

装箱的特殊情境下,平行式堆场可大幅减少龙门吊及空箱堆高机的无效行驶距离,获得更高的机械利用率,但 AGV、外集卡在堆场内部同时作业极易造成交通流线混乱,运输能力与双高箱运输的超高运量特点不匹配;垂直式通过堆场自身的物理隔离将外集卡与 AGV 自然分流,不仅解决了车流混乱问题,提高了运输能力,更有利于后续双高集装箱堆场的优化和改建,也利于未来双高集装箱场站的自动化发展。

②通过 FlexSim 仿真发现针对 A 办理站而言,相较于平行式,垂直式堆场形态可以提供更高的列车运载能力、堆场作业能力和办理站整体吞吐能力,更能提高场站整体服务水平,更符合双高集装箱高运能的特点,更适宜双高集装箱的运输和堆存。结论表明 A 办理站在堆场的建设中宜采用堆场垂直于装卸线的布置方案,同样其也为我国新兴发展的双高集装箱运输和双高集装箱场站建设提供借鉴,未来可对包括集疏运在内的完整的双高集装箱运输过程进行研究。

### 参考文献

- [1] 温贤雨. 自动化集装箱码头在铁路集装箱货场的应用探讨[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(5): 69-72, 85.
- [2] 孙振宁, 吴邵强, 梁浩, 等. 集装箱码头冷藏箱堆场箱位和取电点布置形式探讨[J]. 港口装卸, 2022(4): 1-3, 21.
- [3] 陈培, 武彬, 张煜, 等. 顺岸式自动化集装箱码头堆场布局设计[J]. 港口装卸, 2022(1): 62-65.
- [4] 高延辉, 陈培, 张煜, 等. 天津港北港池 C 段自动化集装箱码头总体布置设计[J]. 水运工程, 2022(6): 78-83, 105.
- [5] 许鸿贯, 王烽, 麦宇雄, 等. 自动化集装箱堆场平面布置创新设计[J]. 水运工程, 2022(10): 63-67, 78.
- [6] 杨勇生, 王楠楠, 梁承姬, 等. 基于环岛策略的自动化码头 AGV 路径仿真优化[J]. 铁道科学与工程学报, 2018, 15(1): 240-246.
- [7] 李雨莹, 龚哲宇, 符瑛, 等. 基于景观理论的长沙铁路物流园区布局规划研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(5): 1222-1233.
- [8] LIU HW, LIU XB, LIN L, et al. A study of the layout planning of plant facility based on the timed Petri net and systematic layout planning[J]. PLo S One, 2020, 15(9): e0239685.
- [9] NIE X Q, WANG L. Simulation Process Design for Scheduling Mode of Railway Container Terminals based on Flexsim[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1176(5).
- [10] 吴邵强, 袁金虎, 彭骏骏. 基于三维仿真的自动化集装箱码头堆场布置形态[J]. 水运工程, 2019(4): 67-73.
- [11] 虞春风. 基于 Flexsim CT 的出口箱堆存优化分析——以舟山甬舟集装箱码头为例[J]. 物流工程与管理, 2020, 42(3): 70-72.
- [12] 张程, 乐婉. 基于 Flexsim 的集装箱码头装卸仿真[J]. 水运管理, 2018, 40(8): 15-18, 25.
- [13] 陈旭. CFD 港集装箱码头堆场资源调度问题研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2019.
- [14] 张润. 基于仿真的集装箱堆场场桥投资决策研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2019.
- [15] 杨斌, 胡继龙, 林意斐. 基于 Flexsim 的集装箱码头铁路装卸线建模与仿真分析[J]. 港口装卸, 2020(1): 6-9.

## 量子神经网络在交通领域应用研究综述

孙浩博 何赏璐\* 梁宇 王杰  
(南京理工大学自动化学院)

**摘要** 随着人工智能的不断发展,量子神经网络因其综合了量子计算和神经网络的优点,利用量子态的叠加和纠缠特性,以及量子计算的并行性优势,在数据分类、检测识别、预测、图像处理、算法优化、

通信、信号处理等领域受到了广泛的关注,在交通状态预测、交通图像检测、自动驾驶决策等交通领域应用也初见成效。本文通过 Web of Science 数据库检索了 Quantum neural Networks、Transportation 等关键词,获取了近十年 3233 篇相关文献;在此基础上,利用文献计量方法对量子神经网络研究时间线、研究归属地、研究主题等进行了交叉统计分析;进一步开展了量子神经网络交通领域应用、问题和未来发展方向的分析总结。本文对量子神经网络在交通领域探索的综述和未来发展的总结,有望为交通领域问题的解决提供新的思路。

**关键词** 量子神经网络 量子计算 交通大数据 智能交通

## 0 引言

量子神经网络 (Quantum Neural Network, QNN) 是一种基于量子力学原理的神经网络模型。它由若干个量子神经元按一定的拓扑结构构成,试图将传统神经网络与量子计算的优势相结合。其目标是利用量子计算的特性,如量子态的叠加和纠缠、量子计算的并行性,来执行机器学习任务。与传统的神经网络相比,量子神经网络有着以下优势<sup>[1]</sup>:①指数级的记忆容量;②神经网络隐层数少、性能更高;③学习与信息处理速率更快;④能消除灾变性的失忆现象;⑤单层网络能解决线性不可分问题;⑥网络规模更小、网络拓扑结构较简单。量子计算因其有效提升神经网络的效率、降级时间消耗等优势,成为当今国际的研究热点之一。

交通领域也有量子神经网络的用武之地。目前,在交通状态预测、交通图像识别、自动驾驶车辆决策、自动驾驶车辆算法优化、交通大数据分类等交通领域,量子神经网络已被探究其应用成效。随着量子神经网络的不断发展,深度调研和系统分析其在不同交通场景的应用,挖掘潜在的交通应用场景,梳理出量子神经网络在交通领域研究和应用的发展趋势,不仅有利于量子神经网络相关理论和算法的完善,也丰富了交通问题的解决思路。

因此,本文利用 Web of Science 期刊数据库,检索近十年量子神经网络在交通相关技术领域研究文献,并利用科学知识图谱软件 VOSviewer 进行分析,归纳量子神经网络在交通领域的热点应用以及在应用中存在的问题,进一步分析未来发展方向。

## 1 文献检索与统计分析

### 1.1 文献检索结果

1995 年,美国路易斯安那州立大学 Kak<sup>[2]</sup> 教授首次提出量子神经计算的概念,随后中国、日

本、欧洲各国等先后开始量子神经网络技术的研究。为了紧跟量子神经网络发展,探索其在交通领域的应用情况,本研究在 Web of Science 期刊数据库中检索相关文献。检索关键词设定为 Quantum Neural Networks,检索领域组合包括 Transportation 或 Computer Science 或 Engineering 或 Telecommunications 或 Optics 或 Instruments Instrumentation 或 Automation Control Systems,检索时间跨度为 2014 至 2023 年。最终,本研究共检索到相关文献 3233 篇。

### 1.2 文献计量分析

本文利用文献计量分析方法,从研究时间线、归属地、核心主题 3 个方面对量子神经网络在交通领域应用的研究开展分析。

从研究时间线来看,所检索到的相关文献数量在历年的分布变化如图 1 所示。可以看出,有关量子神经网络的研究可划分 3 个阶段,2014—2017 年是平缓增长,2018—2022 年呈指数增长,2023 年略有回落。总体来说,反映出近年来量子神经网络在交通领域越来越受到研究者的关注。

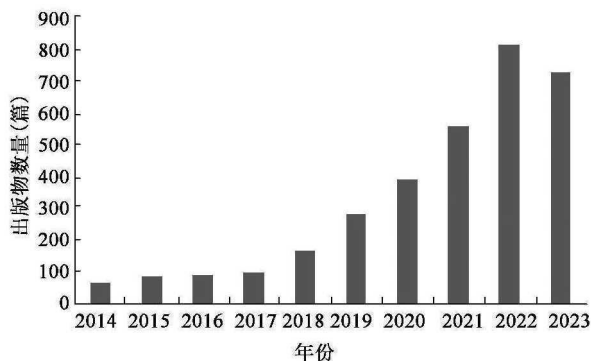


图1 量子神经网络在交通相关技术领域研究发展趋势

从研究归属地来看,量子神经网络在交通相关技术领域研究归属国家及地区的文献间共现关系如图 2 所示。其中,网络中可以表现出研究时间的前后关系,节点方框的规模大小代表该国家或地区相关出版物越多。本文所分析文献涉及 91



基于量子神经网络在交通领域的研究主题总结

表 1

应用热点	相关文献	主要研究内容	研究方法(模型)
预测	[4]	道路交通流量预测	量子粒子群优化策略
	[5]		量子遗传算法和学习矢量量化神经网络
	[6]		MEEMD 和量子神经网络
	[7]		量子粒子群算法和模糊小波神经网络
	[8]		量子卷积神经网络和贝叶斯优化
	[9]		量子行为 BAT 算法与深度信念网络
	[10]		量子傅立叶卷积网络
	[11]		量子 LSTM 神经网络
	[12]	交通拥堵状态预测	量子图卷积神经网络
	[13]	道路交通事故预测	采用量子态叠加的多层激励函数建模
	[14]	港口船舶流量预测	量子遗传算法对模糊神经网络的改进
	[15]	飞行流量预测	量子遗传优化 BP 神经网络模型
分类	[10]	图像分类	量子傅立叶卷积网络
	[16]		量子纠缠神经网络和量子卷积神经网络
	[17]		量子卷积神经网络(QCNN)
	[18]	视频流车辆分类	用受量子启发的概率积分器处理信息流
检测	[19]	数据安全入侵检测	量子支持向量机和量子卷积神经网络
	[18]	车辆检测与跟踪	深度学习模型和量子启发的概率积分器
	[20]	遥感图像车辆检测	基于量子 DMO 算法用于参数调节
	[21]	行为(疲劳)检测	量子遗传算法优化

第一类研究将量子算法应用到参数优化中。量子遗传算法具有较好的全局寻优能力,可将量子遗传算法用到传统神经网络权值的求解中。例如,Zhang<sup>[5]</sup>等为克服传统学习矢量量化神经网络对初始权值敏感、易陷入局部极小的缺点,将其与量子遗传算法相结合,在短期交通流量预测中表现出较好的性能。Su<sup>[14]</sup>等为解决传统的模糊神经网络存在历史数据过度拟合、易陷入局部最小预测不准确等问题,采用量子遗传算法对模糊神经网络进行了改进,结合后的神经网络在非线性和不确定性和强随机性的场景下都能取得较好的预测效果。类似地,周志靖<sup>[15]</sup>等将量子遗传算法与传统 BP 神经网络相结合,以求解 BP 神经网络的最佳初始权值与阈值,改善 BP 神经网络全局寻优能力并加快其收敛速度。Wu<sup>[21]</sup>等利用量子遗传算法对集成学习的结果进行优化,找到最佳的基分类器权重,可进一步提高检查精度。此外,Zhang<sup>[4]</sup>等在交通流量预测中,利用量子粒子群优化策略也是为获得上述量子遗传算法的效果,优化所用的传统神经网络参数,以达到更高的性能。

类似的还有 Ragab<sup>[20]</sup>等,为确保最优的超参数调节,采用量子 DMO 算法对深度学习网络进行优化。Lakshmi<sup>[9]</sup>采用深度信念网络(DBN)进行短期交通流量预测,利用量子行为算法(QBA)对可调参数进行优化。

第二类研究构建基于传统神经网络的量子神经网络。常用的长短期记忆网络(LSTM)、傅立叶神经网络(FNN)、傅立叶卷积神经网络(FCNN)、反向传播神经网络(BPNN)、卷积神经网络(CNN)等,都有与量子机制结合形成量子神经网络框架的研究。与传统神经网络相比,量子神经网络在理论上能获得指数级的加速比,原因是基于量子信息的纠缠和叠加特性,量子计算机可以进行指数级的并行计算,这种被称为量子加速的机制可以加速一些传统的学习算法,使其拥有超过其原本计算的能力。据此,Shen<sup>[10]</sup>等设计了一种量子傅立叶卷积网络(QFCN),吴明秋<sup>[11]</sup>等提出一种量子 LSTM 神经网络,上述两种量子神经网络均被应用于道路交通流量预测任务。Qu<sup>[12]</sup>等提出了一种量子图卷积神经网络算法,该算法能够同

时捕捉交通数据的时间和空间特征,被用于交通拥堵状态预测。Riaz<sup>[16]</sup>等提出了一种量子纠缠神经网络,可将 MNIST 和 CIFAR-10 的图像分类准确率分别提高到 93.8% 和 36%。Trochun<sup>[17]</sup>等设计一种量子卷积神经网络,用于交通图像分类任务。

第三类研究整合了量子神经网络与传统神经网络,它们各执行部分任务环节。如在交通流量预测任务中,Huang<sup>[6]</sup>等先使用 MEEMD 方法将交通数据序列分解为固有模式函数(IMF)分量,然后采用量子神经网络对 IMF 分量进行预测,综合各分量的预测结果得到最终的预测值。Zhang<sup>[7]</sup>等提出了一种基于量子粒子群算法和模糊小波神经网络的流量预测方法。

## 2.2 量子神经网络的应用挑战

量子神经网络相较于传统神经网络,量子计算加快了运算速度,提高了收敛速度,但其被应用仍存在一些挑战。

挑战一:真实运行量子计算的设备限制。本文分析的研究大多依靠传统计算机进行仿真实验,并不是在量子计算机的环境下运行,很难展现出量子神经网络的真正优势。突破量子硬件设备的限制是一个亟待推进的研究。

挑战二:算法网络结构有待深化。即使是目前比较先进的噪声中尺度量子计算机 NISQ,量子神经网络的应用仍然达不到理论的效果,神经网络结构的计算能力相对有限,网络结构的深度需要进一步优化。

## 2.3 量子神经网络的发展方向

在现有研究的应用场景的基础上,本文总结了量子神经网络在交通领域的潜在应用场景见表 2。除了上述既有研究中的预测、分类、检测领域外,未来智能交通或自动驾驶等的决策领域也将有可能成为量子神经网络的用武之地。

总体来说,对于未来量子神经网络的研究发展,仍需以下方面的努力:

(1)在具有真实量子计算环境的设备上开展量子神经网络的应用研究。

(2)构建维度更高、更规范的数据集,训练量子神经网络模型,使其在不同任务间的适应性更强。

(3)深化现有量子算法的网络结构,如增加量

子比特数、调整结构层数、设计量子电路等,以激发更大的量子计算优势。

量子神经网络在交通领域的应用展望 表 2

应用领域	应用主题	应用场景
预测	交通状态预测	道路交通运行状态预测 (流量、速度、拥堵等)
		港口船舶流量预测
		航空流量预测
		交通枢纽流量预测
		交通事故预测
分类	交通对象分类	车辆分类
		交叉口场景分类
		车道线、车道分类
检测	交通监控 与管理	车辆检测与轨迹识别
		行人检测与跟轨迹识别
		交通违法行为检测
		智能停车场管理
	行为检测	驾驶员异常行为检测
		行人过街意图检测
决策	自动驾驶	自动驾驶车辆环境感知
	自动驾驶	自动驾驶决策
决策	交通控制	智能网联交通控制

## 3 结语

量子神经网络是一个逐渐热门的研究领域,在图像处理、算法优化、数据预测等领域已有了初步的应用,并表现出较好的实验效果。本文围绕量子神经网络在交通相关技术领域进行了详细的检索,利用科学知识图谱对量子神经网络研究发展历程、研究归属地、研究热点等进行分析总结和可视化解析,并对其未来在交通领域的应用进行展望。以期望为解决交通运输领域具体问题提供新的解决思路。

## 参考文献

- [1] 李飞. 量子神经网络及其应用[J]. 电子与信息学报, 2004, 26(8): 1332-1339.
- [2] KAK S. On quantum neural computing [J]. Information Science, 1995, 83: 143-160.
- [3] ECKV, WALTMAN N. J., Software L. survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping [J]. Scientometrics, 2010, 84(2): 523-538.

- [4] ZHANG D G, WANG J X, FAN, H R, et al. New method of traffic flow forecasting based on quantum particle swarm optimization strategy for intelligent transportation system [ J ]. International Journal of Communication Systems, 2020, 34(1):1099-1131.
- [5] ZHANG F Q, WU S Y, WANG Y O, et al. Application of Quantum Genetic Optimization of LVQ Neural Network in Smart City Traffic Network Prediction [ J ]. IEEE Access, 2020, 8:104555-104564.
- [6] HUANG, W W, ZHANG J W, LIANG S J, et al. Backbone network traffic prediction based on modified EEMD and quantum neural network [ J ]. Wireless Personal Communications, 2018, 99(4):1569-1588.
- [7] ZHANG K, HU Z, GAN X T, et al. A network traffic prediction model based on quantum-behaved particle swarm optimization algorithm and fuzzy wavelet neural network [ J ]. Discrete dynamics in nature and society, 2016.
- [8] NANDHINI R S, LAKSHMANAN R. QCNN\_BaOpt: multi-dimensional data-based traffic-volume prediction in cyber-physical systems [ J ]. Sensors, 2023, 23(3):1485.
- [9] LAKSHMI K, NAGINENI S, et al. An optimal deep learning for cooperative intelligent transportation system [ J ]. CMC-Computers Materials & Continua, 2022, 72(1):19-35.
- [10] SHEN F H, LIU J. Quantum fourier convolutional network [ J ]. ACM Transactions on multimedia computing communication and Application, 2023, 19(1):13.
- [11] 吴明秋. 基于量子 LSTM 神经网络模型的短时交通流量预测 [ D ]. 重庆: 重庆师范大学, 2022.
- [12] QU Z G, LIU, X Z, ZHENG M. Temporal-Spatial quantum graph convolutional neural network based on schrodinger approach for traffic congestion prediction [ J ]. IEEE Transactions on intelligent transportation systems, 2023, 24(8):8677-8686.
- [13] 孙隽华. 基于量子神经网络的道路交通事故预测 [ J ]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10(5):104-109.
- [14] SU G L, LIANG T, WANG M. Prediction of vessel traffic volume in ports based on improved fuzzy neural network [ J ]. IEEE access, 2020, 8:71199-71205.
- [15] 周志靖, 陈金良, 沈华, 等. 空中交通航空飞行流量优化预测仿真 [ J ]. 计算机仿真, 2016, 33(8):54-57, 71.
- [16] RIAZ F, ABDULLA S, SUZUKI H, et al. Accurate image multi-class classification neural network model with quantum entanglement approach [ J ]. Sensors, 2023, 23(5):2753.
- [17] TROCHUN Y, STIRENKO S, ROKOVYI O, et al. Hybrid classic-quantum neural networks for image classification [ C ]. // Proceedings of The 11th IEEE IDAACS. Cracow: [ s. n. ], 2021: 968-972.
- [18] DERROUZ H, CABRI A, ABDELALI H A, et al. End-to-end quantum-inspired method for vehicle classification based on video stream [ J ]. Neural Computing & Application, 2022, 34(7):5561-5576.
- [19] KALININ M, KRUNDYSHEV V. Security intrusion detection using quantum machine learning techniques [ J ]. Journal of Computer Virology and Hacking Techniques, 2023: 125-36.
- [20] RAGAB M, ABDUSHKOUR H A. Improved deep learning-based vehicle detection for urban applications using remote sensing imagery [ J ]. Remote sensing, 2023, 15(19):4747.
- [21] WU N, SUN J J. Fatigue detection of air traffic controllers based on radiotelephony communications and self-adaption quantum genetic algorithm optimization ensemble learning [ J ]. Applied sciences-basel, 2022, 12(20).
- [22] 周浩田. 基于量子神经网络的无人船航向保持控制器 [ D ]. 辽宁: 大连海事大学, 2020.