

# 壁虎动物机器人遥控系统

李海鹏<sup>1</sup>, 戴振东<sup>1</sup>, 谭 华<sup>1</sup>, 郭 策<sup>1</sup>, 孙久荣<sup>2</sup>

(1. 南京航空航天大学 仿生结构与材料防护研究所, 江苏 南京 210016;

2. 北京大学 生命科学学院, 北京 100871)

**摘 要:**介绍了一个基于 ATmega8L 和 CC1000 芯片的壁虎动物机器人遥控刺激系统。该系统主要由便携式电脑、微控制器和无线数据收发器构成, 可以分为控制平台和刺激器两部分。控制命令从笔记本电脑输入, 然后无线数据收发器发送出去。刺激器接收指令并产生刺激信号, 完成对壁虎机器人的运动控制。不带便携式电脑, 控制平台的总重量不到 130g, 便于携带。刺激器的电路非常紧凑, 采用贴片封装的元件, 体积小(长 31mm, 宽 39mm, 高 22mm)、重量轻(带电池 13.6g)。实验证明:该系统在 300m 的较开阔地带, 系统工作稳定、可靠。

**关键词:**壁虎动物机器人; 遥控系统; 微控制器; 无线收发器

**中图分类号:** TP24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2008)08-0016-04

## A Remote System for Gecko Animal - Robot

LI Hai-peng<sup>1</sup>, DAI Zhen-dong<sup>1</sup>, TAN Hua<sup>1</sup>, GUO Ce<sup>1</sup>, SUN Jiu-rong<sup>2</sup>

(1. Institute of Bio-inspired Structure and Surface Engineering, Nanjing University

of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. College of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** A remote micro-stimulate system for gecko animal-robot, which based on the chips ATmega8L and CC1000, was developed in present studies. This system includes a remote control device and a micro-stimulator, which mainly consists of notebook PC, micro-control unit (MCU) and transceiver. The control command is inputted into notebook PC, and then, sent out by radio frequency transceiver. The micro-stimulator gets the signal, outputs a control signal, regulates gecko's behavior. The remote control device's weight is less than 130g. And it is easy to carry. The micro-stimulator is very compact (length is 31mm, width is 39mm, height is 22mm) and its weight is only 13.6g with a battery. Our experiments testified that this system ran smoothly in 300m open area.

**Key words:** gecko animal-robot; remote system; micro-control unit; transceiver

## 0 引言

近些年,随着电生理学的不断发展,人们已经将其和行为学结合,形成了一个全新的研究领域——动物机器人,如山东科技大学的老鼠动物机器人<sup>[2]</sup>和纽约州大学的老鼠动物机器人<sup>[2]</sup>。动物机器人是指利用物体的运动机能、动力供应体制,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,从而利用动物特长代替人类完成人所不能和人所不敢的特殊任务。动物机器人的研究工作始于

20 世纪 90 年代,是目前科技发展最活跃的领域之一。相对于仿生机器人,动物机器人有诸多优点,如隐蔽性好、灵活性强和无需能源补给等,而且动物机器人在机动性和适用性方面更有优势。所以动物机器人在反恐安全、VIP (非常重要人员)的安全保卫、从事复杂危险环境下搜救等领域都有广泛的应用前景。随着动物机器人的不断发展成熟,它将会对工业生产、民用事业和国防科技等各方面都产生深远的影响<sup>[3]</sup>。

壁虎动物机器人的研究就是为了充分地利用壁虎的快速的无障碍运动能力。壁虎动物机器人的研究分为两部分:用电刺激的方法寻找运动代表区和设计一套无线遥控系统。寻找代表区的电刺激主要以有线刺激为主。有线刺激的另一个重要的任务就是确定最合适壁虎的刺激信号参数。无线遥控系统是根据有线刺激的信号参数而设计的用于遥控制导壁虎机器人运动的装置。从而让动物机器人走出实验室,走向实用。

收稿日期:2007-11-22

基金项目:国家自然科学基金重点项目(60535020);国家自然科学基金项目(30400086)

作者简介:李海鹏(1982-),男,硕士研究生,研究领域为机器人控制系统和 LabVIEW 程序设计;郭 策,副教授,研究方向为网络控制和生物机器人。

其要求为:无线通信质量可靠,刺激信号精确,系统功耗低,便于携带等。

## 1 系统硬件设计

图 1 为壁虎动物机器人遥控系统的结构示意图。遥控系统由两部分组成:控制平台和刺激器。控制平台是由便携式电脑、微控制器和无线收发器构成。刺激器是由微控制器和无线收发器构成,放在壁虎动物机器人背上。控制平台和刺激器的微控制器都是选用 ATMEL 公司的一款低功耗芯片 ATmega8L<sup>[4]</sup>。无线收发器选用的是 Chipcon 公司推出的 0.35 $\mu$ m COMS 工艺生产的超低功耗无线产品集成收发芯片 CC1000。

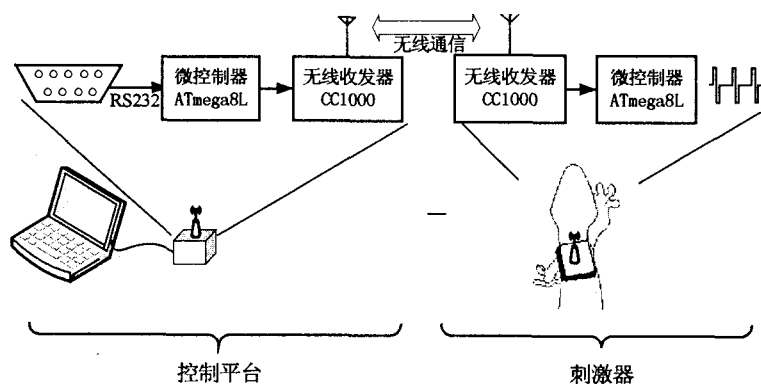


图 1 壁虎动物机器人遥控示意图

操作人员通过便携式电脑输入控制指令。电脑的 RS232 信号通过 Max3232 转换成 TTL 电平的信号,被 ATmega8L 读取。然后 ATmega8L 再通过 CC1000 发送出去。刺激器端的 ATmega8L 控制 CC1000 接受指令,判断指令是否有效。如果有效就根据指令在要求的通道发出刺激信号,控制壁虎动物机器人运动。系统的硬件电路图如图 2 所示。

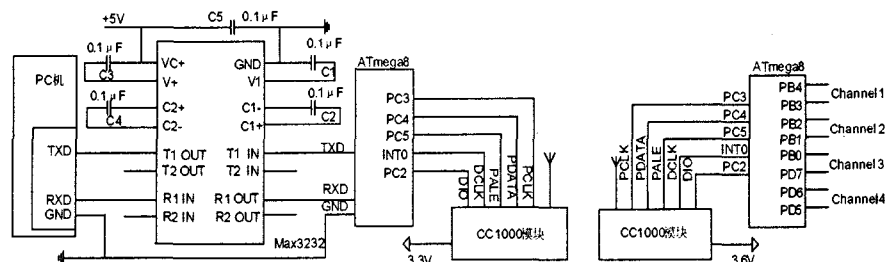


图 2 系统电路图

CC1000 模块是 CC1000 工作的外围电路。CC1000 的外围电路只有少数的电器元件。Chipcon 公司给出了 CC1000 的标准外围电路,具体可参见 CC1000 的数据手册。控制器是通过便携式电脑的 USB 供电。USB 输出的电压被调制成 +5V (供 Max3232) 和 +3.3V (供 ATmega8L 和 CC1000)。刺激器选用 3.6V、重 0.8g 的充电纽扣锂电池供电,简单、

方便。刺激器上的所有元件都采用小引脚的贴片封装,减小了刺激器的重量、体积和功耗。

由此可以得到,系统完成系统的硬件设计后要进行的是 PC 机端的串口通信软件设计、ATmega8L 读取串口数据的程序设计及其控制 CC1000 的程序设计,最后是生成刺激信号的程序设计。

## 2 串口通信设计

控制壁虎动物机器人运动的指令从便携电脑输入。电脑上装有专为系统设计串口通信软件,用于实现电脑与微控制器之间的串口通信,且方便控制指令的输入。

串口通信采用的标准是 RS-232 标准。该系统对串口通信的距离没有过高的要求,RS-232 足以满足。计算机上面的 COM1 口和 COM2 口都是采用 RS-232 的标准,应用起来非常方便。

串口通信软件是利用 LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 提供的 ActiveX 控件容器调用 MSComm (Microsoft Communications Control) 控件设计而成的。MSComm 控件是微软开发的专用通信控件,封装了串口通信的所有功能。在 LabVIEW 中使用 MSComm 控件方法与在 VC、VB 中的一样。首先设置 MSComm 的一些常用属性 (CommPort、Output、Input、InputMode、PortOpen、Settings 和 RThreshold)。

串口通信程序的流程图如图 3 所示。该软件有串口通信的所有功能,具有实时的清空接受区和关闭串口功能。由于发送的所有数据都是动态的和浮点型的,所以在发送前将所有

的数据组合成一个数组,然后转换成变体型。LabVIEW 有其特有的串口通信错误显示控件,可以提示通信错误的代码和原因,方便了程序的设计和维护。

由于计算机在运行 LabVIEW 的 while 循环的程序时以最快的速度运行,会几乎占用全部的 CPU 资源,所以在程序设计时在 while 循环中加入了个延时程序,解决了软件消耗过高的 CPU 资源的问题。

ATmega8L 是通过中断方式读取串口数据的。在 ATmega8L 内部有个串口数据接受缓冲区,当有数据到时,ATmega8L 会自动的把数据存到该缓冲区,然后发生中断。ATmega8L 在中断程序中读取串口数据。

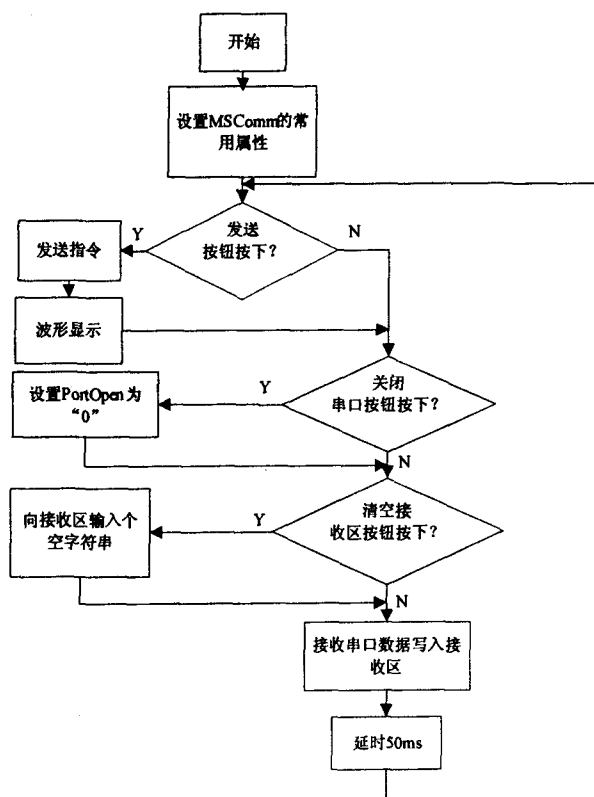


图3 串口通信程序流程图

### 3 ATmega8L 控制 CC1000 实现无线通信

CC1000 是一款可收可发的低功耗无线数据通信芯片。CC1000 是基于 ZigBee 技术的无线收发芯片。ZigBee 技术的最大特点是成本小,功耗低,安全可靠。ATmega8L 通过简单的三串行接口(PDATA、PALE、PCLK)设置 CC1000 寄存器,控制其工作。微控制器在读/写 CC1000 寄存器有一个特定的工作时序,具体参照 CC1000 的数据手册。所有寄存器的参数可以通过软件 SmartRF Studio 获得最优配置。正确设置完寄存器之后,CC1000 会自动地完成校核,设定好工作

状态、发送功率和传输波特率等。校核成功后 CHP\_OUT 脚显高电平。ATmega8L 可以从 CHP\_OUT 脚查看 CC1000 是否校核成功。

CC1000 的无线通信协议需要自己设定。该设计协议可以被分为前导码、标志位和数据位 3 块。CC1000 的数据包内没有自带效验码,所以系统为了提高数据的安全性,在 CC1000 的数据包内加入了奇偶效验位。奇偶效验位包含在数据位里面。ATmega8L 可以通过奇偶效验位判断接受的数据的正误。前导码为 8 个 0x55(十六进制)字,共占 152 个字节(byte)。标志位有两位,分别为 0xca 和 0x19,共占 16 个字节。数据位即需要传输的目的数据和奇偶效验位,共 6 个数据位,48 个字节。在接收数据包时,ATmega8L 会不断地检测前导码,然后确定标志位,最后保存数据位,就完成了整个数据包的接收。ATmega8L 是实时地从 CC1000 的 DIO 口接受数据包。接受和发送数据包是在 ATmega8L 的中断程序中完成。中断程序的流程图如图 4 所示。在中断程序中,CC1000 设有 3 个状态:发送状态、接收状态和空闲状态。ATmega8L 通过设置 CC1000 的寄存器来设定状态。在发送或接收状态下,每一次进入中断,ATmega8L 只发送或接收一位二

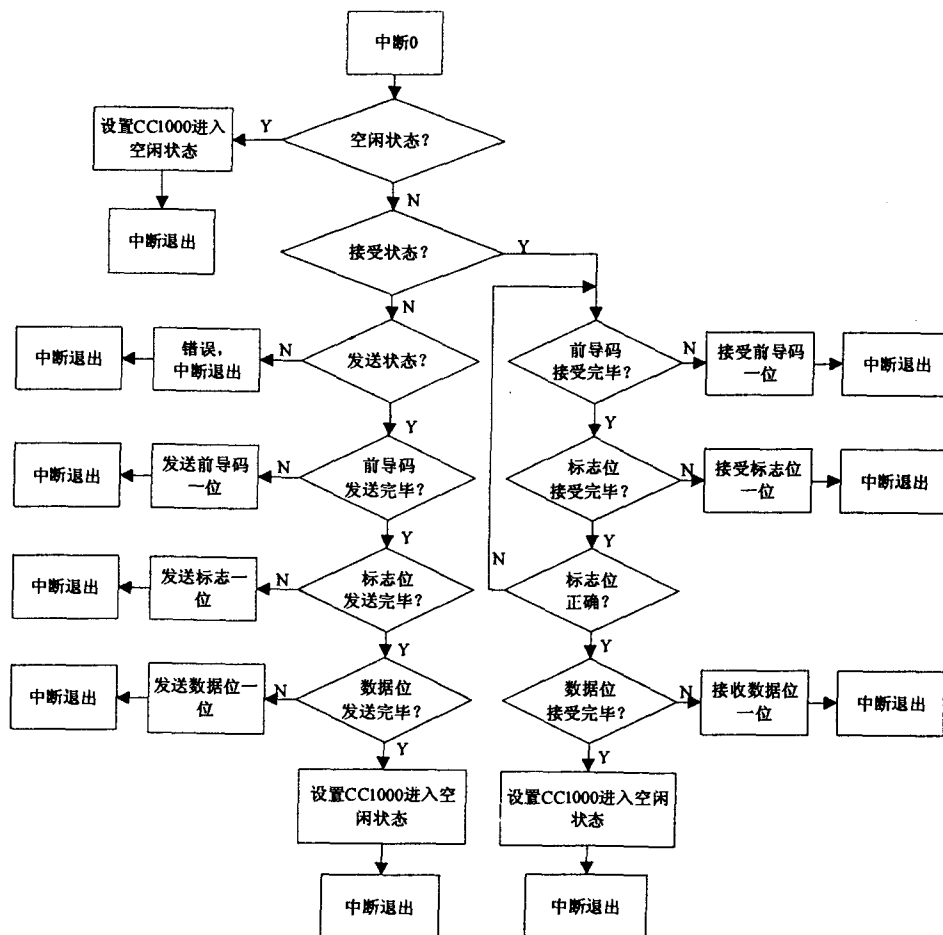


图4 中断接受和发送程序流程图

进制码(0或1)。当发送或接收完8位二进制码之后, ATmega8L就完成了对一个数的发送或接收。

此外, CC1000在从空闲状态进入发送或接收状态之前, 先进行一次校核(在进入中断程序之前)。因为若电源变化太大(超过0.5V)或环境温度变化太大(超过40度), 前一次校核将会失效, ATmega8L应对CC1000进行新的校核。

#### 4 刺激信号的程序设计

操作人员可以通过便携式电脑控制刺激信号的频率、脉宽和刺激时间。刺激信号的频率、脉宽和刺激时间是通过微控制器的定时器来控制的。ATmega8L内部集成一个高精度的16位定时器。通过该定时器, ATmega8L可以把刺激信号的频率、脉宽和刺激时间的误差控制在微秒级。刺激器发出的刺激信号是双向波信号。双向波通过改变每个通道的电流流向来实现。双向波刺激信号不会像单向波刺激信号一样在电极周围发生电解反应, 损坏与电极接触的神经和血管等组织, 产生组织极化效应的问题, 从而延长了壁虎动物机器人的存活期。刺激器可以同时输出4路刺激信号。根据实验的需要, 可以通过改进行程序来增加通道数。

#### 5 实验结果

通过测试, 在开阔地带, 系统可以稳定地工作在300m范围内。该遥控系统已经在壁虎急性实验和慢性实验中通过测试。图5是刺激器的实物图以及刺激

器生成的双向波图。

在不同的脑区, 通过调整脉宽、频率和刺激时间来调整刺激强度, 达到了理想效果。因为刺激强度是在单位时间内通过动物机器人脑组织的电量, 在3.6V纽扣电池供电的情况下, 刺激器可以有效地工作8个小时。控制平台(不带便携式电脑)的重量不到130g, 方便携带, 适合野外作业。上述试验表明了该系统的有效性和稳定性。

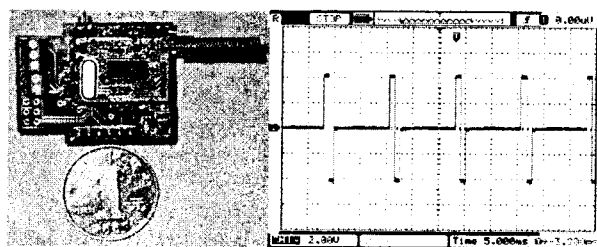


图5 刺激器及其产生的双向波

#### 参考文献:

- [1] 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(3): 183-186.
- [2] Xu S, Talwar S K, Hawley E S, et al. A multi-channel telemetry system for brain microstimulation in freely roaming animals[J]. Journal of Neuroscience Methods, 2004, 133(1-2): 57-63.
- [3] 郭策, 戴振东, 孙久荣. 生物机器人的研究现状及其未来发展[J]. 机器人, 2005, 27(2): 187-191.
- [4] 马潮, 詹卫前, 耿德根. ATmega8原理及应用手册[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

(上接第15页)

空间明显减少; 然后以核作为最初约简集, 以二进制可分辨矩阵中元素项的非0属性个数和非0属性频率作为启发式信息, 不断选择分辨能力强的属性加入约简集中, 直到矩阵为空; 最后, 对求得的约简集中非核属性进行反向消除, 删除多余的条件属性, 保证约简的完备性。该算法不仅适用于相容决策表系统, 也适用于不相容决策表系统, 时间复杂度为  $\max\{O(|C||U|), O(|C|^2|U'|^2)\}$ , 空间复杂度为  $O(|C||U'|^2)$ 。实例表明, 该算法是正确的。

#### 参考文献:

- [1] Pawlak Z. Rough sets[J]. International Journal of Computer and Information Science, 1982, 11(5): 341-356.
- [2] Wong S K M, Ziarko W. Optimal decision rules in decision table[J]. Bulletin of Polish Academy of Sciences, 1985, 33(11-12): 693-696.

- [3] 支天云, 苗夺谦. 二进制可辨矩阵的变换及高效属性约简算法的构造[J]. 计算机科学, 2002, 29(2): 140-142.
- [4] 刘刚, 贾利民. 基于二进制可辨矩阵知识约简方法的完备有效性[J]. 中国铁道科学, 2005, 26(6): 119-125.
- [5] 张文修, 吴伟志, 梁吉业, 等. 粗糙集理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [6] Skowron A, Rauszer C. The discernibility matrices and functions in information systems[M]//In: Slowinski I. Intelligent decision support - handbook of applications and advances of the Rough Sets theory. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1991: 331-362.
- [7] 胡可云. 基于概念格和粗糙集的数据挖掘方法研究[D]. 北京: 清华大学, 2001.
- [8] 叶东毅, 陈昭炯. 一个新的二进制可辨矩阵及其核的计算[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(6): 965-967.
- [9] 刘少辉, 盛秋骥, 吴斌, 等. Rough集高效算法的研究[J]. 计算机学报, 2003, 26(5): 524-529.