

微型航天器多目标捕获算法研究

柳 祥^{1,2}, 胡炳樾¹, 邵秀娟^{1,2}, 卫翠玉^{1,2}

(1. 中国科学院西安光机所光谱室, 西安 710068; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 为了实时性捕获混杂在天基背景中的运动目标, 采用一种基于有效点的质心提取与消旋配准相结合的比较差分算法。首先对天基背景有效点进行标记并质心提取, 根据航天器定位系统提供的参考旋转角度进行适度消旋配准, 再平移配准参照帧的有效点质心坐标, 根据完全配准时有效点质心坐标相同点最多的原则, 得出配准点, 配准后比较差分去除相同背景点, 提取出目标。仿真结果表明该算法计算量小, 虚警率低, 适合微型航天器实时多目标捕获的要求。

关键词: 微型航天器; 质心配准; 消旋; 比较差分算法

中图分类号: V423.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-1328(2009)04-1415-06

DOI: 10.3873/j.issn.1000-1328.2009.00.018

0 引言

微型航天器因其目标小、机动性强、可进行编队组网等特点, 在军民两用高新技术中受到全世界的广泛关注。为适应微型化的要求, 微型航天探测器体积小, 镜头小, 这也使它的探测距离、探测范围和工作寿命都有限, 而且计算能力有限, 再加上微型航天器所处的特殊环境太空, 星空背景、目标物以及微型航天器三者之间有相对的运动使得对目标物的捕获比较困难。

在目标识别领域, 目前国内外主要采用帧间差分与背景抑制相结合的算法、单帧图像做模板匹配进行目标的识别算法和把模糊技术和神经网络应用到模板匹配中进行分层识别的算法^[1]。但是这些算法都存在一些不足之处。前者计算量比较小, 但是识别的效率很低, 后面两种对目标的识别效率提高了, 但是它们要对目标的各种情况下的模板先进行训练, 然后拿目标的模板在图像中扫描进行匹配, 这样计算量非常大。因此, 找一种既有一定的识别效率计算量又小的算法是微型探测器目标识别算法研究的一个发展方向。本文根据微型航天器独特的星空背景图像, 详细分析了一种基于有效点的质心提取与消旋配准相结合的比较差分算法^[2]。它利用质心的提取来简化计算量, 消旋配准去除相对旋

转的干扰和比较差分来提取目标。

1 微型航天器多目标捕获算法

微型航天器主要是对太空中的目标物进行探测成像并识别, 然而由于微型航天器所处环境的背景比较复杂。再加上复杂背景、目标物以及微型航天器三者之间有相对的运动使得对目标物的识别比较困难。因此, 如何识别图像中的目标物是微型航天器仿真研究中首要解决的问题。考虑到复杂背景和背景物之间相对运动的特性, 所以我们选择差分算法, 经多次仿真结果显示, 多种经典的配准差分算法, 很难适应空间背景的目标捕获。星空背景的特点: 1. 背景主要由恒星组成, 恒星之间不能连成线和其它任何图形, 这使常用的配准方法很难找到配准依据; 2. 大部分目标成像小, 混杂在恒星之间, 大小上区分必然会遗失部分目标。根据这些特点, 本文论示了一种新型的配准差分算法——质心提取与消旋配准相结合的比较差分算法。

算法的流程图如下图 1 所示。其流程为: 从视频流里提取两帧连续的图像, 首先对从视频流中提取出两帧连续的图像进行指定阈值的二值化, 再对二值化后的图像进行八连通标记; 然后对各个标记区质心提取坐标, 记入一个一维数组, 对数组中的坐标点进行配准; 最后根据配准结果, 进行比较差分处

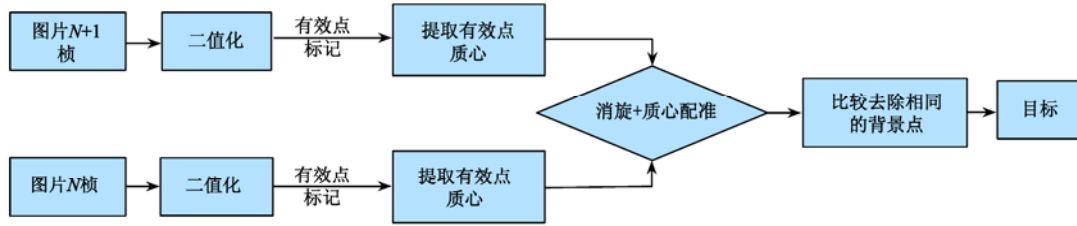


图 1 质心配准差分算法基本流程图

Fig.1 The algorithm flow chart of multi-target capture for microspacecraft

理,去除 $N + 1$ 帧中和 N 帧相同点在数组中的坐标,剩余的坐标点为目标的质量坐标,根据标记值,在原图像中显示目标图像。

1.1 质心提取^[3]

设在时刻 t_1, t_2 时刻采集到二帧图像分别记为 $f(x, y, t_1), f(x, y, t_2)$, 第一幅图像像素个数记为 $[M_1, N_1]$, 第二图为 $[M_2, N_2]$, M 为纵坐标宽, N 为横坐标长。因为灰度值对提取质心目标没有帮助,所以首先对其进行 0.5 倍平均阈值的二值化,以提高下文配准处理效率。然后对二值化后不为零的所有点进行八连通标记,

例,如图 2 所示:

1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	2	2	0	0	0
1	1	1	0	2	2	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	4	0	0
1	1	1	0	0	0	0	4	0
1	1	1	0	0	0	4	0	0
1	1	1	0	3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

图 2 八连通标记样例

Fig.2 Connect-8 label

再对标记的目标进行质心坐标提取并记入数组内。

第一幅图像的坐标值记为:

$$\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4), (x_5, y_5), (x_6, y_6), (x_7, y_7) \dots (x_i, y_i)\}$$

第二副图像的坐标值记为:

$$\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4), (x_5, y_5), (x_6, y_6), (x_7, y_7), (x_8, y_8) \dots (x_j, y_j)\}$$

例,连续两幅图像分别记为:

$$\text{数组 1: } \{(143, 22) (133, 54) (58, 58) (213,$$

$$69) (104, 104) (97, 114) (211, 115) (106, 120) (237, 124) (2, 128) \dots (105, 211) (163, 222)\},$$

$$\text{数组 2: } \{(134, 22) (124, 54) (49, 58) (204, 69) (104, 104) (88, 114) (202, 115) \dots (191, 209) (96, 211) (154, 222)\}.$$

因为星空背景目标图像,大部分区域是黑色的背景,极少有效点为恒星和目标,所以经过提取质心,统计得把大小为 1024×1024 的图像简化仅为八、九十个坐标点,极大地降低了计算量,而数字化的坐标点又能使配准精确、易于控制。

1.2 消旋处理

消旋就是根据已知角度去除连续两幅图像相对旋转的部分,一副图像旋转的仿射矩阵 T 为

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \theta \text{ 为旋转角度,这个值是卫星姿}$$

态控制系统报出的角度,如果微型航天器姿态控制系统十分准确,他是消旋的角度值;但是现今的微型航天器由于技术限制^[4],姿态控制制度在正负 0.1 度范围内,所以消旋过程需要在 θ 左右一定范围内浮动配准。根据上文的已有坐标值,每个质心点需旋转坐标

方程处理,旋转坐标方程:
$$\begin{cases} x = w\cos\theta - z\sin\theta \\ y = w\sin\theta + z\cos\theta \end{cases}, \theta \text{ 在}$$

控制范围内上下浮动,与下文质心配准结合求出准确的旋转角度。旋转是图像配准中最复杂的问题,消旋处理是在一个参考角度基础上进行,这里利用卫星姿态控制仪报出的旋转角度,再在此基础上左右旋转配准,降低了算法的计算量。

1.3 质心配准^[5]

图像配准是图像处理的基础,它是利用连续两幅图像的相关性关系,确定相同背景部分稳定在同一幅图像上的相同位置上,从而使运动目标“暴露”出来。配准就是完成背景稳定的过程。这里根据已

得到有效点质心坐标的特点,介绍一种利用平移坐标值,两幅图中相同坐标点最多时为背景相同的配准方法。

通过对星空背景视频流的观察,发现:背景,目标都在运动,但是背景点总体的运动方向是一致的,这意味同时平移上面的质心坐标,达到某一点时,两幅图的相同点最多,这一点即为配准点。基本过程可用数学表达式表述如下:

数组一:

$$\{(x_1 + I, y_1 + J), (x_2 + I, y_2 + J), (x_3 + I, y_3 + J), (x_4 + I, y_4 + J), \dots, (x_i + I, y_i + J)\}$$

数组二:

$$\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4), (x_5, y_5), (x_6, y_6), \dots, (x_j, y_j)\}$$

如果 I 和 J 是一个合适的值时,数组一和二之间将出现满足如下条件的值最多, $|x_i + I - x_j| < \sigma$ 和 $|y_i + J - y_j| < \sigma$, σ 为判定配准度的阈值,根据星空背景得特点,多次比较得出 σ 通常取一至二之间值较好, I 和 J 即为配准点。然后根据式一:

$$\begin{cases} x_i + I < 0 \\ x_i + I > M_1 \\ y_i + J < 0 \\ y_i + J > N_1 \end{cases} \text{ 去除数组一中相同背景外的点。}$$

$$\text{式二: } \begin{cases} x_j + I < 0 \\ x_j + I > M_2 \\ y_j + J < 0 \\ y_j + J > N_2 \end{cases} \text{ 去除数组二中相同背景外的值。}$$

因为星空背景中有效坐标点相对稀少,所以整个配准处理过程计算量很小。

1.4 比较差分

帧间差分法是利用前后两帧图像直接相减,一般是对应的像素的灰度值逐个相减。这种方法在图像处理中经常用到。特别是在背景不动目标运动情况下效果比较好。利用帧差法将运动目标物体与背景分离,以获得运动目标的位置信息。由于背景相对固定,所以,如果帧差后颜色空间为非零,则认为是由噪声或运动对象的位置变换引起的。星空背景中,目标和恒星在图像中像素值大约在 2-4 个,所以很容易与直接差分引起的噪声混合,难以准确识别目标。

质心提取与消旋配准相结合的比较差分算法运算层次在单个坐标点质心组成的数组上,在帧间差分法原理上,改进出一个计算量小容易实现的比较差分法。具体如下:根据 $|x_i + I - x_j| < \sigma$ 和 $|y_i + J - y_j| < \sigma$, σ 为判定配准度的阈值,去除数组二中和数组一中相同点的坐标,即为背景坐标,由于背景是完全配准的,不同点的坐标即为目标质心坐标,然后根据标记值在原始图中显示这些标记区域值,处理效果可见下文仿真研究。由于整个处理过程在数字层进行,最终在原始图上显示,所以处理过程不会带来噪声干扰,不会影响目标显示的清晰度。

2 仿真研究

在这次仿真试验中,用到的是 Satellite Tool Kit^[6] (STK) 保存的模拟星空背景多目标捕获仿真视频流,美国 Analytical Graphics 公司开发的 STK 卫星工具包软件,是航天工业领先的商品化设计分析软件。STK 可以快速方便地分析复杂的陆、海、空、天任务,并提供易于理解的图表和文本形式的分析结果,确定最佳解决方案。它支持航天任务周期的全过程,包括政策、概念、需求、设计、制造、测试、发射、运行和应用。视频流包括非旋转时多目标捕获和发生旋转情况下多目标捕获,用基于有效点的质心提取与消旋配准相结合的比较差分算法来实现,以下是具体仿真结果。

2.1 在运动星空背景下多目标捕获

在图 3 中有三个目标同时出现在帧频中,第一个目标卫星是 the Advanced Land Observing Satellite (ALOS), ALOS 是在日本 Tanegashima 空间发射中心由 H-IIA 运载火箭发射成功,轨道类型:太阳同步卫星;赤道轨道高度:691km;轨道交角:98.16°。第二个目标卫星是 UK-DMC, UK-DMC 是国际灾难监控协会设计的卫星,轨道近地点:675km;远地点:692km;轨道交角:98°;发射日期:2003-09-27;所属国家:United Kingdom (UK)。第三个目标卫星为 ICESat, ICESat 是 2003 年 1 月 12 日在加利福尼亚的美国空军基地通过 DeltaII 号运载火箭发射上空,其高度为 600km。STK 软件内有系统精确的卫星数据,这些卫星加载在仿真视频中具有在仿真时刻真实再现的可靠性。

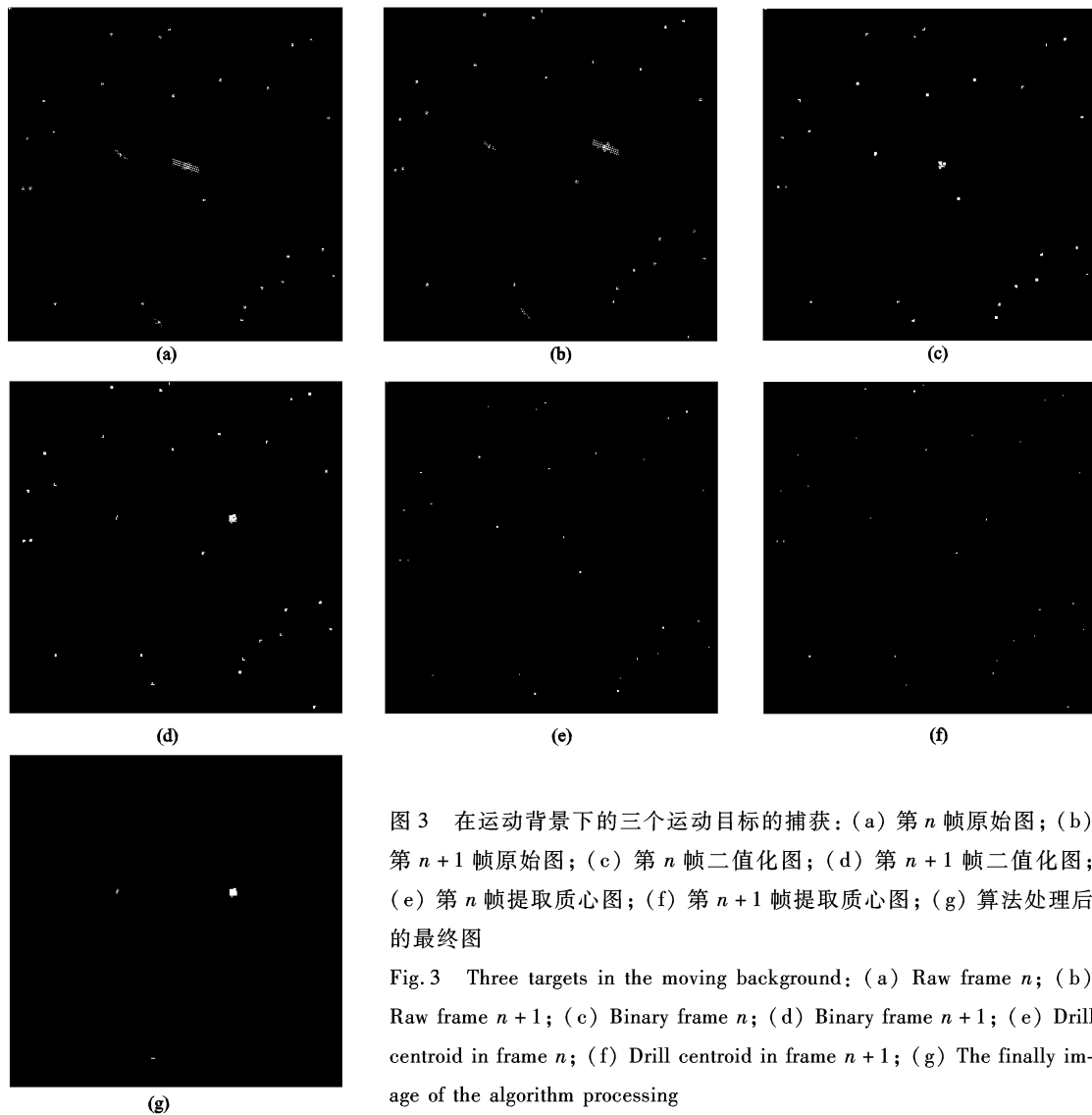


图 3 在运动背景下的三个运动目标的捕获: (a) 第 n 帧原始图; (b) 第 $n+1$ 帧原始图; (c) 第 n 帧二值化图; (d) 第 $n+1$ 帧二值化图; (e) 第 n 帧提取质心图; (f) 第 $n+1$ 帧提取质心图; (g) 算法处理后的最终图

Fig. 3 Three targets in the moving background; (a) Raw frame n ; (b) Raw frame $n+1$; (c) Binary frame n ; (d) Binary frame $n+1$; (e) Drill centroid in frame n ; (f) Drill centroid in frame $n+1$; (g) The finally image of the algorithm processing

在捕获时刻, ALOS 星与微型航天器相距大约 19km, 在 STK 图片上占 5 个像素; UK-DMC 星与微型航天器大约距 20km, STK 图片中占 4 个像素; 而 ICESat 与微型航天器大约 3.5km 远, 显示 27 个像素大小。视频流的采样频率 2Hz。用质心配准比较差分算法处理后, 结果显示无论目标大或小都能有效捕获, 3 个目标清晰, 背景完全抑制。

2.2 旋转运动星空背景下多目标捕获

图 4 中有两个目标同时出现在帧频中, 第一个目标卫星是 the Advanced Land Observing Satellite (ALOS), ALOS 是在日本 Tanegashima 空间发射中心由 H-IIA 运载火箭发射成功, 轨道类型: 太阳同步卫星; 赤道轨道高度: 691km; 轨道交角: 98.16° 。第二个目标卫星为 ICESat, ICESat 是 2003 年 1 月 12

日在加利福尼亚的美国空军基地通过 DeltaII 号运载火箭发射上空, 其高度为 600km。

在捕获时刻, ALOS 星与微型探测器大约距 19km, 图片中 5 个像素; 而 ICESat 距离微型探测器 3.5km 远, 显示 27 个像素大小。已知采样时两帧图片发生旋转角度为 8° , 所以消旋在 8° 左右调整, 直到找到个角度完全配准时。视频流的采样频率 2Hz。用基于有效点的质心提取与消旋配准相结合的比较差分算法处理后, 仿真结果显示发生旋转时仍能有效捕获, 目标清晰, 背景有效抑制。

3 结论

使用 STK8.0 生成的图像大小为 1024×1024 的视频流, 选择 TMS320C6416 DSP 芯片做硬件仿

真^[7],视频采样频率 4Hz 时,对算法进行验证,结果显示:基于有效点的质心提取与消旋配准相结合的比较差分算法是利用目标的运动特性识别目标,特别适用在目标卫星和背景恒星在大小上很难区分的

情况下,多目标捕获效果极佳,由于算法原理没有包含复杂的变换和乘法运算,所以计算量小,是微型航天器实时多目标捕获的比较理想算法。

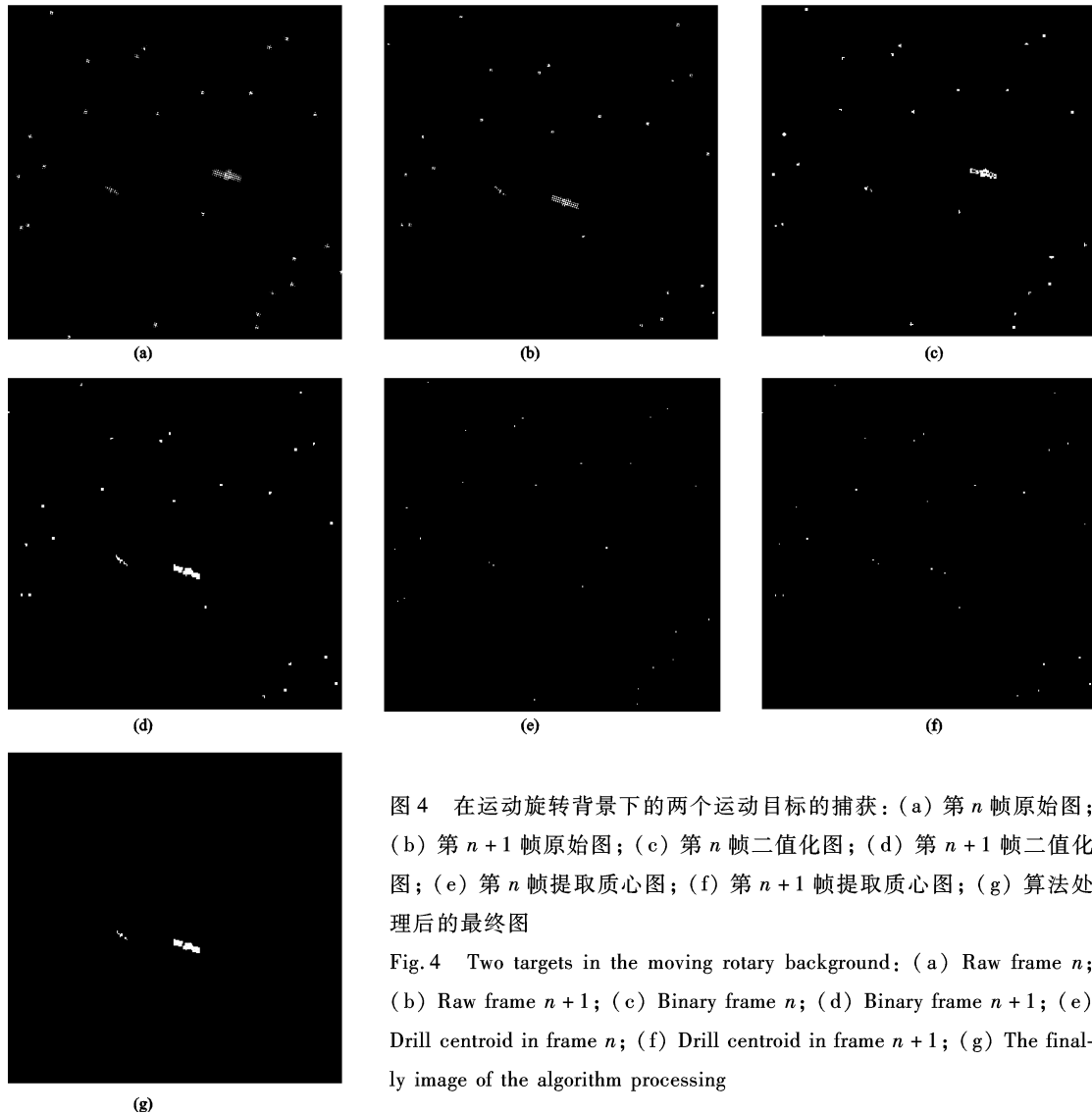


图 4 在运动旋转背景下的两个运动目标的捕获: (a) 第 n 帧原始图; (b) 第 $n+1$ 帧原始图; (c) 第 n 帧二值化图; (d) 第 $n+1$ 帧二值化图; (e) 第 n 帧提取质心图; (f) 第 $n+1$ 帧提取质心图; (g) 算法处理后的最终图

Fig.4 Two targets in the moving rotary background: (a) Raw frame n ; (b) Raw frame $n+1$; (c) Binary frame n ; (d) Binary frame $n+1$; (e) Drill centroid in frame n ; (f) Drill centroid in frame $n+1$; (g) The finally image of the algorithm processing

参考文献:

[1] Chao-Jung Cheng, Robust control of a class of neural networks with bounded uncertainties and time-varying delays[J]. Computers and Mathematics with Applications, 2008, 56: 1245 - 1254.
 [2] 刘辉,胡炳樑,周锦松,等. 微型航天器目标捕获算法研究[J]. 计算机仿真, 2007, 24(5): 34 - 36. [LIU hui, HU Bing-liang, et al. The algorithmic research for target detection of microspacecraft target detector[J]. Computer Simulation, 2007, 24(5): 34 - 36.]
 [3] 雷蕾,李言俊,张科,等. 图像目标质心快速搜索算法[J]. 红外技术, 2007, 29(9): 548 - 551. [LEI lei, LI Yan-jun,

ZHANG Ke. et al. A fast algorithm for searching object centroids in binary images[J]. Infrared Technology, 2007, 29(9): 548 - 551.]
 [4] 卢珍珠,李征航,等. 导航卫星星座整体旋转的检测与校正[J]. 宇航学报, 2006, 27(6): 1397 - 1400. [LU Zhen-zhu, LI Zheng-hang, et al. The inspection and correction of the revolution round the earth of navigation satellite constellation[J]. Journal of Astronautics, 2006, 27(6): 1397 - 1400.]
 [5] 倪国强,刘琼. 多源图像配准技术分析展望[J]. 光电工程, 2004, 31(9): 1 - 6. [NI Guo-qiang, LIU Qiong. Analysis and prospect of multi-source image registration techniques[J]. Opto-Electronic Engineering, 2004, 31(9): 1 - 6.]

- [6] 胡彩波,王宏兵,胡丽丽,等. STK 软件卫星可见性和覆盖分析[J]. 全球定位系统, 2007, 4: 40 - 43. [HU Cai-bo, WANG Hong-bing, et al. Using stk to analyse access and coverage of navigation satellite[J]. Global Positioning System, 2007, 4: 40 - 43.]
- [7] 刘辉,胡炳樑,周锦松,段晓峰,等. 基于 DSP 的微型航天探测器目标捕获算法的实现[J]. 弹箭与制导学报, 2008, 28(2): 229 - 23. [LIU Hui, HU Bing-liang, ZHOU Jin-song, DUAN Xiao-feng, et al. Realization of target acquisition algorithm for micro-

spacecraft detector based on DSP [J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2008, 28(2): 229 - 232.]

作者简介:柳祥(1984 -),男,硕士生,现研究方向为图像处理,DSP 开发。

通信地址:西安市高新区新型工业园信息大道 17 号光谱室(710119)

电话:13649252690

E-mail:liuxiang@opt.ac.cn

Algorithmic Research on Multi-target Capture for Microspacecraft

LIU Xiang^{1,2}, HU Bing-liang¹, SHAO Xiu-juan^{1,2}, WEI Cui-yu^{1,2}

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of Chinese Academy Science, Xi'an 710068, China;

2. Graduate Student College of Chinese Academy Science, Beijing 100039, China)

Abstract: In order to capture the targets which were intermixed in the space background, a comparative different method based on the integration of eliminating rotation and distilling the centroid was introduced. Firstly, the effective background dots in the frame were labeled and centroid was distilled. Then, according to the referenced angle provided by the satellite orientation system, appropriate registration was made which can eliminate the rotation. Thirdly, according to the principle that the number of centroid which has the same coordinates reach the maximum when it is totally registration, the coordinates of the effective dots in the referenced frame were deleted, so gained the registration coordinates. At the last, comparative difference algorithm was used to wipe off the same background dots and obtain the targets. The stimulation result showed that the calculation was little; the probability of error was small. It can fit the multi-target capture of microspacecraft timely.

Key words: Microspacecraft; Centroid registration; Eliminating rotation; Comparative difference algorithm