

题 目 基于数传的低功耗工业遥控器设计与实现

仪器科学与工程 院（系） 测控技术与仪器 专业

学 号\_ 22013129

学生姓名 李鹏辉

指导教师 金世俊

起止日期 2017年2月-6月

设计地点 中心楼522

摘 要

本文主要解决的问题是设计满足低功耗与可靠性设计的工业遥控器系统。首先本文通过对遥控器功能需求进行整体分析，得出系统的基本结构，对系统设计过程中可能遇到的关键问题做出相应的可行性解决方案，在此基础上对系统进行模块化设计划分。其次，对硬件电路进行了设计。硬件电路设计部分主要讨论了微控制器，射频芯片的选型与通信接口电路的设计，最终确定使用超低功耗的MSP430F122作为微控制器，英飞凌低功耗单芯片FSK/ASK超外差无线接收 器TDA5211和低功耗单芯片FSK/ASK发射器TDA5101作为射频收发芯片。之后，本文进行了系统的软件与通信协议设计，使用了曼彻斯特编码和奇偶校验码，并在协议中加入安全码以防止为配对设备之间产生数据的干扰。最后进行了系统调试与性能测试，通过测试遥控器发送器功耗与发送器与接收器之间的误码率，得出本文设计的遥控器性能基本满足要求。

关键词：低功耗，工业遥控器，MSP430F122，曼彻斯特编码，奇偶校验

Abstract

The problem I am trying to solve in this paper is to design a wireless remote control to meet the safety and reliability and in some special occasions, the need for low-power characteristics of industrial remote control. In this paper, the basic requirements of the remote control function are analyzed, and the basic structure of the system is obtained. The feasible solutions are made to the key problems that may be encountered in the system design process. On this basis, the system is divided into modular design The Hardware circuit design part of the main discussion of the microcontroller, RF chip selection and communication interface circuit design, and ultimately determine the use of ultra-low power MSP430F122 as a microcontroller, Infineon low-power single-chip FSK / ASK Poor wireless receiver TDA521 and low power single chip FSK / ASK transmitter TDA5101 as RF transceiver chip. After the system software and communication protocol design, the use of the Manchester encoding and parity code, and in the agreement to join the device ID to prevent data between the paired device interference. Finally, the system debugging and performance testing are carried out. By testing the power consumption of the remote controller and the bit error rate between the transmitter and the receiver, the performance of the remote controller designed in this paper is basically satisfied.

KEY WORDS: Low power consumption, wireless remote control, MSP430F122, Manchester coding, parity

目 录

[摘 要 I](#_Toc483753951)

[Abstract I](#_Toc483753952)

[第一章 引言 1](#_Toc483753953)

[1.1背景 1](#_Toc483753954)

[1.2发展状况 1](#_Toc483753955)

[1.3本文的研究目的 2](#_Toc483753956)

[1.4主要研究内容 2](#_Toc483753957)

[1.5论文结构安排 3](#_Toc483753958)

[第二章 低功耗工业遥控器系统总体设计 3](#_Toc483753959)

[2.1系统需求分析 3](#_Toc483753960)

[2.2.1主要问题 4](#_Toc483753961)

[2.2.2总体设计 5](#_Toc483753962)

[2.3本章小结 5](#_Toc483753963)

[第三章 遥控器系统硬件设计 5](#_Toc483753964)

[3.1硬件结构总体设计 6](#_Toc483753965)

[3.2电源模块设计 7](#_Toc483753966)

[3.2.1发射器电源设计 7](#_Toc483753967)

[3.2.2接收器电源设计 7](#_Toc483753968)

[3.3微控制器电路设计 9](#_Toc483753969)

[3.3.1 MSP430F122 微处理器基本功能介绍 9](#_Toc483753970)

[3.3.2时钟电路 9](#_Toc483753971)

[3.3.3复位电路 10](#_Toc483753972)

[3.3.4 下载和升级电路 10](#_Toc483753973)

[3.4按键电路设计 11](#_Toc483753974)

[3.5串口电路设计 12](#_Toc483753975)

[3.6无线射频通信电路设计 12](#_Toc483753976)

[3.6.1无线射频芯片的选择 12](#_Toc483753977)

[3.6.2射频发送芯片TDA5101 13](#_Toc483753978)

[3.6.2.1电路参数选择 13](#_Toc483753979)

[3.6.3射频接收芯片TDA5211 15](#_Toc483753980)

[3.6.3.1电路参数的选择 15](#_Toc483753981)

[3.6.3.2射频接收电路原理图 19](#_Toc483753982)

[3.7本章小结 19](#_Toc483753983)

[第4章 无线通信设计 20](#_Toc483753984)

[4.1调制方式的选择 20](#_Toc483753985)

[4.2通信传输编码 21](#_Toc483753986)

[4.2.1 曼彻斯特编码定义 21](#_Toc483753987)

[4.2.2曼切斯特码解码。 21](#_Toc483753988)

[4.3差错控制编码原理 21](#_Toc483753989)

[4.3.1奇偶校验码 22](#_Toc483753990)

[4.4数据帧设计 22](#_Toc483753991)

[4.5本章小结 23](#_Toc483753992)

[第5章 系统软件设计 23](#_Toc483753993)

[5.1串口通讯软件设计 23](#_Toc483753994)

[5.2接收器的按键扫描程序设计 24](#_Toc483753995)

[5.3发射器的数据编码程序设计 24](#_Toc483753996)

[5.4接收机数据解码程序设计。 26](#_Toc483753997)

[5.5低功耗模式程序设计。 28](#_Toc483753998)

[5.6本章小结。 30](#_Toc483753999)

[第6章 系统调试与性能测试 30](#_Toc483754000)

[6.1硬件调试 30](#_Toc483754001)

[6.2软件调试 31](#_Toc483754002)

[6.3 系统统调 31](#_Toc483754003)

[6.4 性能测试 31](#_Toc483754004)

[6.4.1性能测试 31](#_Toc483754005)

[6.4.2通信质量测试 31](#_Toc483754006)

[第7章 总结与展望 31](#_Toc483754007)

[参考文献 33](#_Toc483754008)

[致 谢 34](#_Toc483754009)

第一章 引言

1.1背景

工业遥控器是一种可以远距离遥控工程机械的设备。它使用一定频段的电磁波传输控制指令，无需线缆连接，传输距离可达几百米。相比工程机械的传统操作方式，此方式有很大的优点。由于工程机械施工对象通常都为重型材料，所以很容易在施工过程中发生危险。而工业遥控器的出现，使得驾驶员并不需要在驾驶室里，只需要在一个视野开阔的能够掌控施工全局的地方使用工业遥控器对工程机械进行操控。既为操作人员提供了更高的安全保障，又提高了施工效率。但是不能忽视工业遥控器的缺点。遥控器的传输方式是无线电传输，而施工环境中的环境又是非常恶劣的，一旦遥控器的传输受到了干扰，而遥控器本身有没有任何差错控制等机制，很容易出现事故。还有一点是，如需在野外长时间工作的情况下，比如在自然地质灾害或事故中，遥控器的续航能力便是又一需要考虑的功能。因此可靠性和低功耗特性是工业遥控器的重要特性。

1.2发展状况

国外相关遥控器制造商起步较早，20世纪50年代时用于工业的遥控器就已经诞生，70年代以后由于大规模集成电路(Very Large Scale Integration)以及无线电技术的发展，推动了工业遥控器设备的改进与完善。其中，市场上无线工业遥控器主要有三类：国产、台湾、欧洲。国内主要生产企业有上海技景自动化科技有限公司和沈阳圣德法电子有限公司，台湾主要生产企业有台湾禹鼎电子有限公司和三易等，而欧洲品牌包括德国HBC、法国捷亿、西班牙意凯锡等[2]。

表1:相关遥控器产品功能的介绍

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 产品名称 | 介绍 | 分析 |
| 中国台湾禹鼎F23-C | 价格2300，电压警示，安全钥匙，通信距离100米，安全码32位，手持端2节五号电池续航时间为1个月，接收器电源380/220/48交流电或者12v/24v 直流电。 | 低端工业遥控器对传输中发生错误没有很好的处理机制，但是由于功能较少，所以续航能力较为出众；高端工业遥控器不仅考虑的传统功能，还添加了软件消除干扰、侦错、校正功能。硬件上增加了智能身份识别、倾斜开关、安全关机功能。增强了其传输的可靠性。并且还有可扩展的功能，但是由于功能较多，功耗较大，为了长时间工作需要容量更大的电池。 |
| 中国台湾禹鼎F24-60 | 价格6500，同步编码传输，具有软件消除干扰、侦错、校正功能，手动更改其中的配置选项。控制距离100米，安全码32位，汉明码>4。可软件升级。供电需要直流6V（4节5号碱性电池）。 |
| 德国HBC  Keynote | 支持多频率切换（334-338 MHz；415-421 MHz；427-436 MHz；446-450 MHz；865-870 MHz；902-928 MHz；2.4 GHz）；电池类型/连续操作时间： 镍氢电池BA223030（2100mAh/3.6V）可达16-30小时；更换电池不影响供电、安全关机功能、智能身份识别卡、倾斜开关、震动报警、使能开关。 |

由以上分析得出结论，工业遥控器的功能逐渐向智能化发展，由开始的单一频率变为多频率，而且可以手动切换。为了增强传输的可靠性，遥控器从一开始的简单CRC校验来决定此数据是否出现错误，发展为查错和改错同时进行。遥控器的遥控结果的可靠性的保证是由遥控器和遥控人员来共同决定的，既然已经保证了遥控器的数据传输，那么遥控人员的可靠性也要保证，智能身份识别卡就限制了遥控人员的身份，以免出现没有专业能力的人员对遥控器的错误操作造成重大损失；对不现实操作的智能保护：这个功能在摇杆进行一连串可疑的动作指令后会启动。例如说，如果发射系统一个或多个摇杆以不规则的方式相继收到不同方向的指令，该智能特性会干涉操作。这个功能可以保护操作人员和工作环境不受到起重设备、工程机械运动过快或者奇怪的动作带来的潜在危险，并且也可以防止由于这些动作造成的机器损伤。遥控器的易用性也是一个应该考虑的问题，比如一些适时的提醒，夜晚时候的照明，对上一次设置内容的保存都是可以极大地方便遥控人员的使用。同时值得注意的是，低端遥控器功能简单但是续航能力很强，高端遥控器功能复杂，但是遥控器本身的功耗会变得很大。高端遥控器为了满足相应的续航能力，就需要提高电池的容量。然而大的电池容量也意味着电池的体积以及重量会相应的增大，便会对遥控器的便携性造成一定的影响。

1.3本文的研究目的

设计制作一款工业遥控器，满足低功耗要求，其中低功耗工业遥控器由发射器和接收器两部分组成。其中发射器由干电池供电，接收器由220v市电供电。遥控器具有急停、恢复等功能，有至少四个功能按键，能够实现数字传遥控功能；具有一定的抗干扰能力，在一般环境下传输距离能达到20米以上。

1.4主要研究内容

论文主要进行了以下方面的工作：

(1) 针对在设计工业遥控器的过程中遇到的问题(包括创新点及难点)提出可行性解决方案，尽量满足功能上的要求。

(2) 根据遥控器的功能要求，

(3)根据选择的硬件平台及总体设计思路进行系统的软件设计。具体包括单片机资源配置，差错控制算法设计，射频发送和接收芯片的模式配置。

(4)在遥控器系统软硬件设计完成之后进行模块测试和系统整机联调，以保证系统的功能和性能符合预期。功能上是MCU能正常工作，射频发送和接收芯片能够正常传递数据，性能上主要是通信速率，以及在特定通信速率下的误码率和丢包率。

1.5论文结构安排

论文的章节安排如下：

第一章：引言。主要介绍课题的研究背景及其工程价值和发展状况，并对主要任务进行了分析。之后介绍了本篇论文的基本结构安排。

第二章：低功耗工业遥控器系统总体设计。本章对系统的需求进行全面的分析，然后针对不同的需求来大致给出相应的方案。

第三章：遥控器系统硬件设计。主要讨论硬件电路的选型，电路参数的设计等。

第四章：无线通信设计。本章主要任务是选择合适的调制模式，通信传输的编码方式，差错控制以及通信协议设计。

第五章：遥控系统软件设计。

第六章：系统调试与性能测试。对无线遥控器的硬件电路功能和软件功能进行测试，并测试系统的无线通讯质量。

第七章：总结和展望。介绍本文的主要内容及创新点，之后说明的本文的不足之处和改进意见。

第二章 低功耗工业遥控器系统总体设计

2.1系统需求分析

系统的需求分析是所有设计工作的开始，合理的需求分析可以使得系统的设计更加符合要求[3]。根据本课题的要求，分析结果如下。

（总体结构）遥控器系统包括发射器与接收器两个部分组成，每个部分都包含对应射频芯片和一个控制芯片。

（供电） 遥控器发射器供电采用两节普通干电池，以降低总重量，但同时也对系统的低功耗设计提了更高的要求。遥控器接收器采用市电降压到接收芯片可用电压的方式供电。

（低功耗）为了提高遥控器的续航能力，必然需要降低系统的功耗，这也是本文着重讨论的部分，但是只是要求发射器才有此特性。

（安全性） 工业遥控器操作的都是失控后危险性极高的大型机械，一旦安全性没有保障，后果不堪设想。本文通过每台遥控器都相互独立的安全码，只有两台安全码相同的遥控器发射器和接收器才能互相通讯。遥控器还设置有急停按钮，不管任何时候急停按钮按下都会让被控机械停止运转。电压过低情况下，遥控器容易工作不正常，因此需要设计低电压检测器，在电压过低时提醒用户，并且关闭所以发射任务。

（无线频段的选择）根据我国无线电相关标准以及射频芯片性能等情况，选择适合工业场合无线通信的频段[4]。

（功能定制）预留可编程接口，配合上位机软件可对遥控器进行升级。有更改安全码，按钮功能模式等功能。

2.2系统整体结构

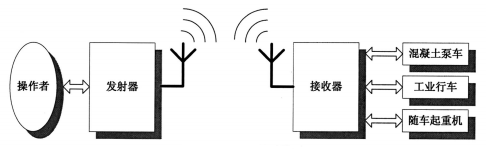
通过之前的讨论得出结论，遥控器系统的基本结构是遥控器发送器，遥控器接收器，而两个模块通过射频模块相互通讯。遥控器操作人员进行按键操作时，对应开关量信号被手持终器采集、经过单片机分析后编码成指令帧经由无线发送给接收器，接收器解析指令帧后，对其所连接的工程机械上的执行机构输出相应的控制信号，以达到遥控的目的。系统的结构图如图1所示。

图1.工业遥控器系统结构图

2.2.1主要问题

（1）无线频段的选择是遥控器系统的基础部分，开发初期需要确定具体的无线频段[2]。通过分析市场上的现有产品发现，工业遥控器的无线通信频段多用315MHZ，430MHz，2.4GHz等，此处选择315MHz作为通信频段。

（2）低功耗设计。硬件设计的主要措施有选择具有低功耗特性的单片机以及射频芯片；选择合适的电源电路降低从电源到系统芯片之间的损耗，射频芯片电路PCB设计中应该满足该芯片的电气设计参数，提高发射效率。软件设计的主要措施有设计传输效率高的通信协议，合理配置单片机运行模式和射频芯片的模式。

（3）无线通信可靠性。无线控制方式比传统控制方式具有更加自由的特点但是无线通信在稳定性和安全性方面的弱点也是不容忽视的，所以如何妥善处理信号传输过程中产生的误码等问题是非常重要的[1]。硬件上，选择高性能的射频收发芯片以及设计稳定可靠的硬件电路对无线通信部分电路是提高无线通讯可靠性的关键。软件上，对于传输数据采用FSK调制、曼彻斯特编码、奇偶校验等处理方式可以有效保证通信的可靠性。当然由于设计的是单向通讯的遥控器，所以并没有重传机制。

2.2.2总体设计

根据之前的问题和基本的解决方案，使用“自上而下”的设计方法设计出遥控器总体结构所图2示。发射器和接收器共同组成了遥控器系统。

电源模块

电源模块

射频发送芯片

射频接收芯片

无线传输

微控制器

执行元件

微控制器

开关量输入

上位机接口

上位机接口

发射器

接收器

图2.工业遥控器总体结构图

遥控器发射器主要由单片机，有按键，状态指示灯，程序升级接口，电源，射频发送电路组成。遥控器发射器主要功能是读取用户当前按键值，并将编码后的数据通过无线射频发送模块送到遥控器接收器。遥控器接收器主要有状态指示灯，220V转5V和3.3V的电源转换电路，射频接收器，单片机组成。无线接收器再对接收到的信号进行解码处理，处理得到用户在发射器所输入的命令，以此来控制工程机械。

遥控器软件部分的设计主要有按键状态读取程序、数据解码编码程序、无线数据收发程序和低功耗控制程序。

2.3本章小结

本章首先对遥控器的系统需求进行了分析，得出了遥控器设计中需要考虑低功耗、稳定性和安全性等几个重要指标。在此基础上对系统进行模块化设计划分，并确定系统最终的结构。

第三章 遥控器系统硬件设计

本章主要介绍遥控器发送器和接收器的硬件电路设计，以硬件结构总体设计为基础，详细阐述各硬件模块的选型和电路实现，并给出相应的原理图。

3.1硬件结构总体设计

硬件电路设计包括发射器电路和接收器电路两个部分。为了更加直观地观察出整体的结构，下面给出整个系统的设计图。遥控器的硬件总体结构如图3和图4所示

MSP430F122

射频发送芯片

接口转换芯片

USB

电源电路

调试电路

复位电路

电源电路

射频发送电路

开关量输入

发射器

图3.遥控器的硬件总体结构图（发射器）

MSP430F122

射频接收芯片

接口转换芯片

USB

电源电路

调试电路

复位电路

电源电路

射频接收电路

控制电平输出

图4.遥控器的硬件总体结构图（接收器）

接收器

遥控器的总体硬件说明如下：

（1）遥控器的主控制芯片是TI公司出品MSP430系列单片机中的MSP430F122。

（2）发射器和接收器的主控制芯片外围电路均由程序下载电路、复位电路、调试电路和电源电路组成。其中射频芯片与微控制器电路的电源是不是直接共用的，射频芯片的电源需要进行滤波处理。

（3）发射器的输入设备是由按键组成的开关量，通过单片内部普通IO口读取按键电平来获取键值。

（4）微处理器的串口可以通过上位机向微处理器发送数据或者接收微处理器发送来的数据，主要在项目开发初期，可以对系统进行调试。

（5）程序下载电路用来向微处理器中下载程序。

（6）射频电路包括射频发送电路和射频接收电路，两者均工作在315MHz频段，起到实现发射器向接收器发送数据的功能。

3.2电源模块设计

电源模块设计分为两个部分，分别是发射器电源电路和接收器电源电路设计。其中发射器和接收器使用条件不同，因此要分别分析，根据实际情况进行设计。

3.2.1发射器电源电路设计

发射器是便携设备，根据发射器所使用芯片的工作电压可以决定电源电压的选择，其中发射器微处理器的使用电压为1.8V-3.6V，发射器的射频芯片的供电电压是2.1-4.0V。作为发射器，其便携性和电源成本也是要考虑的，所以采用两节7号干电池串联组成输出电压为3V的电池组进行供电，中间不需要任何电压转换电路，这样既减少了损耗，又减少了硬件成本。

3.2.2接收器电源电路设计

接收器需要适应不同场合的需求，其供电方式应该需要有多种选择，常见电源有12/24V直流电，220V交流电。接收器上的单片机和射频接收芯片的供电电压分别为2.1-4V和5V，因此需要设计两种电源转换方式，第一种是220V转直流5V和5V转3.3V，第二种是直流24V/12V转5V，5V转3.3V。下面介绍本设计所需要的电源转换电路。220V交流电转+5V如图5所示。

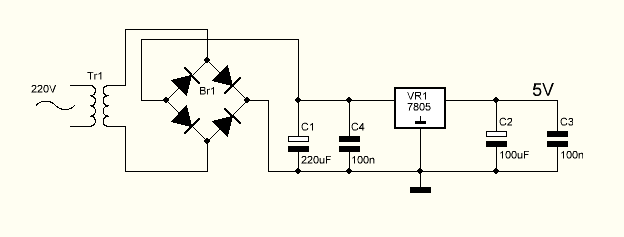


图5.220V转5V电源转换电路

220V是市电的电压的有效值，Tr1是20：1的降压变压器，将220V交流电变为电压有效值为11V的交流电，BR1是全波整流桥，整流之后直流电压经过电容C1和C4稳压以后得到直流11V，7805是LM78系列三端稳压芯片，该芯片额定输入电压值为7.5V到 20v，输出电压为5V。C2和C3主要对输出电压进行去耦、滤波，提高电源的抗干扰能力。此电路输出的5V电压用来供给射频接收芯片和输出给但单片机电源转换电路使用。

5V转3.3V电路如图6所示。

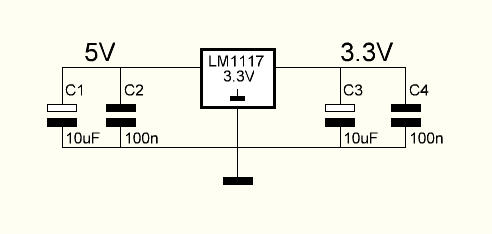


图6.5V到3.3V电压转换电路

其中LM1117-3.3V是一个低压差电压调节器。配合相对应的滤波电容便可以将5V电压转换为3.3V。输出的3.3V电压用来给单片机供电。为了能够接入12/24V直流电，需要对电源转换电路进行改造，加入开关、二极管等元器件。如下图7所示。

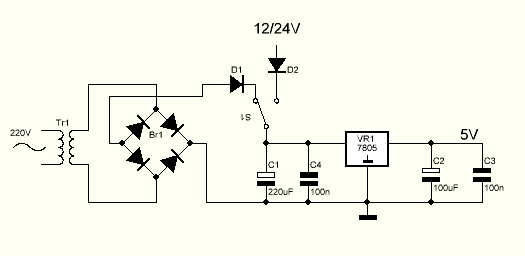


图7.改造后的220V转5V电压转换电路

3.3微控制器电路设计

微控制器承担系统的数据接收、数据发送、数据处理等重要功能，是整个遥控器系统的核心，因此保证微控制器的正常运行是极其重要的。因为本文设计的遥控器系统工作环境较为复杂，所以需要对微控制器的选型进行综合的考虑。

（1）适用于比较恶劣的工业环境，例如高温，低温，强电磁干扰等，所以微控制器的稳定性和适应性是很重要的指标。

（2）遥控器发射器使用干电池供电，为了提高遥控器的续航时间，低功耗特性是所选用微控制器必须具有的。

（3）按键输入以及电平输出等功能，要求微控制器具有普通GPIO功能。而且接口数量应该足够。

（4）通信编码解码功能的实现是要求微控制器需要定时器，以及外部引脚中断等功能的。为保证通信速率，单片机需要有很高的运算速率。

（5）初期开发需要打印调试信息来判断程序是否运行正确，而用途广泛的串口通讯便是首选。串口通讯协议为RS232协议，若要与电脑通讯只需要使用USB转RS232电路就可以了。

综合以上要求，最终选定了TI低功耗系列16位微控制器MSP430F122作为发射器和接收器的主控制器芯片。

3.3.1 MSP430F122 微处理器基本功能介绍

（1）MSP430F122 是16位RISC结构。工作频率可以达到8MHZ，工作时钟可以选择内部时钟和外部时钟。外部时钟可配置为低频模式和高频模式，以用来满足不同的需求，本文中采用外界8MHz石英晶振。

（2）低电压1.8V-3.6V供电，具有超低功耗特性：工作模式：1MHZ工作电流是200uA；待机模式下工作电流为0.7uA，关闭模式电流仅为0.1UA。并具有五种节能模式。

（3）具有三个捕捉比较寄存器的16位定时器Tmer\_A，用来对要发送数据进行对应的编码和解码。

（4）串行通信接口（USART0）可以软件配置为UART同步或者SPI同步。串行口便于微处理器与上位机之间进行通讯，输出调试信息，加快开发进程。

（5）具有8KB的片内Flash存储器、256B用户Flash和256B的片内静态RAM存储器。

（6）具有28个通用GPIO口，其中具有外部边沿中断的IO口有16个，基本满足设计要求，接收器的解码需要使用IO的中断功能。

（7）MSP430系列单片机出厂时在特定的内存空间固化了一段引导代码，即BSL，通过在单片机特定引脚上加一个特定的时序就可进入这段引导代码，用户就可以通过标 准的异步串行口访问单片机的内部资源[5]。

3.3.2时钟电路

MSP430F122基本时钟模块介绍，基本时钟模块包括两个时钟源，分别是LFXT1CLK和DCOCLK。

（1）LFXT1CLK:可以使用低频晶振比如32768Hz的钟表晶振或者使用在450KHz到8MHz范围内的谐振器或者标准晶振。

（2）DCOCLK: 具有RC特性的内部数控振荡器 (DCO) 。系统默认使用内部数控振荡器是系统时钟源。

为了满足系统运算速度的要求，本文选择LFXT1CLK作为时钟源，并配置为高频模式。LFXT1CLK的频率范围为450Khz～8MHz，所以选择8Mhz频率的石英振荡器作为外部晶振，通过微处理器内部的分频器分别提供给主时钟和子系统时钟。电路如图8所示。

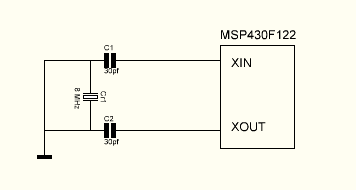


图8.微控制器晶体震荡电路

3.3.3复位电路

MSP430F122单片机的系统复位电路同时提供上电复位（POR）和上电清零（PUC）信号。 即在系统上电后会依次执行上电复位和上电清零等操作。微处理器的RST/NMI引脚用以运行过程中的外部复位，由于单片机内部有软件复位功能，所以该引脚可以不使用，因此只需要接47K欧姆的上拉电阻就行了。

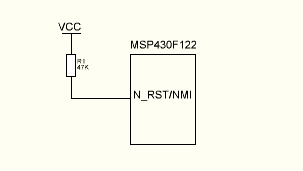


图9.微控制器复位电路

3.3.4 下载和升级电路

遥控器设计过程中需要对微处理器中的系统进行编程，MSP430系列单片机支持JTAG调试和BSL调试，本文中使用BSL调试方式对内存进行更改。BSL全称是启动加载程序(Bootstrap Loader，以下简称BSL)。

该接口使用5根线GND，TXD（P1.1/P1.0），RXD(P2.2/P1.1)，RST和TCK(TEST)。在RST和TCK上加特定的电平时序信号，即可启动BSL程序，之后就可以读写单片机内存。BSL程序进行升级，优点是节省代码空间，用户无须实现自己的升级固件，而且现在已有很多现成的 BSL 升级工具[6]。接口电路如图10所示。

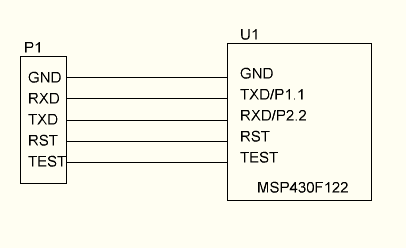


图10.BSL下载接口电路

3.4按键电路设计

为了降低微处理器读取按键的处理难度，本文采用独立按键连接方式。按键的供电电压为3.3V，按键按下为低电平，没有按键按下则为高电平，但是只有上拉电阻的情况下，按键输出信号会有抖动，所以需要进行消抖。消抖是为了避免在按键按下或是抬起时电平剧烈抖动带来的影响。按键的消抖，可用硬件或软件两种方法。软件方式的方法是：假设未按键时输入1，按键后输入为0，抖动时不定。可以做以下检测：检测到按键输入为0之后，延时5ms～10ms，再次检测，如果按键还为0，那么就认为有按键输入。延时的5ms～10ms恰好避开了抖动期，软件消抖的优点是节约硬件成本，缺点是占用CPU时间，延时对单片机资源的占用是很大的。。

硬件方式是在按键的输入端加上一个0.1uf的滤波电容，将输出信号的抖动给滤除掉，软件上就不需要进行额外的处理，减轻了软件部分的复杂度，但是硬件上元器件的增加造成的设计成本的增加是不容忽视的。

本文要设计的遥控器主要应用于工业上，保障系统的运行安全是至关重要的，而按键抖动带来的不确定性，很容易产生由读取按键带来的风险。使用电平读取的方式，可以使用延时的方法进行消抖，但是使用外部边沿中断的方式读取按键，按键输入电平的抖动便可能会造成中断程序的多次进入，使得处理变得困难。综合考虑使用硬件消抖方法，电路图如图11所示。

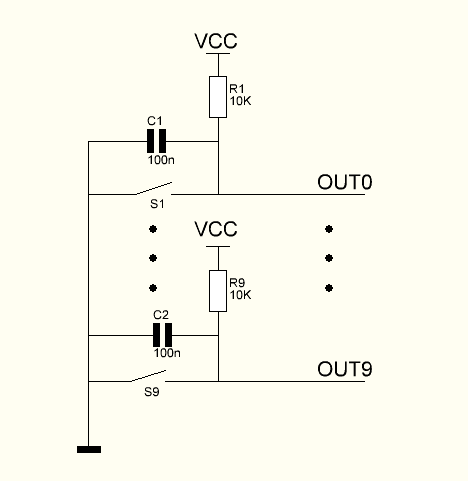


图11.按键输入电路

3.5串口电路设计

由于串口电路是在开发初期用来输出调试信息的，所以并不是遥控器本身所必须具有的电路。为了降低发射器的功耗所以采用使用外接USB转RS232模块与微控制器的串口连接的方式来进行微处理器与上位机软件之间的通讯。接口电路如图12所示。

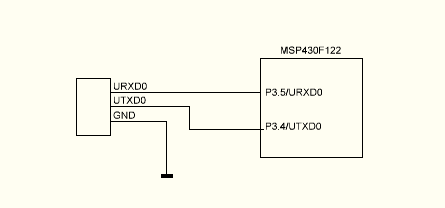


图12.微控制器串口通讯接口电路

3.6无线射频通信电路设计

无线射频电路设计包括射频芯片选型和射频芯片外围电路设计，这一部分是整个遥控器系统的核心。

3.6.1无线射频芯片的选择

市场上的射频芯片总类繁多，选择得当可以减小开发过程中的难度，缩短研发周期，降低硬件成本。在选择无线射频芯片时应考虑以下几点因素：芯片功能、供电电压、功耗、发射功率、接收灵敏度、电路设计所需的外围元件数量、芯片成本等[7]。

芯片功能）由于本文制作的遥控器为单向传输的，所以选型可以分为射频发送芯片和射频接收芯片。

供电电压）对射频发送芯片的供电电压要求较高，需要在微处理器工作电压范围内，而且正常工作电压也需要在干电池正常放电电压范围内。

功耗）发射器由两节干电池供电，因此低功耗这个特性非常重要。

发射功率和接收灵敏度） 发射功率越大接收灵敏度越高都对通信距离和通信质量有所提高。但是通信距离的提升同时也是伴随这发射器的功耗的增大，因此需要平衡功耗和通信距离之间的关系，不能够过分追求通信距离。因为接收器对功耗要求不是很高，所以可以通过选择接收灵敏度较高的射频接收芯片来获得通信距离的提升。

电路）选择需要很少外接元器件的射频芯片既可以降低开发难度，又可以使得电路板体积重量变小，使其能够满足便携式产品的设计。

以上是对于射频芯片的功能需求进行的分析。为了进一步对射频芯片的选型，做如下讨论。

射频芯片主要分类有单片射频收发芯片，射频收发器和微控制器，分立元件构成的收发器。单片射频收发芯片就是该射频芯片只负责传输电平芯片或者模拟信号，对于信号的编码和解码都需用户自己完成，缺点显而易见，需要额外的程序对数据进行编码，降低了传送速率和数据处理的速率，但是优点就是这种情况下，可以对射频芯片有很大的操控性，首先射频的芯片的工作与否，是可以被控制的。其次可以自行设计与项目相符合的协议，增大对信道的利用率，减少了不必要的数据传送，因此也就达到了低功耗的目的。然而射频收发器和微控制器组成的芯片已经将信息的编码和解码集成在芯片中了，用户只需将自己的数据发送给该射频芯片，射频芯片便会自动将数据传输出去，缺点就是发送的数据中会有很多冗余，无形中增加了功耗。分立元件构成的收发器，一是性能上不如单片射频收发芯片，二是面对电路参数的选择，无形中增加了项目的难度。

综上所述，单片射频收发芯片是不二之选。虽说有些缺点，但是通过合理的软件协议设计，以及低功耗模式的运用，可以达到传输性能与功耗之间的平衡。射频发送芯片选用英飞凌半导体公司出品的TDA5101，射频接收芯片选用同样是英飞凌半导体公司的TDA5211。

3.6.2射频发送芯片TDA5101

TDA 5101是用于311-317 MHz频段的单芯片ASK / FSK发射器。 IC提供高水平的集成，只需要少量的外部组件便可以设计出电路。此外还实现了具有掉电模式，低电压检测和分频时钟输出[8]。 该IC可用于ASK和FSK调制。

TDA5101主要特性有：

工作电压2.1V – 4V 满足干电池3V供电。

内部集成高效率功率放大器，低电压检测器，压控振荡器，数字调试器。

工作频段为311MHz – 317Mhz

具有低功耗模式，具有供给微控制器的可编程分频时钟，典型工作电压7mA。

微控制器与射频芯片之间进行通讯只需要三个普通IO口即可，节约单片机引脚资源。

由TDA5101的参考设计电路得到射频发送模块的电路如图所示。TDA5101有FSK和ASK两种模式，由于FSK模式比ASK模式的抗干扰能力强，传输距离远，所以选择射频芯片的FSK模式。射频发送芯片电路图如图所示

3.6.2.1电路参数选择

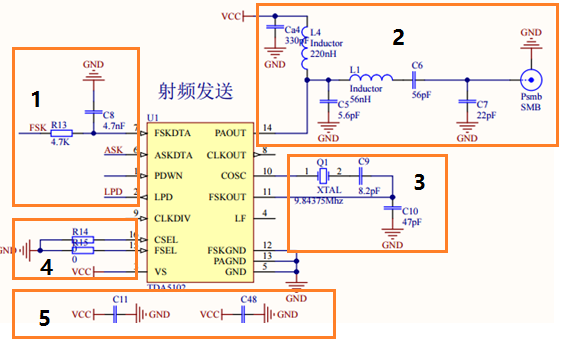
整个电路分为五个部分，整体电路图如图13所示。

图13.射频发送电路总原理图

射频发送芯片与微处理器数据传输接口。其中FSKDATA引脚是FSK模式高低电平控制引脚，ASK是功率放大器使能引脚，由于FSKDATA和ASKDATA两个引脚就可以配置射频发送芯片的额低功耗模式，所以PDWN是悬空的。LPD是低电压检测引脚，当射频芯片的电源电压低于2.1V时，此引脚会输出低电平，微处理器通过读取该引脚的电平就可以判断电源电压是否符合要求。R13和C8组成一个低通滤波器，滤除高于设计通信速率的数据。此参数下滤波器截止频率为7.2KHz，后期如有需要可以根据情况进行调整。

射频芯片的选频放大电路。选频放大器(frequency selective amplifier)对某一段频率或单一频率的信号具有突出的放大作用，而对其他频率的信号具有较强抑制作用的放大单元。谐振放大器、有源带通滤波器等都属于这一范畴。此部分电路将射频芯片已经调制好的信号选择并发送出去。发射电路的天线使用杆状天线，因为杆状天线在各个方向收发性能都很好[2]。

射频芯片调频电路。调频是使载波的瞬时频率按照所需传递信号的变化规律而变化的调制方法。调频电路的原理如图所示，FSKDTA信号是由微处理器发送的电平信号，用以控制开关S1的开通和关闭，以此改变晶体振荡电路的电路参数，使得振荡频率随着FSKDTA引脚的电平信号变化而变化。在FSK模式下，晶振的震荡频率有两个不同的频率，不同震荡频率下的晶体的负载电容也不同。晶体振荡器的频率偏差乘以锁相环的分频器N到功率放大器的输出。 在小频率偏差（高达+/- 1000 ppm）的情况下，可以用下面的公式计算两个工作频率所需的负载电容。

（1）

: 在正常频率下晶振的负载电容

: 等效电路静态臂里的电容

: 工作频率

:

: 锁相环的分频系数哦

: 工作频率相对于标称频率的最大允许偏离

由匹配电容需要等于晶振的的负载电容可以分别计算

当S1闭合时，电路等效为图14。

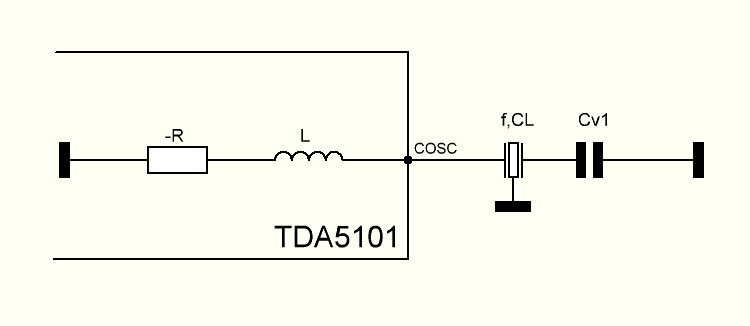


图14.S1闭合时射频发送芯片调制器等效电路

计算方法为：

（2）

当S1开关打开时，电路等效为图15。

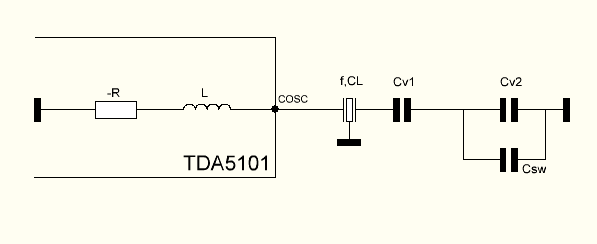


图15.S1断开时射频发送芯片调制器等效电路

（3）

即可得

（4）

: S1开关寄生电容，由参考手册得其值为3pF

选择频率为9.84375MHz的晶振，晶振基本参数为带入数据计算得到 ， 。

CSEL与FSEL是射频发送芯片的模式配置引脚。正确的配置是FSEL引脚接低电平，代表射频发射的频段为315MHz，CSEL是配置压控振荡器输出频率的分频系数，官方推荐不使用此引脚，悬空即可。电路中实际的参数是0欧姆，这样就可以通过焊接电阻或者不接电阻来决定射频发送芯片的工作模式，方便后期改变工作模式，增强设计的灵活性。

射频芯片电源的滤波电容。一般使用10uF与0.1uF并联的接口进行滤波，其中10uF对低频信号有抑制作用，0.1uF对高频信号有抑制作用。

3.6.3射频接收芯片TDA5211

该射频芯片是310至350 MHz频段的极低功耗单芯片FSK / ASK超外差接收器（SHR）。 IC提供高水平的集成，并且只需要几个外部组件即可组成射频接收电路。

主要特性有：

低供电电流，在FSK模式下为5.7mA，在ASK模式下为5mA，供电电压为

低功耗模式电流仅为50nA

具有ASK和FSK解调功能。可选频率范围310MHz-330MHz和330MHz-350MHz，一种用于高端注入解调，另一种用于低端注入。

带有强度指示发生器的限幅器，工作频率是10.7MHz。

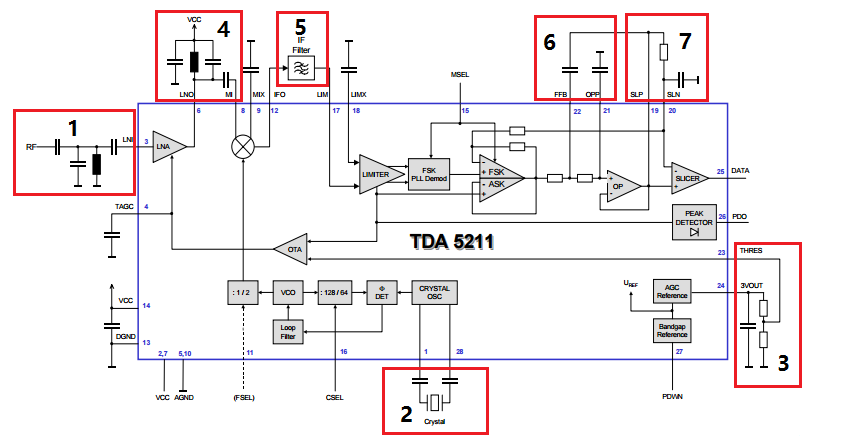
使用极少的外部元件即可构成2阶低通滤波器。

具有自适应阈值的数据分片器。

FSK模式在（）温度范围内灵敏度高于-102dBm

3.6.3.1电路参数的选择

TDA5211的结构原理图如图16所示。可以按照功能将外接元件分为7个部分。

图16.TDA5211的结构原理图

（1） 输入选频网络。目的是选择315MHz频段内的信号，抑制其余频段的信号。其中电容电感的参数的选择，可以使用Multisim集成环境下的仿真平台设计进行仿真。刚开始需要先根据原理设计一个初始值，然后通过仿真结果，不断调整元件参数，最终使得仿真结果与实际结果相一致。参数的选择也可以直接使用TDA5211数据手册上所推荐的参考电路。

（2） 射频芯片晶体震荡电路，实现石英振荡器以预期频率工作所需的电容器的值由振荡器电路的负电阻的无功部分确定。按官方手册上的推荐值即可，即两个电容分别为18pF和12pF，这是工作在10.2MHz左右的电容参数。如果工作在5.1MHz左右则应该选择18pF和22pF。晶振频率的选择，需要根据发送芯片的发送频率来决定。该本机振荡器信号可用于在混频器下进行高端或低端注入来对RF信号进行下变频。本地振荡器的高端注入必须用于310和330 MHz之间的接收频率。在这种情况下，通过将IF频率（10.7 MHz）与RF频率相加来计算本地振荡器频率。在这种情况下，FSK调制信号的较高频率被解调为逻辑1（高）。低端注射必须用于330和350 MHz之间的接收频率。通过从RF频率中减去IF频率（10.7MHz）来计算本地振荡器频率。请注意，在这种情况下，发生符号反转，FSK调制信号的较高频率被解调为逻辑零（低）。根据CSEL引脚是否悬空或接地，PLL中的整体分频比为64或32。因此，可以使用以下公式计算石英频率：

（5）

其中：

：接受频率

：石英晶体振荡器频率。

r ：本地振荡器分频系数

系统使用高边注入的方式进行变频，发送器的频率是315MHz，而且锁相环分频系数设置为32，所以接收器所用的射频芯片的晶体振荡器的频率为，因此匹配电容选择18pF和12pF。

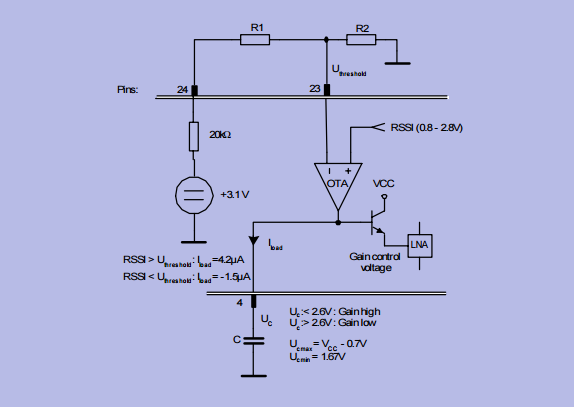
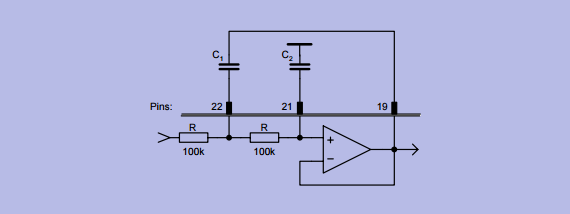
（3）程控增益放大器反馈电路设计。OTA是一个电压比较器，是射频接收信号强度指示器，24脚内部的3.1V电压经过内部20电阻和两个外接电阻及分压得到。如果限幅器产生的电平高于，则OTA产生正电流，这样会导致TAGC引脚上的电压上升（引脚4）。否则，OTA产生负电流。为了实现AGC的快速启动和缓慢释放动作，这些电流不具有相同的值，并且用于对最终产生LNA增益控制电压的外部电容器进行充电。

图17.TDA5211内部程控增益放大器的原理图

切换点应根据预期的运行情况进行选择。1.8V的阈值电压是个明智的选择，因为此时应该注意的是，3VOUT引脚的输出能够驱动高达50，但是THRES引脚的输入电流仅在40nA的范围内。由于3VOUT引脚引出的电流与接收机功耗直接相关，功率分配器电阻应具有高阻抗值。为了在3VOUT引脚产生3V，R1和R2的和必须为600。因此，R1可以选择为240，R2为360，以产生5 的总体3VOUT输出电流和1.8V的阈值电压。

值得注意的是，如果LNA增益应保持在高或低增益模式，则必须通过绑定THRES引脚为固定电压。为了实现高增益模式操作，高电平高于2.8V的电压应施加到THRES引脚，例如将3VOUT引脚与THRES引脚直接相互连接。为了实现低增益模式操作，低于0.7V的电压应施加到THRES，例如直接对地短路。

（4）数据滤波器设计。图18是TDA5211内部低通滤波器的结构图，配合内置电阻和运算放大器，只需添加两个电容即可组成一个二阶SallenKey低通滤波器。

图18.TDA5211内部低通滤波器电路

对于值的选取，可以使用以下公式。

（6）

（7）

其中

（8）

Q因子决定滤波器频率响应峰值的高度和宽度，是所设计滤波器的截止频率。

设计巴特沃兹滤波器a = 1.414 ， b = 1 ，Q = 0.71 ， = 5KHz 。

便可以得到。

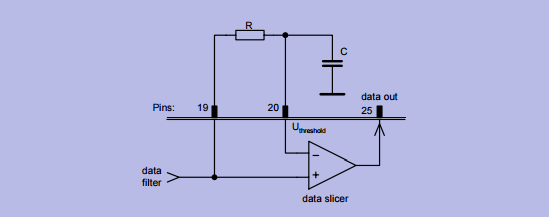
（5）数据分片器。可以使用外部R-C积分器生成数据限幅器的阈值，如图19所示。 R-C积分器的截止频率必须低于出现在数据信号中的最低频率。为了降低失真，R的最小值为20。

图19.TDA5211内部数据分片器

所以取R = 100kΩ，C = 47nF，计算出截止频率

（9）

（6）射频接收芯片与微控制器接口电路设计。因为射频接收电路的工作电压是5V，信号输入输出的电平是0-5V，所以与工作电压是3.3V的微控制器不兼容，如果直接连接会造成微控制器芯片烧毁，或者数据传输不正常等问题，所以需要电平转换电路。电平转换常用方法有很多，比如晶体管加上拉电阻法，逻辑芯片转换法，电阻分压法等，为了兼顾成本和功能，这里使用晶体管加上拉电阻法，使用你NPN三极管S8050，上拉电阻取10，基极限流电阻取。电路图如图20所示。有

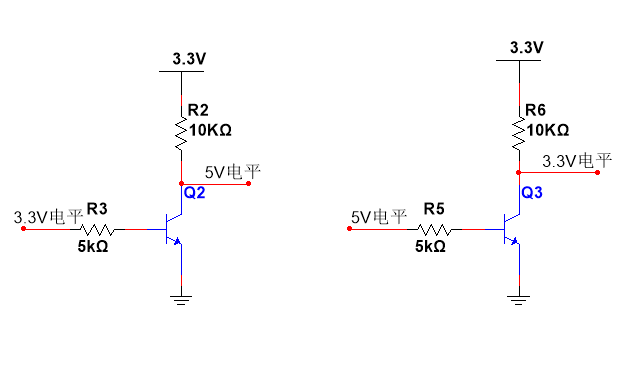


图20.3.3V电平到5V电平转换电路和5V电平到3.3V转换电路

3.6.3.2射频接收电路原理图

结合以上分析，可以对基于TDA5211的射频接收电路进行设计。电路图如图21所示。

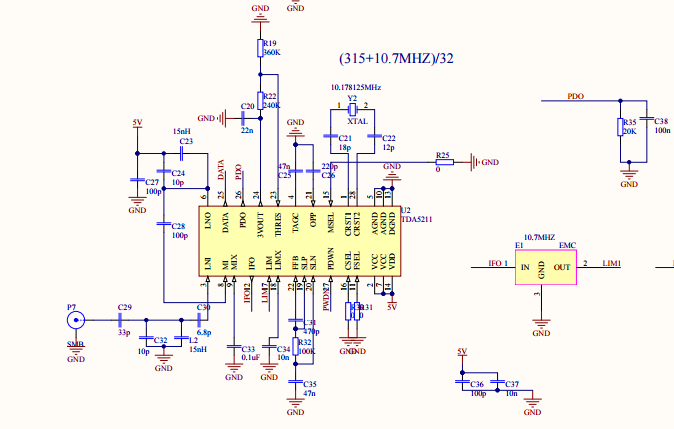


图21. 射频接收电路原理图

3.7本章小结

本章通过对遥控器系统硬件电路进行合理的选型和设计，最终完成了电路设计。设计出的电路具有低成本、低功耗和高性能的优点，满足了作为工业遥控器电路所需要的基本要求。

第4章 无线通信设计

无线通讯设计对于工业遥控器的安全性，稳定性都是至关重要的。硬件电路上本文选择了单片射频收发芯片，并且FSK/ASK两种模式可选，所以主要任务有选择合适的调制模式，通信传输的编码方式，差错控制以及通信协议设计。

4.1调制方式的选择

FSK是使用数字信号去调制载波的频率，以频率的大小表示电平。ASK是使用数字信号去调制载波的振幅，以载波的幅值大小表示电平。显而易见，在传输过程中，ASK调制的幅值信号容易被衰减，而FSK模式调制出的频率信号便不会因为信号幅值衰减而产生变化。为了满足工业遥控器的性能需求，所以使用FSK调制方式。

4.2通信传输编码

4.2.1 曼彻斯特编码定义

在规定时间间隔下，每隔一段固定的时间会出现上升沿或者下降沿。其中上升沿代表数据中的’1’，下降沿代表数据中的‘0’，具体边沿代表0或者1可以自行决定。基本的时序图如图22所示。曼彻斯特码是单极性归零码，其可以携带定时信息。曼彻斯特码的每一个码元都被调成两个电平，所以数据传输速率只有调制速率的1/2[11]。

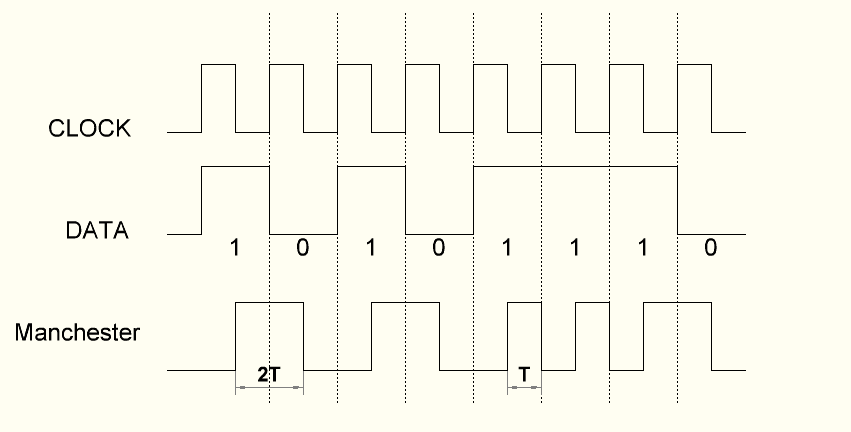


图22.曼彻斯特编码

（1）编码信息是靠边沿来确定的，曼彻斯特码中上升沿和下降沿分别代表数据中的1和0。

（2）需要发送连续相同的数据位时，编码后的前后两个边沿的间隔为T。当发送不同数据位时，编码后的前后两个边沿的间隔为2T。

（3）观察得知曼彻斯特编码每个发送周期内的后0.5T电平与数据电平相同。

4.2.2曼切斯特码解码。

根据曼彻斯特编码的特点，解码方案常用的有定时读取法和边沿检测法两种。其中定时读取法就是在时钟同步后每隔一段固定的时间读取数据，一般时钟同步需要使用边沿检测器检测连续两个边沿之间的时间间隔，如果间隔为2T（一般认为1.75T~2.25T之间都是2T，本节以下与T相关时间如没有特殊说明均代表范围），则认为已经同步，此时先延时1.25T（精确时间）时间，并读取第一个数据。之后使用定时器每隔2T时间读取数据。如果数据出错则需从新同步时钟。边沿检测法，是只通过检测边沿就可以获得数据的方法。

1. 第一步与定时器读取法相同，先使用边沿检测器和计时器来同步时钟，同步完成进行2），否则进行1）。
2. 记下第一位数据。上升沿代表‘1’，下降沿代表‘0’。继续检测下一边沿，并计算两次边沿间隔的时间。如果时间间隔为2T，则当前数据与上一位数据相反。如果时间间隔为T，则进行3）否则丢弃数据进行1）
3. 等待下一次边沿，如果下一次边沿与这一次边沿之间的时间间隔为T，则当前数据与上一位数据相同，否则进行1）。

4.3差错控制编码原理

为了提高工业遥控器抗干扰能力，除了选择性能优良的硬件电路改善通信信道中信号的质量外，差错控制是必不可少的一部分。工业遥控器接收器是通过判断接收的不同的指令来确定该控制工程机械执行相应的动作，所以如果传输中出现了错误，必然会导致工程机械的误操作，造成危险。差错控制的基本原理为：利用增加信息的编码长度来减小误码率[12]。在线性分组码通常用符号表示。编码后的码组格式变为：

其中

，，。

定义为编码效率。则

（10）

由公式可得，监督位越多编码的效率越低。

影响编码的纠错能力的另一个变量是汉明距离，汉明距离是使用在数据传输差错控制编码里面的，汉明距离是一个概念，它表示两个相同长度编码的不同位的个数。其计算方式是使用按位异或，得出的数据中1的个数。一般用表示。编码系统中每个码字之的最小值称为最小码距，记为。

（1）当时，能检测个错码；

（2）当时，能纠正错码；

（3）当时，能检测个错码，同时能纠正个错码。

本文设计的遥控器是单向传输的，所以不需要考虑检错后重发的问题，因此编码的主要思路是能够检测更多的错误和产生更少的错误。一旦发现接收的数据中有错误立即丢弃，等待新数据到来。但是如果发生连续错误，则表示当前信道噪声过大，所以需要接收机立即停止工程机械运转，等待接收正常无错命令，以免发生意外。

4.3.1奇偶校验码

奇偶校验法用于单字节数据的校验，包括奇校验和偶校验两种方式。在发送固定长度字节后，在数据的末尾追加一位校验位使得之前发送数据与该校验位组成的新数据中的1的个数为奇数（奇校验）或者偶数（偶校验），校验位的值取决于数据字节中1的个数和校验的类型。

奇偶校验可以每8位追加一位校验位，也可以每4位追加一位校验位。理论上将校验位越多，所能检测出的错误数据越多，但考虑到数据的传输效率也会越低。所以这里使用，每4位数据追加一位校验位的方法，传输效率为

（11）

4.4数据帧设计

数据帧包含起始位、安全码、控制命令位、帧尾标志位、每隔四位追加一位的奇偶校验位。

基本结构如下表所示。

表2.数据帧设计

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 起始位 | 安全码 | 控制命令位 |
| 内容 | 0x100 | 0x00000000-0xFFFFFFFF |  |
| 长度 | 9bits | 4bytes | 1byte |

说明：

（1）起始位为0x100的9bits，此字节需要选择噪声不易产生的字节。

（2）安全码是固化在遥控产品里的一个固定数字，同一发射器发送出的安全码是固定的，接收器接收到数据帧解析出其中的安全码，与自己的安全码相互比较，如果相同则处理此组数据，如果不相同，则丢弃此组数据。

（3）控制命令是与发射器按键一一对应的一个字节的参数，接收器接收到指令后会以此来控制对应的继电器闭合。

表3.按键功能表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 按键编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 功能 | 急停 | 解除急停 | 东 | 南 | 西 | 北 | 保留 | 保留 | 保留 | 保留 |
| 命令值 | 0x01 | 无 | 0x03 | 0x04 | 0x05 | 0x06 | 0x07 | 0x08 | 0x09 | 0x10 |

4.5本章小结

本章主要讨论无线通讯中的信道编码，差错控制和数据帧设计等问题。并制定了无线通信协议，确定使用曼彻斯特编码来提高遥控器系统的抗干扰能力，使用32位的安全码来防止不同设备之间产生干扰，使用简单的奇偶校验进行差错控制。

第5章 系统软件设计

主要使用IAR FOR MSP430 开发环境进行遥控器系统的软件编程。IAR编译器支持C++ ， c ，和汇编三种语言的。但是综合考虑下，C语言具有高级语言的易读性和比C++语言更高的执行效率。所以开发语言采用c语言。

整个系统的程序可以分为一下几个部分：

（1）串口通讯程序设计，用来遥控器与电脑终端进行通讯，并打印调试信息。

（2）接收器的按键扫描程序设计。

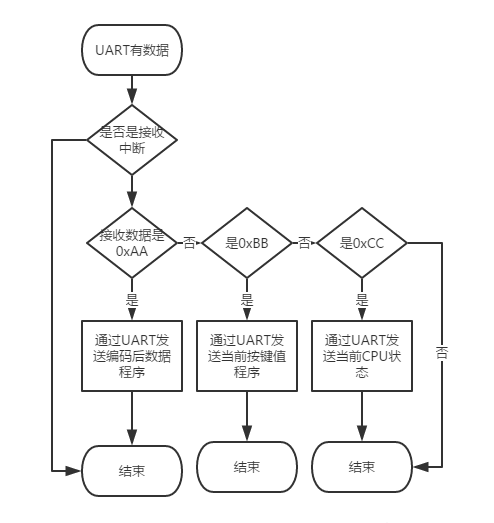
（3）发射器的数据编码程序设计，主要实现CRC编码和曼彻斯特编码。

（4）接收机的数据解码程序设计，与接收器相对应，主要实现曼彻斯特解码、对数据包的接收和奇偶校验。

（5）发射器的低功耗程序设计。主要通过配置射频发送芯片和MSP430F122自身的低功耗模式，实现自动待机，按键唤醒等功能。

5.1串口通讯软件设计

串口通讯接口使用的是UART接口，程序部分主要有串口引脚初始化函数，串口功能配置函数，串口数据接收中断处理函数。主要完成引脚复用功能选择，即选择UART功能；串口通信的波特率，这里配置为9600；串口发送接收功能使能和串口接收中断使能。发送数据采用查询方式，每次发送后都循环检查发送寄存器非空标志位，如果为0，则代表发送完成。为了发送字符串数据，需要自己编写一个需要根据字符串的长度来循环调用单个字符发送程序的函数。串口接收中断用来接收用户由电脑上位机发送过来的查询命令，接收到对应命令后向上位机返回对应的系统状态，此程序的流程图如图23所示。

图23. 串口通讯软件设计

5.2接收器的按键扫描程序设计

由于硬件电路上使用的硬件滤波，所以按键处理函数中就不需要使用延时函数，只需要直接读取IO电平即可。为了实现按键唤醒功能，需要配置按键所连接引脚为外部下降沿中断。流程图如下图所示。按键信号的产生意味着有发送操作要进行，所以如果是处在低功耗模式下检测到了按键，则需要退出低功耗模式，进入正常发送模式。

5.3发射器的数据编码程序设计

数据编码分为校验码和发送时的曼彻斯特编码。其中需要先进行校验码的编码，之后在将编码后的数据使用曼彻斯特编码转换为IO口的电平变化。将0编码为上升沿，1编码为下降沿，此处编码与曼彻斯特编码相反，原因是接收器中射频接收芯片与微处理器之间的通讯使用了一个等效为一个非门的三极管电平转换电路，对接收器微处理器芯片来说收到的编码方式为上升沿为1，下降沿为0的标准曼彻斯特码。

奇校验的编码采用边发送边编码的方式进行发送，方法是发送函数每发送4位数据，对发送前4位进行按位异或运算，计算结果就是校验位，得到结果后直接发送校验位。值得注意的是，数据帧的帧头不需要进行校验编码。

两部分流程图分别如图24和图25所示。

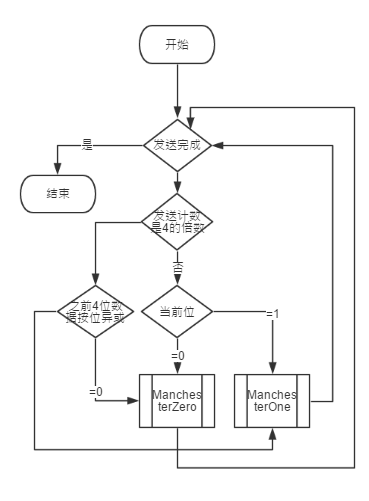


图24.曼彻斯特编码流程图

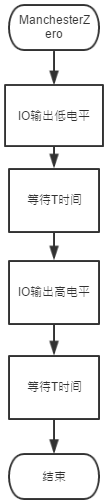
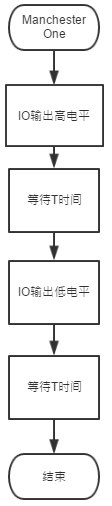
 

图25.曼彻斯特编码的1和0的编码流程图

5.4接收机数据解码程序设计。

解码程序包括曼彻斯特解码和数据帧读取。曼彻斯特解码主要思路是使用边沿检测法，判断每两个边沿之间的时间间隔DT，如果不满足T或2T的要求，则代表传输出错，丢弃之前所有数据，重置与解码相关的参数，重新接收数据。接受过程中连续出现时间间隔为T的数目为奇数时，则代表传输错误，丢弃之前所有数据，重置与解码相关的参数。

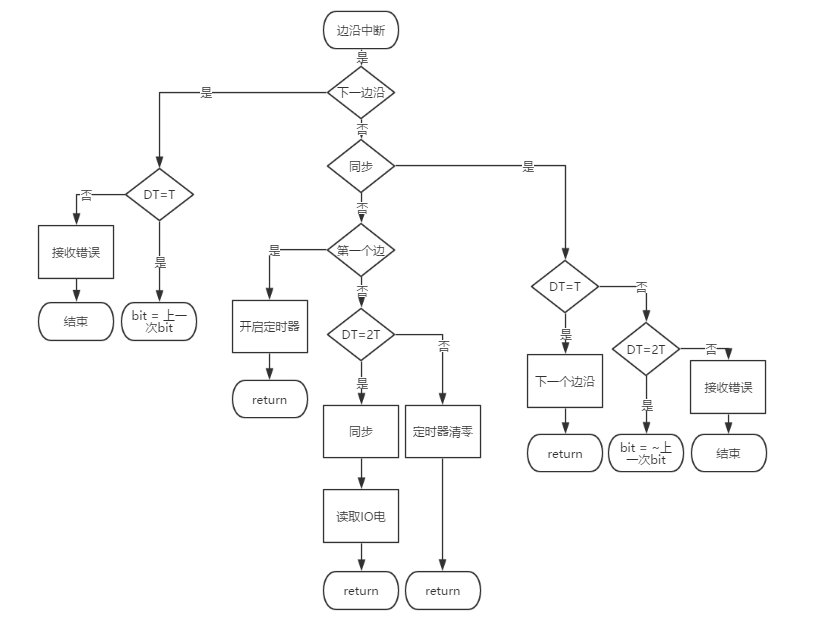


图26.曼彻斯特解码流程图

数据帧读取与判断过程中包括有帧头判断，奇偶校验的判断，以及安全码判断。与发射器相类似，奇偶校验检验方法也是使用异或操作，每接收5位数据，对这5位数据进行按位操作，如果结果为1则通过校验，否则丢弃之前所接受所有数据，并重置与接受相关参数。通过校验的前32位数据组成一个32为无符号整型数字，与接收器的ID相互比较，如果相同则可以开始接收命令位，否则丢弃之前所接受所有数据，并重置与接受相关参数。

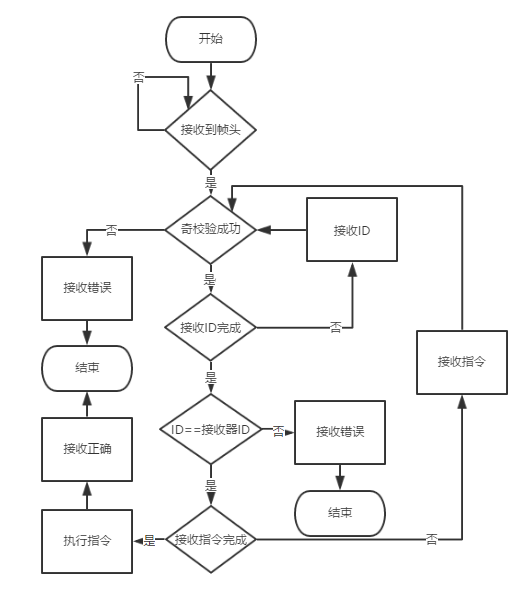


图27. 数据帧读取与判断

5.5低功耗模式程序设计。

为了更好的利用MSP430系列微处理器的低功耗的优点，需要研究MSP430F122的不同操作模式，下表介绍了MSP430F122几种工作模式下的CPU和时钟状态。SMCLK是子时钟，主要供给微处理器的外设。MCLK是主时钟供给CPU，ACLK是备用时钟主要用在微处理器的外设。DCO是片内数字控制振荡器，XT2CLK是可选高频振荡器，SMCLK、ACLK和MCLK都是由DCO或者XT2CLK分频得到的。

表3.MSP430F122不同模式下时钟和CPU的状态

|  |  |
| --- | --- |
| 模式名称 | CPU和时钟状态 |
| Active | CPU正常工作，所有已经使能的时钟都正常工作 |
| LPM0 | CPU和MCLK被关闭，SMCLK和ACLK正常工作 |
| LPM1 | CPU，MCLK，DCO振荡器被关闭， 如果SMCLK , ACLK 都正常工作。 |
| LPM2 | CPU, MCLK, SMCLK, DCO振荡器被关闭，数字时钟发生器正常工作， ACLK 正常工作 |
| LPM3 | CPU, MCLK, SMCLK, DCO振荡器被关闭， 数字时钟发生器被关闭， ACLK 正常工作 |
| LPM4 | CPU和所有时钟都被关闭 |

发送器程序的主要功能有读取按键，使用延时程序发送曼彻斯特编码。这些功能使用的都是MCLK所以SMCLK和ACLK在正常模式下都可以关闭。在休眠状态下，只需要检测有无按键按下，如果有按键按下，则需要进入正常工作模式发送按键命令。MSP430F122单片机设计有外部中断唤醒功能，即当有外部中断发生时，如果在CPU时钟是关闭的情况下，系统会使能DCO来作为系统时钟处理中断函数内容，如果外部引脚中断函数中没有退出低功耗模式的操作，则中断函数执行完之后便又回到中断之前的低功耗模式下，如果有退出低功耗模式操作，则中断函数执行完之后便会按照正常模式执行主函数。

同样的，射频发送芯片TDA5101也有低功耗模式，不过与MSP430F122不同的是，TDA5101的低功耗模式是通过外部引脚的电平控制的，所以需要通过MSP430F122来使用程序控制。下面是具体工作模式配置表。因为，TDA5101的FSKDTA和ASKDTA引脚可以完全控制该芯片的模式配置，所以低功耗配置引脚PDWN只需要悬空即可。

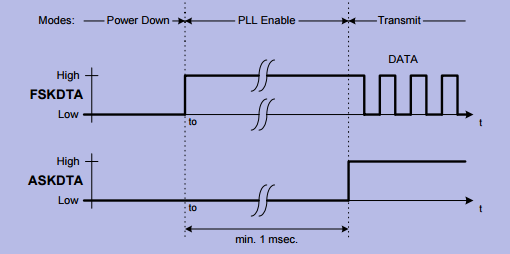
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| PDWN | FSKDTA | ASKDTA | MODE |
| Open | Low | Low | POWER DOWN |
| High | Low | PLL ENABLE |
| High，Low，Open | High | TRANSMIT |

（1） Low :电压小于1.5V

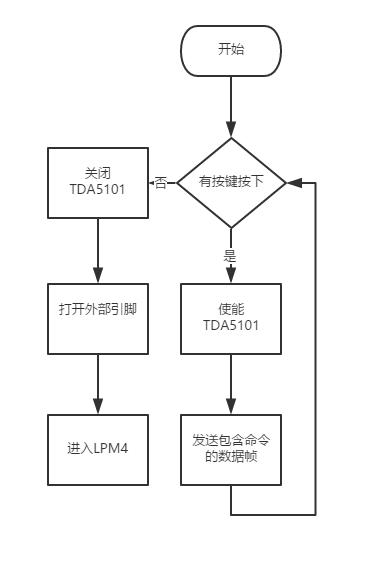
（2）Open :引脚悬空

（3）High :电压大于1.5V

FSK模式下，PDWN悬空，FSKDTA和ASKDTA与MODE的时序图。当FSKDTA和ASKDTA都为低时，TDA5101处于低功耗模式，FSKDTA持续高电平并且ASKDTA持续低电平大于1ms后锁相环使能，之后把ASKDTA设置成高电平，后进入传输模式。



综上所述，发射器低功耗设计流程图如下。判断是否有按键，即读取键值，将键值按位取反，判断是否为0，不为0则代表有按键按下，使能TDA5101和关闭5101都是通过配置对应引脚电平来实现的。打开外部引脚中断是为了在低功耗模式LPM4下仍然可以检测是否有按键按下，以此作为退出低功耗模式LPM4的依据。当然在退出LPM4后外部引脚中断就没有用处了，所以需要关闭。



5.6本章小结。

本章主要讨论了遥控器系统的软件设计，其中主要工作有数据帧的发送与接收，基于奇校验的差错控制，曼彻斯特编码与解码和低功耗软件设计。

第6章 系统调试与性能测试

系统调试与性能测试是整个设计的性能验收，为了减小排错的难度，本文采用模块化测试，即先将整个系统分为几个小部分，当每个部分都测试通过后进行系统联调，最后在整体测试系统的性能。

系统测试分为发射电路硬件测试，接收电路硬件测试，发射接收代码测试和系统功耗和通信性能测试几个部分。

下面将分别介绍每个部分测试的结果。

6.1硬件调试

遥控器电路中的微处理器电路测试起来相对较为容易，只需要确认可以通过BSL接口下载程序，程序能够正常运行和外部晶体振荡器能够起振便可。遥控器电路的射频发送和射频接收电路属于高频电路部分，测试起来比较复杂。为了方便测试可以将整个遥控器电路传递的信号作为被测信号，如果发送器所接收信号被正确的调制为频率信号，并且接收器能够使用混频器将数据信号降为10.7MHz，最后通过FSK解调器还原出原始信号，则认为硬件电路是正常工作的。

6.2软件调试

串口收发测试。使用USB转RS232模块将电脑和遥控器模块连接，使用电脑上的串口调试助手向遥控器发送数据，并检查接收到的数据是否正确。

遥控器数据发送和接收测试。为了只测试软件，而不受硬件电路性能的影响，所以使用将射频发送电路与射频接收电路之间的传输信道等效为一根地线和一根信号线，两块微处理器共地，直接将发送器IO口和接收器IO口连接，发送器端将命令发送，如果接收端接收到对应命令值，则代表遥控器的编码解码程序都是正确的。

6.3 系统统调

在硬件调试和软件调试分别完成的前提下，才可以进行系统统调，具体方法是设计测试软件，发射器接收串口发送数据或者按键数据，并将数据通过射频发送芯片发送给接收器，接收器接收到数据后，也通过串行通讯接口发送给电脑上的串口调试助手，如果此收发过程没有问题，则表示系统调试成功。

6.4 性能测试

性能测试包括功耗测试，通信质量测试。

6.4.1性能测试

功耗测试包括测量发射器连续发射情况下的平均电流A与待机情况下的平均电流A，已知干电池的总容量是（AH）。则可工作的小时数T为

（12）

其中是遥控器每天的使用比例。

最小工作时间

（13）

电流的测量方法是使用万用表的电流档，将万用表串接在发射器电路的电源回路中，一直按着某一按键，当电流的测量值稳定时，记录此时的读数A。松开按键，当电流的测量值稳定时，记录此时的读数A。

6.4.2通信质量测试

主要测试接收器和发送器在不同距离下，接收器数据接收的稳定性。编写测试程序：发送器按通信协议设计的数据帧结构进行数据发送，其中命令值的长度改为2个字节。每200ms发送一次命令值，而且命令值逐一递增，命令值的最大为。接收器接收所发送的数据，并计数，计数值与接收到的命令值相比较，如果不同则向串口打印，丢包率。只需要测试一个小时即可，记录最终丢包率。

第7章 总结与展望

本文通过对市场需求和市场上工业遥控器的特点进行分析，设计了一款基于数传的低功耗工业遥控器。本文的主要工作有：

（1）结合市场需求，制定合理的设计方案。确定使用TI公司的MSP430F122 微处理器与英飞凌公司的TDA5101和TDA5211芯片完成遥控器系统的电路设计。

（2）使用曼彻斯特码对信道数据进行编码，对无线通信的差错控制进行研究与设计，采用奇偶校验进行差错控制。并以此确定通信协议，进行数据帧的结构设计。

（3）软件上对曼彻斯特编码与解码程序设计，差错控制编码与解码程序设计，低功耗设计进行深入讨论，给出了基本的流程图。使用IAR FOR MSP430 开发环境对整个程序进行设计。

（4）最后进行硬件和软件的功能测试与整个系统的性能测试。

综上所述，本文完成了低功耗工业遥控器的电路和程序设计，并且系统各项指标均达到要求。

本文的创新点如下：

（1）使用具有超低功耗特性的MSP430系列单片机与具有掉电模式的射频收发芯片进行遥控器设计，既满足了遥控器的性能要求，有满足了遥控器的低功耗要求。

（2）使用软件实现了曼彻斯特编码和解码，增强了系统的抗干扰能力。差错控制采用简单而又有效的奇校验方式完成，基本达到了性能要求。

（3）数据帧设计中采用安全码验证的方法来保证传输过程中不同设备之间不会产生干扰，即发送器发送的数据帧中的安全码是固定的，不同接收器的安全码是不同的，只有发送器发送的安全码与接收器安全码相同，接收器才会响应发送器发送来的命令。

本文设计的遥控器系统还有许多不足的地方需要改进，现在的做出的遥控器虽然满足了基本的性能要求，但是想要适应工业中比较复杂的环境还是需要增加许多设计的。

（1）奇偶校验的检错性能不是很好，所以需要更好的差错控制算法比如CRC（循环冗余校验）来对传输的数据进行校验，保证系统的可靠性。

（2）增加遥控器的在线升级功能，并配合上位机软件可以实现对遥控器按键模式的更改，以及发射器发送安全码与接收器安全码的更改[6]。

参考文献

[1] 刘付川. 工程机械遥控装置的设计与实现[D]. 南京理工大学，2014.

[2] 宋丹丹．无线工业遥控器的研究与设计[D]．南京理工大学，2013.

[3] 宗诚. 基于XPE的行车通讯系统开发[D]. 东北大学，2007.

[4] 中华人民共和国工业和信息化部．中华人民共和国无线电频率划分规定[Z]，2010.

[5] 常国权, 张捐净. MSP430单片机的BSL编程工具设计与应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用,

2015(6):26-29.

[6] 袁娟, 孙克怡, 闫建国. MSP430程序升级方式探讨[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2006(5):65-67.

[7] 刘静. 基于ZigBee技术的无线火灾报警信息传输系统的设计[D]. 中南大学, 2007.

[8] 刘元宾. 汽车轮胎压力监视系统(TPMS)的研究[D]. 天津大学, 2007.

[9] 韩炬. CRC快速算法[J]. 煤炭科学技术, 2000, 28(2):11-14.

[10] 郑更生, 张婷, 刘启福. 高性价比射频对码遥控器研究[J]. 武汉工程大学学报, 2010, 32(12):98-101.

[11] 聂鑫. 基于无线传感器网络的TPMS研究与设计[D]. 中山大学, 2007.

[12] 李永忠，徐静．现代通信原理、技术与仿真[M]．西安：西安电子科技大学出版社， 2010，312-330．

[13] 廖海红. 通信系统中的CRC算法的研究和工程实现[D]. 北京邮电大学, 2006.

[14] 梅勇兵, 朱建新, 杨翔. 无线遥控系统在液压挖掘机上的应用[J]. 建筑机械, 2007(11):92-94.

[15] 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——TI MSP430大学计划教材[M]. 清华大学出版社, 2004.

[16] 杨鹏. 基于MSP430和nRF905的塔吊无线遥控系统[J]. 机电工程, 2008, 25(1):34-36.

[17] Texas Instruments. MSP430F122 DataSheet，Rev. 1. 1， 2004．

[18] Texas Instruments. MSP430x1xx Family User’s Guide，Rev. 1. 1，7，2004.

[19] Infineon Technologies AG. TDA5101 DataSheet，Rev. 1. 6，10，2001.

[20] Infineon Technologies AG. TDA5211 DataSheet，Rev. 2. 0，5，2001.

[21] Zhang Y G, Gao Y L, Li Y L, et al. Design of a Novel Free Swing Fire Monitor Control Circuit[C]//

International Conference on Information Engineering and Computer Science. IEEE, 2009:1-4.

[22] 李巨, 陈秋宏. 关于曼切斯特编码的应用研究[J]. 中国电子商务, 2012(22):40-40.

致 谢

首先感谢东南大学仪器科学与工程学院四年来对我的培育，让我从一个无知的高中生变成了一个合格的大学毕业生。其次感谢我的导师金世俊教授对我毕业论文的帮助，我在研究过程遇到问题时，他都对我进行了细心的指导。