

路程式智能车预期速度设定算法^①

张晓峰, 陆建丽, 高挺峰, 陈国定, 戴晓胜

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

摘要: 提出了一种智能车预期速度的设定算法——路程式设定法。针对现有的常用预期速度设定算法离散式设定法和连续式设定法存在的问题, 即在预期速度给定量改变时前者易引起速度的震荡而后者实际输出存在一定的滞后性, 此方案采用速度变化量正比于路程增量的方法, 使小车在切换速度时能平稳过渡并快速调节到预期值, 不引起震荡。实验结果表明, 该方法比常用方法有更好的效果。

关键词: 智能小车; 动态性能; 预期速度; 路程式设定法; 模糊 PID 控制器

Expected Speed of Intelligent Vehicle Setting by Distance Algorithm

ZHANG Xiao-Feng, LU Jian-Li, GAO Ting-Feng, CHEN Guo-Ding, DAI Xiao-Sheng

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: This paper introduces an expected speed of intelligent vehicle setting algorithm called distance setting algorithm. Discrete setting algorithm and continuous setting algorithm, as conventional expected speed setting algorithm, both have problems. When the expected speed changes, the former one might cause speed oscillation and the latter one might have a delay output. Taking these problems into consideration, distance setting algorithm takes advantage of that the variation of speed is proportional to the increment of distance. This method could make a smooth speed transition and a quick adjustment to expected speed, avoiding oscillation. Experimental results show that this method has better performance than the conventional methods.

Key words: intelligent vehicle; dynamic properties; expected speed; distance setting method; fuzzy PID controller

全国大学生智能汽车竞赛是以智能汽车为研究对象、以竞速赛为基本竞赛形式的创意性科技竞赛。其中速度控制器的选择和预期速度的设定算法是影响车速的两个重要的方面。目前智能小车主要使用的速度控制器是 PID 控制器, 并且对其的研究已成熟^[2-5], 而对智能车预期速度设定算法的研究并不完善。然而智能车预期速度设定算法对于其自主行驶的稳定性 and 流畅性起着关键作用, 是影响智能车竞赛成绩的关键因素之一, 因此有必要对此做更深入的研究。

本文在分析了常用预期速度设定算法的局限性后, 提出一种能让车速在较小振幅下快速达到预期值的算法。结合模糊 PID 控制器, 显著地改善了小车加减速的动态性能。

1 模糊PID控制器

模糊 PID 是在常规的 PID 基础上, 以被控对象的反馈值与目标值的误差 e 和误差变化率 ec 作为输入, 用模糊推理的方法对 PID 的参数 K_p 、 K_i 、 K_d 进行在线自整定, 以满足不同 e 和 ec 对控制器参数的不同要求, 从而使被控对象具有良好的动态性能和静态性能, 其结构图如图 1 所示。模糊 PID 控制系统动态性能、稳定性比常规 PID 控制系统更优, 既能减小振荡, 又能较好地达到稳态。系统的鲁棒性、稳态精度高。模糊控制的编程方法目前大致分为查表法、公式法和推理法 3 种, 本文预期速度仿真及编程实现过程将采用模糊 PID 控制中的推理法, 并反复调节 P、I、D 三个参数, 尽量排除因控制器的动态和稳态性能问题对预期速度设定方

^① 收稿时间:2014-05-25;收到修改稿时间:2014-06-30

案的实验结果的干扰。

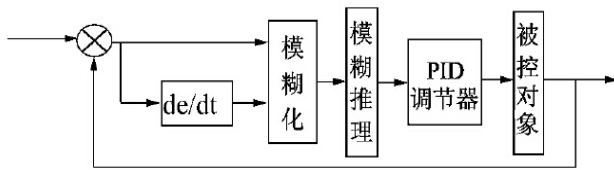


图 1 模糊 PID 控制器的结构

2 常用的预期速度设定模型及其局限性

2.1 离散式设定法

离散式设定法预期速度的设定关于时间 t 的变化曲线如图 2 实线所示，虚线为结合模糊 PID 控制器后通过 MATLAB 仿真得到的实际速度。 v_0 为初始速度， v_n 为最大安全通行速度(智能小车在对应的转角情况下不丢失路径，顺利通过弯路的最大速度)。预期速度的设定量与时间成阶梯式关系，即从零时刻开始，每经过一个周期 T ，预期速度相应增加 Δv ，同一周期内速度保持不变，最终达到最大安全通行速度 v_n 。当前预期时刻速度设定如式(1)所示。

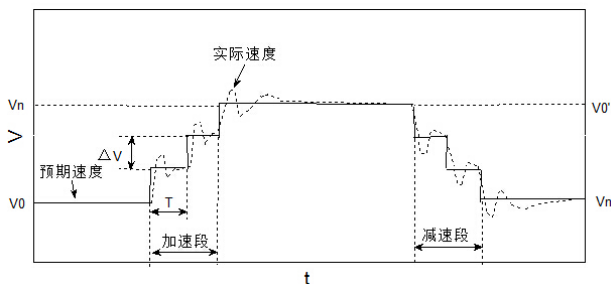


图 2 离散式设定法

$$\begin{cases} v_t = v_0 + k \cdot \Delta v \quad (k = t/T = 1, 2, 3, 4 \dots), \text{加速段} \\ v_t = v_0 - k \cdot \Delta v \quad (k = t/T = 1, 2, 3, 4 \dots), \text{减速段} \end{cases} \quad (1)$$

然而，该种预期速度设定方案下，小车每次速度的切换都会存在多个速度阶跃点，经过模糊 PID 控制器的调节后，由于比例环节和微分环节的影响，在速度阶跃点处实际速度必然会产生产生震荡，影响小车速度变化过程的稳定性，从而导致其无法快速稳定到期望值。该方案存在一定的局限性。

2.2 连续式设定法

另一种是与时间成正比的预期速度设定法，即“连续式设定法”，其预期速度设定关于时间 t 的变化曲线如图 3 实线所示，虚线为仿真得到的实际速度。小车速度的变化量与时间成正比，即

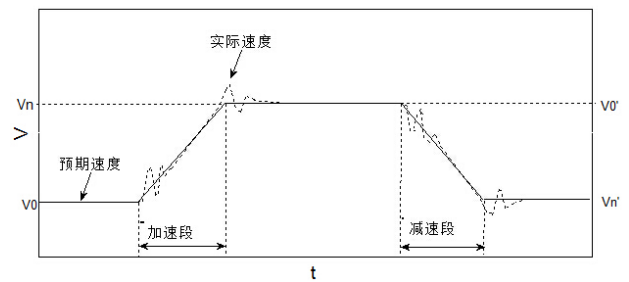


图 3 连续式设定法

$$\begin{cases} v = v_0 + a \cdot t, \text{加速段} \\ v = v_0 - a \cdot t, \text{减速段} \end{cases} \quad (2)$$

显然，相比于离散式设定法，该方案有了明显的改善。其速度变化过程连续，没有过多的速度阶跃点，小车速度变化过程相对较为稳定。但由于加速度 a 为恒定值，存在以下矛盾：

- 1) a 较大时，虽然增加了速度切换的动态响应速度，但是容易引起震荡，影响小车稳定性；
- 2) a 较小时，速度调节缓慢，小车稳定性提高，但是调节速度慢，无法快速达到期望值。

3 路程式设定法的分析和实现

连续式设定法加速度 a 的取值之所以存在矛盾，是因为它的 a 为定值，在速度切换时，无法同时满足稳定性和快速性的要求。因此，我们可以将 a 从静态转化为动态，使速度变化是一个变加速过程，而不是匀加速过程。

路程式设定法的做法是：

① 小车在检测到赛道环境发生变化后，以此为零时刻，通过编码器采集到的脉冲计算从零时刻开始行驶的路程 x 。

② 对小车的预期速度 v 以式(3)进行设定：

$$\begin{cases} v = v_0 + k_p \cdot x, \text{加速段} \\ v = v_0 - k_p \cdot x, \text{减速段} \end{cases} \quad (3)$$

其中， k_p 为比例系数，可调节。

③ 在加速段，当预期速度达到接近于最大安全通行速度 v_n 的速度 v_t 时，适当减小 k_p ，使其能平滑过渡到 v_n ，避免因转折点处斜率相差过大而产生震荡；在减速段，考虑到安全性，小车需要及时降低速度至 v_n' ，因此无需改变 k_p 。

结合模糊 PID 控制器后，其预期速度设定和实际

速度关于时间 t 的变化曲线如图 4 所示。

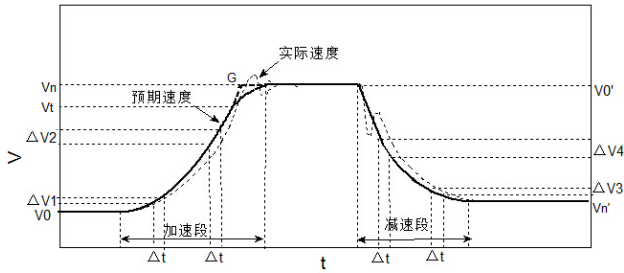


图 4 路程式设定法

由图 4 可见:

① 小车在加速时, 随着速度的增加, 同一时间间隔 Δt 下, 路程增量 Δx 逐渐增大, 速度增量 Δv 也随之增大, 如图中 $\Delta v_2 > \Delta v_1$. 因此加速段是一个加速度从 0 开始逐渐增大的加速过程, 速度曲线斜率与时间成正比相关。

② 小车在减速时, 随着速度的减小, 同一时间间隔 Δt 下, 路程增量 Δx 逐渐减小, 速度增量 Δv 也随之减小, 如图中 $\Delta v_4 > \Delta v_3$. 因此减速段是一个加速度逐渐减小至 0 的减速过程, 速度曲线斜率与时间成负相关。

为对比更加直观, 将连续式设定法和路程式设定法下小车预期速度随路程 x 的变化曲线放入同一坐标系, 如图 5 所示。

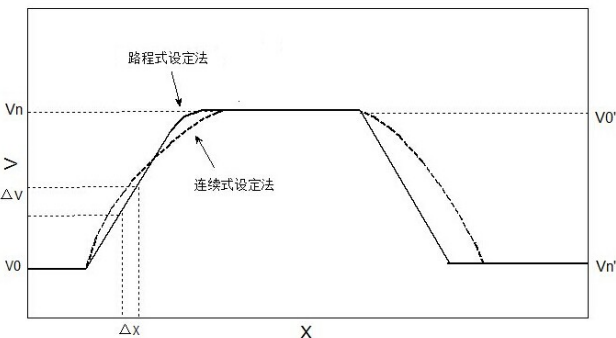


图 5 连续式设定法和路程式设定法下小车预期速度随路程 x 的变化曲线

由图 5 可见, 相比于连续式设定法, 路程式设定法下, 小车在加速段的初始时刻速度变化相对平稳, 避免在出弯加速时出现过冲现象。之后, 加速度逐渐增大, 使小车充分利用路段进行加速, 又保证了其调节的快速性。在减速段的初始时刻, 小车速度设定量下降较快, 使其在进弯时能迅速降低速度, 避免因减速不及时而冲出赛道。之后, 其加速度逐渐减小, 最

终平稳过渡到最大安全通行速度。

因此, 路程式设定法预期速度的设定相对于路程是一个平滑过渡的过程, 只要选取一个合理的 K_p 值, 就能使小车在出弯加速时超调量小而快速达到期望值, 不出现过冲现象; 入弯减速时速度迅速下降, 及时稳定到弯道的安全通行速度, 不冲出赛道, 很好的保证了小车运行的稳定性和快速性。

4 路程式设定法在预期速度设定中的应用

选取合理的 K_p 值和各赛道元素的最大安全通行速度, 小车在赛道元素发生变化而切换速度时, 以此为零时刻, 通过编码器采集到的脉冲数计算零时刻起小车行驶的路程 x , 利用式(3)计算预期速度 v , 经过一个模糊 PID 控制器后对小车进行速度控制。整个过程的流程图如图 6 所示。

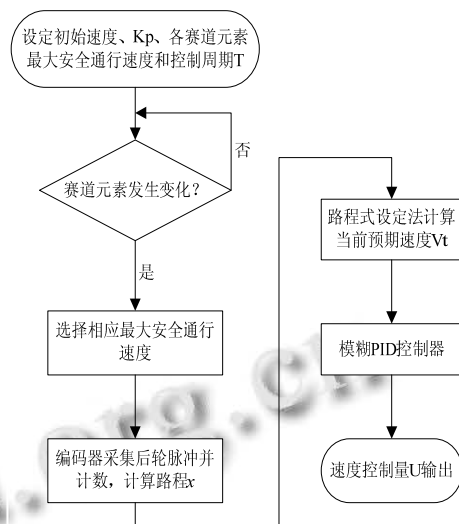


图 6 路程式设定法的实现

5 实验结果

按照比赛规则, 我们自行设计了一辆电磁智能小车, 以 FreeScale 单片机为核心控制器, 旋转编码器检测实际路程与速度, 并采用工字电感作为电磁传感器识别路径, 控制器的控制周期为 5ms。设定直道最大安全通行速度 $v_{max}=2.5m/s$, 弯道最大安全通行速度 $v_{min}=1.5m/s$, 让小车分别采用连续式和路程式的预期速度设定算法和相同的循迹算法, 在赛道上进行实验。

通过反复调节 K_p 值和 PID 参数, 使两种方案中实际速度最大程度拟合设定的预期速度。通过无线串口将预期速度设定值和智能小车的实际速度值发送到上

位机后, 将数据导入 excel, 利用 excel 图表工具做图得到速度响应曲线. 图 7 中给出了小车分别在出弯加速和入弯减速的速度变化过程. 其中, A 表示路程式设定法, B 表示连续式设定法.

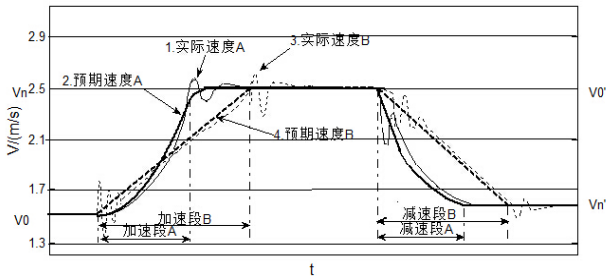


图 7 速度响应曲线

经过调试, 选取了合理参数后, 我们又让小车进行了多次实验, 然后对总体实验数据进行了统计和整理, 情况如表 1 所示.

表 1 连续式设定法、路程式设定法结合模糊 PID 控制器后小车实际运行情况

	出弯加速	入弯减速	平均速度(m/s)
连续式设定法	速度出现震荡, 易过冲	减速不够及时, 偏外切	1.85

路程式设定法	过渡平稳, 加速时间短	减速及时, 贴内道行驶	2.20
--------	-------------	-------------	------

6 结语

对电磁智能车现有预期速度给定策略的局限性详细分析后进行改进, 提出了一种简单高效的预期速度设定算法——路程式设定法. 实验证明, 该方案显著改善了智能车在速度切换时的动态响应特性, 使得小车能稳定、快速地运行.

参考文献

- 1 王忠礼,段慧达,等.MATLAB 应用技术在电气工程与自动化专业中的应用.北京:清华大学出版社,2007.
- 2 唐平江,周永华.基于自适应模糊 PID 智能车用直流电机控制器仿真研究.微型机与应用,2011,30(14):79-81.
- 3 吴斌华,黄卫华,程磊,杨明.基于路径识别的智能车系统设计.电子技术应用,2007,33(3):80-82.
- 4 王海波,冯蓉珍,司俊,黄金彪.基于 PWM 调速的智能小车控制系统实现.科技广场,2011,33(5):145.
- 5 肖金凤,盛义发,等.模糊-PID 混合控制直流电机调速系统设计.微电机,2011,44(5):56-59.