

中图法分类号: TN29 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)10-1515-06

索引信息: 王婷婷, 刘国栋. 电视跟踪系统中运动目标的精确提取与快速跟踪[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(10): 1515-1520

电视跟踪系统中运动目标的精确提取与快速跟踪

王婷婷, 刘国栋

(江南大学 通信与控制工程学院, 无锡 214122)

摘要: 为了使电视跟踪系统在自动作业时能够抵抗外界干扰, 提出了一种基于二级精度的运动目标精确提取和快速跟踪方法。该方法采用二次帧差法与四分图像的双波门法对视频图像进行处理, 自动获取运动目标的初始模板, 然后根据轨迹预测算子对目标进行自适应特征匹配实现有效跟踪。在某电视跟踪系统中应用该算法进行低空飞行目标跟踪实验, 取得了良好的跟踪效果。实验结果表明, 该方法不仅满足目标跟踪的实时性, 而且能够有效提高目标识别的准确率。

关键词: 双波门; 四分图像; 临帧比较; 轨迹预测; 特征匹配

Automatic extraction and fast tracking of moving target in TV tracking system

WANG Tingting, LIU Guodong

(School of Communication and Control Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122)

Abstract: In order to enable TV tracking system to resist external interference when operating automatically, a second order accuracy scheme is proposed to automatically extract and fast track the moving targets. First, a double frame-difference method is presented to obtain the initial template of the input video image combined with the double gate approach of the quartered images. Then, we track the object effectively according to a trajectory prediction operator and adaptive feature matching technique. In a TV tracking system, the algorithm proposed in this paper has been applied in experiments of low-altitude flying targets tracking, which have achieved good tracking results. The results of the experiments show that the proposed method not only meets the real-time target tracking, but also can effectively improve the accuracy of the target identification.

Keywords: double gate; quartered image; frame comparison; trajectory prediction; feature matching

0 引言

电视跟踪系统通过 CCD 摄像机将空中运动目标转换成图像序列, 并采用一系列图像处理算法实现对目标的实时提取与跟踪。在电视跟踪系统中, 跟踪效果的好坏很大程度上取决于初始模板的选择, 这不仅关系到是否能够精确定位目标, 而且影响

到整个系统的运算效率。由于电视跟踪系统在自动作业的情况下, 目标的提取完全依赖于算法, 因此, 能否在背景和目标信息未知的情况下快速而准确地提取出运动目标关系到整个跟踪过程的成败。

在目前的运动目标提取算法方面, 最常用的是光流法^[1]、背景差分法^[2]、帧间差分法^[3]。其中, 光流法的实现不需要背景信息, 但计算十分复杂, 难以满足实时性要求; 背景差分法的计算复杂度要比光

收稿日期: 2009-04-03; 改回日期: 2009-06-19

第一作者简介: 王婷婷(1983—), 女, 江南大学通信与控制工程学院控制理论与控制工程专业博士研究生。主要研究方向为图像处理、机器人视觉等。E-mail: wtt_624@163.com。

流计算低很多,但需要预知背景信息;帧间差分法是基于视频中连续帧间运动目标的相关性提取运动目标像素的。这种方法虽不能完全提取出目标的所有相关点,但原理简单,易于实现。

根据上述情况,结合电视跟踪系统特点,提出一种基于二级精度的运动目标精确提取与快速跟踪方法。通过二次帧差分法初步提取运动目标,结合使用四分图像的双波门法与相邻帧比较法精确提取目标区域并移除大块背景干扰以获得目标的初始模板,然后利用轨迹预测算子与自适应特征匹配算法实现跟踪。方法基于两点假设:目标运动速度远大于背景像素的变化(即背景近似静止);视频序列中仅有一个快速运动物体,该物体即为待识别目标。实验表明该算法简捷、实时性好、跟踪速度快。

1 基于二级精度的目标提取

采用粗提取与精提取相结合的二级精度提取方法,不仅可以有效滤除噪声、完整而准确地提取出运动目标,而且能够提高算法的运算速度。

1.1 目标粗提取

1.1.1 二次帧差分法快速提取目标

由于电视跟踪系统在未开启伺服状态的情况下摄像机相对静止,因此镜头内的背景不变或只有缓慢的变化,可利用帧间差分的方法对运动目标进行粗提取。由于相邻两帧图像的灰度、纹理等信息比较接近,通常只能得到两帧图像中物体相对运动区域的轮廓,无法获取目标位置的准确信息,且对于外界干扰十分敏感,因此我们采用改进的帧间差分法——二次帧差分法提取目标。二次帧差分法就是由三帧连续图像的差值得到中间帧运动目标的轮廓^[4],这种方法能够去除因为运动而显露的背景的影响,从而得到较为准确的目标轮廓。二次帧差分法的具体计算过程如下:

设 $I_{k-1}(x, y)$, $I_k(x, y)$ 和 $I_{k+1}(x, y)$ 分别表示三帧连续图像, $b_{k-1,k}(x, y)$ 和 $b_{k,k+1}(x, y)$ 分别表示相邻两帧图像差分后的二值图像,其计算方法为

$$b_{k-1,k} = \begin{cases} 1 & \text{若 } |I_k(x, y) - I_{k-1}(x, y)| > T \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

$$b_{k,k+1} = \begin{cases} 1 & \text{若 } |I_{k+1}(x, y) - I_k(x, y)| > T \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $T = T_v + \frac{1}{N} \sum |I_f - I_{f-1}|$, T_v 为设定的阈值,

$\frac{1}{N} \sum |I_f - I_{f-1}|$ 为参加计算的两幅图像灰度的累计绝对误差均值,利用该方法可以根据图像灰度的整体变化对阈值进行自适应调整。

然后对差分图像 $b_{k-1,k}(x, y)$ 和 $b_{k,k+1}(x, y)$ 取逻辑“与”运算,得到二次帧差分图像 $d_s^k(x, y)$,计算公式为

$$d_s^k(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{若 } W \times b_{k-1,k}(x, y) \cap \\ & W \times b_{k,k+1}(x, y) = 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中, W 为中值滤波的窗口函数。

1.1.2 投影法中目标区域的初步确定

通过二次帧差分法检测出来的仍然是目标的一个轮廓,且由于室外环境的微小变化,如风吹过树叶的抖动,云朵的飘动,光线的瞬间变化等,可能使检测出来的目标轮廓存在噪声干扰,大于实际目标轮廓,这不仅使提取的目标位置准确性降低,也为后续对目标的精确提取增加了不必要的计算量。为了解决这一问题,引入投影法对差分图像进行滤波,并确定其边界。投影法^[5]算法简单、计算量小,并且对图像连通性要求不高,即使目标轮廓不连通也不会影响提取结果,因此是一种简单而有效的方法。该方法是将二值图像分别向 x 和 y 轴方向投影(例如向 x 轴方向投影,即将图像中每一列中不为零的像素相加),并通过设定阈值保留非零像素密度大的一段连续区域,从而确定上下边界(x_{up} , x_{down})和左右边界(y_{left} , y_{right}),得到运动目标所在区域。

投影法虽然可以有效排除干扰,但它是牺牲被提取目标的有效面积为代价的,因此利用该方法只能对目标所在区域进行粗略提取,无法实现精确而有效的分割(如图 1 所示,方框代表通过上述方法初步提取出的目标区域),若想获得目标的精确



图 1 粗提取区域

Fig. 1 Crude extraction region

模板,必须对已提取的目标区域进行进一步的加工,本文提出了利用四分图像的双波门方法对目标进行完整分割。

1.2 目标精提取

1.2.1 双波门目标提取方法

文献[6]提出一种通过设置内外双重波门分割运动目标的方法。该方法根据目标与背景处于不同的灰度集合这一条件,设置了两个完全包含运动目标的波门,内波门在外波门之中,内波门所包围的区域图像具有目标和其近旁背景的全部信息,波门的中心为目标预测位置,内、外波门之间的区域只包含目标近旁的背景,用来提取目标近旁背景的灰度分布。

当 G_T , G_I 和 G_M 分别表示目标、内波门和内外波门之间的灰度集合时,该方法基于以下三条假设:

$$\begin{aligned} \bar{G}_T \cap G_I &\neq \emptyset \\ G_T \cap \bar{G}_M &\neq \emptyset \\ \bar{G}_T \cap G_I &\subset G_M \end{aligned} \quad (4)$$

式中, \emptyset 为空集, \bar{G}_T 为目标图像占有的灰度集合 G_T 的补集, \bar{G}_M 为内外波门之间的图像占有的灰度集合 G_M 的补集。这表明内波门包含目标图像的所有灰度集合以及目标附近背景的灰度集合,并且内波门中背景的灰度集合完全包含在内外波门之间的灰度集合中,据此可以利用 \bar{G}_M 和 G_I 相交将目标从内波门中提取出来。

1.2.2 基于四分图像双波门法的目标精确提取

双波门法是基于三点假设提出的,其前提是使目标完全包含于内外波门之中,因此该方法在应用中受到很大的限制。首先,内波门中与目标临近背景的灰度集合不一定完全包含于内外波门间的灰度集合中,计算后可能引入部分背景误差,这一点可以通过设定阈值解决^[7]。其次,由于待提取目标的位置均是通过预测得到,因此无法保证上述前提的满足性。当目标的局部跑出内波门,使其部分灰度值进入集合 G_M , 或集合 G_M 中存在与目标灰度相近的背景干扰时(如图 2 所示),利用原算法进行计算必将导致目标区域提取不完整,特别在待提取目标灰度较均匀的情况下会使整个提取过程失败。如果盲目的利用扩大内波门的方法解决该问题不仅增大了计算量,还可能引入更多与目标灰度相似的背景干扰。

针对上述不足,提出了一种基于四分图像的双波门目标提取改进算法。考虑到跑出内波门的目标



图 2 双波门范围

Fig. 2 Range of double gate

局部或与目标相似的干扰背景主要聚集在内外波门间的某个小范围区域,且整个目标灰度分布较为均匀,因此可以将内外波门的中心作为分界点,使内波门与外波门分别分割成互不相交的四部分,令相互重叠的内外波门区域重新构成四组双波门计算区域,这样,至少有一组区域满足双波门算法的前提,分别对上述四组区域进行计算,综合计算结果,即可提取出完整的目标集合。具体算法如下:

$$M = \{M_1, M_2, M_3, M_4\} \quad (5)$$

$$I = \{I_1, I_2, I_3, I_4\} \quad (6)$$

$$O(x, y) =$$

$$\begin{cases} 1 & I(x, y) \in \bigcup_{i=1}^4 (G_{I_i} \cap \bar{G}_{M_i}) \text{ 且 } I(x, y) < \Delta \\ 0 & I(x, y) \notin \bigcup_{i=1}^4 (G_{I_i} \cap \bar{G}_{M_i}) \text{ 或 } I(x, y) \geq \Delta \end{cases} \quad (7)$$

式中,内波门内所有像素点的集合为 I ; 内、外波门之间所有像素点的集合为 M ; 阈值 $\Delta = \text{aver}(G_M) + \alpha \times (G_I(\min) - \text{aver}(G_M))$ 用来去除目标灰度集合的补集 \bar{G}_T 与内波门中所有像素点的灰度集合 G_I 的交集不能完全包含于 G_M 中时所引入的噪声; $\text{aver}(G_M)$ 表示内外波门间像素集合的灰度均值; $G_I(\min)$ 表示内波门灰度集合的最小值,本文可用粗提取时得到的区域灰度集合的最小值代替,认为该值即为目标上某点的灰度值; α 为调节因子。由上述计算公式可以看出,虽然改进算法需要进行四次双波门运算,但由于每次运算的像素数仅为原计算区域的 1/4,不改变计算复杂度,对运算速度几乎无影响。

如图 3(a)(b) 分别表示利用原双波门算法和改进后的四分法对图 2 所示图像计算得到的目标提取结果,白点为提取出来的目标点。可见,虽然仅有

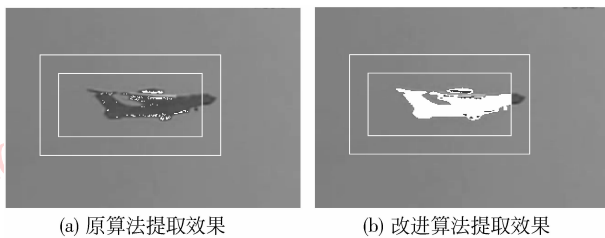


图 3 原算法与改进算法结果比较

Fig. 3 Comparison between original algorithm and improved algorithm

机头少部分像素进入内、外波门之间,则利用原算法,仅能提取出 249 个目标像素,目标提取失败,但是利用改进后的四分法对目标进行提取,有 2 358 个目标像素被提取,可以看到,完整的目标被清晰地识别出来。

1.2.3 相邻帧比较法中背景噪声的移除

采用四分图像的双波门法提取出的目标中不可避免地含有一些噪声,虽然可以通过中值滤波等方法去除小面积的孤立噪声点^[8],但对于灰度和面积均与目标相似的大块背景噪声而言,仅通过单帧图像将其移除相当困难,因此提出相邻帧比较法移除静止或运动速度较目标缓慢的背景噪声。用 $O_i (i = 1, \dots, n, i \geq 1)$ 表示第 k 帧图像中由上述四分法提取出的 n 个拟目标区域,计算这些区域与上一帧图像对应区域的累计绝对误差值,认为最大值为目标区域,可以由下式表示:

$$Target = \max_{i=1, \dots, n, i \geq 1} \sum_{(x,y) \in T_i} |O_{i,k}(x,y) - O_{i,k-1}(x,y)| \quad (8)$$

根据相邻帧比较法移除背景噪声效果如图 4 所示。由图 4(a)可见,利用四分图像的双波门法对目

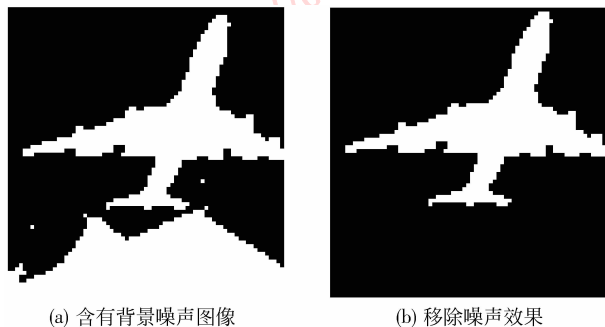


图 4 相邻帧比较法移除背景噪声效果

Fig. 4 Result of removing background noise with frame comparison method

标进行提取时,不仅目标(中间的飞机部分)被清晰地提取出来,而且有大面积的背景噪声(下半部分的屋顶)被误认为目标同时被完整地提取出来。图 4(b)为利用相邻帧比较法将屋顶完全移除后的结果。将最终提取出的目标区域用白色边框画出,并用白色“+”号标出质心位置,在图 5 中显示。可见,根据上述二级精度的粗—精提取方法,在目标模板未知的情况下能够准确提取出运动目标,并将提取出的目标区域作为初始模板用于图像序列的后续跟踪。



图 5 运动目标最终提取效果

Fig. 5 The final extraction result of the moving object

2 目标跟踪

根据运动目标在视频序列中运动轨迹的连续性,可采用轨迹预测与目标匹配相结合的策略进行跟踪。在预测点周围一定范围的目标运动区域内进行匹配,既能减少计算量,又能在很大程度上排除噪声对目标跟踪的影响。

2.1 轨迹预测

常用的轨迹预测器有线性预测器和平方预测器两种,二者都是在最小均方误差意义下利用最小二乘法求得的最佳逼近值,3 点线性预测器与 3 点平方预测器的表达式分别为

$$\hat{f}_l(k+1/k) = [4f(k) + f(k-1) - 2f(k-2)]/3 \quad (9)$$

$$\hat{f}_q(k+1/k) = 3f(k) - 3f(k-1) + f(k-2) \quad (10)$$

本文选用二者的加权组合形式,一方面迅速反应目标运动状态变化,另一方面对目标运动轨迹起到平滑作用,将目标运动看作直线运动和二次曲线

运动的某种组合,使预测值更加接近于真实值,加权后轨迹预测器的表达式为

$$\hat{f}(k+1/k) = \beta(k) \hat{f}_l(k+1/k) + (1 - \beta(k)) \hat{f}_q(k+1/k) \quad (11)$$

式中, $\beta(k) = \frac{\omega_q(k)}{\omega_l(k) + \omega_q(k)}$ 为自适应权值^[9], 满足 $0 \leq \beta(k) \leq 1$, 用来表征两类预测器的相对误差大小, $\omega_l(k)$ 和 $\omega_q(k)$ 可以通过下面两式求得:

$$\begin{aligned} \omega_l(k) &= |\hat{f}_l(k/k-1) - f(k)| \\ \omega_q(k) &= |\hat{f}_q(k/k-1) - f(k)| \end{aligned} \quad (12)$$

2.2 自适应跟踪策略

由于目标姿态变化、噪声、遮挡等现象的存在, 应选择合适的目标特征更新策略以便获得最佳的跟踪效果。本文以轨迹预测器计算得到的预测点为中心, 在其周围一定范围内进行双波门目标提取, 对提取得到的多个拟目标区域进行特征匹配, 获得最佳跟踪点, 同时更新目标特征模板。具体过程如下:

- 1) 以预测目标点为中心, 在其周围通过四分图像的双波门法提取拟目标区域;
- 2) 以目标模板为依据, 与各个可能目标的连通域进行特征匹配, 获取最佳匹配区域视为目标区域, 匹配公式为

$$D(n) = \mathbf{K}\mathbf{X}^T(n) \quad (13)$$

式中, $\mathbf{X}(n) = [\Delta G, \Delta S, \Delta \theta, (\Delta \bar{x}_c, \Delta \bar{y}_c)]$, n 代表连通区域编号; 在各个连通区域与目标模板之间, ΔG 代表灰度均值偏差, ΔS 代表面积偏差, $\Delta \theta$ 代表区域长宽比偏差; $(\Delta \bar{x}_c, \Delta \bar{y}_c)$ 代表连通区域的形心与预测中心的距离。 $\mathbf{K} = [k_c, k_s, k_\theta, k_d]$ 为各特征系数。当 $D(n)$ 足够小时, 认为匹配成功, 否则认为失败;

- 3) 若匹配成功, 将新的目标区域作为下一帧的模板实现后续跟踪; 若匹配失败, 则认为有遮挡产生, 将预测值作为目标值, 保留原有模板, 直到目标再一次出现。

3 实验结果

将本文方法应用于某电视跟踪设备, 摄像机帧率为 25frame/s, 对飞行高度 50m 以上, 运动速度不超过 300km/h 的低空目标进行了多次实验, 结果表明该方法可以准确提取运动目标并实现实时跟踪,

并且能够在跟踪过程中适应短时期的目标遮挡或光线变化。

图 6、图 7 分别为对于背景简单与相对复杂的两次实验中截取的几帧图片, 图中的方框显示了已提取出的目标区域, “+” 符号代表目标的质心位置。可以看到, 运动目标被完整地框取在方框内, 且方框尺寸伴随目标形态的变化自适应改变, 质心标识准确, 实现了对目标的实时跟踪。

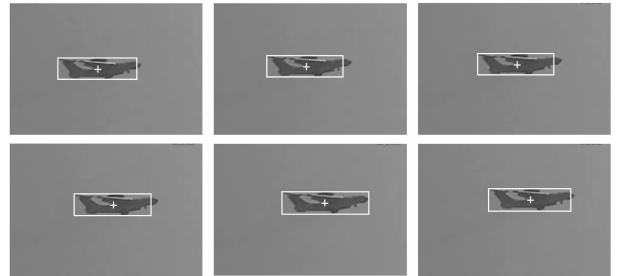


图 6 简单背景跟踪效果

Fig. 6 Tracking results with simple background

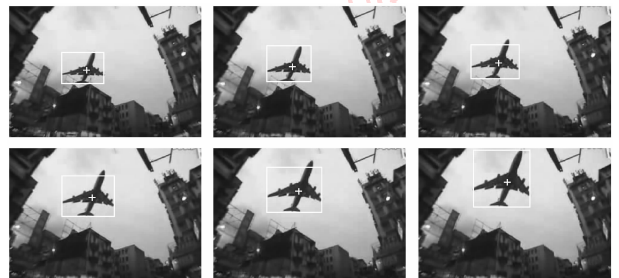


图 7 复杂背景跟踪效果

Fig. 7 Tracking results with clutter background

4 结 论

提出了一种电视跟踪系统中自动提取并快速跟踪运动目标的方法。该方法能够在无人干预的情况下, 利用四分图像的双波门法实现初始目标模板的准确提取, 并以此模板特征为基础, 辅助以轨迹预测算子, 实现了目标的快速跟踪。实验表明该方法基本满足电视跟踪系统的实时性要求, 并且能够随时间变化自适应更新模板特征, 跟踪效果良好。但是, 本文方法仅用于跟踪单个目标, 对于视频窗口中存在两个或多个运动目标的场合可采用匹配与滤波相结合的方法, 分别实现对每一个目标的跟踪, 目前正在进一步的研究当中。

参考文献 (References)

- [1] Lee J, Park C J. An arbitrary point tracking using multi-scale refined optical flow [C] // Proceedings of the 9th International Conference on Advanced Communication Technology, Korea, Gangwon-Do: Phoenix Park, 2007, 1: 373-377.
- [2] Pan W, Wu K, Chai Z. A background reconstruction method based on double-background [C] // Proceedings of Fourth International Conference on Image and Graphics, Chengdu, China: University of Sichuan, 2007: 502-507.
- [3] Zhan C 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 Fourth International Conference on Image and Graphics. Chengdu: China: University of Sichuan, 2007, 519-523.
- [4] Altunbasak Y, Tekalp A M. Occlusion-adaptive, content-based mesh design and forward tracking [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(9): 1270-1280.
- [5] Hao Zhicheng, Zhu Min, Liu Wei. Fast extracting and tracking of target in complex environment [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2006, 36 (2): 259-263. [郝志成, 朱明, 刘微. 复杂背景下目标的快速提取与跟踪 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2006, 36(2): 259-263.]
- [6] Cheng Xiangquan, Guo Zhi, Yu Hai, et. al. An image-based synthesis tracking algorithm for quick moving objects [J]. Acta Armamentarii, 2001, 22(4): 496-499. [程相权, 郭治, 余海, 等. 一种快速目标的图像跟踪综合算法 [J]. 兵工学报, 2001, 22(4): 496-499.]
- [7] Ding Yi, Mao Zheng, Lei Jiayin, et. al. TV tracking algorithm based on adaptive double windows [J]. Journal of Gun Launch & Control, 2007, (1): 44-50. [丁一, 毛征, 雷加印, 等. 一种自适应双波门电视跟踪算法 [J]. 火炮发射与控制学报, 2007, (1): 44-50.]
- [8] Luo S T, Zhang Q, Luo F L. An improved correlation tracking algorithm based on adaptive template modification [C] // Proceedings of 2004 International Conference on Information Acquisition. New York, NY, USA: IEEE, 2004: 313-315.
- [9] Jin Fang, Li Junbo, Yang Yong. Research on image tracking algorithms based on template matching and movement forecasting [J]. Microcomputer Information, 2007, 19(7): 313-315. [金芳, 李军波, 杨勇. 基于模板匹配与运动预测的跟踪算法研究 [J]. 微计算机信息, 2007, 19(7): 313-315.]