

基于离散萤火虫算法的轨道交通车站 建筑内部空间设计优化

黄 骞

(上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 上海 200235)

摘要:传统轨道交通车站建筑内部空间设计优化方法直接对客流量分布进行计算未对车站内部功能进行分区,造成传统方法客流通行延误时间较长。提出基于离散萤火虫算法的轨道交通车站建筑内部空间设计优化。对车站内部功能进行分区,根据轨道交通车站分区,基于离散萤火虫算法进行进一步的客流量分布,从而实现轨道交通车站建筑内部空间优化设计。设计对比实验,实验结果表明该方法具有更好的轨道交通车站建筑内部空间客流运输能力,值得推广。

关键词:离散萤火虫算法;轨道交通;空间设计优化;优化方法

中图分类号:G642 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)22-0119-04

近年来,轨道交通在城市交通网络中发挥着越来越重要的作用。在网络化建设时,不同轨道交通线路之间的换乘节点建设越来越重要^[1]。作为城市轨道交通站点的重要客流集散地,直接影响周边的交通方式,对于优化城市空间位置、提升城市功能具有重要作用^[2]。轨道交通建设的优化趋势已成为车站的推进和周边土地的更紧密整合,以及通过车站建设对周边土地综合开发利用的重要趋势^[3]。这一趋势表现在利用交通车站来确保更大的客流,促进周围土地的开发,从而促进城市空间的集约利用。周边地区三维城市的建设也有助于扩大交通车站的客流,加强轨道交通运营收支平衡,调整交通车站与周边土地的良好互动^[4]。客流控制对现有车站、新旧结构之间的连接以及现有结构更新的影响已成为此类项目的主要问题。交通车站与周围土地紧密结合的方式不仅取决于车站的类型和位置,还取决于连接方式的选择。车站的总类型为地面车站,主体结构与交通车站入口和周围区域出口之间的距离已固定^[5]。传统通道的连接类型已在结构安全、消防安全结构、交通组织等方面进行了优化。方形连接等连接地下过渡区作为一种综合连接方式,正日益成为交通车站与大型商业基地之间综合连接的有效方法。

周阳^[6]提出优先考虑换乘效率,根据换乘空间的特点,优化换乘空间形态合理流线组织,建立

单相通行机制,增加自动扶梯,实现地铁车站换乘空间优化设计。许乙弘和李晓况^[7]提出考虑车站空间特点,分析该车站客流量情况,总结出有车站换乘空间实际存在的问题,并提出对策进行解决,实现换乘站换乘空间优化设计。虽然上述方法对车站客流量情况均有所分析,但是在实际应用过程中忽略了客流量分布以及停留的情况,导致客流量增加的情况下烟雾时间也有所增加,降低了乘车效率。

萤火虫算法具有实现简单、稳定性好的特点,适用于函数优化、中性网络等领域。萤火虫算法是生物仿射离散萤火虫算法领域的最新算法。经验表明,这比遗传算法(genetic algorithm,GA)和粒子群优化算法(particle swarm optimization,PSO)更有效,可以寻找各种全局最优解,收敛速度快,成功率高^[8],是解决困难的空间优化问题的主要方法。谭彬彬^[9]提出离散萤火虫算法。在短短几年内,算法包括管道规划问题、车间规划问题、集成微分控制器设置参数的比例问题、非线性优化问题。成功解决了无数优化问题。将离散萤火虫算法成功地应用于空间序列规划,结果表明,离散萤火虫算法在解决空间优化难题方面是有效的。根据轨道交通车站内部空间设计的优化参数,将空间内部的客流量问题描述为一个限制性问题的,以最大限度地扩大可用面积,做到空间合理规划。提出基于离散萤

收稿日期:2023-08-17

作者简介:黄骞(1989—),男,江苏启东人,上海市隧道工程轨道交通设计研究院,工程师,研究方向为轨道交通工程、域铁路工程地下,高架车站建筑设计。

火虫算法的轨道交通车站建筑内部空间设计优化,使用离散萤火虫算法来解决优化问题,并研究了最短行程算法。与微粒交换的优化算法相比,该方案有效地解决了轨道交通车站内部空间结构的优化问题。

1 工程实例

以上海市域铁路示范区线芳乐路车站为例,对该车站建筑内部空间设计进行优化。芳乐路站位于华漕镇联友路与芳乐路交叉口,沿芳乐路东西向敷设,为地下三层双岛四线车站,车站总长约 632.2 m。与在建地铁 13 号线西延伸工程芳乐路站、规划地铁 25 号线呈 I 型换乘。与 13、25 号线站呈交叉布置,通道换乘。由于该车站位置位于南北向城市功能发展主轴,随着前湾地区轨交 13 号线西延伸、上海示范区线的建设及轨交 25 号线的规划,芳乐路站未来将实现 3 线换乘。因此,对于芳乐路站内部空间设计,需要考虑的因素较多,对建筑空间进行合理的优化设计有助于提高换乘客流及进出站客流的效率,避免造成高峰期客流拥挤。

2 基于离散萤火虫算法的建筑内部空间设计优化设计

2.1 车站内部功能分区

车站的内部功能分区涉及其内部功能的使用,以确保特定类型的社会经济活动的开发区域及其积极变化的适用性^[10]。车站的功能分区是空间面积和优化的先决条件。根据城市活动基地的分布,车站内部功能分区可分为地面步行区、地下步行区和垂直转换区,如表 1 所示。

表 1 车站分区类型

分区	优势	劣势
地面步行区	完善的地面步行区域是地下步行区域和空中步行区域发展的基础; 人类活动天然具有“向地面”性; 地面活动的自主选择性强; 建设及运行成本低	步行连续性难以保障; 受外界因素干扰大; 受气候条件干扰大
地下步行区	人车分流; 不受气候条件干扰; 对城市外部环境影响小; 隔离性高,易于商业气氛营造	建设成本和运行成本高; 消防疏散隐患大; 空间识别性低,易迷失方向 缺乏自然景观,易造成心理不适
垂直转换区	空间利用效率高; 交通接驳便利; 设施分布合理	技术高、成本高; 增加通行时间; 光线较暗、空间密闭或狭窄

地面步行区是所有横向连接的方式中最早、最成熟的。将最具功能的空间连接到城市,支持轨道和地面交通是它们存在的基础^[11]。

地下步行区是解决高密度中心城区客货混合交通问题的主要方法。连接的主要方法是通过道路或公共活动空间间接连接的建筑区域。起初,过马路有一种通行方式,但逐渐建立了一定规模的地面步行网络,连接了不同的土地空间和建筑。乘客的出行方式主要是通过交通网连接和组合的方式融入不同的城市活动中。结合的方式则主要是地下街道在起到步行联系作用的同时,还结合了其他功能^[12]。

垂直转换区是连接不同层次的地下站台与地面或地上层之间的区域。能够方便乘客在地铁站内进行上下行交通转换,扮演着连接不同交通层次的桥梁作用。垂直转换区由一系列设施和设备组成,包括楼梯、电梯、扶手电梯(自动扶梯)、坡道、人行通道等,以便乘客能够方便快捷地从地下层到地上层或相反。垂直转换区设计的目标之一是确保乘客能够顺畅且高效地在不同层次之间流动。为此,需要提供足够数量和合理布局的楼梯、电梯等设备,确保乘客能够迅速、安全地到达目的地。并且必须要提供无障碍通行,设置导向和标识系统,是车站内的紧急疏散通道之一,应设置避难间、防烟设施、紧急广播系统等,并确保通道畅通无阻。

2.2 基于离散萤火虫算法计算客流量分布

根据上述轨道交通车站分区,进行进一步的离散萤火虫客流量定位,离散萤火虫算法是一种基于离散萤火虫的算法,初始萤火虫飞行意外分布在搜索区域。规划探测客流量问题上,因为每个萤火虫飞行位置都对应于测量序列,所以萤火虫飞行位置被初始化为 n 维向量,用公式表示为

$$\mathbf{X}_i = [x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,j}]^n \quad (1)$$

式中: $x_{i,j}$ 为测量点的尺寸; i 和 j 为萤火虫的任意的元素。由于每个测量点必须快速向前移动,并且只能快速移动一次,因此 $\mathbf{X}_i$ 矢量的所有两个元素都不相等。提高算法的全局搜索能力,保证种群的多样性,对初始测量序列进行了随机处理。随机轨道交通车站内部结构优化问题是一个离散耦合优化问题^[13]。若使用相对简单的距离公式来计算萤火虫个体之间的距离,则解向量的变量仅为 0 或 1,即两个解之间的距离。具体客流量分布计算步骤如下。

步骤 1: 初始化参数。分别将单个萤火虫 i 和萤火虫 j 位置定义为 x_i 和 x_j , 并将其距离确定为

$$d(x_i, x_j) = e(x_i, x_j) l_i(u) X_i(\sigma) \quad (2)$$

式中: e 为初始光强度; u 为光吸收系数; I_i 为萤火虫

i 自身的绝对亮度; σ 为亮度吸引力。

步骤 2:结合离散萤火虫算法。当萤火虫 j 被萤火虫 i 亮度吸引后,萤火虫 j 向萤火虫 i 移动的过程中就必须不断地更新位置,萤火虫 j 的位置经过多次迭代最终会与萤火虫 i 位置相同,萤火虫 j 位置更新的计算公式为

$$D_j(t) = X_i(\sigma) \frac{f[x_i(t)]}{d(x_i, x_j)(t+1)} + \gamma \quad (3)$$

式中: $D_j(t)$ 为 t 时间萤火虫 j 的更新位置; f 为荧光素值; γ 为位置偏移,为常数 $\gamma \in [0, 1]$ 。

步骤 3:结合式(2)计算出的萤火虫个体之间的距离,并且对萤火虫 i 位置更新结果进行离散化处理,计算萤火虫位置更新结果为

$$D_i(t) = \frac{f[x_i(t)]}{\sum x_i - l_i(t)} \gamma \quad (4)$$

式中: $D_i(t)$ 为萤火虫 i 位置更新结果; l_i 为引火虫 i 的移动方向。

为了在下次迭代开始后保持种群的规模和多样性,使用公式(4)之前,应重新计算未处理的解。在更新某些萤火虫的位置后重新进行算法迭代过程中,边界以上的情况会出现越界问题,提高搜索速度确保每次都能找到可能的解决方案。

步骤 4:计算单个萤火虫个体接近其他单个个体的可能性。

步骤 5:随机生成变量 r ,在更新过程中,设萤火虫 i 进行位置更新的时间为 T ,那么在 T 时间内,在萤火虫 j 到达萤火虫 i 位置时,萤火虫 i 的荧光素更新结果为

$$F = \frac{1}{r} \sum \beta \left[v_i(T) - \frac{|\alpha|}{\mu \epsilon(T)} \right] \quad (5)$$

式中: β 为荧光更新速度; v_i 为萤火虫 i 动态更新速度; μ 为荧光素浓度; ϵ 为荧光素挥发系数; α 为感知半径。

步骤 7:不断在步骤 1 到步骤 6 之间进行迭代,在最大重复次数达到或满足最终条件便停止重复,获得客流量分布结果。

2.3 轨道交通车站建筑内部空间布局优化

轨道交通车站在建筑中的复杂客流使得此类建筑的空间设计比一般建筑的空间设计更重要、更复杂,并须考虑更多的因素^[14]。通过上述计算客流量分布,按照人群疏密空间分配算法设计轨道交通车站建筑内部空间的优化设计应经过图 1 所示的流程。

地面步行区、空中步行区、地下步行区和垂直转换区根据客流线路和管理需求进行配置,以方便客流线路布设和使用,减少流线交叉和客流对冲,减少售票设备、出入境售票设备面前乘客停留时间

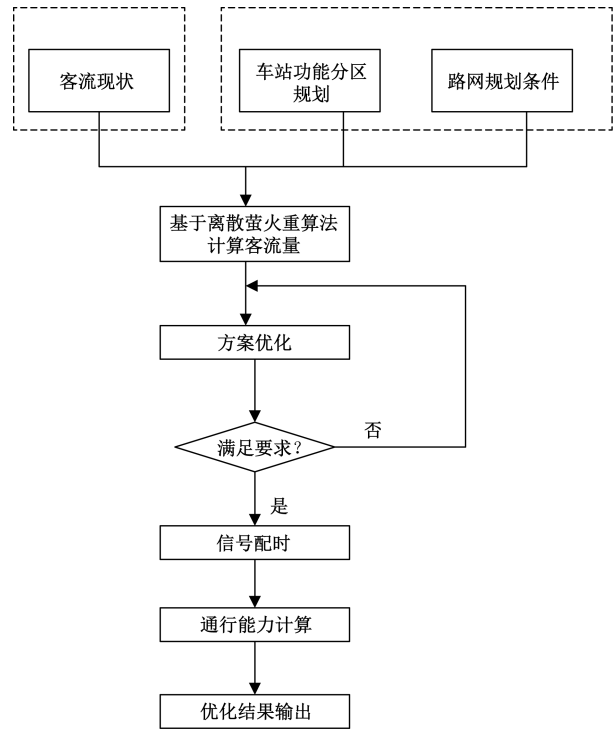


图 1 轨道空间布局优化流程

过长,客户服务中心前的登记和过渡场所不小于 2 跨度。在具有过街功能的情况下,应延长其长度,并确定非道路区域之间设置约 4 m 的连接路径。当售票机配置在两端时,建议安装墙壁配置。释放排队空间。步行区的规模制度不仅应满足控制期客流控制和消防疏散计算的要求,而且应根据各车站的实际情况尽可能确定,以防止客流突然流动,提高车站的垂直运输能力。

轨道交通车站的内部空间优化设计不能简单地遵循独立建筑的设计,可以在两种情况下考虑:一种类型是交通流量稳定的交通状况;另一种是交通流量平均稳定的状态^[15]。如果两个内部信号得到协调和控制,在两种情况下实施协调优化,基于离散萤火虫算法计算客流量分布,从而实现轨道交通车站建筑内部空间优化设计。

3 仿真验证

为了验证基于离散萤火虫算法的轨道交通车站建筑内部空间设计优化方法的有效性,进行了对比实验,设置周阳^[6]基于换乘优先的方法(传统方法 1)、许乙弘和李晓况^[7]基于车站空间客流量的方法(传统方法 2)为对照组,和本文所提方法共同进行对比。

利用德国 WTO 公司 Vissim 微型道路仿真软件对未来年客流量进行预测,对随机选中的两个轨道交通车站建筑分别用三种设计方案进行实验。得到客流量增长后的延误曲线如图 2 所示。

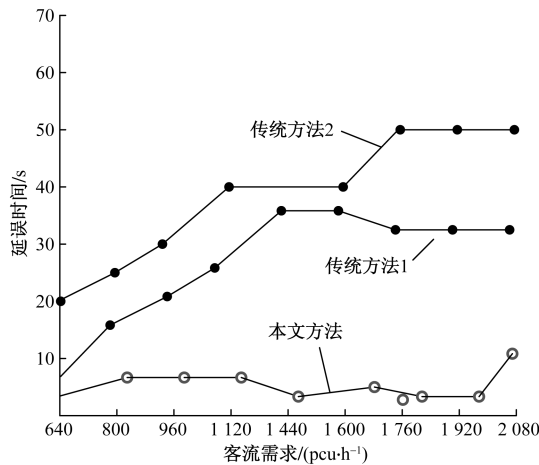


图2 客流量增长的延误曲线对比

由图2可知,采用本文设计的基于离散萤火虫算法的轨道交通车站建筑内部空间设计优化方法在客流量增加的情况下要明显优于传统方法,相比于传统方法1和传统方法2延误时间分别平均减少8 s和13 s,具有更好的轨道交通车站建筑内部空间客流运输能力,具有研究意义。

4 结语

轨道交通车站建筑内部空间作为一种一体化的连接方式,将轨道交通地下车站与周边物业区域有机连接,构建一个整体,实现多个水平和垂直方向的高质量连接。本文研究轨道交通车站的土地交通建筑设计,对其内部空间进行分区,基于离散萤火虫算法计算客流量分布,从而实现轨道交通车站建筑内部空间优化设计,对于促进轨道交通车站与周边土地的紧密结合,实现轨道交通与周边土地之间的良好互动具有重要意义。

参考文献

[1] 张新颖,刘新宇,蒋方,等.基于微更新视角的城市立交桥

下空间优化设计研究——以北京天宁寺桥下空间为例[J].艺术教育,2023(5):227-230.

[2] 王旭龙,唐爽.北京旧城四合院空间优化设计策略研究——以北京市东城区天坛街道崇外3号地为例[J].艺术教育,2023(5):223-226.

[3] 宫同伟,郭旭,魏雪滢,等.基于多源时空数据的轨交站点共享单车接驳空间优化设计——以天津市营口道站为例[J].华中建筑,2023,41(5):58-62.

[4] 李勤,王梦钰,闫永强,等.基于无意识设计的乡村公共空间优化策略研究——以北京市东杨坨村为例[J].小城镇建设,2023,41(3):41-49.

[5] 薛振兴,胡振宇,朱微.大学生乡村振兴创意设计实践——以苏州平望镇胜墩村B09地块“在地性”乡村更新改造为例[J].建筑与文化,2023(2):129-131.

[6] 周阳.基于换乘优先的地铁车站换乘空间优化设计[J].山西建筑,2020,46(14):23-24.

[7] 许乙弘,李晓况.上海轨道交通中山公园换乘站换乘空间优化设计[J].城市轨道交通研究,2023,26(3):125-127.

[8] 高静,郑子群,冯雅茹.交往与空间理论下近郊型乡村公共空间优化探析——以山西省清徐县西怀远村为例[J].中国名城,2022,36(6):55-63.

[9] 谭彬彬.基于AnyLogic的城市轨道交通车站设施布局仿真与优化研究[J].时代汽车,2023(9):193-195.

[10] 袁韶华.地铁车站站厅公共区的空间优化手法[J].山西建筑,2022,48(19):30-33.

[11] 王立晓,刘晨,孙小慧.基于认知地图的行人地铁站空间认知分析[J].科学技术与工程,2022,22(4):1588-1594.

[12] 刘兆义,叶霞飞,王治.基于遗传算法的城市轨道交通车站出入口布局规划方法[J].城市轨道交通研究,2021,24(6):75-80.

[13] 万涛,高照明,刘杰,等.轨道交通车站客流来源空间分析及接驳优化——以天津市为例[J].城市交通,2021,19(2):112-120.

[14] 李建华,陈伟,陈祥儒.基于AnyLogic的人流增多地铁站系统再优化[J].科学技术与工程,2020,20(33):13847-13851.

[15] 胡斌,周业成,吕元,等.基于乘客心理体验的地铁车站空间优化设计[J].城市轨道交通研究,2019,22(6):163-165.

Optimization of Internal Space Design of Rail Transit Station Based on Discrete Firefly Algorithm

HUANG Qian

(Shanghai Tunnel Engineering&Rail Transit Design and Research Institute, Shanghai 200235, China)

Abstract: The traditional optimization method of the internal space design of rail transit station directly calculates the passenger flow distribution without zoning the internal function of the station, which results in long delay time of passenger flow. A discrete Firefly algorithm approach to the design optimization of the internal space of rail transit station buildings was proposed. The internal function of the station was partitioned and the passenger flow was further distributed based on the discrete firefly algorithm according to the rail transit station partition, so as to realize the optimal design of the internal space of the rail transit station building. The experimental results show that this method has better capacity of passenger flow in the inner space of rail transit station and is worth popularizing.

Keywords: discrete firefly algorithm; rail transit; spatial design optimization; optimization method