

基于 GPU 的 FDTD 算法

杨新强

(青岛大学自动化工程学院 山东 青岛 266071)

【摘要】GPU(Graphic Processing Unit),即图形处理器是英伟达公司首先提出来的一个概念。其初始目的是用来进行图形渲染,并不是为了进行通用计算。近年来,图形处理器(GPU)的发展日益成熟,随着 CUDA(Compute Unified Device Architecture)构架的推出,GPU 的应用范围不在局限于计算机图形学本身,扩展到各个领域。FDTD(Finite Difference Time Domain)的计算过程可以很容易的划分为多个子计算过程,而子计算过程之间同时进行着相似的计算,在计算中仅有边界交换。因此,FDTD 是一种天然的并行计算方法。利用 GPU 来进行并行 FDTD 计算可以大大的加快速度,即在更短的时间内完成相同的计算量。同时 GPU 也解决了 FDTD 计算过程中所需要的极大的内存。

【关键词】GPU;FDTD 方法;并行计算;CUDA

【Abstract】GPU (Graphic Processing Unit)is a conception firstly proposed by Nvidia.Its initial purpose is used for graphics rendering,not for the general computing.Recently years,the development of the GPU is more sophisticated,with the introduced of the CUDA (Compute Unified Device Architecture),the application scope of the GPU is not limited to the computer graphics itself, but extends to various fields. the FDTD (Finite Difference Time Domain) calculation process can be easily divided into several sub-calculations,and the similar calculations are taking placing between the sub-calculations.So,the FDTD is a natural method of parallel computing. We can dramatically accelerate the parallel speed of the calculation.At the same time,GPU also solve the problem of the great memory that are needed in the FDTD calculation process.

【Key words】GPU;FDTD method;Parallel computing;CUDA

1 GPU 概述

随着科学计算、医学成像以及娱乐产业的发展,图形领域与计算机计算领域越来越与紧密的联系起来,高性能的 GPU 在这方面表现出了优于传统 CPU 的地方。传统 CPU 传统上只有一个线程,新的 CPU 有多核,可以小规模并行,但是这只是任务上的并行,每个线程只是执行相同的完全不同的指令。相对于最先进的多核 CPU,GPU 有数百万的并行数据处理线程,这得益于 GPU 的不同设计理念(图 1)。GPU 将控制单元和缓存单元做的尽可能的小。从而有更多的芯片用于浮点运算单元。这也决定了 GPU 只适合计算密集型、大规模数据并行的计算领域。

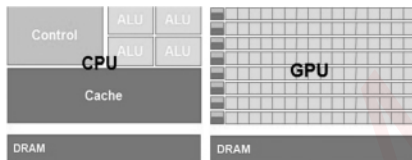


图 1 CPU 与 GPU 不同的设计理念

随着现代技术的发展,GPU 也得到越来越快的发展,其更新换代的速度也远远的超越了 CPU,二者之间的差距也越来越大(图 2)。

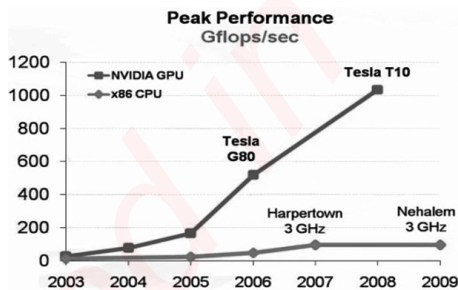


图 2 GPU 与 CPU 的浮点运算峰值

2 利用 GPU 进行 FDTD 计算

FDTD 是一种基于有限差分的方法,在时间域和空间域来解决麦克斯韦方程的电磁分布的数值方法。FDTD 利用中心极限差分,离散化麦克斯韦的两个旋度方程——安培方程与法拉第方程,再利用蛙跳式在空间领域和时间领域进行交替计算,通过时间领域的更新来模仿电磁场的变化,达到数值计算的目的。

在 FDTD 离散中电场和磁场各节点的空间排布如图 2 所示,这就是著名的 Yee 元胞。由图可见每一个磁场分量由四个电场分量环绕;同样每一个电场分量由四个磁场分量环绕。

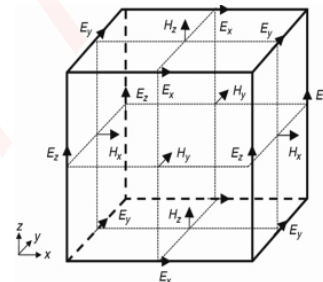


图 3 Yee 方案中电场和磁场的位置

这样电磁场分量的空间环绕 不仅符合法拉第感应定律和安培环路定律的自然结构,而且这种电磁场各分量的空间相对位置也适合于麦克斯韦方程的差分计算,能够恰当的描述电磁场的传播特性,此外,电场和磁场在时间顺序上交替抽样,抽样时间间隔彼此相差半个时间步,应用这种离散方式将含时间变量的麦克斯韦旋度方程(2-1,2-2)转化为一组差分方程,从而可以在时间上迭代求解,从而不用进行矩阵求逆运算。因而,由给定的相应电磁问题的初始值,FDTD 方法就可以逐步地求的以后各个时刻空间电磁场的分布。的以后各个时刻空间电磁场的分布。并在时间轴上逐步推进的求解电磁场。

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \quad (2-1)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \vec{J}_m \quad (2-2)$$

其中, \vec{E} 为电场强度, \vec{D} 为电通量密度, \vec{H} 为磁场强度, \vec{B} 为磁通量密度, \vec{J} 为电流密度, \vec{J}_m 为磁流密度。

由于 GPU 的纹理存储区只能处理二维数组,所以在 FDTD 计算中,要把相应的一维数组和三维数组必须转换为二维数组。一位数组可以比较简单的转换成二维数组。二维 FDTD 的计算中用到都是二维数据,包括电场参数和磁场参数,所以可以直接读取到纹理缓冲区内。在处理三维 FDTD 的时候,要把三维的数组转换位二维数组,如图 4 是其中的一种表示办法。在三维问题的计算中,这种数据维度之间的转换会增大算法的复杂度。这是 GPU 在计算三维 FDTD 问题中不可避免的问题。

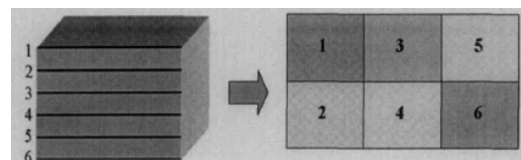


图 4 三维 FDTD 数据转化为二维数据 (下转第 834 页)

(上接第 533 页)积极的消费和生活方式。对于新兴的体育产业应积极加以监督引导,加强体育从业人才的培养,规范场所的管理,使其与国际接轨,朝着正确健康的方向发展,真正的服务于广大人民。

2.4 未来社会体育的发展,对高校体育教育提出了挑战。面对国际化的社会形势,学校体育必须与时俱进,通过学校体育培养学生的平等参与意识、公平竞争意识、创新应变意识,培养竞争能力与拼搏精神及应变能力与创造能力。

一方面,学校需加强并实施系统体育学习,培养学生运动兴趣,形成运动习惯,学习体育基本的实用知识,掌握基本技能,着力培养相关的体育素质,树立终生体育的观点。另一方面,应顺应科技潮流,加强高校体育的科研工作。掌握信息科学方法及信息科学思想观念,提高运动学习指导的能力,加强在职体育教师的继续教育,把学生身心问题研究、体育与心脑功能的研究、未来技术手段与体育教学的研究,作为高校体育科研重要方向。再一方面,体育要面向体育教学现代化,教学手段是传授体育技术知识的媒介与导体,是提高教学效率的重要方面。近年来,随着各种新型材料的出现,电子计算机等高科技产品的广泛应用,高级体育器材设备的不断问世,给体育教学的手段带来了重大变化,将使学校体育教学用光、声、像手段取代传统的言传身教的教学方法。更加促进了体育教育的蓬勃发展^[5]。

2.5 各类媒体和社会传播对社会体育的发展起着不可低估的作用。广播和电视作为最普及、最直观、最具贴切感的一种宣传途径与现代体育传播关系密切。加大新闻媒体的宣传报道,使人们对体育认识的不断提高,也可促进社会体育从内容形式到规模的发展。随着传播媒

体和网络的不断进步,我国社会体育将进入一个更加良好的舆论环境^[7]。

3 总结

体育的繁荣是文明社会的重要标志,也是经济文化发展的必要特征。随着科学技术的进步和社会生活的需要,体育已成为一种普遍的社会现象,渗透到社会各个阶层和领域。未来体育也必将呈国际化、社会化、科学化、产业化、素质化和多样化的趋势。如何应对体育发展趋势,需要政府、学校、媒体等社会团体和个人的共同努力。顺应人类社会发展的趋势,把握体育的发展趋向,任重而道远!

【参考文献】

- [1]王则姝.终身体育[M].北京体育大学出版社,1994.
- [2]季浏.体育(与健康)课程标准解读[M].湖北教育出版社,2005.3.
- [3]宋瑞.休闲消费和休闲服务调查.国际经验与相关建议[J].旅游学刊,2005(4).
- [4]李永智,等.我国体育健身娱乐业经营管理研究现状分析[J].西安体育学院学报,2002(1).
- [5]向亦文.试论未来体育及学校体育的发展趋向[J].体育科学,2002,4(5).
- [6]官世焜,陈重,肖毅志.高职体育教程[M].湖南师范大学出版社,2008.
- [7]国家体育总局政策法规司.体育产业现状、趋势与对策[M].人民体育出版社,2001(1).

[责任编辑:曹明明]

(上接第 469 页)二维 FDTD 在 GPU 上的仿真步骤:

- (1)初始化 GPU;
- (2)更新内部电场节点;
- (3)更新边界上的电场节点;
- (4)更新电场激励元节点;
- (5)更新内部磁场节点;
- (6)更新边界上的磁场节点;
- (7)输出场值数据;
- (8)处理结果数据。

3 结束语

通过应用 GPU,可以获得很大的速度提升,现在市面上高端 GPU 在处理二维数据是可以获得 40 倍左右的速度,而处理三维数据大约是 14 倍,相对于 CPU 对于三维数据的执行速度,提升效果有所下降,这是由于在运算过程中需要将三维问题转化为二维问题,降低了一定的仿真速度。二维问题不会产生类似的速度下降。如果应用了更好的吸收边界条件与更好的解释三维数组的方法的话,会有更好的结

果。

【参考文献】

- [1]3D Finite Difference Computation on GPUs using CUDA,Paulius Micikevicius, Gdansk University of Technology.
- [2]Using GPU Technologies to Drastically Accelerate FDTD Simulations,Chad Pendley;Remcom Inc.
- [3]How to Render FDTD Computations More Effectiv Using a Graphics Accelerator, Piotr Sypek, Adam Dziekonski, and Michal Mrozowski, Gdansk University of Technology, 80-952 Gdansk, Poland.
- [4]徐品,蓝善祯,刘兰兰.利用 GPU 进行通用数值计算的研究.中国传媒大学信息工程学院.
- [5]程豪,张云泉,张先轶,李玉成.CPU-GPU 并行矩阵乘法的实现与性能分析.中国科学院软件研究所并行计算实验室.

作者简介:杨新强,青岛大学自动化工程学院 2008 级研究生。
迟洁茹,青岛大学自动化工程学院研究生导师。

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](#)
25. [基于 CPCI 接口的视频采集卡的设计](#)
26. [基于 VPX 的 3U 信号处理平台的设计](#)
27. [基于 PCI Express 总线 1394b 网络传输系统 WDM 驱动设计](#)
28. [AT89C52 单片机与 ARINC429 航空总线接口设计](#)
29. [基于 CPCI 总线多 DSP 系统的高速主机接口设计](#)
30. [总线协议中的 CRC 及其在 SATA 通信技术中的应用](#)
31. [基于 FPGA 的 SATA 硬盘加解密控制器设计](#)
32. [Modbus 协议在串口通讯中的研究及应用](#)
33. [高可用的磁盘阵列 Cache 的设计和实现](#)
34. [RAID 阵列中高速 Cache 管理的优化](#)

35. [一种新的基于 RAID 的 CACHE 技术研究](#)与实现
36. [基于 PCIE-104 总线的高速数据接口设计](#)
37. [基于 VPX 标准的 RapidIO 交换和 Flash 存储模块设计](#)
38. [北斗卫星系统在海洋工程中的应用](#)
39. [北斗卫星系统在远洋船舶上应用的研究](#)
40. [基于 CPCI 总线的红外实时信号处理系统](#)
41. [硬件实现 RAID 与软件实现 RAID 的比较](#)
42. [基于 PCI Express 总线系统的热插拔设计](#)
43. [基于 RAID5 的磁盘阵列 Cache 的研究与实现](#)
44. [基于 PCI 总线的 MPEG2 码流播放卡驱动程序开发](#)
45. [基于磁盘阵列引擎的 RAID5 小写性能优化](#)
46. [基于 IEEE1588 的时钟同步技术研究](#)
47. [基于 Davinci 平台的 SD 卡读写优化](#)
48. [基于 PCI 总线的图像处理及传输系统的设计](#)
49. [串口和以太网通信技术在油液在线监测系统中的应用](#)
50. [USB30 数据传输协议分析及实现](#)
51. [IEEE 1588 协议在工业以太网中的实现](#)
52. [基于 USB30 的设备自定义请求实现方法](#)
53. [IEEE1588 协议在网络测控系统中的应用](#)
54. [USB30 物理层中弹性缓冲的设计与实现](#)
55. [USB30 的高速信息传输瓶颈研究](#)
56. [基于 IPv6 的 UDP 通信的实现](#)
57. [一种基于 IPv6 的流媒体传送方案研究与实现](#)
58. [基于 IPv4-IPv6 双栈的 MODBUS-TCP 协议实现](#)
59. [RS485CAN 网关设计与实现](#)
60. [MVB 周期信息的实时调度](#)
61. [RS485 和 PROFINET 网关设计](#)
62. [基于 IPv6 的 Socket 通信的实现](#)
63. [MVB 网络重复器的设计](#)
64. [一种新型 MVB 通信板的探究](#)

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](#)
22. [基于 VxBus 的高速数据采集卡驱动程序开发](#)
23. [Vxworks 下的冗余 CAN 通讯模块设计](#)
24. [WindML 工业平台下开发 S1d13506 驱动及显示功能的实现](#)
25. [WindML 中 Mesa 的应用](#)
26. [VxWorks 下图形用户界面开发中双缓冲技术应用](#)
27. [VxWorks 上的一种 GUI 系统的设计与实现](#)
28. [VxWorks 环境下 socket 的实现](#)
29. [VxWorks 的 WindML 图形界面程序的框架分析](#)
30. [VxWorks 实时操作系统及其在 PC104 下以太网编程的应用](#)
31. [实时操作系统任务调度策略的研究与设计](#)
32. [军事指挥系统中 VxWorks 下汉字显示技术](#)
33. [基于 VxWorks 实时控制系统中文交互界面开发平台](#)
34. [基于 VxWorks 操作系统的 WindML 图形操控界面实现方法](#)
35. [基于 GPU FPGA 芯片原型的 VxWorks 下驱动软件开发](#)
36. [VxWorks 下的多串口卡设计](#)
37. [VxWorks 内存管理机制的研究](#)
38. [T9 输入法在 Tilcon 下的实现](#)
39. [基于 VxWorks 的 WindML 图形界面开发方法](#)
40. [基于 Tilcon 的 IO 控制板可视化测试软件的设计和实现](#)
41. [基于 VxWorks 的通信服务器实时多任务软件设计](#)
42. [基于 VXWORKS 的 RS485MVB 网关的设计与实现](#)

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](#)
22. [Linux TCP IP 协议详解](#)
23. [Linux 桌面环境下内存去重技术的研究与实现](#)
24. [掌握 Android 7.0 新增特性 Quick Settings](#)
25. [Android 应用逆向分析方法研究](#)
26. [Android 操作系统的课程教学](#)
27. [Android 智能手机操作系统的研究](#)
28. [Android 英文朗读功能的实现](#)
29. [基于 Yocto 订制嵌入式 Linux 发行版](#)
30. [基于嵌入式 Linux 的网络设备驱动设计与实现](#)
31. [如何高效学习嵌入式](#)
32. [基于 Android 平台的 GPS 定位系统的设计与实现](#)
33. [LINUX ARM 下的 USB 驱动开发](#)
34. [Linux 下基于 I2C 协议的 RTC 驱动开发](#)
35. [嵌入式下 Linux 系统设备驱动程序的开发](#)
36. [基于嵌入式 Linux 的 SD 卡驱动程序的设计与实现](#)
37. [Linux 系统中进程调度策略](#)
38. [嵌入式 Linux 实时性方法](#)
39. [基于实时 Linux 计算机联锁系统实时性分析与改进](#)
40. [基于嵌入式 Linux 下的 USB30 驱动程序开发方法研究](#)
41. [Android 手机应用开发之音乐资源播放器](#)
42. [Linux 下以太网的 IPv6 隧道技术的实现](#)

43. [Research and design of mobile learning platform based on Android](#)
44. [基于 linux 和 Qt 的串口通信调试器调的设计及应用](#)
45. [在 Linux 平台上基于 QT 的动态图像采集系统的设计](#)
46. [基于 Android 平台的医护查房系统的研究与设计](#)
47. [基于 Android 平台的软件自动化监控工具的设计开发](#)
48. [基于 Android 的视频软硬解码及渲染的对比研究与实现](#)
49. [基于 Android 移动设备的加速度传感器技术研究](#)
50. [基于 Android 系统振动测试仪研究](#)
51. [基于缓存竞争优化的 Linux 进程调度策略](#)

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](#)
17. [Windows CE 环境下无线网卡的自动安装](#)
18. [基于 Windows CE 的可视电话的研究与实现](#)
19. [基于 WinCE 的嵌入式图像采集系统设计](#)
20. [基于 ARM 与 WinCE 的掌纹鉴别系统](#)
21. [DCOM 协议在网络冗余环境下的应用](#)
22. [Windows XP Embedded 在变电站通信管理机中的应用](#)
23. [XPE 在多功能显控台上的开发与应用](#)
24. [基于 Windows XP Embedded 的 LKJ2000 仿真系统设计与实现](#)
25. [虚拟仪器的 Windows XP Embedded 操作系统开发](#)
26. [基于 EVC 的嵌入式导航电子地图设计](#)
27. [基于 XPEEmbedded 的警务区 SMS 指挥平台的设计与实现](#)

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](#)
10. [基于 MPC8313E 嵌入式系统 UBoot 的移植](#)
11. [基于 PowerPC 处理器 SMP 系统的 UBoot 移植](#)
12. [基于 PowerPC 双核处理器嵌入式系统 UBoot 移植](#)
13. [基于 PowerPC 的雷达通用处理机设计](#)
14. [PowerPC 平台引导加载程序的移植](#)
15. [基于 PowerPC 嵌入式内核的多串口通信扩展设计](#)
16. [基于 PowerPC 的多网口系统抗干扰设计](#)
17. [基于 MPC860T 与 VxWorks 的图形界面设计](#)
18. [基于 MPC8260 处理器的 PPMC 系统](#)
19. [基于 PowerPC 的控制器研究与设计](#)
20. [基于 PowerPC 的模拟量输入接口扩展](#)
21. [基于 PowerPC 的车载通信系统设计](#)
22. [基于 PowerPC 的嵌入式系统中通用 I/O 口的扩展方法](#)
23. [基于 PowerPC440GP 型微控制器的嵌入式系统设计与研究](#)
24. [基于双 PowerPC 7447A 处理器的嵌入式系统硬件设计](#)
25. [基于 PowerPC603e 通用处理模块的设计与实现](#)
26. [嵌入式微机 MPC555 驻留片内监控器的开发与实现](#)

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](#)
14. [基于 S3C6410 处理器的嵌入式 Linux 系统移植](#)
15. [CortexA8 平台的 \$\mu\$ C-OS II 及 LwIP 协议栈的移植与实现](#)
16. [基于 ARM 的嵌入式 Linux 无线网卡设备驱动设计](#)
17. [ARM S3C2440 Linux ADC 驱动](#)
18. [ARM S3C2440 Linux 触摸屏驱动](#)
19. [Linux 和 Cortex-A8 的视频处理及数字微波传输系统设计](#)
20. [Nand Flash 启动模式下的 Uboot 移植](#)
21. [基于 ARM 处理器的 UART 设计](#)
22. [ARM CortexM3 处理器故障的分析与处理](#)
23. [ARM 微处理器启动和调试浅析](#)
24. [基于 ARM 系统下映像文件的执行与中断运行机制的实现](#)
25. [中断调用方式的 ARM 二次开发接口设计](#)
26. [ARM11 嵌入式系统 Linux 下 LCD 的驱动设计](#)
27. [Uboot 在 S3C2440 上的移植](#)
28. [基于 ARM11 的嵌入式无线视频终端的设计](#)
29. [基于 S3C6410 的 Uboot 分析与移植](#)
30. [基于 ARM 嵌入式系统的高保真无损音乐播放器设计](#)
31. [UBoot 在 Mini6410 上的移植](#)
32. [基于 ARM11 的嵌入式 Linux NAND FLASH 模拟 U 盘挂载分析与实现](#)
33. [基于 ARM11 的电源完整性分析](#)
34. [基于 ARM S3C6410 的 uboot 分析与移植](#)
35. [基于 S5PC100 移动视频监控终端的设计与实现](#)

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](#)
10. [基于 COM Express 的回波预处理模块设计](#)
11. [基于 X86 平台的简单多任务内核的分析与实现](#)
12. [基于 UEFI Shell 的 PreOS Application 的开发与研究](#)
13. [基于 UEFI 固件的恶意代码防范技术研究](#)
14. [MIPS 架构计算机平台的支持固件研究](#)
15. [基于 UEFI 固件的攻击验证技术研究](#)
16. [基于 UEFI 的 Application 和 Driver 的分析与开发](#)
17. [基于 UEFI 的可信 BIOS 研究与实现](#)
18. [基于 UEFI 的国产计算机平台 BIOS 研究](#)
19. [基于 UEFI 的安全模块设计分析](#)
20. [基于 FPGA Nios II 的等精度频率计设计](#)
21. [基于 FPGA 的 SOPC 设计](#)
22. [基于 SOPC 基本信号产生器的设计与实现](#)
23. [基于龙芯平台的 PMON 研究与开发](#)
24. [基于 X86 平台的嵌入式 BIOS 可配置设计](#)
25. [基于龙芯 2F 架构的 PMON 分析与优化](#)
26. [CPU 与 GPU 之间接口电路的设计与实现](#)
27. [基于龙芯 1A 平台的 PMON 源码编译和启动分析](#)
28. [基于 PC104 工控机的嵌入式直流监控装置的设计](#)
29. [GPGPU 技术研究与发展](#)
30. [GPU 实现的高速 FIR 数字滤波算法](#)
31. [一种基于 CPUGPU 异构计算的混合编程模型](#)
32. [面向 OpenCL 模型的 GPU 性能优化](#)

Programming:

1. [计算机软件基础数据结构 - 算法](#)
2. [高级数据结构对算法的优化](#)
3. [零基础学算法](#)
4. [Linux 环境下基于 TCP 的 Socket 编程浅析](#)
5. [Linux 环境下基于 UDP 的 socket 编程浅析](#)
6. [基于 Socket 的网络编程技术及其实现](#)
7. [数据结构考题 - 第 1 章 绪论](#)

RT Embedded <http://www.kontronn.com>

8. [数据结构考题 - 第 2 章 线性表](#)
9. [数据结构考题 - 第 2 章 线性表 - 答案](#)