本文提出一种智能时统源仲裁机制，实现系统智能授时管理方法的技术方案，通过对外部和内部时统源的多层次有效性判定，为系统的智能化授时提供坚实的基础。图3为整体系统框架。智能授时系统由时统信号库、时统信号校验模块、时统信号仲裁模块以及时统信号分发模块组成。

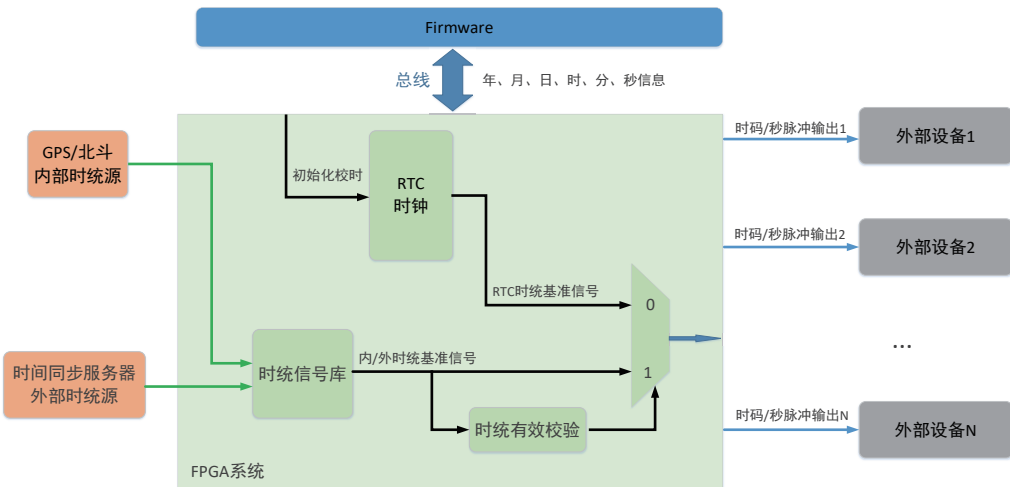


图3 智能授时管理系统

时统信号库由内部时统源和外部时统源构成。通过两路RS422接口分别接收外部时统源的时码信息和秒脉冲信号作为外部授时信号，通过另1路RS422接口接收内部时统源信号并将解析获取的时码信息以及秒脉冲信号作为内部授时信号。外部时统源可外接相应的时间同步服务器设备，获取高精度的时间同步信号；内部时统源信息可通过内置的卫星接收芯片获取来自GPS/北斗的导航定位信号。

在FPGA中会对时统信号库中的时间同步信息进行有效性校验。以FPGA系统时钟作为基准进行秒计数，同时检测输入检验模块的时统源信号中相邻两个秒脉冲信号上升沿之间的时间间隔，若连续3个计数周期秒脉冲信号上升沿之间的时间间隔与秒脉冲计数值的误差小于1ms，则判定当前时统源信号为有效信号；当连续3个计数周期秒脉冲信号上升沿之间的时间间隔与秒计数值的误差大于1ms或者FPGA秒脉冲计数大于1.5s时，还无法检测到秒脉冲的上升沿跳变，则判断当前时统源为无效信号。

系统对各路时统源仲裁选通策略如图4。

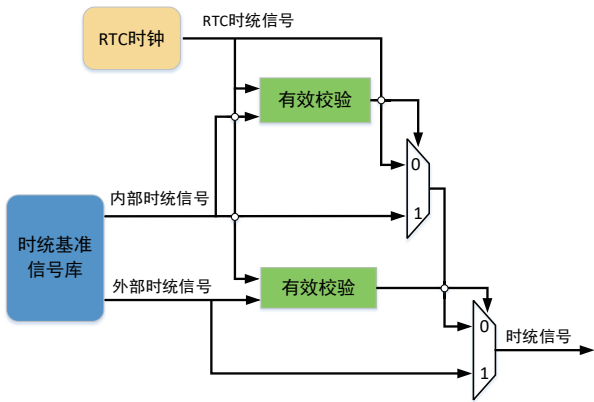


图4 时统源仲裁选通策略

优先对外部时统源做有效性校验，当判定为有效同步信号时，不再对内部时统源信号做有效性校验，外部时统源作为最终的决策输出；当外部时统源被判定为无效状态时，对内部时统源信号做一致的校验，仲裁是否作为最终的选通输出；若外部时统源和内部时统源都被判定为无效时，则将FPGA内部配置的RTC时钟模块作为授时源，确保系统时统的稳定输出。

FPGA系统在基于时统源信号和自身时钟基础上支持精准的微秒同步时间信息生成。图5展示了FPGA系统中RTC时钟模块执行秒内计数方式的流程图。在实际应用中，可以通过配置相应的时、分、秒以及微秒寄存器，依据FPGA系统时钟进行秒内计数，在每个FPGA系统时钟上升沿通过D触发器将秒内计数值加1并更新微秒寄存器，授时源有效时在下一个秒脉冲信号到来时进行秒进位，授时源无效时计数

值达到整秒后进行秒进位,进位后秒内计数值清零并重新开始计数。结合授时源中时码信息经过解析得到的秒脉冲信息以及 FPGA 系统中 RTC 时钟模块的秒内计算方式生成的微秒信息,从而形成了更高精度的时间戳信息。

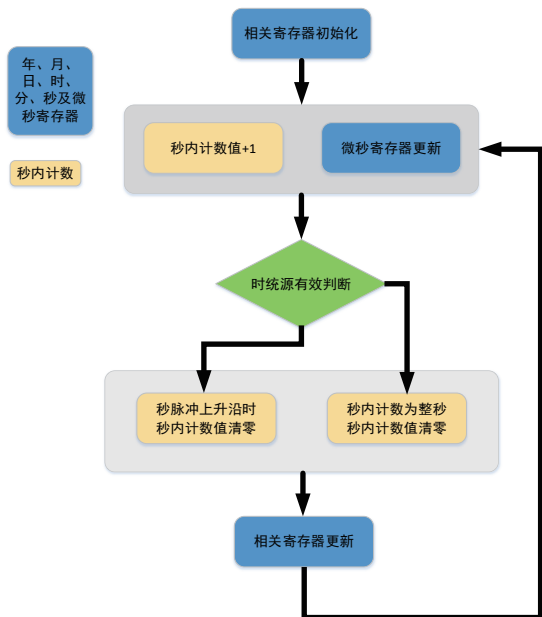


图5 秒内计数方式

系统中 RTC 时钟模块中配置有校时状态寄存器和时、分、秒配置寄存器,在初始状态或者时统源状态发生变化时,RTC 时钟模块的时、分、秒配置寄存器的值需要利用外部时统源或者内部时统源进行时间校准,图6是展示 RTC 时钟模块进行校时状态转换的示意图。在校时状态寄存器值为0的情况下,任意时刻当检测到外部时统源无效而内部时统源有效时,通过 FPGA 读取解析出的时、分、秒信息写入 RTC 时钟模块相应的寄存器,同时配置校时状态寄存器值为1。在校时状态寄存器值为1的情况下,任意时刻当检测到内部时统源和外部时统源皆从无效状态变为任意一个有效状态,或者当检测到内部时统源和外部时统源的有效状态发生切换时,置校时状态寄存器值为0,从而在下一个时钟周期出发重新校时。

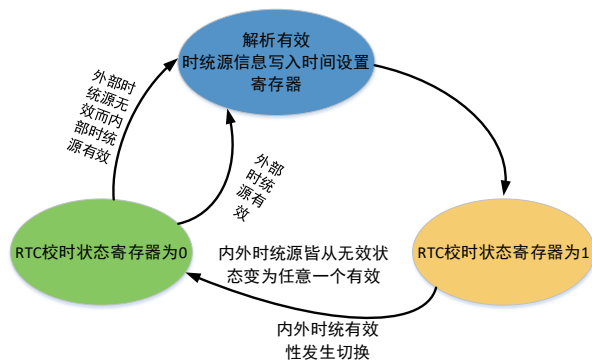


图6 校时状态寄存器切换

4 结语

传统的授时设备由于使用场景的限制,存在可靠性差、抗干扰能力不强等问题,并不适合于在军事训练评估系统中使用。而采用文中提出的授时源智能管理方法能有效解决上述问题。实践证明,采用具备时统源智能管理的授时设备,能为高度复杂电磁环境中的军事训练评估系统提供精确可靠的统一时间基准。随着技术的不断进步,该技术将在武器装备实验及更多领域中具备更广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 贾强,吴胜华,张显才,等.一种基于局域网的军校信息化移动教学平台设计[J].信息通信,2020(11):136-139.
- [2] 张李杰,孙文磊,赵群,等.基于虚拟现实技术的军事训练场地布局 and 模拟[J].四川兵工学报,2013,34(4):91-92+103.
- [3] 周思全,化永朝,董希旺,等.面向空地协同作战的无人机-无人车异构时变编队跟踪控制[J].航空兵器,2019,26(4):54-59.
- [4] 陈靖.基于大数据的部队装备信息管理应用[J].中国新通信,2021,23(20):78-79.
- [5] 盛旭东,潘燕,邢晨,等.分布式自动化监控系统时间同步和数据一致问题研究[J].工业控制计算机,2023,36(5):18-19+22.
- [6] 杨旭海,李孝辉,华宇,等.卫星授时与时间传递技术进展[J].导航定位与授时,2021,8(4):1-10.
- [7] 郭竹森,张会新,刘宏艺,等.基于RDSS和RNSS的高精度定位系统设计[J].计算机测量与控制,2021,29(10):176-180+216.
- [8] 杨旭海,李孝辉,华宇,等.卫星授时与时间传递技术进展[J].导航定位与授时,2021,8(4):1-10.
- [9] 孙桀,徐刚.基于北斗卫星导航系统的NTP服务器设计[J].信息技术与信息化,2019(9):137-139.
- [10] 朱敏.高精度时统设备[Z].成都金诺信高科技有公司,2022-05-06.

【作者简介】

张妍典(1991—),女,陕西西安人,硕士研究生,工程师,研究方向:电子技术。

(收稿日期:2023-12-21)