文章编号:1007-2780(2017)02-0138-06

卫星视频运动目标检测算法

于渊博[1,2*],张 涛[1],郭立红[1],贺小军[3]
(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;
2. 中国科学院大学,北京 100049;
3.长光卫星技术有限公司,吉林 长春 130000)

摘要:为了实现对卫星视频图像序列的运动目标进行跟踪,提出了一种背景建模与添加实际条件约束相结合的卫星视频运动目标检测算法。首先,针对卫星视频图像序列的背景建立背景模型。然后,把接下来各帧图像同该模型相比较,进行减法运算,所得偏差为运动区域。最后添加满足卫星实际情况的约束条件,根据卫星视频的分辨率估算出运动目标合理的像元尺寸,从而滤掉噪声。将本算法在 PC 端进行实现,并与三帧差法和背景建模法的检测准确度进行对比。实验结果表明:本算法对卫星视频图像序列运动目标检测的准确度可达 83.6%,三帧差法检测准确度为 6.1%,背景建模法检测准确度为 21.0%。从实验结果可以看出,本文算法可以比较准确地对卫星视频图像序列进行运动目标检测。

关 键 词:卫星视频;运动目标监测;三帧差法;背景建模法;实际条件约束;吉林一号
中图分类号:TP391.4 **文献标识码**:A **doi**:10.3788/YJYXS20173202.0138

Moving objects detection on satellite video

YU Yuan-bo[1,2*], ZHANG Tao[1], GUO Li-hong[1], HE Xiao-jun[3]

(1.*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130033, *China*;
2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*;
3. *Changguang Satellite Technology Co., Ltd, Changchun* 130000, *China*)

Abstract: In order to realize the moving objects detection on the satellite video, an algorithm based on background subtraction method and actual physical constraints are proposed. First, we establish a background model representation of the scene. Then each frame compares with the model and makes a subtraction operation. The result is the motion region. Finally, we use actual physical constraints to reduce the noise because moving objects' pixels can be estimated by satellite's resolution ratio. We accomplish our method in PC, and compare their accuracy. Experimental results indicate that our method's accuracy is 83.6%, three-frame difference method's accuracy is 6.1%, background subtraction method's accuracy is 21.0%. It can satisfy our method can accurately detects moving objects on satellite video.

Key words: satellite video; moving objects detection; three-frame difference method; background subtraction; actual physical constraints; Jilin-1

收稿日期:2016-11-01;**修订日期**:2016-11-20.
基金项目:国家重点研发计划项目(No.2016YFB0502602)
National Key Research and Development Program(No.2016YFB0502602)
*通信联系人,E-mail:443637898@qq.com

1 引　　言

视频卫星是近年来出现的新型对地观测卫星。这种卫星与传统的遥感卫星最大区别在于能够对某一特定的区域进行连续不间断的观测，从而获得该区域高时间分辨率的动态信息。实现连续不间断观测的方式主要有两种，一是采用静止轨道卫星，利用卫星与地面相对静止的位置优势实现持续观测；二是采用具有新型面阵成像传感器和较高姿态敏捷能力的低轨卫星实现持续观测。法国阿斯特里姆公司计划发射的 GO-3S 卫星就是属于第一种静止轨道视频卫星。2007 年 1 月印度尼西亚发射的 LAPAN-TUBSAT 卫星、2009 年 9 月南非发射的 Sumbandliasat 卫星、2013 年 Skybox Imaging 公司发射的 SkySat 卫星、2014 年萨瑞美国公司发布的 VIC 型小卫星以及本文的数据来源 2015 年 10 月 7 号发射的吉林一号灵巧视频星都是第二种低轨道视频卫星[1-2]。

随着视频分析技术的发展，使得卫星在轨服务，在轨处理，实现天地一体化信息网络等诸多目标渐渐成为可能，而运动目标实时检测技术是视频获取信息的前提，因此我们可以看出基于卫星视频图像的运动目标实时检测是进一步实时深入挖掘卫星视频信息的基础。但是由于 CCD 中的暗电流，量子效应，材质结构等局部的不同，存在许多其它的噪声[3-4]，使得各像素对于相同辐照度产生的灰度值并不相同，具有较大的差异，这就使得卫星拍摄视频在稳像后会出现不断移动的明暗条纹。如何有效地处理由于像素响应不均匀性所带来不断移动的明暗条纹成为卫星视频运动目标检测的难点。目前动态运动目标检测的主要方法有 3 种：一是帧差法，通过判断前后两帧之间的区别来进行动态目标检测；二是光流法，由于当物体运动时灰度的瞬时变化率的集合为光流场，光流场可以反映图像的变化，故可以通过光流来检验运动目标；三是背景减法，背景减法先建立一个背景模型表示场景，再把接下来的各帧同该模型相比较，进行减法运算，所得结果即偏差就是运动区域。由于光流法需要假定光流场基本不变，而像素响应不均匀性所带来不断移动的明暗条纹会带来灰度值的变化，给光流法处理带来困难。所以本文采用了背景建模法并添加卫星视频实际物理约束的方式来减少明暗相间的运动条纹所带来的影响，并与背景建模法和帧差法的改进算法三帧差法检测结果准确度进行比较分析。

2 三帧差法与背景建模法改进原理

2.1 三帧差法原理

三帧差法是将上一帧与当前帧作差，然后将差值和下一帧与当前帧的差值做一个“与”运算，根据此时运动目标变化区域的灰度值设定检测门限可以较准确的得到运动目标在视频图像中的位置，从而提取运动目标[5-6]。设在某一视频序列中，连续三帧的视频图像为 $f_{k-1}(x,y)$、$f_k(x,y)$、$f_{k+1}(x,y)$，对前两帧及后两帧分别作差，得到运动变化图像 $g_1(x,y)$，$g_2(x,y)$，其中含有运动物体，对其进行“与”运算，相“与”运算定义为：

$$D(x,y)=g_1(x,y)\otimes g_2(x,y)=\begin{cases}1, g_1(x,y)\&\&g_2(x,y)\neq 0\\ 0, \text{otherwise}\end{cases}, \quad (1)$$

其中三帧差法对卫星视频运动目标实时检测的具体步骤如下：

(1)选取视频序列连续三帧图像；

(2)对选取图像进行预处理；

(3)用三帧差法对三帧图像进行处理；

(4)根据阈值选取运动目标。

2.2 背景建模法及改进原理

背景减法就是先建立一个背景模型表示场景，再把接下来的各帧同该模型相比较，进行减法运算，所得结果即偏差就是运动区域[7-10]。如果背景模型发生改变，则会影响到目标检测的结果，即采用背景减法进行运动目标检测时，背景图像的模型与真实场景的差异大小会影响到目标检测的性能。背景减法的核心是背景建模，所建背景模型要尽可能全面地反映背景场景的现实。然而，由于实际场景不可能都是静止的，都是难以预测的，如光线的渐变和突变，摄像机本身噪声等等，这些不可预测的因素都增加了背景建模的复杂度。背景建模法主要包含以下几个步骤：图像预处理、背景建模、前景检测以及图像后处理等。

设 $F_k(x,y)$为当前原图像，$B_k(x,y)$为灰度值的差异，所得到的前景图像为 $D_b^k(x,y)$，有：

$$D_b^k(x,y)=\begin{cases}1 & \text{if}\,|w*B_k(x,y)-w*F_k(x,y)|>T\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases},\tag{2}$$

其中 T 为阈值，w 为抑制噪声窗口函数。

在进行实际算法处理时，其具体流程如下：

(1)对从视频序列中获取的一帧图像进行滤波或者频域变换等预处理操作以衰减图像噪声，或者转换其格式，为后序操作做准备；

(2)根据背景建模原理，对第一个步骤中获取的图像进行背景建模。由于场景不是静止不变的，所以背景模型要按着一定速率更新；

(3)输入图像对应的像素值减去背景模型对应的像素值，结果即为背景减法后的图像，此图像可以反映出当前帧与背景的差异；

(4)对灰度值差异图像 $B_k(x,y)$ 做二值化，就可以获得前景图像 $D_b^k(x,y)$；

(5)二值化后像素值为 1 的点即构成了运动前景，为了修正二值化时可能出现的错误，进一步消除图像噪声，此时一般要进行形态学滤波，目标补偿等后期处理。

本文针对卫星视频的特殊情况，在背景建模法对背景进行建模，提取出运动目标后我们对运动的目标添加实际约束条件从而减少噪声干扰，提高检测准确率。

假设卫星图像分辨率为 a m，运动目标最小尺寸为 b m×c m，那么连通域大小 d 最少应为 $\left\lfloor\frac{b}{a}\right\rfloor\times\left\lfloor\frac{c}{a}\right\rfloor$ 个像素点。在卫星视频中所能见到的最小运动目标是机动车，由于机动车的大小为 2.5 m×3 m 以上，而本文的数据来源吉林一号灵巧视频星的分辨率是 1.13 m，所以普通机动车辆的成像面积大小约为 4～70 个像素点。我们约定若背景建模法检测到的运动目标的连通域大小小于 4 个像素点，则判定此运动目标为噪点，我们从而将噪声虑除掉，增加检测的准确度。

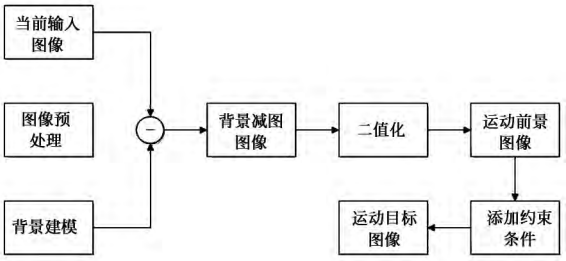
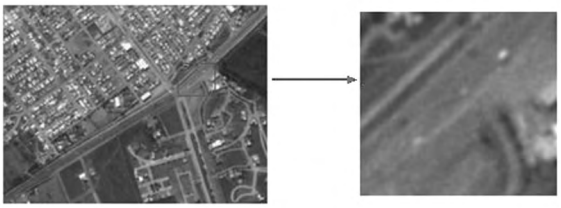


图 1 背景建模法改进流程图

Fig. 1 Flow chart of improved background subtraction method

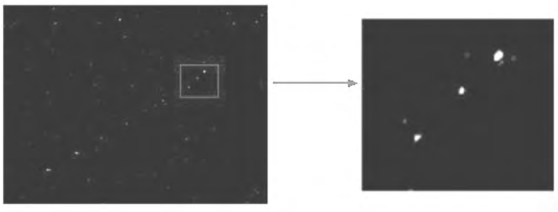
3 试验结果

我们在 PC 端对该算法进行仿真验证，本实验所使用的电脑配置为 Intel(R) Core(TM) i7-4790 CPU @ 3.60 GHz 3.60 GHz。本文章所使用的卫星视频序列的图像大小为 600×800 像素，图像序列总长度为 493 帧。我们先对一段卫星视频先采用帧差法与背景建模法分别进行处理，图 2 为处理结果。



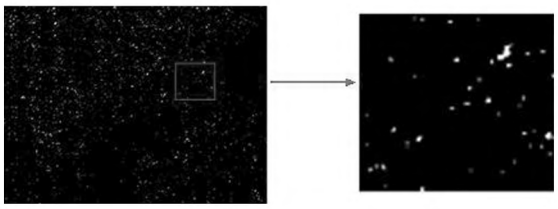
(a)原视频第 100 帧及局部放大图

(a)The 100th frame of original video and its detail



(b)背景建模法第 100 帧处理结果及局部放大图

(b) The 100th frame of background subtraction's result and its detail



(c)三帧差法第 100 帧处理结果及局部放大图

(c)The 100th frame of three-frame difference method's result and its detail

图 2 原视频及背景建模法、三帧差法第 100 帧处理结果及局部放大图

Fig.2 Original video, background subtraction, three-frame difference method's result and their detail view on the 100th frame

由图 2 的处理结果可明显看出，像素响应非均匀性给三帧差法处理卫星视频带来了严重的影响，无法从处理的结果中判别出哪些是有效的运动目标。相比而言，背景减法的处理效果明显优于三帧差法，这是因为本文先通过背景减法在建模时建立了背景模型，从而减少了明暗条纹变化所带来的影响。下面我们分别对第 100 帧、第 200 帧、第 300 帧、第 400 帧添加运动物体的限制条件：若连通域



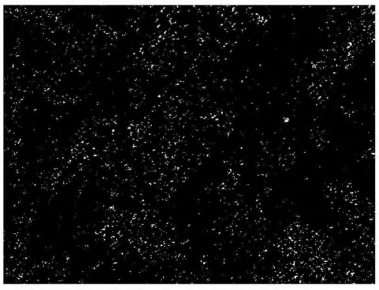
(a)原视频第 100 帧

(a)The 100th frame of original video



(b)背景建模法第 100 帧

(b) The 100th frame of background subtraction's result



(c)三帧差法第 100 帧

(c) The 100th frame of three-frame difference method's result

图 3　原视频及背景建模法、三帧差法第 100 帧处理结果

Fig. 3　Original video, background subtraction, three-frame difference method's result on the 100th frame



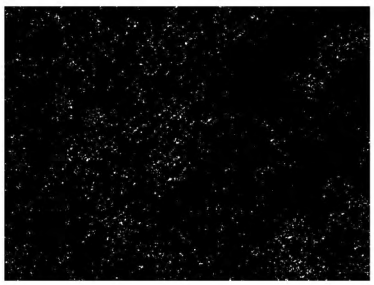
(a)原视频第 200 帧

(a)The 200th frame of original video



(b)背景建模法第 200 帧

(b) The 200th frame of background subtraction's result



(c)三帧差法第 200 帧

(c) The 200th frame of three-frame difference method's result

图 4　原视频及背景建模法、三帧差法第 200 帧处理结果

Fig. 4　Original video, background subtraction, three-frame difference method's result on the 200th frame

大小小于 4 个点则视为无效目标，来进一步减少误检情况，并对检测的准确度做进一步分析。

我们对统计结果做运动检测准确率的计算。三帧差法对卫星视频图像进行运动目标检测准确率为(20＋12＋11＋8)÷(232＋219＋205＋194)×100%＝6.1%，背景建模法对卫星视频做运动目标检测准确率为(20＋12＋11＋8)÷(128＋41＋33＋41)×100%＝21.0%，本文方法对卫星



(a)原视频第 300 帧

(a)The 300th frame of original video



(b)背景建模法第 300 帧

(b) The 300th frame of background subtraction's result



(c)三帧差法第 300 帧

(c)The 300th frame of three-frame difference method's result

图 5 原视频及背景建模法、三帧差法第 300 帧处理结果

Fig. 5 Original video, background subtraction, three-frame difference method's result on the 300th frame



(a)原视频第 400 帧

(a)The 400th frame of original video



(b)背景建模法第 400 帧

(b) The 400th frame of background subtraction's result



(c)三帧差法第 400 帧

(c)The 400th frame of three-frame difference method's result

图 6 原视频及背景建模法、三帧差法第 400 帧处理结果

Fig.6 The original video, background subtraction, three-frame difference method's result on the 400th frame

表 1 对卫星视频三帧差法、背景建模法、本文方法检测所得运动目标

Tab.1 Detection of our method, three-frame difference method and background subtraction on satellite video

	卫星视频图像序列			
	三帧差法检测到的运动目标	背景建模法法检测到的运动目标	本文背景建模法添加约束条件后检测到的运动目标	有效的运动目标
第 100 帧	232	128	31	20
第 200 帧	219	41	12	12
第 300 帧	205	33	11	11
第 400 帧	194	41	8	8

视频进行运动目标检测的准确率为(20＋12＋11＋8)÷(31＋12＋11＋8)×100%＝83.6%。从结果可以看出采取三帧差法提取的运动目标由于有明暗运动条纹的影响会将这些明暗条纹视为运动目标，形成误检测，而先对明暗运动条纹的图像背景进行建模则可以消除运动条纹的干扰，再通过添加满足实际情况的约束条件，使得检测效果更加准确。

4　结　　论

本文应用背景建模和添加卫星视频实际约束条件对卫星视频图像序列进行运动目标检测，与传统的三帧差法和背景建模法相比，具有更高的运动目标检测准确性，检测准确率可达 83.6%。在卫星视频处理等方面有着良好的应用前景。

参　考　文　献：

[1] 孙志远，张刘，金光，等.视频小卫星凝视姿态跟踪的仿真与实验[J].光学精密工程，2011，19(11)：2715-2723.
SUN Z Y，ZHANG L，JIN G，*et al*. Simulation and experiment on attitude tracking control of small TV satellite [J]. *Opt. Precision Eng.*，2011，19(11)：2715-2723. (in Chinese)

[2] 王霞，张过，沈欣，等.顾及像面畸变的卫星视频稳像[J].测绘学报，2016，45(2)：194-198.
WANG X，ZHANG G，SHEN X，*et al*. Satellite video stabilization with geometric distortion [J]. *Acta Geodaeticaet Cartographica Sinica*，2016，45(2)：194-198. (in Chinese).

[3] 刘妍妍，李国宁，张瑜，等.可见光面阵 CCD 响应非均匀性的检测与校正[J].液晶与显示，2010，25(10)：759-763.
LIU Y Y，LI G N，ZHANG Y，*et al*. Detection and correction of response non-uniformity based on visible light area CCD[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*，2010，25(5)：759-763. (in Chinese).

[4] 程万胜，赵杰，菜鹤皋.CCD 像素响应非均匀的校正方法[J].光学精密工程，2008，16(2)：314-318.
CHENG W S，ZHAO J，CAI H G. Correction method for pixel response nonuniformity of CCD[J]. *Opt. PrecisionEng.*，2008，16(2)：314-318. (in Chinese).

[5] XIAO B X，LU C，CHEN H，*et al*. Moving object detection and recognition based on the frame difference algorithm and moment invariant features[C]//*Proceedings of the 27th Chinese Control Conference*，Kunming：IEEE，2008：578-581.

[6] ZHANC H，DUAN X H，XU S Y，*et al*. An improved moving object detection algorithm based on frame difference and edge detection [C]//*Proceedings of the Fourth International Conference on Image and Graphics*，Sichuan：IEEE，2007：519-523.

[7] ŠAMIJA H，MARKOVIĆ I，PETROVIĆ I，*et al*. Optical flow field segmentation in an omnidirectional camera image based on known camera motion [C]//2011*Proceedings of the 34th International Convention MIPRO*. Opatija：IEEE，2011：805-809.

[8] BANGJ，KIMD，EOMH. Motion object and regional detection method using block－based background difference video frames[C]//*Proceedings of the* 2012 *IEEE 18th International Conferenceon Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications*，Seoul：IEEE，2012：350-357.

[9] QI Y G，AN G. Infrared moving targets detection based on optical flow estimation [C]//*Proceedings of* 2011 *International Conference on Computer Science and Network Technology*，Harbin：IEEE，2011：2452-2455.

[10] SPAGNOLO P，LEO M，D'ORAZIO T，*et al*. Robust Moving objects segmentation by background subtraction [C]//*Proceedings of the 5th International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services*，Lisboa，Portugal：WIAMIS，2004：21-23.

作者简介：于渊博(1993－)，**男，吉林省吉林市人，硕士研究生**，2014 **年于中国科学技术大学获得学士学位，主要从事卫星视频处理方面的研究**。E-mail：443637898@qq.com