

人工智能技术在水利行业中的应用综述

赵立¹, 荆亚昊², 廖勇²

(1.成都希盟泰克科技发展有限公司, 四川 成都 610041;

2.重庆大学微电子与通信工程学院, 重庆 400044)

摘要:随着人工智能技术的不断发展和应用,人工智能在水利行业中的应用逐渐得到了广泛的关注和应用。文章首先阐述了水利行业和人工智能技术的发展,然后,归纳、对比和分析了现有人工智能技术在水利灌溉、水体识别、水位监测和水质分析与预测中的应用,最后对人工智能在水利行业的应用进行了总结与展望。

关键词:人工智能;水利行业;深度学习;机器学习

中图分类号: TP391; TP183

文献标识码: A

文章编号: 2096-9759(2023)06-0009-04

Survey of the Application of Artificial Intelligence Technology in the Water Conservancy Industry

ZHAO Li¹, JING Yahao², LIAO Yong²

(1.Chengdu Simu-Tech Science and Technology Development Company Limited, Chengdu Sichuan 610041, China;

2.School of Microelectronics and Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: With the continuous development and application of artificial intelligence technology, the use of artificial intelligence in the water conservancy industry is increasingly receiving widespread attention and application. This paper first describes the development of the water industry and artificial intelligence technology. Then it summarizes, compares, and analyzes the current applications of artificial intelligence technology in water irrigation, water body identification, water level monitoring, and water quality analysis and prediction. Finally, a summary and prospect are made on the application of artificial intelligence in the water conservancy industry.

Key words: Artificial Intelligence; Water Conservancy Industry; Deep Learning; Machine Learning

1 引言

随着生态环境的变化和人类社会的不断发展,我国水利行业问题不断显现,不仅严重威胁到我国水安全,而且还对我国生态环境及人民的生命安全造成隐患。我国河流众多,水利工程分布广泛,这些实际的水利特征给我国社会经济的高质量发展和对水利工程的安全进行及水资源的合理使用提出了新的要求^[1-2]。我国的“十四五”战略进一步加大了水利行业的发展力度,出台了《“十四五”节水型社会建设规划》^[3]《“十四五”水安全保障规划》^[4]等,明确了水利行业发展目标和建设内容。在水利发展规划中,智慧水利是推进水利行业高质量发展的有力支柱。我国印发了关于《“十四五”水利科技创新规划》^[5]和《2022 年推进智慧水利建设水资源管理工作要点》^[6]等战略指导以推进人工智能技术在数字水利、智慧水利中的发展。人工智能是指利用计算机模拟人类处理问题的方法实现对问题的智能化处理和决策等,其跨越计算机科学、信息论和控制论等多个领域^[7]。深度学习(Deep Learning, DL)作为近几年来在人工智能领域发展最突出的代表之一,已被广泛地应用到各行各业。DL 在对图像的特征提取方面有着独特的优势,促成了水利行业中遥感水体识别、水位监测等技术的发展^[8]。机器学习(Machine Learning, ML)作为实现人工智能的技术之一,对监督学习有着巨大的优势和效果,促进了农田灌溉和水质分析与预测技术的发展^[9]。

由此可见,人工智能技术对水利行业的发展变得尤为重

要和迫切。为此,本文对人工智能在水利行业上的应用进行了较为全面的调研,梳理了 DL 和 ML 在水利行业上的典型应用,归纳了典型应用中现有人工智能技术方法的优缺点以及主要贡献,对人工智能在水利行业上的应用进行了总结并对未来可能的发展方向进行了展望。

2 人工智能在水利行业上的应用

2.1 灌溉系统

越来越少的水资源已经影响到了世界,如何有效利用水资源是非常重要的。智能灌溉技术的发展,可以在保障获得理想作物产量的同时消耗更少的水。文献[10]介绍了一种基于先进技术的智能系统,通过对土壤湿度、温度,湿度和水位等地面参数感应,利用人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)预测田地的灌溉需求。文献[11]提出了一种基于 ML 的灌溉算法,能够给出一天中最适合灌溉的时间以增加作物产量。文献[12]提出了一种基于 DL 的神经网络(Neural Network, NN)算法,可以从灌溉系统的航拍图像中自动识别水体,可以帮助检测灌溉系统是否有故障,潜在地减少了系统维护的时间和成本。文献[13]使用了一种联合物联网技术和 NN 架构的高可靠性智能灌溉系统,不仅节省水源还能提高产量。文献[14]提出使用 ML 算法进行灌溉预测,研究了支持向量机(Support Vector Machine, SVM)、K-近邻(K-Nearest Neighbor, KNN),朴素贝叶斯算法、多重线性回归(Multiple Linear Regression, MLR)、随机森林(Random Forest, RF)和决策树(Decision Tree, DT)等 ML 分类算法,准确地对灌溉进行预测。文献

收稿日期:2023-04-10

基金项目:四川省科技厅重点研发项目(No.2023YFG0328)。

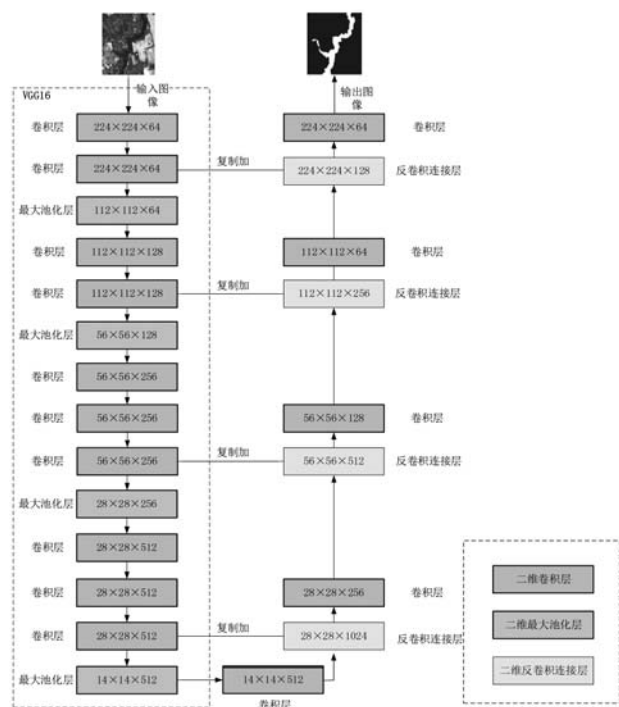
作者简介:赵立(1968-),男,重庆人,高级工程师,硕士,主要研究方向:水利水电数字化、智能化技术;荆亚昊(1999-),男,河南郑州人,硕士生,主要研究方向:智能信息处理;廖勇(1982-),男,四川自贡人,副研究员,博士,主要研究方向:移动通信、智能信息处理。

[15] 提出了一种利用基于计算机视觉的植物指示系统来优化作物灌溉过程的方法 Mask R-CNN (Mask Region-based Convolutional Neural Network)。文献[16]通过使用基于 ML 和物联网技术的结合方法,构建了一种智能的农业灌溉系统。表 1 是对上述灌溉系统中各技术的总结。

表 1 灌溉系统中所采用的人工智能技术

文献	算法名称	算法类型	主要贡献
[10]	ANN	DL	在满足土壤湿度的前提下,提高了灌溉系统中水资源的利用率。
[11]	KNN	ML	通过对多个 ML 算法在农田灌溉的最佳时间进行分类的对比,选择出一种最佳的农田灌溉算法。
[12]	XGBoost、SVM、RF	ML、DL	通过 Mask R-CNN 神经网络对灌溉系统运行过程中的可能导致浇水不足或浇水过度的灌溉系统故障的识别,潜在地减少了系统维护的时间和成本。
[13]	ANN	DL	基于 ANN 的智能灌溉系统可以帮助农民减少水的浪费和时间,并将成本降到最低,以提高农业产出的效率。
[14]	SVM、KNN、朴素贝叶斯、DT	ML	对比多个 ML 算法的评价性能,在灌溉预测方面,发现 DT 算法在使用相同农业数据时的表现更优。
[15]	Mask R-CNN	DL	通过定期检测作物和环境的状态,创建动态的灌溉方法,降低了空间异质性以及增加了农作物产量。
[16]	MLR、RF、KNN	ML	通过使用 ML 算法和物联网传感系统,不仅节省了农作时间,还最大限度地减少了水和电等可节约资源的使用。

2.2 遥感水体识别

图 1 基于 DL 的最佳水体提取网络^[18]

水对人类生活和其他形式的生命很重要。但它的过剩或缺失可能导致灾难和极端气候的发生。遥感水体识别技术则可以对各区域的水体进行监测,以保证水体变化时可以及时发现。文献[17]提出了一种基于分类回归树(Classification Re-

gression Trees, CRT)和 SVM 的水体分类模型,该模型可以对不同类型的遥感图像中的水体进行识别。文献[18]构建了多个全卷积网络(Full Convolutional Network, FCN)进行水体图像分割的探究,在卫星影像水体数据集上训练四种模型从而得出最佳的水体提取模型,其中最佳模型的结构如图1所示。

文献[19]提出了一种基于 FCN 的水体分类模型,该模型可以利用图像提供的数据找到水体位置,通过对水体的识别得出该水体的类别,从而确定该水体的地理位置。文献[20]提出了一种基于土地覆盖图和 Sentinel-1 卫星数据的水体检测的深度学习的方法,该方法可以减少产生可靠训练数据的时间和成本。文献[21]提出了一种基于卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)的遥感图像水体识别模型,该模型通过网络爬虫获取遥感图像,并通过数据预处理构建训练集、验证集和测试集。文献[22]使用了一种引入注意力机制的 Unet 网络模型,该模型可以对黑臭水体遥感图像进行信息提取。文献[23]提出了一种基于 DL 的遥感影像变化检测技术。文献[24]提出了引入通道注意力和空间注意力模块的残差网络(Channel and Spatial Attention ResNet101, S&CMNet),该方法可以对高分辨率的遥感图像水体进行提取。上述遥感水体识别技术的主要贡献如表 2 所示。

表 2 遥感水体识别中的人工智能技术

文献	算法名称	算法类型	主要贡献
[17]	CRT、SVM	ML	通过对 CAT 和 SVM 算法的对比,发现 SVM 的分类算法在 Landsat 8OLI 图像中的水体分类效果更好
[18]	VGG16Unet	DL	通过对四种 FCN 模型的研究,发现基于 FD-water loss 损失函数的 VGG16Unet1 模型对水体提取的性能最佳
[19]	CNN	DL	提高了卫星图像中水体识别的准确度
[20]	Unet	DL	使用 Focal loss 损失函数代替 Cross Entropy 交叉熵损失函数,克服了数据集不平衡的问题,有效提高了 Unet 网络的分割精度
[21]	AMR-Unet	DL	通过对 Unet 网络结构的改进,不仅保持了 Unet 网络复杂度低的优点,而且还提升了 Unet 网络的分割精度
[22]	PSPNet、Unet	DL	通过引入注意力机制,改善了 Unet 网络的漏检问题,提高了 Unet 网络的黑臭水体分割效果
[23]	Unet、SVM	ML、DL	使用基于 Unet 分割网络的 SVM 分类算法,提升了传统 SVM 分类方法的精度
[24]	S&CMNet	DL	通过引入注意力机制证明了该方法在遥感影像语义分割中的可行性,同时提高了 RseNet101 模型的分割准确度

2.3 水位监测

水是地球上重要的自然资源之一,可用于各种用途。但气候变化和人类活动导致地表水的减少。因此,水位的检测和管理至关重要。文献[25]提出了一种自学习和奇异值剔除的融合算法,用于对地下水位异常值检测和水位数据平滑处理。文献[26]提出一种基于 CNN 的水位检测算法,该方法以残差网络为特征网络,结果为预测水位线有关的信息。文献[27]提出了一种基于深度信念网络 (Deep Belief Network, DBN) 的软传感方法,用于测量在火力发电站的蒸汽鼓水位。文献 [28] 提出了一种基于灰度拉伸的 CNN 和残差的去噪模型,用于对图像水位的识别。文献[29]提出了一种智能视觉水

位识别算法,该方法结合了超像素与图像分割算法。文献[30]提出了一种基于 ML 的梯度下降算法,用于地下水系统排边界的识别。表 3 为水位检测中人工智能技术的总结。

表 3 水位监测中的人工智能技术

文献	算法名称	算法类型	主要贡献
[25]	Self-Learning	DL	解决了 Pauta 算法结果中存在的偏离情况,有效提升地下水水位监测水平。
[26]	ResNet50	DL	基于 RstNet50 残差网络的水位监测算法,比传统的基于图像的水位检测方法具有更高的稳定性和可靠性。
[27]	DBN	DL	与 BP 网络相比,DBN 在模型准确率和泛化能力上有着明显的优势,并且对错误水位的突发事件有一定的提前预警能力。
[28]	CNN	DL	所提算法解决了由水尺倒影、水面折射等问题引起的测量误差,该算法也具有较高的鲁棒性。
[29]	超像素分割	ML	所提算法提高了传统图像分割算法的鲁棒性和分割精度,可广泛应用于水利检测领域中各种对水位测量有需求的场合。
[30]	GradF	ML	为构建和修订已有含水层概念模型提供了新思路。

2.4 水质分析与预测

表 4 水质分析与预测中的人工智能技术

文献	算法名称	算法类型	主要贡献
[31]	QRF、RF、SVM、GBM	ML	通过在 ML 中结合主成分分析或遗传算法,不仅降低了数据的相关性,而且也提高了 ML 对水质的预测性能。
[32]	RF、SVM、LR	ML	通过对 RF、LR 和 SVM 三种 ML 算法在不同数据集上的对比发现,LR 对饮用水水质数据的表现更好,SVM 模型在灌溉用水数据上表现更好。
[33]	DT	ML	得出基于 DT 的 ML 算法的性能比基于神经模糊技术的人工智能模型要好的结果。
[34]	NARNET、LSTM、SVM	ML、DL	通过对 NARNET 和 LSTM 模型在水质预测方面的性能比较,发现 NARNET 模型相较于 LSTM 模型效果更优。
[35]	LSTM、RF、KNN、XGBoost	ML、DL	通过对多种 ML 算法以及 DL 模型的对比,发现岭回归预测模型和 XGBoost 分类模型的效果较好,提升了对评估水质的效率。
[36]	LSTM	DL	使用模拟和数字滤波器提高测量信号的稳定性并结合 LSTM 模型,有效提高了实时预测水体环境的精度和稳定性。
[37]	eGWQI	ML	通过使用低功率传感器和 ML 算法的结合,提高了传统灌溉系统的精度。
[38]	ANN、SVM	ML、DL	利用洞察力计算精简 ANN 模型中的参数与能力的界限,提高了 ANN 模型对于灌溉的地下水质的预测精度。

人类的生活很大程度上依赖水的供应,其中水质是否达标与人们的生产活动息息相关。文献[31]采用新颖的探索性 ML 模型,用于对地表水质中生化需氧量的预测。文献[32]提出了一种网络架构,以实时收集参数的数据并使用 ML 自动确定水样是否适合于饮用和灌溉。文献[33]使用人工智能和 ML 的方法来建立预测模型以预测水的硬度,通过输入 pH 值和钙含量进行硬度的预测。文献[34]采用长短期记忆(Long Short-Term Memory, LSTM) NARNET 模型预测水质指数并使

用 SVM 和朴素贝叶斯算法对预测的结果进行分类。文献[35]使用 LSTM、岭回归和 RF 算法用于水质指数的预测,使用 KNN、逻辑回归(Logistic Regression, LR)、XGBoost 和 SVM 等 ML 模型用来对水质分类。文献[36]研究传感器信号处理电路的分析和设计并建立了一个使用 LSTM 模型预测水参数的算法。文献[37]提出了一个基于物联网和 ML 算法的智能灌溉系统,根据物联网系统获得的传感器数据,通过 ML 算法来预测水质指数。文献[38]为了克服预测和评估灌溉水的水质指数的问题,对各种 ML 算法和 ANN 模型的性能进行了评估。表 4 是对上述水质分析与预测中的人工智能技术的总结。

3 结语

近年来,随着人工智能技术的不断发展和应用,人工智能在水利行业中的应用逐渐得到了广泛的关注和应用。人工智能技术可以帮助水利行业从业者更好地管理、保护和利用水资源,包括水利灌溉、水体识别、水位监测和水质分析与预测等方面。此外,人工智能技术还可以结合物联网、大数据等技术,实现水利行业的数字化转型和智能化升级,从而提高水资源利用效率和水利行业的管理水平。未来,人工智能在水利行业中的应用将会越来越广泛,尤其是结合物联网、大数据、区块链、数字孪生等技术的发展和运用,将为水利行业带来更多的机遇和挑战。随着人工智能技术的不断发展和完善,相信可以进一步优化灌溉技术和配置方案,提高水位监测的效率与精度,改进水质分析预测的准确性和及时性,实现水利行业的数字化转型和智能化升级。同时,也需要关注人工智能应用中存在的技术和安全风险,积极探索人工智能技术在水利行业的可持续发展模式。

参考文献:

- [1] 张建云,刘九夫,金君良. 关于水利的认识与思考[J]. 水利水运工程学报,2019(6):1-7.
- [2] 蒋云钟,冶运涛,赵红莉等. 智慧水利解析[J]. 水利学报,2021,52(11):1355-1368.
- [3] 国务院. 国家发展改革委等部门关于印发《“十四五”节水型社会建设规划》的通知[EB/OL].[2021-10-28].
- [4] 国家发展和改革委员会.“十四五”水安全保障规划[EB/OL].[2022-01-11].
- [5] 国家水利部. 水利部关于印发《“十四五”水利科技创新规划》的通知[EB/OL].[2022-01-18].
- [6] 国家水利部. 水利部办公厅关于印发 2022 年推进智慧水利建设水资源管理工作要点的通知[EB/OL].[2022-06-16].
- [7] 李涛,徐高,梁思涵,等. 人工智能图像识别在水利行业的应用进展[J]. 人民黄河,2022,44(11):163-168.
- [8] 孙涛,王雷,付文博,等. 深度学习在水利行业上的应用综述[J]. 中国农村水利水电,2018,(12):90-100.
- [9] 孙开畅,冯继伟. 机器学习算法下水利工程风险因素关系分析[J]. 水力发电,2022,48(1):91-93,117.
- [10] Akshay S, T K Ramesh. Efficient Machine Learning Algorithm for Smart Irrigation[C]//2020 International Conference on Communication and Signal Processing(ICCSPP),Chennai, India: IEEE, 2020.
- [11] Joao Cardoso, Andre Gloria, Pedro Sebastiao. Improve Irrigation Timing Decision for Agriculture using Real Time Data

- and Machine Learning[C]// 2020 International Conference on Data Analytics for Business and Industry: Way Towards a Sustainable Economy (ICDABI). Sakheer, Bahrain: IEEE, 2020.
- [12] Caio K. G. Albuquerque, Sergio Polimante, Andre Torre-Neto, et al. Water Spray Detection for Smart Irrigation Systems with Mask R-CNN and UAV Footage[C]// 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor). Trento, Italy: IEEE, 2020.
- [13] Sama N. M. Al-Faydi, Heba N. Y. Al-Talb. IoT and Artificial Neural Network-Based Water Control for Farming Irrigation System[C]// 2022 2nd International Conference on Computing and Machine Intelligence (ICMI). Istanbul, Turkey: IEEE, 2022.
- [14] Alifia Puspaningrum, A Sumarudin, Willy Permana Putra. Irrigation Prediction Using Machine Learning in Precision Agriculture[C]// 2022 5th International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE). Jakarta, Indonesia: IEEE, 2022.
- [15] Galina Kamysheva, Aleksey Osipov, Sergey Gataullin, et al. Artificial Neural Networks and Computer Vision's-Based Phytoidication Systems for Variable Rate Irrigation Improving[J]. IEEE Access, 2022, 10:8577-8589.
- [16] R Madhumathi, T Arumuganathan, R Shruthi, et al. Intelligent Time-based Irrigation System Using Predictive Algorithms and Internet of Things[C]// 2022 International Conference on Data Science, Agents & Artificial Intelligence (ICDSAAI). Chennai, India: IEEE, 2022.
- [17] Farzana Yasmin, A H M Sarwar Sattar, Mahit Kumar Paul. Water Bodies Identification in Landsat 8 OLI Image Using Machine Learning[C]// 2019 22nd International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT). Dhaka, Bangladesh: IEEE, 2019.
- [18] 郑泰皓, 王庆涛, 李家国, 等. 基于深度学习的高分六号影像水体自动提取[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(4): 1459-1470.
- [19] Deepak Gupta, Vaibhav Kushwaha, Akarth Gupta, et al. Deep Learning based Detection of Water Bodies using Satellite Images[C]// 2021 International Conference on Intelligent Technologies (CONIT). Hubli, India: IEEE, 2021..
- [20] Hyungyun Jeon, Duk-jin Kim, Junwoo Kim. Water Body Detection using Deep Learning with Sentinel-1 SAR Satellite Data and Land Cover Maps[C]// 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS. Brussels, Belgium: IEEE, 2021.
- [21] 张铭飞, 高国伟, 胡敬芳, 等. 基于卷积神经网络的遥感图像水体提取[J]. 传感器与微系统, 2022, 41(1): 72-88.
- [22] 邵琥翔, 丁凤, 杨健, 等. 基于深度学习的黑臭水体遥感信息提取模型[J]. 长江科学院院报, 2022, 39(4): 156-162.
- [23] 麻连伟, 宁卫远, 焦利伟, 等. 基于 U-Net 卷积神经网络的遥感影像变化检测方法研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(11): 102-106.
- [24] 沈骏翱, 马梦婷, 宋致远, 等. 基于深度学习语义分割模型的高分辨率遥感图像水体提取[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(4): 129-135.
- [25] 李丽敏, 温宗周, 王真, 等. 基于自学习 Pauta 和 Smooth 的地下水异常值检测和平滑处理方法[J]. 2018, 32(5): 604-608.
- [26] 廖赟, 段清, 刘俊晖, 等. 基于深度学习的水位线检测算法[J]. 计算机应用, 2020, 40(S1): 274-278.
- [27] Yongsong Zhao, Kelu Xu, Peng Su, et al. Soft Measurement of Drum Boiler Water Level Based on Deep Belief Network [C]// 2020 Chinese Automation Congress (CAC). Shanghai, China: IEEE, 2020.
- [28] 吴婷, 褚泽帆, 陈城, 等. 基于灰度拉伸的图像水位识别方法研究[J]. 高技术通讯, 2021, 31(3): 327-332.
- [29] 夏平, 王峰, 雷帮军, 等. 基于超像素和图割算法的智能视觉水位识别[J]. 计算机仿真, 2021, 38(3): 430-436.
- [30] 齐永强, 李文鹏, 郑跃军, 等. 地下水机器学习方法研究水位监测数据驱动的区域补排边界识别[J]. 水文地质工程地质, 2022, 49(1): 1-11.
- [31] Ali Omran Al-Sulttani, Mustafa Al-Mukhtar, Ali B. Roomi, et al. Proposition of New Ensemble Data-Intelligence Models for Surface Water Quality Prediction[J]. IEEE Access, 2021, 9: 108527-108541.
- [32] Olasupo O. Ajayi, Antoine B. Bagula, Hloniphani C. Maluleke, et al. WaterNet: A Network for Monitoring and Assessing Water Quality for Drinking and Irrigation Purposes[J]. IEEE Access, 2022, 10: 48318-48337.
- [33] Pushpa Bhakuni Negi, Sandeep Kumar Sunori, Hansi Negi, et al. AI and ML based Prediction of Water Hardness[C]// 2022 2nd International Conference on Intelligent Technologies (CONIT). Karnataka, India: IEEE, 2022.
- [34] Talluru Tejaswi, Challapalli Manoj, Pepella Venkata Daivakeshwar Naidu, et al. Nexus of Water Quality Prediction by ANN[C]// 2022 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICES). Chennai, India: IEEE, 2022.
- [35] Jaswanth Reddy Vilupuru, Devi Chaitrasree Amuluru, Ghousiya Begum K. Water Quality Analysis using Artificial Intelligence Algorithms[C]// 2022 4th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA). Coimbatore, India: IEEE, 2022.
- [36] Phat Nguyen Huu, Dinh Dang Dang, Minh Nguyen Khai, et al. Monitoring and Forecasting Water Environment Parameters for Smart Aquaculture using LSTM[C]// 2022 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF). Ho Chi Minh City, Vietnam: IEEE, 2022.
- [37] Shruti Raje, Varaprasad Erapu, Venkanna U., et al. eGWQI: Edge Intelligence Based Ground Water Quality Monitoring System for Smart Irrigation [C]// 2022 IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (iSES). Warangal, India: IEEE, 2022.
- [38] Poornima Jayaraman, Kothalam Krishnan Nagarajan, Pachaiyannan Partheeban. A Review on Artificial intelligence Algorithms and Machine Learning to Predict the Quality of Groundwater for Irrigation Purposes[C]// 2022 International Conference on Data Science, Agents & Artificial Intelligence (ICDSAAI). Chennai, India: IEEE, 2022.