

# 基于 ARM11 的电源完整性分析

黄西, 徐晓

(华南理工大学理学院, 广东 广州 510641)

**摘要:** 为了解决高速多层 PCB 的电源完整性问题, 缩短其开发周期, 提高其工作性能, 以 ARM11 核心系统为例, 提出利用 Cadence PI 对 PCB 进行电源完整性分析的方法。通过对电源系统目标阻抗分析, 确定去耦电容的数值, 数量以及布局; 对电源平面进行直流压降和电流密度分析, 改善 PCB 设计, 优化系统的电源完整性。利用动态电子负载搭建的测试平台, 对电源仿真分析后制作的 PCB 进行测试, 系统电源完整性较好, 表明分析的结果是有效的。

**关键词:** 电源完整性; 目标阻抗; Cadence PI; ARM11; S3C6410

**中图分类号:** TN86

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-6236(2014)03-0153-03

## Power integrity analysis based on ARM11

HUANG Xi, XU Xiao

(School of Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of the integrity of the power supply of high speed multilayer PCB, shorten the development period and improve its working performance, this paper puts up with the analytical method of PCB power integrity based on the ARM11 core system, using Cadence PI. The decoupling capacitor parameter, quantity and corresponding layout can be determined by analyzing the target impedance of the power system. It is possible to improve the PCB design, optimize the power integrity of the system by analyzing the DC power drop and ampere density of the power plane. The test of the PCB, which is made after the power supply simulation using the dynamic electronic load test platform, reveals the the analysis is effective.

**Key words:** power integrity; target impedance; Cadence PI; ARM11; S3C6410

随着现代高速信号的速率越来越快, 信号边缘越来越陡, 芯片的供电电压的进一步降低, 时钟频率和数据读取速率的增加要求消耗更多的电能, 在进行电子系统信号完整性分析研究的同时, 如何提供稳定可靠的电源给电子系统也已成为重点研究方向之一<sup>[1]</sup>。电源完整性工程的分析方法和实践目前还处在不断探索的阶段, 利用仿真技术, 在满足加工制造与测试条件的总体方案和设计准则下, 在产品早期设计阶段尽可能地解决电源完整性问题, 能最大限度地降低产品成本, 缩短研发周期<sup>[2]</sup>。目前, 一些 EDA 工具提供相应的电源完整性 (Power Integrity, PI) 仿真分析功能, 其中 Allegro 提供良好的交互工作接口, 和它前端产品 Cadence、OrCAD、Capture 紧密结合, 为当前高速、高密度、多层的复杂 PCB 设计提供了最完美解决方案<sup>[3]</sup>。文中采用 Allegro 中的组件 Cadence PI 对 ARM11<sup>[4]</sup> 核心系统进行了电源完整性分析, 并对 PCB 板进行电源完整性的测试, 验证仿真分析的结果。

## 1 电源完整性理论分析

### 1.1 电源分配系统的概念

在电子系统中, 电源子系统的作用是为所有器件提供稳

定的电压参考和足够的驱动电流, 因此, 电源电路和功能电路之间应该是低阻抗的电源连接和接地连接。一个理想的电源系统, 其阻抗为 0, 在平面任何一点的电位都是恒定的, 但实际电源系统具有复杂的寄生电容和电感, 而且供电芯片所提供的供电电压也非理想的恒定值。

电源分配系统 (Power Distribution System, PDS) 由目标阻抗, 电压调节模块 (Voltage Regulator Module, VPM), 电源/地平面、去耦电容与高频陶瓷电容组成。

电源完整性问题是指高速系统中的电源分配网络在不同频率下, 有不同的输入阻抗, 导致电源/地平面上存在由噪声电流  $\Delta I$  和瞬态负载电流  $\Delta I'$  引起的电压抖动  $\Delta V$ 。这个电压波动, 一方面影响平面为数字信号提供稳定的电压参考, 另一方面会使提供的电源电压抖动, 影响器件工作性能。当平面电压波动超出器件的容忍范围时, 会造成系统不能正常工作。电源分配系统设计的关键是目标阻抗  $Z$ , 其定义如式 (1)<sup>[5]</sup>:

$$Z = \frac{V_{dd} \times \text{ripple}}{\Delta I_{\max}} \quad (1)$$

式中,  $V_{dd}$  为芯片电源电压, ripple 为系统允许的电压波动,  $\Delta I_{\max}$  为负载芯片的最大瞬态电流变化量。电源系统的目的在

收稿日期: 2013-06-21

稿件编号: 201306132

作者简介: 黄西 (1985—), 女, 重庆梁平人, 硕士研究生。研究方向: 机器视觉与人机工程。

于能够在有限的反应时间内，以恒定的电压值提供足够的驱动电流，因此需要有足够低的电源阻抗。

## 1.2 解决电源完整性的方法

电压调节模块，电源/地平面、去耦电容与高频陶瓷电容在不同频率范围内对电源分配系统的阻抗起决定性作用。在 1KHz 到几 Hz 低频段，电压调节调整输出电流以调节负载电压；几 MHz 到几百 MHz 中频段，电源噪声主要是由去耦电容和 PCB 的电源/地平面来滤波；在 1 GHz 以上高频部分，电源噪声主要是由 PCB 的电源/地平面和对芯片内部的高频电容来滤波。在做电源完整性仿真的时候，真正有意义的频段主要是在几 MHz 到几百 MHz 这个频段<sup>[6]</sup>。目前解决电源完整性问题的途径主要有以下两个方面：

一是优化 PCB 的叠层设计和布局布线。在高速 PCB 设计中通常采用整块铜层作为电源/地平面，尽可能减小输入阻抗。电源和地平面可以看作是一个平面电容，特别是在低中频阶段，等效串联电阻，等效串联电感很小，具有良好的去耦滤波特性<sup>[7]</sup>。综合前期信号完整性所做阻抗匹配和目前的生产标准，合理的设置层间间距，选择合适的板间电容值，可以很好的改善高速设计的电源完整性。电源和地平面的电容值可以估计为式(2)<sup>[8]</sup>：

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad (2)$$

式中， $\epsilon_0=8.854 \text{ pF}$ ； $\epsilon_r=4.5$  (FR-4 材料标定值)； $A$  为电源层铺铜面积 ( $\text{m}^2$ )； $d$  为铺铜电源层之间的间隔 ( $\text{m}$ )。根据仿真结果可知，较小平面电容  $C$  拥有更高的阻抗响应曲线和更高的谐振频率。

二是布置去耦电容。这是目前最有效的解决电源完整性问题的途径。在高频系统中，电源分配系统中的寄生电感不能忽略，它直接导致电源分配系统的阻抗增加。由于电容与电感在频域具有相反特性，因此可以采用添加电容的方法来减小由于电感导致的阻抗增加。同时，电容具有储能效应，能以极快的速度响应变化的电流需求，所以它能有效改善局部区域内电源的瞬态反应能力。如何选择合适容值的电容、以及确定电容恰当的摆放位置，使电源分配系统阻抗在 PCB 系统的整个工作频率范围内都小于目标阻抗成为解决电源完整性问题的关键。借助 Cadence PI 可以快速地确定去耦电容的容值、数量和摆放位置，提高开发效率。

## 2 电源完整性仿真

### 2.1 ARM11 核心系统

文中以 Cadence PI 为仿真工具，对 ARM11 核心系统进行电源完整性分析，本文中的 ARM11 核心系统采用 S3C6410 芯片。S3C6410 是一款 ARM11 体系架构，FBGA 封装，需要多电源工作的芯片。本文中该芯片有 2 个工作电压：核心供电电源 1.2 V，有 26 个电源引脚 (10 个核心电源引脚，16 个逻辑电源引脚)；输入/输出接口供电电源 3.3 V，有 30 个 I/O

电源引脚。芯片内部的工作频率是 667 MHz，外部存储器输入/输出接口工作频率是 266 MHz。ARM11 核心系统采用 8 层层叠结构，在信号仿真阻抗匹配和生产标准的前提下，设定层间间距。本文利用 Cadence PI 对 ARM11 核心电压电源网络 VDD\_ARM 进行电源完整性仿真。

由 S3C6410 芯片数据手册可知，核心电流消耗是 200 mA，加上 100% 的容限，系统允许的电压波动值取 4%，核心电压 1.2 V，根据式(1)，在仿真中设定目标阻抗为 0.12  $\Omega$ 。

### 2.2 电源完整性仿真

#### 2.2.1 单节点仿真，分析验证并优化电容选择

在单节点仿真中，忽略电源系统中各元件实际的物理连接，假设电源调压模块 VRM、仿真激励源、电流源和所有电容都并联在一起，单节点仿真可以得到维持目标阻抗所需要的电容。VDD\_ARM 电源网络单节点仿真结果如图 1 所示，所有电容有效时 (下面曲线) 和所有电容无效 (上面曲线) 电源分配系统的阻抗，目标阻抗 (中间直线)。最后选择 0603 贴片封装，150 pF 电容 4 个，390 pF 电容 3 个，0.1  $\mu\text{F}$  电容 3 个，4.7  $\mu\text{F}$  电容 2 个。

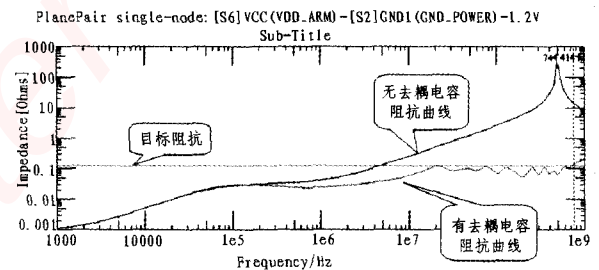


图 1 单节点仿真结果

Fig. 1 Simulation results of the single-node

#### 2.2.2 多节点仿真，放置去耦电容优化布局

由于单节点仿真没有考虑去耦电容的布局，为了获得更精确的结果，考虑噪声源和去耦电容的放置位置，在全频率范围内进行多节点仿真。在多节点仿真时，Cadence PI 根据用户定义将电源平面分隔成多个网格，并对每一个网格进行建模，然后将放置的去耦电容、电压调节模块 VRM 和噪声源与具体的网格点连接起来，产生每一个节点的频率-阻抗仿真波形。

为获得较高的精确度，网格尺寸大小必须大于系统最高频率对应波长的 1/10。波长计算如式(3)<sup>[9]</sup>：

$$\lambda = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

本系统最高频率为 667 MHz，电路板材料是 FR-4，介电常数为  $\epsilon_r=4.5$ 。由式(3)计算得到  $\lambda$  为 212.033 mm。VDD\_ARM 电源平面为 80 mm  $\times$  70 mm，选择 4 4 可精确分析，为了便于分析，本文选择 8 8 的网格。放置电容时，电容的有效去耦半径是一个比较重要的参数，根据经验数据，这一半径在实际应用中的取值最好小于  $\lambda/50$ <sup>[10]</sup>。不断进行多节点仿真，使得所摆放的电容数目最小化。图 2 为 VDD\_ARM/地平面多节点的仿真结果。从结果可知，在放置相应的去耦电容之

后,除极个别点外,平面阻抗在小于710 MHz的范围内都是小于目标阻抗的,而ARM11核心系统的最高时钟频率为667 MHz,因此此次去耦电容的布局完全满足要求。

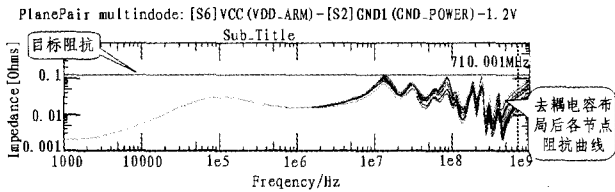


图2 多节点的仿真结果

Fig. 2 Simulation results of the multi-node

### 2.2.3 电源平面静态 IR-Drop 直流压降分析

芯片要正常工作需将供电电压限定在允许的波动范围之内。电源波动是由DC损耗和AC噪声两部分造成的,直流压降DC IR-Drop是产生DC损耗的主要原因。静态IR-Drop直流压降主要与金属连线的宽度及所用层、该路径所流过的电流大小、过孔的个数和位置有关。在Cadence PI中设置电源供给管脚和灌电流后,对布局布线完成后的ARM11核心供电电压网络VDD\_ARM进行直流压降分析,当ARM11核心系统工作频率为667 MHz时,其1.2 V的直流电压的允许波动幅度为+/-0.05 V。Cadence PI仿真软件计算出VDD\_ARM网络电压梯度,其中Drop的最大值为0.013 V,小于允许波动的幅度为+/-0.05 V,完全满足S3C6410工作电压要求,可以保证系统工作的稳定性。

### 2.2.4 电源平面电流密度分析

当电源平面上过孔过多或者分布不合理时,会出现电流流过狭窄区域,从而造成该区域电流密度过大。电源平面上最大的电流密度区域称之为热点,热点有可能会严重的热稳定性问题,因此要合理地设计过孔,使板的电流密度分布均匀,避免在关键芯片和高速走线附近出现热点。图3为VDD\_ARM网络电流密度分布,图中标注点为该平面热点,其位置周围为一块空白区域,平面其他部分电流密度较均匀。

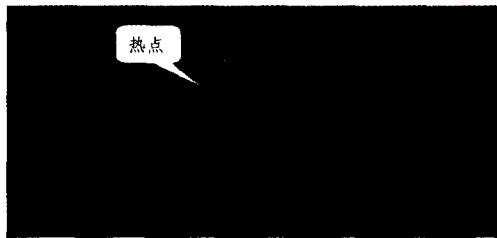


图3 VDD\_ARM 电流密度

Fig. 3 Current density of VDD\_ARM

## 3 PCB 电源完整性测试

在第1版PCB中,没有利用Cadence PI分析,只是根据经验放置了一些去耦电容。在调试时,发现高速数字信号的波形不好,有时会有误码。在第2版中,通过Cadence PI进行分析,对去耦电容的数值数量和位置,部分原件的布局布线进行了调整。

利用动态电子负载模拟高速电子线路中多芯片同时切换

时所造成的系统供电电流的高速周期性突变,对ARM11核心系统的PCB板搭建如图4所示的测试平台,分别对第1版安装了去耦电容PCB,第2版没安装去耦电容和第2版安装了去耦电容的VDD\_ARM/地电源平面进行测试。

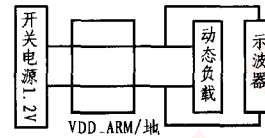


图4 测试平台框图

Fig. 4 Schematic of test environment

开关电源1.2 V为电源平面提供0.2~0.8 A左右的输出电流,动态负载在恒压的情况下,输出阻抗周期变化,电流幅度可完成同周期的0.2~0.8 A的跳变,测试数据如表1。从数据可看出经过Cadence PI分析后生产的第2版PCB的电源完整性得到较大幅度的改善。

表1 测试数据  
Tab.1 Test data

测试PCB板	同步切换噪声/mV	电压纹波/mV
第1板安装所有去耦电容	89	53
第2板没安装去耦电容	122	68
第2板安装所有去耦电容	47	20

## 4 结论

经过Cadence PI的仿真分析后,制作出ARM11核心系统PCB板,通过电路实际测量,发现各电源分配系统均能很好工作,与仿真结果基本一致。随着系统频率高速增加,电源分配系统复杂化,工程生产成本和周期的严格控制,在设计电子系统时,于系统层面进行电源完整性仿真分析、模拟真实系统的行为,对提高设计效率、减少设计误差很有必要。

### 参考文献:

- [1] ERIC Bogatin.Signal and Power Integrity-Simplified[M]. USA:Prentice Hall PTR,2009.
- [2] 李钰峰.高速电源完整性研究[D].北京:北京邮电大学,2012.
- [3] Anon.Product description of Allegro[EB/OL].[2013-05-16] <http://www.allegromicro.com/>.
- [4] 冯新宇.ARM11嵌入式Linux系统实践与应用[M].北京:机械工业出版社,2012.
- [5] 周景润,苏良碧.Cadence高速电路板设计与仿真[M].4版.北京:电子工业出版社,2011.
- [6] 邵鹏.高速电路设计与仿真分析.Cadence实例设计详解[M].北京:电子工业出版社,2010.
- [7] 周子琛,申振宁.高速嵌入式系统中的电源完整性设计方法[J].单片机与嵌入式应用,2010,(3):19-21.  
ZHOU Zi-chen,SHEN Zhen-ning.Power integrity design in high speed embedded system[J].Microcontrollers & Embedded Systems,2010(3):19-21.

(下转第160页)

图 5 中的第一级积分器为信号的输入端, 信号采样也在第一级完成, 因此第一级积分器的性能好坏直接影响到整个调制器的性能<sup>[6]</sup>。二三级积分器引入的噪声经过噪声整形不会影响系统性能, 因此, 第一级积分器采用非理想积分器建模。一位量化器采用 SDToolbox 中 ADC-DAC 模块。通过更改非理想积分器的各种相关参数, 进行大量仿真可以确定调制器的最优参数。仿真时, 输入信号幅度为 0.5 V, 频率为 5 312.5 Hz 的正弦信号, 压摆率为 100 V/ $\mu$ s, 运算放大器增益带宽为 100 MHz, 仿真结果如图 6 所示。

用示波器观察输入输出信号波形如图 7 所示, 最上面为调制器输出 PDM 码, 中间部分为系统输入信号波形, 下部分为还原后的输出结果, 输出结果与输入信号相比, 只是相位发生了变化, 并不影响调制结果, 这证明了此模型可以正常工作。

## 4 结束语

基于 Matlab 设计了具有一位量化噪声比较器的单环三阶 CIBF 结构  $\Sigma - \Delta$  调制器。在考虑各种非理想因素的情况下, 采用 SDToolbox 工具包, 进行了仿真验证, 结果表明该结构得到了较高的精度, 获得了各种性能参数可以用于指导实际电路设计, 缩减了芯片设计周期, 为其他类似电路设计提供了参考。

(上接第 155 页)

- [8] 申伟, 唐万明, 王杨. 高速 PCB 的电源完整性分析 [J]. 现代电子技术, 2009(24):213-218.  
SHEN Wei, TANG Wan-ming, WANG Yang. Analysis of Power Integrity for High-speed PCB [J]. Modern Electronic Technology. 2009(24):213-218.
- [9] 张木水. 高速电路电源分配网络设计与电源完整性分析

## 参考文献:

- [1] Philips K, Nuijten P A C M, Roovers R L J, et al. A continuous-time  $\Sigma \Delta$  ADC with increased immunity to interferers [J]. Solid-State Circuits, IEEE Journal of, 2004, 39(12): 2170-2178.
- [2] Jaykar S, Palsodkar P, Dakhole P. Modeling of Sigma-Delta Modulator Non-Idealities in MATLAB/SIMULINK [C]// Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2011 International Conference on. IEEE, 2011: 525-530.
- [3] Chang R G, Chen C Y, Hong J H, et al. Wide dynamic-range sigma-delta modulator with adaptive feed-forward coefficients [J]. Circuits, Devices & Systems, IET, 2010, 4(2):99-112.
- [4] 何乐年, 王忆. 模拟集成电路设计与仿真 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [5] Ranjbar M, Lahiji G R, Oliaei O. A low power third order delta-sigma modulator for digital audio applications [C]// Circuits and Systems, 2006. ISCAS 2006. Proceedings. 2006 IEEE International Symposium on. IEEE, 2006:4762.
- [6] Arpaia P, Cennamo F, Daponte P, et al. Modeling and characterization of sigma-delta analog-to-digital converters [J]. IEEE Transactions on, Instrumentation and Measurement, 2003, 52(3):978-983.

[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.

- [10] 白同云. 高速 PCB 电源完整性研究 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2006(1):22-30.  
BAI Tong-yu. Research into High speed PCB power integratio [J]. Journal of CAEIT, 2006(1):22-30

# 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. [基于磁盘异或引擎的 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](#)

## 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](#)

## 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 CC++ 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](#)

## 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](#)

## 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 IO 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](#)

## 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](#)

## 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](#)
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](#)