

# 基于激光 SLAM 的巡检机器人自动导航与避障技术研究

侯英勇<sup>1</sup> 陈嘉茹<sup>1</sup> 王树臣<sup>2</sup> 李尚民<sup>3</sup> 邹修国<sup>4</sup> 杜彬杰<sup>1</sup>

1. 江苏华丽智能科技股份有限公司, 江苏 常州 213100
2. 徐州工程学院电气与控制工程学院, 江苏 徐州 221018
3. 江苏省家禽科学研究所, 江苏 扬州, 225125
4. 南京农业大学人工智能学院, 江苏 南京 210031

**摘要:**随着现代农业的发展,农场管理(尤其是在养鸡场的巡检任务中)的自动化需求日益增长。为利用激光 SLAM 技术实现巡检机器人在鸡舍环境中的实时定位和导航,首先对激光 SLAM 技术的原理和应用进行了介绍,设计并实现了基于激光传感器和 SLAM 算法的自动导航系统,其能够精确地定位机器人并构建环境地图;其次,对巡检机器人在复杂鸡舍环境中的避障策略进行了探讨,包括障碍物检测、路径规划和动态避障等方面;最后,通过实验验证了所提出技术的有效性和实用性,证明了基于激光 SLAM 的巡检机器人自动导航与避障技术在提升养鸡场管理效率和智能化水平方面的重要作用。研究结论为自动化的农场管理提供了有益的参考和借鉴,具有一定的理论和实践意义。

**关键词:**巡检机器人;A\* 算法;自主导航;路径规划;DWA 算法

**中图分类号:**TP242;S24

**DOI:** 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.09.009

## 0 引言

目前,我国禽蛋需求以鸡蛋为主<sup>[1-3]</sup>。为提高禽蛋产值、降低养殖成本、预防和控制疫病的发生,规模化的养鸡场生产方式至关重要。我国已有规模化的养鸡场,但传统的人工养殖方式效率低、费用高、效果差。病鸡会给规模化的养殖场带来巨大危害,制约养鸡业的发展。为解决禽场自动化、信息化、智能化等方面存在的缺陷<sup>[4-6]</sup>,研究人员设计了鸡舍巡检机器人。鸡舍巡检机器人对鸡群进行自主巡检,替代了效率低、安全勘察不彻底的人工巡检,作为现代养鸡场的智慧眼睛,起到重要作用。

我国为推动畜牧业智能化发展,积极开展智能巡检机器人研究。养鸡场内部的信息、智能化对养鸡业的发展至关重要。笔者利用激光雷达完成机器人的环境感知,以避免鸡舍复杂环境下的各种感知缺陷。激光雷达的主要功能是采集机器人行走过程中的距离信息,并将实际环境信息转换为计算机

可识别的数字信息,以使机器人在巡检过程中实现实时导航和避障,提高巡检的效率和准确性。

## 1 鸡舍巡检机器人系统设计

### 1.1 工作环境

开发基于激光 SLAM 自动导航与避障的鸡舍巡检机器人,必须考虑鸡舍环境带来的挑战。鸡舍内部的地面有干燥或湿滑的区域,覆盖粪便、饲料残渣等杂物,因此,巡检机器人要能适应多样的地面条件并保持稳定行驶。鸡舍的狭窄空间和活动的鸡群要求机器人具有高度的机动性和精确的导航能力,以避免碰撞。鸡舍内的高灰尘含量、高湿度,以及通风和光照条件对巡检机器人的传感器和电子设备提出更高要求,即需要具备一定的防尘防湿功能,并能不同光照条件下稳定工作<sup>[4-6]</sup>。巡检机器人的外壳和结构应便于清洁和消毒,以防止疾病传播,并能与工作人员安全互动。

### 1.2 鸡舍巡检机器人硬件结构

巡检机器人移动平台主要由主控制器、电机驱动系统、麦克纳姆轮和电源模块组成,能在各个方向上灵活移动。上位机系统由便携计算机组成,通过无线通信方式与主控制器连接,负责数据信息的采集和处理,并向其他各模块发送指令。上位机系统也负责对数据的监控,实现信息的交换,保证整个系统的正常运行。

**基金项目:**常州市国际科技合作项目“多层笼养鸡智能巡检机器人系统的联合研发及应用”(CZ20220011);徐州市重点研发计划项目“基于深度学习的智能养鸡场巡检机器人研发”(KC211135);常州市重点研发计划“笼养肉鸡环境智能预警与精准管控技术研究示范”(CE20222025);工业和信息化部工程攻关项目“绿色智能畜牧养殖成套装备工程化”(CEIEC-2022-ZM02-0225);江苏省重点研发计划“立体笼养肉鸡健康监测预警与精准环境管控系统研发”(BE2022379)

### 1.3 软件系统概述

基于已建立的动力学模型、运动学模型、Gmapping 算法构建未知环境,提高养鸡场智能巡检机器人的路径追踪能力。以启发式搜索的 A\* 算法规划全局路径,局部路径规划采用动态窗口(dynamic window approach,DWA)。

## 2 养鸡场巡检机器人导航功能的实现原理

相较于 Hector SLAM 和 Cartographer 算法,Gmapping 算法对激光雷达的扫描频率要求较低,并在处理中小尺寸地图时展现出更高的准确性。因此,本研究选用 Gmapping 算法构建二维栅格地图。同时进行定位和地图构建的过程中,需要解决两大核心问题:机器人的定位问题、地图的特征评估。

本研究采用的 SLAM 方案基于 Rao-Blackwellized 粒子滤波(RBPF)技术,它首先解决机器人的定位问题,随后依据定位结果进行地图构建。Gmapping 算法将 RBPF 作为其核心,对定位过程进行重大改进<sup>[5]</sup>。

搭载 Gmapping 算法的养鸡场巡检机器人通过激光传感器扫描养鸡场内部的环境,实时构建地图,并不断更新地图信息,确保地图的精确性和实时性,还可利用地图和传感器数据进行精确定位,并在建立的地图上导航,完成巡检任务。养鸡场巡检机器人通过地图信息和激光传感器数据检测障碍物,避免碰触障碍物,并调整路径进行巡检,保证作业的安全性和高效性。

Gmapping 算法利用粒子滤波技术对机器人的轨迹进行后验概率估算。每个粒子都需要存储机器人的位置姿态,以及在所有历史时刻的完整地图信息,这要求机器人有更高的位置精确度(position)。

Gmapping 在重采样步骤之前增加一步判断,引入粒子间的权重差异:

$$N_{\text{eff}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N W_i^2} \quad (1)$$

式中, $N_{\text{eff}}$  为权重分散度量值; $W_i$  为粒子  $i$  的权重。

## 3 巡检机器人的路径规划

### 3.1 全局路径规划

A\* 算法是在 Dijkstra 算法的基础上提出的一种静态路网启发式算法。A\* 算法维护一个开放列表和一个关闭列表,通过综合考虑路径代价和启发式评估函数的值选择下一个扩展节点,直到找到目标状态或搜索完所有可能的状态。

A\* 算法的优势在于能在保证找到最优解的前

提下,有效减小搜索空间,因此通常比纯粹的广度优先搜索或深度优先搜索更高效。A\* 算法的性能受启发式评估函数的影响,选择合适的启发式函数对算法的性能至关重要。

总的来说,A\* 算法是一种非常强大和高效的全局路径规划算法,适用于各种实际应用中的路径规划问题,其节点属性表达式为:

$$n = (x, y, g(n), f(n), *n_p) \quad (2)$$

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (3)$$

$$h(n) = \sqrt{(x - x_g)^2 + (y - y_g)^2} \quad (4)$$

式中, $(x, y)$  为坐标; $g(n)$  为从起始点到达当前位置的最小代价; $f(n)$  为从起始点位置到目标点位置的最小代价估计; $*n_p$  为节点的指向标; $h(n)$  为前位置到目标点位置的路径最小代价。

图 1 为 A\* 算法流程图。

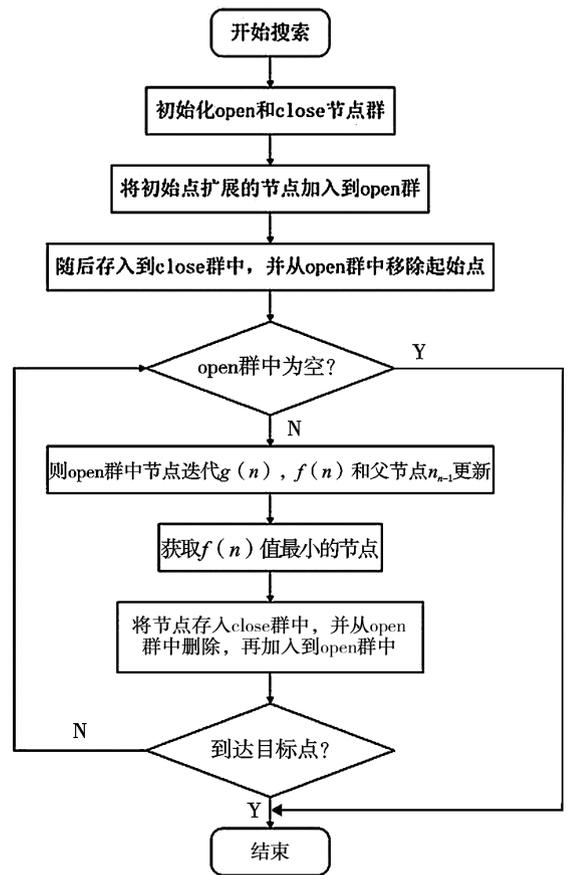


图 1 A\* 算法流程

### 3.2 局部路径规划

局部路径规划在确保系统能安全并精确地抵达目标地点上扮演关键角色。笔者采用的局部路径规划方法是动态窗口法(Dynamic Window Approach,DWA),其流程如图 2 所示。

DWA 的实施步骤主要如下:

(1) 获取巡检机器人当前的状态和环境信息。

(2) 根据巡检机器人当前的状态和环境信息,计算出巡检机器人可能的一系列动作,如速度和转向

角度。

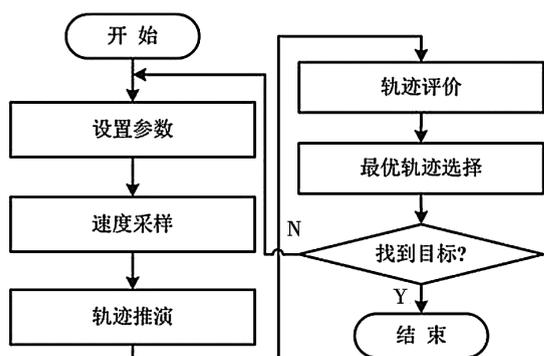


图 2 DWA 流程

(3)对每个可能的动作进行评估,计算出每个动作对应的轨迹。

(4)根据评估,选择最优的动作作为下一步行动。

(5)更新巡检机器人状态,执行最优动作。不断循环执行上述步骤,直到巡检机器人到达目标位置或达到规定的最大迭代次数。

(6)执行过程中,需要根据新的环境信息进行动态调整,以应对变化的环境情况。

(7)机器人在局部环境中规划出一条安全且有效的路径,快速到达目标。

## 4 实验验证与分析

### 4.1 实验平台参数

本文实验平台分为硬件平台和软件平台。硬件平台方面包含两轮自主控制驱动底盘、激光雷达和工业控制计算机。软件平台为 Ubuntu18.04 操作系统,将系统开发的元操作系统 ROS Noetic 为软件平台。

### 4.2 实验结果和分析

为方便展开移动巡检机器人路径规划实验,以中型养鸡场为实验用地,根据移动巡检机器人自身搭建的二维激光雷达,采用 SLAM 算法扫描养鸡场区域的环境图,将扫描后得到的地图(尺寸为 55 m × 24 m)作为路径规划研究的实验地图。为探索设计算法的实际效果,自将 A\* 算法、A\* 算法+DWA 算法移植到鸡舍巡检机器人上,开展现场实验。

通过 SLAM 算法构建的养鸡场区域环境地图能帮助农场主实时定位,方便管理和监控鸡舍和鸡群。SLAM 算法能及时反映养鸡场区域的变化情况,如新建加强设备等,以提高农场管理效率。建立的地图还可包含养鸡场区域的环境信息,如温湿度、气体浓度等监测数据,有助于及时发现可能影响鸡群健康的问题。基于 SLAM 算法构建的地图,农场主可进行路径规划,以最优化鸡舍巡视、鸡群喂养等

流程,提高工作效率。通过 SLAM 算法构建的养鸡场区域环境地图可帮助农场主更好地管理鸡群,提高环境监测效率,优化农场运作流程,提升农场的生产效益。

养鸡场巡检机器人可运用 A\* 算法规划机器人的巡检路径。首先,机器人构建养鸡场地图,这包括建立网格地图、确定起点和终点等关键步骤。接下来,利用 A\* 算法在地图上搜索最佳路径,综合考虑距离、障碍物等各种因素,以获得最短路径。借助 A\* 算法,养鸡场巡检机器人能在有限的时间内完成较大区域的巡检任务,提高效率和准确性。A\* 算法还允许根据需要对路径进行优化和调整,使机器人能适应不同的场景和环境。因此,A\* 算法在养鸡场巡检机器人上的应用具有广泛的前景和重要的意义。

## 5 结语

巡检机器人取代人工在鸡舍内部巡检鸡群已在规模化养鸡场得到广泛应用。鸡舍巡检机器人能依据预设的路线和时间表自动执行养鸡场的巡检任务,提升了巡检效率和准确性。鸡舍巡检机器人可有效降低人力成本,节省人员的时间和精力。机器人在巡检过程中不受干扰和人为因素的影响,因此具有更高的安全性和可靠性。机器人配备的传感器和摄像头能实时监测养鸡场的情况,及时发现问题并进行报警和通知,有助于快速处理和解决潜在风险。此外,巡检机器人还能收集大量数据并进行分析,协助养鸡场实现数据化的管理和监控,提高生产效率和经济效益。总之,养鸡场巡检机器人可提高效率,降低成本,增强安全性,及时发现问题进行数据化处理,对养鸡场的生产和管理具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 陈冬华,李剑虹.富集型鸡笼的发展和应[J].中国畜牧兽医,2010,37(11):209-212.
- [2] 刘焯虹.家禽健康体征的动态监测技术及装备研究[D].太原:中北大学,2019.
- [3] 王涛.自动化技术在禽畜养殖中的应用及发展途径研究[J].现代畜牧科技,2020(8):18-19.
- [4] 李林葳,邢李鹏.规模养鸡舍无人巡视系统的设计和实现[J].黑龙江畜牧兽医,2021(3):58-62.
- [5] 谢奥.基于改进 AMCL 的 AGV 全局定位算法研究[D].济南:山东大学,2020.
- [6] None. Depth-first iterative-deepening: an optimal admissible tree search[J]. Artificial Intelligence, 1985, 27(1):97-109.

作者简介:侯英勇,男,1984 年生,硕士。研究方向为机械设计。