

基于机器视觉的图书机器人取书路径控制方法研究

贾瑞¹, 强颖¹, 赵锋²

(1. 陕西省图书馆, 西安 710061; 2. 航空工业西安飞行自动控制研究所, 西安 710061)

摘要: 针对图书馆图书机器人的路径规划问题, 通过结合 Cartographer 算法和激光视觉雷达技术来构建图书馆栅格地图, 并采用改进的 A* 算法和蚁群优化算法进行路径规划, 最后提出了一种新型机器人取书路径规划控制模型; 实验结果显示, 所提出的模型在权重系数为 0.6 时, 其规划出的最优路径相比于其他模型最大缩短了 8 m; 其路径规划成功率达 95%, 且规划的路径拐点数较同类模型最多减少了 4 个; 说明研究成功提出了一种有效的图书机器人取书路径规划模型, 提高了取书效率, 满足了机器视觉和移动机器人在图书馆取书过程中的应用需求。

关键词: 机器视觉; A* 算法; 电子地图; 线路规划; 取书

Research on Path Control Method for Book Robot Retrieving Books Based on Machine Vision

JIA Rui¹, QIANG Ying¹, ZHAO Feng²

(1. Shaanxi Provincial Library, Xi'an 710061, China;

2. AVIC Xi'an Flight Automatic Control Research Institute, Xi'an 710061, China)

Abstract: In response to the path planning problem of book robots in the library, a library raster map is constructed by combining the Cartographer algorithm and laser vision radar technology, and an improved A* algorithm and ant colony optimization algorithm are used for path planning. Finally, a new robot book retrieval path planning control model is proposed. Experimental results show that with the weight coefficient of the proposed model of 0.6, the model shortens its planned optimal path by a maximum of 8 m compared to other models, achieves the success rate of its path planning by 95%, and reduces the number of planned path turning points by up to 4 compared to similar models. The study successfully proposes an effective book robot retrieval path planning model, which improves the efficiency of retrieving books and meets the application needs of machine vision and mobile robots during the process of retrieving books from the library.

Keywords: machine vision; A* algorithms; electronic maps; path planning; book fetching

0 引言

随着科技的进步和数字化转型, 图书馆服务的自动化和智能化成为发展趋势^[1]。图书机器人作为提高图书馆服务效率的关键技术之一, 其路径规划能力直接影响到服务效率和质量^[2-3]。目前, 针对机器人多路径规划, 国内外学者陆续提出了多种解决方法。例如实时定位与地图构建 (SLAM, simultaneous localization and mapping) 技术能够在机器人移动过程中实时构建环境地图并定位自身位置, 实现精确的自我定位和路径规划, 极大地提高了机器人的自主导航能力。文献 [4] 针对传统图书自动盘点机器人轨迹跟踪位置和姿态的双目标控制问题, 提出了一种结合改进趋近律的图书自动盘点机器人轨迹跟踪变结构非线性控制方法。结果表明, 该方法可以有效解决传统变结构控制方法快速性和抖震之间矛盾的问题, 提升了相应速度^[4]。文献 [5] 为了提升图书盘点机器人的控制效率, 研究团队结合超高频 RFID 技术后, 提出了一种新型智能图书盘点机

器人控制系统。结果表明, 该控制系统在常态化图书盘点的基础上显著提升了图书盘点的效率^[5]。A* 算法作为一种经典的路径搜索算法, 以其高效的路径规划能力在静态环境中表现出色^[6]。但在处理复杂图书馆环境时, 可能会遇到地图构建的精度和更新速度不足的问题, 导致 A* 算法需要重新计算路径, 使得效率下降。因此, 探索一种融合多种技术的优化路径规划方法, 成为研究的焦点。针对以上问题, 研究提出了一种基于机器视觉的图书机器人取书路径控制方法。首先, 利用机器视觉技术和 Cartographer 算法构建了图书馆内部的栅格电子地图, 实现了对复杂环境的准确建模。其次, 采用 A* 算法作为基础框架, 创新性地与优化后的蚁群优化算法 (ACO, ant colony optimization) 进行结合, 从而克服 A* 算法在动态环境下效率下降的问题, 同时提高路径规划的全局优化能力。这一方法不仅优化了路径规划算法的性能, 还考虑了图书馆环境的特殊性, 实现了在复杂环境下的高效准确路径规划, 从而为图书机器人的服务质量和效率提升提供了有效的解决方案。

收稿日期: 2024-03-22; 修回日期: 2024-04-25。

作者简介: 贾瑞 (1986-), 女, 硕士, 馆员。

引用格式: 贾瑞, 强颖, 赵锋. 基于机器视觉的图书机器人取书路径控制方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(8): 194-200.

1 机器人取书电子地图模型及路径规划模型构建

1.1 图书馆电子地图模型构建

电子地图作为现代导航和定位系统不可或缺的组成部分, 它通过高度数字化和信息化的手段, 将现实世界的地理环境转化为计算机可以理解和处理的数据模型^[7]。现有的电子地图种类大致分为拓扑地图、几何地图和栅格地图, 3 种地图如图 1 所示。

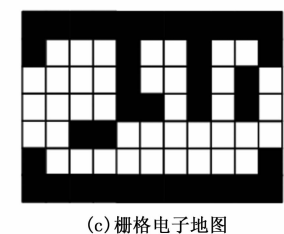
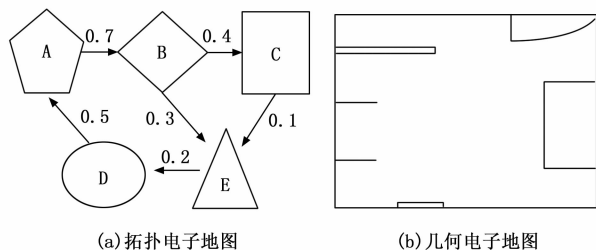


图 1 3 种电子地图示意图

由图 1 可知, 拓扑地图和几何地图对图书馆中的各类细节部分表达较为欠缺, 因此皆不适用构建图书馆的室内地图。而栅格电子地图利用栅格模型来表示地理信息, 在这种模型中, 地图被划分为一个个小方格, 每个小方格被称为一个栅格单元^[8-9]。通过查询该单元格的障碍率便可组成一条合适的移动路径, 此时以每个单元格占据、未占据和未知 3 种可能性进行推测^[10], 关系式如式 (1) 所示:

$$M(x) \begin{cases} 0, \text{zhan} \\ C, \text{weizhan} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $M(x)$ 为栅格中是否被障碍物占据的关联矩阵, C 为常数。Cartographer 算法作为当前最常使用的图优化 SLAM 算法之一, 该算法包含了数据预处理、位姿计算、地图构建、地图优化和闭环检测共 5 部分^[11]。通过数据预处理提升数据质量, 位姿计算确保定位精准, 地图构建实现环境映射, 地图优化调整累积误差, 闭环检测消除地图扭曲, 共同实现复杂环境下的高效准确导航^[12]。数据预处理的计算式如式 (2) 所示:

$$T_{\xi}^s P = \begin{bmatrix} \cos\theta_{\xi} & -\sin\theta_{\xi} \\ \sin\theta_{\xi} & \cos\theta_{\xi} \end{bmatrix} P + \begin{pmatrix} \xi_x \\ \xi_y \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中, ξ_x, ξ_y 为机器人静止状态下的定位, P 为目标位点相对于机器人的距离, T_{ξ} 为目标点的坐标集。位姿计算的计算式如式 (3) 所示:

$$x_t = f(x_{t-1}, u_t, z_t) \quad (3)$$

式中, x_t 和 x_{t-1} 分别为当前时刻和上一时刻的状态估计, u_t 为上一时刻到当前时刻的控制输入, 如角速度和线速度, z_t 为当前时刻的观测数据。地图构建如式 (4) 所示:

$$p(m_i | z_{1:t}, x_{1:t}) = \frac{p(z_t | m_i, x_t) \cdot p(m_i | z_{1:t-1}, x_{1:t-1})}{p(z_t | z_{1:t-1}, x_{1:t})} \quad (4)$$

式中, m 为地图, 通常由一系列的栅格 m_i 组成; m_i 为地图中的第 i 个栅格; z_t 表示在时间 t 的观测数据; x_t 表示在时间 t 的机器人位姿; $p(m_i | z_{1:t}, x_{1:t})$ 表示在给定直到时间 t 的观测数据 $z_{1:t}$ 和机器人位姿 $x_{1:t}$ 的条件下, 栅格 m_i 被占用的概率。由 Cartographer 算法的介绍可知, 式 (2) 可构成算法前端, 式 (3) 和式 (4) 构成算法后端。前端负责对传感器的检测数据进行特征提取, 并评估机器人的实时定位。后端则负责将机器人位姿作为节点, 将多个节点进行边连接构成图。每获取一段激光扫描数据后, 前端的 3 类单元格便可进行信息更新, 更新的计算如式 (5) 所示:

$$odds(P) = \frac{P_{hit}}{1 - P_{mis}} \quad (5)$$

式 (5) 中, P_{hit} 表示一个栅格单元从未知状态经信息更新后转变为占据栅格状态, P_{mis} 表示一个栅格单元从未知状态经信息更新后转变为非占据状态。多次重复以上操作, 便可构成一张关于图书馆完整的栅格电子地图, 但该过程后期由于数据普遍存在噪声, 多次组合后成型的栅格电子地图误差较大。因此, 研究引入稀疏位姿调整法 (SPA, sparse pose adjustment) 进行扫描数据的优化处理。SPA 是一种用于机器人和移动设备地图构建和定位优化的算法, 在构建栅格地图模型的数据处理阶段, SPA 通过优化位置图中的节点, 即机器人或设备的位置和方向来改善地图的精确度^[13]。该过程主要通过最小化位姿图中所有位姿间误差的总和, 相关计算式如式 (6) 所示:

$$\min \sum_{(i,j) \in D} \| z_{ij} - h(x_i, x_j) \|_{\sum_{ij}} \quad (6)$$

式中, D 为所有位姿的集合, 其中位姿 i 和 j 之间存在相对测量, z_{ij} 为位姿 i 和 j 之间的实际测量值, x_i 和 x_j 分别为位姿 i 和 j 的估计值, $h(x_i, x_j)$ 表示根据位姿 x_i 和 x_j 估算得出的预测值, $\| \cdot \|_{\sum_{ij}}$ 表示欧几里得距离, 由测量噪声的协方差矩阵确定。综合以上计算公式, 研究给出了最终建立的图书馆室内栅格电子地图, 如图 2 所示。

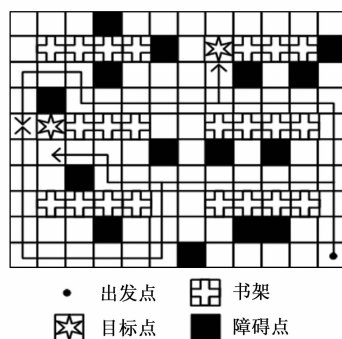


图 2 图书馆栅格电子地图示意图

由图 2 可知, 在栅格化的电子地图中, 每一个栅格单元代表环境中的一个具体区域。通过将环境划分为规整的栅格网络, 机器人可以利用激光扫描仪和视觉雷达等传感

器收集的数据,对每个栅格的可通行性进行概率评估,从而识别出障碍物和可通行区域。该方法将环境转化为数字化表示,然后上传终端进行分层计算,从多种可能的路径中选出最佳路径。而在栅格化地图上,机器人的路径规划问题又转化为在图中寻找从起点到终点的最优路径。

1.2 机器人取书路径规划

A*算法是一种在图形平面上,有多个节点的路径中,寻找一条从起始点到目标点的最短路径的算法^[14]。其效率和准确性依赖于启发式函数 $h(n)$ 的选择。理想的 $h(n)$ 能够提供一个适中的距离估计代价。一般的启发式函数包括曼哈顿距离 (MD, manhattan distance) 和欧几里得距离 (ED, Euclidean distance)^[15]。而经典的 ED 和 MD 根据向量差值之间的绝对值计算得出,暂未考虑向量各维度差值的具体情况。其中 MD 和 ED 的计算公式如式 (7) 所示:

$$\begin{cases} MD:h(n) = |x_n - x_{goal}| + |y_n - y_{goal}| \\ ED:h(n) = \sqrt{(x_n - x_{goal})^2 + (y_n - y_{goal})^2} \end{cases} \quad (7)$$

式中, (x_n, y_n) 为节点 n 的坐标, (x_{goal}, y_{goal}) 为目标节点的坐标。实际代价 $g(n)$ 的计算公式如式 (8) 所示:

$$g(n) = g(\text{parent}) + \text{cost}(\text{parent}, n) \quad (8)$$

式中, $g(n)$ 为实际代价, $g(\text{parent})$ 表示节点 n 的父节点, $\text{cost}(\text{parent}, n)$ 表示从 $g(\text{parent})$ 到 n 的代价。由此可知,如果 $h(n)$ 符合条件,即不超过实际最短路径,则 A*算法保证能找到一条最短路径。但随着取书任务的增加, A*算法逐渐显得吃力。因此,研究引入了 ACO 进行改进,通过引入信息素补偿因子进行优化^[16]。ACO 是一种模拟自然界蚂蚁寻找食物路径的启发式算法,它通过模拟蚂蚁留下的信息素来找到最优解。蚂蚁觅食过程如图 3 所示。

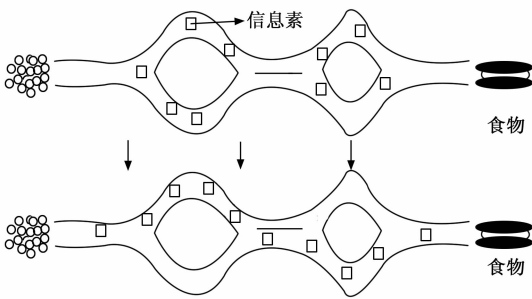


图 3 蚂蚁觅食过程

由图 3 可知,当蚂蚁在信息素分布混乱的环境中寻找食物时,它们的运输路径表现出高度的随机性和多样性,导致食物运输效率低下^[17-18]。然而,一旦在某条特定通道上的信息素浓度被人为增强或通过蚂蚁反复经过而自然积累到一定程度,这条通道的吸引力显著增强,能够有效地引导更多的蚂蚁选择该路径运输食物。然而,随着栅格地图的面积扩大,ACO 算法在进行路径搜索的迭代过程中需要很长时间才能迭代出最优的环境信息^[19]。因此,研究引入了补偿因子来优化信息素,使得最优运输路径上的信息素得到增强,其余路径上的信息素量不变。优化后的栅格

地图蚂蚁移动概率如式 (9) 所示:

$$P_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in \text{allowed}_k} [\tau_{il}]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta} \quad (9)$$

式中, P_{ij}^k 表示蚂蚁 k 从格子 i 移动到格子 j 的概率, τ_{ij} 表示格子 i 到格子 j 的信息素强度, η_{ij} 表示格子 i 到格子 j 的启发式信息, α 和 β 分别表示控制信息素强度和启发式信息重要性的参数, allowed_k 表示蚂蚁 k 可以选择移动到的下一个格子的集合。信息素补偿因子引入后,主要体现为全局搜索更新能力的提升,更新后的全局搜索公式如式 (10) 所示:

$$\begin{cases} \tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij} \\ \Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \end{cases} \quad (10)$$

式中, ρ 表示信息素蒸发率,用于模拟信息素随时间衰减的自然过程。 $\Delta\tau_{ij}$ 表示格子 i 到格子 j 在此次迭代中信息素的总量, $\Delta\tau_{ij}^k$ 表示蚂蚁 k 从格子 i 移动到格子 j 的信息素遗存量,该值可以通过信息素补偿因子进行调整。优化后的信息素引导 A* 启发式函数的更新如式 (11) 所示:

$$\begin{cases} f(n) = g(n) + h(n) + \lambda \cdot \psi(n) \\ \psi(n) = \log(1 + \tau_n) \end{cases} \quad (11)$$

式中, λ 表示用于调节信息素浓度影响的权重参数, $\psi(n)$ 表示信息素浓度对节点 n 的影响评估函数,用于调整启发式函数。 τ_n 表示节点 n 的信息素浓度。由该式可知,通过利用 ACO 中的信息素强度和启发式信息,可以动态调整 A* 算法的评估函数。这可以帮助算法更好地适应环境变化,尤其是在动态变化的图书馆环境中寻找最优路径^[20-21]。优化后的过程的全局和局部信息更新公式如式 (12) 所示:

$$\begin{cases} \tau_{ij(t+1)}^* = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij(t)}^* + \Delta\tau_{ij}^* \\ \Delta\tau_{ij}^* = \frac{Q}{L_k} \end{cases} \quad (12)$$

式中, $\tau_{ij(t)}^*$ 表示优化后在 t 时刻,从节点 i 到节点 j 的信息素浓度; $\Delta\tau_{ij}^*$ 表示优化后从节点 i 到节点 j 的信息素增量; Q 表示常数,代表信息素的总量; L_k 表示蚂蚁 k 找到的路径的长度,用于计算信息素增量,鼓励更短路径的探索。综上所述,研究结合 A* 算法和优化后的 ACO 算法,提出了一种机器人取书路径控制多目标规划模型,该模型的流程如图 4 所示。

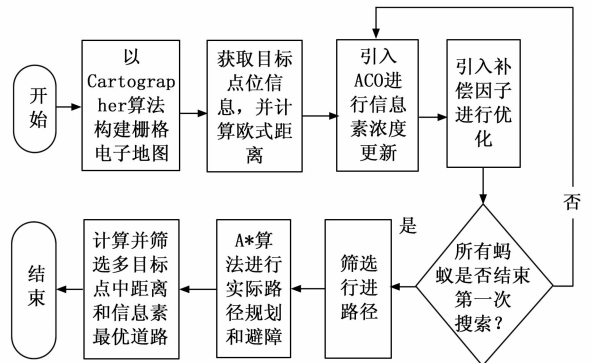


图 4 机器人取书路径多目标控制模型流程

由图 4 可知,首先,使用 SLAM 中的 Cartographer 算

法经激光和视觉传感器扫描数据并分析后构建地图。选择既定对象后进行终端的距离运算, 然后使用 ACO 算法中的信息素进行浓度更新, 判断行走路径。引入信息素补偿因子进行通道路径优化, 并探索新的移动路径。完成后判断是否所有的蚂蚁都结束了第一次搜索, 若未结束, 则继续重新进行信息素浓度更新, 若结束, 则筛选出机器人的行进路径。利用 A* 算法进行路径实际规划和避障, 同时计算多目标点之间的欧式距离总和, 筛选出距离最短且信息素浓度最高的道路。最后按照指定道路进行路径行进, 实现图书馆的机器人取书路径规划目标任务。该模型下的机器人取书路径控制系统结构如图 5 所示。

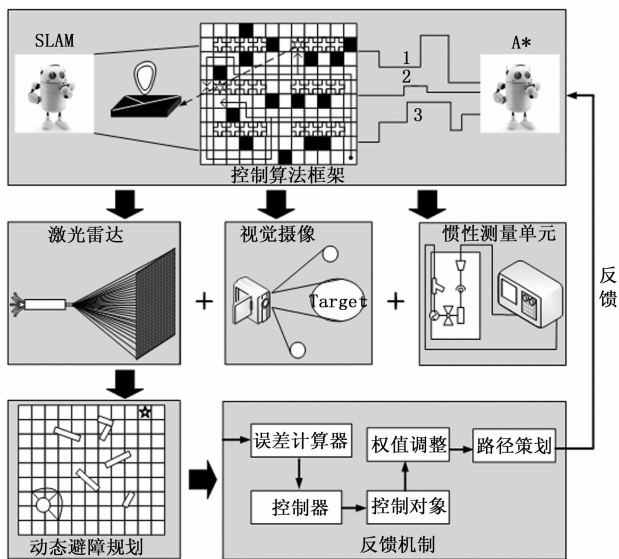


图 5 机器人取书路径控制系统结构

由图 5 可知, 该系统通过融合 SLAM 与 A* 算法, 实现了机器人的实时定位与高效路径规划。另外, 系统集成了激光雷达、摄像头和惯性测量单元, 通过高级滤波技术精确估计机器人位置和构建环境地图。针对图书馆环境的动态变化, 设计了动态障碍物检测与避障模块, 确保机器人平稳运行。系统内置反馈机制, 根据实际行走情况动态调整路径规划策略, 通过用户友好的界面实现任务监控和参数调整。这些设计不仅优化了机器人的路径选择, 而且提升了任务执行的效率和安全性, 标志着图书馆服务自动化和智能化的一大进步。其中激光雷达和摄像头皆为单独的传感器元件, 而惯性测量单元则包括了加速度计和陀螺仪, 分别用于测量机器人在取书行进过程中的加速度和角速度。两者的测量计算式如式 (13) 所示:

$$\begin{cases} a = \frac{a_{out} - a_{offset}}{S_a} \\ \omega = \frac{\omega_{out} - \omega_{offset}}{S_\omega} \end{cases} \quad (13)$$

式中, S_a 和 ω_{out} 分别为加速度计和陀螺仪的输出值, a_{offset} 和 ω_{offset} 分别为加速度计和陀螺仪的零偏, S_a 和 S_ω 分别为加速度计和陀螺仪的灵敏度, a 和 ω 分别为加速度和角速度。使用

高级滤波技术如卡尔曼滤波技术来处理加速度和角速度从而准确估算机器人的移动速度环节和位姿。另外, 反馈机制的过程大致分为 4 步。首先, A* -ACO 算法规划出一条从当前位置到目标位置的最优路径。然后, 机器人开始沿着这条路径移动。在移动过程中, 误差计算器实时计算预定路径与实际路径之间的偏差。控制器根据这个偏差生成控制信号, 通过权重调整组件动态调整控制参数, 最后控制信号作用于机器人, 引导其调整运动方向和速度, 以最小化路径偏差。误差计算器和控制器的计算式如式 (14) 所示:

$$\begin{cases} e(t) = p_{desired}(t) - p_{actual}(t) \\ u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \end{cases} \quad (14)$$

式中, $e(t)$ 为 t 时刻的路径偏差, $p_{desired}(t)$ 和 $p_{actual}(t)$ 分别为机器人的预定和实际位置, $u(t)$ 为控制信号, K_p , K_i 和 K_d 分别为 PID 控制中的比例、积分、微分增益系数。

2 取书机器人控制模型性能和仿真测试

2.1 路径规划控制模型性能测试

研究采用 Windows 操作系统, CPU 为 Intel Core i7, GPU 为 NVIDIA GeForce, 内存为 32 GB, 开发环境为 Python。通过 Matlab 构建图书馆二维仿真环境, 采用 OpenSLAM 数据集和 RoboCup@Home 数据集作为数据来源。其中 OpenSLAM 数据集供了各种用于实时定位与地图构建研究的数据共计约 4 万条信息。RoboCup@Home 数据集包括真实的室内环境布局、障碍物分布, 以及机器人的视觉数据等共计 2 万余条。研究首先针对 A* -ACO 算法下的最佳权重系数进行测试, 分别定位两个随机取书点。以初始路径节点数、搜索路径节点数和路径长度为指标进行测试, 测试结果如表 1 所示。

表 1 各权重系数下的算法性能效果

数据集	权重系数	初始路径节点数/个	搜索路径节点数/个	路径长度/m
OpenSLAM 数据集	0.2	50	42	50.7
	0.4	50	44	46.3
	0.6	50	48	41.2
	0.8	50	45	43.6
RoboCup@Home 数据集	0.2	50	40	48.7
	0.4	50	44	45.8
	0.6	50	47	42.1
	0.8	50	46	44.5

由表 1 可知, 在两类数据集中, 当权重系数为 0.6 时, 此时的搜索路径节点数最多为 48 个, 达 96% 的搜索率。同时其路径长度最短为 41.2, 相较于其他权重系数的路径长度最高减少了 9.5。当权重系数为 0.8 时, 此时的搜索路径节点数最多为 46 个, 路径长度最短为 43.6。由以上数据可知, 权重系数从 0.2~0.8 经历了性能先升再降的变化, 其中最高性能表现集中于 0.6 权重时。因此, 可以说 0.6 的权重系数是 A* -ACO 算法的性能最优点, 后续测试皆选择该系数进行, 以达到最佳的测试效果。为了验证研究所提算

法的可行性和优越性，在设置目标取书节点的坐标分别为 (4, 8) 和 (8, 13) 后，研究引入了同类型较为流行的路径规划算法进行性能测试，例如 Dijkstra 算法、动态窗口算法 (DWA, dynamic window approaches) 和快速搜索随机树算法 (RTT, rapid-exploration random tree)。以迭代次数为变量，路径规划长度和路径规划成功率为指标进行测试。测试结果如图 6 所示。

图 6 (a) 为 Dijkstra 算法的路径长度值和成功率值测试结果，图 6 (b) 为 DWA 算法的路径长度值和成功率值测试结果，图 6 (c) 为 RTT 算法的路径长度值和成功率值测试结果，图 6 (d) 为 A* -ACO 算法的路径长度值和成功率值测试结果。由图 6 可知，在 Dijkstra 算法测试中随迭代次数的增加，方案的路径长度逐渐缩短，最短为 25 m。同时方案的成功率逐渐升高，最高为 79%。在 DWA 算法的测试中，该算法的路径长度最短为 24 m，成功率最高为 88%。RTT 算法的路径长度最短为 19 m，成功率最高为 92%。A* -ACO 算法的变化最为明显，其规划的方案路径最短为 17 m，成功率最高为 95%。由以上数据可知，研究所提的 A* -ACO 算法在实际取书路径规划任务中表现更优，具有明显的有效性和优越性。

2.2 路径规划控制模型仿真测试

验证研究采用深圳市思岚科技有限公司生产的 RS-Bpearl 近距离环境激光检测雷达。设置仿真环境中图书馆

尺寸为长 50 m，宽 20 m。书架尺寸为每个书架高 2 m，宽 1 m，间隔间距 3 m。雷达扫描范围为 360°，分辨率为 1°，扫描频率 10 Hz。仿真时间模拟 10 分钟内的路径规划和移动，任务起点为图书馆入口处，终点为指点坐标处。A* -ACO 算法的蚁群数量设置为 50，信息素蒸发率设置为 0.5，信息素强度为 1.0，启发式权值系数设置为 0.6。

研究选取了某市的图书馆平面图作为真实数据基础，在此基础上以图书馆内部一个相对平坦、无遮挡的角落作为建图起点。这一位置能够代表图书馆的典型环境，且对雷达信号干扰较小。确保实验区域内无不必要的移动或变动，以避免对 SLAM 过程产生干扰。使用具备 360°扫描能力的激光雷达，并固定在机器人或移动平台上。机器人从选定的起点开始，慢速移动以采集环境中的二维空间数据。移动速度应控制在雷达数据采集频率能够充分覆盖环境的范围内，再通过 Cartographer 算法进行 SLAM 栅格地图构建。按照此步骤，研究引入了同类型较为流行的电子地图构建算法例如 GMapping 算法、Hector SLAM 算法和单目 ORB-SLAM 算法，以实际各自生成的栅格地图进行对比检测。测试结果如图 7 所示。

由图 7 可知，在直观的评估视角下这些算法的性能表现出明显的差异。GMapping 算法生产的地图存在明显的的数据缺少和不流畅，书架的边缘和转角处仍存在诸多的数据污点。Hector SLAM 算法尽管比 GMapping 有所改进，但

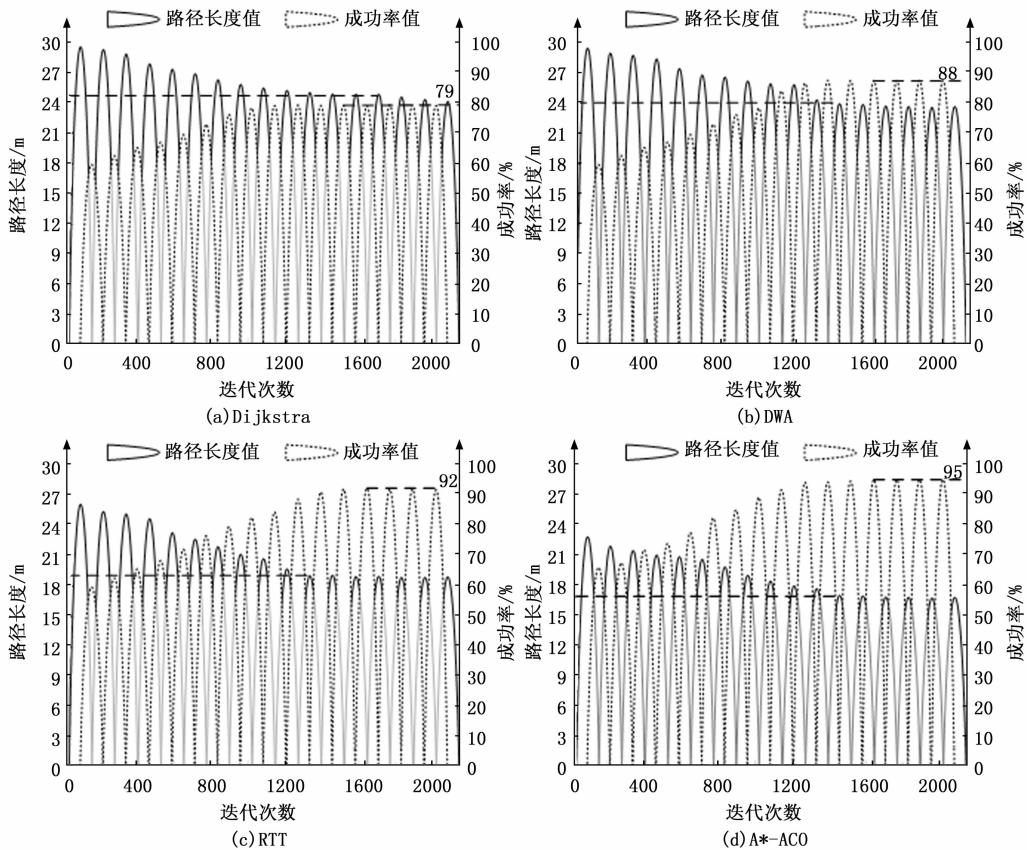


图 6 不同算法的路径长度值和成功率值测试比较结果

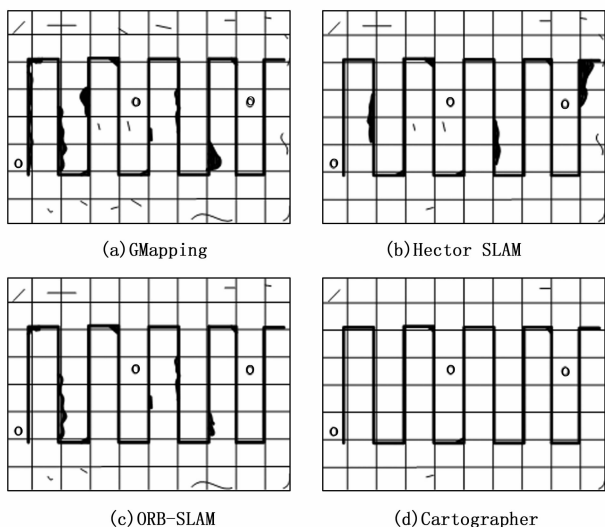


图 7 不同栅格电子地图生成算法的实际生成测试

在处理复杂环境时仍可能面临挑战。ORB-SLAM 算法在一定程度上提高了地图的准确性和稳定性,但在生成完全无缺陷的栅格地图方面仍有限制,即无法完全去除污点。相比之下, Cartographer 算法生成的图书馆栅格电子地图在质量上明显优于其他 3 种算法。地图更加清晰、干净且流畅,书架的边缘和转角被精确地映射,几乎没有数据污点。这种高质量的地图构建能力是由于 Cartographer 算法在数据预处理、位姿估计、闭环检测等方面的高效算法设计,这不仅有助于提高路径规划的准确性,也极大增强了机器人在复杂环境下的导航能力。研究继续对 4 种不同的路径规划模型进行了实际路线对比测试,这些模型包括传统的 A* 算法规划模型、利用遗传算法 (Genetic Algorithms, GA) 的路径规划模型、D-Lite 算法规划模型。测试结果如图 8 所示。

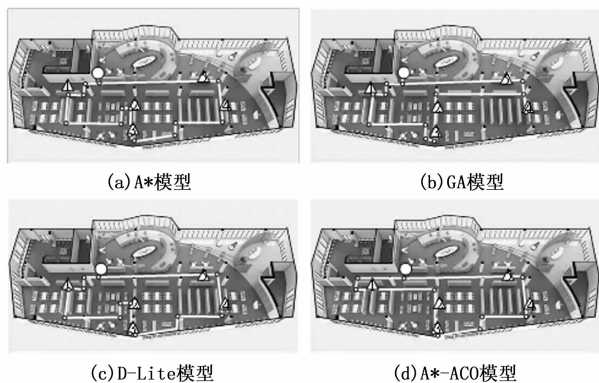


图 8 4 种不同路径规划模型的实际应用效果测试

由图 8 可知,这些模型在完成相同任务,即依照 1~5 的顺序进行取书操作时,表现出细微差异。尽管 4 种模型规划出的路线长度接近,显示了它们在解决路径规划问题上的有效性,但在路径简化和效率上,A*-ACO 模型表现更为出色。拐点的数量直接影响路径规划的复杂度和执行

效率,因此,拐点数目的减少通常意味着路径规划更为直接和高效。在这一点上,A*-ACO 模型以最少的拐点数 10 个领先。相较于 A* 模型的 14 个拐点,GA 模型 12 个拐点,D-Lite 模型的 13 个拐点。展示了其在路径优化方面的显著优势。这一结果强调了 A-ACO 模型在简化路径、减少不必要的转向以及提高路径规划效率方面的潜力,使得它成为图书馆图书自动化取书系统中一个值得推广应用的解决方案。

3 结束语

在图书馆自动化服务的发展背景下,提升图书机器人的取书效率和准确性成为研究和应用的热点。为了优化图书机器人的取书路径规划,提高其在复杂图书馆环境中的作业效率。研究采用了 SLAM 技术中的 Cartographer 算法来构建高精度的图书馆栅格电子地图,通过融合 A* 算法和 ACO 的改进算法,提出了一种新型的图书机器人取书路径规划控制模型。实验结果表明,当权值系数为 0.6 时,此时的 A*-ACO 算法的性能最佳。其规划的方案路径最短为 17 m,成功率最高为 95%。另外,相对于其他地图生成方法, Cartographer 算法生成的效果更佳,栅格地图更加干净和流畅。在实际仿真测试中 A*-ACO 线路规划控制模型的线路长度与其他方法差异不大,但机器人行走的线路拐点数最少仅为 10 个,相较于最多的 A* 模型减少了 4 个。综上所述,研究所提方法能够显著提高路径规划的成功率,从而优化了图书机器人的取书流程,为移动机器人在复杂环境下的路径规划研究贡献了新的思路。然而,此次研究的测试主要在固定数据环境下进行,未能充分考虑真实图书馆环境的复杂多变性。因此,后续研究将探索在不同的真实图书馆环境中应用该模型,以验证其在实际应用场景下的可行性和扩展性,进一步完善图书机器人的路径规划技术,为实现更加高效、智能的图书馆服务系统做出贡献。然而此次研究仅在固定数据环境下进行了仿真测试,后续研究可增加不同的真实图书馆测试环境,以验证 A*-ACO 算法模型的可行性和扩展性。

参考文献:

- [1] 杨倩. 智能机器人技术在图书馆中的应用历程与展望 [J]. 大学图书馆学报, 2021, 39 (6): 30-37.
- [2] 荣蓉. 基于模糊 Elman 网络算法的机器人路径规划分析 [J]. 微型电脑应用, 2020, 36 (3): 136-139.
- [3] 丛佩超, 吕昆峰, 周加超. 复杂场景下移动机器人的 SLAM 与路径规划问题 [J]. 计算机仿真, 2023, 40 (2): 443-448.
- [4] 王琦. 图书自动盘点机器人变结构轨迹跟踪方法研究 [J]. 郑州大学学报: 理学版, 2023, 55 (4): 61-67.
- [5] 陆亚红, 马灵, 杨婉茹, 等. 智能图书盘点机器人技术的实践与应用研究——以上海交通大学图书馆为例 [J]. 大学图书馆学报, 2023, 41 (1): 44-51.
- [6] 张浩杰, 张玉东, 梁荣敏, 等. 改进 A* 算法的机器人能耗最优路径规划方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2023, 45 (2):

513-520.

- [7] 谢赛宝, 刘春阳, 陈帆, 等. 基于视觉的自主机器人障碍识别与路径规划 [J]. 电子测量与仪器学报, 2022, 36 (12): 185-192.
- [8] 邱添, 张志安, 王海龙. 移动机器人的栅格概率路径图法路径规划 [J]. 机床与液压, 2022, 50 (21): 14-19.
- [9] SANCHEZ I J R, PEREZ-DEL-PULGAR C J, GARCÍA C A. Path planning for autonomous mobile robots: a review [J]. Sensors, 2021, 21 (23): 7898-7899.
- [10] 杨凌耀, 张爱华, 张洁, 等. 栅格地图环境下机器人速度势实时路径规划 [J]. 计算机工程与应用, 2021, 57 (24): 290-295.
- [11] 李晓露, 熊禾根, 陶永, 等. 基于改进 A* 算法的移动机器人全局最优路径规划 [J]. 高技术通讯, 2021, 31 (3): 306-314.
- [12] 任云晖, 贾仙鱼. 考虑环境复杂度的机器人路径双向蚁群规划 [J]. 机械设计与制造, 2023, 388 (6): 263-267.
- [13] 王苗, 李明倩, 刘芳. 基于多维数据挖掘的智能机器人避障路径自适应选择 [J]. 微型电脑应用, 2023, 39 (10): 192-196.
- [14] KUMAR R, SINGH L, TIWARI R. Path planning for the autonomous robots using modified grey wolf optimization ap-
pplication (上接第 193 页)

这种串口升级方案为星载激光器控制系统及其它领域软件进行系统远程、无线升级奠定了基础, 而且基于 LabVIEW 的上位机软件操作简单, 便于移植, 在顶层升级通信协议不变的情况完全可以直接使用。

TI 公司 DSP 产品种类繁多, 但 TI 公司生产的不同系列, 不同型号 DSP 在程序引导功能上有很大的相似性, 控制系统的核心 CPU 变更后, 升级程序和应用程序初始地址可根据程序代码量和 DSP 的 FLASH 容量进行灵活更改, 而且更改升级程序的小部分功能即可实现在线升级功能的成功移植, 提高了在线升级方案的可继承性和重用性。

参考文献:

- [1] 薛一哲, 马子飞, 霍峰. 一种 TMS320F2812 平台下串口烧写程序的方案 [J]. 航空计算技术, 2020, 50 (6): 120-123.
- [2] 刘楷锋, 戴玉松, 尤宝山, 等. TMS320F2812 的原理及其在串行通信中的简单应用 [J]. 四川工业学院学报, 2004 (s1): 75-77.
- [3] 罗明凤. DSP TMS320F2812 在应用升级方案设计 [J]. 通讯世界, 2017 (2): 243-244.
- [4] 王尧, 李荣冰, 孙永荣, 等. DSP 在线升级容错性能的研究 [J]. 电子测量技术, 2017, 40 (11): 193-196.
- [5] 蒋炯炜, 钱浩, 于鹏. 基于 CAN 总线的 TMS320F2812 程序更新技术 [J]. 电子与封装, 2015, 15 (5): 21-23.
- [6] 姚秀娟, 王德胜. 基于 TMS320F2812 的远程在线升级设计与实现 [J]. 电子世界, 2013 (12): 121-122.
- [7] 伦涛, 庞丽娟, 袁野. 一种 TMS320F2812 片内 FLASH 串行加载方法 [J]. 国外电子测量技术, 2014, 33 (6): 57

proach [J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2021, 40 (5): 9453-9470.

- [15] 李志锟, 黄宜庆, 徐玉琼. 改进变步长蚁群算法的移动机器人路径规划 [J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34 (8): 15-21.
- [16] ASEMI A, KO A, NOWKARIZI M. Intelligent libraries: a review on expert systems, artificial intelligence, and robot [J]. Library Hi Tech, 2020, 39 (2): 412-434.
- [17] 林晓玲, 王志强, 郭岩岩, 等. 基于多约束场景的 BFO-ACO 漫游路径规划 [J]. 深圳大学学报 (理工版), 2022, 39 (4): 463-471.
- [18] 严宇, 潘舒妍, 黄文杰, 等. 基于 ACO 算法的变电站运载机器人路径优化方法研究 [J]. 南京工程学院学报 (自然科学版), 2023, 21 (3): 39-46.
- [19] 鲍久圣, 张牧野, 葛世荣, 等. 基于改进 A* 和人工势场算法的无轨胶轮车井下无人驾驶路径规划 [J]. 煤炭学报, 2022, 47 (3): 1347-1360.
- [20] 郭晓静, 杨卓橙. 基于邻域拓展的静态路径规划 A* 算法研究 [J]. 计算机工程与应用, 2022, 58 (8): 168-174.
- [21] LU X, WU C, YANG G. Path planning of orchard spray robot based on improved A* and DWA algorithm [J]. Computer Engineering and Applications, 2023, 59 (18): 323-328.
- [8] 邹永涛, 孙汉旭, 陈估, 等. 基于 LabVIEW 的虚拟仪器在转动关节标定系统中的应用 [J]. 机械, 2005 (2): 21-22.
- [9] 邓玉娇, 王庭兵, 陈兰英. 基于 LabVIEW 技术的热电阻调理模块校准方法研究 [J]. 仪器仪表用户, 2018, 25 (11): 51-54.
- [10] 朱银龙, 华超, 陈昕, 等. 基于 LabVIEW 与单片机的温度采集监控系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (12): 93-96.
- [11] 纳杰斯, 丁明惠. 基于 LabVIEW 的通用且可定制的数据采集处理软件设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (11): 158-161.
- [12] 高吉星, 赵强, 佟为明. 基于 ENC28J60 的 TMS320F2812 以太网通信接口设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (3): 709-711.
- [13] 陈晨, 莫付江, 赵岗岗, 等. STM32 串口 IAP 中的关键问题分析 [J]. 工业控制计算机, 2020, 33 (5): 52-56.
- [14] 唐鹏程, 汪旭明, 胡力. 用 IAP 技术在线升级 STM32 单片机固件 [J]. 吉首大学学报 (自然科学版), 2019, 40 (1): 21-26.
- [15] 文丰, 温倩, 武慧军. 基于 IAP 的嵌入式系统在线编程设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2022, 22 (12): 37-41.
- [16] 蒋炯炜, 雷志军, 于鹏. 带看门狗喂狗功能的 TMS320F2812 远程加载技术 [J]. 电子与封装, 2016, 16 (10): 23-26.
- [17] TAO W Q, REN Q. Design and implementation of the remote updating program for FTU based on TMS320F2812 [J]. Journal of Hefei University of Technology, 2008 (4): 569-572.