

周文伟,岳文,冯疆,等. 基于改进 A* 算法的药品搬运机器人[J]. 智能计算机与应用,2024,14(11):43-51. DOI:10.20169/j.issn.2095-2163.241106

基于改进 A* 算法的药品搬运机器人

周文伟,岳文,冯疆,康长青,孙成娇

(湖北文理学院 计算机工程学院,湖北 襄阳 441053)

摘要: 医院取药是医疗服务的重要组成部分,但存在效率低下和安全隐患等问题。为提升病患的医疗体验并改善传统 A* 算法在医院环境中路径规划存在的问题,对医用智能药品搬运机器人的设计进行了研究。在分析医院复杂环境的基础上,提出了一种改进的 A* 算法,能有效减少路径中的冗余节点、降低能源消耗。仿真结果显示,在静态障碍物场景中,改进的 A* 算法能降低 46.55% 的搜索节点数量和 28.88% 的计算时间,同时降低 68.48% 的路径节点数量和 61.54% 的转折次数。研究表明,改进的 A* 算法能有效提升智能药品搬运机器人性能,为医院取药提供了新的解决方案。

关键词: 改进的 A* 算法; 搬运机器人; 医院药房; 药品搬运; 路径规划

中图分类号: TP242

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)11-0043-09

Design of an intelligent drug-carrying robot system based on improved A* algorithm

ZHOU Wenwei, YUE Wen, FENG Jiang, KANG Changqing, SUN Chengjiao

(School of Computer Engineering, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, Hubei, China)

Abstract: Hospital medication retrieval is an important part of medical services, but it faces issues such as low efficiency and safety hazards. In order to improve the medical experience for patients and address the problems of traditional A* algorithm in path planning in a hospital environment, the design of medical intelligent drug delivery robots has been studied. Based on the analysis of the complex hospital environment, an improved A* algorithm is proposed, which can effectively reduce redundant nodes in the path and decrease energy consumption. Simulation results demonstrate that in static obstacle scenarios, the improved A* algorithm can reduce the number of search nodes by 46.55% and the computation time by 28.88%, while also reducing the number of path nodes by 68.48% and the number of turns by 61.54%. The research indicates that the improved A* algorithm can effectively enhance the performance of intelligent drug delivery robots, providing a new solution for hospital medication retrieval.

Key words: improved A* algorithm; handling robot; hospital pharmacy; drug delivery; path planning

0 引言

随着移动机器人在日常生活中的普及,提高医院运营效率并提供更好的患者护理已成为医疗领域的热门研究课题。然而,传统的医院药房窗口都较为拥挤,给医院管理带来许多难题。以国内某家公立三甲医院为例,该医院每月门诊就诊约 6 万人次,需处方取药的门诊患者约 7 万人次^[1]。人员密集和药房资源短缺导致患者等待取药的时间过长,影响了患者的体验和满意度^[2]。此外,感染病患取药区

域的不便增加了取药流程的复杂性并造成了卫生风险。因此,引入自主移动机器人在医院内将药品和其他物品运送到指定位置可能是其中之一的解决方案。

Prabhakar 等学者^[3]设计了一种红外循迹导航方式的药品配送自动导引车,使用托盘盛装需要配送的药品,但红外循迹导航方式不能实现机器人的快速部署。Kavirayani 等学者^[4]设计了一款基于人工智能技术,以最佳路径穿越需要输送药物的病房并离开病房的送药机器人,节省了时间和人力资源。

基金项目: 湖北省自然科学基金计划项目(2024AFB147);襄阳市高新领域科技计划项目(2022ABH006596);创新创业教育专项(CX2023003);国家基金课题培育项目专项(2023pygpzk10)。

作者简介: 周文伟(2003—),男,本科生,主要研究方向:机器人路径规划;岳文(2002—),男,本科生,主要研究方向:机器人路径规划;冯疆(2003—),男,本科生,主要研究方向:机器人路径规划;康长青(1979—),男,博士,副教授,主要研究方向:计算机视觉。

通信作者: 孙成娇(1988—),女,博士,讲师,主要研究方向:物联网,信息融合。Email: jiao1952@126.com。

收稿日期: 2023-06-18

Sun 等学者^[5]设计了一款自动化药房处理机器人,可以同时拣选多种药物,提高药房的工作效率和安全性。Patel 等学者^[6]介绍了一种药品送达机器人,可以在医院中为病人和医护人员提供药品。同时还可以使用人脸识别和语音识别技术,识别病人的身份和需求,并从药房中取出相应的药品。

以上学者提出的改进在某种程度上提高了医院的运作效率。然而,在医疗设施中整合机器人面临诸多挑战,如高昂的成本、复杂的技术、长期的维护以及有限的适应性。值得注意的是,机器人的能量容量直接影响任务的可靠性。目前提高能量容量或供应频率的方法效果有限,并导致资源开支增加。在能源受限和供应不足的情况下,机器人可通过节能技术和高效路径规划来降低能源消耗,从而增强其在复杂环境中的运营能力。多年来,众多学者就这一问题提出了多种路径规划算法,例如 Dijkstra 算法^[7]、自适应蚁群算法^[8]、栅格法^[9]、Floyd 算法^[10]、A* 算法^[11]、粒子群算法^[12]、人工势场法^[13]等。

在这些算法中,A* 算法被认为是一种全局最短路径搜索的方法,与 Floyd 算法相比有着更高效的全局最短路径搜索能力,能够有效避免冗余的路径计算,提高路径规划的效率。然而,A* 算法存在遍历更多节点并忽略道路成本的问题。对此,He 等学者^[14]考虑地面摩擦,在 A* 的成本函数中引入基于能量邻接矩阵搜索节能路径,并对路径进行平滑处理进一步降低能耗,但只适用于平坦路面环境下的节能规划。Liu 等学者^[15]提出了一种新的混合启发式函数,结合了欧氏距离和点到线距离,以减少 A-star 算法中搜索节点的数量。但在某些情况下仍无法完全避免折线路径或局部未知障碍物的影响,导致路径规划的精度有限。Wang 等学者^[16]在评分函数中添加了带有预测函数的衰减系数,以降低算法陷入局部最优的风险。但引入了多个新的评分项和调整系数,可能导致算法的复杂度增加,使得算法的实现和调试变得更加困难。

尽管相关研究在一定程度上提高了算法搜索的效率,但却很少考虑诸如路径平滑度和安全性等问题,仅适用于静态环境下的路径规划,缺乏对动态环境中障碍物避开能力的考虑。因此,本文利用双向搜索方法优化 A* 算法的路径规划策略,同时通过确保路径平滑度和安全性,提升了机器人路径规划效率和实时规划能力。这是通过双向扩展计算和即时切换搜索机制实现的。

本文内容安排如下:引言部分概述了当前医药

品搬运机器人研究的现状,包括国内外研究进展、机器人的局限性和改进方法;接下来从硬件和软件方面介绍了机器人的结构设计;其次介绍搬运机器人所需要的路径规划算法,针对传统路径规划算法的缺陷进行改进,根据医院特有的环境设计算法;然后通过对比实验验证了机器人在医院环境中的稳定性和可靠性;最后对本文工作进行总结与展望。

1 智能搬运机器人模型设计

当代快节奏的生活方式中,长时间排队取药已成为医院门诊的突出问题,影响了医院的运营效率,同时也对患者的就医体验产生了负面影响。因此,在这项研究中,设计了一款智能药品搬运机器人,并通过仿真进行了搬运药品功能的实验,测试了机器人在这方面的性能,验证了其有效性。药物搬运机器人的设计主要涵盖 2 个功能:取药和送药。具体而言,首先是自主地图构建功能,机器人必须在医院内构建全局地图,并依据全局地图进行导航,使机器人能够在医院内做到独立导航,从而能够将药物送达患者的病床,供患者或其护理人员领取。最后是自主取药功能,使机器人能够根据临床医生的处方和医护人员的输入,接收指令从药物柜台取药并将其分发到指定病房。药房搬运机器人的设计,如图 1 所示,根据药物搬运机器人的日常工作流程和功能要求而设计。

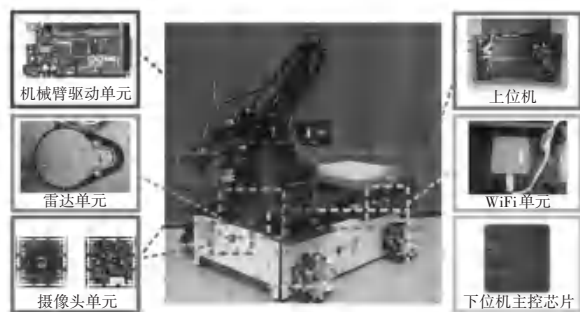


图 1 智能药品搬运机器人的设计

Fig. 1 Design of intelligent medicine handling robot

1.1 硬件结构设计

该系统采用上位机-下位机的方式,相互之间使用串行通信。药物搬运机器人装备了激光雷达用于扫描周围环境,2 个摄像头用于检测药品,同时识别充电站,以及 4 个增量式编码器用于测量电机的旋转角度。药品搬运机器人的硬件拓扑结构如图 2 所示,展示了上位机和下位机以及传感器之间的连接。药物搬运机器人的主要参数见表 1。

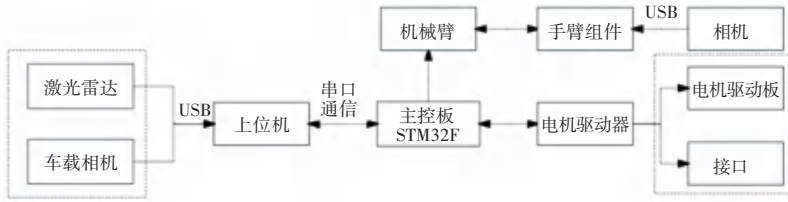


图 2 送药机器人控制系统硬件图

Fig. 2 Hardware design drawing of medicine delivery robot control system

表 1 药品配送机器人主要参数

Table 1 Main parameters of drug delivery robot

整体参数	值
长、宽、高/mm	320, 320, 500
最大运行速度/(m · s ⁻¹)	0.8
最大载荷/kg	20
自重/kg	12
续航时间/h	3
运动结构	四轮全驱
驱动方式	全向
接口	USB、VGA、千兆网口
电机控制	四路电机控制接口

此外,机械臂在搬运药品中起着重要作用,其特点是高灵活性、高精度、良好的重复性,以及安全性和可靠性。机械臂可以精确地拾取、运输和放置各种药物,并通过视觉组件实现药物的检测和定位,提高处理效率和准确性。此外,机械臂具有较大的载荷能力,适用于处理不同规格和重量的药物。具体参数请参见表 2。

表 2 机械臂的主要参数

Table 2 Main parameters of the robotic arm

机械臂参数	值
轴数/轴	4
自重/kg	2.2
有效载荷/kg	0.5
最大伸展距离/mm	320
驱动方式	步进电机+减速器

1.2 软件结构设计

智能药品配送机器人的控制系统采用 ROS (robot operating system) 机器人操作系统,上位机和下位机承担不同的功能^[17-19]。上位机作为药品配送机器人的主控单元,接收服务器发送的任务信息,并实验感知和规划任务。通过 ROS 提供的各种软件包和工具,实现对机器人传感器数据的获取和处理、地图构建、路径规划等功能^[18]。下位机充当药品配送机器人的执行单元,接收上位机发来的运动控制指令,并负责将这些指令转化为实际的机器人

运动。下位机通常由多个执行器、传感器和驱动电路组成,用于控制机器人底盘、臂部等各个部件的运动和动作。

药品配送机器人的整体实现流程如图 3 所示。首先,临床医师根据患者的不同需求提供个性化的医嘱,并将这些医嘱发送到医院的电脑终端上。接着,药师接收到医嘱信息,开始进行药品的配置和 AR 码粘贴。药品配置结束后,药师将信息发送到机器人终端。机器人收到药品信息后,前往药品仓库,并尝试抓取所需的药物。若某种药品在仓库中不存在,表示该药品尚未准备好,机器人将等待药师完成配药后再执行相应的配送任务。完成配送后,机器人返回自动充电桩进行充电。这个流程确保了医院内的药品分发过程更加高效和智能化。

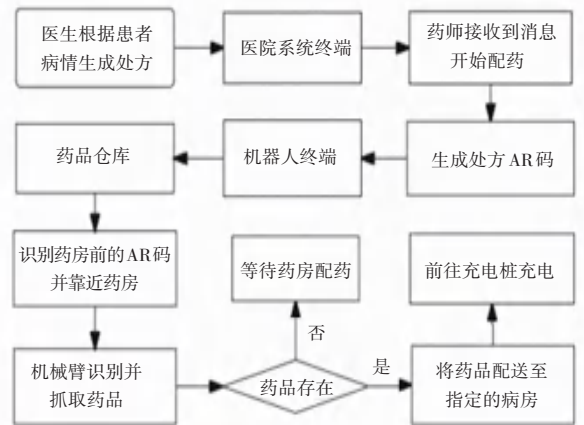


图 3 送药机器人控制系统设计

Fig. 3 Design of medicine delivery robot control system

2 环境建模和算法简介

本研究旨在创建一款药房搬运机器人。通过集成先进的自主导航系统,机器人可以精确到达指定位置,并根据任务需求准确获取所需药品。同时,移动机器人可以使用车载吸盘单元从起点将药品搬运到目的地,自主规划路线,灵活完成搬运任务。

首先,选择一个准确模拟周围环境的适当地图

至关重要;建筑环境模型展示了机器人的真实移动场景。典型的技术包括光栅和拓扑地图方法等。本文研究采用光栅方法来模拟周围环境。该方法将整个设置分割为几个不重叠的网格,每个网格都包含地图数据。因此,机器人的复杂和连续移动被转换为周围网格之间的过渡。

网格地图分为2种状态,根据环境不同分为可以穿越的自由通行状态和无法穿过的不可通过状态。白色区域在地图上表示可自由通行的网格,而黑色区域则表示不可通过的网格。由于本文侧重于大规模复杂场景中的路径规划,网格环境模型见图4。

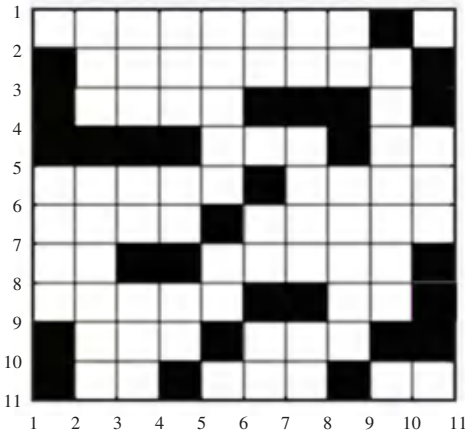


图4 栅格图搭建

Fig. 4 Raster diagram construction

2.1 传统的A*算法

A*算法是一种直接搜索算法,适用于在静态地图中寻找最优路径^[11]。该方法将基于广度优先的Dijkstra和基于深度优先的GBFS相结合,采用了启发式搜索方法对路径进行探索,可以得出最优的导航路径,A*算法的评价函数定义如下所示:

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (1)$$

其中, $f(n)$ 用于估计从初始状态经过状态 n 到达目标状态的代价估计函数; $g(n)$ 表示从初始状态到状态 n 的实际代价; $h(n)$ 则是对从当前状态 n 到目标状态的最优路径的估计代价^[20]。因此,A*算法的效果在很大程度上取决于对 $h(n)$ 的选择。一些常见的 $h(n)$ 包括欧几里得距离和曼哈顿距离,本文采用欧几里得距离^[11],其计算公式如下:

$$h(n) = \sqrt{(x_g - x_n)^2 + (y_g - y_n)^2} \quad (2)$$

其中, (x_g, y_g) 表示目标点坐标, (x_n, y_n) 表示当前节点坐标。

与Dijkstra和GBFS等常见的算法相比,传统的A*算法的搜索方式主要朝着目标点方向扩展,同时

能够保证一定程度的最优性。

2.2 改进的A*算法

传统的A*算法是利用单向搜索,把起始点和终止点的空间划分为网格,并使用启发式搜索策略寻找最短路径。然而,由于需要对搜索方向上的每个节点进行评估,导致计算量增加,从而降低了路径规划的效率。因此,本文提出了一种改进的A*算法。在改进的A*算法中,通过同时正向和反向搜索起点和终点,有效减少了冗余节点的计算,从而降低了搜索过程中的重复度。当正向和反向搜索均达到一致的目标节点时,搜索终止。

首先,需要建立正向和反向搜索的启发式估价函数,具体如下所示:

$$f_1(n) = g_1(n) + h_1(n) \quad (3)$$

$$f_2(n) = g_2(n) + h_2(n) \quad (4)$$

将医院各个区域用节点表示,并在相邻节点之间建立边,将权重表示为实际距离,在此基础上,本文定义搜索过程中的起点和终点。

接下来,本文需要对启发函数进行定义。启发函数是一种评估函数,用于估计当前节点到目标节点的距离。在双向A*算法中,本文分别定义2个启发函数 $h_1(x)$ 和 $h_2(x)$ 。其中, $h_1(x)$ 为从起点到当前节点 x 的启发函数, $h_2(x)$ 为从终点到当前节点 x 的启发函数。

接下来,定义开放列表(Open List)和关闭列表(Closed List)。其中,开放列表存储待处理扩展的节点,并按启发函数值按从小到大进行排序。关闭列表则存储已经处理完毕并且不再需要进一步处理的节点。

在搜索过程中,需要维护当前已知的最优路径 f^* ,初始值为无穷大。根据双向A*算法的特点,本文分别从起点和终点开始搜索,直至搜索到同一个节点。当搜索到一个节点 x 时,本文需要分别更新维护从起点到 x 的最优路径 $f_1(x)$ 和维护从终点到 x 的最优路径 $f_2(x)$ 。

当本文搜索到新的节点时,需要将其加入Open List,并按照启发函数值从小到大的顺序进行排序。然后,本文从2个方向同时遍历Open List中的元素,扩展与当前节点相邻的节点,即计算出当前节点所有可以拓展的子节点 y 。对于每个子节点 y ,本文首先需要验证其是否存在于Closed List中,已经遍历过的点不能再次被遍历。如果 y 不在该列表,则需要以下处理:

计算从起点到 y 的距离 $f_1(y)$ 和从终点到 y 的

距离 $f_2(y)$, 并记录 $f_1(y)$ 和 $f_2(y)$ 的值。

检查 Open List 中是否已经有了相同的节点, 如果是, 则需要更新节点信息。如果不是, 则将节点加入 Open List。

如果当前节点已经被遍历过, 需要更新 f^* 。

此外, 在使用双向 A* 算法时的终止条件如下:

(1) 起点和终点相同。当 Open1 列表中的节点等于 Open2 列表中的节点时, 即起点和终点在搜索过程中相遇了。这表示找到了从起点到终点的最优路径。

(2) 一个方向的扩展节点在另一个方向的关闭列表中。当 Open1 列表中的某个节点被扩展, 并且该节点同时存在于 Open1 列表的 Closed 列表中时, 说明已经找到了一条从起点到终点的路径。

双向 A* 算法的具体流程如图 5 所示。

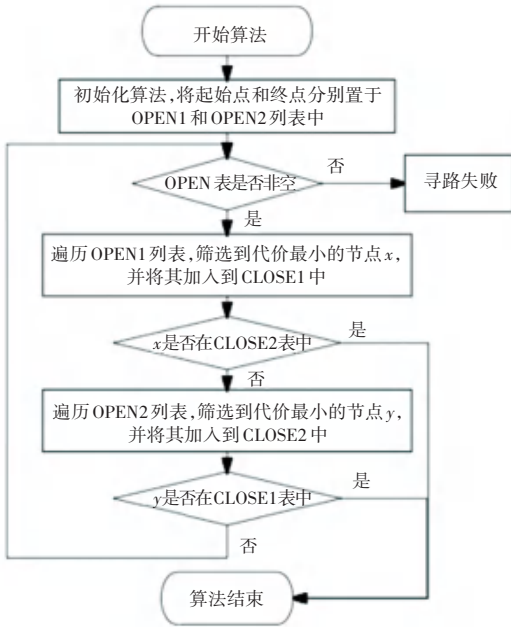


图 5 改进 A* 算法的具体流程

Fig. 5 The specific process of improved A* algorithm

由于医院的场景较大, 复杂度较高, 本文针对双向搜索存在的路径无法相遇导致效率降低的问题, 提出了改进评价函数的方法。具体做法是引入正反向搜索评估函数, 调整搜索方向, 使得双向搜索在中间位置更容易相遇, 并且在远离目标点时搜索速度加快, 在靠近目标点时搜索速度放慢, 从而减少对无效区域的搜索。

正反向搜索评估函数如下:

$$f_1(n_1) = (1 - b) \times \left(\frac{h_1(n_1)}{1 + a} + \frac{a \times h_1'(n_1)}{1 + a} \right) + b \times g_1(n_1) \quad (5)$$

$$f_2(n_2) = (1 - b) \times \left(\frac{h_2(n_2)}{1 + a} + \frac{a \times h_2'(n_2)}{1 + a} \right) + b \times g_2(n_2) \quad (6)$$

在搜索评估函数中, 当前点 n 表示当前正在遍历的节点; 评估函数 $f(n)$ 用于确定节点 n 的优先级, 进而选择下一步要扩展的节点。 $h'(n)$ 表示采用欧式距离进行估计, 用于与当前搜索相反的启发式搜索函数。启发式函数中的权重系数 a 在 $0 \sim \infty$ 之间, 决定了对 $h(n)$ 和 $h'(n)$ 的权重比例。历史代价函数的权重系数为 b , 其值在 $0 \sim 1$ 之间; 相应地, 启发式函数的权重系数为 $(1 - b)$ 。搜索评估函数中, $g(n)$ 表示历史代价函数, 其计算方式如下:

$$g(n) = g(n - 1) + g'(n) \quad (7)$$

其中, $g(n - 1)$ 表示 n 的父节点的历史代价, $g'(n)$ 表示父节点到 n 的成本代价。

3 仿真实验

为验证本文中提出的双向 A* 算法的可行性。本文通过无线网络建立通信, 并使用 ROS 控制和调度车辆的运动。使用各种算法进行模拟实验, 以验证机器人在构建的医院环境中具有自主运动和处理功能。实验包括地图构建、自主导航、药物识别和抓取等任务。在实验中所采用的计算机设备包括 Windows 10 操作系统、搭载 R7-5800H 处理器, 主频为 3.2 Hz, 并配备 16 GB 运行内存。

在进行实验之前, 首先需要建立医院的室内环境, 并根据真实医院标准来建立药房和病房场景。具体的环境搭建如图 6 所示。这个过程涉及使用各种算法进行模拟实验, 以验证机器人在构建的医院环境中具有自主运动和处理功能。这样才能有效地测试双向 A* 算法的可行性并确定其适用性。

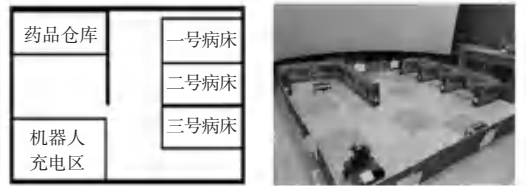


图 6 模拟场景搭建

Fig. 6 Simulation scene construction

3.1 地图构建

首先, 在 ROS 中启动 Gmapping 软件包, 并订阅与机器人相关的深度信息、IMU 信息、激光雷达信息和里程计信息。同时在机器人终端启动手柄操作功能包, 控制移动机器人在场景中进行建图。随着机

机器人在场景地图中的运动,Gmapping 算法根据机器人所采集到的传感器数据将场景地图结果在可视化界面 Rviz 上显示,最后使用 map_server 服务保存当前构建完成的地图。图 7 是 Gmapping 算法运用在 rviz 上的效果展示。

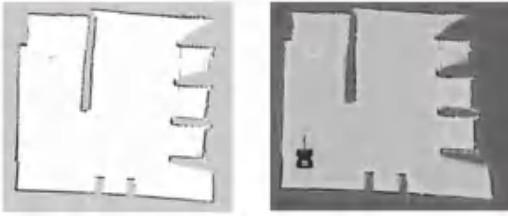


图7 Gmapping 算法建立的地图

Fig. 7 Map created by Gmapping algorithm

3.2 自主导航

全局代价地图构建完成后,使用 Navigation 功能包进行了自主导航实验,其中包含了2个关键程序包:move_base 和 amcl。当 move_base 功能包接收到下位机反馈的各种环境信息和自身运动信息时,就能够利用这些信息来引导机器人进行下一步的导

航路径规划,从而将机器人移动到指定位置。自主导航实验的主要参数详见表 3。

表 3 自主导航实验的主要参数

Table 3 The main parameters of autonomous navigation experiments

自主导航参数	值
障碍的最小期望距离	0.3
障碍物周围缓冲区	0.5
动态障碍物缓冲区	0.6
向前规划最长距离	1.0

为了验证本文提出的改进的 A* 算法在静态地图路径规划中的可行性。本文将分别在 (40×40)、(50×50) 和 (100×100) 的地图上进行实验来比较传统 A* 算法和改进的 A* 算法的差异。这需要确定起始点坐标和目标点坐标。3 种不同大小的栅格地图如图 8 所示。在图 8 中,地图 1~3 的起点坐标均为 (5, 5), 目标点坐标分别为 (35, 35)、(45, 45)、(95, 95)。

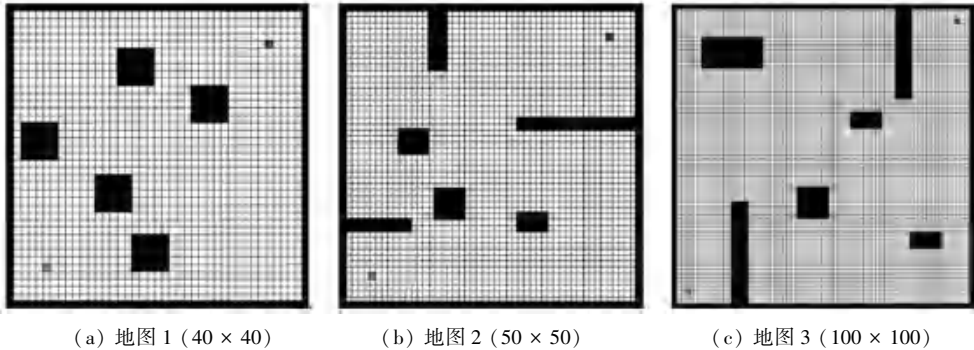


图 8 3 种不同大小的栅格地图

Fig. 8 Raster maps in three different sizes

这些算法在这些地图上进行了重复实验,图 9 中的路线图,3 种网格图的实验模拟数据对比见表 4。在图 9 中,可以清楚地看到 A* 算法和改进的 A* 算法在 3

种不同类型的网格地图上规划的路线之间的差异。在这种情况下,黑色表示已知的静态障碍物,灰色线段表示传统的 A* 算法,黑色线段表示改进的 A* 算法。

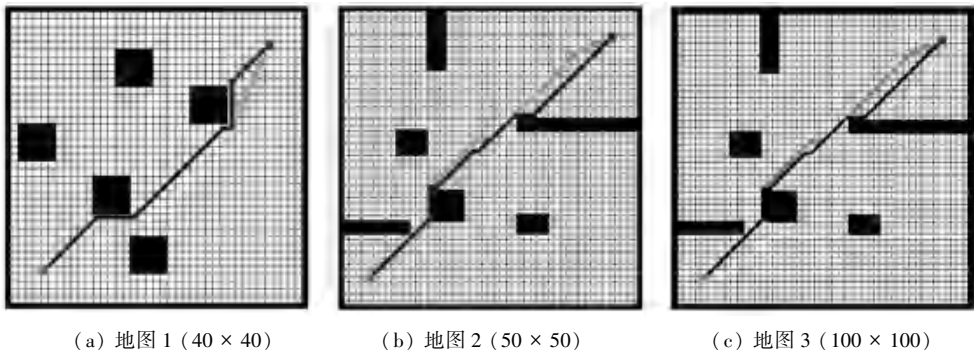


图 9 传统 A* 算法与改进 A* 算法的比较

Fig. 9 Comparison of traditional A* algorithm and improved A* algorithm

表 4 3 种网格图的实验模拟数据对比

Table 4 Comparison of experimental simulation data of three grid diagrams

内容	地图 1 (40 × 40)				地图 2 (50 × 50)				地图 3 (100 × 100)			
	搜索节点数量	转折次数	所用时间/s	路径节点数量	搜索节点数量	转折次数	所用时间/s	路径节点数量	搜索节点数量	转折次数	所用时间/s	路径节点数量
传统 A* 算法	391	13	3.67	165	389	8	6.48	214	3 402	14	114.5	486
改进的 A* 算法	209	5	2.61	52	174	7	3.64	64	2 645	7	16.5	66
提升比/%	46.55	61.54	28.88	68.48	55.27	12.50	43.83	70.09	22.25	50.00	85.59	86.42

从图 9(a)~(c)中可以看出,改进的 A* 算法与传统 A* 算法相比,搜索节点的数量、路径节点的数量、拐点的数量等都显著减少。改进后的路径没有多余的拐点,相对较为平滑。图 9(a)的运行结果显示,改进的 A* 算法将搜索过程中的搜索节点数量和时间分别减少了 46.55% 和 28.88%。图 9(b)的运行结果显示,改进的 A* 算法在规划时间上快速规划路径,时间提升了 43.83%,路径节点数量减少了 70.09%。图 9(c)的运行结果显示,改进的 A* 算法的规划时间相较于传统 A* 算法的运行时间显著减少,共减少 85.59%。结果显示,在大型地图上,改进后的 A* 算法可以大幅减少计算资源耗费。

与此同时,传统 A* 算法、本文中改进的 A* 算法、Dijkstra 算法和 RTAA* 算法在图 10 中进行对比,各种算法的性能参数见表 5。

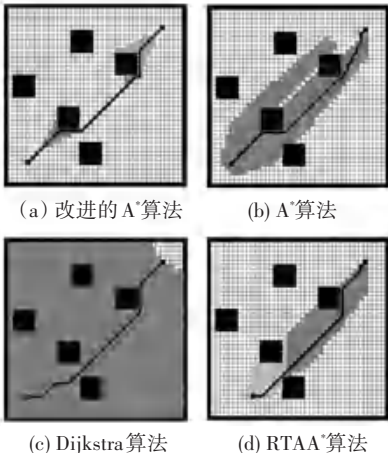


图 10 静态地图的路径规划仿真效果

Fig. 10 Path planning simulation effect of static map

表 5 各种算法的性能参数

Table 5 Performance parameters of various algorithms

算法	搜索节点数量	转折次数	所用时间/s	路径节点数量
改进的 A* 算法	209	5	2.61	52
传统 A* 算法	391	13	3.67	165
Dijkstra 算法	1 145	5	11.30	165
RTAA* 算法	240	5	2.80	110

根据图 10 的观察结果,可以发现传统 A* 算法产生的路径存在路径转折次数多、冗余点多、耗费时间长等问题。Dijkstra 算法虽然有效地减少了路径的转折次数,但是也同样存在着冗余点过多且所用时间较长、搜索范围大等劣势,不能有效地提升算法效率。

通过对比表 5 中的数据可以发现,尽管改进后的 A* 算法和传统 A* 算法的路径长度相似,但是改进后的双向 A* 算法在搜索过程中搜索节点数量和所用时间分别减少了 46.55% 和 28.88%。同时改进后的双向 A* 算法的路径节点数量和转折次数相对于传统 A* 算法分别减少了 68.48% 和 61.54%。与其他算法相比,改进后的双向 A* 算法通过剪枝和节点排序等策略减少搜索节点数量,大幅缩短了规划路径的时间,使移动机器人能够更快响应任务需求。其次,该算法通过优化路径的平滑性和合理性,减少路径上的冗余节点,降低行驶距离和颠簸,提高了药品搬运过程的安全性和稳定性。

为了进一步证明改进的双向 A* 算法在实际情况下的有效性,本文在图 7 构建的全局地图中设置了 2 个目标点,分别位于药品仓库区和病房区。首先启动机器人。然后,按照设定的顺序依次前往上述 2 个目标点。完整的路径规划结果如图 11 所示,其中,黑色线条表示药品配送机器人局部路径规划,白色箭头表示机器人到达目标点的位姿。

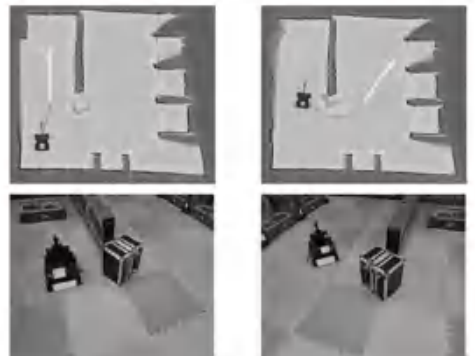


图 11 机器人动态路径规划

Fig. 11 Dynamic path planning of the robot

实验结果证明,针对医院空间大,环境复杂,人口流动性多等问题,本实验通过模拟,在机器人行进路径上动态地增加障碍物,改进的 A* 算法表现出了更好的适应性和效率,并在避障过程中实现了精确导航。

3.3 药品识别与抓取

在本文实验设计中,机器人通过摄像头精准定位药品所在的位置,控制机械臂抓取与放置药品。实验遵循“eye in hand”原理,如图 12 所示,即视觉传感器与机械臂协同工作。旨在求解药品与机械臂之间 TF4 的位置,当机械臂接收到指令后,能够到达目标点进行抓取。首先,已知机械臂夹爪到机械臂原点的坐标关系及 TF1。通过 AR 码识别相机到目标药品的坐标变换 TF3,而末端执行器(吸盘)到相机坐标变换可以通过摄像头外参标定获得固定 TF2,由已知的 TF1/2/3 就可经由 tf 功能包换算出 TF4,即可发送指令给机械臂去抓取目标点药品。

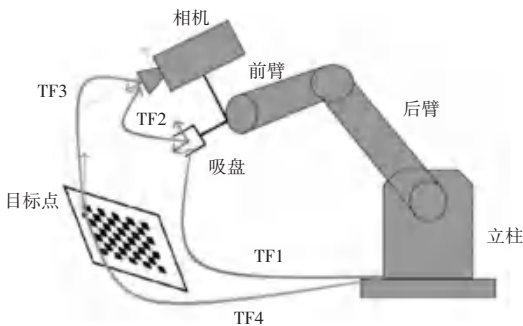


图 12 机械臂实验原理

Fig. 12 Experimental principle of the robotic arm

3.4 药品搬运开发实验

为验证智能药品搬运机器人的可行性,本实验设计了 3 组药品搬运任务,并进行 10 次重复实验,旨在测试其性能。在模拟的医院环境中,本文设置

了多个病床,并为每个病床分配了不同种类和数量的药品需求。任务流程如下:机器人首先从自主充电区出发,前往药品仓库抓取药品如图 13(a)所示。然后,按照指示自主规划路线,将药品配送到指定的病房如图 13(b)所示,完成配送任务后返回到自主充电桩充电。



(a) 从药房抓取药品 (b) 放置药品于病床

图 13 机器人搬运过程

Fig. 13 Transport process of the robot

为了直观展示机器人药品搬运的性能,本研究拟利用视觉传感器记录药品识别和抓取成功率,并通过激光雷达实时获取障碍物参数,以实现动态路径规划。实验测试数据见表 6。

通过对 30 次实验数据的分析,药品识别总体准确率为 76.7%,成功吸附率为 63.3%,药品放置准确率为 80%。实验结果证明,在药品摆放整齐且药品重量为机械臂可承受情况下,机器人能根据事先设置的病房坐标进行路径规划并且顺利避开沿路的障碍物,实现药品搬运功能,系统表现出良好的稳定性和可靠性。然而,搬运机器人仍存在一些缺陷,例如:药品摆放超出机械臂最大延伸距离、药品标签污渍导致识别失败;药品重量超出机械臂载荷或药盒尺寸过大导致吸附失效;药品送达点受到人为影响而出现位置偏差,导致药品放置误差。以上问题可通过优化机械臂的观察视角、更换机械臂的抓取策略以及采用固定药品放置等措施来改进。

表 6 药品搬运实验参数分析

Table 6 Analysis of drug transport experimental parameters

病房号	药品数量/ 件	单个药品重量/ g	识别药品 准确率/%	吸附 效率/%	抓取 耗时/s	路线能否 动态规划	放置药品 准确率/%	任务总时长/ s
病床 1	0	-	-	-	-	是	-	22
病床 2	1	300	80	90	20~30	是	90	85~105
病床 3	2	400/600	75	50	50~60	是	75	110~125

4 结束语

医疗机器人在医院药物递送系统中的应用代表着医疗领域自动化和效率方面的重要进展。本文通过构建基于 ROS 的移动机器人实践平台、提出改进

的双向 A* 全局路径规划算法以及整合先进的材料识别和抓取技术,为医院药物递送机器人的设计提供了坚实的基础。这将极大地提高医院运营效率和患者护理质量。

本文提出的改进 A* 算法在搜索效率方面相较

于传统 A* 算法和文献中的改进 A* 算法有显著改进,但未考虑环境的动态变化和机器人转向所导致的时间和电力成本。因此,智能机器人的应用仍面临技术可靠性、安全性和成本等挑战。未来的工作需要持续改进和优化,以确保其在医院环境中的持续应用。本文认为,通过未来不断的研究和创新,智能机器人将为医疗领域带来更多改进和便利,推动医院系统向着更加自动化和智能化的方向发展。

参考文献

- [1] SUN Jing, LIN Qian, ZHAO Pengyu, et al. Reducing waiting time and raising outpatient satisfaction in a Chinese public tertiary general hospital—an interrupted time series study[J]. *BMC Public Health*, 2017, 17: 1–11.
- [2] AMERINE J P, KHAN T, CRISP B. Improvement of patient wait times in an outpatient pharmacy[J]. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 2017, 74(13): 958–961.
- [3] PRABHAKAR M, PAULRAJ V, DHANRAJ J A, et al. Design and simulation of an automated guided vehicle through webots for isolated COVID-19 patients in hospitals[C]//Proceedings of the 2020 IEEE 4th Conference on Information & Communication Technology (CICT). Piscataway, NJ: IEEE, 2020: 1–5.
- [4] KAVIRAYANI S, UDDANDAPU D S, PAPASANI A, et al. Robot for delivery of medicines to patients using artificial intelligence in health care[C]// Proceedings of IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC). Piscataway, NJ: IEEE, 2020: 1–4.
- [5] SUN Hui, QIU Xiaoyu, LIN Ange, et al. Research and design of automated pharmacy handling robot[C]//Proceedings of the 2020 3rd International Conference on Control and Robots (ICCR). Piscataway, NJ: IEEE, 2020: 48–56.
- [6] PATEL A, SHARMA P, RANDHAWA P. MedBuddy: The medicine delivery robot [C]//Proceedings of the 2021 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO). Piscataway, NJ: IEEE, 2021: 1–4.
- [7] ZHOU Yulan, HUANG Nannan. Airport AGV path optimization model based on ant colony algorithm to optimize Dijkstra algorithm in urban systems [J]. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 2022, 35: 100716.
- [8] MIAO Changwei, CHEN Guangzhu, YAN Chengliang, et al. Path planning optimization of indoor mobile robot based on adaptive ant colony algorithm [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 156: 107230.
- [9] JUNG J H, KIM D H. Local path planning of a mobile robot using a novel grid-based potential method [J]. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, 2020, 20(1): 26–34.
- [10] 侯冲,何秋钊,宋金豆,等. 基于 Floyd 算法的双流机场滑行路径优化研究[J]. *舰船电子工程*, 2023, 43(6): 54–58.
- [11] 王迈新,闫莉,李雨菲. 基于改进 A* 算法的车间 AGV 路径规划[J]. *自动化与仪表*, 2023, 38(11): 45–49, 59.
- [12] 赵玉花,石永康,万晓燕. 基于粒子群优化的多无人机区域覆盖航迹规划[J]. *农机化研究*, 2024, 46(6): 63–67.
- [13] 汪世涛. 基于人工势场法的卸料臂移动过程避障控制方法 [J]. *化工管理*, 2023(34): 121–124, 133.
- [14] HE Zhibo, LIU Chenguang, CHU Xiumin, et al. Dynamic anti-collision A-star algorithm for multi-ship encounter situations[J]. *Applied Ocean Research*, 2022, 118: 102995.
- [15] LIU Haoxin, ZHANG Yonghui. ASL-DWA: An improved A-Star algorithm for indoor cleaning robots[J]. *IEEE Access*, 2022, 10: 99498–99515.
- [16] WANG Xingdong, ZHANG Haowei, LIU Shuo, et al. Path planning of scenic spots based on improved A* algorithm [J]. *Scientific Reports*, 2022, 12(1): 1320.
- [17] 张辉,王耀南,易俊飞,等. 面向重大疫情应急防控的智能机器人系统研究 [J]. *中国科学: 信息科学*, 2020, 50(7): 1069–1090.
- [18] 蔺晟杰,王红军,戈伦,等. 自主移动药品配送机器人的设计与仿真[J]. *北京信息科技大学学报(自然科学版)*, 2022, 37(4): 44–51.
- [19] 徐建明,吴小文,蔡奇正,等. 基于 ROS 和全向舵轮驱动的移动机器人系统设计[J]. *高技术通讯*, 2021, 31(7): 738–746.
- [20] 李炯逸,李强,张新闻,等. 移动机器人用改进的双向 A* 二次路径规划算法 [J/OL]. *系统仿真学报*. [2023–12–19]. <https://doi.org/10.16182/j.issn1004731x.joss.23-1183>.