

DOI:10.15923/j.cnki.cn22-1382/t.2017.1.09

神经遗传增程式电动汽车控制策略

张袅娜, 李昊林*, 李彦阳, 周长哲

(长春工业大学 电气与电子工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要: 结合恒温控制和功率跟随控制策略, 在增程器开关启动时以动力电池的 SOC 和 APU 的需求功率作为判断条件。采用模糊规则, 依据汽车荷电状态和驾驶员踏板开度建立 APU 需求功率模型。需求功率和功率阈值判断条件与荷电状态和电量阈值判断条件相结合, 实现了不同状态下的增程器开关控制。通过 Cruise 仿真在 FTP75 工况下得出在不同功率阈值、电量阈值情况下电动汽车油耗的数值, 采用神经网络遗传算法实现对燃油消耗率函数值的寻优。

关键词: 增程式电动汽车; 控制策略; 神经网络遗传算法; 燃油消耗率

中图分类号: U 463.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1374(2017)01-0048-05

Neural networks and genetic extended-range control for electric vehicle

ZHANG Niaona, LI Haolin*, LI Yanyang, ZHOU Changzhe

(School of Electrical & Electronic Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: Constant thermostatic control is combined with power follow control to turn on a range extenderswitch with battery SOC and APU required power as judgement conditions. Fuzzy rule is applied to build the APU required power model based on the charge state of vehicles and pedal opening. The required power & power threshold is combined with charge state & charge threshold to control the range extender switch for different operations. Both the power threshold and charge threshold are obtained with Cruise simulation under FTP75 conditions, and Neural Network Genetic Algorithm is used to optimize the fuel consumption function.

Key words: extended-range electric vehicle; control strategy; neural networks and eenetic algorithm; fuel consumption rate.

收稿日期: 2016-09-22

基金项目: 吉林省省级经济结构战略调整引导资金专项项目(2014Y126); 长春市科技局重大科技攻关计划基金资助项目(14KG095)

作者简介: 张袅娜(1972—), 女, 汉族, 吉林长春人, 长春工业大学教授, 博士, 主要从事非线性系统控制、故障诊断方向研究, E-mail: zhangniaona@163.com. * 通讯作者: 李昊林(1993—), 男, 汉族, 吉林白山人, 长春工业大学硕士研究生, 主要从事新能源汽车巡航控制与建模仿真方向研究, E-mail: 842378030@qq.com.

0 引言

目前,电动汽车续航能力不足且充电时间长问题的存在使得电动车行业的发展受到了阻碍,而增程式电动汽车的良好性能可以有效的规避上

述问题,因此,在未来汽车行业的发展过程中,增程式电动汽车得到了各厂家的普遍重视,其中雪佛兰 Vol、宝马 i3REx、凯德拉克 ELR 等型号都是增程式电动车的代表车型。典型的增程式电动汽车的动力结构如图 1 所示。

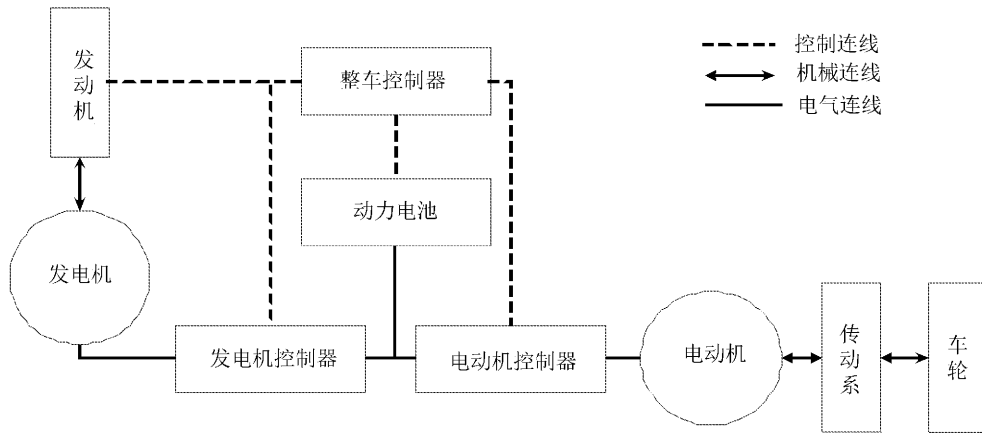


图 1 增程式电动汽车的动力系统结构

其中车辆的动力系统主要包括动力电池、充电装置、驱动电机、电机控制器等^[1-3]。

增程式电动汽车的工作模式可以分为纯电动模式和增程模式两种,当车载动力电池电量充足时提供汽车行驶的全部电能,该阶段电动汽车纯电动模式运行。当动力电池的 SOC 值小于预先设定的电量阈值时,由发动机、电动机及 PWM 整流器构成的 APU 将会开启工作,为动力电池提供电能实现电动汽车的有效续航^[4-5]。

增程式电动汽车的控制策略将发动机脱离驱动车轮的功能,只是实现对动力电池的充电功能,因此,可以将发动机的工作点控制在最优的工作区域。目前行业中常采用增程式电动汽车的控制策略包括恒温式控制策略、功率跟随式控制策略以及结合两种控制优势的恒温+跟随式控制策略,这种控制策略可以有效缓解恒温式控制策略对电池使用寿命的损害,同时又可以规避功率跟随式控制策略对发动机的频繁启动,在一定程度上降低了增程式电动汽车的油耗^[6-9]。

1 基于模糊控制的需求功率预测建模

恒温+跟随式控制策略中需要在电动汽车运行过程中对增程器需求功率进行预测,以便与功率阈值进行对比,从而实现控制增程器的有效开

关。文中采取双输入单输出的模糊控制规则,以动力电池 SOC 和整车的需求功率作为输入,APU 的需求功率作为输出,模糊规则的推理方法采用 Mandani 法。

对其中动力电池荷电状态连续取值范围为:

$$SOC = [SOC_{\min}, SOC_{\max}] = [0.2, 0.9]$$

离散的取值范围为:

$$SOC = \{2, 3, 4, 5, 6, \dots, 9\}$$

对应量化因子 K_1 的计算公式为:

$$K_1 = \frac{9 - 2}{SOC_{\max} - SOC_{\min}} = \frac{7}{0.9 - 0.2} = 10$$

动力电池荷电状态的模糊子集定为 $\{VL, SL, LO, NM, HI, SH, VH\}$,其隶属度函数如图 2 所示。

整车需求功率连续取值范围为:

$$P_{\text{mot}} = [P_{\text{motmin}}, P_{\text{motmax}}] = [-20, 90]$$

离散的取值范围为:

$$P_{\text{mot}} = \{-2, -1, 0, \dots, 9\}$$

对应的量化因子 K_2 的计算公式为:

$$K_2 = \frac{9 - (-2)}{P_{\text{motmax}} - P_{\text{motmin}}} = \frac{11}{90 - (-20)} = 0.1$$

整车需求功率的模糊子集定为 $\{RB, RS, ZE, FS, FM, FB, FVB, FEB\}$,其隶属度函数如图 3 所示。

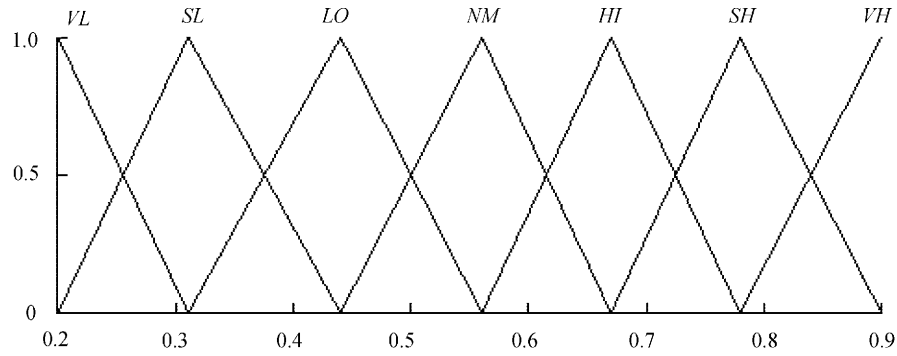


图 2 动力电池荷电状态隶属度函数

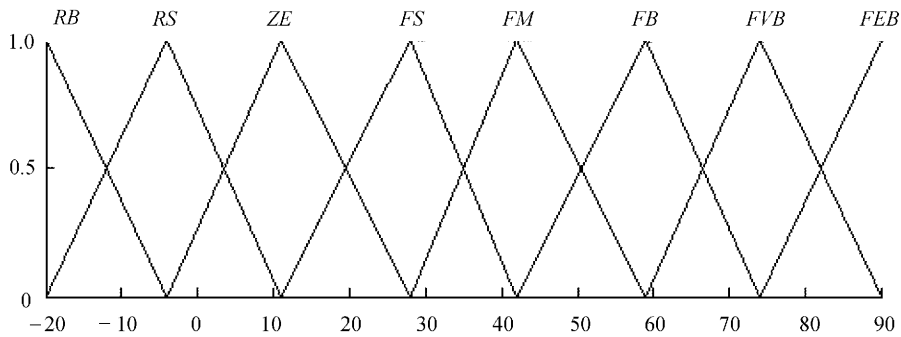


图 3 整车需求功率隶属度函数

增程器需求功率的离散取值范围为：

$$P_{apu} = \{0, 1, \dots, 7\}$$

通过比例因子 K_3 得到连续的输出

$$P_{apu} = [P_{apumin}, P_{apumax}] = [0, 35]$$

对应的比例因子 K_3 的计算公式为：

$$K_3 = \frac{P_{apumax} - P_{apumin}}{7 - 0} = \frac{35 - 0}{7} = 5$$

增程器需求功率的模糊子集定为 $\{ES, VS, SM, MI, BG, VB, EB, VEB\}$ ，其隶属度函数如图 4 所示。

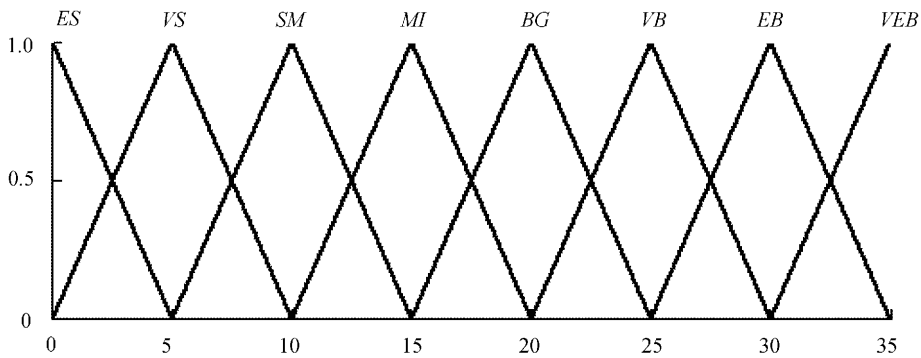


图 4 增程器需求功率隶属度函数

根据增程式电动汽车的仿真实验和实际测试结果制定模糊控制规则，其部分模糊规则如图 5 所示。

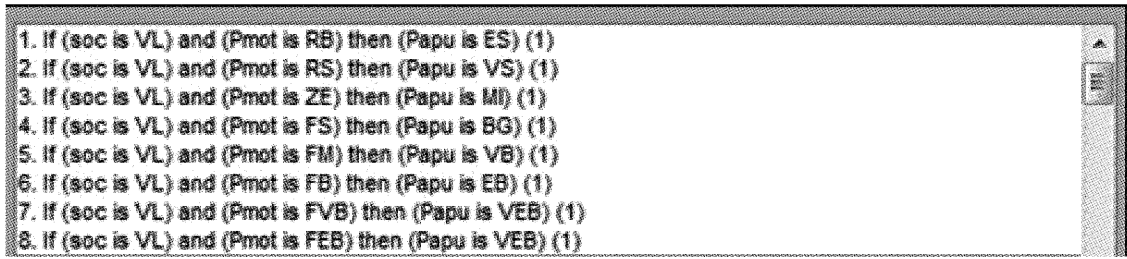


图 5 增程式电动汽车 APU 功率预测模糊规则

将上述 APU 功率预测的模糊算法嵌入到 Matlab/Simulink 中的模糊控制模块, 在 Matlab 的环境下, 利用 Cruise 汽车仿真软件建立增程式电动汽车的模型, 测试的循环工况为国际通常进行油耗测试的美国市区模拟测试循环工况 (FTP75), 设定动力电池的初始荷电状态为 0.6, 采用恒温+功率跟随式控制策略, 增程器的电量阈值设定 SOC 上限值为 90, SOC 下限值为 30, 功率阈值上限值设定为 30, 功率下限值设定为 15, 当动力电池的荷电状态超出电量阈值时, 可以实现增程器开启, 使发动机为动力电池充电, 实现电动汽车的续航行驶, 另外车辆可以准确跟随循环工况, 证明通过模糊规则建立的功率需求预测模块可以准确实现功能, 为增程器功率判断提供参考。

2 基于神经网络遗传算法对电量阈值的优化

电量阈值上限值与下限值的确定直接影响到增程式电动汽车行驶过程中的油耗, 但参数之间存在着复杂的非线性耦合关系, 因此, 通过常规的建模方法很难找出汽车百公里油耗与增程器电量阈值之间的函数关系, 对于这种问题文中通过神经网络结合遗传算法的方式进行最优化求解, 利用神经网络的非线性拟合能力和遗传算法的非线性寻优能力来对百公里油耗的最优值进行计算。

2.1 BP 神经网络训练

通过 Cruise 仿真平台对电量阈值 SOC_{max} 、 SOC_{min} 不同取值情况下的百公里油耗进行测试, 在 FTP75 工况下共测得 32 组数据, 用该组输入输出数据训练 BP 神经网络, 并使得训练后的网络能够拟合非线性函数输出, 保存训练好的神经网络用于计算遗传算法下个体的适应度。根据系统 2 个输入参数和 1 个输出参数的数据特点, 确定 BP 神经网络的结构为 2-3-1, 取函数的 32

组输入输出数据, 从中随机取得 22 组数据作为数据训练网络, 10 组数据测试网络的性能, 网络训练好后用于预测非线性函数的输出, 神经网络在训练完成后预测输出与期望输出的输出图像如图 6 所示。

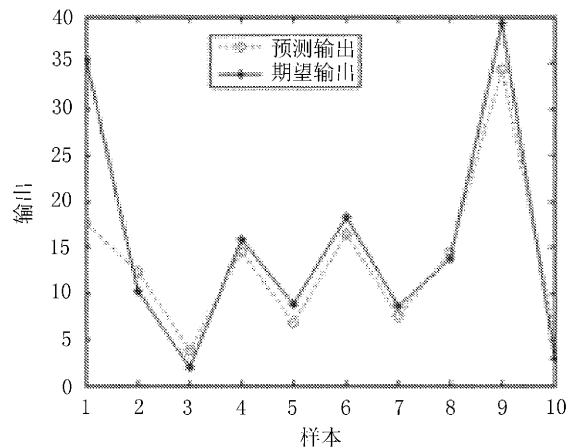


图 6 BP 神经网络预测输出与期望输出的对比

从 BP 神经网络预测结果可以看出, 该 BP 神经网络可以近似准确预测非线性函数输出, 因此, 可以将神经网络预测输出近似看作是函数实际输出。

2.2 基于遗传算法的函数寻优

BP 神经网络对函数进行非线性拟合, 并将训练后的 BP 神经网络预测结果作为个体适应度值, 通过遗传算法的选择、交叉和变异操作寻求函数的全局最优值。在遗传算法中个体采用实数编码方式, 考虑到寻优的函数有 2 个输入参数, 取遗传个体长度为 2, 当遗传算法中适应度越小, 个体筛选结果最优。遗传算法参数设置为: 种群规模为 20, 进化代数数为 100 代, 交叉概率为 0.4, 变异概率取 0.2。在 Matlab 中通过遗传算法的操作之后, 得到优化后的电量上限阈值为 80.011 8, 下限阈值为 28.952 7。

3 优化结果的经济性能仿真验证

增程式电动汽车经济性能的评价指标是考虑到纯电动模式下的续航里程,以及增程模式下的耗油量和排放量。因此在对增程式电动汽车的经济性能仿真时,对电量阈值的设定直接决定了汽车行驶过程中纯电动模式与增程模式的分配比例。纯电动模式所占比例越大,则电动车的耗油量越小,但同时动力电池荷电状态又直接影响到电池的使用寿命和整车性能。因此,文中在保证电动汽车行驶性能的基础上配置电量阈值,以实现百公里油耗最低。通过上述神经-遗传算法优化出的最优电量阈值 SOC_{max} 为 80.012, SOC_{min} 为 28.953,通过 Matlab 与 Cruise 的联合仿真在 FTP75 工况下由不同算法优化出不同阈值情况下的百公里油耗见表 1。

表 1 不同算法优化出不同阈值情况下的百公里油耗

FTP75 工况	百公里油耗/(L/100 km)
遗传算法参数优化	2.776
神经+遗传算法参数优化	2.610

4 结 语

在满足增程式电动汽车的整车性能的基础上,以提高整车经济性为目的建立控制策略,首先在 Matlab 中利用模糊规则建立增程器需求功率预测模型,采用恒温+功率跟随式控制策略通过判断增程器需求功率、动力电池的荷电状态与设

定功率阈值及电量阈值的比较决定增程器开关,此外通过神经-遗传算法来对阈值进行优化,实现燃油消耗性能最优的组最优解,通过 Cruise 与 Matlab 建立联合仿真模型来验证该种控制方法的控制性能,结果表明,对比于某论文中采取的遗传算法优化结果,该方法实现了增程式电动汽车百公里油耗的降低。

参考文献:

- [1] 申彩英,李孟柯,胥帆.增程式电动车动力系统参数匹配与仿真研究[J].汽车实用技术,2013(9):20-25.
- [2] 于浩.串联式混合动力汽车辅助动力单元及其控制系统仿真研究[M].北京:北京理工大学出版社,2006:63-71.
- [3] 申彩英.串联混合动力汽车能量优化管理策略研究[D].天津:天津大学,2010.
- [4] 朱正礼.并联式混合动力轿车动力系统性能匹配与优化研究[D].上海:上海交通大学,2004.
- [5] 麻友良,陈全世.混合动力电动汽车的发展[J].公路交通科技,2001,18(1):78-80.
- [6] 周苏,牛继高,陈凤祥,等.增程式电动汽车动力系统设计及仿真研究[J].汽车工程,2011,33(11):924-929.
- [7] 张洪延,董炜江.增程式电动汽车的设计与控制[J].汽车工程学报,2014,4(5):342-352.
- [8] 宋柯,章桐.增程式纯电驱动汽车的动力系统研究[J].汽车技术,2011,7:13-14.
- [9] 程方晓,李腾飞,王旭.电动汽车电池建模及放电管理研究[J].长春工业大学学报,2016,37(2):159-164.