

文章编号: 1674—8247(2018)05—0001—05

# 基于改进 DT 算法的铁路路径自动搜索方法

刘 威 胡光常

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**针对传统铁路线路设计基本依赖于经验、再结合地形、地质等因素设计出最终线路空间位置,存在耗时过长且容易遗漏优秀方案等问题,文章引入 DT 算法并对其改进。首先将整个选线研究范围视为一张规则网格图像,然后重点对 DT 搜索方法中网格遍历规则、邻域模板、距离算法和路径连接方法进行改进,实现依据选线参数,快速、全面获取可行走廊带,搜索可行路径方案群,对指导线路方案研究及提高设计效率与质量具有重大意义。

**关键词:**铁路; 选线设计; DT 算法; 智能选线

**中图分类号:**U212.3 **文献标志码:**A

## Automatic Search Method for Railway Route based on Improved DT Algorithm

LIU Wei HU Guangchang

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** At present, designing railway alignment to get the Final space position mainly depends on knowledge and experience of the engineers, combining with topographic and geologic condition, which has defects such as more labour work and easy to miss the excellent schemes. In this paper, we introduce the improved DT algorithm. First, the whole line selection area is considered as a regular grid image, and then the grid traversal rule, neighborhood template, distance algorithm and path connection method in the DT search method are improved. At last the feasible corridor zone is obtained quickly and comprehensively and the feasible route scheme group is searched on the basis of the line selection parameters, which is of great significance to guide the line scheme research and improve the design efficiency and quality.

**Key words:** railway; alignment design; DT algorithm; intelligent railway route selection

在铁路各专业设计中,铁路选线设计是“龙头”。理想的线路设计,不仅需要空间位置(平面、立面)的几何设计<sup>[1]</sup>,还需要根据沿线的环境,实现线路上桥、隧、站等结构物的优化配置,使其互相配合,达到总体上的协同最优<sup>[2-3]</sup>。智能选线指在线路技术标准确定的情况下,通过优化算法、知识工程、计算机信息等的综合应用,使计算机自动生成符合技术标准及约束条

件的路线方案群,且可给出一定数量的推荐方案的一种方法<sup>[4]</sup>。近年,很多专家致力于线路和车站选址优化研究,取得了一定进展<sup>[5-8]</sup>,但是并没有真正意义实现铁路选线的自动化。澳大利亚旷达路线三维优化辅助决策系统,能够在给定相关搜索参数、约束条件及技术标准的条件下,短时间内生成具有价值的线路方案群,但是由于商业机密及知识产权等原因,其算法及模

收稿日期:2017-11-20

作者简介:刘威(1987-),男,工程师。

引文格式:刘威,胡光常. 基于改进 DT 算法的铁路路径自动搜索方法[J]. 高速铁路技术,2018,9(5):1-5.

LIU Wei, HU Guangchang. Automatic Search Method for Railway Route based on Improved DT Algorithm[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(5): 1-5.

型难以借鉴。因此,结合人工智能、计算机等相关技术,深入研究智能选线技术,开发适用于我国国情的智能选线系统,对提高选线工作效率和质量,节约投资有着重大意义<sup>[9]</sup>。

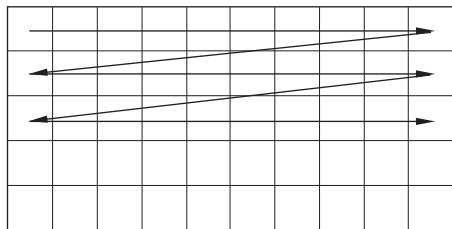
距离变换方法(Distance Transformation, DT)最初于1966年由Rosenfeld提出,是计算机图形学中的一种算法,它执行的是计算图像中每个点与最接近目标点的距离的操作。它将一幅图像转换为一幅灰度图像(距离图),在这幅灰度图像中,每个像素的灰度值是该像素到其最近背景点(目标点)对图像中的任意一个点的最小距离,距离变换定义为该点与目标点的最小距离。

受距离变换的思想启发,本文将整个选线研究范围视为一张图像,将这张图像划分为一系列规则格网(Grid)(每个格网中记录了地面高程,路基、桥隧单价,最大桥高、隧长等综合优化信息),然后对算法进行如下改进:

(1)改进DT算法格网遍历规则,将原有的单目标点的扫描改进为适用铁路智能选线的双目标点扫描。

(2)改进DT算法邻域模板,设计针对平原及山岭区域搜索的标准邻域模板及扩展邻域模板。

(3)改进DT算法距离计算方法,用格网之间的连接代价(广义距离)来代替距离变换中的“距离”。



(a) c正向遍历

(4)改进DT算法路径连接方法,分别以线路起(终)点为目标点可形成任意格网(G)到起点和终点的最优路径,两条路径在G处衔接,即为通过G点的起点到终点的最优线路走向。

## 1 算法改进描述

### 1.1 遍历规则

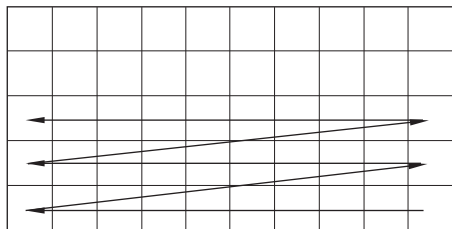
对于整个研究区域,分别以线路起点及终点为目标点,均进行正向与反向遍历(如图1所示)。其遍历规则为:

(1)起点为目标点正向遍历:以起点为目标点,应用正向邻域模板,由上到下、由左及右进行逐行逐列遍历搜索。

(2)起点为目标点反向遍历:以起点为目标点,应用反向邻域模板,由下到上、由右及左进行逐行逐列遍历搜索。

(3)终点为目标点正向遍历:以终点为目标点,应用正向邻域模板,由上到下、由左及右进行逐行逐列遍历搜索。

(4)终点为目标点反向遍历:以终点为目标点,应用反向邻域模板,由下到上、由右及左进行逐行逐列遍历搜索。



(b) d反向遍历

图1 格网遍历规则图

### 1.2 模板设计

邻域模板是在距离图更新过程中当前格网尝试连接的所有格网所构成的集合 $U_N$ ,更新过程就是遍历 $U_N$ 从中选择一个最优格网连接。邻域模板过小,容易出现无法连接的情况,过大则计算量太大。为使优化程序对平原及山岭区域都能快速搜索出最优方案,邻域搜索范围应该随着地形的变化而变化。因此本研究定义了可变邻域模板(A标准邻域模板 $U_{SN}$ 和B扩展邻域模板 $U_{EN}$ )。

(1)A标准邻域模板 $U_{SN}$

根据扫描方式的不同,标准邻域模板分为正向和反向扫描两类。正向扫描模板的格网分布在圆弧左半部分,反向扫描则分布在下半部分。分别适用于正向

和反向扫描,如图2所示。

设格网宽度为 $w$ ,正向标准邻域模板格网相对于中心格网的行列偏移值 $\Delta R, \Delta C$ 可按如下公式确定:

$$\begin{aligned} \alpha &= w/R \\ n &= \pi/\alpha \\ \Delta R &= -\lfloor R \times \sin(\alpha \times i) \rfloor \quad i = 1, \dots, n \\ \Delta C &= \lfloor R \times \cos(\alpha \times i) \rfloor \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $w$ ——格网宽度;

$R$ ——标准邻域搜索步长;

$n$ ——标准邻域模板内格网数量。

在山岭地区只采用标准邻域模板,经常出现格网无法连接的情况。对此,本文建立了扩展邻域模板。当标准邻域模板搜索不到满足约束条件的连接时,采

用扩展邻域模板进行扫描。

(2) B 扩展邻域模板  $U_{EN}$

扩展邻域模板分布在一个圆环内,该圆环的内径

$R_N$  为标准邻域模板的半径  $R$ ,外径  $R_W$  为路径的最大容许长度。通过该模板可遍历  $R_W$  内标准邻域模板无法涵盖的部分,如图 3 所示。

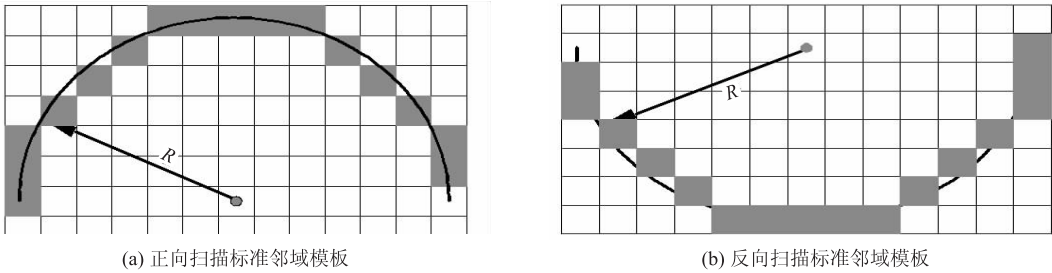


图 2 标准邻域模板图

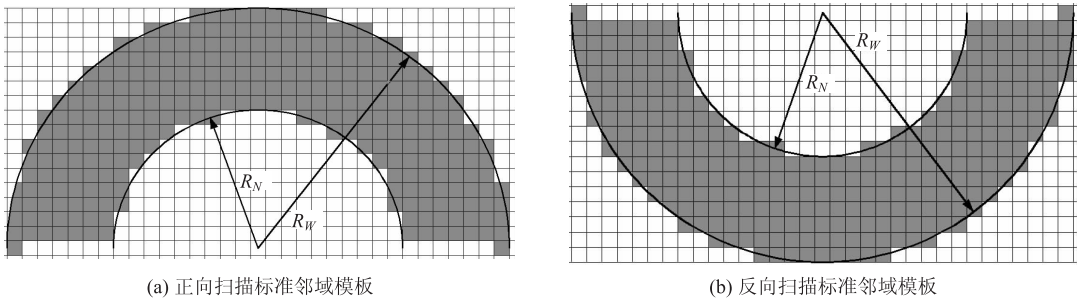


图 3 扩展邻域模板图

该模板可记为:

$$n = \lfloor R_W/w \rfloor$$
$$U_{EN} = \{(\Delta R, \Delta C) \mid 0 \leq -\Delta R < n, -n < \Delta C < n, R_N < \sqrt{\Delta R^2 + \Delta C^2} < R_W\}$$
 (2)

当  $R_W$  较大时,扩展邻域的格网规模将变得十分巨大。为避免不必要的重复计算,可将模板内共线的格网排除。设当前格网为  $O$ ,模板内两个格网  $A$ 、 $B$  相对于  $O$  的行列差满足以下共线条件:

$$\Delta R_A/\Delta C_A = \Delta R_B/\Delta C_B$$
 (3)

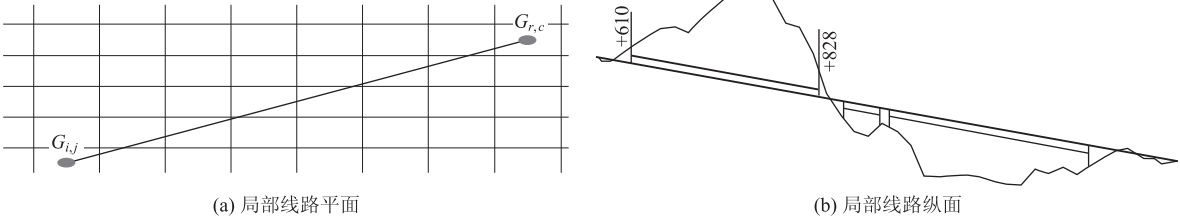


图 4 两格网连接形成的局部线路图

该局部线路的综合代价  $d$  即为  $G_{i,j}, G_{r,c}$  之间的广义距离。连接起终点广义距离累加和最小的路径即为最优路径。综合代价  $C$  的描述如下:

$$d = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5$$
 (4)

- 式中: $C_1$ ——土方费用;  
 $C_2$ ——桥梁费用;  
 $C_3$ ——隧道费用;

- $C_4$ ——征地费用;  
 $C_5$ ——线形费用。

1.4 路径生成

按照上述方法,分别以线路起点、终点为目标点进行扫描,分别形成了一张 DT 图。在两张 DT 图中,只有当任意格网  $C_{i,j}$  中的  $d_{i,j}^E$  和  $d_{i,j}^S$  ( $d_{i,j}^E, d_{i,j}^S$  分别为  $C_{i,j}$  到终点、起点的广义距离)均不为无穷大,格网  $C_{i,j}$  才能

形成到线路终点和起点的最优路径。

遍历两张距离图中格网,针对每个格网  $C_{i,j}$  分别生成到  $S$  和  $E$  的最优路径  $P_{S_{i,j}}, P_{E_{i,j}}$ ;再将  $P_S, P_E$  在  $C_{ij}$  处衔接起来即得到连通起点、终点的最优路径  $P_{SE_{ij}}$  如图 5 所示。

本文通过对选线区域所有格网进行遍历,基于改进 DT 算法形成到起点与到终点的 DT 图  $DT_S, DT_E$ ,然后再由 DT 图形成路径,不仅避免了复杂山岭区域无法形成贯通路径的问题,同时也保证了方案的多样性。

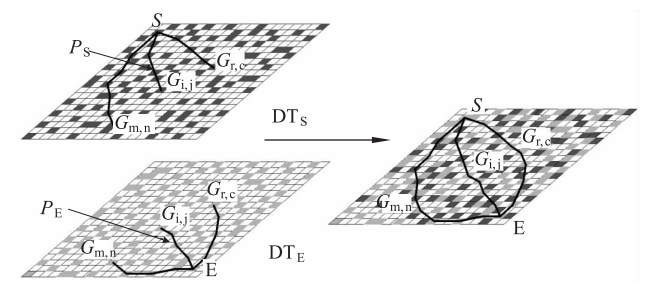


图 5 DT 图生成路径示意图

2 优化流程

设 DT 图的行列总数分别为  $M, N$ , 则距离图  $D$  可记为:

$D = \{G_{i,j} | 0 < i < M, 0 < j < N\}$  (5)

距离图生成的基本流程如下:

(1) 初始化距离图中的所有格网:

$\Delta R_{i,j} = 0, \Delta C_{i,j} = 0$   
 $\Delta R_{i,j}, \Delta C_{i,j}$  分别为第  $i$  行  $j$  列格网的行、列偏移量。

$d_{i,j} = 0$   
当  $G_{i,j}$  是目标点时,第  $i$  行  $j$  列格网的广义距离  $d_{i,j}$  为零。

$d_{i,j} = \infty$   
当  $G_{i,j}$  不是目标点,第  $i$  行  $j$  列格网的广义距离  $d_{i,j}$  为无穷大。

(2) 按本文上述规则扫描遍历所有格网。针对任意格网  $G_{i,j}$ , 遍历邻域模板中的所有格网  $G_{r,c}$  如果满足以下条件:

$d_{r,c} + d < d_{i,j}$  (6)

(3) 按下式更新格网数据:

$d_{i,j} = d_{r,c} + d$

$\Delta R_{i,j} = r - i$  (7)

$\Delta C_{i,j} = c - j$

式(6)、式(7)中  $d$  为  $G_{i,j}$  与  $G_{r,c}$  之间广义距离。不等式(6)左边表示  $G_{i,j}$  连接  $G_{r,c}$  后再沿  $G_{r,c}$  到目标点的广义距离,不等式右侧则表示原来  $G_{i,j}$  到目标点的广义距离。如果左侧小于右侧,则表明左侧对应的路径更优,  $G_{i,j}$  到目标点的最优路径的下一个格网应更新为  $G_{r,c}$ , 广义距离值也相应更新,即式(7), 整个优化流程如图 6 所示。

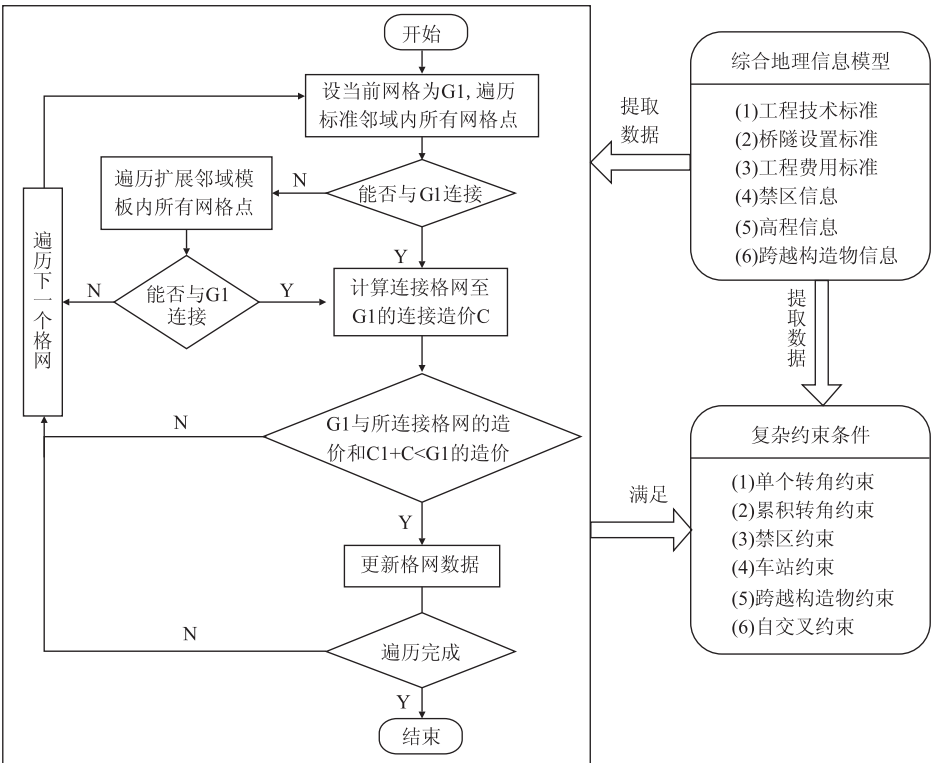


图 6 路径搜索优化流程图



### 3 案例分析

选取孟中缅印铁路通道柯希马至迪马布尔段对本文所提方法进行验证。算例位于印度那加兰邦,区域地形为山地向丘陵过渡区,地面自然坡较陡,研究起点柯希马海拔 1 300 m,研究终点海拔 100 m,线路横穿那家山脉。利用 Google 定位至该地区,影像风貌如图 7 所示。

路径自动搜索在联想工作站(4核,8 G内存,1T硬盘)上进行,搜索区域的范围约为 60 km × 40 km。路径搜索过程中输入综合基础信息数据,建立综合基础信息模型,然后搜索路径,优化总计耗时 3 h,生成方案总数 332 个,推荐方案线路长度 55 km,展线系数 1.2,最大隧道长度 10 km,无高桥。选取具有代表性的方案进行输出如图 8 所示。

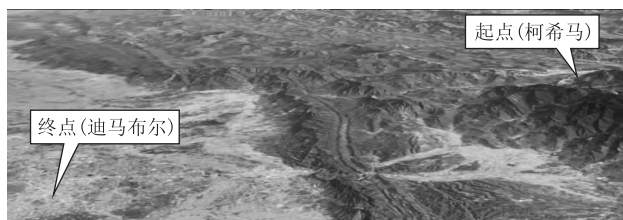


图7 柯希马至迪马布尔线影像图

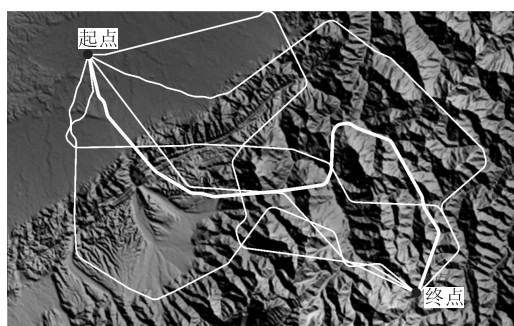


图8 优选方案走向图

### 4 结束语

文章对 DT 算法进行改进并成功应用于铁路线路设计中,设计了针对铁路选线的双目标点、双向遍历扫描规则,定义了可变邻域模板(针对平原区域的标准邻域搜索模板和针对复杂山区的扩展邻域搜索模板),提出了针对目标点的广义距离计算方法,形成到目标点走向距离图;提出了以起、终点分别为目标点形

成走向距离图,再由两幅距离图叠加生成多样化路径的双向路径生成方法,可在选线区域快捷优选出多样化的线路走向方案,快速为国内外铁路线路通道研究、局部方案研究提供决策依据,可有效提高铁路线路设计人员方案研究效率与质量。

### 参考文献:

- [1] Easa S M, Mehmood A. Optimizing Design of Highway Horizontal Alignments: New Substantive Safety Approach[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 2008, 23(7): 14.
- [2] Kim E, Jha M K, Schonfeld P, et al. Highway Alignment Optimization Incorporating Bridges and Tunnels [J]. Journal of Transportation Engineering 2007, 133(2): 71-81.
- [3] Samanta S, Jha M K. Identifying Feasible Locations for Rail Transit Stations: Two-stage Analytical Model [J]. Transportation Research Record 2007, 2063: 81-88.
- [4] 韩春华. 基于 GIS 的铁路选线系统智能环境建模方法研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2008.  
HAN Chunhua. Research on Modeling Method of GIS-Based Railway Location System Intelligent Environment [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.
- [5] Jyh-Cheng Jong. Optimizing Highway Alignments with Genetic Algorithms [D]. College Park: University of Maryland, 1998.
- [6] 韩春华, 易思蓉, 杨扬. 基于最优路径分析的线路初始平面自动生成方法 [J]. 西南交通大学学报, 2011, 46(2): 252-258.  
HAN Chunhua, YI Sirong, YANG Yang. Automatic Generation of Railway Initial Horizontal Alignment based on Optimal Route Analysis [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2011, 46(2): 252-258.
- [7] 蒲浩, 赵海峰, 李伟. 基于动态规划的铁路三维空间智能选线方法 [J]. 铁道科学与工程学报. 2012, 34(2): 55-61.  
PU Hao, ZHAO Haifeng, LI Wei. A 3D Spatial Intelligent Route Selection Approach for Railway Alignments based on Dynamic Programming [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2012, 34(2): 55-61.
- [8] 龙喜安. 基于改进遗传算法的铁路三维空间线路智能优化方法研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2013.  
LONG Xi'an. Research on Railway Line Intelligent Optimization Method in Three-Dimensional Space Based on the Improved Genetic Algorithm [D]. Changsha: Central South University, 2013.
- [9] 刘威, 胡光常, 唐文建, 等. 铁路智能选线开发与应用 [J]. 高速铁路技术, 2016, 7(2): 54-57.  
LIU Wei, HU Guangchang, TANG Wenjian, et al. Development and Application of Intelligent Railway Route Selection System [J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(2): 54-57.

(编辑: 赵立红 白雪)