

# 一种光纤双向时间比对时间码的设计与验证

王苏北,吴龟灵,邹卫文,沈建国,陈建平

(上海交通大学“区域光纤通信网与新型光通信系统”国家重点实验室,上海 200240)

**摘要:**提出了一种适用于通过光纤链路实现高精度双向时间比对的时间编码方案。在保留 IRIG-B(DC)码型格式的基础上,通过压缩码元宽度实现时间编码信号在光纤链路中的高精度传输。给出了基于 FPGA 的时间编解码实现方案,在 1m 电缆和室内 50km 光纤传输链路上进行了双向时间比对的实验。实验结果表明,该方案可稳定精确地实现时间传递,1m 电缆的传输精度优于 33ps,50km 光纤传输精度优于 55ps。

**关键词:**光纤时间传递;时间编码;IRIG-B 双向时间比对

中图分类号:TN929.11 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2013)01-022-03

## Design and verification of a time code for fiber-optic two-way time transfer

WANG Su-bei, WU Gui-ling, ZOU Wei-wen, SHEN Jian-guo, CHEN Jian-ping

(State Key Lab of Advanced Optical Communication Systems and Networks,

Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** Puts forward a time code scheme through the optical fiber link to realize high precision two-way time. A high precise time transmission on an optical fiber link is realized by compressing the code width of the standard IRIG-B (DC) time code. A scheme is presented to implement the time encoder and decoder in field programmable gate array (FPGA). The two-way time transfer experiments along an 1m coaxial cable and a 50km fiber-optic link are demonstrated. The experimental results show that the scheme can realize time transfer stable and accurate, 1 m cable transmission accuracy is better than 33ps, 50km optical fiber transmission accuracy is better than 55ps.

**Key words:** fiber optical time transfer; time code; IRIG-B; two way time transfer

## 0 引言

随着科学技术的不断发展,时间同步技术的应用越来越广泛,对时间同步精度的要求也越来越高。尤其是在科学研究、现代高科技装备和系统中,时间的精确性及稳定性至关重要<sup>[1]</sup>。目前,国内外常用的授时方法有短波授时、长波授时、电视授时、卫星授时、网络授时<sup>[1]</sup>及光纤授时<sup>[2-6]</sup>等。其中,光纤授时在稳定度和精度方面具有明显优势,这是因为光纤传输不仅容量大、速率高,还具有温度系数小、稳定性好、损耗低和造价低等特性<sup>[5]</sup>,已受到越来越多的关注。

目前,国际上通用的时间码有 IRIG、DCLS 和 ACTS 等<sup>[7-9]</sup>。但这些时间编码主要是为空间通道和电

收稿日期:2012-09-10。

基金项目:国家 973 项目(2011CB301700)资助;国家自然科学基金项目(61071011, 61007052, 61127016)资助。

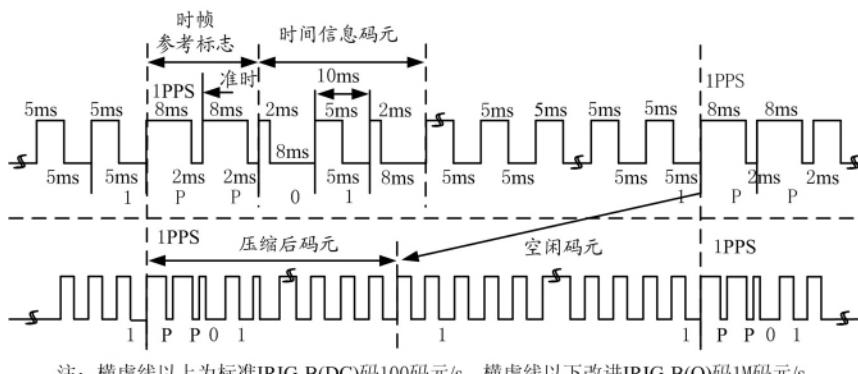
作者简介:王苏北(1986-),男,硕士研究生,主要研究方向为光纤时间传递。

缆传输设计的,并不适于直接在光纤链路上传输。为了通过光纤实现高精度时间比对,必须设计和实现适于光纤链路传输的时间码。

IRIG-B 码是目前国际通用的标准时间码,具有信息量大、分辨率高、抗干扰能力强、接口标准化和国际通用等优点。本文通过改进 IRIG-B,设计了一种适于光纤链路的时间编码 IRIG-B(O),给出了基于 FPGA 的 IRIG-B(O)码编解码实现方案。

## 1 IRIG-B(O)码的设计与实现

标准 IRIG-B(DC)码为脉宽调制,每个码元均为脉冲信号,可实现较高精度的时间传递。然而,标准 IRIG-B(DC)码速率较低(仅为 100 码元/s),无法通过商用的光收发模块进行收发,而且也限制了时间传递精度的提高。本文在 IRIG-B(DC)码的基础上提出了一种改进的时间编码方案,如图 1 所示。改进的 IRIG-



注: 横虚线上为标准IRIG-B(DC)码元脉宽与改进IRIG-B(O)码元脉宽对比图

图 1 标准 IRIG-B(DC)码码元脉宽与改进 IRIG-B(O)码码元脉宽对比图

B(O)时间码在保留 IRIG-B(DC)码元脉宽比例的基础上,对码元的脉宽进行压缩,以适于在光纤链路上传输。压缩后空闲出的时间段填充特定的码元,也可用于传递其他信息。本实验方案将编码的速率从 100 个码元/s 提高至 1M 个码元/s, 空闲码元全部用逻辑“1”填充(逻辑“0”占空比为 20%、逻辑“1”占空比为 50%、位置识别标志“P”占空比为 80%)。

图 2 为基于 FPGA 的 IRIG-B(O)时间编解码的系统框图。编码电路包括时间计数器、编码使能信号发生器、码元计数器和码形发生器等。编码电路主要作用是在检测到外部输入的 1PPS 信号上升沿时,产生一帧串行 IRIG-B(O)时间码,码中同时携带当前时间信息和时帧的参考标志。时间计数器根据外部的 1PPS 信号更新当前时间信息并输出给码形发生器。编码使能信号发生器在检测到 1PPS 上升沿时,使能码元计数器和码形发生器。码元计数器在接收到使能信号后,开始计数,并将计数值作为码元序号发送给码形发生器。码形发生器根据接收到的 1PPS 信号、码元序号及当前时间信息编码后,输出对应的时间编码信号 IRIG-B(O)(逻辑“0”、逻辑“1”或位置识别标志“P”)。

解码电路包括帧头检测、门屏蔽信号产生、秒脉冲提取、时间信息提取和时间信息同步等。解码电路

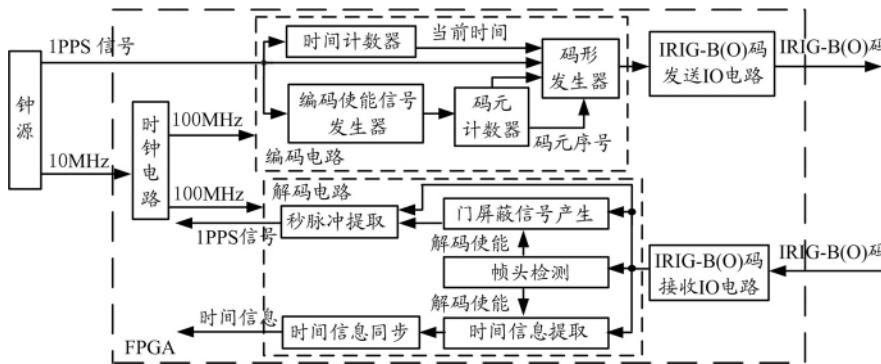


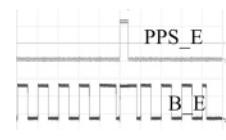
图 2 基于 FPGA 的 IRIG-B(O)时间编解码系统框图

的主要作用是从接收到的串行 IRIG-B(O)码中,实时解出携带的时间信息及 1PPS 信号。帧头检测的作用是检测出 IRIG-B(O)码携带的时帧参考标志(连续两个参考码元“P”信号),其中第二个“P”码元的上升沿为 1PPS“准时”参考点,并提供解码使能信号给门屏蔽信号产生模块和时间信息提取模块。门屏蔽信号产生模块在接收到解码使能信号后,通过内部的时钟计数确定门屏蔽信号的位置,并将门屏蔽信号发送给秒脉冲提取模块。

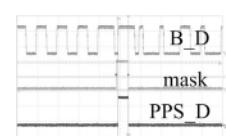
秒脉冲提取模块根据门屏蔽信号和接收到的时间编码信号 IRIG-B(O),解出时间编码信号中携带的 1PPS 信号。时间信息提取模块接收到解码使能后,从接收到的串行 IRIG-B(O)码中提取时间信息(秒、分、时和天)。通过调整提取的时间信息使其同步到发送端的当前时间。

## 2 实验测试

图 3 为实验测得的编解码信号波形。图 3(a)为编码过程的测试波形,PPS\_E 为编码电路从外部接收到的 1PPS 信号,B\_E 为码形发生器输出的编码信号 IRIG-B(O)。可以看出,在 1PPS 信号到来时,编码电路同步输出时间编码信号 IRIG-B(O)。图 3(b)为解码过程的测试波形,B\_D 为接收到的时间编码信号 IRIG-B(O),mask 为门屏蔽信号产生模块输出的门屏蔽信号,PPS\_D 为秒脉冲提取模块从接收到的时间编码信号 IRIG-B(O)中提取出的 1PPS 信号。可以看出,解码模块从接收到的 IRIG-B(O)信号中精确解调出 1PPS 信号,其上升沿与 IRIG-B(O)中 1PPS 信号“准时”参考点的上升沿同步。



(a) 编码过程的测试



(b) 解码过程的测试波

图 3 实验测得的编解码信号波形

图 4 为双向时间比对实验系统装置图,在 1m 电缆和室内 50km 光纤两种链路下进行了双向时间比对实验。两端采用同一铷钟作为钟源。A、B 间虚线为一对由 1m 电缆组成的传输链路,实线部分为一路 50km 光纤和两端的光环行器构成的传输链路,时间间隔测量采用 SR620,其精度可达 25ps。

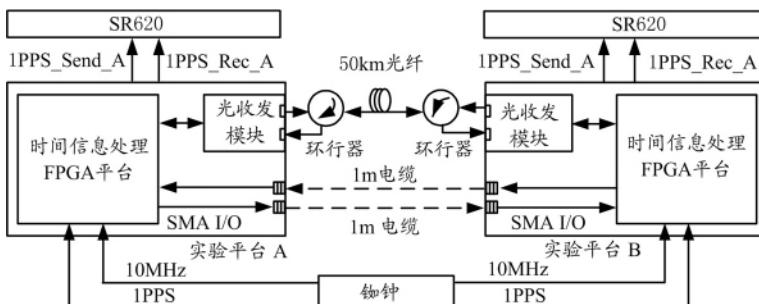


图 4 光纤双向时间比对实验系统

在实验室无温度控制条件下,连续测试的实验结果如图 5 所示,Curve1、Curve2 分别为由 A 端到 B 端的传输时延及由 B 端到 A 端的传输时延; $T_{AB}$  为 B 端所测得的 A 端到 B 端的传输时延; $T_{BA}$  为 A 端所测得的 B 端到 A 端的传输时延; $\Delta T = T_{AB} - T_{BA}$  为链路传输时延的差值。实验过程中两端采用同一铷钟作为钟源,铷钟精度高、短期稳定性好,理论上两端时钟差应该很小且只有很小的抖动。实验所测的双向时间比对时延差越小,说明系统往返传输链路的对称性越好;时延差抖动越小,说明时间传递获得的精度越高。

图 5(a)、图 5(b) 为传输链路为 1m 电缆传递时,连续 8 小时测试的实验结果。由于传输距离很短,时间比对链路基本对称,且受温度环境影响很小,达到了很高的精度。两端时延差均值为 107ps,抖动的峰峰值为 227ps,抖动的 RMS 为 32.82ps。图 5(c)、图 5(d) 为 50km 光纤链路传递时,连续测试 40 小时的实验结果。由图 5(c) 可见,虽然往返传输链路采用同一根光纤,但 50km 的光纤双向传输仍有接近 500ps 的时延差。这主要是因为 A、B 两端激光器的波长不一致,从而存在光纤色散特性导致双向传输时延不对称。这种传输时延不对称性与距离成正比。从图 5(c) 中我们还可以看到,两端对发时的传输时延都随时间变化而变化,但其变化趋势是一致的。这是由于实验中未对环境温度进行控制,随着环境温度随时间的变化,光纤的折射率也随时间(温度)而变化,从而导致单向的传输时延随着时间变化。但由于双向传输是在同一根光纤进行的,温度对两个方向的传输时延影响是一致的。因此,它们的变化趋势是一致的。图 5(d) 为双向时间比对的时延差测试结果,均值为 302.5ps,抖动的峰值为 355ps,抖动的 RMS 为 54.92ps。与 1m 电缆传输链路相比,虽然传输时延差的均值增加很多,但 RMS 抖动增加的程度小很多,仍可控制 100ps 以内。光纤双向时间比对中,时延差 RMS 抖动的恶化可能主要是由于两端激光器波长随温度的漂移、折射率随温

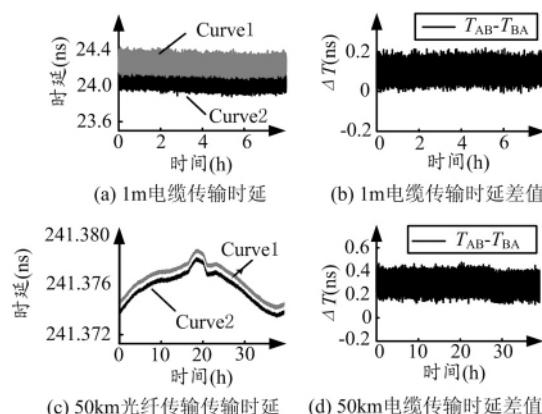


图 5 双向时间比对实验结果

度变化的波长相关性引起的,这些可以通过选用波长更稳定的激光器来改善。

### 3 结束语

本文通过压缩标准 IRIG-B(DC)时间码的码元宽度和扩展其信号频谱,设计了适于在光纤链路上传输的 IRIG-B(O)码。在 FPGA 上实现了基于 IRIG-B(O)码的时间同步调制解调模块,并在 1m 电缆和室内 100km 光纤传输链路下进行了双向时间比对实验验证,在 1m 电缆上的获得了优于 33ps 的传输精度,在 50km 光纤链路上获得了优于 55ps 的传输精度,可以满足高精度授时、精密定位和导航等多方面的需求。分析表明:基于该方案的光纤双向时间同步的精度可通过采用波长更稳定的激光器、精密温度控制等措施提高。

### 参考文献:

- [1] 周渭,王海.时频测控技术的发展[J].时间频率学报,2003,26(2):87-95.
- [2] JEFFERTS S R,WEISS M A,LEVINE J,et al.Two way time transfer through SDH and SONET system[C].EFTF,1996,46-464.
- [3] JEFFERTS S R, WEISS M A, LEVINE J, et al. Two way time and frequency transfer using optical fiber [J]. IEEE T. Instrum. Meas., 1997, 46(2): 209-211.
- [4] AMEMIYA Masaki,IMAE Michito,FUJII Yasuhisa,et al.Time and frequency transfer and dissemination methods using optical fiber network[J]. IEEE Transactions on Fundamentals and Materials,2006,126(6),458-463.
- [5] 梁双有,任燕.利用光纤进行高精度时间传递 [J]. 时间频率学报,2003,26(1):75-80.
- [6] 葛红舞,张宇新,马涛.利用光纤传递高精度时间的研究[J].电力系统通信,2011,32(228):30-33.
- [7] 刘振儒.时间码在测试系统中的应用[J].测控技术,2011,30:256-263.
- [8] 张斌,张东来,王超.基于 FPGA 的 IRIG-B(DC)码同步解码设计[J].测控技术,2008,27(2):45-47.
- [9] 吴炜,周烨,黄子强.FPGA 实现 IRIG-B(DC)码编码和解码的设计[J].电子设计工程,2010,18(12):162-169.