

# 基于多传感器信息融合的智能小车避障<sup>①</sup>

张咪咪

(四川理工学院 自动化与电子信息学院, 自贡 643000)

**摘要:** 针对智能小车在不确定环境下自主避障的情况, 采用超声波传感器和红外传感器相结合来感知外界环境信息, 将传感器采集到的各种数据利用 T-S 模糊神经网络进行融合. 通过实验仿真表明: 此方法能够使智能小车对障碍物灵活避障.

**关键词:** 智能小车; 避障; 多传感器; 模糊神经网络

## Obstacle Avoidance of Intelligent Vehicle Based on Multi-sensor Information Fusion

ZHANG Mi-Mi

(School of Automation and Electronic Information, Sichuan University of Science and Engineering, Zigong 643000, China)

**Abstract:** Aimed at the problem of obstacle avoidance of intelligent vehicle in uncertain environment, several ultrasonic sensors and infrared sensors are used for unifying the sensation of environmental information, and a novel approach of multi-sensor information fusion based on neural networks and fuzzy logic, i.e. T-S fuzzy neural networks method is presented. The simulation experiment indicates that the method which is used in avoiding the obstacle is flexible.

**Key words:** intelligent vehicle; obstacle avoidance; multi-sensor; fuzzy neural networks

智能小车属于轮式机器人的一种, 由于它能广泛用于一些不适宜人类活动的及存在危险的场合(如有辐射、有毒、传染病护理病房等), 因此多地被应用到生产、生活及其它工业领域, 其中智能小车的避障是一个非常关键和重要的问题.

目前, 比较多的智能小车避障系统主要是基于颜色传感器和或红外传感器设计开发的, 基于颜色传感器的智能小车识别精度高, 但易受环境光线影响, 识别速度慢, 运行不稳定; 基于红外传感器的智能小车抗干扰能力强, 识别速度快, 但只能识别颜色灰度, 识别精度不高. 且这两种智能小车对运行中遇到的障碍物无法做出智能避障选择.

本文设计的智能小车利用超声波传感器和红外传感器来检测路面障碍, 并将其融合数据作为模糊神经网络的输入, 最后得出小车的运动指令, 由于超声波传感器具有测距速度快, 实时性好, 抗干扰能力强等优点. 红外传感器可以弥补超声波传感器造成的“盲

区”, 使得智能小车可以适应复杂、真实的道路环境, 具有很高的实用性.

### 1 智能小车控制系统结构

本文所用的智能小车系统硬件包括 FPGA、传感器、直流电机三部分. 图 1 为智能小车的控制模块. 传感器相当于小车的“五官”, 通过它可以获得环境中障碍物的形状、大小、颜色、目标方位等信息, 是智能小车关键的组成部分.

智能小车控制器部分采用的是基于 Altera 公司生产的 FPGA 开发板 DE2 及其内嵌的软核处理器 NiosII. 它只需要通过相关的软硬件环境即可完成处理器的功能设计, DE2 开发板上所有重要的部件都与开发板上的芯片相连, 很方便的控制开发板上的各种操作.

智能小车主要采用超声波传感器 URF01 采集环境信息, MiniIR 红外传感器做为辅助. 超声波传感器 URF01 的测距范围为 30cm~40cm, 在后文设计模糊

<sup>①</sup> 收稿时间:2012-04-10;收到修改稿时间:2012-06-01

规则中,使用的实际测距最大范围值是 170cm. 超声波测距的“盲区”为 0~30cm, 而 MiniIR 红外传感器的测距范围为 3cm~35cm, 所以可以有效弥补超声波传感器测距存在的“盲区”. 超声波传感器和红外传感器混合使用, 在测距范围、被测物体材质限制方面可以优势互补.

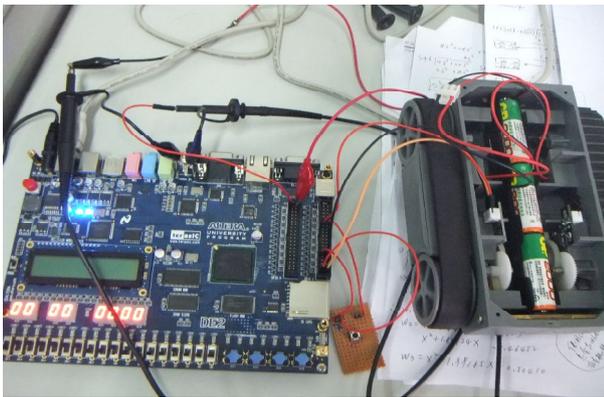


图 1 智能小车的控制模块

传感器分布如图 2 所示. 三组超声波测距传感器和三组红外测距传感器通过 I<sup>2</sup>C 总线连接起来, 在小车的正前方、两个侧方各安装两个传感器, 同时在 S2 和 S3、S4 和 S5 之间, 还预留有两个超声波传感器扩展接口. 由于小车使用了辅助传感器和车体体积很小的因素, 智能小车的传感器模块能够有效地覆盖所有障碍物的范围, 因此, 可以忽略超声波波束探测角度的影响.

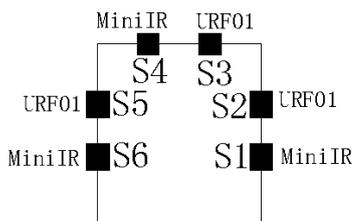


图 2 传感器分布图

### 1.1 智能小车物理模型

在研究中, 建立智能小车的物理模型如下:

(1) 在智能小车上装有 6 个测距传感器: 三个超声波测距传感器 URF01 和三个红外测距传感器 MiniIR, 用于检测小车前方, 右方, 左方在 30cm-340cm 范围内的障碍物距离信息, 并把信息作为融合的初值. 传感器分布图在图 2 已给出.

(2) 通过 I<sup>2</sup>C 总线对传感器数据进行循环读取, 间隔时间为 1 秒. 通过对分布式多传感器测得的数据信息, 对目标方向进行分区, 并得到目标方向上障碍物的距离和方位信息, 得到如图 3 所示的目标方向分区.

(3) 把多传感器信息初次融合后的结果作为神经网络的输入, 进行再次融合, 输出为避障决策结果.

(4) 根据第 3 步的决策结果, 得出小车左轮和右轮的行进速度.

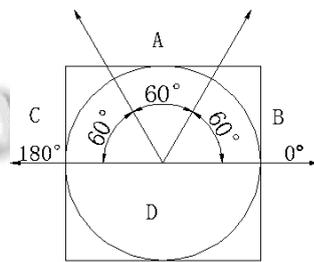


图 3 目标方向分区

### 1.2 智能小车的环境感知与分类

智能小车周围装有 6 个测距传感器, 可以测量小车车身边、右边、前边障碍物的距离信息, 若把距离信息进行初次融合和处理, 还可以得到车身左前方, 右前方的距离信息. 通过多个分布式传感器的协同工作, 很大程度上提高了系统的感知范围, 有效的降低了系统的不确定性.

本论文根据传感器的分布和探测距离情况, 把智能小车的环境状况做如下 8 种分类:

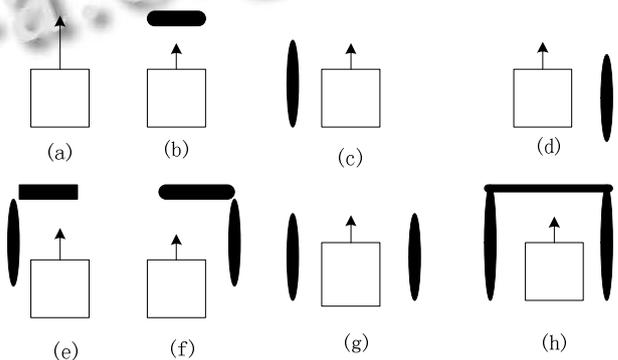


图 4 环境状况分类

在环境(a)状况下, 小车四周无障碍, 可以沿直线继续移动; 在环境(b)-(h)状况下, 小车周围有障碍物, 小车必须绕过障碍物.

## 2 模糊神经网络控制器的设计

智能小车依靠超声波和红外传感器采集障碍物的距离、环境信息，先采用模糊逻辑对障碍物的距离和方向数据进行特征级模糊处理，然后采用神经网络对输入的模糊逻辑进行决策级融合，调整自身运动方向，在设定路线上，从开始点到目标点继续移动，实现小车的自主控制。本文采用的智能小车避障控制结构模型如图 5 所示。

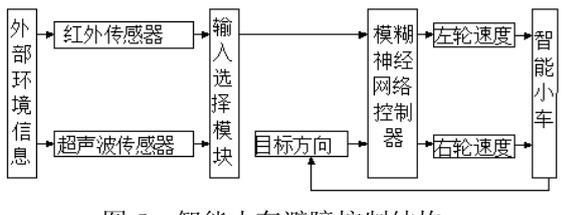


图 5 智能小车避障控制结构

### 2.1 模糊神经网络控制器的输入、输出变量

传感器测得的原始距离值分别用  $d_1, d_2, \dots, d_6$  表示，设  $d_r$  表示小车右方障碍物的距离， $d_r = \min\{d_1, d_2\}$ ； $d_{rd}$  表示小车右前方障碍物的距离， $d_{rd} = \min\{d_2, d_3\}$ ； $d_d$  表示小车前方障碍物的距离， $d_d = \min\{d_3, d_4\}$ ； $d_{ld}$  表示小车的左前方障碍物距离， $d_{ld} = \min\{d_4, d_5\}$ ； $d_l$  表示小车左方障碍物的距离， $d_l = \min\{d_5, d_6\}$ ，将五个方向上障碍物的距离  $d_r, d_{rd}, d_d, d_{ld}, d_l$  和目标方向等级  $G$  作为模糊神经网络控制器的输入，输出为小车两轮的速度：左轮速度 VL，右轮速度 VR。

### 2.2 变量的模糊化

在模仿人类的思维，对非线性、时变、不确定的复杂问题进行知识抽取和表达，获取控制规则时，体现出模糊逻辑的巨大优势，因为本论文中所用的超声波传感器的测距范围是 30cm 到 340cm，在实际应用中，选择 [30cm, 170cm] 为论域，设模糊神经网络控制器的距离输入  $d_r, d_{rd}, d_d, d_{ld}, d_l$  的模糊子集为 {近, 中, 远}，相应的模糊语言变量为：{NR, MID, FR}；目标方向等级  $G$  的模糊子集为 {B, A, C}，相应的模糊语言变量为 {右, 中, 左}；输出量小车的两轮速度 VL, VR 的模糊子集为：{SL, NM, QK}，相应的语言变量为 {慢, 正常, 快}。系统选用高斯函数做为输入的隶属函数，图 6 和图 7，给出了距离和目标方向的隶属函数。

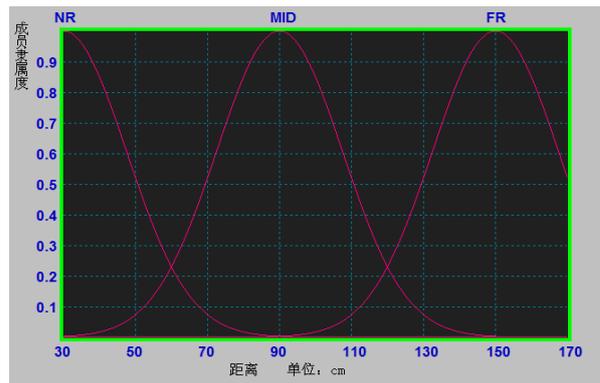


图 6 距离的隶属函数曲线

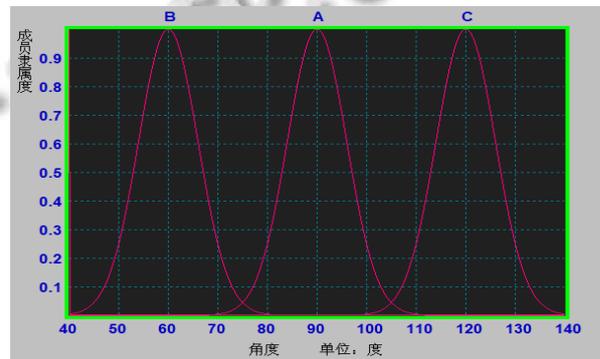


图 7 目标方向的隶属函数曲线

### 2.3 模糊规则

根据生物学上的“感知—动作”的行为，可以简化模糊控制规则的确立。例如在环境状况为(a)类的情况下，说明小车在 170cm 范围内没有障碍，小车将沿直线继续行驶。在环境状况为(b)类的情况下，说明小车前方有障碍，规则如下：

- IF  $d_d$  is NR and G is C then VL is SL and VR is QK
- IF  $d_d$  is NR and G is A then VL is QK and VR is SL
- IF  $d_d$  is NR and G is B then VL is QK and VR is SL
- IF  $d_d$  is NR and G is A then VL is QK and VR is SL
- IF  $d_d$  is NR and G is B then VL is QK and VR is SL
- IF  $d_d$  is MID and G is C then VL is NM and VR is QK
- IF  $d_d$  is MID and G is A then VL is SL and VR is QK

IF  $d_d$  is MID and G is B then VL is QK and VR is NM

依据智能小车所处的不同环境和目标级别, 对于所有障碍物的情况, 由以上所述的模糊变量取值可以得到 90 条训练规则.

### 3 智能小车避障控制的软件设计

智能小车避障控制的软件设计是建立在模糊神经网络控制器设计的基础上. 本文充分利用了 Nios II 软核处理器以及 SOPC 技术的优点, 不仅构建出智能小车的核心处理器, 而且把智能小车避障控制的软件集成到 FPGA 芯片中. 根据避障要求, 本文用 C 语言编写了避障控制的软件部分, 程序的主流程图, 如图 8 所示.

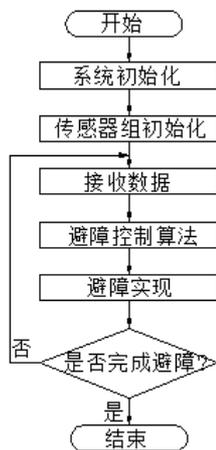


图 8 避障控制程序流程图

在软件设计中采用软件实现数字滤波、非线性补偿以使得测量数据更精确. 开机上电后, 首先要对系统初始化, 然后对传感器组初始化. 这两步完成之后, 第三步, 小车将以设定的速度行驶, 并采集和接收传感器组数据信息. 接下来, 系统要对传感器数据信息进行处理 (包括: 传感器信息融合, 数据输入选择, 方向目标判别等), 根据避障控制算法, 进行避障处理. 最后若避障完成, 主程序结束; 否则, 返回第三步继续循环.

## 4 Matlab 仿真实验与结论

### 4.1 仿真实验结果

本文的智能小车避障研究仿真实验是在静态环境中进行的. 为了验证基于 T-S 模糊神经网络的智能小

车避算法的性能, 分别在两种不同复杂度的障碍环境中进行仿真实验.

#### (1) 较少障碍物环境中的实验

在仿真环境中, 智能小车的起始位置坐标为(2,3), 目标点坐标为(9,9). 要求小车从起始点出发, 能够在较少障碍物的环境里, 安全避开环境中的障碍物并到达目标点. 系统的仿真结果如图 9 所示, 图中的黑色方框代表障碍物. 从仿真结果来看, 智能小车实现了自主避障, 在此环境中中成功验证了算法的可行性.

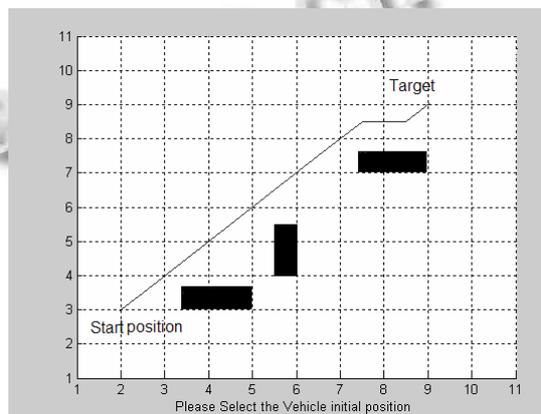


图 9 较少障碍物环境下的仿真结果

#### (2) 较多障碍物环境中的实验

图 10 是在较多障碍物的环境中, 把经过多次网络训练后的融合算法进行验证的仿真结果. 智能小车的起始点为(2,3), 目标点为(10.5,10.5). 图中的黑色方框代表障碍物, 此处障碍物的数量为 9 个, 且分布不均匀. 由仿真结果可以看到, 智能小车从起始点出发, 在到达目标点的过程中, 有效地避开了多个障碍物, 实现了安全、无碰撞地通过, 验证了算法的可靠性.

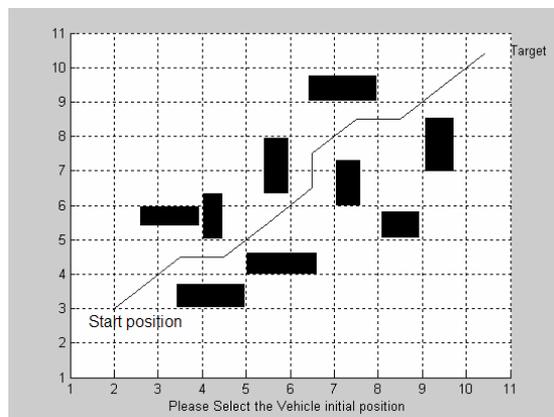


图 10 较多障碍物环境下的仿真结果

(下转第 169 页)