

基于 MSP430 的超低功耗无线应变传感器的设计

徐俊,戴亚文,张义桃

(武汉理工大学理学院,湖北武汉 430070)

摘要:针对解决现有应变传感器存在的一些问题,设计了一种基于 MSP430 的超低功耗无线应变传感器。首先,介绍了以 MSP430F149 为控制器的无线应变传感器的工作原理、超低功耗设计、软硬件电路设计。其次实验以传统电阻应变片为信号源,通过放大滤波电路后由 MSP430F149 内部 12 位高速 AD 进行采样,通过 nRF905 将采集数据发送到接收机,实现应变的无线传输和采集。最后,通过实验验证了该传感器方案的可行性,并分析了传感器的各项技术指标。

关键词:超低功耗;应变传感器;无线;MSP430

中图分类号:TP274

文献标识码:A

文章编号:1002-1841(2008)07-0011-03

Design of Ultra-low Power Wireless Strain Sensor Based on MSP430

XU Jun, DAI Ya-wen, ZHANG Yi-tao

(Department of Science, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Aiming at some existing problems in strain sensor, a kind of ultra-low power wireless strain sensor based on MSP430 was designed. The working principle, design of ultra-low power, software and hardware circuit design of wireless strain sensor based on MSP430F149 as controller was introduced. Secondly, experiment with the traditional strain resistance as signal source, carries on the sampling after amplifying-filtering circuit by MSP430F149 internal high speed 12-bit A/D converter, transmit the sample data to receiver by nRF905 chip, to realize strain wireless transmission and gathering. At last, it's validated by experiment that the system design is feasible, and sensor's technical index was also analyzed.

Key words: ultra-low power; strain sensor; wireless; MSP430

0 引言

在传统应变测量过程中,经常会遇到待测构件尺寸过大或处于安全考虑时,应变仪应与待测构件保持很大距离的情况^[1]。测量时,应变仪与测量仪器之间通常需要较长的布线,这样,不仅提高了安装费用而且较长的布线使得信号在传输过程中严重损耗。虽然在现有的基础上提出了一些无线解决方案,但因为其功耗问题一直使得传感器模块不能较长的工作。因此设计了一种以超低功耗 MSP430 单片机为核心,以 nRF905 无线射频芯片为传输单元的无线应变传感器,从超低功耗和无线两个方面解决实际工程中的问题。

1 电阻应变计的工作原理

电阻应变计是由敏感栅、基底、粘结剂、盖层、引线组成。其工作原理是将电阻应变计安装(如粘贴)在被测构件表面上,构件受力而变形时,电阻应变计的敏感栅随之产生相同应变,其电阻值发生变化,用仪器测量此电阻变化即可测量出构件表面沿敏感栅轴线方向的应变。因此电阻应变计的主要性能与敏感栅有关,取敏感栅材料金属细丝,研究其把应变转换成电阻变化的关系^[2]。

金属细丝的电阻 R 与丝的长度 L 成正比,而与其截面积 A 成反比,公式如下:

$$R = r \frac{L}{A} \quad (1)$$

式中 r 为金属的电阻率。

当细丝因受拉力而伸长时,其电阻发生变化,此变化可由对上式的微分求得:

$$\frac{dR}{R} = \frac{dr}{r} + \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A} \quad (2)$$

细丝伸长由泊松效应(μ 为泊松比)引起截面变化: $\frac{dA}{A} = -2m \frac{dL}{L}$, 代入式(2)有

$$\frac{dR}{R} = \frac{dr}{r} + (1+2m) \frac{dL}{L} \quad (3)$$

高压下金属丝性能研究发现:

$$\frac{dr}{r} = m \frac{dV}{V}$$

式中: V 为金属细丝的初始体积, $V = AL$; m 为比例系数,在一定应变范围内,对特定材料和加工方法, m 是常数。

由细丝轴向应变 $e = \frac{dL}{L}$, $\frac{dV}{V} = (1-2m) \frac{dL}{L}$, 得:

$$\frac{dR}{R} = [1 + 2m + m(1-2m)] e = K_0 e \quad (4)$$

$$K_0 = 1 + 2m + m(1-2m) \quad (5)$$

在一定应变范围内 m 是常数,因此 K_0 也是常数,即电阻相对变化与应变成比例, K_0 称为金属丝的灵敏系数。所以一旦测出电阻的变化规律也就可以知道应变对应关系。

2 超低功耗无线应变传感器的组成

传统的应变计通过将电阻应变片的电阻变化通过导线传输到仪器内部,再通过相应的处理电路将电压信号转换成数字信号。在实际工程中应变片和应变仪之间的距离比较远,需要较长的导线将输入信号传到应变仪,由于电阻应变片的输出信号本来就比较微小,再加上长距离的导线使得信号在传输过程的可靠性大大降低,影响了实际工程中的质量。无线应变传感器正好在这些方面解决了实际工程中的问题。

2.1 系统整体组成

系统整体组成如图 1 所示。

2.2 超低功耗设计

低功耗设计是嵌入式系统的普遍要求,通过无线方案解决了

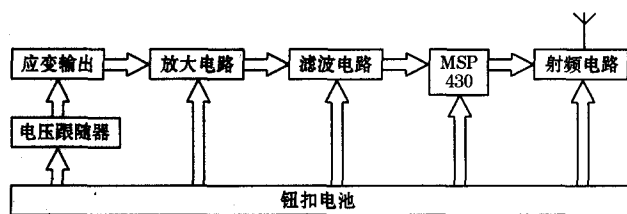


图1 系统组成

应变的无线采集,但是整个系统的功耗直接影响着传感器的工作寿命。无线应变传感器是一个手持设备,只能使用电池作为电源,因此对所采用微控制器和外围部件的低功耗特性要求比较高。

2.2.1 MSP430F149 与低功耗

CPU 和通信模块在不同时钟下运行,由于处理器的功耗与工作频率成正比,工作在低频方式下将大大降低处理器的功耗。CPU 功耗可以通过开关状态寄存器的控制位来控制:正常工作电流为 160 μA ,备用时为 0.1 μA ,为传感器的超低功耗要求提供有力的条件。CPU 在初始化完成后,处于 LPM3 工作模式,仅当有外部中断发生时唤醒进入终端服务程序,完成后重新进入低功耗模式,照此循环往复,可以最大的实现低功耗。

2.2.2 nRF905 与低功耗

nRF905 具有接收、发射、掉电、等待 4 种工作模式,只有当监测和接收频率相同的载波的时候并且地址匹配的情况下才进入接收模式,当传感器采集到数据需要发送的时候才唤醒 nRF905 进入发射模式,其他情况 nRF905 进入掉电模式,nRF905 被禁止,电流消耗将最小,典型值为 2.5 μA ,模式之间的切换将大大提高系统的工作时间。

2.3 硬件电路设计

2.3.1 前端电路设计

前端处理电路主要由电压跟随器、放大电路和滤波电路组成,其硬件链接图如图 2 所示。

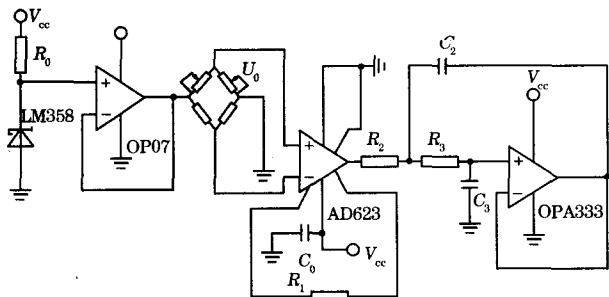


图2 前端处理电路

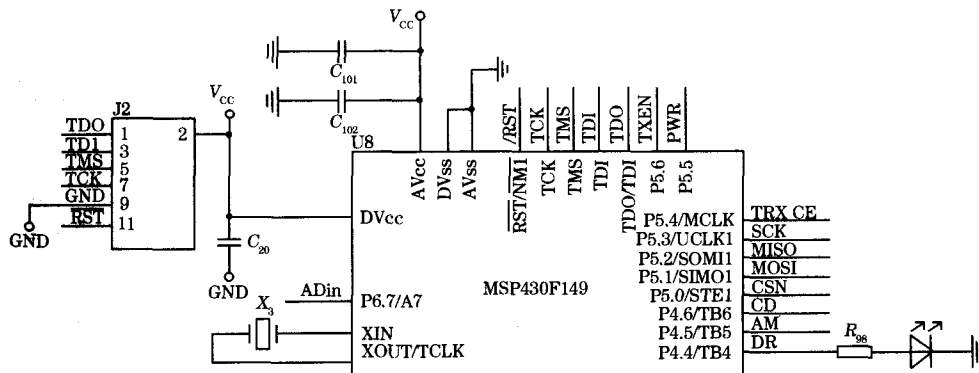


图3 控制电路

离最远可达 1 000 m。工作电压低,功耗小,待机状态仅为 1 μA ,以 -10 dB.m 的输出功率发射时电流只有 11 mA,工作于接收模式时的电流为 12.5 mA,并且内建空闲模式与关机模式,易于实

现节能。工作速率最高可达 100 kb bit/s,外围元件少(仅 10 个),基本无需调试。装置采用 433 MHz 发射频率,发射功率为 +10 dB.m,利用 ShockBusrt 工作模式自动产生前导码和 CRC^[5]。

$$f = \frac{w}{2p} = \frac{1}{2p \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

式中: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 91 \text{ k}\Omega$; $C_1 = 0.1 \text{ mF}$; $C_2 = 0.047 \text{ mF}$ 。

经过滤波电路后的信号可以被 MSP430 的 AD 正常转换^[3]。

2.3.2 控制电路设计

微处理单元采用 MSP430F149 单片机,该单片机的主要特点如下:

MSP430F149 单片采用 1.8 ~ 3.6 V 低电压供电, RAM 数据保持方式下耗电仅 0.1 μA ,活动模式耗电 250 $\mu\text{A}/\text{MIPS}$,传统的 MCS51 单片机约为 10 ~ 20 mA/MIPS,其输入端口的漏电流最大为 50 nA,远低于其他系列单片机(1 ~ 10 μA),加上它本身具有 5 种低功耗模式(LPM0 ~ LPM4),其应用系统可以做到用 1 枚电池使用 10 年^[4]。系统利用 MSP430F149 自带的 8 通道 12 位 AD 转换器进行采样,其采样速度为 200 kS/s。由于在测试阶段,系统只对一个通道进行多次转换,由于 MSP 单片机独有低功耗模式,在系统不工作的时候使 CPU 处于 LPM3 状态,在有信号进入 ADC 的时候进入中断函数进行 AD 转化,这样其平均电流是相当低,有效延长了系统的工作时间。硬件连接图如图 3 所示。

2.2.3 射频电路设计

射频电路采用的是 nRF905 芯片,工作频道覆盖 433/868/915 MHz 3 个国际通用的 ISM(工业、科学和医学)频段,具有多个频道(最多 170 个以上),可满足需要多信道工作的特殊场合;它是 GMSK 调制,抗干扰能力强,特别适合工业控制场合。采用 DSS + PLL 频率合成技术,频率稳定性极好;灵敏度高,达到 -100 dB.m;最大发射功率达 +10 dB.m;开阔地的使用距

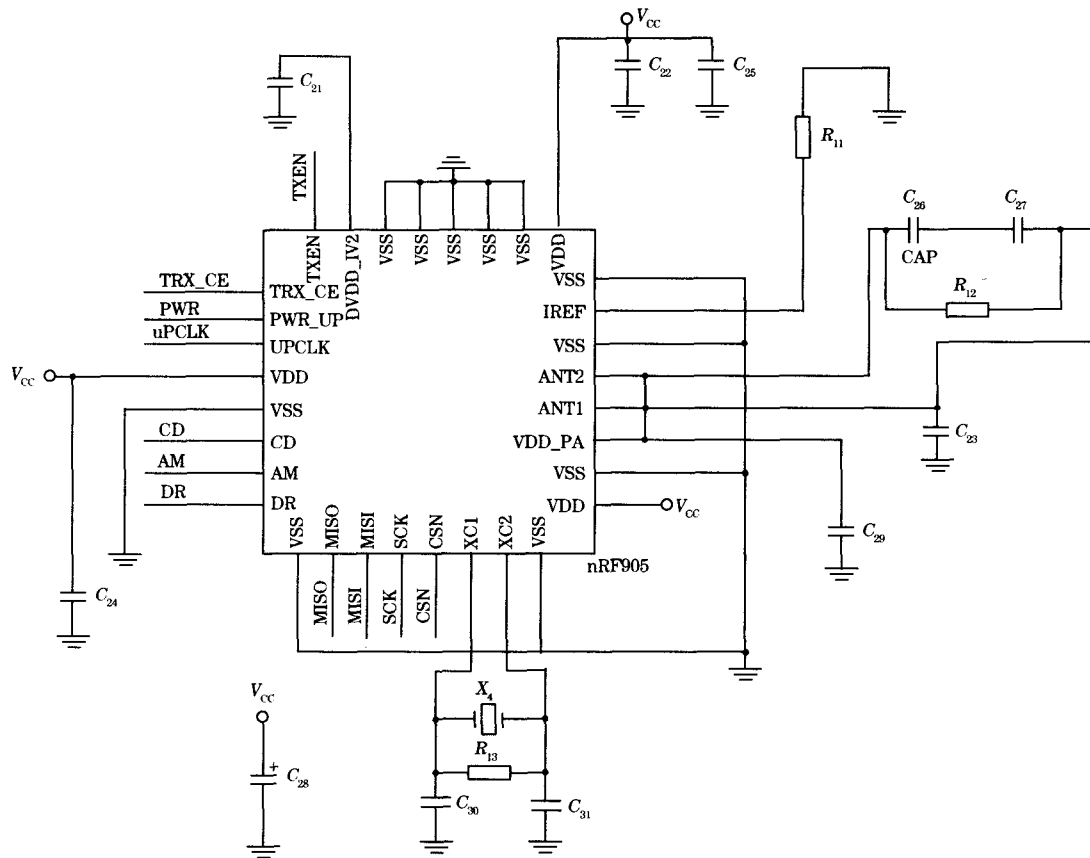


图 4 射频电路

3 软件电路设计

前端放大滤波后的信号被处理器的 AD 进行采样分析,其软件程序主要是处理器和射频芯片的初始化和处理函数。首先对 MSP430 各个 IO 口进行初始化,其次配置 nRF905 芯片的各寄存器,定义工作方式,再次是对 MSP430 的 AD 进行初始化设置,定义单通道多次转换,内部 AD 最多支持 8 通道同时采样,各模块初始化完毕后 CPU 进入低功耗模式 3,当需要采样的时候通过中断将 CPU 从睡眠状态唤醒,进入中断服务程序开始 AD 采样,通过采用中位值平均滤波法滤出因偶然因素引起的脉冲性干扰,消除脉冲干扰引起的采样值偏差,加大的系统的抗干扰能力。将数字滤波后的采样值通过 MSP430 的 SPI 总线将数据传到射频芯片进行发送。程序流程如图 5 所示。

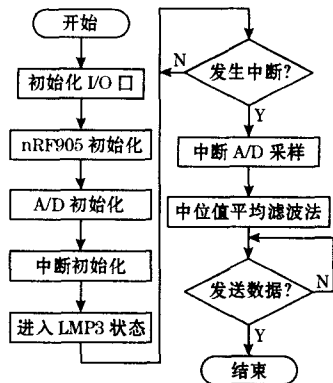


图 5 软件流程

由于 MSP430f149 内部 AD 寄存器是 16 位,在通过 spi 函数传送给 nRF905 的时候,发送数据缓存只有 8 位,因此在传送的时候需要将采集的数据拆分成高 8 位和低 8 位然后放入数组

进行发送,在接收机将接收的数据进行重新的整合,完成采样数据的接收。

4 实验结果

将某公司的等效应变源作为信号输入源进行应变的无线测量,其实际测量结果见表 1。

表 1 实验结果

应变	第 1 次测量	第 2 次测量	第 3 次测量
100	100	99	102
300	302	296	300
1 000	994	989	995
3 000	3 002	2 982	2 980

结果与等效应变源实际输出基本吻合,满足实际工程要求。

5 结束语

无线应变传感器以低廉的价格、高的可靠性以及无需布线等特点使得在实际工程中具有很好的发展前景。超低功耗设计解决了能耗问题在实际工程中的瓶颈,超低功耗无线应变传感器克服了传统有线测量方式的不足,以及无线传输带来的功耗过高的不利,具有重要的实际意义和应用前景。

参考文献:

[1] 詹贵印,周红梅.一种无线应变仪的设计与实现.2005,31(4):10-12.
 [2] 张如一,沈观林,李朝弟.应变点测与传感器.北京:清华大学出版社,1999.
 [3] 喻言,欧进萍.结构无线应变传感器设计、制作与测试.电子器件,2005,28(3):461-465.
 [4] 沈建华,杨艳琴,翟晓曙.MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用.北京:清华大学出版社,2004.
 [5] 高章飞,朱善安.基于单片机 MSP430 和 nRF905 的无线通信模块.2006,23(2):39-43.

作者简介:徐俊(1983—),硕士研究生,主要从事智能传感器的研究。