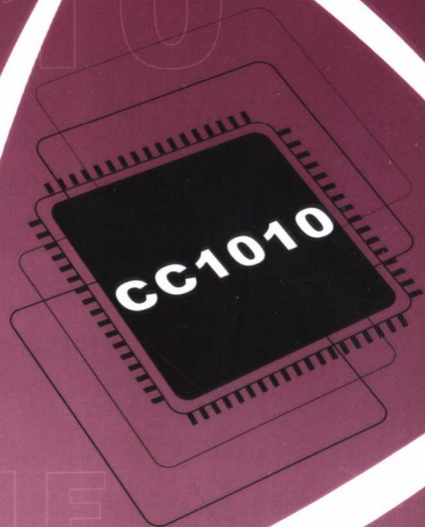


无线单片机技术丛书



CC1010无线SoC 高级应用

李文仲 段朝玉 等编著



北京航空航天大学出版社

无线单片机技术丛书

CC1010 无线 SoC 高级应用

李文仲 段朝玉 等编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以全球第1个真正的无线单片机(无线片上系统 SoC)CC1010 为中心,将 8051 C 语言编程和无线通信的原理结合起来,并与无线应用项目的设计技术连接起来进行介绍。对于初次接触单片机技术的读者,可以从单片机学习到无线项目设计一气呵成——采用与本书配套的 JXS-CC1010 实验平台,完成一次从单片机到无线应用产品设计的完整学习过程。对于已经具有单片机知识和有一定单片机开发经验的读者,也可以借助本书的学习流程和无线教学平台,从熟悉无线 SoC 的 CC1010 芯片结构开始,进入无线应用系统项目的设计。

本书可作为广大从事单片机、无线应用、自动化控制、工业控制、无线传感等的工程技术人员作为学习、参考用书,也可作为高等院校的计算机、电子、自动化等专业无线通信课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

CC1010 无线 SoC 高级应用/李文仲等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2007. 8

ISBN 978-7-81124-212-6

I. C… II. 李… III. 单片微型计算机 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 110545 号

© 2007, 北京航空航天大学出版社, 版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或翻印本书内容。

侵权必究。

CC1010 无线 SoC 高级应用

李文仲 段朝玉 等编著

责任编辑 许振伍 胡伟卷

* .

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:28.5 字数:638 千字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-212-6 定价:41.00 元

本书编委会

主编：李文仲 段朝玉

编委：崔亚远 黄小林

敬 勇 李华云

前言

短距离无线数据通信和无线网络,是目前电子技术发展的一个“热点”,也是嵌入式技术的一个“热点”。随着像 ZigBee、Wi-Fi、蓝牙等新兴无线技术在市场上的空前成功,越来越多的人开始关注这个热点,同时也希望尽快学习和掌握这门最新的技术,将这些无线技术应用到自己熟悉的各个应用领域中。

但是,当许多电子相关专业的学生、老师和电子工程师们初次接触到这门新技术的时候,往往会在入门阶段遇到以下困难:

- 电路设计困难(高频电路系统工作在数十 MHz 到数千 MHz 的高频频段)。
- 缺乏必要的高频测试设备(高频设计需要工作在数 GHz 的无线测试设备,市场价格高达数千美元到数万美元)。
- 缺乏必要的入门教材和相关无线通信,以及网络的知识 and 经验(无线通信在空气中容易被干扰,需要一系列软件处理,包括纠错、防止碰撞协议、网络通信协议、各种网络路由算法、网络拓扑处理等)。

随着集成电路技术的飞速发展,特别是近年来射频 SoC 技术的高速发展,射频技术和单片机结合的芯片(简称无线单片机)不断涌现,为不具备无线通信经验和高频电路经验的电子工程师扫清了部分学习的障碍。这是因为:

- 射频 SoC 将全部的高频部分电路集成到了电路内部,从无线单片机到天线之间只有简单的滤波电路,大大简化了高频电路的设计。
- 采用特殊设计,使微处理器的数字电路噪声对高频无线通信的影响降低到最小。
- 设置了高频通信的若干寄存器,将对高频通信的处理简化为对寄存器的简单操作处理,这样就可以通过高级语言编程(例如嵌入式 C 语言)完成对无线通信功能的直接控制。

CC1010 就是这样一种典型的无线单片机,也是全球第 1 个真正的无线单片机(无线片上系统)。它内部集成了 CC1000 无线收发器和完整的高性能 8051 微控制器,更重要的是,内部集成了 32 KB 闪存,所以可以很容易地实现各种无线通信和无线网络的应用设计。

有了像 CC1010 这样高级的射频 SoC,如何去学习和实际掌握这样的无线 SoC,还需要解决以下几个方面的问题:

- 需要比较详细的教材,能够让读者学习与入门相关的无线技术基础知识。
- 一套可以实际动手的实验装置,与上面的教材相结合,指导读者一步一步地通过实验来验证教材上的原理,获得实际动手开发无线产品的经验。
- 相关的软件源代码实例,包括如何编写通信协议、数据校验、工作无线通信算法、网络

组织、工作相关无线通信标准的实现等,让使用者可以模仿这些代码来开始学习过程。

- 实验装置要有比较直观的显示单元和执行部件、传感器等,让学习者能以直观的方式,很容易地观察无线通信和无线网络的实际运行效果,克服没有高频实验设备对学习带来的困难。
- 需要必需的开发、编译、下载、调试工具,配合进行实验代码的下载运行和进行实际的无线产品开发。
- 需要平民化的价格,让任何希望入门无线技术的人都能买得起。

本书和与本书配套的 C51RF-JXS-CC1010 无线教学实验箱(通过 <http://www.c51rf.com> 很容易买到这套教学实验箱),就是希望为学习无线单片机的初学者提供一套完整的学习方案,全面解决上述 6 个方面的问题。

对于初次接触单片机技术的读者,可以从单片机开始学起(毕竟 CC1010 无线单片机也是标准的 8051 内核的单片机)。通过本书的大量实验,配合 JXS-CC1010 实验平台,可以一次实现从单片机到无线应用产品设计的完整学习过程。

对于已经具有单片机知识和有一定单片机开发经验的读者,也可以借助本书的学习流程和高级的无线教学平台,从熟悉无线 SoC 的 CC1010 的芯片结构开始,进入无线应用系统设计,毕竟 CC1010 的内部结构还有大量的特点,有大量的无线特殊寄存器需要熟悉,而这也是掌握无线 SoC 设计技术的一个关键点。

以无线单片机为核心的产品,正在以空前的速度进入我们的生活,其应用范围,也将越来越广泛,内部的软件也会越来越复杂。本书即以这个无线单片机开发的新特点为核心,提供数十个不同的实验项目和无线应用的实际项目,让读者在一个完全直观、完全透明的实验环境内,了解无线单片机的软件和硬件的设计技巧和难点,快速开发新的各种嵌入式应用项目。

本书的许多实验,包括无线电机控制、无线温度/湿度传感器、无线网络聊天室等,都是有一定难度的项目,需要数字电路和模拟电路、无线通信技术和软件开发技术相结合来完成,因而对读者的技术能力是一个很大的挑战;然而,读者也可以通过这些高级项目的实验和学习,真正掌握无线 SoC 的核心设计技术。

我们衷心希望这本书成为读者学习无线、掌握无线、挑战无线的“敲门砖”,开发和学习无线知识的好伙伴。

成都无线龙通信科技有限公司的工程师团队,为开发本书的代码和设计硬件电路付出了辛勤的劳动和心血。让读者更容易地入门短距离无线通信是我们和成都无线龙通信科技有限公司的工程师团队的共同心愿。

北京航空航天大学出版社为本书的出版做了大量的工作,在此表示感谢!

尽管我们尽了最大努力,书中仍难以避免疏漏之处,欢迎广大读者不吝指正。

编 者

2007.04

目 录

第 1 章 C51RF-4C 无线单片机实验箱简介

1.1 C51RF-4C 概述	1
1.2 C51RF-4C 在线仿真器	3
1.3 C51RF-4C 无线超高频 CC1010 模块	5
1.4 C51RF-4C 综合实验扩展板	7
1.5 C51RF-4C 在线下载软件	11
1.6 C51RF-4C 无线单片机实验工具箱的安装及设置	14

第 2 章 C51RF-4C 无线单片机实验箱快速入门

2.1 Keil C51 简介	15
2.2 Keil C51 的安装	17
2.2.1 系统要求	17
2.2.2 Keil 的安装	17
2.2.3 CC1010 IDE 包安装	22
2.3 μ Vision2 集成开发环境	24
2.3.1 μ Vision2 集成工具	25
2.3.2 菜单栏命令、工具栏和快捷方式	27
2.4 Keil C51 的使用	32
2.4.1 创建第 1 个 Keil C51 应用程序	32
2.4.2 编译参数设置	37
2.4.3 程序文件的编译和连接	40
2.5 调试仿真功能的使用	42
2.5.1 下载第 1 个程序	42
2.5.2 进入调试状态	45
2.6 脱机运行 CC1010 模块	47

第 3 章 CC1010 无线单片机

3.1 CC1010 内部结构	49
-----------------------	----

3.2	CC1010 引脚功能	50
3.3	CC1010 的 8051 内核	52
3.4	CC1010 的 8051 外设	54
3.4.1	通用 I/O	54
3.4.2	定时器/计数器	55
3.4.3	串口(UART)	57
3.4.4	SPI 口	57
3.4.5	模数转换 ADC	59
3.5	CC1010 射频收发器	60
3.5.1	RF 收发器结构图	60
3.5.2	RF 收发器配置概述	61
3.5.3	发送/接收控制和电源管理	62
3.5.4	数据的收发	63
3.5.5	射频应用电路	64
3.6	DES 加密/解密技术	65

第 4 章 CC1010 单片机实验(单片机基础部分)

4.1	Keil C51 集成开发环境的使用练习	67
4.2	基于 Keil C51 集成开发环境的仿真与调试	69
4.3	单片机 I/O 口控制实验	70
4.4	单片机 A/D 实验	75
4.5	单片机定时器/计数器实验	79
4.6	单片机中断实验	84
4.7	单片机串口实验	87
4.8	OLED 实验	91
4.9	单片机时钟实验	120
4.10	按键控制实验	126
4.11	看门狗实验	131
4.12	电机控制实验	135

第 5 章 CC1010 无线单片机实验

5.1	实验前的准备	140
5.1.1	无线常识	140
5.1.2	无线实验的软硬件准备	141

5.1.3 SmartRF Studio 简介	141
5.1.4 C51RF 用户库介绍	143
5.2 处理控制器射频收发实验	145
5.3 数据包格式显示实验	161
5.4 无线数据通信点对点实验	176
5.5 点对多点实验(FDMA)	196
5.6 点对多点实验(TDMA)	210
5.7 点对多点实验(CSMA)	219
5.8 点对多点实验(FHSS)	229
5.9 星状无线网络实验	236
5.10 CC1010 的硬件加密实验	260

第 6 章 CC1010 无线 SoC 应用项目实战

6.1 车门双向遥控器	269
6.1.1 车门双向遥控器概述	269
6.1.2 系统框图	270
6.1.3 关键技术讲解	270
6.1.4 模块功能的实现	270
6.1.5 项目总结	294
6.2 无线温度/湿度传感器	295
6.2.1 基本概念、现有项目介绍和原理	295
6.2.2 系统框架及介绍	295
6.2.3 关键技术讲解	296
6.2.4 项目实施	296
6.2.5 项目总结	314
6.3 无线抢答器	315
6.3.1 基本概念	315
6.3.2 系统框架及其介绍	315
6.3.3 关键技术讲解	320
6.3.4 项目特点	321
6.3.5 各模块实现	321
6.3.6 总结和改进方向	335
6.4 无线家庭安全监控系统	336
6.4.1 基本概念(现有项目介绍、原理)	336

6.4.2	系统框架及其介绍	336
6.4.3	关键技术讲解	339
6.4.4	项目特点	339
6.4.5	各模块实现	340
6.4.6	总结和改进方向	356
6.5	高速公路无线收费系统	356
6.5.1	ETC 概述	356
6.5.2	项目简介	359
6.5.3	关键技术说明	360
6.5.4	源代码分析	361
6.5.5	实验步骤及效果	399
6.5.6	项目总结	399
6.6	无线遥控电动机系统	400
6.6.1	项目简介	400
6.6.2	电机驱动	400
6.6.3	软件设计	403
6.6.4	源代码说明	404
6.6.5	实现步骤	424
6.6.6	项目总结	424
6.7	无线网络聊天室	425
6.7.1	项目规划	425
6.7.2	软件设计	425
6.7.3	项目说明	438
6.7.4	项目总结	440
附录 A	C1 编译器的扩展关键字	441
附录 B	C51 库函数	443
参考文献		444

第 1 章

C51RF-4C 无线单片机实验箱简介

CC1010 是挪威 Chipcon 公司(已于 2006 年被美国 TI 芯片公司收购)推出的单片、多频段、低功耗、超高频射频芯片。芯片采用 Chipcon 公司的 $0.35\ \mu\text{m}$ CMOS 技术制成,内嵌高性能的 8051 微控制器、超高频射频收发器、32 KB 的 FLASH 程序存储器、2 176 字节的 SRAM,能够工作于 315 MHz、433 MHz、868 MHz 和 915 MHz 四个 ISM(工业、科学和医学)频段,可通过编程控制使其工作于 300~1 000 MHz 频率范围之内。该芯片具有低电压(2.7~3.6 V)供电并且功耗非常低(接收数据时工作电流只有 9 mA)、高灵敏度($-107\ \text{dB}\cdot\text{m}$)、最大发射输出为 $+10\ \text{dB}\cdot\text{m}$ 、通信速率为 76.8 kb/s、符合 EN 300 220 和 FCC CFR47 规范等特点。CC1010 适用于家庭自动化、安防系统、遥控开锁、遥感勘测、遥控玩具等诸多无线应用领域。

为了方便 CC1010 用于各大院校教学以及无线、单片机爱好者自学,成都无线龙通讯科技有限公司(在本书后面简称成都无线龙——作者注)推出了 C51RF-4C 无线单片机实验工具箱。C51RF-4C 无线单片机实验工具箱具有在线下载、仿真、调试(Debug)、硬件加密等功能,只要一个 RS-232 串口即可以实现对 CC1010 的学习及开发。使用 C51RF-4C 无线单片机实验工具箱配合本书,不仅可实现传统的单片机教学,还可以实现对 CC1010 的无线超高频射频的教学,从而成功地把对无线射频和单片机的教学二合为一。

1.1 C51RF-4C 概述

采用无线单片机进行无线通信设计,是开发低成本、低功耗无线通信应用系统的理想方案之一。但是,实际到动手开发以无线单片机的芯片为核心的应用系统,希望高效率地完成无线应用产品的设计开发工作,还必须有自己的无线开发工作平台。

开发 CC1010 等无线单片机,需要在 Keil 的 UV2 开发环境下,用 C51 编程,下载程序到 CC1010 模块的 EEPROM 中,然后在 UV2 的 Debug 功能支持下进行调试,从 Keil 的 8051 软件开发环境到无线单片机 CC1010 的中间需要一个连接的桥梁。这个桥梁就是 C51RF-4C

无线单片机开发工具。

C51RF-4 在线仿真器是为开发 CC1010 无线单片机量身定做的高度智能化低价格在线仿真器。该在线仿真器由一块很小的电路板组成,有 3 个小型按键,用户可以选择不同的工作模式,3 个发光管显示开发系统当前的工作状态。

C51RF-4 在线仿真器通过 10 芯电缆可以方便地连接到以 CC1010 无线单片机为核心的任何目标系统,同时只需要一根标准的 RS-232 电缆,占用 PC 的一个串行接口就可以实现在 PC 的 Keil UV2 环境下,对以 CC1010 无线单片机为核心的目标系统进行程序下载、写入闪存、单步、断点等全部运行和调试工作。

C51RF-4 在线仿真器的主要特点有:仿真模块的低功耗设计/电池供电/实时在线仿真 NRF24E1/9E5;较国外原厂产品便宜 30%~80%;10 芯电缆方便连接到目标板,只需要一个串行口即可以连接到 PC,具有编译、程序下载、仿真调试、跟踪、断点等全部高级调试功能。

由成都无线龙公司为了方便大中医院校以及个人学习使用而开发的 C51RF-4C 无线单片机实验工具箱具有在线下载、仿真、调试(Debug)、硬件加密等功能。C51RF-4C 无线单片机实验工具箱(如图 1.1 所示)主要包括一个 C51RF-4C 在线仿真器、1~3 块 CC1010 超高频无线射频模块、一块 C51RF-4C 综合实验扩展板、专用的下载调试工具、配套的详细单片机和超高频无线实验教程,以及其他配套器件(如 USB 线、RS-232 线、电池盒、5 芯线、10 芯线等)。

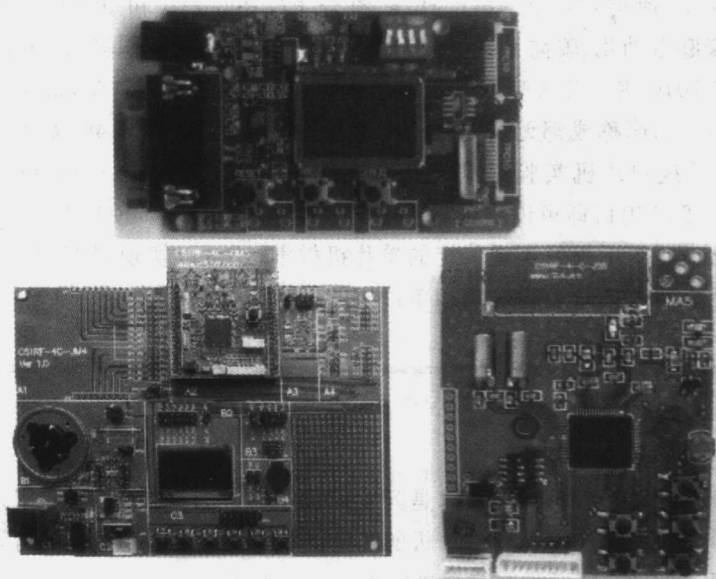


图 1.1 C51RF-4C 无线单片机实验工具箱主要配置

C51RF-4C 无线单片机实验工具箱可以实现传统的单片机实验教学,包括单片机 I/O 口

控制实验、单片机 A/D 实验、单片机定时器/计数器实验、单片机中断实验、串行接口实验、万年历时钟实验、看门狗实验、运算放大器实验、LED 显示实验、按键控制实验等在内的几十个实验(本书配备实验有十多个);还可以实现超高频的无线射频实验,包括单片机 SPI 实验、处理控制器射频收发实验、无线数据通信实验数据包格式显示、无线数据通信点对点实验、无线数据通信点对多点实验 FDMA、无线数据通信点对多点实验 TDMA、无线数据通信点对多点实验 FHSS、无线数据通信综合实验等在内的几十个实验(本书配备实验有 10 个)。这些实验读者可以在第 4、5 章中查阅。

最主要的是使用 C51RF-4C 无线单片机实验工具箱完成 CC1010 无线 SoC 应用项目,包括车门双向遥控器、无线传感器、无线抢答系统、运动员跑步计圈系统、无线顺序排队系统、高速公路无线收费系统、无线遥控电动机系统、无线语音传输系统等在内的几个 CC1010 无线 SoC 高级应用。此部分在第 6 章中有详细的介绍。

1.2 C51RF-4C 在线仿真器

如图 1.2 所示,C51RF-4 在线仿真器是为开发 CC1010 无线单片机量身定做的高度智能化低价格在线仿真器,具有在线下载、仿真、调试、硬件加密功能。该在线仿真器仅由一块很小的电路板组成,有 3 个小型按键,用户可以选择不同的工作模式;3 个发光管显示开发系统当前的工作状态。C51RF-4 在线仿真器通过一根标准的 RS-232 电缆与计算机相连,使用一根 10 芯电缆连接到以 CC1010 无线单片机为核心的任何目标系统。

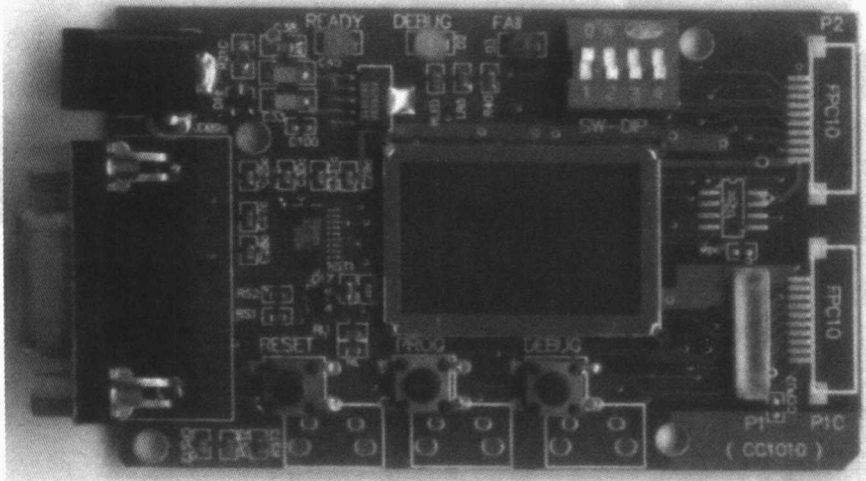


图 1.2 C51RF-4C 在线仿真器

下面了解一下 C51RF-4C 在线仿真器的各个部件及其功能。

1. 串行接口

串行接口连接的是标准的 RS-232 通信电路。通过开发系统配置的 RS-232 串行电缆把 C51RF 仿真器与 PC 连接起来。

2. 电源接口

在接口上连接的电源为 5 V 直流电源。通过开发系统配置的电源线接上 220 V 家用交流电插座,插上此电源即可为仿真器提供必要的电源。

3. 功能按键

如图 1.3 所示,包括 3 个功能按键,分别是 RESET、START、DB(Debug),功能分别是:复位仿真器、下载、调试(仿真)。

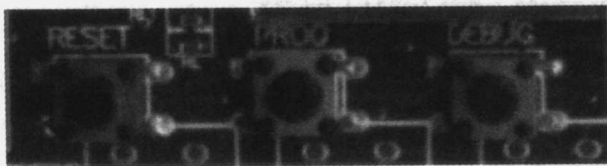


图 1.3 功能按键

4. 指示灯

如图 1.4 所示,包括 3 个指示灯,分别是绿、黄、红。当按下功能按键(如图 1.3 所示)时,这 3 个灯分别指示当前的工作状态。

当按下 RESET 键时,3 个灯同时不断地闪烁,表示成功复位。

当按下 START 键时,绿灯亮,表示准备就绪,此时可通过下载软件下载程序(.hex 文件)至无线高频 CC1010 模块中。



图 1.4 功能指示灯

当按下 DB(Debug)键时,黄灯亮,表示在 Keil 软件平台下进行无线超高频模块的调试和仿真就绪。

无论在任何情况下,如果红灯单独发亮,表明出现错误。请按下 RESET 键复位,同时检查系统的连接以及对软件开发环境的设置。

5. 芯片选择开关

如图 1.5 所示,有 4 个选择开发,拨上(ON)表示选择,否则为不选择。注意,同时只能有一个开关拨上,1 表示选择 CC1010 即仿真器连接 CC1010 无线超高频模块;2、3、4 预留。

6. 仿真/下载接口

如图 1.6 所示,这是仿真器连接无线高频 CC1010 模块的接口,可通过此接口对模块进行仿真、调试以及下载程序。



图 1.5 芯片选择开关(选择 CC1010)

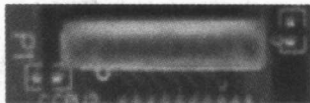


图 1.6 仿真、调试、下载接口

1.3 C51RF-4C 无线超高频 CC1010 模块

C51RF-4C 无线单片机实验箱配置了两种无线 CC1010 超高频模块,编号分别是 C51RF-4C-DM3(如图 1.7 所示)、C51RF-4C-JD5(如图 1.8 所示)。

C51RF-4C-DM3 和 C51RF-4C-JD5 都是采用基于内嵌 8051 单片机的无线收发器芯片 CC1010 设计而成的。模块具有低功耗、电池供电、集成多种扩展、可作为无线独立节点进行无线射频收发以及用户自扩展等多项特点。

CC1010 的超高频调频收发器为低电压供电和低功耗设计,收发器的主要操作参数均可通过特殊功能寄存器(SFR)来进行。可通过程序把 CC1010 配置为射频接收方式或射频发射方式。

当把 CC1010 配置为接收方式时,射频输入信号先通过低噪声放大器进行放大,然后通过混频器把输入信号转换为中频信号,在送给解调器之前,中频信号被进一步放大和滤波。在混频后,接收信号强度指示器的信号或中频滤波器信号通过 AD2 引脚输出。解调之后,接收到的信号送给射频寄存器(RFBUF)。可通过程序设置,使 CC1010 在接收方式下,每接收到一位或一个字节发生一次接收中断。

当 CC1010 工作在发射方式下时,压控振荡器(VCO)的输出信号直接反馈给信号放大器

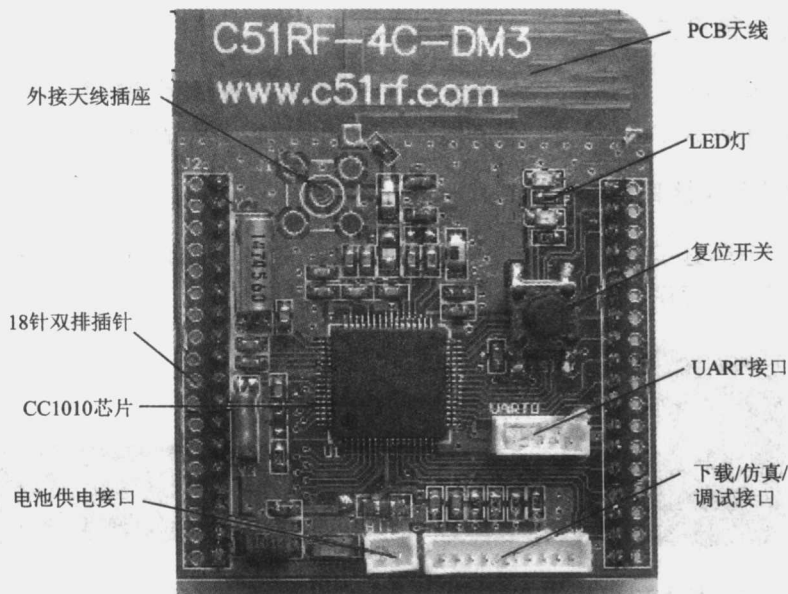


图 1.7 CC1010 超高频模块 C51RF-4C-DM3

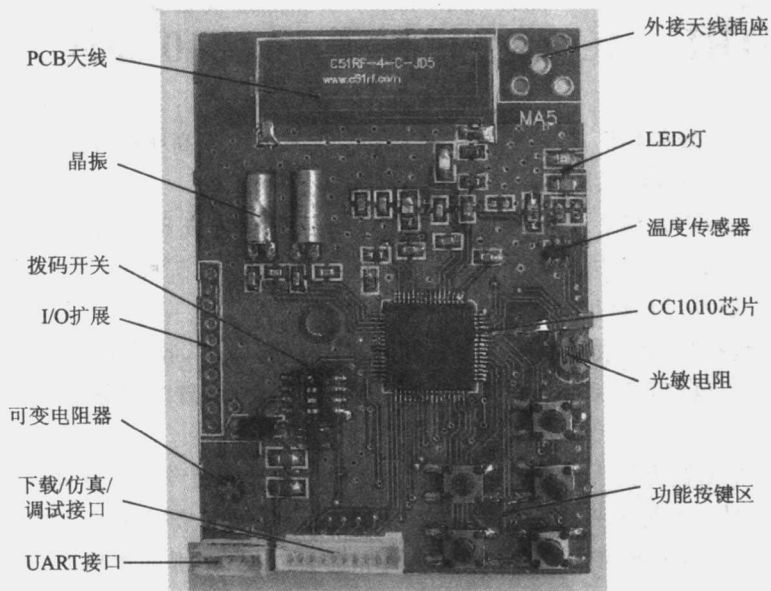


图 1.8 CC1010 超高频模块 C51RF-4C-JD5

(PA)。射频输出信号通过频移键控的调制方式,以位数据流的形式送给射频寄存器(RF-BUF)。与在接收方式下的工作原理相似,在发射方式下,也可以通过程序设置,每发射一位或一个字节发生一次发射中断。接收/发射(T/R)电路的作用是控制天线接口,用于接收或发射。

C51RF-4C-DM3 模块主要用于与 C51RF-4C 综合实验扩展板配合,完成各种单片机以及无线射频教学实验。

从图 1.7 中可以看到,C51RF-4C-DM3 模块包括天线、插针、LED、开关、CC1010 芯片以及各种接口。C51RF-4C-DM3 模块配置了两种天线,分别是 PCB 以及外接天线,用户可根据需要选择使用;在模块中有两排 18 针的双排插针,用于与 C51RF-4C 综合实验扩展板连接;在模块的右上角分布的是两个三色 LED 灯,用于指示模块的工作状态;在模块的右下角的是 3 个接口,分别是 RS-232 的 UART 接口(5 芯 RS-232 通信接口,便于与计算机连接,监控模块收发数据的状态)、下载/仿真/调试接口(可方便地利用 C51RF-4 仿真器对模块进行程序下载、仿真以及调试)和电池供电接口(方便模块作为一个可移动的无线节点);模块正中间的是 CC1010 无线超高频芯片。

C51RF-4C-JD5 模块不仅用于配合 C51RF-4C 综合实验扩展板完成各种无线射频教学实验,还可作为一个独立的实验平台完成 CC1010 的各种单片机实验和无线射频教学实验。C51RF-4C-JD5 模块除了包含 C51RF-4C-DM3 模块的天线、插针、LED、开关、CC1010 芯片以及各种接口等部件外,还提供了各种传感器(温度传感器、光敏电阻、可变电阻等);为了方便作为一个可移动的无线节点,在模块背后提供了一个电池盒给模块提供电源;还包括一组功能按键;在模块左侧的是 I/O 扩展,便于用户对模块进行二次开发。

1.4 C51RF-4C 综合实验扩展板

C51RF-4C 综合实验扩展板如图 1.9 所示,图中 C51RF-4C-DM3 的 CC1010 无线模块插在 C51RF-4C 综合实验扩展板的无线射频插座上。使用 C51RF-4C 综合实验扩展板可以完成 CC1010 的各种教学实验,包括单片机以及无线射频的实验。

C51RF-4C 综合实验扩展板是一款简单的无线单片机实验板,配合 C51RF-4C-DM3 的 CC1010 无线模块具有仿真、调试等功能。板上提供了一些键盘、电机、Beep、I/O 扩展等常用功能部件,帮助用户从简单的单片机开始,一步一步地过渡到高频的无线单片机开发领域。

C51RF-4C 综合实验扩展板包括如下功能特点:

- 配合 C51RF-4 仿真器可进行在线仿真、调试等,支持 Keil 集成开发环境。
- 支持中英文的 OLED 液晶显示器。
- 8 KB 板载 EEPROM。