

文章编号: 1003-501X(2004)01-0009-03

# 用KMP算法进行星敏感器星图识别的方法

李葆华, 张迎春, 李化义, 许士文

(哈尔滨工业大学卫星工程技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:** CCD星敏感器的关键问题是星图识别。从字符串的模式匹配来考虑这个问题, 先把星图通过高通滤波器, 然后用0-1的方法建立导航星库, 再采用KMP算法来进行星图识别。仿真结果表明该算法每区域的识别时间才0.2486ms, 并且克服了在许多星等相近的亮星或星对角距很小的视域内识别率严重降低的缺点。该算法有很好的鲁棒性。

**关键词:** 星图识别; KMP; 星敏感器

中图分类号: V448.22

文献标识码: A

## A star map recognition method of star sensor with KMP algorithm

LI Bao-hua, ZHANG Ying-chun, LI Hua-yi, XU Shi-wen

(Institute of Satellite Engineering and Technology,  
Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** The key importance in star map recognition is CCD star sensor. Taking account of this importance from the match mode of string, first passing star map through high-pass filter, then a nautical star database established with 0 and 1 method, star map recognition is carried out by KMP algorithm. Simulation results show that the identification time of the algorithm for each area is only 0.2486ms. This overcomes the faults of which the discrimination is seriously lowered among many bright stars or within a visual domain of very small diagonal distance. The algorithm has a good robustness.

**Key words:** Star map recognition; Knuth-Morris-Praa; Star sensor

## 引言

航天器姿态测量是伴随空间技术、图像传输技术、图像处理技术和电子计算机技术的发展而发展起来的科学技术, 它的任务是利用各种在轨道空间的传感器对地球等星球进行遥感, 从而来了解它们的姿态信息(俯仰角、偏航角和滚动角等), 以用于导航、定位和实验等。目前有很多种仪器(陀螺仪、磁力计、地平仪、太阳敏感器和星敏感器等)可以为飞行器提供姿态信息, 其中CCD(Charge Coupled Device, 电荷耦合器件)星敏感器因其指向精度高、体积小、自主性强等优点而备受青睐<sup>[1]</sup>。

CCD星敏感器的基本原理是通过光学系统将瞬间视场中的若干恒星成像于CCD上, 然后通过星图识别算法来识别恒星在天球上的位置, 根据这些位置来计算飞行器的姿态信息。目前常用的星图识别算法有多边形角距匹配法、圆形区域法和主星识别法<sup>[2]</sup>等, 但在有许多星等相近的亮星存在或星对角距(两星点与观测中心的球心角)很小的情况下, 这些算法的识别率就会严重降低<sup>[3]</sup>。本文从字符串的模式匹配来考虑星图识别, 介绍了如何用KMP(Knuth-Morris-Praa)算法来求解这一问题以及相应导航星库的构造方法。

## 1 导航星数据库的构造

建立导航星库是星图识别技术的一项基础工作, 它的容量、存储方式、存储内容和读取方式是影响识别算法的识别成功率和识别时间的关键因素, 因此具体怎样建立导航星库是人们一直在研究的问题。目前,

收稿日期: 2003-03-24; 收到修改稿日期: 2003-10-28

作者简介: 李葆华(1977-), 男(汉族), 江西瑞金人, 博士生, 主要从事星敏感器的星图识别算法研究。E-mail: libaohua@hit.edu.cn

对于面阵 CCD 星敏感器来说有些采用整幅图像输入方法,但是如果用整幅原始图像来做导航星库信息,不但在存储时要占用大量的空间,而且在星图匹配时所涉及的大量加减乘除运算更会耗去大量的时间。针对 KMP 算法的特点,本文采用 0-1 的方法建立导航星库,即在导航库中不存储图像的实际像素值,而是分别用 1 和 0 (本算法中每个像素只需 1 比特(bite)来存储)来表示恒星的像素值和非恒星的像素值。在星图中,因为恒星的像素值明显大于背景的像素值,并且在识别算法中我们主要关心的是算法对于恒星匹配的结果,所以在制定导航星库时,我们不直接存储该点像素值的大小,而是先对该图像进行高通滤波:

$$H(u, v) = \begin{cases} 0, & D(u, v) \leq D_0 \\ 1, & D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中  $D(u, v)$  表示坐标  $(u, v)$  处的像素值,  $D_0$  是高通滤波器阈值。

这样,一个二维的 CCD 星敏感器采集的图像,经过高通滤波器后,就可得到一个一维 0-1 字符串,把所有区域的 0-1 字符串按一定方式存储起来,就构造出导航星库。以后的星图识别工作就是对这个一维 0-1 字符串和导航星库中每个区域的一维 0-1 字符串进行匹配。

导航星库的存储过程如下:首先,把整个天球分为若干个不重叠的四方形区域,每个区域的尺寸与星敏感器视场的尺寸相等;其次,计算每个区域中某个最亮恒星的赤经和赤纬,在以后的星图识别算法计算过程中,我们就认为某一区域对应的赤经和赤纬就等于该区域内最亮恒星的赤经和赤纬,把预先计算出的每个区域的赤经和赤纬存储到该区域导航星库的开始位置;最后,把相应区域的图像通过高通滤波器进行滤波,得到 0-1 字符串。由于在存储器里,每个 0 和 1 字符只占用 1 比特,所以我们在存储过程中不必用 8 比特来存储一个 0 或 1,而只需用 1 比特来存储,即在导航星库中每 8 个像素占用 1 个字节。与直接存储原始图像的像素值相比,这种存储方式大大减小了导航星库的存储量。

## 2 星图识别

### 2.1 字符串匹配算法——KMP 算法

把问题转化为匹配两个 0-1 字符串后,采用 KMP 算法匹配。KMP 算法的基本思想是<sup>[4]</sup>:从目标串  $S$  的第一个字符起和模式串  $T$  的第一个字符相比较,若相等,则继续逐个比较后继字符;若不相等,则从模式串  $S$  的第二个字符起再重新和模式串  $T$  的第一个字符比较。依次类推,直至模式  $T$  中的每个字符依次和目标  $S$  中的一个连续的字符序列相等,则匹配成功,定位和模式  $T$  中第一个字符相等的字符在目标  $S$  中的位置;否则匹配不成功。

### 2.2 算法描述

有了前文的基础,基于 KMP 星敏感器的星图识别算法可简单描述如下:

1) 将由 CCD 星敏感器观测视场采集得到的图像经过高通滤波器后,得到形如导航星库形式特征的 0-1 字符串; 2) 根据由上一步所得到的 0-1 字符串与导航星数据库中的每个区域 0-1 字符串,用 KMP 算法进行匹配,由于在导航星库中每个 0 和 1 都只占用 1 比特,所以在用 KMP 算法匹配时,应该采用“与”、“或”等逻辑运算,同时在匹配的过程中计算匹配与字符“1”取逻辑“与”运算结果为 1 的个数。如果在导航库中能找到与它一一对应的字符串,则匹配成功;如果找不到,则取与字符“1”进行逻辑“与”运算时结果为 1 的个数最高的一组作为匹配成功; 3) 读取匹配成功区域的赤经和赤纬,最后计算出飞行器的姿态信息。

## 3 仿真结果及其分析

为评价这种识别方法,本文任取三幅面阵 CCD 星敏感器采样的图片数据(每幅为 752 像素×580 像素),其中一幅为正常图片数据,一幅为存在许多星等相近的亮星的图片数据,最后一幅为存在星对角距很小的图片数据,用 P 800MHz 主频的微机,在 Windows 2000 Professional 环境下,使用 VC++6.0 工具,对算法在不同阈值  $D_0$  下的识别率和识别时间进行了模拟实验,仿真结果如表 1。

图 1 是采用北斗星图片数据作为匹配对象的理想仿真结果图。为了进一步说明问题,该图以每个星点

位置为中心，在星点附近放大 4 倍，因此每颗星放大成了一个 4×4 的正方形，而实际仿真结果的理想图应该每颗星只占一个像素。

利用该算法来进行星图匹配时，从制定导航星数据库的过程可知，进行星图匹配时该算法只涉及到逻辑运算和少量加减运算，几乎不涉及到乘除运算，因此该算法匹配时间短。从表 1 的仿真结果也可看出，每区域匹配时间为 0.2486ms；如果增加导航星的数量（即适当地减小阈值  $D_0$  的值），只是在得到的 0-1 字符串里，增加了若干个字符 1，相应地减少了相同个数字符 0，而总的匹配字符串数量不变，所以利用本文的算法进行匹配时，不会增加每个区域的匹配时间。从表 1 可以看出，每区域匹配时间仍为 0.2486ms，说明该算法具有很好的鲁棒性。利用本文的算法在进行星图匹配时，不管星等高还是星等低都作为字符 1，因此对存在许多星等相近的亮星的视域内，匹配结果不会受到这些因素的影响；对存在星对角距很小的视域内，只是在得到的 0-1 字符串里增加了若干个连续的字符 1，相应地减少了相同个数字符 0，但总的匹配字符串数量不变，因此匹配结果也不会受这些因素的影响。这点从表 1 的结果也可以

看出，在许多星等相近的亮星或星对角距很小的视域内，匹配时间仍为 0.2486ms，当每个姿态角（俯仰角、偏航角和滚动角）的误差小于  $0.02^\circ$  时，匹配成功率仍达到 100%。而利用目前常用的星图识别算法必须去掉存在许多星等相近的亮星或星对角距很小的视域，否则识别成功率会严重降低，甚至根本无法识别<sup>[2, 3]</sup>。

结束语

本文提出了一种基于 KMP 的星图识别算法，一方面，该算法克服了一些传统算法在有許多星等相近的亮星和星对角距很小的视域内识别率严重降低的缺点；另一方面，由于该算法只涉及到逻辑运算和少量加减运算而几乎不涉及到乘除运算，因此在进行星图识别时也克服了计算量大、运算时间长的缺点，即使增加导航星的数量（即适当地减少阈值  $D_0$  的值），也不会增加运算量，所以该算法有很好的鲁棒性，并且实现容易。但是，该算法建立的导航星库容量大，如面阵 CCD 星敏感器采集的一幅  $752 \times 580$  的图像在导航星库中所需要的存储空间就约达 53.24K，这在以后的工作中该问题还有待改善。

参考文献：

[1] 李立宏，曹 泉，张福恩．基于 CCD 星敏感器的飞行器姿态估计算法研究[J]．光电工程，2000，27(1)：20-24.  
[2] 陈元技，郝志航．适用于星敏感器的星图识别方法[J]．光电工程，2000，27(5)：5-10.  
[3] SCHOOL M S. Star field identification algorithm—performance verification using simulated star field [J]. **SPIE**，1993，2019: 275-290.  
[4] 李 静. 字符串的模式匹配算法——基于 KMP 算法的讨论[J]. 青岛化工学院学报，2002，23(2)：78-80.

表 1 不同图片数据和不同阈值  $D_0$  下的测试结果

Table 1 Testing results from different image data and different  $D_0$

Image sampled by CCD star sensor	$D_0$	The number of guide star in every area	Identification time of every area /ms	Error less than $0.02^\circ$ (single axis)
Normal image	128	16	0.2486	100%
	164	11	0.2486	100%
	200	10	0.2486	100%
Image with similar star grade	128	18	0.2486	100%
	164	14	0.2486	100%
	200	12	0.2486	100%
Image with small star diagonal distance	128	14	0.2486	100%
	164	10	0.2486	100%
	200	10	0.2486	100%



图 1 一幅理想的仿真结果图

Fig.1 An ideal image after simulations