

量子蚁群算法在农业灌溉路径优化中的应用

何小虎¹
HE Xiaohu

摘要

针对农业灌溉领域水资源利用效率低的问题,文章提出一种融合量子理论的蚁群优化方法,用于农业灌溉线路的优化设计。该方法在传统蚁群算法基础上,通过引入量子理论对核心机制进行改进:一是优化状态转换规则,提升算法对灌溉线路的探索广度;二是改进信息素更新规则,增强算法对最优路径的引导能力。为验证方法有效性,搭建仿真实验平台,将量子蚁群算法与传统蚁群算法在灌溉线路优化场景下进行对比测试。实验结果表明,所提量子蚁群算法的收敛速度较传统算法显著提升,同时搜索效率更高,能够更精准地找到农业节水灌溉渠道的最优布局方案。该研究可为提升农业水资源利用效率、推动节水灌溉技术发展提供有效技术支撑。

关键词

量子计算; 蚁群算法; 路径优化

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.11.009

0 引言

农业作为国民经济的基础产业,业用水占全球淡水使用量的 70% 以上,水资源在促进粮食生产、维持人类生活等方面发挥着至关重要的作用^[1]。然而,目前我国农业灌溉领域面临着严峻的水资源利用率低的问题。相关数据表明,2023 年,中国农业用水总量约达 $3.6 \times 10^{11} \text{ m}^3$,但由于灌溉方式不合理、灌溉渠道布局不科学等因素,导致水资源的浪费现象较为严重,水资源匮乏已成为制约我国农业生产发展的重大瓶颈之一。在全球水资源日益紧张的大背景下,如何提高农业灌溉的水资源利用效率,实现水资源的合理配置和高效利用,已成为当前农业领域亟待解决的关键问题。

蚁群算法作为一种智能优化算法,其灵感来源于蚂蚁群体觅食过程中通过信息素进行协作的行为模式。该算法在解决路径优化、组合优化等问题方面展现出了独特的优势,为解决农业灌溉中的水资源利用问题提供了新的思路和方法。量子计算作为一种前沿技术,经过多年发展,其独有的计算能力和强大的计算性能已成为当今科技界的研究热点,并在密码学、优化问题、材料科学、药物研发以及人工智能等众多领域得到了广泛应用。将量子计算与蚁群算法相结合,充分发挥量子计算在提高算法全局寻优能力和收敛速度方面的优势,有望为农业节水灌溉渠道优化问题提供更为有效的解决方案。本文旨在通过深入研究量子

蚁群算法在农业灌溉路径优化中的应用,探索提高农业水资源利用效率的新途径。

1 量子蚁群算法

20 世纪 80 年代初,量子计算被提出。随后学者们开始对量子计算进行研究。量子计算所独有的计算能力和强大的计算性能已成为当今科技界研究的热点。已经在密码学、优化问题、材料科学、药物研发以及人工智能等方面得到广泛应用^[1-2]。

2008 年,李盼池等人^[3]将量子计算理论和进化计算理论并将其与蚁群算法相融合,发展了一种基于量子计算原理的概率优化算法,将量子计算与蚁群算法相结合的一种崭新的优化方法,即量子蚁群算法。量子蚁群算法(quantum ant colony optimization algorithm, QACO)是蚁群算法和量子信息技术结合,通过量子比特的叠加态特性,增加了算法的信息编码多样性,使得算法在搜索解空间时能够探索更多的可能性;同时,利用量子计算的相关操作,如量子旋转门、Hadamard 门等,对蚁群的搜索行为和信息素更新过程进行优化,从而提高算法在复杂问题求解中的性能^[4-5]。

量子计算的发展为解决复杂优化问题提供了强大的理论支持和技术手段。在众多领域,量子计算都展现出了巨大的应用潜力。例如,在密码学领域,量子计算的强大计算能力对现有的经典密码体系构成了严峻挑战,同时也推动了量子密码学的发展;在材料科学领域,量子计算可以用于模拟材料的微观结构和物理化学性质,加速新型材料的研发进程;在优化问题求解方面,量子计算能够为传统优化算法注入新的活力,提高算法的搜索效率和求解质量。

1. 渭南师范学院计算机学院 陕西渭南 714000

[基金项目] 渭南市级重点研发计划项目(ZWGX2003-1)

1.1 量子信息编码

在量子信息技术中,量子比特(qubit)是可以存储信息的存储单元,量子比特除了0和1两个状态外,还可以存在二者的叠加态。因此,把量子态引入到蚁群算法中,可以使每一位的取值变成任意值,有效增加了信息编码的多样性,量子态 $|\varphi\rangle$ 可表示为:

$$|\varphi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \quad (1)$$

式中: α 和 β 表示 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 的概率幅度,且满足下列条件:

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \quad (2)$$

将量子态引入到蚁群算法中,使得每一位的取值不再局限于传统的0或1,而是可以处于任意的叠加态,有效增加了信息编码的多样性。这种多样性能够使算法在搜索解空间时,以更丰富的方式探索不同的路径组合,从而提高算法找到全局最优解的可能性。

1.2 转态转换规则

在量子蚁群算法中使用量子保真度作为启发因子^[6],改进算法中搜索时间长且容易陷入停滞的问题,

改进后转移概率计算公式为:

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\eta_{ij}^\gamma(t) \tau_{ij}^\alpha(t) F_{(i,j)}^\beta(t)}{\sum_{s \in \text{allowed}_k} \eta_{is}^\gamma(t) \tau_{is}^\alpha(t) F_{(i,s)}^\beta(t)}, & j \in \text{allowed}_k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

1.3 蚂蚁信息素更新

蚁群根据信息素强度和启发信息,按照状态转移规则进行搜索。为解决加快收敛速度,增加全局最优解搜索的概率,采用Hadamard门实现路径上量子信息素浓度的更新^[7],信息素 $P_{ij}^{t+1} = U_{\text{Hadamard}} P_{ij}^t$,Hadamard门公式为:

$$U_{\text{Hadamard}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

更新规则为:

$$\eta_j(t+1) = (1-\rho)\eta_j(t) + \Delta\eta_j, \rho \in (0,1) \quad (5)$$

$$\Delta\eta_j = \sum_{k=1}^n \Delta\eta_j^k \quad (6)$$

$$\Delta\eta_j = \begin{cases} Q \cdot F_{(i,j)}^k, & \text{第} K \text{只蚂蚁从节点} i \text{访问节点} j \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

1.4 蚂蚁位置更新

为了避免算法陷入局部最优,在算法中引入量子旋转门,量子旋转门的设计尤为关键,当信息素更新时,使用量子旋转门选取合适角度,让蚁群通过量子旋转门操作进行自适应迭代寻优,从而更好地靠近最优解。量子旋转门的公式为:

$$\begin{pmatrix} \alpha_{ij}^{t+1} \\ \beta_{ij}^{t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_{ij} & -\sin\theta_{ij} \\ \sin\theta_{ij} & \cos\theta_{ij} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_{ij}^t \\ \beta_{ij}^t \end{pmatrix} \quad (8)$$

式中: $\begin{pmatrix} \alpha_{ij}^t \\ \beta_{ij}^t \end{pmatrix}$ 表示蚁群第 t 次在路径上节点 i 和 j 之间的信息素概率幅; θ_{ij} 表示在路径上节点 i 到 j 的旋转角^[8]。

1.5 量子蚁群算法主要步骤描述

步骤1:初始化量子蚁群算法中的相关参数,主要包括蚂蚁数量 n 、信息素挥发率 ρ 、 τ_{ij} 、 $\Delta\tau_{ij}$ 以及相关的其他参数。合理的参数设置对算法的性能有着重要影响,在实际应用中,需要根据具体问题进行反复调试和优化。

步骤2:将每个蚂蚁放置到初始出发点,并将起始节点存入禁忌表,以避免蚂蚁重复访问已访问过的节点。然后,利用状态转换规则计算蚂蚁转移到下一个节点的概率,根据计算得到的概率值,确定下一个顶点 k ,并将节点 k 存入禁忌表中。在这一过程中,蚂蚁根据路径上的信息素浓度和启发式信息,以一定的概率选择下一个节点,从而实现对整个解空间的搜索。

步骤3:计算每个蚂蚁搜索出路径的距离,并对所有蚂蚁搜索得到的路径进行排序筛选,记录当前的最好解。通过比较不同蚂蚁找到的路径长度,找出当前迭代过程中的最优路径,为后续的信息素更新和算法迭代提供参考。

步骤4:按照量子旋转门的规则对信息素矩阵数据进行更新。通过量子旋转门操作,调整信息素的概率幅度,引导蚁群在后续的搜索中朝着更有可能找到最优解的方向进行探索。

步骤5:对各边弧 (i,j) ,置 $\Delta\tau_{ij} \leftarrow 0$; $n_c \leftarrow n_c + 1$,记录当前的迭代次数。

步骤6:判断循环条件,若循环次数大于预定的最大迭代次数,则停止搜索;否则,返回步骤2继续循环。通过不断的迭代搜索,蚁群逐渐在解空间中找到更优的路径。

步骤7:输出目前找到的最好解,即经过多次迭代后得到的最优农业灌溉路径^[9-10]。

2 优化算法仿真测试

为了检测量子蚁群算法在优化农业灌溉渠道方面的可行性和实际效果,本研究设计了模拟仿真实验。实验选择陕西省渭南市某个区域的田地作为测试样本,该区域的田地分布具有一定的代表性,能够反映出农业灌溉路径优化问题的实际复杂性。

为了检测量子蚁群算法在优化农业灌溉渠道的可行性和效果,设计了模拟仿真实验进行检测。选择陕西省渭南市某个区域的田地作为本次测试的样本,各地块相对位置的坐标如表1所示。模拟测试的各地块相对位置散点图如图1所示。

在相同的条件下,将相应的 (x,y) 坐标系对应1、2、...、20编码,用MATLAB编程进行仿真实验,对传统蚁群算法与优化量子蚁群算法进行对比分析,用传统蚁群算法进行仿真优化的线路是:9—16—15—13—5—7—10—8—11—14—18—1—12—4—3—2—20—17—19—6,优化线路长度是30.482 km,具体的仿真优化线路如图2所示。

表 1 各地块相对位置坐标统计表

试验点	坐标位置 /km	试验点	坐标位置 /km
1	(5.523, 1.523)	11	(4.451, 1.894)
2	(6.342, 3.873)	12	(4.754, 2.911)
3	(4.654, 5.134)	13	(0.979, 5.318)
4	(4.235, 2.523)	14	(5.132, 1.144)
5	(1.342, 3.786)	15	(2.231, 4.811)
6	(4.787, 8.246)	16	(3.263, 4.479)
7	(1.568, 2.859)	17	(7.489, 8.512)
8	(3.672, 2.259)	18	(6.467, 1.352)
9	(3.847, 6.623)	19	(4.135, 9.411)
10	(2.578, 1.589)	20	(6.571, 7.253)

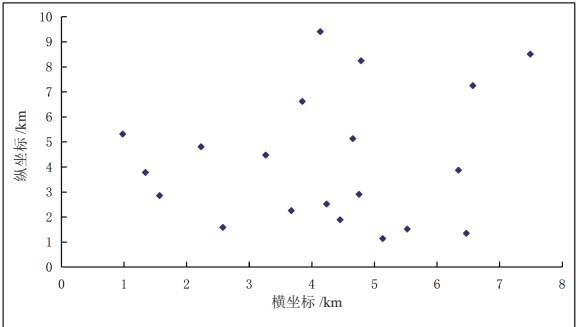


图 1 各地块坐标位置图

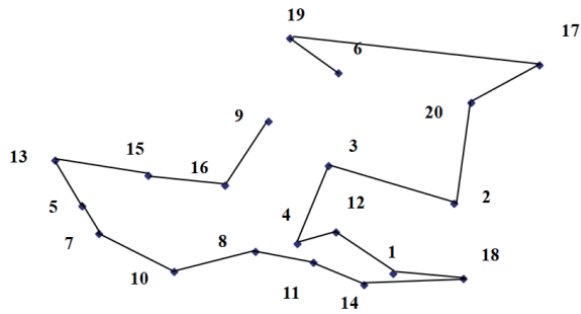


图 2 蚁群算法仿真优化线路图

用量子蚁群算法进行仿真优化的线路是：19—6—9—16—15—13—5—7—10—8—11—14—18—1—12—4—3—2—20—17，优化线路长度是 28.549 km，具体的仿真优化线路如图 3 所示。

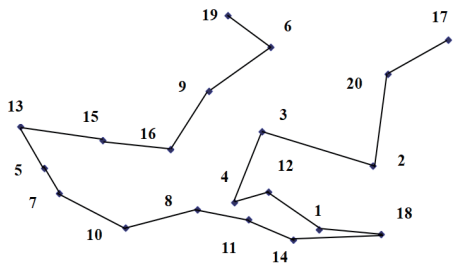


图 3 量子蚁群算法仿真优化线路图

3 优化线路方案对比

3.1 线路长度对比

在相同的条件下，对传统蚁群算法和量子蚁群算法进行对比发现，量子蚁群优化算法优化的仿真线路长度明显缩短。从实验结果来看，传统蚁群算法得到的线路长度为 30.482 km，而量子蚁群算法得到的线路长度为 28.549 km，量子蚁群算法使线路长度缩短了约 $(30.482-28.549) \div 30.482 \times 100\% \approx 6.34\%$ 。线路长度的缩短意味着在农业灌溉过程中，水在渠道中的输送距离减少，能够降低输水过程中的蒸发、渗漏等损耗，从而实现节水目的。

3.2 收敛速度对比

除了线路长度，收敛速度也是衡量算法性能的重要指标。在本次实验中，记录两种算法在每次迭代过程中找到的最优路径长度，绘制收敛曲线。从收敛曲线可以明显看出，传统蚁群算法在迭代初期，收敛速度较慢，需要经过较多的迭代次数才能逐渐接近最优解，大约在第 60 次迭代后才趋于稳定；而量子蚁群算法在迭代过程中，收敛速度更快，在第 30 次迭代左右就已经接近最优解，并快速稳定下来。这表明量子蚁群算法能够更快地找到农业灌溉渠道路径的最优解，提高了算法的效率，在实际应用中可以更快地完成灌溉路径规划，节省时间成本。两种算法路线长度优化的对比结果如图 4 所示。

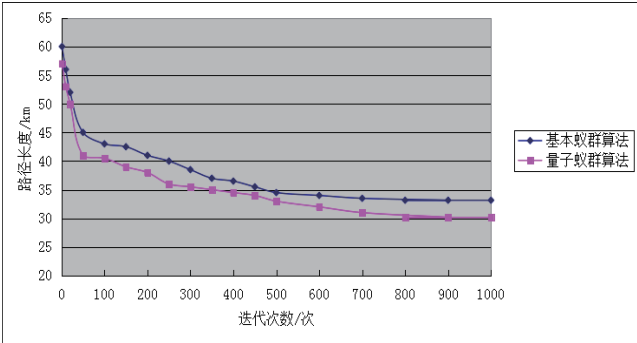


图 4 优化配水方法比较曲线图

4 结语

本文在传统蚁群算法的基础上引入量子理论，对蚁群算法进行改进优化。仿真试验结果表明，改进的量子蚁群算法可以提高蚁群的搜索效率，优化了农业灌溉线路，达到节水灌溉的目的，同时也丰富了智能算法在水资源优化配置中的应用。但是算法在路径搜索时节点数量、相关参数大小设置等因素和算法改进，今后还需进一步深入研究。

参考文献：

[1] 马赛 .2023 年世界粮食日聚焦水资源管理 [N]. 光明日报，2023-10-22.

基于柔性微动开关阵列的睡姿识别系统

汪 耀¹ 高 林¹
WANG Yao GAO Lin

摘 要

睡姿监测能用于睡眠改善和疾病的预防。为实现对睡姿的准确识别,降低监测系统成本并保护用户隐私,文章提出了一种基于柔性微动开关阵列的睡姿识别系统。首先利用软垫式柔性微动开关阵列结合抗串扰信号采集电路得到人体睡姿数据,然后通过金枪鱼群优化算法改进的BP神经网络(TSO-BP)最终实现仰卧、俯卧、左侧卧、右侧卧4种睡姿的准确识别。实验结果表明,系统对4种睡姿的整体识别准确率为98.8%,将模型移植到嵌入式MCU平台后,系统在线识别准确率为93.1%。与现有基于压力传感器阵列的睡姿识别方法相比,所提系统在确保识别准确率的同时大幅降低了硬件成本,可为家庭睡姿监测与相关健康预警提供有效技术支撑。

关键词

睡姿识别; 柔性微动开关阵列; 嵌入式; 金枪鱼群优化算法; BP神经网络

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.11.010

0 引言

睡姿作为衡量睡眠质量的重要参数之一,与人体健康密切相关^[1]。不合适的睡眠姿势可能会导致脊柱弯曲^[2]、影响呼吸状况^[3],甚至引发长期的健康问题。准确且实时的睡姿监测有助于睡眠障碍、皮肤压疮、脊柱弯曲等疾病的预防和护理。当今世界护理人力短缺^[4]与人口老龄化加剧,使人工监测面临更多挑战。因此,设计一款识别准确度高、实时性好的睡姿监测系统是极为重要的。

目前,已有多种睡姿识别方法被提出。(1)使用红外成像或热成像技术,将睡姿图像输入分类器进行睡姿识别,但存在隐私泄露的风险^[5-7];(2)使用人体生理信号^[8]、身体振动信号^[9-10],对其进行预处理后用于识别睡眠姿势,由于需佩戴此类传感器,可能对受试者的自然睡眠造成干扰,影响数据收集的准确性;(3)基于人体压力分布的方法^[11-13],具有隐私保护、不干扰自然睡眠的优势,适用于日常睡姿监测。然而,该方法通常依赖大规模传感器阵列,且单个传感器单元成本较高,导致整体硬件价格昂贵,限制了其在家庭日常监测中的推广应用。

针对现有方法的不足,本文提出一种基于柔性微动开关

1. 武汉轻工大学电气与电子工程学院 湖北武汉 430023

- [2] 贺诗涵. 农业水利工程中高效节水灌溉技术分析[J]. 黑龙江水利科技, 2024, 52(8): 68-71.
- [3] 李盼池, 李士勇. 求解连续空间优化问题的量子蚁群算法[J]. 控制理论与应用, 2008, 25(2): 237-240.
- [4] 张辉栋. 基于改进粒子群算法的农业节水灌溉路径优化方法[J]. 水利技术监督, 2023(4): 55-58.
- [5] 刘静岩, 徐珊珊. 量子计算发展现状及应用前景探索分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2023, 18(4): 372-377.
- [6] 李盼池, 张巧翠, 杨雨. 一种基于相位编码的自适应量子粒子群算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(23): 57-59.
- [7] 赵卢月, 董玉民, 江彤. 基于量子蚁群优化算法的最短路径问题求解[J]. 信息技术与信息化, 2019(12): 112-115.
- [8] 李炫秋, 黄斐君, 景鹏飞. 基于量子蚁群算法的旅行商问

题求解及算法评估[J]. 大学物理, 2024, 43(2): 79-85.

- [9] 李想, 董玉民. 一种优化的量子蚁群算法在旅行商问题上的应用[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2022, 39(5): 127-133.
- [10] 吴昌钱, 黄锐, 罗志伟. 基于量子蚁群算法的智能制造调度问题研究[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2023, 46(4): 74-79.

【作者简介】

何小虎(1978—), 男, 陕西渭南人, 硕士研究生, 副教授, 研究方向: 智能算法优化及其应用研究, email: 254223964@qq.com.

(收稿日期: 2025-03-06 修回日期: 2025-11-05)