

基于点云匹配算法的低误差星图识别

冯磊¹ 罗景亮² 罗浩³ 谭拥⁴

- (1. 雅安职业技术学院, 四川 雅安 625100 ;
2. 国网重庆电力公司铜梁供电分公司, 重庆 402560;
3. 中国大唐科学技术研究总院有限公司水电科学研究院, 四川 成都 610074;
4. 宜宾市第二人民医院, 四川 宜宾 644000)

【摘 要】针对传统的星图识别方法匹配率不够高的问题, 本文提出了一种基于特征点提取的 ICP 点云匹配算法的星图识别方法, 通过点云局部法向量的变化方式选取特征点, 然后运用 ICP 算法实现点云较为精确的配准。为了降低星图匹配的误差率, 采用了基于特征点的改进 ICP 算法对点云精确配准, 最终通过 matlab 仿真得到几种星图的匹配情况并且计算了匹配误差率, 普通 ICP 算法的最低匹配误差为 14.224, 基于特征点的改进 ICP 算法最低匹配误差为 14.0715。即基于特征点的 ICP 算法对应的星图匹配的误差率更低, 验证了改进 ICP 算法的优越性。

【关键词】点云匹配; 法向量; 特征提取; ICP 算法; 匹配误差率

星敏感器能够准确利用恒星的天文信息, 具有自主性观测、测量精度高、工作可靠稳定等特点, 对于航天器在飞行中的姿态测量运用有广阔前景^[1]。星图识别的核心步骤是图像采集及预处理、特征点提取分析、点云数据匹配识别星体位置^[2]。目前, 许多研究者提出相关解决点云数据配准的方法, Jiangd 和 Basdogan 等人通过计算特征点的法向量与相近领域点法向量产生的夹脚作为特征对点云配准、采取点与邻域重心的间隔长度作为特征的方式进行点云配准研究^[3], 这些传统匹配方法主要是以角距或者其衍生的形式为特征进行配准的, 往往存在识别精度不够高的问题。

本文采用了一种基于特征点的改进 ICP 点云匹配算法的星图识别方法。在目标点云中通过星点曲率特征提取若干特征点, 然后将得到的特征点利用 K-d tree 方法寻找参考点云中对应的最近点, 最终达到降低星图匹配误差率的目的。

一、匹配算法原理分析

(一) 基于点云法向量的特征点提取

特征点集的选取分析。要使得点云配准快速有效, 最开始需要确定特征点集。通过观察点云法向量的变化, 如果法向量在局部区域上变化比较

平缓, 便可近似认为该区域是平坦的, 反之, 法向量在局部区域变化明显则表明该区域起伏波动大。

(二) 点云初始配准

参考点云的包围盒体积为 V_r , 目标点云包围盒体积为 V_d , 目标点云与参考点云对应的包围盒相交可得到体积为 V_i 。下式 (6) 可以求出包围盒重合系数 F ;

$$F = \frac{(V_r \times V_i)}{(V_r \times V_d)} \quad (1)$$

这里设定阈值 T 值, 如果 $F > T$, 则可以认为目标点云和参考点云是重合的, 反之认为是不重合的。

(三) 点云精准匹配

通过分析点云数据的初始配准过程, 其配准过程误差性可能较大, 要想降低两个点云间的匹配误差率, 就需要在初始配准的基础上寻找更好的配准方法来实现两个点云的精确配准。

(四) 改进算法的点云精确配准

本节将采用基于特征点提取的 ICP 算法, 在目标点云中通过星点曲率特征识别提取若干特征点, 然后将得到的特征点利用 K-d tree 寻找参考点云中对应的最近点, 从而达到将时间代价缩减至的

目的。

二、模型的建立

(一) 配准模型

点云数据的配准关键步骤是点云数据提取的特征点是否为一些兴趣点，如目标的转点、角点等具有明显特征的点或点集。因为所有的一致性估计都会存在不同程度偏差，将对变换产生负影响，直接影响最终的匹配效果。

(二) 变换矩阵

两个不同视图点云，可以通过一个刚性变换矩阵使得他们之间的相交区域完全重合。

以坐标系的三个坐标轴 X , Y , Z , Z 轴作为旋转轴，实际上情况下只有垂直坐标轴的二维平面上进行二维旋转。通过二维旋转公式结合旋转的规律即可推出三维旋转变换矩阵。

(三) ICP 算法配准过程

令 Q_i , $i=1, 2, 3$ 表示第一个点集, P_i , $i=1, 2, 3$ 表示第二个点集, 只需目标函数的值 E 达到最小就可视为两个点云已经对齐配准。

$$\min E = \sum_i \ln ||Q_i - (P_i R + T)||^2 \quad (2)$$

其中, 旋转矩阵和平移矩阵, 就是待配准点云之间需要设定的旋转参数和平移参数, 这两个参数的最优选择即可满足两点云数据之间是以某种度量规则下的最佳匹配。

三、实验仿真结果

仿真结果。通过仿真工具录入星表数据, 读取星表中所有星图位置信息, 星表中对应星体位置的原始位置如图 1 所示。

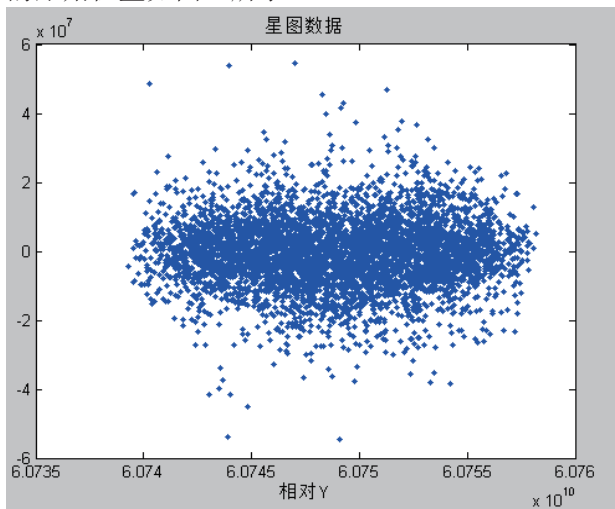


图 1. 星表对应的星体原始位置图

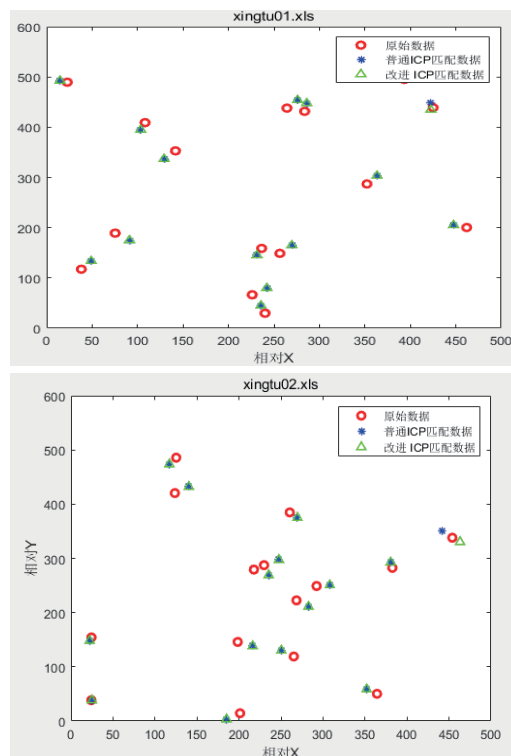


图 2. 星图 1 和星图 2 星体位置匹配图

普通ICP匹配结果文件1为1 700 1384 2040 2655 3215 3711 4130 4466 4710 4858 4908 4858 4708 4463 误差为16.7898
普通ICP匹配结果文件2为4130 4575 4837 4906 4780 4463 3968 3315 2531 1645 693 285 1253 2170 3001 3713 误差为15.2832

改进ICP匹配结果文件1为1 700 1384 2040 2655 3215 3711 4130 4466 4710 4858 4908 4858 4705 4463 误差为16.4336
改进ICP匹配结果文件2为4130 4575 4837 4906 4780 4463 3968 3315 2531 1645 693 285 1253 2170 2633 3713 误差为14.974

图 3. 星图 1 和星图 2 的位置数据匹配误差

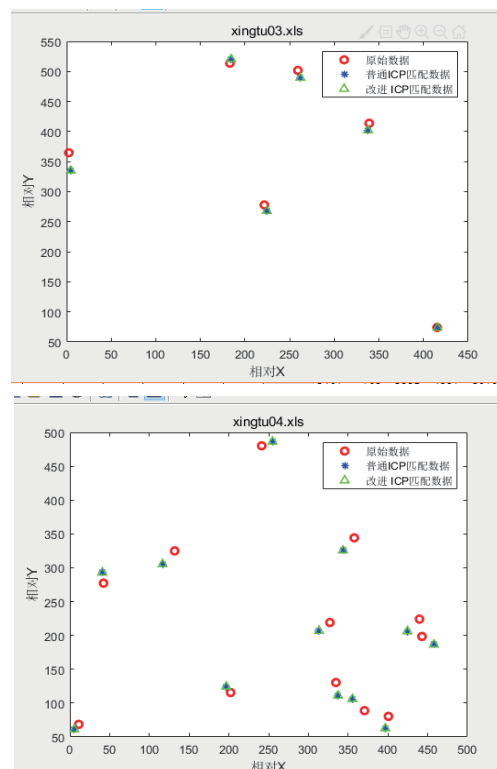


图 4. 星图 3 和星图 4 的星体位置匹配图

图 2 和图 4 是 4 个星图与原始星表里面的匹配仿真结果。

星图 1 和星图 2 对应位置数据匹配误差如图 3 所示, 星图 1 普通 ICP 算法匹配误差率为 16.7898, 改进 ICP 匹配误差率为 16.4336。星图 2 普通 ICP 算法匹配误差率为 15.2832, 改进 ICP 匹配误差率为 14.974。

普通ICP配准结果:文件3为4463 2245 934 3713 4901 3990 1370 误差为14.224
普通ICP配准结果:文件4为693 1510 3406 4611 4879 4156 2589 496 1698 3547 4676 4856 误差为18.3323

改进ICP配准结果:文件3为4463 2245 934 3713 1983 3990 1370 误差为14.0715
改进ICP配准结果:文件4为693 1510 3406 4611 4879 4156 2589 496 1698 3547 4676 4856 误差为18.3323

图 5. 星图 3 和星图 4 的星体位置数据匹配误差

星图 3 和星图 4 星体对应位置数据匹配误差如图 5 所示。

观察, 5 可得, 星图 3 普通 ICP 算法匹配误差率为 14.224, 改进 ICP 匹配误差率为 14.0715。

星图 4 普通 ICP 算法匹配误差率为 18.3323, 改进 ICP 匹配误差率为 18.3323。

下面是普通 ICP 算法和改进 ICP 算法的仿真数据:

普通ICP配准结果:文件1为1 700 1384 2040 2655 3215 3711 4130 4466 4710 4858 4908 4858 4708 4463 误差为16.7898
普通ICP配准结果:文件2为4130 4575 4837 4906 4780 4463 3968 3315 2531 1645 693 285 1253 2170 3001 3713 误差为15.2832
普通ICP配准结果:文件3为4463 2245 934 3713 4901 3990 1370 误差为14.224
普通ICP配准结果:文件4为693 1510 3406 4611 4879 4156 2589 496 1698 3547 4676 4856 误差为18.3323

改进ICP配准结果:文件1为1 700 1384 2040 2655 3215 3711 4130 4466 4710 4858 4908 4858 4705 4463 误差为16.4336
改进ICP配准结果:文件2为4130 4575 4837 4906 4780 4463 3968 3315 2531 1645 693 285 1253 2170 2633 3713 误差为14.974
改进ICP配准结果:文件3为4463 2245 934 3713 1983 3990 1370 误差为14.0715
改进ICP配准结果:文件4为693 1510 3406 4611 4879 4156 2589 496 1698 3547 4676 4856 误差为18.3323

图 6. 4 个星图的星体位置数据匹配误差

如图 3 和图 6 所示, 星图 1 对应的普通 ICP 算法的匹配误差率为 16.7898, 而改进的 ICP 算法的匹配误差率为 16.4336。如图 5 和图 6 所示, 星图 3 对应的普通 ICP 算法的匹配误差率为 14.224, 而改进的 ICP 算法的匹配误差率为 14.071, 可知改进的 ICP 算法比普通 ICP 算法匹配误差率稍低, 匹配效果更好。

根据模型求解的仿真结果可以看出改进算法针对点云的配准平均误差更小, 改进算法更加精准, 这是由于改进算法相比传统算法能对部分重叠的点云数据实现自动配准, 点云配准过程不需要任何预知信息和人工干预。

四、结论

本文提出基于点云匹配算法的低误差星图识别方法。其主要过程根据点云法向量选取特征点, 然后分析确定点云主方向进行初始配准, 最终采用 ICP 算法进行精确配准。通过仿真图和分析仿真数据, 观察到 4 个星图点云匹配的效果, 计算出各个星图匹配的误差率; 其中, 星图 3 的匹配误差率最低为 14.0715, 星图 4 匹配的误差率最高为 18.3323; 从图 6 的仿真数据可知普通 ICP 算法和改进 ICP 算法的匹配误差率都在 10-20 左右; 最后对比星图仿真数据, 普通 ICP 最低匹配误差为 14.224, 改进的基于特征点的 ICP 算法最低匹配误差为 14.0715, 明显改进的 ICP 算法的匹配误差率更低, 验证了算法的可行性。

参考文献:

- [1] 张丰, 吴量, 张凯旋等. 基于星敏感器测试图像的噪声分析及仿真 [J/OL]. 计算机仿真 2024.
- [2] 张广军. 星图识别 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2019.
- [3] Jiang, J Cheng.X L Chen.Registration for 3-D point clouds using angular invariant feature[J]. Neuro computing, 2019.
- [4] Read Eisenman A, Liebe C C.The advancing state-of-the-art in second generation star trackers[C]. Aerospace Conference.2016.
- [5] 王裕玺. 基于局部几何特征的三维点云自动配准方法研究 [D]. 西安科技大学, 2021.

作者简介:

冯磊 (1992—), 男, 四川广元人, 硕士, 研究方向: 电气信息、信号处理;

罗景亮 (1995—), 男, 汉族, 研究方向: 电力电子传动;

罗浩 (1993—), 男, 汉族, 重庆潼南人, 中级工程师, 研究方向: 电气设备故障监测;

谭拥 (1995—), 男, 汉族, 重庆万州人, 中级, 硕士, 研究方向: 信号处理。