

doi: 10.7690/bgzd.2013.03.012

无人机飞行控制计算机中的 FlexRay 总线节点设计

章勇, 陈欣, 吕迅站

(南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016)

摘要: 为解决基于 CAN 总线的飞行控制计算机总线通信带宽受限问题, 笔者根据新型分布式结构飞行控制计算机对内部总线通信信息传输的要求, 设计了基于 MPC565 为中央处理单元的 FlexRay 总线节点。详细介绍 FlexRay 总线节点硬件设计特点、通信控制器配置和通信软件开发等。通过模拟分布式结构飞行控制计算机工作状态的测试环境, 测试与验证 FlexRay 总线节点实时数据接收和发送的功能与性能。测试结果表明: 该方法满足设计要求, 可为解决新型分布式无人机飞行控制计算机内部通信瓶颈奠定坚实基础。

关键词: FlexRay; 飞行控制计算机; 总线; MPC565; MFR4310

中图分类号: TJ85 **文献标志码:** A

Design of FlexRay Bus Node in UAV Flight Control Computer

Zhang Yong, Chen Xin, LYU Xunhong

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: For the problem that controller area network (CAN) bus communication bandwidth is limited in uninhabited aerial vehicle(UAV) flight control computer, according to the information transmission requirement of new distribution flight control computer to internal communications bus, design FlexRay bus node which taken MPC 565 as central processor unit. Hardware design features of the FlexRay bus node, communications controller configuration, communication software research and development are introduced Detailed. Test the FlexRay node's performance of real time transmission and receiving by simulating the working environment of distributed architecture flight control computer, and verified the experimental results which meet the demand of new distributed flight control computer's internal communication, also it has laid a solid foundation to solve the bottleneck problem of internal communication of the new distributed UAV flight control computer.

Key words: FlexRay; flight control computer; bus; MPC565; MFR4310

0 引言

目前无人机飞行控制系统中的分布式结构飞行控制计算机多采用 CAN 作为内部通信总线, 其实时性和可靠性能得到保证, 但随着无人机性能不断发展, 对飞行控制计算机的要求越来越高, CAN 总线在带宽、实时性和安全性方面已不能满足要求, 因此需要寻求一种新的总线通信技术来解决制约分布式结构飞行控制计算机发展的瓶颈问题。

FlexRay 作为一种新型的时间触发总线, 已经在宝马 X5、奥迪 A8 等豪华轿车中得到了成功应用。相对于 CAN 总线, FlexRay 传输速率更快, 冗余性能更高, 将来一定会在工业控制、航空航天领域得到广泛的应用。FlexRay 具有高速率, 时间确定性, 信道容错冗余功能, 完全满足新型分布式结构飞行控制计算机内部总线数据通信需求; 因此, 笔者根据新型分布式结构飞行控制计算机对内部总线通信信息传输的要求, 设计了基于 MPC565 的 FlexRay 总线节点, 以最终研制出新型飞行控制计算机。

1 FlexRay 通信协议概述

1.1 FlexRay 协议特性

FlexRay 是 FlexRay 共同体 (FlexRay Consortium) 制定的协议, FlexRay 提供了传统车内通信协议所不具备的大量特性。这些特性为新型应用创造大量的机会。这些基本特性^[1]包括:

- 1) 20 Mbit/s 的数据速率;
- 2) 同步时基;
- 3) 提前知道消息的延迟时间, 保证偏差幅度;
- 4) 冗余和非冗余通信。

1.2 FlexRay 与 CAN 总线特性比较

控制器局域网 (control area network, CAN) 最初由德国 Bosch 公司推出, 用于汽车内部数据通信, 其总线规范已被国际标准化组织 (ISO) 制定为国际标准, 随着 CAN 总线应用的不断扩展, 其在工业控制、机械制造、航空航天等领域也得到了广泛应用。与 CAN 总线相比, FlexRay 诞生的时间较短,

收稿日期: 2012-09-20; 修回日期: 2012-10-28

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (KFJJ20110104)

作者简介: 章勇 (1986—), 男, 安徽人, 硕士, 助理工程师, 从事飞行控制计算机设计研究。

应用的范围目前也仅仅局限于汽车总线领域, 但比 CAN 总线更为卓越的性能(如表 1 所示)使其成为未来更朝阳的总线技术, 相信在不久的未来一定会像 CAN 总线得到广泛的应用。

表 1 CAN 和 FlexRay 性能对比

性能	FlexRay	CAN
数据传输率/(Mbit/s)	10	1
传输的字节数/Byte	0~254	0~8
通道数	2	1
拓扑结构	总线型、星型、混合型	总线型

2 飞行控制计算机内部 FlexRay 网络结构

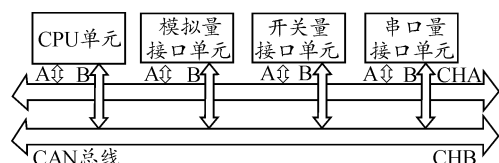


图 1 样例飞行控制计算机 CAN 总线结构

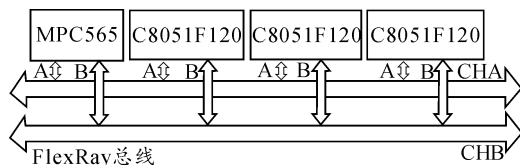


图 2 飞行控制计算机 FlexRay 总线结构

基于 CAN 总线的样例分布式飞行控制计算机由 CPU 单元、串口通信单元、模拟量单元和开关量接口通信单元等 4 个功能单元组成。其中 CPU 单元的主要功能是进行整个飞行控制系统的控制律解算, 实现外围设备的管理功能, 是分布式飞行控制计算机的核心主控单元。模拟量接口单元, 开关量接口单元, 串行量接口单元为分布式飞行控制计算机的数据采集及输出部分, 3 个功能单元主要负责接收传感器数据及采集外围设备的状态, 同时也输出由中央处理单元解算及处理过的数据^[2]。系统中的每个单元作为一个 CAN 总线节点, 节点之间通过 CAN 总线进行数据通信交互, 其结构如图 1 所示。为了实现分布式飞行控制计算机内部通信总线由 CAN 向 FlexRay 的升级, 需要搭建模拟分布式飞行控制计算机内部通信的 FlexRay 总线通信网络, 来实现对新型 FlexRay 总线飞行控制计算机的研究。在基于 CAN 总线的样例分布式飞行控制计算机中, CPU 单元, 串口通信单元, 模拟量单元和开关量接口通信单元各有一块 MCU 用于总线通信, CPU 单元的 MCU 采用飞思卡尔 MPC565, 其他 3 个功能单元的 MCU 均为 C8051F120, 为方便将原有基于 CAN 总线的样例分布式飞行控制计算机程序移植到新型 FlexRay 总线飞行控制计算机中, 搭建模拟分布式飞行控制计算机通信的 FlexRay 总线

通信网络如图 2 所示。由于前者已经实现了基于 C8051F120 的 FlexRay 总线通信节点, 所以笔者重点论述和研究基于 MPC565 的 FlexRay 总线节点。

3 FlexRay 节点详细设计

3.1 FlexRay 通信节点方案

FlexRay 节点有 3 种架构方式, 分别为微处理器(MCU)+通讯控制器(CC)+总线驱动器(BD), 微处理器+总线驱动器, 微处理器 3 种。目前已经实现的有 MCU+CC+BD 和 MCU+BD 2 种。在 MCU+CC+BD 模式下, MCU 是微处理器, 通过配置通信控制器 CC 中的寄存器来设置它的工作模式, 通过设置协议状态来实现数据收发, 总线收发器将通信控制器与总线相连, 通过编码将通信控制器中的数据发送到总线上, 通过译码将总线上来的数据传输到通信控制器中, 以此来实现 FlexRay 总线通信。

根据样例飞行控制计算机系统资源, 笔者采用第一种架构方式, 即 MCU+CC+BD 模式, MCU 选用 MPC565, MPC565 是飞思卡尔半导体公司推出的 PowerPC 精简指令计算机体系结构的 32 位高档微处理器, 采用 PBGA 封装, 拥有 388 个引脚, 具有以下性能特点^[3]: 1) 32 位的 CPU; 2) 2 个队列式 A/D 转换模块; 3) 22 通道的 MIOS14 模块子系统和 3 个时间处理单元; 4) 2 个对列式串行模块和 3 个 TouCAN 控制器模块。通信控制器采用飞思卡 MFR4310^[4], MFR4310 是飞思卡尔公司 2008 年推出的支持 FlexRay 协议 2.1A 的通信控制器, 它提供 2 个独立的 FlexRay 通道 A/B, 可多达 254 个字节数据配置的 128 个消息缓冲器, 以及 2 个可配置接收先进先出(first in first out, FIFO)消息缓冲器。总线收发器采用恩智浦公司的 TJA1080A^[5], 提供高达 10 Mb/s 的通信速率, 并且可工作于总线型和星型 2 种拓扑结构, 节点结构如图 3 所示。

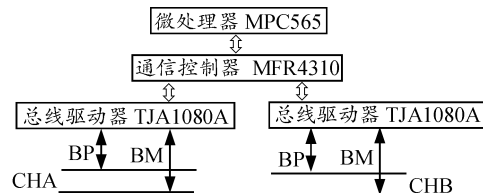


图 3 节点结构

3.2 节点总体设计

3.2.1 总体概述

如图 4 所示, 基于 MPC565 的 FlexRay 总线节点系统结构分为 2 部分: 1) MPC565 最小系统及周

围电路；2) FlexRay 总线相关电路。MPC565 最小系统及周围电路包括以下部分：① 供电系统；② 时钟系统；③ 调试及测试接口；④ 外部存储器系统；⑤ 复位及复位配置系统；⑥ RS232 总线电路。

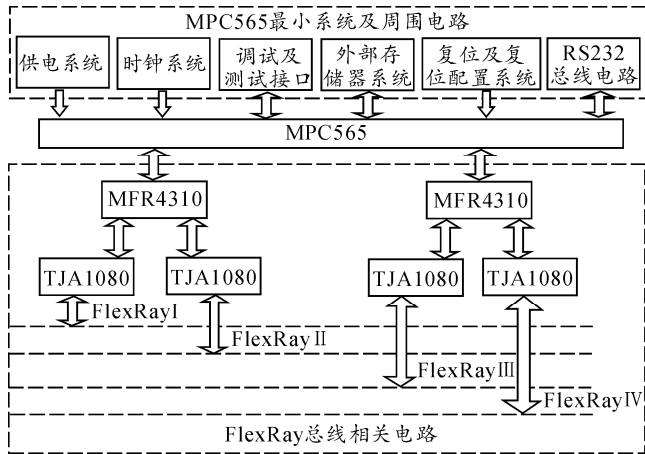


图 4 系统总体设计结构

3.2.2 FlexRay 总线相关电路 II III IV

如 3.1 节所示，FlexRay 总线通信节点方案选择 MCU+CC+BD 架构，由于原有基于 CAN 总线的分布式飞行控制计算机具有 4 路总线输出，为方便样例分布式飞行控制机程序向新型 FlexRay 总线飞行控制计算机移植，故采用 MPC565 芯片通过片选 CS2、CS3 分别连接 2 路 MFR4310 以实现 4 路 FlexRay 总线输出的能力。

3.3 MPC565 与 MFR4310 接口连接

如图 5 所示，在 MFR4310 中，D0 是数据总线的最低有效位，A1 是地址总线的最低有效位，而在 MPC565 中采用的为小端模式，ADDR0 是地址总线的最高有效位，DATA0 是数据总线的最高有效位，所以 MFR4310 和 MPC565 连接时地址总线和数据总线需反向连接，亦即 MFR4310 的 D0 与 MPC565 的 DATA15 相连，MFR4310 的 A1 与 MPC565 的 ADDR30 相连。由于采用 16 位数据总线读取模式，所以将 MPC565 的写控制信号 WE/BE0#、WE/BE1# 分别与 MFR4310 的字法选择信号 BSEL0#、BSEL1# 相连，MPC565 的片选信号 CS# 与 MFR4310 的片选信号 CE# 相连，MPC565 的读控制信号 OE# 与 MFR4310 的 OE# 信号相连。当 MFR4310 的片选信号 CE# 为低电平，读信号 OE# 为低电平，字法选择信号 BSEL0#、BSEL1# 均为高电平时，MPC565 对 MFR4310 进行 16 位数据读操作；反之，当 MFR4310 的片选信号 CE# 为低电平，读信号 OE# 为高电平，

字法选择信号 BSEL0#、BSEL1# 均为低电平时，MPC565 对 MFR4310 进行 16 位数据写操作。MFR4310 提供 3 种可以选择的硬件主机接口：HCS12 接口，异步存储器接口和 MPC 接口，具体选择哪种模式通过配置 IF_SELO 和 IF_SEL1 2 个引脚的上拉下拉来实现，按照官方推荐连接电路，选择 MPC565 模式时，IF_SELO 和 IF_SEL1 2 个引脚均选择下拉，所以将 IF_SELO 和 IF_SEL1 2 个引脚下拉 47 Ω 电阻接地选择 MPC565 模式。INT_CC# 为中断信号，当中断发生时，通信控制器将中断信号发送给主机，主机调用中断处理函数，判断中断的类型，并执行不同的中断响应函数^[6]。

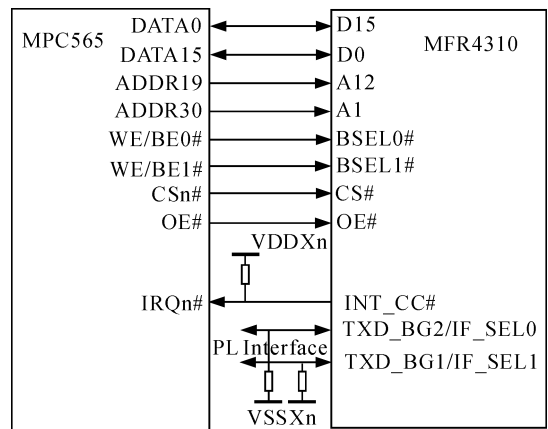


图 5 MPC565 与 MFR4310 连接框图

3.4 MFR4310 与 TJA1080 连接

如图 6 所示，MFR4310 提供了 2 个独立的 FlexRay 总线收发模块，因此可以接 2 个 TJA1080A 构成冗余网络。TXD_BG[1:2]/IF_SEL[0:1] 为复合输出/输入引脚，IF_SEL[0:1] 为主机接口选择引脚，如 3.3 节所描述，IF_SELO 和 IF_SEL1 2 个引脚均选择下拉来决定主机接口为 MPC565。当 TXD_BG[1:2] 引脚全强度驱动时，数据从 MFR4310 传输到 TJA1080 芯片上。

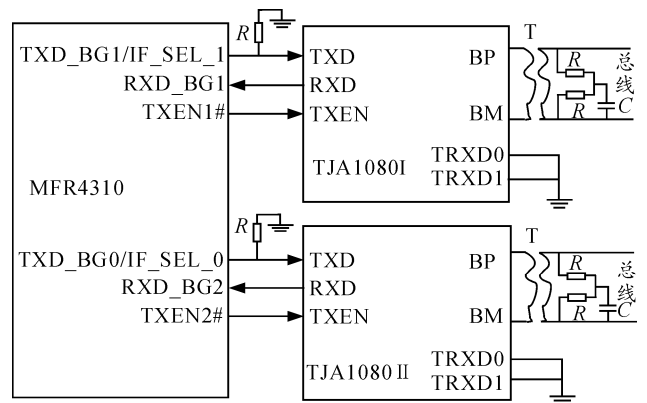


图 6 MFR4310 与 TJA1080 连接

正常高速通信模式下,当 MFR4310 通讯控制器的 TXEN[1:2]#引脚为高电平时,使 TJA1080 的发送使能引脚 TXEN 有效,这时 TJA1080 的 TXD 输入引脚把从通讯控制器 TXD_BG[1:2]引脚输入的数字位流,转换成相应的模拟总线信号再输出到 FlexRay 总线上;同时,TJA1080 将 FlexRay 总线上的模拟总线信号转换成相应的数字位流,从 TJA1080 的 RXD 引脚输送到通讯控制器 MFR310 的 RXD_BG2 引脚上,完成总线与 MFR4310 通信控制器的数据通信^[7]。

根据 FlexRay 电气物理层协议要求,TJA1080 与物理层接口如图 6 所示, T 为共模扼流电感(common mode chock),应满足频率在 20~50 MHz 时,共模扼流电感的共模衰率最大。为了保证更好的电磁兼容性,在收发器和物理层之间引入了一个所谓的隔离终端,即将终端电阻分成 2 个阻值相同的电阻 R 。2 个电阻的精度控制 1% 之内,以保证二者良好匹配,否则匹配性过差会导致信号收发时产生很高的电磁辐射^[8]。

3.5 MPC565 初始化软件设置

以 MFR4310 I 为例,在系统中,MPC565 的 CS2 连接 MFR4310 I 的 CS#,通过配置 MPC565 中的 OR2 和 BR2 寄存器来选择 MFR4310 通信控制器在 MPC565 中的地址映射空间,具体配置如下:

片选设置:

USIU.OR2.R=0xffff8024;

USIU.BR2.R= 0x20000803;

通用接口单元设置:

USIU.SCCRK.R=0x55ccaa33;

USIU.SCCR.R=0x01383f00;

USIU.PLPRCRK.R=0x55ccaa33;

USIU.PLPRCR.R=0x00910000;

BR2 中的前 16 位决定了 MFR4310 在 MPC565 中的基地址,BR2=0x20000803,所以 MFR4310 在 MPC565 中的起始地址为 0x20000000;OR2 中的第 24 到 27 位决定了总线读写等待周期长度,由于 MPC565 芯片外接了 4 M 晶振输入,通过设置 USIU.PLPRCRK 和 USIU.PLPRCR 中的配置字使系统倍频至 40 M 工作频率,MFR4310 的控制器主机接口时钟选择 40 M 时钟输入,按照官方推荐连接电路说明,当主机工作频率即 MPC565 工作频率和 MFR4310 的控制器主机接口时钟频率均为 40 MHz 时,系统总线读写等待周期为 2,所以设置 OR2 中的第 24 到 27 位为 2。

3.6 FlexRay 总线初始化流程及功能配置

在 FlexRay 总线节点进行 FlexRay 通信前,需要对 FlexRay 模块进行初始化,通过对相应寄存器进行配置以完成模块的初始化,才能使 FlexRay 模块进入正常工作状态。初始化 FlexRay 模块时,主要完成 FlexRay 模块配置,通信集群协议参数配置和信息缓冲器配置。具体的 FlexRay 初始化流程如图 7 所示。在协议进入正常通信状态后,配置好的该节点便可以作为 FlexRay 的一个节点加入 FlexRay 的通信集群中。最后,设计接收和发送程序,此节点便可以在预先定义好的时槽到来时发送指定的发送缓冲器中的数据,并在接收时槽中接收总线上的数据,将此数据从预先定义好的接收缓冲器中存放到指定的内存地址中^[9]。

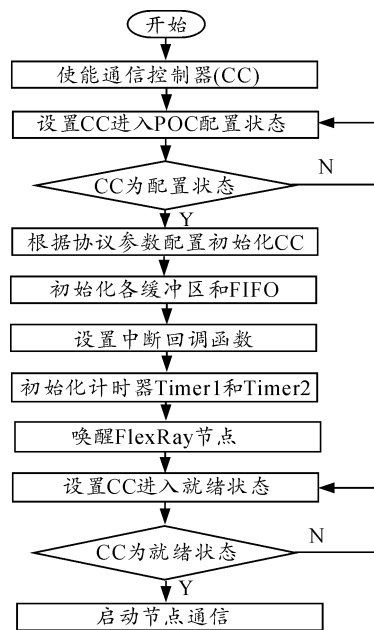


图 7 初始化流程

4 测试验证

最后,对设计的 FlexRay 总线节点进行通信测试验证。把该网络节点设为冷启动节点,系统上电初始化后,经过 FlexRay 总线配置,准备,冷启动侦听等相关协议状态,该节点会向总线上发出 10 个启动帧来启动 FlexRay 集群。至此,单个节点的 FlexRay 总线准备完毕。

把该系统节点与已经实现的基于 C8051F120 的 FlexRay 总线节点连接起来进行 FlexRay 集群通信测试,其结构框图如图 8 所示。在该集群系统内,基于 C8051F120 的 FlexRay 总线节点和基于 MPC565 的 FlexRay 总线节点均设为最简单的 2 个时隙通信模式。即一个时隙收,一个时隙发,系统

仅用静态段发送数据，系统参数如通信周期大小设为 5 ms，静态段大小设为 50 μs，其他系统参数如动态段，负载段的长度，通信速率等 2 个节点均设置为一样，每个节点都对接收到的数据帧数，丢帧数和发生错误帧数进行计数，2 个 4310 节点通过串口将通信结果输出到 PC 机上以供观测，同时也可以通过示波器直接观测总线波形进行监控。总线上的波形具体如图 9 所示。经过 12 h 连续的通信测试（6 h 常温和 6 h-45℃ 的低温），低温 6 h 通信结果如表 2 所示，从表中可以看出，丢帧数和错误计数都为 0，表明节点设计正确，满足内部总线对误码率的指标要求，同时也验证了 FlexRay 总线在不同温度环境下的高速率通信可靠性和安全性。

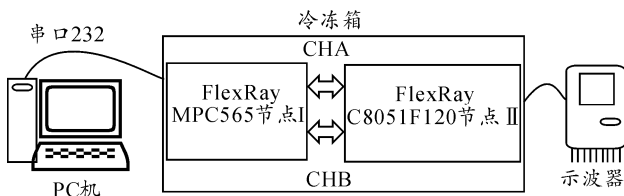


图 8 FlexRay 总线节点测试框图

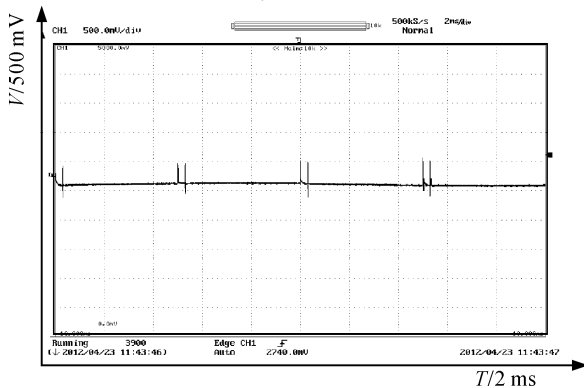


图 9 FlexRay 集群通信总线波形

（上接第 41 页）

外站则按上一周期的时间基准进行工作；当连续 3 个周期都没收到基站的同步字时，则外站与基站失去同步，转入接收状态，等待与基站再次同步。

5 结束语

宽带无线通信系统是一个集视频图像、数据、语音于一体的多体制、多模式的综合通信系统，能够提高我军的通信保障能力，是急需的、快速有效的电子信息装备，也可用于全军其他单位的无线视频和数据接入，能够提高我军数字化、信息化部队的建设水平。

参考文献：

[1] 郑启宁, 闫鹏. 宽带无线通信系统对海覆盖的规划建议

表 2 测试结果

测试时间/h	通信帧计数器	丢帧计数器	帧错误计数器	误码率/%
2	576 000	0	0	0
4	1 152 000	0	0	0
6	1 728 000	0	0	0

5 结束语

笔者根据样例计算机资源，设计了基于 MPC565 为中央处理单元的 FlexRay 总线节点，并与基于 C8051F120 为中央处理单元的 FlexRay 总线节点进行了点对点通信验证，结果正确，能满足要求，为以后在新型飞行控制计算机中用 FlexRay 总线替代 CAN 总线奠定了坚实的基础。

参考文献：

[1] FlexRay Consortium. FlexRay communications system protocol specification, Version 2.1, Revision A[EB/OL]. 2005. www.flexray.com.
 [2] 张增安, 陈欣, 吕迅. 一种用于无人机的分布式飞行控制系统设计[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(8): 16-20.
 [3] Freescale Semiconductor, MPC565 Reference Manual, Rev.2.2,2005. http://www.freescale.com.
 [4] Freescale Semiconductor. MFR4310 FlexRay communication controllers reference manual Rev.2 [EB/OL]. 2008. www.flexray.com.
 [5] NXP Semiconductors. TJA 1080A FlexRay transceiver/liminary data sheet Rev.02.[EB/OL]. 2008-08. www.nxp.com.
 [6] 胡木, 李春涛. 无人机在线航路规划技术研究及其工程实现[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(3): 14.
 [7] 万苓, 孔峰. 基于 DSP FlexRay 节点的应用研究[J]. 广西工学院学报, 2010, 21(2): 32-35.
 [8] 张志文, 陈欣, 吕迅. 一种分布式结构飞行控制计算机内部总线节点设计[J]. 电子技术应用, 2011(11): 40-43.
 [9] 罗峰, 陈智琦, 刘鑫, 孙泽昌. 基于 FlexRay 的车载网络系统开发[J]. 电子测量与仪器学报, 2009(增刊): 289-295.

[J]. 无线通信技术, 2011(1): 26-29.
 [2] 罗云飞. CCK 编码调制性能分析仿真[J]. 实验科学与技术, 2010(4): 8-11.
 [3] 董宁, 石明卫. 802.11b 物理层 CCK 扩频技术探讨[J]. 西安邮电学院学报, 2007(3): 35-38.
 [4] 何津津, 陈奇, 杨莲兴. 应用于 802.11b 的 CCK 解调算法改进[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2007(3): 63-66.
 [5] 司江渤, 李赞, 刘增基. 一种扩展 CCK 调制速率的新方法[J]. 电视技术, 2007(6): 15-18.
 [6] 江修富, 王在渊, 何子清. CCK 解调算法的研究与改进[J]. 国外电子测量技术, 2006(11): 24-26.
 [7] 孟庆微, 苟彦新, 田岩. 基于 FPGA 的 CCK 设计与实现[J]. 电子元器件应用, 2006(8): 60-62.
 [8] 厉宁, 郑重, 林科. 基于 TDMA 的宽带无线应急通信系统实现[J]. 电力通信系统, 2011(11): 54-57.