

# 星识别的全新智能快速搜寻方法

孙剑明<sup>1,2</sup> 赵琳<sup>1</sup> 周卫东<sup>1</sup>

<sup>1</sup>哈尔滨工程大学自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001  
<sup>2</sup>哈尔滨商业大学计算机与信息工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150028

**摘要** 星图识别算法的关键是识别效率高、花费时间短。过去的几十年里,人们致力于建设搜寻数据库的方法,而且确实找到了大量的搜寻方法。为了减少星图数据库的搜寻时间,提出了一种将不同恒星等分层分类的新技术。同时,采用这种准确快速的搜寻方法提出了全新智能快速星识别算法。基于台式机的仿真结果显示这种星识别方法和数据库搜寻方法具有较高的准确性和效率。通过数据库搜寻星特征的时间复杂度为 $O(n)$ 。除此以外,因为星图像的质量决定了星图识别算法准确性的改进,因此提出一种模糊边缘检测技术来解决图像的预处理问题,这种方法对于噪声消除、星特征提取、数据库建设和匹配有重要意义。

**关键词** 图像处理;星识别算法;特征提取;边缘检测;噪声消除

**中图分类号** U666.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.s109006

## New Smart Fast Search Method of Star Identification

Sun Jianming<sup>1,2</sup> Zhao Lin<sup>1</sup> Zhou Weidong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harbin Engineering University, College of Automation, Harbin, Heilongjiang 150001, China  
<sup>2</sup>Harbin University of Commerce, School of Computer and Information Engineering,  
Harbin, Heilongjiang 150028, China

**Abstract** The key of the star pattern identification algorithm is highly efficient identification with little time. In the past few decades, people committed to methods to search database, and indeed invented a large number of search methods. In order to save the time of searching the star map database, the technology of hierarchical classification of different stars is presented, meanwhile, uses this fast and accurate search method to propose new smart fast star identification algorithm. Desktop-based simulation results show that this star identification methods and database search methods with high accuracy and efficiency. The time complexity of searching star features via database is  $O(n)$ . In addition, because the quality of the star image determines accuracy of the star pattern recognition algorithm, a fuzzy edge detection technique is proposed to solve the problem of preprocessing images. This method has a great significance to noise cancellation, the star feature extraction and manufacture and match of database.

**Key words** image processing; star identification algorithm; feature extraction; edge detection; noise cancellation

**OCIS codes** 100.2000; 100.4994; 100.5010

## 1 引言

在航天领域广泛采用星观测技术来进行姿态、方位确定,同样也可以在船舶上使用,可以运用星敏传感器来衡量星等和星坐标,然后比较导航星表以获得船舶的位置信息。星像质量对于星特征提取、数据库制造和匹配会产生重要影响,因此,在使用星图识别算法之前,要用图像处理算法对星像进行处理,

这样做有利于提高星图识别的准确性,而且有利于噪声消除、图像复原和星特征提取。

目前许多学者提出各种星图搜寻算法选取算法<sup>[1~6]</sup>来完善这一指标。这些算法虽然从某种程度上提高了姿态更新率,但是由于星图识别前必须从整幅星图中提取星像,而提取星像占了整个星图模式识别的绝大部分时间。随着像平面面阵的增大,

**收稿日期**: 2012-02-01; **收到修改稿日期**: 2012-03-08

**基金项目**: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(HEUCF041224)资助课题。

**作者简介**: 孙剑明(1980—),男,博士研究生,讲师,主要从事船舶天文导航方面的研究。E-mail: sjm@hrbcu.edu.cn

**导师简介**: 周卫东(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事组合导航技术、惯性导航与定为技术等方面的研究。

E-mail: zhouweidong@hrbeu.edu.cn

每次提取星像坐标过程的时间也相应地增加。为了改善这种状况,文献[7]采用几何选择的星跟踪方法来提高提取星图的效率。然而,星图识别算法的关键性能是识别效率高、所需时间短。过去的几十年里,人们致力于搜寻方法的数据库建设,而且确实发明了大量的搜寻方法。

本文在模糊边界检测的基础上采用优化的高斯滤波器来进行噪声消除。有很多边界检测的方法可供使用,例如 Sobel 法、Canny 法和 Robert 法等。但仿真结果显示只有模糊边界检测方法可以修正噪声点,而且对星边界破坏性也是最小的。为了减少计算数据库的搜寻时间,提出了基于星等密度的全新搜寻技术和  $n \times n$  样本图像。与其他方法相比,该方法可以提高特征提取的准确性并减少搜寻时间。

根据采用的不同战略,可以采用不同的星图识别算法来解决自动位置确定问题,例如三角匹配算法、组匹配算法和网格匹配算法等<sup>[8~12]</sup>。近年来,又出现了一些其他的方法,如奇异值分解算法、遗传算法和神经网络算法也被运用到这个领域<sup>[7]</sup>。使用这种搜寻方法提出了一种全新智能的快速星图识别算法,这种算法可以在星等级密度和  $n \times n$  样本图像的基础上准确识别星坐标。因此,无需搜索整个星数据库就可以进行匹配。为了提高这种方法的性能,也考虑了其他星特征,如三颗亮度最大的星之间的角型区域,这个区域组成了一个像三角形星图识别的三角形。在三角形星图识别中,由于相似三角形而产生的相似匹配降低了识别的效率,延迟了识别进程。但提出的这种算法使用了智能和快速搜寻方法可以解决这个问题。



图 1 (a)噪声图像;(b)利用高斯滤波器消除噪声;(c)图像在经过掩膜处理后利用高斯滤波器消除噪声

Fig.1 (a) Noise image; (b) eliminate noise using by Gaussian filter; (c) eliminate noise using by Gaussian filter after using mask

## 2.2 图像复原

噪声消除之后,接下来的步骤就是图像复原。人们采用  $Q$  阈值将星像分为黑和白两个等级, $Q$  阈值是直方图的重心值。图像的背景也是两个等级中的一种。黑色区域和白色区域的重心值可以采用直

## 2 图像预处理

由于星像有噪声,所以需要对图像进行预处理来提取星特征,这些特征如星等、角距或星群内具有较高精度的几何关系。本文提出了一种全新的技术,这种技术在消除星像的噪声方面有较高的准确性,这有利于提高星像的质量。

### 2.1 噪声消除

星像质量对于星特征提取,数据库制造和匹配算法具有很强的影响力。因此,噪声处理在星图识别准确性的改进上扮演了重要的角色。

采用优化的高斯滤波器来进行噪声消除。这种过滤仅仅能纠正噪声点。噪声消除的第一步是确定噪声点,因此采用模糊边界检测法来计算图像梯度。接下来计算边缘直方图的重心。为了计算重心,假定灰度值分别为  $g_0, g_1, \dots, g_n$ 。如果此时  $g_0 < g_1 < \dots < g_n$  并且噪声点的灰度值是  $g_i$ ,那么此噪声点的值为  $q_i$ ,则重心计算的公式为

$$Q = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^n g_i q_i}{\sum_{i=1}^n q_i}, & g_0 = 0 \\ \frac{\sum_{i=0}^n g_i q_i}{\sum_{i=0}^n q_i}. & g_0 \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

这种处理是反复递推的过程,直到找到满意解。如图 1 所示,噪声消除后,这种噪声点选择方法确实提高了图像的质量。

方图计算:

$$A_w = \frac{\sum_{i=Q}^n g_i q_i}{\sum_{i=Q}^n q_i}, \quad A_b = \frac{\sum_{i=0}^Q g_i q_i}{\sum_{i=0}^Q q_i} \quad (2)$$

计算  $A_w$  和  $A_b$  的目的是找到图像复原和降低直方图分散的标准方法。测定了背景图像后,直方图就

汇集到  $A_b$  和  $A_w$ ,这种方法的过程可以得到解释,如图 2 所示。

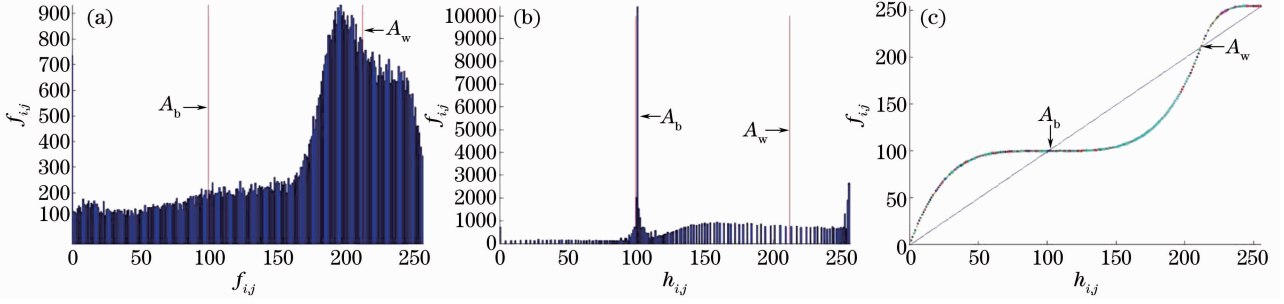


图 2 在星图上图像增强算法的结果。(a)星图的直方图;(b)图像增强后的直方图;(c)图像增强算法

Fig. 2 Effect of the image enhancement algorithm on the star image. (a) Star image histogram graph representation; (b) enhanced image histogram graph representation; (c) image enhancement algorithm

$A_w$  和  $A_b$  的计算可以通过映射函数完成,然后图像会从空间域向模糊域转移。

$$p_{i,j} = G(f_{i,j}) = \begin{cases} \frac{f_{i,j} - f_{\min}}{A_b - f_{\min}}, & f_{i,j} \leq A_b \\ \frac{A_w - A_{i,j}}{A_w - A_b}, & A_b \leq f_{i,j} \leq A_w \\ \frac{f_{i,j} - A_w}{f_{\max} - f_{i,j}}, & f_{i,j} \geq A_w \end{cases} \quad (3)$$

式中  $i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$ 。

当所有像素的灰度映射到 0 和 1 的区间内,在像素点  $(i, j)$  上应用转移函数  $H$ 。

$$p'_{i,j} = H_r(p_{i,j}) = H_1[H_{r-1}(p_{i,j})], \quad (4)$$

式中

$$H_r(p_{i,j}) = \begin{cases} \frac{p_{i,j}^2}{t}, & 0 \leq p_{i,j} \leq t \\ 1 - \frac{(1 - p_{i,j})^2}{1 - t}, & t \leq p_{i,j} \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

$r$  代表迭代的次数,  $t$  代表模糊系统的阈值。这些参数可以帮助我们轻松地控制图像增强算法。假设迭代 3 次,但是如果为了确定  $t$  的大小,就必须考虑分布直方图的图形和图像背景。当  $r$  趋近于 0 的时候,

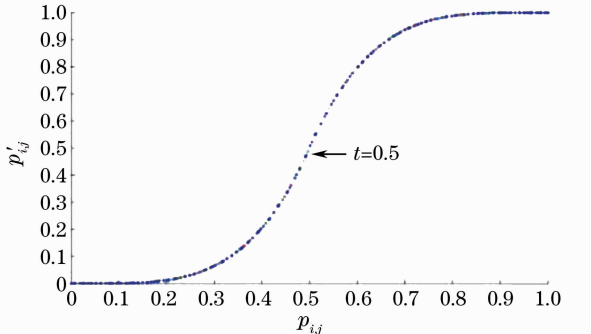


图 3 传递函数  $H$

Fig. 3 Transmission function  $H$

直方图的重心值会从  $A_b$  变为  $A_w$ ,反之亦然。可以从图 3 中看到这种转移函数的影响。然后,逆传递函数  $G^{-1}$  将图像从模糊域传递至空间域。

$$h_{i,j} = G^{-1}(p'_{i,j}) = \begin{cases} (A_b - f_{\min})p'_{i,j} + f_{\min}, & f_{i,j} \leq A_b \\ A_w - (A_w - A_b)p'_{i,j}, & A_b \leq f_{i,j} \leq A_w \\ (f_{\max} - A_w)p'_{i,j} + A_w, & f_{i,j} \geq A_w \end{cases} \quad (6)$$

式中  $i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$ 。

图 4 中  $A_{bck}$  和  $A_{obj}$  分别代表背景(夜空)和目标(星)的重心值。改变像素的颜色后,用  $A_{bck}$  和  $A_{obj}$  将图像分成两部分。并且因为在增强图像中的颜色相同,因此背景与目标之间的边界将更加连续。

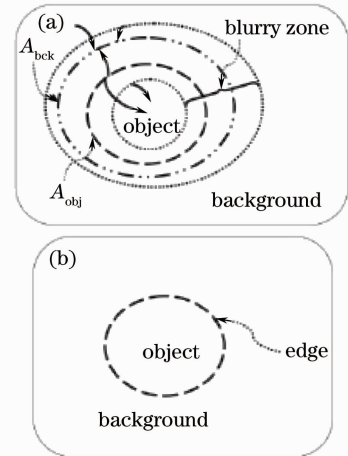


图 4 图像增强算法。(a)改进遗传算法;(b)结果  
Fig. 4 Image enhancement algorithm. (a) Improved genetic algorithm; (b) the result

### 2.3 星特征提取

星像的噪声和模糊被降低到可接受的程度后,为了使用星图识别算法,就必须提取特殊的星特征。使用边界检测方法而不是应用阈值来确定星坐

标,因为在星等级之间存在较大的差别。

因为所有的星都是圆形的,所以使用 Canny 边界检测方法。这种方法只能检测圆形的边界。为了将不是圆形星的多余边界去掉,设计了一个尺寸为  $3 \times 3$  的掩模。然后生成星列表并计算出星的总密度。从中选出最亮的三颗星作为导航星。

星图识别算法建立在星等级不是十分准确的基础之上。生成数据库和匹配算法的星像可能不在同一时间出现,因此为了实现星图识别,必须得到其他的星特征,如夹角、角距离、星中心等。在本研究中,三颗导航星之间的夹角构成了一个三角形。通过计算星的重心值来获得这些星特征。

### 2.4 星列表生成

当使用 Canny 边界检测方法时,出现了多余的边界。为了消除这些无用的信息,设计了一个尺寸为  $3 \times 3$  的掩模。掩模的处理过程如下:

如果这个掩模的中心像素值为 1,那么就可以

获得其相邻像素的值。在这个过程中,会发生如下状态:

1) 如果中心像素没有临近的像素,这个中央像素被当成是多余边界去掉了。

2) 如果只有一个像素接近中心像素,那么就把中心像素标记为一个新像素。

3) 如果临近像素超过一个,那么:

a) 如果所有的临近像素的标记是一样的,那么中心像素的标记也是一样的。

b) 如果所有的临近像素的标记都是不同的,那么中心像素的标记与其中的一个相同。

然后,认定标记相同的就是导航星并且计算导航星的等级密度值,还要将这些导航星按照密度值从大到小进行排序。

4) 一直重复这个过程直至所有的星都被提取过。

图 5 显示了上述问题提出的星识别算法。

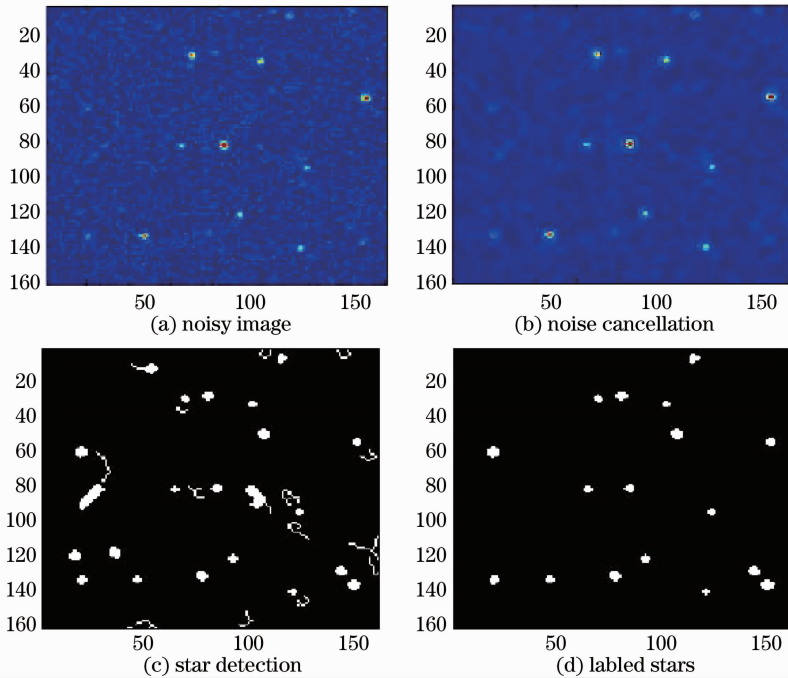


图 5 星识别目标算法的结果

Fig. 5 Results of the target star identification algorithm

## 3 星图识别

星图识别算法的关键在于根据各自的匹配战略设计出相应的模式。一旦确定了匹配战略,就要依据一些基本的匹配特征建立识别模式(如夹角、等级、角距离和星的中心等)。在模式结构的基础上可以生成星数据库。

### 3.1 星数据库

为了迅速确定星,在星数据库中要设计并储存数据结构。

1) 星数据库生成

正如上文所描述,经过了图像预处理与星特征提取两个步骤后,要产生一个三角模式才能生成星数据库,还要计算这三颗星之间的夹角、三个星的中心以

及各自的等级,并将这些信息存储在星数据库中。

## 2) 星数据库搜寻过程

传统的数据通过扫描全部的星像找到相似的星图。这种处理太浪费时间。为了减少数据库搜寻的计算负担并提高识别速度,提出了一种全新的技术。提出的这种方法必须估计星像的范围,这样出现星的概率就比在其他区域要大。把这种区域称为候选区域。

星等级密度对于星识别算法来讲是最重要的参数,因此,使用这一参数来确定候选区域。智能快速的搜寻方法只需要针对星等级密度为 $d$ 、尺寸为 $n \times n$ 的样本图像。在候选区域中只有星等级密度值为 $d \pm \epsilon$ 、尺寸为 $n \times n$ 的样本图像, $\epsilon$ 是公差值。

接下来要计算密度参数,首先必须检测星像。然后用全部的密度值除以像素的个数。简言之,与其他方法相比,本方法在星图识别上具有较高的准确度和效率。数据库搜寻时间和特征提取时间都是0。

## 3.2 星识别过程

在提取了星特征、生成了星列表之后,通过使用前一部分所描述的智能快捷的方法,可以确定候选区域。然后可以使用匹配算法来检测星三角图样的等级密度值。将测量结果与基准星目录进行比较,如果两者相等,就说明匹配算法处理是成功的。为

了增强星识别的准确性,还要计算三颗最亮的星之间的角距离。计算角距离的过程如下:

1) 选择接近视野中心的最亮一颗星作为主星,称之为 $S_1$ 。

2) 再选择两颗最亮的星作为辅助星,称之为 $S_2$ 和 $S_3$ 。

3) 在 $S_1$ 、 $S_2$ 和 $S_3$ 之间构建一个三角形,计算每对星之间的角距离。

4) 重复这个过程,直到只剩下一个三角形模式匹配,这意味着匹配处理成功了。或者也可以当图像中没有一颗亮星,这说明匹配处理失败了。

## 4 仿真结果

使用 Matlab 软件进行模拟实验,以桌面宇宙图像为基础的仿真结果分两步完成。

第一步是建立在模糊边界检测基础方法上的图像预处理。如图 5 所示,这种方法对图像质量有明显的影响。

在图 6 中,将文中提出的算法效果与 Canny 边界检测方法和快速多层模糊边界检测相比较。图 7 显示了本算法与快速多层模糊边界检测方法在星像上的比较结果。虽然,星的边界连续性很强而且对于星的边界的破坏性也是最小的。

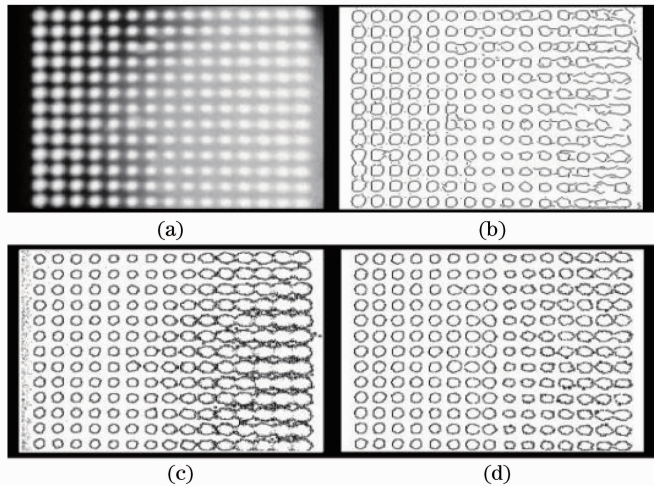


图 6 (a)噪声孔图的仿真图;(b) Canny 算法仿真图;(c)快速多层模糊边缘检测算法仿真图;(d)改进遗传算法仿真图

Fig. 6 (a) Simulation image of the noise holes image; (b) simulation image of the Canny algorithm; (c) simulation image of fast multilevel fuzzy edge detection algorithm; (d) simulation image of improved genetic algorithm

表 1 显示了该方法计算时间与 Canny 边界检测方法和快速多层模糊边界检测相比较的结果。这种模拟在 20 个星像上重复使用。这种方法的计算时间比 Canny 边界检测方法快,但是和快速多层模

糊边界检测方法比较接近。

第二步是运行星识别算法。为了方便起见,将文中所提到的算法与其他算法在表 2 中进行比较。假设星数据库中有 $n$ 颗星,相机能观测到星的平均

数为  $f$ , 图像中星的数量是  $b$ 。  $O(\cdot)$  用来表示算法运行时间的最高阶项。

表 1 边缘检测算法的计算时间

Table 1 Calculation time edge detection algorithm

Edge detection	Computations time /s
Canny	0.1161
FMFED	0.0671
Proposed algorithm	0.0701

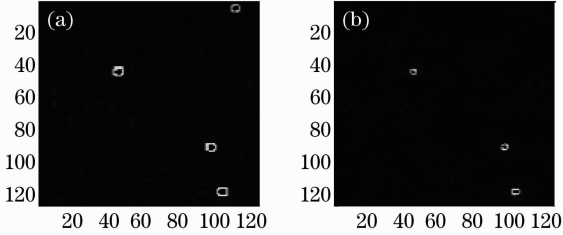


图 7 星图仿真结果。(a)改进遗传算法;  
(b)快速多层模糊边界检测

Fig. 7 Simulation results of star image. (a) Improved genetic algorithm; (b) fast multilevel fuzzy edge detection algorithm

表 2 改进遗传算法与三角匹配算法的比较

Table 2 Comparison of improved genetic algorithm with triangle matching algorithm

Method	Feature extraction	Database size	Database search
Ref. [7]	$O(b)$	$O(nf)$	$O(k)$
Ref. [8]	$O(b)$	$O(nf)$	$O(k)$
Ref. [10]	$O(b \log b)$	$O(nf^2)$	$O(nf^2)$
Proposed algorithm	$O(f)$	$O(n)$	$O(n)$

## 5 结 论

为了自动地确定航向,根据所采取的战略不同,有不同的星图识别算法。识别的准确性和时间是衡量星图识别方法效果的最重要参数。为了降低数据库搜寻和匹配算法的时间,并提高星识别的准确性,提出了一种全新智能的快速搜寻方法来实现星图识别算法。

星像的质量对星特征提取、数据库生成和匹配算法有重要的影响。采用基于模糊边界检测方法的优化高斯滤波器来实现噪声消除。仿真结果显示,文中提到的方法仅仅可以修正噪声点,但是对于星边界的破坏作用是最小的。

## 参 考 文 献

- Zheng Sheng, Wu Weiren. A novel regression selection algorithm of guide star[J]. *Journal of Astronautics*, 2004, **25**(1): 35~40
- 郑 胜, 吴伟仁. 一种新的导航星选取算法研究[J]. *宇航学报*, 2004, **25**(1): 35~40
- D. L. Zhou, Q. Pan, H. C. Zhang. An improved algorithm of edge detection based on fuzzy sets[J]. *Image Graph*, 2001, **6**(4): 353~358
- Lin Tao, Zhou Jianlin, Zhang Junping *et al.*. A general method of the automatical selection of guide star[C]. *Signal Processing Proceedings*, 1998. 1616~1619
- H. T. Kim, J. L. Junkins. Self-organizing guide star selection algorithm for star trackers: thinning method [C]. *Aerospace Conference Proceedings*, 2002, **5**: 2275~2284
- Li Lihong, Lin Tao, Ning Yongchen *et al.*. Improved all-sky autonomous triangle star field identification algorithm[J]. *Optical Technology*, 2000, **26**(4): 372~374
- 李立宏, 林 涛, 宁永臣 等. 一种改进的全天自主三角形星图识别算法[J]. *光学技术*, 2000, **26**(4): 372~374
- Dang Hongshe, Han Congzhao. A method based on evidence theory for target recognition [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2003, **39**(10): 24~25
- 党宏社, 韩崇昭. 一种基于证据推理的目标识别方法[J]. *计算机工程与应用*, 2003, **39**(10): 24~25
- M. Kolomenkin, S. Pollak, I. Shimshoni *et al.*. Geometric voting algorithm for star trackers[J]. *IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst.*, 2008, **44**(2): 441~456
- D. Mortari. Search-less algorithm for star pattern recognition [J]. *J. Astronaut. Sci.*, 1997, **45**(2): 179~194
- C. Padgett, K. Kreutz-Delgado, S. Udomkesmalee. Evaluation of star identification techniques [J]. *J. Guidance, Control & Dynamics*, 1997, **20**(2): 259~267
- M. S. Choll. Star-field identification for autonomous attitude determination [J]. *J. Guidance, Control & Dynamics*, 1995, **18**(1): 61~65
- Wang Shenqian, Zhou Yuanhua, Zou Daowen. Adaptive shrinkage de-noising using neighbourhood characteristic[J]. *Electron. Lett.*, 2002, **38**(11): 502~503
- J. Hong, J. A. Dickerson. Neural-network-based autonomous star identification algorithm [J]. *J. Guidance, Control & Dynamics*, 2000, **23**(4): 728~735

栏目编辑:何卓铭