

## 1 nRF24L01 芯片的介绍

nRF24L01 是单片射频收发芯片，工作于 2.4~2.5 GHz ISM 频段。工作电压为 1.9~3.6 V，有多达 125 个频道可供选择。可通过 SPI 写入数据，最高可达 10 Mb / s，数据传输率最快可达 2 Mb / s，并且有自动应答和自动再发射功能。和上一代 nRF2401 相比，nRF2401 数据传输率更快，数据写入速度更高，内嵌的功能更完备。

芯片内置频率合成器、功率放大器、晶体振荡器、调制器等功能模块，并融进了增强式 ShockBurst 技术，其中输出功率和通信频道可通过程序进行配置。芯片能耗非常低，以 -6 dBm 的功率发射时，工作电流只有 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。

### 1.1 nRF24L01 引脚介绍

芯片引脚排列见图 1。

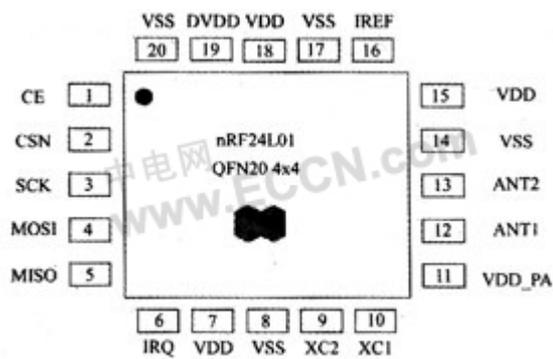


图 1 nRF24L01 引脚排列

各引脚具体功能如下：CE 为发射和接收的使能端；CSN 为 SPI 的使能端；SCK 为 SPI 时钟输入；MOSI 为 SPI 数据主输入从人端；MISO 为 SPI 数据主人从输端；IRQ 为中断输出；VDD 为电源端，接 3 V 直流电源；VSS 为参考接地端；XC1, XC2 为晶振端；VDD\_PA 给功率放大器供电 1.8 V；ANT1, ANT2 为天线接口端；IREF 为参考电流端。

### 1.2 nRF24L01 的指令结构

nRF24L01 所有的配置字都由配置寄存器来定义，这些配置寄存器可通过 SPI 口访问。

#### 1.2.1 SPI 接口设置

SPI 接口由 SCK, MOSI, MISO 及 CSN 组成。

(1)在配置模式下单片机通过 SPI 接口配置 nRF24L01 的工作参数。

(2)在发射或接收模式下单片机 SPI 接口发送或接收数据。

和 SPI 接口的指令共有 8 个，使用每个指令时必须使 CSN 变低，用完后将其变高。单片机的控制指令从 nRF24L01 的 MOSI 引脚输入，而 nRF24L01 的状态信息和数据信息是从其 MISO 引脚输出并送给单片机的。利用 SPI 传数时，他是先传低位字节，再传高位字节，并且在传每个字节时是从高位字节传起的。指令分别是；读寄存器指令，格式是 000A AAAA；写寄存器指令，格式是 001AAAA(A AAAA 代表寄存器在内存中的地址；读 Payload 指令；写 Payload 指令；清发射堆栈指令；清接收堆栈指令；发射数

#### 1.2.2 中断

当 nRF24L01 的中断源(TX\_DS, RX\_DR, MAX\_RT)被置高时(TX\_DS 为发送成功标志位，RX\_DR 为接收数据成功标志位，MAX\_RT 为自动重发超上限标

志位), 就会使 IRQ 引脚置低。可以向状态寄存器写 1 来清这些中断标志位。通过设置 CONFIG 寄存器的某些位来屏蔽掉这些中断源, 默认情况下, 这三个中断源都是允许的。

### 1.2.3 内存区

下面介绍 nRF24L01 的内存区, 一共 24 个寄存器, 以下选取几个重要的加以介绍。

0 号寄存器: 第 7 位是保留位; 第 6 位到第 4 位分别是 TX\_DS, RX\_DR, MAX\_RT 屏蔽位, 置高能屏蔽相应的中断源; 第 3 位是 CRC 使能位; 第 2 位是选择 CRC 长度; 第 1 位是 PWR\_UP 位, 高电平为使芯片上电; 第 0 位是发射、接收选择位, 高电平是发射, 低电平是接收。

1 号寄存器: 第 7 和第 6 位是保留位, 第 5 到第 0 位是使能通道 5 到通道 0 的自动应答, 高电平有效。

2 号寄存器: 第 7 和第 6 位是保留位, 第 5 到第 0 位是使能接收通道地址 5 到地址 0, 高电平有效。

4 号寄存器: 第 7 位到第 4 位是设置自动重发的时间, 第 3 位到第 0 位是设置自动重发的次数。

7 号寄存器是状态寄存器, 第 7 位是保留位, 第 6 位是 RX\_DR 位(1: 接收堆栈中有了数据), 第 5 位是 TX\_DS 位(1: 数据成功发送到接收方), 第 4 位是 MAX\_RT 位(1: 达到重发射上限, 产生超时中断), 第 3 到第 1 位是标志哪个通道接收数据, 第 0 位是发射堆栈状态位。

### 1.3 nRF24L01 的功能描述

nRF24L01 可以通过设置 CE 和状态寄存器来选择他的工作状态, 如表 1 所示。

表 1 nRF24L01 的工作模式

模式	PWR_UP 寄存器	PRIM_RX 寄存器	CE	FIFO 状态
接收	1	1	1	—
发射	1	0	1	数据已经在发射堆栈里
发射	1	0	1→0	当 CE 有下降沿跳变时, 数据已经发出
空闲 2	1	1	1	发射堆栈空
空闲 1	1	—	0	此时没有数据要发射
掉电	0	—	—	—

配置为发射模式的 nRF24L01 将会利用增强式 ShockBurst 技术来发射数据包。发送设备在发完数据后将自动转为接收状态来等待接收方的应答信号。若发送设备未接收到应答信号, 他将自动重发这包数据(自动重发开启的情况下)直到接收这包数据或者重发次数超过了在寄存器 SETUP\_RETR\_ARC 设置的所允许的最大重发次数。如果是第二种情况, 他将在 STATUS 寄存器里的 MAX\_RT 位反映出来, 并且给出中断。

当 nRF24L01 收到应答信号时, 他将认为该包数据成功发送到接收方, 并把这包数据从发射堆栈中清除, 同时 IRQ 变低, STATUS 寄存器里的中断标志位 TX\_DS 置高。

用增强式 ShockBurst 技术来发射数据可以有以下好处：极大地降低了电流损耗；系统开销低；极大地降低了数据在空气中的碰撞率。

## 2 系统设计

### 2.1 硬件设计

本系统采用的单片机是 PIC16F877，将单片机的 PORTC 的 0~5 配置成通用 I/O 引脚，分别与 nRF24L01 的 IRQ, CE, CSN, SCK, MOSI, MISO 连接，控制 nRF24L01 的工作方式，采用单片机标准的 SPI 接口。系统上电时，PIC16F877 首先对 nRF24L01 进行写配置寄存器操作，然后使 nRF24L01 进入发射状态，将要发送的数据写入 nRF24L01，激活无线发射。然后检测 nRF24L01 的 IRQ 引脚，由于关闭了自动重发射功能，因此如果引脚电平变低，即说明产生发送成功中断，数据发送成功，然后从接收端读出数据即可。

### 2.2 软件设计

程序流程图如图 3 所示。程序编程的基本思路是，系统上电首先配置 nRF24L01 的寄存器，本系统只对其中几个寄存器进行了重新配置，关闭自动重发射功能是想对发送失败次数进行统计，其他的均采用默认值，如：通信速率 2 Mb/s，输出功率 0 dBm 等。

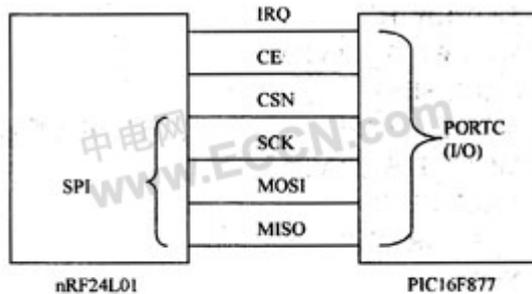


图 2 硬件电路示意图

nRF24L01 写配置子程序如下：

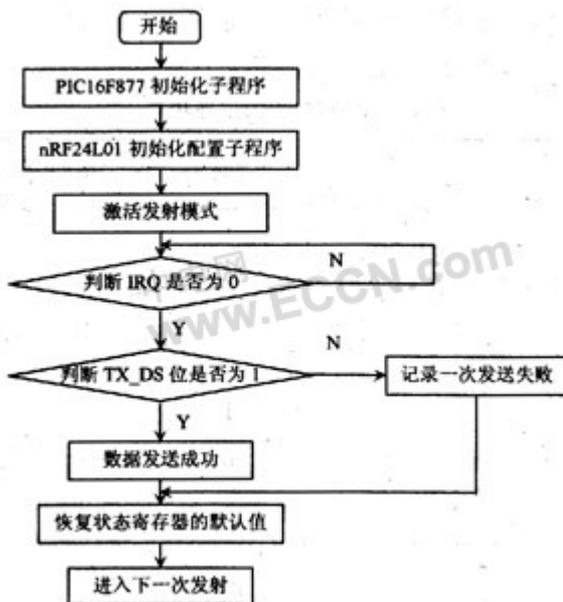


图 3 程序流程图

```

        BCF PORTC,2          ;CSN 变低,开始 SPI 写数
        NOP
        MOVLW H'20'
        MOVWF S_DATA
        CALL SEND
B0     MOVLW H'0A'
        ;使能 CRC,开启 POWER UP,选择发射模式
        MOVWF S_DATA
        CALL SEND
        BSF PORTC,2        ;SPI 写数完成
        NOP
        BCF PORTC,2
        MOVLW H'21'
        MOVWF S_DATA
        CALL SEND
B1     MOVLW H'01'        ;只开启通道 0 的自动应答功能
        MOVWF S_DATA
        CALL SEND
        BSF PORTC,2
        NOP
        BCF PORTC,2
        MOVLW H'22'
        MOVWF S_DATA
        CALL SEND
B2     MOVLW H'01'        ;只使能接受通道地址 0
        MOVWF S_DATA
        CALL SEND
        BSF PORTC,2
        NOP
        BCF PORTC,2
        MOVLW H'24'
        MOVWF S_DATA
        CALL SEND
B4     MOVLW H'00'        ;关闭自动重发射功能
        MOVWF S_DATA
        CALL SEND
        BSF PORTC,2
    
```

```

NOP
BCF PORTC,2
MOVLW H'31'
MOVWF S_DATA
CALL SEND
B17 MOVLW H'20'
      ;设置接受通道 0 的数据长度为 16 个字节
MOVWF S_DATA
CALL SEND
BSF PORTC,2          ;CSN 变高
RETLW 0
    
```

nRF24L01 发送子程序如下：

```

BCF PORTC,2
NOP
MOVLW H'20'          ;写配置寄存器
MOVWF S_DATA
CALL SEND
MOVLW H'0A'
      ;置 PRIM_RX 为低,置 PWR_UP 为高
MOVWF S_DATA
CALL SEND
BSF PORTC,2
CALL W_TX_PAY
BSF PORTC,1
CALL DLY10us
CALL DLY10us
BCF PORTC,1          ;开启 L01 发射
CALL DLY130us
IRQ_J BTFSC PORTC,0      ;判断 IRQ
GOTO IRQ_J
BCF PORTC,2
NOP
MOVLW H'07'
MOVWF S_DATA
CALL SEND
MOVLW H'F1'
MOVWF S_DATA
CALL SENDI
CALL READ
BSF PORTC,2
TX_1 BTFSS R_DATA,5      ;判断数据是否成功发送
GOTO TX_3
BCF PORTB,2
BSF PORTB,1
TX_2 BCF PORTC,2          ;CSN 变低
NOP
MOVLW H'27'          ;状态寄存器恢复为默认值
MOVWF S_DATA
CALL SEND
MOVLW H'3E'
MOVWF S_DATA
CALL SEND
BSF PORTC,2
NOP
RETLW 0
TX_3 BCF PORTB,1          ;统计发送失败的次数
BSF PORTB,2
INCF FAIL_NUM,1
BTFSS STATUS,Z
    
```

```
GOTO TX_2
INCF FAIL_N2,1
GOTO TX_2
W_TX_PAY          ;发送 20 个数
BCF PORTC,2
NOP
MOVLW H'20'
MOVWF TX_NUM
MOVLW H'A0'
MOVWF S_DATA
CALL SEND
PAY_RE MOVLW H'55'
MOVWF S_DATA
CALL SEND
DECFSZ TX_NUM,1
GOTO PAY_RE
NOP
BSF PORTC,2
RETLW 0
```

### 3 结语

本文介绍了利用 PIC16F877 和 nRF24L01 芯片设计的无线数据传输系统,成本低,体积小,传输速率高,具有良好的通用性和可靠性,可供监测和工业控制系统电路设计参考使用。

## 射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训推荐课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



### 射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

### 手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术,内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计,最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计,以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计;通过该套课程的学习,可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计,以及天线及其匹配电路的设计和调试...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



### WiFi 和蓝牙天线设计培训课程

该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP) 公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像,课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结,主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用,匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识,以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您,绝对值得拥有和学习! ...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.html>



## CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



## HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

## ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



### 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

### 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>