

·信号与信息处理·

光电系统时间同步技术

王昌龙¹, 巩 华²

(1.中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300000;2.空军装备部 重点型号部,北京 100843)

摘 要:提出了一种用于光电系统的时间同步技术,以实现多传感器信息融合和协调驱动。该技术基于卫星授时和IEEE 1588标准,可嵌入光电设备内。最后,分析了时间同步技术对于光电系统性能提升潜力;具有可时间同步信息的光电系统可快速获得准确的战场信息,提高系统的可靠性和空间分辨力,增强数据精度和置信度,从而改善探测性能和工作能力。

关键词:光电系统;时间同步;IEEE1588

中图分类号:TP272

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2015)-03-0036-04

Time Synchronous Technology of Opto-electronic System

WANG Chang-long¹, GONG Hua²

(1. Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China;

2. Key Model Department of Air Force Equipment Ministry, Beijing 100843, China)

Abstract: A kind of time synchronous technology used in opto-electronic systems is proposed to realize information fusion and coordination driving of multi-sensor. Based on satellite time transmission and IEEE1588 standard, the hardware can be embedded in opto-electronic system. The opto-electronic system characteristics improvement from synchronous technology is analyzed, such as the battlefield information can be obtained rapidly and accurately by the opto-electronic system with time synchronous information, the reliability and spatial resolution of the system are improved, and the accuracy and reliability of the data are enhanced. So the detection and operation performance are improved.

Key words: opto-electronic system; time synchronous; IEEE1588

20世纪下半叶以来,光电系统的迅速发展形成新的科技能力。现代光电信息系统发展提出了多传感器融合、信息共享,多种设备集成于同一装备平台,以期达到多机、多平台信息复合、协同应用。这些应用需求对光电系统提出了如下要求:

(1)高实时性、低传输延迟

光电系统信息吞吐量高,处理速度快,同时设备与对象往往相对高速机动(可达数马赫),目标识别特征往往稍纵即逝,因此探测处理过程必须基于实时信息。

(2)单元灵活组网

高精度的时间同步、定位、定向为多情报源信息

融合提供统一的时空基准。主被动光电系统必须工作在相同的频率;若要求进行多机信号相关,还需要做到发射信号相位同步。

(3)多平台复合跟踪与协同定位

多平台复合跟踪是协同定位应用的主要支撑技术,目的是为移动中的平台或应用单元提供精确的、具有高质量的目标轨迹。

多平台、多传感器融合技术可提供比单独工作的设备更为精确的信息,其本质是各单元在精确的时空统一条件下进行空间分布、时间同步的驱动和相关处理,产生复合数据云,充分挖掘多平台、多传感器数据内容。要实现多平台、多传感器融合首先

需要解决的是时间同步。

1 时间同步系统构成

时间同步的核心目标是建立四维(三维空间+时间)随机事件数据云空间,为各信息源异步测量信息建立同步关联。其原理如图1所示。其中, R 为探测目标的距离; α 为探测得到的目标方位角; β 为目标的俯仰角; t 为传感器或应用单元单次探测的时间戳^[7]。

各光电传感器获取的事件信息经过时间同步、空间坐标变换后则可进行信息融合和处理^[3,8]。其过程如图1所示。

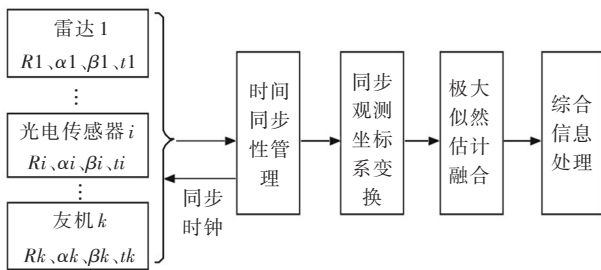


图1 数据处理流程框图

由于传感器采样周期不同、传感器开机时刻不一致以及通信网络的不同延迟等因素的影响,各传感器对同一目标观测不同步。

如图2所示,时统系统采用分级的“树状”拓扑。最简单的形式是“一主多从”。只在主节点配置时间源和驯服时钟。校准从节点与主节点保持同步。

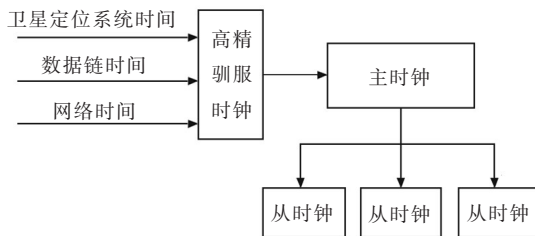


图2 主从时钟拓扑结构

主从节点之间主要基于 IEEE1588 标准^[1-2]保持同步。在运行过程中,主时钟担任着时间发布者的角色,每隔一定的时间,广播带有时间戳的同步报文,而作为接收者的从时钟则接收同步报文,提取数据包中的时间戳信息,修正本地时钟,达到从时

钟与主时钟的一致性^[9-11]。如图3所示。具体校准过程如下。

(1)主时钟发送一个 Sync 消息到从时钟,并通过一个高精度的时间戳记录下了这个消息的发送时刻 $T1$ 。

(2)从时钟收到 Sync 消息之后,记录下接收时间戳 $T2$ 。

(3)主时钟接着将时间戳 $T1$ 放在一“Follow_Up 消息”中,并传送给从时钟。

(4)从时钟接收“Follow_Up 消息”。

(5)从时钟发送一个“Delay_Req 消息”到主时钟,并利用一个高精度时间戳记录下发送时间 $T3$ 。

(6)主时钟接收“Delay_Req 消息”并记下接收时间 $T4$ 。

(7)主时钟将时间戳 $T4$ 放在一“Delay_Resp 消息”中再传送给从时钟。

在上述消息交互之后,从时钟将得到 $T1$ 、 $T2$ 、 $T3$ 、 $T4$ 四个相关的时间戳。这些时间戳将被用来计算主从时钟间的“平均消息传输时间”以及从时钟相对于主时钟的“时间偏离”。从时间戳 $T1$ 、 $T2$ 、 $T3$ 、 $T4$ 计算出主从时钟间的“平均消息传输时间”以及“时间偏离”的过程如下:

$$T2 - T1 = \text{Clock_Offset} + T_MS \tag{1}$$

$$T4 - T3 = -\text{Clock_Offset} + T_SM$$

式中, Clock_Offset 代表从时钟相对于主时钟的时间偏离; T_MS 代表主时钟往从时钟的传输路径时延; T_SM 代表从时钟往主时钟的传输路径时延。通过上述报文,可以精确测量节点间延迟时间和时间偏移,进而修正校准从时钟。

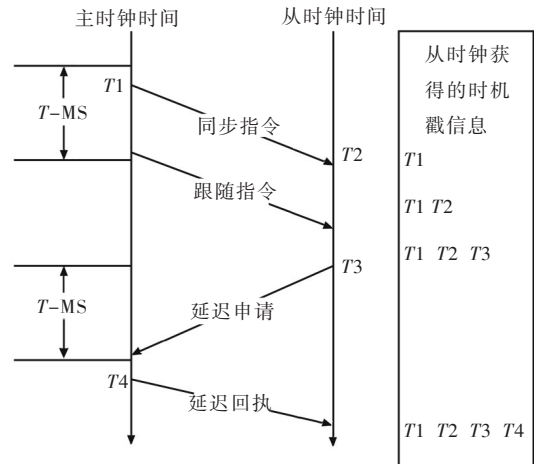


图3 时统校准原理

时钟系统周期性的重复上述校准过程,逐步减小主从节点之间的延迟不一致引起的不确定误差,这个过程可以应用多种算法,如最小二乘法、内插值法、泰勒展开法、曲线拟合法等。

从时钟位于各从节点内,节点内的事件通过GPIO触发IEEE1588控制协议为信息加入或读取其时间戳。其节点的组成框图如图4所示。

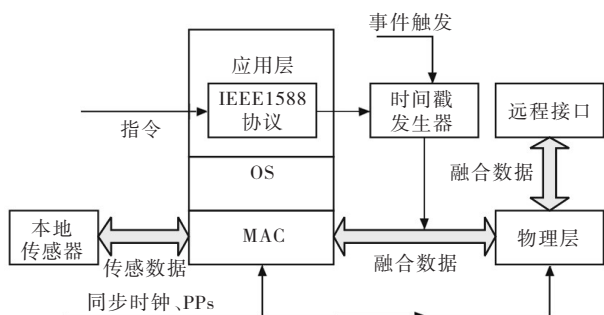


图4 从节点的组成框图

光电传感器的事件信息流经MAC层便获得了时间戳,最终通过物理层到达远程接口实现传输。

时间统一首先需要要一个时间源,目前主要有:卫星授时系统(包括GPS、北斗和GLONASS)、网络时间、数据链。

文中采用卫星授时单向对时法进行对时,即用户设备不发射信号,只接收卫星的时间信息及同步信号,通过估测并扣除设备与卫星之间伪距时延来实现设备与卫星的时间同步。该方法能够充分利用卫星授时的广域特性,快速便捷地实现不同平台之间的时间同步。目前采用单向对时法进行时间同步,无论对时卫星是GPS还是“北斗”,静态对时的精度可优于50 ns,长期准确度优于 1×10^{-12} ,在飞行动态环境下的对时精度可达到200 ns。在应用中可为系统配置多个时间源,但基本不影响时钟系统架构。

2 GPS/北斗同步驯服时钟系统

但是GPS/北斗接收机输出的定时脉冲(即秒脉冲信号)的前沿抖动达100 ns,即短期稳定性比较差;同步驯服时钟系统以充分结合时间源的长期稳定性和晶体的短期稳定性^[4-5]。因其“驯服”后具有“守时”特性,一旦失去时间源信号后,仍能在一段时间内自适应地维系本地时钟系统工作。目前驯

服时钟体积、功耗可以限制到板级,因此便于设备内部集成。典型恒温晶振驯服时钟模块如图5所示。其一般的组成框图如图6所示。



图5 典型驯服时钟模块实物图

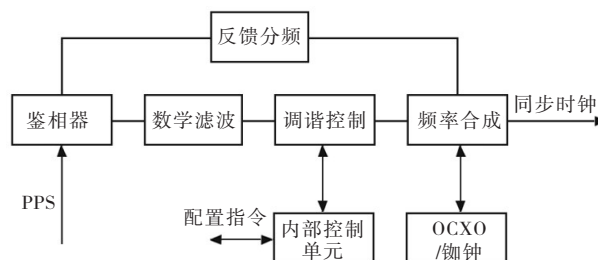


图6 同步时钟系统框图

驯服同步时钟通常情况下通过一个高稳定性的恒温晶体振荡器来实现,准确度可达 $10^{-7} \sim 10^{-9}$ 量级,在要求更高的场合可以选用铷原子频率标准(铷钟)作为频率标准,其准确度可达 10^{-10} 量级。

高精度鉴相测差单元将本地OCXO/铷钟时标信息与GPS/北斗的1PPS时标信息进行高精度鉴相,并根据相位控制调谐改变输出同步时钟的相位和频率,最终达到同步锁定输出,克服了单纯依赖GPS/北斗模块带来的不确定性和瞬时跳变。

当系统同步后丢失卫星时间源,系统可保持当前的控制参数继续为本地提供同步时钟,维持稳定工作。

3 传感器同步驱动

时间同步技术使被动探测系统中的多个探测器或状态传感器同步驱动,不仅利于平台综合分配时间,令各设备交替工作提高资源利用效率,还可以提高数据相关性;在主动探测系统中,为了准确捕捉目标,需要保证主动照明光源落入积分时间内,从而大幅度抑制背景噪声,进而提高系统探测能力,这就必须超前同步积分。

所谓超前同步积分,是在下一主动照明脉冲到即将到来前一瞬间开始积分,于主动脉冲结束后立即停止积分。图7为超前同步积分时序图。

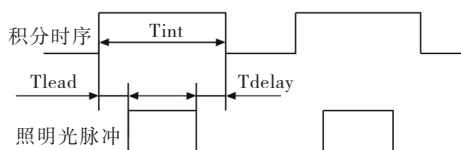


图7 超前同步积分时序图

另一方面,一些传感器还容易受到同平台内的光源影响,需要配置“匿影”接口以实现光源有效时间外的探测,即匿影积分,匿影积分时序图如图8所示。

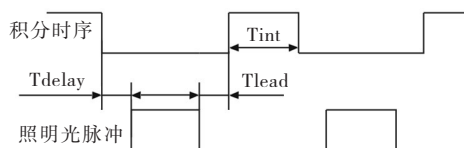


图8 匿影积分时序图

因时间同步技术可实现 100 ns 量级的同步精度,不论是超前同步积分还是匿影积分的超前时间 (T_{lead}) 和延迟时间 (T_{delay}) 都可达到 100 ns 量级。时间精度的提高直接引起系统探测的时域分辨率,进而可降低“拖尾”效应引起的空间探测误差。

4 结束语

时间同步技术是近年卫星授时技术和基于 IEEE1588 协议的 ASIC 等融合产物;而光电系统的发展趋势也要求实现尽可能高的时机同步精度,以

克服多传感器不同步、数据传输不确定性延迟等因素的影响。时间同步技术具有特殊的软件、硬件层次,允许传感器同步驱动和多传感器、多平台数据融合,能够有效挖掘光电系统信息潜力。可促进光电系统资源充分复用,同时也可提高被动定位、数据融合、分布空间探测等技术水平,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] IEEE1588-2008. IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems[S]. IEEE Press 2008(1).
- [2] 王铮. IEEE1588 时钟同步协议的研究与实现[J]. 计算机与网络创新生活, 2012(23).
- [3] 段求辉. 航电系统高精度时间同步方案[J]. 电讯技术, 2014(6).
- [4] 庄玉飞, 黄琦, 井实. 基于 GPS 和 IEEE-1588 协议的时钟同步装置的研制 [J]. 电力系统保护与控制, 2011(7).
- [5] 童伟. 基于北斗 II 代/GPS 的电力系统双模时间同步时钟的研制[J]. 电力建设, 2014(4).
- [6] 李超, 刘树昌, 刘鹏, 等. 外触发方式下相机同步抓拍系统研究[J]. 测试技术学报, 2014(4).
- [7] 徐保伟, 寇英信, 徐安, 等. 基于数据链和光电传感器的融合跟踪[J]. 电光与控制, 2014(5).
- [8] 徐强, 王海晏, 杨海燕, 等. 激光数据链路 with IRST 信息融合方法研究[J]. 应用光学, 2013(3).
- [9] 李智, 张景宇, 牛军浩, 等. 基于 IEEE1588 的时钟同步技术研究[J]. 仪表技术与传感器, 2012(12).
- [10] 崔全胜, 魏勇, 何永吉, 等. PTP1588 协议的分析[J]. 电力系统保护与控制, 2011(5).
- [11] 邱畅, 李龙. IEEE1588 精确时间同步技术[J]. 前沿技术, 2012(12).

本刊声明

《光电技术应用》期刊因故通信地址变更为天津市空港经济区纬五道9号, 300000。因相关手续正在办理中, 现暂用旧的通信地址和邮发代号, 即辽宁省锦州市 31 号信箱 19 分箱, 121000, 原邮发代号 8-314。特此声明。

《光电技术应用》编辑部