

# 基于 CC2430 芯片的动物机器人遥控导航系统

倪化生 黄炫 孔斌 万明霞

(中国科学院合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘要** 提出一种基于 CC2430 芯片的动物机器人遥控导航系统,该系统分手持控制器和机器人节点 2 部分,手持控制器由有机发光二极管(OLED)显示器、键盘模块、CC2430 芯片及电源模块组成,机器人节点由刺激模块、CC2430 芯片和电源模块等组成.该系统采用点对点通信模式,利用循环冗余码(CRC)校验和地址识别功能,能有效地保障通信的可靠性和安全性.分别从硬件和软件的角度对系统进行分析,并通过仿真实验证明:在通信距离达到 75 m 的复杂环境中,该系统性能良好,通信稳定.此外,该系统体积小,质量轻,便于动物机器人携带.

**关键词** 动物机器人;无线传感网络;遥控导航系统;点对点;手持控制器;CC2430 芯片

**中图分类号** TP242 **文献标志码** A **文章编号** 1671-4512(2011)S2-0180-04

## A telemetry navigation system for animal-robot based on CC2430 chip

Ni Huasheng Huang Xuan Kong Bing Wan Mingxia

(Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract** A telemetry navigation system based on CC2430 chip for animal-robot application was developed in present studies. This navigation system includes two parts which are portable controller and robot nodes. The portable controller consists of an OLED(organic light-emitting diode) display, keyboard module, CC2430 chip and power module. The robot nodes are composed of micro-stimulator, CC2430 chip and power module. A point-to-point mode of communication with CRC (cyclic redundancy check) code and address identification was used to ensure the reliability and security of communication in this system. The hardware and software parts of this system are presented respectively to keep logic completeness. Simulation results indicate that the system can communicate stably and maintain in a good condition over a distance of 75 m under complex environments. Furthermore, the system is compact and light so that it can be easily carried by an animal-robot.

**Key words** animal-robot; wireless sensor network; telemetry navigation system; point-to-point; portable controller; CC2430 chip

利用人工电信号控制动物的神经系统,使动物变成“机器人”,称之为“动物机器人”.动物机器人研究从 20 世纪 90 年代开始,人们利用生物控制技术,从动物运动的感受传入或神经支配入手,实现对动物的运动和某些行为的人为控制,从而利用动物特长来代替人类完成人所不能和人所不敢的特殊任务<sup>[1-3]</sup>.根据控制信号的传输方式,动物机器人可以划分为有线传输和无线传输 2 个模

式.本文主要讨论动物机器人控制信号的无线传输模式.

在基于无线射频通信的动物机器人系统中,无线传输模块和控制模块分离,导致机器人节点在电路板体积和功耗方面有一定的局限性,约束了动物机器人的运动能力及运动范围<sup>[4-5]</sup>.本研究采用 TI 公司的 CC2430 芯片作为动物机器人核心芯片,从而在硬件设计上集系统的通信模块、刺

收稿日期 2011-05-25.

作者简介 倪化生(1980-),男,助理研究员, E-mail: hsn@iim.ac.cn.

基金项目 国家自然科学基金资助项目(60905059);中国科学院合肥物质科学研究院院长基金资助项目.

激模块和控制模块于一体,软件上参考 TI 公司提供的针对 CC2430 的 ZigBee 协议,开发出点对点的通信协议. 本系统中手持控制器结构简洁,操作方便,相对于传统的动物机器人节点,本系统机器人节点在运动能力及运动范围方面具有一定的优越性.

## 1 CC2430 芯片

CC2430 是 Chipcon 公司生产的具有单片集成功能的无线收发器,在单个芯片上集成了符合 IEEE802.15.4 标准的 2.4 GHz 的 CC2420 射频前端. 作为一款无线射频芯片,硬件设计上具有如下相关功能:支持 CSMA/CA(带有冲突避免的载波侦听)及 CRC(循环冗余码)校验功能,数字化的 RSSI/LQI(接受信号强度指示/链路质量指示)支持以及集成了 AES-128 安全协处理器. CC2430 芯片集成度高,用于无线模块只需要简单的外围电路就能实现无线收发功能,其具体应用电路见文献[6].

在 CC2430 芯片中,射频(RF)的输入/输出是高阻/差动的,用于 RF 口最合适的差动负载是  $(115+j180)\Omega$ . 如文献[6]图 6 所示,当使用不平衡天线(例如单极天线)时,为了优化性能,必须使用不平衡变压器. 不平衡变压器由元件 C341, L341, L321, L331 以及印制电路板(PCB)微带传输线( $\lambda/4$  偶极子,  $\lambda$  为波长)组成,用于匹配 RF 输入/输出的  $50\Omega$  阻抗. 若电路使用差动天线,则不必使用不平衡变压器.

此外,CC2430 芯片具有 2 种外接时钟及 4 种工作模式的超低功耗特点. 为了降低系统功耗,设计中采用了睡眠/唤醒机制,正常情况下受控节点处于睡眠状态(32.768 kHz),只有当手持控制器与受控节点进行通信时,受控节点使用 32 MHz 晶振.

## 2 动物机器人系统硬件设计

动物机器人系统的硬件设计包括手持控制器的设计(发送节点)和机器人节点(接收节点)的设计. 手持控制器的硬件主要包括 CC2430 芯片、键盘模块、OLED 显示模块、电源模块. 动物机器人节点的硬件包括 CC2430 芯片、驱动电路和电源模块等.

### 2.1 手持控制器的硬件设计

手持控制器由 OLED 显示器、键盘模块、

CC2430 芯片及电源模块组成. CC2430 芯片的外围电路见文献[7]. 键盘模块包括 UP, RIGHT, LEFT, DOWN, OK, CANCEL 6 个按键. OK 和 CANCEL 键是通过 CC2430 的 2 个普通 I/O 口(P0.4 和 P0.5)设置成输入状态下,进行引脚扫描判断,而其余的 4 个键是通过电阻分压和 A/D 转换器采集来确定.

手持控制器的 OLED 显示模块使用的是 SSD1303 驱动的  $128 \times 64$  OLED 显示器, SSD1303 有 6800, 8080 和串行接口 3 种接口方式. 本研究为了节约控制器的接口资源,选择了串口模式. 但是需要注意的是在串口模式中,控制器只能对显示器进行写操作[7].

手持控制器的电源模块分为 2 部分,分别提供 3.3 V 电压和 7.0 V 电源电压,3.3 V 电压使用 LDO(低压差线性稳压器)芯片 TPS79533,其输出电压为 3.3 V,输出电流达到 500 mA,具有足够的功率为整个手持控制器提供电源支持.

提供 OLED 显示器的 7.0 V 电压由 DC/DC 芯片 MC34063 生成,MC34063 由具有温度自动补偿功能的基准电压发生器、比较器、占空比可控的振荡器、R-S 触发器和大电流输出开关电路等组成. 该器件可用于升压变换器、降压变换器、反向器的控制核心,由它构成的 DC/DC 变换器仅用少量的外部元器件就可以实现[8]. 手持控制器硬件框图如图 1 所示.

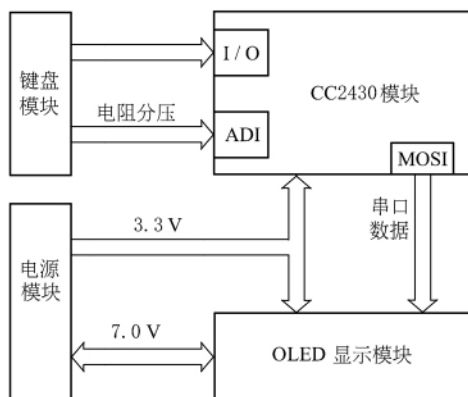


图 1 手持控制器硬件框图

### 2.2 机器人节点的硬件设计

机器人节点由刺激模块、电源模块和 CC2430 芯片等组成. 根据以往的实验参数,在本系统中,把对动物机器人(大鼠)的刺激电压固定在 5.0 V,通过调整刺激的脉冲宽度和脉冲个数对大鼠进行控制训练. 刺激模块为具有 6 路开路输出的 74LV07 驱动器[9],这样避免使用传统的 DAC(数字模拟信号转换器)刺激,减小了电路板所需空间,便于大鼠携带. 其硬件框图如图 2 所示

(CC2430 模块参考图 1).

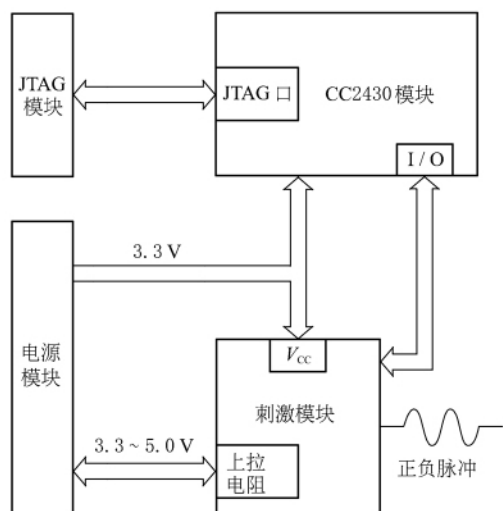


图 2 机器人节点硬件框图

### 3 动物机器人系统软件设计

动物机器人系统软件包括数据发送、接收和底层硬件接口函数<sup>[10]</sup>。发送程序运行于手持控制器，向接收的机器人节点发送左转、右转、奖励以

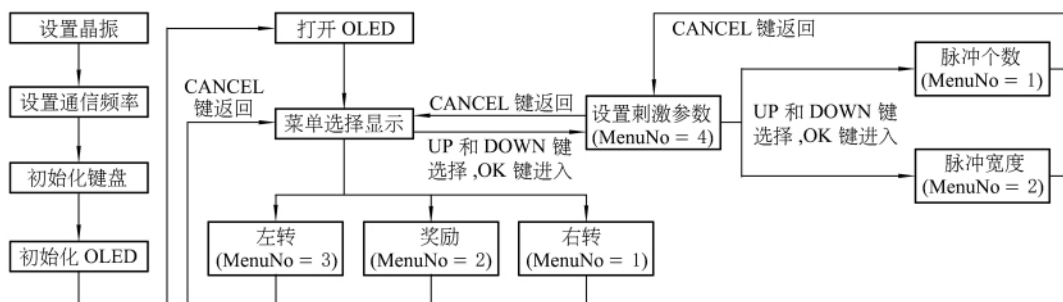


图 3 手持控制器程序流程图

示,可以分别选择脉冲个数设置和脉冲宽度设置,脉冲个数和脉冲宽度的初始值分别为 20 个和 1 ms. 程序使用 RIGHT 键(增加)和 LEFT 键(减少)调节. 脉冲个数和脉冲宽度每次调节的改变量分别为 5 个和 100  $\mu$ s. 当程序进入奖励、左转、右转 3 种刺激模式时,根据按键不同,手持控制器发出不同格式的数据包. 在所选程序执行完毕后,按 CANCEL 键可以返回上级菜单.

#### 3.2 机器人节点软件设计

当机器人节点上电时,接收程序初始化 CC2430 芯片,设置外部晶振、通信频率,开始循环等待;当等待时间超过设定的阈值时,CC2430 芯片进入睡眠模式,直至主节点唤醒.当机器人节点接收程序接收到手持控制器发送的数据时,开始判断数据格式,进而用相应的刺激模式对大鼠刺激. 其程序流程图如图 4 所示.

及刺激参数的命令,机器人节点接收命令后对大鼠进行相应的刺激. 应用程序及硬件接口函数都被下载到 128 kHz 的闪存里,并进行分层管理.

#### 3.1 手持控制器的软件设计

手持控制器用来控制动物机器人运动方式,动物机器人的刺激模式有右转、左转以及奖励 3 种,分别通过传输字符串“01”,“10”和“11”实现. 其传输的数据帧由数据长度、目的地址、源地址、有效载荷和帧校验组成,其中有效载荷又分脉冲宽度、脉冲个数、刺激模式共 4 B. 数据长度为 1 B,在本系统中值为 8. 目的地址和源地址分别为 1 B,因为本系统中一共只有 2 个节点通信,所以可以设置源节点为 1,目的节点为 2. 脉冲宽度和脉冲个数分别占 1 B,刺激模式占 2 B. 帧校验由 CC2430 硬件自动生成,占 2 B.

手持控制器通过发送数据控制动物机器人节点运行,手持控制器上电后,程序初始化,设置外部晶振、通信频率,初始化键盘和 OLED,打开 OLED 显示器进入显示菜单,利用 UP 和 DOWN 键选择,OK 键进入. 其程序流程图如图 3 所示.

当程序进入设置刺激参数时,根据显示器提

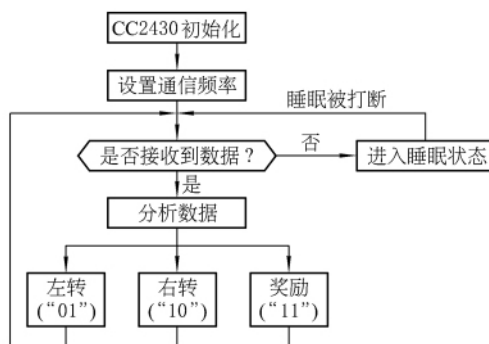


图 4 机器人节点程序流程图

### 4 系统调试及结论

在研发过程中,利用 TI 公司提供的 Smart-RF Studio 软件对机器人节点和手持控制器之间的数据通信进行调试,当 2 个节点相距 75 m 时,

手持控制器随机发送 14 个数据包均被机器人节点接收,输出功率 0.6 dBm,接收信号强度指示(RSSI)平均值为-85.3 dBm,无任何丢包现象.

本系统电路板硬件设计参考 TI 公司关于 CC2430 芯片的产品应用笔记和设计笔记.系统的软件调试采用成都无线龙通讯科技有限公司的仿真器配合 IAR7.20H 编译器进行.在研发过程中,先利用 TI 公司提供的 SmartRF Studio, SmartRF04 Flash Programmer 等工具对硬件进行通信调试,判断硬件能否通信.然后利用 IAR 编译器结合仿真器进行程序软件调试.实验结果表明:动物机器人系统通信距离可以达到 75 m,通信可靠,无丢包现象.在本系统中,CC2430 芯片集射频收发器和控制器于一体,利用 CC2430 芯片的 4 种工作模式,实现了系统的低功耗、低成本、低复杂度的要求.超低功耗的 CC2430 芯片利用其睡眠/唤醒机制,延长了电池的使用寿命,具有很好的应用前景.

#### 参 考 文 献

- [1] Talwar S, Xu S, Hawley E, et al. Behavioural neuroscience: rat navigation guided by remote control [J]. *Nature*, 2002, 417: 37-38.
- [2] Wan Mingxia, Huang Xuan, Ni Huasheng, et al. Rats' navigation control scheme in a mobile ad hoc network based on multi-rats[C]// The 2nd International Conference on Information Science and Engineering (ICISE2010). Hangzhou: Curran Associates Inc, 2010: 5247-5250.
- [3] Xu S, Talwar S, Hawley E, et al. A multi-channel telemetry system for brain microstimulation in freely roaming animals[J]. *Journal of Neuroscience Methods*, 2004, 133: 57-63.
- [4] 郭策,戴振东,孙久荣. 生物机器人的研究现状及未来发展[J]. *机器人*, 2005, 27(2): 187-191.
- [5] 王勇,苏学成,槐瑞托,等. 动物机器人遥控导航系统[J]. *机器人*, 2006, 28(2): 183-186.
- [6] Texas Instruments. A true system-on-chip solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee [EB/OL]. [2011-05-25]. <http://www.ti.com.cn>.
- [7] Solomon Systech. SSD1303 advance information 132×64 dot matrix OLED/PLED segment/common driver with controller [EB/OL]. [2011-05-25]. <http://www.solomon-systech.com>.
- [8] Texas Instruments. MC34063 dc-to-dc converter control circuits[EB/OL]. [2011-05-25]. <http://www.ti.com.cn>.
- [9] Texas Instruments. SN54LV07A, SN74LV07A HEX buffers/drivers with open-drain outputs [EB/OL]. [2011-05-25]. <http://www.ti.com.cn>.
- [10] 瞿雷,刘盛德,胡咸斌. ZigBee 技术及其应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.