

基于激光雷达在无人车中的定位与建图的应用研究综述

王庆闪¹ 张 军² 靳欣宇³

(北京联合大学北京市信息服务工程重点实验室 北京 100101)¹

(北京联合大学机器人学院 北京 100101)² (北京联合大学智慧城市学院 北京 100101)³

摘 要 在人工智能时代,无人驾驶是一个比较热门的领域。文中主要论述了基于激光雷达在无人车中的应用,实时定位与地图构建(Simultaneous Localization and Mapping,SLAM),即激光雷达 SLAM,主要有 3 个最基本的工作:数据的预处理、点云的匹配、地图的构建。文中论述了基于 ICP 算法、NDT 算法、NDT 与 ICP 的快速点云匹配方法进行点云的匹配,实时定位与地图构建。

关键词 人工智能,无人车,ICP 算法,NDT 算法,点云匹配

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A

Survey of Application Research of Simultaneous Localization and Mapping Based on Lidar in Driverless

WANG Qing-shan¹ ZHANG Jun² JIN Xin-yu³

(Beijing Key Laboratory of Information Service Engineering, Beijing Union University, Beijing 100101, China)¹

(College of Robotics, Beijing Union University, Beijing 100101, China)²

(Smart City College, Beijing Union University, Beijing 100101, China)³

Abstract In the era of artificial intelligence, driverless is a hot area. This paper mainly discussed the application of laser radar in unmanned vehicles. At the same time, simultaneous localization and mapping (SLAM), ie, laser radar SLAM has three basic tasks: data preprocessing, point cloud matching, and the construction of the map. This paper discussed the matching of point cloud based on ICP algorithm, NDT algorithm, NDT and ICP fast point cloud matching method, simultaneous positioning and map construction.

Keywords Artificial intelligence, Driverless, ICP algorithm, NDT algorithm, Point cloud matching

1 引言

文中主要论述了基于激光雷达在无人车中的主要应用,即实时定位与地图的构建。无人车在未知的环境中,从无人车当前的地点开始运动以增量式地对周围环境进行地图构建,在此基础上,无人车实现自主定位以及导航,即解决了无人车在未知环境中最基本的两个问题:我在哪,我要去哪?

概率 SLAM(Probabilistic SLAM)起源于 1986 年在旧金山举行的 IEEE Robotics and Automation Conference,这是机器人领域与人工智能领域研究结

合的开端。随后,由 Smith 等于 20 世纪 80 年代末 90 年代初提出概率地图(Stochastic Map)^[1],用于移动机器人的即时定位与地图创建。与此同时,Smith 等^[2]提出了基于卡尔曼滤波的 SLAM 算法,目前此算法被广泛应用于无人车中,并起到了很好的效果。

激光雷达 SALM 技术主要实现对无人车的定位和周围环境的地图构建。因为在实际测试中发现,在 GPS 信号失灵(包括大桥、隧道、高楼的遮挡以及树木、高架桥等影响)的情况下,无人车会盲目行驶,造成一系列灾难性的后果,因此 SLAM 技术在无人车中的应用非常重要。

王庆闪(1992—),男,硕士生,主要研究方向为激光雷达 SLAM;张 军(1971—),女,博士,副教授,主要研究方向为智能检测、无人车智能驾驶决策;
靳欣宇(1992—),男,硕士生,主要研究方向为智能驾驶决策。

2 基于点云匹配的位姿估计算法

2.1 基于 ICP 算法的点云匹配

计算机视觉研究者 Besl 和 McKay^[3]于 1992 年介绍了一种高层次的基于自由形态曲面的配准方法,也称为迭代就近点法(Iterative Closest Point, ICP)。以点集对点集(PSTPS)的配准方法为基础,他们阐述了一种曲面拟合算法,该算法是基于四元数的点集到点集的配准方法。ICP 配准法主要用于解决基于自由形态曲面的匹配问题,其特点在于在进行算法匹配的过程中不需要进行环境特征的提取,并且收敛速度和匹配精度完全依赖于相匹配的两个点云数据中最邻近点对的搜索结果。目前,最邻近点对的搜索方式主要有:点到点(Point to Point)最邻近搜索、点到平面(Point to Plane)最邻近搜索算法、点到投影(Point to Projection)、收缩投影点(Contractive Projection Point)最邻近搜索^[4]。

ICP 算法的点云匹配的基本步骤为:假设有两个点云集分别为 p_1 和 p_2 ,每一步迭代都是朝着距离最小的目标进行。1)筛选点对:根据点云集 p_1 中的点,在点云集 p_2 中找到其对应的点,组成一个点对;找出两个点集中所有的点对。点对集合相当于进行有效计算的两个新点集。2)根据点集对,即两个新点集,计算两个重心。3)由新点集,计算出下一步计算的旋转矩阵 R 和平移矩阵 t 。4)得到旋转矩阵和平移矩阵 R_t ,就可以计算点集 p_2 进行刚体变换之后的新点集 p_2' ,再计算 p_2 到 p_2' 的距离平方和,以连续两次距离平方和之差的绝对值,作为是否收敛的依据。若小于阈值,则收敛,停止迭代。

2.2 基于 NDT 算法的点云匹配

Biber 等^[5]于 2003 年首次提出一种根据 NDT (Normal Distribution Transformation)函数完成点云匹配的 2D-NDT 算法,并将其成功应用于 SLAM 中。瑞典厄勒布鲁大学的 Magnusson^[6]在 2006 年提出了 3D-NDT 算法,并不断改进该算法^[7-8],使之更加适用于机器人所采集的点云数据的匹配。与此同时,土耳其的 Cihan 等^[9]改进了 NDT 算法并提出多层 NDT (ML-NDT)算法,韩国的 Choe 等^[10]把 NDT 算法应用到点云分类中。国内的蔡则苏等^[11-12]在 SLAM 中简单地应用了 NDT 算法。

正态分布变换(NDT)算法是一种匹配算法,它应用于三维点的统计模型,使用标准最优化技术来确定两个点云间的最优匹配,因为其在匹配过程中

不利用对应点的特征计算和匹配。NDT 算法在点云数据匹配中的大概步骤为:把扫描的三维点云数据分隔成大小相同的三维单元格,将每个三维单元格内的点云数据转换成一个连续可微的概率密度分布函数,然后采用 Hessian 矩阵法来求解与其他点云之间的匹配。其特点是点云之间匹配的速度和效率高,但是精确度却不高。

2.3 基于 NDT 与 ICP 的快速点云匹配算法

由于传统点云数据匹配算法的速度与精确度不兼容,杨飏等^[13]提出了基于正态分布变换与迭代最近点的快速点云配准算法。ICP 算法对点云数据的初始值的要求较高,虽然在点云匹配时的精确度较高,但是处理激光雷达扫描的海量数据时显然速度较慢。NDT 算法在点云匹配的过程中不利用对应点的特征值来计算点云匹配,因此对大量的点云数据,其匹配速度快,但是其匹配精度不高。本算法的特点是首先采用 NDT 算法对经过精简的待匹配点云数据进行粗略匹配,然后在此基础上使用 ICP 算法对精简后的点云数据进行微调,最后再次使用 ICP 算法对未精简的点云数据进行精确匹配,从而得到匹配后的点云模型。通过渐进式的匹配策略不仅可以提高配准速度,还可以保证配准精度。

基于 NDT 与 ICP 的快速点云匹配算法主要分为 3 个步骤:1)采用 NDT 算法进行点云粗匹配,调整两点云间的距离和点云姿态;2)采用 ICP 算法对粗配后的点云数据进行微调,调整点云位置与姿态;3)采用 ICP 算法对微调后的点云进行精确匹配。

3 基于激光雷达点云的地图创建

对于环境信息的描述,根据使用的传感器及所要完成任务的不同,有着不同的方法。移动机器人领域的学者提出了多种表示法,主要可分为 3 类:栅格地图表示法、几何信息表示法、拓扑地图表示法。

4 发展趋势与展望

随着强大的感知时代的到来,SLAM 需要面对一系列新的挑战。故障安全 SLAM 系统的设计、自调整算法的开发,为环境创建先进的度量和语义表示,以及任务感知和资源感知 SLAM 系统的实现等都带来了巨大的挑战,最近新的理论工具和新型传感器的可用性使其变得更加丰富。SLAM 仍然是大多数机器人应用不可缺少的支柱,尽管过去几十年取得了令人瞩目的进步,但现有的 SLAM 系统还没有提供具有观察力、可操作性和紧凑型环境的模型。

(下转第 130 页)

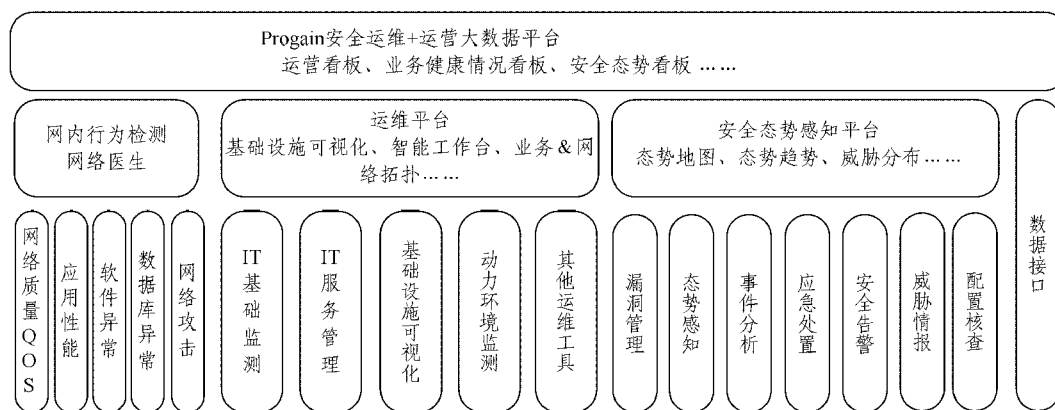


图 2 规划蓝图

结束语 文中对运维现状进行了分析,给出了运维的定义以及服务的理念。运维数据作为业务运营的基础数据,目前并未能为运营提供支撑,因此需要采用关联性分析机制真正利用所有数据,使其发挥最大价值。本文只是我个人对运维发展的展望,作为抛砖引玉,希望能引起大家的思考和讨论,为运

维发展尽绵薄之力。

参 考 文 献

- [1] 章斌. 基于 ITIL 的 IT 服务管理导论[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [2] 王庆霞. 浅谈 IT 运维管理的应用与实践[J]. 信息安全与技术,2012,3(11):12-14.

(上接第 118 页)

参 考 文 献

- [1] SMITH R, SELF M, CHESSEMAN P. Estimating Uncertain Spatial Relationships in Robotics[C]// Proceedings of Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, 1988:435-461.
- [2] SMITH R, SELF M, CHESSEMAN P. Estimating Uncertain Spatial Relationships [M]// Autonomous robot vehicles. New York: Springer-Verlag, 1990:167-193.
- [3] BESL P J, MCKAY N D. A method for registration of 3-D shapes[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(2): 239-256.
- [4] 郑德华. 三维激光扫描数据处理的理论与方法 [D]. 上海: 同济大学, 2005.
- [5] BIBER P, STRASSER W. The normal distributions transform: a new approach to laser scan matching [C]// Proceedings of the 2003 IEEE/RJS International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2003: 2743-2748.
- [6] MAGNUSSON M. 3D Scan Matching for Mobile Robots with Application to Mine Mapping [D]. Örebro: Örebro University, 2006.
- [7] MAGNUSSON M, LILIENTHAL A J, TDUCKETT T. Scan registration for autonomous mining vehicles using 3D-NDT[J]. J Field Robotics, 2007, 24(10): 803-827.
- [8] MAGNUSSON M, ANDREASSON H, NÜCHTER A, et al. Automatic appearance-based loop detection from 3D laser data using the normal distributions transform [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2009: 23-28.
- [9] CIHAN U, TEMELTA H. 3D multi-layered normal distribution transform for fast and long range scan matching [J]. J Intelligent & Robotic Systems, 2013, 71(1): 85-108.
- [10] CHOE Y, SHIM I, CHUNG M J. Urban structure classification using the 3D normal distribution transform for practical robot applications [J]. Advanced Robotics, 2013, 27(5): 351-371.
- [11] 蔡则苏, 洪炳谿, 魏振华. 使用 NDT 激光扫描匹配的移动机器人定位方法[J]. 机器人, 2005, 27(5): 414-419.
- [12] 李贤善, 赵逢达, 孔令富. 家庭服务机器人基于 NDT 扫描匹配的 SLAM 研究[J]. 计算工程与应用, 2009, 45(25): 246-248.
- [13] 杨飏, 李三宝, 王力. 基于正态分布变换与迭代最近点的快速点云配准算法[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(15): 91-95.