

一种三角形星图识别算法的改进算法

李江操 魏宏刚 张 辉

(中国科学院光电技术研究所 成都 610209)

摘 要:星图识别算法中三角形算法凭借简单方便的特点使用范围最广,但是在噪声影响下会造成识别率迅速下降,且识别时间较长,针对该问题,提出一种改进的三角形星图识别算法。改进算法依据亮度和距离信息,构造亮度和距离三角形以形成角距信息来提高鲁棒性。识别星库采用导航星库和特征星库并行处理模式,减少冗余匹配量,使匹配时间缩短。通过仿真表明,面对星点位置噪声和星等噪声,改进的三角形算法依然保持96%以上高识别率。该算法鲁棒性良好,识别平均时间大大缩短。

关键词:星图识别算法;三角形算法;改进算法

中图分类号: TN2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

Improved star pattern identification algorithm based on triangle algorithm

Li Jiangcao Wei Honggang Zhang Hui

(Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China)

Abstract: The triangle algorithm in the star pattern identification algorithms is the most widely used because of its simple and convenient, but the recognition rate will drop rapidly under the interference of noise, and the recognition time is longer. Aiming at this problem, this paper presents an improved star pattern identification algorithm based on triangle algorithm. The improved algorithm constructs luminance and distance triangles based on luminance and distance information to form angular distance information to improve robustness. The identification star catalog adopts the parallel processing mode of the guide star catalog and the feature star catalog to reduce the excessive matching and reduce the matching time. The simulation shows that the improved algorithm still maintains a high recognition rate of over 96% under the interference of star point position noise and star brightness noise. The algorithm has better robustness and the recognition average time is greatly shortened.

Keywords: star identification algorithm; triangle algorithm; improved algorithm

0 引 言

飞行器需要进行姿态变换,在姿态敏感器中通过对精确度和稳定性的综合对比,凭借良好的综合性能星敏感器被大量应用^[1]。星敏感器能够进行姿态测量依靠的是星图识别算法,该算法将 CCD 相机拍摄到的星图进行处理并提取星图中的唯一特征,将该特征量与同样方式构造好的特征星库进行对比匹配,所以星图识别算法的性能对姿态测量至关重要,具有重要的研究意义^[2]。

星图识别算法发展至今大体被分为两类^[3],子图同构算法,随后发展的模式识别算法。三角形识别算法是子图

同构算法的代表,许多著名学者提出的算法都是在此基础上发展而来。经典三角形算法在 20 世纪的 70 年代由 Junkins 提出以解决人工匹配效率低、易出错的问题^[4]。之后 Liebe 为了提高识别率提出了改进算法,他对星图中的星进行处理,构造出尽可能多的三角形来进行匹配。进入 21 世纪,再引入一颗星用来构造四面体的金字塔识别算法则由 Mortari 提出。神经网络算法与栅格算法代表的是另一类模式识别算法。栅格算法在 20 世纪 90 年代由 Padgett 首先提出,将星图转换成网格形状代替对三角形进行各种组合构造,最后输出特征矩阵以此进行匹配^[5]。与三角形算法对比,栅格算法具有小存储的优点,

收稿日期:2018-12-22

且加快了识别速度^[6]。神经网络的思想由 Hong 引入了星图识别算法中,先进行特征向量的构造,之后进行网络训练,最后将训练完好的网络用来匹配识别。神经网络因为其独有的特点,有着识别率高、识别时间短的优势,但是训练时间较长的问题一直没得到较好解决,如何将训练时间减少需要更深入研究^[7]。两类算法中,由于模式识别算法比较复杂,三角形算法因为结构较简单而且实现容易被大范围使用^[8]。但是因为导航星库较大,三角形算法匹配时存在重复匹配,导致匹配的次數多造成识别时间较长、抗噪性差的问题^[9]。本文针对三角形算法的缺点,提出了一种改进算法,通过对导航星库筛选,特征星库构造,组成亮度距离 2 组三角形以提高算法鲁棒性。

1 亮度距离三角形与识别星库构造

1.1 构造亮度距离三角形

虽然星等信息具有不稳定性,但星等越高其可靠性就越高,所以本文利用星等信息来构造成其中一个三角形,得到的 3 个角距组成匹配向量的一部分。通过星敏感器 CCD 相机拍摄得到未知星图,如图 1 所示。在其中心区域找到一颗较亮的定位星。然后计算视场的大小后确定最大半径 L ,标记出半径 L 内的星,如图 2 所示。在以 L 为半径的圆内找到亮度最大和次大的星。通过以上的步骤,最后将找到的 3 颗星组成一个亮度三角形,匹配向量的第 1 部分就由该三角形的 3 个角距构成。假如 3 颗星分别为 L_1 、 L_2 和 L_3 , L_1 和 L_2 的星角距是 $\theta_{1,2}$, L_1 和 L_3 的星角距是 $\theta_{1,3}$, L_2 和 L_3 的星角距是 $\theta_{2,3}$, 则匹配向量的一部分为 $[\theta_{1,2}, \theta_{1,3}, \theta_{2,3}]$ 。

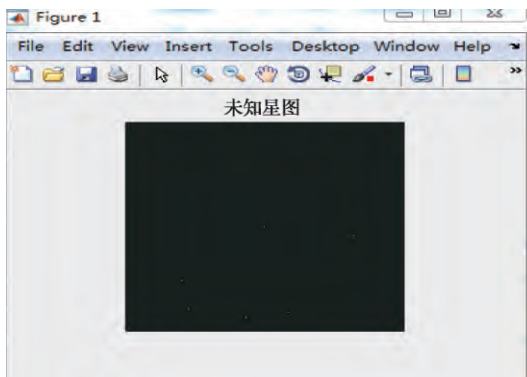


图 1 未知星图捕获

考虑到角距数值有正有负,为了得到唯一向量,本文规定从三角形长的一边开始旋转,向短的一边靠近的方向为正时针,角距 $\theta_{i,j}$ 则定义为负,相反为正。

图 3 所示为生成的亮度三角形,由于亮度具有相对不稳定性,距离信息具有较强的稳定性,本文将再引入一个距离三角形构成多三角形匹配。同亮度三角形构造方式相同,将确定好的定位星和半径 L 保持不变,然后通过定位星确定一个近邻半径 R ,在半径 R 形成的圆内找到同

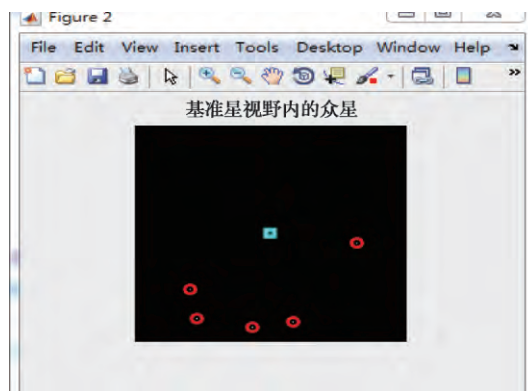


图 2 半径 L 内星点

定位星距离最近的星。接下来在近邻半径 R 之外最大半径 L 之内找到距离定位星最近的星,通过以上两步,将找到的两颗星和定位星作为 3 个顶点以组成一个三角形。市场内的星在最大半径 L 范围里,能够确保全都被遍历,不会出现偏离视场的问题。定位星和相邻星在成像的时候可能会发生相连接的情况,在近邻半径 R 和最大半径 L 之间选取星能够避免相连接现象的发生。对距离三角形进行角距信息提取,形成匹配向量的第 2 个部分,同亮度三角形角距形成的第一部分结合构成一个匹配向量,为了更好进行匹配,将匹配向量里的数值进行从大到小的顺序排列,构成最后进行识别的匹配向量。

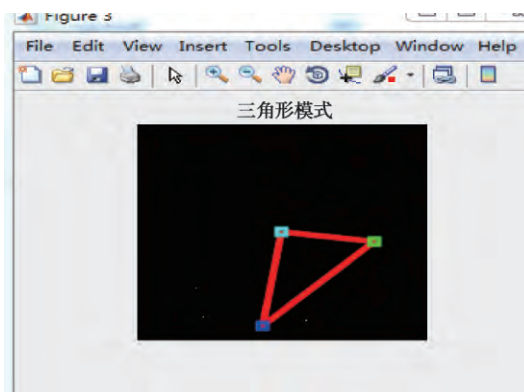


图 3 亮度三角形构造

图 4 所示改进算法所生成的 2 组三角形,采用亮度、距离三角形相结合的方式比单采用距离三角形有更强的抗干扰性。与采用大量三角形相比,星库储存更少,这也使得匹配的次數大量减少。对 CCD 相机拍摄的星图里的星角距描述^[10]如下。

在像平面坐标系下,假设定位星和相邻星的坐标分别为 (X_0, Y_0) 和 (X_1, Y_1) , 星敏感器坐标系下的角距定义为:

$$\theta_{0,1} = \arccos\left(\frac{s_0 \cdot s_1}{|s_0| \cdot |s_1|}\right) \quad (1)$$

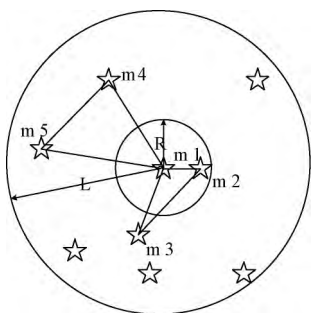


图4 改进算法三角形构造

$$s_0 = \frac{1}{\sqrt{X_0^2 + Y_0^2 + f^2}} \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ -f \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$s_1 = \frac{1}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + f^2}} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ -f \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中:定位星和相邻星在星敏感器下的坐标为 s_0 与 s_1 。

1.2 识别星库构造

存储种类过多会使得特征星库存在冗余问题^[11], 本文为了减少特征星库存储量, 只存储星编号与角距信息, 在匹配时能够加快匹配时间。将星等信息、赤经赤纬信息存储在导航星库里, 对导航星库和特征星库进行并行处理的方式构造识别星库。如图5所示, 通过特征星库匹配能够得到星编号, 通过星编号同导航星库进行匹配以得到该星的星等、赤经赤纬信息。

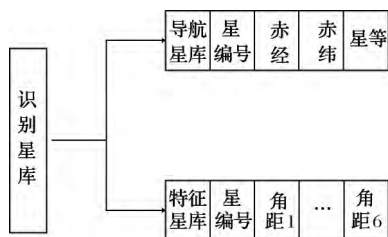


图5 识别星库示意图

由于星的数量随着星等数值的增加呈指数增加^[12], 所以导航星库筛选出6等星以上的星, 剔除其他信息只对星编号、赤经、赤纬和星等信息进行保留^[13]。然后是识别星库的第二部分—特征星库构造, 导航星库通过筛选可以得到5103颗星, 遍历整个导航星库, 每颗星都作为一颗定位星。按照上述多三角形的构造方式, 以此形成的2个三角形从而获得6个角距信息 $d_{i,j}$ 将角距信息还是以从大到小的方式进行保存。

因为星在导航星库中是以赤经赤纬来进行存储, 也就是在天球坐标系下, 该坐标系的角距说明^[14]如下。

在天球坐标系下, 假设赤经赤纬分别为 (β_i, γ_i) 和 (β_j, γ_j) 代表星A和B, 则角距定义为:

$$d_{i,j} = \arccos\left(\frac{s_i \cdot s_j}{|s_i| \cdot |s_j|}\right) \quad (4)$$

$$s_i = \begin{pmatrix} \cos\beta_i \cos\gamma_i \\ \cos\beta_i \sin\gamma_i \\ \sin\gamma_i \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$s_j = \begin{pmatrix} \cos\beta_j \cos\gamma_j \\ \cos\beta_j \sin\gamma_j \\ \sin\gamma_j \end{pmatrix} \quad (6)$$

式中:星A和星B的方向矢量为 s_i 和 s_j , 通过式(4)生成角距, 所生成的就是特征星库如图6所示。

1	序号	导航星1	星对	角距表	星对	角距表	星对	角距表	星对	角距表	星对	角距表
2	1	1	0.78262	0.85849	0.90223	0.99007	1.36731	1.37928				
3	2	2	0.48021	0.76559	0.86331	0.97835	1.29835	1.89421				
4	3	3	0.48095	0.65111	0.66742	0.74121	1.08137	1.26794				
5	4	4	0.54612	0.71085	0.95061	0.99377	1.19562	1.88303				
6	5	5	0.49923	0.65968	0.71037	0.93043	1.04066	1.07966				
7	6	6	0.49065	0.56795	0.74443	0.821617	1.38356	1.57345				

图6 特征星库示意图

2 基于三角形的改进算法

改进的三角形识别算法的识别流程主要包含识别星库构造和识别过程如图7所示, 识别星库前面已经进行了描述, 识别过程如下。

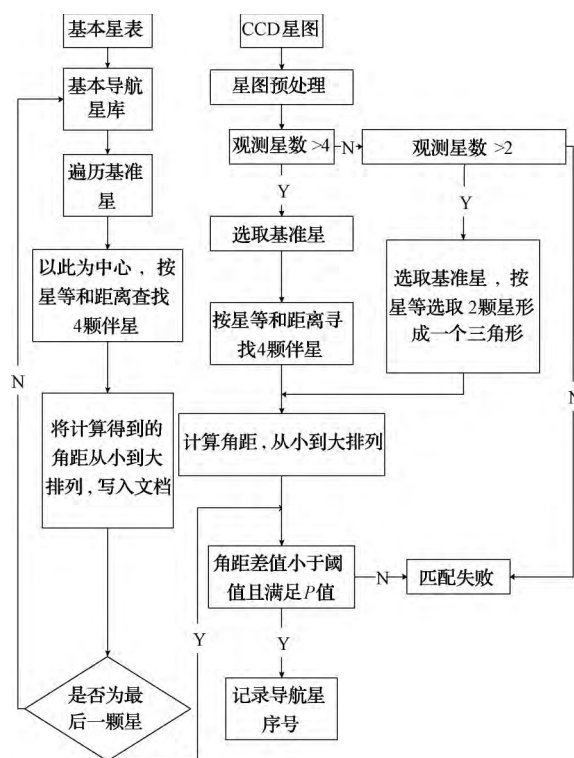


图7 改进算法识别流程

1) 首先对视场内的星进行计数, 设为 M , 假如星的数量 $M < 3$, 则判别识别结束, 结果为识别失败; 假如星的数量

量 $3 \leq M < 5$, 选取中心领域定位星, 找到亮度第 1 和第 2 的 2 颗星形成三角形, 直接跳入步骤 3) 进行识别; 假如星的数量 $M \geq 5$, 跳入步骤 2)。

2) 通过前面 1.1 节所叙述的方式, 寻找星图中心领域定位星, 确定近邻半径 R 和最大半径 L , 以此形成 2 个三角形。如果存在亮度三角形和距离三角形重合的情况, 则只需一个三角形进行匹配。

3) 依次计算定位星和另外 4 颗星的角距 θ_i , 将数值以大到小的方式顺序排列, 最后构成一个角距向量 $G = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$, 形成一个匹配向量。

4) 将星图里计算出的角距 $\theta_{i,j}$ 同特征星库存储的角距 $d_{i,j}$ 一一匹配, 计算差值。如果 G 中 H 个元素可以通过特征星库找到对应项, 并且 H 个元素满足 $|\theta_{i,j} - d_{i,j}| \leq \mu$, 该差值小于匹配时所要求的阈值^[15], 则识别结束, 结果为识别成功, 输出该定位星的星编号, 通过星编号在导航星库里找到该星, 输出赤经赤纬信息。如果匹配时阈值或者 H 值得不到满足, 则识别结束, 结果为识别失败。

3 仿真分析

3.1 仿真环境

仿真分析的环境配置分为硬件和参数。

硬件配置: Intel Core i3; RAM 4 GB; Windows7。

参数配置: 视场取值为 8° , 108 mm 为镜头焦距, 0.015 mm 为像元尺寸。选取 SAO 星表, 筛选出 5 103 颗星。按照 8° 视场生成全天区的模拟星图, 对星图进行加噪处理。随机选取其中 1 500 幅星图进行匹配识别, 对识别情况统计并分析。为了进行对比, 在同样的环境下, 将经典三角形算法与匹配组算法作为对比对象^[16]。改进三角形算法的阈值 $\mu = 3\sigma$, 位置测量误差的均方差为 σ , 本文设置 $\mu = 0.03^\circ$ 。

3.2 仿真结果分析

首先在星点位置上对模拟产生的星图加上均值为 0, 标准偏差在 $0 \sim 2$ pixel 变化的噪声且服从高斯分布 (0.015 mm 为 1 个像素长)。观察三种识别算法对星图的识别结果, 统计出识别率, 图 8 所示为结果对比。

然后在星等上对模拟产生的星图添加均值为 0, 标准偏差从 $0 \sim 1$ Mv 变化的噪声且服从高斯分布, 观察 3 种识别算法对星图的识别结果, 统计出识别率, 图 9 所示为结果对比。

通过图 8 和 9 的对比, 可以得出结论, 同样面对位置噪声和星等噪声的干扰, 改进的三角形算法的识别率不仅高于三角形和匹配组算法, 而且还保持着 96% 以上的高识别率。说明本文提出的改进三角形算法与三角形算法对比, 拥有更强的抗干扰能力。

最后统计识别时间, 3 种算法在同一条件下, 对未加噪的 1 500 幅模拟星图匹配识别, 计算出每种算法的平均时间, 统计出平均匹配时间, 如表 1 所示。

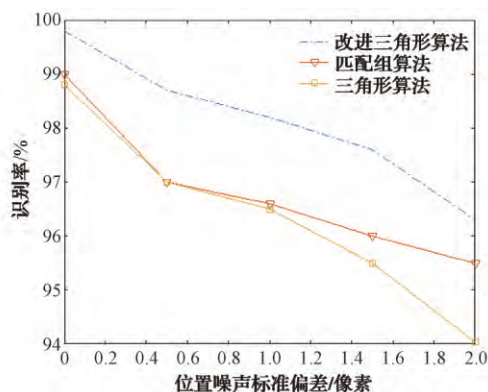


图 8 位置噪声对识别率的影响

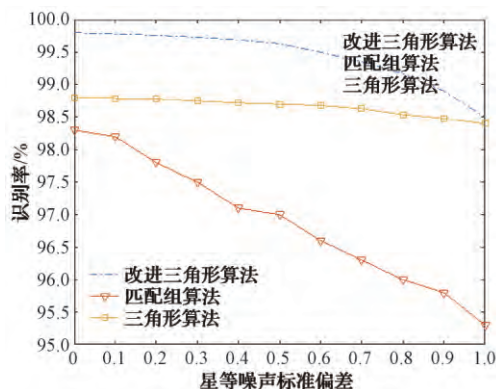


图 9 星等噪声对识别率的影响

表 1 3 种识别算法识别时间

算法	三角形算法	匹配组算法	改进算法
识别时间/ms	800	600	140

从表 1 可以得出结论, 对比三角形算法, 本文提出的改进三角形算法在识别时间上提高了 660 ms, 且优于匹配组算法, 保持了较快的识别速度, 说明采用识别星库的模式减少了匹配冗余。

4 总结

本文提出了一种三角形星图识别算法的改进算法。将亮度信息和距离信息加以利用, 构造了亮度三角形和距离三角形, 将 2 个三角形产生的角距进行存储匹配。亮度信息提供了更多的信息量, 对识别率进行了提升, 提高了算法的鲁棒性。通过对导航星库和特征星库并行处理构造了识别星库, 这不仅缩短了时间还优化了匹配时冗余匹配的问题, 识别速度得到了提升。最后仿真结果证明改进的三角形算法在星点位置噪声和星等噪声的干扰下, 具有较好的鲁棒性, 并且识别时间较短, 本文的研究具有一定的研究意义。虽然星等信息作为辅助信息提高了识别率, 但星等信息的不稳定性对识别率的影响还需要进一步进行研究。

参 考 文 献

- [1] 张广军.星图识别[M].北京:国防工业出版社,2011:1-20.
- [2] 陶雨露.基于恒星的航天器姿态确定技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2012.
- [3] 时圣革,雷肖剑,于长海.星图识别三角形算法综述[J].光电技术,2014,29(5):1-6.
- [4] 郭建.遥感测量工具星图识别算法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
- [5] 毛海岑,刘爱东,王亮.采用混合粒子群算法的星图识别方法[J].红外与激光工程,2014,43(11):3763-3766.
- [6] 熊雪,王庆.基于多视场星敏感器的三角形星图识别方法[J].计算机测量与控制,2014,22(1):225-228.
- [7] 梁斌,朱海龙,张涛,等.星敏感器技术研究现状及发展趋势[J].中国光学,2016,9(1):20-22.
- [8] 鹿瑶,张晓祥,孙荣煜.基于冗余递减匹配的星图识别方法[J].天文学报,2015,56(4):400-408.
- [9] 孙剑明.剖分特征集星识别法在天文导航中的应用[J].红外与激光工程,2015,44(11):3331-3335.
- [10] WEI W, LIU EN H. Preprocessing of infrared star map and position accuracy analysis of star point[J]. Infrared and Laser Engineering, 2014, 43 (3): 991-996.
- [11] MAO H C, LIU AI D, WANG L. Star recognition method based on hybrid particle swarm optimization algorithm [J]. Infrared and Laser Engineering, 2014, 43(11):3762-3766.
- [12] 踪华,汪渤,周志强,等.一种基于模式匹配的自主星图识别算法[J].北京理工大学学报,2015,35(10):1033-1037.
- [13] 牛瑞,王昱.背景预测与目标标记法结合的星图星点提取算法[J].测绘学,2015,40(2):39-42.
- [14] 胡坤,陈嘉鸿,谢元平.一种基于旋转不变特征的星图识别算法[J].光电工程,2015,42(6):21-25.
- [15] 倪娜,洪娟,赵友,等.一种位并行近似串匹配的星图识别算法[J].宇航报,2014,35(11):1278-1282.
- [16] 邢一凡.基于 CCD 星敏感器的星图识别算法的设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨师范大学,2014.

作 者 简 介

李江操,硕士,主要研究方向为星图识别、图像处理等。

E-mail:942797137@qq.com