

案例五：智能小车自适应追逐防撞系统

(红外传感器、超声波传感器)

一、预备知识

上世纪 90 年代，国外提出智能公交系统概念，智能车辆则是智能交通系统的重要组成部分。智能车辆技术包含了计算机、移动通讯、自动控制等使车辆更具舒适性、娱乐性、安全性、方便性的多项技术，而基于 PC 平台的汽车信息化是实现智能车辆技术的基础和必要条件。

2010 年 12 月，吉利汽车与中国联通联合推出 3G “智能汽车”，标志着国内智能汽车进入一个高速发展的时代，并逐渐从单一的智能汽车开始向“车联网”时代进军，高安全性和高稳定性是智能汽车研发的主要需求。目前，国内“飞思卡尔杯”智能汽车竞赛一定程度上带动了智能小车研究的发展。智能汽车竞赛以快速发展的汽车电子为支撑，涵盖控制、模式识别、传感技术、电子、电气、计算机、机械等多个学科交叉，不仅能有效快速地提升参赛者的自主创新能力，对于国内相关学科学术水平的提高也有积极的推动作用。

这里从智能汽车自主运行的防撞需求出发，构建基于 freescale S12 系列单片机的双智能小车系统，将激光、红外传感器和超声波传感器应用其中，实现两辆小车在跑道上自适应的防撞前行，探索智能汽车的智能化行驶方案。

二、系统总体方案设计

基于轻量化的选择和电路板的设计，选择体积小的 MC9S12XS128MAA 单片机作为核心控制单元。根据自适应防撞需求对前后车辆要求的不同，前后车辆配置不同的硬件。前向车为了保持较好的稳定性和灵敏性，采用前瞻较大的激光传感器用于循迹。前向车的系统组成框图如图 1 所示。

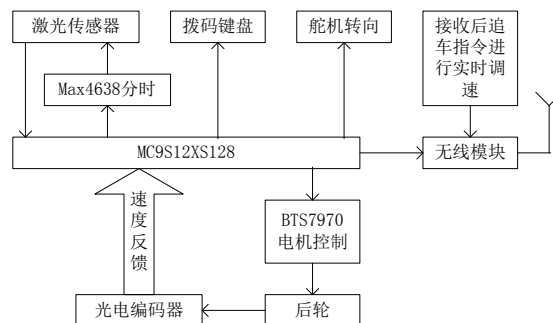


图 1 前向车系统组成框图

后追车考虑用超声波传感器感知的距离信息和安装位置较低的红外传感器循迹来控制车辆的行进速度和舵机转向。后追车的系统组成框图如图 2 所示。

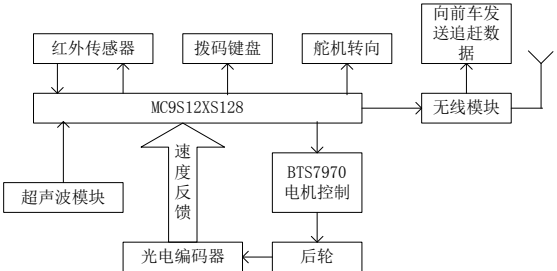


图 2 后追车系统组成框图

三、系统硬件组成

3.1 前向车硬件组成

车辆整体硬件电路设计遵循低功耗，电路简单可靠，前瞻合适，控制芯片资源合理化使用的原则，设计了一些低功耗并且控制简单的电路。电路板的制作也进行了最小化设计，为机械设计打好基础。

智能车系统以 freescale 的 MC9S12XS128MAA 16 位单片机为控制核心。电源管理模块选用 7.2V Ni-Cd 电池供电，因为单片机系统、用于路径识别的光电传感器、光电码编码器等均需要 5V 电源，控制转向的伺服电机和转头电机工作电压范围为 5V~6V。直流电机可以使用电池直接供电，由于整体电路设计功耗低，因此可以采用 TPS7350 作为单片机和传感器模块，以及编码器的供电电源，采用 TPS7301 作为舵机供电的可调电源。

电机驱动采用大功率 BTS7970 作为驱动芯片，BTS7970 执行抱死刹车优势明显。单个的芯片内部为 MOS 半桥电路，这里选择两片进行对接形成全桥驱动。转向舵机选用体积较小的 T170A，控制传感器模块的随动舵机选用 S3010。控制频率均为 100Hz，采用双电源控制。

前向车的道路信息采集传感器选用前瞻较大的激光传感器。在对单排固定和双排固定方案进行对比测试后，激光传感器的控制电路选用转向随动控制方案，采用四路接收、八路发射作为路径识别的传感器方案，即一路接收对应两路发射的这种较容易对准的方案，发射管采用分时发射电路，以减小功率消除干扰。在对多个分时控制电路方案进行测试后，选择 MAX4638 作为模拟八选一的选通开关，其性能相当于高速继电器，可以产生多个共用电路，有助于简化电路设计。工作于 5V 电压，其内阻只有 3.5 欧，某一时刻只有一个选通，因此电路功率不高，增强了抗干扰能力。

在速度较高时普通码盘会出现输出不稳定现象，因此智能车的测速装置选用光电编码器，其可输出 500 脉冲/转，满足测速要求。

3.2 后追车硬件组成

后追车的主控电路、主板电路以及电机驱动等硬件与前向车基本一致。由于后追车使用超声波传感器进行前向扫描测距，因此需增加超声波模块。在机械结构上为保证超声波模块的架高设置，后追车选用架设位置相对较低的红外传感器进行轨道循迹，红外传感器采用七路 ST188 红外对管架设电路。为增加超声波模块的扫描范围，超声波模块采用舵机控制。

超声波测距是借助于超声脉冲回波渡越时间来实现的，即经发射器发射出波长约 6mm，频率为 40KHz 的超声波信号，此信号被物体反射回来由接收头接收，产生 mV 级的微弱电压信号。设超声波脉冲由传感器发出到接收所经历的时间为 t ，超声波在空气中的传播速度为 c ，则从传感器到目标物体的距离可表示为： $D = c \cdot t / 2$ 。超声波测距模块原理如图 3 所示。

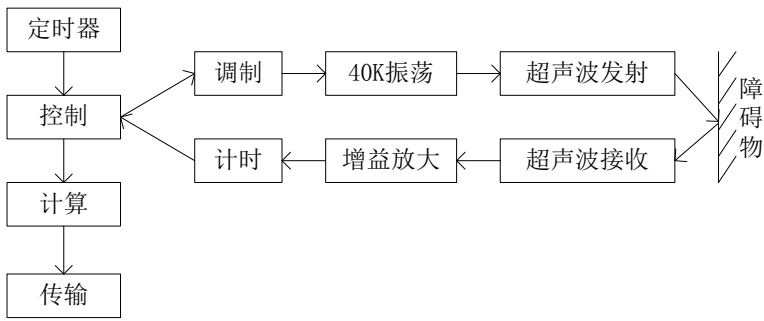


图 3 超声波测距原理框图

为了能够实现两个小车之间的自适应防撞，本系统采用无线通信模块进行数据交换，确保两个小车之间的通信和相互协调。系统选用高度集成超低功耗半双工微功率无线数据传输模块 UTC1212，片上集成嵌入高性能低功耗 STM8L101 处理器，采用最新一代高性能射频芯片 SX1212。其中 SX1212 创新的采用高效的循环交织纠检错编码，使抗干扰和灵敏度都大大提高，模块提供了多个频道的选择，可在线修改串口速率，发射功率，射频速率等各种参数，二次开发简单方便，也可以通过 MCU 来设置常规参数，模块电压范围为 2.1V~3.6V，在接收状态仅仅消耗 3.2mA，有四种工作模式。传输距离在 500 米左右，其 UTC1212 模块共有 7 个引脚，如表 1 所示。

表 1 UTC1212 引脚作用分配

管脚	名称	方向	说明
1	GND	无	地线
2	VCC	无	电源 2.1V-3.6V
3	SET_A	输入	和 SET_B 组合用于选择模块工作模式
4	RXD	输入	串口输入口, TTL 电平
5	TXD	输出	串口输出口, TTL 电平。
6	AUX	输出	用于模块工作状态指示
7	SET_B	输入	和 SET_A 组合用于选择模块工作模式

无线模块工作时通常处于接收状态，一旦收到数据，就将已经接收到的数据通过 UART 输出，这时可以用单片机通过中断接收方式将数据读取并存储，便于处理（如比对、数据显示等）。当需要发送数据时，把待发送数据通过 UART 接口传输 UTC1212 模块，模块收到数据后就自动无线发送，发送完毕后自动切换到接收模式。无线模块共有四种工作模式，可相互转换，利用 SET_A 和 SET_B 管脚进行设置。如表 2 所示。

表 2 无线模块工作模式

工作模式	模式含义
模式 1 SET_A=0 SET_B=0	正常模式 该模式下可以收发数据
模式 2 SET_A=0 SET_B=1	唤醒模式 该模式下可以收发数据
模式 3 SET_A=1 SET_B=0	省电模式 该模式下可以收发数据
模式 4 SET_A=1 SET_B=1	休眠/配置模式 该模式下不可以收发数据

无线模块与单片机的接线如图 4 所示。

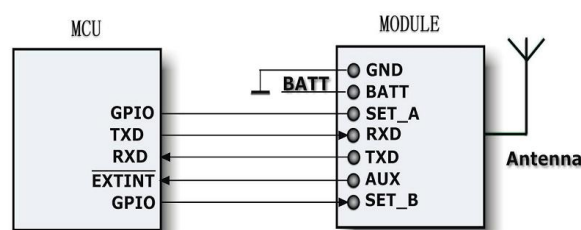


图 4 无线模块与单片机的接线

四、系统控制策略

4.1 传感器及舵机控制策略

在系统运行过程中，传感器随动运行，始终保持传感器信息中心对准轨道黑线，这就要求在行进过程中对带动传感器板的舵机进行基于 PID 算法的随动控制。具体控制策略如下：设置两个控制变量 e 和 w ， e 为轨道黑线相对于传感器板中心位置的偏差， w 为舵机

脉宽调制的占空比。为了使传感器板无稳态误差地跟随黑线，首先需要有积分环节，此时 $w = \int k_i \cdot e dt$ ；（ k_i 为积分系数，决定积分的强弱）。

为了减小干扰，采用增量式控制： $\Delta w = k_i \cdot \Delta e$ 。但该方法只在低车速时才能较好地工作，一旦速度较高传感器板就会偏离黑线，不得不提高 k_i 使传感器板转动的响应速度加快，但这将导致新的问题出现：在经过急弯后传感器板会不停地左右摇摆，即出现控制理论上的震荡现象，此时系统不稳定。因此，应增加比例环节以提高传感器板转动的响应速度。但实验发现固定比例系数 k_i 所取得的控制效果并不好，经分析发现原因在于：传感器板采集的是离散值，且离散值的总数有限，故比例系数设置过小导致动作不明显，比例系数设置过大将导致动作不连续，即 k_i 小传感器板稳定但反应慢， k_i 大传感器板反应快但不稳定。这就要求在运行过程中根据需要动态地改变 k_i ，根据实际调试确定如下规则：

$k_{\min} \leq k_i \leq k_{\max}$ （ k_{\min} 、 k_{\max} 根据实际的调试效果进行确定）。

当 $|e|$ 大于某值时，此时黑线偏离传感器板中点较多，说明传感器板跟不上黑线，故增加 k_i 来加快传感器板的转动。当 $|e|$ 小于某值时，此时黑线偏离传感器板中点不多，为了防止出现不稳定的情况，应减小 k_i 。

若前述条件都不满足且 $e \cdot p_e < 0$ （ p_e 为上一次的 e ），说明系统发生震荡，即传感器板偏转过度或出现其他错误，应减小 k_i 使传感器板稳定或减弱因错误引起的不良后果。

对于转向舵机的控制采用分段比例加微分的方式；弯道控制采用直道加速，进弯减速，入弯后加速的方式。

4.2 车辆跟随防撞的反馈控制

为避免两车在跟随前进过程中出现追尾碰撞，后追车的超声波模块根据车辆的移动状态实时进行车距检测，当超声波检测到前方有小车时，如果距离为 1M 后车开始减速；如果距离为 30 厘米以内，无线模块向前车发送指令，前车开始加速；如果出现数据丢失，则后追车在距离为 10 厘米时主动停车。

五、自适应追逐防撞系统的实现

5.1 控制算法的软件实现

根据智能车追逐防撞系统各个模块的设计，对前向车和后追车的控制算法进行了实现，两车的控制流程如图 5 所示。

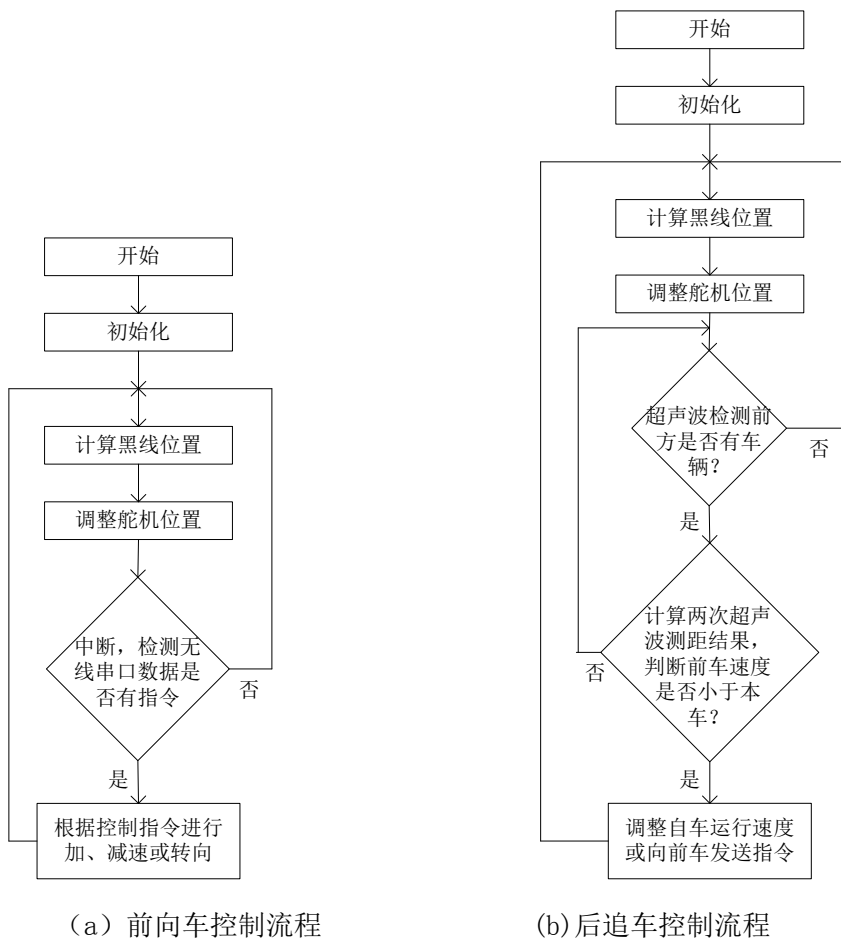


图 5 智能车主体控制软件流程

5.2 机械结构的实现

为了保证智能车自适应追逐防撞系统的高速稳定运行，在机械结构的实现方面尽量保证车辆的重心低、重心位置靠后；并对车模的机械部分做如下调整：

(1) 前轮倾角调整

对前轮调整的目的在于希望改善车模在行进中前轮的转弯性能，提高小车转弯的灵活性。因此调整前轮使主销内倾和后倾。经过测试，这样的调整有助于提高车在运行状态下的稳定性。

(2) 舵机安装位置调整

舵机的原装位置对智能车的方向控制极为不利，舵机的传动效率低，空转行程大，反应时间长，并且容易在与其它的结构连接处发生卡死现象。为了克服舵机在机械上的不利影响，对原装车体更改了舵机的安装位置，将原来舵机的多机构传动改为直接传动，这样可

减少舵机传动机构之间的复杂连接关系，提高效率，减少机械结构上的反应时间，便于对转向的精确控制。

（3）减震调整

减震调整包括松紧程度的调整和小车重心高度的调整。由于小车被设定是在平坦的道路上行走，因此太灵活的减震系统对小车来说并不是一个有利的因素，太松太紧的减震易使小车震动剧烈，不利于激光传感器对信号的接收，故适当调节减震弹簧的松紧程度，可改善小车的性能，降低震动对传感器接收信号的影响。另一方面，过高的重心不利于小车转弯，降低了小车的稳定性，尤其在高速情况下更明显，常发生小车在转弯时车轮离地的现象，一旦有轮子离开地面，车轮便会失去有效的驱动力，故降低重心高度可在一定程度上避免这种现象的发生。通过调节减震拉杆的长度来调节小车重心的高度，以低到不影响小车过坡道为原则。

（4）电池安装位置调整

在实际的调试过程中发现，小车电池的安裝位置对齿轮的传动有影响，电池左侧会碰触中间的差速结构，再加上车模底板的塑料强度不高，导致小车在运动时差速齿轮与电机的铜齿时而啮合时而分离，一段时间之后就会把差速齿轮磨平，不利于传动，为此特意将电池的安裝位置向后移动，直到脱离中间的差速机构，这有利于将小车整体的重心后移，从而降低舵机的负荷。

5.3 传感器的安装

由于前向车的传感器采用随动结构，在随动舵机的安装、传感器高度和前瞻的对比上都需要考虑车体重心的问题，在最大化降低重心的基础上，保证传感器 40cm 以上的前瞻。后追车由于对超声波传感器进行了舵机架高，因此红外传感器板装于车前。

经过设计和调试，最终实现的智能小车自适应追逐防撞系统如图 6 所示。

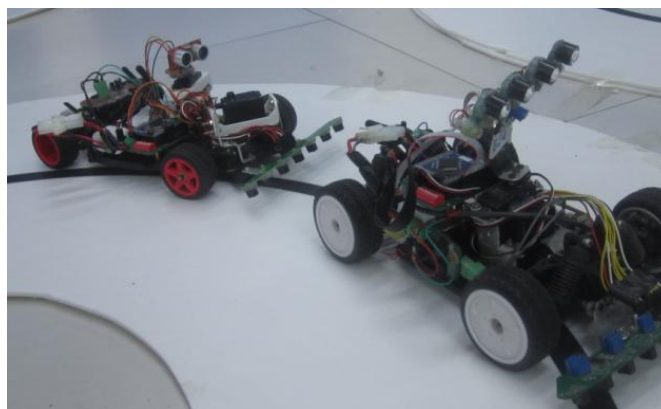


图 6 智能车系统实现

六、总结

该案例基于飞思卡尔智能小车对双车自适应追逐防撞系统的实现进行了探讨，主要应用了激光传感器、红外传感器和超声波传感器。基于系统总体设计和模块构建，并最终调试完成了智能小车自适应追逐防撞系统的实现，达到在预定轨道上自主循线、PID 运行控制、超声波测距、无线通信和追逐防撞的设计目标。对探索无人驾驶车辆及其协同运行的自适应实现方法和机制提供了可借鉴的思路。