

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.07.009

引用格式:程皓,杨煜婷,王娟. TDMA+TDD 系统中高速无线数据传输的实现[J]. 电讯技术,2015,55(7):758-762. [CHENG Hao, YANG Yuting, WANG Juan. Realization of High-speed Wireless Data Transmission in TDMA+TDD System[J]. Telecommunication Engineering, 2015, 55(7):758-762.]

TDMA+TDD 系统中高速无线数据传输的实现*

程 皓^{1,**}, 杨煜婷¹, 王 娟²

(1. 成都大学 电子信息工程学院, 成都 610106; 2. 成都航天通信设备有限责任公司, 成都 610052)

摘 要:针对浮空平台搭载的载荷重量、体积、功耗受限的问题,提出了一种时分多址结合时分双工的通信模式。使用该通信模式,网内所有节点均工作于一个频率之上,只需配备一套收发通道,解决了浮空平台载荷受限的问题。在此基础上,通过软硬件设计,实现了该通信系统的信号收发流程、帧协议和参数设置,并构造出一套完整的通信系统。仿真实验和实测结果表明,利用该方案构造出的通信系统较传统的频分多址通信方式在体积、重量、成本等方面均有优势,更适用于浮空平台的远距离、高码率传输。

关键词:浮空平台; 远距离通信; 高码流; 时分多址; 时分双工

中图分类号: TN924 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-893X(2015)07-0758-05

Realization of High-speed Wireless Data Transmission in TDMA+TDD System

CHENG Hao¹, YANG Yuting¹, WANG Juan²

(1. School of Electronic Information Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China;
2. Chengdu Spaceflight Communication Equipment Co., Ltd., Chengdu 610052, China)

Abstract: For the problem that the weight, size and power consumption of the payload on floating platform are limited, a time division multiple access (TDMA) with time division duplex (TDD) communication mode is presented. All the network nodes are working on a frequency using this communication mode. Only one set of sending and receiving channel is required to solve the problem of limited load on floating platform. Then, through software and hardware design, the signal sending and receiving process, frame protocol and parameter setting are achieved. Compared with the traditional frequency division multiple access (FDMA) mode, the TDMA+TDD communication mode has the advantages in size, weight and cost. It is more applicable to the high bit rate transmission for long distance.

Key words: floating platform; long-distance communication; high-speed data transmission; time division multiple access; time division duplex

1 引 言

随着通信技术的发展,对通信速率(带宽)的要求越来越高。但根据香农定律,信道信息传输速率的上限(比特每秒)和信道信噪比成正比,和信号带宽成正比。在实现远距离无线信号的传输时,由于

接收机距离发射信号距离较远,接收到的信号能量较小,导致其信噪比减小,所能接收的信号速率也将随之减小。

国内外学者和科研人员为了解决通信距离与通信速率这一矛盾,采取了多种方式,如文献[1-2]中

* 收稿日期:2014-11-20;修回日期:2015-06-30 Received date:2014-11-20;Revised date:2015-06-30
基金项目:国家自然科学基金资助项目(61271168)
Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(No. 61271168)
** 通讯作者: Dr. chenghao@163.com Corresponding author: Dr. chenghao@163.com

提出的通过已知的信号特征,在低信噪比下提取有用信号的算法。该类方法是在已知有用信号某些特征值的情况下(如语音信号),根据某种特性的最大似然概率,反推出有用信号的波形。这类方法可对低信噪比条件下的有用信号提取有一定改善作用,但其效果有限,无法突破香浓信道容量的极限。第二种方法是采用频分双工(Frequency Division Duplex,FDD)^[3]技术,是把收发通道分离成两个较窄的独立通道,每个通道获得的通信速率为其收发总速率的一半。此类方法由于不涉及复杂的算法,且不需要预先获得有用信号的统计特征,可适用于任何信号,在工程应用上应用较多,如中国联通 4G LTE。但采用该类方法构建的硬件系统由于收发通道频率不一致,其收发通道在硬件上独立,导致设备体积、重量和功耗较大。

本文研究的远距离通信系统,距离一般在几十公里至上百公里这一级别,涉及到空-地间通信,这就需要无线电台的一端搭载于浮空平台(飞机、飞艇、热气球等)之上,此类平台对设备往往有三限的要求,即体积受限、重量受限和功耗受限。以一个简单的点对点 FDD 通信系统^[4]为例,发送方需要 2 根天线(1 跟发送,1 根接收),接收方也需要 2 根天线才能完成该系统的双向通信,对于有 N 个节点的组网通信,仅仅天线的数量将达到 $2N$ 个。

本文设计了一套新型双向高速数传通信系统,既满足远距离、高速率的通信需求,也满足浮空平台体积小、重量轻的搭载需求。该系统采用时分多址(Time Division Multiple Access,TDMA)和时分双工(Time Division Duplexing,TDD)的体制,地面电台不仅能接收来自于空中的下行高速数据(多媒体)信号,还能反向传输上行指控命令^[5],实现对无人机的控制。由于该系统内所有电台的工作频点一致,不需要额外增加天线和电台的收发通道数量即可实现一对多、多对多的组网通信。

2 方案设计

2.1 总体方案

该系统是自主研发的,针对兆比特级高速信号的 TDMA 与 TDD 传输技术,实现了在一个信道上的图像、数据业务的双工传输^[6]。该技术弥补了国内其他高速(Mb/s 级)数据传输设备只支持单向、点对点的传输或者只依靠 FDD 采用双天线的方式来满足双向通信需求的缺陷。

从硬件复杂度和系统稳定性考虑,数传系统中

频、基带信号处理模块并未采用传统 FPGA+DSP+MCU 方式^[7],而改用单片、低功耗 FPGA 实现。所有软件(控制链路层、调制解调物理层、TDMA+TDD 网络层协议)也集成在该单片 FPGA 内,软件集成度、复杂度较高。采用该设计思想,确保了系统的小型化和低功耗。图 1 为全双工兆比特电台外形图,该电台尺寸仅为 280 mm×150 mm×80 mm,质量小于等于 1.8 kg。



图 1 兆比特数传电台
Fig.1 Mega-bit speed digital radio

TDMA+TDD 技术的应用使得该数传系统不仅支持点对点通信,也支持多个视频信号和控制信号的组网通信。该系统中,下行主要用于传输视频、图片、飞行参数信息给地面站图传电台,上行用于指控命令等低速数据业务的传送,从而实现地空间的双向通信。通过对图传系统进行常温下的功能试验、拉距试验、高低温试验以及振动试验等一系列环境试验,验证了该系统的软硬件性能和工作的稳定性。

图 2 为该系统的级联图,图中,1 部地面台和 2 部机载电台组成整个兆级传输网络,地面台可同时接收来自 2 部机载电台发送的图像或其他高速率码流,同时,地面台可对 2 部机载电台发送指令,从而组成 TDMA 通信网络。

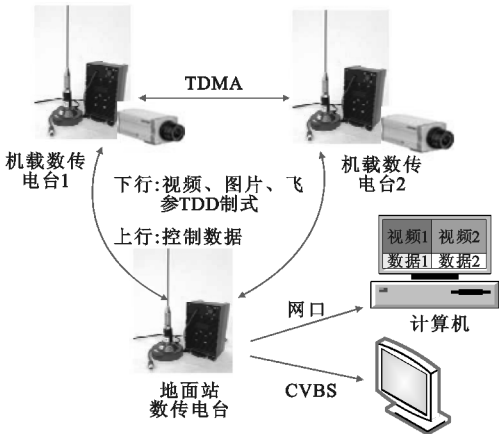


图 2 系统应用示意图
Fig.2 System application diagram

2.2 软件设计

数传系统的上下行通信由 TDMA+TDD 协议来控制,电台发送信息按时间进行循环。该系统中,地

面站数传电台作为主机设备,机载台 1 与机载台 2 作为从机设备。为避免主机与从机通信冲突,上下行帧结构为固定时隙^[8]。机载台 1、机载台 2 和地面台发送数据的帧结构如图 3 所示。

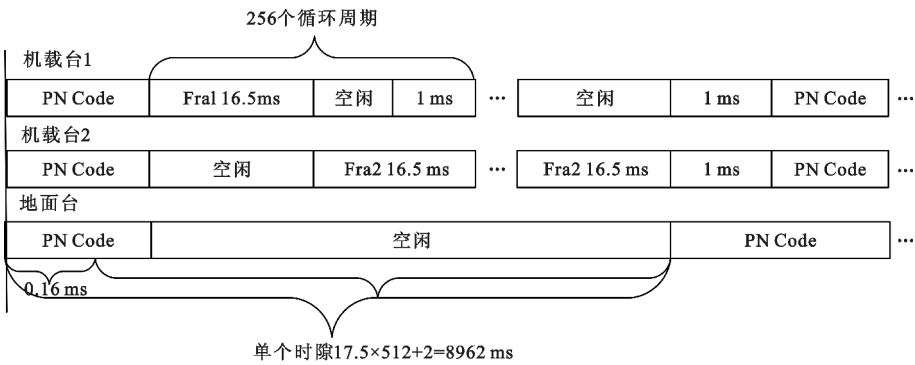


图 3 数据帧格式
Fig. 3 The format of data-frame

考虑到以图像信息为主的大数据为突发数据,且数据量较大,因此时隙划分时图像信息将占用大部分时隙。该系统中,上下行采用了不同的调制方式,其中下行为 DQPSK,码率 3 Mb/s;上行为 MSK,码率为 60 kb/s。单个时隙长度为 8962. 16 ms,机载台单次发送的时隙长度为 16. 5 ms,地面台发送同步码与控制命令的时隙为 0. 16 ms,单向空中传输延迟 1 ms。

图 4 给出了主机与从机工作流程图。

主机在规定的时隙时间内发送已知的同步头与控制信息,且数据发送完毕后,立即切换至接收状态。而从机开机后处于接收状态,不断搜索主机发送的同步头,检测到同步头后,对控制信息进行解调并判断循环周期计算值 cnt 是否小于等于 255,若 $cnt \leq 255$,则分析判断是否传输数据,数据传送完毕后,重新判断 cnt 是否等于 255;否则,从机转入复位状态。

图 5 给出了主机与从机发射状态控制及转移图。主机与从机处于发射状态时,皆包含 4 个状态^[9],分别为空闲、发送帧头、发送数据、发送保护数据^[10] (IDLE、SEND_HD、SEND_DATA、SEND_GUA)。主机状态通过时钟频率为 3 MHz 的计数器控制,从机通过频率为 60 kHz 的计数器控制,各状态下方为对应的计数值。

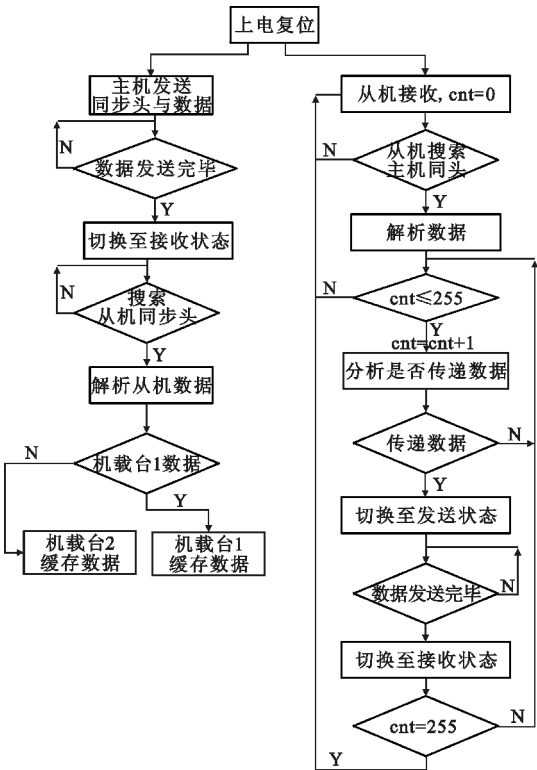


图 4 主机与从机工作流程图
Fig. 4 The work flow chart of master and slave

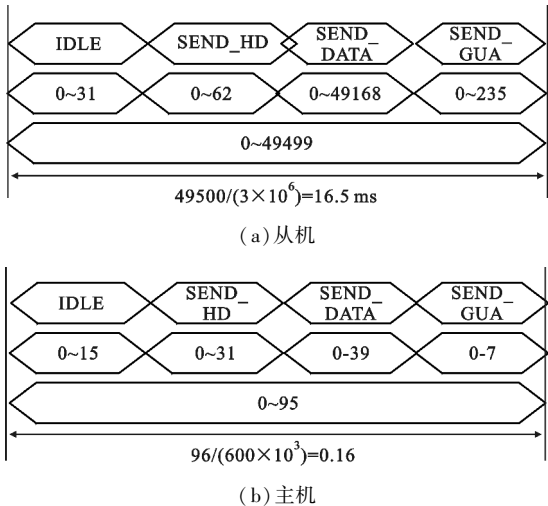


图 5 主机与从机发射状态控制及转移图
Fig. 5 The state transition diagram of master and slave in transmitting control

3 关键技术

3.1 通信速率与通信距离

在计算通信距离时,需要综合考虑通信设备的有效功率、信道环境以及系统要求达到的通信质量。收电平低于系统规定的门限误码率(BER)所要求的电平时,链路不能提供要求的通信质量,认为通信链路中断。具体的门限误码率由调制编码方式、信息类型、信道模型等决定。因此,链路的连通性是由实际接收电平和门限电平比较得出的。通信距离和功率计算公式分别为

$$p_r(d)=\frac{P_tG_tG_r\lambda^2}{(4\pi d)^2L},$$
$$P_r(d)=P_r(d_0)\left(\frac{d_0}{d}\right)^2,d\geq d_0\geq d_f。$$

式中, P_t 发射功率; G_t 为发射天线增益; G_r 为接收天线增益; λ 为波长, $\lambda=c/f,c=3\times10^8$; d 为近场距离; L 为系统损耗。

考虑到工程实现等实际情况,接收机还应考虑系统损耗以及解调信噪比(S/N)对误码的影响,需预留足够的余量供解调使用。

3.2 硬件架构设计

该系统摒弃传统 FPGA+DSP+MCU 方式,而改用单片 FPGA 方式进行数字信号处理,硬件集成度高、稳定性好,平均无故障维修时间(MTBF)指标很高。

3.3 数字基带处理模块设计

该数传系统基带传输速率为3 Mb/s,中频工作频率为77 MHz,射频工作频率为400 MHz,其中 DA 模块工作频率甚至达到700 MHz。中频板数据处理速率也较高,且既有数字信号,又有 AD/DA 带来的模拟信号,加之工作频率较高,相互的干扰是个不可回避的问题,对印制板的布板布局甚至加工工艺提出了更高的要求。

3.4 通信及组网协议设计

高速数传电台至少支持3 Mb/s的实时数据传输,并支持 TDD 制式的数图同传与 TDMA 模式的多机组网功能,这对 FPGA 程序、通信协议设计提出了更高要求。

通信协议需要保证 TDD、TDMA 工作时各个节点间收发频率时间上的间隔,避免网内所有节点间的收发时间异步,否则将会出现干扰的问题。同时,还要考虑在信号的远距离传输时间内,信号帧不发生重叠。

3.5 信道估计(均衡)

采取在高速数传电台里加入 RLS 或 LMS 信道均衡功能的措施可改善时变信道下的图像传输可靠性。本项目中采用信道均衡(Channel Equalization)是为了提高衰落信道中通信系统的传输性能而采取的一种抗衰落措施,可以消除或减弱宽带通信时的多径时延带来的码间串扰(ISI)问题,对信道或整个传输系统特性进行补偿。针对信道恒参或变参特性,数据速率大小不同,拟采用线性均衡。

4 试验与验证

对按照方案设计的电台在无线环境下对各个功能和性能进行了测试,结果表明,该系统所有功能和性能均满足方案设计要求:

- (1)使用实时频谱仪对中频调制信号进行解调,EVM 指标小于 2%;
- (2)使用信号发生器产生中频调制信号,功放 EVM 指标小于 1%;
- (3)使用信号发生器产生射频信号,接收机输入信号幅度小于-70 dBm时,EVM 指标为 2%;接收幅度-80 dBm时,EVM 指标为 3.5%;接收幅度-90 dBm时,EVM 指标为 9.5%;接收幅度-94 dBm时,EVM 指标为 14.8%;
- (4)有线测试环境下,接收机输入幅度大于-85.76 dBm时,中频 DQPSK 信号解调无误码,图像显示正常;接收机输入幅度大于-87.08 dBm时,加入 RS 编解码的 DQPSK 信号解调无误码,图像显示正常;
- (5)无线测试环境下,接收机输入幅度大于-86 dBm时,中频 DQPSK 信号解调无误码,图像显示正常;接收机输入幅度大于-87.25 dBm时,加入 RS 编解码的中频 DQPSK 解调无误码,图像显示正常,此项指标优于现有电台约3 dB^[11]。

此外,对该通信系统进行了拉距试验,由于受条件影响,采用10 km通信距离外加衰减器的方式模拟低空通信。试验过程中,图像显示清晰,无掉帧马赛克等现象,并可实现多电台组网,组网后可实现同一显示器上的多幅图像显示。

5 结束语

采用 TDD 和 TDMA 方式实现的高速数据传输系统,通过试验室指标测试和拉距试验验证,能够实现远距离、高码流的空-地数据传输。由于系统内

所有节点(电台)工作在一个频点,其收发通道和天线不需要重复设计,体积、质量和功耗均符合载荷受限的浮空平台安装需求。采用该方案设计的传输系统较传统 FDD 方法设计的传输系统在相同带宽情况下码速率提高 10%^[12],但质量和体积降低 50%^[13],对航空、航天通信设备的研发有较大的参考价值与指导意义。

受条件限制,外场拉距试验未采用飞机平台进行空-地间上百公里的通信,试验是在地-地间进行,由于天线高度不足以克服地球曲率的遮挡,其距离最大只能到 10 km,通过外加衰减器的方式最终模拟得到最大通信距离可超过 100 km 的结果。今后在有条件的情况下,还需进行超过 100 km 的空-地通信试验,以验证该设计的效果。

参考文献:

- [1] 侯云山,黄建国,史文涛.一种低信噪比下的信号源数检测新方法[J].电子与信息学报,2011,33(6):532-536.
HOU Yunshan, HUANG Jianguo, SHI Wentao. A Novel Method for the Detection of the Number of Signals at Low Signal-to-noise Ratios[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 33(6): 532-536. (in Chinese)
- [2] 王晓峰,张国毅,芮国胜.低信噪比下多相码信号检测与参数估计方法[J].西安电子科技大学学报,2014,12(5):237-245.
WANG Xiaofeng, ZHANG Guoyi, RUI Guosheng. Detection and parameter estimation of the polyphase code signal in a low SNR[J]. Journal of Xidian University, 2014, 12(5): 237-245. (in Chinese)
- [3] 李佳俊,文博,许国平. FDD LTE 系统容量研究[J].邮电设计技术,2013,10(21):234-241.
LI Jiajun, WEN Bo, XU Guoping. FDD LTE system capacity[J]. Journal of Posts and Design Technology, 2013, 10(21): 234-241. (in Chinese)
- [4] 杨秦彪,宋鹏,齐建中.基于 CPLD 的高速数传电台设计与实现[J].遥测遥控,2011,12(5):411-416.
YANG Qinbiao, SONG Peng, QI Jianzhong. Design and Realization of CPLD-based High-speed Data Radios[J]. Journal of Telemetry and Remote Control, 2011, 12(5): 411-416. (in Chinese)
- [5] 汪洋,葛临东.基于软件无线电的短波宽带跳频信号处理系统[C]//无线传感器网及网络信息处理技术年会论文集.西安:西安电子科技大学出版社,2006:568-574.
WANG Yang, GE Lindong. Wideband software radio short-wave frequency hopping signal processing system based on [C]//Proceedings of Wireless Sensor Networks and Network Information Processing Technology Symposium. Xi'an: Xidian University Press, 2006: 568-574. (in Chinese)
- [6] 王翔军.一种基于单载波均衡技术的数字信号处理方式的 FPGA 实现[J].测控技术,2014,33(11):156-158.
WANG Yijun. FPGA Realization of a Kind of Digital Signal Processing Based on Single Carrier Frequency Domain Equalization Technology [J]. Journal of Measurement and Control Technology, 2014, 33(11): 156-158. (in Chinese)
- [7] 焦志超,张宁,李龙.基于 FPGA 的数字中频信号处理的设计与实现[J].电子世界,2014(11):145-146.
JIAO Zhichao, ZHANG Ning, LI Long. FPGA design digital IF signal processing and implementation [J]. Journal of Electronic World, 2014(11): 145-146. (in Chinese)
- [8] Carter T, Kim S, Johnson M. High throughput power and spectrally efficient communications in dynamic multipath environments [C]//Proceedings of 2003 IEEE Military Communications Conference. New York: Academic Press, 2003: 443-457.
- [9] 汪敏,肖斌.中频数字接收机设计及实现[J].微机计算机信息,2010,34(23):167-173.
WANG Min, XIAO Bin. IF digital receiver design and realization [J]. Journal of Microcomputer Information, 2010, 34(23): 167-173. (in Chinese)
- [10] 覃岭,邓小炜,何子述,等.宽带数字下变频的高效实现方法研究[J].电子科技大学学报(自然科学版),2008,37(5):409-413.
QIN Ling, DENG Xiaowei, HE Zishu, et al. Research on High-Efficiently Implementation Technique of Digital Down-Conversion for Wide-Band Signals [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China (Natural Science Edition), 2008, 37(5): 409-413. (in Chinese)
- [11] 邢永中,李坤.软件无线电技术在 3G 系统中的应用[J].电脑与电信,2010,12(5):78-80.
XING Yongzhong, LI Kun. The Application of Software Radio Technology in 3G System [J]. Journal of Computer and Telecommunications, 2010, 12(5): 78-80. (in Chinese)
- [12] 赵敬华,谭小碧.浅谈单兵无线图像传输技术的应用特性[J].警察技术,2009(1):14-16.
ZHAO Jinghua, TAN Xiaobi. Probe into the Features of Personal Wireless Image Transmission Technology [J]. Journal of Police Technology, 2009(1): 14-16. (in Chinese)
- [13] 郑东飞,李祥瑞.无线图像传输系统在黄河防汛指挥中的应用[J].科技视界,2015(6):215-216.
ZHENG Dongfei, LI Xiangrui. Research and application of wireless image transmission system in the yellow river flood control command [J]. Science & Technology Vision, 2015(6): 215-216. (in Chinese)

作者简介:



程皓(1976—),男,江苏常州人,2007 于电子科技大学国家级通信抗干扰实验室获信号与系统专业博士学位,现为副教授,主要研究方向为无线信号处理、频谱估计和阵列理论。

CHENG Hao was born in Changzhou, Jiangsu Province, in 1976. He received the Ph. D. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2007. He is now an associate professor. His research interests include wireless signal processing, spectral estimation, and array theory.

Email: Dr. chenghao@163. com