

无线测控系统设计

无线测控系统是专为需要分散监控的应用场合设计，例如：设备分散、距离远、通讯不便、需要长期监测的现场。系统集先进的计算机技术、无线通信技术、数据采集技术及传感器技术于一体，可降低安装、维护成本，提高生产效率。

10.1 无线测控系统概述

常见的无线测控系统主要有两种类型：一种是无线远程测控系统；另一种是无线近距离测控系统。

10.1.1 无线远程测控系统

现有的远程监控系统在实现原理上大致分为两类，一类为基于有线的远程监控系统，另一类为基于 GSM、GPRS、3G 等无线移动网络的监控系统，后者在工程造价、产品维护和市场上优势明显，但现有的无线监控设备功能相对单一。随着 3G 等高速无线网络的普及，基于无线网络的远程监控系统成为新的研究热点。无线移动网络可以对现场的环境信息进行有效监控，特别是现场无人值守的情况下，也能获取现场信息实现监控的漫游。GSM、GPRS、3G 网络可以实现全国联网和漫游，理论上传输距离不受限制，并且有短消息服务 SMS，利用这些特性可以实现数据的远程采集，并且数据接收端可以处于漫游状态。

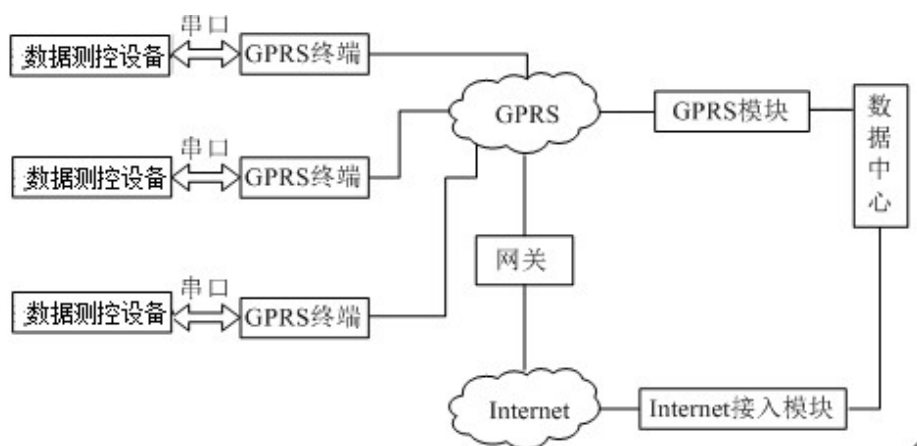


图 10-1 无线远程测控系统示意图

无线远程测控系统主要由现场数据测控设备、无线通信网、数据中心、网络接入等部分组成，测控系统示意如图 10-1 所示。无线通信网采用 GSM、GPRS 或 3G 通讯方式，一方面需实现数据的上传，另一方面亦需下达各种传输、控输、控制指令，即双向的数据、指令传输功能。数据中心设有服务器，与各外围站实时通信，实现分布式测控网络的移动、远程

和集中式管理。

10.1.2 无线近距离测控系统

无线近距离通信指的是无线电波信息传输距离限制在较短的范围内，传输距离通常在几十米以内。无线近距离通信技术用于通信终端间直接通信，一般产品成本低、功耗低，提供终端之间的直通能力。无线近距离通信模块的发射功率受到电源共享、电磁兼容等约束，再加上传播距离近，遇到障碍物的几率也小，其发射功率普遍都很低，通常在 mW 量级。近距离无线通信技术的另一大特点是无需网络设备进行中转，各终端之间是对等通信，因此空中接口设计和高层通信协议相对比较简单，无线资源的管理通常采用竞争的方式，如载波侦听方式。

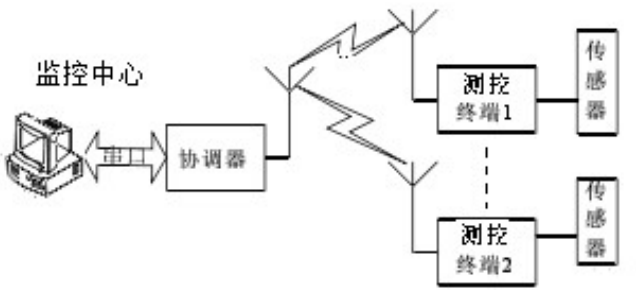


图 10-2 无线近距离测控系统组成示意

无线近距离测控系统示意如图 10-2 所示。系统主要包括测控终端、无线通信网、协调监控中心。系统对现场单元进行监控，现场测控终端分散，不同测控终端的控制对象、监控参数也不尽相同。根据不同的测控终端，通过传感器采集的数据有数字信息和模拟信息两大类，分别直接和间接送入微处理器，多个测控单元组成微网，监控中心一般选用 IPC。

测控终端与监控中心的数据通信使用无线通信模块以无线方式连接，并通过协调器转换，无线近距离无线通信网有红外(IrDA)、蓝牙(Bluetooth)、WiFi、Zigbee、RFID 等。IrDA 是一种利用红外线进行点对点通信的技术，主要用于计算机与外设之间的近距离数据传输。Bluetooth 能实现近距离范围内的数据互通，具有通用的无线电接口及控制软件，广泛地用于便携式设备间的数据通信。WiFi 是当前无线接入的主要标准，它具有较长的通讯距离和较高的通信速度。RFID 技术是通过射频信号获取目标对象相关数据的非接触式自动识别技术。无线通信标准解决了有线控制系统中存在的问题，增加了系统的灵活性，降低了集成专用无线通信技术的风险。目前认为峰值传输速率低于 1Mb/s 的为低速近距离无线通信技术，例如蓝牙、Zigbee、RFID 等；而高于 100Mb/s 的作为高速近距离无线通信技术，如 UWB。

10.2 无线测控系统设计方法

如何建立一个无线测控系统，并保证其能够长期稳定的运行，同时又要满足经济性、实

时性的要求，这是设计一个无线测控系统需要考虑的问题。构建一个无线测控系统一般步骤如下：

1、项目需求分析

对于一个无线测控系统而言，首先要做的就是根据具体的测控对象和测控要求来确定采用无线远程还是无线近距离测控系统。一般对于测控对象比较分散、监控中心与测控点之间距离比较遥远，且系统实时性要求比较高的情况下，应采用无线远程测控系统来实现；而对于一些测控中心与测控点距离比较近的，而又不想进行具体布线的场合，无线近距离测控系统就成为比较经济高效的选择。

在设计开始，系统的总体规划中，应注意获取以下信息：

- 根据系统的控制对象和控制要求，推算出整个系统的控制规模，决定系统所需要的硬件平台和软件平台；
- 获取各个模块对于通讯方面的性能指标要求，包括对实时性、确定性、可重复性的要求，通讯数据量的大小以及 I/O 数据输入输出运行的最大时间间隔等；
- 根据系统的实时性和成本控制要求，确定无线通信模块的型号；
- 按照系统设计的精度要求，确定各种传感器的型号；
- 确定现场信号测量和控制所需要的准确性，模拟量转换的分辨率和精确度，系统采样的最小周期；
- 系统工作的环境条件，例如温度、湿度、振动、地磁干扰等；
- 根据系统的要求和设备情况，制定系统相应的控制功能；并考虑系统故障几率以及故障情况下系统控制的安全性；
- 系统软件的选择以及配置：开发环境，系统应用程序的大小，对实时性的要求及影响。

项目需求的分析是整个系统设计的基础，必须全面考虑各种因素，避免系统的功能出现遗漏或者欠缺，并把可靠性的要求贯穿到整个系统设计过程中，保证系统最终在现场中能够可靠稳定的运行，并方便用户根据需要增加其应用功能。

2、硬件平台选择

硬件平台主要是指选择什么样的嵌入式处理器，只有先根据要求选定好处理器，才可以进一步的进行处理器的外围电路设计。

在一个系统中使用什么样的嵌入式处理器主要取决于应用的领域、用户的需求、成本、开发的难易程度等因素。

处理器确定后，要结合实际情况，考虑系统的外围设备需求，通常考虑的系统外围设备的因素：

- 总线的需求，系统内部是否需要 I²C 总线、SPI 总线，外部是否需要 USB 总线；
- 有无通用串行口(UATR)、以太网接口、外设接口、I/O 控制接口；

- 系统是否需要 A/D 或者 D/A 转换器;

另外还要考虑处理器的寻址空间, 有没有片上 Flash 存储器, 处理器是否容易调试, 仿真调试工具的成本和易用性等相关的信息。

在实际设计中, 挑选合适的硬件是一项很复杂的工作, 还需要考虑成本、其他工程的影响等相关因素。一切从实际出发, 综合协调各种因素, 是嵌入式微处理器选型的根本原则。应用成本是一个重要因素, 一定要考虑产品的整体成本, 而不是只看到 CPU。

3、软件平台选择

系统下位机的软件平台有两种选择, 对于一些简单的测控场合, 宜自行编写下位机程序; 而对于一些比较复杂的测控系统, 采用在 CPU 上移植嵌入式操作系统的方法更为有效。嵌入式系统的种类比较多, 各有特点, 其应用范围也就大不相同。在选择嵌入式操作系统的时候应注意以下几点:

(1) 操作系统的硬件支持

- 是否支持目标硬件平台

目前很多商用型嵌入式操作系统大多具备支持多种微处理器能力, 典型的有 x86 系列、ARM 系列、Motorola 系列。对于免费型的 Linux 和 μ C/OS-II 而言, 已经被移植到了不同的硬件平台上, 可以很容易找到一个移植的范例。

- 可移植性

可移植性即操作系统相关性。当进行嵌入式软件开发时, 可移植性是要重点考虑问题。具有良好可移植性的软件可以在不同平台、不同系统上运行, 跟操作系统无关。

(2) 开发工具的支持程度

选择实时操作系统时必须要考虑与之相关的开发工具。在线仿真器、编译器、编器、连接器、调试器以及模拟器等不同程度影响着操作系统。要了解在线仿真器的操作对性能的影响, 要考虑到这种实时操作系统与使用的编译器要能够兼容。

(3) 能否满足应用要求

- 对操作系统性能的要求

有的实时操作系统的代码尺寸只有几 KB, 这样可以大大节省系统的内存空间, 对于成本敏感的嵌式应用, 这是非常重要的。但选用小尺寸的操作系统的前提条件是一定要满足系统的应用需求。最小的内核经常是仅仅支持很少的特性, 而典型的配置可能产生大的多的内核。要确定是否可以得到设备驱动程序。有些操作系统供应商提供这些特性或驱动程序的方式不同, 可作为操作系统的一部分, 也可能作为可选配件。这些服务也可以从第三方供应商获得。

- 中文内核支持

国内产品需要对中文的支持。由于操作系统大多采用西文方式, 针对国内用户的嵌入式产品的必须考虑是否支持双字节编码方式、是否遵循各种国家标准、是否支持中文输入与处理、是否提供第三方中文输入接口等因素。

- 标准兼容性

RTOS 有一个 POSIX 标准。即使大多数开发者不需要 POSIX，这也可以作为一个考虑因素。如果是开发安全性敏感的系统，应该考虑一下该行业所要求的安全标准。有些 RTOS 供应商已经开始认证他们的产品。

- 技术支持

有些实时操作系统的供应商在购买了一个开发许可时会提供全部源代码。而有的仅提供目标代码。对于源代码来说，供应商会在头文件中给出必要的常量，使开发者可以根据需要微调内核。

4、系统性能测试

当系统的硬件和软件设计完成之后，需要对软、硬件分别进行调试，以验证系统各项功能是否实现，结果是否正常，精度能否达到要求。如果调试结果达不到要求就需要分析原因，找出问题所在。如果达到了预期的要求，即可将软、硬件集成为一个完整的功能系统进行调试，继而完成样机的研制。

5、系统可靠性测试

系统的硬件可靠性可以从以下几个方面来考虑：

- 环境适应性

在应用时需要考虑的参数主要有温度、湿度、振动、防水、防尘等。

- 抗电磁干扰措施

为提高系统的抗干扰能力可以采取屏蔽、接地以及隔离等措施。此外还要分析系统的误差产生来源，尽量通过软件编程来抵消系统误差。

10.3 无线测控系统常用芯片

无线测控系统主要就是由主 CPU、无线通信芯片和一些外围电路组成。主 CPU 根据不同的应用场合，主要选用单片机、DSP 处理器和 ARM 处理器，本书前面已经对这些处理器做了介绍，这里不再详述。无线通信芯片主要完成数据的无线传输，根据传输距离不同，主要分为无线远程和无线近距离通信芯片，下面介绍一些在测控系统中常用的无线通信芯片。

10.3.1 无线远程通信芯片

1、TC35/TC35i

TC35 和 TC35i 都是西门子公司的一款双频 900/1800MHZ 高度集成的 GSM 模块。TC35 和 TC35i 的区别主要是后者使用了环保材料，而且电源电压的范围不一样，TC35 电源可以是 5V 的，TC35i 电源不能超过 4.2V，TC35i 价格要稍贵一些。如果只是发短信的话用 TC35 就行，它的电源电压的范围要更大些，更方便与需要 5V 电源的单片机一起使用。TC35 芯片易于集成，被广泛应用于远程监控和无线公话以及无线 POS 终端等领域。TC35 芯片的实物如图 10-3 所示。



图 10-3 TC35 模块实物图

一般情况下，TC35 兼容性更好，下面介绍 TC35 芯片的性能指标。

- 电源：单电源 3.3V~5.5V；
- 频段：双频 GSM900MHz 和 DCS1800 MHz(Phase 2+)；
- 发射功率：2W（GSM900MHz Class 4）、1W（DCS1800MHz Class 1）；
- SIM 卡连接方式：外接；
- 天线：由天线连接器连接外部天线；
- 温度范围：工作温度：-20° C ~ +55° C 储存温度：-30° C ~ +85° C；
- 工作电流损耗：通话模式：300mA、闲模式：5mA、最大值模式：100 μ A(最大值)；
- 语音解码标准：三种速率：半速、全速、增强型全速；
- 信息：MT, MO, CB 和 PDU 模式；
- 外型尺寸：54.5 x 36 x 6.7mm；
- 音频接口：模拟信号（麦克风，耳麦，免提手柄）；
- 通讯接口：RS232（指令和数据的双向传送）；
- SIM 卡操作电压：3V/1.8V；
- 电话簿功能：存储于 SIM 卡中；
- 模块复位：采用 AT 指令或掉电复位；
- 串口通讯波特率：300bps~115kbps；
- 自动波特率范围：4.8kbps~115kbps；

- 软件下载功能：通过 RS232 或 SIM 接口；
- 实时时钟：可实现（时钟频率 32.768KHz）；
- 定时器功能：可用 AT 命令编程。

TC35 模块主要由 GSM 基带处理器、GSM 射频模块、供电模块(ASIC)、闪存、ZIF 连接器、天线接口六部分组成。作为 TC35 的核心，基带处理器主要处理 GSM 终端内的语音、数据信号，并涵盖了蜂窝射频设备中的所有的模拟和数字功能。在不需要额外硬件电路的前提下，可支持 FR、HR 和 EFR 语音信道编码。图 10-4 是 TC35 的功能框图。

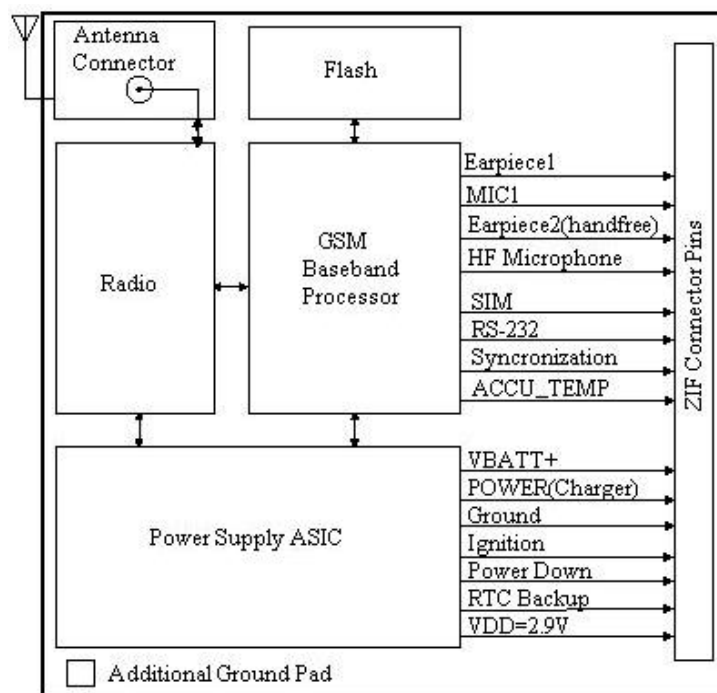


图 10-4 TC35 功能框图

TC35 模块的正常运行需要相应的外围电路与其配合。TC35 共有 40 个引脚，这 40 个引脚可以划分为 5 类，即电源、数据输入/输出、SIM 卡、音频接口和控制。

第 1-14 脚为电源部分，其中 1-5 为电源电压输入端 VBATT+，6-10 为地 GND，11、12 为充电引脚，13 对外输出电压(供外电路使用)，14 为 ACCU/TEMP 接负温度系数的热敏电阻；24-29 为 SIM 卡引脚，分别为 CCIN，CCRST，CCIO，CCCLK，CCVCC 和 CCGND；33-40 为语音接口用来接电话手柄；30，31 和 32 脚为控制部分，15 为启动线 IGT(Ignition)，30 为 RTC backup，31 为 Power down，32 为 SYNC；16-23 为数据输入/输出，它们分别为 DSR0，RING0，RXD0，TXD0，CTS0，RTS0，DTR0 和 DCD0。

TC35 的数据输入/输出接口实际上是一个串行异步收发器，它符合 ITU-TR232 接口标准，它有固定的参数：8 位数据位和 1 位停止位，无校验位，波特率在 300bps-115kbps 之间可选，硬件握手信号用 RTS0/CTS0，软件流量控制用 XON/XOFF，CMOS 电平，支持标准的 AT 命令集。通过这一接口可以用 AT 命令切换操作模式，可以使它处于语音、数据、短消息或传真模式。

2、GPRS 模块

前面介绍的 TC35、TC35i 属于 GSM 模块，由于 GSM 的系统研发年代较早（1984），所以对分组数据业务的支持并不好，只能实现 9.6kbps 的上行速率，这样的速率满足不了一些数据量比较大的无线远程控制的实时性要求。而 GPRS 能够支持相对 GSM 系统较高的速率的数据业务（大约 200Kbps），使得用户能够享受更加丰富多样的数据业务，所以在一些数据量比较大、实时性要求比较高的场合都采用 GPRS 模块。

常见的 GPRS 模块分成 3 种：

- GPRS DTU：GPRS 数传单元，常称 GPRS 透传模块；
- GPRS/GSM modem：这是一种纯的 GPRS/GSM 调制解调器，常称为 GPRS 猫；
- 包含 TCP/IP 协议栈的 GPRS Modem：将 GPRS/GSM Modem 和 TCP/IP 协议栈封装在一起，内部有 CPU、Flash、RAM、控制单元等硬件，与 DTU 功能类似。

GPRS DTU 全称 GPRS 数据终端单元，在软件设计上，它封装了协议栈内容并且具有嵌入式操作系统，硬件上可看作是嵌入式 PC 加无线接入部分的结合，用于串口数据可靠传输；GPRS Modem 是接入 GPRS 分组网络的一个物理通道，它本身不具有操作系统，必须依附于计算机，其在功能类似与有线 Modem，在计算机操作系统之上才能进行 PPP 拨号连接，通常是与 PC 结合使用，实现拨号上网。从某种角度来说，GPRS DTU 是嵌入式 PC 与 GPRS MODEM 的结合。

一般 GPRS DTU 的价格都高于 GPRS Modem，因此在选择模块的时候可在上位机端，选择用 GPRS Modem 连接电脑；而在测控现场下位机端选择 GPRS DTU 更加适合。

GPRS DTU 具有 4 个核心的功能：

- 内部集成 TCP/IP 协议栈

GPRS DTU 内部封装了 PPP 拨号协议以及 TCP/IP 协议栈并且具有嵌入式操作系统，从硬件上，它可看作是嵌入式 PC 与无线 GPRS modem 的结合；它具备 GPRS 拨号上网以及 TCP/IP 数据通信的功能。

- 提供串口数据双向转换功能

GPRS DTU 提供了串行通信接口，包括 RS232/RS485 等都属于常用的串行通信方式，而且 GPRS DTU 在设计上大都将串口数据设计成“透明转换”的方式，也就是说 GPRS DTU 可以将串口上的原始数据转换成 TCP/IP 数据包进行传送，而不需要改变原有的数据通信内容。因此，GPRS DTU 可以和各种使用串口通信的用户设备进行连接，而且不需要对用户设备作改动。

- 支持自动心跳，保持永久在线

GPRS 通信网络的优点之一就是支持 GPRS 终端设备永久在线，因此典型的 GPRS DTU 在设计上都支持永久在线功能，这就要求 DTU 包含上电自动拨号、采用心跳包保持永久在线（当长时间没有数据通信时，移动网关将断开 DTU 与中心的连接，心跳包就是 DTU 与数据中心在连接被断开之前发送一个小数据包，以保持连接不被断开）、支持断线自动重连、自动重拨号等特点。

- 支持参数配置，永久保存

GPRS DTU 作为一种通信设备，其应用场合十分广泛。在不同的应用中，数据中心的

IP 地址及端口号，串口的波特率等都是不同的。因此，GPRS DTU 都应支持参数配置，并且将配置好的参数保存内部的永久存储器件内（一般为 FLASH 或 EEPROM 等）。一旦上电，就自动按照设置好的参数进行工作。

此外，较为专业的 GPRS DTU 还提供了一些扩展功能。主要包括：支持数据中心域名解析、支持远程参数配置/远程固件升级、支持远程短信/电话唤醒、支持本地串口固件升级、提供短信通道、提供 DTU 在线/离线电平指示等。其中支持数据中心域名解析[22]功能是非常有用的一个功能，可以实现将数据中心做成一个网站，通过网站可以很方便的在任何能上网的地点进行远程监控。

GPRS DTU 的实物图如图 10-5 所示。



图 10-5 GPRS DTU 实物图

国内 3G 网络已经开始普及，相对于 GSM 和 GPRS 而言，3G 网络数据传输速率大大提升，更加适合无线远程控制系统的要求。由于国内 3G 网络的覆盖面限制，3G 网络数据业务的资费标准也比较高，同时 3G 模块的价格也高于 GSM 和 GPRS，因此，在今后一段时间内，GSM 和 GPRS 模块还将广泛应用于远程测控系统。

10.3.2 无线近距离通信芯片

1、nRF2401

nRF2401 是 Nordic 公司生产的 2.4GHz 无线数据传输芯片，该芯片采用复用双工技术，由控制程序决定芯片处于发射功能或接收功能。nRF2401 内部具有两个通信频道，通信频率为 433MHz、434MHz，处于公用频道范围内，使用时无需申请许可证。nRF2401 将频率合成器、功率放大器、GFSK 滤波模块等外围功能部件集成到芯片内部，简化了系统结构，减少了无线收发系统的体积与质量，符合温湿度测量发射模块的需求。nRF2401 芯片具有很好的抗干扰能力，200m 内几乎不会受到干扰，工作时频率稳定，功耗低，空闲模式时电流仅为 1μA，适合于在温湿度采集中使用。

（1）nRF2401 模块引脚说明

nRF2401 的引脚如图 10-6 所示。

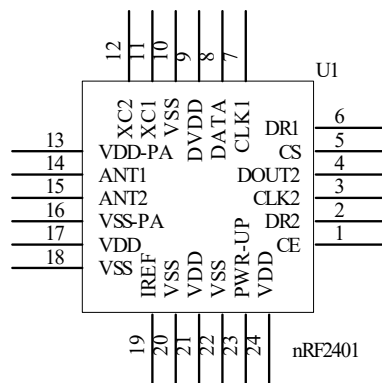


图 10-6 nRF2401 模块引脚

nRF2401 的各引脚功能如表 10-1 所示。

表 10-1 nRF2401 无线模块引脚功能

引脚	名称	引脚功能	描述
1	CE	数字输入	使 nRF2401 工作于接收或发送状态
2	DR2	数字输出	频道 2 数据准备好
3	CLK2	数字 I/O	频道 2 数据时钟输入/输出
4	DOUT2	数字输出	频道 2 接收数据
5	CS	数字输入	配置模式的片选端
6	DR1	数字输出	频道 1 数据准备好
7	CLK1	数字 I/O	频道 1 数据时钟输入/输出
8	DATA	数字 I/O	频道 2 接收/发送数据端
9	DVDD	电源	电源的正数字输出
10	VSS	电源	电源地
11	XC1	模拟输出	晶振 1
12	XC2	模拟输入	晶振 2
13	VDD_PA	电源输出	给功率放大器提供 1.8V 电压
14	ANT1	天线	天线接口 1
15	ANT2	天线	天线接口 2
16	VSS_PA	电源	电源地
17	VDD	电源	电源正端
18	VSS	电源	电源地
19	IREF	模拟输入	模数转换的外部参考电压
20	VSS	电源	电源地
21	VDD	电源	电源正端
22	VSS	电源	电源地
23	PWR_UP	数字输入	芯片激活端
24	VDD	电源	电源正端

（2） nRF2401 工作模式

nRF2401 有工作模式有四种：收发模式、配置模式、空闲模式和关机模式。nRF2401 的工作模式由 PWR_UP、CE、和 CS 三个引脚决定，详见表 10-2。

表 10-2 nRF2401 工作模式

工作模式	PWR_UP	CE	CS
收发模式	1	1	0
配置模式	1	0	1
空闲模式	1	0	0
关机模式	0	×	×

1) 收发模式

nRF2401 的收发模式有 ShockBurst™ 收发模式和直接收发模式两种。

● ShockBurst™ 收发模式

ShockBurst™ 收发模式下，使用片内的先入先出堆栈区，数据低速从微控制器送入，但高速(1Mbps)发射，这样可以尽量节能，因此，使用低速的微控制器也能得到很高的射频数据发射速率。与射频协议相关的所有高速信号处理都在片内进行，这种做法有三大好处：尽量节能；低的系统费用(低速微处理器也能进行高速射频发射)；数据在空中停留时间短，抗干扰性高。nRF2401 的 ShockBurst™ 技术同时也减小了整个系统的平均工作电流。

在 ShockBurst™ 收发模式下，nRF2401 自动处理字头和 CRC 校验码。在接收数据时，自动把字头和 CRC 校验码移去。

在发送数据时，自动加上字头和 CRC 校验码，当发送过程完成后，数据准备好引脚通知微处理器数据发射完毕。

ShockBurst™ 发射流程：接口引脚为 CE、CLK1、DATA。当微控制器有数据要发送时，其把 CE 置高，使 nRF2401 工作；把接收机的地址和要发送的数据按时序送入 nRF2401；微控制器把 CE 置低，激发 nRF2401 进行 ShockBurst™ 发射；nRF2401 的 ShockBurst™ 发射给射频前端供电；射频数据打包(加字头、CRC 校验码)；高速发射数据包；发射完成，nRF2401 进入空闲状态。

ShockBurst™ 接收流程：接口引脚 CE、DR1、CLK1 和 DATA(接收通道 1)。配置本机地址和要接收的数据包大小；进入接收状态，把 CE 置高；100us 后，nRF2401 进入监视状态，等待数据包的到来；当接收到正确的数据包（正确的地址和 CRC 校验码），nRF2401 自动把字头、地址和 CRC 校验位移去；nRF2401 通过把 DR1(这个引脚一般引起微控制器中断)置高通知微控制器；微控制器把数据从 nRF2401 移出；所有数据移完，nRF2401 把 DR1 置低，此时，如果 CE 为高，则等待下一个数据包，如果 CE 为低，开始其它工作流程。

● 直接收发模式

在直接收发模式下，nRF2401 如传统的射频收发器一样工作。

直接发送模式：接口引脚为 CE、DATA。当微控制器有数据要发送时把 CE 置高；nRF2401 射频前端被激活；所有的射频协议必须在微控制器程序中进行处理(包括字头、地址和 CRC 校验码)。

直接接收模式：接口引脚为 CE、CLK1 和 DATA。如果 nRF2401 被配置为直接接收模式，DATA 引脚将根据天线接收到的信号开始高低变化(由于噪声的存在)；CLK1 引脚也开始工作；如果接收到有效的字头，CLK1 引脚和 DATA 引脚将协调工作，把射频数据包以其被发射时的数据从 DATA 引脚送给微控制器；字头必须是 8 位；DR 引脚没用上，所有的地

址和 CRC 校验必须在微控制器内部进行。

2) 配置模式

在配置模式，15 字节的配置字被送到 nRF2401，这通过 CS、CLK1 和 DATA 三个引脚完成，具体的配置方法请参考本设计的器件配置部分。

3) 空闲模式

nRF2401 的空闲模式是为了减小平均工作电流而设计，其最大的优点是，实现节能的同时，缩短芯片的起动时间。在空闲模式下，部分片内晶振仍在工作，此时的工作电流跟外部晶振的频率有关，如外部晶振为 4MHz 时工作电流为 12uA，外部晶振为 16MHz 时工作电流为 32uA。在空闲模式下，配置字的内容保持在 nRF2401 片内。

4) 关机模式

在关机模式下，为了得到最小的工作电流，一般此时的工作电流小于 1uA。关机模式下，配置字的内容也会被保持在 nRF2401 片内，这是该模式与断电状态最大的区别。由于 nRF2401 具有两种收发模式，为了便于程序设计在本设计中采用的是 ShockBurst™ 收发模式。

(3) 器件配置

nRF2401 的所有配置工作都是通过 CS、CLK1 和 DATA 三个引脚完成，把其配置为 ShockBurst™ 收发模式需要 15 字节的配置字，而如把其配置为直接收发模式只需要 2 字节的配置字。由上文对 nRF2401 工作模式的介绍，我们可以知道，nRF2401 一般工作于 ShockBurst™ 收发模式，这样，系统的程序编制会更加简单，并且稳定性也会更高，因此，下文着重介绍把 nRF2401 配置为 ShockBurst™ 收发模式的器件配置方法。ShockBurst™ 的配置字使 nRF2401 能够处理射频协议，在配置完成后，在 nRF2401 工作的过程中，只需改变其最低一个字节中的内容，以实现接收模式和发送模式之间切换。ShockBurst™ 的配置字可以分为以下四个部分：

数据宽度：声明射频数据包中数据占用的位数，使得 nRF2401 能够区分接收数据包中的数据 and CRC 校验码。

- 地址宽度：声明射频数据包中地址占用的位数，使得 nRF2401 能够区分地址和数据。
- 地址：接收数据的地址，有通道 1 的地址和通道 2 的地址。
- CRC：使 nRF2401 能够生成 CRC 校验码和解码。

2、nRF905

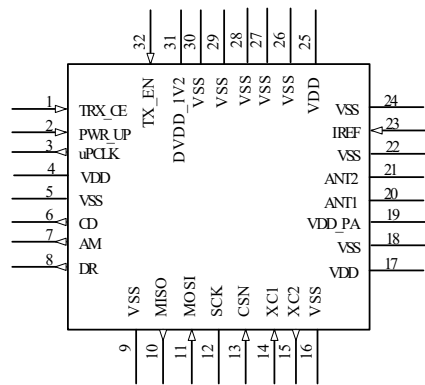
nRF905 是 Nordic 公司推出的一款无线收发一体芯片，工作在 433/868/915Mhz 的 ISM 频段的无线收发芯片。

该芯片具有如下特点：

- 低功耗 ShockBurst 工作模式；
- 工作电源电压范围 1.9~3.6 V，待机功耗 2μA；
- 多通道工作—ETSI/FCC 兼容；

- 通道切换时间< 650μs；
- 不需外加声表滤波器 (SAW)；
- 输出功率可调至 10 dBm；
- 内置数据协议和 CRC（循环冗余码校验）检测；
- 自动产生 CRC 和前导码；
- 独特的无乱码输出、载波监听输出、地址匹配输出及数据就绪输出；
- 通过 SPI 接口即可完成所有的无线收发传输；
- 32 脚小封装 (32LQFN5×5mm)。

上述特点使得 nRF905 非常适用于短距离无线数据通信、无线报警及安防系统、 无线开锁、无线监测、家庭自动化等诸多领域。



nRF905 的引脚图如图 10-7。

图 10-7 nRF905 引脚图

nRF905 的引脚功能见表 10-3。

表 10-3 nRF905 引脚功能表

引脚	名称	引脚功能	描述
1	TRX_CE	数字输入	使 nRF905 工作于接收或发送状态
2	PWR_UP	数字输入	工作状态选择
3	uPCLK	时钟输出	输出时钟
4	VDD	电源	电源正端
5	VSS	电源	电源地
6	CD	数字输出	载波检测
7	AM	数字输出	地址匹配
8	DR	数字输出	数据准备好
9	VSS	电源	电源地
10	MISO	SPI 输出	SPI 输出

11	MOSI	SPI 输入	SPI 输入
12	SCK	SPI 时钟	SPI 时钟
13	CSN	SPI 片选	SPI 片选，低有效
14	XC1	模拟输入	晶振输入引脚 1
15	XC2	模拟输出	晶振输出引脚 2
16	VSS	电源	电源地
17	VDD	电源	电源正端
18	VSS	电源	电源地
19	VDD_PA	输出电源	给功率放大器提供 1.8V 电压
20	ANT1	射频	天线接口 1
21	ANT2	射频	天线接口 2
22	VSS	电源	电源地
23	IREF	模拟输入	参考输入
24	VSS	电源	电源地
25	VDD	电源	电源正端
26	VSS	电源	电源地
27	VSS	电源	电源地
28	VSS	电源	电源地
29	VSS	电源	电源地
30	VSS	电源	电源地
31	DVDD_1V2	电源	低电压正数字输出
32	TX_EN	数字输入	等于 1，发送模式，等于 0，接收模式

nRF905 的工作模式如表 10-4。

表 10-4 nRF905 的工作模式

PWR_UP	TRX_CE	TX_EN	工作模式
0	×	×	关机模式
1	0	×	空闲模式
1	1	0	射频接收模式
1	1	1	射频发送模式

10.4 无线测控系统设计实例

10.4.1 无线远程测控系统设计实例

1、设计任务

本设计主要实现以下功能：

- 利用热释电红外传感器对 120 度锥角，7 米半径范围内的移动人体进行监测；
- 实时采集现场 $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ 内的温度并通过 LCD 显示器将其显示；
- 当有人进入或温度超过设定范围时报警，并会发送短信至用户手机与上位机进行报

警；

- 用户可以用固定格式的短消息控制报警系统的布防/解防，或控制系统单片机的开关量输出。同时还可以接收到系统短信息回复的互动提示；
- 可以通过短信息的方式来随时读取现场的温度或修改报警温度的上限；
- 上位机界面可以实时显示串口信息及收到短信的内容。

2、系统总体设计

本系统利用基于 GSM 系统的移动平台之间点对点的短信息业务，将移动通信与报警功能结合。当出现异常如温度过高时，报警系统将报警信号通过短信息的方式发送出去，使之能随时跟随用户，及时的向不在现场的用户显示警情信息。当用户收到短信息后，马上回复一条短信息给报警系统，使报警系统执行相应的动作如开启降温空调等，之后报警系统给手机用户发送空调已经开启信息等。采用该方法设计的报警系统，可以弥补传统报警系统的不足，克服传统报警系统警铃噪音、报警范围有限、有效性低等缺点，而且也是移动通信系统增值服务的一种开发利用。完成移动报警系统设计的关键是基于 GSM 系统的 AT 指令的开发以及单片机和移动通信模块之间的通信编程。

系统中的移动通信模块采用 TC35 模块。通过单片机的 RS232 串口与移动通信模块连接，指令部分采用西门子公司的 AT 指令集 04.00 版本。依据性价比以及系统的实际功能要求，系统采用 STC89C52RC 单片机作为控制器，通过其标准的全双工串口与移动通信模块进行通信。系统总体设计框图如图 10-8 所示。

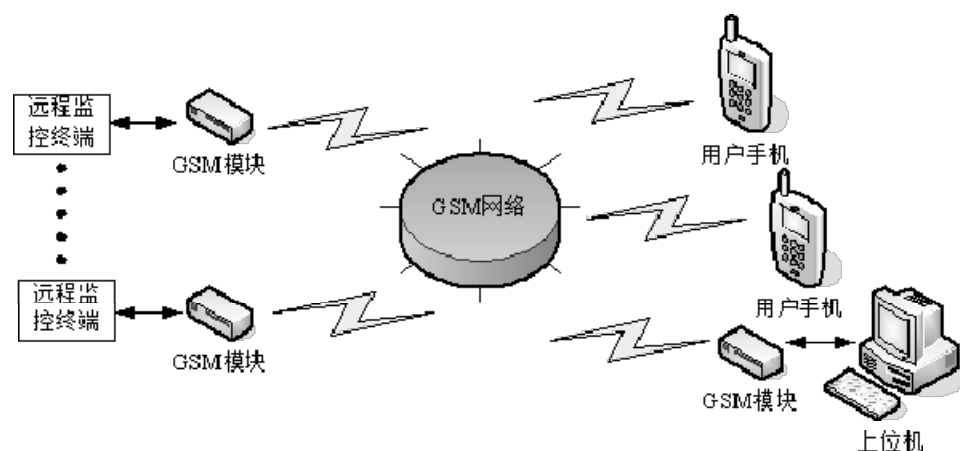


图 10-8 系统总体设计框图

系统由传感器将采集到的信号发送至单片机，单片机通过判断，发送控制指令到移动通信模块，移动通信模块接到指令后调用预先设计好的报警短信息，利用 GSM 网络发送给用户手机及上位机，从而实现报警功能；用户接到报警短信息后，可回复短信息到报警系统，系统通过判定用户回复的短信息内容，控制系统的执行机构实施相应的措施。其中单片机作为控制中心，配有信息采集模块、移动通信模块、显示模块、报警模块、执行机构等模块。

3、系统硬件设计

本系统主要有如下功能电路：传感器电路、单片机、液晶显示电路、串行通信电路、

GSM 模块电路以及报警与控制执行电路。系统的硬件结构框图如图 10-9 所示。

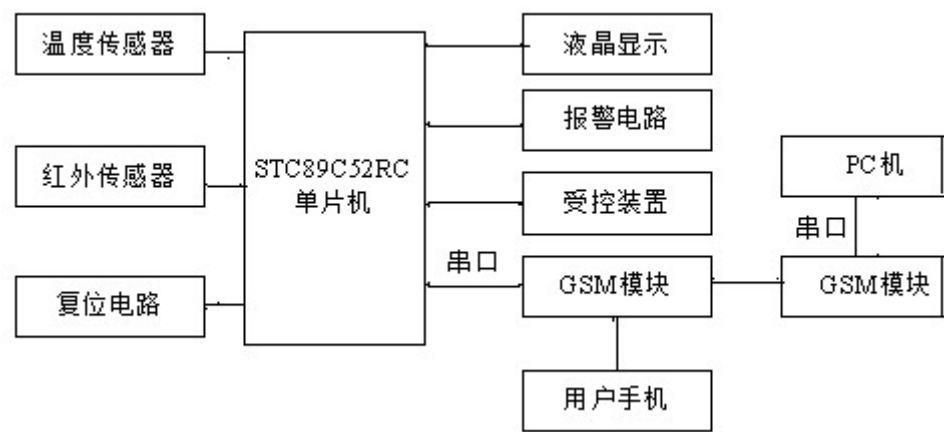


图 10-9 系统硬件结构框图

(1) 温度传感器

本设计以温度传感器 DS18B20 作为温度采集单元。DS18B20 是美国 DALLAS 半导体公司推出的一种改进型智能温度传感器，与传统的热敏电阻等测温元件相比，它能直接读出被测温度，并且可根据实际要求通过简单的编程实现 9~12 位的数字值读数方式。TO-92 封装的 DS18B20 的引脚排列如图 10-10 所示，其引脚功能描述如表 10-5 所示。.



图 10-10 DS18B20 管脚排列图

表 10-5 DS18B20 详细引脚功能描述

序号	名称	引脚功能描述
1	GND	地信号
2	DQ	数据输入/输出引脚。开漏单总线接口引脚。当工作在寄生电源模式时用来提供电源。
3	VDD	可选的 VDD 引脚。工作与寄生电源模式时 VDD 必须接地。

DS18B20 内部主要由 64 位 ROM、温度传感器、非挥发的温度报警触发器 TH 和 TL、配置寄存器四部分组成。其内部结构图如图 10-11 所示。

人体有恒定的体温，一般在 37°C ，会发出波长为 $10\mu\text{m}$ 左右的红外线。被动式红外探头靠探测人体发射的 $10\mu\text{m}$ 左右的红外线而进行工作。人体发射的 $10\mu\text{m}$ 左右的红外线，通过菲涅尔滤光片增强后，聚集到红外感应源上。红外感应源泉通常采用热释电元件。这种元件在接收到人体红外辐射温度发生变化时将会失去电荷平衡，向外释放电荷，后续电路经检测处理后产生报警信号。本设计采用 LHI968 热释电红外传感器，它有两个双元热释电陶瓷，感应红外信号，经集成芯片 BISS0001 处理后向单片机发送信号。当有人经过时发送高电平，无人经过时发送低电平。热释电红外传感器的外围电路如图 10-13 所示。

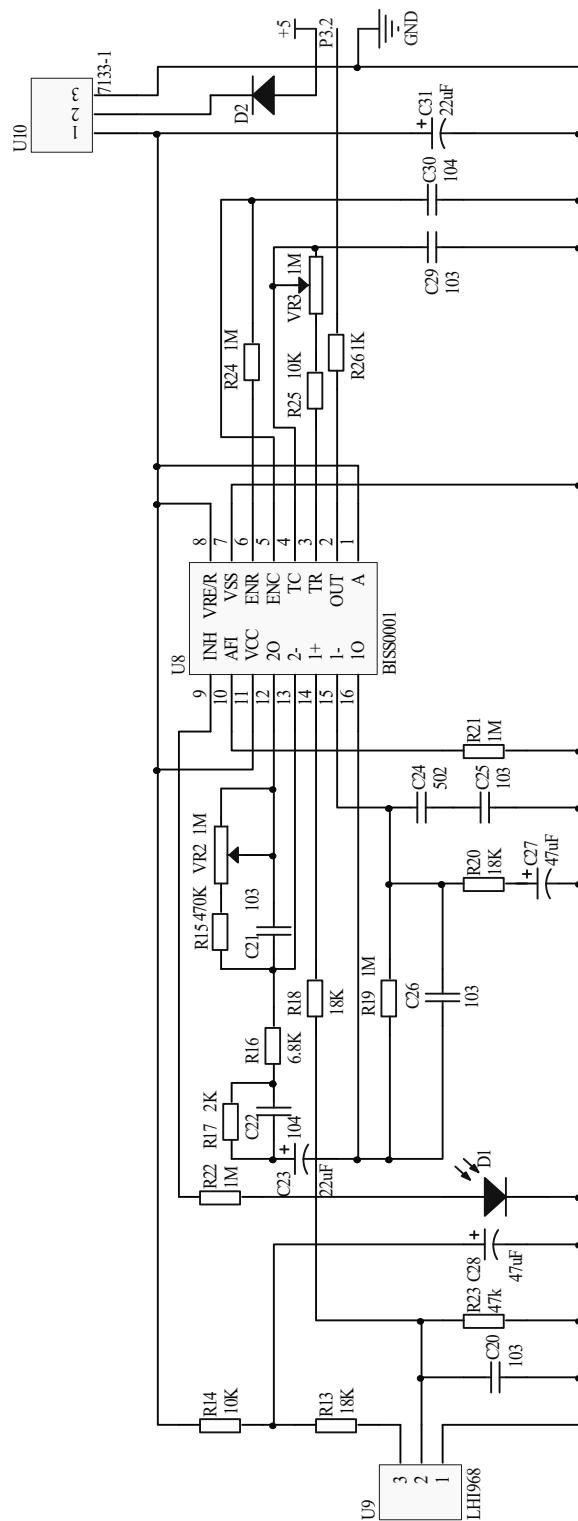


图 10-13 热释电红外传感器外围电路

(3) STC 单片机最小系统电路

STC89C52RC 单片机是宏晶科技推出的超强抗干扰、高速、低功耗的单片机，指令代码完全兼容传统 8051 单片机，12 时钟/机器周期和 6 时钟/机器周期可任意选择。其片上集成 512 字节 RAM，使程序的存储量有了极大的提高。单片机最小系统包括复位电路、晶振

电路、指示电路及报警与受控电路。

- 复位电路

复位电路的目的是初始化芯片，让芯片重新开始工作。复位时，单片机从程序存储器中起始位置开始读程序代码，单片机运行中一旦死机或是程序跑飞，就需要复位。复位电路采用自动复位+手动复位的方式，系统上电，则自动复位，复位采用简单的阻容方式，设置 RC 的值可以确定复位时间。手动复位就是通过 CPU-RST 按键来进行操作。

复位电路的实质是一阶充放电电路，系统上电时该电路提供有效的复位信号 RST（高电平）直至系统电源稳定后撤销复位信号（低电平）。从理论上说，此单片机复位引脚只要外加两个机器周期的有效信号即可复位，即只要保证 $t=RC>2M$ （机器周期）便可。但在实际设计中，通常 C 取值为 10uF 以上，R1 通常取值 10KΩ 左右。若 R1 取值太小，则会导致 RST 信号驱动能力变差而无法使系统可靠复位。

- 晶振电路

晶振部分配合 2 个 30pF 的电容实现振荡，产生电脉冲为单片机提供时钟信号。为使串口通讯准确无误，在此处选择 11.0592MHz 的晶振。按照这个晶振可以精确的计算出波特率。

- 指示电路

系统中特地增加了 8 个 LED 灯。从 P1 口接出经一千欧电阻与外围+5V 电源连接。系统运行时，LED 灯会根据程序的运行顺序逐个点亮，从而达到令程序的运行情况一目了然的目的。

- 报警与受控电路

设计使用了蜂鸣器发声、红色 LED 灯常亮的方式在现场报警。用户亦可发送短信至 GSM 模块对蜂鸣器或 LED 进行控制。

单片机的最小系统如图 10-14 所示。

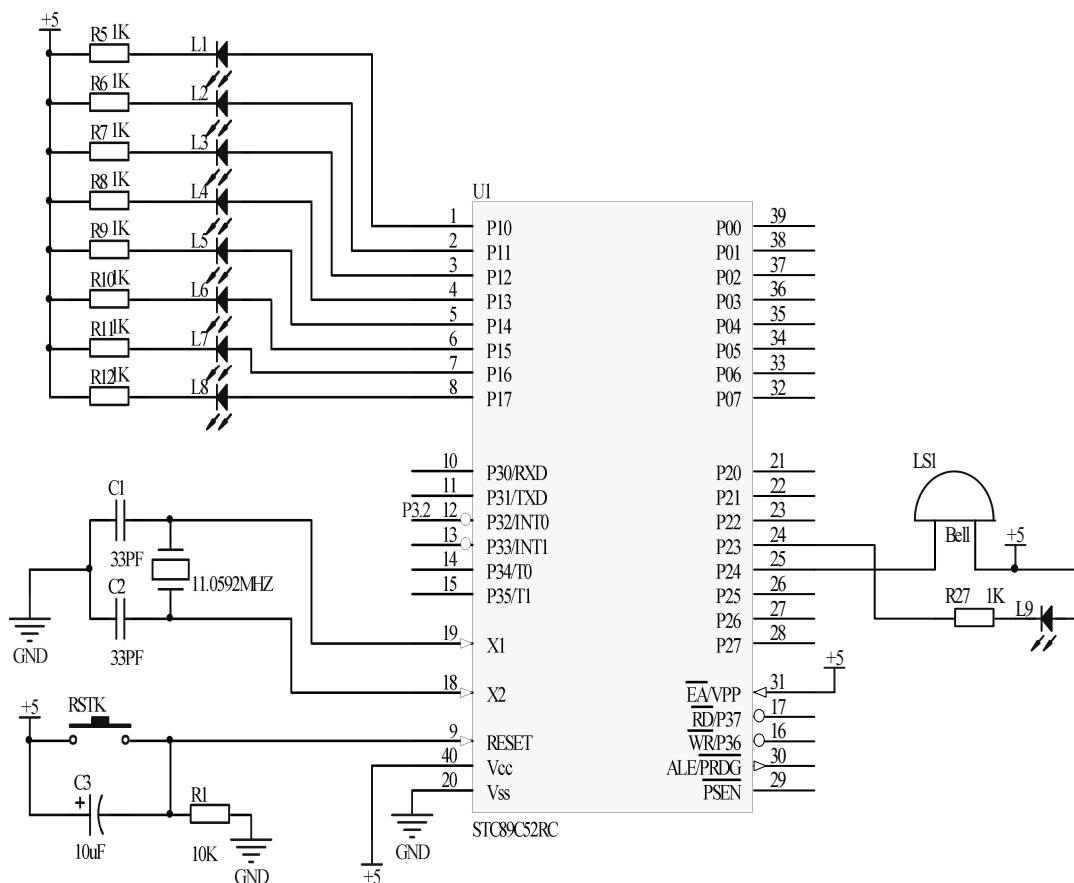


图 10-14 单片机最小系统电路图

(4) LCD 显示电路设计

本系统中应用 1602 液晶显示器作为显示器件。1602 液晶显示器的每一个点在收到信号后就一直保持一定的色彩和亮度，恒定发光，而不像阴极射线管显示器（CRT）那样需要不断刷新亮点。因此，液晶显示器画质高且不会闪烁。液晶显示器体积小、重量轻、功耗低并且都是数字式的，和单片机系统的接口更加简单可靠，操作更加方便。

液晶显示器的主要技术参数：

- 显示容量：16×2 个字符；
- 片工作电压：4.5~5.5V；
- 工作电流：2.0mA(5.0V)；
- 字符尺寸：2.95×4.35(W×H)mm。

1602 液晶显示模块与单片机的 P0 口经上拉电阻直接连接, 其电路如图 10-15 所示。

图 10-15 LCD 显示电路

TC35 共有 40 个引脚，通过一个 ZIF(Zero Insertion Force)连接器引出。这 40 个引脚可以划分为 5 类，即电源、数据输入/输出、SIM 卡、音频接口和控制。第 1-14 脚为电源部分，其中 1-5 为电源电压输入端 VBATT+，6-10 为地 GND，11、12 为充电引脚，13 对外输出电压(供外电路使用)，14 为 ACCU/TEMP 接负温度系数的热敏电阻；24-29 为 SIM 卡引脚，分别为 CCIN，CCRST，CCIO，CCCLK，CCVCC 和 CCGND；33-40 为语音接口用来接电话手柄；30、31 和 32 脚为控制部分，15 为启动线 IGT(Ignition)，30 为 RTC backup，31 为 Power down，32 为 SYNC；16-23 为数据输入/输出，它们分别为 DSR0，RING0，RXD0，TXD0，CTS0，RTS0，DTR0 和 DCD0。

根据 TC35 的引脚与工作原理,其外围电路的设计主要包括启动电路、电源电路、外接 SIM 卡电路和数据通信电路。

● 启动电路

启动电路由开漏极三极管和上电复位电路组成。模块上电 10ms 后(电压须大于 3V), 为保证整个系统正常启动, 要求在电源加电时工 GT 必须在保持大于 100 毫秒的低电平后再阶跃到高电平。在电路板中是依靠 RC 电路来完成的且该信号下降沿时间小于 1ms。启动后, 15 脚的信号应保持高电平。电源通电后, +5V 电源通过电阻 R 对 C 充电, 使电容正极上的电压慢慢上升, 大约经过 100ms 达到高电位使施密特触发器翻转、使系统被复位。

● 电源电路

电源电路分为充电电源和稳压电源模块两部分。TC35 的充电电压正端 POWER, 如果通过外部的电源(如充电器)供电, 应保证 $I_{max} = 500\text{ mA}$, $V_{in}=5.5\text{-}8\text{V}$; TC35 的工作电压输入端 VBATT+, 电压幅度为 3.3V~5.5V, $V_{typ} = 4.2\text{V}$, 最大电流 $I_{max}\leq 2\text{A}$ 。电源模块 REG1117-3.3 将外部+5V 直流电源转换为+3.3V。必须注意的是, 要保证 VBATT+的电压不能低于 3.3V, 否则电压将会跌落, 从而导致 TC35 停止工作。

● 外接 SIM 卡电路

c) TC35 集成了一个与 ISO7816-3 IC Card 标准兼容的 SIM 接口。为了适合外部的 SIM 接口, 该接口连接到主接口(ZIF 连接器)。TC35 在 ZIF 连接器上为 SIM 卡预留 6 个引脚, 其中 CCIN 引脚用来检测 SIM 卡支架中是否插有 SIM 卡。当插入 SIM 卡, 该引脚置为高电平时, 系统方可进入正常工作。

● 数据通信电路

数据通信电路主要完成短消息的收发、与单片机及 PC 机通信、软件流控制等功能。TC35 的数据接口采用的是串行异步收发, 工作在 CMOS 电平。所以, 数据通信电路以 Maxim 公司的 MAX232 芯片为核心, 实现电平转换及串口通信功能。即 TC35 的 RS-232 串口与单片机及 PC 机之间通过 MAX232 相互连接, 通讯协议是 AT 指令集。MAX232 是包含两路驱动器和接收器的 RS-232 转换芯片。在发送端用驱动器将 CMOS 电平转换为 RS-232 电平, 在接收端用接收器将 RS-232 电平再转换为 CMOS 电平。

本模块使用后: 当 LED 熄灭时, 表明 TC35 处于关闭或睡眠状态; 当 LED 为 600ms 亮/600ms 熄时, 表明 SIM 卡没有插入或 TC35 正在进行网络登录; 当 LED 为 75ms 亮/3S 熄时, 表明 TC35 已登录进网络。TC35 模块的外围电路如图 10-16 所示。

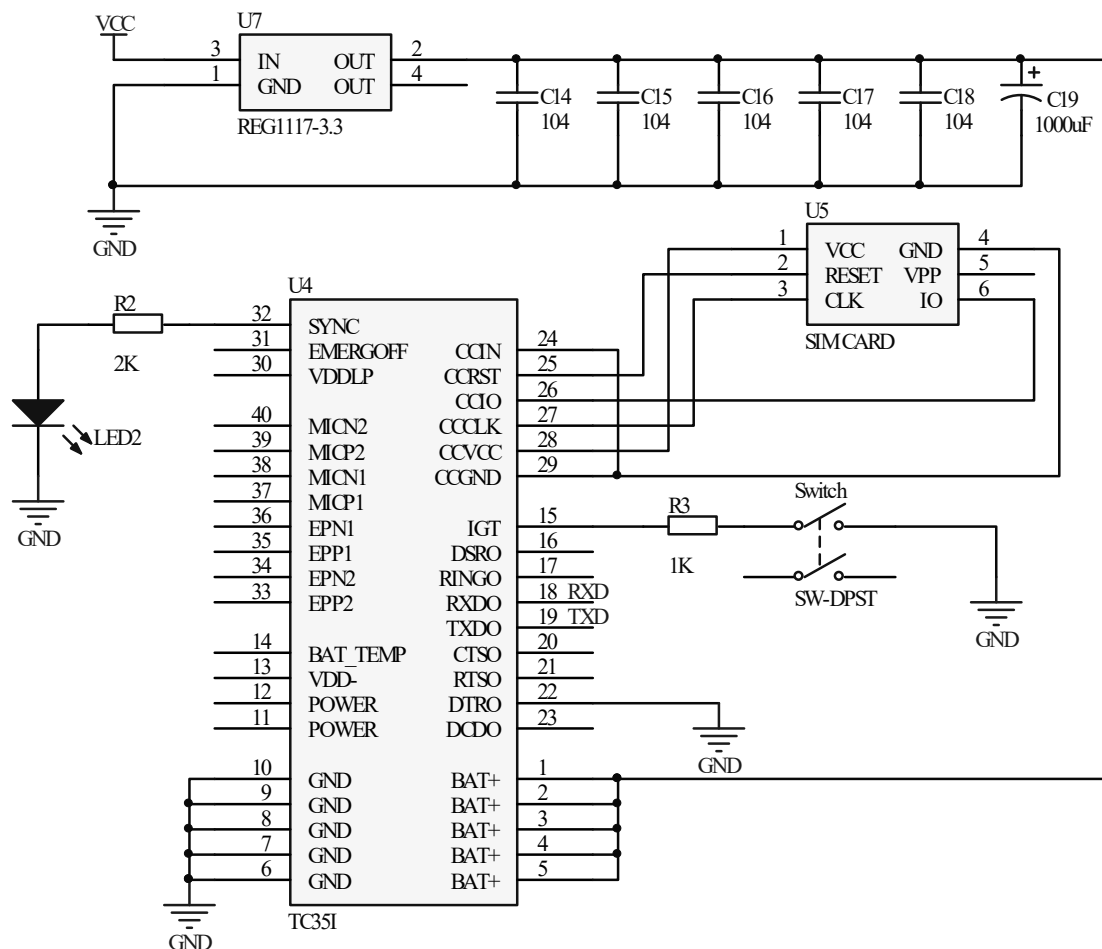


图 10-16 TC35 模块外围电路

4、系统软件设计

系统开机后首先进行初始化，主要包括串口初始化，LCD 初始化，传感器初始化以及 TC35 模块初始化。完成之后则进入循环检查状态：测量并显示温度，然后检测有无报警信号触发。如果检测到有报警信号产生，系统将调用发送短信息子程序将预先设定好的报警短信息发送给手机用户与上位机，告知报警情况。之后系统根据用户的回复，执行相应动作，并将向手机用户发送系统已经完成动作的提示短信。如果没有报警信号触发，则系统会等待接收短消息命令。若是收到符合格式的短消息，系统将会根据短消息的内容进行相应的操作，并依据该操作的结果给予手机用户相应的短信提示。系统软件流程图如图 10-17 所示。

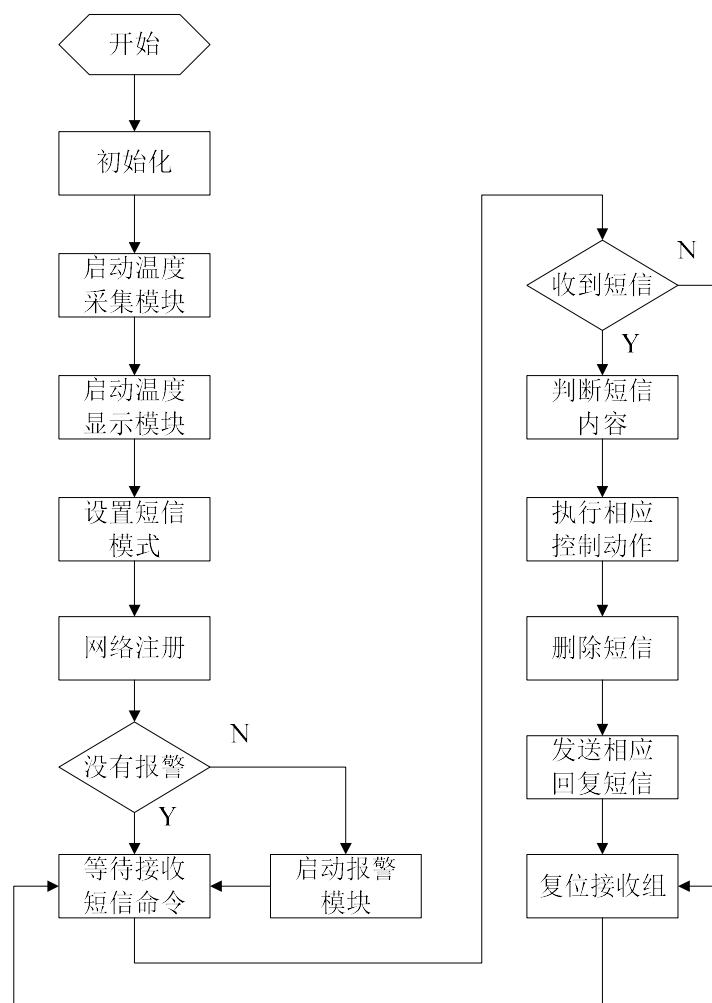


图 10-17 系统设计主流程图

10.4.2 无线近距离测控系统设计实例

1、设计任务

nRF2401 技术比较成熟、成本相对较低，已被广泛应用于各种远程的无线监测系统中。要求以 nRF2401 无线通信模块为基础，构建一个远程的温湿度数据采集系统，采用 nRF2401 模块、单片机实现远程数据采集系统设计。采用 PC 实现采集数据显示、处理。

2、系统总体设计方案

本系统的硬件结构主要可分为两部分：数据采集部分和无线传输部分。从功能模块结构上可分为：数据采集模块、无线数据传输模块、电源模块。系统的总体设计是按模块化思想实现的，采用模块化原理可以使系统结构清晰，不仅容易设计也容易管理和修改，使系统容易测试和调试，有助于提高系统的可靠性和可修改性，同时，模块化也有助于系统开发的组织管理。

数据采集模块主要由传感器和单片机组成，主要功能是：采集所用传感器检测到的温、湿度信号传送到单片机进行数据处理。传感器是实现测量和控制的首要环节，是测温湿度系统的关键部件，如果没有传感器对原始被测信号进行准确可靠的捕捉和转换，一切准确的测

量都将无法实现。本系统中采集点所使用的传感器，同时具有温度、湿度测量和 A/D 转换功能，直接输出数字信号，测量高效准确。

无线传输部分主要是由无线发射模块和无线接收模块组成。实现对采集端采集到的数据进行发送和接收。无线数据模块是进行数据传输的关键环节，如果没有无线模块对信号的传输，就无法实现无线传输功能。系统将无线接收模块接收到的数据传送到 PC 实现采集数据显示、处理。系统的总体设计框图如图 10-18 所示。

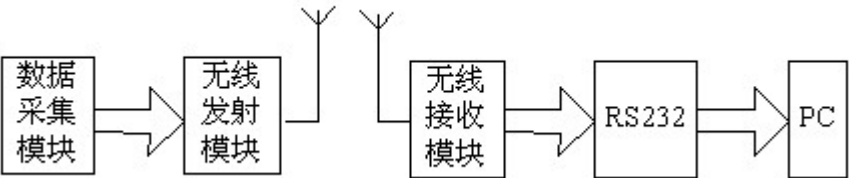


图 10-18 基于 nRF2401 的无线数据采集系统总体设计框图

(1) 主要器件选型

本系统的硬件部分期间的选型主要包括无线芯片、单片机，传感器，显示屏等，合理的选择系统器件不仅有利于系统性能的提高，还能减少系统设计中一些不必要的麻烦。因此，器件的选型是系统设计中关键的一步。

1) 无线芯片的选择

无线芯片的种类很多，表 10-6 列举了常用的无线芯片。

表 10-6 无线芯片比较表

芯片	nRF2401 Nordic	RF2915 RFMD	XC1201 Xemics	CC400 ChipCon
工作电压	2.7~5.25V	2.4~5.0V	2.4~5.5V	2.7~3.3V
数据可否直接接单片 机串口使用	可以直接单片机 串口使用，数据无 需曼彻斯特编码，可 直接传输串口数 据，效率高。	不能直接接单片 机串口使用，数据 需要进行曼彻斯 特编码，效率低 （实际速率为标 称的 1/3）	不能直接接单片 机串口使用，数据 需要进行曼彻斯 特编码，效率低 （实际速率为标 称的 1/3）	不能直接接单片 机串口使用，数据 需要进行曼彻斯 特编码，效率低 （实际速率为标 称的 1/3）
最大输功 率（dBm）	10	5	-5	14
需要 外接	1	1	2	1
外围元件 数量	约 10 个	约 50 个	两根天线时约 20 个；一根天线时约 35 个	小于 25 个

选择无线芯片要注意以下几点：

- 收发芯片的数据传输的编码方式

采用曼彻斯特编码的芯片，在编程上会需要较高的技巧和经验，需要更多的内存和程序容量，并且曼彻斯特编码大大降低数据传输的效率，一般仅能达到标称速率的 1/3。而采用串口传输的芯片，应用及编程非常简单，传送的效率很高，标称速率就是实际速率，串口编程也很方便。

- 收发芯片所需的外围元件数量

芯片外围元件的数量的直接决定产品的成本，因此应该选择外围元件少的收发芯片。

- 功耗

大多数无线收发芯片是应用在便携式产品上的，因此功耗也非常重要，应该根据需要选择综合功耗较小的产品。

- 发射功率

在同等条件下，为了保证有效和可靠的通信，应该选用发射功率较高的产品。但是也应该注意，有些产品号称的发射功率虽然较高，但是由于其外围元件多，调试复杂，往往实际的发射功率远远达不到标称值。

- 收发芯片的封装和管脚数

较少的管脚以及较小的封装，有利于减少 PCB 面积降低成本，适合便携式产品的设计，也有利于开发和生产。

综合上面几点，nRF2401 无线收发芯片无疑是一个好的选择。

2) 传感器的选择

现代传感器在原理与结构上千差万别，根据具体的测量目的、测量对象以及测量环境合理地选用传感器，是在进行测量的关键问题。

- 根据测量对象与测量环境确定传感器的类型

首先进行多因素分析，考虑采用何种传感器，需要根据被测量的特点和传感器的使用条件考虑以下一些具体问题：量程的大小、被测位置对传感器体积的要求；测量方式为接触式还是非接触式；信号的引出方法，有线或是非接触测量；综合上述因素后就能确定选用何种类型的传感器，然后再考虑传感器的具体性能指标。

- 灵敏度的选择

通常在传感器的线性范围内，希望传感器的灵敏度越高越好。灵敏度高时，与被测量变化对应的输出信号的值就大，有利于信号处理。但传感器的灵敏度高，与被测量无关的外界噪声也容易混入，也会被放大系统放大，影响测量精度。因此，要求传感器本身应具有较高的信噪比，减少外界干扰信号的影响。

- 频率响应特性

传感器的频率响应特性决定了被测量的频率范围，必须在允许频率范围内保持不失真的测量条件，希望延迟时间越短越好。

- 线性范围

传感器的线性范围是指输出与输入成正比的范围。传感器的线性范围越宽，则其量程越

大,并且能保证一定的测量精度。选当传感器的种类确定以后首先要看其量程是否满足要求。

- 稳定性

传感器使用一段时间后,其性能保持不变化的能力称为稳定性。影响传感器长期稳定性的因素除传感器本身结构外,主要是传感器的使用环境。因此,根据具体的使用环境选择合适的传感器,或采取适当的措施,减小环境的影响。

- 精度

精度关系到整个测量系统测量精度的一个重要指标。传感器的精度越高,其价格越昂贵,因此,传感器的精度只要满足整个测量系统的精度要求即可。

温湿度传感器种类繁多,性能多样,考虑到低成本,低功耗要求,在保证可靠性的情况下,电路设计用到的元器件尽可能的少,价格尽可能低。本系统选择 SHT11 数字温湿度传感器,价格便宜,灵活易用。SHT11 是瑞士 Scnsirion 公司推出数字温湿度传感器芯片。该芯片广泛应用于暖通空调、汽车、消费电子、自动控制等领域。其主要特点如下:

高度集成,将温度感测、湿度感测、信号变换、A/D 转换和加热器等功能集成到一个芯片上;提供二线数字串行接口 SCK 和 DATA,接口简单,支持 CRC 传输校验,传输可靠性高;测量精度可编程调节,内置 A/D 转换器(分辨率为 8~12 位,可以通过对芯片内部寄存器编程选择);测量精确度高,由于同时集成温湿度传感器,可以提供温度补偿的湿度测量值和高质量的露点计算功能;封装尺寸超小,测量和通信结束后,自动转入低功耗模式;具有高可靠性。

其测量原理:首先利用 2 个传感器分别产生相对湿度、温度的信号;然后经过放大,分别送至 A/D 转换器进行模数转换、校准和纠错;再通过二线串行接口将相对湿度及温度的数据送至微控制器;最后利用微控制器完成非线性补偿和温度补偿。

SHT11 传感器默认的测量温度和相对湿度的分辨率分别为 14 位、12 位,通过状态寄存器可降至 12 位、8 位。湿度测量范围是 0~100%RH,对于 12 位的分辨率为 0.0300 RH;测温范围为-40℃~+123.8℃,对于 14 位的分辨率为 0.01℃。每个传感器芯片都在极为精确的湿度室中标定,校准系数以程序形式储存在 OTP 内存中,在测量过程中可对相对湿度自动校准,使 SHT11 具有 100%的互换性。

3) 单片机的选择

单片机的选择对整个系统性能起着至关重要的作用。STC89C51RC/RD+系列单片机是宏晶科技推出的新一代高速、低功耗、超强抗干扰的单片机,指令代码完全兼容传统 8051 单片机。

3、系统硬件设计

本系统主要用到传感器模块、单片机最小系统、显示模块、无线发射模块、无线接收模块和串行通信五大部分,图 10-19 是系统硬件总体设计框图。

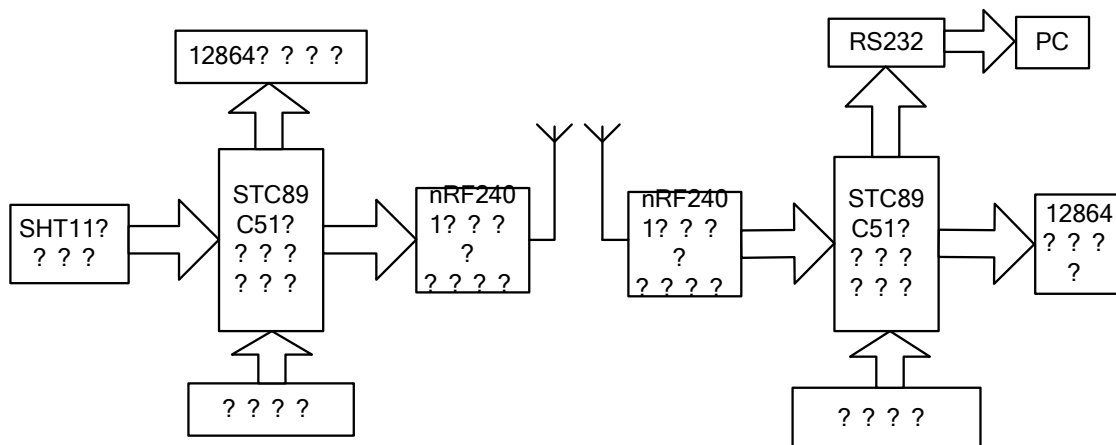


图 10-19 系统硬件总体设计

1) 数字温湿度传感器 SHT11 的电路设计

SHT11 数字温湿度传感器将 CMOS 芯片技术与传感器技术结合起来，从而发挥出它们强大的优势互补作用。该传感器具有数字式输出、免调试、免标定、免外围电路及全互换的特点。

SHT11 温湿度传感器采用 SMD(LCC)表面贴片封装形式，接口非常简单，引脚名称及排列顺序如图 10-20 所示。

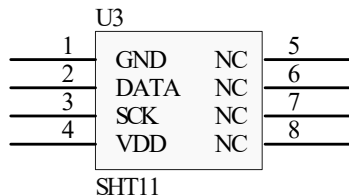


图 10-20 SHT11 引脚图

各引脚的功能如下：

- 脚 1 和脚 4：信号地和电源，其工作电压范围是 2.4V~5.5V；
- B.脚 2 和脚 3：二线串行数字接口，其中 DATA 为数据线，SCK 为时钟线；
- C.脚 5~脚 8：未连接。

温湿度传感器 SHT11 将温度感测、湿度感测、信号变换、A/D 转换和加热器等功能集成为一个芯片上，其内部结构如图 10-21 所示。

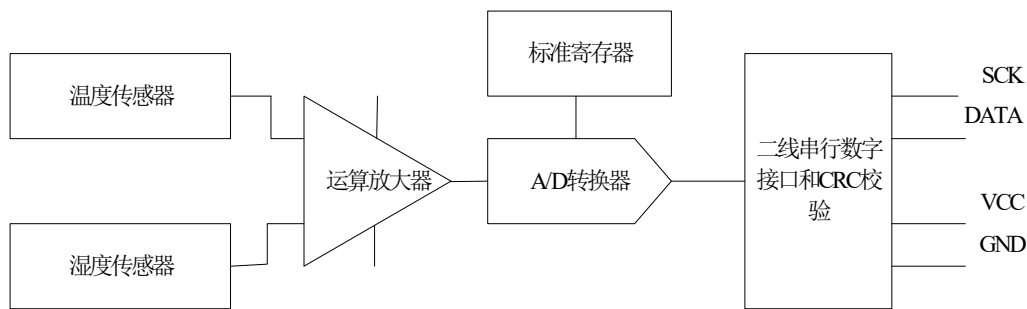


图 10-21 SHT11 内部结构图

该芯片包括一个电容性聚合体湿度敏感元件和一个用能隙材料制成的温度敏感元件。这两个敏感元件分别将湿度和温度转换成电信号，该电信号首先进入微弱信号放大器进行放大；然后进入一个 14 位的 A/D 转换器；最后经过二线串行数字接口输出数字信号。

SHT11 内部还集成了一个加热元件，加热元件接通后可以将 SHT11 的温度升高 5℃ 左右，同时功耗也会有所增加。此功能主要为了比较加热前后的温度和湿度值，可以综合验证两个传感器元件的性能。

微处理器是通过二线串行数字接口与 SHT11 进行通信的。通信协议与通用的 I²C 总线协议不兼容，需要用通用微处理器 I/O 口模拟该通信时序。微处理器对 SHT11 的控制是通过 5 个 5 位命令代码来实现的，命令代码的含义如表 10-7 所列。

表 10-7 SHT11 控制命令代码

命令代码	含义
00011	测量温度
00101	测量湿度
00111	读内部状态寄存器
00110	写内部状态寄存器
11110	复位命令，使内部状态寄存器恢复默认值，下一次命令前至少等待 11ms。
其他	保留

SHT11 通过二线数字串行接口来访问，硬件接口电路非常简单。DATA 数据线需要外接上拉电阻，时钟线 SCK 用于微处理器和 SHT11 之间通信同步，由于接口包含了完全静态逻辑，所以对 SCK 最低频率没有要求；当工作电压高于 4.5V 时，SCK 频率最高为 10MHz，而当工作电压低于 4.5V 时，SCK 最高频率则为 1MHz。硬件连接如图 10-22 所示。

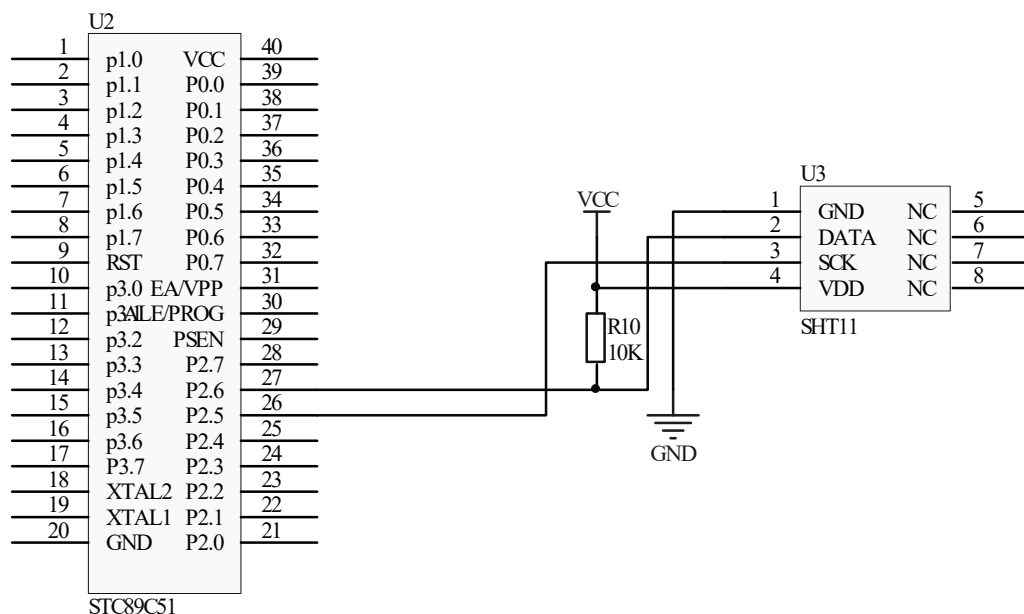


图 10-22 SHT11 与单片机的链接电路图

2) STC89C51 单片机最小系统

单片机最小系统由图 10-23 所示。STC89C51 使用 11.0592MHz 的晶体振荡器作为振荡源，由于单片机内部带有振荡电路，所以外部只要连接一个晶振和两个电容即可，电容容量一般在 15pF 至 50pF 之间。

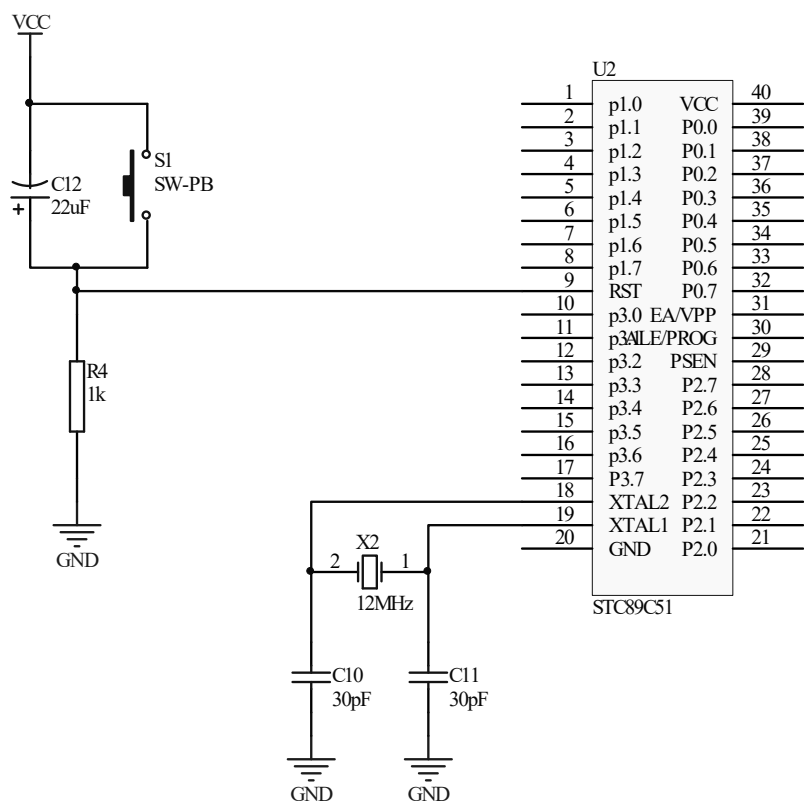


图 10-23 单片机最小系统

3) 12864 液晶显示电路设计

12864A-1 汉字图形点阵液晶显示模块，可显示汉字及图形，内置 8192 个中文汉字(16×16 点阵)、128 个字符(8×16 点阵)及 64×256 点阵显示 RAM (GDRAM)。

通过对 12864 显示屏引脚功能的分析可以知道，该模块有一个整体的片选信号“E”，只有当信号为高电平时，所有电路才会有效。另外左右半屏各有一个选择信号 CS1 和 CS2，CS1 和 CS2 各自为低电平时，分别选中左半屏和右半屏。为了区分读写的是数据还是指令，还设置了一个数据指令控制线 D/I。根据这些原则，设计出接口电路如下图 10-24 所示。

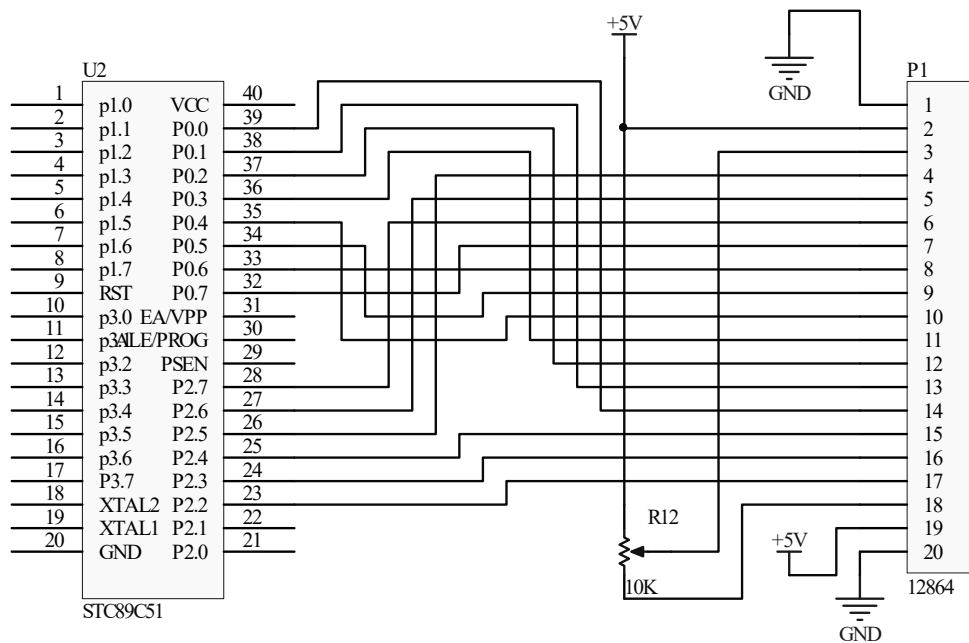


图 10-24 12864 设计电路图

(4) nRF2401 芯片硬件电路设计

nRF2401 无线收发芯片的设计电路，外围元件只需要 14 个。nRF2401 无线收发芯片的设计电路工作于+3V 可用多种低功耗微控制器进行控制。在 nRF2401 的电路设计过程中，可使用单鞭天线或环形天线，图 10-25 为单鞭天线的设计电路。在使用不同的天线时，为了得到尽可能大的收发距离，电感电容的参数应适当调整。

系统主程序开始后首先进行初始化设置。初始化的内容包括给相应的字符名称赋值，设置串口通信参数。单片机然后向 SHT11 发初始化脉冲。然后发送 Skip ROM 命令，也就是接下来的 RAM 命令是针对 SHT11。将 SHT11 序列号存入单片机中，接着循环查询 nRF2401 子系统是否置接收方式，直到有接收数据，转入相应的子程序，执行温、湿度的检测，然后，将测得的数据发送，复位返回，准备进行新的测试

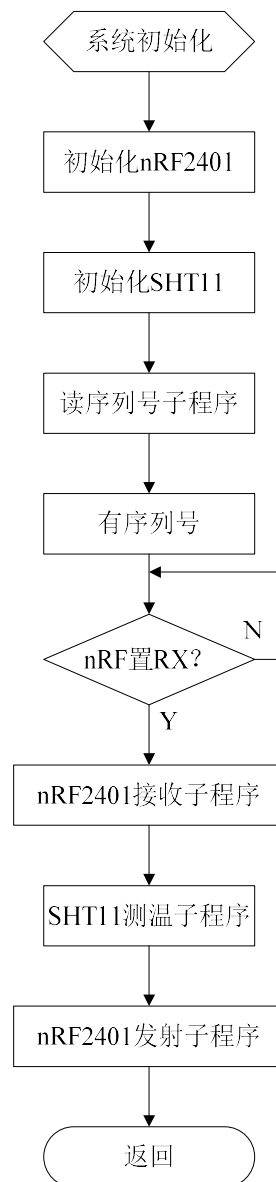


图 10-26 系统软件的总体流程图

(2) SHT11 数据采集程序设计流程图

温湿度测量：单片机首先发布 1 个启动传输时序，接着调用写时序发布温度或湿度（取决于入口参数，03H 为测量温度，05H 为测量湿度）的测量命令，然后延时等待测量的完成。在完成测量后，再调用读时序读回测量结果，进行温湿度的计算，最后将实际温湿度读值存储于固定单元中。

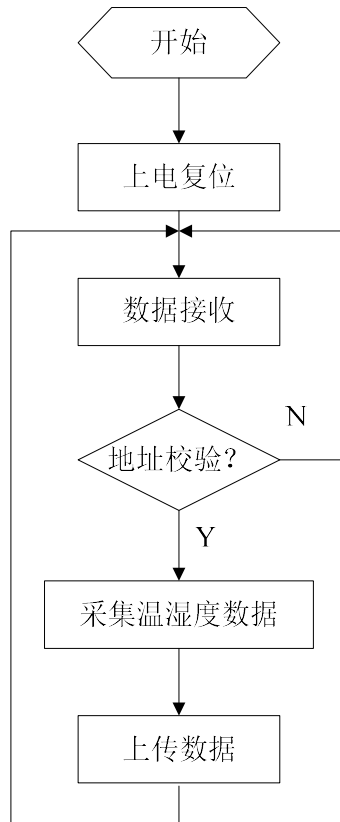


图 10-27 温湿度数据采集流程图

温湿度测量主要程序如下：

```

{ value humi_val,temp_val;
  float dew_point;
  unsigned char error,checksum;
  unsigned int i;
  init_uart();
  s_connectionreset();
  while(1)
{ error=0;
  error+=s_measure((unsigned char*) &humi_val.i,&checksum,HUMI); //measure
humidity
  error+=s_measure((unsigned char*) &temp_val.i,&checksum,TEMP); //measure
temperature
  if(error!=0) s_connectionreset(); //in case of an error: connection reset
  else
{ humi_val.f=(float)humi_val.i; //converts integer to float
  temp_val.f=(float)temp_val.i; //converts integer to float
  calc_sth11(&humi_val.f,&temp_val.f); //calculate humidity, temperature

```

```

    dew_point=calc_dewpoint(humi_val.f,temp_val.f); //calculate dew point
    printf("temp:%5.1fC humi:%5.1f%% dew }
for (i=0;i<40000;i++); }
}

```

(3) nRF2401 发射程序流程图

ShockBurst™ 模式发送:

- 当 CPU 有数据要发送时，将 CE 置高，启动内置的 nRF2401 子系统；
- 接收节点地址和有效数据按时序被送到 nRF2401 子系统，可通过应用协议或 CPU 设置，使这个速度小于 1Mbps；
- CPU 将 CE 置低，激活 ShockBurst™ 发送；
- ShockBurst™：RF 前端加电；完成 RF 数据打包处理（加前缀，CRC 校验）；数据高速发送（250kbps 或 1Mbps，可由配置决定）；发送完成，收发子系统返回等待开始工作。

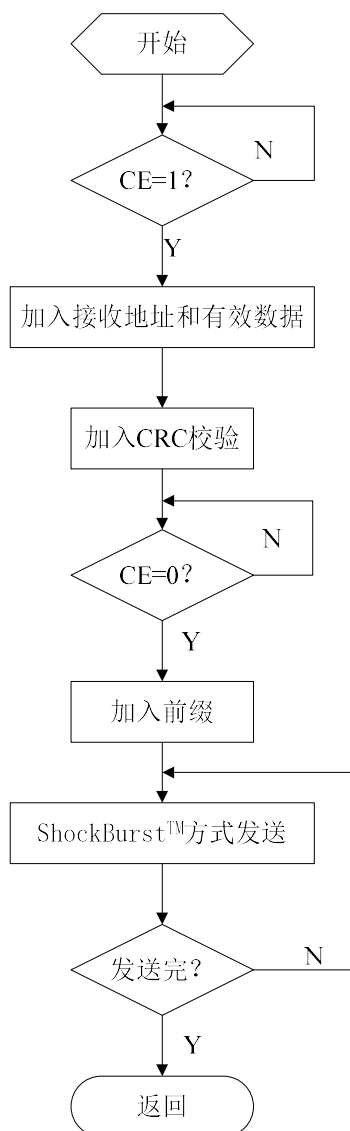


图 10-28 nRF2401 发送流程图

nRF2401 发送程序:

```
void nRF2401_SendByte(unsigned char *Address,unsigned char *out_data)
{
    unsigned char i;

    PWR_UP=1;                //PWR_UP=1:上电

    delay_ms(5);              //delay 5ms for 2401 enable(Min 4ms)

    CE=1;                     //CE=1:使能

    i=1;                       //Delay 10us

    while(i--);

    for(i=0; i<ADDR_W/8; i++)
    {
        write_spi_one_byte(Address[i]); //发送接收端相应通道的地址
    }

    for(i=0;i<DATA1_W/8;i++)

        write_spi_one_byte(out_data[i]); //接收端相应通道的接收数据


    CE=0;                     //for next package

    i=50;                      //delay about 300us

    while(i--);

    PWR_UP=0;                 //掉电
}
```

(4) nRF2401 接收程序流程图

ShockBurst™ 模式接收:

- 校验接收到的 RF 包的地址和包中有效数据的长度;
- 把 CE 置高, 激活 RX;
- 经过 200μs 处理, 启动 nRF2401 子系统监视信号的到来;
- 当收到一个有效的数据包(正确的地址和 CRC)子系统移去前缀、地址和 CRC 位;
- 子系统通过把 DR1 置高来通知 CPU;
- 将 CE 置低, 把 RF 前端设为低功耗方式;

- CPU 按时序以适当的速度（如 10kbps）把有效数据取出；
- 在接收数据过程中，如果 CE 保持高电平，当所有的有效数据都接收完，nRF2401 子系统再次把 DR1 置低，准备接收下一个数据包；如果 CE 为低电平，重新开始新的接收。

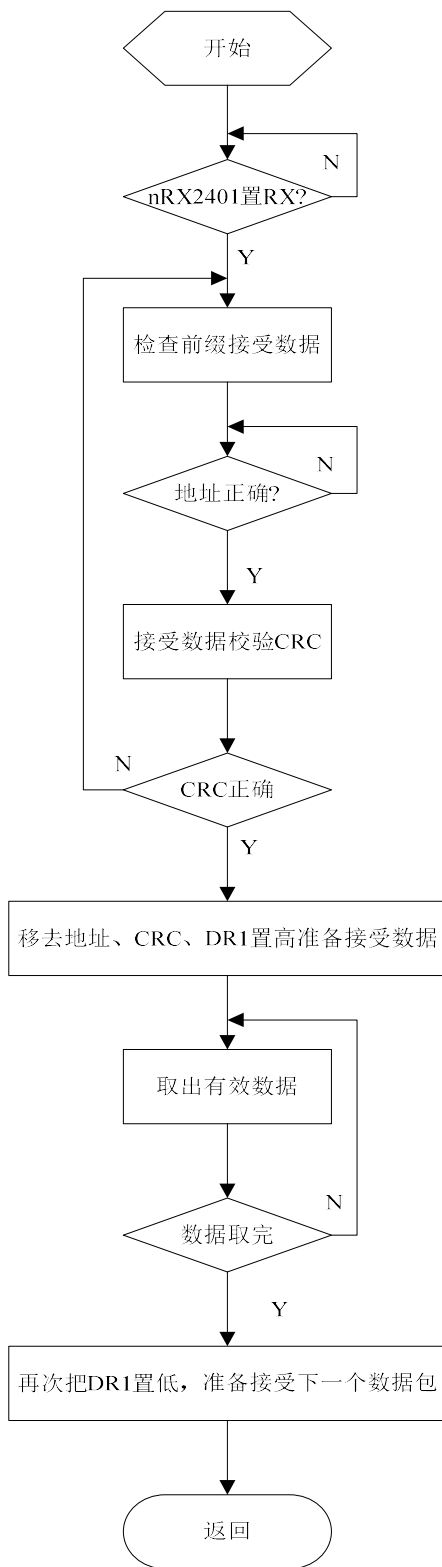


图 10-29 nRF2401 接收流程图

nRF2401 接收程序:

```
void receive_data(unsigned char payload_length)
{
    unsigned char i;
    for(i=0;i<payload_length;i++)
        rx_data_buf[i]=read_spi_one_byte(); // 接收数据,并存入 rx_data_buf
        数组
    }
}
```

(5) 液晶显示程序

连接 12864 显示电路,液晶显示屏的主要功能是显示温湿度传感器采集到的温湿度读数,本系统以串行的方式进行访问,串行数据传送共分三个字节完成。

第一字节:串口控制—格式 11111ABC。

- 为数据传送方向控制: H 表示数据从 LCD 到 MCU, L 表示数据从 MCU 到 LCD;
- 为数据类型选择: H 表示数据是显示数据, L 表示数据是控制指令;
- 固定为 0。

第二字节: (并行)8 位数据的高 4 位—格式 DDDD0000。

第三字节: (并行)8 位数据的低 4 位—格式 0000DDDD。

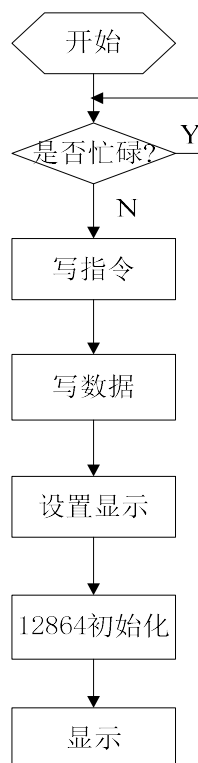


图 10-30 12864 显示程序流程图

12864 显示程序:

```
void Main()
{
    CH = 0;

    delay(1);

    lcdinit();

    delay(10);

    while(1)
    {
        Test();

        delay(5000);
    }
}
```