基于 Arduino 的智能避障灭火小车

李金子　李丽平　王娟
西京学院　陕西西安　710123

摘　要：近年来频发的火灾事故对高效应急处理技术提出了更高要求。传统人工消防方式存在响应慢、效率低等问题，尤其在偏远或高密度地区难以及时到达现场。基于 Arduino 平台的智能灭火小车针对这一需求开发而成，集成了自主导航、火灾检测及灭火功能。小车采用轮式移动机构，配备火焰传感器、水泵和喷淋装置，可快速定位火源并进行灭火。该系统基于模块化设计，硬件包括 Arduino 控制板、马达、超声波及红外传感器等，既便于组装调试，也为功能扩展提供了支持。在测试中，小车表现出较高实用性，优化的路径规划和传感器协作使其能够灵活应对复杂场景，高效灭火并遏制火势。综上该智能灭火小车在提高火灾应急效率、减少损失方面具有重要意义，为智慧城市和公共安全提供了有力支持。

关键词：智能灭火；避障；Arduino；火焰传感器；模块化设计

引言

火灾事故是严重的安全隐患，传统消防方式因响应慢和效率低难以快速扑灭初期火灾，尤其在偏远或人口密集区域。为提高火灾应急处理效率，基于 Arduino 平台设计了一款智能灭火小车。该小车采用低成本、易操作的开源硬件，集成火焰检测传感器、水泵和喷淋装置，能够自主导航至火源并快速灭火，有效缩短响应时间。

相比传统方式，这款小车利用模块化设计和自主控制技术，显著提升了火灾应急效率，减少了人工干预的限制。其应用场景广泛，除家庭和公共场所外，还适用于森林、矿山等特殊场合，在难以人工介入的区域提供了可靠解决方案。这种基于 Arduino 的智能灭火小车，不仅推动了消防技术的智能化发展，还为智慧城市建设提供了重要支持。

1 设计方案

1.1 系统整体架构

系统包括主控模块、避障模块、寻火与灭火模块、电源模块及驱动模块。各模块的功能如下：

主控模块：负责传感器数据处理和各模块的协调控制。

避障模块：利用红外与超声波传感器感知障碍物，规划避障路径。

寻火模块：通过火焰传感器定位火源。

灭火模块：采用水泵和喷水装置完成灭火任务。

电源与驱动模块：提供稳定电源，并驱动小车移动。

智能避障灭火小车的系统架构如图 1 和图 2 所示

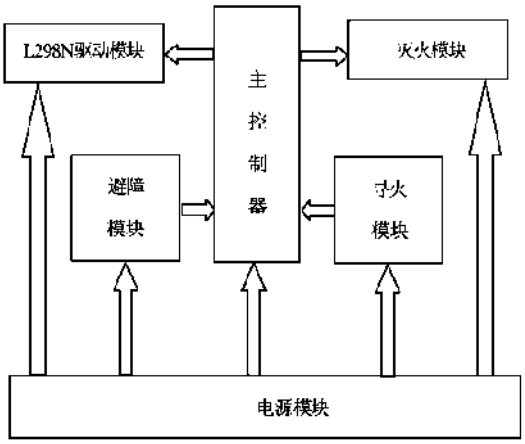


图 1 系统整体设计框图

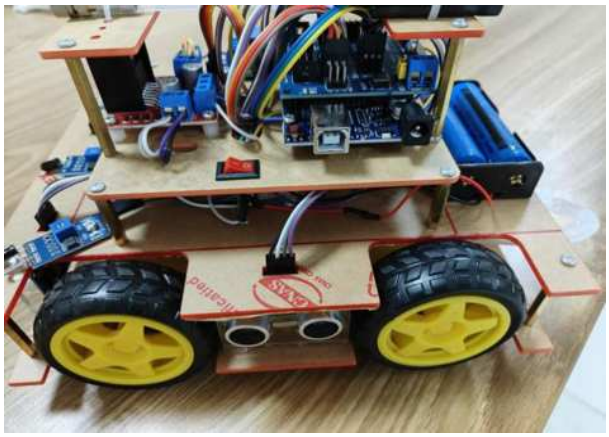


图 2 智能小车硬件设计

1.2 硬件设计

1.2.1 主控模块设计

Arduino Uno 是小车的核心控制器，其高扩展性和易编程特性使其成为理想的选择。通过 14 个数字 I/O 接口和 6 个模拟输入接口，Arduino Uno 连接多个传感器和执行模块，实现数据处理与任务调度。

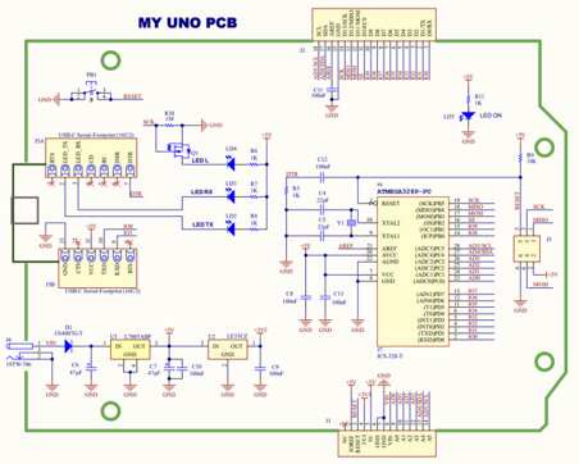
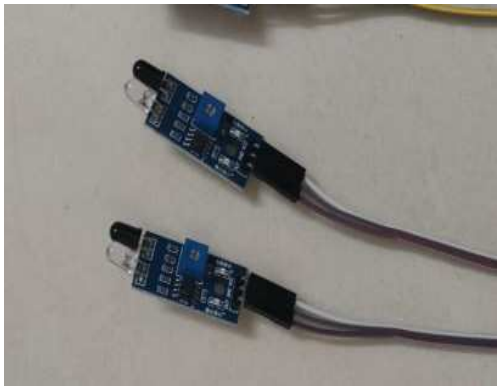


图 3 主控制器模块及电路图

1.2.2 避障模块设计

避障模块集成了红外传感器和超声波传感器。红外传感器检测左右障碍物，超声波传感器测量前方障碍物的距离。这种多传感器协作方式提高了小车的环境感知能力，使其能够灵活规避障碍。



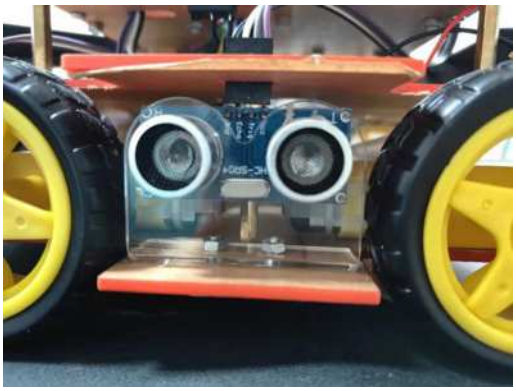


图 4 红外检测与超声波避障模块

1.2.3 寻火与灭火模块设计

火焰传感器探测红外波长在 700~1000nm 的光信号，当检测到火源时，将火焰位置和强度信息传递给主控模块。灭火模块由抽水马达和喷水装置组成，通过精准控制水流实现高效灭火。

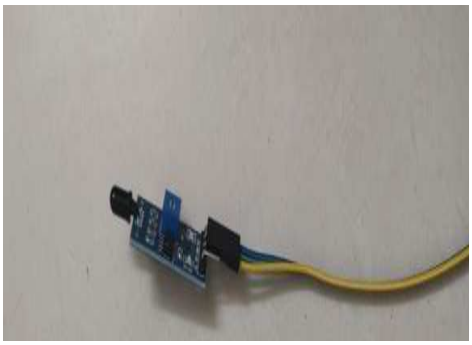
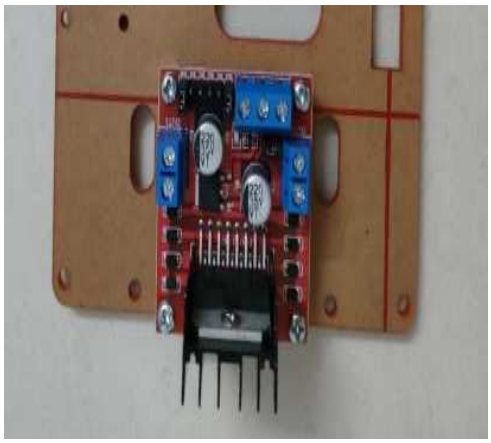


图 5 火焰传感器

1.2.4 电源与驱动模块设计

电源模块采用锂电池供电，配备电压转换电路，为各模块提供稳定电压。驱动模块使用 L298N 驱动器，通过控制直流电机实现小车的移动和转向。



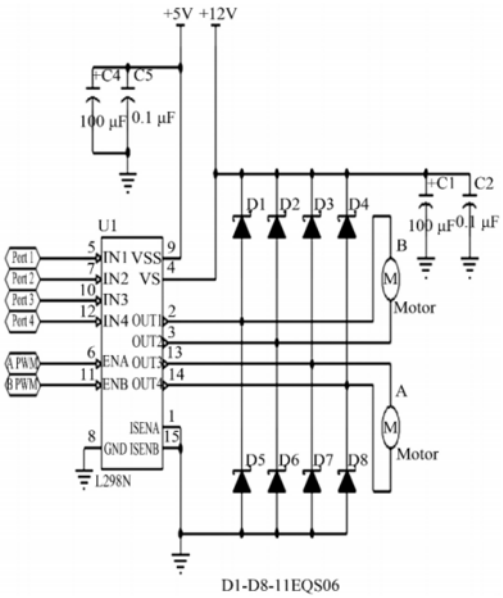


图 6 L298N 电机驱动模块及直流电机的电路图

1.3 软件设计

1.3.1 自动灭火模式算法

小车自动灭火模式算法的核心是火源定位和路径规划。当火焰传感器感知到火源信号时，小车根据传感器数据调整行驶方向，逐步靠近火源并启动灭火装置。此模式优化了火灾响应时间。

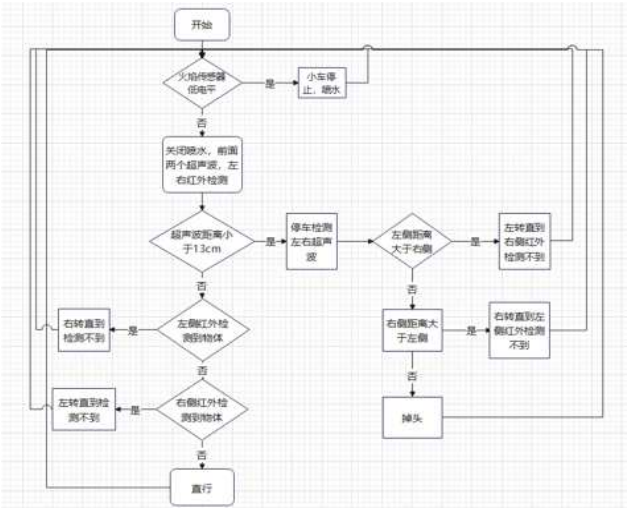


图 7 程序流程图

1.3.2 避障算法设计

智能消防小车安装的红外检测模块和超声波模块已获得障碍物的信息，当发现障碍物趋向阻碍前进方向时，控制单元收到目标信息及时避开并继续前进。障碍物具体位置在小车的正前方、左前方和右前方，如图 4–3 所示。输入量是正前方超声波与障碍物的距离 DF 和两侧超声波与障碍物的距离 DS，输出量是线速度 VO 和转向角度变化量 WO。

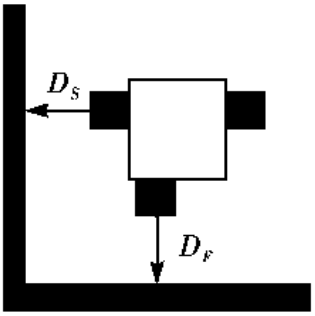
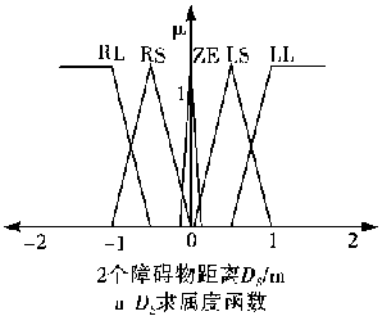


图 8 避障示意图



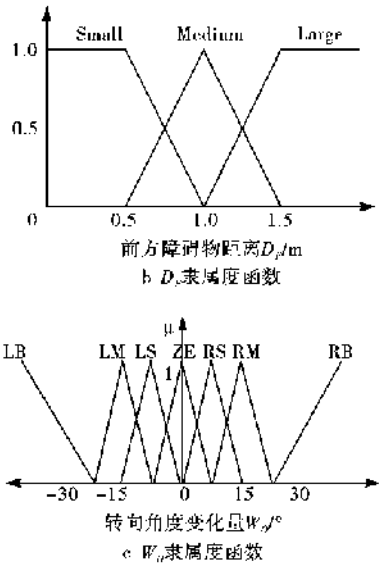


图 9 避障算法设计

由模糊控制输入变量的情况可知，当障碍物处于智能小车正前方或右前方时，小车左转；当障碍物处于左前方时，小车右转。

1.4 创新点与难点

创新点：

（1）多传感器集成：

集成了超声波传感器、红外传感器和火焰传感器，实现对障碍物和火焰的检测。这种多感知的能力增强了小车的环境感知能力。

（2）喷水功能：

集成了抽水泵，可以实现喷水功能。这个功能不仅美化了小车的外观，而且还可以用于简单的灭火任务。

（3）机械结构设计：

采用模块化设计，各部件如传感器、执行机构等都有专门的安装位置和固定方式。这种设计增强了小车的可维护性和可扩展性。

（4）控制算法：

需要编写复杂的控制程序，协调各传感器、执行机构的工作，实现自主避障和灭火功能。

难点：

（1）传感器集成与校准

需要集成多种传感器，如超声波传感器、红外传感器、火焰传感器等，并正确连接各传感器的电源、接地和信号线。需要对各传感器进行校准和调试，确保它们能够可靠检测障碍物和火焰。传感器的灵敏度和检测范围需要精心设置。

（2）电机驱动与运动控制

需要使用电机驱动模块 (L298N) 来驱动和控制小车的移动，包括前进、后退、转向等动作。需要编写复杂的运动控制算法，根据传感器数据协调电机的工作，实现自主避障和追踪火焰的功能。

（3）软件编程与算法实现

需要编写复杂的控制程序，协调各传感器、执行机构的工作，实现自主避障和灭火功能。需要针对小车的特点，设计高效的路径规划、决策和控制算法。

2 实验与验证

2.1 系统实验场景搭建

实验场景包括室内模拟环境和复杂场地，设置不同类型的障碍物和火源以测试小车的性能。

图 10 实验场景搭建与设备布置图。

2.2 避障测试结果

避障测试中，小车在面对不同位置的障碍物时，能迅速调整行驶路径以避开障碍，表现出良好的鲁棒性。

表 1 避障时小车运动状态

传感器电平		小车运动状态
左	右	
0	0	后退，右转 90°
0	1	右转 45°
1	0	左转 45°
1	1	前进

2.3 寻火与灭火性能验证

模拟火灾现场，利用该智能避障灭火小车进行避障灭火测试，实验结果见表 2。

表 2 避障灭火测试实验结果

实验次数	灭火个数	未扑灭火源位置	碰撞障碍物个数
1	3	无	0
2	3	无	0
3	3	无	0
4	3	无	0
5	3	无	0
6	3	无	1
7	3	无	0
8	3	无	0
9	3	无	0
10	2	左上	0

3 讨论与总结

由测试实验可知，该智能避障灭火小车具备自主导航及避障、火焰检测和实时灭火等功能，能通过传感器感知环境并实时处理，实现可高效的自主灭火，展现出了较高的实用性，未来可以进一步提升小车的环境感知能力、优化灭火系统、改善人机交互方式并增加机器学习等智能算法、以实现更智能的导航和灭火。

参考文献：

[1] 张泳钢，王骏，罗杰俊，等 . 智能灭火小车 [C]// 四川省电子学会，重庆市电子学会，四川省职业技能竞赛研究中心 .

[2] 李芸，李海伟，李慧慧，等 . 基于 C51 单片机的智能灭火小车设计与实现 [J]. 山西电子技术 20222,(02):39–41.

[3] 毕经海 .Arduino 创意设计：智能灭火小车 [J]. 少年电脑世界 ,2020,(12):34–36.

[4] 黄海来 . 新型智能消防小车的研究与实现 [J]. 华东交通大学学报 ,2018,35(03):127–133.

[5] 袁延，秦飞舟 . 四驱智能灭火小车的设计 [J]. 机械工程与自动化 ,2019,(02):160–161+164.