

基于 COM Express 的回波预处理模块设计

潘 奇,倪卫芳,张宏超

南京电子技术研究所, 南京 210039)

摘要 针对舰载雷达数据处理平台的改造需求,设计了一种基于 COM Express 的回波预处理模块。通过调整雷达数据处理平台及软件的实现方式,将回波预处理前移,使用最小的改动量解决了雷达系统的回波数据接收瓶颈问题。分析了数据处理平台的改造需求,介绍了模块的设计方案、模块的硬件设计、回波预处理的数据传输流程以及 PEX8311 桥片在 Vx-works 下的驱动设计。工程实践表明,该模块大大提高了雷达的点迹处理能力,在极端情况下能正确接收并处理雷达回波数据,满足了雷达改造需求。

关键词 COM Express 模块 回波 预处理 PCI Express 总线 Vxworks 操作系统 数据处理

Design of Radar Echoes Pre-processing Module Based on COM Express

PAN Qi, NI Wei-fang, ZHANG Hong-chao

Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

Abstract A radar echoes pre-processing module based on COM Express was designed to meet with the rebuild need of data processing platform which is used in shipborne radar. The echoes data receiving bottle-neck of radar system is solved by moving the radar echoes pre-processing function to the interface board, which adjusted the implementation of data processing platform and its software. The paper analyses the rebuild need of data processing platform, described the design plan of the module, the hardware design, the signal flow of echoes data as well as the driver of PEX8311 chip in Vxworks operating system. The module highly improved the processing ability of radar echoes data, witch can receive and process the radar echoes data correctly even in extremely hard station, so it met the need with the rebuild need of radar data processing platform.

Key words COM Express module radar echoes pre-processing PCI express bus vxworks OS data processing

0 引言

随着现代电子技术飞速的发展,嵌入式系统已得到了广泛的应用。嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,软件硬件可裁剪,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。嵌入式系统的应用很多,一般都有较高的实时性需求。COM Express 模块是一个高集成度的嵌入式计算机模块,使用模块设计嵌入式系统,在业界已经达成共识,因为设计一块载板远比设计一块计算机主板要容易很多。COM Express 模块能提供较多的功能和接口,应用范围广,通过集成高性能的 CPU,具有很强的处理能力,在开发方面,只需要研制专用的载板即可实现嵌入式应用,开发难度小。

1 应用背景

舰载雷达的实际工作环境复杂,雷达回波中夹杂着大量的杂波和干扰,在严重时虚假回波甚至为真实目标的 30~40 倍,而且每个回波在相邻方位角扫描波位和相邻距离采样单元会形成多个回波点,这使得

雷达回波数据大大增加。对于数据处理平台,就要求其相对于其他普通雷达具有更强的处理能力和数据输入输出能力。

舰载雷达在前期研制时,数据处理平台使用 AT96 总线的加固计算机,其总线带宽较低,理论输入速度为 1 MWord/s (1Word 为 16 bit)在工作中加上握手信号,实际速度约为 400 kWord/s ~ 500 kWord/s。但雷达在遇到大量杂波时,回波数据最高能达到 4 MWord/s,大大超出 AT96 总线的吞吐能力,在这种情况下,为了确保数据处理的正常工作,软件就会丢弃一部分无法及时处理的回波数据,这样会造成雷达航迹等目标数据的丢失,从而影响雷达系统的正常工作。

解决 AT96 总线所带来的瓶颈问题,最为彻底的解决方案是将原有的 AT96 总线的加固计算机更换为 CPCI 总线的加固计算机,或其他类型的总线带宽更宽的计算机。CPCI 总线即使在 32 位、33 MHz 下,它可以产生 133 Mb/s 的吞吐率,故对于接收 4 MWord/s 的雷达回波数据没有任何问题。但这种改造方法需要更换整个数据处理平台(包括计算机和接口板),改动量很大,改造成本高,周期长,风险大。由于此问题在雷达联试后期才发现,整个雷达系统已经设计完成,故需

要用最小的改动量去解决数据丢失问题。

2 数据处理平台的改造方案

改造前的数据处理平台由加固计算机和接口板组成。数据处理主要完成点迹处理、搜索处理、跟踪处理、截获处理、波位编排等数据处理功能,以及与信号处理、雷达控制、终端显示等分系统的数据通信功能,数据处理软件的工作流程如图 1 所示。其中接口板使用 16 位的自定义输入并口从信号处理读取雷达回波数据,加固计算机则通过中断方式从接口板的缓存中读取此回波数据。加固计算机在收到回波数据后进行各类数据处理工作,包括点迹处理、搜索处理、跟踪处理、截获处理、波位编排等。处理完成后,将波束信息送到雷达控制分系统,航迹信息则送出到终端显示分系统进行目标信息的显示。

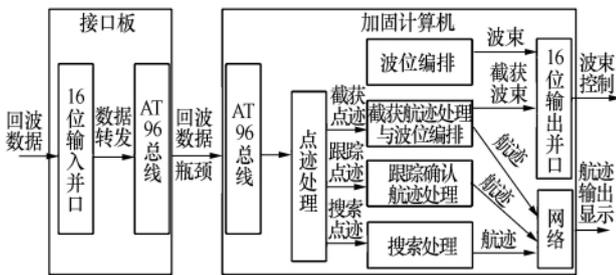


图 1 改造前数据处理软件的工作流程

考虑到数据处理平台的特点,即数据处理从信号处理接收到的回波数据内包含了大量的杂波数据,经过点迹预处理后,其数据量将大大减少。若使用原有的 AT96 总线传输预处理后的点迹数据,这些点迹数据的数据量相对要少很多,在 AT96 总线的实际传输带宽之内。根据这个特点,我们适当调整了数据处理平台及其软件的实现方式,将点迹预处理功能前移,通过研制带有回波预处理处理功能的接口板,即可解决雷达回波数据的丢失问题。

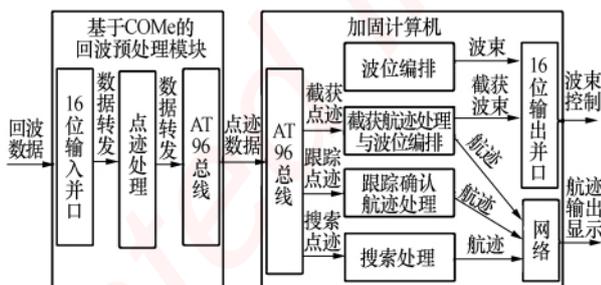


图 2 改造后的数据处理软件的工作流程

改造后的数据处理软件工作流程如图 2 所示。通过研制基于 COM Express 的回波预处理模块,将数据处理的点迹预处理功能前移到此模块上,使用 AT96 总线仅传输处理后的点迹数据,可大大减少 AT96 总

线传输的数据量。经过点迹预处理后,雷达的回波数据中的杂波、干扰等无效的数据将会被丢弃,回波数据将转换成点迹数据。而雷达点迹数据较回波数据要少很多,经计算,预处理后的雷达点迹数据的最大值预计为 400 kByte/s 左右 (Byte 为 8 bit)。此数据量已在 AT96 总线的实际输入带宽之内,可使用原有的数据处理计算机正常接收和处理,从而可解决总线瓶颈问题。

3 硬件方案设计

3.1 COM Express 模块介绍^[1]

“COM”就是模块计算机 (Computer-On-Module),是一个以标准模块封装的、包含了所有必须的元器件、可引导的计算机主机。COM Express 标准作为 PICMG 的开放标准,是 COM 模块标准扩展后的增强版本。COM Express 标准能够将传统接口如 PCI 和 AGP 等与当前流行的 LVDS 接口如 PCI Express、SATA 和 SDVO 等平滑连接,它基于最新的总线技术,适用于目前所有的高性能 CPU,同时它也提供传统总线技术到当今最新总线技术的过渡与兼容。COM Express 使得市场上最小、最先进的嵌入式模块达到了最高的模块性能^[2]。

COM Express 模块与载板通过连接器相连,共分为 AB 列和 CD 列 2 部分,AB 列是必选的,提供关于 PCI Express、SATA、LVDS、LPC 总线、系统和电源管理、VGA 和 TV-out、以太网、电源和地等接口。CD 列是可选的,提供 SDVO、PCI、IDE、PCI Express、LAN 以太网以及电源和地接口等。根据模块的尺寸,COM Express 模块分为 3 种类型,即小型化模块 95 mm×95 mm、基本模块 125 mm×95 mm 和扩展模块 155 mm×110 mm。这 3 种模块使用相同的连接器和信号定义,具有重叠的机械装配特性,这就使得各种模块可以互换使用。根据 COM Express 模块的不同应用,PICMG 共定义了 5 种类型的 COM Express 模块,主要区别在于其对外接口不同,相同类型的 COM Express 模块可以互相替换,这使得基于 COM Express 模块的嵌入式应用具有很强的升级和扩展能力。

3.2 PCI Express 到 Local Bus 的桥片 PEX8311^[3-4]

PEX8311 是 PLX 公司开发的第一款 PCI Express 总线到通用本地总线的桥片,为 2 个通用的工业标准总线提供了快速有效的互联,该芯片能兼容 PCIe 1.0 规范。PLX 的 I/O 加速特性是 PLX 特有的数据通道架构技术,这种技术由强大的、灵活的高速数据传输引擎,并且具有智能管理单元对分布式的 I/O 功能进行管理。PEX8311 有主模式、从模式和 DMA 3 种数据传输模式。主模式是由 Local Bus 总线主设备通过 PEX8311 访问 PCI Express 总线存储空间和 I/O 空间;从模式是由 PCI Express 总线主设备通过 PEX8311 访

问 Local Bus 总线存储空间和 I/O 空间 DMA 传输模式由 PEX8311 作为两总线的主设备,能在 PCI Express 总线存储空间和 Local 总线存储空间之间互传数据。3 种数据传输方式中,从模式的优先级最高,主模式次之,DMA 方式最低。PEX8311 有 6 个内部 FIFO,分别作为主模式、从模式、DMA 这 3 种数据传输模式的读写数据通道,这些 FIFO 用于使 2 条总线的操作相对独立,从而保证高性能的数据突发传输^[5-6]。

3.3 IDE 固态硬盘 SST85LD1004T

SST85LD1004T 固态硬盘是一款高性能、全集成的、内嵌 Flash 的固态硬盘驱动器,内部集成了 ATA/IDE 协议的文件系统,能够支持标准的 ATA/IDE 协议。内嵌的微控制器和文件管理的固件能够与 ATA 标准的接口通信,这样就消除了需要增加或开发诸如 Flash 文件系统 FFS、存储技术驱动 MTD 软件的额外工作量。在一个芯片封装内集成有一个 ATA 控制器和一个 4 GByte 的 NAND Flash 非易失性闪存。此芯片对于固态存储的应用提供了经济的、扩展性强的解决方案。

SST85LD1004T 固态硬盘整个封装在 12 mm×24 mm 的封装内,其占用的空间仅相当于 2.5 英寸 (1 in = 2.54 cm) 微型硬盘的 1/10,特别适用于主板上空间位置较小的应用,适用于空间受限和数据稳定性要求较高的

场合。

3.4 基于 COM Express 模块的预处理模块设计方案

根据数据处理平台的改造需求,基于 COM Express 的回波预处理模块一方面需要保留与原有加固计算机的接口及雷达系统的输入输出接口,另一方面需要接收到雷达回波数据后能进行实时点迹预处理功能。

考虑到雷达在执行重要任务后的数据分析需求,此模块通过 COM Express 模块的 IDE 接口扩展连接了 IDE 固态硬盘,在进行点迹预处理的同时,能将雷达的原始回波数据记录下来,实现了数据处理平台的数据记录功能。另外在原数据处理平台中,还有 1 块接口板使用 16 位输出并口向雷达控制分系统送出雷达控制指令,因此本模块设计时通过 FPGA 扩展了 1 路输出并口,可替代该模块实现雷达控制指令的输出功能。

基于 COM Express 模块的预处理模块设计框图如图 3 所示。在模块的对外输入输出接口方面,通过 FPGA 扩展了 1 路 16 位的输入并口和 1 路 16 位的输出并口,分别用于接收雷达信号处理分系统的回波数据和向雷达控制分系统发送雷控指令。模块与加固计算机仍通过 AT96 总线连接,这样新设计的模块可直接替换原有的接口板。

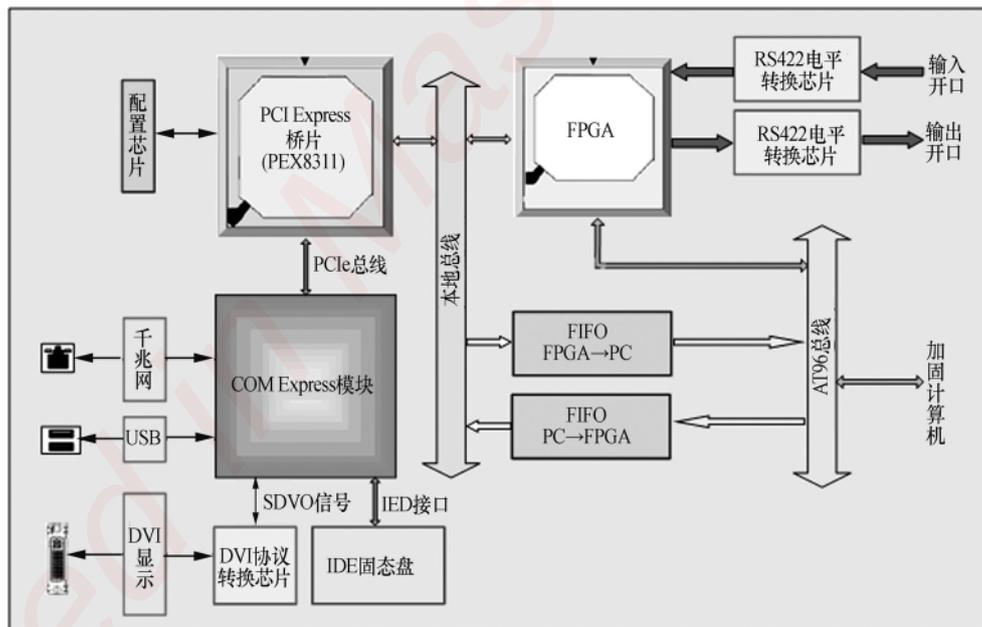


图 3 基于 COM Express 模块的预处理模块设计框图

COM Express 模块与新设计的载板之间通过标准的 COM Express 插座互联,为方便后期的调试和数据分析,从 COM Express 模块引出了千兆以太网、USB、DVI 显示等接口,后期可直接在 COM Express 模块上进行点迹预处理程序的开发。在 IDE 固态硬盘记录原始回波数据后,可通过千兆以太网接口将这些数据

导出后进行分析处理。由于 COM Express 模块提供的显示为 SDVO 信号,故使用了 CH7307C 显示协议转换芯片,将 SDVO 信号转换为 DVI 显示信号输出。本次选用的 COM Express 模块没有 PS/2 的键盘和鼠标接口,但可利用 USB 接口连接调试用的键盘和鼠标。

通过使用 PEX8311 桥片,实现了 COM Express 模

块与 FPGA 的连接。FPGA 接收到外界输入的数据后,将通过由 PEX8311 桥片扩展的本地总线送给 PEX8311 桥片,再由桥片的 PCI Express 总线传输给 COM Express 模块,COM Express 模块对数据进行处理后,将处理结果再由 PCI Express 总线传输给 PEX8311 桥片,通过本地总线再由 FPGA 接收。PCI Express 是新一代的总线接口,采用点对点的串行连接,有着比 PCI 总线更优的系统构架及传输性能^[7-8]。FPGA 接收到数据后,根据数据的类型,将高优先级的数据放入高优先级的 FIFO 中,而将低优先级的数据放入低优先级的 FIFO 中,然后通过中断方式通知加固计算机接收。在扩展的输出并口中,在加固计算机将雷达控制指令写入到 FIFO 中后,通过 FPGA 内的控制逻辑和电平转换后,可直接输出。

COM Express 模块通过 IDE 接口连接的 IDE 固态硬盘的存储容量为 4 GByte,此固态硬盘一方面用于存储 COM Express 模块的操作系统和点迹预处理工作程序,另一方面用于实现数据处理平台的数据记录功能。

4 Vxworks 下 PEX8311 桥片驱动的实现

由于雷达在跟踪、截获等工作方式下的周期很短,改造后的数据处理平台必须保持原有的实时性。改造前的数据处理平台使用了 Vxworks 实时操作系统。Vxworks 操作系统是实时操作系统,其中断响应时间可以控制在 20 μs 以内,能满足大部分嵌入式系统的实时性要求。改造后的数据处理平台调整了原有的数据处理软件的工作流程,数据处理软件一部分运行在 COM Express 模块上,另一部分仍运行在原来的加固计算机内,因此运行在 COM Express 模块上的点迹预处理软件必须满足实时性要求。为此 COM Express 模块上仍旧选择使用了实时操作系统 Vxworks,确保点迹预处理等功能的实时性。

对于 COM Express 模块,制造商提供了 Vxworks 下模块自身的设备驱动,包括 USB、网络、IDE 设备等,但对于通过 PCIe 总线扩展的 PEX8311 桥片,Vxworks 下的驱动需要自行开发。在改造后的数据处理平台中,PEX8311 桥片负责将雷达的回波数据从 FPGA 搬移到 COM Express 模块内,待处理完成后,又需要将处理产生的点迹数据从 COM Express 模块搬移到 FPGA 内,故 PEX8311 桥片的 Vxworks 驱动程序的实时性将是整个系统实时性的重要保障。

根据 PLX 公司提供的 PEX8311 桥片在 Windows 下使用 DDK 开发的驱动程序及其代码,在消化相关资料后,完成了 PEX8311 桥片在 Vxworks 操作系统下的驱动开发。

PEX8311 桥片的驱动程序主要完成对 PCI 设备

的初始化工作,包括厂商号和设备号的查找、读取 PCI 设备的基地址和中断号、链接中断函数、开始 DMA 任务,最后将进入中断处理主函数^[9]。为确保中断响应的实时性,在中断处理程序中,尽量进行最少的处理,其余的操作尽量在 DMA 传输中完成^[10]。模块的设备初始化工作流程如图 4 所示。

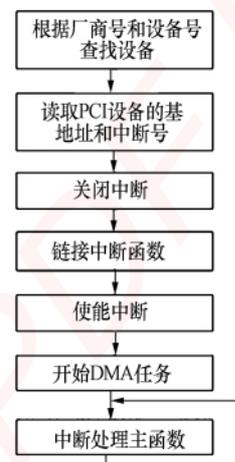


图4 模块的设备初始化工作流程

在完成 PEX8311 桥片的初始化工作后,驱动程序将进入中断处理的主函数。在主函数中,PEX8311 桥片等待 Local Bus 和 PCI Express 端发出的中断,根据中断的类型,进行相应的 DMA 数据搬移工作,实现数据的快速搬移。

5 模块在雷达系统中的应用

基于 COM Express 的回波预处理模块在设计完成后,在雷达中进行了功能和性能的测试与验证。改造后的数据处理平台的雷达回波、点迹数据的传输流程如图 5 所示。信号处理送出的雷达回波数据通过 MAX3096 接口芯片转换成 TTL 电平,FPGA 根据约定的数据传输控制逻辑将数据读到本地总线上。通过 FPGA 操作 PEX8311 的本地总线控制逻辑,PEX8311 启动 DMA 模式将数据传输到 COM Express 模块内部。COM Express 模块接收到原始回波数据后,其内部运行的雷达预处理软件对回波数据进行预处理,预处理后的产生点迹数据,点迹数据通过 PCI Express 总线再送给 PEX8311 桥片。PEX8311 桥片则通过本地总线在 FPGA 的控制下,将数据存入到 FIFO 中。当 FIFO 的半满信号有效时,将启动 AT96 总线的中断操作。加固计算机在收到中断后,就能将数据读入到内存进行其它处理操作。

基于 COM Express 的回波预处理模块的功能和性能已在雷达系统中得到初步的测试和验证,此模块能在雷达系统中正确接收信号处理送出的回波信息,在 COM Express 模块进行预处理后,再通过 AT96 总线送

给加固计算机。在雷达正常工作时 此时雷达的回波数据量较少 此模块的处理正常,并通过了较长时间的拷机试验。后期试验时将雷达的回波数据量增大(接近 5 MWord/s)此模块依旧处理正常。对于与 COM Express 模块之间的数据传输,在 DMA 模式下,在 COM Express 模块端,其实际读数据的速度为 71.64 MByte/s,写数据的速度为 25.4 MByte/s,这样确保了 COM Express 模块的数据收发时间得到有效控制,满足了实时性要求。另外,在模块的调试和验证过程中,模块的千兆以太网、USB、DVI 显示、数据记录等功能也得到了验证,该模块工作稳定可靠,满足了雷达系统的改造需求,模块的实物图如图 6 所示。



图 5 回波数据的传输流程图

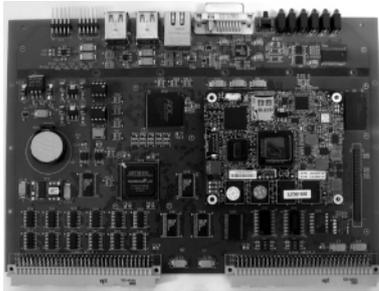


图 6 模块实物图

6 结束语

基于 COM Express 的回波预处理模块是在原有雷达系统改造条件严重受限的情况下提出的嵌入式解决方案,通过使用最小的改造量和改造成本,解决了雷达系统的点迹处理瓶颈问题,改造后雷达的点迹处理性能得以大幅提升,具有很高的实际应用价值。随着现代 IT 技术的不断发展,小型化和高集成度的设计将是未来武器系统的发展趋势,嵌入式系统将在雷达系统中得到广泛的应用。基于 COM Express 模块的嵌入式应用具有处理能力强、开发难度小、调试应用方便等优势,能够很方便的根据特定的应用需求实现各类处理和 控制功能,具有很高的灵活性。

参考文献

[1] PICMG. COM express carrier design guide Rev [Z]. [S. l.] PICMG, 2009.
 [2] 王学宝,李大习. 基于 COM Express 板的 CompactPCI Express 主模块设计[J]. 工业控制计算机, 2010 23 (1) : -2 5.

Wang Xuebao, Li Daxi. Design of CompactPCI express main module based on COM Express Board [J]. Industrial Control Computer, 2010 23 2()1-2 5.
 [3] PLX Technology Inc. PEX8311 PCI express-to-generic local bus bridge data book version 0.95 [Z]. [S. l.] PLX Technology Inc, 2007.
 [4] 代孝森,张晋宁,沈 辉. 基于 PCI Express 总线的光纤检测系统[J]. 现代雷达, 2011 33 1()79-82.
 Dai Xiaosen, Zhang Jinning, Shen Hui. Fiber detect system based on PCI express bus [J]. Modern Radar, 2011 33 1()79-82.
 [5] 黄小红,李 峰,倪卫芳. PEX8311 芯片数据传输研究 [J]. 电子工程师, 2007, 33 10)64-67.
 Huang Xiaohong, Li Feng, Ni Weifang. A study on PEX8311 chip data transfer [J]. Electronic Engineer, 2007 33 10)64-67.
 [6] 张 萍,沈 辉. 基于 PCI Express 总线的高速数据记录卡设计[J]. 现代雷达, 2010 32 1()50-52 79.
 Zhang Ping, Shen Hui. Design of high-speed data recording card based on PCI Express bus [J]. Modern Radar, 2010 32 1()50-52 79.
 [7] PCI-SIG. PCI express external cabling specification revision [Z]. [S. l.] PCI-SIG, 2007.
 [8] 林振华. 基于 PCI-X 和 RocketIO 的高速数据传输系统设计 [J]. 现代雷达, 2011 33 6()49-52 57.
 Lin Zhenhua. Design and implementation of high-speed data transmission system based on PCI-X and rocketIO [J]. Modern Radar, 2011 33 6()49-52 57.
 [9] 张宏超. Windows 平台下 PCI 设备驱动程序的开发 [J]. 信息化研究, 2010 36 2()41-44.
 Zhang Hongchao. Development of PCI device driver in Windows OS [J]. Informatization Research, 2010 36 2()41-44.
 [10] 马鸣锦,朱剑冰,何红旗,等. PCI、PCI-X 和 PCI Express 的原理及体系结构 [M]. 北京 清华大学出版社, 2007.
 Ma Mingjin, Zhu Jianbing, He Hongqi, et al. PCI, PCI-X and PCI express principle and system structure [M]. Beijing Tsinghua University Press, 2007.

潘 奇 男,1980 年生,工程师。研究方向为雷达数据处理平台、计算机网络的设计与应用。

倪卫芳 男,1962 年生,研究员,曾获国家级科技进步一、二等奖。研究方向为计算机显示与控制。

张宏超 男,1979 年生,高级工程师。研究方向为计算机接口技术。

嵌入式资源免费下载

总线协议:

1. [基于 PCIe 驱动程序的数据传输卡 DMA 传输](#)
2. [基于 PCIe 总线协议的设备驱动开发](#)
3. [CANopen 协议介绍](#)
4. [基于 PXI 总线 RS422 数据通信卡 WDM 驱动程序设计](#)
5. [FPGA 实现 PCIe 总线 DMA 设计](#)
6. [PCI Express 协议实现与验证](#)
7. [VPX 总线技术及其实现](#)
8. [基于 Xilinx FPGA 的 PCIE 接口实现](#)
9. [基于 PCI 总线的 GPS 授时卡设计](#)
10. [基于 CPCI 标准的 6U 信号处理平台的设计](#)
11. [USB30 电路保护](#)
12. [USB30 协议分析与框架设计](#)
13. [USB 30 中的 CRC 校验原理及实现](#)
14. [基于 CPLD 的 UART 设计](#)
15. [IPMI 在 VPX 系统中的应用与设计](#)
16. [基于 CPCI 总线的 PMC 载板设计](#)
17. [基于 VPX 总线的工件台运动控制系统研究与开发](#)
18. [PCI Express 流控机制的研究与实现](#)
19. [UART16C554 的设计](#)
20. [基于 VPX 的高性能计算机设计](#)
21. [基于 CAN 总线技术的嵌入式网关设计](#)
22. [Visual C 串行通讯控件使用方法与技巧的研究](#)
23. [IEEE1588 精密时钟同步关键技术研究](#)
24. [GPS 信号发生器射频模块的一种实现方案](#)

VxWorks:

1. [基于 VxWorks 的多任务程序设计](#)
2. [基于 VxWorks 的数据采集存储装置设计](#)
3. [Flash 文件系统分析及其在 VxWorks 中的实现](#)
4. [VxWorks 多任务编程中的异常研究](#)

5. [VxWorks 应用技巧两例](#)
6. [一种基于 VxWorks 的飞行仿真实时管理系统](#)
7. [在 VxWorks 系统中使用 TrueType 字库](#)
8. [基于 FreeType 的 VxWorks 中文显示方案](#)
9. [基于 Tilcon 的 VxWorks 简单动画开发](#)
10. [基于 Tilcon 的某武器显控系统界面设计](#)
11. [基于 Tilcon 的综合导航信息处理装置界面设计](#)
12. [VxWorks 的内存配置和管理](#)
13. [基于 VxWorks 系统的 PCI 配置与应用](#)
14. [基于 MPC8270 的 VxWorks BSP 的移植](#)
15. [Bootrom 功能改进经验谈](#)
16. [基于 VxWorks 嵌入式系统的中文平台研究与实现](#)
17. [VxBus 的 A429 接口驱动](#)
18. [基于 VxBus 和 MPC8569E 千兆网驱动开发和实现](#)
19. [一种基于 vxBus 的 PPC 与 FPGA 高速互联的驱动设计方法](#)
20. [基于 VxBus 的设备驱动开发](#)
21. [基于 VxBus 的驱动程序架构分析](#)

Linux:

1. [Linux 程序设计第三版及源代码](#)
2. [NAND FLASH 文件系统的设计与实现](#)
3. [多通道串行通信设备的 Linux 驱动程序实现](#)
4. [Zsh 开发指南-数组](#)
5. [常用 GDB 命令中文速览](#)
6. [嵌入式 C 进阶之道](#)
7. [Linux 串口编程实例](#)
8. [基于 Yocto Project 的嵌入式应用设计](#)
9. [Android 应用的反编译](#)
10. [基于 Android 行为的加密应用系统研究](#)
11. [嵌入式 Linux 系统移植步步通](#)
12. [嵌入式 C++ 语言精华文章集锦](#)
13. [基于 Linux 的高性能服务器端的设计与研究](#)
14. [S3C6410 移植 Android 内核](#)
15. [Android 开发指南中文版](#)
16. [图解 Linux 操作系统架构设计与实现原理（第二版）](#)
17. [如何在 Ubuntu 和 Linux Mint 下轻松升级 Linux 内核](#)
18. [Android 简单 mp3 播放器源码](#)
19. [嵌入式 Linux 系统实时性的研究](#)

20. [Android 嵌入式系统架构及内核浅析](#)
21. [基于嵌入式 Linux 操作系统内核实时性的改进方法研究](#)

Windows CE:

1. [Windows CE.NET 下 YAFFS 文件系统 NAND Flash 驱动程序设计](#)
2. [Windows CE 的 CAN 总线驱动程序设计](#)
3. [基于 Windows CE.NET 的 ADC 驱动程序实现与应用的研究](#)
4. [基于 Windows CE.NET 平台的串行通信实现](#)
5. [基于 Windows CE.NET 下的 GPRS 模块的研究与开发](#)
6. [win2k 下 NTFS 分区用 ntldr 加载进 dos 源代码](#)
7. [Windows 下的 USB 设备驱动程序开发](#)
8. [WinCE 的大容量程控数据传输解决方案设计](#)
9. [WinCE6.0 安装开发详解](#)
10. [DOS 下仿 Windows 的自带计算器程序 C 源码](#)
11. [G726 局域网语音通话程序和源代码](#)
12. [WinCE 主板加载第三方驱动程序的方法](#)
13. [WinCE 下的注册表编辑程序和源代码](#)
14. [WinCE 串口通信源代码](#)
15. [WINCE 的 SD 卡程序\[可实现读写的源码\]](#)
16. [基于 WinCE 的 BootLoader 研究](#)

PowerPC:

1. [Freescale MPC8536 开发板原理图](#)
2. [基于 MPC8548E 的固件设计](#)
3. [基于 MPC8548E 的嵌入式数据处理系统设计](#)
4. [基于 PowerPC 嵌入式网络通信平台的实现](#)
5. [PowerPC 在车辆显控系统中的应用](#)
6. [基于 PowerPC 的单板计算机的设计](#)
7. [用 PowerPC860 实现 FPGA 配置](#)
8. [基于 MPC8247 嵌入式电力交换系统的设计与实现](#)
9. [基于设备树的 MPC8247 嵌入式 Linux 系统开发](#)

ARM:

1. [基于 DiskOnChip 2000 的驱动程序设计及应用](#)
2. [基于 ARM 体系的 PC-104 总线设计](#)
3. [基于 ARM 的嵌入式系统中断处理机制研究](#)
4. [设计 ARM 的中断处理](#)
5. [基于 ARM 的数据采集系统并行总线的驱动设计](#)
6. [S3C2410 下的 TFT LCD 驱动源码](#)
7. [STM32 SD 卡移植 FATFS 文件系统源码](#)
8. [STM32 ADC 多通道源码](#)
9. [ARM Linux 在 EP7312 上的移植](#)
10. [ARM 经典 300 问](#)
11. [基于 S5PV210 的频谱监测设备嵌入式系统设计与实现](#)
12. [Uboot 中 start.S 源码的指令级的详尽解析](#)
13. [基于 ARM9 的嵌入式 Zigbee 网关设计与实现](#)

Hardware:

1. [DSP 电源的典型设计](#)
2. [高频脉冲电源设计](#)
3. [电源的综合保护设计](#)
4. [任意波形电源的设计](#)
5. [高速 PCB 信号完整性分析及应用](#)
6. [DM642 高速图像采集系统的电磁干扰设计](#)
7. [使用 COMExpress Nano 工控板实现 IP 调度设备](#)
8. [基于 COM Express 架构的数据记录仪的设计与实现](#)
9. [基于 COM Express 的信号系统逻辑运算单元设计](#)