基于 485 总线的无线通信低时延流控技术研究①

刘明洋 ,张 剑,吴 桐,王思洋,张昊亮
(中国空间技术研究院西安分院,西安 710000)

摘 要:在航天器内部,短距离无线传输作为传统有线传输的替代,正得到越来越多的关注。面向航天器设计的工程实践,通过对航天器短距离无线传输应用背景的分析,总结出三种常见的应用场景。针对广泛应用的 RS485 总线系统,分析了其转型为无线 RS485 系统所需要考虑的设计要素,提出了基于 RS485 总线的无线通信系统设计方案以及具体的低时延流控技术。该技术可以高可靠性地实现对有线 RS485 通信系统的“无感”替代,实现低时延的无线传输,扩展 RS485 总线的应用场景。

关键词:RS485 总线;低时延;流控;无线通信
中图分类号:TN927 **文献标识码**:A **文章编号**:1674-7135(2021)05-0080-08
DOI:10.3969/j.issn.1674-7135.2021.05.012

Research on low latency data flow control technology of wire-less communication based on 485 bus

LIU Mingyang,ZHANG Jian,WU Tong,WANG Siyang,ZHANG Haoliang
(China Academy of Space Technology(Xi'an),Xi'an 710000,China)

Abstract:In the interior of spacecraft,short-distance wireless transmission,as an alternative to traditional wired transmission,is attracting more and more attention. This paper is aimed at the engineering practice of spacecraft design. Through the analysis of the application background of spacecraft short-distance wireless transmission,three common application scenarios are summarized. In particular,for the widely used RS485 bus system,the design elements that need to be considered when it transforms into wireless RS485 system are analyzed. The design scheme of wireless communication system based on RS485 bus and the specific low latency data flow control technology are proposed. This technology can replace the wired RS485 communication system reliably,realize wireless transmission with low delay and expand application scenarios of RS485 bus.

Key words:RS485 bus;low latency;data flow control;wireless communication

0 引言

在航天器内部,经常需要面临一主对多从的通信模式。为了实现主设备与多台从设备间的信号传输,通常采用传统串接的方式,例如使用 485 总线。半双工的 RS485 总线具有线数少,易于从设备数量删减,系统扩展复杂性低的优点,在线缆资源十分紧张的航天器内部应用中极为常见。

目前,航天器内部设备间完成信息的交互主要依靠有线电缆,它们占据了航天器总发射重量的很大一部分[1],严重降低了有效载荷的比重。种类繁多、布局复杂的线缆给航天器系统的组装、集成和检测带来了极大的不便[2-3]。特别地,航天器内需要数据传输的不同设备间还可能存在相对运动(转动机构、滑环等),此时有线传输往往不可靠。因此,无线传输系统作为有线传输系统的升级,被用来满足日益增长的航

① **收稿日期**:2020-07-08;**修回日期**:2021-05-21。
基金项目:国家重点实验室稳定支持基金(编号:2020SSFNKLSMT-10)
作者简介:刘明洋(1988—),硕士,主要研究方向为卫星大容量通信技术。**E-mail**:lmy19881228@126.com

天器短距离数据传输的需求。考虑到宇航产品的特殊性,关于航天器短距离无线传输的研究还处在摸索阶段,但航天器无线技术是未来大势所趋[4-5]。

在通信技术方面,董立珉重点研究了星内无线通信系统的结构、信道环境和通信协议,以及面向不同业务需求时的变速率通信技术[6];刘波等人通过对星内分布式 Adhoc 无线通信网络系统的仿真分析及测试,得出了采用扩频技术、均衡技术、Rake 接收机和 Rs 编码的技术组合方案可有效满足星内多径环境下的通信需求[7];徐湛等人针对民航客机、航天器等密闭金属舱内无线通信的需求,提出了密闭金属舱的统计信道参数,并设计了基于超宽带技术的抗强多径传输方案[8];郭洪龙研究了信道预探测技术,并对航天器舱内环境进行了建模,仿真分析了信道预估计算法的性能,最后在传统 MISO-OFDM 系统方案的基础上,提出了 TDD-TR-MISO-OFDM 系统方案,可以较好地适用于复杂的多径环境[9]。其次,在总线传输方面,朱文亮分析了现有卫星平台通常使用的有线总线形式,设计了无线卫星开发平台的通信模块,并进行了验证[10];罗晟等人提出了一种用于 485 总线通信的 SDLC 数据帧格式,介绍了基于 RS485 串行数据接口标准的双通道总线收发控制器的设计原理、工作方式及采用的流程方法[11];梁士龙等人介绍了一种以 HDLC/SDLC 协议控制为基础的 RS485 通信接口芯片[12]。最后,在解决运动部件之间的通信方面,史军刚等人立足于旋转运动机构中导电滑环、集流器等接触式电信号传输机构的磨损、信号漂移及可靠性低等问题,提出一种利用电容耦合的非接触信号传输新方法[13];胡国强等人同样面对该类问题,从系统层面对无线通信系统进行了详细的功能描述[14]。综上所述,在航天器短距离无线通信总线技术领域,近些年已经有一定的研究基础,但是针对将有线的总线传输系统转变为无线总线方案后,面临宇航应用领域高可靠传输以及类比有线传输时极低时延的新问题,没有类似提出过具体的解决方案和详细方法。

本文立足工程化实践,对目前正在应用或短期内具有应用价值的航天器短距离无线传输场景进行了研究,同时专门针对传统 485 总线的无线化应用模式展开了研究,从系统层面提出了一套可以实现无线 485 总线传输的流控方案,同时设计了一套避免由于无线传输时延增大导致系统应用异常的方法,最后,给出了研究结论。

1　应用场景分析

近两年,航天器短距离无线传输的应用正在得到广泛关注。各种转动机构(导电滑环)、伸展机构(太阳翼帆板)之间的通信需求逐渐增加,航天器内点对点的无线传输系统正逐步得到应用。另外,基于点对多点以及多点对多点的无线网正在得到广泛研究,用以替代复杂的有线连接。

采用无线传输实现旋转机构之间数据传输方案如图 1 所示。其他新应用场景还常见于展开机构与航天器本体之间的无线数据传输如图 2 所示。

航天器内部不同舱之间不便于有线传输的场景,如图 3 所示。

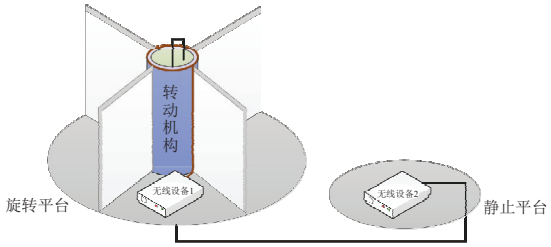

图 1　航天器旋转机构场景下的无线传输应用

Fig. 1　Application of wireless transmission in the scene of rotary mechanism

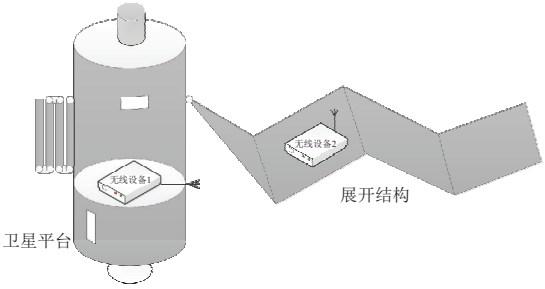

图 2　航天器伸展机构场景下的无线传输应用

Fig. 2　Application of wireless transmission in the scene of extension mechanism

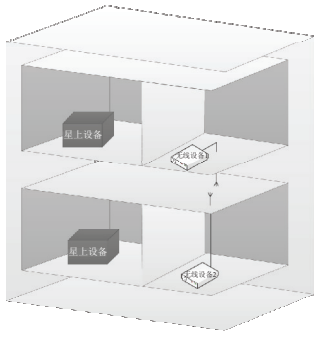

图 3　航天器舱间场景下的无线传输应用

Fig. 3　Application of wireless transmission in the scene of different cabins

2 无线 RS485 通信系统分析

2.1 传统有线 RS485 通信系统

对于传统采用 RS485 总线实现主、从设备之间通信的系统,通常主、从设备间的连线关系如图 4 所示。

而对于例如上面旋转机构场景下的 RS485 系统,需要借助滑环等实现运动过程中的有线通信,例如主设备与某一从设备之间实现单点的主从连接,二者可以通过转动机构实现相对运动;而该从设备与其他从设备实现总线相连,他们之间保持静止,从而完成主设备与所有从设备之间的总线连接。主、从设备间的连线关系如图 5 所示。

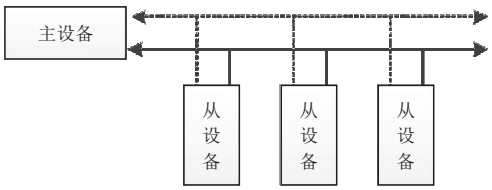

图 4 RS485 应用模式

Fig. 4 Application mode of RS485

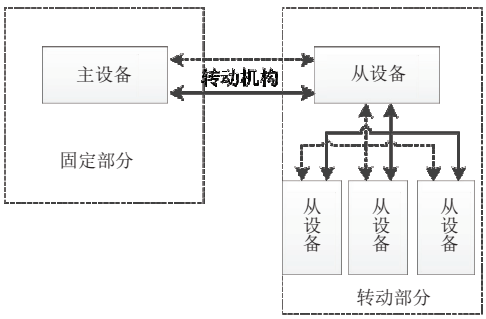

图 5 旋转机构场景下的 RS485 应用模式

Fig. 5 Application mode of RS485 in the rotating mechanism scene

2.2 无线 RS485 通信系统

相对运动会导致有线连接的不可靠,例如接头松动、线缆扭绞、转动机构磨损等,小则导致信号时有时无,大则影响整个通信过程,甚至造成重大安全隐患,因此提出如下支持 RS485 总线的无线通信系统方案。典型的无线 RS485 通信系统如图 6 所示,无线 RS485 通信系统相对有线系统主要增加了两台无线通信设备。在传统有线 RS485 通信系统中,线缆作为信号传输的介质,只负责传递信号,传输时延极小;而在无线传输系统中,需要完成对半双工总线的收发控制以及低时延传输,即需要对引入无线通信设备后的系统带来的变化降到最低,并对应用场景几乎无感。

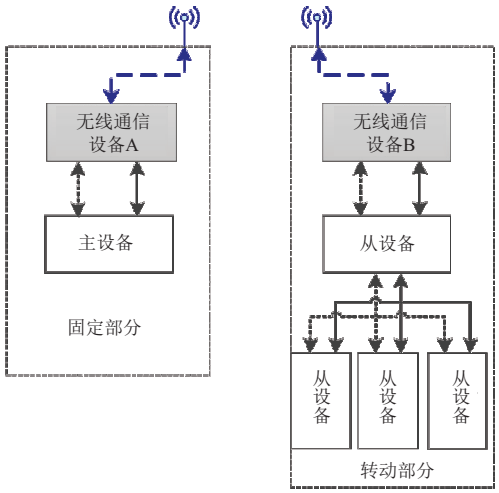

图 6 无线 RS485 通信系统

Fig. 6 Wireless RS485 communication system

3 无线 RS485 系统方案设计

无线通信设备的引入要满足原有主、从设备的应用无感,因此,对整个传输的控制提出了非常严格的要求,主要体现下面三个方面的控制上:1)传输的低时延;2)设备间控制的同步性;3)RS485 总线收发切换的控制。

为满足传输的低时延,采用如下设计思路:

首先总线接收数据的最小单位为字节,为尽可能降低时延,以字节为基本传输单元;其次每一接收字节的协议解析和发送同时进行,当前字节解析的正确与否不影响该字节的发送;最后选择低时延、短信息位的编译码作为信道编码。

通过对上面设计思路的梳理,整理出为了实现基于 485 总线的收发控制,至少需要下面的几个基本功能模块:1)总线数据接收;2)总线数据发送;3)接收协议解析;4)发送协议解析;5)收发控制。RS485 无线通信系统方案如图 7 所示,整个控制过程由上面五个模块配合完成,其中所有控制由“收发控制”模块统一完成。

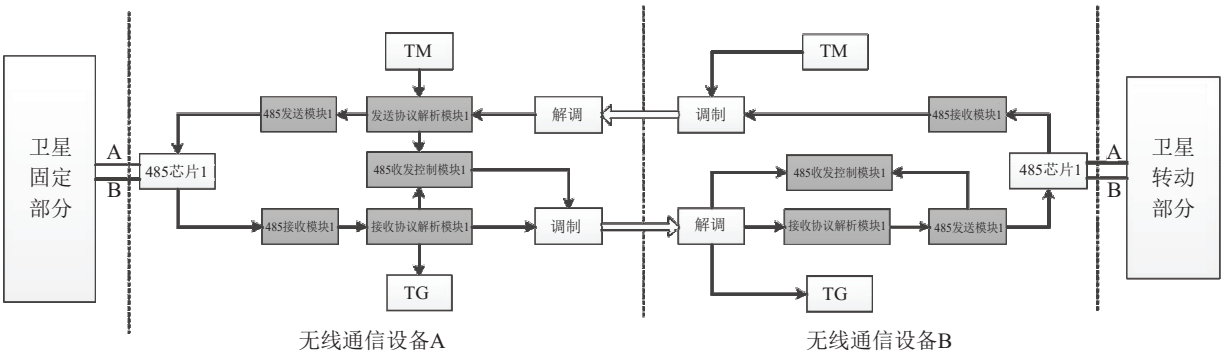

图 7　无线 RS485 通信系统设计方案

Fig. 7　Design scheme of wireless RS485 communication system

3.1　总线数据接收

“总线数据接收”功能主要完成对 485 总线上的数据进行接收,实现串行总线数据到并行字节数据的转化,便于后续编码调制等处理。在设计上,为了总线接收的可靠性,增加了起始位的毛刺过滤处理和后续位的三模冗余判决。具体的接收流程如图 8 所示。

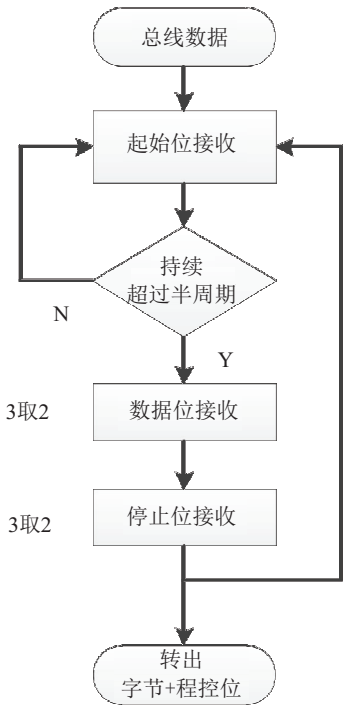

图 8　数据接收流程

Fig. 8　Data receiving process

3.2　总线数据发送

“总线数据发送”功能主要完成对接收机接收数据的发送。在发送过程中,注意需要提供停止位的发送完成标识,该标识在“收发控制”中有重要作用。“总线数据发送”功能流程如图 9 所示。

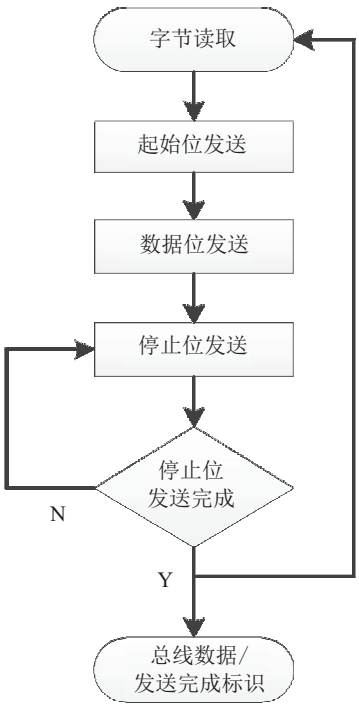

图 9　数据发送流程

Fig. 9　Data sending process

3.3　接收协议解析

“接收协议解析”功能主要完成对“总线数据接收”送出的数据进行协议的解析,解析的目的就是判断是否需要完成总线的收发切换。“接收协议解析”功能主要流程如图 10 所示。

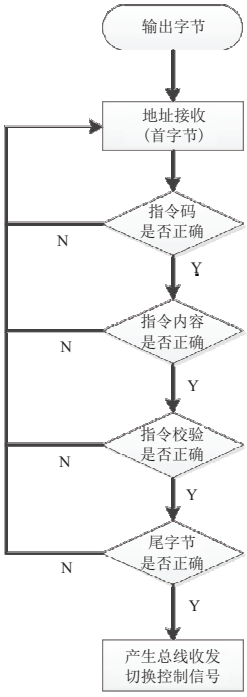

图 10 接收协议解析流程

Fig. 10 Analysis process of receiving protocol

3.4 发送协议解析

“发送协议解析”功能主要完成对接收机接收数据进行协议解析,目的是判断是否需要完成总线的收发切换。具体的发送协议解析流程如图 11 所示。

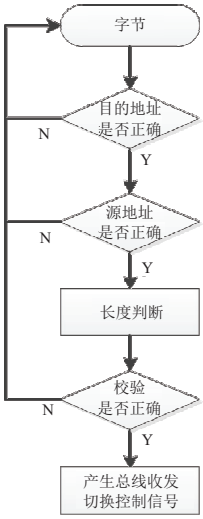

图 11 发送协议解析流程

Fig. 11 Analysis process of sending protocol

3.5 收发控制

“收发控制”功能主要完成整个无线通信设备 A 和无线通信设备 B 的 485 总线收发状态进行控制,可靠、低时延地实现主设备和从设备之间的数据传输,保证对有线 RS485 功能的有效替代。具体的数据流控制机制将在下一部分重点介绍。

4 低时延流控机制设计

4.1 流控思路

无线通信设备 A、B 之间采用协同控制的方式实现整个无线传输系统的总线收发切换。无线通信设备 A 作为连接主设备的端机,需要将控制信息通过无线链路传给无线通信设备 B。

采用无线传输链路传输控制信息,面对可能的传输异常,需要考虑提高可靠性的方式。

4.2 控制信息的获取

对于无线通信设备 A 和无线通信设备 B,数据的来源均为两种,即总线接收到的来自主、从设备的数据,或自身接收机接收到的对方无线通信设备发送过来的数据。

对于无线通信设备 A,“接收协议解析”的输入数据的来自“总线数据接收”,而对于无线通信设备 B,“接收协议解析”的输入数据来自接收机接收到的数据。

在系统方案设计中,无线通信设备 A 需要“接收协议解析”和“发送协议解析”模块,而无线通信设备 B 受无线通信设备 A 控制,因此原则上不需要进行协议解析,但由于系统中主设备也需要实现对无线通信设备 B 的控制,因此无线通信设备 B 也需要“接收协议解析”,而不需要“发送协议解析”。

4.3 控制信息的使用

对控制信息的使用,无线传输设备 A 和无线传输设备 B 有所不同,如图 12 所示。

4.3.1 无线通信设备 A

从“接收协议解析”模块可以得到协议验证是否成功的标识信号和对无线通信设备的控制信号。其中,该标识信号直接影响收发状态的切换。如果验证成功,则表明设备要实现从“初始态”到“切换态”的转变。对于无线通信设备 A,将“初始状态”下的总线接收,转换为“切换态”下的总线发送;切换的同时产生计时信号,该计时信号用于“超时”情况下,将无线通信设备 A 的总线收发状态恢复到“初始状态”的接收。

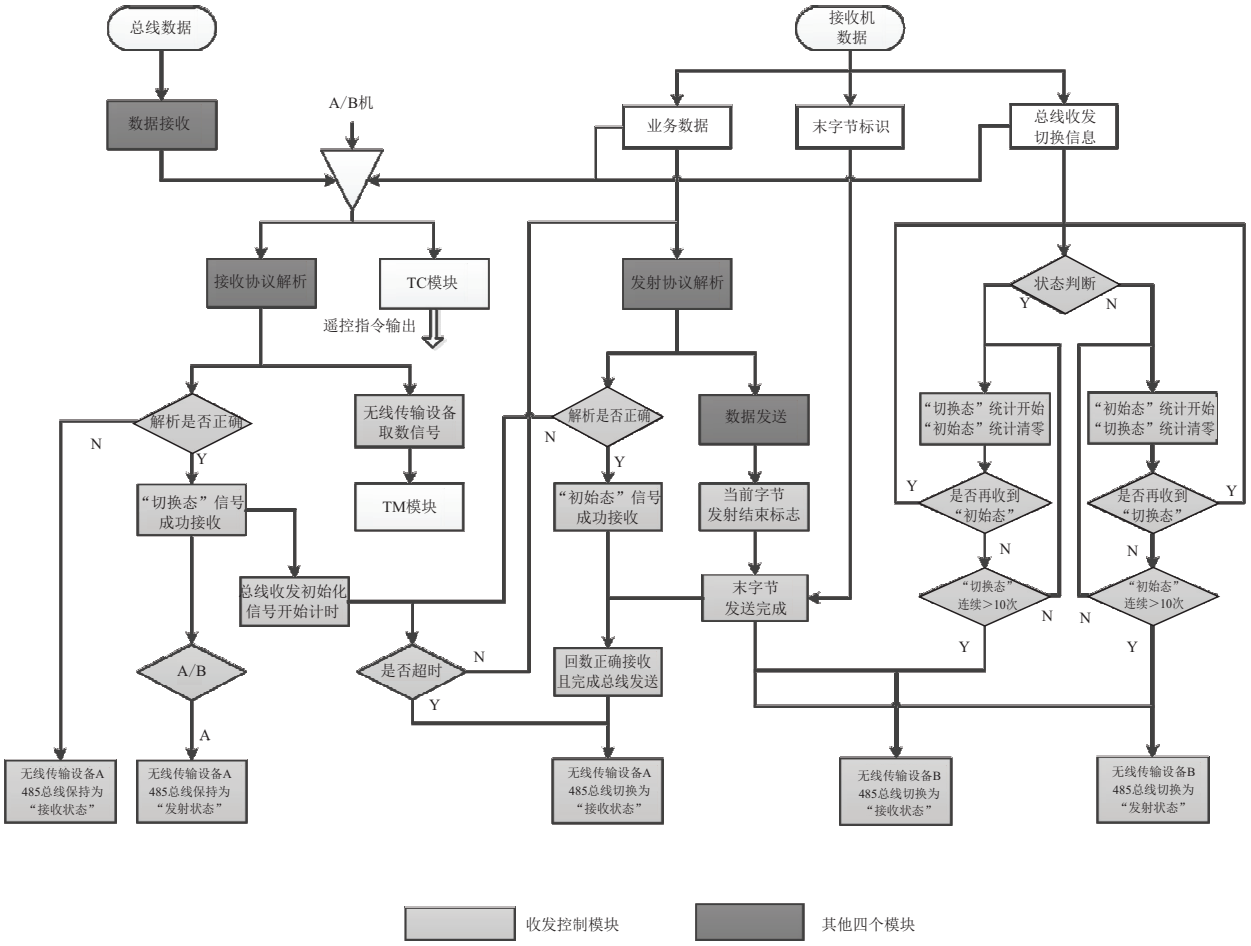

图 12　基于 RS485 总线的低时延流控

Fig. 12　Low-latency flow control process based on RS485

从"发射协议解析"模块可以得到协议验证是否成功的标识信号以及接收机的输出数据。接收机的输出数据直接送给"数据发送"完成最终的总线输出。

对于无线通信设备 A,如果验证成功,表明设备要进入"初始态";如果验证还未成功,需要判断此时是否"超时",若没有,继续等待验证,若超时,则按照上一点说明进行状态初始化。假设这里验证成功,无线通信设备 A 切换为"初始态"的接收需要等待所有数据完成总线发送,完成的依据就是发送模块输出的当前字节发送结束标志和接收机送出的末字节标识,两者同时满足的情况下,表明所有发送数据均完成发送,此时可以正常进行总线收发切换。

4.3.2　无线通信设备 B

对于无线通信设备 B,从接收机得到的数据包含"总线收发切换信息",该信息的设计就是为了无线通信设备 A 和无线通信设备 B 的收发切换联动。具体而言,无线通信设备 A 的"接收协议解析"模块产生"切换态"的控制信息,将其加入到物理层传输帧格式中,联同数据一起传给无线通信设备 B,无线通信设备 B 收到该信息则表明其将要由"初始态"的发送进入"切换态"的接收。同样的,无线通信设备 A 的"发射协议解析"模块会产生"初始态"的控制信息,将其加入到传输帧格式中送给无线通信设备 B,该信息表明无线通信设备 B 将要由"切换态"的接收进入"初始态"的发送。为了提高可靠性,设置如果未能连续多次收到同一状态,则清零重新计数。这里无线通信设备 B 由"初始态"发射向"切换态"接收的切换也需要保证发送数据的最后一个字节完整发送出去之后再进行。

4.4　传输控制帧格式设计

对传输的帧格式进行了该应用场景下的特殊设计,如图 13 所示。

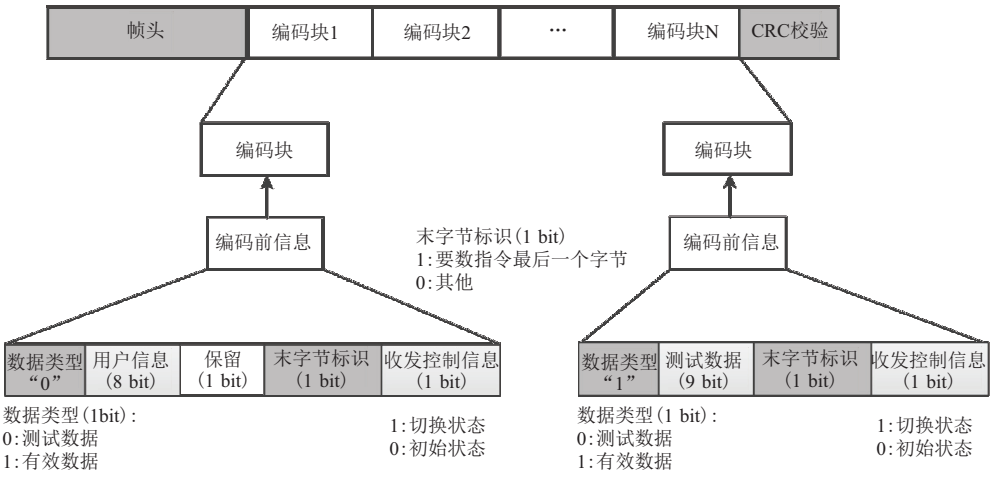

图 13 传输控制帧设计

Fig. 13 Design of transmission control frame structure

要点在于:

1)保证无线传输设备 A/B 的收发切换实时联动,帧结构中设计了收发控制信息和末字节标识;

2)帧格式的设计需要保证以字节为单位完成数据的发送,这就需要结合编译码进行系统设计;

3)总线数据的发送形式为突发方式,如果采用仅在无线传输设备 A 给 B 的有效数据末尾添加收发切换控制信息,则无线传输设备 B 最多收到一次该信息,影响系统可靠性,因此帧结构的设计考虑这种情况下的可靠使用,增加了测试帧,用于连续传输该信息。

5 结论

本文使用无线通信结合 RS485 总线的方式,取代传统有线 RS485 通信系统,主要解决需要采用类似 RS485 总线实现设备间交互,但不便于使用有线传输方式或存在安全隐患的场景。

本文提出了一种基于 RS485 总线的无线通信系统,设计了一套完整的、可靠性高的低时延流控机制,并针对关键控制信息的传输提出了合适的物理层传输帧结构。主要取得以下成果:

1)从系统应用角度考虑,设计出了一种快速响应的总线控制方法,提高了无线 RS485 系统中对总线控制的响应速度,增强了控制方法的可靠性,将复杂的控制流程清晰化、精简化,降低了工程实现的难度。

2)对于 485 总线的流控方法,包括所采用的控制信号和控制流程均是特别针对无线 RS485 应用场景的设计,不仅可以提供低时延的传输方案,更保证 485 总线传输系统的可靠性。

3)提出了一种高效率的帧结构设计,该帧结构的设计从传输链路的连续性、低时延性、设备间协同控制稳定性等多角度考虑,实现了一种高帧效率、高实时性、高可靠性的无线通信帧结构设计。

参考文献:

[1] PLUMMER C, PLANCKE P. The spacecraft harness reduction[C]//Proc of DASIA 2002, Dublin, Ireland, 2002,509:57.

[2] WILSON W, ATKINSON G. Wireless sensing opportunities for aerospace applications[J]. Sensors & Transducers, 2008, 94(7):83-90.

[3] FINK P W. Wireless Network Communications Overview for Space Mission Operations [M]. Germany: Bibliograpjisches Institut AG Mannheim, 2013:1-172.

[4] MAGNESS R, PLANCKE P, HERANADEZ I. Current activities and status of the ESA/ESTEC-industry wireless onboard spacecraft working group[C]//the 4th Space Internet Workshop SIW-4, USA, 2004 :41-47.

[5] 王树斌. 无线局域网技术概述[J]. 中国科技信息, 2006(7):192-194+189.

[6] 董立珉. 星间/星内无线通信技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.

[7] 刘波,费聚锋,张恒,等. 卫星舱内无线组网传输系统的设计与实现[J]. 科学技术与工程,2017(36):242-247.

[8] 徐湛,程亚冰,任世杰. 密闭金属舱内无线通信系统设

计与实现[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版),2016,31(5):5-10.

[9] 郭洪龙. 密闭舱体内高可靠性 TR 无线通信关键技术与方法研究[D]. 成都:电子科技大学,2017.

[10] 朱文亮. 基于卫星平台无线网络技术的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.

[11] 罗晟,邹文英,顾展弘. 双通道总线收发器设计[J]. 电子与封装,2007,7(8):24-26.

[12] 梁士龙,王力男,杨嘉伟. 用 FPGA 实现 RS-485 通信接口芯片[J]. 系统工程与电子技术,2002,24(4):103-106.

[13] 史军刚,李小平,谢锴,等. 非接触电容耦合式信号传输方法[J]. 西安电子科技大学学报,2015,42(4):14-19.

[14] 胡国强,高勇峰. 风电机组电气滑环接触不良问题的解决方案[J]. 风能,2013(1):78-80.