|  |  |
| --- | --- |
| **专利申请技术交底书** | |
| 申请项目名称 | 一种基于Fast\_Lio建图和Move\_Base移动框架的机器人平面自动避障导航系统 |
| 拟申请专利种类 | □实用新型 ■发明专利 □外观设计 |
| 设计人（发明人） | 李瑞、张俊博 |
| 联系人及联系方式 | 张俊博（15345895396） |
| 申请专利项目所述技术领域 | （应指出本实用新型技术方案所属或直接应用的技术领域。）  本发明属于智能制造领域，更具体地说，涉及一种利用激光雷达作为传感器，基于Fast\_Lio建图算法和Move\_Base移动框架的机器人平面自动避障导航系统 |
| 背景技术 | （是指对发明技术理解有用的现有技术，是对最接近的现有技术的说明，它是作出新技术方案的基础。要客观地指出现有技术中存在的问题和缺点。）  随着智能制造、智慧物流、服务机器人等领域的迅猛发展，机器人在复杂动态环境中的自主移动需求日益增长。仓储物流场景下，机器人需在堆满货物的通道中快速穿梭，并且能够精确地到达指定位置；服务场景中，机器人要在人群密集的室内空间灵活避让行人。这些应用对机器人的平面自动避障导航能力提出了更高要求，传统避障导航技术在效率、精准度和适应性上已难以满足需求，高效、智能、可靠的避障导航系统成为行业发展的关键。​  目前，解决机器人平面避障导航问题的技术主要有两类：（1）基于激光雷达的传统 SLAM(同时定位与地图构建) 建图与路径规划技术，通过构建二维环境地图，结合人工预设的路径规划算法实现避障导航，但该技术在动态环境中地图更新滞后，易导致路径规划失效；（2）基于视觉传感器的深度学习避障导航方案，利用卷积神经网络识别障碍物并规划路径，不过受光照、遮挡等因素影响大，且计算资源消耗高，实时性较差。技术（1）难以适应环境快速变化，面对突然出现的障碍物无法及时调整路径；技术（2）在复杂光照条件下识别准确率大幅下降，同时对硬件性能要求过高，限制了其广泛应用。因此，研究基于 Fast\_Lio 建图和 Move\_Base 移动框架的机器人平面自动避障导航系统，实现高精度环境感知、快速路径规划与可靠避障，已成为推动机器人技术发展的迫切需求。 |
| 发明内容 | （说明要解决现有技术中存在的技术问题以及所采用的技术方案及其优点。技术方案应当清楚、完整地说明具体形状、构造特征，说明技术方案是如何解决技术问题的，如机械产品应描述必要零部件及其整体结构关系；涉及电路的产品，应描述电路的连接关系；机电结合的产品还应写明电路与机械部分的结合关系；涉及分布参数的申请时，应写明元器件的相互位置关系；涉及集成电路时，应清楚公开集成电路的型号、功能等。如果构造特征包括机械构造及电路的连接关系的既要写明主要机械零部件及其整体结构的关系,又要写明电路的连接关系。技术方案不能仅描述原理、动作及各零部件的名称、功能或用途。）  针对现有的上述问题，本发明提供了一种结合性的机器人方案，它有机结合 Fast\_Lio 高效建图能力与 Move\_Base 灵活移动框架，在系统组成与工作流程上具备独特设计，与传统避障导航方式存在显著差异。​  从系统组成来看，该系统主要包含感知模块（以Livox\_mid360为例，其中内置ICM40609惯量测量传感器）、处理模块（以ubuntu20.04版本的intel\_nuc小电脑为例）和执行模块（以robomaster机器人为例）。感知模块包括集成激光雷达与惯性测量单元（IMU），激光雷达负责采集环境点云数据，IMU 实时获取机器人运动姿态信息；处理模块以高性能计算机为核心，内置基于 Fast\_Lio 算法的建图程序与 Move\_Base 移动框架算法，前者利用点云与 IMU 数据融合构建高精度地图，后者基于多层次地图规划安全高效路径；执行模块则由电机驱动系统和车轮等机械结构组成，依据处理模块规划的路径指令，实现机器人的移动与避障动作。传统避障导航系统的模块分工往往不够明确，且缺乏高效的数据融合与算法协同，在硬件和软件的整合度上远不及本系统。  再聚焦于本发明引用的核心算法，Fast\_Lio 建图原理基于激光雷达与 IMU 的深度融合。Livox\_mid360 激光雷达扫描环境生成点云数据，IMU 同步记录机器人运动姿态。原始点云因机器人运动存在畸变，Fast\_Lio 利用 IMU 数据对其去畸变，校正点云真实位置。算法通过特征提取识别点云中的平面、边缘等关键特征，结合 IMU 信息完成不同时刻点云的精准配准。后端采用因子图优化算法，将激光雷达里程计因子、IMU 预积分因子和回环检测因子整合，优化机器人位姿估计，修正地图累计误差，在复杂动态环境中快速构建高精度地图，为机器人导航提供可靠环境信息。  Move\_Base 运动规划以环境地图为基础，通过全局与局部路径规划协同，为机器人制定合理运动路线。全局路径规划阶段，它基于 Fast\_Lio 构建的地图，运用 Dijkstra 或 A \* 算法，从机器人当前位置到目标点搜索出一条最优路径，该路径能避开已知障碍物，但不应对动态变化 。在机器人移动过程中，局部路径规划发挥作用。当感知模块检测到动态障碍物，Move\_Base 采用动态窗口法（DWA）等算法，结合机器人运动能力，在短时间内计算多个可行轨迹。综合评估轨迹安全性、目标接近度和运动平滑度，选择最佳局部路径，及时调整机器人运动方向，避开障碍物 。通过全局与局部路径规划的联动，Move\_Base 确保机器人在复杂环境中高效、安全地抵达目标点。  在工作流程方面，机器人启动后，感知模块持续收集环境信息，激光雷达扫描周围物体，IMU 监测机器人运动状态。收集到的数据快速传输至处理模块，Fast\_Lio 算法即刻处理点云数据，结合 IMU 信息，通过因子图优化算法实时构建环境地图，同时精准确定机器人自身位置。随后，Move\_Base 移动框架基于建好的地图，运用全局路径规划算法规划从起始点到目标点的初始路径。当机器人移动过程中，感知模块不断检测新出现的障碍物，Move\_Base 移动框架的局部路径规划算法（TEB算法）迅速响应，实时调整路径，引导机器人在保障自身安全的情况下避开障碍物。相比之下，传统系统在建图时易受动态环境干扰，路径规划缺乏实时调整能力，难以在复杂环境中保障机器人顺利移动。​  本系统凭借 Fast\_Lio 与 Move\_Base 的深度融合，实现了高精度环境感知、快速路径规划与可靠避障。在复杂动态环境下，无论是室内人员频繁走动的场景，还是室外地形多变、物体随机移动的环境，都能让机器人高效、安全地完成导航任务，显著提升机器人在平面环境中的自主移动能力，克服了传统避障导航系统的诸多局限。另外Move\_base框架的引入也为机器人的运动方式提供了更多的选择，如局部规划中采用的TEB算法则同时采用了x，y和yaw轴三个方向上的运动，使机器人在短时间内可实现的位姿更加多样，可以更加灵活地躲避障碍物。 |
| 附图及附图说明 | （图纸请另附，附图中各零部件的数字标记应当与文字说明中所述标记一致。有多幅附图时，各幅图中的同一零部件应使用相同的标记。附图中不能有中文注释，图形线条为黑色，图上不得着色。附图说明：应写明各附图的图名和图号，对各幅附图作简略说明，必要时可将附图中标号所示零部件名称列出）    图1 各模块的系统框架图    图2 机器人平面自动导航系统工作流程  IMG_256  图3 以move\_base为框架的处理模块原理图  IMG_256  图4 Fast\_lio算法原理图    图5 Fast\_lio扫描三维点云效果    图6 Fast\_lio生成的二维栅格地图    图7 Move\_base全局路径规划  （注：红色为实时点云信息，黑色为障碍物膨胀层，灰色为静态地图设置障碍物）  ff492639db9009352efa107d9a4be58  图7 Robomaster机器人 |
| 具体实施方式 | 具体实施方式应当结合照附图对技术内容进一步详细说明，附图中的标号应写在相应的零部件名称之后，使所属技术领域的技术人员能够理解和实现，将各零部件之间的连接关系及其所起的作用详细说明，必要时说明其动作过程或者操作步骤。可以有多个实施例。  启动机器人，控制其在仓库平面环境（涵盖货物堆放区、通道、出入口等区域 ）内，以 0.5 - 1m/s 的速度匀速移动。Livox\_mid360 激光雷达以 10Hz 的频率扫描周围环境，采集点云数据，实时获取货物、货架、墙体等障碍物的三维空间信息；IMU 惯性测量单元同步以 1kHz 频率采集机器人的角速度、线加速度等运动姿态数据，为点云数据解算提供运动补偿依据 。intel\_nuc 小电脑接收激光雷达与 IMU 的数据后，Fast\_Lio 算法对原始点云进行去畸变处理（利用 IMU 运动数据，补偿机器人移动导致的点云畸变 ），通过特征提取（如提取平面、边缘特征 ）、点云配准（采用 ICP 等算法，将不同时刻点云融合 ），再由因子图将激光雷达里程计因子、IMU 预积分因子以及回环检测因子等有机整合在一起。激光雷达里程计因子基于点云匹配结果，反映了机器人在短时间内的运动信息；IMU 预积分因子则利用 IMU 的积分特性，对机器人的位姿变化进行更细致的描述；回环检测因子用于检测机器人是否回到了之前扫描过的区域，当检测到回环时，通过优化算法对之前构建的地图和位姿进行全局调整，从而有效减小位姿估计误差和累计漂移误差，确保地图构建的全局一致性。建图过程中，设置地图分辨率为 0.1m，每采集 100 帧点云数据进行一次全局优化，确保地图精度，也可以根据需要对点云信息的高度进行筛选，以筛选出一些特定障碍物的信息，再通过pcd\_package算法包中对三维点云映射到二维算法最终生成包含环境障碍物、通道等信息的二维 occupancy 栅格地图，存储于地图服务器，为Move\_Base 移动框架提供静态地图 。然后在机器人操作界面，手动录入（或采用程序自动循环更新巡逻目标点）巡检任务的目标点（如仓库各巡检点位坐标 ）。Move\_Base 移动框架的全局规划器（NavFn ）调用建图阶段生成的二维栅格地图，基于 Dijkstra 算法，规划从机器人当前位置到目标点的全局路径（路径规划需避开地图中已标注的障碍物区域，优先选择通道等可行区域 ），生成由一系列路径点组成的初始导航路径，发送至局部规划器 。机器人沿全局路径移动过程中，Livox\_mid360 激光雷达持续以 5Hz 频率扫描周围环境，采集实时点云数据并传输至 intel\_nuc 小电脑。Move\_Base 移动框架的局部规划器（TEB算法 ）结合实时点云数据，再与静态地图进行对比，识别出新出现的动态障碍物（如仓库内临时移动的货物、人员 ），基于速度空间采样原理，规划局部避障路径。同时，通过 PID 控制算法，调整机器人的线速度（范围 0 - 1.5m/s ）和角速度（范围 - 3 - 3 rad/s ），实现机器人在平面环境中自动避障导航，每 0.2 秒更新一次运动控制指令，确保实时性 。机器人按照规划路径执行巡检任务，在到达每个目标点时，通过传感器反馈（如激光雷达检测目标点标志物、IMU 确认静止状态 ），判定是否完成点位任务（如机器人在地图上的实时位置与目标点相距是否在误差范围内）。任务执行过程中，intel\_nuc 小电脑实时记录机器人的位置信息、运动状态、避障事件等数据，存储于本地数据库，便于后续任务复盘与系统优化 。 |