

nRF24L01 是一款新型单片射频收发器件,工作于 2.4 GHz~2.5 GHz ISM 频段。内置频率合成器、功率放大器、晶体振荡器、调制器等功能模块,并融合了增强型 ShockBurst 技术,其中输出功率和通信频道可通过程序进行配置。nRF24L01 功耗低,在以-6 dBm 的功率发射时,工作电流也只有 9 mA;接收时,工作电流只有 12.3 mA,多种低功率工作模式(掉电模式和空闲模式)使节能设计更方便。

nRF24L01 主要特性如下:

GFSK 调制;

硬件集成 OSI 链路层;

具有自动应答和自动再发射功能;

片内自动生成报头和 CRC 校验码;

数据传输率为 1 Mb/s 或 2Mb/s;

SPI 速率为 0 Mb/s~10 Mb/s;

125 个频道;

与其他 nRF24 系列射频器件相兼容;

QFN20 引脚 4 mm×4 mm 封装;

供电电压为 1.9 V~3.6 V。

2 引脚功能及描述

nRF24L01 的封装及引脚排列如图 1 所示。各引脚功能如下:

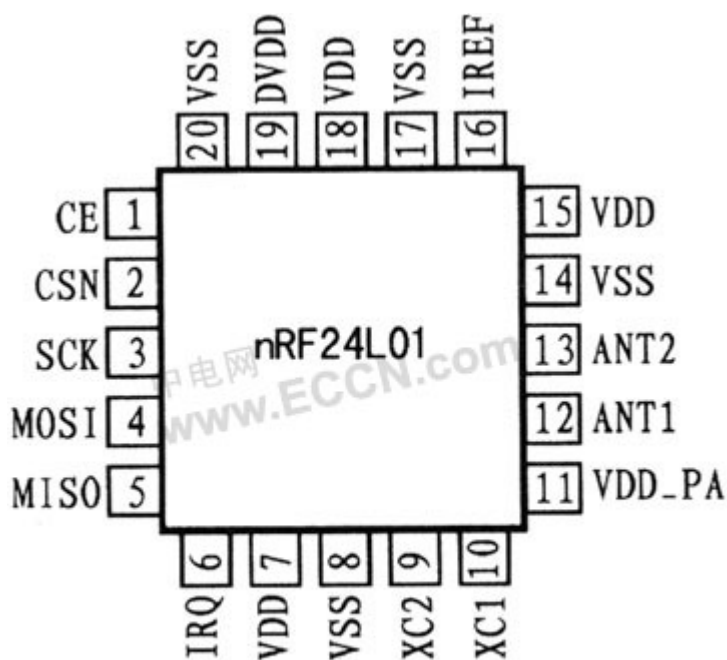


图 1 nRF24L01 引脚排列

CE: 使能发射或接收;

CSN, SCK, MOSI, MISO: SPI 引脚端, 微处理器可通过此引脚配置 nRF24L01:

IRQ: 中断标志位;

VDD: 电源输入端;

VSS: 电源地;

XC2, XC1: 晶体振荡器引脚;

VDD_PA: 为功率放大器供电, 输出为 1.8 V;

ANT1,ANT2: 天线接口;

IREF: 参考电流输入。

3 工作模式

通过配置寄存器可将 nRF24L01 配置为发射、接收、空闲及掉电四种工作模式，如表 1 所示。

表 1 nRF24L01 工作模式

模式	PWR_UP	PRIM_RX	CE	FIFO 状态
接收	1	1	1	-
发射	1	0	1	数据已在发射堆栈里
发射	1	0	1-0	当 CE 有下降沿跳变时,数据已经发射
空闲 2	1	0	1	发射堆栈空
空闲 1	1	-	0	此时没有数据发射
掉电	0	-	-	-

空闲模式 1 主要用于降低电流损耗，在该模式下晶体振荡器仍然是工作的；空闲模式 2 则是在当发射堆栈为空且 CE=1 时发生(用在 PTX 设备)；在空闲模式下，配置字仍然保留。

在掉电模式下电流损耗最小，同时 nRF24L01 也不工作，但其所有配置寄存器的值仍然保留。

4 工作原理

发射数据时，首先将 nRF24L01 配置为发射模式：接着把地址 TX_ADDR 和数据 TX_PLD 按照时序由 SPI 口写入 nRF24L01 缓存区，TX_PLD 必须在 CSN 为低时连续写入，而 TX_ADDR 在发射时写入一次即可，然后 CE 置为高电平并保持至少 10 μs，延迟 130 μs 后发射数据；若自动应答开启，那么 nRF24L01 在发射数据后立即进入接收模式，接收应答信号。如果收到应答，则认为此次通信成功，TX_DS 置高，同时 TX_PLD 从发送堆栈中清除；若未收到应答，则自动重新发射该数据(自动重发已开启)，若重发次数 (ARC_CNT)达到上限，MAX_RT 置高，TX_PLD 不会被清除；MAX_RT 或 TX_DS 置高时，使 IRQ 变低，以便通知 MCU。最后发射成功时,若 CE 为低则 nRF24L01 进入空闲模式 1；若发送堆栈中有数据且 CE 为高，则进入下一次发射；若发送堆栈中无数据且 CE 为高，则进入空闲模式 2。

接收数据时,首先将 nRF24L01 配置为接收模式，接着延迟 130 μs 进入接收状态等待数据的到来。当接收方检测到有效的地址和 CRC 时，就将数据包存储在接收堆栈中，同时中断标志位 RX_DR 置高，IRQ 变低，以便通知 MCU 去取数据。若此时自动应答开启，接收方则同时进入发射状态回传应答信号。最后接收成功时，若 CE 变低，则 nRF24L01 进入空闲模式 1。

5 配置字

SPI 口为同步串行通信接口，最大传输速率为 10 Mb/s，传输时先传送低位字节，再传送高位字节。但针对单个字节而言，要先送高位再送低位。与 SPI 相关的指令共有 8 个，使用时这些控制指令由 nRF24L01 的 MOSI 输入。相应的状态和数据信息是从 MISO 输出给 MCU。

nRF24L01 所有的配置字都由配置寄存器定义，这些配置寄存器可通过 SPI 口访问。nRF24L01 的配置寄存器共有 25 个，常用的配置寄存器如表 2 所示。

表 2 常用配置寄存器

地址(H)	寄存器名称	描 述
00	CONFIG	可用来设置 nRF24L01 的工作模式
01	EN_AA Enhanced	用于接收通道的设置,使能接收通道的自动应答功能
02	EN_RXADDR	使能接收通道地址
03	SETUP_AW	设置地址宽度(适合所有通道)
04	SETUP_RETR	设置自动重发射
07	STATUS	状态寄存器
0A ~ 0F	RX_ADDR_P0 ~ P5	设置接收通道的地址
10	TX_ADDR	设置发射机地址
11 ~ 16	RX_PW_P0 ~ P5	设置接收通道的数据长度

6 应用电路设计

笔者用单片机和 nRF24L01 设计了一个无线数据传输电路，并通过串口将数据传输至计算机。硬件电路设计如图 2 所示。

图 2 中发射和接收电路相同。使用时需在接收端加一个 RS232 接口，使其与计算机串口连接，将接收到的数据传送至计算机。该电路的工作原理：首先使接收电路上电，接着便处于接收状态等待数据的到来；然后运行 VB 程序，点击接收按钮；最后发射电路上电，并将单片机 RAM 内预先存放的数据"20H"发射出去，在 1 ms 内接收电路收到数据，同时 VB 界面显示出接收到的数据。该电路实现了 PC 机与单片机系统之间的无线通信。

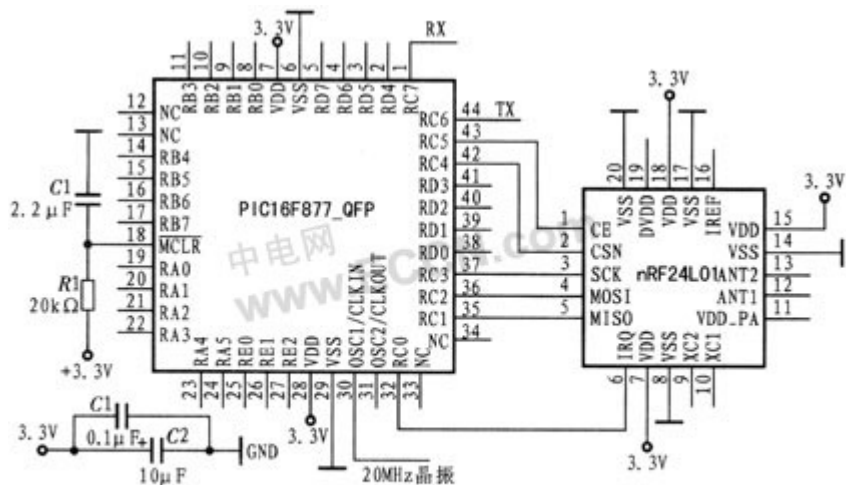


图 2 无线数据传输电路

系统软件控制流程如图 3 所示。

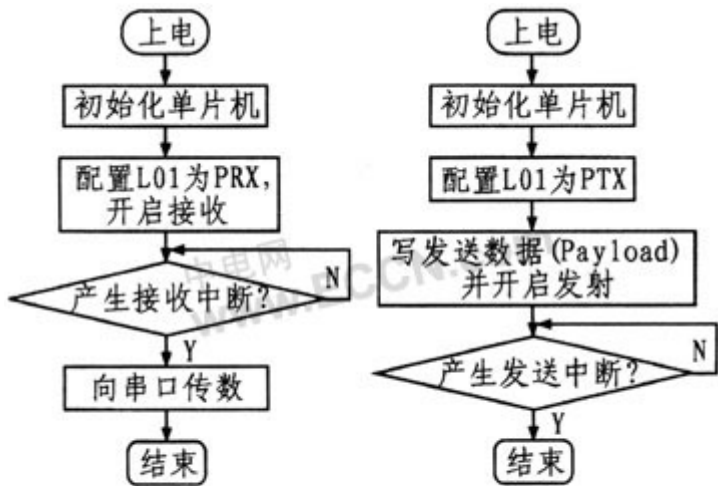


图 3 软件控制流程

7 结束语

详细介绍了 nRF24L01 的引脚结构、工作模式、收发原理以及配置字，并以 nRF24L01 为核心设计了无线数据传输电路，结合 RS232 接口，实现了计算机与单片机系统之间的无线通信，为以后传输大量数据奠定了基础。另外，还应该考虑到速率和误码等其他因素。