

# 基于 nRF24E1 和 MSP430 低功耗肌电信号监测系统设计

胡大洋

(盐城工学院 实验教学部, 江苏 盐城 224051)

**[摘 要]:** 介绍了利用 TI 公司新一代 16 位单片机 MSP430F425 和 nRF24E1 射频收发器芯片组成的一种无线表面肌电信号采集系统的设计方案。根据表面肌电信号的特点, 设计出了相应的调理电路, 并给出了系统的硬件设计、软件设计和通讯协议的实现方案。

**[关键词]:** 表面肌电信号; nRF24E1; MSP430F425;

## 0、引言

肌电信号(EMG)是产生肌肉力的电信号根源, 它是肌肉中许多运动单元动作电位在时间和空间上的叠加, 反映了神经和肌肉的功能状态, 在基础医学、临床诊断和康复工程中有广泛的应用<sup>[1]</sup>。目前, 临床肌电图(Electromyogram)检查多采用针电极插入肌肉检测肌电图, 其优点是干扰小, 定位性好, 易识别, 但由于它是一种有创的检测方法, 其应用受到一定的限制<sup>[2]</sup>。表面肌电则是从人体皮肤表面通过电极记录下来的神经肌肉活动时发出的生物电信号, 属无创性, 操作简单, 病人易接受, 有广泛的应用前景。

MSP430 和 nRF24E1 组成的无线数据采集系统, 具有功耗低, 易控制等特点, 特别适合低功耗、短距离的数据传输。本文针对医院病房病人肌电信号采集的现状, 设计了一套整体的实时控制系统, 克服了采用人工巡检等方法进行监护所存在的局限性。

## 1、系统总体

系统由数据采集单元和数据接收单元两部分组成, 数据采集单元与数据接收单元之间通过无线传输进行数据交互。其中一片 nRF24E1 无线收发模块作为下行采集设备, 另外一片 nRF24E1 无线收发模块作为上行接收设备, 二者共同一起完成数据的无线传输, 上行接收设备具有 RS-232 串行接口, 从而实现与 PC 机直接相连, 操作人员只需通过 PC 机上的主控软件完成数据采集处理。

## 2、硬件部分

### 2.1 MCU 选择

肌电信号为微弱信号, 所以要求采集设备应当具有低功耗特点, 故须采用功耗低的 MCU。MSP430F425 是 16 位 MCU, 具有功耗低、存储容量大、集成度高的特点。内置 3 个 16 位高精度 ADC、温度传感器、可编程增益放大器(1~32 倍)和 1.2V 基准电源; Basic Timer 定时器, 方便产生的定时; 16 位 TA 定时器, 带 3 路捕获和 2 路 PWM 发生器; 14 个双向 I/O 口, 每个 I/O 口都可以作为中断源。MSP430F425 除正常工作模式外, 还具有 5 种低功耗模式<sup>[3]</sup>。

### 2.2 表面 EMG 信号处理电路

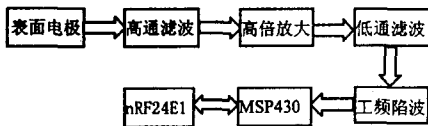


图 1 信号调整电路

表面 EMG 中往往夹带着低频和高频的干扰信号, 真正有用的肌电信号的频率范围大致在 5~500Hz 之间。所以, 直流至 5Hz 的低频信号经过高通滤波先给予滤除。高通滤波后的信号接入仪器放大器, 该放大器采用专用芯片 INA114, 该运放的共模抑制比高达 115dB, 失调电压 <math>50\mu\text{V}</math>, 并且只需外挂一个电阻就可以在 1~10000 倍之间设定放大倍数, 一般, 放大器的放大倍数要达到 1000 以上。低通滤波(截止频率约 500Hz)用来滤去高频噪声<sup>[4]</sup>。最后以

工频 50Hz 为中心频率的陷波滤波器将进一步提升输出信号的信噪比。图 1 是信号调整电路框图。

### 2.3 无线模块 nRF24E1

nRF24E1 是无线数据采集和传输的核心。该芯片以 nRF2401 芯片结构为基础, 将无线收发器 nRF2401、增强型 8051MCU、9 输入 10 位 ADC、125 通道、UART 异步串口、SPI 接口、PWM 输出、RC 振荡器、看门狗和唤醒定时器全部集成到单芯片中, 其室内传输距离可达 30 至 40 米, nRF24E1 片内集成了 RADIO 模块, 无线传输速度可达到 1Mbit/s, 在使用中只需要一片 nRF24E1 和少数的外围元件就能完成射频收发功能, 大大减少了系统的体积。该模块工作于 2.4GHz 的 ISM(工业、科学、医学)频段, 有多达 125 个频点, 能够实现点对点、点对多点的无线通信, 同时可通过改频和跳频来避免干扰。由于所有高频元件包括电感、振荡器等, 全部集成在芯片内部, 因此芯片的性能稳定, 受外部环境的影响很小。

nRF24E1 片内集成了 RADIO 模块, 收发任务由 RADIO (0A0H) 和 SPI\_CTRL (0B3H) 控制。nRF24E1 的收发方式是 Nordic 公司的专利技术 ShockBurst 方式。ShockBurst 技术应用片上先入先出缓冲器, 以较低的速率写入数据, 以较高的速率发出数据, 从而达到节电目的。同时在这种情况下, nRF24E1 的传输速率突破了 51 单片机的处理能力限制(10kb/s), 达到 1Mb/s 的速率, 并大大降低了电流损耗, 这使得 nRF24E1 在采集和传输数据时不需要 CPU 高速处理数据, 也可以得到很高的数据传输率。

## 3、系统的软件实现

### 3.1 nRF24E1 的通信设计

通过 PWR\_UP、CE 和 CS 三个控制引脚, 可以设置 nRF24E1 内置的 nRF2401 子系统的工作方式。PWR\_UP=1, CE=1, CS=0 为收发方式; PWR\_UP=1, CE=0, CS=1 为配置方式; PWR\_UP=1, CE=0, CS=0 为空闲方式; PWPWR\_UP=0 时关机。在配置情况下, 配置字最高可达 18 字节。nRF2401 的配置字通过一个简单的三线接口 (CS、CLK1 和 DATA) 送给配置寄存器。nRF24E1 内置的 nRF2401 子系统只有 ShockBurst 收发方式, ShockBurst 的功能由配置字决定。

数据通信报文格式是数据通信重要组成部分, 完整的射频数据包由四部分组成: 前缀, 地址, 有效数据和 CRC。nRF24E1 的无线数据包格式如下:

Preamble	ADDR	PAYLOAD	CRC
----------	------	---------	-----

其中 Preamble 是前缀, 是由硬件自动加上去的; ADDR 是要发送的 32~40 位地址码; PAYLOAD 是有效数据; CRC 是 CRC 校验和, 它可由内置 CRC 纠错硬件电路自动加上, 可设为 0, 8 或 16 位。ShockBurst 数据包的总位数最多不能超过 256 位, 可通过下式计算有效数据的最大位数。

$$\text{DATA}_x\text{W}(\text{bits}) = 256 - \text{ADDR}_w - \text{CRC}$$

其中 ADDR\_w 为配置字中所设置的接收地址的长度, 8 位~40 位; CRC 为配置字所设置的校验字, 8 位或 16 位。4 位或

8位的前缀是自动加进去的,不占用数据包的位数。由上式可知,要想在每个数据包中得到更长的有效数据,可以减少地址和CRC校验位。因此,设置较短的地址和校验和可以提高传输效率,但会使可靠性降低。ShockBurst方式,前缀、地址和CRC都是在接收器收到数据后自动移去,只留有效数据。

nRF24E1内置的收发子系统只有ShockBurst收发方式,其收发流程图如下:

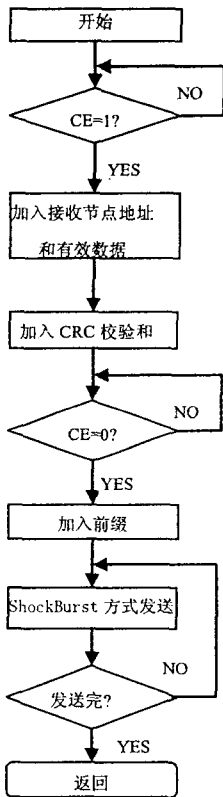


图2 ShockBurst发送流程图

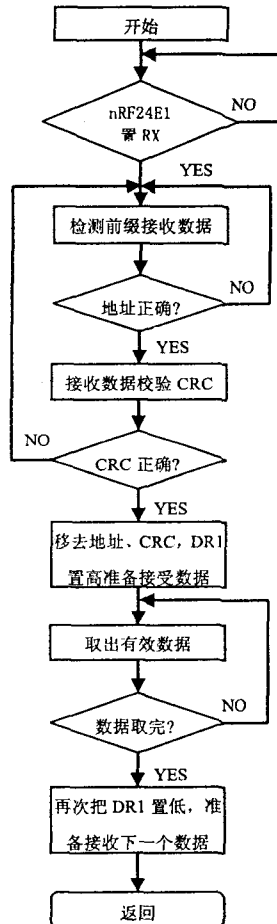


图3 ShockBurst接收流程图

从机在接到主机的唤醒命令之后,由休眠状态转入工作状态。经延时后,收发模块关闭,从机进行采样和A/D转换。完成A/D转换后,从机收发模块开启成发射状态,对主机发出传送数据过程完成之后系统复位,收发模块关闭。为了节电,从机在常态时都处于休眠状态,只能接收唤醒命令,其耗电极少。主机和从机的通讯模块不可同时处于接收状态,否则会出现无规则的干扰信号。本系统中采用延时的方法把主、从机的接收和发射区间分离开。当主机发出命令字,等待一段时间以后再转换成接收状态。从机收到工作命令后,关闭通讯模,执行采样和A/D转换工作。完成A/D转换后,从机向主机传送数据,完成传送数据程序。nRF24E1发送和接受流程如图2、图3所示。

### 3.2 DMA 模块设计

系统充分利用MSP430内部的DMA (direct memory access) 功能将采集到的数据转存到RAM中,这样数据传输速度比较快并且解放了CPU,从而提高了CPU的利用率,使信号处理能力更强。需要注意的是,系统中断不能打断DMA传输,只有在DMA传输结束才能被响应。在任何DMAxSZ寄存器的内容减为0时,响应的中断标志位被置位。如果与之对应的DMAIE和GIE也置位,则可以产生中断请求。DMAIFG不能自动复位,所以需要软件复位,下面是DMA的部分程序:

```
void InitDMA(void)
{
    DMA0SA=ADC12MEM0;
    DMA0DA=0x1100;
    DMA0SZ=0x01;
    DMA0CTL=DMA0TSEL_6;
    DMA0CTL|=DMADT_4+DMADSTINCR_3+DMADSTBYTE_0
+DMASRCBYTE_0+DMAEN;
    _BIS_SR(LMP0_bits+GIE);
}
#pragma vector=DMA_VECTOR
_interrrupt void DMA_ISR(void)
{
    DMA0CTL&=~DMAIFG;
    _BIC_SR_IRO(LMP0_bits);
}
```

### 3.3 低功耗的软件实现

如何降低功耗使网络生命周期最大化是无线传感网络面临的挑战。无线数据采集系统的节点必须要求低功耗。本系统的节能考虑主要从软件方面设计。

射频模块是功耗的主要部分,要保证节点能准确的接收数据就要保证节点处在接收状态,但若nRF24E1一直为接收状态,即使不考虑其他器件的电流功耗,电路的功耗也是相当大的,因此可以考虑通过软件设计来降低功耗。一种可行的办法是利用MSP430F1611的定时器,定时地将nRF24E1从低功耗模式下唤醒,然后将nRF24E1置为接收状态,监测空中信息,查看此时主机是否正在与自己通信,如果没有,则nRF24E1继续进入待机状态或掉电状态,MSP430进入低功耗模式;如果有,则保持接收状态并接收数据,并根据主机要求,进行数据采集,或者上传数据,一旦此次通讯完成,MSP430再置nRF24E1为待机或掉电状态,而自己进入低功耗模式,等待下一次中断将其唤醒。定时器的时间设定需要综合考虑上位机访问从机的频率、传输的数据长度和各个模式之间切换时间等因素,才能保证通讯正常进行。

### 3.4 上位机设计

本系统中PC机软件采用Visual Basic设计完成,主要涉及的内容为人机界面设计、串口通信编程、简单算法实现和文件读写操作。人机界面设计主要用到一些按钮、文本框等控件,用以提供对肌电信号采集装置的控制;所有的通信编程使用控件MSComm实现。简单算法主要实现对接收到的数据进行分析处理,还原为实际电压值;读写文件实现将读取到的肌电信号以文本形式存储下来,便于利用其他数学工具(如MATLAB)进行分析处理。

### 4、结束语

肌电信号是一种很微弱的易受干扰的生物电信号。本文针对肌电信号的特点设计出了一种简单易行的信号调整电路,并将无线通信的概念引入其中,作为信号的传输方式,很好的解决了表面肌电信号的采集和传输问题,获得了较为理想的结果。肌电信号的采集处理是一个集生物医学、电子学、信号处理等多门学科的综合应用技术,对它的研究还需不断的完善。

### 参考文献:

- [1] Qin Shuren. Intelligent virtual controls—new concept of virtual instrument. Proceedings of 2nd ISIST, Aug 2002, 1:75-79.
- [2] Qin Shuren, Tang Baoping. Intelligent virtual controls—The measuring instrument from whole to part. The Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 15(2):131-135.
- [3] 谢凯, 赵建. MSP430系列单片机系统工程设计与实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 3-4.
- [4] 罗志增, 阮晓亮. 表面肌电信号测试中工频干扰的抑制[J]. 仪器仪表学报, 2005.