

新能源汽车整车控制系统中能量管理策略的多目标优化

孟继申

辽宁科技学院机械工程学院 辽宁本溪 117000

摘要: 随着新能源汽车产业的快速发展,整车控制系统中的能量管理策略成为提升续航、降低能耗的关键环节。本文针对能量管理中的多目标优化问题,结合经济性、动力性与电池健康等因素,构建多目标优化模型,并基于模型预测控制方法设计控制策略。通过仿真验证表明,该策略可有效提升整车性能,具有较高的实际应用价值。

关键词: 新能源汽车;整车控制系统;能量管理;多目标优化;模型预测控制

引言

随着环境问题和能源危机日益严峻,新能源汽车作为节能减排的有效手段得到了国家政策的大力支持。在新能源汽车技术体系中,整车控制系统(Vehicle Control Unit, VCU)作为关键核心部件,承担着整合各系统信息、协调各控制模块、提升整车性能的作用。而其中的能量管理策略则直接关系到车辆的续航能力、经济性与动力性,是整车性能优化的关键环节。

目前主流能量管理策略主要包括规则式控制、模糊控制、动态规划(DP)与模型预测控制(MPC)等方式,不同方法各有优劣。单一优化目标(如最小能耗或最优动力)难以兼顾用户实际驾驶需求。因此,开展基于整车控制系统的能量管理多目标优化研究具有重要工程与经济价值。本文围绕能量管理的多目标优化问题,从理论基础、策略设计与案例验证三个方面展开分析,旨在为新能源汽车控制系统提供实用性更强的优化方向。

1 能量管理的多目标优化需求分析

1.1 多目标优化在新能源汽车中的必要性

新能源汽车尤其是插电式混合动力汽车(PHEV)和增程式电动车(EREV)普遍面临能耗与动力之间的平衡问题。在实际运行中,单纯追求最低电耗可能导致动力响应滞后,影响用户体验;反之,如果优先保障动力性能,又容易增加油耗或电池负担。因此,从多目标优化角度出发,综合考虑经济性(油耗、电耗)、动力性(加速性能)、以及电池寿命(电池SOC、充放电深度)成为趋势。

例如,在城市拥堵路况中,驾驶频繁启停,系统应优先调度电驱动系统以降低油耗;而在高速巡航阶段,则应优

先考虑发动机工作效率,保持电池在高效区间运作。这类策略要求整车控制系统具备动态感知与判断能力,通过多目标模型实现综合权衡,而非依据静态规则进行控制。

1.2 多目标优化指标设定与权重分配

在新能源汽车整车控制系统中实施多目标优化策略,需要首先明确哪些性能指标应作为优化目标。通常情况下,主要目标可以划分为以下三类:

(1) 能量效率类指标,例如单位里程能耗、电池电量消耗、等效燃油消耗(Equivalent Fuel Consumption, EFC)等,反映整车运行的经济性。

(2) 动力响应类指标,例如加速响应时间、扭矩输出平稳性,用于评估车辆的驾驶性能。

(3) 电池健康类指标,包括电池荷电状态(State of Charge, SOC)的波动范围、电流负载变化率、电池温升等,影响动力电池的使用寿命与安全性。

为实现综合性能最优,通常将这些目标函数进行加权求和,构建统一的目标函数。该优化函数可以表示为:

$$F = w_1 \cdot f_1 + w_2 \cdot f_2 + w_3 \cdot f_3$$

其中:

F 表示综合优化目标函数;

f_1 为能量效率目标函数,如单位里程 EFC;

f_2 为动力响应性能目标函数;

f_3 为电池健康维护目标函数;

w_1 、 w_2 、 w_3 为对应目标的权重系数,满足:

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

在不同使用场景下,权重的分配应进行调整。例如:

城市通勤工况下,为追求低能耗, w_1 可设为 0.6, w_2 设

为 0.2, w_3 设为 0.2;

高速巡航或山区道路, 则需提高动力响应优先级, 例如设为 $w_1=0.3$, $w_2=0.5$, $w_3=0.2$;

面向电池寿命管理的长寿命优化模式, 可设为 $w_1=0.3$, $w_2=0.2$, $w_3=0.5$ 。

此外, 还可以引入惩罚函数机制, 对目标函数进行修正, 比如当 SOC 波动超出阈值范围或发动机频繁启停时, 适当提高惩罚项值, 从而促使优化结果更贴近实际控制需求。实际应用中, 可基于典型工况数据进行多轮仿真分析, 逐步确定最优权重组合。

2 能量管理多目标优化策略设计

2.1 基于模型预测控制的优化方法

模型预测控制 (MPC) 具有前瞻性强、可在线滚动优化的优点, 适合动态复杂系统。本文采用 MPC 设计多目标优化框架, 以简化二阶模型构建车辆动力学过程。假设当前控制时域为 5 秒, 采样周期为 0.1 秒, 系统根据路况信息预测未来速度变化趋势, 并结合驾驶员意图 (加速、刹车、匀速) 进行电机与发动机功率的动态分配。

在目标函数设计上, 本文采用等效燃料消耗、动力响应延迟、电池荷电状态三个目标函数, 约束条件包括电池放电深度不超过 80%, 发动机不工作在怠速区间, 整车总功率满足需求功率 $\pm 5\%$ 的范围。

2.2 案例建模与仿真验证

以某款插电式混合动力 SUV 为例 (动力电池容量 18kWh, 发动机最大功率 75kW, 电机峰值功率 60kW), 采集某城市早高峰工况数据, 构建模型进行多目标 MPC 策

略仿真。

仿真结果表明, 相较于传统基于经验规则的能量管理策略, MPC 方法在同样路况下实现了 8.4% 的综合能耗降低, 同时电池 SOC 变化更加平缓, 温升不超过 4℃, 动力响应延迟时间减少约 13%。这说明基于预测的优化策略在整车控制系统中具有良好的推广价值。

3 结论

本文围绕新能源汽车整车控制系统中的能量管理问题, 从多目标优化的角度出发, 分析了当前策略存在的局限, 明确了能量管理中应考虑的多维目标与权衡方式。在此基础上, 提出基于 MPC 的动态优化框架, 并通过仿真验证其在实际复杂工况中的优势表现。

未来研究应进一步结合 V2X 通讯、高精地图与人工智能算法, 提升整车控制系统的智能化水平, 建立更加个性化、可学习、自适应的能量管理机制, 实现真正意义上的“因人而异”与“因路而异”的控制策略。同时, 还需在车规级硬件平台上进行算法嵌入与实时性测试, 以验证其工业化可行性。

参考文献:

- [1] 李文涛, 王超, 齐恩新. 新能源汽车电池能量管理策略研究 [J]. 汽车测试报告, 2024,(21):5-7.
- [2] 唐培余, 屈硕硕. 新能源汽车能量管理系统的动态优化研究 [J]. 重型汽车, 2024,(01):13-14.
- [3] 宋昊. 新能源电动汽车能量管理系统研究 [D]. 山东理工大学, 2022. DOI:10.27276/d.cnki.gsdgc.2022.000728.