

8-19-2021

Obstacle Avoidance Path Planning of Bridge Crane Based on Improved RRT Algorithm

Zhimei Chen

College of Electronic Information and Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan, 030024 China;

Li Min

College of Electronic Information and Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan, 030024 China;

Xuejuan Shao

College of Electronic Information and Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan, 030024 China;

Zhicheng Zhao

College of Electronic Information and Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan, 030024 China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Obstacle Avoidance Path Planning of Bridge Crane Based on Improved RRT Algorithm

Abstract

Abstract: In view of the problem that the reasonable path can not be obtained quickly for bridge crane planning in complex environment, a rapidly exploring random tree (RRT) algorithm combined with particle swarm algorithm is proposed. *According to the characteristics of the bridge crane operation, the RRT algorithm is improved. The two-way RRT algorithm is used to make the tree grow in the direction of the target according to the probability. When the path is generated, the particle swarm optimization algorithm is used to smooth the path to get a more suitable path for the operation of the bridge crane.* The final simulation shows that the safe path is obtained and the feasibility of the method is proved when the path planning of bridge crane hoisting is carried out in the complex environment with many obstacles and different shapes.

Keywords

bridge crane, hoisting and obstacle avoidance, path planning, RRT algorithm

Recommended Citation

Chen Zhimei, Li Min, Shao Xuejuan, Zhao Zhicheng. Obstacle Avoidance Path Planning of Bridge Crane Based on Improved RRT Algorithm[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(8): 1832-1838.

基于改进 RRT 算法的桥式起重机避障路径规划

陈志梅, 李敏, 邵雪卷, 赵志诚

(太原科技大学 电子信息工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 针对桥式起重机在复杂环境下路径规划时存在无法快速得到合理路径的问题, 提出一种结合粒子群算法的快速扩展随机树算法(Rapidly-exploring Random Tree, RRT)。根据桥式起重机运行的特点, 对 RRT 算法进行改进, 使用双向 RRT 算法, 并使树按几率朝目标方向生长, 在生成路径时结合粒子群算法对路径进行平滑处理, 得到更适合桥式起重机运行的路径。仿真结果表明, 在障碍物较多且形状各异的复杂环境下进行桥式起重机吊装避障路径规划时得到了安全的路径, 证明了方法的可行性。

关键词: 桥式起重机; 吊装避障; 路径规划; RRT 算法

中图分类号: TP273;TP391 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X (2021) 08-1832-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0272

Obstacle Avoidance Path Planning of Bridge Crane Based on Improved RRT Algorithm

Chen Zhimei, Li Min, Shao Xuejuan, Zhao Zhicheng

(College of Electronic Information and Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan, 030024 China)

Abstract: In view of the problem that the reasonable path can not be obtained quickly for bridge crane planning in complex environment, a rapidly exploring random tree (RRT) algorithm combined with particle swarm algorithm is proposed. According to the characteristics of the bridge crane operation, the RRT algorithm is improved. The two-way RRT algorithm is used to make the tree grow in the direction of the target according to the probability. When the path is generated, the particle swarm optimization algorithm is used to smooth the path to get a more suitable path for the operation of the bridge crane. The final simulation shows that the safe path is obtained and the feasibility of the method is proved when the path planning of bridge crane hoisting is carried out in the complex environment with many obstacles and different shapes.

Keywords: bridge crane; hoisting and obstacle avoidance; path planning; RRT algorithm

引言

桥式起重机可以对所吊的重物进行起重和装卸等, 其广泛应用于物流周转、工矿企业、码头港口等地方, 可以帮助人们大幅提高工作效率, 是使用范围最广且数量最多的一种起重机械^[1]。但其运行中也存在一些问题, 一是人工错误操作引起的安全问题; 二是恶劣环境影响驾驶人员身体健康^[2]。

桥式起重机的智能化可以解决这些问题, 是其未来的发展方向, 其中路径规划可以使起重机有效地避开障碍物, 保证重物不与障碍物发生碰撞的情况下找到较短的路径, 路径规划是起重机智能化的关键部分, 因此对路径规划的研究有着重要意义。

对于起重机的吊装避障路径规划, 国内外很多学者进行了大量研究并取得了不错的成果, 文献[3]建立了自主桥式起重机系统, 包括障碍物识别、路

收稿日期: 2020-05-25 修回日期: 2020-9-28

基金项目: 山西省自然科技研究基金(201901D111263); 山西省重点研发计划(201803D121025); 山西省研究生教育改革研究课题(2019JG173, 2019JG165)

第一作者: 陈志梅(1970-), 女, 博士, 教授, 研究方向为鲁棒控制、机电一体化系统控制等。E-mail: zhimeichen400@163.com

径规划和摆动抑制, 设计了基于超声波传感器的障碍物识别与避障系统, 并把移动机器人的避障路径规划方法应用到桥式起重机避障路径规划系统中, 之后构建了二自由度控制系统来抑制所吊物体的摆动, 最后验证了集成桥式起重机系统的有效性。文献[4]在避免碰撞、双机协调和重物平衡的约束下, 研究了双机路径规划, 由于以往对双起重机的建模较为简单, 为此设计了一种双机路径规划器, 可以在复杂环境下生成最优路径。文献[5]提出了一种移动式起重机系统的建立方法, 包含障碍物识别和在线路径规划, 通过视觉系统获取周围环境的信息, 提出基于 Srinivas 扩展路径规划方法, 该方法可以在运行过程中环境发生改变的情况下使用, 且可以在线规划路径。文献[6]针对桥式起重机路径不够光滑的问题, 结合桥式起重机的运行特点, 对栅格进行了改进, 尽量避免大车和小车同时行进, 在考虑距离的同时考虑拐点的个数, 采用遗传算法进行规划, 在二维环境下得到合理的路径。文献[7]对桥式起重机进行了路径规划研究, 使用蚁群算法对不同大小的地图、不规则地图和有中转点的情况进行了仿真。

以上文献对起重机路径规划的研究, 都取得了较为理想的结果, 但没有考虑障碍物较多的复杂情况, 因此本文在复杂环境下对桥式起重机吊装避障路径规划进行研究。

首先对障碍物进行处理。为了方便计算, 把不规则障碍物处理成与其相似的规则形状, 为了保证桥式起重机的安全运行, 对障碍物进行膨胀化处理。由于快速扩展随机树算法(Rapidly- exploring Random Tree, RRT)大量应用在路径规划领域^[8-11], 且该算法搜索速度快、可以在包含复杂约束问题和高维空间中使用, 因此选用 RRT 算法对复杂环境下桥式起重机进行路径规划。之后对算法进行改进。为了提高算法的速度, 使用双向 RRT 算法, 为了避免生成太多的无用节点, 使树按概率朝目标方向生长; 由于树需要探索未知区域, 其生长方式必然具有随机性, 导致路径不是最优, 为了得到最

优路径, 提出在生成路径时结合粒子群算法对路径进行平滑处理, 将双向 RRT 算法得到的路径坐标点作为粒子群算法的初始粒子, 以不与障碍物发生碰撞为约束条件, 对初始粒子进行优化, 直到满足迭代次数, 将处理后的路径作为桥式起重机最终运行的路径, 这样不仅对未知的空间具有搜索能力, 而且可以得到较为平滑的路径。最后通过仿真验证了该方法在桥式起重机吊装避障路径规划上的可行性。

1 障碍物处理

在智能桥式起重机运行前, 环境中的障碍物信息由传感器系统进行采集, 然后处理成计算机可以识别的信息, 之后根据环境信息规划出路径, 最后桥式起重机按照规划好的路径运行。

在桥式起重机吊装场景中, 存在一些形状不规则的障碍物, 为了方便计算, 本文将这些障碍物处理成与其相似的规则形状。

由于桥式起重机使用绳索和吊钩来吊装重物, 导致容易发生摆动, 为了保证吊装的安全性, 重物应该和障碍物保持一定的安全距离, 因此对地图进行膨胀化处理, 如图 1 所示。首先由传感器系统得到障碍物的尺寸信息, 然后把障碍物的尺寸加上安全距离成为膨胀化后的障碍物尺寸, 这样可以把桥式起重机的吊钩和重物看成一个质点, 只要起重机的路径不与障碍物重合, 起重机的重物就不会和障碍物发生碰撞。

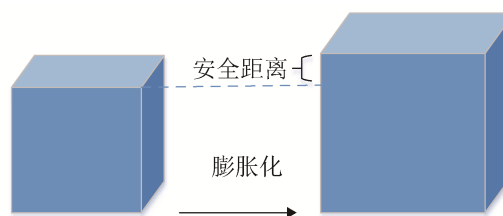


图 1 膨胀化处理

Fig. 1 Expansion treatment

桥式起重机装有高度限位器, 来确保重物的上升和下降在一定范围内, 防止重物冲顶, 即所吊重

物的高度不宜太高,且桥式起重机大小车的运动在一定范围之内,否则容易出现安全问题,因此将环境模型中的跨度设置为 40 m,将环境模型中的起升高度设置为 14 m。在路径规划中,为了方便计算并表示出路径,对三维环境模型进行栅格化处理,把运行的空间看作一个立方体,然后对 x , y 轴按照跨度进行等分,分成 40 份, z 轴按照起升范围进行等分,分成 14 份,使得空间成为一个三维点的集合,空间中的任意一点都可以用坐标表示。

2 算法设计

2.1 RRT 算法

RRT 算法的思想来源于模拟树的生长过程,把树根当作起点,然后树开始生长,直到树的叶子碰到终点时停止,这样就可以得到从起点到终点的连线,如图 2 所示。

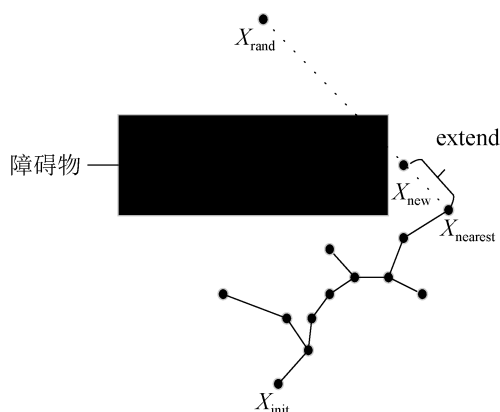


图 2 RRT 算法随机树的生长过程
Fig. 2 Growth process of RRT random tree

RRT 算法把初始位置当作是一棵树的根节点,Extend 函数在环境空间中随机找到一个点 X_{rand} ,然后在树的所有节点中找到距离 X_{rand} 点最近的节点 $X_{nearest}$,使节点 $X_{nearest}$ 按照设置好的步长向点 X_{rand} 的方向生长,得到节点 X_{new} ,使用 Collision 函数判断节点 X_{new} 、节点 $X_{nearest}$ 与节点 X_{new} 中间的点是否与障碍物发生碰撞,如果没有发生碰撞,则把节点 X_{new} 加入到树中,如果发生碰撞,则把

节点 X_{new} 舍去,然后再生成一个随机点,依次重复,直到树中的某个节点到达终止位置或者到终止位置的距离小于设定的值,就停止树的生长。

在树的生长完成后,如果生成的节点过多以至于不方便直接看出从初始位置到终止位置的路径,或者生成多条路径导致不容易看出最短路径,又或者为了能更清楚地看到生成的路径,则需要把最短的路径再找出来。此时需要用 FindMinimumPath 函数寻找最短路径,即在生成节点时,记录每个节点对应父节点的花费,函数从终止点开始寻找,找到终止点花费最少的父节点,依次向前寻找,直到找到初始点,就得到了最短路径。

2.2 改进 RRT 算法

由于基本的 RRT 算法存在一些不足,对算法进行如下改进:

(1) 针对一棵树的生成速度比两棵树的生长速度慢,采用双向 RRT 算法,如图 3 所示。双向 RRT 算法就是从初始位置和终止位置同时生成两棵树,两棵树随机的生长,在两棵树的叶子相交或者距离较小时结束生长。

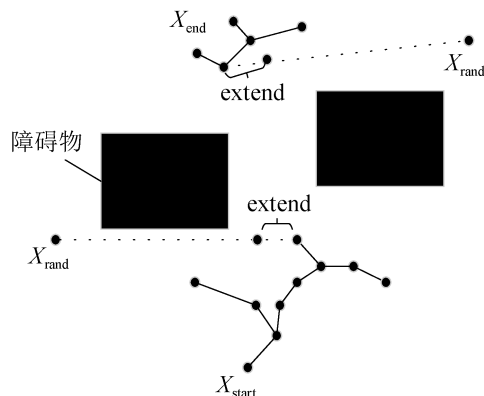


图 3 双向 RRT 算法随机树的生长过程
Fig. 3 Growth process of random tree in bidirectional RRT algorithm

双向 RRT 算法和 RRT 算法相比,由于是两棵树进行搜索,所以搜索的效率比 RRT 算法快。

(2) 双向 RRT 算法虽然搜索的速度快,但是节点朝着随机点生长导致算法随机性较强,从而使算法的收敛较慢。在两棵树的生长过程中,使一棵树

的节点按一定几率向另一棵树的节点生长, 以提高算法的收敛速度; 同时为了保留算法对未知空间的搜索能力, 使节点按几率朝着随机点的方向生长。

(3) 由于算法中节点的生长方式具有随机性, 必然导致生成的路径不够平滑, 因此在 RRT 算法生成路径时, 结合粒子群算法对路径进行平滑处理, 此时粒子群算法的初始粒子不是随机产生的, 而是把 RRT 算法生成的路径坐标作为粒子群算法的初始粒子、与障碍物保持安全距离作为约束, 之后对初始粒子进行优化, 将优化后的路径作为最后的路径。

改进 RRT 算法和基本 RRT 算法相比, 具有算法速度快, 生成节点效率高, 生成路径更平滑的优点。改进 RRT 算法流程如图 4 所示。

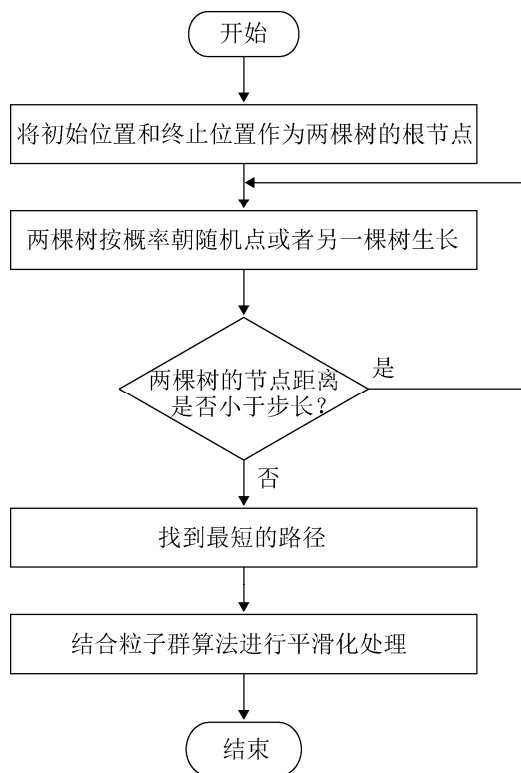


图 4 改进 RRT 算法流程

Fig. 4 Improve RRT algorithm flow

2.3 改进 RRT 算法路径规划

无人化或智能桥式起重机在运行前, 通过传感器系统采集周围的环境信息, 之后由运动规划系统进行路径和轨迹规划。

路径规划是起重机运行的前提条件。在障碍物较多的复杂环境下对桥式起重机进行路径规划时, 一些方法不易在短时间内得到最优路径, 因此采用改进 RRT 算法进行研究。RRT 算法具有搜索速度快的优点, 并且采用双向 RRT 算法可进一步提高路径规划的速度。由于桥式起重机的大车和小车分别控制重物的前后和左右移动, 转角过多的路径会导致其大车和小车频繁的起停并改变运动方向, 这会降低起重机的行进速度, 也可能引起重物的摆动, 致使发生碰撞的几率增加, 因此在算法生成节点时进行引导并结合粒子群算法, 使得生成的路径更为平滑, 减小事故的发生几率, 更适合桥式起重机运行。

路径长度计算方法为: 先由式(1)计算相邻两点的距离, 之后根据式(2)把所有相邻点的距离相加。

$$L_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2} \quad (1)$$

$$L = \sum L_i \quad (2)$$

在进行轨迹规划前, 需要检查起重机的各个部分是否正常, 如果有相应的计算机技术则通过计算机来检查, 或者人工检查, 最终判断是否符合桥式起重机的吊装作业要求, 在符合条件后进行轨迹规划。

3 仿真研究

在 MATLAB R2014a 版本下进行仿真。为了使桥式起重机尽可能快地从起始位置到达终点位置, 本文未考虑重物在垂直方向上的移动。假设桥式起重机初始位置坐标为(0,20,4), 终止位置坐标为(40,20,4)。模型中障碍物选取时, 为了接近实际情况, 选取了多种形状的障碍物, 如: 长方体、圆柱体、球体和三棱柱体; 起重机作业场景的障碍物情况各有不同, 为了验证方法的通用性, 应使障碍物数量较多且位置无规律; 为了符合实际场景, 应使障碍物尺寸不同。模型 1 选取的障碍物尺寸如表 1~4 所示, 按障碍物重心的横坐标从小到大排序。

表 1 模型 1 中长方体尺寸
Tab. 1 Cuboid size in model 1 /m

编号	长	宽	高
1	5.6	5	7
2	4.0	7	8
3	4.0	7	6.5

表 2 模型 1 中圆柱尺寸
Tab. 2 Cylinder size in model 1 /m

编号	半径	高
1	2.20	6.0
2	2.70	4.6
3	3.00	7.3
4	2.00	6.0
5	2.66	8.4
6	1.60	8.7
7	2.10	5.3

表 3 模型 1 中球尺寸
Tab. 3 Ball size in model 1 /m

编号	半径	编号	半径
1	3.2	3	3.0
2	2.5		

表 4 模型 1 中三棱柱尺寸
Tab.4 Triangular size in model 1 /m

编号	底面边长			高
1	7.1	7.3	7.3	5.21
2	4.5	6.3	4.5	7.21

模型 1 及仿真结果如图 5~7 所示。

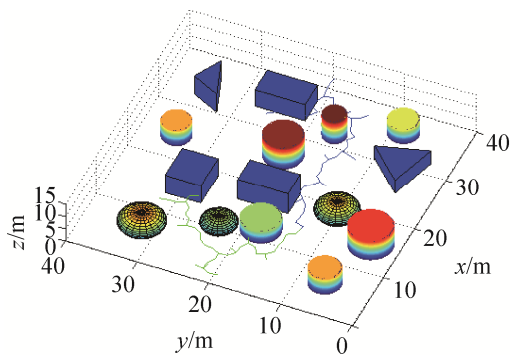


图 5 模型 1 中改进 RRT 算法生成的两棵树

Fig. 5 Two trees generated by improved RRT algorithm in model 1

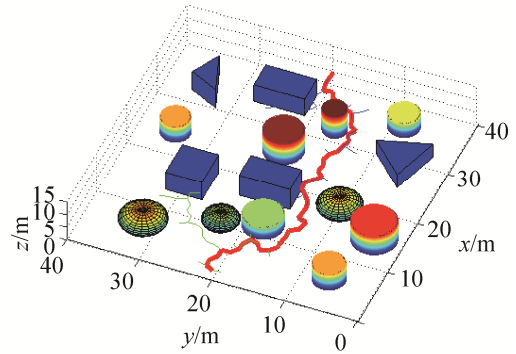


图 6 模型 1 中改进 RRT 算法生成的路径

Fig. 6 Path generated by improved RRT algorithm in model 1

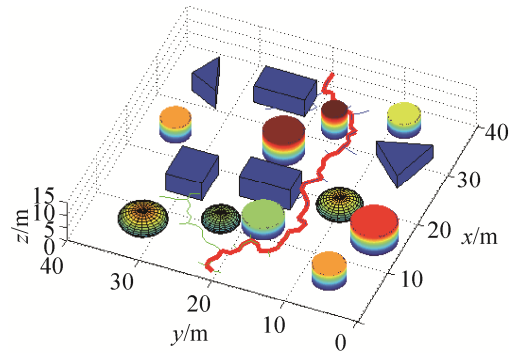


图 7 模型 1 中结合粒子群算法平滑之后的路径

Fig. 7 Path smoothing with particle swarm optimization in model 1

图 5 为算法生成的两棵树，由公式(1)~(2)计算路径长度，图 6 为在两棵树中找到的路径，其路径长度为 56 m，图 7 为结合粒子群算法进行平滑处理后的路径，其路径长度为 51 m。

为了证明该方法在复杂环境下的适用性，利用模型 2 再次进行仿真验证，障碍物尺寸选取如表 5~8 所示，按障碍物重心的横坐标从小到大排序，

表 5 模型 2 中长方体尺寸
Tab. 5 Cuboid size in model 2 /m

编号	长	宽	高
1	5.0	7.0	6.0
2	4.0	4.4	8.0
3	4.0	3.0	9.5
4	6.1	3.0	5.5
5	5.0	5.8	8.5

表 6 模型 2 中圆柱柱尺寸
Tab. 6 Cylinder size in model 2 /m

编号	半径	高
1	2.2	8.0
2	2.7	6.6
3	2.8	8.7
4	2.1	5.3

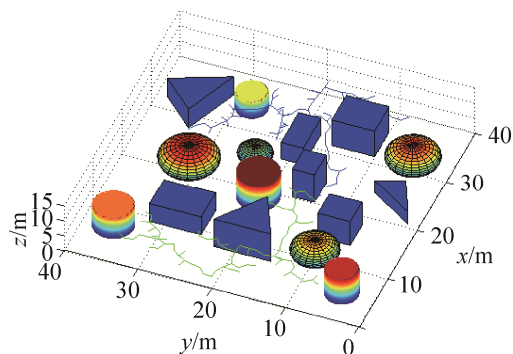
表 7 模型 2 中球尺寸
Tab. 7 Ball size in model 2 /m

编号	半径	球	半径
1	3.2	3	2.3
2	4.0	4	3.6

表 8 模型 2 中三棱柱尺寸
Tab. 8 Triangular size in model 2 /m

编号	底面边长			高
1	7.7	7.2	8.0	9.21
2	7.3	6.1	3.9	4.21
3	6.4	8.4	8.3	6.21

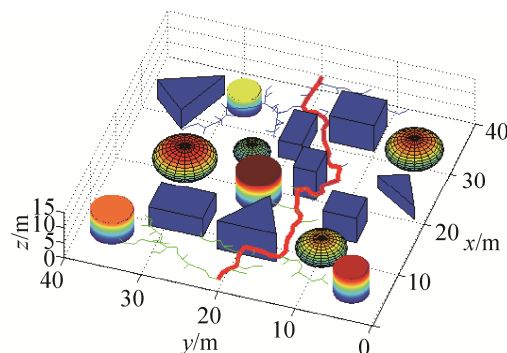
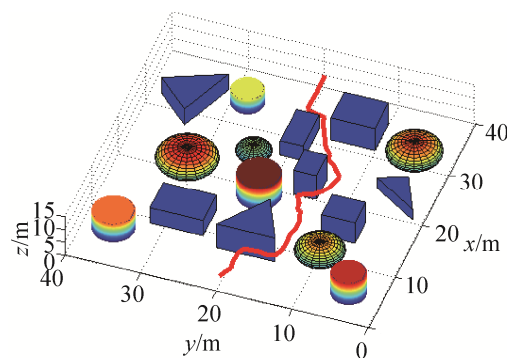
模型 2 及仿真结果如图 8~10 所示。

图 8 模型 2 中改进 RRT 算法生成的两棵树
Fig. 8 Two trees generated by improved RRT algorithm in model 2

同上,图 8 为算法生成的两棵树,由公式(1)~(2)计算路径长度,图 9 对应的路径长度为 55 m,图 10 对应的路径长度为 49 m。

如图 5 和图 8 所示,改进 RRT 算法应用于桥式起重机的路径规划时,两棵树同时生长,使得算法效率提升了一倍;由于两棵树节点的生成方式是朝着另一棵树的最近的节点生成或者朝随机点生长的,与随机生成节点相比目标性比较强,没有太多的多余节点,也容易找到最优路径。由图 6, 7

和图 9, 10 可知,采用 RRT 算法生成的路径存在转角多且转角幅度大等问题,但结合粒子群算法进行平滑处理后,所得路径比原来的路径距离更短且更为平滑。

图 9 模型 2 中改进 RRT 算法生成的路径
Fig. 9 Path generated by improved RRT algorithm in model 2图 10 模型 2 中结合粒子群算法平滑之后的路径
Fig. 10 Path smoothing with particle swarm optimization in model 2

4 结论

本文研究了三维复杂环境下桥式起重机的吊装避障路径规划问题。首先对环境信息进行处理,把不规则障碍物处理成与其相似的规则障碍物,对障碍物进行膨胀化处理后,将环境空间进行了划分;之后对 RRT 算法进行了改进,采用双向 RRT 算法,并在生成路径时结合了粒子群算法;最后在不同复杂环境下进行仿真,得到了较为理想的路径,证明了该方法在桥式起重机路径规划上的可行性。

改进 RRT 算法的节点可以不断生长直到遍布整个搜索区域,因此不论环境多么复杂,都可以找

到解, 更适合在不易寻找路径的复杂环境下使用。该方法可以在高维环境下使用, 且算法运行速度快, 不仅可以应用在起重机路径规划上, 也可以对机器人、无人机、无人驾驶汽车和需要寻找路径的场合进行路径规划。

参考文献:

- [1] 邵雪卷, 李瑶, 张井岗, 等. 桥式起重机轨迹规划的方法研究[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(5): 971-977.
Shao Xuejuan, Li Yao, Zhang Jinggang, et al. Trajectory Planning Method of Overhead Crane[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(5): 971-977.
- [2] 何亚丽, 丁克勤, 赵军. 冶金桥式起重机健康监测技术研究的现状与展望[J]. 起重运输机械, 2013(11): 1-5.
He Yali, Ding Keqin, Zhao Jun. Status and Prospect of health monitoring technology for metallurgical overhead crane[J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2013(11): 1-5.
- [3] Kawasaki Y, Kaneshige A, Ueki S. Development of the Autonomous Mobile Overhead Traveling Crane in Consideration of On-line Obstacle Recognition, Path Planning and Oscillating Control[C]// 11th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Austria Vienna: Science and Technology Publications, 2014: 382-389.
- [4] Cai P P, Chandrasekaran I, Zheng J M, et al. Automatic Path Planning for Dual-Crane Lifting in Complex Environments Using a Prioritized Multi-objective PGA[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics (S1551-3203), 2018, 14(3): 829-845.
- [5] Nagai S, Kaneshige A, Ueki S. Three-Dimensional Obstacle Avoidance Online Path-Planning Method for Autonomous Mobile Overhead Crane[C]// International Conference on Mechatronics & Automation, Beijing: IEEE, 2011: 1497-1520.
- [6] 魏云平, 强宝民, 晁苏全, 等. 改进路径规划算法在桥式起重机中的应用[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(8): 2844-2847.
Wei Yunping, Qiang Baomin, Chao Suquan, et al. Application of Improved Path Planning Algorithm in Bridge Crane[J]. Computer Measurement and Control, 2015, 23(8): 2844-2847.
- [7] 屈云岚, 曹旭阳, 王殿龙, 等. 基于蚁群算法的无人化车间吊物运移路径规划研究[J]. 起重运输机械, 2019(7): 77-81.
Qu Yunlan, Cao Xuyang, Wang Dianlong, et al. Research on the Transportation Path Planning of Lifting Objects in Unmanned Workshop based on Ant Colony Algorithm[J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2019(7): 77-81.
- [8] 阮晓钢, 周静, 张晶晶, 等. 基于子目标搜索的机器人目标导向 RRT 路径规划算法[J]. 控制与决策, 2020, 35(10): 2543-2548.
Ruan Xiaogang, Zhou Jing, Zhang Jingjing, et al. Robot Target Oriented RRT Path Planning Algorithm Based on Sub-target Search[J]. Control and Decision, 2020, 35(10): 2543-2548.
- [9] 王欣, 孙吉胜, 赵哲, 等. 基于改进 RRTConnect++算法的多起重机协同转弯路径规划[J]. 工程机械, 2017, 48(7): 4-13.
Wang Xin, Sun Jisheng, Zhao Zhe, et al. Cooperative Turning Path Planning of Multi Cranes Based on Improved RRT Connect ++ Algorithm[J]. Construction Machinery, 2017, 48(7): 4-13.
- [10] Zammit C, Kampen E J V. Comparison of A* and RRT in real-time 3D path planning of UAVs[C]// AIAA Scitech Forum, Orlando: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2020: 1-5.
- [11] Koukuntla S R, Bhat M, Aggarwal S, et al. Deep Learning rooted Potential piloted RRT for expeditious Path Planning[C]// 4th International Conference on Artificial Intelligence and Robotics, Guilin: ResearchGate, 2019: 1-8.