周扫条件下的红外运动目标检测

李 林,卢焕章,肖山竹,廖 斌

(国防科技大学 ATR 重点实验室,湖南 长沙 410073)

摘 要:针对周扫条件下的运动目标检测出现的问题,提出了多种解决办法,并从中选择最优方案。首先根据系统红外图像特点,使用投影匹配法进行图像配准;然后针对现有运动检测算法中存在的问题,结合帧间差法和经典自适应背景差分法的优点,提出一种基于分级自适应背景差分的运动检测方法,使得伪运动目标明显减少;最后针对剩下的伪运动目标,借鉴图像配准方法,提出了一种基于最小平均灰度差判定真假运动目标的方法,有效剔除了伪运动目标。实验结果表明所提出的算法能快速有效的解决周扫模式所带来的各种问题。

关键词:运动目标检测; 帧间差分; 背景差分; 投影匹配

中图分类号:TN911.73 **文献标志码**:A **文章编号**:1007-2276(2014)03-0967-06

Infrared moving object detection under the condition of rotating scan

Li Lin, Lu Huanzhang, Xiao Shanzhu, Liao Bin

(Key Lab of ATR, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Aiming at the problems of infrared moving object detection under the condition of rotating scan system, several methods were presented, and an optimal solution was selected. Firstly, according to the characteristics of infrared image, a projection matching method was used for the image registration. Aiming at the faults of traditional moving object detection methods, combining the advantage of frame difference and the classic self-adaptive background difference algorithm, a new approach was presented based on differentiated self-adaptive background difference algorithm, which made the pseudo moving object decreased obviously. At last, learning from the image registration, a method based on the least subtraction of mean gray value was proposed to remove the pseudo moving object effectively. Experimental results show that the presented algorithms can resolve the problems brought by the rotating scan mode quickly and effectively.

Key words: moving object detection; frame difference; background difference; projection matching

收稿日期:2013-07-05; **修订日期**:2013-08-07

作者简介:李林(1982-),男,博士生,主要从事图像处理、模式识别方面的研究。Email:lilin0006313@yahoo.com.cn

导师简介:卢焕章(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事实时信号处理、自动目标识别方面的研究。Email:luhuanzhang@nudt.edu.cn

0 引 言

运动目标检测是图像处理的基础，有效的运动检测方法可以大大降低后续图像处理的计算量，并提高系统性能指标[1]。已有的运动目标检测方法主要有 3 种[2-3]：光流法，帧间差分法，背景差分法。光流法能检测出独立的运动，不需预先知道场景的任何信息，且适用于动态背景，但这种方法计算量大、实时性不佳，不利于向嵌入式系统移植[4]。帧间差分法简单快速，能适应背景的快速变化，但检测出来的目标可能存在“空洞”，即两帧间目标的重叠部分会检测不出来；也可能使目标“膨胀”，即目标的边界部分扩大[5]。背景差分法是目前最常用的运动检测方法，采用背景差分法进行运动目标检测，首先要对图像背景进行估计，然后用当前图像与背景图像进行差分运算，最后对差分图像进行处理，提取出感兴趣区域(ROI)，实现对运动目标的检测，此方法的核心在于背景提取，一般采用自适应背景估计方法提取背景，要求背景中尽可能的不包括运动目标，同时需要背景能快速的跟上场景的变化[6]。

文中内容来源为某红外警戒设备研制任务，该系统使用云台带动单个摄像头转动，完成对周围环境 360°方位的警戒。云台步进角度 6°，将 360°视场划分为 60 个角度，周扫一圈时间 6 s，系统需在 300 m 的纵深上探测和识别人体目标。系统图像处理软件分模块设计，图 1 所示为运动目标检测模块的框图，是系统软件的前端处理部分，同时也是文中的主要研究内容。运动检测时是分角度进行的，每一个角度都采用图 1 所示的流程进行处理，只有后续跟踪的时候才会将所有角度的运动目标汇总在一起考察。

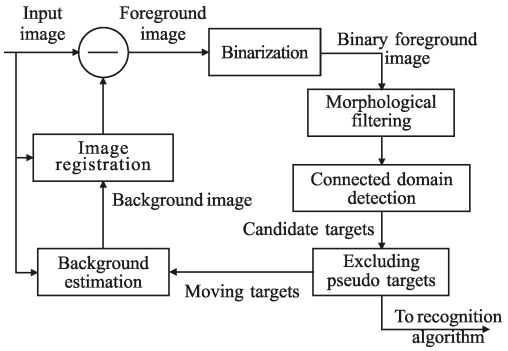

图 1 运动目标检测模块框图

Fig.1 Block diagram of moving object detection module

1 图像配准

凝视条件下是不需配准的，但周扫条件下，由于机械装置的抖动等原因，必须进行配准。配准的原则是准确、快速，因为整个运动检测模块都是需要移植到 DSP 中去。

1.1 周扫条件下的红外图像特点分析

在红外成像系统中，一般情况下运动目标温度会高于其所处的环境的温度，也就是运动目标的平均灰度会高于背景的平均灰度。但运动目标并不一定是场景中的最亮的部分，比如北方冬天的烟囱、窗户等，由于暖气的存在，比身着厚衣服的人体目标更亮，甚至近处的树木也可能比远处的人体目标更亮；夏天傍晚的石头也可能比人体目标更亮。由此可知，如果单凭目标亮度就将运动目标从背景中分割出来显然是不够的，这也是文中要采用运动目标检测进行前端处理的原因。

与可见光图像相比，红外图像的细节和纹理要更加模糊，且噪声偏大，这就增加了配准的难度，而且由于红外图像边缘模糊，即便配准误差是亚像素级别的，在梯度变化剧烈的地方也很有可能将静止目标误认为运动目标，这就需要算法进一步去伪操作，图 1 中的“剔除伪目标”就是完成这一功能的。与凝视条件下的红外图像相比，周扫条件下的红外图像具有以下特点：

(1) 同一角度前后两帧图像互有偏差，并非严格对准，这就要求对其进行处理之前必须先进行配准；

(2) 同一角度前后两帧时间过长，如文中所述系统周扫一圈需 6 s，这就会出现前一帧有目标在图像里，后一帧目标很有可能就已经出了当前视场，同样会给配准带来麻烦。

1.2 模板匹配

由于需配准的两帧图像之间只存在移位，不存在畸变、旋转等情况，考虑到配准的快速准确原则，选用模板匹配法进行配准。

从前一帧图像中选取一个区域作为模板，记为 $g(x,y)$，然后在当前图像相应位置开一个稍大一点的窗，记为 $f(x,y)$。$g(x,y)$和 $f(x,y)$的相关函数 $\rho(i,j)$为：

$$\rho(i,j)=\frac{\sum_{x,y} f(x+i,y+j)g(x,y)}{\sqrt{\sum_{x,y} f^2(x+i,y+j)\sum_{x,y} g^2(x,y)}}$$

$$x\in[0,w-1]y\in[0,h-1] \tag{1}$$

式中:w 和 h 为 $g(x,y)$的宽和高。如果 $f(x,y)$的宽高为 W 和 H,则 $\rho(s,t)$的大小一定为$(W-w+1)(H-h+1)$。当(i,j)变化时,$g(x,y)$在图像 $f(x,y)$中滑动并给出 $\rho(i,j)$的所有的值,而 $\rho(i,j)$取最大值时的(i,j)则表明了 $g(x,y)$在 $f(x,y)$中的最佳位置。先验知识表明,两帧图像之间只有 x 方向上有位移,最大约 6 个像素左右,y 方向上无位移,因此选取 $g(x,y)$和 $f(x,y)$的大小的时候,可以使用约束条件 $W-w=12$ 和 $H-h=0$。

1.3 配准方法的选择

模板 $g(x,y)$的选择比较关键,它不仅决定了运算量的大小,也决定了匹配精度。不同的模板选择决定了不同的配准方法,主要有如下三种方法可以选择:

(1) 全屏配准。即在前一帧图像中取一略小于图像宽高的子图像作为模板 $g(x,y)$,在当前帧图像中滑动匹配。此方法配准耗时较多,且匹配效果并不理想,特别是在有一帧存在运动目标而另一帧不存在运动目标的情况下情况更加恶劣。

(2) “小窗多开”。即选取数个小的子窗口(比如说 15×15),对所有子窗口的配准结果取平均得到最终配准结果。子窗口的选择可以用随机的办法,也可以先对图像进行预处理找到梯度变化比较大的部分作为子窗口。随机方法具有很大不确定性,比如找到图像变化微小的平坦区域,配准结果便会有很大偏差;预处理法是比较耗时的,且并不一定可以找到数目足够的子窗口,尤其是当子窗口中包含运动目标时,配准结果会有很大偏差。

(3) 投影匹配。考虑到图像 y 方向上无偏差,x 方向上偏差比较大,因此比较适合采用投影匹配法。首先对需配准的两帧图像分别往 x 轴上投影,投影后二维图像变成一维向量,然后在两个一维向量间进行配准就会快的多,配准结果就是 x 方向上的位移。投影都是加法操作,计算起来很快,所耗时间基本可以忽略不计。

2 运动目标检测

2.1 经典自适应背景差分法及存在问题

以第一帧为初始化背景,然后根据公式(2)更新背景:

$$B_{n+1}(x,y)=(1-\alpha)\cdot B_n(x,y)+\alpha\cdot C_n(x,y) \tag{2}$$

式中:B_n 为当前背景图像;C_n 为当前输入图像;B_{n+1} 为下一帧的背景估计;α 控制背景更新速率,越大则背景更新越快。将当前图像和背景图像进行差分运算并进行阈值化处理后可得到二值化图像 D_n,如公式(3)所示,大于门限 T_1 的点为前景点,置为 255;否则为背景点,置为 0。

$$D_n(x,y)=\begin{cases}255, |C_n(x,y)-B_n(x,y)|>T_1\\ 0, |C_n(x,y)-B_n(x,y)|\leqslant T_1\end{cases} \tag{3}$$

经典自适应背景更新方法可以快速跟上背景的变化,对于一般的应用来说是可以的,但是应用于周扫环境还是存在问题。图像配准精度最多到像素级别,如果前后两帧图像之间存在亚像素级别的偏差时(这种情况很常见),误差就会累积在背景中,通常几帧图像之后图像背景就会变得模糊,随之而来检测出来的前景点会就会遍布整幅图像,难以从中提取真正的运动目标。

当 $\alpha=1$ 时,自适应背景查分法也就变成了帧差法,帧差法可以解决背景误差累积问题,但是该方法本身的局限性又表现了出来:

(1) 目标“空洞”,即两帧间目标的重叠部分会检测不出来;

(2) 目标“膨胀”,即目标的边界部分扩大;

(3) 易漏检目标,即当目标移动缓慢或者停止不动时,马上就检测不出来了。

2.2 基于分级自适应背景差法的运动目标检测

自适应背景差法的问题在于背景模糊,帧差法的问题在于前一帧图像中有运动目标存在,可以结合两者的优势,互补各自的缺点,提出一种解决方法。令:

$$\alpha=\begin{cases}0, (x,y)\in\{\text{运动目标}\}\\ 1, (x,y)\in\{\text{背景点}\}\end{cases} \tag{4}$$

公式(4)的含义是:当某一点为运动目标像素点时,更新系数为 0,也就是不更新,该点背景估计值保持不变;当某一点为背景像素点时,更新系数为 1,也就是背景估计值完全用当前图像对应点的值代替,由于不存在背景累加,不会使背景模糊,同时又能快速跟上背景的变化。此改进方法的关键在于正确的判断像素点(x,y)是运动目标像素点还是背景像素点。

将公式(3)中的 $D_n(x,y)$进行先腐蚀后膨胀的形态学滤波后,可以去掉噪声点,接着进行连通域检测,得到一个个不连通的候选目标$\{H_k, k=1\cdots K\}$。这些候选目标可能是真正的运动目标,也可能是伪运

动目标,需要算法进一步的滤除。主要存在以下两类伪运动目标:

(1) 运动目标移动后留下的“空洞”。

(2) 树干、电线杆等亮目标的边缘。

2.3 剔除伪目标

方法 1:第 1 类伪目标出现的原因是当前帧无运动目标,而背景中相应位置有运动目标,两者相减自然就出现了“空洞”。考虑到红外图像特点,在背景中相应位置开窗,如果是“空洞”,则“空洞”的平均灰度会比背景中相应位置的平均灰度值低。因此,定义平均灰度差

$$S_k=\overline{C_n(x,y)}-\overline{B_n(x,y)},x\in H_k,y\in H_k \tag{5}$$

当 $S_k>0$ 时为运动目标,否则是伪目标。

方法 2:第 2 类伪目标出现的原因是因为配准引起的,要滤除此类目标,用上述办法是不行的。在配准不好的情况下,很有可能满足公式(5)而被误判为运动目标。考虑到此类伪目标都是亮目标的边缘,因此,只要在附近开窗寻找,总能在背景中找到一个平均灰度更高的区域 $H_k(i,j)$,使得 $S_k(i,j)>0$。$H_k(i,j)$ 为 H_k 平移(i,j)后的区域,$S_k(i,j)$为当前候选目标 H_k 与背景中位移区域 $H_k(i,j)$的平均灰度差,如公式(6)所示:

$$S_k(i,j)=\overline{C_n(x,y)}-\overline{B_n(x+i,y+j)},x\in H_k,y\in H_k \tag{6}$$

如果是真的运动目标,则无论如何滑动,都找不到满足公式(6)的 $H_k(i,j)$,因为真的运动目标的平均灰度是大于背景的。

为了增加类间距,更好的对候选目标进行判别,可以计算出 H_k 一定范围内所有平均灰度差的最小值 $S_k(i,j)|_{\min}$,然后根据公式(7)判别 H_k 是运动目标还是伪目标,式中 T_2 为最小平均灰度差门限。

$$H_k=\begin{cases}\text{运动目标},S_k(i,j)|_{\min}>T_2\\ \text{伪目标},S_k(i,j)|_{\min}\leqslant T_2\end{cases} \tag{7}$$

计算 $S_k\ (i,j)|_{\min}$ 的过程类似于一个配准的过程,区别在于目标函数不一样,配准时求取的是公式(1)的最大值,而此处求取的是公式(6)的最小值。

方法 2 对于两类伪目标都有效,不过方法 1 比较简单,可以先剔除一部分伪目标,剩下的再用方法2 处理,这样可以节省时间。

3 实验及结果分析

测试视频为红外摄像机拍摄所得,场景为北京郊外,温度 0 ℃左右,分辨率为 384×288。程序运行环境:VC++ 2008,OpenCV 2.10,Intel Core i5-2430M/2G 内存。

3.1 三种配准方法的比较

表 1 所示为三种不同配准方法之间的性能比较,所有的时间开销均是在 release 模式下测得。三种配准方法都限定了条件:$W-w=12$ 和 $H-h=0$。其中“小窗多开”法共开了 7 个窗口,大小为 15×15,窗口随机选取,但是需满足方差大于 100(dev>100)的条件,如果方差太小表示窗口中的图像过于平坦,不好配准,这也是“小窗多开”法时间开销最大的环节,因为要找很多次才能找到满足 dev>100 条件的窗口。实测中常常发现要经过 1 000 多次的寻找方能找到合适的 7 个窗口,有些图像甚至找不到满足条件的 7 个窗口,发生这种情况时配准结果偏差会比较大。从表中可以看出,三种方法中投影匹配耗时远远低于其他两种方法,由于向 DSP 中移植时所耗时间会更多,后续运动检测、识别、跟踪等算法时间开销更大,因此只有投影匹配法具备向 DSP 中移植的条件。

表 1 不同配准方法间的性能比较

Tab.1 Comparison of result and time between different image registration method

SN	Method	Average time consuming/ms	X deviation/pixel
1	Full screen registration	9.1	0
2	Multiple small window registration	30.4	0
3	Projection matching registration	0.23	-1

为了比较不同配准方法的配准结果,对其分别进行了运动检测,运动检测方法为分级自适应背景差分法。图 2(a)所示为第 6 帧时的原始图像,图像中有一大一小两个人体目标,其中大目标距离镜头 70 m 左右,小目标距离镜头约 200 m 左右;图 2(b)为第 6 帧时的背景估计图像,从图中可以看出此时的背景图像还没有完全更新到位,残留着一部分人体目标像素点;由于全屏配准和小窗多开法配准得到的 X 轴偏移像素都是 0,所以运动检测后得到的二值化前景图是一样的,如图 2(c)所示;图 2(d)所示为投影匹配后运动检测所得的二值化前景图,比较(c)(d)两图可知,投影匹配的效果较好,两个人体目标都检测出来,同时伪目标也比较少。

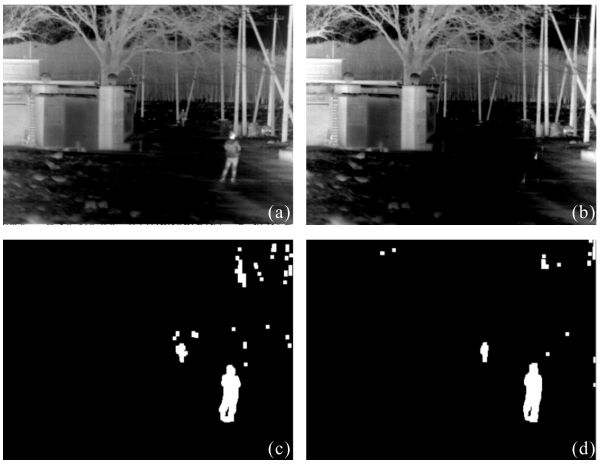

图 2 (a) 第 6 帧图像;(b) 第 6 帧背景图像,分级自适应背景估计法得到;(c) 第 1、2 种配准方法后得到的二值化前景图;(d) 第 3 种配准方法后得到的二值化前景图。

Fig.2 (a) Frame 6th, source image; (b) frame 6th, background image, derived from self-adaptive background estimation; (c) binary foreground image, use method 1st or 2nd; (d) binary foreground image, use method 3rd.

3.2 不同运动检测方法的比较

图 3 所示为不同运动检测方法得到的检测效果。图 3(a)为第 5 帧图像;用图 2(a)减去图 3(a)再经过形态学滤波得到图 3(c),也就是帧差法得到的二值化前景图,从图中可以看出小人体目标旁边有一个伪目标,而大人体目标由于没运动所以没检测出来;图 3(b)为 α=0.1 时,经典自适应背景估计法得到的背景图像,从图中可以看出,背景中有两个虚影;用图 2(a)减去图 3(b)再经过形态学滤波得到图3(d),也就是经典自适应背景差分所得的二值化前景图,由于图 3(b)中有两个虚影,所以得到的二值化前景图自然也就多了两个伪目标。

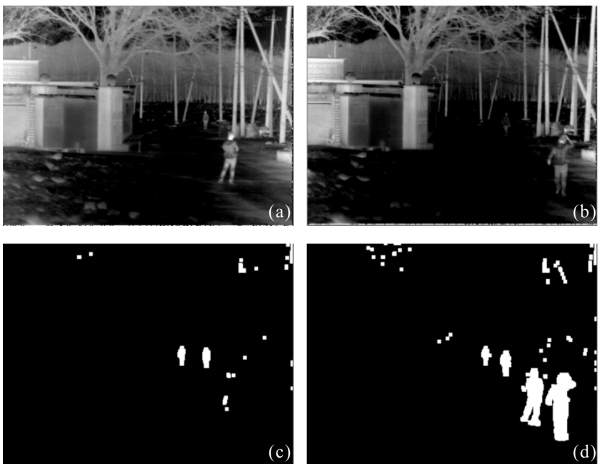

图 3 (a) 第 5 帧图像;(b) 第 6 帧背景图像,经典自适应背景估计法得到;(c) 帧差法得到的二值化前景图;(d) 经典自适应背景差分所得的二值化前景图。

Fig.3 (a) Frame 5th,source image; (b) frame 6th, background image, derived from classic self-adaptive background estimation;(c)binary foreground image, derived from frame difference;(d)binary foreground image, derived from classic self-adaptive background subtraction.

3.3 剔除伪目标后的效果

即便是使用投影匹配和分级自适应背景差分法得到的二值化前景图,伪目标也是难以避免的,其中大部分是树干、电线杆等静止目标,如图 2(d)所示。剔除伪目标后的效果如图 4 所示。白色框表示运动目标,黑色框表示伪目标;数字表示的是最小平均灰度差,从图中可以看出,伪目标的最小平均灰度差都是小于−20 的,而运动目标最小平均灰度差都是大于 0 的,实验中取门限 。

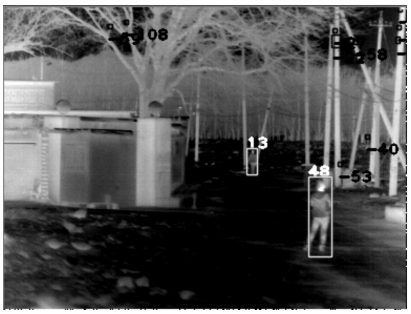

图 4 剔除伪目标后效果图

Fig.4 Effect after excluding pseudo object

4 结束语

在绝大多数的情况下,所提出的算法能快速有效地解决周扫模式带来的各种问题,减轻系统后续跟踪识别算法的压力。但在某些极端情况下,比如夏天的傍晚,由于路面很热,运动目标和背景灰度相差太小,人在图像中基本上就是一个虚影,肉眼都要仔细看才能分辨。在这种情况下,为了能正确检测到运动目标,需要降低门限 T_2 的值,而一旦降低门限,一些静止目标也就可能被误检为运动目标,此时需要后续的跟踪和识别算法进一步剔除,并将结果反馈回背景估计模块以正确更新背景。文中所述内容只是整个红外警戒系统的前端处理部分,在复杂情况下,有少量的误检也是可以允许的,在后端跟踪识别

算法中加以剔除即可,不影响整个系统的指标。

参考文献:

[1] Wang Liang, Liu Yongxin. Moving object detection and extraction in serial image[C]//The 4th International Congress on Image and Signal Processing, 2011: 928-931.

[2] Huang Min, Shu Huazhong, Liu Qian. A study of moving object detection based on combining background profile difference algorithm [C]//2nd International Conference on Industrial and Information Systems, 2010: 425-428.

[3] Won Jin Kim, In-So Kweon. Moving object detection and tracking from moving camera [C]//The 8th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2011: 758-759.

[4] Wei Zhiqiang, Ji Xiaopeng, Wang Peng. Real-time moving object detection for video monitoring systems[J]. ***Journal of Systems Engineering and Electronics***, 2006, 17: 731-736.

[5] Jiman Kim, Guensu Ye, Daijin Kim. Moving object detection under free-moving camera [C]//IEEE 17th International Conference on Image Processing, 2010: 4669-4672.

[6] Liu Xingmiao, Wang Shicheng, Zhao Jing. Infrared image moving object detection based on image block reconstruction [J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2011, 40(1): 176-180. (in Chinese)
刘兴淼, 王仕成, 赵静. 图像分块重建的红外运动目标检测算法[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(1): 176-180.