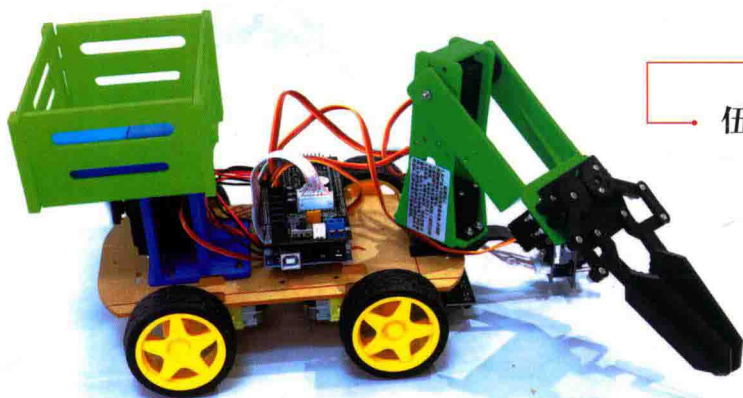


智能垃圾分类收集竞赛 机器人开发实战

ZHINENG LAJI FENLEI SHOUJI JINGSAI JIQIREN KAIFA SHIZHAN

伍冯洁 黄文恺 · 编著



HEUP 哈尔滨工程大学出版社

广州市高校创新创业教育项目(201709P14)

广州市青少年科技教育项目(2017-448)资助出版

智能垃圾分类收集 竞赛机器人开发实战

伍冯洁 黄文恺 编著

 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书所介绍的机器人包括常规赛机器人与创意赛机器人,其中常规赛机器人比较简单,非常合适读者刚接触机器人时学习,而创意赛机器人难度适中,读者可在标准车模上进行垃圾桶与程序优化设计,可充分发挥个人创新、创造能力。

本书除了介绍教育机器人机械构架、硬件电路、软件程序的设计方法及开发流程外,还介绍了该竞赛的比赛地图、比赛任务、比赛道具及比赛规则,读者通过本书即可掌握教育机器人的相关技术及教育机器人的竞赛知识。

本书以 Arduino 为开发平台,详细介绍了智能垃圾分类机器人制作的每个步骤,手把手教读者做机器人,非常适合青少年及机器人爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

智能垃圾分类收集竞赛机器人开发实战/伍冯洁,黄文
恺编著. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2018. 1

ISBN 978 - 7 - 5661 - 1750 - 2

I. ①智… II. ①伍… ②黄… III. ①垃圾处理—智
能机器人—制作 IV. ①TP242. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 301574 号

选题策划 石 岭
责任编辑 石 岭
封面设计 博鑫设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区南通大直街 145 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张 11.5
字 数 304 千字
版 次 2018 年 1 月第 1 版
印 次 2018 年 1 月第 1 次印刷
定 价 36.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

青少年机器人竞赛是一项将知识积累、技能培养、探究性学习等融为一体,面向广大青少年机器人爱好者的科学普及性活动。该竞赛活动通过展示和竞技,推动和鼓励广大青少年在电子、信息、自动控制与计算机技术等高新科技领域进行学习、探索与研究,不仅激发了学生学习科学的兴趣,还提高了他们观察问题、分析问题和解决问题的能力,有效推动了素质教育的全面实施,具有蓬勃的生机和活力,深受广大中小学生的欢迎。国家也大力支持发展青少年机器人教育,例如教育部从2003年就开始把青少年机器人比赛纳入全国中小学电脑制作活动,同时义务教育阶段信息技术学科的新课程目标也将人工智能技术及简易机器人制作列入选修内容。青少年机器人竞赛在快速发展的同时,也存在诸如机器人教育地区发展不平衡、普及面不广、指导老师水平参差不齐及建设内容创新性不突出等亟待解决的问题。

本书以广州市青少年机器人科技教育实践基地和广州市青少年机器人科技体验与创新基地为依托,针对青少年机器人竞赛的特点,充分利用高校丰富的机器人教学资源与大学生机器人创新工程研究成果,将青少年机器人科技竞赛和垃圾分类宣传知识相结合,设计与开发这款以任务为导向的新型教育机器人——智能垃圾分类收集竞赛机器人,为广大青少年提供一项低成本、易操作、趣味性与科学性强的机器人竞赛活动,改变传统机器人竞赛活动因技术和设备带来的弊端,充分发挥青少年的创新思维和创造能力,进一步提升青少年科技创新实践能力和环保意识,促进我国广大青少年科学素质的全面提高,宣传和普及垃圾分类知识。

本书以智能垃圾分类收集机器人为实例介绍教育机器人的开发方法及步骤,选题切合当前“垃圾分类、人人有责”的教育主题,读者在本书的指导下可顺利完成一套教育机器人的设计与开发,使科技与教育更好地结合。由于机器人是跨学科领域,涉及多个学科知识,在充分考虑青少年知识水平和动手能力的基础上,本书尽量以浅显易懂的语言描述相关知识,并且没有涉及太深的内容。阅读本书建议有一定的电子知识基础和C语言基础。

读者在阅读本书时,建议根据自身情况选择不同的阅读方式。如果读者完全没有接触过本书所介绍的智能垃圾分类收集机器人,那么建议从第1章开始学习,循次渐进,逐步了解和掌握该机器人常规赛与创意赛的介绍、开发平台、软硬件设计基础及创意赛扩展设计等内容。如果已经对该机器人有一定的了解,并具备一定的Arduino开发经验,可以直接跳过第1,2章,从第3章的内容开始,掌握该机器人基本的软硬件开发基础知识及各模块的开

发方法,有能力的读者还可以修改机器人的库函数和主程序代码。本书的第5,6章详细介绍了创意赛机器人的两种垃圾桶总体设计方案及程序优化设计,这两种方案均是在常规赛机器人设计基础上进行优化的,因此建议读者先掌握第3,4章的内容后,再进行这两章内容的学习。此外,本书附录中提供的机器人竞赛规则,适合中小学、大专或本科院校组织和开展机器人比赛。

智能垃圾分类收集竞赛机器人从2014年开始作为广东省中小学电脑机器人竞赛活动的其中一项比赛项目,参与人数众多,本书可作为该项赛事的配套教材,还可作为中小学、职中、大专及本科机器人教育的教材,同时也能作为机器人爱好者学做机器人的入门教材。本书编著者查阅了大量教育机器人相关资料,并将多年从事机器人教育与开发的经验带入到本书中。

本书由伍冯洁、黄文恺编著,李文浚、罗小杰、谭成威、叶家杰、梁梓慧也参与了本书的编写。本书的部分文字输入和电路图绘制由肖颖、陈志鸿、陈伟涛完成。本书的机械图绘制及其他图片拍摄、编辑工作由李斯敏、梁梓慧完成。罗雯钰、卓建政对书中的程序进行了上机实验验证。

本书撰写及机器人器材购买得到了广州市高校创新创业项目及广州市青少年科技教育项目的资助,在此谨向广州市教育局和广州市青少年科技教育协会深表感谢。

由于时间有限,书中难免存在疏漏与错误,敬请读者批评指正。希望有更多志同道合的朋友能加入到机器人的制作中来!

伍冯洁

2017年12月

目 录

| | |
|---|-----|
| 第 1 章 智能垃圾分类收集机器人介绍 | 1 |
| 1.1 常规赛与创意赛机器人简介 | 1 |
| 1.2 智能垃圾分类收集机器人比赛任务 | 3 |
| 第 2 章 智能垃圾分类收集机器人开发平台 | 6 |
| 2.1 机器人开发平台简介 | 6 |
| 2.2 机器人控制板介绍 | 6 |
| 2.3 机器人开发环境安装使用 | 12 |
| 2.4 机器人开发常用函数 | 23 |
| 第 3 章 智能垃圾分类收集机器人设计基础 | 30 |
| 3.1 机器人开发环境搭建 | 30 |
| 3.2 红外循迹模块设计 | 43 |
| 3.3 颜色传感器检测模块设计 | 51 |
| 3.4 舵机执行模块设计 | 65 |
| 3.5 电机调速模块设计 | 93 |
| 第 4 章 常规赛智能垃圾分类收集机器人 | 111 |
| 4.1 机器人组装 | 111 |
| 4.2 主程序设计 | 129 |
| 4.3 机器人整机调试 | 137 |
| 第 5 章 创意赛智能垃圾分类收集机器人设计方案一——1 个垃圾桶 | 140 |
| 5.1 机器人组装注意事项 | 140 |
| 5.2 整体方案介绍 | 141 |
| 5.3 主程序设计 | 142 |
| 第 6 章 创意赛智能垃圾分类收集机器人设计方案二——3 个垃圾桶 | 155 |
| 6.1 整体方案介绍 | 155 |
| 6.2 主程序设计 | 157 |
| 附录 A 智能垃圾分类机器人比赛评分标准(常规赛) | 167 |
| 附录 B 智能垃圾分类机器人比赛评分标准(创意赛) | 173 |

第 1 章 智能垃圾分类收集机器人介绍

1.1 常规赛与创意赛机器人简介

1.1.1 常规赛机器人简介

常规赛机器人基于 Arduino 开源开发平台,采用 Arduino Uno 控制板,配以相应的电机驱动模块、红外循迹模块、颜色识别模块及其他的执行机构、零配件。其中电机驱动模块只提供 3 路舵机接口,舵机接口仅够满足常规赛机器人机械臂所包含的 3 个舵机使用,而不提供更多的舵机接口供读者使用。

官方提供的常规赛机器人标准套件是未组装的零配件,需要将这些零散件进行组装、连线及测试,其中组装完成后的常规赛机器人如图 1-1 所示。该机器人组装完成后,不需要对它进行任何改造,只需要编制相应程序使机器人完成比赛任务即可。

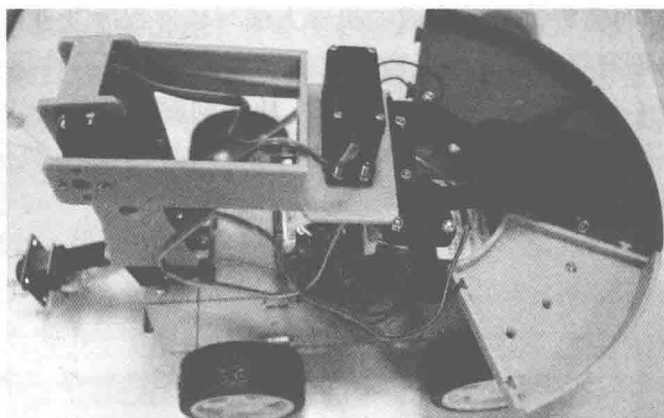


图 1-1 常规赛智能垃圾分类收集机器人车模

1.1.2 创意赛机器人简介

创意赛机器人是对常规赛机器人的优化设计,比常规赛机器人更考验操作者的独立思考与程序设计能力,同时也更考验操作者的实践操作与动手能力。

创意赛机器人与常规赛机器人一样,都是采用 Arduino 开源开发平台,但所使用的控制板型号不同。创意赛机器人采用 Arduino Mega 2560 控制板,配以相应的电机驱动模块、红外循迹模块、颜色识别模块及其他的执行机构、零配件。与常规赛机器人不同,创意赛机器人的电机驱动模块提供了 9 路舵机接口,除了可供机器人机械臂所包含的 3 个舵机使用外,还提供了 6 路舵机接口供扩展使用。

官方提供的创意赛机器人基础套件是未组装的零配件,需要将这些零散件进行组装、

连线及测试。如图 1-2 所示是组装完成的创意赛机器人车模。

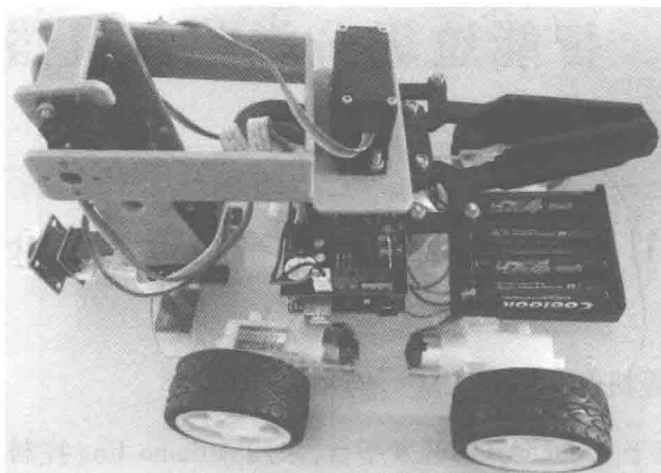


图 1-2 创意赛智能垃圾分类收集机器人车模

操作者需在该车模的基础上自行开发设计机器人的垃圾桶,同时也可以合理改装机器人的机械臂及其他连接件等,从而使创意赛机器人更快、更准确地完成比赛任务。在垃圾桶设计及机器人改造时,推荐采用 3D 打印技术进行垃圾桶 3D 模型设计,并借助 3D 打印机将所设计的垃圾桶打印出来,也可以使用有机玻璃板、亚克力板、塑料板、木板等轻质材料设计及制作垃圾桶,同时需根据改造完成的机器人编写软件程序及进行整机调试。

本书提供了两种创意赛机器人垃圾桶的优化设计方案。第一种优化方案是:创意赛机器人包含 1 个垃圾桶(不分颜色),每次可收集 4 块相同颜色的垃圾块,机器人只需收集 3 次即可把红、绿、蓝三种颜色共 12 个垃圾块成功收集到垃圾回收区,该优化方案的设计效果图如图 1-3 所示,具体设计方法可参见本书的“第 5 章 创意赛智能垃圾分类收集机器人设计方案一——1 个垃圾桶”。第二种优化方案是:创意赛机器人包含红、绿、蓝 3 个垃圾桶,每次可收集红、绿、蓝垃圾块各 2 个(1 次可收集 6 块),机器人只需收集 2 次即可把所有垃圾块成功收集到垃圾回收区,该优化方案的设计效果图如图 1-4 所示,具体设计方法可参见本书的“第 6 章 创意赛智能垃圾分类收集机器人设计方案二——3 个垃圾桶”。

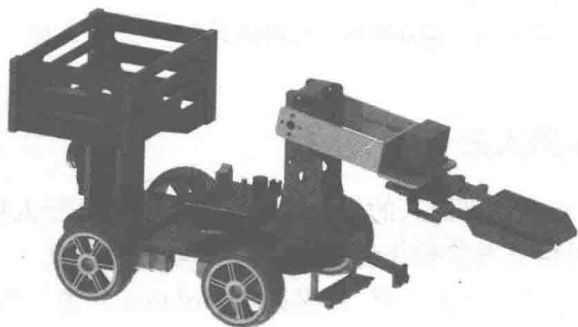


图 1-3 创意赛机器人优化方案一

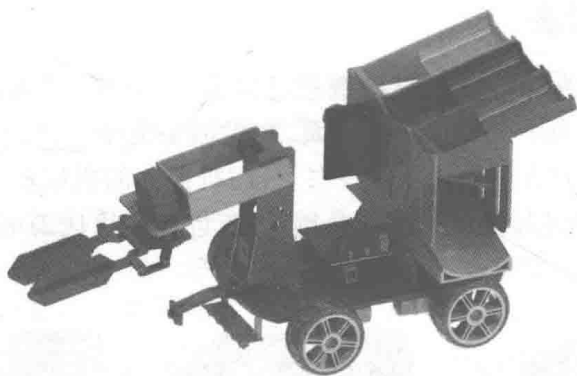


图 1-4 创意赛机器人优化方案二

1.2 智能垃圾分类收集机器人比赛任务

1.2.1 比赛场地

比赛场地为印有比赛地图的 PVC 灯布,如图 1-5 所示,尺寸为(宽度×高度):300 cm×300 cm。比赛地图根据要求放置在平整的地面上,同时在比赛地图的四周用透明胶带粘贴在地面上,确保地图满足比赛要求。地图的黑线跑道上需粘贴宽度为 1.8 cm 的黑色哑光电工胶布,以增强识别效果。此外,比赛过程中要求环境光线均匀且无阳光直射。

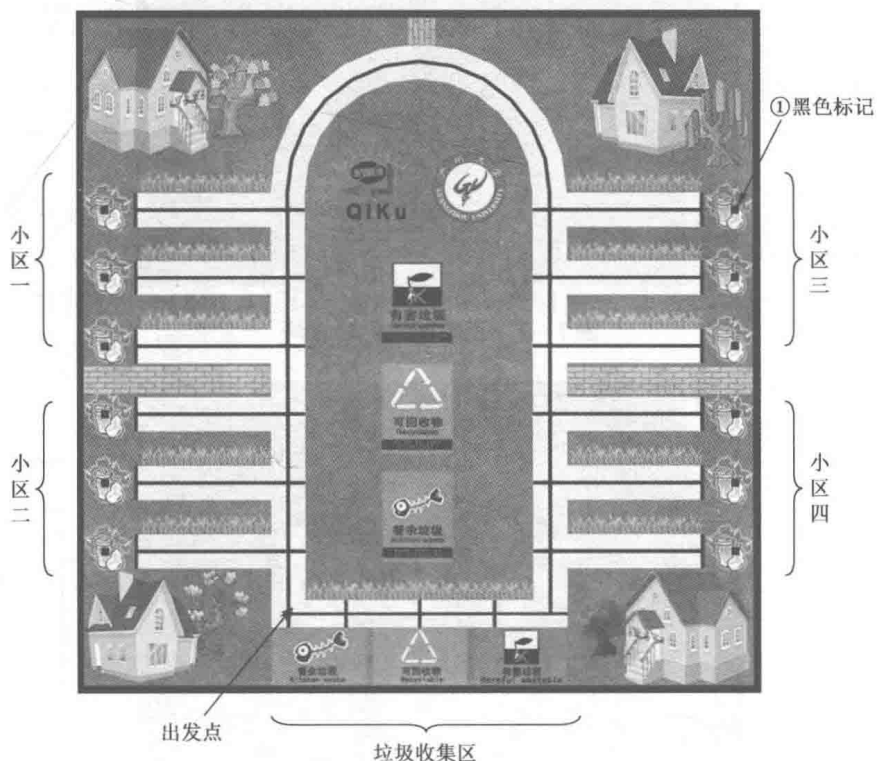


图 1-5 比赛地图

1.2.2 比赛垃圾块

比赛所用的垃圾块为绿、蓝、红三种颜色的立方体,如图 1-6 所示,大小为 $35\text{ mm} \times 35\text{ mm} \times 35\text{ mm}$ (其上有两个带条纹凹槽的面,与机械手夹子的条纹相配合,用以提高夹取成功率),侧面的凹槽条纹方向为从左上往右下,与机器人的机械爪条纹相匹配。每种颜色的垃圾块各 4 块,其中绿色垃圾块代表厨余垃圾,蓝色垃圾块代表可回收垃圾,红色垃圾块代表有害垃圾。

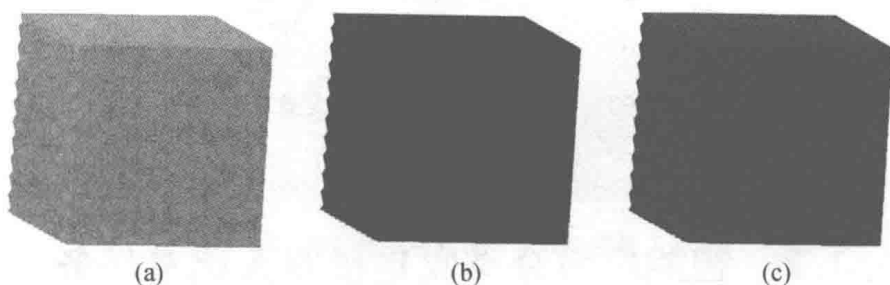


图 1-6 三种颜色垃圾块

(a)厨余垃圾;(b)可回收垃圾;(c)有害垃圾

垃圾方块要求放置在黑色标记上方,方块底面与黑色标记重合。其中,正确摆放垃圾块示例图如图 1-7 所示,不正确摆放垃圾块示例图如图 1-8 所示。



图 1-7 正确摆放的垃圾块



图 1-8 不正确摆放的垃圾块

1.2.3 比赛任务

机器人在模拟的城镇中执行垃圾收集分类任务。地图中,由围墙和道路将地图分为4个小区,每个小区路的尽头放有不同颜色的垃圾块,地图下方为垃圾收集区,用于倾倒机器人收集到的垃圾方块。

在比赛开始时,机器人从统一起点(地图左下角出发)沿黑色轨道行进(允许机器人掉头行驶),到达各个小区,由裁判计时,在10 min内,将小区的垃圾块拾起及放到机器人的垃圾桶内,并运送到地图底部的垃圾收集区,倾倒到对应的绿、蓝、红垃圾收集区内。当将各个小区的垃圾全部正确收集分类倾倒完后,则视为完成任务。

1.2.4 评分标准

1. 常规赛评分标准

比赛时间为10 min,比赛起始分数为100分。机器人在比赛中完成相应的任务会相应地加分,而犯规则会相应地扣分,其中常规赛具体的加分项目和扣分情况如表1-1所示。具体常规赛比赛评分标准可参见本书附录A。

表1-1 常规赛机器人比赛时加分项目及扣分情况一览表

| 序号 | 加分项目 | | 扣分情况 | |
|----|--------------|---------|-------------|---------|
| | 名称 | 分值 | 名称 | 分值 |
| 1 | 正确拾起垃圾块 | +20分/个 | 垃圾块放置错误或被丢弃 | -10分/个 |
| 2 | 正确倾倒垃圾块 | +20分/个 | 错误倾倒垃圾块 | -10分/个 |
| 3 | 正确收集完成剩余时间加分 | +0.5分/秒 | 重启机器人 | -20分/次 |
| 4 | | | 冲出跑道 | -20分/次 |
| 5 | | | 原地不动 | -100分/次 |

2. 创意赛评分标准

比赛时间为10 min,比赛起始分数为100分。机器人在比赛中完成相应的任务会相应地加分,而犯规则会相应地扣分,其中创意赛具体的加分项目和扣分情况如表1-2所示。具体创意赛比赛评分标准可参见本书附录B。

表1-2 创意赛机器人比赛时加分项目及扣分情况一览表

| 序号 | 加分项目 | | 扣分情况 | |
|----|--------------|---------|---------|---------|
| | 名称 | 分值 | 名称 | 分值 |
| 1 | 正确倾倒垃圾块 | +40分/个 | 垃圾块被丢弃 | -10分/个 |
| 2 | 正确收集完成剩余时间加分 | +0.5分/秒 | 错误倾倒垃圾块 | -20分/个 |
| 3 | | | 重启机器人 | -20分/次 |
| 4 | | | 冲出跑道 | -20分/次 |
| 5 | | | 原地不动 | -100分/次 |

第2章 智能垃圾分类收集 机器人开发平台

2.1 机器人开发平台简介

智能垃圾分类收集机器人基于 Arduino 开源开发平台,采用 Arduino 控制板,配以相应的电机驱动模块、红外循迹模块、颜色识别模块及其他的执行机构、零配件,其中常规赛机器人采用 Arduino Uno 开发板,创意赛机器人采用 Arduino Mega 2560 开发板,但两者都采用相同的程序开发环境。

Arduino 是一款源自意大利的开放源代码硬件项目平台,该平台是一块 USB 接口的简单 I/O 接口板,配有使用类似 Java、C 语言的 IDE 集成开发环境。Arduino 是一款基于 AVR 指令集的单片机,但它简化了单片机的工作流程,将复杂的 AVR 单片机底层代码封装成简单实用的函数,使用者只需直接调用这些库函数即可实现单片机系统的开发工作,从而大大降低了单片机系统开发难度,特别适合中小学的教师、学生以及初次接触编程的业余爱好者使用。

Arduino 系列控制器具有以下特点:

- (1) 开放源代码,程序开发接口免费下载,使用者也可根据需求自行修改。
- (2) 可以采用 USB 接口供电,也可以外部供电。
- (3) 支持 ISP 在线烧写,可以将新的“bootloader(引导程序)”固件烧入 Arduino 的 CPU 芯片。有了 bootloader 之后,可以通过 USB 更新程序。
- (4) 可与传感器、电子元件,如红外线、光敏电阻、热敏电阻、超声波、舵机等直接连接。
- (5) 支持多种互动程序,如 C、Processing、Flash、Max/Msp、VVVV 等。
- (6) 利用 Arduino 可更简单地实现单人或多人游戏互动,突破了以往只能使用鼠标、键盘、CCD 等输入方式获取互动内容的局限。

2.2 机器人控制板介绍

Arduino 包括多款不同型号的开发板,如 Arduino Uno、Arduino Mega、Arduino Nano、Arduino Mini、Arduino BT 等。根据智能垃圾分类机器人常规赛与创意赛所需要的内部资源不同,本书在常规赛机器人开发中使用 Arduino Uno 开发板,而在创意赛机器人开发中则使用 Arduino Mega 2560 开发板。

2.2.1 常规赛机器人控制板

从图2-1可知,常规赛机器人的控制板由 Arduino Uno 开发板及接口板组成,其中接口板通过排针安装在 Arduino Uno 开发板的上面,安装方向见图2-1。

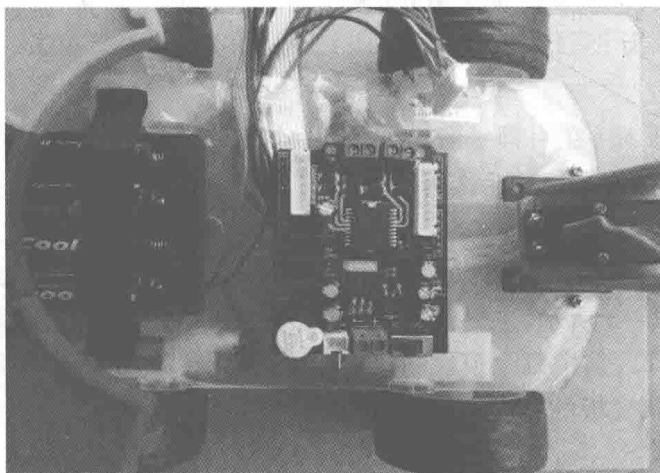


图2-1 常规赛机器人控制板安装方向

1. Arduino Uno 开发板介绍

Arduino Uno 具有 13 个数字 I/O 口,6 个模拟 I/O 口,1 个复位开关,1 个 ICSP 下载口,支持 USB 接口,其中,可通过 USB 接口直接供电,也可以使用单独的 7~12 V 电源供电,具体的资源分配如图2-2所示。

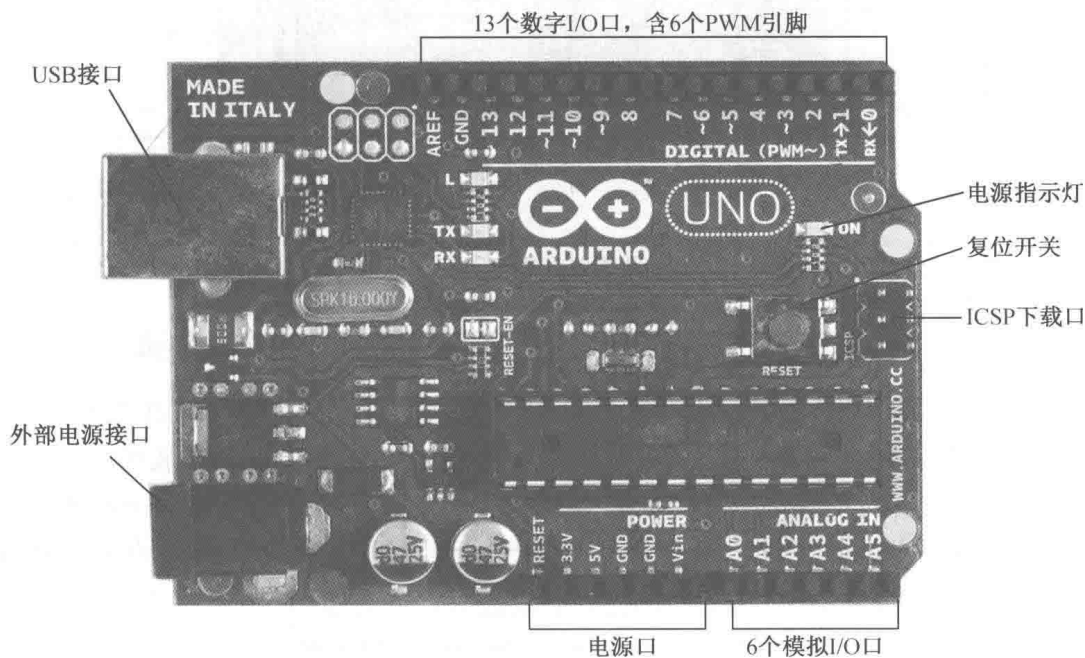


图2-2 Arduino Uno 的资源

Arduino Uno 开发板的各引脚定义如下：

- 数字引脚:0 ~ 13。
- 串行通信:0 为 RX,负责接收数据;1 为 TX,负责发送数据。
- 外部中断:2,3。
- PWM 输出:~3,~5,~6,~9,~10,~11。
- SPI 通信:10 作为 SS,11 作为 MOSI,12 作为 MISO,13 作为 SCK。
- 板上 LED:13。
- 模拟引脚:A0 ~ A5(在引脚号前加 A,以区分数字引脚)。
- TWI 通信:A4 作为 SDA,A5 作为 SCL。

2. 常规赛接口板介绍

常规赛接口板是一块自行设计的集稳压、电机驱动、接口转接等功能于一体的外围接口板,其实物图如图 2-3 所示,主要包括 3 个舵机接口、1 个红外传感器接口、1 个颜色传感器接口及 2 个电机接口,其中每个模块的接口示意图如图 2-4 所示,每个模块的接口通过排针与 Arduino Uno 开发板的相应引脚相连。

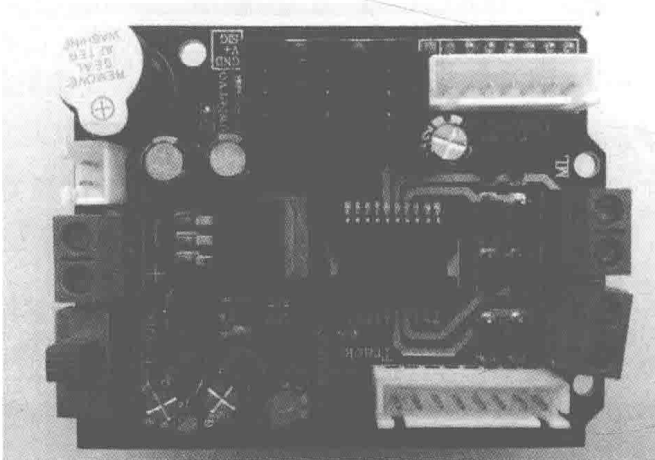


图 2-3 常规赛机器人接口板实物图

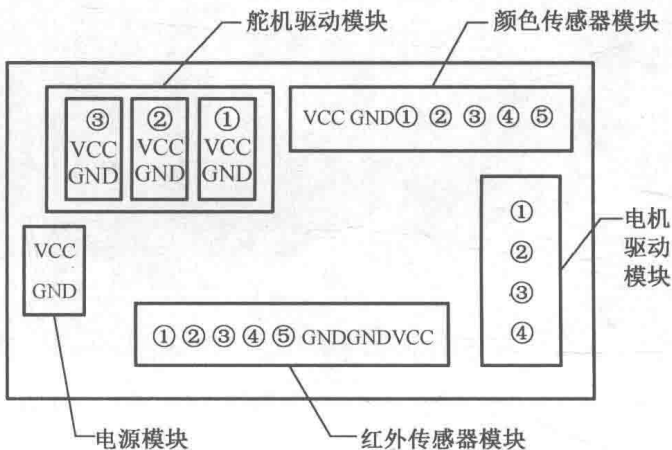


图 2-4 常规赛机器人接口板接口分布示意图

图2-4中所示的常规赛接口板各个模块引脚的定义(即与Arduino的哪个引脚相连)如表2-1所示。

表2-1 常规赛接口板的引脚定义

| 序号 | 接口模块 | 引脚号 | Arduino Uno 的引脚号 |
|----|-----------|-------|------------------|
| 1 | 舵机模块 | 舵机接口① | 7 |
| | | 舵机接口② | 12 |
| | | 舵机接口③ | A0 |
| 2 | 红外传感器模块 | ① | A1 |
| | | ② | A2 |
| | | ③ | A3 |
| | | ④ | A4 |
| | | ⑤ | A5 |
| 3 | 颜色传感器模块 | ① | 4 |
| | | ② | 3 |
| | | ③ | 2 |
| | | ④ | 1 |
| | | ⑤ | 0 |
| 4 | 电机模块 | ① | 左轮电机负极 |
| | | ② | 左轮电机正极 |
| | | ③ | 右轮电机正极 |
| | | ④ | 右轮电机负极 |
| 5 | 所有接口模块的电源 | VCC | VCC |
| | | GND | GND |

2.2.2 创意赛机器人控制板

与常规赛机器人不同,创意赛机器人控制板由Arduino Mega 2560开发板及接口板组成,其中接口板通过排针安装在Arduino Mega 2560开发板的上面,安装方向见图2-5。

1. Arduino Mega 2560 开发板

Arduino Mega 2560包含54个数字I/O口(其中14个I/O口可提供PWM输出),16个模拟I/O口,4对串行数据通信口(UART),1个复位开关,1个ICSP下载口,支持USB接口和直流电源供电,具体的资源分配如图2-6所示。

Arduino Mega 2560开发板的各引脚定义如下:

□数字引脚:0~53。

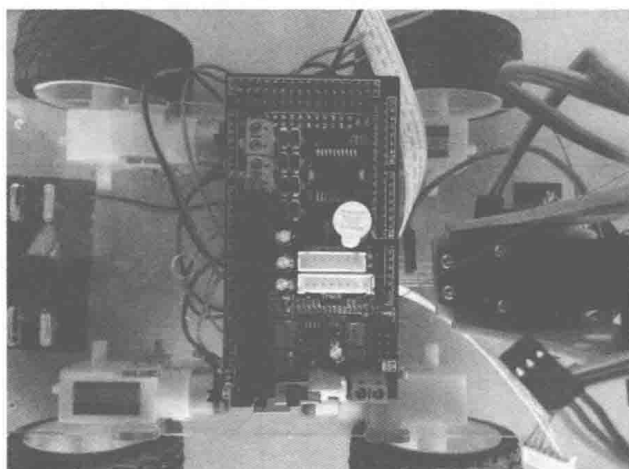


图 2-5 创意赛机器人控制板实物图

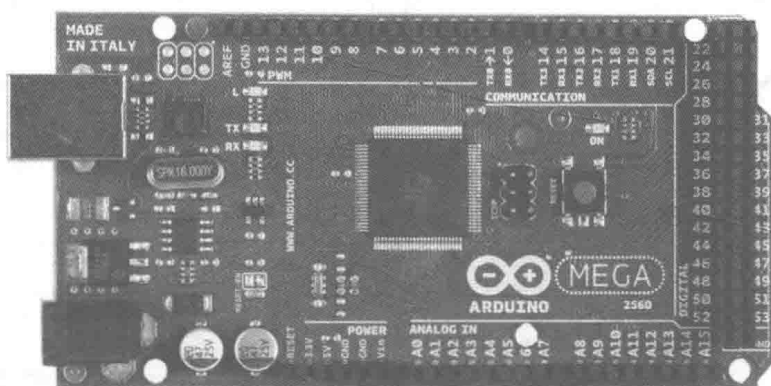


图 2-6 Arduino Mega 2560 的资源

□串行通信:提供4组串行通信端口,分别为0(RX)和1(TX)作为串口1,19(RX)和18(TX)作为串口2,17(RX)和16(TX)作为串口3,15(RX)和14(TX)作为串口4。

□外部中断:提供6个外部中断源,分别是2(外部中断0),3(外部中断1),21(外部中断2),20(外部中断3),19(外部中断4),18(外部中断5)。

□PWM 输出:2~13。

□SPI 通信:53 作为 SS,51 作为 MOSI,50 作为 MISO,52 作为 SCK。

□板上 LED:13。

□模拟引脚:A0~A15(在引脚号前加A,以区分数字引脚)。

□TWI 通信:20 作为 SDA,21 作为 SCL。

2. 创意赛接口板介绍

创意赛接口板也是一块自行设计的集稳压、电机驱动、接口转接等功能于一体的外围接口板,其实物图如图 2-7 所示,主要包括 9 个舵机接口、1 个红外传感器接口、1 个颜色传感器接口及 2 个电机接口,其中每个模块的接口示意图如图 2-8 所示,每个模块的接口通过排针与 Arduino Mega 2560 开发板的相应引脚相连。

图 2-8 中所示创意赛接口板各个模块引脚的定义(即与 Arduino 的哪个引脚相连)如表 2-2 所示。

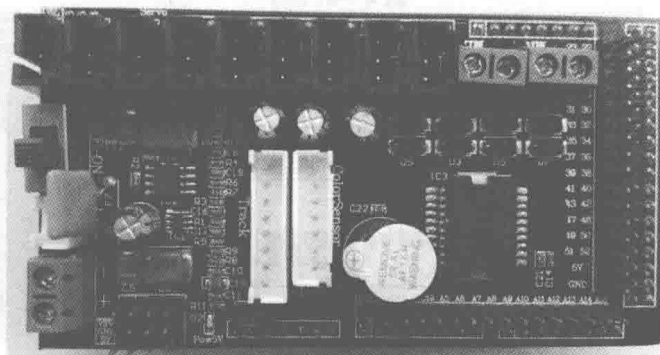


图 2-7 创意赛机器人接口板实物图

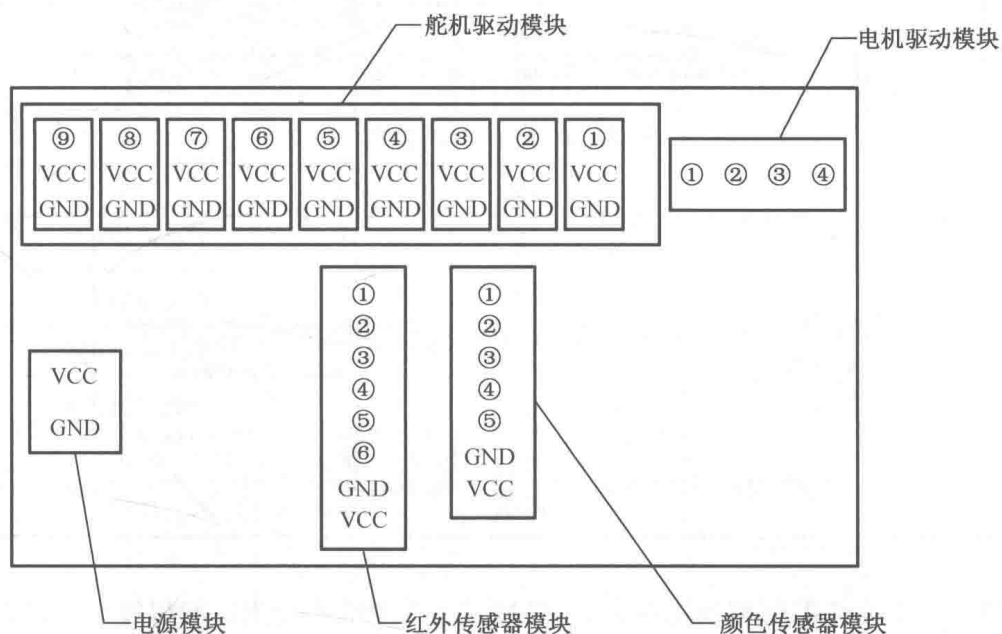


图 2-8 创意赛机器人接口板接口分布示意图

表 2-2 创意赛接口板的引脚定义

| 序号 | 接口模块 | 引脚号 | Arduino Mega 2560 的引脚号 |
|----|------|-------|------------------------|
| 1 | 舵机模块 | 舵机接口① | 2 |
| | | 舵机接口② | 3 |
| | | 舵机接口③ | 5 |
| | | 舵机接口④ | 6 |
| | | 舵机接口⑤ | 7 |
| | | 舵机接口⑥ | 8 |
| | | 舵机接口⑦ | 44 |
| | | 舵机接口⑧ | 45 |
| | | 舵机接口⑨ | 46 |