

文章编号: 1000-8055(2007)03-0495-05

航空发动机转子参数遥测中的 FIR 编解码器设计

严后选, 张天宏, 孙健国

(南京航空航天大学 能源与动力学院, 南京 210016)

摘 要: 航空发动机转子参数遥测中, 多路并行红外无线数据传输需要多个高速红外编解码器。利用 (CPLD) 复杂可编程逻辑器件能够同时在单个器件上实现多个编解码器, 有利于减少遥测系统的器件数量, 便于在发动机转子上安装。本文采用 CPLD 器件设计高速红外编解码器, 以 4PPM 编码进行了 4Mbps 的红外数据传输试验, 通过对红外收发器性能和 CPLD 输入时钟精度的分析, 找出了 4PPM 编码时数据传输出现差错的原因, 并对编码方式进行了改进设计, 提出 2/3PPM 和 4/5PPM 编码方式, 实现了数据的正确传输, 还提高了编码效率和数据传输速率。

关 键 词: 航空、航天推进系统; 航空发动机; 遥测; 高速红外; 编解码器; 复杂可编程逻辑器件 (CPLD)

中图分类号: V231.9; TN92

文献标识码: A

Design of codec for FIR used in the telemetry of aeroengine rotor

YAN Hou-xuan, ZHANG Tian-hong, SUN Jian-guo

(College of Energy and Power Engineering,
Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In the telemetry system of aeroengine rotor, the multi-channel parallel FIR (fast infrared) data communication needs several codecs. With the CPLD (complicated programmable logic device) they can be realized on only one chip. It avails to reduce devices of the telemetry system and simplify setting on the rotor. In this paper, a Codec for FIR data communication was designed with one CPLD chip. The data communication with 4PPM (four pulse position modulation) was tested at 4 Mbps. The reason of mistakes in the communication with 4PPM was found after analyzing the response time of the infrared transceiver and the precision of the oscillation. Then two more efficient codes, 2/3PPM and 4/5PPM, were proposed, which enhanced the speed of the data communication.

Key words: aerospace propulsion system; aeroengine; telemetry; fast infrared (FIR); codec; complicated programmable logic device (CPLD)

近距离红外无线数据通信技术发展非常迅速, 目前广泛应用于一些移动设备中, 数据传输速率达到了 4 Mbps^[1]。在航空发动机压气机转子参数采集中, 主要采用安装于转轴上的滑环来传输

测量数据, 不能满足高转速要求。基于无线数据传输的参数遥测装置具有非接触、长寿命、适应转速范围宽等优点, 是未来发动机转子参数测量的发展方向。目前国内基于无线电传输的数据采集系

收稿日期: 2006-02-16; 修订日期: 2006-07-04

基金项目: 江苏省发展和改革委员会资助

作者简介: 严后选(1977-), 男, 江苏洪泽人, 南京航空航天大学能源与动力学院博士生, 主要从事航空发动机测试技术的研究。

统技术不够成熟,数据传输速率较低^[2].相对于无线电数据传输,红外无线数据传输具有体积小、重量轻、速率快、功耗低、抗干扰能力强等优点,非常适合高速旋转的航空发动机压气机转子参数遥测中的高速数据传输.

红外无线数据传输中的高速收发器体积小、重量轻,能够应用于高速旋转工况下.而通用高速红外编解码器,只能满足单路数据传输要求.航空发动机转子参数遥测中数据将以多路并行结构进行传输的,而采用多个通用编解码器不利于减小器件体积和重量,也不便于在发动机转子上安装. CPLD (complicated programmable logic device) 为复杂可编程逻辑器件,具有若干个宏单元,可以进行并行设计,从而实现多个编解码器集成在一片器件上.因此,本文选择 CPLD 器件编程实现高速编解码器,控制红外收发器进行高速数据传输,以实现发动机转子参数遥测的数据传输.

1 发动机转子参数遥测中的
红外无线数据传输

发动机转子参数遥测的关键技术是数据的无线传输.以红外无线数据传输实现的发动机转子参数遥测系统原理框图如图 1 所示,其中红外数据以并行结构传输.

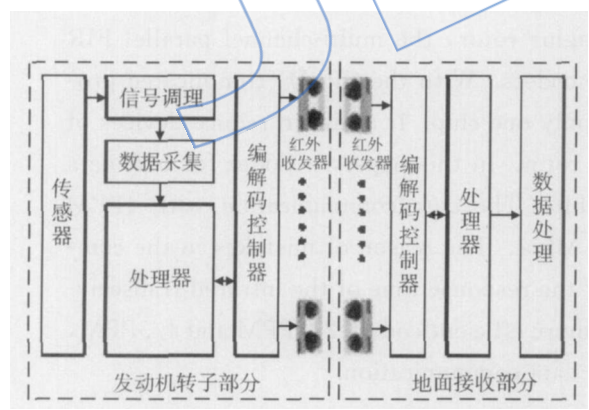


图 1 红外传输发动机转子遥测系统

Fig. 1 Infrared telemetry system of aeroengine rotor

红外无线数据传输系统由红外收发器、编解码器、信道 3 部分组成.红外收发器完成数据的红外载波的调制与解调,编解码器实现对数据信息的编码和解码,信道为红外载波的传输通道.其中,红外收发器直接决定了数据传输的速率,编解码器影响红外无线数据传输的效率和可靠性.这里高速红外收发器选择 TFDU6102,编解码器采用 CPLD 器

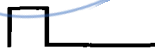
件自行设计,实现 4 Mbps 的数据传输.

2 4PPM 编码的 4 Mbps 数据传输

在红外无线数据通信中,红外数据委员会 (IrDA , Infrared Data Association) 对数据传输编码方式进行了规定^[3],在低速和中速下采用 OOK 编码方式^[4],但脉冲信号的占空比有所区别.高速时采用 4PPM 编码方式,占空比亦为 1/4^[5-8].

PPM (Pulse Position Modulation) 为位置脉冲编码调制,是根据脉冲出现的位置来表示数据信息.一个基本的 4PPM 编码由 4 个脉冲位置组成,脉冲只能在其中的一个位置出现,因此可表示 2 位二进制信息,编码效率为 50 %,脉冲位置与二进制数据对的对应关系如表 1 所示.因此,一个字节 8 位二进制数据需要 16 个脉冲位置来表示,即 16 位脉冲编码.

表 1 脉冲位置与二进制数据对的对应关系
Table 1 Relation between pulse position and binary data pair

脉冲位置	脉冲编码	二进制数据对
	1000	00
	0100	01
	0010	10
	0001	11

根据数据传输的要求,采用 CPLD 器件设计的编解码器需要具有与微处理器 (MCU) 的并行数据接口、读写信号、中断信号、编解码器忙信号以及收发器的串行接口等,其信号接口如图 2 所示.

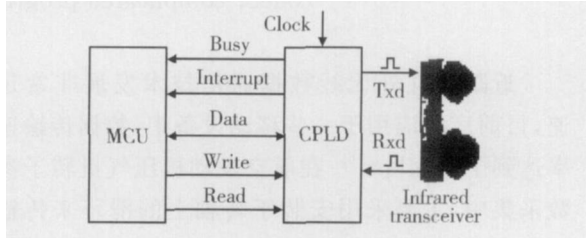


图 2 CPLD 实现红外编解码结构图

Fig. 2 Structure of CODEC for infrared transceiver

在 4 Mbps 数据传输速率下,4PPM 编码最小脉冲宽度为 125 ns. 在红外解码的接收判决中,以 3 次采样取中间值的方法提取判决电平,因此,编解码器的参考时钟频率需大于等于 24 MHz. 红外传输数据为同步串行方式,以同步起始符和脉冲编码组成一个数据帧. 这里设定一位同步起始符,与一个字节的 16 位脉冲编码组成一帧数据. 以编程方式在 CPLD 器件上实现发送编码和接收解码,流程如图 3 所示.

3 实验研究及编码方式的改进

3.1 数据传输试验

4PPM 编码中,一位脉冲编码采样 3 次,一次采样的时间约为 $125/3 = 42$ ns. 以 $7.5\mu\text{s}$ 的周期发送 4PPM 编码数据帧进行 4 Mbps 数据传输试验,试验结果显示,每 $7.5\mu\text{s}$ 出现连续 150~200 次密集连续差错,在密集连续差错之间数据传输无误.

分析认为,这是由于红外收发器较大的响应时间和编解码双方的参考时钟误差引起的. 红外收发器 TFDU6102 接收响应信号时间为 10~

40 ns,收发器在接收红外信号后输出的波形如图 4 所示,其中,负脉冲对应于 125 ns 的红外发射脉冲,正脉冲对应于无发射脉冲,测量得波形的上升/下降时间分别为 36/25 ns. 因此,125 ns 的负脉冲实际宽度约为 100,125 ns 的正脉冲实际宽度约为 89 ns. 由于编码和解码 CPLD 的时钟不能做到完全相同,根据测量,存在约 1% 的误差. 因此,编解码双方的一位脉冲编码宽度有 1.25 ns 的误差,17 位将会产生 21.25 ns 的累积误差. 另外,由于起始符的下降沿 25 ns 期间不能判断作起始位,因此总的误差达到了 46.25 ns,超过一次信号采样的时间 42 ns,使得作为判决电平的中间一次采样发生在该位脉冲符的时间范围外,从而出现误判,如图 5 所示. 一位脉冲符的 3 次采样时刻分别用 1,2,3 或 I,II,III 表示,其中 1,2,3 表示时钟误差为负的情况,I,II,III 表示时钟误差为正的情况. 图 5(a) 为起始位的采样时刻,若干位后由于时钟误差积累,采集时刻出现在如图 5(b) 所示的位置,从而导致中间一次的采样不能反映当前脉冲符的实际状态而形成误判.

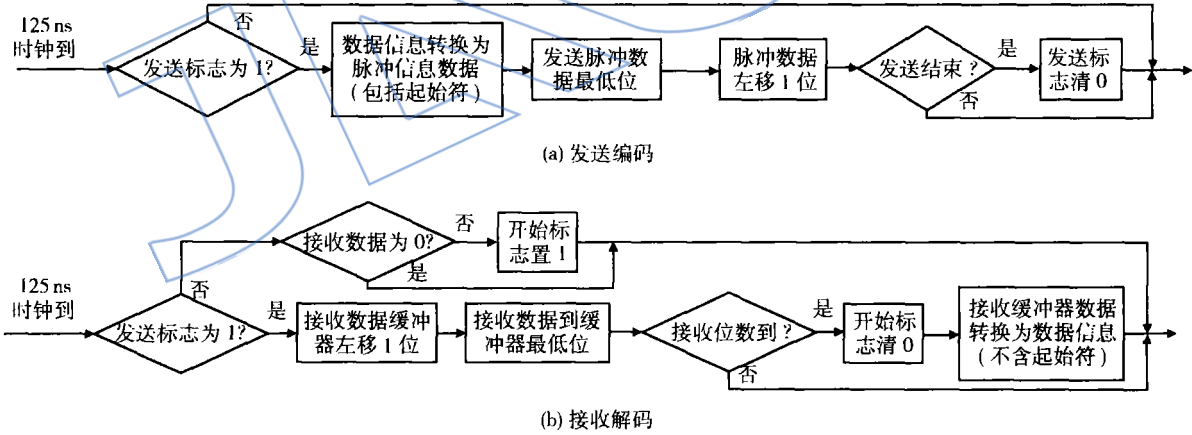


图 3 CPLD 编程实现编解码的流程图
Fig. 3 Flow chart of coding and decoding

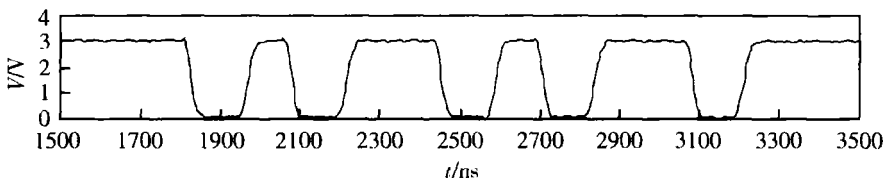


图 4 TFDU6102 接收信号输出波形
Fig. 4 Output wave of TFDU6102

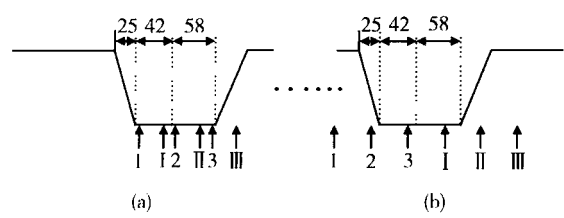


图 5 解码产生误判示意图

Fig. 5 Diagrammatic sketch of miscarriage of justice on decoding

3.2 编码改进

根据以上分析,可以通过选择响应时间小的红外收发器或精确度的时钟来减小累积误差.当时钟误差仍在 1 %而红外收发器响应时间为 10 ns,则数据帧位数超过 25 位时累积误差才会导致误判.而当时钟精度提高到 0.1 %,即使红外收发器特性不变,数据帧长达到 136 位才会引起误判.当器件特性不能提高时,可以通过减少数据帧的位数来减小累积误差,使之小于一次采样时间 42 ns,从而避免误判.

根据收发器 TFDU6102 的资料和测量,在高速模式下,发射的最小脉冲宽度约为 100 ns,接收输出的脉冲宽度为 100~275 ns,因此在 4 Mbps 速率的 4PPM 的脉冲编码中连续脉冲个数不能超过 2 个,否则将不能正确接收.在 4PPM 编码中,一个字节需要 16 位脉冲编码表示,为了减小累积误差,需要减少一帧数据的编码位数,这里提出采用更高效些的编码 - 2/3PPM 和 4/5PPM 编码,脉冲编码与二进制数据的关系如表 2 和表 3 所示,其编码效率分别为 66.6 %和 80 %,使得一个字节需要的脉冲编码位数分别减少为 12 位和 10 位.这样编码后,一帧数据的脉冲编码中连续脉冲出现的个数不会超过 2 个,因此不会超过收发器允许的脉冲宽度范围.

表 2 2/3PPM 编码

Table 2 2/3PPM code

脉冲位置	脉冲编码	二进制数据
---	000	00
—	001	01
—	010	10
—	100	11

表 3 4/5PPM 编码

Table 3 4/5PPM code

脉冲位置	脉冲编码	二进制数据
---	00000	0000
—	00001	0001
—	00010	0010
—	10000	0011
—	00100	0100
—	00101	0101
—	10001	0110
—	10010	0111
—	01000	1000
—	01001	1001
—	01010	1010
—	10100	1011
—	10101	1100
—	01100	1101
—	00110	1110
—	10110	1111

2/3PPM 和 4/5PPM 编码方式时,1 个字节数据的脉冲编码加一位同步起始符分别形成 13 位和 11 位脉冲编码的一帧数据,最大累积误差分别降低为 41.25,38.75 ns,都低于 42 ns,因此将不再出现误判.试验结果也表明,采用改进编码时能正确地传输数据,有效数据传输速率分别为 4.9,5.8 Mbps.采用了改进的编码方式不仅解决了 4PPM 编码方式存在的误判问题,还提高了数据传输速率.

4 结 论

本文针对航空发动机转子参数测量中多路红

外数据并行传输的编解码要求,提出了采用 CPLD 器件设计高速编解码器的方法.在研究了高速红外收发器的特性和 4PPM 编码的基础上,分析了以 4PPM 编码进行 4 Mbps 数据传输时出现误判的原因,并在 4PPM 编码基础上对编码进行了改进设计,提出了效率较高的 2/3PPM 和 4/5PPM 编码方法,消除了 4PPM 编码时误判现象,并分别实现了 4.9 Mbps 和 5.8 Mbps 速率的无线数据传输.在单个编解码器的基础上可实现在单个 CPLD 器件上设计多个并行编解码器,能够代替多个通用高速红外编解码器,可减小安装于发动机转子上的器件的体积、重量,能够满足在航空发动机转子参数测量中多路红外数据并行传输的要求,并可以利用 CPLD 器件设计数据传输协议.在其它旋转部件红外无线数据传输中,也可以采用 CPLD 器件设计红外编解码器来实现多通道并行数据传输.

参考文献:

- [1] 严后选,张天宏,孙健国.近距离红外无线数据通信技术研究[J].应用基础与工程科学学报,2004,12(4):404-415.
YAN Houxuan,ZHANG Tianhong,SUN Jianguo. A survey of wireless infrared data communication[J].Journal of Basic Science and Engineering,2004,12(4):407-416.
- [2] 卞春江,张天宏,邓志伟,等.面向旋转构件的高速无线数据采集系统[J].传感器技术,2004,23(11):53-55.
BIAN Chunjiang,ZHANG Tianhong,DENG Zhiwei,et al. High-speed wireless data acquisition system for revolving component[J].Journal of Transducer Technology,2004,23(11):53-55.
- [3] Tan W S. IrDA serial infrared physical layer specification [R]. California,IrDA Publications,2001.
- [4] Robertson S M G,Hansen S V,Sorenson F E,et al. Modeling IrDA performance:the effect of IrLAP negotiation parameters on throughput[A].IEEE International Conference on Computer Communications and Networks[C]. Arizona: IEEE,2001.
- [5] Antonio G Z,Antonio P N. Improving PPM schemes in wireless infrared links at high bit rates[J].IEEE Communications Letters Los Vaqueros,2001,5(3):95-97.
- [6] Varker P,Boucoulalas A C. Interference induced asymmetry in IrDA 4PPM infrared wireless links[A].International Symposium on CSNDSP 2002[C]. Stafford,England:Staffordshire University,2002:479-482.
- [7] Kahn J M,Barry J R. Wireless infrared communications[J].Proceedings of the IEEE Los Vaqueros,1997,85(2):265-298.
- [8] Funk J C,Knutson C D. Evaluating the capacity of RLL encoding for high bandwidth infrared channels[A].Proceeding of the 3rd International Symposium on Communication Systems[C]. Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP),Stafford,England:Staffordshire University,2002.