



HAL
open science

Stratégies pour Optimiser l'Éco-Efficacité des Systèmes d'Intelligence Artificielle

Moez Krichen

► **To cite this version:**

Moez Krichen. Stratégies pour Optimiser l'Éco-Efficacité des Systèmes d'Intelligence Artificielle. 2024.
hal-04447805

HAL Id: hal-04447805

<https://hal.science/hal-04447805>

Preprint submitted on 8 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Stratégies pour Optimiser l'Éco-Efficacité des Systèmes d'Intelligence Artificielle

Moez Krichen

Laboratoire ReDCAD, Université de Sfax, Tunisie
moez.krichen@redcad.org

Résumé. Face à l'augmentation des calculs et à la popularité croissante des applications d'intelligence artificielle (IA), l'efficacité énergétique devient une préoccupation centrale. Ce document examine diverses stratégies visant à optimiser la consommation d'énergie dans les systèmes d'IA, y compris l'optimisation des modèles, l'accélération matérielle, l'optimisation à l'exécution, la conception basse consommation, la formation sensible à l'énergie, l'optimisation au niveau système, et la surveillance et l'analyse de l'énergie. En adoptant ces approches, il est possible de réduire significativement la consommation d'énergie, d'améliorer la durabilité des dispositifs et de minimiser l'impact environnemental des technologies d'IA. Ce document vise à souligner l'importance de développer et d'implémenter des systèmes d'IA écoénergétiques pour favoriser des avancées technologiques durables.

1 Introduction

Le développement de l'apprentissage automatique (ML) et de l'intelligence artificielle (AI) a entraîné des changements significatifs dans plusieurs secteurs, menant à l'automatisation des emplois, à l'extraction de perspectives à partir de vastes ensembles de données et à la facilitation de processus de prise de décision avancés. L'utilisation des systèmes d'AI est de plus en plus répandue dans de nombreux domaines, englobant l'identification d'images, le traitement du langage naturel, les voitures autonomes et les recommandations personnalisées (42; 14). Néanmoins, la demande pour améliorer l'efficacité de ces systèmes d'AI a émergé comme un champ d'étude crucial, étant donné leur sophistication croissante et leurs besoins en ressources (31; 38).

L'intelligence artificielle (IA) transforme notre monde, offrant des avancées révolutionnaires dans divers secteurs. Cependant, la montée rapide de l'IA s'accompagne d'une augmentation considérable de la demande en ressources informatiques, soulevant des préoccupations importantes sur la consommation d'énergie et l'impact environnemental de ces technologies (21; 41; 4; 40; 10; 27; 39; 1; 18; 25; 5). Dans ce contexte, l'optimisation de l'efficacité énergétique des systèmes d'IA devient cruciale (34; 20; 28; 29; 16; 43; 6; 2; 9; 32; 13; 7; 26; 33). Elle ne se limite pas seulement à une question de réduction des coûts opérationnels mais s'étend à la préservation de l'environnement et à la promotion de la durabilité (37; 22; 30; 36; 3; 12; 11; 8; 15).

Ce document explore en profondeur les stratégies visant à améliorer l'éco-efficacité des systèmes d'IA, englobant une gamme de techniques allant de l'optimisation au niveau des modèles à l'optimisation systémique, en passant par l'exploitation de l'accélération matérielle et la mise en œuvre de pratiques de conception basse consommation (35; 23; 24; 19; 17).

L'optimisation des modèles d'IA joue un rôle pivot en réduisant les exigences computationnelles et de mémoire, ce qui se traduit directement par une baisse de la consommation d'énergie. Des techniques telles que la compression des modèles, la quantification et l'élagage sont essentielles pour parvenir à des modèles plus légers et écoénergétiques. En parallèle, l'accélération matérielle, en tirant parti des GPU, TPU et FPGA, optimise les calculs spécialisés, réduisant ainsi la charge sur les processeurs traditionnels et diminuant la consommation d'énergie globale.

L'optimisation à l'exécution, incluant des stratégies telles que la gestion dynamique de la tension et de la fréquence (DVFS) et l'équilibrage des charges de travail, permet une utilisation plus efficace des ressources disponibles, minimisant l'énergie dépensée pendant les opérations d'IA. De plus, la conception de composants matériels basse consommation et la mise en œuvre de principes écoénergétiques au niveau matériel sont cruciales pour réduire l'empreinte énergétique des dispositifs d'IA.

L'approche de la formation sensible à l'énergie, qui intègre des considérations énergétiques dans le processus de formation des modèles, représente une avancée significative vers la création de systèmes d'IA durables. Elle encourage le développement de modèles performants tout en étant écoénergétiques. L'optimisation au niveau système et la surveillance et l'analyse de l'énergie complètent l'éventail de stratégies, en offrant une vue d'ensemble sur l'utilisation de l'énergie et en identifiant des opportunités d'amélioration à travers tout le système d'IA.

L'intensification des calculs et la popularité croissante des charges de travail d'IA ont conduit à une focalisation accrue sur l'optimisation de la consommation d'énergie. L'optimisation de l'utilisation de l'énergie résulte non seulement en une diminution des dépenses opérationnelles mais améliore également la longévité des batteries des dispositifs et atténue les conséquences écologiques associées aux systèmes d'IA. Cette section explore de nombreuses méthodologies et considérations pour atteindre des systèmes d'IA écoénergétiques. En utilisant ces tactiques, les entreprises et les individus peuvent atteindre un équilibre harmonieux entre capacités computationnelles et utilisation de l'énergie, favorisant ainsi l'établissement d'implémentations d'IA durables.

2 Optimisation des Modèles

L'objectif principal des stratégies d'optimisation des modèles est de minimiser les demandes computationnelles et de mémoire des modèles d'IA, entraînant une conservation de l'énergie. Les techniques mentionnées incluent la compression de modèle, la quantification et l'élagage. L'objectif de la compression de modèle est de réduire la taille du modèle en supprimant les composants redondants ou moins influents, menant à une consommation réduite de mémoire et à des exigences de traitement moindres pendant les processus d'entraînement et d'inférence. Le processus de quantification résulte en une diminution du niveau de précision des paramètres d'un modèle, facilitant ainsi

une utilisation plus efficace des ressources matérielles et menant à une réduction de la consommation d'énergie. Le processus d'élagage implique l'élimination des connexions ou poids insignifiants au sein du modèle, menant à une structure plus condensée et écoénergétique. En mettant en œuvre ces stratégies d'optimisation, les modèles d'IA peuvent atteindre des niveaux de performance similaires tout en utilisant moins de ressources, entraînant une conservation substantielle de l'énergie.

3 Accélération Matérielle

L'accélération matérielle améliore l'efficacité énergétique en déléguant des activités computationnelles des processeurs polyvalents à des composants matériels dédiés. Les GPU, TPU et FPGA sont des accélérateurs matériels fréquemment employés dans les systèmes d'IA. Le but de ces accélérateurs est d'optimiser l'exécution de calculs ciblés, facilitant ainsi des processus d'IA accélérés et écoénergétiques. En utilisant l'accélération matérielle, les tâches d'IA peuvent être exécutées efficacement avec un débit accru et une consommation d'énergie réduite par rapport à une dépendance exclusive sur des processeurs conventionnels. L'intégration d'accélérateurs matériels spécialisés dans les systèmes d'IA facilite l'achèvement efficace d'opérations computationnellement exigeantes, résultant en une conservation de l'énergie à plus grande échelle.

4 Optimisation à l'Exécution

L'objectif principal des stratégies d'optimisation à l'exécution est de minimiser la consommation d'énergie lors de l'exécution des charges de travail d'IA. Les stratégies mentionnées incluent la planification des tâches, l'allocation des ressources et la gestion de l'équilibre des charges de travail. Grâce à une allocation stratégique des ressources, l'optimisation à l'exécution permet l'exécution des charges de travail d'IA d'une manière qui maximise l'efficacité énergétique. Des techniques telles que l'ajustement dynamique de la tension et de la fréquence (DVFS) sont employées pour moduler la fréquence de fonctionnement et la tension des processeurs en réponse aux exigences de la charge de travail. Cette approche vise à optimiser l'utilisation de l'énergie tout en maintenant les niveaux de performance. De plus, des méthodes d'équilibrage des charges de travail sont employées pour diviser la charge computationnelle parmi plusieurs ressources, atténuant la sous-utilisation des ressources et facilitant une exécution écoénergétique.

5 Conception Basse Consommation

L'objectif principal des principes de conception basse consommation est de réduire la consommation d'énergie au niveau matériel. Cela implique le développement de CPU, systèmes de mémoire et interfaces d'entrée/sortie écoénergétiques. Des techniques telles que la mise hors tension et l'arrêt d'horloge sont mises en œuvre pour aborder l'inefficacité énergétique. Ces techniques incluent la désactivation sélective ou la limitation de l'alimentation électrique aux composants qui sont inactifs ou sous-utilisés. De plus,

L'intégration de composants basse consommation et écoénergétiques, tels que les CPU basse puissance et les technologies de mémoire, est cruciale pour atteindre la conservation de l'énergie dans les systèmes d'IA. L'utilisation d'approches de conception basse consommation a le potentiel d'améliorer significativement l'efficacité énergétique du matériel d'IA, menant à une réduction de la consommation d'énergie pendant les opérations d'IA.

6 Formation Sensible à l'Énergie

La formation sensible à l'énergie fait référence à la méthodologie de formation de modèles d'IA en se concentrant sur l'optimisation de l'utilisation de l'énergie. L'incorporation de la consommation d'énergie comme métrique tout au long du processus de formation du modèle est un élément crucial de cette entreprise. L'objectif principal de la formation sensible à l'énergie est d'atteindre un état d'équilibre équilibré entre la performance d'un modèle et son efficacité énergétique. Ceci est accompli par l'évaluation et l'optimisation de la consommation d'énergie associée aux algorithmes de formation et aux hyperparamètres. La méthodologie comprend une gamme de techniques, dont l'une implique l'incorporation de la régularisation sensible à l'énergie. Cette technique impose une pénalité sur la complexité du modèle, encourageant ainsi la création de représentations écoénergétiques. Intégrer des considérations énergétiques dans la méthodologie de formation rend possible le développement de modèles d'IA qui démontrent des exigences de traitement réduites et une meilleure efficacité énergétique.

7 Optimisation au Niveau Système

Les techniques d'optimisation au niveau du système impliquent l'examen et l'amélioration complets de la structure globale d'un système d'IA, y compris ses composants, pour atteindre une efficacité énergétique maximale. Cela englobe l'avancement de protocoles de communication efficaces, l'amélioration des modèles d'accès à la mémoire et la minimisation des transferts de données entre différents composants. En employant une conception précise de l'architecture système, il devient possible de réduire la consommation d'énergie par la réduction des transferts de données et l'optimisation de l'utilisation des ressources. De plus, le processus d'optimisation au niveau du système englobe la sélection méticuleuse de composants matériels appropriés, tels que les CPU et systèmes de mémoire écoénergétiques, dans le but de construire des systèmes d'IA qui présentent une efficacité énergétique. En considérant l'ensemble du système, il est possible d'optimiser l'efficacité énergétique à travers tous les composants, menant à des diminutions significatives de l'utilisation de l'énergie.

8 Surveillance et Analyse de l'Énergie

Les méthodologies de surveillance et d'analyse de l'énergie offrent des aperçus précieux sur les modèles de consommation d'énergie et facilitent l'identification des domaines potentiels d'amélioration. En surveillant la consommation d'énergie dans divers

composants du système pendant les activités d'IA, les entreprises peuvent découvrir des processus ou des goulets d'étranglement qui consomment des quantités significatives d'énergie. Ces données peuvent être utilisées pour améliorer l'utilisation de l'énergie en se concentrant sur des domaines spécifiques pour l'amélioration, tels que des algorithmes inefficaces, des déséquilibres dans l'allocation des ressources ou des configurations matérielles. L'utilisation de la surveillance et de l'analyse de l'énergie facilite la mise en œuvre stratégique de mesures d'économie d'énergie et favorise un processus continu d'amélioration de l'efficacité énergétique. En comprenant les modèles d'utilisation de l'énergie, les organisations peuvent prendre des décisions éclairées visant à optimiser la consommation d'énergie au sein de leurs systèmes d'IA.

Le sujet englobe plusieurs domaines, incluant l'Optimisation des Modèles, l'Accélération Matérielle, l'Optimisation à l'Exécution, la Conception Basse Consommation, la Formation Sensible à l'Énergie, l'Optimisation au Niveau Système, et la Surveillance et l'Analyse de l'Énergie. Les stratégies mentionnées mettent principalement l'accent sur la réduction des exigences computationnelles et de mémoire, l'utilisation de l'accélération matérielle, l'optimisation des opérations à l'exécution, la mise en œuvre de principes de conception basse consommation, l'intégration de considérations énergétiques dans les processus de formation, l'optimisation de la structure globale du système, et la surveillance continue de la consommation d'énergie pour améliorer l'efficacité énergétique.

9 Conclusion

Alors que l'IA continue de se développer et de s'intégrer dans notre quotidien, l'importance de l'efficacité énergétique dans les systèmes d'IA ne peut être sous-estimée. Les stratégies discutées dans ce document offrent un cadre pour réduire la consommation d'énergie, promouvoir la durabilité et minimiser l'impact environnemental des technologies d'IA. En mettant en œuvre ces approches, de l'optimisation des modèles à l'optimisation au niveau système, en passant par la surveillance et l'analyse de l'énergie, il est possible d'atteindre un équilibre entre la performance computationnelle et l'utilisation énergétique. Ces efforts contribuent non seulement à rendre les systèmes d'IA plus accessibles en réduisant les coûts opérationnels, mais aussi à assurer que l'avancement de l'IA s'aligne avec les principes de la durabilité environnementale, marquant une étape cruciale vers la réalisation d'un avenir technologique durable et responsable.

Références

- [1] Q Abu Al-Haija and M Krichen. A lightweight in-vehicle alcohol detection using smart sensing and supervised learning. *computers* 2022, 11, 121, 2022.
- [2] Qasem Abu Al-Haija, Moez Krichen, and Wejdan Abu Elhaija. Machine-learning-based darknet traffic detection system for iot applications. *Electronics*, 11(4) :556, 2022.
- [3] Qasem Abu Al-Haija and Moez Krichen. Analyzing malware from api call sequences using support vector machines. In *International Conference on Cyber-*

- security, Cybercrimes, and Smart Emerging Technologies*, pages 27–39. Springer International Publishing Cham, 2022.
- [4] Omar Azib Alkhudaydi, Moez Krichen, and Ans D Alghamdi. A deep learning methodology for predicting cybersecurity attacks on the internet of things. *Information*, 14(10) :550, 2023.
- [5] Hamoud Alshammari, Karim Gasmi, Ibtihel Ben Ltaifa, Moez Krichen, Lassaad Ben Ammar, and Mahmood A Mahmood. Olive disease classification based on vision transformer and cnn models. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 2022.
- [6] Hamoud Alshammari, Karim Gasmi, Moez Krichen, Lassaad Ben Ammar, Mohamed Osman Abdelhadi, Ammar Boukrara, and Mahmood A Mahmood. Optimal deep learning model for olive disease diagnosis based on an adaptive genetic algorithm. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022 :1–13, 2022.
- [7] Hashem Alyami, Wael Alosaimi, Moez Krichen, and Roobaea Alroobaea. Monitoring social distancing using artificial intelligence for fighting covid-19 virus spread. *International Journal of Open Source Software and Processes (IJOSSP)*, 12(3) :48–63, 2021.
- [8] Rubby Aworka, Lontsi Saadio Cedric, Wilfried Yves Hamilton Adoni, Jérémie Thouakesseh Zoueu, Franck Kalala Mutombo, Charles Lebon Mberi Kimpolo, Tarik Nahhal, and Moez Krichen. Agricultural decision system based on advanced machine learning models for yield prediction : Case of east african countries. *Smart Agricultural Technology*, 2 :100048, 2022.
- [9] Wadii Boulila, Maha Driss, Eman Alshantqiti, Mohamed Al-Sarem, Faisal Saeed, and Moez Krichen. Weight initialization techniques for deep learning algorithms in remote sensing : Recent trends and future perspectives. *Advances on Smart and Soft Computing : Proceedings of ICACIn 2021*, pages 477–484, 2022.
- [10] Zakaria Boulouard, Mariyam Ouaisa, Mariya Ouaisa, Farhan Siddiqui, Mutiq Almutiq, and Moez Krichen. An integrated artificial intelligence of things environment for river flood prevention. *Sensors*, 22(23) :9485, 2022.
- [11] Lontsi Saadio Cedric, Wilfried Yves Hamilton Adoni, Rubby Aworka, Jérémie Thouakesseh Zoueu, Franck Kalala Mutombo, Moez Krichen, and Charles Lebon Mberi Kimpolo. Crops yield prediction based on machine learning models : Case of west african countries. *Smart Agricultural Technology*, 2 :100049, 2022.
- [12] Oumaima Chakir, Abdeslam Rehami, Yassine Sadqi, Moez Krichen, Gurjot Singh Gaba, Andrei Gurtov, et al. An empirical assessment of ensemble methods and traditional machine learning techniques for web-based attack detection in industry 5.0. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 35(3) :103–119, 2023.
- [13] Mourad Ellouze, Seifeddine Mehti, Moez Krichen, Vinayakumar Ravi, and Lamia Hadrich Belguith. A deep learning approach for detecting the behaviour of people having personality disorders towards covid-19 from twitter. *International Journal of Computational Science and Engineering*, 25(4) :353–366, 2022.
- [14] Michael Haenlein and Andreas Kaplan. A brief history of artificial intelligence :

- On the past, present, and future of artificial intelligence. *California management review*, 61(4) :5–14, 2019.
- [15] Olfa Hrizi, Karim Gasmi, Ibtihel Ben Ltaifa, Hamoud Alshammari, Hanen Karanti, Moez Krichen, Lassaad Ben Ammar, and Mahmood A Mahmood. Tuberculosis disease diagnosis based on an optimized machine learning model. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022, 2022.
- [16] Hajra Khan, Imran Fareed Nizami, Saeed Mian Qaisar, Asad Waqar, Moez Krichen, and Abdulaziz Turki Almaktoom. Analyzing optimal battery sizing in microgrids based on the feature selection and machine learning approaches. *Energies*, 15(21) :7865, 2022.
- [17] Moez Krichen. How artificial intelligence can revolutionize software testing techniques. In *International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications*, pages 189–198. Springer Nature Switzerland Cham, 2022.
- [18] Moez Krichen. Les méthodes formelles sont-elles applicables à l'apprentissage automatique et à l'intelligence artificielle. 2022.
- [19] Moez Krichen. Comment l'intelligence artificielle peut révolutionner les techniques de test de logiciels. 2023.
- [20] Moez Krichen. Convolutional neural networks : A survey. *Computers*, 12(8) :151, 2023.
- [21] Moez Krichen. Deep reinforcement learning. In *2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, pages 1–7. IEEE, 2023.
- [22] Moez Krichen. Generative adversarial networks. In *2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, pages 1–7. IEEE, 2023.
- [23] Moez Krichen. Renforcer la sécurité des contrats intelligents grâce à la puissance de l'intelligence artificielle. 2023.
- [24] Moez Krichen. Strengthening the security of smart contracts through the power of artificial intelligence. *Computers*, 12(5) :107, 2023.
- [25] Moez Krichen, Alaeddine Mihoub, Mohammed Y Alzahrani, Wilfried Yves Hamilton Adoni, and Tarik Nahhal. Are formal methods applicable to machine learning and artificial intelligence? In *2022 2nd International Conference of Smart Systems and Emerging Technologies (SMARTTECH)*, pages 48–53. IEEE, 2022.
- [26] Seifeddine Mechti, Moez Krichen, Dhouha Ben Noureddine, and Lamia H Belguith. A decision system for computational authors profiling : From machine learning to deep learning. *Concurrency and Computation : Practice and Experience*, 34(7) :e5985, 2022.
- [27] Saeed Mian Qaisar, Nehal Alyamani, Asad Waqar, and Moez Krichen. Machine learning with adaptive rate processing for power quality disturbances identification. *SN Computer Science*, 3 :1–6, 2022.
- [28] Saeed Mian Qaisar, Dalila Say, Salah Zidi, and Krichen Moez. Automated categorization of multiclass welding defects using the x-ray image augmentation and

- convolutional neural network. 2023.
- [29] Alaeddine Mihoub, Moez Krichen, Mohammad Alswailim, Sami Mahfoudhi, and Riadh Bel Hadj Salah. Road scanner : A road state scanning approach based on machine learning techniques. *Applied Sciences*, 13(2) :683, 2023.
 - [30] Alaeddine Mihoub, Hosni Snoun, Moez Krichen, Riadh Bel Hadj Salah, and Montassar Kahia. Predicting covid-19 spread level using socio-economic indicators and machine learning techniques. In *2020 first international conference of smart systems and emerging technologies (SMARTTECH)*, pages 128–133. IEEE, 2020.
 - [31] Madison Milne-Ives, Caroline de Cock, Ernest Lim, Melissa Harper Shehadeh, Nick de Pennington, Guy Mole, Eduardo Normando, and Edward Meinert. The effectiveness of artificial intelligence conversational agents in health care : systematic review. *Journal of medical Internet research*, 22(10) :e20346, 2020.
 - [32] Pierre Stanislas Birame Ndong, Wilfried Yves Hamilton Adoni, Tarik Nahhal, Charles Kimpolo, Moez Krichen, Abdeltif EL Byed, Ismail Assayad, and Franck Kalala Mutombo. A face-mask detection system based on deep learning convolutional neural networks. In *Advances on Smart and Soft Computing : Proceedings of ICACIn 2021*, pages 273–283. Springer Singapore Singapore, 2021.
 - [33] Dhouha Ben Noureddine, Moez Krichen, Seifeddine Mechti, Tarik Nahhal, and Wilfried Yves Hamilton Adoni. An agent-based architecture using deep reinforcement learning for the intelligent internet of things applications. In *Advances on Smart and Soft Computing : Proceedings of ICACIn 2020*, pages 273–283. Springer Singapore, 2021.
 - [34] Saeed Mian Qaisar, Alaeddine Mihoub, Moez Krichen, and Humaira Nisar. Multi-rate processing with selective subbands and machine learning for efficient arrhythmia classification. *Sensors*, 21(4) :1511, 2021.
 - [35] Shalli Rani, Ali Kashif Bashir, Moez Krichen, Abdulaziz Alshammari, et al. A low-rank learning based multi-label security solution for industry 5.0 consumers using machine learning classifiers. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2023.
 - [36] Shashidhar Rudregowda, Sudarshan Patil Kulkarni, Gururaj HL, Vinayakumar Ravi, and Moez Krichen. Visual speech recognition for kannada language using vgg16 convolutional neural network. In *Acoustics*, volume 5, pages 343–353. MDPI, 2023.
 - [37] Dalila Say, Salah Zidi, Saeed Mian Qaisar, and Moez Krichen. Automated categorization of multiclass welding defects using the x-ray image augmentation and convolutional neural network. *Sensors*, 23(14) :6422, 2023.
 - [38] Terrence J Sejnowski. The unreasonable effectiveness of deep learning in artificial intelligence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(48) :30033–30038, 2020.
 - [39] Souhir Sghaier, Moez Krichen, Abir Othman Elfaki, and Qasem Abu Al-Haija. Efficient machine-learning based 3d face identification system under large pose variation. In *International Conference on Computational Collective Intelligence*, pages 273–285. Springer International Publishing Cham, 2022.

- [40] R Shashidhar, S Patilkulkarni, Vinayakumar Ravi, HL Gururaj, and Moez Krichen. Audiovisual speech recognition based on a deep convolutional neural network. *Data Science and Management*, 2023.
- [41] Wiem Souai, Alaeddine Mihoub, Mounira Tarhouni, Salah Zidi, Moez Krichen, and Sami Mahfoudhi. Predicting at-risk students using the deep learning blstm approach. In *2022 2nd International Conference of Smart Systems and Emerging Technologies (SMARTTECH)*, pages 32–37. IEEE, 2022.
- [42] Caiming Zhang and Yang Lu. Study on artificial intelligence : The state of the art and future prospects. *Journal of Industrial Information Integration*, 23 :100224, 2021.
- [43] Salah Zidi, Alaeddine Mihoub, Saeed Mian Qaisar, Moez Krichen, and Qasem Abu Al-Haija. Theft detection dataset for benchmarking and machine learning based classification in a smart grid environment. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 35(1) :13–25, 2023.