

可变执行机构智能教学移动 机器人系统原型及应用

张国亮, 王展妮, 王田, 赵一霖, 吴昊

(华侨大学 计算机科学与技术学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 提出一种基于 BASIC Stamp2 的可变执行机构移动教学机器人设计方案. 通过在同一机器人底架上设计不同的行走机构, 使功能扩展与制造成本之间取得平衡, 系统各项功能测试验证了软硬件设计的可行性. 结果表明: 所建立的系统不仅丰富了传统教学机器人的功能, 同时有效降低了重复设计不同运动机构的成本.

关键词: 教学机器人; BASIC Stamp2; 履带机器人; 多足机器人

中图分类号: TP 242 **文献标志码:** A

近年来, 在全国高等教育教学实践环节中, 以教学机器人为平台的创新教学活动日益增多^[1], 对教学机器人的应用研究提出了更高的要求. 目前, 国内外多家研究机构和公司对此展开了广泛深入的研究^[2-7]. 这些机器人产品各具特色, 从某一方面满足了教育研究的用途. 然而, 教学适用性强、性价比高的产品仍比较匮乏. 首先, 从机构特点上看, 90% 以上的教学机器人采用双轮或四轮机构, 少量的系统采用履带结构^[8-9]. 轮式机构构造简单, 在光滑平整的路面上具有良好的机动能力, 但在粗糙不平的崎岖路面上却无法正常运行, 导致多数的教育机器人只能适用于实验室环境, 无法在野外自然环境下进行研究测试. 其次, 一些教育研究机器人价格高昂, 如 Pioneer 虽然功能非常强大, 但高达上万元的价格与教育和教学研究的应用需求相去甚远. 另外, 目前市场上的机器人多针对某一固定应用, 开放性和扩展性较差. 因此, 研究具有机构灵活、成本低廉、适用于教学活动的机器人, 对建立具有开放性和创新性的综合实践课程意义重大. 本文选择功耗低、性价比优异的 BASIC Stamp2^[10] (BS2) 作为核心器件, 采用与工业机器人类似的软硬件控制体系, 在附加轮式、履带和多足 3 种不同执行机构的前提下, 控制整个系统成本在千元以内, 满足了一般教学机器人教育研究的需求.

1 系统结构

以 BS2 微控制器及控制承载母板作为主控模块, 包括车架、直流电机及驱动、环境感知探测、运动执行机构、电源及外围电路等. 机器人系统设计框图, 如图 1 所示. BS2 在综合承载母板上的各类传感器信息后, 通过避障算法形成运动指令, 发送至运动控制系统, 经脉宽调变(PWM)控制后发送至左右电机, 实现指定操作.

1.1 BS2 微控制器及控制承载母板

BS2 微处理器, 如图 2 所示. BS2 是美国 Parallax 公司推出的 24 引脚 DIP 封装微控制器, 芯片上集成了一块 PIC16C57 单片机、EEPROM、5 V 直流电源稳压和串行接

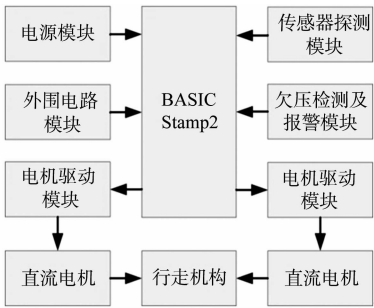


图 1 机器人系统结构
Fig. 1 Structure of robot system

口. 与其他微控制器相比,BS2 的优势是在 ROM 中,内建了一套小型的 PBASIC 编程语言直译器,使具备 BASIC 编程语言撰写能力的设计者,能够用其开发出嵌入式系统所用的控制应用程序,大幅降低了嵌入式设计的技能学习门槛. PBASIC 内已备齐了一般微控制器的功能,包括 PWM 输出、I2C 的串行通讯和 LCD 驱动等.

连接 BS2,外部电源及串口通讯的承载板 BS2-Board,如图 3 所示. 借助 BS2-Board,可以方便地进行程序复位、下载及双机通讯,同时将 BS2 I/O 与面包板相连,可随时改变主控模块与外部传感器、电机等接口元件的控制结构,便于系统扩展.

1.2 机架及可变执行机构

机器人机架,如图 4 所示. 机器人机架由轻质铝合金材料构成,整体呈字母 U 形(图 4(a),(b)). 在底盘底部留有导线通路孔,两侧置有电机安装孔和执行机构安装用导轨. 在 U 形机架内部后侧放置直流电机,前端放置电池盒,使电机驱动和电源部件整体置于机架内部,电源及驱动线从导线通路孔引出,连接至 BS2-Board,四周配置 4 根 3.5 cm 立柱,用于放置 BS2-Board(图 4(c),(d)).

轮式、履带和六足爬行 3 种机器人行走机构,分别如图 5~7 所示. 轮式结构采用后轮双轮驱动,前轮为球形从动轮. 为增加摩擦力,在后轮外部罩上橡胶皮套. 履带结构由一个驱动链轮和 4 个空转链轮构成. 驱动链轮直接与电机输出轴连接,输出动力(图 6). 在机器人尾部大轮放置较大的空转轮,保证履带能与路面紧密贴合,而在前部放置较小的空转轮,从而使履带前部与地面呈 30°,能够适应一些坡形路面,下部的两个小轮起支撑和载重作用.

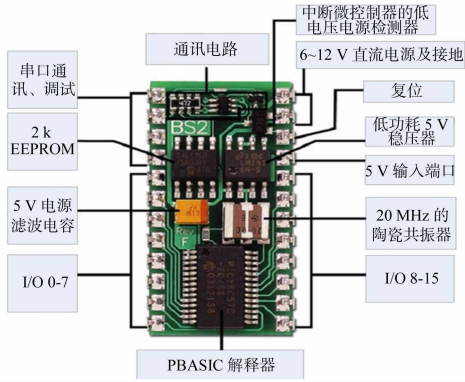


图 2 BS2 微处理器
Fig. 2 BS2 microprocessor

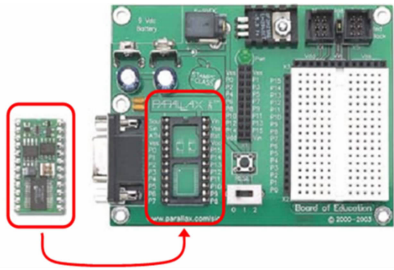


图 3 BS2 承载板
Fig. 3 BS2 board

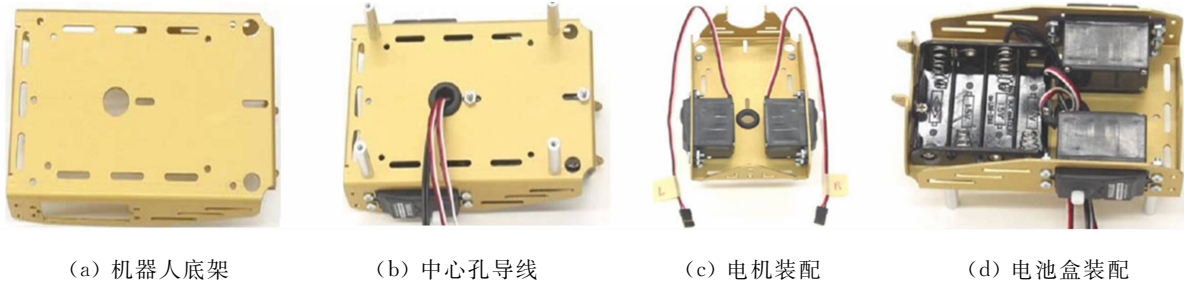


图 4 机器人机架
Fig. 4 Robot framework

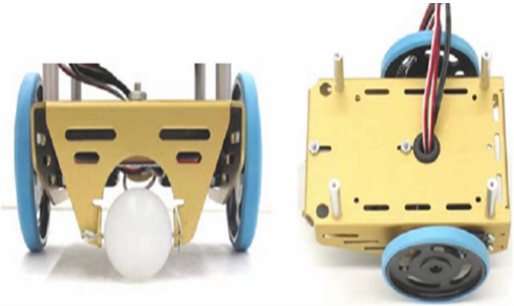


图 5 轮式结构
Fig. 5 Robot wheel structure

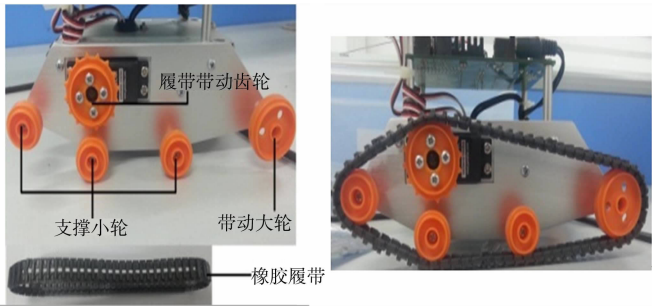
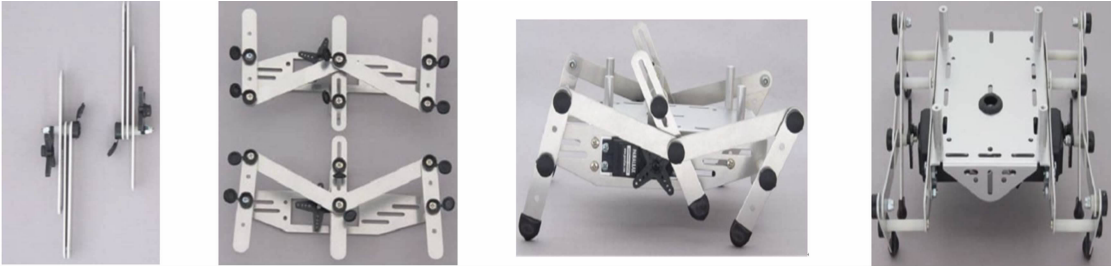


图 6 履带式结构
Fig. 6 Robot track structure

从图 7 中可见:六足爬行机构在机架两侧各布置三足,中间足与电机输出连接(图 7(a)),另外两足通过两根推动臂与中间足连接(图 7(b)),当中间足运动时,带动另外两足一起运动,从而实现多足爬行运动.



(a) 两侧中心杆机构 (b) 三足连接机构 (c) 双侧六足装配 (d) 六足爬行机器人

图 7 六足爬行式结构

Fig. 7 Robot six footed structure

1.3 传感器环境的检测

传感器是机器人感知外部环境信息的主要途径,对机器人的导航和避障等功能具有至关重要的作用.考虑到系统运行的成本和效率,系统采用红外和触须两种传感器作为机器人环境监测的主要器件.

红外传感器是一种利用红外线传递信息的光电转换元件,由发射器和接收器两部分组成.在系统中,发射器利用红外 LED 将电信号调制成不同频率的红外线信号向空中发射,照射到障碍物反弹回来后,由红外接收器接收此光信号并还原成电信号,发送给 BS2 控制器.红外探测,如图 8 所示.在已标定好距离的 10 个区域内(L1~L5,R1~R5),2 个红外发射器发射 5 个不同频率的信号,发射信号遇到障碍后,由接收器进行检测.由于接收信号的频率与距离事先已匹配,故利用检测的频率可推算出机器人与目标障碍之间的距离,实现测距和避障等机器人规划策略.考虑到红外可能存在一定的盲区和不足,在机器人前部加入一对触须进行小范围触觉避障.将一对 3pin 公-公接头连接在 BS2-Boad 的可调式控制板上,金属丝状触须后端与接头相距 3 mm.金属触须可看成一种具有机械延展性的常开、单极、单闸开关;当给定的触须未受压时,连接至触须的 BS 2I/O 引脚的电压是 5 V;当触须受压时,I/O 引脚的电压是 0 V.

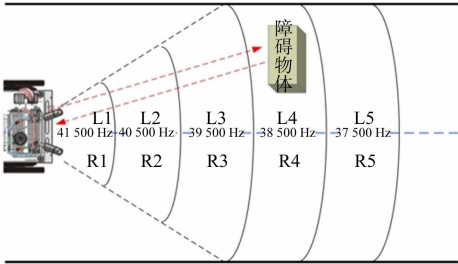


图 8 红外探测

Fig. 8 IR detection

1.4 通信及控制

机器人传感及电机控制结构示意图,如图 9 所示.图 9 中:左侧字母 P 及后面数字表示连接至微控制器 BS2 的端子;P12 和 P13 对应机器人机架两侧的电机;LED1 和 LED2 用于伺服信号监测;P5 和 P7 对应触须检测电路;BS2 通过编程检测 10 kΩ 电阻上的电压确定触须是否受压;P0, P1 和 P8, P9 分别对应红外发生器和红外接收器,用于机器人红外避障.考虑到 BS2 遇到电压不足时,会禁用处理器和程序存储功能,使程序重启.为避免机器人行为混乱,将端子 P4 与压电扬声器连接,在每次打开电源或者每次电压过低导致复位时,利用扬声器产生声音警示.

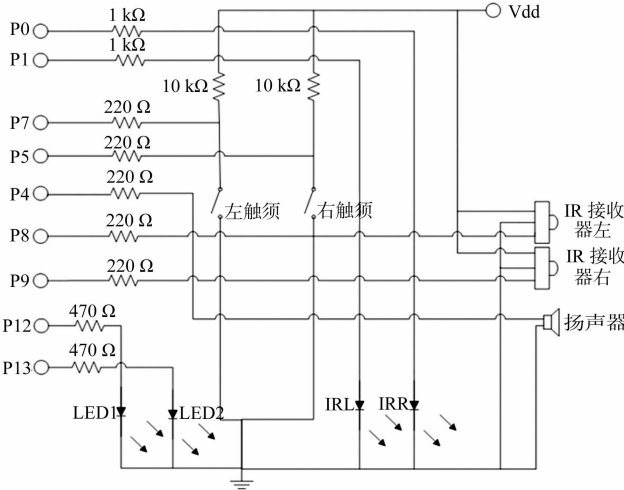


图 9 机器人传感及电机控制

Fig. 9 Robot sensing and motor control

2 实验测试

为验证机器人软硬件系统的可行性,分别进行红外避障、触须脱离墙角和不同路面运行 3 项测试.

2.1 红外避障

在实验室环境下,移动机器人自主漫游避障的实验场景,如图 10 所示.由图 10 可知:在设定的阈值范围内,利用红外传感方式,机器人在开阔的空间能够有效地避开障碍.

2.2 机器人陷入墙角时触须避障策略

与红外检测范围较大不同，触须导航主要在小范围内进行实施避障。一般情况下，机器人以 40 Hz 的频率监测触须状态，当感知到触须受压后朝相反方向避障。然而，当机器人处于非凸形状障碍时，直接利用触须导航可能会出现“峡谷效应”问题。以进入墙角为例，当机器人左须触墙，向右转动；经过右旋后，右须触墙，则再次左转。如此反复，机器人将陷入在墙角峡谷中无法脱离。

通过分析峡谷效应可以发现，直接触须避障产生问题在于行为之间采取了互反性操作，导致行为之间的恶性循环。因此，考虑在行为中增加状态变量记忆之前所采取的动作，防止进行相反操作，其避障策略流程有如下 4 个步骤。1) 定义触须交替接触的次數状态变量。2) 采用状态变量，记住每个触须在上次压下时所处的状态，并和当前压下的状态比较。3) 如果状态相反，计数加 1。4) 如果累计计数超过了程序中预先定义的阈值，表明陷入墙角，做 U 型转弯(先倒退，然后原地旋转 90°，前进一段距离脱离墙角，再旋转 90°保持向目标方向)，并把触须交替计数器复位。

按照以上策略，利用触须进行机器人触觉导航的场景，如图 11 所示。



图 10 红外避障

Fig. 10 Obstacle avoidance with IR

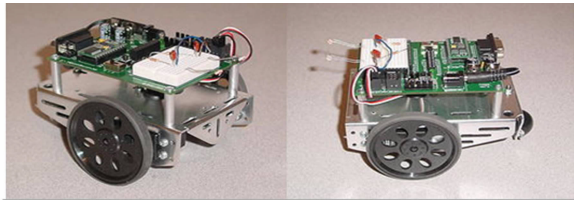


图 11 墙角触须壁障

Fig. 11 Obstacle avoidance with whiskers at corner

2.3 不同路面的运行测试

将机器人配置不同的执行机构后，在不同的路面测试的实验场景，如图 12 所示。不同运行机构的路面通过情况，如表 1 所示。在光滑平整的路面上，机器人可以充分发挥轮式结构运动效率高，运行平稳的特性，速度最快，但在后两种路面情况难以通过或不可通过。履带式机构能在机动性和运动平稳性之间取得很好的平衡，不仅可以顺利通过光滑路面，也能通过毛毯或一定斜坡的路面，但不可通过碎石路面。六足爬行式机构虽然速度最慢，但可同时通过 3 种路面。



(a) 光滑路面



(b) 斜坡及地毯路面



(c) 杂草及碎石路面

图 12 可变执行机构通过不同路面测试

Fig. 12 Variable motion mechanism through different pavement test

由图 12 可知:文中建立的机器人可变执行机构对不同路面具有很好的适应性. 通过选择不同的执行机构,可以有针对性地对移动机器人展开不同地形情况下的路径规划和避障等研究工作.

表 1 不同运行机构路面通过比较

Tab. 1 Comparison of walking through with different mechanism

运行机构	光滑路面	毛毯或斜坡	碎石路面
双轮	顺利通过、速度最快	通过艰难、存在倾覆风险	不可通过
履带	顺利通过、速度适中	顺利通过、速度适中	不可通过
多足	可通过,速度较慢	可通过,速度较慢	可通过,速度较慢

3 结束语

教育机器人是开展教育和科研的良好载体,但是,目前这一领域应用的机器人或者结构复杂、价格昂贵,或者功能单一、开放性和适应性较差. 文中以 BASIC Stamp2 微控制器作为机器人控制系统核心,一方面利用在母版上搭建直接面向用户的电子电路,提高了传统教学机器人的交互性和灵活性;另一方面,通过在同一机器人底架上设计不同的行走机构,构建了具有可变执行机构的教学实验平台,丰富了传统教学机器人的功能,降低了重复设计不同运动机构的成本.

参考文献:

[1] 杨建宇,谢华龙,韩秀峰,等. 基于虚拟现实的机器人异地仿真与监控[J]. 东北大学学报(自然科学版),2013,34(11):1634-1637.

[2] 张宇,游有鹏. 直接示教机器人全数字控制系统设计[J]. 机械与电子,2013(3):65-67.

[3] 肖利涛. 基于 MSRS 的 AS-MRobot 机器人驱动服务的开发研究[D]. 沈阳:东北大学,2008:7.

[4] 朱博,戴先中,李新德,等. 基于“原型”的机器人开放式室内场所感知实验研究[J]. 机器人,2013,8(4):491-499.

[5] 赵祚喜,汪宁,张智刚,等. 一种适用于非 360°探测机器人的避障导航算法[J]. 机械工程学报,2010,46(19):44-52.

[6] 高云峰,周伦,吕明睿,等. 自主移动机器人室内定位方法研究综述[J]. 传感器与微系统,2013,32(12):1-9.

[7] ZHUANG Yan, GU Mingwei, WANG Wei, et al. Multi-robot cooperative localization based on autonomous motion state estimation and laser data interaction[J]. Science China Information Sciences, 2010, 53(11):2240-2250.

[8] 金安成,路敦民,李彬,等. 可重构模块化教学机器人设计[J]. 森林工程,2012,28(6):50-53.

[9] 陈义平,时颖,袁明明. 多功能教学用机器人的设计与实现[J]. 实验室研究与探索,2013,32(2):84-86.

[10] 王研. 基于 Boe-Bot 平台的移动机器人避障软件系统的设计与开发[D]. 成都:电子科技大学,2010:10.

Prototype and Application Research of Intelligent Teaching Mobile Robot System Based on Variable Motion Mechanism

ZHANG Guoliang, WANG Zhanni, WANG Tian,
ZHAO Yilin, WU Hao

(College of Computer Science and Technology, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: The design scheme of robot is presented based on variable motion mechanism with BASIC Stamp2. A balance is achieved between function expansion and manufacturing cost by design different walking mechanism with the same robot chassis. The function tests of robot system verified the feasibility of the hardware and software design. The experimental results show that the established system not only enriches function of the traditional teaching robot, but also effectively reduces the repeated design cost of different movement mechanism.

Keywords: teaching robot; BASIC Stamp2; track robot; multi-legged robot