

徐守江. 基于蚁群算法的穴盘苗自动移钵路径优化[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12): 475–477.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.12.145

# 基于蚁群算法的穴盘苗自动移钵路径优化

徐守江

(江苏食品药品职业技术学院信息工程系, 江苏淮安 223003)

**摘要:**在农业钵苗培育过程中, 须将穴盘中不健康的钵苗剔除后再进行补种作业, 穴盘苗自动移钵路径优化是补种作业的重要环节之一。自动移钵路径规划是指末端执行器带动机械臂从原始点出发, 按照一定规则依次从移栽穴盘中取出健康钵苗, 并逐个填补到目的穴盘中待补种的穴孔, 补种结束后回到出发点。基于蚁群算法提出一套适合求解穴盘苗自动移钵路径优化问题的模型算法, 仿真结果表明, 该算法可快速得到较优化的自动移钵路径, 满足移钵机器人的实时性要求。即使在目的穴盘中待补种的穴孔数量较多的情况下, 也可有效获得优化移钵路径。与常规的固定顺序路径相比, 本算法获得的移钵路径优化幅度大, 有效缩短末端执行器的行走距离, 算法稳定性好。

**关键词:**穴盘苗; 路径优化; 移钵; 蚁群算法

**中图分类号:** S24; TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)12-0475-03

工厂化穴盘育苗培育的成苗率为 80%~95%<sup>[1]</sup>, 穴盘内不仅会出现未发育、劣质的钵苗, 还会出现漏播现象, 因此需要不健康钵苗剔除及补苗环节, 避免出厂后机械化批量移栽过程中的漏栽或栽空现象。农业钵苗移栽机器人<sup>[2-3]</sup>通过视觉检测出钵苗的健康状况, 剔除目的穴盘中不健康的钵苗, 并根据移钵路径取出移栽穴盘中的健康钵苗依次补种到目的穴盘, 完成补种作业环节。目的穴盘中空穴位置与移栽穴盘中可移栽钵苗位置的多选择性导致移钵路径多样化, 补种钵苗的先后次序决定了移钵路径的距离。目前, 工程上解决移钵路径的主要方法为固定顺序法<sup>[4]</sup>, 该方法路径长度固定, 未作多路径选择, 移钵路径有待优化。童俊华等提出了基于遗传算法的穴盘苗自动移钵路径优化模型<sup>[4]</sup>, 具有良好的全局搜索能力, 有效提高了移钵工作效率, 与常规的固定顺序路径长度相比, 优化后的路径优化幅度明显。

近年来, 智能算法仿生化发展是一种趋势, 仿生算法在食品机械领域的应用也越来越广泛<sup>[5-6]</sup>。蚁群算法是由 Dorigo 等于 1992 年受自然界中蚁群集体行为的启发而提出的一种

模拟仿生进化算法<sup>[7]</sup>, 具有多样性、并行性、正反馈、鲁棒性强等特性, 已被广泛应用于机器人路径规划、任务调度、物流配送、图形图像处理等领域<sup>[8-11]</sup>, 尤其在旅行商问题上蚁群算法性能具有较独特的优势<sup>[12-13]</sup>。本研究基于解决旅行商问题的思路, 提出一套适于求解移钵路径优化问题的蚁群算法模型, 并结合具体实例给出问题求解方法。

## 1 移钵路径规划问题描述

### 1.1 环境描述

设施农业钵苗自动化移钵设备样机主要由穴盘苗输送系统、机器视觉识别系统、控制系统、移钵系统 4 个系统组成。通过机器视觉识别系统、控制系统、移钵系统之间的协作实现不健康钵苗剔除作业、健康钵苗补种移钵作业<sup>[2-4]</sup>。由目的穴盘与移栽穴盘规格 G 均为 50 的移钵作业工作示意(图 1)可知, 穴盘外围尺寸为 250 mm × 500 mm。目的穴盘中的灰色小圆圈表示健康钵苗, 空白小圆圈表示不健康钵苗被剔除后需要补种钵苗的位置点。移栽穴盘中的灰色小圆圈表示当前穴孔含有健康穴苗, 空白小圆圈表示当前穴孔的健康穴苗已被移栽。

在坐标系中, 采用 1 个线性序列直观地表示移钵路径。将坐标系原点标记为 0, 将目的穴盘中  $m$  个待补穴孔按照从上至下、从左至右的顺序依次标记为  $(-1, -2, -3, \dots, -m)$ ; 将移栽穴盘中含有健康钵苗的穴孔按照相同顺序依次

收稿日期: 2015-05-19

基金项目: 江苏省食品设备自动化重点专业群项目(编号: 143)。

作者简介: 徐守江(1983—), 男, 江苏泗阳人, 硕士, 讲师, 主要从事智能算法与智能控制研究。Tel: (0517) 87088225; E-mail: xsj040902@163.com。

[2] 唐于银, 杨智青, 丁海荣, 等. 浅论牧草产业在盐城地区的发展[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(9): 130–132.

[3] 张文洁. 沿海滩涂地区不同栽培措施对牧草耐盐性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.

[4] 马国玉, 袁洪方, 刘鹏军, 等. 现阶段我国牧草机械的需求分析[J]. 农机化研究, 2011(2): 222–225.

[5] 邵世禄, 韩正晨, 魏宏安. 我国牧草收获机械发展[J]. 草业科学, 2010, 27(5): 152–156.

[6] 王志琴, 牛康, 邵长勇, 等. 我国牧草机械发展现状与对策分析[C]//中国草学会 2013 学术年会论文集. 天津, 2013: 93–99.

[7] 林仕欣, 高承芳, 张晓佩, 等. 杂交狼尾草综合利用的研究进展[J]. 福建畜牧兽医, 2011, 33(1): 32–33.

[8] 张冲, 杨同军. 江苏沿海滩涂资源利用现状及其存在的问题[J]. 港工技术, 2014, 51(1): 43–45.

[9] 杨智青, 丁海荣, 陈应江, 等. 江苏沿海滩涂发展牧草业的前景[J]. 家畜生态学报, 2008, 29(4): 102–105.

[10] 李秀杰. 牧草机械发展的现状及意义[J]. 养殖技术顾问, 2009(1): 131.

[11] 薛友生. 如何规划牧草生产机械化[J]. 农业机械, 2002(7): 41.

标记为 $(1, 2, 3, \dots, n)$ 。移钵路径规划为:从原点 0 出发,交叉选择移栽穴盘中含有健康穴苗的穴孔、目的穴盘中待补种的穴孔,当目的穴盘待补种的穴孔遍历完时,再次回到原点 0。该过程中产生的位置点线性序列表示 1 条完整的移钵路径,如图 1 中的移钵路径可表示为 $(0, 1, -4, 2, -1, 3, -2, 4, -3, 0)$ 。

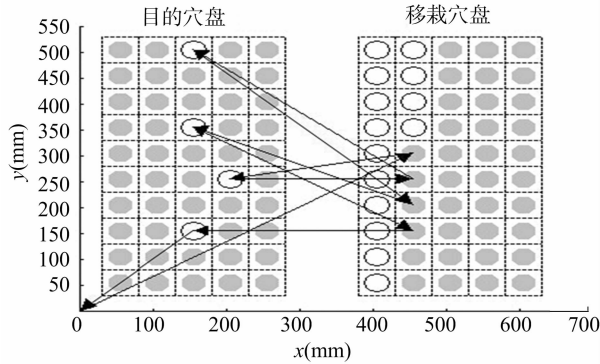


图1 健康钵苗补种移钵作业示意

### 1.2 移钵路径规划分析

在移栽穴盘和目的穴盘中,原点及穴盘各孔穴的位置均固定,2 个位置间的距离可计算获得。在规格为  $G$  的移栽穴盘与目的穴盘中,在图 1 环境下,末端执行器进行移栽可选择的路径达  $n! \times m! / (n-m)!$  种,机械臂的运动距离越短,则移钵时间越短、工作效率越高。移钵路径规划最直接的方法是采用遍历算法,但实际应用中普通计算机的运行速度与内存无法满足其排列组合式的求解方法。

目前,工程上主要采用固定顺序扫描法解决移钵路径规划问题。该方法不进行多路径的比较,而是按照固定顺序将移栽穴盘中的健康穴苗逐一移栽到目的穴盘中的待补种穴孔。本研究采用移栽穴盘从上至下、从左至右的顺序逐一进行移栽,目的穴盘中穴孔补种的顺序为从上至下、从右至左。固定顺序法获得的移钵路径见图 1。

蚁群算法(ant colony optimization, ACO)是一种模拟蚂蚁觅食行为的智能仿生算法,主要用于寻找图类问题的优化路径。自动移钵路径问题类似于旅行商问题,属于求解图的最短路径,适宜采用蚁群算法求解。

## 2 基于蚁群算法的穴盘苗移钵路径优化

蚂蚁模拟末端执行器从原点出发,以一定概率交叉选择具有健康钵苗的移栽穴盘、已剔除不健康育苗的目的穴盘,经过所有目的穴盘中的空穴孔后回到原点。由于移栽穴盘与目的穴盘中各穴孔位置的差异性和多选择性,蚂蚁规划的路径不相同。根据路径长短更新信息素信息,信息素越多的路径被后续蚂蚁选择的概率越大,不断修正路线以获得优化路径。根据以上思路,具体步骤如下。

步骤 1:初始化。将  $M$  只蚂蚁放在原点 0 处,并将原点 0 添加到禁忌表  $\text{tabu}_k$  中( $k=1, 2, \dots, M$ )。令  $\tau_{ij}(0) = \tau_{ij}(0) = T_0$  ( $T_0$  为常数),  $i \in \{-m, -m-1, \dots, -1, 0\}$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, n\}$ 。设置最大迭代次数为  $\text{MAX}$ , 迭代计数器  $I=0$ 。设置蚂蚁选择进度  $P=0$ 。

步骤 2:蚂蚁  $k$  选择下一个位置  $j$ 。假设蚂蚁所在位置为  $g$ ,  $g \in \{-m, -m-1, \dots, -1, 0, 1, 2, \dots, n\}$ 。当  $P$  为偶数时,

蚂蚁选择移栽穴盘中含有健康钵苗的穴孔或原点 0; 当  $P$  为奇数时,蚂蚁选择目的穴盘中的空穴孔。其中,当  $P=2m$  时直接从移栽穴盘返回原点 0, 令  $j=0$ ; 否则按照式(1)选择下一个穴孔。

$$j = \begin{cases} \arg \max \{ [\tau_{gs}(t)]^\alpha [\eta_{gs}(t)]^\beta \}, s \in \text{allowed}_k; \\ \text{根据式(2)选择 } j \end{cases}$$

$$\text{Pro}_{gj} = \begin{cases} \frac{[\tau_{gj}(t)]^\alpha [\eta_{gj}(t)]^\beta}{\sum [\tau_{gs}(t)]^\alpha [\eta_{gs}(t)]^\beta} & j \in \text{allowed}_k, s \in \text{allowed}_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

式中:当  $P$  为偶数时,  $\text{allowed}_k = \{0, 1, 2, \dots, n\} - \text{Tabu}_k$ ; 当  $P$  为奇数时,  $\text{allowed}_k = \{-m, -m-1, \dots, -1, 0\} - \text{Tabu}_k$ 。  $\alpha$  为轨迹上残留信息数的相对重要性,  $\beta$  为能见度的相对重要性。  $\eta_{gj}(t)$  为启发函数, 为简化操作, 本算法中令  $\eta_{gj}(t) = 1/d_{gj}$ ,  $d_{gj}$  为位置  $g$  到位置  $j$  的距离。将  $j$  加入禁忌表,  $P$  自动加 1。

步骤 3:局部信息素更新。局部调整是每只蚂蚁在建立 1 个解的过程中进行的, 路径上的信息素消逝程度用  $1-\rho$  表示。蚂蚁每选择 1 个节点, 2 个位置点间的信息素按照式(3)进行调整。

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \rho\Delta\tau_{ij}^k$$

$$\text{式中: } \Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q_1}{l_k}, & Q_1 \text{ 为常数, } l_k \text{ 为蚂蚁 } k \text{ 在本次觅食中到当前} \\ 0 & \end{cases}$$

位置已走过的路径长度。若  $\tau_{ij}(t+h) < \tau_{\min}$ , 令  $\tau_{ij}(t+h) = \tau_{\min}$ ; 若  $\tau_{ij}(t+h) > \tau_{\max}$ , 令  $\tau_{ij}(t+h) = \tau_{\max}$ 。其中,  $\tau_{\min}$ 、 $\tau_{\max}$  分别为设定的最小值、最大值。

步骤 4:当  $P=2m+1$  时, 蚂蚁  $k$  完成 1 次路径规划, 转步骤 5, 否则返回步骤 2 开始选择下一个穴孔, 直到完成 1 次路径规划。

步骤 5:根据每只蚂蚁的  $\text{Tabu}_k$  计算出连接路径  $l_k$ , 并保存最短路径  $l_{\min}$ 。将本次觅食得到的  $l_{\min}$  与历史最优路径  $L_d$  进行比较, 若  $l_{\min} < L_d$ , 则  $L_d = l_{\min}$ , 并根据禁忌表信息记录当前最优路径经过的点集。

步骤 6:全局信息素更新。蚂蚁完成 1 次路径规划后, 将本次觅食最短路径上的信息素按照式(4)进行调整。

$$\tau_{ij}^{\text{new}} = (1-\delta)\tau_{ij}^{\text{old}} + \delta\Delta\tau_{ij}$$

$$\text{式中: } \Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^M \Delta\tau_{ij}^k, \Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q_2}{l_{\min}}, & Q_2 \text{ 为常数, } \delta \text{ 为全局信息素挥发系数。} \\ 0 & \end{cases}$$

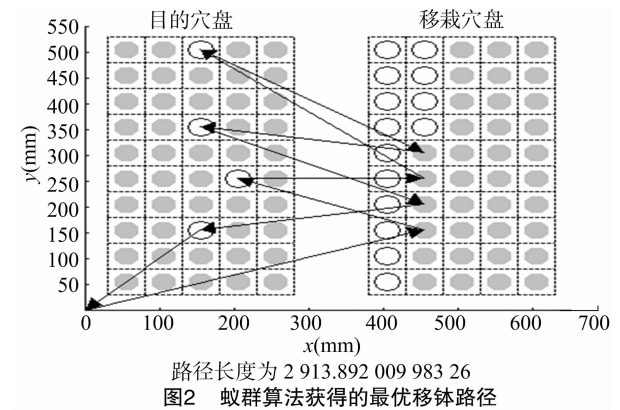
若  $\tau_{ij}^{\text{new}} < \tau_{\min}$ , 令  $\tau_{ij}^{\text{new}} = \tau_{\min}$ ; 若  $\tau_{ij}^{\text{new}} > \tau_{\max}$ , 令  $\tau_{ij}^{\text{new}} = \tau_{\max}$ 。

步骤 7:迭代计数器  $I$  自动加 1。若  $I$  不等于  $\text{MAX}$ , 则清空禁忌表, 将原点 0 加入禁忌表, 并令  $P=0$ , 转步骤 2 重复上述觅食过程, 直到  $I$  等于  $\text{MAX}$  为止。记录最优优化路径信息点集,  $L_d$  即为最优优化路径长度。

## 3 仿真试验

穴盘规格、目的穴盘待补种的穴孔、移栽穴盘中可移栽钵苗的数量均对本研究算法的思想无直接影响, 为便于比较, 以图 1 为算例进行蚁群算法模型优化。连续运行 10 次, 优化后的路径长度均值为 2 921 mm, 平均运行时间为 0.54 s, 7 次获

得全局最优解 2 914 mm。固定顺序法规划的路径结果为 3 004 mm(图 1),遗传算法连续运行 10 次规划的路径均值为 2 930 mm<sup>[4]</sup>,性能低于本研究的蚁群算法。图 2 为利用蚁群算法获得的全局最优优化路径,箭头所指路径为 {0,4,-4,2,-1,1,-2,3,-3,0}。

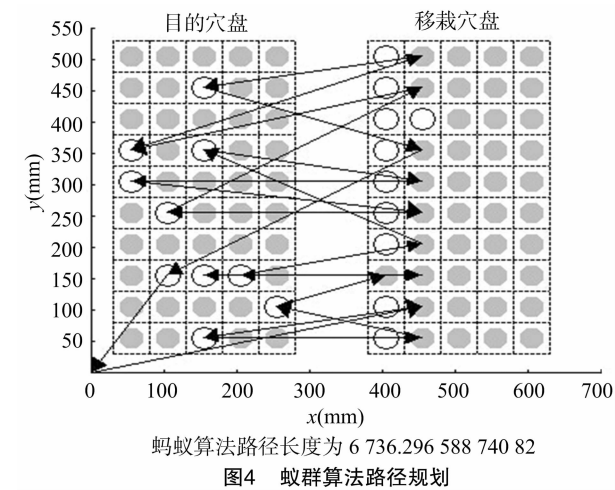
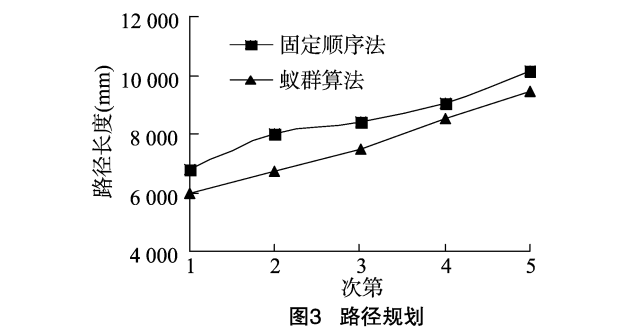


针对目的穴盘与移栽穴盘均为 50 穴规格的穴盘移栽问题,分 5 次将移栽穴盘中的 50 株健康穴苗全部移栽到含有 10 个待补苗空穴的目的穴盘,此为 1 组试验,每次目的穴盘中的 10 个待补苗空穴位置随机产生。在蚁群算法优化( $W_2$ )的同时,利用其目的穴盘中随机产生的 10 个待补穴盘信息,按照固定顺序法( $W_1$ )得出路径,2 种方法的路径比较见表 1。

表 1 2 种方法规划的路径长度比较

组次	方法 $W_1$ 路径 总长(mm)	方法 $W_2$ 路径 总长(mm)	优化缩短路径 长(mm)	优化幅度 (%)
1	42 757	38 134	4 623	10.8
2	42 183	37 251	4 932	11.7
3	43 086	37 499	5 587	13.0
4	42 648	37 614	5 034	11.8
5	41 982	36 876	5 106	12.2
6	41 726	37 239	4 487	10.8
7	41 793	37 823	3 970	9.5
8	42 426	38 167	4 259	10.0
9	42 840	37 299	5 541	13.0
10	41 148	36 097	5 051	12.3

在第 8 组试验中,利用 2 种方法规划的路径过程见图 3,蚁群算法规划出的移钵路径明显优于固定顺序法,优化幅度达 10%。由该组试验中第 2 次移栽时蚁群算法规划出的移钵路径(图 4)可知,即使在目的穴盘中待补种穴孔的数量较多时,本研究的算法也可有效获得优化移钵路径。



#### 4 结论

本研究提出一种基于蚁群算法的自动移钵路径优化算法模型,该算法模型清晰地描述了钵苗位置随机分布、序列严格要求、目的穴盘与移栽穴盘交叉选择的移钵路径选择优化问题的解决方法。针对 50 穴规格的穴盘移栽问题,分 5 次移栽含有 50 株健康穴苗的移栽穴盘时,与固定顺序法获得的路径长度相比,本研究算法规划出的路径长度优化幅度达 9.5% 以上,执行器运动路径缩短 3.9 m 以上,且算法性能稳定。本研究算法可满足自动移钵作业的实时性要求,快速有效地规划出移钵路径的较优化解。

#### 参考文献:

- [1]陈殿奎. 国内外蔬菜穴盘育苗发展综述[J]. 中国蔬菜,2000,15(增刊1):9-13.
- [2]蒋焕煜,施经挥,任 烨,等. 机器视觉在幼苗自动移钵作业中的应用[J]. 农业工程学报,2009,25(5):127-131.
- [3]孙国祥,汪小昆,何国敏,等. 穴盘苗移栽机末端执行器设计与虚拟样机分析[J]. 农业机械学报,2010,41(10):48-53,47.
- [4]童俊华,蒋焕煜,周鸣川. 基于遗传算法的穴盘苗自动移钵路径优化[J]. 农业机械学报,2013,44(4):45-49,26.
- [5]张国平. 食品机械平面四杆机构的遗传算法优化设计[J]. 食品与机械,2010,26(3):117-119,144.
- [6]高朝祥,王 充. 基于粒子群算法的曲柄滑块机构优化设计[J]. 食品与机械,2011,27(4):101-103.
- [7]Dorigo M, Maniezzo V, Colomni A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents[J]. Publication of the IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society, 1996, 26(1):29-41.
- [8]朱庆保. 全局未知环境下多机器人运动蚂蚁导航算法[J]. 软件学报,2006(9):1890-1898.
- [9]张维泽,林剑波,吴洪森,等. 基于改进蚁群算法的物流配送路径优化[J]. 浙江大学学报:工学版,2008,42(4):574-578,597.
- [10]曹春萍,梁 慧. 改进的蚁群算法在图像边缘检测中的应用研究[J]. 计算机应用与软件,2013,30(9):266-269.
- [11]查英华,杨静丽. 改进蚁群算法在云计算任务调度中的应用[J]. 计算机工程与设计,2013,34(5):1716-1719,1816.
- [12]朱庆保. 蚁群优化算法的收敛性分析[J]. 控制与决策,2006,21(7):763-766,770.
- [13]苏兆品,蒋建国,梁昌勇,等. 蚁群算法的几乎处处强收敛性分析[J]. 电子学报,2009,37(8):1646-1650.