

# Electric Vehicle Cruise Control Based on Fuzzy Self-Tuning Proportional Integral Algorithm

Yuxiao Yin

Institute of Automation, Shanxi University, Taiyuan Shanxi  
Email: 923761154@qq.com

Received: Jun. 24<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jul. 21<sup>st</sup>, 2020; published: Jul. 28<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Aiming at the problem of vehicle cruise control, this paper proposes a self-tuning proportional integral cruise control algorithm based on fuzzy rules. Taking electric vehicles as the research object, the influence of road environment on vehicle speed was analyzed, and a vehicle longitudinal motion model was established. Taking the error between the actual vehicle speed and the desired speed as input, a proportional integral cruise controller is designed. At the same time, the "expert experience method" is used to construct fuzzy rules to realize the automatic tuning of controller parameters. Finally, simulation is performed in Simulink and Carsim, the simulation results show that the proposed self-tuning PI cruise control algorithm has fast response speed and small static error, and it has better control effect than traditional PI control algorithms.

## Keywords

Electric Vehicle, Vehicle Cruise, Self-Tuning Algorithm, Fuzzy Logic

---

# 基于模糊自整定比例积分算法的电动汽车巡航控制

尹宇肖

山西大学自动化系, 山西 太原  
Email: 923761154@qq.com

收稿日期: 2020年6月24日; 录用日期: 2020年7月21日; 发布日期: 2020年7月28日

## 摘要

针对车辆巡航控制问题, 本文提出了一种基于模糊规则的自整定比例积分巡航控制算法。以电动汽车为研究对象, 分析了道路环境对车辆速度的影响, 建立了车辆纵向运动模型。以车辆实际速度与期望速度的误差为输入, 设计了比例积分巡航控制器, 同时利用“专家经验法”构建模糊规则, 实现了控制器参数的自动整定。最后在Simulink和Carsim仿真软件中进行联合仿真, 所提出的自整定比例积分巡航控制算法相比于传统比例积分控制算法具有更好的控制效果, 车速跟踪响应速度快, 静态误差小。

## 关键词

电动汽车, 汽车巡航, 自整定算法, 模糊逻辑

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着行车环境的不断复杂化, 越来越多的驾驶人员由于在行车的过程中比较辛劳, 最终导致在高速行驶下, 遇到紧急事件没能及时反应而发生交通事故。然而, 车速的扰动性往往是导致行车中安全系数达不到保障的最大因素。因此, 电动汽车巡航控制是当代迫切关注的问题[1] [2]。各大汽车研究机构正在不断从事智能化、安全化、可靠化、舒适化的汽车构造[3]。它是基于电动车在高速行驶中车速的追踪与稳定控制。此设计具有便捷化, 绿色化, 智慧化, 现代化等特征。本文的研究范围就是车辆的定速巡航控制。在 Matlab 工程计算软件和 Carsim 车辆仿真软件的模拟试验下, 利用模糊自整定比例积分算法对车速进行自动巡航控制, 这样一来既可以降低驾驶员操作负担, 还能够提升驾驶体验。

目前, 研究人员对车辆自动巡航控制算法的研究越来越多, 取得了一些显著的科学成果。文献[4]详细地描述了车辆自适应巡航控制系统的发展和应用前景, 并简要概括了 ACC 系统的架构与工作原理。文献[5]是基于分层控制策略对车速稳定性能的在环研究。但在设计定速巡航的控制过程中, 控制器参数整定工作量较大, 且难以适应外部环境的变化。但由于利用模糊微分控制, 对于系统的动态响应影响不大, 致使设计中算法结构过于复杂。

由于模糊控制技术具有适用范围广、对时变负载具有一定的鲁棒性的特点, 而直线电机伺服控制系统又是一种要求要具有快速响应性, 并能够在极短时间内实现动态调节的系统, 所以本文考虑在速度追踪系统中设计 PID 模糊控制器, 利用模糊控制器对电机的力矩进行控制, 进而达到定速的性能。该研究对定速巡航系统在智能交通领域的应用起到重要作用。

本文的后续从以下几个部分展开说明。第二节基于牛顿运动学定律, 对车辆受力进行分析, 建立车辆纵向动力学模型并设计了比例积分车辆巡航控制器, 提出了基于模糊规则的控制参数自整定算法。第三节利用 Matlab 和高保真度商用软件 Carsim 进行联合仿真, 验证并分析控制效果。第四节对全文进行总结。

## 2. 控制器设计

高保真度车辆动力学模型由以下公式给出:

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{T_d \eta_t i_s i_0}{r_w} - \frac{1}{2} \rho c_d A_f v^2 - mgf \cos(\theta) - mg \sin(\theta), \quad (1)$$

上式(1)中  $m$  是车辆质量,  $v$  代表车速,  $\rho$  是空气密度,  $c_d$  是空气阻力系数,  $A_f$  是车辆横向截面积。

高保真度模型采用车辆仿真软件 Carsim 软件来实现高度仿真车辆动态性能。Carsim (Mechanical Simulation Corporation) 成立于 1999 年, 已成为众多汽车制造商所认可的汽车行业的标准软件。它可以根据输入的简单系统定义, 推导出复杂的多刚体机械系统动力学模型并生成相应的计算机程序, 因而被广泛地应用在汽车、机器人和卫星等领域。

## 2.1. 整体控制框图

图 1 为所提出的车辆巡航控制算法整体框图。首先由驾驶员对车速进行设置, 作为给定值与实际检测到的车速进行偏差运算, 将所得的差值的绝对值  $|e(t)|$  和车速偏差率  $\left| \frac{de(t)}{dt} \right|$ , 作为模糊控制器的输入量, 经过数据归一化处理, 使得输入量位于预设范围内。其次进行模糊化处理, 基于模糊控制规则进行解模糊运算, 模糊 PI 控制器的输出为  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ , 将设定好的 PI 控制器初始值与运算好的参数变化量再次进行运算, 最终得到最优的 PI 控制参数, 再将其参数赋给 PI 控制器。在此采用 Carsim 仿真软件来模拟车辆动态性能, 通过控制四个车轮驱动力矩控制电动汽车的速度, 从而实现车速自动的、连续的、实时的调节。其中, PI 参数整定的可靠程度直接影响到定速巡航控制系统的可靠性, 因此采用科学的模糊 PI 控制算法。

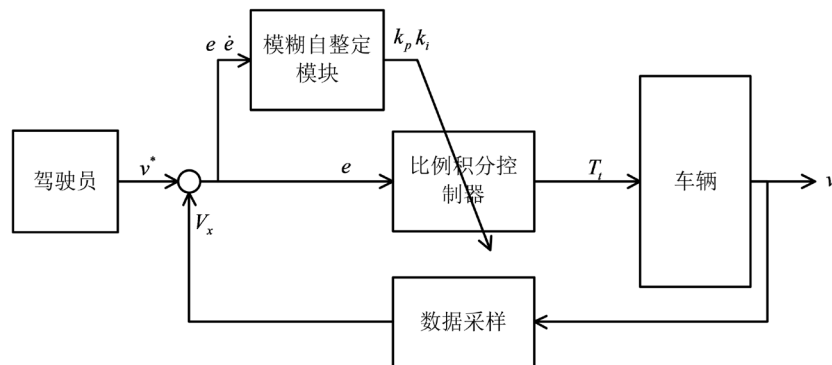


Figure 1. Control block diagram of overall system  
图 1. 整体系统控制框图

## 2.2. 基于模糊规则的自整定算法

根据自整定 PID 参数的控制算法, 结合 Carsim 汽车仿真的环境, 通过实时数据的采集, 建立模糊 PID 模型, 采用双输入、输出的模式, 选取实际车速与设定值之差  $e(t)$  的绝对值, 用  $e$  表示, 以及偏差变化率  $\frac{de(t)}{dt}$  的绝对值, 用  $ec$  表示, 这两个参数作为模糊输入变量, 模糊输出变量为 PID 比例积分参数, 即  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 。

### 2.2.1. 输入信号模糊化

在车速自动控制系统中, 设定值为 16 m/s, 采集范围为  $v = [2, 20]$  m/s, 可以将  $e$ 、 $ec$  的论域划分为 7 个等级,  $e = ec = [0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6]$ , 设置对应的模糊子集为  $e = ec = [Z, S, M, B]$ 。  $|e(t)|$  的最大值

为 14,  $\left| \frac{de(t)}{dt} \right|$  的最大值为 8。基于模糊 PID 模块的输入特性, 将输入偏差进行归一化处理, 输入调整系数如式(2)。

$$\begin{cases} K_{p1} = 0.6/14 = 0.043 \\ K_{i1} = 0.6/8 = 0.075 \end{cases} \quad (2)$$

相应的输出量  $\Delta K_p = \Delta K_i = [0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1]$ , 输出量所对应的模糊子集为  $\Delta K_p = \Delta K_i = [Z, VS, S, M, B, VB]$ , 为研究方便,  $e$ 、 $ec$ 、 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$  的隶属度函数均取三角形。

$e$ 、 $ec$ 、 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$  的隶属度函数关系, 如图 2 所示。

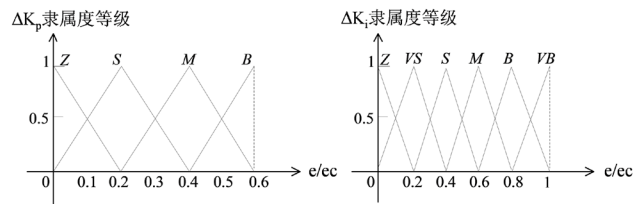


Figure 2. Membership function  
图 2. 隶属度函数

### 2.2.2. 模糊规则设计

对于定速巡航自动控制系统应具有下列调节机制: 当车速  $v$  增大时, 自动控制系统能迅速响应, 增大各个车轮的驱动力矩, 使车速处于稳定状态。当实际车速过低时, 驱动力矩适当降低, 以此实现车速的自动调节。

根据经典 PID 参数对输出特性和系统控制的影响及作用, 综合车辆动力学知识, 总结出 PID 控制器参数整定规则:

1) 当输入偏差的值过大时, 为降低稳态误差, 达到追踪给定值的目的, 应取较大的  $K_p$ , 这样可使系统时间常数和阻尼系数减小, 但是随之引起系统的稳定性变差, 另外为避免系统产生较大的超调, 应取较小的  $K_i$ 。

2) 当输入偏差的值达到预期要求的范围之内时, 为减小系统的超调, 同时为了使响应速度基于稳定,  $K_i$  不能过大,  $K_p$  应该适当减小。

3) 当输入偏差的值较小时, 为使系统具有良好的稳态性能,  $K_i$  应取较大值, 从而保证系统静态无差并实时响应的状态。  $K_p$  取较大值, 从而避免系统在平衡点附近产生振荡。

根据上述整定经验, 可得到下列模糊控制规则, 见表 1。

Table 1. The rule table of  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$

表 1.  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$  规则表

$\Delta K_p, \Delta K_i$	$ec$				
	$Z$	$S$	$M$	$B$	
$e$	$Z$	$VS, B$	$Z, B$	$Z, B$	$Z, B$
	$S$	$S, M$	$S, M$	$VS, S$	$VS, S$
	$M$	$M, Z$	$M, VS$	$S, VS$	$S, VS$
	$B$	$B, Z$	$B, Z$	$B, Z$	$M, Z$

### 2.2.3. 输出信号解模糊

根据模糊规则表，模糊 PID 模块的输入量进入符合的论域，相应的隶属函数对其进行模糊运算。经过模糊近似推理得到模糊控制量，根据实际的控制要求必须进行解模糊。本文研究模糊化处理方法采用面积重心法，取模糊隶属度函数曲线与横坐标围成面积的中心为模糊推理输出的精确值，其表达式(3)如下：

$$u = \frac{\sum_{j=1}^m u_j A(u_j)}{\sum_{j=1}^m A(u_j)} \quad (3)$$

公式中， $u$  为输出精确控制量， $A(u_j)$  为  $u_j$  处的隶属度； $u_j$  为相应的面积。

系统控制输出值只是相对的，并不是实际控制量，相对控制量与实际工程所需值有个比例关系，在之后的处理过程中，要乘上输出比例因子，使得模糊控制器输出范围位于常规 PI 控制器可承受的比例积分系数范围。

由于此次研究的执行机构为电机，需要的是控制量的增量符合增量式 PID 控制算法，如下表达式(4)，

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k). \quad (4)$$

具体实现措施中，首先设定 PID 控制器的初值，然后根据模糊规则得到相应的 PID 参数，然后相加即得到最终的 PID 参数。如下式(5)。

$$\begin{cases} K_p = K_{p_0} + \Delta K_p \\ K_i = K_{i_0} + \Delta K_i \end{cases} \quad (5)$$

式中， $K_{p_0}$ 、 $K_{i_0}$  为 PI 参数整定的初始值， $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$  为模糊推理得到的修正值。 $K_p$ 、 $K_i$  为修正后的参数值；最后采用经典 PI 控制运算法输出控制指令。

## 3. 仿真分析

### 3.1. 仿真条件

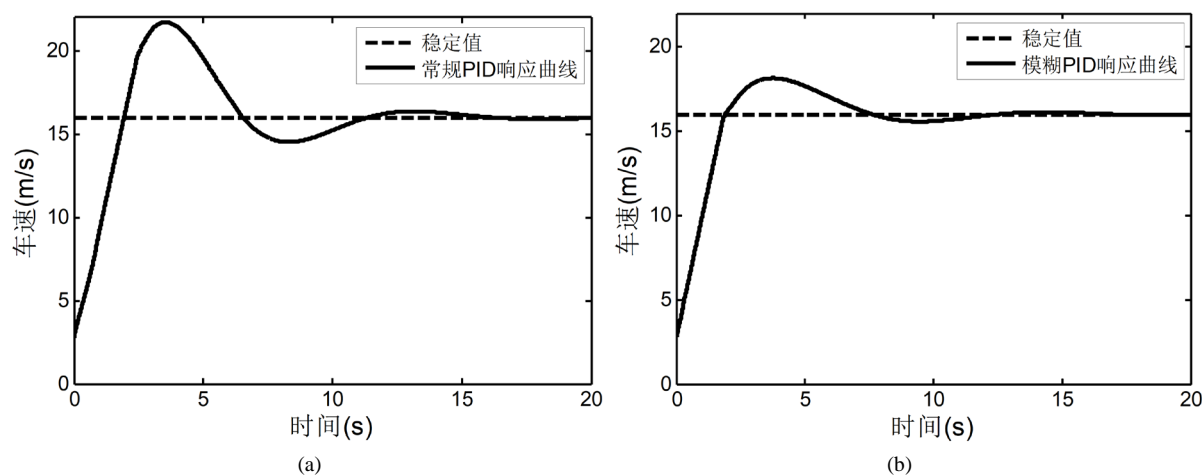
本文定速控制方案是采用 Matlab 仿真平台与 Carsim 汽车仿真软件相互配合来进行模拟电动车定速控制系统，Carsim 软件是高保真度模型，和实车的动力学非常相近，以此可更加反映整个模拟系统的准确性。车辆参数为  $m = 1430 \text{ kg}$ ， $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ，汽车轮胎的自由半径  $R_0 = 0.294 \text{ m}$ ，汽车质心到前轴的距离  $L_f = 1.05 \text{ m}$ ，汽车质心到后轴的距离  $L_r = 1.61$ ，汽车左右轮的轮距  $d_1 = d_2 = 1.45 \text{ m}$ ，汽车质心到地面距离  $h = 0.54 \text{ m}$ ，整车绕 Z 轴转动惯量为  $I_z = 2059.2 \text{ kg/m}^2$ 。车速为  $v = 16 \text{ m/s}$ ，车辆行驶路径采用笔直的高速公路，路面附着系数为  $\mu = 0.85$ 。

### 3.2. 仿真结果分析

完成基于模糊自整定算法的比例积分控制器设计后，对系统的动态响应进行了仿真验证，仿真结果如图 3 所示。

对比两图的响应曲线，系统性能指标见表 2。

由表 2 可知，基于模糊参数自整定 PID 控制系统相比于传统 PID 控制器，系统动态响应曲线响应时间短、超调量小，稳态误差小。通过分析后，自整定比例积分控制系统要比传统 PI 控制优越。



**Figure 3.** Simulation curve of fuzzy parameter self-tuning. (a) Step response curve of traditional PID control; (b) Step response curve of fuzzy PID control

**图 3.** 模糊参数自整定仿真曲线。(a) 常规 PID 控制阶跃响应曲线图；(b) 模糊 PID 控制阶跃响应曲线图

**Table 2.** Comparison between traditional PID and Fuzzy PID

**表 2.** 常规 PID 与模糊 PID 比较

控制算法	超调量/%	调节时间/s	稳定误差/%
常规 PID	37	17	3
模糊 PID	12	12	1

## 4. 结论

当车辆在开阔路段行驶时，对加速和制动踏板的控制易造成驾驶员疲劳，尤其是行驶在高速地段，更能造成严重的交通事故。本文针对该问题，设计了一种实现电动汽车定速巡航的控制系统，可以大大减轻驾驶员的行车负担。该系统基于比例积分控制器，同时利用模糊自整定算法，对比例积分控制器进行实时调节，达到精确跟踪实际车速的目的。

利用 Matlab 和 Carsim 软件联合仿真，可以得到以下结论：所设计的基于模糊自整定的 PI 控制器能够对参数进行实时、有效的调整，可大大提高系统的稳定性、准确性，输出动态响应曲线的超调量明显降低，响应速度更高，最终达到稳态的误差大幅度减小。在系统输入量相同的情况下，自整定比例积分控制系统稳定时间减小 5 秒，超调量降低 25%，稳定误差降低 2%。

## 参考文献

- [1] 郑尧军, 杨洁芳, 陈立旦, 周胜利. 基于车速控制的汽车巡航控制仿真系统[J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(8): 183-185.
- [2] 刘文彬, 黄伟, 刁健, 等. 基于 PID 控制的汽车定速巡航系统设计与试验[J]. 内燃机与动力装置, 2015, 32(4): 29-31.
- [3] 任玥. 智能电动汽车主动循迹与避撞控制研究[D]: [博士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2018.
- [4] 刘猛, 张丽萍. 车辆自适应巡航控制系统的发展和应用前景[J]. 行业综述, 2019(17): 270-271.
- [5] 臧政, 霍炜, 王玉海, 李兴坤, 李圆圆, 黄福闯, 郑莉莉. 定速巡航分层控制策略硬件在环研究[J]. 机械科学与技术, 2019.