

JIYU MSP430 DE QIANRUSHI XITONG KAIFA YU YINGYONG

基于MSP430的 嵌入式系统开发与应用

周金治 徐霞 赵海霞 编著
栗思科 审校



化学工业出版社

014011347

JIYU MSP430 DE QIANRUSHI XITONG KAIFA YU YINGYONG

TP368.1
799

基于MSP430的 嵌入式系统开发与应用

周金治 徐霞 赵海霞 编著
栗思科 审校



化学工业出版社



北航

C1697523

TP368.1

799

738110310

本书系统地讲解了 MSP430 系列单片机的开发与应用, 内容主要包括: MSP430 单片机的最小系统设计, 时钟、定时器、I/O、ADC、键盘、LCD 模块的设计, 传感器、音频信号分析、嵌入式远程监测的设计等。在此基础上讲解了心率仪、酒精检测仪、示波器、智能水表等作者多年来的 MSP430 单片机开发应用实例。本书在讲解每部分设计思路的同时均配有实验代码, 能够帮助读者快速理解并掌握 MSP430 单片机的开发技巧。

本书内容丰富实用、由浅入深, 讲解精炼到位, 适合从事单片机开发的技术人员学习使用, 也可用作大中专院校及高等院校电子、自动化等相关专业的教材和参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

基于 MSP430 的嵌入式系统开发与应用 / 周金治, 徐霞, 赵海霞编著. —北京: 化学工业出版社, 2013.7
ISBN 978-7-122-17521-2

I. ①基… II. ①周… ②徐… ③赵… III. ①单片微型计算机-系统设计 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 116305 号

责任编辑: 李军亮 要利娜

装帧设计: 王晓宇

责任校对: 宋 玮

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17½ 字数 434 千字 2013 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

前言

Foreword

随着计算机技术的不断进步,在不断积累和创新中,嵌入式微处理器正朝着超低功耗、小型化、高集成度方向发展。单片机技术已经渗透到了生产和生活的各个领域,在工业控制、仪器仪表、家用电器、计算机网络通信、医疗设备、汽车设备等领域中得到非常广泛的应用。单片机以其价格低、简单易用、应用广泛在现代嵌入式开发中占有重要的地位。

MSP430 系列超低功耗单片机是 TI 公司于 1996 年开始推出的超低功耗 16 位单片机,自推出以来,凭借其自身优良的性能、方便灵活的开发方式、丰富的技术资料,在国内非常快速地发展开来。MSP430 系列单片机为混合信号处理器 (Mixed Signal Processor),混合信号处理器是针对实际应用需求,将多个不同功能的模拟电路、数字电路模块和微处理器集成在一个芯片上,以提供“单片机”解决方案。它的存储器模块是目前业界所有内部集成 Flash 存储器产品中能耗最低的一种,功耗仅为其他 Flash 单片机的五分之一。MSP430 是一种基于精简指令集 (RISC) 的 16 位混合信号处理器,专为满足超低功耗需要而精心设计,其高度灵活的定时系统、多种低功耗模式、即时唤醒以及智能化自主型外设,不仅可实现真正的超低功耗优化,同时还能大幅延长电池寿命。

MSP430 单片机可采用汇编语言或 C 语言进行程序设计,使用 IAR Embedded Workbench 嵌入式工作台以及 C-SPY 调试器进行程序调试。IAR Embedded Workbench 为开发不同目标处理器的项目提供强有力的开发环境,并为每一种目标处理器提供工具。Workbench 为开发和管理 MSP430 嵌入式应用程序提供了极大便利。JTAG (Joint Test Action Group) 技术是一种边界扫描技术标准,它是为了在线测试的需要而发展起来的针对芯片及线路板测试的接口技术。MSP430 系列单片机支持 JTAG 调试,其硬件仿真器是一个简单的并口转接器,并且适用于所有的 MSP430 单片机,既降低了开发成本,也相对缩短了开发周期。

本书结构

本书分为两部分:基础篇和实践篇。基础篇中从单片机介绍开始,讲解支撑 MSP430 单片机运行起来的最小系统设计,进而分别介绍单片机内部非常重要的时钟、定时器、I/O、ADC 等,以及外部扩展的键盘、LCD 等的程序设计,帮助读者快速进入单片机学习的状态。实践篇中,选择了编者多年单片机开发实践中,相对成熟完整的一些设计作品作为实例,供读者参考学习。

本书特点

本书的特点:对单片机的讲解比较精炼,更侧重于编程实践。书中基础学习的部分提供了全部实验代码、电路图。在实践篇中,主要着重设计思路的讲解,给出比较关键的代码。笔者认为,对基础原理阐述过多,并不利于提高读者学习的兴趣,因而,希望读者能更注重视去自行设计单片机系统和编写程序,在其中找到学习的乐趣,即使遇上困难或迷惑,也能在

兴趣驱使下，借助互联网或其他方式去寻找更广阔的天空。

读者对象

- ❑ 单片机技术人员和爱好者
- ❑ 单片机培训老师和学生
- ❑ 大中专院校及高等院校相关专业学生

编者与致谢

本书主要由周金治、徐霞、赵海霞编著，粟思科审校。书中大量程序由郑希、王国辉、陈燕负责调试，他们同时也参与了本书的编写。此外，感谢西南科技大学信息工程学院网络技术实验室，感谢吴静、龙惠民老师，感谢李健、崔贺、张圆、李莲春、徐志华、徐海峰、杨彦超、曾波、徐超、赵雄、王屏华、罗丽、王萍、龙萍、程婵、刘从彬、王丹丹、孙悦、李慧芳等朋友对本书的大力支持，感谢李师师、郑希在后期书稿审阅时给予的帮助。

同时参与本书编写工作的人员还有：王治国、钟晓林、王娟、胡静、杨龙、张成林、方明、王波、陈小军、雷晓、李军华、陈晓云、方鹏、龙帆、刘亚航、凌云鹏、陈龙、曹淑明、徐伟、杨阳、张宇、刘挺、单琳、吴川、李鹏、李岩、朱榕、陈思涛和孙浩。

由于编者水平有限，书中难免有不当之处，恳请广大读者指正。读者有相关需求，请与我们联系，联系方式：hwhpc@163.com。

编著者

目 录

Contents

第1章 MSP430 基本性能及开发环境介绍

1

- 1.1 单片机概述 / 1
 - 1.1.1 单片机概念 / 1
 - 1.1.2 单片机发展历程 / 2
 - 1.1.3 单片机发展方向 / 3
 - 1.1.4 常用单片机介绍 / 5
 - 1.1.5 单片机的应用 / 8
- 1.2 MSP430 概述 / 11
 - 1.2.1 MSP430 的架构 / 11
 - 1.2.2 MSP430 存储器的结构和地址空间 / 14
 - 1.2.3 超低功耗 / 15
 - 1.2.4 片内外设 / 18
 - 1.2.5 MSP430 系列单片机命名规则 / 23
 - 1.2.6 MSP430 系列单片机选型 / 24
- 1.3 IAR Embedded Workbench / 36
 - 1.3.1 IAR Embedded Workbench 概述 / 36
 - 1.3.2 工程建立 / 38
 - 1.3.3 熟悉平台 / 45
- 1.4 本章小结 / 47

第2章 MSP430 最小系统

49

- 2.1 电源模块设计 / 49
 - 2.1.1 AMS1117 芯片 / 50
 - 2.1.2 系统电源电路 / 50
- 2.2 复位电路 / 51
- 2.3 时钟电路 / 52
- 2.4 JTAG 接口电路设计 / 52
- 2.5 本章小结 / 54

3.1 系统时钟 / 57

3.1.1 MSP430F1xx 系列单片机的时钟结构 / 57

3.1.2 晶体振荡器 / 58

3.1.3 寄存器说明 / 59

3.1.4 实验程序 / 61

3.2 定时器 / 62

3.2.1 看门狗定时器 / 62

3.2.2 定时器 A 的结构与工作原理 / 66

3.2.3 定时器 B 的结构与工作原理 / 71

3.2.4 定时器实验程序 / 76

3.3 本章小结 / 79

第4章 I/O 与中断

4.1 I/O 和中断原理介绍 / 81

4.2 I/O 端口配置操作 / 82

4.2.1 输入寄存器 / 82

4.2.2 输出寄存器 / 82

4.2.3 方向寄存器 / 82

4.2.4 上拉/下拉电阻使能寄存器 / 82

4.2.5 功能选择寄存器 / 82

4.2.6 P1 和 P2 中断 / 83

4.2.7 I/O 寄存器 / 83

4.3 I/O 端口实验程序 / 84

4.4 本章小结 / 85

第5章 键盘

5.1 按键基本介绍 / 87

5.2 设计原理 / 88

5.2.1 独立按键设计 / 88

5.2.2 矩阵键盘 / 89

5.3 键盘实验程序 / 90

5.4 本章小结 / 94

第6章 模数转换 ADC12

6.1 ADC12 结构介绍 / 95

- 6.2 ADC12 寄存器介绍 / 97
- 6.3 ADC12 实验程序 / 101
 - 6.3.1 实验程序一 / 101
 - 6.3.2 实验程序二 / 102
- 6.4 本章小结 / 103

第7章 LCD 设计应用

105

- 7.1 1602 液晶模块应用设计 / 105
 - 7.1.1 1602 液晶模块简介 / 105
 - 7.1.2 1602 液晶模块硬件设计 / 106
 - 7.1.3 1602 液晶模块软件设计 / 107
 - 7.1.4 1602 液晶模块程序设计 / 110
- 7.2 FM12232F 液晶模块应用设计 / 114
 - 7.2.1 12232F 液晶模块简介 / 114
 - 7.2.2 12232F 液晶模块硬件设计 / 115
 - 7.2.3 12232F 液晶模块软件设计 / 116
 - 7.2.4 12232F 液晶模块程序设计 / 120
- 7.3 12864 液晶模块应用设计 / 126
 - 7.3.1 12864 液晶模块简介 / 126
 - 7.3.2 12864 液晶模块硬件设计 / 127
 - 7.3.3 12864 液晶模块指令说明 / 128
 - 7.3.4 12864 液晶模块软件设计 / 130
- 7.4 本章小结 / 135

第8章 环境参数检测应用

137

- 8.1 光照信息检测 / 137
 - 8.1.1 光敏电阻介绍 / 137
 - 8.1.2 电路设计 / 137
 - 8.1.3 软件设计 / 138
 - 8.1.4 结论 / 138
- 8.2 DS18B20 温度检测 / 138
 - 8.2.1 DS18B20 介绍 / 139
 - 8.2.2 硬件接口电路设计 / 139
 - 8.2.3 软件设计 / 139
 - 8.2.4 程序实现 / 142
- 8.3 SHT10 温度、湿度检测 / 145
 - 8.3.1 SHT10 介绍 / 145
 - 8.3.2 硬件接口电路设计 / 146
 - 8.3.3 软件设计 / 146

8.3.4 实例程序 / 148

8.4 本章小结 / 153

第9章 音频信号分析

155

9.1 音频信号分析功能、原理及设计总体方案 / 155

9.1.1 音频信号分析功能及原理 / 156

9.1.2 总体设计方案 / 156

9.2 音频信号分析仪的硬件设计 / 156

9.2.1 输入模块电路设计 / 157

9.2.2 复位电路设计 / 159

9.2.3 JTAG 接口电路设计 / 160

9.2.4 本地显示模块电路设计 / 160

9.2.5 按键模块电路设计 / 161

9.2.6 系统电源电路设计 / 162

9.3 信号分析仪的软件电路设计 / 162

9.3.1 系统主函数设计 / 162

9.3.2 ADC 函数设计 / 166

9.3.3 FFT 函数设计 / 168

9.3.4 显示程序设计 / 171

9.3.5 数据处理程序设计 / 172

9.3.6 输入信号的总功率和各频率分量的频率和功率 / 172

9.3.7 失真度的分析与计算 / 173

9.4 信号分析仪的调试情况 / 173

9.4.1 小系统板的调试 / 173

9.4.2 输入模块电路的调试及结果 / 173

9.4.3 系统调试结果及误差分析 / 175

9.5 本章小结 / 177

第10章 嵌入式环境信息监测系统

179

10.1 总体设计 / 180

10.2 硬件设计 / 181

10.2.1 网络通信模块 / 181

10.2.2 信息采集 / 182

10.2.3 单片机系统和电源设计 / 184

10.3 软件设计 / 185

10.3.1 温湿度采集系统软件设计 / 185

10.3.2 数据长期存储设计 / 186

10.3.3 CS8900A 驱动程序 / 186

10.3.4 TCP/IP 协议精简 / 187

- 10.3.5 气体采集 / 187
- 10.3.6 扩展专用网络屏显示部分 / 188
- 10.4 系统功能测试 / 188
 - 10.4.1 系统基本功能测试 / 188
 - 10.4.2 系统扩展功能测试 / 189
- 10.5 本章小结 / 191

第 11 章 心率测量仪

193

- 11.1 心电信号的特性和设计要求 / 193
 - 11.1.1 心电信号的特殊性质 / 194
 - 11.1.2 相应的设计要求 / 195
 - 11.1.3 系统的设计思想 / 195
- 11.2 心率测量仪的硬件设计 / 196
 - 11.2.1 总体设计 / 196
 - 11.2.2 电源电路设计 / 196
 - 11.2.3 心电信号采集及预处理的电路设计 / 197
 - 11.2.4 时钟电路设计 / 199
 - 11.2.5 JTAG 接口电路设计 / 199
 - 11.2.6 复位电路设计 / 200
 - 11.2.7 MSP430FG439 与 PC 机的通信接口电路设计 / 200
 - 11.2.8 LCD 显示电路设计 / 201
 - 11.2.9 键盘电路设计 / 201
- 11.3 心率测量仪的软件设计 / 202
 - 11.3.1 心率信号处理与计算程序 / 202
 - 11.3.2 PC 机端口通信软件 / 205
- 11.4 调试 / 205
 - 11.4.1 系统硬件电路测试方法 / 205
 - 11.4.2 软硬件联合调试与分析 / 206
- 11.5 本章小结 / 206

第 12 章 无线环境监测系统

209

- 12.1 系统总体方案设计 / 210
 - 12.1.1 方案选择 / 210
 - 12.1.2 系统总体方案 / 210
- 12.2 硬件电路设计与计算 / 211
 - 12.2.1 发射电路设计 / 211
 - 12.2.2 发射电路计算 / 212
 - 12.2.3 接收电路分析 / 212
 - 12.2.4 接收电路设计与计算 / 214

- 12.2.5 信息采集电路设计 / 214
- 12.3 系统软件设计 / 214
 - 12.3.1 通信协议分析 / 214
 - 12.3.2 工作流程图通信协议分析 / 215
- 12.4 系统测试 / 222
 - 12.4.1 测量仪器 / 222
 - 12.4.2 测量方法 / 222
 - 12.4.3 测量数据完整性及结果分析 / 222
- 12.5 本章小结 / 223

第 13 章 基于 MSP430 的便携式酒精检测仪的设计

225

- 13.1 酒精浓度检测原理和总体方案设计 / 225
 - 13.1.1 酒精浓度检测原理 / 225
 - 13.1.2 总体方案设计 / 226
- 13.2 酒精检测仪的硬件设计 / 226
 - 13.2.1 电源电路设计 / 226
 - 13.2.2 复位电路设计 / 227
 - 13.2.3 时钟电路设计 / 228
 - 13.2.4 LCD 显示电路设计 / 228
 - 13.2.5 JTAG 接口设计 / 229
 - 13.2.6 酒精传感器检测酒精浓度信号接口电路设计 / 229
 - 13.2.7 信号调理电路设计 / 230
 - 13.2.8 报警电路设计 / 231
- 13.3 酒精检测仪的软件设计 / 231
 - 13.3.1 时钟选择程序设计 / 232
 - 13.3.2 初始化 SD16 模/数转换程序设计 / 232
 - 13.3.3 酒精浓度信号采样程序设计 / 233
 - 13.3.4 酒精浓度信号处理程序设计 / 234
- 13.4 酒精检测仪的调试情况 / 236
- 13.5 本章小结 / 237

第 14 章 基于 MSP430 的通用示波器图文显示系统

239

- 14.1 通用示波器图文显示系统设计的方案规划和论证 / 239
 - 14.1.1 主控单元 / 240
 - 14.1.2 X/Y 通道控制单元 / 240
 - 14.1.3 Z 通道控制单元 / 240
- 14.2 通用示波器图文显示系统的硬件设计 / 240
 - 14.2.1 硬件设计与实现 / 240
 - 14.2.2 MSP430F169 最小系统单元 / 241

- 14.2.3 X/Y 通道控制单元 / 242
- 14.2.4 Z 通道控制单元 / 242
- 14.2.5 人机接口单元 / 242
- 14.2.6 电源系统 / 242
- 14.2.7 电路抗干扰措施 / 243
- 14.3 通用示波器图文显示系统的软件设计与实现 / 243
 - 14.3.1 静态显示图像软件结构 / 243
 - 14.3.2 动态显示图像软件结构 / 244
 - 14.3.3 翻转显示图像软件结构 / 244
 - 14.3.4 动画显示图像软件结构 / 246
 - 14.3.5 扩展功能软件结构 / 246
 - 14.3.6 键控菜单系统设计 / 247
- 14.4 系统调试 / 249
 - 14.4.1 调试平台 / 249
 - 14.4.2 性能分析 / 249
 - 14.4.3 按键控制性能分析 / 250
- 14.5 本章小结 / 250

第 15 章 基于 MSP430 的智能水表设计

251

- 15.1 智能水表总体设计 / 251
- 15.2 智能水表的硬件设计 / 253
 - 15.2.1 串口通信模块电路设计 / 253
 - 15.2.2 流量检测电路设计 / 253
- 15.3 水表客户端软件设计 / 254
 - 15.3.1 数据库创建和访问 / 254
 - 15.3.2 利用 ADO 组件访问数据库 / 255
 - 15.3.3 水表管理系统工作流程 / 256
 - 15.3.4 按钮事件处理 / 256
- 15.4 水表客户端程序设计 / 258
 - 15.4.1 流量检测程序设计 / 258
 - 15.4.2 短信发送部分程序设计 / 259
- 15.5 系统测试和结果分析 / 259
- 15.6 本章小结 / 262

附录

263

参考文献

264

1

第1章

MSP430



MSP430 基本性能及开发环境介绍

随着计算机技术的不断进步，在不断积累和创新中，嵌入式微处理器正朝着超低功耗、小型化、高集成度方向发展。单片机技术已经渗透到了生产和生活的各个领域，得到非常广泛的应用。单片机以其价格低、简单易用、应用广泛在现代嵌入式开发中占有重要的地位。本章首先介绍单片机的基本概念、单片机的发展、主流单片机的性能特点以及单片机技术的应用情况；其次，介绍本书的核心 MSP430 单片机的基本特性、选型；最后，对开发环境的安装调试使用进行说明。

1.1 单片机概述

1.1.1 单片机概念

单片机是一种集成的电路芯片，也被称为微控制器（Microcontroller Unit），常用英文字母的缩写 MCU 表示。单片机是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器 CPU、随机存储器 RAM、只读存储器 ROM、多种 I/O 接口和中断系统、定时器/计时器、A/D 转换器等功能，集成到一块芯片上构成的一个小而完善的计算机系统。

单片机诞生于 20 世纪 70 年代末，经历了 SCM、MCU、SoC 三大阶段：SCM 即单片微型计算机（Single Chip Microcomputer）阶段；MCU 即微控制器（Micro Controller Unit）阶段；SoC 即片上系统（System on Chip）阶段。单片机作为微型计算机的一个重要分支，应用

面很广，发展很快。自单片机诞生至今，已发展出上百种系列的近千个机种。

国内从 20 世纪 80 年代起开始了单片机的热潮，二十多年过去了，单片机从研究所走出来，成为日常生活中的一个不可缺少的部件。单片机按照微处理器的字长可分为：4 位、8 位、16 位、32 位单片机处理器，各型号并存在不同领域；按结构形式分，单片机有两种基本的结构形式：冯·诺伊曼结构和哈佛结构。计算机采用冯·诺伊曼结构，程序数据存储器统一编址，物理上采用一个存储器；单片机主要采用哈佛总线结构，数据和程序存储器从物理上分开，从而更加突出了单片机方便灵活的控制特点。软件方面主要以汇编、C 语言、嵌入式操作系统为主。微处理器朝着面向数据运算、信息处理等功能的系统机的方向发展，速度

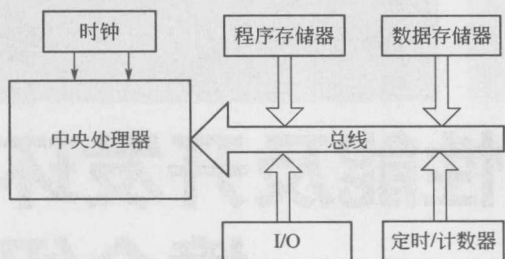


图 1-1 单片机结构框图

快、功能强、存储量大、软件丰富、输入输出设备齐全，适用于数据运算、文字信息处理、人工智能、网络通信、生产控制等多种场合。单片机的结构如图 1-1 所示，主要由中央处理器、存储器、时钟、I/O（输入/输出接口）接口、定时器、计数器构成，此外，对于后续发展的单片机来说，还集成了许多其他功能块，如 ADC、比较器等。

CPU：计算机的控制核心，用于执行指令，完成数据运算、逻辑运算，从而实现对整机的控制。

存储器：用于存储程序和数据。

I/O：CPU 与其他外部设备之间相连的逻辑电路，外部设备必须通过输入或输出接口与 CPU 相连实现控制和通信。

总线：CPU、存储器、I/O 接口和之间相连的一组线。用于传送程序或者数据的总线称为数据总线；地址总线用于传送地址，以识别不同的存储单元或 I/O 接口；控制总线用于控制数据总线上数据流传送的方向、对象等。

1.1.2 单片机发展历程

单片机诞生于 20 世纪 70 年代末，是一个集成了多种功能（CPU、定时器、RAM、ROM、I/O 等）的微型处理器。从 1970 年到现在的 40 多年中，单片机经历了以下几个阶段的发展。

（1）萌芽阶段

1971~1976 年为单片机的萌芽时期，是单片机初级发展阶段，该阶段旨在寻求如何以单片结构形式将单片机应用到系统内部，8008 是此阶段单片机的经典型号。在这一阶段，功能相对简单的 4 位单片机主要用作计算器中的控制部件和家用电器中。

（2）起步阶段

1976~1978 年，“单片机”一词在起步阶段诞生。这一阶段生产的单片机已是单块芯片，但其性能低、品种少、寻址范围有限、应用范围也不广。最经典的是 Intel 公司于 1976 年生产的 MCS-48，MCS-48 单片机由单片芯片组成，体积虽然较萌芽阶段有所减小，但该阶段单片机性能并没有得到多少提升且可选择种类非常少。它是现代单片机的雏形，包含了数字处理的全部功能。根据芯片内程序存储器的不同分为 8048（用 ROM 作程序存储器）、8748（采用 EPROM 作程序存储器）和 8035（片内无程序存储器）三种。MCS-48 内部集成了并行

口、中央处理器、定时器 Timer、随机存储器及只读存储器。虽然具有很少的 I/O 口，但这是一个真正意义的微型控制器，中央处理器的功能已经逐渐显现出来。在 20 世纪 80 年代，所有的电脑、电视以及常用的电器几乎均使用了 MCS-48 作为内部的主处理器。

(3) 体系相对完善阶段

在 MCS-48 的基础上，Intel 公司研究出性能更为优异的单片机 MCS-51。它有 8 位 CPU、4K 字节的 ROM、128 字节 RAM、4 个 8 位并口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时/计数器，寻址范围 64K，并有控制功能较强的布尔处理器。与 MCS-48 相比，MCS-51 的体系相对完善，具有相对较为完善的总线结构以及串行通信界面，中央处理器的功能更为强大，同时，具有更为丰富的指令集，并且增加了许多突出控制功能的指令。

(4) 8 位到 16 位单片机的阶段

单片机向尺寸更微小、性能更强大的方向发展。性能的强大主要表现在由之前的 8 位发展到现在的 16 位。该阶段的典型产品是由 Intel 公司推出的 MCS-96，MCS-96 集成了 16 位 CPU、8K 字节 ROM、232 字节 RAM、5 个 8 位并口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时/计数器，寻址范围 64K，片上有 8 路 10 位 A/D 转换器、一路 PWM 输出及高速 I/O 等，功能强大且减小了单片机的尺寸。由于 MCS-96 如此高的性价比，越来越多的厂家在生产产品时选择 MCS-96 作为其主控芯片，在此基础上可连接丰富的外围设备，简化了设计的繁琐度。

(5) 微小型单片机的阶段

在该阶段，单片机朝着更微型的方向发展，同时由 16 位提升到了 32 位，性能更强大，具有大范围的寻址功能，并且单片机已经应用到生活的各个领域，工业上用单片机实现自动控制，农业上使用单片机完成温室内温度、湿度、虫害等的检测与控制，生活中日常用到的家用电器都离不开单片机。20 世纪 90 年代，在分布控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大需求的牵引下，嵌入式系统飞速发展，而面向实时信号处理算法的 DSP 产品则向着高速度、高精度、低功耗的方向发展。随着硬件实时性要求的提高，嵌入式系统的软件规模也不断扩大，逐渐形成实时多任务操作系统（RTOS），并开始成为嵌入式系统的主流。

1.1.3 单片机发展方向

随着科技进步，单片机技术也进一步向着 CMOS 化、低功耗、小体积、大容量、高性能、低价格、外围电路集成化等几个方面发展。另外，单片机也有了新的发展方向，如嵌入式单片机和嵌入式 Internet 技术。有的单片机为了构成控制网络或形成局域网，内部含有局部网络控制模块 CAN。目前嵌入式 MCU 已在工业的各个领域和日常生活中都得到广泛的应用，但大多数嵌入式系统尚处于单独应用阶段。如果将这些互相独立的分散的嵌入式系统再连接到 Internet 上，就可方便、低廉地将信息传送到世界上几乎任何联网的地方。这类嵌入式 Internet 可以非常容易地实现远程数据采集、远程控制。在不久的将来，家庭信息交互、自动控制、远程升级、远程维护等都可在远程 Internet 上实现，这种家电网络化技术将改变人们的生活方式，提高人们的生活质量，将带动相关产业的迅猛发展。

纵观单片机的发展过程，单片机技术正朝着以下几个方向发展。

(1) 低功耗

随着对单片机功耗要求越来越低, MCS-51 系列的 8031 推出时的功耗达 630mW, 而现在的单片机普遍都在 100mW 左右, 现在各个单片机制造商基本都采用了 CMOS (互补金属氧化物半导体工艺), 功耗得以大幅度下降。Motorola 最近推出任选的 M.CORE 可在 1.8V 电压下以 50M/48MIPS 全速工作, 功率约为 20mW。CMOS 虽然功耗较低, 但由于其物理特征决定其工作速度不够高, 而 CHMOS 则具备了高速和低功耗的特点, 更适合于要求低功耗、电池供电的应用场合。超低功耗技术以其卓越的性能和较高的性价比, 使其在许多领域中都有越来越广泛的需求和应用, 如对便携式智能测量控制仪器的开发、各种数据采集系统的开发、各种智能控制仪表的开发、各种节能装置的开发等。以电池供电的应用越来越多, 而且由于产品体积的限制, 很多是用纽扣电池供电, 如无线传感器网络 (WSN)、手持式仪表、玩具等。这就要求系统功耗尽可能低。

(2) 微型单片化

现在常规的单片机普遍都是将中央处理器 (CPU)、随机存取数据存储 (RAM)、只读程序存储器 (ROM)、并行和串行通信接口、中断系统、定时电路、时钟电路集成在一块单一的芯片上。随着应用的复杂度的提高, 对处理器的功能和性能要求不断提高, 既要外设丰富、功能灵活, 又要有一定的运算能力, 能做一些实时算法。增强型的单片机集成了如 A/D 转换器、PMW (脉宽调制电路)、WDT (看门狗), 有些单片机将 LCD (液晶) 驱动电路都集成在单一的芯片上, 这样单片机包含的单元电路就更多, 功能就更强大, 相比用户独立设计外部设备, 将各功能模块进行集成, 会大大提高系统稳定性。单片机厂商还可以根据用户的要求量身定做, 制造出具有自己特色的单片机。此外, 现在的产品普遍要求体积小、重量轻, 这就要求单片机除了功能强和功耗低外, 还要求其体积要小。现在许多单片机都具有多种封装形式, 其中 SMD (表面封装) 越来越受欢迎, 使得由单片机构成的系统正朝微型化方向发展。

(3) 容量性能提升

随着单片机应用场合越来越多, 使用的算法复杂度和数据量也越来越大, 以往单片机内的 ROM 为 1~4KB, RAM 为 64~128B。但在需要复杂控制的场合, 该存储容量是不够的, 必须进行外接扩充, 设计外部存储电路。为了适应这种领域的要求, 运用新的工艺, 使片内存储器大容量化, 以提供更充足的存储空间。

微处理器发展中表现出来的速度越来越快是以时钟频率越来越高为标志的。而单片机则有所不同, 加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性并行, 为提高单片机抗干扰能力, 降低噪声, 降低时钟频率而不牺牲运算速度是单片机技术发展之追求。一些 8051 单片机兼容厂商改善了单片机的内部时序, 在不提高时钟频率的条件下, 使运算速度提高了很多, Motorola 单片机则使用了锁相环技术或内部倍频技术使内部总线速度大大高于时钟产生器的频率。68HC08 单片机使用 4.9MHz 外部振荡器而内部时钟达 32MHz, M68K 系列 32 位单片机使用 32kHz 的外部振荡器频率内部时钟可达 16MHz 以上。另外, 采用精简指令集 (RISC) 结构和流水线技术, 可以大幅度提高运行速度。现有单片机提升了速度并加强了位处理、中断和定时控制功能。这类单片机的运算速度比标准的单片机高出 10 倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度, 可以使用软件模拟其 I/O 功能, 由此引入了虚拟外设。

(4) 低电压化

通常,单片机工作电压在 3~6V,选择不同的工作模式、工作状态时,电压并不是固定不变的,大多数单片机都有唤醒、睡眠、等待等省电运行方式,因而允许使用的电压范围越来越宽。而近些年,对电池供电(纽扣电池、干电池等)应用的要求,低电压供电的单片机电源下限已可达 1~2V。目前 0.8V 供电的单片机已经问世。

1.1.4 常用单片机介绍

(1) 51 系列

51 单片机最早是由 Intel 公司生产的,51 内核被世界多家电子公司采用,例如:明基、飞利浦、STM 公司等。

当前常用的 51 系列单片机主要产品有:

- Intel 的 80C31、80C51、87C51, 80C32、80C52、87C52 等;
- Atmel 的 89C51、89C52、89C2051 等;
- Philips、华邦、Dallas、Siemens (Infineon) 等公司的许多产品。

Intel 的 51 系列在市场上占有相当大的比例,这与 51 系列优秀的性能分不开。51 系列的优点诸多,它有完整的按位操作系统,除能进行传送、置位、清零、测试等操作,还能进行位逻辑操作。随着技术的发展,其运行速度越来越快,晶振频率可从以前的 12MHz 可提升到 40MHz。I/O 脚的设置简单,使用方便,当该脚作为输入使用时,将其置为高电平即可;当该脚作输出使用时,则高低电平均可。

在 51 单片机系列中,随着制造工艺的飞速发展,越来越多新型单片机出现,使单片机的运行速度得到提升,同时引入了双数据指针及 ISP 功能。ISP 功能实现系统可编程功能,可以省去通用的编程器,单片机在用户板上即可下载和烧录用户程序,无需将单片机从生产好的产品上取下。未定型的程序还可以边生产边完善,加快了产品的开发速度,减少了新产品因软件缺陷带来的风险。

(2) AVR

AVR 单片机是 Atmel 公司推出的单片机,其显著的特点为高性能、高速度、低功耗。相比其他 8 位 MCU,AVR 8-Bit MCU 最大的特点是:哈佛结构,具备 1MIPS/MHz 的高速运行处理能力;超功能精简指令集 (RISC),具有 32 个通用工作寄存器,克服了如 8051 MCU 采用单一 ACC 进行处理造成的瓶颈现象;快速的存取寄存器组、单周期指令系统,大大优化了目标代码的大小、执行效率,部分型号 Flash 非常大,特别适用于使用高级语言进行开发。它取消机器周期,以时钟周期为指令周期,实行作业。AVR 单片机采用一定的指令长度,特定长度的精简指令简化了运算复杂度,提高了响应速度。AVR 单片机指令以字为单位,且大部分指令都为单周期指令。而单周期既可执行本指令功能,同时完成下一条指令的读取。通常时钟频率用 4~8MHz,故最短指令执行时间为 250~125ns。

由于 AVR 单片机如此优异的性能得到了很多厂家的拥护,特别在工业、农业以及电子领域。AVR 采用哈佛总线,寻址范围广、速度快,CPU 可通过寻址直接访问 ROM 和 RAM;包含 32 个通用寄存器,通用寄存器的主要作用是减少运行时间,当运行当前指令的同时,可通过通用寄存器将下一条需要执行的指令提前准备好。AVR 单片机功耗低、价格也相对低。