



上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

学位论文开题报告登记表

Thesis/Dissertation Proposal Form

学号 Student ID	119020910448
姓名 Name	古雪峰
学生类别 Degree Program	专业型硕士生 Professional Master Student
学习形式 Study Mode	全日制 Full-time
导师 Supervisor(s)	王亚飞
论文题目 Thesis title	感知退化场景的大尺度建图和重定位
学院 School	机械与动力工程学院
专业 Major	车辆工程
开题日期 Date	2020.12
开题地点 Venue	机械与动力工程学院 F210

填 报 说 明

Instruction

1. 校本部研究生的开题报告应通过[数字交大](#)在线提交申请。

The application for thesis/dissertation proposal should be submitted through [My SJTU](#).

2. 开题报告为 A4 大小，于左侧装订成册。各栏空格不够时，请自行加页。

This form should be printed with A4 papers and bound together on the left. If the space left is not enough, please feel free to add extra pages.

3. 博士生导师可以根据博士生学位论文选题情况自行确定是否进行开题查新，博士学位论文开题查新报告应由查新工作站提供。

The supervisor should decide, based on the proposed topics, whether a novelty assessment report is needed or not, which should be conducted by an authorized novelty assessment department.

4. 开题报告通过后，分别由研究生、导师、学科各存档一份。

Upon passing the dissertation proposal, three copies of this form should be prepared, one for each of the doctoral candidate, the supervisor, and the academic discipline.

5. 医学院研究生如果以函评形式开题，开题地点请填写“函评”，专家组组长签名由导师签名。

For students in the School of Medicine, if the dissertation proposal is conducted via peer review, the “Proposal venue” shall be filled with “peer review” and the “Signature of Committee Chair” shall be signed by the supervisor.

一、 开题报告正文 Thesis/Dissertation Proposal Report

论文题目 Proposed Title	感知退化场景的大尺度建图和重定位
研究课题来源 Source of Research Project	请在合适选项前画√ Please select proper options by “√” . <input type="checkbox"/> 国家自然科学基金课题 NSFC Research Grants <input type="checkbox"/> 国家社会科学基金 National Social Science Fund of China <input type="checkbox"/> 国家重大科研专项 National Key Research Projects <input type="checkbox"/> 其它纵向科研课题 Other Governmental Research Grants <input checked="" type="checkbox"/> 企业横向课题 R&D Projects from Industry <input type="checkbox"/> 自拟课题 Self-proposed Project <input type="checkbox"/> 其它 Other _____

1、请综述课题国内外研究进展、现状、挑战与意义，可分节描述。博士生不少于10,000 汉字，硕士生不少于 5,000 汉字。请在文中标注参考文献。 Please review the frontier, current status, challenges and significance of the research topic. The citations should be marked in the context and listed in order at the end of this section. No less than 8,000 words for doctoral students and 4,000 words for master students if written in English.

1.1 研究背景

随着计算机、人工智能及相关技术的发展，无人驾驶技术的发展也得到了迅速提升，同时该项技术在军事、航空、航天、工业、交通、医疗以及生活等领域中都受到重视和广泛应用。在近些年机器人与智能驾驶技术的进步，无人智能系统在现代应用和生活中越来越重要。如智能家居中的扫地机器人、智能物流中的配送车以及智能战场中的无人战车等，智能车及其相关技术的研究对于提高生活品质、效率及军事作战活动等方面都有重要的影响意义[1]。

综合安全风险、政策风险等因素，无人驾驶技术的商业化会遵循从低速过渡到高速，封闭过渡到开放的发展路线，对无人驾驶技术要求相对较低的农业、工业、物流等领域的特定场景有望在短期内实现无人驾驶技术的落地。例如对于地下煤矿的运输车辆的运行，需要工人周期性对道路进行检查，并且实时监测矿车的运行状况，避免发生碰撞。而地下煤矿比较危险，瓦斯、CO、SO 等易燃有毒气体的涌出量随着矿井开采深度的增加而增加，每年地下煤矿发生瓦斯爆炸事故造成大量的人员伤亡。如果能够实现运输矿车的无人驾驶，则可以节省人力，减

少人发生事故的可能性，同时提高矿车的安全性和稳定性。而地下煤矿场景较为简单，不会出现开放场景中的各种突发情况，无人驾驶更容易实现。

欧美发达国家在矿山铲运机无人驾驶技术应用方面较为成熟，我国尚处于技术应用的转型期[2]。近年来，随着我国矿山装备自动化水平的不断提高，部分矿山已逐步开始从有人驾驶的铲运机过渡到遥控铲运机[3]，遥控铲运机又分为视距遥控铲运机、超视距遥控铲运机和远程遥控铲运机。[4]遥控铲运机的应用为铲运机无人驾驶或自动驾驶技术的研发提供了很好的基础。

1.2 研究意义

随着地下矿开采规模的显著提高，采矿条件变得愈来愈恶劣，对人员安全威胁也愈来愈大，对采矿效率的要求却越来越高，而传统采矿存在劳动者密集、资源消耗多、生产效率低、安全性差等特点。在国家安监总局“机械化换人、自动化减人”科技强安行动等政策推动下[5,6]，机械化、自动化、智能化成为改造传统产业、推进产业转型升级、减员增效、提高矿山安全生产的有效途径。从发达国家矿业发展趋势来看，采矿从手工开始，技术进步起始于作业工具的机械化，发展于单台设备和独立系统的自动化，完成于整个矿山生产过程的自动化。因此，铲运机从有人驾驶迈向无人驾驶是地下矿山装备自动化发展必由之路。生产实践也表明，无人设备可提高生产效率，减少人力成本及安全隐患，具有广泛的市场前景。

而要实现地下矿山地下的无人驾驶，首先应该解决矿下的定位和建图功能，实现矿车的精准地位，为后续的规划决策打下坚实的基础。而地下矿属于非暴露空间，GPS 信号缺失，无法使用卫星定位[7]。而且矿下感知环境退化，算法容易陷入长廊效应，一般的 SLAM 算法无法适应[8]，需要寻找方法进行改进。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 国外研究现状

上个世纪 70 年代起，国外发达国家在矿山领域开展了矿山车辆无人驾驶相关技术研究，经过近 50 年的发展，在矿山无人驾驶领域基本形成了较成熟的解决方案。在少数矿山初步实现了自动化和智能化控制，如瑞典北部生产能力为 200 万吨/年的地下矿山基律纳铁矿。就目前来说，国外发达国家在矿山无人驾驶车辆方面，无论是可行性还是实用性，均走在了前列[9,10]。

加拿大国际镍公司已初步实现了遥控采矿。利用现代的新技术,包括地下通讯、定位、信息处理、监测和控制系统,去操作采矿设备和系统。从20世纪90年代研究遥控采矿技术的目标是实现整个采矿过程的遥控操作。2000年已研制出样机,实现了从地面对地下矿山进行实控制。芬兰也于1992年提出了自己的智能采矿技术方案,涉及采矿过程实时控制、资源实时管理、矿山信息网建设、新机械应用和自动控制等领域。1996年澳大利亚开展地下铲运机专用传感器的选择和控制研究,利用航位推测法、地下地图和激光扫描仪开发传感器和控制系统,实现机车的控制和路标、路障的探测,并将上述系统集成到工业样机中,开发地下自主铲运车。

德国瓦格纳(Wagner)公司于1922年成立,是目前全球生产规模最大、品种最齐全的井下无轨设备生产厂家,也是最早进入矿山地下铲运机领域的生产厂家。该公司于1963年研制出世界第一台铲运机,经过几十年的发展,其产品线不仅极为丰富,设备性能也极为优异,配备了德国Noranda公司最新的遥控技术的SLAM Remote II设备已经实现了铲运机的遥控。现已被山特维克公司收购的汤姆洛克(Tam-rock)也是世界上著名的地下无轨设备生产公司之一,其铲运机和地下矿用卡车制造技术居世界领先水平。其生产的TORO系列铲运机基于视频摄像机装载的自动控制系统,实现自主操纵运输与卸料;车载监控系统能实时监控和反映地下铲运机的性能;强大的通讯系统能确保每台地下铲运机和控制室的连接;导航系统(惯性导航系统和激光扫描仪)不仅可以测试车辆加速度和运行距离,也能监控工作区道路及环境,可以将记录到的所有信息反馈到中心控制室,从而对每台机器的运行与工作循环做出恰当安排。

瑞典山特维克公司生产的无人驾驶铲运机系统是单台铲运机自动化系统,也可升级为单操作台控制多个独立区域内铲运机的多平台自动化系统,并实现铲运机所有操作和监控功能的半自动化。半自动化生产作业循环包括自动化行驶、卸矿(若有固定卸矿点,如溜井或破碎站)和远程遥控铲装。辅助自动装矿功能也包含在系统中,操作员可选择自动装矿或者远程遥控装矿,大大提升了矿山生产效率和安全系数。

加拿大安大略省明特罗尼斯设备公司研发了用于自动汽车和铲运机作业的Opti-Trak系统。该系统不同于传统的司机跟随操作的遥控模式,在未发生机械故障的情况下,控制中心只需要进行车辆装载和调度工作,无需司机照管而自动作业。Opti-Trak系统依靠安装在铲运机前后的激光器工作,通过激光器对巷道顶板

及周围环境进行扫描,确保车辆正常行驶,而且可完成其他功能,如通过在参照物附近设置的反射条型码进行卸矿、换档、检查制动器。

国外利用 SLAM 技术进行地下感知退化场景的建图和定位的研究成果也很多。相关工作研究了不同的传感方式,包括视觉[11],视觉惯性[12],[13]和热惯性[14]。但是,仅依靠视觉进行地下定位和制图可能会遇到挑战,因为摄像机的方向性很强,并且对照明变化和环境条件敏感。激光雷达传感器可提供 360°的水平视野和高采样率,并且不依赖外部光源。因此,从早期的工作[15]到最新的系统[16],[17],[18],[19],[20],[21],3D 激光雷达 SLAM 一直是映射复杂的非结构化环境的流行解决方案。[22]提出了一种地下矿山映射算法,该算法依赖于 2D 扫描匹配和全局对准步骤。[23],[24]提出了一种用于地下隧道中的单机器人和多机器人勘探的系统架构。Zlot 等[25]提出了一种基于激光雷达的 SLAM 方法,用于绘制一个 17 公里的地下铜金矿。为了检测循环闭合,他们使用冲浪表示并搜索与先前轨迹段的匹配。Leingartner 等[26]研究了在城市搜索与救援场景中绘制 1.5 公里长的高速公路隧道时,现成的传感器和最新的制图算法的性能,并得出结论:尚未研究调查的传感和制图技术足够强大以应对这些在感知上退化的环境。Jacobson 等[27]提出了一种半监督方法,该方法依赖于手动选择 300 m 长隧道内的拓扑地标以使用低成本相机传感器执行定位。

1.3.2 国内研究现状

相对于国外发达国家,我国在矿山无人驾驶车辆的开发与研究工作起步较晚。近年来,国内一些高校和研究所,如中南大学、哈尔滨工程大学、浙江大学、上海交通大学以及中科院沈阳自动化研究所等对工程设备在自动控制、遥控等各方面进行了研究,在实验室研究方面和成型系统推广方面都取得了不少成果[28]。

浙江大学的冯培恩教授等人在上个世纪 90 年代末以液压挖掘机为研究对象[29],基于远程无线电遥控系统研制开发出了采掘机器人,该系统由 2 台 PC 机通过扩频无线调制调节器实现,频率范围较为宽广,602 ~ 908 MHz,可实现长达 50 km 的远距离遥控。但该系统仅在实验室实现了自动化操作,在实际工程中缺乏应用和推广。我国工程意义上第一台无线遥控履带式推土机于 2001 年由山东理工大学与山特工程机械股份公司合作研制,该无线遥控系统拥有遥控和手动 2 套操纵方式,有效遥控距离达到了 300 m,可实现远程遥控发动机启停、前进、后退与转向[30]。

进入本世纪后,我国在铲运机的开发及生产过程中,积极引进了国外发达国家先进的以铲运机为代表的地下车辆生产技术,吸收并消化了在液压系统、制动系统、工作机构设计等方面先进的技术及经验,极大地促进了我国铲运机制造业的发展,并针对在实际矿山应用中发现的一些问题与不足,进行了有针对性的改进,使得我国的铲运机性能更符合我国矿山的作业环境与现场实际需求。但是由于起步晚,目前在远程遥控控制、设备自动化和智能化、大型铲运机制造这几个方面与国外领先的铲运机制造企业还存一定的技术差距。国内目前存在的主要问题为视距内遥控距离较近;控制信号抗干扰能力差,传输信道与井下其他通讯系统往往存在干扰问题,响信号传递效果;感知与监测系统对周围环境的感知及模型重建存在精度低、速率慢等问题。

矿冶集团下属公司北京北矿智能科技有限公司研发的井下 1350m 有轨运输水平电机车无人驾驶系统 2020 年在金川三矿区实现井下应用。电机车无人驾驶系统采用了矿冶集团“地下金属矿智能开采技术”项目取得的研发成果,在井下环境中运行有众多优势,一是实现井下精确定位。电机车采用 RFID 无源信标+编码器+非接触式感应开关三重定位系统相结合,实现电机车的精确位移和定位;二是采用有线+无线+漏泄的通讯方式,有效弥补井下特殊环境下的通讯盲点,保证系统运行过程中通讯的连续性、稳定性以及安全性,为无人驾驶系统的可靠运行提供了坚实保障;三是采用列车后部专用视频监控,对最后一节车厢现场工况一目了然,为无人驾驶安全运行提供可靠保证;四是将六大系统人员定位系统、溜井测深系统和无人驾驶系统相融合,起到相辅相成的目的;五是通过拍配矿系统,实现一键式无人驾驶功能,真正意义上实现了井下电机车“无人驾驶”。电机车操作人员在中控室内通过输入配矿指令,一键完成全自动无人驾驶功能,整个过程无需驾驶人员干预,有效改善井下人员作业环境,降低员工劳动强度,提高有轨运输效率,提升矿山安全管控水平,实现井下矿山智能化、无人化目标。

2013 年,中国恩菲工程技术有限公司自主研发的“地下无人驾驶电动车运输技术”获得成功[31]。该地下矿无人驾驶电机车运输系统由智能无人驾驶变频电机车、巷道移动无线通讯系统、电机车自动调度、保护、监视系统、电机车运输供电管控系统四部分组成。电机车牵引列车组在运行过程中实现远程遥控装矿,自动运行、卸矿。运行状态通过无线通讯,实时显示于调度室内。必要时也可通过远程实时调度操控,非常方便。这一技术可以适用于多列机车同时运输的需求。以冬瓜山铜矿实际生产情况为例,采用此项技术后,运输系统作业人员由原来的

40 人减少至 8 人，极大地提高运输效率、降低生产成本。该项技术在铜陵冬瓜山铜矿的成功应用，填补了我国乃至亚洲的一项科技空白。

中国宝武马钢集团与中国电信安徽公司、中兴通讯合作在 2020 年在宝钢资源马钢矿业南山矿完成下沉式 5G MEC (Mobile Edge Computing 移动边缘计算) 服务器不熟，结合矿区 5G 网络，实现全省首批两台露天矿坑 5G 无人驾驶矿车上线试运行。项目充分运用了 5G 高速率、低时延、大容量等技术优势，改造了现有采矿等生产模式。该项目运用 5G 低延时技术，建立 5G 智能调度系统、协同装载和卸载系统、应急接管系统，并且综合运用无人机巡检、矿坑 VR 实景观测、高清无线视频监控等技术，有望实现传统矿山无人化智能生产。

近年来，我国矿山安全事故频发，这不仅与一些矿山企业安全意识淡薄、安全基础设施薄弱有关，更重要的是我国数字化矿山建设没有跟上矿业的高速发展，我国矿山尤其是地下矿山，主流仍然是劳动密集型生产模式，极大地提高了矿山安全事故发生几率。借鉴国外发达国家矿业发展之路，数字化矿山建设将是解决矿山安全的根本之路，最终实现减直至达到无人地下开采的生产模式，实现真正意义上的安全矿山。而人工智能及大数据为代表的新的信息革命的兴起为我国新型智能铲运机发展提供了弯道超车的便利。未来无人铲运机的发展，在实现自动化的基础上，将更多地侧重于智能化方面，实现井下智能化采矿。依托人工智能及现场生产的大数据技术，从环境自动感知、作业智能运行、行为深度学习等方面开展研究。

1.3 研究挑战

无人驾驶主要分为感知、定位、规划、决策四个部分。而在这四个部分中，定位和制图无疑起到至关重要的作用。因为只有自动驾驶车辆知道自己的位置，才能为后面的决策，规划，控制提供导向。但定位也是最难的问题，在实际环境中，有很多问题影响定位的精确性。

当前的无人矿车定位主要采用 RFID 无源信标+编码器+非接触式感应开关三重定位系统相结合，实现矿车的精确位移和定位，但是这种定位方式需要安装大量的有源设备，工作量比较大，并且定位精度不高；二是采用有线+无线+漏泄的通讯方式，有效弥补井下特殊环境下的通讯盲点，保证系统运行过程中通讯的连续性、稳定性以及安全性，为无人驾驶系统的可靠运行提供了坚实保障，但这种定位方式也需要安装大量额外的设备，并进行大量的调试工作。所以急需寻找一

种对矿洞改造小，成本低廉的矿车定位方式。

激光 SLAM 今年来发展迅猛，各种算法层出不穷，定位精度也越来越高。而要实现精确的定位，一个好的地图以及重定位算法也是不可或缺的。在地下矿环境下，没有先验环境图，也不能依靠 GPS 定位车辆进行建图。而地下矿道路特征较少，不幸的是，大多数 SLAM 系统在可感知退化的地下环境中部署时性能不足。由于矿山地下空间光线昏暗，视觉较差，这使视觉 SLAM 方法变得不可靠[32]；不平坦和湿滑的地形使车轮里程计不准确，而漫长而无特色的走廊使基于激光雷达的制图易于漂移；最后，由于感知混叠，许多外观相似的隧道和交叉点的存在会导致虚假的环路闭合，从而降低建图效果。要在这种感知退化的恶劣环境中实现激光 SLAM 的建图和重定位，难度极大，但又富有研究价值。

参考文献 Reference:

- [1]. 丛红日,金添. 无人作战系统的组织运用研究[A]. 中国指挥与控制学会.第六届
- [2]. 刘立. 现代矿山新趋势: 自动化和智能化 [J]. 矿业装备, 2011(7): 34-37.
- [3]. 荆永滨,王李管,魏建伟,等. 地下矿山开采的智能化及其实施技术[J]. 矿业研究与开发, 2007, 27(3): 49-52.
- [4]. 杨洋. 地下矿山铲运机无人驾驶技术发展及应用[J]. 现代矿业, 2018, 000(010):73-77.
- [5]. 陈宏. “机械化换人、自动化减人”——以安全生产科技创新遏制重特大事故发生 [J]. 科学家, 2016(14): 27.
- [6]. 潘文峥. 大力推进机械化自动化, 加强安全生产工作 [J]. 中国安全生产, 2015(7): 25.
- [7]. 李建国, 战凯, 孟丽, 等. 一种井下无人驾驶铲运机行驶定位系统及方法:, 2015.
- [8]. Zang, Yuan, Zou, et al. A Two-Step Particle Filter for SLAM of Corridor Environment[C]// IEEE International Conference on Information Acquisition. IEEE, 2007.
- [9]. 吴和平, 吴玲, 张毅, 等. 井下无人采矿技术装备导航与控制关键技术 [J]. 有色金属: 矿山部分, 2007, 59(6): 12-16.
- [10]. 战凯, 顾洪枢, 周俊武, 等. 地下遥控铲运机遥控技术和精确定位技术研究 [J]. 有色金属工程, 2009, 61(1): 107-112.
- [11]. R. Mur-Artal, J. M. M. Montiel, and J. D. Tardos. “ORB-SLAM: a versatile and accurate monocular SLAM system.” IEEE transactions on robotics 31, no. 5, pp. 1147-1163, 2015.
- [12]. M. Bloesch, S. Omari, M. Hutter, and R. Siegwart, “Robust visual inertial odometry using a direct ekf-based approach, in Intelligent Robots and Systems (IROS), 2015 IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2015, pp. 2983-04.

- [13]. S. Leutenegger, S. Lynen, M. Bosse, R. Siegwart, and P. Furgale, “Keyframe-based visualinertial odometry using nonlinear optimization, The International Journal of Robotics Research, vol. 34, no. 3, pp. 314334, 2015.
- [14]. S. Khattak, F. Mascarich, T. Dang, C. Papachristos, and K. Alexis. “Robust Thermal-Inertial Localization for Aerial Robots: A Case for Direct Methods.” In 2019 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), pp. 1061-1068. IEEE, 2019.
- [15]. A. Nuchter, H. Surmann, K. Lingemann, J. Hertzberg, and S. Thrun. “6D SLAM with an application in autonomous mine mapping.” In IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA’04. 2004, vol. 2, pp. 1998-2003. IEEE, 2004.
- [16]. J. Zhang, and S. Singh. “LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time.” In Robotics: Science and Systems, vol. 2, p. 9. 2014.
- [17]. W. Hess, D. Kohler, H. Rapp, and D. Andor. “Real-time loop closure in 2D LIDAR SLAM.” In 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 1271-1278. IEEE, 2016.
- [18]. T. Shan, and B. Englot. “LeGO-LOAM: Lightweight and groundoptimized lidar odometry and mapping on variable terrain.” In 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 4758-4765. IEEE, 2018.
- [19]. X. Ji, L. Zuo, C. Zhang, and Y. Liu. “LLOAM: LiDAR Odometry and Mapping with Loop-closure Detection Based Correction.” In 2019 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), pp. 2475-2480. IEEE, 2019.
- [20]. R. Dub, A. Cramariuc, D. Dugas, J. Nieto, R. Siegwart, and C. Cadena. “SegMap: 3D segment mapping using data-driven descriptors.” arXiv preprint arXiv:1804.09557 (2018).
- [21]. C. L. Gentil, T. Vidal-Calleja, and S. Huang. “IN2LAAMA: INertial Lidar Localisation Autocalibration And MApping.” arXiv preprint arXiv:1905.09517 (2019).
- [22]. S. Thrun, D. Hahnel, D. Ferguson, M. Montemerlo, R. Triebel, W. Burgard, C. Baker, Z. Omohundro, S. Thayer, and W. Whittaker. “A system for volumetric robotic mapping of abandoned mines.” In 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 03CH37422), vol. 3, pp. 4270-4275. IEEE, 2003.
- [23]. D. Tardioli, D. Sicignano, L. Riazuelo, J. L. Villarroel, and L. Montano. “Robot teams for exploration in underground environments.” In Workshop ROBOT11: Robtica Experimental, pp. 205-212. 2012.
- [24]. D. Tardioli, L. Riazuelo, T. Seco, J. Espelosa, J. Lalana, J. L. Villarroel, and L. Montano. “A robotized dumper for debris removal in tunnels under construction.” In Iberian Robotics conference, pp. 126-139. Springer, Cham, 2017.
- [25]. R. Zlot and M. Bosse, “Efficient large-scale 3d mobile mapping and surface reconstruction of an underground mine. In Field and service robotics, pp. 479-493. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014.
- [26]. M. Leingartner, J. Maurer, A. Ferrein, and G. Steinbauer. “Evaluation of sensors and mapping approaches for disasters in tunnels.” Journal of field robotics 33, no. 8, pp. 1037-1057, 2016.
- [27]. A. Jacobson, F. Zeng, D. Smith, N. Boswell, T. Peynot, and M. Milford. “Semi-supervised slam: Leveraging low-cost sensors on underground autonomous vehicles for position tracking.” In 2018 IEEE/RSJ International Conference on

- Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 3970-3977. IEEE, 2018.
- [28]. M. 伍夫, 马驰德, 李显靖. 矿山自动化的发展现状 [J]. 国外金属矿山, 1999(5): 41-44.
- [29]. 陈盟, 王李管, 贾明涛, 等. 地下铲运机自主导航研究现状及发展趋势 [J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(3): 130.
- [30]. 王健. 超视距无线遥控推土机控制系统研究[D]. 山东理工大学, 2013.
- [31]. 杨志国. 中国恩菲签订冬瓜山铜矿-1000m 无人驾驶电机车项目总承包合同[J]. 中国有色金属, 2018.
- [32]. D. Tardioli, L. Riazuelo, D. Sicignano, C. Rizzo, F. Lera, J. L. Villarroel, and L. Montano. "Ground robotics in tunnels: Keys and lessons learned after 10 years of research and experiments." Journal of Field Robotics 36, no. 6, pp. 1074-1101, 2019.

2、课题研究目标、主要研究内容和拟解决的关键问题。 **Research objectives, main contents and key issues to be solved.**

2.1 研究目标

- 1) 利用加靶标的策略改进现有在感知退化场景下建图易漂移的问题, 实现长隧道的激光 SLAM 地图建立
- 2) 改进感知退化场景下无人驾驶车辆重定位困难的问题, 实现隧道里小车定位实时精度在 20cm
- 3) 实现多次建图的点云的拼接算法, 解决感知退化场景下大尺度建图精度不高的问题

2.2 主要研究内容

- 1) 靶标的设计与安装, 实现感知场景下的激光 SLAM 建图和定位
- 2) 靶标点云地图的建立: 利用激光 SLAM 算法, 建立靶标的点云地图
- 3) 重定位: 靶标点云地图建好以后, 与实时扫描得到的点云地图进行匹配, 然后利用粒子滤波算法, 对车辆进行精准的重定位

2.3 拟解决的关键问题

- 1) 感知退化场景下激光 SLAM 建图容易漂移的问题
- 2) 感知退化场景下激光 SLAM 定位不准的问题
- 3) 感知退化场景下大尺度建图精度不高的问题

3、拟采取的研究方法、研究方案及其可行性分析。 **Research methods and research scheme to be adopted and feasibility analysis.**

3.1 研究方法：

文献研究法：广泛调研激光 SLAM 地图的构建算法，建立 SLAM 地图和靶标点云地图；调研激光点云地图的重定位算法，并在基础上进行算法的改进；调研多传感器融合定位的文献。

实验法：对于算法编写之后，应该利用实际采集的数据进行验证，最后还应该对导航算法进行无人驾驶的验证。

3.2 研究方案

1)靶标的设计与安装

隧道特征比较少，所以设计靶标，安装在墙上，并保证一定距离内（比如 40 米）靶标的安装位置或靶标结构不一样，避免高重复场景引起激光 SLAM 的长廊效应。并且在靶标上贴上反光贴，保证激光点云在上面可以反射强度较高。

2)靶标点云地图和所有点云地图的建立

车辆的实时位姿估计用激光 SLAM，建立所有的点云地图；同时利用反射强度的差异将靶标点云提取出来，建立靶标点云地图。最终的靶标点云地图需要进行后处理，将噪声点去除。

3)重定位

给定一个较为精确的初始位姿，同时利用激光里程计做位姿估计，利用点云强度信息将靶标激光点云提取出来，建立实时靶标的点云图，并与建好的靶标点云地图做 ICP 匹配，并结合靶标之间的拓扑结构，同时利用粒子滤波定位算法，实现精准的重定位。实时构建靶标点云地图时也需要进行滤波，将少量误识别的噪点去除。

4)多岔道口建图：首先建好一条路的靶标点云图和所有的点云图，然后在路的

起点开始进行重定位，到了岔路口时开启建图功能，最终实现多岔道的建图功能，实现多点云地图的拼接。

3.3 可行性分析

1)理论分析

激光 SLAM 算法比较完善，开源项目较多，可以广泛地学习。当前的激光 SLAM 算法在特征多的场景效果较好。对于退化场景中的失效的问题，我们可以人为设置一些靶标，给场景加入特征，SLAM 建图应该能够实现。而重定位的算法有粒子滤波、ICP 匹配等等，只要将靶标数据提取出来进行匹配重定位，预想可以实现高精度重定位。大尺度建图的难点在于地图的拼接，只要匹配策略设计得当，也可以实现较为精准的建图。

2)实验分析

实验室也有自动驾驶车辆，并配备了组合导航、32 线激光雷达、16 线激光雷达、IMU 等等传感器，后期可以很方便地对算法进行实车实验，验证算法的鲁棒性和泛化能力。

3)研究人的研究经验

研究人在研究生期间主要学习的是自动驾驶算法的开发，对于激光雷达 SLAM 算法和多传感器融合有一定的了解，对于实验室的自动驾驶车辆的操作比较熟悉，实验器材使用熟练，后期做实验比较方便。

4、课题的创新点 **Novelties of the proposed topic.**

1)在缺乏特征的长隧道里面，通过设计安装靶标，解决感知退化场景的激光 SLAM 建图容易漂移的问题

2)设计了一种基于拓扑的激光 SLAM 定位算法，实现感知退化场景下的车辆重定位

3)设计了一种在感知退化场景下进行大尺度建图的算法策略，实现了大尺度建图

5、计划进度、预期成果 **Research schedule, and expected outcomes**

5.1 计划进度

2021.1.1-2021.2.1 调研激光 SLAM 建图算法，并对靶标进行设计

2021.2.1-2021.4.1 建立靶标点云图和所有的点云图

2021.4.1-2021.6.1 编写基于靶标地图的重定位算法

2021.6.1-2021.8.1 进行多次建图的拼接

2021.8.1-10.1 进行实车实验，验证算法的鲁棒性

2021.10.1-撰写毕业论文，做答辩 PPT

5.2 预期成果

1)实现感知退化场景下基于靶标的激光 SLAM 建图和重定位，重定位精度在 20cm 以内

2)实现大场景激光点云图的拼接，拼接的精度在 30cm 以内

6、与本课题有关的工作积累、已有的研究工作成绩。 **Prior experience and accomplished achievements related to the proposed topic.**

1)目前已完成靶标的设计工作，初步实验表明靶标的设计合理

2)激光 SLAM 建图算法比较熟悉，曾在横向项目上探索过。

本人承诺：开题报告中的内容真实无误，若有不实，愿承担相应的责任和后果。**I hereby declare and confirm that the details provided in this Form are valid and accurate. If anything untruthful found, I will bear the corresponding liabilities and consequences.**

学生签字/**Signature of Student:**

日期/**Date:** 2020-12-29

全文字数统计：1559。

二、开题报告评审 Review of the Thesis/Dissertation Proposal 注：通过数字交大在线流程进行时，本页及后续内容不用填写、上传；特殊情况下，经研究生院同意，可用此表线下进行开题报告记录汇报时，需填写本页及后续内容。This section does not need to be filled or uploaded to the system if the thesis/dissertation proposal application is submitted through My SJTU.)

1. **课程学习情况 Coursework** （本栏由研究生填写，导师负责核对确认 This table shall be filled by the graduate student, and verified by the supervisor.）

培养计划中是否尚有未通过课程？ Is there any unpassed course remained in the training plan?	<input type="radio"/> 是 Yes <input type="radio"/> 否 No
培养方案要求总学分、GPA 学分 Total credits and GPA credits required by the program	30, 19
培养计划总学分、GPA 学分 Total credits and GPA credits of the training plan	31, 20
已修课程总学分、GPA 学分 Total credit and GPA credits acquired hitherto	27, 19
已修课程 GPA（硕士生、直博生） GPA of the finished courses (if applicable)	3.51

2. 导师意见 Comments of Supervisor

- 1) 请确认课程学习情况信息的准确性 Please confirm if the information provided in the *Coursework* section is valid/accurate or not:

☐ 准确无误 Valid and accurate ☐ 有不确切处 Inaccurate

- 2) 请对研究生开题报告规范性，论文选题的学术性（学术型）、实践性或实用性（专业型）、前沿性，研究方案的可行性等进行评述。Please comment on the thesis/dissertation proposal.

- 3) 对研究生学业进展、研究能力、治学态度的综合评价。Please comment on the academic progress, research potential, altitude of the graduate student.

签名/Signature:

日期/Date: 2020-12-29

3. 专家组评审 Committee Review

1) 专家组成员 Review Committee Members

序号 Index	姓名 Name	工号 Work ID	职 称 Title	工 作 单 位 Affiliation	本人签名 Signature
1					
2					
3					
4					
5					
秘书					

2) 专家组意见 Comments

3) 审查结论/Conclusion:

☐ 通过/Pass

☐ 不通过/Fail

(通过票数/Votes for pass: ; 不通过票数/Votes for fail:)

组长签名/Signature of Committee Chair:

日期/Date: 2020-12-29

4. 院系意见 School Review

- ☐ 通过 Pass。
- ☐ 不通过 Fail。
 - ☐ 建议下次重新开题 Retake the thesis/dissertation proposal next semester (仅限第一次开题未通过时)
 - ☐ 建议转为硕士生培养 Transfer to master program (仅限博士生第二次开题未通过时)
 - ☐ 建议退学 Suggest to withdraw from the university

主管领导签字 Signature

盖章 Stamp

日期 Date:

备注 Remarks:

注：研究生开题报告评审记录应通过数字交大在线流程系统提交，本表格不存档。特殊情况下，经研究生院同意，可用此表格线下进行；在此情况下，本表格由院系研究生教务办负责存档。考核完成后，院系应在一周内将考核结果提交至研究生院。

附件/Attachment:

查新中心站管理编号/ No. of the Novelty Assessment Department:

科技查新报告

Sci-tech Novelty Assessment Report

课题名称 Project Title:

委托单位 Entrusted by:

报告日期 Report date:

认证单位 Certified by:
