

基于深度强化学习卡尔曼滤波锂离子电池 SOC 估计

卢绪兵, 彭学鑫

临沂临工新能源科技有限公司 山东临沂

【摘要】随着全世界各国的汽车制造业快速发展和各国排放标准要求提高, 电动汽车发展快速崛起, 引起了世界上各个国家政府和环保组织的高度重视。我国作为汽车大国, 我国针对电动汽车发展也高度关注。续航时间与行驶安全是新型汽车性能研究的主要方向。电动汽车取代传统汽车, 关键点在于提高车用锂电池的性能。在锂电池性能研究方面, 锂电池的 SOC 估计的准确度是锂电池的研究中一个重要内容。准确估计锂电池 SOC 能提升锂电池的使用时间, 提升电池的充放电性能。

【关键词】锂电池; 汽车性能; SOC 估计

【收稿日期】2024 年 11 月 23 日

【出刊日期】2024 年 12 月 25 日

【DOI】10.12208/j.zea.20240014

Lithium-ion battery SOC estimation based on deep reinforcement learning Kalman filter

Xubing Lu, Xuexin Peng

Linyi Lingong new energy Technology Co., LTD, Linyi, Shandong

【Abstract】 With the rapid development of the automobile manufacturing industry in various countries around the world and the improvement of emission standards in various countries, the rapid rise of the development of electric vehicles has aroused the great attention of governments and environmental protection organizations in the world. As an automobile country, China is also highly concerned about the development of electric vehicles. Endurance and driving safety are the main research directions of new vehicle performance. Electric vehicles replace traditional cars, the key point is to improve the performance of lithium batteries for vehicles. In the research of lithium battery performance, the accuracy of SOC estimation of lithium battery is an important content in the research of lithium battery. Accurate estimation of lithium battery SOC can improve the service life of lithium batteries and improve the charge and discharge performance of batteries.

【Keywords】 Lithium battery; Vehicle performance; SOC estimation

1 绪论

我国的经济近年来发展迅速, 人们的外出次数增加, 汽车的需求量渐渐提高。汽车的使用量与生产量的日益增加, 我国实行了多种政策刺激新能源汽车的研究和发展。新能源汽车经过近年来的发展研发出了三种类型。混合动力汽车是传统汽车配备电动机减少能源的使用, 是对传统汽车的升级, 但不能从根本上解决问题。燃料电池汽车是清洁能源之间进行化学反应, 转换为电能, 供汽车行驶。该类型汽车对环境无污染, 但汽车的安全性能和续航能力极差, 而且技术要求极高。所以发展与研究纯电动汽车是汽车企业的主要目标。纯电动汽车虽然比燃料电池汽车安全性能和续航能力强上许多, 但是

比起传统汽车的汽车动力和续航方面有所不足。提高车用锂电池的性能就是提高纯电动汽车的动力和续航能力的关键。

2 锂电池 SOC 估计方法研究现状

锂电池的 SOC 无法通过仪器测量, 只能用估算方法估算, 所以想要获取准确的 SOC 是极其困难的。锂电池的 SOC 准确估计能提升工作性能, 提升锂电池的使用次数。估计方法是实现准确估计锂电池的 SOC 的基础, 所以选取有效的估计方法是非常重要的。SOC 估计方法有放电试验法和开路电压法, 电流积分法, 卡尔曼滤波法, 电池神经网络估算法^[1]。

放电试验法的原理是将锂电池的电池充满电后, 静置一个小时, 待电池稳定后, 以恒定的小倍速率

电流进行持续放电,直到电池放电完全。电池的 SOC 可以用放电时间与电流的乘积来表达。虽然该实验方法简单直接,不过测量过程要求严格,测量过程不可以带负载进行测量,测量时间长。

开路电压法是每次测量前都将锂电池静置 1 个小时以上,使各项参数稳定,尽可能使测量值准确,每次实验放电减少电池的 SOC 的 10%,测量电池两端的开路电压。这样就可以得到相应的电压和相应的 SOC,对比已知的曲线图可以得到准确的 OCV-SOC 曲线图^[2]。开路电压法实验原理简单直接,操作实现也比较简单。不过开路电压法缺点却很多,首先锂离子电池的电压受电流、温度等电池内部因素影响非常大,所以测量锂离子电池前得静置很长一段时间,才能使锂离子电池的电压处于相对稳定状态,否则测量的锂离子电池的数据不准确。

电流积分法又可以称为安时积分法,安时积分法可以不考虑电池内部的化学反应和工作原理,根据锂离子电池的外部特性,比如电流,时间等等,来计算锂离子电池的数据,还会加上补偿系数,所以对于计算电池放出的电量有一定的准确度,从而对估算锂离子电池的荷电状态有一定准确性,不过缺乏参照点,电池的 SOC 初始值难以计算,所以锂离子电池的初始值难以获得一个精确的数值,而且无法预测锂离子电池因为自放电而导致的电池容量衰减。除此之外,如果实验时电流的采集精度不高,那么给定的电池的 SOC 初始值就存在一定的误差,而且安时积分法的产生误差时具有累积性,会随着实验时间的增加而逐渐增大,从而对锂离子电池的 SOC 估计准确性影响比较大,而且由于安时积分法只是从锂离子电池的电池外特性分析得出的锂离子电池 SOC,属于开环的测量,可能存在多环节误差,这使得锂离子电池 SOC 估计的结果误差比较大^[3]。

卡尔曼滤波法也叫线性二次估计,是根据测量的各个锂离子电池的测量值在不同时域状态空间中联合分布,对锂离子电池的状态估计 SOC 进行最优估计。卡尔曼滤波法是将电池的数据作为观测变量,将估计的 SOC 作为状态变量,在锂电池的空间模型的基础上,修正和更新电池的 SOC,以得到更加准确的数值。换句简单的表达就是在已知的锂电池的初始状态,在空间模型的基础上,进过估算算法推

导后,预测下一个时间的电池的 SOC。由于考虑了不同域状态空间中联合分布,减少了噪声对锂离子电池观测信号的影响,使结果更加准确。卡尔曼滤波法是运用计算机软件对锂离子电池的状态数据进行运算,预测锂离子电池的荷电状态(SOC),线性系统和非线性系统都可以使用,使用范围广泛^[4]。该 SOC 估算方法是建立在电池的空间模型上,需要准确的电池数据和初始值,受到其他因素的影响比较大,常常结合其他的估算方法来提高准确率。

电池神经网络估算法是需要大量实验获取足够的锂电池数据比如电池电压,电流,温度等等;数据通过神经网络训练,再通过系统模拟电池的动态,可以反映数据变化来估计 SOC,适用于各种类型的锂电池,还可以反映电池的工况动态,不需要电池模型。该估计应用范围广泛,但实际操作复杂^[5]。而且为了准确的估计锂电池的电荷状态,需要大量的锂电池的实验数据进行训练和学习。因此该估计方法受到神经网络的训练方式和数据误差的影响比较大。

3 基于无迹卡尔曼波的 SOC 估计

卡尔曼滤波是一种优越的估算方法,可以应用于锂电池的 SOC 估计,宇宙飞船的行程估计等等领域。经过多年的研究发展,卡尔曼滤波算法经过改进出现了 EKF 算法和 UKF 算法;可以应用于更多领域,估算更加准确。使用系统的工具箱结合电池数据来辨识电池模型的离线参数,为估计算法估计电池的 SOC 打下基础^[6]。

卡尔曼波算法是一种自回归数据优化算法。卡尔曼波算法是以系统的模型为基础,建立状态方程。该系统的已知输入控制变量以及其他输入量建立观测方程,以此更新状态方程,对系统的状态进行最优估计^[7]。具体的推导过程如下:

假设使用离散线性动态系统的模型如下:

$$X_k = F_k X_{k-1} + B_k u_k + W_k \quad (3.1)$$

公式(3.1)中 X_{k-1} 为k-1时刻的已知变量, F_k 为变量 X_{k-1} 的变换矩阵, u_k 为k时刻已知控制量, B_k 为控制量 u_k 的变换矩阵, W_k 为过程噪声,可以假设为不相干的噪声。

系统的观测方程为:

$$Z_k = C X_{k-1} + D u_{k-1} + V_k \quad (3.2)$$

由公式 (3.2) 中 z_k 为 k 时刻的观测更新值, C 表示变量 x_{k-1} 的更新矩阵, v_k 为观测噪声, 可以假设为不相关的噪声。

初始状态和每个步骤都被认为相互独立的。首先设定滤波的初始条件为

$$x_0 = E[x], S_0 = var(x) \quad (3.3)$$

卡尔曼波算法主要包括两个过程分别是预测过程和测量更新过程, 说白了就是利用前一步的状态方程预测下一步的状态方程, 然后利用滤波器观测的数据更新状态方程式, 把两个过程结合得到一个准确的状态方程式。首先我们要做的是状态方程的预测过程, 假设当前是 k 时刻的系统状态, 根据系统模型上一步的状态方程, 预测的状态方程为:

$$P_{k|k-1} = FE[(X_k - \hat{X}_{k|k-1}) \times (X_k - \hat{X}_{k|k-1})^T] \times F^T + FE[(X_k - \hat{X}_{k|k-1})W_k^T] + E[W_k(X_k - \hat{X}_{k|k-1})^T] F^T + E[W_k W_k^T] \quad (3.8)$$

由于状态误差和过程噪声是不相关的, 公式 (3.8) 简化得

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \quad (3.9)$$

以上就是预测协方差的推导过程。

预测的状态估计也可以称为推理的状态估计, 不包括当前时间刻的观测数据, 应该结合当前的时间刻的观测矩阵 H_k 修正和改进状态估计。

卡尔曼波采用数据或者状态方程式和观测方程式都是线性的, 不能应用于锂电池的 SOC 估计^[8]。EKF 算法就是以卡尔曼滤波原理为基础进行改进的, 使 KF 算法能应用于锂电池的 SOC 估计。扩展卡尔曼波算法将锂电池系统的非线性部分进行泰勒展开, 通过求导的方式使变量方程转变为线性方程, 再采用 KF 算法进行下一步估算。

4 实验仿真与分析

根据上文卡尔曼算法对锂电池 SOC 估计推导过程, 我们在 MATLAB 上编写程序进行仿真。本章就是通过仿真的方式来验证无迹卡尔曼波算法对锂电池的 SOC 估计有效性。本文所使用的锂离子电池是 48 号锂离子电池, 该电池的标准容量为 4735mAh, 充满电池的电压即额定电压为 4.190V, 截止电压即为 3.259V。由于卡尔曼波对自身系统的噪声干扰难以处理, 所以测定的噪声都是不相干的高斯白噪声。

$$\hat{X}_{k|k-1} = F_k \hat{X}_{k-1|k-1} + B_k u_k + W_k b \quad (3.4)$$

预测的误差的协方差为

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + V_k \quad (3.5)$$

下面推导公式, 预测值 $X_{k|k-1}$ 的方差由下式给出

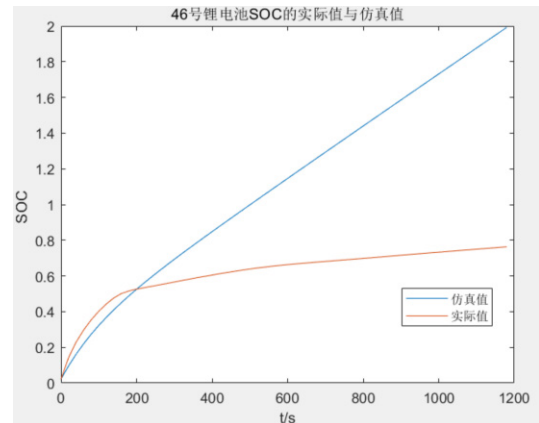
$$P_{k|k-1} = [(X_k - \hat{X}_{k|k-1})(X_k - \hat{X}_{k|k-1})^T] \quad (3.6)$$

并取公式 (3) 和公式 (1) 之间的差

$$X_k - \hat{X}_{k|k-1} = F(X_k - \hat{X}_{k|k-1}) + W_k \quad (3.7)$$

由公式 (3.6) 和公式 (3.7) 可以得

根据锂电池在工作状态下的电池数据, 采用安时积分法与 UKF 算法结合的方式来表示锂离子电池的 SOC 实际值, 与在 MATLAB 上仿真获得 SOC 仿真值进行比较, 进行验证 UKF 算法对锂电池 SOC 估算的优越性。



综合整个仿真过程和仿真结果分析, 在锂电池 50%SOC 以内, 使用无迹卡尔曼波对锂离子电池的 SOC 估计有很高的精确度; 而且对锂离子电池的 SOC 估计稳定性很好, 仿真过程不会出现失真现象; 对仿真系统误差修正能力很强; 对锂离子电池的 SOC 估计有很强的鲁棒性。

结论

近年来, 我国电动汽车的发展迅猛。电动汽车相比于传统汽车动力方面有所不足。随着锂电池的发展, 电动汽车这方面的缺陷逐渐改善。为了提升

锂电池的电池性能和安全性能, 需要能够准确的估计锂电池的 SOC。UKF 算法在对锂电池的 SOC 估计中有巨大优势, 能够准确地估计锂电池的 SOC, 而且迭代次数少。

参考文献

- [1] 杨婷婷. 电池管理系统的概况和发展探讨[J]. 科技经济导刊, 2020, 28(32): 27+26.
- [2] 杜弘. 电动汽车电池当前现状以及发展趋势探析[J]. 时代汽车, 2017(20): 45-46.
- [3] 张平. 基于新能源汽车动力电池管理系统设计的分析[J]. 电子世界, 2020(20): 184-185.
- [4] 基于深度强化学习的蜂窝网资源分配算法[J]. 廖晓闽; 严少虎; 石嘉; 谭震宇; 赵钟灵; 李赞. 通信学报, 2019(02)
- [5] 基于深度学习卷积神经网络的地震波形自动分类与识别[J]. 赵明; 陈石; Dave Yuen. 地球物理学报, 2019(01)
- [6] 基于 STF&LM 算法的串联锂离子电池组不一致性辨识与状态估计[J]. 葛云龙; 陈自强. 中国电机工程学报, 2018(14)
- [7] 基于自适应平方根无迹卡尔曼滤波算法的锂离子电池 SOC 和 SOH 估计[J]. 程泽; 杨磊; 孙幸勉. 中国电机工程学报, 2018(08)
- [8] 基于模型的锂离子电池 SOC 及 SOH 估计方法研究进展[J]. 沈佳妮; 贺益君; 马紫峰. 化工学报, 2018(01)

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS