

无线传感器网络中移动节点设备的设计和实现

鲍 华^{1,2}, 吴仲城¹, 申 飞¹

(1. 中国科学院合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031;
2. 中国科学技术大学 自动化系, 安徽 合肥 230026)

摘要: 提出了一款机器人的设计方案, 将机器人作为移动的传感器节点, 汇集静态传感器节点的数据, 感知周边物理环境的信息。机器人主要由微处理器模块、通信单元模块和用于移动的底座平台组成, 微处理器嵌入源码开放的事件驱动操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 。由机器人和静态传感器节点组建的网络实验结果显示, 机器人运行稳定, 能可靠提高网络通信能力。

关键词: 机器人 无线传感器网络 移动节点

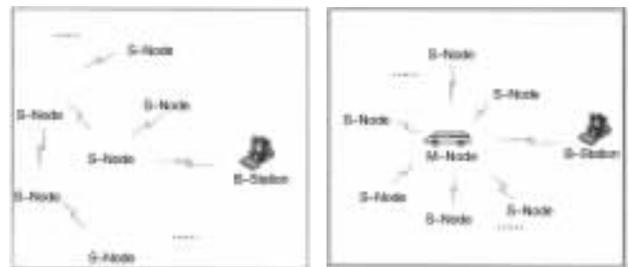
随着网络技术和通信技术的发展, 无线传感器网络技术得到了快速发展, 逐渐成为一项越来越重要的技术, 被广泛应用于各个领域, 如军事监视、安全监控和恶劣环境的科学勘查等。无线传感器网络一般由大量的传感器节点组建, 各个节点在感知的范围内监测特定的事件; 节点相互协作并交换搜集的物理环境信息, 经过一定路由后, 将有效的数据传输到控制计算机。因而人们可以利用无线传感器网络获取有价值的信息, 利用传感器节点间协作及时了解传感网络监控范围的状态。近年来, 嵌入式技术飞速发展, 并被广泛运用于各种网络和通讯领域。应用嵌入式技术, 可以简化传感器节点的硬件设计, 提高无线传感器网络的通信能力和数据存储能力。

本文基于嵌入式技术应用基础上, 提出一款智能传感器机器人的设计方案, 方案中机器人能够自主移动, 利用射频技术和多个传感节点设备相互链接, 动态构建无线传感器网络。机器人主要装备有: 中央控制微处理器模块、无线通讯设备模块、电机驱动模块及底座平台。其微处理器嵌入源码开放、事件驱动的操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实现微处理器内部任务的协调和调度。机器人将采集的数据实时传输给基站计算机, 接受基站计算机的远程控制。

1 无线传感网络的设计方案

传感器节点分为静态节点和移动节点, 目前研究的主要是基于静态传感器节点构建的传感器网络。无线传感网络的一般设计方案如图 1 所示。在一个较大的区域内, 布置一定数量的传感器节点, 区域内用一个基站 (B-Station, 即 PC 机) 管理各个节点, 各传感节点经过一定路由后将数据传输到基站。

图 1(a) 所示是由静态传感节点 (S-Node) 组建无线传感网络的设计方案。节点按照自组织方式组建网络,



(a) 静态传感器节点 组建的传感器网络示意图
(b) 静态节点和移动节点 组建的传感器网络示意图

图 1 无线传感网络设计方案示意图

按照设定的路由协议选择其中一个或几个作为汇聚节点 (sink), 经过汇聚节点将数据传输到基站。

图 1(b) 所示是由静态传感器节点和移动传感器节点 (M-Node) 动态构建的一个无线传感器网络方案。网络拓扑结构为星型, 网络内所有静态节点以移动节点为汇聚节点, 将数据传输给移动节点, 移动节点处理后传输给基站。数据传输是由移动节点控制的, 移动节点进入传感器节点区域后, 发送射频信号, 激活各静态节点后建立链接, 各节点以自己的节点 ID 号依次将数据传输给移动传感器节点, 最终传输到基站。

静态传感器节点在配置后, 自身不能改变所处位置, 感知范围有限; 而且由于能耗原因容易使节点脱离网络, 改变原有的网络拓扑结构, 以致造成信息不能按原有路径传输。移动传感器节点可以依据需要自主移动, 动态构建网络以提升网络性能。因而移动传感器节点可以与静态传感器节点一起被配置在特定的场合, 以完成许多复杂的任务, 如移动目标跟踪、动态信息采集、灾情预警、搜救、军事领域的情报探测等。

2 机器人硬件平台的设计

机器人硬件平台主要包括控制器电路主板、无线通讯模块、电机驱动电路模块、传感器及四轮车底座等。

2.1 控制器电路主板

控制器电路主板作为机器人的核心,负责系统各种任务的管理和协调,汇集和处理各传感器节点的数据,将采集的有效信息传输给计算机,执行计算机的控制指令,控制电动机的运行方式。控制器电路主板需要外部接口较多,内部功能实现较为复杂,系统实时性强,整个系统对硬件及软件的设计均有较高的要求。经过研究论证,选择 LPC2214 为控制器电路主板的微处理器芯片,计算处理接收的指令和采集的数据,嵌入操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 管理各个任务的协调和调度。该款芯片是基于一个支持实时仿真和跟踪的 16/32 位 ARM7TDMI-S CPU,带有 128 字节高速 Flash 存储器,内部集成了双 UART、IIC、双 SPI、8 路 12 位 ADC 等众多外围部件接口,功能强大,比较适合处理复杂功能的嵌入式开发。控制器电路主板周边引出微处理器的各外设接口和通用 I/O 管脚用于连接外设。其 SPI 口和无线通信设备连接,模拟输入接口管脚连接传感器, JTAG 用于将程序固化到微处理器 Flash 中。机器人的控制器电路主板硬件结构配置如图 2 所示。还可以按照实际需要,将外设连接到控制器电路主板上引出的通用双向数字端口 I/O 管脚。

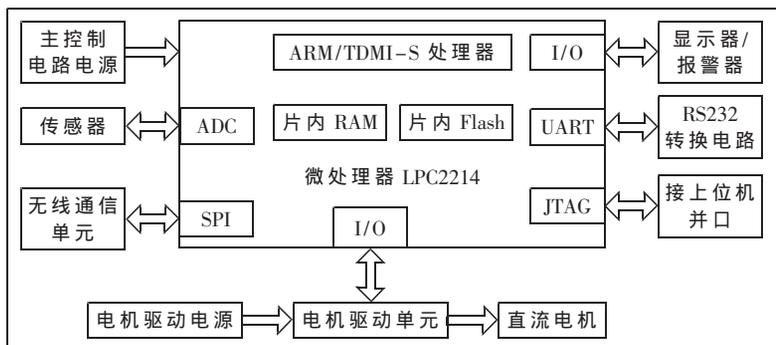


图 2 机器人控制器电路主板硬件结构框图

2.2 无线通信模块和传感器配置

无线通讯模块采用哈尔滨训通公司的 PTR8000+, 该模块可以实现点对多点无线通信,其工作频段是 433/868/915MHz。在没有信号需要发送/接收的时候,可转为掉电模式以节省电能。其最高调制速率可达 50kbps,外接天线通信距离可达 200 米,能满足无线传感器网络各种应用场合的要求。内置完整的通信协议和 CRC,只需通过 SPI 即可完成所有的无线收发传输,且可自动对数据发送过程中的差错控制进行校验。可以直接采用单片机串行接口 SPI 与无线模块通信。

控制器电路主板上配置有红外传感器、温度传感器与报警器。机器人依据配置的温度传感器探测周边环境的温度;利用红外传感器探测近距离物体;报警器用于对特定的事件响应和报警。红外传感器利用红外发射管发出信号,经过不同的反射介质反射,根据红外接收管是否接收到信号做出判断,探测信息被传输到微处理器,微处理器经过计算后驱动电机避开障碍物。另外,控

制器主板可以根据需要配置其他类型的传感器。

2.3 机器人底座和电机驱动电路模块

机器人底座采用现有的玩具车改造而成,便于安装机器人的控制器电路主板和各功能模块。底座为四轮结构,前面两轮作为舵机控制机器人的转向,后面两轮用作驱动轮使用,分别用 1 只直流齿轮电机驱动。选用 SGS 公司驱动芯片 L298N 控制 2 个直流齿轮电动机, L298N 内部包含 4 通道逻辑驱动电路,可以同时驱动两个直流电机运行于四种工作模式(前进、后退、转向和停止),利用 PWM 脉宽调制调节直流电机的运行速度。在底座上安装两组电源,一组直流 6V 电源为控制器主板提供电源,一组直流 9V 电源为直流电动机提供电源。

3 软件设计

机器人采用源码开放的嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$,管理和调度各个优先级不同的任务。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 是一种占先式多任务操作系统,可以固化、裁剪,移植性好,具有良好的可靠性和稳定性,可支持 64 个任务,具有信号量、消息邮箱、消息队列等多进程通信机制,适合嵌入式的开发和应用,已在商业领域得到了成功的应用。程序的大部分源代码采用 C 语言编写,在 ADS1.2

环境下编译。

3.1 机器人的任务规划

机器人的任务主要是远程通信、网络通信、运行方式控制、速度调节、A/D 数据采集、报警。远程通信是和上位机的通信,包括读取上位机的传输数据和命令、向上位机传输数据。网络通信是机器人和无线传感网络内节点间的通信。运行方式控制是指控制机器人的前进、后退、转向和停止。速度调节是指利用脉冲宽度(PWM)来调节电动机的运行速度。A/D 数据采集是机器人利用传感器感知物理环境中的数据。具体的任务规划如表 1 所示。

表 1 系统任务的规划

任务	优先级	堆栈空间(B)
远程通信	5	1024
网络通信	6	1024
运行方式控制	7	256
速度调节	8	256
A/D 数据采集	9	128
报警	10	64

操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在用户模式下,依据各任务的优先级,用中断形式来实现任务调度与管理,每个任务占用一定的堆栈空间。

3.2 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的移植

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的移植主要是对三个文件的移植,即文件 os_cpu.h、os_cup_a.s 和 os_cpu_c.c。os_cpu.h 包含了与编译器相关的数据类型定义、堆栈定义和函数说明;os_cpu_c.c 包含了与移植相关的 C 函数和 hook 函数的

实现;os_cpu_a.s 包含了与移植相关的汇编语言函数的实现,包括开/关中断、上下文切换、时钟中断服务程序等。根据实际应用修改上述有关函数,通过 JTAG 或串口将修改后的函数固化到微处理器的 Flash 里。

4 无线传感器网络的实现

4.1 无线传感器网络组成

按照图 1(b)所示方案设计了一个简单的无线传感器网络,设计的机器人作为移动传感器节点与数个静态传感器节点组成一个星形拓扑结构的传感器网络。所有静态节点都由低功耗单片机 MP430 和无线通信模块构成。传感器网络内无线模块工作频率选为 433MHz,机器人作为汇聚节点,汇集网络内各静态节点传输的数据,计算处理后传输给基站。

4.2 数据传输流程

机器人移动到传感节点区域后,向各个静态传感器节点发送一个开始链接指令,其射频信号范围内的节点收到来自移动节点的链接指令后,返回确认指令,从而建立链接,组成一个星型无线传感器网络。节点间建立连接后,移动节点按照各个静态传感器节点的 ID 顺序,依次发送传输数据指令。静态传感器节点在发送数据前,对链路进行侦听,如果链路忙,则继续监测;如果链路空闲,各个传感器节点依次按 2ms 的时间间隔逐个发送。对于设计的网络,采用这样的协议,能保证传感器节点从最小标识号到最大标识号逐个向移动节点发送数据,可以较大程度地降低竞争冲突的机率,避免数据包的丢失。图 3 是传感器节点发送数据的流程图。移动节点接收到各个静态节点的数据后,经过处理,发送到数据基站。

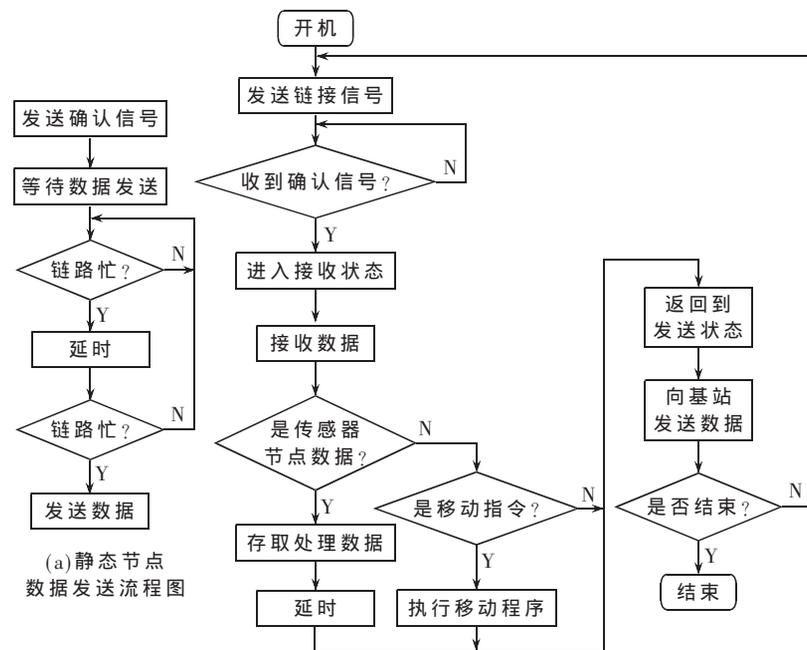


图 3 无线传感器网络数据传输流程图

5 实验结果

实验结果显示,机器人能够有效依据指令移动到合适的位置和静态节点组建星型结构的无线传感器网络,能实时传输数据。各传感器节点直接和机器人建立链接,将数据经机器人传输到基站,避免了静态节点由于能耗等原因脱网造成的通信中断,减少了静态网络中复杂的路由问题及路由造成的带宽消耗。当有异常情况发生时,机器人内置的报警装置及时报警;报警装置的报警上限可以自行设定,以便在不同的检测区域视具体情况设定不同的安全界限。通常情况下,机器人能够检测到各个传感器节点的工作情况,当某个传感器节点失效时,机器人能及时输出失效节点的标识号,以通知工作人员及时更换或检修。

机器人能有效按照设定的程序避开障碍物,当传感器探测到障碍物时,机器人以设定的角度(30°)向左移动,避开障碍物后,按照相反的角度向右移动,直到保持原先的移动方向并继续前行。利用 PWM 调制技术可以方便地调节机器人的前进速度,并具有良好的线性特点;在设定的 8 位二进制数值(0~255)范围内,机器人的最高速度可以超过 120cm/s。调速性能曲线如图 4 所示。另外,在全新的电源配置下,机器人可以连续运行一个小时左右。

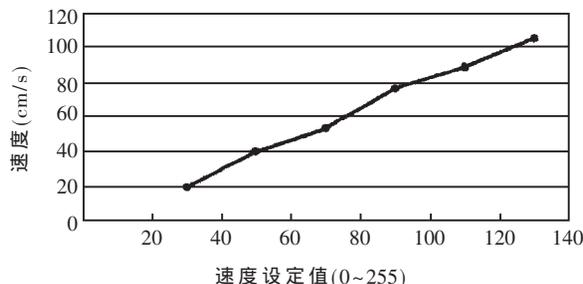


图 4 机器人的调速性能曲线

本文具体介绍了一款无线传感网络中移动节点设备——机器人的硬件和软件结构,并以机器人为核心,构建了一个简单无线传感器网络。机器人硬件部分容易实现;软件采用嵌入源码开放的操作系统 μC/OS-II 实现任务管理,简单易行。无线传感器网络的实现和本身性能的测试结果显示,机器人适合应用于传感网络中动态感知信息,完成较为复杂的任务。下一步将在该机器人应用于无线传感网络中研究多个机器人如何协同工作,探测监控范围内的物理环境信息。

参考文献

1 Jang-Ping Sheu, Po-Wen Cheng, Kun-Ying Hsieh. Design and implementation of a smart mobile robot. IEEE International Conference on Wireless And Mobile Computing, Networking And Communications, 2005; 3(8): 422~429

(接上页)

- 2 Mainwaring A , Polastre J , Szewczyk R et al. Wireless sensor networks for habitat monitoring. Proceedings of the first ACM international workshop on wireless Sensor Networks and applications , Georgia , USA , Sep. 2002 : 88~97
- 3 Wang G , Cao G , LaPorta T. A bidding protocol for deploying mobile sensors. Proceedings of the 11th IEEE International conference on network protocols , Atlanta , Georgia , USA , Nov.

2003 : 315~324

- 4 Yang H , Sikdar B. A protocol for tracking mobile targets using sensor networks. Proceedings of the First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications , Alaska , USA , May 2003 : 71~81
- 5 周立功. ARM 与嵌入式系统基础教程. 北京 : 北京航空航天大学出版社 , 2005

(收稿日期 : 2006-07-07)