

doi: 10.7690/bgzd.2025.12.013

改进 ORB-SLAM2 算法的视觉地图构建方法

王帅帅, 许舒晨, 孙永荣, 赵 伟

(南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016)

摘要: 为解决环境亮度变化情况下 ORB-SLAM2 算法无法稳定、准确地提取特征点, 以及长直路段由于选取大量冗余关键帧导致构建的视觉地图很大的问题, 提出一种改进 ORB-SLAM2 算法的视觉地图构建方法。通过自适应阈值特征点提取算法, 利用图像灰度值离散程度自适应阈值提取特征点, 增强系统抵抗环境亮度变化的能力; 将帧间偏航角与距离作为关键帧筛选的条件, 通过内点数动态更改关键帧筛选阈值, 剔除冗余关键帧, 轻量化视觉地图; 基于 KITTI 数据集与智能车实验平台进行实验验证。实验结果表明: 该方法能有效提高视觉地图构建的鲁棒性和准确性, 地图存储容量减小 50% 以上。

关键词: ORB-SLAM2; 自适应阈值; 特征点提取; 关键帧筛选

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Improved Visual Map Construction Method for ORB-SLAM2 Algorithm

Wang Shuaishuai, Xu Shuchen, Sun Yongrong, Zhao Wei

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to solve the problem of the ORB-SLAM2 algorithm being unable to extract feature points stably and accurately under changes in environmental brightness, as well as the problem of constructing large visual maps on long and straight road sections due to the selection of a large number of redundant keyframes, an improved visual map construction method based on the ORB-SLAM2 algorithm is proposed. By using an adaptive threshold feature point extraction algorithm and utilizing the degree of dispersion of image grayscale values to adaptively threshold feature points, the system's ability to resist changes in environmental brightness is enhanced; Using the inter frame yaw angle and distance as the criteria for keyframe filtering, dynamically changing the keyframe filtering threshold through the number of inliers, removing redundant keyframes, and lightweighting the visual map; Conduct experimental verification based on the KITTI dataset and intelligent vehicle experimental platform. The experimental results show that this method can effectively improve the robustness and accuracy of visual map construction, reducing map storage capacity by more than 50%.

Keywords: ORB-SLAM2; adaptive threshold; feature point extraction; keyframe filtering

0 引言

随着自动驾驶技术的快速发展, 在卫星信号拒止情况下, 如何保证车辆全自主、长航时、高精度定位是当前研究的热点。目前, 主流的做法是在道路两侧安装信号地标对惯导的累计误差进行修正, 但该方法存在地标维护成本高等问题。此外, 通过引入路网地图可以对车辆导航的累计误差进行约束, 但长直路段无法对累积误差进行修正。除了上述方法, 视觉导航具有普适性强、传感器相对便宜等优点, 从而在机器人、无人机等领域得到越来越广泛的应用^[1-3]。薛杨等^[4-5]基于 ORB-SLAM2 算法提出了一种测绘导航系统, 可以在卫星信号拒止环境下, 通过视觉进行高精度导航定位。但在视觉地图构建过程中存在以下问题: ORB-SLAM2 算法采用快速特征检测与描述 (oriented fast and rotated brief, ORB) 算法提取特征点, 然而 ORB 算法采用

固定阈值进行特征点提取, 导致不同光照条件下, 特征点提取稳定性、准确性差^[6]。ORB-SLAM2 算法重点关注内点、线程状态来筛选关键帧, 筛选条件宽松, 大量冗余关键帧和劣质关键帧被选取, 导致构建的视觉地图很大, 增加了地图存储成本, 限制了地图测绘的范围。

针对光照影响特征点提取的问题, 众多学者对 ORB 算法进行了改进。谷学静等^[7]提出一种基于四叉树分解法和 RANSAC 方法的改进 ORB 算法, 提高了 ORB 算法的匹配精度和快速性。廖泓真等^[8]利用四叉树算法和高斯核对函数对 ORB 算法进行了改进, 提升了特征匹配准确性。袁小平等^[9]提出一种结合灰度图像分类和自适应半径的改进算法, 提高了复杂光照条件下的匹配准确性。虽然上述改进 ORB 算法, 在光照变化情况下提升了特征匹配准确性和速度, 但是均采用固定阈值进行特征点提

收稿日期: 2024-10-15; 修回日期: 2024-11-09

第一作者: 王帅帅 (1997—), 男, 江苏人, 硕士。

取,定位精度没有明显提升。针对大量冗余关键帧、劣质关键帧被选取的问题,一些科研人员对 ORB-SLAM2 算法的关键帧筛选进行了优化。Tao 等^[10]先采用劣质关键帧去除算法去除劣质关键帧,后采用双向索引关键帧策略补充高质量关键帧,成功降低了绝对轨迹误差。Xie 等^[11]采用重复运动检测算法消除相机来回运动产生的冗余关键帧,该方法在实时性和定位精度方面取得了较好效果。徐武等^[12]通过在相邻图像帧间添加相对运动量的综合变换因数,提升了关键帧筛选的准确度。上述改进关键帧筛选算法,虽对冗余关键、劣质关键帧进行了处理,但是旨在优化定位精度,并不能大幅度减小视觉地图的容量。

为此,笔者提出一种自适应阈值特征点提取算法,根据图像灰度值的离散程度自适应求取特征点提取阈值,减小光照变化对特征点提取的影响,增强了地图构建的鲁棒性和准确性。然后,引入当前帧和参考关键帧间偏航角和距离作为关键帧筛选条件,并通过内点数来动态更改筛选阈值,保证系统鲁棒性的同时,减小冗余关键帧的选取。本文中改进关键帧筛选算法,在保证系统高精度定位的同时,大幅度减小视觉地图的存储容量,有利于视觉地图的存储。

1 视觉地图构建方案设计

图 1 为本文中设计的视觉地图构建方案结构。

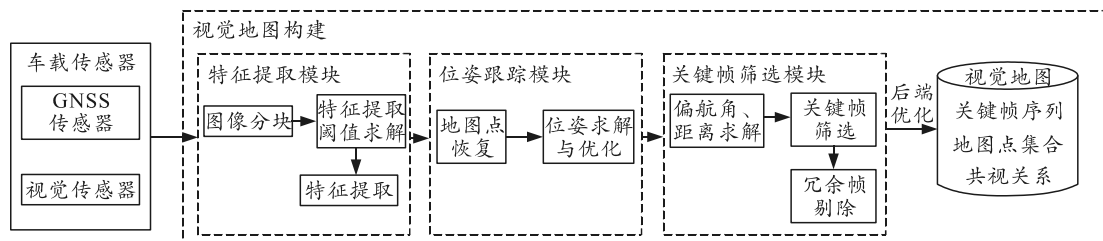


图 1 视觉地图构建方案结构

视觉地图构建主要包含特征提取模块、位姿跟踪模块和关键帧筛选模块 3 部分:特征提取模块对图像网格化分块后,用自适应阈值特征点提取算法求取特征提取阈值并根据求取的阈值对图像特征点进行提取;位姿跟踪模块根据接收特征提取模块提取的特征点,恢复地图点并对相机位姿进行求解和优化;关键帧筛选模块,根据当前帧与参考关键帧间偏航角和距离筛选关键帧。经过上述处理后对关键帧与地图点进行后端优化,并根据优化后的关键帧序列、地图点集合和共视关系构建视觉地图。

在测绘阶段构建的视觉地图,用于导航阶段匹配定位,实现无卫星信号情况下的高精度导航定位。

2 特征点提取

2.1 ORB 特征点提取

ORB 算法采用加速分段测试特征(features from accelerated segment test, FAST)算法对特征角点进行提取,相较于尺度不变特征转换(scale invariant feature transform, SIFT)算法和加速稳健特征(speeded up robust features, SURF)算法具有显著的实时性优势^[13-14]。FAST 算法确认特征点只需对比图像像素亮度的大小、速度快捷。图 2 为 FAST 特征点。

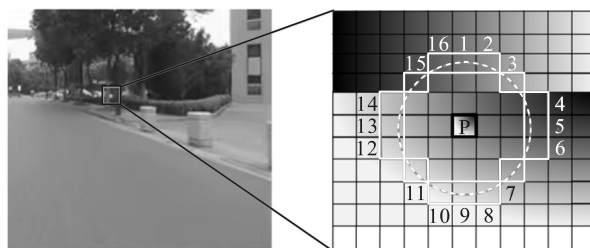


图 2 Fast 特征点结构

FAST 算法以像素 P 为中心选取半径为 3 的圆上的 16 个像素点,若这 16 个像素点中有 N 个满足式(1),则认为 P 点为特征点,反之不是特征点。

$$\sum_{x \in \text{circle}(P)} |I_x - I_P| > t. \quad (1)$$

式中 t 为人为设置的固定阈值; I_x 为圆上像素点亮度值; I_P 为 P 点亮度值。

ORB 算法在 FAST 算法的基础上运用灰度质心法使特征点具有旋转不变性,通过对图像建立图像金字塔,使特征点具有尺度不变性,最后使用 BRIEF 二进制描述子对特征点进行描述,完成特征点的提取。

ORB 算法提取的特征点虽然具备尺度不变性、旋转不变性,但仍然存在如下问题:当环境中光照发生变化或存在阴影时,由于传统 ORB 算法采用固定提取阈值,导致提取的特征点个数很不稳定,视觉地图构建的鲁棒性和准确性降低。

2.2 自适应阈值特征点提取算法

为了提高特征点提取算法对环境变化的适应能力, 保证算法对图像关键信息进行稳定且准确地提取, 笔者对图像网格化分块, 根据图像灰度分布的离散程度, 提出一种自适应阈值特征点提取算法。

相较于 ORB 特征点提取算法采用的阈值 T 是人为设定的一个固定值, 笔者把一张图片分割成小的图像块, 并根据每个图像块的像素灰度值离散程度自主求取特征点提取阈值。阈值求取算法如式(2)所示:

$$T = K \left(\sum_{i=1}^W \sqrt{(I_{i\max} - I_{\text{mean}})^2} + \sum_{i=1}^W \sqrt{(I_{i\min} - I_{\text{mean}})^2} \right) / 2W. \quad (2)$$

式中: T 为最终求取的特征点提取阈值; K 为比例系数, 经过大量数据集实验测试, 最终确定 K 为 0.4; $I_{i\max}$ 、 $I_{i\min}$ 分别为图像块最大的 W 个灰度值和最小的 W 个灰度值, 本文中 W 设置为 4。

$$I_{\text{mean}} = \sum_{j=1}^{c*d} I_j / (c*d). \quad (3)$$

式中: I_{mean} 为图像块灰度值的平均值; c 为图像块行数; d 为图像块列数; I_j 为图像块第 j 个点的灰度值。

为防止部分图像块灰度值离散程度过小, 导致自适应阈值特征点提取算法求出的阈值太小, 此处对自适应阈值特征点提取算法求出的提取阈值加入限制, 若算法求出的阈值小于 5, 则给该图像块设置提取阈值 5 进行特征点提取。图 3 为自适应阈值特征点提取算法流程。

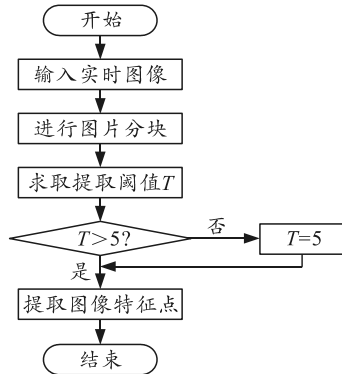


图 3 自适应阈值特征点提取流程

3 关键帧筛选算法

3.1 ORB-SLAM2 关键帧筛选算法

ORB-SLAM2 关键帧筛选算法在判断是否生成关键帧时主要考虑:

1) 当前帧内点数超过设置阈值且内点重复率低于一定阈值;

2) 长时间未插入关键帧, 为避免跟踪丢失, 插入关键帧;

3) 图像重叠度不高, 且局部建图线程处于空闲状态时, 插入关键帧;

4) 局部建图线程中处理的关键帧不能超过一定数量。

该关键帧筛选算法重点关注了内点个数、内点重复率和线程状态来进行关键帧筛选, 筛选条件比较宽松; 但是长直路段并不需要太多的关键帧, 采用该关键帧筛选方法, 会在长直路段选取大量冗余关键帧, 导致构建的视觉地图需要的存储空间增大。

3.2 改进关键帧筛选算法

改进关键帧筛选算法引入当前帧和参考关键帧间偏航角和距离作为筛选条件, 因此需要先对当前帧和参考关键帧偏航角和距离进行求解。记当前帧和参考关键帧 K_1 、 K_2 的位姿分别为 T_1 和 T_2 , 对应的旋转矩阵分别为 R_1 和 R_2 , 平移向量分别为 t_1 和 t_2 , 式(4)为旋转矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

车辆行驶过程中俯仰角跟横滚角变化很小, 因此笔者采用偏航角作为关键帧筛选条件之一。笔者根据世界坐标系与相机坐标系之间的转换关系, 偏航角对应的角度为绕 y 轴旋转的角度 θ_y , 取值范围 $(-180^\circ, 180^\circ]$, 如式(5)所示:

$$\theta_y = a \tan 2(-r_{31}, r_{33}) * \frac{180^\circ}{\pi}; \quad (5)$$

$$a \tan 2(y, x) = \begin{cases} \arctan(y/x) & x > 0 \\ \arctan(y/x) + \pi & y \geq 0, x < 0 \\ \arctan(y/x) - \pi & y < 0, x < 0 \\ +\pi/2 & y > 0, x = 0 \\ -\pi/2 & y < 0, x = 0 \end{cases}. \quad (6)$$

根据式(5)和(6)分别求出 K_1 、 K_2 对应的偏航角 θ_1 、 θ_2 , 根据式(7)求得当前帧和参考关键帧之间的偏航角差值 θ_Δ , 式(7)中 abs 为取数据绝对值。

K_1 、 K_2 的平移向量 t_1 和 t_2 的坐标对应相减得到式(8) t_Δ , 并根据式(9)得到当前帧和参考关键帧之间的距离 dis 。

$$\theta_\Delta = \text{abs}(\theta_1 - \theta_2); \quad (7)$$

$$t_{\Delta} = \begin{bmatrix} x_{\Delta} \\ y_{\Delta} \\ z_{\Delta} \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$\text{dis} = \sqrt{x_{\Delta}^2 + y_{\Delta}^2 + z_{\Delta}^2}. \quad (9)$$

改进关键帧筛选, 首先要保证当前帧的内点数超过设定的最小阈值, 并且重叠度低于一个阈值, 上述条件符合时, 线程开始对下述条件进行判定, 当有一条判定成功时, 插入关键帧。

1) $\text{dis} > (\text{pointinliers}/m)$, 其中 pointinliers 为当前帧的内点数、 m 为可调参数, 本文中 m 取 70。

2) $\theta_{\Delta} > n$, 其中 n 为可调参数, 因为转弯路段容易出现跟丢的情况, 本文中 n 取 1.5 增强系统鲁棒性。

改进关键帧筛选算法流程如图 4 所示。

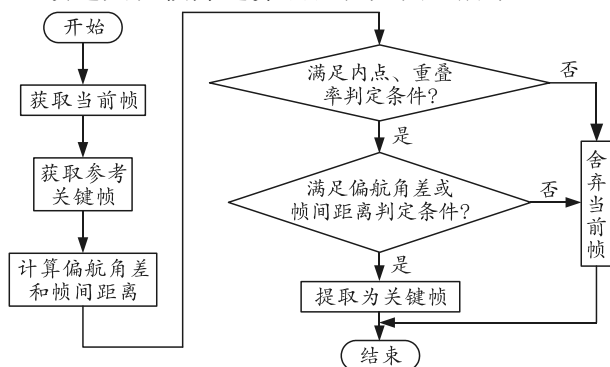


图 4 改进关键帧筛选算法流程

改进后的关键帧筛选算法, 用内点数来设计帧间距离阈值, 当内点数少时, 降低关键帧插入阈值, 避免系统跟丢; 当内点数多时, 增大关键帧筛选阈值, 减少冗余帧的插入。

4 实验结果与分析

为了对自适应阈值特征点提取算法提升视觉地图构建的鲁棒性和准确性的能力, 以及改进关键帧筛选算法减小地图存储容量的能力进行验证, 笔者在 Ubuntu18.04 环境下开展实验, 所用计算机 CPU 为 3.20 GHz Intel i7, 运行内存为 16 GB。采用开源的 KITTI 数据集和智能车试验平台采集的数据集来进行验证分析。智能车试验平台搭载 ZED2 相机和 GPS500, 如图 5 所示。

4.1 自适应阈值特征点提取算法实验分析

验证算法对视觉特征提取鲁棒性的改善, 通过对同一张图片调节图像灰度线性变换方程 $I_t = aI_i + b$ 中的对比增益参数 a , 对图像的亮度进行调节, 模拟图像在不同光照条件下的场景, 对比本文中算法

与固定阈值特征点提取算法的提取效果, 如图 6 所示。



图 5 智能车试验平台



(a) 固定阈值 $a=0.25$



(b) 固定阈值 $a=1$



(c) 固定阈值 $a=0.25$



(d) 自适应阈值 $a=4$



(e) 自适应阈值 $a=1$



(f) 自适应阈值 $a=0.25$

图 6 不同亮度下特征提取对比

如表 1 所示，当系数 a 为 0.25 时，采用固定阈值特征点提取算法，采集的特征点数量减少 200 个左右，采用本文中算法特征点减少 30 个左右。实验结果表明：在光照变化下，采用本文中算法提取的特征点数量更稳定。

利用文献[4]中测绘导航系统对本文中自适应

阈值特征点提取算法在视觉地图构建鲁棒性方面的改善情况进行验证，如图 7 所示。

表 1 特征提取结果

算法	$a=4$	$a=1$	$a=0.25$
固定阈值算法	1 001	1 003	804
本文中方法	1 002	985	961

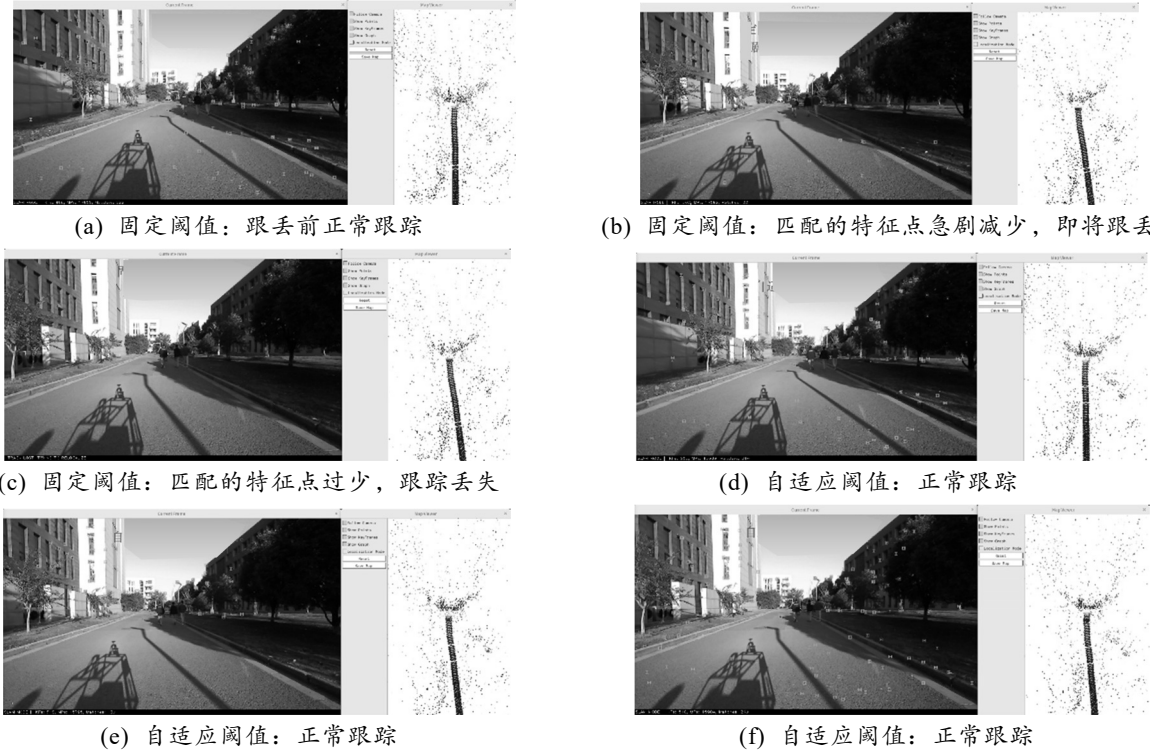


图 7 测绘场景：固定阈值跟踪丢失，自适应阈值正常跟踪

实验结果表明：当亮度变化过大或存在大范围阴影时，采用固定阈值提取特征点，系统很容易在测绘过程中出现跟丢的情况，导致测绘失败。采用本文中自适应阈值特征点提取算法会减小这种概率，使视觉地图构建的鲁棒性增强，提高了地图测绘的成功率。

为验证算法的快速性，采用目前开源的 KITTI

数据集 S0~S4 来做实验验证。分别采用固定阈值特征点提取算法、文献[15]中均值自适应阈值 (mean value adaptive, MVA) 算法和本文中算法来提取数据集的特征点，控制 3 种算法提取的特征点个数均值相当，对比提取特征点需要的时间均值。

如表 2 所示。

表 2 特征点提取时间对比

KITTI 序列	固定阈值算法		MVA 算法		本文中算法	
	个数均值	时间均值/ms	个数均值	时间均值/ms	个数均值	时间均值/ms
S0(4 541 帧)	997	18.0	997	22.5	998	19.7
S1(1 101 帧)	733	14.8	734	23.8	736	17.7
S2(4 461 帧)	993	17.9	995	24.1	1 004	19.7
S3(801 帧)	993	17.3	994	23.8	994	19.0
S4(271 帧)	995	16.0	997	23.3	1 003	18.3

MVA 算法，根据图像每个像素点的灰度值与图像灰度值均值设计阈值求取算法，虽然改善了特征点提取的稳定性和特征点分布的均匀性，但由于该算法求取的阈值低，导致大量质量差的特征点被提

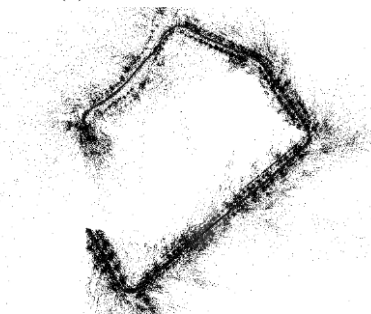
取。实验结果表明：本文中算法稍慢于固定阈值特征点提取算法，但快于 MAV 算法。

目前，开源的数据集不存在大量重复场景的数据集，为验证算法提升准确性，笔者采用每组数据

集包含测绘图集、定位图集 2 组数据集来进行实验验证。为了避免偶然性,笔者分别采用 3 种算法在 2 组数据集上各进行 10 次测绘和定位,最终取 10 组实验的均值进行对比。以第 1 组数据集为例,测绘图集为数据集 1,定位图集为数据集 2,如图 8—9 和表 3 所示。



(a) 测绘阶段跑车轨迹

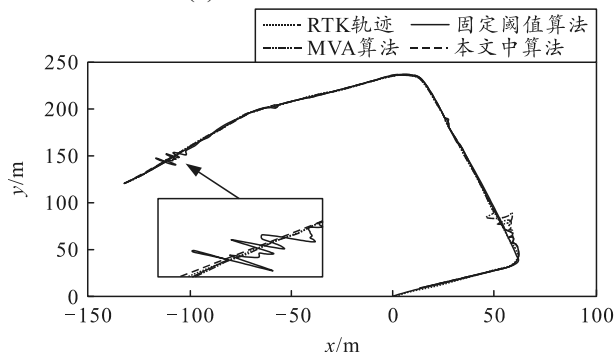


(b) 视觉基准库地图

图 8 数据集 1



(a) 定位阶段跑车轨迹



(b) 定位效果

图 9 数据集 2

图 9(a)基于测绘阶段构建的视觉地图,对定位阶段的跑车实验进行全局定位并与 RTK 坐标进行对比。图 9(b)发现采用本文中算法的定位轨迹与 RTK 轨迹更相近,定位更加准确。

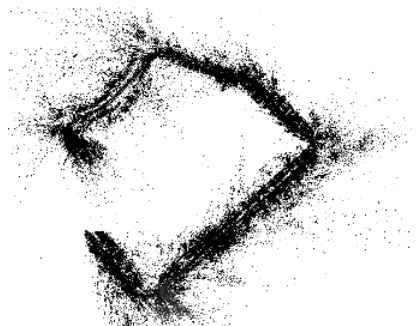
表 3 特征点提取算法测绘定位结果

数据集	算法	最大误差/m	均方根误差/m	地图存储容量/MB
第 1 组	固定阈值算法	5.06	1.31	678.3
	MVA 算法	9.79	1.99	708.1
	本文中算法	3.30	1.10	670.6
第 2 组	固定阈值算法	4.71	1.08	608.5
	MVA 算法	4.58	1.20	661.8
	本文中算法	3.02	0.95	599.1

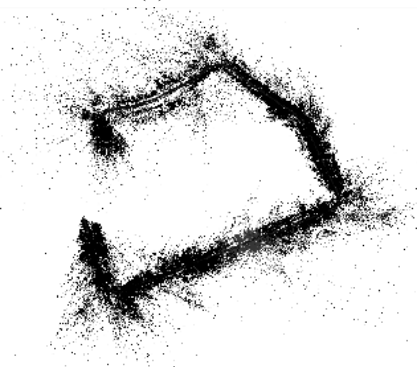
表 3 实验结果表明:本文中算法在定位精度方面较另外 2 种算法提升 10%以上,且在地图存储容量方面明显优于 MVA 算法。证实了本文中算法在保持地图存储容量不增加的情况下,有效提升了视觉地图构建的准确性。

4.2 改进关键帧筛选实验分析

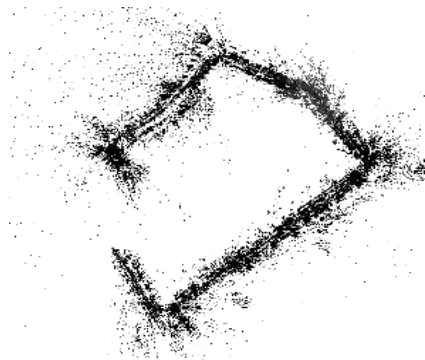
本文中改进关键帧筛选算法对减小地图存储容量方面的提升。分别采用 ORB-SLAM2 关键帧筛选算法、文献[16]相对运动量关键帧筛选(relative motion screening, RMS)算法和本文中算法 2 组数据集(每组数据集包含测绘图集、定位图集)上各进行 10 次测绘和定位,最终取 10 组实验的均值进行对比如图 10—11 和表 4 所示。



(a) 经典算法



(b) RMS 算法



(c) 本文中算法
图 10 数据集 1

RMS 算法，根据帧间相对运动量作为关键帧筛选条件，避免关键帧信息采集不足，增强了定位精度，但在长直路段依然选取大量冗余关键帧。对比 3 张图片，明显发现在长直路段由于另外 2 种算法

表 4 关键帧筛选算法测绘定位结果

数据集	算法	最大误差/m	均方根误差/m	地图存储容量/MB	地图点数量	关键帧数量
第 1 组	经典算法	3.30	1.10	670.6	87 975	2 167
	RMS 算法	3.00	1.01	716.9	91 502	2 320
	本文中算法	3.31	1.04	278.8	46 025	869
第 2 组	经典算法	3.02	0.95	599.1	72 456	1 919
	RMS 算法	2.79	0.93	631.2	79 859	2 035
	本文中算法	3.05	0.99	283.6	50 674	880

表 4 中实验结果表明：较另外 2 种算法，采用本文中改进关键帧筛选算法定位精度相近，关键帧数量缩减 50%以上，地图点数量缩减 30%以上，地图存储容量缩减 50%以上。表明本文中算法在保持高精度定位的同时，大幅度缩减了视觉地图的存储容量。

5 结束语

ORB-SLAM2 算法在建图过程中，由于光照亮度变化，使特征点提取稳定性、准确性差，在长直路段选取大量冗余关键帧，导致构建的视觉地图文件很大。针对上述问题提出一种改进 ORB-SLAM2 的地图构建方法：首先，提出一种自适应阈值特征点提取算法，即对一张图像进行网格化分块后，根据各图像块的灰度值离散程度设计阈值求取算法，自适应求取各图像块特征点提取阈值，避免光照变化对系统的影响；然后，提出一种改进关键帧筛选算法，利用当前帧与参考关键帧之间的偏航角差和距离差作为关键帧筛选条件，并通过内点个数来动态更改筛选阈值，在保证系统测绘鲁棒性的同时，剔除大量冗余关键帧，减小地图存储容量。本文中方法在 KITTI 数据集和智能车试验平台上进行了实

筛选大量冗余关键帧导致产生大量冗余地图点，增加了地图存储容量。

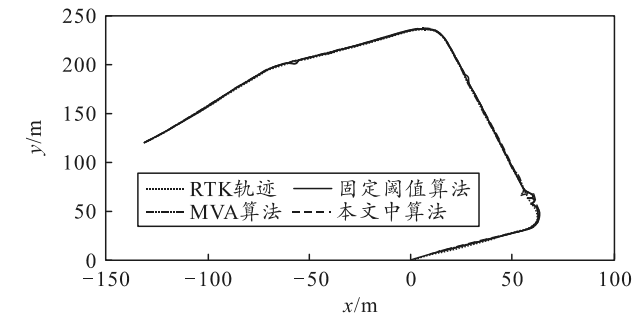


图 11 数据集 2

基于测绘阶段构建的全局定位基准库，对定位阶段的跑车实验进行全局定位与 RTK 坐标进行对比，发现采用 3 种关键帧筛选算法的定位轨迹与 RTK 轨迹均基本重合，定位精度相近。

验分析主要结论如下：

- 1) 本文中的自适应阈值特征点提取算法，在要求范围内牺牲了一点时间性能，但增强了视觉地图构建的鲁棒性，提高了地图测绘的成功率，且增强了视觉地图构建的准确性，提升了定位精度。
- 2) 本文中的改进关键帧筛选算法，在保证高精度定位的条件下，缩减地图存储容量 50%以上，有利于视觉地图的存储。

参考文献：

[1] BELTER D, NOWICKI M R. Optimization-based legged odometry and sensor fusion for legged robot continuous localization[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2019, 111: 110-124.

[2] ANGLADON V, GASPARINI S, CHARVILLAT V, et al. An evaluation of real-time RGB-D visual odometry algorithms on mobile devices[J]. Journal of Real-Time Image Processing, 2017, 17(51): 1-18.

[3] QIN T, LI P, SHEN S, et al. VINS-Mono: A Robust and Versatile Monocular Visual-Inertial State Estimator[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2018, 34(4): 1004-1020.

[4] 薛杨, 孙永荣, 赵科东, 等. 基准地图测绘下的视觉导航算法[J]. 兵工自动化, 2019, 38(10): 22-27.

[5] MUR-ARTAL R, TARDÓS J D. ORB-SLAM2: An

- Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2017, 33(5): 1255-1262.
- [6] RUBLEE E, RABAUD V, KONOLIGE K, et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF[C]//IEEE International Conference on Computer Vision. Spain: Barcelona, IEEE, 2011.
- [7] 谷学静, 郭俊, 刘海望, 等. 基于四叉树分解法改进的 ORB 特征匹配算法[J]. 激光杂志, 2021, 42(6): 56-61.
- [8] 廖泓真, 王亮, 孙宏伟, 等. 一种改进的 ORB 特征匹配算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2021, 47(10): 2149-2154.
- [9] 袁小平, 张毅, 张侠, 等. 基于改进 FAST 检测的 ORB 特征匹配算法[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(21): 233-238.
- [10] TAO X, YAO M, YUAN X, et al. Dense 3D Reconstruction SLAM Algorithm Based on Improved Keyframe Selection[C]//2022 37th Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC). Beijing, 2022.
- [11] XIE P, SU W, LI B, et al. Modified Keyframe Selection Algorithm and Map Visualization Based on ORB-SLAM2[C]//2020 4th International Conference on Robotics and Automation Sciences (ICRAS). Beijing, 2020.
- [12] 徐武, 高寒, 王欣达, 等. 改进 ORB-SLAM2 算法的关键帧选取及地图构建研究[J]. 电子测量技术, 2022, 45(20): 143-150.
- [13] LOWE D. Distinctive image features from scale-invariant key points[J]. International Journal of Computer Vision, 2003, 20: 91-110.
- [14] BAY H, TUYTELAARS T, GOOL L V. SURF: Speeded up robust features[C]//the 9th European conference on Computer Vision-Volume. Austria: Graz, 2006: 404-417.
- [15] YAO J J, ZHANG P C, WANG Y, et al. An Adaptive Uniform Distribution ORB Based on Improved Quadtree[J]. IEEE Access, 2019, 10: 99.
- [16] 张洪, 于源卓, 邱晓天. 基于改进关键帧选择的 ORB-SLAM2 算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2023, 49(1): 45-52.

(上接第 54 页)

从图 5 的测试结果可以看出: 基于深度学习与信号分解的决策支持系统和基于物联网技术的决策支持系统在运行时, CPU 使用率比较高, 分别为 29% 和 15%, 内存也比较大, 说明在测试时间段内, 系统运行的程序比较多, 导致 CPU 使用率偏高, 而本文中系统在运行时, CPU 使用率只有 4%, 内存为 5.19 GB, 说明本文中开发的决策支持系统在测试时间段内运行的程序比较少, 也证明了该系统具有更好的运行性能。

4 结束语

测试验证结果表明, 该系统的功能和性能已满足用户需求。虽然本文中取得了一定的研究成果, 但仍有许多需要改进的地方。本文中的功能模块只针对当前用户需求。未来的研究应引入人机交互技术并优化系统界面, 以满足用户的感官需求。

参考文献:

- [1] 周新燕, 戴文娟. 政府会计制度下的医院智能化财务管理框架设计[J]. 卫生经济研究, 2020, 37(5): 65-68.
- [2] 罗跃成, 杨名友, 孙汝顺. A 企业基于财务共享的智能财务管理平台构建[J]. 财务与会计, 2021(9): 77-80.
- [3] 张进. 基于“数据中台”的高校财务信息系统架构研究[J]. 重庆邮电大学学报: 社会科学版, 2022, 34(6): 116-123.
- [4] 刘敏, 张凡, 王林, 等. 基于深度学习与信号分解的金融交易决策支持模型[J]. 管理评论, 2022, 34(9): 14-26.
- [5] 陈英. 基于物联网技术的轨道交通企业财务数据共享系统[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2021, 43(2): 103-111.
- [6] 梁龙跃, 刘波. 基于文本挖掘的上市公司财务风险预警研究[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(4): 255-266.
- [7] 孙玲莉, 杨贵军, 王禹童. 基于 Benford 律的随机森林模型及其在财务风险预警的应用[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(9): 159-177.
- [8] 肖毅, 熊凯伦, 张希. 基于 TEI@I 方法论的企业财务风险预警模型研究[J]. 管理评论, 2020, 32(7): 226-235.
- [9] 王小燕, 姚佳含. 基于聚类分析的惩罚约束财务风险预警模型[J]. 统计与决策, 2020, 36(2): 153-156.
- [10] 周金灿, 洪学智, 董波, 等. 公立医院收支管理风险量化评价的两种方法比较分析[J]. 中国卫生经济, 2020, 39(1): 77-79.
- [11] 杨旭, 黄雪梅. 基于 LSTM 神经网络的饲料企业财务风险预警模型构建[J]. 中国饲料, 2022(14): 135-138.
- [12] 杨霖莞, 程平, 李陵. 基于云内控系统的重庆海事局收支管理内部控制信息化建设[J]. 财务与会计, 2021, (2): 61-63.
- [13] 李永明, 代飞. 当前我国高校财务绩效管理体系构建思考: 以优化资源配置为视角[J]. 云南师范大学学报: 哲学社会科学版, 2022, 54(5): 112-124.
- [14] 郭雨朦, 李天舒. 基于层次分析法的公立医院财务风险评价体系构建[J]. 中国卫生经济, 2022, 41(9): 88-90.
- [15] 石杨, 陈春谋. 小微企业财务信息化系统的设计与构建: 以皮革企业为例[J]. 中国皮革, 2022, 51(6): 34-38.