

# 基于混合粒子群算法的在线检测路径规划

梁 旭 刘才慧

(北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院 北京 100191)

**摘要:** 针对加工中心在线检测中的路径规划问题,采用基于全局规划与局部优化相结合的策略,将光学寻优算法、遗传算法、混沌优化与基本粒子群算法结合,提出了一种新型混合离散粒子群算法,并将其用于检测路径的全局规划。首先简述了在线检测路径规划的原理及检测数据的获取,然后介绍了混合粒子群算法的原理、步骤及其流程,最后对算法进行了仿真研究,并且与蚁群算法进行了对比分析。经仿真验证,该算法具有搜索精度高、收敛速度快、稳定性好等优点,有较好的实际应用价值。

**关键词:** 在线检测;路径规划;粒子群算法;蚁群算法

**中图分类号:** TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.5050

## Path planning for on machine verification system based on hybrid particle swarm optimization algorithm

Liang Xu Liu Caihui

(School of Automatic Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** Path planning is an important aspect of on machine verification (OMV), in this article, a strategy that combine global planning and local adjustment is put forward. Additionally, this paper proposes a new type of hybrid discrete particle swarm optimization algorithm, which absorbs the advantages of optical optimization algorithm, genetic algorithm and chaos optimization. The algorithm is used for global planning. This paper firstly introduce the principle of path planning and how to acquire the testing data; then explain the principle, steps and flow chart of the algorithm detailed; at last, the simulation research of the algorithm is carried on and is compared with ant colony algorithm. From the simulation result, it is obvious that the algorithm possesses the advantages of high search precision, favorable stability and fast convergence rate, it has a good practical application value.

**Keywords:** OMV; path planning; particle swarm optimization; ant colony algorithm

### 1 引言

先进制造技术是一个国家综合国力的重要体现,德国政府已于2013年提出了“工业4.0”战略,这标志着制造业将迎来跨时代的发展。在线检测技术将加工过程与检测过程结合起来,能够有效的缩短辅助时间、提高生产效率和加工精度。

路径规划问题是指在给定工作环境中,按照一定的评价标准(路径最短、消耗能量最少或使用时间最短等)来寻求一条从起始状态到达目标状态的运动轨迹,在机器人领域有广泛的应用。现有的路径规划方法大致可以分为传统方法和智能方法两种,传统方法有可视图法、自由空间

法、栅格法和拓扑法等,智能方法有遗传算法、模糊逻辑方法、粒子群算法和蚁群算法等。

文献[1]中提出基于特征的检测路径规划方法和检测路径规划模型;文献[2]提出栅格地图和遗传算法相结合的方法解决了变电站巡检机器人的路径规划问题;文献[3]用蚁群算法对四旋翼小型直升机的实际飞行路径进行三维路径规划。然而每种方法都有其适合的应用领域,存在一定的不足之处。

路径规划是实现在线检测技术的关键环节。因此,针对路径规划算法的研究是在线检测技术的一个重点研究方向。

收稿日期:2015-08

## 2 在线检测路径规划

### 2.1 路径规划原理

重点研究检测点位置和数量均已确定情况下的检测路径规划问题。在线检测的工作流程可以描述为:测头从起始位置出发,对待检测的工件表面点进行检测,检测完后,移至下一个检测点,当所有点都检测完以后,再回到起始位置。

以上情况假设各个检测点之间能够相互到达,实际检测过程中,受检测环境的影响,某些检测点之间可能存在障碍而无法达到,因此,本文设计的路径规划是先对所有检测点进行全局规划,然后通过仿真来进行碰撞检查,再通过添加中间过渡点等方法来进行局部优化,最后获得一条近优的检测路径,其过程如图1所示。

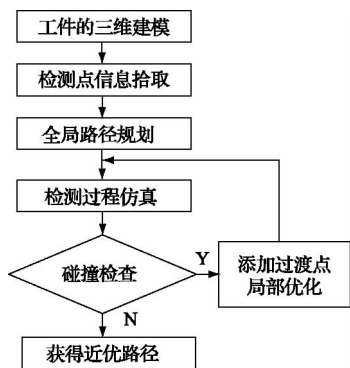


图1 检测路径规划原理

### 2.2 检测点数据获取

本文首先通过读取和解析 .stl 格式的模型文件来获得加工件的 CAD 坐标数据及其最小包围域,然后在 VS2013 的 .NET 环境下,利用第三方软件 CsGL 实现工件的三维重建和变换操作,利用提出的“工件表面点快速拾取算法”,通过鼠标双击即可获取工件表面待检测点的三维坐标及矢量信息。模型重建效果如图2所示。

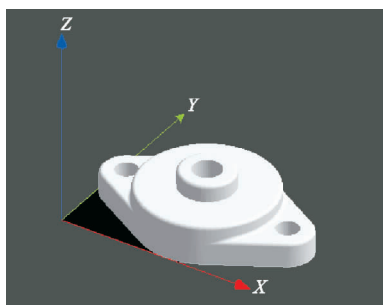


图2 工件三维效果

本文在某工件上拾取 24 个检测点,并用作路径规划的原始数据,各检测点坐标如表1所示。

表1 检测点坐标

| ID | X  | Y    | Z    | ID | X    | Y  | Z    |
|----|----|------|------|----|------|----|------|
| 1  | 80 | 51.5 | 27.3 | 13 | 74.9 | 80 | 22.3 |
| 2  | 80 | 52.7 | 23.3 | 14 | 74.6 | 80 | 18.6 |
| 3  | 80 | 53.0 | 20.5 | 15 | 74.2 | 80 | 13.1 |
| 4  | 80 | 54.7 | 16.8 | 16 | 70.8 | 80 | 6.17 |
| 5  | 80 | 56.7 | 14.9 | 17 | 64.4 | 80 | 2.54 |
| 6  | 80 | 60.6 | 5.87 | 18 | 61.7 | 80 | 7.64 |
| 7  | 80 | 68   | 4.43 | 19 | 59.1 | 80 | 11.6 |
| 8  | 80 | 70   | 9.65 | 20 | 57.2 | 80 | 13.4 |
| 9  | 80 | 70.8 | 14.4 | 21 | 56.5 | 80 | 15.5 |
| 10 | 80 | 73.7 | 17.1 | 22 | 55.4 | 80 | 21.1 |
| 11 | 80 | 77   | 6.3  | 23 | 53.2 | 80 | 26.4 |
| 12 | 76 | 80   | 27   | 24 | 52.2 | 80 | 28.9 |

## 3 混合粒子群算法

### 3.1 算法原理与步骤

粒子群算法是一种基于连续域的优化算法<sup>[4-5]</sup>,其基本思想是通过群体中个体之间的协作和信息共享来寻找最优解,其本质是利用个体当前信息、个体历史信息和种群全局信息 3 个信息,来指导粒子的下一步动作和位置<sup>[6]</sup>。Clerk 提出的离散粒子群算法的粒子更新式如式(1)和式(2)所示:

$$v_i(t+1) = \omega v_i(t) \oplus \alpha(p_i(t) - x_i(t)) \oplus \beta(p_g(t) - x_i(t)) \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (2)$$

式中: $x_i$  表示粒子  $i$  的速度, $p_i$  表示个体最优, $p_g$  表示全局最优, $v_i$  表示粒子的速度, $t$  表示迭代次数。

通过将粒子群算法与光学寻优算法、遗传算法<sup>[7]</sup>、混沌优化相结合,提出了一种新型的混合离散粒子群算法,其流程如图3所示,算法步骤如下:

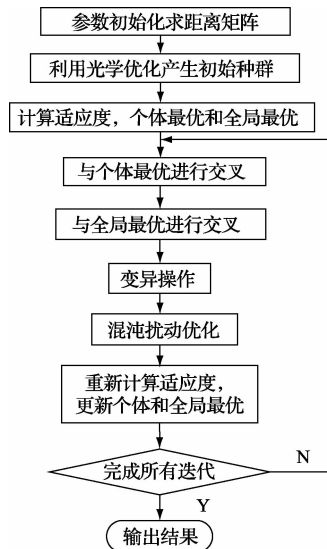


图3 混合粒子群算法流程

## 1) 粒子的表达方式

每一个粒子表示一条路径,粒子位置的表达方式即路径的编码方式。采用序列编码,有利于算法操作,提高效率,它直接用检测点的编号组成的序列来表示位置。例如路径为  $3 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 6 \rightarrow 4$ ,则粒子的位置表示为  $[3,5,2,1,6,4]$ 。

## 2) 粒子适应度表示

用粒子所对应的路径的长度来表示粒子的适应度,若有一个粒子  $p_i = \{t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{iN}\}$ ,其中  $t_{ij}$  的三维坐标为  $(x_k, y_k, z_k)$ ,则粒子  $p_i$  的适应度由式(3)求得。

$$fit(p_i) = \sum_{k=1}^{N-1} \sqrt{(x_{k+1} - x_k)^2 + (y_{k+1} - y_k)^2 + (z_{k+1} - z_k)^2} + \sqrt{(x_1 - x_N)^2 + (y_1 - y_N)^2 + (z_1 - z_N)^2} \quad (3)$$

## 3) 粒子群的初始化

沈继红教授在2007年提出了光学寻优算法<sup>[8]</sup>,假设有  $N$  个检测点,利用光学优化思想产生初始种群的步骤如下所示:

①对于任意检测点  $i$ ,将其作为路径上的第一个点,并计算其当前密度和前沿密度。当前密度指的是当前检测点与剩余未检测点之间的最短距离,前沿密度指的是未检测点之间距离的平均值。

②对于路径上的检测点  $j$ ,选择点  $j$  的下一个检测点的方法为:比较点  $j$  的当前密度和前沿密度,如果当前密度小于前沿密度,则选择未检测点中与当前检测点距离最短的点作为下一个要检测的点,否则随机选择一个未检测的点作为下一个要检测的点。

③重复上一步骤共  $N-1$  次,即可得到以检测点  $i$  为起点的路径。

④重复前面步骤,即可得到以各个检测点为起点的路径。

完成以上步骤后,就得到了  $N$  条路径,假设设置的粒子群的粒子数为  $m$ ,则对于每个粒子,随机的选择  $N$  条路径中的一条作为初始位置。利用光学寻优算法产生的初始种群具有质量高、适应度好的特点。

## 4) 粒子的交叉与变异

交叉操作包括粒子  $i$  与其个体最优进行交叉和粒子  $i$  与种群全局最优进行交叉,本文设计的交叉方式为假设粒子  $i$  为  $[3,2,5,1,4,6]$ ,个体最优为  $[2,4,5,3,1,6]$ ,首先在全局最优个体中随机选取一个交叉片段,如  $[4,5,3]$ ,然后将粒子  $i$  中的  $[4,5,3]$  依次去掉,得到  $[2,1,6]$ ,最后将  $[4,5,3]$  接在  $[2,1,6]$  末尾,则粒子  $i$  交叉后变为  $[2,1,6,4,5,3]$ 。这样的好处是保留了最优个体中的优良片段。对每一个粒子  $i$  按给定概率(如 0.2)决定是否进行变异操作,如果变异,则随机选取两位进行对换。

对每个粒子,每当进行完交叉或变异后,计算其适应度,如果适应度变好了,则替换原来的粒子,否则粒子不变。通过引入遗传算法中的交叉和变异操作,可以弥补粒子群算法在表达离散问题上的劣势。

## 5) 混沌优化策略

对每个粒子  $i$ ,按概率(如 0.05)对其进行混沌扰动。设有  $N$  个检测点,对于粒子  $p_i = \{t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{iN}\}$  中的每一元素,按照式(4)进行计算,得到初始混沌序列  $(ct_{i1}, ct_{i2}, \dots, ct_{iN})$ ,然后将其按式(5)进行 Tent 映射<sup>[9]</sup>。

$$ct_{ij} = \frac{t_{ij}}{N + 0.05}, j \in (1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

$$x_{n+1} = \begin{cases} x_n, & 0 \leq x_n < 0.7 \\ x_n(1-x_n), & 0.7 \leq x_n \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

计算得混沌点列  $(ct_{i1}', ct_{i2}', \dots, ct_{iN}')$ ,再将点列中的各数按大到小进行排序,得到各个数在所有数中的排名,然后由排名组成一个新的序列,将该序列作为新粒子  $p_i' = \{t_{i1}', t_{i2}', \dots, t_{iN}'\}$  代替原粒子  $p_i$ 。

引入混沌优化策略可以防止粒子陷入局部最优,从而可以提高算法的寻优能力。

## 3.2 算法验证

首先在 MATLAB 中实现上述算法,将其编译成动态链接库 HPSO.dll,然后在软件中调用函数 PathplanBy-HPSO()对检测点进行路径规划,设置粒子数目为 100,迭代次数为 50,获得最短路径时的结果如图 4 所示,迭代过程如图 5 所示。

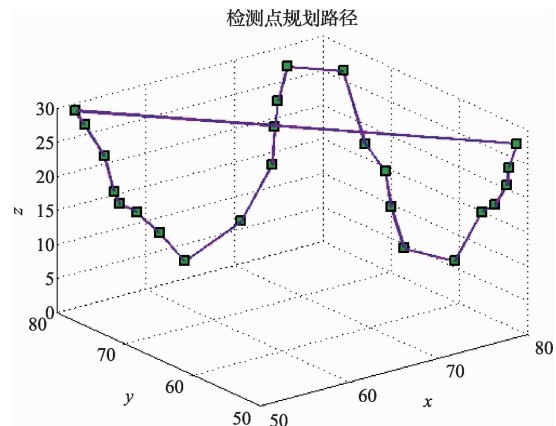


图4 混合粒子群算法规划结果

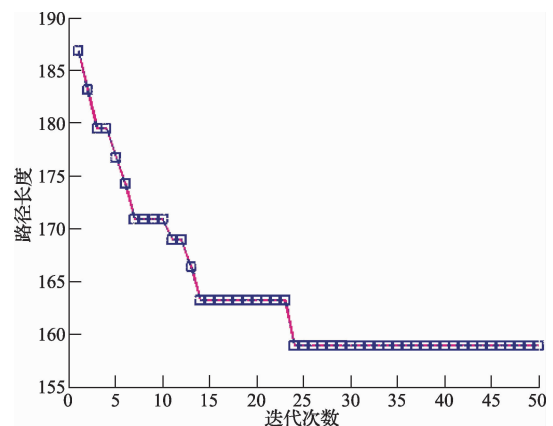


图5 混合粒子群算法迭代过程

为了验证算法的稳定性,重复进行了20次试验,结果如表2所示。

表2 试验结果统计

| 最短路径   | 出现次数 |
|--------|------|
| 158.97 | 16   |
| 163.24 | 3    |
| 168.96 | 1    |

为了与混合粒子群算法进行对比,本文还用蚁群算法<sup>[10-11]</sup>对检测点进行了路径规划,蚁群算法的流程如图6所示。

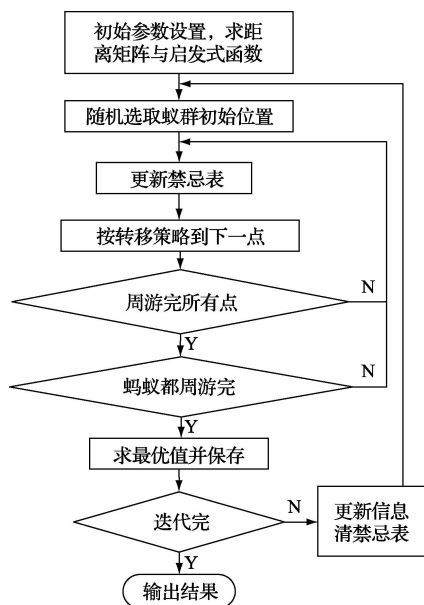


图6 蚁群算法流程

蚁群算法的相关参数设定如表3所示。

表3 蚁群算法参数设置

|         |                                |
|---------|--------------------------------|
| 蚂蚁数目    | $m=30$                         |
| 迭代次数    | $N=50$                         |
| 信息素启发因子 | $\alpha=1$                     |
| 期望启发因子  | $\beta=5$                      |
| 信息素挥发系数 | $\rho=0.5$                     |
| 初始信息素   | $\tau_{ij}(0)=0$               |
| 启发式函数   | $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ |
| 信息更新策略  | 全局更新                           |

使用蚁群算法进行检测点路径规划时,其迭代过程如图7所示。

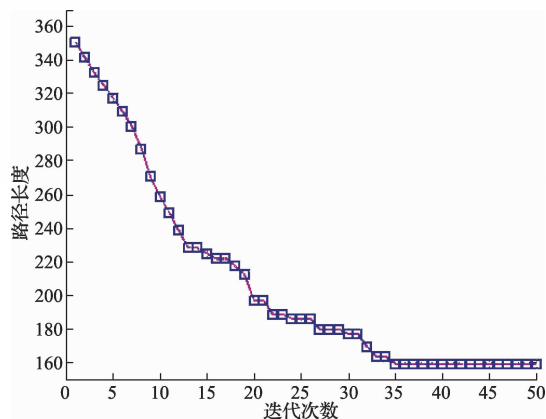


图7 蚁群算法迭代过程

从实验结果可以看出,使用混合粒子群算法对在线检测进行路径规划,得到的最短路径与理论上的最短路径一致,说明该算法寻优效果较好;通过多次仿真实验,证明算法的稳定性也较好;从迭代过程来看,由于使用了光学寻优算法,所以一开始就获得了较好的路径,其收敛速度也较快,而且通过混沌扰动,能够从局部最优解中跳出来;当检测点数量较少的时候,蚁群算法的性能与混合粒子群算法相当,但随着检测点数量的增加,问题会越来越复杂,甚至会使搜索陷入停滞,求解时间会变长,当检测点数量较多的时候,混合粒子群算法相比蚁群算法的优势更加明显。

#### 4 结论

应用的混合粒子群算法克服了陷入局部最优、检测点数较多时求解时间较长等缺点,具有寻优能力强、收敛速度快、稳定性较好等优点。将其应用于在线检测过程中,对待检测点进行全局路径规划,具有较好的效果。

#### 参考文献

- [1] 桑宏强. 加工中心在线检测路径规划模型及仿真研究[D]. 天津:河北工业大学,2005:42-50.
- [2] 姜英杰,吕学勤,段利伟. 栅格遗传算法的变电站巡检机器人路径规划[J]. 科技与创新,2015(6):12-14.
- [3] 张亚欧. 基于蚁群算法的四旋翼直升机飞行路径规划研究[J]. 机电一体化,2013(2):22-24.
- [4] 陈仁文,朱霞,毛世杰. 基于改进型粒子群算法的卡箍直径检测算法研究[J]. 仪器仪表学报,2014,35(8):1837-1843.

- [5] 许川佩, 胡红波. 基于量子粒子群算法的 SOC 测试调度优化研究[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(1): 113-119.
- [6] 蒋晓岫, 任佳, 顾敏明, 等. 多维度惯性权重衰减混沌化粒子群算法及应用[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(6):1333-1341.
- [7] 张勇, 谭南林. 基于遗传算法的内燃机车优化操纵研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(7):604-609.
- [8] 沈继红, 王侃. 求解旅行商问题的混合粒子群优化算法[J]. 智能系统学报, 2012, 7(2):174-182.
- [9] 周茜. 混沌理论及应用若干问题的研究[D]. 天津:南开大学, 2010: 34-38.
- [10] 宋瑞华, 王宏伟, 薛强飞. 基于优化蚁群算法的图像边缘检测改进算法[J]. 电子测量技术, 2013, 36(8): 56-58.
- [11] 谭宝成, 宋洁. 蚁群算法在无人驾驶智能车中的应用及改进[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(9):15-17,30.

## 作者简介

**梁旭**, 1971 年出生, 工学博士, 讲师。主要研究方向为检测技术与自动化装置、嵌入式系统及故障诊断与健康管理等。

E-mail:atephm@163.com

**刘才慧**, 1990 年出生, 工学硕士。主要研究方向为检测技术与自动化装置。

E-mail:liucaihui919@163.com

(上接第 29 页)

- [7] 张贵平, 贾鑫, 尹灿斌, 等. SAR 成像处理中插值算法的比较研究[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(8):9-11.
- [8] 吴一全, 樊军, 吴诗娅. 改进的二维 Otsu 法阈值分割快速迭代算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(3):218-225.
- [9] 张方辉, 梁兴东, 周良将. 双站 SAR 时间同步误差建模及分析[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(8): 36-40.
- [10] LOPEZ-DEKKER P, MALLORQUI J J, SERRA-MORALES P, et al. Phase synchronization and doppler centroid estimation in fixed receiver bistatic SAR systems[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2008, 46(11): 3459-3471.
- [11] WANG R, DENG Y, ZHANG Z, et al. Double-channel Bistatic SAR system with spaceborne illuminator for 2-D and 3-D sar remote sensing[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2013, 51(8):4496-4507.

## 作者简介

**张明咪**, 1990 年出生, 在读硕士研究生。主要研究方向为一站固定式双基合成孔径雷达成像处理。

E-mail:505644244@qq.com