

硬件系统 工程师宝典

■ 张志伟 王新才 著

从实际电路入手，按照硬件系统的设计流程，
对需求分析、概要设计、原理图的详细设计、PCB的详细设计
及在电路设计中的信号完整性、电源完整性、电磁兼容性、
DFX进行了综合论述并对每一部分内容都进行了分类和总结



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

EDA 精品智汇馆

硬件系统工程师宝典

张志伟 王新才 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从实际电路设计入手,对硬件系统开发流程中的需求分析、概要设计、硬件开发平台搭建、原理图的详细设计、PCB 的详细设计进行综合论述;对电路设计中的信号完整性(SI)、电源完整性(PI)、电磁兼容性(EMC)及 DFX 的基础理论进行了分类总结并给出了对应这些理论的实际电路的设计方法及仿真分析的方法。全书共分 9 章,主要内容包括:硬件系统设计中的常见需求,设计中需要考虑的各类概要设计及开发平台的归纳,SI 的理论分析及满足 SI 的常用设计方法,PI 的理论分析及满足 PI 的常用设计方法,EMC/EMI 的理论分析及满足 EMC/EMI 的常用设计方法,DFX 的理论分析及满足 DFX 的常用设计方法,电路设计中常用各类器件的原理说明及常用电路的原理图设计,对 PCB 设计中的布局、布线及 PCB 的板级仿真分析进行了归纳分类,对 PCB 设计的后续工作及 PCB 加工的技术要求进行了归纳总结。

本书适合从事硬件系统设计的相关技术人员阅读,也可作为高等学校电子、通信类专业的高年级学生的教学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

硬件系统工程师宝典 / 张志伟, 王新才著. —北京: 电子工业出版社, 2015.1

(EDA 精品智汇馆)

ISBN 978-7-121-24982-2

I. ①硬… II. ①张… ②王… III. ①硬件—系统设计 IV. ①TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 276314 号

策划编辑: 王敬栋 (wangjd@phei.com.cn)

责任编辑: 谭丽莎

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 22.25 字数: 569.6 千字

版 次: 2015 年 1 月第 1 版

印 次: 2015 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 68.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

对于刚刚进入电子系统设计殿堂的设计者，很多时候对电子设计领域已广泛使用的开发平台没有一个总体的认识，使自己的开发设计局限于某一个或几个平台，无法跟随业界的主流开发环境，无法在众多的开发工具中找到属于自己的“倚天屠龙”。如果长时间局限于一个界限范围内，当设计水平到达一定程度后就会出现属于自己特有的职业生涯瓶颈或技术瓶颈。目前电子系统设计主流的开发平台、主流的系统设计流程是怎样的呢？

对于初入硬件系统设计领域的开发者来说，在进行一个新的项目或一个新的系统设计时，如果在系统开发时先对需求和系统的设计框架有一个清晰的认识，再逐步深入系统设计的方方面面，就能在系统开发中做到游刃有余，并在设计开发的过程中逐步开阔自己的眼界，使自己的系统设计架构能力不断得到提高，为现在及以后的系统架构设计和系统开发风险的评估奠定坚实的基础。如何在系统开发前对系统中的常见需求有一个清晰的认识，把控用户的需求和系统的概要设计架构呢？

随着技术的发展，大量数据的处理需求随处可见，硬件系统作为大数据及高速率处理的平台，随之出现的是高速电路设计的需求。高速电路设计突出“高速”，其设计思路已不能再局限于传统的物理互联设计，其互联通道充斥着各种寄生参数，并且传输线理论也广泛应用于高速互联设计。随着系统的复杂高速互联，信号完整性（SI）问题、电源完整性（PI）问题、EMC/EMI 问题及满足 DFM 工艺设计要求的 DFX 要求随之而来。高速系统设计中，对如此多的问题和知识点能否抽丝剥茧找到一个切口，慢慢地渗入其中，深入设计的深处，并能够不再对烦琐的、可怕的专业术语感到恐惧，不断萃取这些知识用于实际设计，不断前进、不断提升自己呢？

在电路的原理性设计中，常用的分立元器件及各功能的 IC 种类不是无限的，能否对常用器件的性能、使用方法及注意事项进行归类总结，便于在设计中进行参考呢？

不积跬步无以至千里，不积小流无以成江海。PCB 的设计是由无数的点、线、面综合连接而成，倾注了 PCB 设计工程师的心血。在烦琐的互联中是否有规律可循，能否对 PCB 设计中的各类技巧、方法进行整理、归纳，以规范性的文档用于日常的设计并在设计中反复验证，提炼出属于自己的 PCB 设计思想呢？

PCB 的加工都有一定的加工技术要求，与 PCB 厂家进行有效的沟通，将自己的设计思想及要求让 PCB 厂家完完全全、明明白白地理解是保证加工出的 PCB 与设计 PCB 无限接近的基础。能否对 PCB 加工的技术要求进行规范的文档说明，使 PCB 自己能够对厂家进行详尽的介绍呢？

带着对以上诸多疑问的苦苦思索，我们开始了本书的构思及编写。

本书从实际电路设计入手，按照硬件系统的设计流程，对需求分析、概要设计、原理图的详细设计、PCB 的详细设计及在电路设计中的信号完整性、电源完整性、电磁兼容性、

DFX 进行了综合论述并对每一部分内容都进行了分类和总结。

第 1 章在需求分析部分对硬件系统设计中的常见需求进行了归类，并对其中涉及的部分方案、方法和 IC 厂家进行了对应的衔接。

第 2 章在概要设计部分对概要设计中常常需要考虑的各类设计的可行性进行了分类归纳及说明，如信号完整性的可行性分析、电源完整性的可行性分析、EMC/EMI 的可行性分析等；在开发平台部分对目前业内主流的 PCB 设计平台、PCB 仿真分析平台及 3D 电磁场分析平台进行了概述。

第 3 章在信号完整性分析部分详细说明了信号完整性产生的原因及相应的解决方法，并对信号完整性分析中常用的 IBIS 模型和 S 参数模型进行了说明。

第 4 章在电源完整性分析部分分析了电源完整性产生的原因，并对电容的去耦特性、平面的去耦特性、平面的谐振特性及电源完整性中的目标阻抗设计方法进行了说明。

第 5 章在 EMC/EMI 分析部分分析了 EMC/EMI 问题，并对 PCB 设计中满足 EMC/EMI 的布局、布线及叠层的常用设计方法进行了分类和总结。

第 6 章在 DFX 分析部分对设计中的 DFX 进行了归类说明，并详细论述了 PCB 中的工艺设计要求及满足 PCB 工艺设计要求的常用设计方法。

第 7 章在硬件系统原理图详细设计部分对电路设计中常用的各类器件进行了原理性说明，并对其在电路设计中的应用进行了归类和总结。

第 8 章在硬件系统 PCB 详细设计部分从 PCB 的布局、布线及 PCB 的板级仿真角度进行了归类论述，对 PCB 的布局、布线注意事项及方法进行了详细的说明。

第 9 章在确认 PCB 的加工图纸阶段，对 PCB 的后续处理及 PCB 加工技术要求进行了归类及详细说明。

本书在编写的过程中查阅了大量的资料，文中的很多技术观点与设计思路都是各位同行在教学和工程设计中共同探讨的结果，在此向提供资料的同事、朋友及各大电子设计论坛的电子设计爱好者表示真诚的感谢。本书在编写的过程中也得到了亲人的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于作者的水平有限，错误和疏漏之处在所难免，欢迎广大专家和读者指正。

张志伟 王新才
2014 年 4 月

目 录

第 1 章 需求分析	1
1.1 功能需求	1
1.1.1 供电方式及防护	1
1.1.2 输入与输出信号类别	2
1.1.3 无线通信功能	2
1.2 整体性能要求	7
1.3 用户接口要求	8
1.4 功耗要求	9
1.5 成本要求	10
1.6 IP 和 NEMA 防护等级要求	10
1.7 需求分析案例	11
1.8 本章小结	15
第 2 章 概要设计及开发平台	16
2.1 ID 及结构设计	16
2.2 软件系统开发	18
2.2.1 无操作系统的软件开发	19
2.2.2 有操作系统的软件开发	20
2.2.3 软件开发的一般流程	22
2.3 硬件系统概要设计	24
2.3.1 信号完整性的可行性分析	24
2.3.2 电源完整性的可行性分析	26
2.3.3 EMC 的可行性分析	32
2.3.4 结构与散热设计的可行性分析	34
2.3.5 测试的可行性分析	41
2.3.6 工艺的可行性分析	44
2.3.7 设计系统框图及接口关键链路	46
2.3.8 电源设计总体方案	48
2.3.9 时钟分配图	51
2.4 PCB 开发工具介绍	52
2.4.1 Cadence Allegro	54
2.4.2 Mentor 系列	58
2.4.3 Zuken 系列	62
2.4.4 Altium 系列	62
2.4.5 PCB 封装库助手	63

2.4.6	CAM350	71
2.4.7	Polar Si9000	73
2.5	RF 及三维电磁场求解器工具	82
2.5.1	ADS	82
2.5.2	ANSYS Electromagnetics Suite	84
2.5.3	CST	85
2.5.4	AWR Design Environment	86
2.6	本章小结	86
第 3 章	信号完整性 (SI) 分析方法	87
3.1	信号完整性分析概述	87
3.2	信号的时域与频域	88
3.3	传输线理论	90
3.4	信号的反射与端接	97
3.5	信号的串扰	101
3.6	信号完整性分析中的时序设计	103
3.7	S 参数模型	108
3.8	IBIS 模型	111
3.9	本章小结	113
第 4 章	电源完整性 (PI) 分析方法	114
4.1	PI 分析概述	114
4.2	PI 分析的目标	120
4.3	PI 分析的设计实现方法	122
4.3.1	电源供电模块 VRM 设计	122
4.3.2	直流压降及通流能力	122
4.3.3	电源内层平面的设计	123
4.4	本章小结	128
第 5 章	EMC/EMI 分析方法	129
5.1	EMC/EMI 分析概述	129
5.2	EMC 标准	130
5.3	PCB 的 EMC 设计	130
5.3.1	EMC 与 SI、PI 综述	130
5.3.2	模块划分及布局	131
5.3.3	PCB 叠层结构	132
5.3.4	滤波在 EMI 处理中的应用	139
5.3.5	EMC 中地的分割与汇接	140
5.3.6	EMC 中的屏蔽与隔离	140
5.3.7	符合 EMC 的信号走线与回流	141
5.4	本章小结	144
第 6 章	DFX 分析方法	145
6.1	DFX 分析概述	145
6.2	DFM——可制造性设计	145

6.2.1	印制板基板材料选择	146
6.2.2	制造的工艺及制造水平	148
6.2.3	PCB 设计的工艺要求 (PCB 工艺设计要考虑的基本问题)	148
6.2.4	PCB 布局的工艺要求	152
6.2.5	PCB 布线的工艺要求	154
6.2.6	丝印设计	155
6.3	DFT——设计的可测试性	156
6.4	DFA——设计的可装配性	156
6.5	DFE——面向环保的设计	156
6.6	本章小结	157
第 7 章	硬件系统原理图详细设计	158
7.1	原理图封装库设计	158
7.2	原理图设计	161
7.2.1	电阻特性分析	162
7.2.2	电容特性分析	169
7.2.3	电感特性分析	174
7.2.4	磁珠特性分析	177
7.2.5	BJT 应用分析	179
7.2.6	MOSFET 应用分析	184
7.2.7	LDO 应用分析	193
7.2.8	DC/DC 应用分析	196
7.2.9	处理器	205
7.2.10	常用存储器	207
7.2.11	总线、逻辑电平与接口	226
7.2.12	ESD 防护器件	252
7.2.13	硬件时序分析	254
7.2.14	Datasheet 与原理图设计的前前后后	255
7.3	Pspice 仿真在电路设计中的应用	257
7.4	本章小结	261
第 8 章	硬件系统 PCB 详细设计	262
8.1	PCB 设计中的 SI/PI/EMC/EMI/ESD/DFX	262
8.2	PCB 的板框及固定接口定位	270
8.3	PCB 的叠层结构: 信号层与电源平面	272
8.3.1	PCB 的板材: Core 和 PP, FPC	272
8.3.2	传输线之 Si9000 阻抗计算	278
8.3.3	PCB 平面层敷铜	278
8.4	PCB 布局	279
8.4.1	PCB 布局的基本原则	280
8.4.2	PCB 布局的基本顺序	281
8.4.3	PCB 布局的工艺要求及特殊元器件布局	282
8.4.4	PCB 布局对散热性的影响: 上风口、下风口	282

8.5	PCB 布线	283
8.5.1	PCB 布线的基本原则	290
8.5.2	PCB 布线的基本顺序	291
8.5.3	PCB 走线中的 Fanout 处理	293
8.6	常见电路的布局、布线	295
8.6.1	电源电路的布局、布线	295
8.6.2	时钟电路的布局、布线	297
8.6.3	接口电路的布局、布线	298
8.6.4	CPU 最小系统的布局、布线	305
8.7	PCB 的板级仿真分析	311
8.7.1	信号完整性前仿真分析	312
8.7.2	信号时序 Timing 前仿真分析	312
8.7.3	信号完整性后仿真分析	313
8.7.4	电源完整性后仿真分析	314
8.7.5	PCB 级 EMC/EMI 仿真分析	316
8.8	本章小结	317
第 9 章	PCB 设计后处理及 Gerber 输出	318
9.1	板层走线检查及调整	318
9.2	板层敷铜检查及修整	319
9.3	丝印文字及 LOGO	320
9.4	尺寸和公差标注	320
9.5	Gerber 文档输出及检查	320
9.6	PCB 加工技术要求	327
9.7	本章小结	328
附录 A	Orcad PSpice 仿真库 (\capture\library\pspice 和 capture\library\pspice\advans	
	目录)	329
附录 B	Cadence Allegro 调试错误及解决方法	333
附录 C	Allegro 错误代码对应表	342
	参考文献	347

需求分析

生活中我们完成一件事情，主要包含几个方面：做事情的目标、做事情具备的条件、做事情的过程、事情做完后的效应。就如同修路一样，需要确定所修路的起点和终点、路的级别要求、修路的过程所需要的人力和物力、路修好后所带来的经济效应等。同样，硬件系统设计作为系统工程中的一份子，在设计之初就需要勾绘出系统设计的“鹰眼蓝图”，即所谓的需求分析。

需求分析是硬件系统设计的第一步，在系统设计的环节中起着举足轻重的作用。需求分析做得好，才能够使设计的产品满足市场需求，有了明确的需求才能够确定产品的 ID 设计方案、结构设计方案、硬件设计方案和软件方案等。硬件系统由硬件电路构成，硬件电路由各种电子元件的实体依据电路设计者有目的的创造行为连接组合而成，本章就产品设计中的硬件系统设计展开论述。

1.1 功能需求

功能需求明确了设计的硬件系统所具备的功能，明确了功能就可以针对要完成的功能选择不同厂家的芯片来实现所需功能。硬件系统常见的功能需求有：供电方式及防护、输入与输出信号类别及处理、无线通信功能等。

1.1.1 供电方式及防护

需要确定硬件系统的供电是采用内置电源板直接从市电供电还是采用外置直流稳压电源供电。采用内置电源板供电，一般需要单独设计开关电源板，针对不同的应用行业开关电源的设计规格不同，需要根据不同的行业标准进行设计。采用外置直流稳压电源供电，能够简化硬件系统电源部分的设计，但需要一个外置的电源。

有些工控类设备或医疗设备需要采用 PoE (Power Over Ethernet) 供电。PoE 指的是在现有的以太网 Cat.5 布线基础架构不做任何改动的情况下，在为一些基于 IP 的终端（如 IP 电话机、无线局域网接入点 AP、网络摄像等）传输数据信号的同时，还能为此类设备提供直流供电的技术。PoE 技术能在确保现有结构化布线安全的同时保证现有网络的正常运作，最大限度地降低成本。IEEE 802.3af（输出电压为 44~57V，输出功率为 15.4W）成为首个 PoE 供电标准，它规定了以太网供电标准，是现在 PoE 应用的主流实现标准。IEEE802.3at（输出电压为 50~57V，输出功率为 25.5W）应大功率终端的需求而诞生，在兼容 802.3af 的基础上，提供更大的供电需求，以满足新的需求。

有些工控类设备或医疗设备要求一部分功能电路的失效不会影响到整个硬件系统的稳定运转，因此对于此类需求的硬件系统需要设计彼此隔离的供电和输入/输出电路模块。对各部分电路的供电可以选用不同规格的电源隔离 IC，对各部分电路的数据输入/输出可以采用数据

通信隔离 IC。

1.1.2 输入与输出信号类别

硬件与软件的交互完成对信号的处理，硬件的健壮是系统稳定运行的基础，软件赋予产品智能。在硬件系统的需求分析中，需要根据硬件系统所要处理的输入信号及输出信号来选定硬件设计的主方案及外围器件。例如，某医疗系统的中心控制器要求输入信号为外围 12 种医疗设备采集的数据，中心控制器对输入的信号进行处理后，把输出信号统一以 Socket 包的形式通过 RJ45 以太网口发送到中心服务器，外围医疗设备的接口有 USB 接口形式 TTL 电平的 UART 口、USB 接口和 RS232 串口。输入与输出信号类别的确定侧重于软件分析各接口协议的实现及各部分的有机组合，需要解释各输入/输出数据的类型，并逐项说明其媒体、格式、数据范围、精度和编码方式等。对于硬件系统的设计，需要根据设备输入与输出信号的接口类型和系统处理数据的能力来选定设计方案，并通过与软件系统设计方案的反复迭代来选定硬件的设计平台。

1.1.3 无线通信功能

在进行硬件系统设计时，需要确定该系统的应用领域，确定该系统是否需要具备无线通信功能。在工控类和消费类电子领域，按照通信协议，目前的无线通信方式有：3G 无线通信（移动最新推出 4G LTE 通信技术）、GPRS、WiFi、ZigBee、Bluetooth、IrDA、NFC、UWB、CSS 和 RFID。在进行产品设计方案选型时，需要根据硬件系统无线通信的方式进行设计选型。

1. 3G 无线通信

3G 无线通信的方式有中国移动的 TD-SCDMA、中国联通的 WCDMA 和中国电信的 CDMA2000。采用运营商提供的网络进行无线通信，通信速率快、信号质量高，能够保证通信的质量，节省组网的开支，但是需要提供额外的使用费用。目前在工控类、消费类电子领域采用 3G 无线通信方式的产品主要有 3G 手机、3G 车载硬盘录像机、3G 车载摄像机、行业应用 3G 平板电脑等。该类产品和技术方案提供商有华为海思科技、中兴、浙江大华、海康卫视、山东卡尔电气等。

2. GPRS

GPRS 是通用分组无线服务技术（General Packet Radio Service）的简称，它是 GSM 移动电话用户可用的一种移动数据业务。GPRS 可以说是 GSM 的延续。GPRS 和以往连续在信道传输的方式不同，是以分包（Packet）方式来传输的，因此使用者所负担的费用以其传输资料的单位计算，并非使用其整个信道，理论上较为便宜。GPRS 的传输速率可提升至 56~114Kbps。

在产品开发中，一般都采用成熟的 GPRS 模块，GPRS 模块的通信接口一般都采用 RS232 COM 口，在硬件系统设计中为 GPRS 模块预留一个 RS232 串口就可以了，GPRS 通信软件的开发依据串口通信方式进行。

3. WiFi

WiFi（Wireless Fidelity）即 IEEE802.11x，是一种可以将个人电脑、手持设备（如 PDA、

手机)等终端以无线方式互相连接的技术。WiFi 提供无线局域网的接入,是目前 WLAN 的主要技术标准。随着智能手机和平板电脑的普及, WiFi 的应用越来越广, WLAN 具备的便携性解决了用户最后 100m 的通信需求。WiFi 制定了协议的物理层 (PHY)和媒体接入控制层 (MAC),并以 TCP/IP 作为网络层。

1999年,IEEE 802.11a 标准制定完成,该标准规定无线局域网工作频段在 5.15~5.825GHz,数据传输速率达到 54Mbps/72Mbps (Turbo)。同年9月,IEEE 802.11b 被正式批准,该标准规定无线局域网工作频段在 2.4~2.4835GHz,数据传输速率达到 11Mbps。该标准是对 IEEE 802.11 的一个补充,采用点对点模式和基本模式两种运作模式,在数据传输速率方面可以根据实际情况在 11Mbps、5.5Mbps、2Mbps 和 1Mbps 的不同速率间自动切换,并且在 2Mbps 和 1Mbps 速率时与 802.11 兼容。802.11b 使用直接序列 (Direct Sequence) DSSS 作为协议。802.11b 和工作在 5GHz 频率上的 802.11a 标准不兼容。由于价格低廉,802.11b 产品已经被广泛地投入市场,并在许多实际的工作场所运行。

2003年推出 IEEE802.11g, IEEE 的 802.11g 标准是对流行的 802.11b (即 WiFi 标准)的提速 (速度从 802.11b 的 11Mbps 提高到 54Mbps)。802.11g 接入点支持 802.11b 和 802.11g 客户设备。

2009年9月11日,802.11n 无线标准获得 IEEE 标准委员会的正式批准。在传输速率方面,802.11n 可以将 WLAN 的传输速率由目前 802.11a 及 802.11g 提供的 54Mbps,提高到 300Mbps 甚至 600Mbps,得益于将 MIMO (多入多出)与 OFDM (正交频分复用)技术相结合而应用的 MIMO OFDM 技术,提高了无线传输质量,也使传输速率得到极大提升。在覆盖范围方面,802.11n 采用智能天线技术,通过多组独立天线组成的天线阵列,可以动态调整波束,保证让 WLAN 用户接收到稳定的信号,并减少其他信号的干扰,因此其覆盖范围可以扩大到数平方千米,使 WLAN 的移动性大为提高。在兼容性方面,802.11n 采用了一种软件无线电技术,它是一个完全可编程的硬件平台,使得不同系统的基站和终端都可以通过这一平台的不同软件实现互通和兼容,这使得 WLAN 的兼容性得到极大改善。这意味着 WLAN 将不但能实现 802.11n 向前后兼容,而且可以实现 WLAN 与无线广域网的结合,如 3G。

目前最新的 802.11ac 是在 802.11a 标准之上建立起来的,包括将使用 802.11a 的 5GHz 频段。802.11ac 每个通道的工作频宽将由 802.11n 的 40MHz,提升到 80MHz 甚至 160MHz,再加上大约 10%的实际频率调制效率提升,最终理论传输速度将由 802.11n 最高的 600Mbps 跃升至 1Gbps。当然,实际传输率可能在 300~400Mbps 之间,接近目前 802.11n 实际传输率的 3 倍 (目前 802.11n 无线路由器的实际传输率为 75~150Mbps),完全可以在一条信道上同时传输多路压缩视频流。

目前 WiFi 产品和方案提供商主要有 Broadcom、Atheros、D-Link、Airgo、Bermai、杰尔系统、思科、Intel 等。Broadcom 是全球第一个使用 802.11ac 技术的芯片厂商,目前使用 5G 芯片的品牌有苹果的 iPhone4、iPhone4s、iPhone5 和 iPhone5S,三星的 GALAXY S4, HTC one,小米手机 2S、小米手机 3 和小米 TV,腾达 11ac 千兆无线路由器 W1800R 等。

4. ZigBee

ZigBee 是基于 IEEE802.15.4 标准的无线网络协议,具备低功耗、低成本、低速率、近距离、短时延、高容量、高安全和免执照频段的特点。ZigBee 协议从下到上分别为物理层 (PHY)、媒体访问控制层 (MAC)、传输层 (TL)、网络层 (NWK)、应用层 (APL) 等。其中,物理层和媒体访问控制层遵循 IEEE 802.15.4 标准的规定。

ZigBee 的应用领域主要包括工业控制、家庭和楼宇网络、商业、公共场所、农业控制及医疗等。

目前比较有竞争力的 ZigBee 解决方案主要有 Freescale MC1319X 平台、TI cc2530 平台、Ember EM250ZigBee 系统晶片及 EM260 网络处理器和 Jennic 的 JN5121 芯片。对于 ZigBee 技术，可以向国内 ZigBee 技术解决方案提供商参考学习：无线龙、RF-Star、MXCHIP 和斯凯科技等。

5. Bluetooth

Bluetooth 是一种支持设备短距离通信（一般在 10m 内）的无线电技术，由爱立信公司在 1994 年进行研发，能在包括移动电话、PDA、无线耳机、笔记本电脑和相关外设等众多设备之间进行无线信息交换，工作在全球通用的 2.4GHz ISM（即工业、科学、医学）频段。其数据速率为 1Mbps，采用时分双工传输方案实现全双工传输。Bluetooth 无线通信技术在手机、便携式计算机、汽车、立体声耳机和 MP3 播放器等多种设备上得到了广泛应用。

目前提供 Bluetooth 解决方案的厂商有 Broadcom、CSR（Cambridge Silicon Radio）、Infineon、TI、Silicon Ware、NXP、Ericsson、Mitel、Philsar 等。Broadcom 提供的第三方驱动比较多；CSR 于 2014 年 10 月 15 日被美国 Qualcomm 公司收购，其蓝牙解决方案将会占据更大的市场份额。

6. IrDA

IrDA 是红外数据组织（Infrared Data Association）的简称，目前广泛采用的 IrDA 红外连接技术就是由该组织提出的，IrDA 已经制定出物理介质和协议层规格，以及两个支持 IrDA 标准的设备可以相互监测对方并交换数据。初始的 IrDA1.0 标准制定了一个串行、半双工的同步系统，传输速率为 2.4Kbps 到 115.2Kbps，传输范围为 1m，传输半角度为 15° 到 30°。最近 IrDA 扩展了其物理层规格使数据传输率提升到 4Mbps。PXA27x 就使用了这种扩展了的物理层规格。IrDA 数据协议由物理层、链路接入层和链路管理层三个基本层协议组成。另外，为满足各层上的应用需要，IrDA 栈支持 IrLAP、IrLMP、IrIAS、IrIAP、IrLPT、IrCOMM、IrOBEX 和 IrLAN 等。

目前，IrDA 通信机制在 TV、3D 眼镜和 IrDA 接口的键盘、鼠标等设备的控制或通信方面得到了广泛的应用。

IrDA 编解码 IC 及收发器供应商有 TI、Atmel、NXP、VISHAY、Sharp Microelectronics、Everlight Electronics、台湾 HL、Holtek Semiconductor 等。

7. NFC

NFC（Near Field Communication）近距离无线通信技术是由 Philips 和 Sony 共同开发的一种工作在 13.56MHz 频段的非接触式识别和互连技术，可以在移动设备、消费类电子产品、PC 和智能控件工具间进行近距离无线通信。NFC 通信技术由 RFID 及互连互通技术整合演变而来，在单一芯片上结合感应式读卡器、感应式卡片和点对点的功能，能在短距离内与兼容设备进行识别和数据交换。NFC 的传输距离大约为 10cm，传输速度目前为 106Kbps、212Kbps 或 424Kbps。目前 NFC 的成员有 Sony、Philips、LG、NXP、NEC、Samsung、Atoam、Intel、华为、中兴、上海同耀、台湾正隆、OPPO、魅族等。

目前内置 NFC 功能的设备以手机为主，也有不少平板电脑和蓝牙音频设备内置了 NFC 功能。例如，Nokia 的 Lumia 系列，HTC 的 One X、One M7、Butterfly，Samsung 的 Galaxy 系

列, SONY 的 Xperia 系列, Blackberry 的 Z10、Q10, Google 的 Nexus7, ASUS 的 Fonepad2, 小米 3、vivo 的 Xplay 等。

NFC 芯片解决方案提供商有 NXP、ST、Broadcom、Infineon、Qualcomm、Renesas 等。

8. UWB

UWB (Ultra Wide Band) 是一种无载波通信技术, 利用纳秒至微微秒级的非正弦波窄脉冲传输数据。通过在较宽的频谱上传送极低频率的信号, UWB 能在 10m 左右的范围内实现每秒数百兆比特至数吉比特的数据传输速率。UWB 技术具有抗干扰性强、传输速率高、系统容量大和发送功率小的特点。

UWB 标准化的工作还没有完成, 一些技术问题仍需要不断完善, 但它可能成为新一代 WLAN 和 WPAN 的技术基础, 从而实现超高速宽带无线接入。

9. CSS

CSS (Chirp Spread Spectrum) 即线性调频扩频技术。这种技术以前主要用于脉冲压缩雷达, 能够很好地解决冲击雷达系统测距长度和测距精度不能同时优化的矛盾, 因此国内外的研究一直局限在雷达领域。近年来, 随着 IEEE 将 CSS 技术列为 802.15.4a 技术标准的底层实现方式之一, 该项技术在通信领域的应用才逐渐受到关注。

CSS 无线通信技术在实现物联网系统的定位开发中, 因其定位精度高、工作稳定可靠等优点在仓储、楼宇、安防、老人防护、监狱、煤矿和工业厂矿的定位中得到了广泛应用。

CSS 定位基于 TOA、TDOA 时间机制, 采用 SDS-TWR 的测量方法, 获取双向传输的时间, 进而获取节点距离。CSS 基于 SDS-TWR 算法的距离测量原理^[1]如图 1-1 所示。

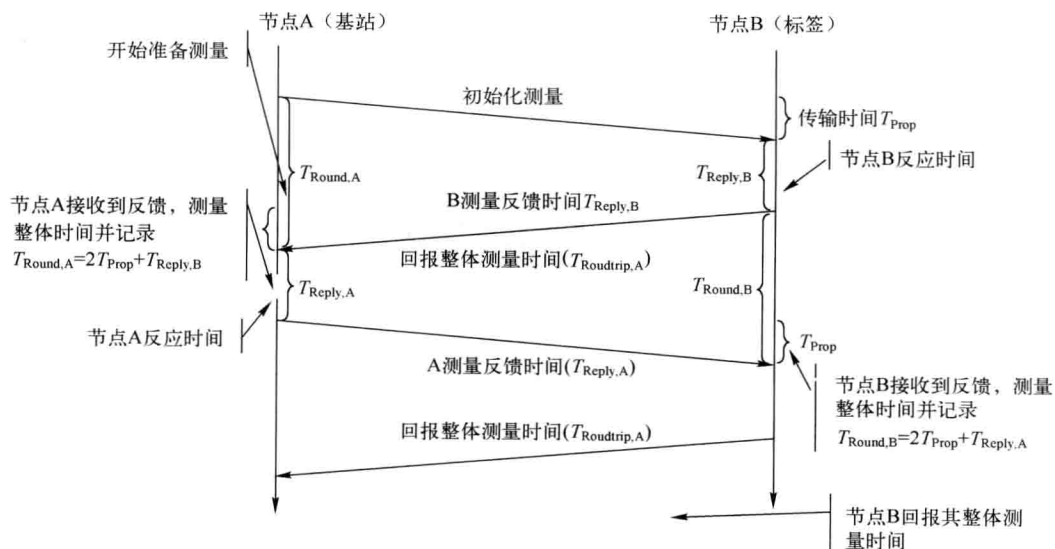


图 1-1 CSS 基于 SDS-TWR 算法的距离测量原理

CSS 基于时间测量机制, 在测量精度为 3~4ns 的情况下, 无线电检测精度将达到 1~1.2m。在实际使用中, 由于前端多路径到达波检测和时间偏差等原因影响, 误差可以控制在 1~3m; 在测量距离上, 0dBm 时可以达到 100m 最大传输距离, 且只要信号到达, 就可以利用信号测距。

CSS 芯片解决方案主要是德国的 Nanotron NLSG0501A 系列，基于该芯片的定位系统在矿井人员定位中得到了广泛应用。

10. RFID

RFID (Radio Frequency Identification) 射频识别技术又称无线射频识别，是一种通信技术，可通过无线电信号识别特定目标并读写相关数据，而无须识别系统与特定目标之间建立某种物理连接。常用的通信频段有低频 (125~134.2kHz)、高频 (13.56MHz)、超高频 (433MHz、915MHz) 和微波频段等。

运用 RFID 技术的产品可分为三大类：无源 RFID 产品、有源 RFID 产品及半有源 RFID 产品。无源 RFID 产品的主要工作频率有低频 125kHz、超高频 433MHz 和 915MHz，属于近距离接触式识别类，如二代身份证、公交卡、餐卡和银行卡等。有源 RFID 产品具有远距离自动识别的特性，在远距离自动识别领域，如智能交通、智能停车场等领域有重大应用，有源 RFID 的主要工作频率有超高频 433MHz、微波 2.45GHz 和 5.8GHz。半有源 RFID 产品结合了有源 RFID 和无源 RFID 产品的优势，在低频 125kHz 频率的触发下，让微波 2.45GHz 发挥优势，在近距离利用低频进行精确定位，在远距离利用微波频段进行识别和数据上传。

RFID 的工作原理是射频标签进入磁场后，接收射频读卡器发出的射频信号，依赖感应电流所获得的能量发送出存储在芯片中的信息 (Passive Tag, 无源或被动标签) 或由射频标签主动发送某一频率的信号 (Active Tag, 有源标签或主动标签)，解读器读取信息并解码后，送到读卡器中进行相关的数据处理。

由于 WiFi、ZigBee、CSS 等在室内定位精度的局限性，基于 RFID 及 WiFi、ZigBee、CSS 等的混合定位技术在养老院、医院等室内定位精度要求高的场所得到了广泛应用。

采用 WiFi-RFID 的养老院无线局域网实时定位系统网络拓扑结构如图 1-2 所示。老人的人员信息存储在定位标签中，AP 负责读取电子标签中的人员信息，并通过已有的 WiFi 网络，将数据传送到控制中心进行处理。

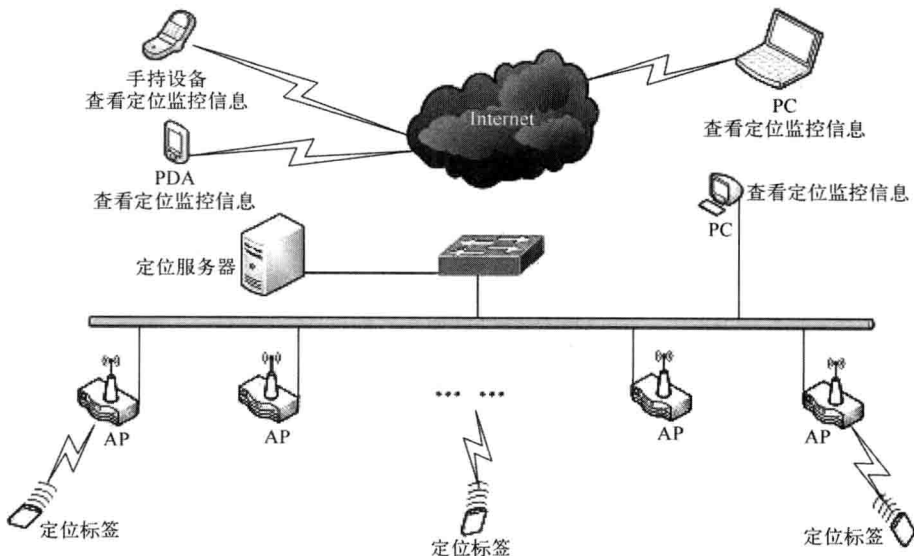


图 1-2 养老院无线局域网实时定位系统网络拓扑结构图

采用 ZigBee-RFID 的矿井作业人员无线局域网实时定位系统网络拓扑结构如图 1-3 所

示。矿井作业人员的信息存储在头盔中的 RFID 定位标签中，网关负责读取 RFID 定位标签中的人员信息，并通过 ZigBee 网络传输到控制中心，进行数据的进一步处理。在本案例中，ZigBee 网络负责传输 RFID 采集的定位信息、矿井作业人员佩戴的腕表采集的人体生命体征数据及环境数据，有效利用了 ZigBee 网络数据通信的低功耗及 RFID 的精确定位机制。

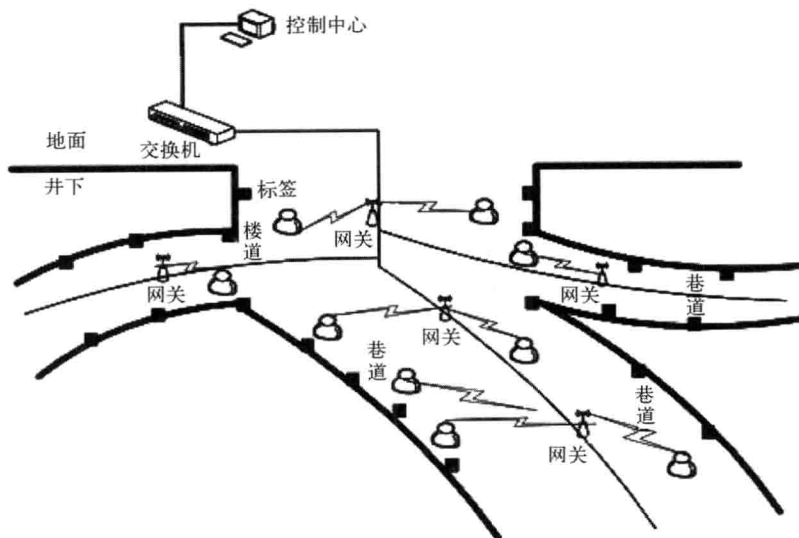


图 1-3 矿井作业人员无线局域网实时定位系统网络拓扑结构图

1.2 整体性能要求

系统整体性能的要求包含对输入/输出数据的处理能力、系统工作对温/湿度环境的要求、系统无故障稳定工作时间的要求、系统的能效等级和系统的自身防护性能等。

对数据的性能要求包含处理器处理数据的能力、能够处理数据的最高带宽、处理数据的实时性和采集数据的精度等。

系统对温度环境的适应能力在需求分析阶段就要明确产品的温度环境工作等级。消费类的温度范围是 $0\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，工业级的温度范围是 $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ ，军用级的温度范围是 $-55\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。根据产品工作温度的不同选定不同级别的芯片及设计方案。对于湿度的性能要求，主要从防护等级设计上考虑。

系统的无故障稳定运行性能要求在产品选型阶段根据产品工作寿命的要求进行选型，工作寿命越长的器件价格也相应越高。对产品需要做加速老化寿命测试来保证产品的无故障运行时间。

家用电器需要满足能效等级。能效等级是表示家用电器产品能效高低差别的一种分级方法，按照国家标准规定，我国的能效标识将能效分为五个等级。等级 1 表示产品节电已达到国际先进水平，能耗最低，能效比在 3.4 以上；等级 2 表示产品比较节电，能效比为 3.20~3.39；等级 3 表示产品能源效率为我国市场的平均水平，能效比为 3.00~3.19；等级 4 表示产品能源效率低于市场平均水平，能效比为 2.80~2.99；等级 5 是产品市场准入指标，能效比为 2.50~2.79，低于该等级要求的产品不允许生产和销售。针对产品能量利用率的要求，需要根

据各行业的标准，不断优化各电路模块的设计，从而最终达到最大能量利用率的要求。

有些产品的设计需要考虑过压保护、欠压保护、过流保护、短路保护和雷击防护等一系列的防护措施；有些产品要求苛刻的硬件设备，还需要做室外暴露实验、紫外实验、引线端强度实验、扭曲实验、机械载荷实验、冰雹实验和热斑耐久实验等一系列的验证。为保证产品的性能，需要在前期的需求分析中明确产品的性能指标，从而在总体架构设计及产品硬件设计的详细实施阶段依据产品性能要求来有效合理地进行开发工作。

1.3 用户接口要求

用户接口要求需要确定产品硬件接口的种类及数量，电源接口、指示灯及开关类型、复位按钮和显示屏幕等。确定了用户所需要的接口，硬件 PCB 的外围轮廓就确定了。

目前常用的用户接口主要有 JTAG 接口、DB9 串口（公头和母头）、USB 接口、Console 接口、RJ45 以太网接口、HDMI 接口、DVI 接口、VGA 接口、SATA&IDE 接口、PS2 接口、CPCI 接口、PCI 及 PCI-E 接口、RJ11 接口、S-Video 视频接口、RCA 视频接口（俗称莲花头）、YPbPr/YCrCb 视频色差输入接口、SD/TF 卡接口、CF 卡接口、SIM 卡接口、RF 射频端子、SCART 接口、SPDIF 数字音频接口、DisplayPort 接口和光口。常用的数据协议接口主要有 SPI、UART、LVDS、RS485、CAN 总线、V-by-One 数字接口、LCD 接口、Camera 接口、I2C 和 I2S。根据用户所需要接口的种类及数量去综合选定设计方案。用户接口在选型时需要考虑日常使用对端口的反复插拔，在前期需求分析选定接口的型号时就需要考虑接口可能的失效模式并在后期的产品中对接口进行插拔试验。例如，小米 TV 的各用户接口都进行了一系列的插拔试验和按压测试，测试数据如表 1-1 所示^[2]。

表 1-1 小米 TV 用户接口插拔试验和按压测试数据

测试项目	测试标准/次
遥控器按键	200000
USB 接口	3000
HDMI 接口	10000
VGA 接口	5000
AV 接口	2500
以太网接口	3000
音频输出接口	10000

如果硬件系统的供电采用内置开关电源板的形式，需要确认是采用三口插头还是两口插头。如果采用外置电源电压器的形式，需要确认变压器和硬件系统的接口形式，如不同直径的 DC Power Jack 端子、DB 器具插座、工业上用的凤凰端子、20+4pin 供电接口、小 4pin 供电接口、4+4pin 或 8pin 供电接口、6pin PCI-E 显卡供电接口、6+2pin PCI-E 显卡供电接口、大 4pin D 型供电接口、小 4pin D 型供电接口、SATA 15pin 供电接口和 SATA 5pin 供电转接口等。

不同的设备有不同的开关按键，需要根据各行业的行业要求来选型。当有多个开关或按键时，可以尽量采用相同规格的按键，便于物料管理和成本控制。例如，苹果公司的 iPhone 系列、iTouch 系列、iPad 系列的 Home 键都采用了同一颗物料。目前常用的开关和按键有按键开关、轻触开关、防水轻触开关、带灯轻触开关、滑动开关、微动开关、限位开关、船型开