

基于改进 Dijkstra 算法的输电线路路径 全景智能规划设计

周 晨

(国网浙江丽水市莲都区供电有限公司, 浙江 丽水 323000)

摘 要:传统输电线路路径规划通常依赖人工导入和手动校准,导致人工成本较高。为了优化这一过程,通过投影变换并设置栅格化参数,将输电线路地形坐标进行栅格化;然后采用线性模型的量化评分方法评估栅格单元的成本,并结合地理因素对各栅格成本进行权重分配,使栅格成本的评估更加合理和精确。在此基础上,引入目标导向引导策略因子和线路平滑引导策略因子,通过改进后的 Dijkstra 算法计算路径成本。这种方法能够在优先目标搜索区域中高效地找到距离最短和路径成本最低的路径,并将其作为输电线路路径全景智能规划的核心路径。实际算例表明,在合理提高地形划分精度的前提下,所设计路径的平均建设成本较低且路径较短,从而显著降低了路径规划的总成本。由此可见,引入智能路径规划的改进 Dijkstra 算法,能够有效降低输电线路路径规划的成本和复杂度。

关键词:Dijkstra 算法;输电线路;路径规划;全景智能规划

中图分类号:TM726

文献标志码:A

文章编号:1009-1734(2026)04-0051-07

在电力工程领域,输电线路路径规划是一项复杂的任务,其要求在多种约束条件下规划出一条从起点到终点的最优路径。随着电网规模的不断扩大和复杂度的不断提高,传统的路径规划方法已难以满足实际需求,因此引入 Dijkstra 算法进行路径规划显得尤为重要^[1]。作为一种经典的单源最短路径算法,Dijkstra 算法能够在最短时间内找到最优解,因而得到了广泛应用。在现有的输电线路路径规划方法中,卢佳设计了基于三维 GIS 的输电线路路径全景智能规划方法^[2]。该方法通过三维 GIS 技术对数据进行转换、映射和校正,生成输电线路的三维场景。然而,不同数据源的格式、精度和坐标系可能存在差异,导致线路规划成本较高。

在更广泛的路径规划研究领域,相关研究成果为输电线路规划优化提供了借鉴。例如:在电力巡检机器人领域,张刚等提出了基于 ICDO 算法的路径规划系统,有效解决了巡检机器人的自动化导航问题^[3];聂铭涛等针对多无人机协同路径规划中的计算资源分配进行了深入研究,提升了多智能体系统的规划效率^[4];刘岚等利用物联网技术实现了无人机的智能巡线路径规划,进一步拓展了智能算法在电力场景的应用边界^[5];孙倩等综述了面向在轨捕获的空间机器人路径规划与控制方法,为复杂约束条件下的路径优化提供了理论参考^[6]。为提高路径规划效率,胡国华等^[7]设计了基于改进 A* 算法的无人车路径规划方法。该方法首先使用四周方向的栅格化地形图确定出发节点与目标节点的坐标,并通过跳点算法搜索关键节点,最终将存储的最小价值度的节点组成最佳路径。然而,跳点法在复杂地形条件下的节点筛选过程较耗时,导致路径搜索时间过长,增加了人力成本。

收稿日期:2026-03-12

通信作者:周晨,高级工程师,从事营销业务数字化研究

本文提出了一种应用改进 Dijkstra 算法的输电线路路径全景智能规划设计方法。该方法在栅格化地形坐标的基础上,引入目标导向引导策略因子和线路平滑引导策略因子,并结合地理因素进行权重分配,从而使栅格成本代价的评估更加合理和精确。同时,借鉴相关领域对 Dijkstra 算法的改进思路^[8],采用改进后的 Dijkstra 算法计算路径成本,在优先目标搜索区域中高效找到最小路径成本及其对应的最短路径,并将其作为输电线路路径全景智能规划的核心路径。实际算例表明,在合理提高地形划分精度的前提下,该方法规划出的路径较短且平均建设成本较低,从而显著降低了路径规划的总成本。由此可见,基于改进 Dijkstra 算法的输电线路路径规划方法,能够有效降低输电线路路径规划的总成本和复杂度。

1 应用改进 Dijkstra 算法的路径规划

1.1 输电线路地形栅格化

首先,确保所有输入数据位于统一的地理坐标系下,并对地形数据进行预处理,以减小累积误差;其次,将地理坐标系下的地形数据转换为投影坐标系下的数据。为防止输电线路地形在投影坐标系下栅格化时产生变形,并满足投影前面积不变(即面积比等于 1),本文采用等面积投影法。

在等面积投影法下,对输电线路地形的投影坐标进行栅格化,并设置相关参数。设投影坐标系中任意点为 $P(x, y)$,栅格的宽度为 w ,高度为 h ,栅格图像的左上角像素中心为坐标原点 $(0, 0)$,水平方向上每单位投影坐标对应的像素数为 R_x ,垂直方向上每单位投影坐标对应的像素数为 R_y ,则栅格坐标基数的计算公式为

$$\begin{cases} i = \lfloor (x - x_{\min})P \times R_x \rfloor, \\ j = \lfloor (y_{\max} - y)P \times R_y \rfloor, \end{cases} \quad (1)$$

式中: i 和 j 分别代表像素的整数横坐标和纵坐标; $x_{\min}$ 代表栅格覆盖的投影区域的横向边界; $y_{\max}$ 代表栅格覆盖的投影区域的纵向边界。根据栅格坐标基数进行输电线路地形栅格化,将连续离散区域化为规则的栅格区域。由此,将地形划分为规则区域,每个栅格代表一个规则单元。

1.2 分配栅格成本

输电线路所在栅格的成本受多种因素影响^[9]。为计算输电线路经过不同栅格区域的成本,本文建立不同地形条件下的输电线路架设成本量化指标,见表 1。

表 1 不同地形条件下的输电线路架设成本权重

地形类型	成本估算权重
山地	1.0
丘陵	0.6
平原	0.4
荒漠	0.6
城市	1.0
耕地	0.6
覆冰	0.4
社会因素	0.3~2.0

在参照表 1 中的成本估算权重构建栅格成本矩阵的过程中,首先需要对地形数据进行量化分析以确定各区域的成本;然后根据一定的权重计算方法,得到一个与地理空间相匹配的成本矩阵:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

式中: $\mathbf{M}$ 代表栅格矩阵; a_{ij} 表示对应栅格区域的架设成本权重。由此可以绘制出输电线路的架设成本分布图。在该模型中, 颜色越深表示对应区域的架设成本越高。其中, 颜色最深的部分表示这些区域存在障碍物或不可通过的设施, 如机场、峡谷等。

因此, 对于这类区域, 本文将成本设为正无穷。在实际工程中, 可以根据具体的地形地貌采用不同形状的地物分布, 这不会影响路径规划结果的精确性。基于上述方法, 可以完成栅格范围内的成本分配。

1.3 计算路径成本

根据上述方法计算得到加权栅格矩阵 $\mathbf{M}$, 并结合综合地理因素权重 w , 可求得栅格地理信息综合成本评分向量 $\mathbf{W}$:

$$\mathbf{W} = \mathbf{M}w, \quad (3)$$

式中, w 是指标层与准则层之间的权重向量跟准则层与目标层之间的权重向量之积。以路径跨越的所有栅格地理信息综合成本为目标, 计算路径地理信息综合成本:

$$f_1 = \lambda \sum_{i=1}^N \mathbf{W}_i, \quad (4)$$

式中: N 代表总被跨越栅格数; λ 为地理环境成本因子; $\mathbf{W}_i$ 为第 i 个被跨越栅格地理信息综合成本评分。

在路径规划的过程中, 路径的长度成本为

$$f_2 = k \sum_{i=1}^{N-1} \sqrt{(x_0 - x')^2 + (y_0 - y')^2}, \quad (5)$$

式中: f_2 代表每一小段线路路径长度成本之和; k 代表线路长度成本因子; (x_0, y_0) 代表当前栅格坐标; (x', y') 为前一栅格坐标。根据路径地理信息综合成本进行路径搜索时, 相邻栅格的地理综合成本评分值越低, 越容易被选中。

然而, 仅依靠栅格综合成本确定下一个栅格的位置, 易导致输电线路路径偏离目标走向, 产生绕路现象。为此, 引入目标导向引导策略因子和线路平滑引导策略因子对线路走向作出引导。引入的目标导向引导策略因子为

$$I = \begin{cases} M' \times (L_i - L_{i+1}), & L_i - L_{i+1} > 0, \\ 2 \times M' \times |L_i - L_{i+1}|, & L_i - L_{i+1} \leq 0, \end{cases} \quad (6)$$

式中: M' 代表栅格的平均架线成本; L_i 代表第 i 个栅格到终点的距离; L_{i+1} 代表第 $i+1$ 个栅格到终点的距离。 I 值越大表示路径越偏离目标, 故本文选取较小的 I 值。引入的线路平滑引导策略因子为

$$O_i = \beta \delta \sin \theta \times \Delta h, \quad (7)$$

式中: β 代表线路转角成本因子; δ 代表线路坡度成本因子; θ 代表相邻两小段路径之间的夹角; Δh 代表相邻栅格的高度差。在输电线路路径选择中, O_i 越大, 表示线路转折越多且坡度越大, 这将会增加杆塔成本, 因此, 为了尽可能地减少输电线路路径的转角与线路坡度, 一般选取较小的 O_i 。

综合考虑输电线路路径的地理信息综合成本与路径长度成本, 引入 I 和 O_i , 建立计及多种引导策略的路径最小成本搜索模型, 其优化目标函数为

$$\begin{cases} f = \min(f'_1 + f'_2), \\ f'_1 = \lambda \sum_{i=1}^N I W_i, \\ f'_2 = k \sum_{i=1}^{N-1} O_i \sqrt{(x_0 - x')^2 + (y_0 - y')^2}, \end{cases} \quad (8)$$

式中: f 为路径综合成本; f'_1 为计及 I 的地理信息综合成本; f'_2 为计及 O_i 的路径长度成本。

1.4 应用改进 Dijkstra 算法寻找最优路径

为降低路径成本并寻找最优路径,本研究采用改进的 Dijkstra 算法进行路径规划。该算法基于八邻域模型运行,其中每个栅格被视为一个节点,相邻节点之间通过成本建立连接。八邻域模型被设为优先目标搜索区域,路径选择仅在该区域内进行。在该模型中,从某个节点出发会有 8 个方向的路径,这些路径可分为直线方向和斜线方向。节点可以与不同方向的邻居节点相连,其中 0 节点为起始节点,其他节点的距离初始化为无穷大。将不同方向的节点加入优先队列,并按升序排列,该算法能够快速选出最小距离成本的目标节点。

一旦从优先队列中弹出目标节点,搜索过程即停止;否则,算法会对邻居节点进行距离更新。更新后的邻居节点被重新加入优先队列,并继续进行路径选择,直到找出最优路径为止。为验证寻找到的路径是否为最优路径,记录每个路径的来源节点,并设目标路径的成本为

$$\begin{aligned} \cos t &\leq f, \\ \cos t &> f, \end{aligned} \quad (9)$$

式中: $\cos t$ 代表实际计算出的路径成本; f 代表当前记录的最小路径成本。若实际路径成本值 $\cos t$ 大于当前路径综合成本 f ,则该路径不被更新;反之,若实际路径成本值 $\cos t$ 小于当前路径综合成本 f ,则当前位置栅格的累计成本会被实际路径成本值 $\cos t$ 替代,表明改进的 Dijkstra 算法发现了更低成本的路径,并将该路径加入 CLOSE 列表。

若扩展节点存在多个源节点,则扩展过程继续将该路径加入 OPEN 列表,无需顾及该路径源自哪个起始节点。如此反复,直至找到最终的最低成本,即最优路径。至此,完成基于改进 Dijkstra 算法的输电线路路径全景智能规划。

2 实验

2.1 算例与参数设定

以某区域的地形图为例,进行输电线路最优路径的规划。该区域南北距离为 27.0 km,东西距离为 31.2 km,A、B 分别为输电线路路径规划的起点与终点。规划区域中存在需跨越的公路,以及需避让的村庄、大型厂房和自然保护区等。相关算法参数设置如下:粒子种群规模为 50,惯性权重取 0.5,学习因子 c_1 取 1.5,最大迭代次数为 160 次。线路长度成本因子 $k=45$,线路转角成本因子 β 与线路坡度成本因子 δ 分别取 15 和 10,地理环境成本因子 λ 取 50。输电线路按单回考虑。在完成地形数据投影和地形地貌可视化的基础上,对地面进行栅格划分,并对各栅格进行成本评估。最终,在实际地貌上构造出的加权栅格矩阵见图 1。

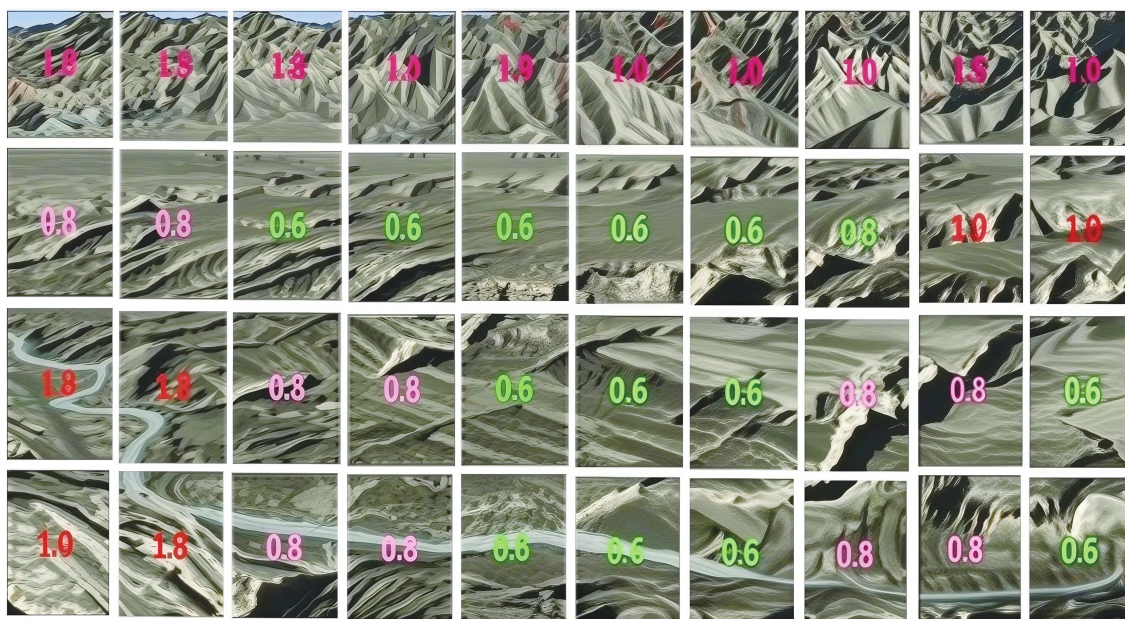


图1 实际地貌的加权栅格矩阵示意图

为实现输电线路路径的最优规划并降低工程成本,采用改进的 Dijkstra 算法对目标区域进行路径搜索。具体步骤如下:将每个栅格赋予相应的权重值(即经过该栅格的成本代价),并将这些栅格联结为一个成本网络模型;在图 1 的基础上,计算各栅格路径的累计成本,并确定从起点到终点的最短路径;通过算法计算,从起点栅格出发的最短路径总成本为 1 200 万元。将该路径成本与路径综合成本(3 500 万元)进行比较,结果表明,最小成本路径(1 200 万元)显著低于路径综合成本,即改进的 Dijkstra 算法能够找到更低成本的路径。因此,将该路径及其相关栅格节点纳入 CLOSE 列表^[7]。同时,将这 8 个相邻栅格加入 CLOSE 列表,表示已遍历完毕。

为进一步验证本文所提改进算法的有效性,在相同条件下对以下 3 种方法进行优化效果对比:基于三维 GIS 的输电线路路径全景智能规划方法(算法 1)、基于云平台三维数字化输电线路路径规划方法中的改良型粒子群算法(算法 2),以及本文所改进的 Dijkstra 算法(本文算法)。通过多次独立计算,对比分析 3 种算法在路径成本方面的表现。

2.2 结果分析

3 种算法的优化曲线对比结果见图 2。

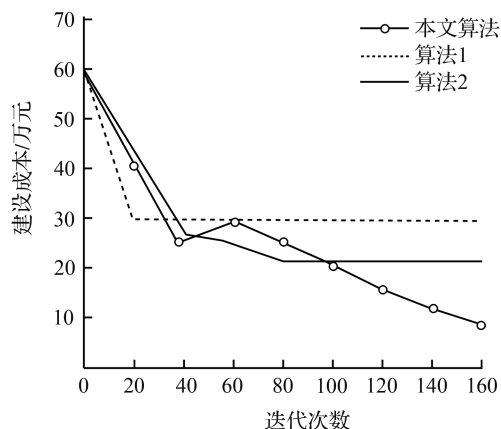


图2 3种算法的优化曲线对比

由图 2 可知,算法 1 在迭代不到 30 次即收敛,成本稳定于 30 万元;算法 2 在迭代初期跳出了局部最优区域,但在迭代后期成本无法进一步降低,趋于稳定在 20 万元。本文算法结合八邻域模型不断更新路径距离,有效避免了固定成本的限制,在迭代过程中,前期建筑成本持续下降,后期虽然下降幅度变小,但仍呈缓慢下降趋势。3 种算法分别独立计算 70 次,所得优化曲线见图 3。

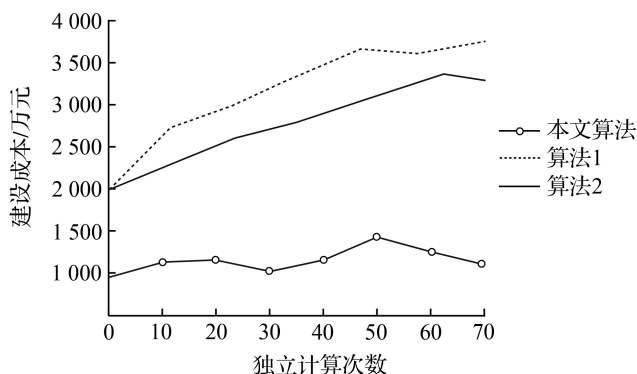


图 3 3 种算法 70 次独立计算结果分布曲线

由图 3 可知,本文算法所得平均建设成本最低,且成本分布无明显的聚集或稀疏区域。与前两种算法相比,本文算法通过引入路径最小成本搜索模型,并结合优先队列的动态排序机制,能够有效规避局部最优解,不断优化路径选择,从而最终得到全局最优解。因此,本文算法在平均建设成本方面具有显著优势,且规划出的线路更为合理,充分体现了其优越性和有效性。

3 结 语

本研究充分考虑线路走廊区域内的多种地理环境因素,利用改进 Dijkstra 算法计算线路走廊区域的地理因素综合成本值,并在此基础上建立计及多种引导策略的路径最小成本模型。该模型不仅能够保证路径规划数据的准确性与路径选择的科学性,还能为输电线路路径规划提供完善的解决方案。未来,改进的 Dijkstra 算法仍有较大的发展空间,若能结合机器学习模型等其他技术对路径风险进行预测,则能进一步优化输电线路路径规划,并提升规划过程的科学性和可靠性。

参考文献:

- [1] 闫莉,郑佩,李雨菲. 基于改进人工势场法的机械臂路径规划与仿真[J]. 自动化与仪表, 2025, 40(4): 34-39.
- [2] 卢佳. 基于三维 GIS 的输电线路路径全景智能规划方法[J]. 电工技术, 2024(2): 109-111.
- [3] 张刚,彭思尧,黄博文,等. 考虑 ICDO 算法的电力巡检机器人路径自动化规划系统[J]. 自动化与仪表, 2025, 40(4): 51-55.
- [4] 聂铭涛,刘颖珂,程海峰,等. 多无人机协同路径规划计算资源分配方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(4): 147-154.
- [5] 刘岚,吴琳桥,李彬,等. 基于物联网的无人机智能巡线路径规划方法[J]. 电网与清洁能源, 2024, 40(3): 78-83.
- [6] 孙倩,郑琳铄,贾英民. 面向在轨捕获的空间机器人路径规划与控制综述[J]. 工程科学学报, 2025, 47(4): 753-767.
- [7] 胡国华,高丽英. 基于改进 A* 算法的无人车路径规划研究[J]. 忻州师范学院学报, 2025, 41(2): 30-33.
- [8] TANG M Q, SHENG J W, SUN S Y. A coverage optimization algorithm for underwater acoustic sensor Networks based on dijkstra method[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2023, 10(8): 1769-1771.
- [9] 薛滨,韦晓初,曹锦红,等. 减小输电线路导线弧垂与提高交跨距离的方法探讨[J]. 湖州师范学院学报, 2014, 36(增刊): 116-117.

Panoramic Intelligent Planning and Design of Transmission Line Paths Based on an Improved Dijkstra Algorithm

ZHOU Chen

(State Grid Zhejiang Lishui Liandou District Power Supply Co., Ltd., Lishui 323000, China)

Abstract: Traditional transmission line route planning typically relies on manual data import and calibration, resulting in high labor costs. To optimize this process, the terrain coordinates of transmission lines are rasterized through projection transformation and parameter configuration for rasterization. Subsequently, a quantitative scoring method based on a linear model is adopted to evaluate the cost of each grid cell, and weight distribution is performed on grid costs in combination with geographical factors, making the assessment of grid cost more reasonable and accurate. On this basis, target-oriented guidance strategy factors and line smoothness guidance strategy factors are introduced, and the path cost is calculated using an improved Dijkstra algorithm. This method can efficiently find the shortest and lowest-cost path within the priority target search area, which is then taken as the core path for panoramic intelligent planning of transmission line routes. Practical case studies show that with a reasonable improvement in terrain division accuracy, the designed routes feature lower average construction costs and shorter lengths, thereby significantly reducing the total cost of route planning. It is thus concluded that the improved Dijkstra algorithm with intelligent path planning can effectively reduce the cost and complexity of transmission line route planning.

Keywords: Dijkstra algorithm; transmission line; route planning; panoramic intelligent planning