



Estimation hybride des cellules lithium-ion dites à « chimie plate » : allier machine learning et automatique

Stage de fin d'études de Master 2 ou d'école d'ingénieurs

Encadrants

Romain Postoyan (CNRS, CRAN, Nancy) : romain.postoyan@univ-lorraine.fr

Stéphane Raël (Université de Lorraine, GREEN, Nancy) : stephane.rael@univ-lorraine.fr

Pierre-Olivier Lamare (SAFT, Bordeaux) : pierre-olivier.lamare@saft.com

Daniel Monier-Reyes (SAFT, Bordeaux) : daniel.monierreyes@saft.com

Lieu

Ce stage se déroulera au CRAN, UMR CNRS 7039 : 2 avenue de la forêt de Haye, 54516 Vandœuvre-lès-Nancy

Durée

5 à 6 mois, avec un début prévu entre le 1^{er} février et le 31 mars 2024

Financement

60% du SMIC soit environ 924€/mois brut (donnée 2022)

Mots-clefs

Automatique, machine learning, batteries, modélisation électro-chimique, observateur, estimation, Matlab-Simulink

Contexte

La demande économique mondiale en accumulateurs électrochimiques est de plus en plus importante de nos jours. Cet essor est principalement dû à l'émergence des véhicules hybrides et électriques (Hybrid-Electric Vehicle, Plug-in Hybrid Electric Vehicle et Battery-Electric Vehicle) d'une part, et au marché de stockage de l'énergie en lien avec les énergies renouvelables et la gestion des réseaux électriques d'autre part.

SAFT est particulièrement présent dans ce contexte en tant que précurseur du déploiement de batteries lithium. SAFT produit entre autres, des batteries lithium-ion à Poitiers, Nersac et Bordeaux. Ce stage, financé par SAFT, se déroulera au sein du CRAN à Vandœuvre-lès-Nancy.

Description du sujet

Les batteries électrochimiques sont omniprésentes dans notre quotidien, que ce soit dans nos ordinateurs que nos téléphones portables. Parmi les différentes technologies disponibles, les accumulateurs lithium-ion offrent de nombreux avantages, en termes d'énergie massique, de puissance massique et de leur faible autodécharge notamment. Ils ne présentent en outre pas d'effet mémoire. En contrepartie, ce type de batteries nécessite un système de gestion (BMS) pour des raisons de sécurité, mais également pour prévenir tout vieillissement prématuré.

Le BMS joue un rôle clé sur les performances et la durée de vie de la batterie, et il est essentiel d'alimenter le BMS avec des données précises sur l'état actuel de la batterie. Le problème est que peu d'informations sur les variables de la batterie sont directement accessibles par des mesures, généralement le courant, la tension et éventuellement la température. Pour accéder aux états de la batterie (état de charge, état de santé, états de fonction), un modèle mathématique de la dynamique de la batterie est généralement développé, sur la base duquel un estimateur est conçu pour estimer les variables internes non-mesurables. Différentes approches ont été développées à cette fin, en particulier celles mises au point par le CRAN, le GREEN et SAFT, basées sur des modèles électrochimiques locaux et mettant en œuvre un observateur non-linéaire [1,2,3].

La plupart de ces approches sont cependant peu adaptées aux technologies de cellules lithium-ion dont la courbe de tension de circuit ouvert (OCV) en fonction de l'état de charge est plate (courbe d'OCV quasi constante), et qui posent par conséquent un problème majeur pour l'observabilité du modèle induit [4,5]. On parle de « chimie plate », technologie qui peut être amenée à jouer un rôle important dans les véhicules électriques à l'avenir. Nous avons récemment proposé un estimateur pour ce type de batterie, néanmoins son bon fonctionnement n'est établi que sous certaines conditions limitantes. En contrepartie, les techniques d'estimation du machine learning reposant sur des réseaux de neurones offrent de

nouvelles perspectives pour l'estimation de telles batteries. Cependant ces approches ne fournissent malheureusement pas de garanties de convergence.

L'objectif de ce stage est de tirer parti de ces deux approches, c'est-à-dire de combiner une méthode basée machine learning reposant sur des RNN ("Recurrent Neural Networks") avec une méthode basée sur des observateurs pour lesquelles les conditions d'observabilité sont restreintes. Une des questions clef sera quand et comment basculer d'un estimateur à l'autre. Nous nous inspirerons pour cela des travaux récemment développés au CRAN dans un cadre similaire [6].

Plan de l'étude

- Revue bibliographique sur l'estimation de l'état de charge des cellules lithium-ion à OCV plates.
- Prise en main d'un observateur d'état et implémentation sous Matlab-Simulink.
- Développement d'un réseau de neurones récurrent pour l'estimation de la SOC.
- Fusion des deux estimateurs et validation sur des données expérimentales.

Références bibliographiques

- [1] P. Blondel, R. Postoyan, S. Raël, S. Benjamin, P. Desprez. Nonlinear circle-criterion observer design for an electrochemical battery model. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 27(2), 889-897, 2018.
- [2] P. Blondel, R. Postoyan, S. Raël, S. Benjamin, P. Desprez. Observer design for an electrochemical model of lithium-ion batteries based on a polytopic approach. *20th IFAC World Congress*, 50 (1) 8127-8132, Toulouse, 2017.
- [3] E. Planté, R. Postoyan, S. Raël, Y. Jebroun, S. Benjamin, D. Monier-Reyes. Multiple active material Lithium-ion batteries: finite-dimensional modeling and constrained state estimation. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, à paraître, 2022.
- [4] S. Torai, et al., *Journal of Power Sources* 306 (2016), <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.11.070>
- [5] M. Bercebar, et al., *Energy* 103 (2016), <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.163>
- [6] E. Petri, R. Postoyan, D. Astolfi, D. Netic, V. Andrieu. Hybrid multi-observer for improving estimation performance. *arXiv preprint arXiv:2303.06936*, 2023.



Profil recherché

Il s'agit d'un stage de fin d'études de Master ou d'école d'ingénieurs pour un(e) étudiant(e) en automatique, mathématiques appliquées ou en génie électrique. Compétences en Matlab souhaitées et bonne maîtrise de l'anglais attendue.

Ne pas hésiter à contacter Romain Postoyan (romain.postoyan@univ-lorraine.fr), Stéphane Raël (stephane.rael@univ-lorraine.fr), Pierre-Olivier Lamare (pierre-olivier.lamare@saft.com) et Daniel Monier-Reyes (daniel.monierreyes@saft.com) pour plus d'informations.