

EOW 绿色消毒智能机器人自主导航系统设计

胡福文, 刘宴诚, 强润子

(北方工业大学机械与材料工程学院, 北京 100144)

摘要: 传染病隔离屋、病房、手术室等高危交叉感染区, 以及教室、会议室、报告厅、车站候车厅等人员密集流动场所需要定期消毒, 这部分工作目前主要由人工完成。为了降低人工成本、减少对消毒操作人员的危害, 提出并设计了一款新型的绿色消毒智能机器人。该机器人绿色消毒的原理是基于酸性氧化电位水淋雾沉降实现空气消毒, 机器人的行走机构可以在复杂室内环境下自主导航。进一步研究了基于 Rao-Blackwellized 粒子滤波器的自主导航算法, 并在教室、病房、手术等多种环境下进行了巡航模拟, 结果表明控制系统运行良好, 可以实现复杂室内空间消毒的绿色化和自动化。

关键词: 绿色消毒; 机器人; 自主导航; 机器人操作系统

中图分类号: TH16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3997(2020)02-0275-04

DOI: 10.19356/j.cnki.1001-3997.2020.02.069

Autonomous Navigation of a Green Disinfection Intelligent Robot

HU Fu-wen, LIU Yan-cheng, QIANG Run-zi

(School of Mechanical and Material Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

Abstract: Dangerous cross infection areas like infectious disease isolation room, ward, operation room, and other crowded places like classrooms, conference rooms, lecture hall, station hall need regular disinfection, and this work is mainly completed by manual operation. In order to reduce labor costs and reduce the harm to disinfection operators, a new type of green disinfection intelligent robot is proposed and designed. The principle of green disinfection of the robot is based on the electrolyzed-oxidizing water spray and deposition to achieve air disinfection, and the robot can autonomous navigation in complex indoor environments. Furthermore, the autonomous navigation algorithm based on Rao-Blackwellized particle filter has been studied, and cruise simulation has been realized in the classroom, ward, surgery and so on. The results indicate that the control system works well, and it could make disinfection green and completely automatic in complex indoor space.

Key Words: Green Disinfection; Robotics; Autonomous Navigation; ROS

1 引言

为了避免交叉感染, 传染病隔离屋、病房、手术室等高危交叉感染区, 以及教室、会议室、报告厅、车站候车厅等人员密集流动场所需要定期消毒, 这部分工作目前主要由人工完成。特别是在疫情(比如非典、禽流感等)突发时对隔离区、疫区的消毒变得更为重要。目前, 室内雾化消毒的主要方法包括人工喷洒、消毒设备喷洒和固定管道喷洒, 人工喷洒效率低且危险性高, 而固定管道喷洒需要对室内进行改造, 成本高且不方便。因此, 研制自动化的消毒机器人实现高危交叉感染传播环境下消毒的自动化、无人化和绿色化具有重要意义。根据公开文献, 目前自主消毒机器人的研究基本上处于空白。专利^[1]设计了一种基于 WiFi 的移动式空气净化机器人, 该机器人在 WiFi 环境下可以由人控制, 但在智能化上还需要对机器人进行改善。专利^[2]提出一种可以按照预先设定路线行走的室内消毒机器人, 此机器人的巡航路径不可变。专利^[3]提出了一种室内移动消

毒机器人, 都有自主避障功能, 且可以自主朝着污染严重的方向移动。但上述方案均没有考虑消毒的绿色化, 而且机器人的自主巡航能力较弱, 很难适应多变的室内复杂环境。提出并设计了一款新型的绿色消毒智能机器人。该机器人消毒的原理是基于酸性氧化电位水^[4] Electrolyzed-oxidizing water, EOW) 淋雾沉降实现空气消毒。酸性氧化电位水为无色透明液体, 无味、无刺激, 具有高还原氧化电位、低 pH 值、低有效氯的特性, 因此对微生物有较强的杀灭作用^[5]。机器人的行走机构则具有自主导航功能。机器人自主导航系统使用激光雷达作为传感器, 以机器人操作系统(ROS)为平台, 采用了 Rao-Blackwellized 粒子滤波器自主导航算法, 实现了在教室、病房、手术等复杂室内空间巡航的自动化。

2 绿色消毒智能机器人的总体设计

2.1 绿色消毒智能机器人的功能模块

绿色消毒机器人的功能模块包括自主行走、绿色消毒、交互

来稿日期: 2019-08-14

基金项目: 2017 年北京市大学生科学研究与创业行动计划项目(XN024-59)“EOW 绿色消毒智能机器人”

作者简介: 胡福文, (1980-), 男, 山东成武人, 博士研究生, 副教授, 主要研究方向: 智能机器人及 3D 打印技术、高等工程创新教育

控制和其他辅助功能等部分组成,如图 1 所示。其中行走移动方式包括随机避障移动、定点移动、自主导航和记忆移动。随机移动实现室内在自主避障控制下无规律运动,定点移动可以实现在室内沿着规定目标点移动,自主导航可以实现构建室内地图并可移动到任何无障碍目标位置,记忆移动可记忆机器人在此房间移动过的路径,可以重复调用运行。机器人的消毒模式可以通过更换喷雾罩来切换,有竖直向上喷雾模式,有斜前方喷雾模式,另外还拥有旋转喷雾功能。

为了方便不同工作状态下的交互控制,消毒机器人设计有触摸屏控制、手机 APP 控制和远程端网络控制等多种控制方式。触摸屏显示控制界面包括室内地图和给机器人发送命令并获取当前位置信息的窗口。手机 APP 通过内置蓝牙模块可以人工控制机器人移动模块及消毒模块,还可以进行路径规划。还可以通过网络远程终端电脑给机器人发命令进行有关控制和路径规划。

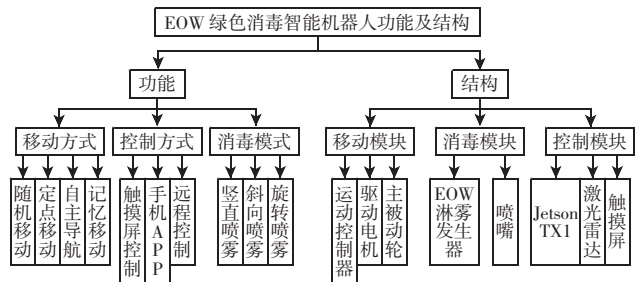
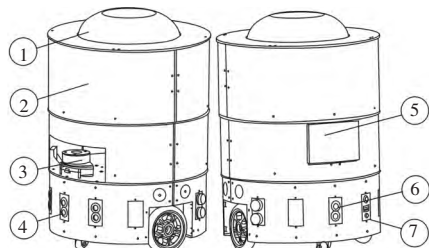


图 1 EOW 绿色消毒智能机器人功能结构
Fig.1 Configuration of EOW Green Disinfection Robot

2.2 绿色消毒智能机器人的总体结构

根据需求功能,EOW 绿色消毒智能机器人的总体结构可分为四部分:EOW 淋雾发生器、控制模块、移动模块、消毒模块,具体结构,如图 2 所示。控制模块包括英伟达 Jetson TX1 嵌入式开发板、激光雷达及触摸屏。其中核心为嵌入式开发板,该开发板控制机器人所有行为和消息,通过与开发板连接的触摸屏来给开发板传输信息。机器人配有高精度激光雷达用于在复杂结构环境进行扫描及定位,将搜集到的信息传入嵌入式开发板用于感知周围环境和自身定位。

移动模块包含电机、减速器、传感器、主从动轮等用于移动的零部件。移动模块还包含一个 Arduino 单片机控制板用于控制驱动电机,两块电机驱动板控制用于两个驱动电机,一个蓝牙模块可以与手机连接进行控制。Arduino 板通过串口与控制模块的嵌入式开发板连接并互传信息。另外在消毒机器人周身布有四个超声波传感器辅助激光雷达进行避障监测。



1.EOW 淋雾发生器 2.机身外壳 3.激光雷达 4.前端超声波传感器
5.HMI 触摸屏 6.后端超声波传感器 7.外置充电口及机器人开关
图 2 绿色消毒机器人的前视图及后侧图
Fig.2 Front View and Rear View of Green Disinfection Robot

消毒模块的核心是 EOW 淋雾发生器,它在不破坏液体成分前提下使用离心力将消毒液雾化并从上端口快速喷出。消毒装置开启或关闭由嵌入式开发板进行控制。

3 绿色消毒机器人自主导航的关键技术

3.1 绿色消毒机器人自主导航系统原理

绿色消毒机器人装载了机器人操作系统(ROS),具有完整的实时定位与地图构建(SLAM)框架。导航系统的框架结构,如图 3 所示。结合了测量数据,局部和全局代价地图。ROS 也会根据我们设定的参数,自动调整线速度、角速度和加速度。ROS 导航^[7]的控制方式和一般控制方式截然不同,首先通过定点定向来给 ROS 发布运动消息。通过 ROS 内部模块 AMCL(导航与定位)使用自适应性蒙特卡洛定位法^[7-10]来预估机器人传感器位姿,通过 tf 变换转化为机器人位姿与里程计信息(odometry source)一同传递给 move_base 包。另外地图服务器(map_server)和传感器(sensor sources)发出的消息会不断更新局部和全局代价地图。

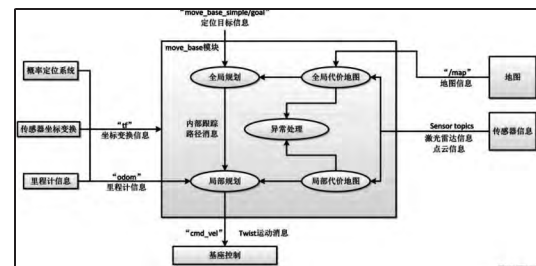


图 3 ROS 导航框架结构
Fig.3 Navigation Framework of ROS

机器人使用两种导航算法在地图中移动:全局导航(global_planner)和局部导航(local_planner)。基于全局地图的路径规划是在机器人向下一个目标位置出发前开始的,这个过程会考虑到已知的障碍物和被标记成“未知”的区域。要使机器人行动起来,局部导航模块会监听传回的传感器数据,并选择合适的线速度和角速度让机器人走完全局路径规划的当前段。最后 ROS 会给出多个路线到目标点,此时会有一个评估函数对每个路线给出一个分数。经过一些列处理 ROS 会向控制节点发布简单但频率很高的运动消息,接下来将消息处理成每个轮的基本控制(base controller)。之后将处理好的最基本的控制命令通过串口传给 Arduino 板并接受其编码器传来的反馈,这样就完成了导航功能。

ROS 提供了 move_base 包,可以为某一个机器人对应某一个参照框架设定目标位置和方向,可以理解为在此之前需要定义好机器人导航参数,如运动方式、最大速度、地图更新频率、机器人外形等。然后 move_base 包会尝试让机器人避开障碍物并移动到目标位置。

3.2 绿色消毒机器人自主导航 SLAM 算法

实时定位与地图构建(SLAM)为消毒机器人在室内自主导航需要解决的主要问题。SLAM 问题可以描述为一个马尔科夫链,如图 4 描述,由于运动带来的误差,机器人在 k 时刻与估计的位置会有一定误差,随着时间推移这个误差会不断累积。即使加入传感器来进行定位,传感器亦会产生一定的误差。在这里给出 SLAM 问题经典数学模型如下所示:

$$X_k=f(x_{k-1},u_{k-1},w_{k-1}) \quad (1)$$

$$Z_k=h(x_k,v_k) \quad (2)$$

式中: X_k — k 时刻机器人的估计位置;

u_k — k 时刻机器人驱动变量;

w_k — k 时刻到 $k+1$ 时刻过程噪声;

v_k — k 时刻观测噪声;

z_k — k 时刻观测到的机器人位置。

式(1)为机器人的运动模型,式(2)为机器人观测模型,且噪声均被假设为均值为0的高斯白噪声。

学者 Montemerlo 于 2003 年提出了基于 Rao-Blackwellized particle filter 的 FastSLAM 算法^[11-12],利用一组带有权重值的随机粒子集来估算后验概率密度。当粒子数目趋向于无穷大时,这种估计将等同于后验概率密度。跟传统的基于卡尔曼滤波的 SLAM 算法^[13]相比,FastSLAM 计算量小,并且具有适用于大尺度环境、对数据关联误差鲁棒性强等优点,现如今已成为 SLAM 研究中流行的算法框架,是 ROS 的 Gmapping 模块所集成的算法。

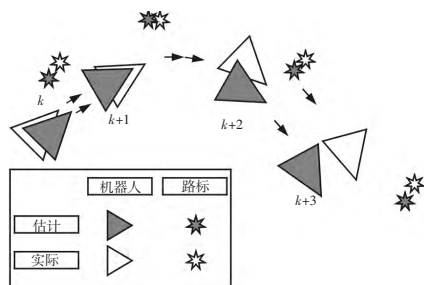


图4 SLAM 问题描述

Fig.4 Description of SLAM Problem

假设相关系数 $n=n_1, \dots, n_t$ 已知,路标数 T 已知, $\theta=\{\theta_1, \dots, \theta_t\}$ 表示运动过程中的路标组,控制输入 $u_k=u_1, \dots, u_t$ 决定路标和姿态在可能的范围之内。机器人位姿可以表示如下:

$$P(x_k, \theta | z_k, u_k, n_k) = P(x_k, \theta | z_k, u_k, n_k)$$

$$\prod_i p(\theta_i | x_1, z_k, u_k, n_k) \quad (3)$$

FastSLAM 使用基于 Rao-Blackwellized 的粒子滤波器来估计机器人的位姿 $p(x_k | z_k, u_k, n_k)$ 。每个点都会得到位姿的一组粒子,记作 X_k 。每个粒子 $x_k^{[m]} \in X_k$ 都是对机器人位姿的一种“猜想”:

$$X_k = \{x_k^{[m]}\}_m = \{x_1^{[m]}, \dots, x_t^{[m]}\}_m \quad (4)$$

使用上标 $[m]$ 表示第 m 个粒子。由 $k-1$ 时刻的机器人位姿 x_{k-1} 和机器人运动指令 u_k 以及观测值 z_k 递增地可以计算得到 x_k 。首先在 k 时刻,由 X_{k-1} 中的每一个粒子可以得到一个对机器人位姿的可能性估计:

$$x_k^{[m]} \sim p(x_k | u_k, u_{k-1}^{[m]}) \quad (5)$$

然后将这种估计连同前一系列路径加入到一个临时组中,假设 X_{k-1} 中的粒子组是根据 $p(x_{k-1} | z_{k-1}, u_{k-1}, n_{k-1})$ 来分配,同样最新的粒子也根据此式分配,生成 M 个粒子。之后对每个粒子组使用权重重新取样得到新的粒子组,然后加入扩展卡尔曼滤波算法(EKF),可基本实现 SLAM 功能。

4 绿色消毒机器人自主导航的仿真模拟

为了验证自主导航系统的可行性,设计面向复杂场景路径

规划的消毒机器人交互操作界面,进一步应用 ROS 的 RViz 进行巡航模拟。首先根据医院病房、手术室、教室等高密人群室内环境等实验房间的基本布局和尺寸,使用 GIMP 图片编辑器绘制地图。其中,在病房内经过 3 个固定点的路径,机器人按照点 1-2-3-1 的顺序移动,如图 5 所示。图中箭头表示在不同时刻,机器人所处的位置及方向。图中障碍物周围会有一圈安全范围,即机器人中心不得进入此范围,否则出现碰撞。在得到的地图上标出一些目标点,执行开始命令,机器人会立刻移动到目标方位。图中可以看到点 2 到点 3 和点 3 到点 1 的路径都是贴着病床轮廓。这导致角落死区没有消毒,而模拟就是为了使环境内每一个角落都经过消毒。改进设置路径点,同场合下增加目标点后的路径图,机器人按照点 1-2-3-4-1 的顺序移动,可以看到室内 98% 以上的区域基本被路径覆盖,如图 6 所示。

模拟了机器人围绕手术台一周移动,如图 7 所示。可以观察到图左方有一块被安全区域包围的地面,如果不在图中机器人当前位置添加目标点则机器人将不会移动到里面,从而导致室内空间覆盖率低,消毒不彻底。

在教室环境中模拟,机器人从左上角开始对每行课桌间的过道都会进行消毒,如图 8 所示。在移动过程中,从一个过道末端到另一个过道会选择从讲台前方绕过路线呈 M 形而不是从教室后面那段安全范围通过。

通过上述巡航模拟看出,要使机器人在复杂的室内空间的消毒全覆盖(>98%),首先需要添加 ≥ 4 个路径目标点细化路径。其次,机器人会从不同路径选择最优而不是最短路径,其中判断路径优劣一个重要条件就是不会触碰安全范围。最后,考虑路径的长短条件,但对于机器人来说防止意外碰撞比路径距离所占权重比大得多。

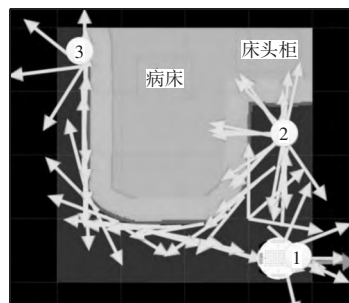


图5 病房环境巡航模拟

Fig.5 Cruise Simulation in Ward Environment

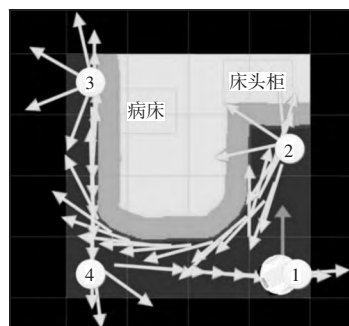


图6 病房环境巡航模拟

Fig.6 Cruise Simulation in Ward Environment

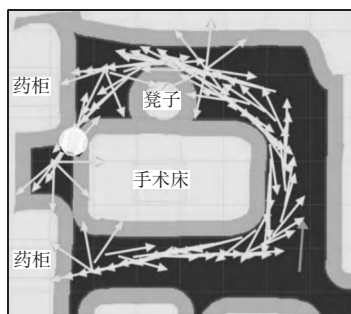


图7 手术室环境巡航模拟

Fig.7 Cruise Simulation in Operation Room Environment

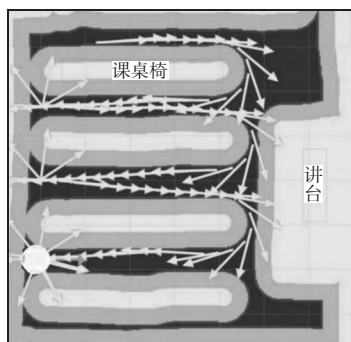


图8 教室环境巡航模拟

Fig.8 Cruise Simulation in Classroom Environment

5 结语

为了实现病房、教室、车站候车厅等复杂室内空间消毒的绿色化和自动化,基于酸性氧化电位水喷雾沉降原理,设计了一种新型的EOW绿色消毒智能机器人,主要研究成果包括:

(1) EOW绿色消毒智能机器人的主要功能模块包括移动行走、绿色消毒、交互控制和避障检测等辅助功能。其绿色消毒的原理是基于酸性氧化电位水喷雾沉降实现空气消毒。

(2) EOW绿色消毒智能机器人搭载了机器人操作系统(ROS),具有完整的实时定位与地图构建(SLAM)框架。机器人的行走机构可以在复杂室内环境下自主导航。进一步研究了基于Rao-Blackwellized粒子滤波器的自主导航算法。

(3) 基于ROS的3D可视化工具RViz进行了EOW绿色消毒智能机器人工作巡航模拟研究,初步掌握了巡航路径点对室内消毒全覆盖的影响规律。首先要使机器人在复杂的室内空间的消毒全覆盖,需要添加多个路径目标点细化路径。其次机器人会从不同路径选择最优而不是最短路径,其中判断路径优劣一个重要评判就是会不会触碰安全范围。

绿色消毒智能机器人具有鲜明的交叉创新特征,具有广阔的应用前景,是绿色消毒机器人研制的阶段性成果。初步的室内环境测试表明,所设计系统方案总体上是可行的,后续将在此基础上进行产品化设计,使机器人具有友好的工业设计外观和良好的交互性,尽快投入规模化应用。

参考文献

[1] 梁帆,吴建武.一种基于wifi可移动式空气净化机器人:天津,CN2042-85734U[P],2015-04-22.

(Liang Fan,Wu Jian-wu.A mobile air cleaning robot based on WiFi:

Tianjin,CN204285734U[P],2015-04-22.)

[2] 刘德勤,丁彭辉,沈增友.一种空气净化器机器人:北京,CN20500-2259U[P],2016-01-27.

(Liu De-qin,Ding Peng-hui,Shen Zeng-you.An air purifier robot:Beijing,CN205002259U[P],2016-01-27.)

[3] 邱卫东,蒋维国.一种空气净化消毒机器人:四川,CN205747250U[P],2016-11-30.

(Qiu Wei-dong,Jiang Wei-guo.Air purifying and sterilizing robot:Sichuan,CN205747250U[P],2016-11-30.)

[4] 齐金鹏,葛连正.基于动态环境变化自主移动式雾化消毒机器人:广东,CN106272467A[P],2017-01-04.

(Qi Jin-peng,Ge Lian-zheng.Autonomous mobile atomization disinfection robot based on dynamic environment change:Guangdong,N10627-2467A[P],2017-01-04.)

[5] 申瑶,郭兰君,王春蓉.酸性氧化电位水消毒医疗器械的效果观察[J].中华医院感染学杂志,2009(4):409-410.

(Shen Yao,Guo Lan-jun,Wang Chun-rong.Observation on the efficacy of electrolyzed oxidizing water in disinfection of medical instruments[J].Chinese Journal of Nosocomiology,2009(4):409-410.)

[6] 申瑶,郭兰君.酸性氧化电位水用于医疗器械的消毒效果研究[A].中华护理学会.全国第四届医院消毒供应中心护理学术交流暨专题讲座会议论文汇编[C].中华护理学会,2008(2).

(Shen Yao,Guo Lan-jun.Study on disinfection efficacy of electrolyzed oxidizing water for medical instruments[A].Chinese Nursing Association.Symposium on Nursing Academic Exchanges and Special Lectures on Disinfection Supply Center of the Fourth Hospital of China[C].Chinese Nursing Association,2008(2).)

[7] Lane I,Prasad V,Sinha G.HRIItk:the human-robot interaction Tool-Kit rapid development of speech-centric interactive systems in ROS[C].NAACL-HLT Workshop on Future Directions and Needs in the Spoken Dialog Community:Tools and Data.2012.

[8] 李长勇,蔡骏,房爱青.多传感器融合的机器人导航算法研究[J].机械设计与制造,2017(5):238-240+244.

(Li Chang-yong,Cai Jun,Fang Ai-qing.Research on robot navigation algorithm based on multisensor fusion[J].Machinery Design & Manufacture,2017(5):238-240+244.)

[9] Patrick Goebel,ROS by Example a do-it-yourself guide to the robot operating system[M].2012:75-124.

[10] Dellaert F,Fox D,Burgard W.Monte Carlo localization formobile robots [C]/IEEEInternational Conference on Roboticsand Automation.Piscataway,NJ,USA:IEEE,1999:1322-1328.

[11] Montemerlo M.Fast SLAM:A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem with unknown data association [Ph.D. Dissertation],Carnegie Mellon University,Pennsylvania,2003.

[12] Sim R,Elinas P,Little J J.A study of the rao-blackwellised particle filter for efficient and accurate vision-based SLAM[J].International Journal of Computer Vision,2007,74(3):303-318.

[13] Welch G,Bishop G.An Introduction to the Kalman Filter[M].University of North Carolina at Chapel Hill,2006.