

单片机

通信与组网技术

实例详解

◎ 沈红卫 著

★ 工程案例：完全、公开、无保留

★ 程序清单、电路图、解决方案：一个不少



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

实例详解丛书

单片机通信与组网技术 实例详解

沈红卫 著

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书详细而全面地阐述了单片机系统的通信与组网技术,包括:基于 RS-232 的通信技术、基于 RS-485 的通信技术、基于 CC1101 的无线网络通信技术、基于 315M/433M 射频的无线网络通信技术、基于移动网络 GSM 的短信通信技术、基于 GPRS 的网络通信技术,以及单片机通信系统的调试技术。

本书取材典型,具有良好的实用价值,适合于从事基于微处理器的智能仪器仪表系统开发的科技人员和高校相关专业的师生阅读,也可以作为本科及专科院校课程设计、毕业设计和电子设计竞赛等的指导用书。

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

单片机通信与组网技术实例详解 / 沈红卫著. —北京: 电子工业出版社, 2014.2

(实例详解丛书)

ISBN 978-7-121-22342-6

I. ①单… II. ①沈… III. ①单片微型计算机—计算机通信②单片微型计算机—计算机网络 IV. ①TN919
②TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 005951 号

策划编辑: 张 榕

责任编辑: 桑 昀

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 19 字数: 490 千字

印 次: 2014 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 49.80 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 zltz@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

《《《《 PREFACE

我于 2003 年 1 月在北京航空航天大学出版社出版了自己的第一本著作——《单片机应用系统设计实例与分析》，于 2005 年 1 月在电子工业出版社出版了我的第二本著作——《基于单片机的智能系统设计与实现》，尽管两本书都于当年就重印，心中难免有些窃喜，但是那种喜悦是暂时的，因为写书实在是一件“劳民伤财”的事情，以至于很长一段时间都不愿再写书了。

也许真是一种巧合，2007 年 1 月，我陆续收到了来自两家著名出版社的约稿信和电话，这又激活了我内心继续写作的冲动。

那么写什么呢？

当时，网络技术已经呈铺天盖地之势，进入我们的生活和工作。而我依然只想写我擅长的单片机领域。以“单片机通信”、“单片机组网”、“单片机网络”等关键词进行网络检索，很难找到此类著作，仅见北京航空航天大学出版社于 2007 年出版的《单片机与 PC 网络通信技术》，该书主要阐述单片机与 PC 构建网络的通信技术，涉及 RS-232C 通信、RS-485 通信、单片机及 PC 数据通信，以及嵌入式系统接入 Internet，但均不是以项目形式完整呈现的。其他一些著作，与网络有一定的相关性，但多侧重于某一方面，如串口通信、无线组网等。电子工业出版社于 2013 年出版的《单片机与计算机串口通信实践》，主要阐述了基于 Keil C 和 VC++ 6.0 开发单片机与 PC 的串口通信系统的问题，也只侧重于串口通信方面。

由于网络技术和移动通信技术的迅猛发展和迅速普及，信息化和智能化已经广泛而深入地渗透到工业、民用的各个领域。单片机作为嵌入式系统的核心，其应用也势必从单机更多地转向网络应用。以我长期的教学和研究经验，认定单片机与网络方面的著作具有很高的理论和实践价值，应该会有良好的市场需求，拥有众多的读者。

本书虽然兴起于 2007 年年初，但是真正下笔却是在 2008 年 2 月，那让人难忘的大雪时节。随着窗外雪花的不断飘落，地上的积雪越来越厚，书稿的构思和框架也渐渐变得清晰，项目实验在大雪纷飞中一个一个展开。更有意思的是，本书成稿却是在 2013 年 8 月，浙江大地历史性地、罕见地持续一个多月的 40℃ 以上的高温。这一冷一热，一始一终，多少让人觉得有点儿玄机和神秘。

应该说，凡事总需要积累。前两本书的写作，让我积累了一定经验，也吸取了不少教训。但是不管怎样，有一点是我一直会坚持的，事实上，在这本书的写作中也认真地做到了，那就是写的东西必须能打动自己，必须写得真、写得实，要站在读者的角度去写作。所谓真，就是要真正经历过实验、经得起检验，不能东拼西凑、人云亦云；所谓实，就是要以实际案例为主线，把问题写得透、写得明白，书中涉及内容必须做到完全公开、毫无保留，读者阅读后，可以非常方便地自我实践，并在此基础上扩展和调整为自己的应用系统。

掐指一算，本书历经 7 个年头，断断续续，似乎有点漫长。在这个功利和浮躁的年代，要坚持实在不容易。也正因为如此，尽管我没有奢望这会是一本经典巨制，但是我真诚地希望它能够在我前两本书的基础上有所提升和突破，能够对读者产生切实的影响，有实际的帮助，因而也希望得到读者的欢迎和认可。

参加本书编写的还有章清、沈翊、章英、涂强、吴代赦、许黎英、严力校、杨斌、竺大增、葛洪良、茅木泉、方陆明等。

最后，必须要感谢直接或间接地帮助我完成此书写作的所有支持者，因为有你们，7 年的旅程，我才走得有依靠，走得不孤单。

著 者

目录

<<<<< CONTENTS

第 1 章 单片机通信系统调试技术	(1)
1.1 通信和组网技术在单片机系统中的应用	(1)
1.1.1 串口通信方式及其应用	(1)
1.1.2 RS-485 总线通信方式及其应用	(2)
1.1.3 RF 无线通信方式及其应用	(2)
1.1.4 GSM/GPRS 无线通信方式及其应用	(3)
1.1.5 其他通信方式及其应用	(3)
1.2 单片机通信系统调试	(4)
1.2.1 单片机系统调试的一般方法	(4)
1.2.2 单片机系统调试的两种常用方法	(5)
1.2.3 零仿真器的单片机系统调试	(5)
1.3 基于 STC 单片机的双串口单片机通信系统通用实验平台 SY-1	(6)
1.3.1 SY-1 的设计	(6)
1.3.2 SY-1 的分析	(6)
1.4 基于单片机通信通用实验平台 SY-1 的单片机系统调试实证	(8)
1.4.1 实证系统的基本功能及其特性	(8)
1.4.2 焊接总装与短路检测	(9)
1.4.3 基本硬件模块正确性确认	(9)
1.4.4 功能模块的分块调试	(11)
1.4.5 零仿真器的状态观察法统调	(15)
第 2 章 基于 RS-232 的单片机串行通信	(26)
2.1 导论	(26)
2.2 基于 RS-232 的点对点串行通信	(26)
2.2.1 基于 RS-232 的 PC 与单片机串行通信	(27)
2.2.2 基于串口的单片机与单片机串行通信	(42)
2.3 基于 RS-232 的单片机多点串行通信	(52)
2.3.1 基于 RS-232 的单片机多点串行通信的硬件设计	(53)
2.3.2 基于 RS-232 的单片机多点串行通信的软件设计	(54)

2.4 RS-232 串行通信中的波特率自整定与自适应	(66)
2.4.1 单片机系统中波特率自整定算法	(66)
2.4.2 单片机系统中波特率自整定程序	(67)
2.5 串行通信系统调试经验共享	(74)

第3章 基于 RS-485 的分布式数据采集系统 (75)

3.1 RS-485 串行总线及其特性	(75)
3.1.1 RS-422/RS-485 串行总线产生的背景	(75)
3.1.2 RS-485 串行总线的接口标准	(75)
3.2 RS-485 串行总线单片机网络组建的技术要点	(76)
3.2.1 RS-485 串行总线单片机网络的拓扑结构	(77)
3.2.2 RS-485 串行总线单片机网络的通信规则	(77)
3.2.3 RS-485 串行总线单片机网络的可靠措施	(78)
3.3 RS-485 串行总线接口设计	(80)
3.3.1 RS-485 总线接口芯片	(80)
3.3.2 RS-485 总线接口电路	(81)
3.4 基于 RS-485 串行总线的分布式数据采集系统	(81)
3.4.1 分布式数据采集系统单片机网络	(81)
3.4.2 分布式数据采集系统单片机网络与 PC 的连接	(82)
3.5 基于 RS-485 串行总线的分布式数据采集系统的硬件设计	(82)
3.5.1 分布式数据采集系统的主节点设计	(82)
3.5.2 分布式数据采集系统的从节点设计	(84)
3.5.3 232/485 智能转接卡设计	(86)
3.6 基于 RS-485 串行总线的分布式数据采集系统的软件设计	(86)
3.6.1 主节点的软件设计	(87)
3.6.2 从节点的软件设计	(101)
3.6.3 上位机软件设计	(110)
3.7 RS-485 串行总线应用系统调试要略	(124)
3.7.1 设计中应注意的基本问题	(125)
3.7.2 调试技巧	(125)

第4章 基于无线遥控模块改造的简易数据传输系统 (127)

4.1 微波及其主要特性	(127)
4.1.1 什么是微波	(127)
4.1.2 微波的主要特性	(127)
4.2 一种简易微波通信——基于无线遥控模块改造的实现策略	(128)
4.2.1 无线遥控模块	(128)
4.2.2 无线遥控发射模块的改造	(129)
4.2.3 无线遥控接收模块的改造	(130)

4.3	基于无线遥控模块的微波通信系统硬件设计	(131)
4.3.1	系统拓扑形式	(131)
4.3.2	发射节点(模块)的硬件设计	(132)
4.3.3	接收节点(模块)的硬件设计	(133)
4.4	基于无线遥控模块的微波通信系统软件设计	(133)
4.4.1	发射节点的软件设计	(133)
4.4.2	接收节点的软件设计	(138)
4.5	基于无线遥控模块的微波通信系统性能指标实测及其方案改进	(143)
4.5.1	系统实物	(143)
4.5.2	运行结果	(144)
4.5.3	改进方案	(145)

第5章 基于 GSM 模块和短消息的监控系统 (146)

5.1	GSM 网络与 GSM 模块	(146)
5.1.1	移动通信与 GSM 网络	(146)
5.1.2	GSM 模块及其应用	(147)
5.2	短消息应用于测控系统的基本原理	(149)
5.2.1	短消息及其种类	(149)
5.2.2	短消息用于监控的基本原理	(149)
5.3	基于 GSM 和短消息的监控系统硬件	(151)
5.3.1	总体设计	(151)
5.3.2	分模块设计	(152)
5.3.3	经验共享	(155)
5.4	基于 GSM 和短消息的监控系统软件总体设计	(156)
5.4.1	功能定位与总体设计	(156)
5.4.2	关键问题与经验共享	(158)
5.5	基于 GSM 和短消息的监控系统分模块程序设计	(159)
5.5.1	串口初始化与接收、发送	(159)
5.5.2	GSM 模块初始化	(163)
5.5.3	短消息删除与接收	(164)
5.5.4	控制输出与短消息回送	(165)
5.5.5	主模块与看门狗处置	(165)
5.5.6	总源程序	(168)
5.5.7	经验共享	(183)
5.6	系统调试与实际结果	(183)
5.6.1	系统调试要点	(183)
5.6.2	系统运行与结果	(184)

第 6 章	基于 GPRS 模块的数据传输系统	(186)
6.1	GSM 模块与 GPRS 数据传输功能	(186)
6.1.1	何谓 GSM 模块的 GPRS 数据传输功能	(186)
6.1.2	什么场合需要使用 GPRS 数据传输	(187)
6.1.3	GPRS 数据传输的基本原理	(187)
6.2	GPRS 数据传输系统的一种常用模式	(188)
6.2.1	GPRS DTU + TCP 服务器 (TCP Server) 模式	(188)
6.2.2	基于 GPRS DTU+TCP 服务器 (TCP Server) 模式数据传输的基本流程	(189)
6.2.3	GPRS 数据传输的环境要求及其配置	(189)
6.2.4	GPRS 数据传输系统的通信测试	(195)
6.3	基于 GPRS 的数据传输系统的硬件设计	(197)
6.3.1	功能要求与总体设计	(197)
6.3.2	系统分析	(197)
6.4	基于 GPRS 的数据传输系统的程序设计	(199)
6.4.1	功能规划	(199)
6.4.2	模块设计	(199)
6.4.3	程序流程	(200)
6.4.4	总源程序	(203)
6.5	系统调试与系统运行	(225)
6.5.1	系统调试	(225)
6.5.2	系统运行	(226)
6.6	经验共享——TCP&UDP 工作模式及其选用	(227)
第 7 章	基于 CC1101 无线模块的无线传感器网络	(229)
7.1	CC1101 及其基本特性	(229)
7.1.1	CC1101 的基本特性	(229)
7.1.2	CC1101 的应用	(230)
7.2	CC1101 的应用设计要略	(230)
7.2.1	CC1101 应用设计中的主要问题	(230)
7.2.2	CC1101 的配置问题	(236)
7.2.3	CC1101 的配置示例	(238)
7.3	基于 CC1101 模块的无线传感器实验系统硬件	(241)
7.3.1	总体设计	(242)
7.3.2	单片机最小系统	(243)
7.3.3	人机界面	(243)
7.3.4	CC1101 模块及其电源	(243)
7.3.5	实验系统实物	(244)
7.3.6	经验共享	(245)

7.4 基于 CC1101 模块的无线传感器实验系统软件——固定长度	(245)
7.4.1 总体设计	(245)
7.4.2 主节点程序设计	(246)
7.4.3 从节点程序设计	(263)
7.4.4 经验共享	(270)
7.5 基于 CC1101 模块的无线传感器实验系统软件——可变长度	(271)
7.5.1 总体设计	(271)
7.5.2 主节点程序设计	(284)
7.5.3 从节点程序设计	(286)
7.5.4 经验共享	(289)
7.5.5 通信的容错性优化	(289)
7.6 无线传感器网络的关键问题	(290)
参考文献	(291)

第 1 章

单片机通信与组网技术实例详解

单片机通信系统调试技术

1.1 通信和组网技术在单片机系统中的应用

随着电子技术、计算机技术的发展,电子产品日益智能化、网络化。网络化的电子产品应用于工业、农业和家居等各个领域,大家经常听到的智能家居、感知中国的物联网等,其核心就是通信系统。电子产品网络化的基础是通信系统和通信技术。了解通信技术,掌握通信技术,对于电子工程师来说,已经不再是可选项,而是一个必选项。现在,对单片机系统中的通信和组网技术做一简单综述。

1.1.1 串口通信方式及其应用

这里所说的串口通信方式是指基于通用异步接收/发送装置(UART, TTL 电平)和基于 RS-232C 标准的通信方式,两者可以通过 232 转接芯片实现转接。常用的 232 转接芯片,如 MAX232、HIN232 等。串口通信是单片机系统使用最简单、最广泛的通信方式,也是传统电子产品尤其是工业设备间通信的主要方式。例如,可编程控制器(PLC)至今仍保留串口,作为与 PC 和其他设备互连通信的接口。

近年来,由于 PC 系统已逐步取消作为标准接口的串口,只在工业控制计算机(IPC)和部分商用计算机中还保留串口,因此限制了串口通信方式的继续发展。为避免在没有串口、只有 USB 接口的 PC 上使用串口通信方式,现在广泛使用 USB-232 转接电缆或者转接头,以弥补 PC 没有串口的不足,满足基于串口通信方式的应用需要。

串口通信的特点是速度较低,标准串口的最高波特率为 115 200bps,即如果串行通信的数据位为 8,1,1(8 为数据位,1 为停止位,1 为起始位),则相当于 11 520B/s。基于 RS-232C 标准的串口,其理论通信距离为 30m。经过试验表明,实际应用可以突破该距离,波特率越低,通信距离相应就越远。

目前串口通信最常用的是三线制通信形式,即地、接收、发送。



1.1.2 RS-485 总线通信方式及其应用

为提高负载能力,加大通信距离,在 RS-232C 串行通信接口标准的基础上,扩展了一种 RS-485 的通信接口。它是一种半双工的串行通信。另一个标准 RS-422 接口为全双工串行通信接口标准。两者均采用差模传输,因此其通信距离理论上可以达到 1200m,被广泛应用于现代农业、消防监控、智能小区、门禁系统等。

UART 经过 485 转换器,即可实现 RS-485 标准,常用的转换器如 MAX485 等。基于 RS-485 标准的串行通信,其程序设计很多方面类似于串口通信,只是在收/发方向切换,以及发送信息分为地址帧和数据帧等方面需要特别注意。

1.1.3 RF 无线通信方式及其应用

RF (Radio Frequency, 射频)是指范围在 300kHz~30GHz 之间的电磁频率。RF 无线通信方式主要应用于报警和安全系统、家庭自动化控制、自动测试系统、车辆安全系统、遥控装置、工业控制、短距无线通信等领域。典型的 RF 无线通信方式如 ZigBee、蓝牙、Wi-Fi 等。

1. ZigBee

ZigBee 是一种新兴的短距离低速率 (20~250kbps) 无线网络技术,在中国被译为“紫蜂”,它与蓝牙技术相类似,是一种短距离无线技术,其特点是协议简单,功耗低 (在低功耗待机模式下,两节普通 5 号干电池可使用 6 个月以上,这也是它一直引以为豪的独特优势),成本低 (比起基于蓝牙技术的芯片更具价格竞争,价格约为蓝牙芯片的 1/10),高容量 (每个 ZigBee 设备可以与另外 254 台设备相连接),距离短 (有效覆盖范围为 0~75m,具体依据实际发射功率的大小和各种不同的应用模式而定,基本上能够覆盖普通的家庭或办公室环境),工作频段灵活 (使用的频段分别为 2.4GHz、868MHz (欧洲) 及 915MHz (美国),均为免执照频段)。ZigBee 是当今物联网中被广泛使用的一种技术,应用于无线传感器的组网。

2. 蓝牙

蓝牙 (Bluetooth) 是一种短距离无线通信技术,是由瑞典电信巨头爱立信公司发明的。通过芯片上的无线接收器,配有蓝牙技术的电子产品能够在 10m 的距离内彼此通信,传输速率可以达到 2MB/s,能够在移动电话、PDA、无线耳机、笔记本电脑、相关外设等众多设备之间进行无线信息交换。蓝牙突破了以往红外线接口的传输技术需要电子装置在视线之内的制约。工作频段为 ISM 工业频段,即 2.4GHz。

3. Wi-Fi

Wi-Fi (Wireless Fidelity, 无线相容性认证) 的正式名称是“IEEE802.11b”,与蓝牙技术一样,同属于在办公室和家庭中使用的短距离无线技术。虽然在数据安全性方面,该技术比



蓝牙技术要差一些,但是在电波的覆盖范围方面则要略胜一筹。Wi-Fi 的覆盖范围则可达 300ft 左右(约合 90m)。一般工作在 2.4GHz 或 5.0GHz 工作频段。

1.1.4 GSM/GPRS 无线通信方式及其应用

GSM (Global System For Mobile Communications, 全球移动通信系统)是由欧洲电信标准组织 ETSI 制定的一个数字移动通信标准,它的空中接口采用时分多址技术。自 20 世纪 90 年代中期投入商用以来,被全球超过 100 个国家采用。GSM 是当前应用最为广泛的移动电话标准。GSM 采用拨号方式的电路交换数据以达到传送数据的目的。

GPRS (General Packet Radio Service, 通用分组无线服务)是利用“包交换”(Packet-Switched)的概念所发展出的一套基于 GSM 系统的无线传输方式。所谓的包交换就是将 Data 封装成许多独立的封包,再将这些封包一个一个地传出去,形式上有点类似寄包裹。采用包交换的好处是只有在有资料需要传送时才会占用频宽,而且可以以传输的资料量计价,这对用户来说是比较合理的计费方式,因为像 Internet 这类的数据传输,大多数的时间频宽是闲置的。

相对于 GSM 拨号方式的电路交换数据传送方式,GPRS 是分组交换技术,具有“实时在线”、“按量计费”、“快捷登录”、“高速传输”、“自如切换”等优点。

利用 GSM/GPRS 优良的基础设施、广泛的信号覆盖、低廉的通信成本,可以实现远程数据传输和通信。

1.1.5 其他通信方式及其应用

► 1. CAN 总线通信方式

CAN 是 Controller Area Network 的缩写(以下称为 CAN),是 1986 年由德国博世(BOSCH)公司开发的面向汽车的通信协议。此后,CAN 通过 ISO11898 及 ISO11519 进行了标准化,现在在欧洲已经是汽车网络的标准协议。CAN 以其高性能和可靠性被广泛认同并应用于工业自动化、船舶、医疗设备、工业设备等方面。CAN 属于现场总线的范畴,它是一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通信网络。较之目前许多基于 RS-485 构建的分布式控制系统而言,基于 CAN 总线的分布式控制系统具有明显的优越性:网络各节点之间的数据通信实时性强;CAN 具有的完善通信协议可由 CAN 控制器芯片及其接口芯片来实现,从而大大降低系统开发难度,缩短了开发周期;已形成国际标准的现场总线,是最有前途的现场总线之一;与一般的通信总线相比,CAN 总线的数据通信具有突出的可靠性、实时性和灵活性。

► 2. I²C 总线通信方式

I²C (Inter-Integrated Circuit) 总线是由 Philips 公司开发的两线式串行总线,用于连接微控制器及其外围设备,是微电子通信控制领域广泛采用的一种总线标准。它是同步通信的一种特殊形式,具有接口线少,控制方式简单,器件封装形式小,通信速率较高等优点。两线——串行数据(SDA)和串行时钟(SCL)线在连接到总线的器件间传递信息。每个器件都有一



个唯一的地址识别（无论是微控制器——MCU、LCD 驱动器、存储器或键盘接口），而且都可以作为一个发送器或接收器（由器件的功能决定）。

➤ 3. Internet 通信方式

嵌入式系统接入融合 ISP 和 EMIT 技术，实现仪器仪表系统的 Internet 接入。伴随着网络技术的飞速发展，Internet 技术正在逐渐向工业控制和智能仪器仪表系统领域渗透，以实现智能仪器仪表系统基于 Internet 的通信能力以及对设计好的智能仪器仪表系统进行远程升级、功能重置和系统维护。EMIT 嵌入式微型因特网互联技术是 emWare 公司提出的，它是一种将单片机等嵌入式设备接入 Internet 的技术。利用该技术，能够将 8 位和 16 位单片机系统接入 Internet，实现基于 Internet 的远程数据采集、智能控制、上传/下载数据文件等功能。目前美国 ConnectOne 公司、emWare 公司、TASKING 公司和国内的 P&S 公司等均提供基于 Internet 的 Device Networking 的软件、固件（Firmware）和硬件产品，如 AVR 单片机系列 ENC28j60 网络模块（ENC28j60 Ethernet Interface Module），国内北京博创自动化技术有限公司推出的串口到以太网模块系列（WIZ110SR）等。相信在不远的将来，会有较多的单片机内嵌 Internet 功能模块诞生。

1.2 单片机通信系统调试

1.2.1 单片机系统调试的一般方法

单片机系统调试一般是指单片机系统的硬件调试和软件调试两部分。

➤ 1. 硬件调试

硬件调试包括两个方面：原理设计正确与否（各模块设计是否合理、引脚分配和连接关系是否正确），电路板焊接总装是否正确（电路板是否存在粘连或断线等缺陷、元器件是否弄错型号或插错位置、焊接是否存在虚焊）。前者主要是基于学识、经验，通过查阅相关模块资料和比对原理图来逐一核实解决；后者主要是基于经验、细心，通过万用表逐点仔细检查电路板空板、核对元器件型号和位置、用万用表通、断挡（二极管/蜂鸣器挡）检查所有焊接点的通、断情况来解决。

➤ 2. 软件调试

软件调试包括两个方面：是否存在语法错误（源程序必须符合所用语言的基本规范和语法要求）、程序功能是否正确（连接关系定义是否符合原理图、各子程序或函数是否存在逻辑错误不能实现相应功能）。前者通常可由相应的开发环境自动查找，例如采用 C 语言编写的源程序可由 Keil 等开发环境通过编译链接（很多系统称之为“组建”）环节查找错误所在；后者则必须依赖一定的手段，例如 Debug 调试手段，运用单步、断点运行等方法实现。

硬件和软件的调试分别完成后，可以通过 Proteus 仿真软件进行统调，以发现硬件和软件联合后能否实现相应的设计目标和要求，也可以通过将程序写入系统，进行软/硬件统调，



通过观察系统运行效果以确定系统的设计正确性。

1.2.2 单片机系统调试的两种常用方法

通常单片机系统的程序开发与调试需要使用仿真器，尤其是初学者往往更加依赖它。什么是仿真器呢，下面简单做一下介绍。

仿真器(emulator)常被翻译为“模拟器(simulator)”，这是过去的翻译错误造成的，现已约定俗成。

仿真器是用以实现硬件仿真的硬件。仿真器可以实现替代单片机对程序的运行进行控制，例如单步，全速，查看资源断点等。尽管软件仿真具有无须搭建硬件电路就可以对程序进行验证的优点，但无法完全反映真实硬件的运行状况，因此还要通过硬件仿真来完成最终的设计确认。目前的开发过程中硬件仿真是必需的。

使用仿真器开发必须要注意以下问题。仿真器的可靠性非常依赖于其设计者的水平。随着电子设备的复杂化，使用仿真器进行开发调试的用户越来越难以辨别开发所遇到的问题出于何处。而基于对仿真器的信赖，用户将首先怀疑问题出自设计本身。如果用户在耗费大量精力后最终发现问题来自仿真器，那么该用户可能会对所有仿真器失去信任而放弃使用。也正因为如此，部分用户认为仿真器不可靠，在开发中很少或不使用仿真器。

所以说，使用仿真器进行程序的开发调试虽能方便、快捷地查找和排除硬件设计和程序设计中的问题，但前提是必须选择高可靠性的仿真器。目前，性能稍好的仿真器的市场售价多在千元以上，对于初学者和学生来说，普及往往是不太现实的。

综上所述，单片机系统调试的常用方法有两种：一种是基于仿真器的调试方法，另一种是没有仿真器的调试方法，即零仿真器的单片机系统调试方法。笔者个人倾向于建议大家采用并且熟练掌握没有仿真器的单片机程序开发调试方式。

1.2.3 零仿真器的单片机系统调试

首先，根据设计要求设计并焊接完成一个符合要求的硬件系统。几乎所有的系统都会包括必要的人机交流的通道。人机交流通道可能是一个简单的发光二极管或者蜂鸣器，复杂的可能是串口通信口或者 LCD 显示屏等。

然后写一个最简单的验证程序，比如让发光二极管连续闪烁。程序编译后烧写到单片机芯片中，初步验证硬件系统的基本模块（主要是复位模块、时钟电路、电源和串行口等）是否工作正常。

完成上述两步后按以下思路和原则进行调试。

零仿真器的单片机系统调试虽然具有投入少的特点，但是必须具备必要的条件。如果所选用单片机不具有在线烧写(IAP)或在系统烧写(ISP)程序的能力，则必须配备一个编程器，用于将机器码程序烧写到单片机；如果所选用的单片机具有 ISP 或 IAP 能力，则只要具有烧写电缆即可。

对于采用零仿真器的单片机系统调试者，如果熟悉 Proteus 仿真软件并且有这个软件，则可以尝试先用该软件对单片机系统进行虚拟仿真，以检查硬件和软件是否基本达到设计要



求。如果不能,则必须重新分别调试硬件和软件;如果没有 Proteus 仿真软件或者不愿意进行虚拟仿真的,则只能采取以下调试办法:以 51 系列单片机为例,通常的编译开发环境是 Keil μ Vision2 或者 Keil μ Vision 3。在此环境下,采用零仿真器的单片机系统调试步骤如下。

第一步:通过组建机器码 hex 文件排除所有语法错误。

第二步:分步调试各个模块的相关函数。

(1)把程序里的纯软件部分(即不包括对硬件的输入/输出控制的程序)逐一提取出来(或用注释方式屏蔽掉),组成单独可以运行的调试程序,通过 Debug 中的单步(Step Into、Step Over)、运行到光标处(Run To Cursor Line),调试通过。

(2)分步调试各个模块的相关函数。例如,某系统由串行通信模块、显示模块和 A/D 转换模块等三部分组成。在设计好这三个模块相应的程序后(表现为若干函数),然后分三次把这些函数各自组建成一个完整的用于验证正确性的工程。经组建后生成 hex 文件,烧写到单片机系统内。根据显示和系统的实际运行结果逐步判断程序中的问题,逐步排除。每次程序更改后都重新烧写程序。如果在程序验证中遇到问题但是无法判断是什么具体状况,则可在程序中加入一些调试手段,如通过串口发送一些信息到 PC 端的超级终端上或串口精灵等调试软件,即可了解程序的运行情况;也可在适当位置加发光二极管显示或蜂鸣器指示来反映运行状态,通过这些手段可比较快速地定位程序中的功能性错误。

第三步:程序统调。将第二步调试后的程序,恢复所有被提取或屏蔽掉的设计硬件操作的程序段,然后在 Debug 状态下,通过设置断点(BreakPoints),在“watches”窗口中观察并人为修改硬件引脚的状态以模拟程序的执行状态,实现对程序的统调。

第四步:烧写程序并观察程序运行外部状态。将程序直接烧写到单片机,然后开机让系统工作,通过查看系统的外部特征和动作情况,判断系统存在的问题以及问题所在的部位。这一步需要一定的技巧,对调试者也是一个考验。

为详细阐述上述一般步骤,1.3 节将首先介绍一个系统硬件设计实例,1.4 节将通过例解的方式具体讨论该方法的应用要领。

1.3 基于 STC 单片机的双串口单片机通信系统通用实验平台 SY-1

1.3.1 SY-1 的设计

为通过具体例子阐述单片机系统调试问题,特设计了一个基于 STC 单片机的双串口单片机通信系统通用实验平台。该实验平台以 STC12C5A16S2 为核心,能够实现双串口功能或者 1 个为 232 串口、1 个为 485 串口,系统自带 USB-232 转换电路,可以通过 USB 直接在系统烧写程序(ISP),系统设计有 1602 字符点阵液晶模块接口。STC12C5A16S2 单片机的具体性能和功能参见该芯片的官网资料(www.stcmcu.com)。

1.3.2 SY-1 的分析

结合图 1-1 做简单分析。

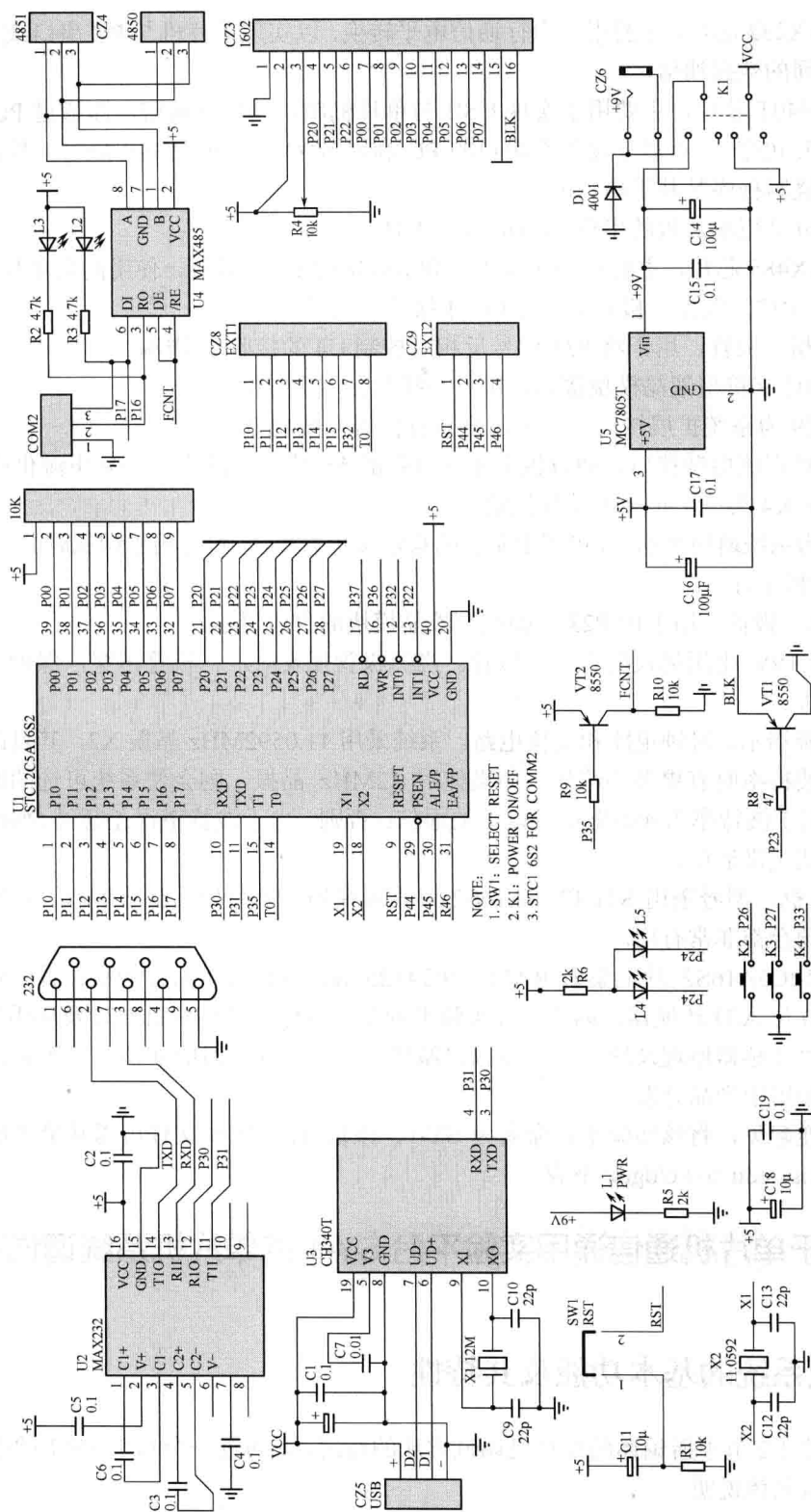


图 1-1 基于STC81C516S2的双串口单片机通信系统通用实验平台