



AVIS DE SOUTENANCE D'UNE THESE DE DOCTORAT

Le Doyen de la Faculté des Sciences a le plaisir d'informer le public qu'une soutenance de
thèse de Doctorat en

«Physique et Applications»

aura lieu le 07/06/2024 à la Faculté des Sciences, Kénitra

La Thèse sera présentée par Mr FADLAOUI ELMAHDI

Sous le thème :

**Combined Recurrent Neural Network and Adaptive Kalman Filter Method for State of
Charge Estimation of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Titre	Etablissement
ECHCHELH ADIL	Président	Faculté des Sciences, Kénitra
EZ-ZAHRAOUI HAMID	Rapporteur	Faculté des Sciences, Rabat
XIN-SHE YANG	Rapporteur	Middlesex University, London
GOUGHRI MOHAMED	Rapporteur	Faculté des Sciences, Kénitra
LAASSIRI JALAL	Examineur	Faculté des Sciences, Kénitra
RAIDOU ABDERRAHIM	Examineur	Faculté des Sciences, Kénitra
ELAMRAOUI YOUSSEF	Examineur	Faculté des Sciences, Rabat
BENYOUSSEF ABDELILAH	Invité	Académie Hassan II des Sciences et Techniques
MASAIF NOUREDDINE	Directeur de thèse	Faculté des Sciences, Kénitra



Nom et Prénom : FADLAOUI ELMAHDI
Date de soutenance :07/06/2024
Directeur de Thèse : MASAIF NOUREDDINE

Sujet de thèse :

Combined Recurrent Neural Network and Adaptive Kalman Filter Method for State of Charge Estimation of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles

Résumé:

Une estimation précise et robuste de l'état de charge (SOC) est considérée comme une tâche essentielle dans les systèmes de gestion de batterie (BMS) pour garantir la sécurité et améliorer les performances des batteries lithium-ion (LIBs) dans les véhicules électriques. Les méthodes basées sur des modèles impliquent souvent des modèles mathématiques complexes, cela nécessite donc une connaissance précise des paramètres interne de la batterie tel que la tension en circuit ouvert (OCV) et la résistance et la capacitance à chaque étape du SOC, et toute incertitude ou variation peut avoir un impact sur la précision de l'estimation. aussi, les méthodes d'apprentissage profond nécessitent souvent de grandes quantités de données pour identifier les paramètres des réseaux neuronaux, et leurs performances peuvent se dégrader lorsqu'elles sont appliquées à différents scénarios en dehors des ensembles de données d'entraînement. Pour résoudre ces problèmes, cette thèse propose un réseau de neurones récurrents combiné avec une méthode de filtre de Kalman adaptatif (RNN-AKF). Premièrement, le réseau des neurones récurrents (RNN) est utilisé pour pré-estimer le SOC en fonction des variables mesurées (courant, tension et température). Ensuite, le filtre de Kalman adaptatif (AKF) est appliqué pour réduire l'erreur du SOC pré-estimé. Enfin, le SOC estimé précis et stable est obtenu. La méthode est validée à l'aide d'un ensemble de données de batterie Li-ion Turnigy graphène 5000 mAh 65C, où le cycle de conduite UDDS à 25 0°C, 10°C, 25°C, 40°C est utilisé pour l'entraînement, et le cycle de conduite LA92, HWFET et US06 à (0°C, 10°C, 25°C, 40°C) sont utilisés pour les tests. Les résultats expérimentaux ont montré que la méthode proposée peut améliorer considérablement la précision de l'estimation du SOC par rapport aux méthodes $2^{\text{ème}}$ ordre du modèle de circuit équivalent avec filtre Kalman étendu (ECM-EKF) et RNN seule. La méthode RNN-AKF démontre une grande précision, une excellente généralisation et une capacité de convergence robuste pour corriger les erreurs initiales dans l'estimation de l'état de charge des batteries lithium-ion dans les véhicules électriques avec moins de complexité.

Abstract:

Accurate and robust state of charge (SOC) estimation is considered a critical task in battery management systems (BMS) to ensure the safety and improve the performance of lithium-ion batteries (LIBs) in electric vehicles. The model-based methods often involve complex mathematical models, therefore, this needs a precise knowledge of the internal battery parameters such as open-circuit voltage (OCV) and internal resistance and capacitance at each step of SOC, and any uncertainties or variations can impact the estimation accuracy. Also, deep learning methods often require large amounts of data for tuning the parameters of neural networks, and their performance may degrade when applied to different scenarios outside the training datasets. To solve these problems, this thesis proposes a combined recurrent neural network with an adaptive Kalman filter method (RNN-AKF). Firstly, the recurrent neural network (RNN) is used to pre-estimate the SOC based on the measured variables (Current, Voltage, and temperature), and then the adaptive Kalman filter (AKF) is applied to reduce the error of the preestimated SOC, finally, the accurate and stable estimated SOC is obtained. The method is validated using turnigy graphene 5000mAh 65C Li-ion battery dataset, where the UDDS drive cycle at 25°C is used for training, and LA92, HWFET, and US06 drive cycles at (0°C, 10°C, 25°C, 40°C) are used for testing. Based on the experimental results, it is evident that the proposed method achieves a significant enhancement in SOC estimation accuracy when compared with the 2^{nd} equivalent-circuit model with extended kalman filter (ECM-EKF) and solo RNN methods. The RNN-AKF method demonstrates high accuracy, excellent generalization, and robust convergence ability to address initial errors in estimating the state of charge for lithium-ion batteries in electric vehicles with low complexity