

TDMA 原理在机载数据采集系统中的应用

梁 欢¹ 赵凯瑞¹ 兰其龙¹ 杨 鑫¹ 魏紫阳¹ 周月明²

(西北工业大学自动化学院 西安 710129)¹ (西北工业大学教育实验学院 西安 710129)²

摘 要 首先介绍了 TDMA(Time Division Multiple Access)原理和光纤传输,接着对其在机载数据采集系统中的应用进行详细研究。在此工作基础上,利用现场可编程逻辑阵列(FPGA),对所提出的方案进行了硬件设计与实现,设计了一个基于 FC(Fiber Channel)的光信号传输、多节点的分布式系统。在实际验证中,实验结果达到了预期的目标,说明该设计方案稳定可靠。

关键词 时分多址,现场可编程逻辑阵列,光纤传输,机载数据采集

Application of TDMA Theory in Data Collection System Onboard

LIANG Huan¹ ZHAO Kai-rui¹ LAN Qi-long¹ YANG Xin¹ WEI Zi-yang¹ ZHOU Yue-ming²

(North-western Polytechnical University, School of Automation, Xi'an 710129, China)¹

(North-western Polytechnical University, Honors College, Xi'an 710129, China)²

Abstract The article first introduces TDMA (Time Division Multiple Access) and optical fiber transmission principles, followed by its application in the airborne data acquisition system for detailed study. Based on this work, by using field programmable gate array (FPGA) hardware design, and by designing and implementing the proposed program in hardware part, we designed a FC (Fiber Channel)-based, optical signal transmission and multi-node distributed system. In the actual verification, the experimental results achieved the expected goals, indicating that the design is stable and reliable.

Keywords TDMA, FPGA, FC, Data collection system onboard

随着我国航空技术的发展,各种新型战斗机、运输机等不断推出,飞机的数据采集系统也得到了快速的发展。在飞机的研制、实验等过程中需要采集和传输的数据日益增多,但是传输时间却要求减少。查阅相关资料发现,传统的机载数据采集系统已经趋于瓶颈状态,很难满足日益膨胀的应用需求;而且,目前我国使用的机载信息采集系统多为集中式体系结构,专用型比较强,功能较单一,不利于系统综合。

基于此,本文提出了一种 TDMA 原理在机载数据采集系统中的应用方法。通过时分多址技术和光纤传输技术的结合,解决了数据采集传输系统中大量数据并发传输受限的问题。在此原理基础上,利用现场可编程逻辑阵列(FPGA)、线速交换器和光纤等器件,对所提出的方案进行了硬件设计与实现,并进行了系统实物验证。

1 TDMA 原理

TDMA(Time Division Multiple Access)即时分多址,起源于无线通信应用,在无线传输系统中利用数据帧和帧中的时隙划分实现了按照时间片将相应的收发端双向连通的通信机制。其原理如图 1 所示,在时间轴上,时间被分为无数个间隙,时隙 1 时系统在使用通道 1,时隙 2 时系统在使用通道 2,以此类推,时隙 N 时系统在使用通道 N。通俗地说,TDMA

方式就是将数据传输的时间周期性地分成互不重叠的时隙,通过这样时间上的错开,解决了通道占用和传输效率低的问题。

在 TDMA 方式工作下,信道按时间轴划帧,帧的重复周期为帧周期,每一帧内部又划分为若干个时隙,各时隙的宽度可以不一致,时隙的长度应略大于传输一个报文分组所需时间。网络中每个节点至少可占用帧中的一个时隙,时隙的个数应大于网络中节点的个数。在一帧中,时隙分为 3 类,分别为控制时隙、工作时隙和申请时隙。

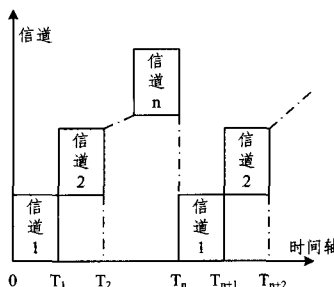


图 1 TDMA 原理

2 光纤通信

为了应对大量数据的传输需求,通过综合考虑,本系统选

梁 欢 男,主要研究方向为嵌入式系统设计与应用以及智能操作系统的软件应用开发等;赵凯瑞(1977—),男,讲师,主要研究方向为飞行控制系统设计与仿真、先进控制算法仿真、无人飞行器健康管理方法研究等;兰其龙 男,主要研究方向为系统硬件设计、机体力学等。

用光纤作为传输介质。光纤具有如下优点:1) 通信容量大、传输距离远;2)信号串扰小、保密性能好;3)抗电磁干扰、传输质量佳;4)光纤尺寸小、重量轻,便于敷设和运输;5)材料来源丰富,环境保护好;6)无辐射,难于窃听;7)光缆适应性强,寿命长。本系统的光纤传输主要由3大部分组成:发送端、矩阵开关、接收端。发送端包括:DSP数据采集部分、FPGA数据发送部分和光转换发送器部分。而接收端则包括:光接收转换器部分以及FPGA数据接收部分。光纤传输系统示意图如图2所示。

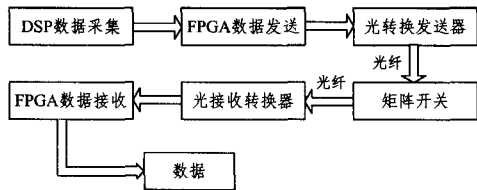


图2 光纤传输系统示意图

在发送端,先将外部输入的模拟信号进行预处理,再通过A/D转换器转化为数字信号送入FPGA进行预处理。根据数据传输以及通信协议的要求,FPGA将预处理后的A/D数据进行编码、成帧,然后由FPGA内部的IP核进行并串转换,最后由光收发模块完成光电转换后,通过光纤发送出去。

在接收端,光收发器模块将接收到的光信号转化为电信号,完成高速串行数据到并行数据的转换。然后,将转换后的并行数据送入FPGA,FPGA完成信号的解帧、解码,并进行后处理,该过程是发送端的逆过程。最后,可以选择是否经D/A转换器将接收到的数据恢复成模拟信号。

在长途通信系统中,光信号在光纤中受到损耗、色散的影响质量变差,因此还需在中途进行中继,即对信号进行放大、整形,以获得高质量的信号。本系统由于应用于机载系统中,传输距离并不长,因此没有使用相关中继设备。

3 TDMA 在系统中的应用

TDMA技术经历了30多年的应用和发展,技术成熟,利用效率高,能方便地支持海量数据类型的传输。目前TDMA已经广泛应用于无线通信系统当中(间接或者直接使用),可靠性较高。因此,考虑将其应用于本系统(有线通信系统)中。

在基于有线环境的分布式数据采集系统中,利用该技术可以保证同一时刻需要通过线速交换器进行连通的“端到端”没有冲突,从而保证线速交换器可以按照时隙划分而工作在“开关”状态,而不是“交换”状态。具体来说,时分多址是把时间分割成周期性的帧,每一帧再分割成若干个时隙向数据存储节点或无线链路节点发送数据,在满足定时和同步的条件下,数据存储节点或无线链路节点可以分别在各时隙中接收来自其它数据发送节点的数据而不混扰。同时,管理节点发向多个工作节点的信号都按顺序安排在预定的时隙中传输,各通用节点只要在指定的时隙内接收,就能在合路的信号中把发给它的数据区分并接收下来。

由于光纤通道标准是一簇十分庞大而复杂的协议,不同的特性适用于不同的应用环境,因此选用FPGA作为当前接口控制芯片是一个非常合适的选择。一方面对于不同的应用环境,可以对相应的功能模块进行适当的裁减,既能满足应用需要又能降低成本;另一方面对于协议的变化,基于FPGA的实现也很容易就能对老版本设计进行更新。本系统中采用

Xilinx公司的Virtex-5系列FPGA作为逻辑器件。Virtex-5是赛灵思公司推出的高性能FPGA芯片,其系列采用第二代ASMBL™(高级硅片组合模块)列式架构,包含多种硬IP系统级模块,针对增强型串行连接的电源优化高速串行收发器模块、兼容PCI Express™的集成端点模块、三态以太网MAC(媒体访问控制器)和高性能PowerPC®440微处理器嵌入式模块。

利用FPGA发送和接受数据的具体过程如下:当用户有数据需要发送时,通过接口控制芯片的用户接口将数据按标准格式存入芯片内部的数据存储器,并通过设置相应的寄存器请求接口控制芯片的数据传输服务。然后,软件代码将数据接管过来,先为这次数据(IU)传输分配相应的软件资源(交换状态块、序列状态块等)用以记录数据的发送状态。等完成相应的处理后,FPGA芯片通过光纤通道传输核提供的接口通知传输核对数据进行处理,包括分片、成帧、CRC计算和8B/10B编码等任务。最后,传输核通过输出引脚输出出高速串行数据去调制光发射机并发送到光纤链路。

当从输入链路上接收到数据时,传输核首先对数据进行处理,包括位同步、串并转换、8B/10B解码、字同步、有序集检测、CRC校验和帧提取。当有效帧接收到并存到接收缓冲区后,硬件模块设置相应的寄存器通知FPGA芯片,然后FPGA芯片对接收到的帧进行处理,包括分配相应的软件资源、帧重装。当属于一个序列的所有帧都正确接收完后,FPGA通过用户接口模块通知用户模块,用户模块接收到数据后自行处理。

系统的整体结构如图3所示。

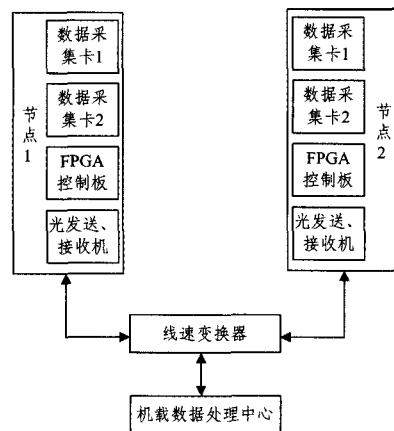


图3 系统的整体结构

如图3所示,系统有2个节点通过光纤与线速交换器相连接。根据TDMA的原理,我们设定2个不同的通道,它们分别对应着2个不同的节点。系统中有进行线路切换的矩阵开关,可以在任意时刻开启和关闭任意光纤通道。在时隙1时系统处理中心与节点1进行数据传输,时隙2时与节点2进行数据传输。接着开始循环,等到下一个时隙,系统又开始与节点1进行了通信。在系统中,任一通道开启和关闭的时间是根据TDMA原理预先设定好的,因为这关系着系统整体的传输速率和稳定性问题。我们根据不同节点的数据量大小、系统的授时精度以及数据采样的频率和TDMA传输效率等综合考虑,得到了各个通道开启和关闭的时间,即各个时隙的大小。当然我们也可以根据系统的需求和数据量的大小进

(下转第25页)

种将高维稀疏量映射到低维空间进行观测的方法。同时协作感知机制能够更好地解决频谱检测中的隐终端和阴影遮蔽的问题,降低漏检和误检概率。综合以上考虑,本文给出了基于可信度的压缩感知协作频谱检测算法,该算法通过压缩感知方法实现宽频谱的检测,降低了用户与认知中心的交互信息量,同时利用了协作感知中用户的信号可信度,对用户的压缩感知结果加权求和,进一步提高频谱检测概率。仿真结果表明,本算法对比于直接算术求和的方法,可以进一步提高频谱检测概率,提升了频谱检测的性能。

参 考 文 献

[1] 薛峰,屈代明,朱光喜,等.资源受限的认知无线电系统优化合作频谱感知算法[J]. 计算机科学,2010,37(9):54-56

[2] Donoho D L. Compressed sensing [J]. IEEE Transactions on Information Theory,2006,52(4):1289-1306

[3] Candes E, Tao T. Decoding by linear programming [J]. IEEE Transactions on Information Theory,2005,51(12):4203-4215

[4] Havary-Nassab V, Hassan S, Valaee S. Compressive detection for wide-band spectrum sensing [C]//International Conference on Acoustics, Speech, and signal Processing. Dallas, TX, USA, Mar. 2010:3094-3097

[5] Needell D, Tropp J A. CoSaMP: Iterative signal recovery from incomplete and inaccurate samples[J]. ApplComput Harmon Anal,2009,26(3):301-321

[6] Tropp J A, Gilbert A C. Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit [J]. IEEE Transactions on Information Theory,2007,53(12):4655-4666

[7] Davis G, Mallat S, Avellaneda M. Adaptive greedy approximations[J]. Constructive Approximation,1997,13(1):57-98

[8] Needell D, Vershynin R. Uniform uncertainty principle and sig-

nal recovery via regularized orthogonal matching pursuit [J]. Foundations of Computational Mathematics,2007,9(3):317-334

[9] Lu Gan D T T, Nam N, Tran T D. Sparsity adaptive matching pursuit algorithm for practical compressed sensing[C]//42nd Asilomar Conference on Signal, Systems and Computers. Pacific Grove, USA; IEEE Press,2008:581-587

[10] 张雄伟,黄建军,朱涛.压缩感知新技术专题讲座(一)[J]. 军事通信技术,2011,32(4):83-87

[11] Quan Zhi, Cui Shu-guang, Poor H V, et al. Collaborative Wide-band Sensing for Cognitive Radios [J]. IEEE Signal Processing Magazine,2008,25(6):60-73

[12] Yueek T, Arslan H. A Survey of Spectrum Sensing and Algorithms for Cognitive Radio Applications [J]. IEEE Communication Survey & Tutorials,2009,11(1):116-130

[13] 肖林,刘凯.认知无线网络中的最佳可信度频谱检测算法[J]. 西安电子科技大学学报:自然科学版,2011,38(5):79-84

[14] 于向楠,郑宝玉,见春雨.基于PN编码器的压缩感知超宽带信道估计[J]. 南京邮电大学学报:自然科学版,2012,32(3):51-55

[15] Tian Z, Giannakis G B. Compressed sensing for wideband cognitive radios[C]//International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Honolulu, HI, USA, Apr. 2007:1357-1360

[16] Polo Y L, Wang Y, Pandharipande A, et al. Compressive wide-band spectrum sensing[C]//International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. San Diego, CA, USA, Feb. 2009:178-183

[17] 虞贵财,罗涛,乐光新.认知无线电系统中协同能量检测算法的性能研究[J]. 电子与信息学报,2009,31(11):2682-2686

[18] 郭晨,彭涛,王文博.认知无线网络中合作频谱感知机制的优化[J]. 电子与信息学报,2009,31(7):1525-1530

(上接第14页)

行实时时隙大小的调整,这样就大大提高了系统的适应能力。

表 1

对比项	对比对象	NTP	SNTP	IEEE1588
授时精度		0.1ms	10ms	100ns
发展情况		V4	V4	V2
形成时间		1988.6		2001
是否支持以太网		支持	支持	支持

为了实现 TDMA,还需要实现整个系统的时钟同步,即精密授时。只有实现精密授时,才有可能完成时分多址的任务,而不出差错;否则,各个数据将会无法顺利发送和接受,最终导致系统崩溃。关于精密授时协议,现有的包括 NTP、SNTP 和 IEEE1588。它们之间的对比如表 1 所列。由表 1 可知,IEEE1588 协议的授时精度比较高,所以采用 IEEE1588 作为本系统的授时协议。其实现是通过 FPGA 对所有数据打上一个“时间戳”,用来记录数据发送或者接收的时间点,帮助系统完成精密授时和数据处理工作,最终顺利实现时分多址,其具体应用过程不再详细论述。

在完成了实物制作工作之后,我们进行了实际系统的验

证工作。最终系统稳定地正常工作,各项技术指标均达到了预期的设计目标,工作速率为 2.5Gbps,最大传输延迟为 590ns,最大同步精度为 380ns。

结束语 本文对 TDMA 原理在机载数据采集中的应用进行了详细的论述,实验结果达到了预期目标。该论文旨在探索和解决机载数据采集系统中海量数据超高速传输的问题,而采用的 TDMA 原理方案在数据采集系统中的应用是一种能很好满足技术要求的方案,极大地提高了系统的数据吞吐量 and 整体水平。

参 考 文 献

[1] 赵冠成,等.分布式光纤传感器数据采集系统设计[J]. 测控自动化

[2] 聂景楠.多址通信及其接入控制技术[M]. 现代通信网络技术丛书. 人民邮电出版社,2006

[3] 徐文波. Xilinx FPGA 开发实用教程(第 2 版)[M]. 北京:清华大学出版社,2012

[4] 林生. 计算机通信网原理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1995

[5] 邱昆. 光纤通信导论[M]. 成都:电子科技大学出版社,1995