

文章编号:1000-582X(2010)04-120-07

Mean-shift 改进算法在火箭目标跟踪中的应用

尹宏鹏^{1a}, 柴毅^{1a,1b}, 魏洪波², 郭茂耘^{1a}

(1 a. 重庆大学 自动化学院; b. 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044;
2. 西昌卫星发射中心, 四川 615000)

摘要:针对火箭目标跟踪问题,提出了一种基于改进 Mean-shift 算法的火箭目标跟踪算法。为克服传统 Mean-shift 算法难以对快速运动的火箭目标进行跟踪的问题,以及在跟踪过程中的跟踪误差累积问题。采用 3 帧差分法检测出火箭目标的大概位置,然后在此基础上使用 Mean-shift 算法实现对火箭目标的精确跟踪。仿真实验表明所提算法能够有效的实现火箭目标的跟踪,并能很好的解决跟踪过程中的跟踪误差累积问题。

关键词:火箭目标跟踪; Mean-shift 算法; 3 帧差分法; 视觉跟踪

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

Application of improved mean-shift algorithm in rocket target tracking

YIN Hong-peng^{1a}, CHAI Yi^{1a,1b}, WEI Hong-bo², GUO Mao-yun^{1a}

(1a. College of Automation; b. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing university, Chongqing 400044, P. R. China;
2. Xichang Satellite Launch Center, Sichuan 615000, P. R. China)

Abstract: An improved Mean-shift-based rocket target tracking algorithm is presented. The traditional Mean-shift tracker is difficult in tracking fast moving rocket target and suffers in cumulating error. To overcome the limitation of the traditional Mean-shift tracking algorithm, three-frame-difference method is employed to detect the rough position of rocket target. Based on the rough position, Mean-shift algorithm is used to achieve precise tracking. Simulation experiments show that the proposed algorithm can effectively track fast moving rocket target and overcome the tracking error cumulating problems.

Keywords: rocket target tracking; mean-shift algorithm; three-frame-difference; vision-based tracking

21 世纪人类将全面走向空间、开发空间和利用空间资源,各行各业对空间的依赖程度日益增强。对空间资源的开发和利用,需要低成本、安全和快捷的空间进入能力,这对火箭发射安全提出了越来越高的要求。火箭飞行的轨迹数据一方面对于鉴定和

分析运载火箭的制导系统、动力系统以及其他分系统都是极为重要的。另一方面,火箭飞行的轨迹对于准确预报火箭各级落点,从而对火箭飞行的沿途城市和重要设施进行实时安全控制都是尤为重要的。因此,火箭飞行的轨迹跟踪与记录一直是航天

收稿日期:2009-10-12

基金项目:国家“863”计划资助项目(2003AA132050);博士点基金资助项目(200806110016);重庆大学“211 工程”三期创新人才培养计划建设项目(S-09108)

作者简介:尹宏鹏(1981-),男,重庆大学博士,主要从事计算机视觉,智能数学图像处理方向研究,(Tel)1345286835;
(E-mail)yinhongpeng@gmail.com。

发射的十分重要任务之一。

采用高速摄像机通过视频图像的方式对火箭的跟踪,由于高速摄像机不向空中辐射任何能量造成对其他系统的电磁干扰,直接对目标图像进行跟踪和定位具有较强的抗干扰能力。同时采用视频图像的方式可以完全独立于火箭发射系统,不需要在火箭上增加雷达应答机之类的设备。可以在不增加整个火箭系统的复杂性下对火箭目标进行跟踪。

Mean-shift跟踪算法由于具有计算简单,实时性好,特征稳定对边缘遮挡、目标旋转、变形和背景运动不敏感等诸多优势,近年来受到了国内外众多学者的广泛关注。

Mean-shift算法由Fukunaga等人于1975年首次应用于数据分类^[1]。由Cheng^[2]在1995年将其首次应用于图像处理领域。随后Commanicui等人使用Mean-shift算法在图像分割与跟踪中做了大量有创新意义的工作^[3-5]。在此之后,Mean-shift算法被广泛地应用到了各种实际应用中^[6-11]。

在火箭目标跟踪场景中的实际应用中,由于火箭目标运动的快速性。无法保证火箭目标在相邻帧有重叠部分而使得在Mean-shift推导过程中,目标起始中心点的在其领域范围内展开的泰勒等式不成立。而导致的跟踪失败。对于类似的快速运动目标跟踪问题,很多研究者提出了一些解决方案。如朱胜利,等人使用卡尔曼滤波来处理快速运动目标相邻两帧间没有重叠的跟踪场景^[9-12],然而卡尔曼滤波只能处理被估计的过程和(或)观测变量与过程的关系是非线性的以及背景噪声属于白噪声分布的情况。但在大多数的跟踪场景中上述情况是不能满足的,因而极大地限制了这种方法的应用。Babu和Makur^[6]同时使用空间相似度准则和基于颜色直方图相似度准则来处理快速运动目标跟踪问题,但是这种算法需要计算2个空间内的目标特征,耗费大量的计算时间,难以做到快速目标的实时跟踪。Wang^[10]等,采用了一个使用目标特征匹配的自适应核带宽跟踪方法来克服算法难以跟踪快速运动目标的缺点。但是,在大多数跟踪场景中,如何选择尺度不变的关键点又是一个新的问题。

主要工作体现如下,详细分析了Mean-shift算法对于运动火箭目标跟踪的局限性,提出了使用三帧差分法来提高Mean-shift算法对火箭目标的跟踪性能。帧间差分方法来检测火箭目标的粗略位置,利用该位置对Mean-shift算法进行初始化,然后实

现对火箭目标的精确跟踪。有效解决了对于复杂环境下快速运动的火箭目标跟踪问题。

1 Mean-shift 算法概述

传统的Mean-shift算法是一种基于颜色核密度估计的非参数核密度估计算法。跟踪目标由颜色特征的核直方图来描述,在每帧中对目标模型(target model)和候选目标模型(candidate target model)计算相似性度量,并沿核直方图相似性的梯度方向迭代搜索目标位置,从而实现模式匹配和对目标的跟踪。

1.1 目标模型表示

在Mean-shift跟踪算法中目标一般由目标的外接矩形来表示,为消除不同目标的大小和形状的影响,所有的目标通过相互独立水平维和竖直维的归一化系数 h_x, h_y 归一化为一个单位圆。设 $\{x_j^*\}_{j=1, \dots, n}$ 表示目标区间内的所有像素点,并且定义目标的中心在坐标原点。定义 $k(x)$ 为核函数的轮廓函数,由于跟踪过程中的目标遮挡或是背景的影响,目标模型中心附近的像素要比外面像素更可靠些。因而为了增加目标跟踪的鲁棒性, $k(x)$ 对目标中心的像素给一个比较大的权值,而远离目标中心的像素一个比较小的权值。函数 $b: R^2 \rightarrow \{1 \dots m\}$ 将目标中的像素在特征空间中等量量化为 m 个bin。其中对应每一个特征 $u = 1 \dots m$ 的目标概率模型可以表示为

$$q_u = C \sum_{i=1}^n K(\|x_i^*\|^2) \delta[b(x_i^*) - u], \quad (1)$$

其中 δ 是Kronecker delta函数。其中 C 是一个标准化的常量系数,使得 $\sum_{u=1}^m q_u = 1$,因此有

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k(x_i^{*2})}. \quad (2)$$

对应的候选目标概率模型表示为

$$p_u(y) = C_h \sum_{i=1}^{n_h} k\left(\frac{y - x_i^2}{h}\right) \delta[b(x_i) - u]. \quad (3)$$

其中

$$C_h = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_h} k\left(\frac{y - x_i^2}{h}\right)}. \quad (4)$$

是标准化的常量系数。 y 为目标中心点位置。

1.2 相似性度量与目标跟踪

为获得目标模型及候选目标模型的匹配程度,

在 Mean-shift 算法中定义模型间的匹配距离为

$$d(y) = \sqrt{1 - \rho[p(y), q]} \quad (5)$$

其中, ρ 为 2 个模型间的相似度函数, 在 Mean-shift 算法中, 这个相似函数为 Bhattacharyya 系数

$$\rho(y) = \rho(p(y), q) = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y)q_u} \quad (6)$$

目标定位就是在上一帧目标位置的领域范围内, 寻找使得匹配距离 d 最小, 或是相似度函数 ρ 最大的位置 y_1 。假设上一帧中目标的位置为 y_0 , 将 $\rho(y)$ 在 y_0 处泰勒展开, 相似度函数可近似表示为

$$\rho(y) \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y_0)q_u} + \frac{C_h}{2} \sum_{i=1}^{nh} \omega_i \cdot k\left(\frac{y-x_i}{h}\right) \quad (7)$$

其中 C_h 为一常数

$$\omega_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{q_u}{p_u(y_0)}} \delta[b(x_i) - u] \quad (8)$$

通过对相似度函数求最大值, 可以推导出 Mean-shift 向量, 具体推导过程请参考文献[5]。Mean-shift 向量迭代公式可表示为

$$m_{h,G}(y) = y_1 - y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{nh} x_i \omega_i g\left(\frac{y_0 - x_i}{h}\right)}{\sum_{i=1}^{nh} \omega_i g\left(\frac{y_0 - x_i}{h}\right)} - y_0 \quad (9)$$

其中, $g(x) = -k'(x)$ 。基于 Mean-shift 的目标跟踪就是通过反复迭代式(9), 使候选目标从上一帧目标的位置 y_0 不断地沿着相似性度量的梯度方向移动到新的位置 y_1 。

2 基于改进 Mean-shift 算法的火箭目标跟踪

火箭目标跟踪是获取火箭飞行轨迹, 运动参数的基础。在火箭目标跟踪场景中, 对跟踪系统的鲁棒性、实时性要求比较高。Mean-shift 算法作为一种基于密度梯度的无参估计方法在跟踪领域有一些很好的特点, 如算法实时性好; 对边缘阻挡、目标的旋转、变形及背景变化不敏感; 容易和别的算法集成。但是由于火箭目标跟踪场景的复杂性以及火箭目标运动的快速性, 传统的 Mean-shift 算法并不能对火箭目标良好的跟踪。

2.1 基于 Mean-shift 算法对火箭目标跟踪的局限性分析

在 Mean-shift 跟踪算法迭代中, 候选目标模型

的中心位置, 都是由上一帧中的目标位置决定。在目标定位的步骤中, 为了使得 Bhattacharyya 系数最大, 在 $p(y_0)$ 处对式(6)进行泰勒展开, 得到式(7), 进而对式(9)分析, 最后获得新的目标区域的中心位置。泰勒展开的条件是在被分析点的领域内展开的, 如果候选目标位置 y_1 不在展开点 y_0 的领域 $(y_0 - r, y_0 + r)$ 内, 式(7)是不成立的。而对于火箭这类快速运动的目标, 在很多情况下目标在相邻帧中是没有重叠的。其对应的数学表达为目标位置 y_1 不在展开点 y_0 的领域 $(y_0 - r, y_0 + r)$ 内。因而式(7)对于快速运动的火箭目标跟踪中是不成立的。这也从理论上说明经典 Mean-shift 跟踪算法对于快速运动的火箭目标跟踪是无效的。

Commaniciu 和 Collins 等人^[11-13]已经证明 Mean-shift 算法是一种基于梯度信息的爬山寻优算法。跟所有的爬山寻优算法一样, Mean-shift 跟踪算法也难免局限于局部最优问题^[14], 特别是针对于长时间的跟踪, 一旦算法收敛于局部最优点, 将导致计算出来的目标位置不同于真实目标位置。而传统的 Mean-shift 跟踪算法, 是不具备误差消除机制的。作为一个迭代算法, 在 Mean-shift 跟踪算法跟踪过程中, 跟踪误差会逐步累积的, 最终导致目标跟踪失败。

2.2 3 帧差分法

帧间差分法由于简单, 高效, 并且易于硬件实现, 被广泛地应用于运动目标的检测与跟踪中^[15-16]。在相邻帧中使用帧间差分法, 场景中的静止背景被剥除, 而场景中的运动部分被保留下来了。在快速运动目标的跟踪场景中, 由于目标的快速运动, 通常在图像中表示为不同位置的显示。因而, 利用帧间差分法可以很好地对快速运动目标进行检测。通常, 可以将运动目标的形心作为目标的中心, 其计算公式可以表示为

$$M = \frac{\sum m_i r_i}{\sum m_i} \quad (10)$$

其中 m_i 是像素值而 r_i 是像素坐标的位置。

在火箭目标跟踪系统中, 由于云台带动摄像头的运动, 使得通过图像采集模块获取的相邻帧中的图像变化不但包括了目标运动和噪声, 而且还包括摄像头的运动, 造成整个跟踪背景的全局变化。通过使用相邻 3 帧差^[15]的方法来消除摄像头运动造成的跟踪场景变化对运动目标检测的影响。

假设相邻的 3 帧火箭图像可以表示为 F_{k-2} ,

F_{k-1} 和 F_k , 相邻 3 帧图像的背景可以表示为 B_{k-2} , B_{k-1} 和 B_k , 相邻 3 帧图像中的火箭目标可以表示为 O_{k-2} , O_{k-1} 和 O_k , 各帧图像中对应的白噪声可以表示为 N_{k-2} , N_{k-1} 和 N_k , 则相邻 3 帧图像的数学表达式为

$$\left. \begin{aligned} F_{k-2} &= B_{k-2} + O_{k-2} + N_{k-2} \\ F_{k-1} &= B_{k-1} + O_{k-1} + N_{k-1} \\ F_k &= B_k + O_k + N_k \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

定义帧 F_{k-2} 和帧 F_{k-1} 的差为 $F_{k-2,k-1}$, 帧 F_{k-1} 和帧 F_k 的差为 $F_{k-1,k}$, 其对应数学表达式为

$$\begin{aligned} F_{k-2,k-1} &= B_{k-2} + O_{k-2} + N_{k-2} - B_{k-1} - O_{k-1} - N_{k-1}; \\ F_{k-1,k} &= B_{k-1} + O_{k-1} + N_{k-1} - B_k - O_k - N_k. \end{aligned} \quad (12)$$

公式(12)中描述帧 F_{k-2} 和帧 F_{k-1} 的运动检测部分 $F_{k-2,k-1}$ 以及帧 F_{k-1} 和帧 F_k 的运动检测部分 $F_{k-1,k}$ 中,不但包含了火箭目标的运动部分以及噪声,同样也包括了由于摄像头运动造成的全局背景变化部分。在连续帧中,较短的时间内可以认为摄像机运动造成的全局背景变化部分在相邻帧中是相同的。这样可以利用 $F_{k-2,k-1}$, $F_{k-1,k}$ 的差来消除摄像机运动造成的全局背景变化。因而,基于 3 帧差法的运动检测区域 D_k 可以表示为

$$\begin{aligned} D_k &= F_{k-2,k-1} - F_{k-1,k} = \\ &B_{k-2} - 2B_{k-1} + B_k + O_{k-2} - 2O_{k-1} + \\ &O_k + N_{k-2} - 2N_{k-1} + N_k. \end{aligned} \quad (13)$$

通过滤波去噪后,式(13)可以化简为

$$D_k \approx O_{k-2} - 2O_{k-1} + O_k. \quad (14)$$

而后基于 3 帧差将运动目标区域通过图像的二值出来分割出来后,对该区域求形心,将形心可以认为是火箭目标的中心。算法流程如图 1 所示。

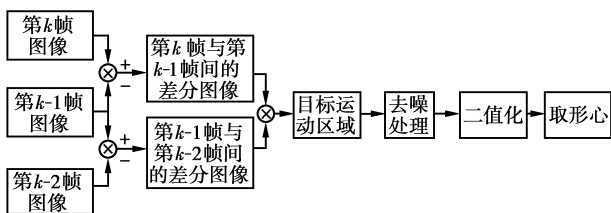


图 1 运动目标检测流程图

2.3 改进的 Mean-shift 火箭目标跟踪算法

对于使用 Mean-shift 算法对火箭目标的跟踪,提出的解决办法是:将基于 3 帧差分法的运动目标检测方法和 Mean-shift 跟踪算法相结合。Mean-shift 对快速运动目标的跟踪效果不好,可以看作在

一些帧中,火箭目标的初始迭代位置不够理想。通过采用 3 帧差分法检测出火箭目标在本帧中的大概位置,将这一位置点作为 Mean-shift 迭代的起始点,然后利用 Mean-shift 算法在这点的邻域内寻找目标真实的位置,快速运动目标的跟踪就可以得到很好的解决。

帧间差分法是一种利用图像序列间信息的冗余,认为相邻帧间主要的变化是由目标运动造成的,具有计算量小、可实时处理的特点,利用帧间差分法对快速运动目标的检测是有效的。在火箭目标跟踪中,由于火箭目标运动的快速性,在动态背景中可以使用上节所提的相邻 3 帧差分法,检测出场景的运动区域,对运动区域进行去噪声和二值化处理后,对分割出来的运动区域,求取形心。

将形心作为 Mean-shift 火箭跟踪算法迭代的初始位置,然后 Mean-shift 就可以在这个位置的邻域寻找火箭目标的真实位置。由于使用了帧间差分法对火箭目标进行运动检测获取目标的运动区域,进而求形心作为 Mean-shift 跟踪算法的初始位置,有效地克服了在火箭目标跟踪过程中由于火箭目标飞行的快速性、火箭目标在前后帧没有重叠而造成 Mean shift 算法中泰勒展开失败而最终造成跟踪失败的问题利用了 Mean-shift 跟踪算法中所没有利用的相邻帧的目标的运动信息,丰富了对已知信息的使用,增强了跟踪效果。另外,由于跟踪中的每一帧的初始位置都由帧差分法检测的运动目标形心进行初始化,因而有效地解决了经典 Mean-shift 跟踪算法中的跟踪误差累积问题。

基于 Mean-shift 算法与帧间差分法的火箭目标跟踪算法整体系统流程如图 2 所示。假设火箭目标模型为 $q = \{q_u\}_{u=1 \dots m}$,改进后的基于 3 帧差分算法的 Mean-shift 火箭目标跟踪算法如下

步骤 1:使用相邻 3 帧差分对火箭目标进行检测,计算火箭运动区域的形心位置 y_0 , 如果 $y_0 = (0, 0)$ 则该帧中 Mean-shift 的初位置由上 1 帧目标的位置初始化。因为如果 $y_0 = (0, 0)$ 表示没有检测到火箭的运动;

步骤 2:计算火箭目标的概率分布模型 $p(y_0) = \{p_u(y_0)\}_{u=1 \dots m}$ 与相似性函数 $\rho[p(y_0), q] = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y_0)q_u}$;

步骤 3:根据公式(8)计算权值 w_i ;

步骤 4:根据式(9)计算目标在当前帧中的火箭目标位置 y_1 ;

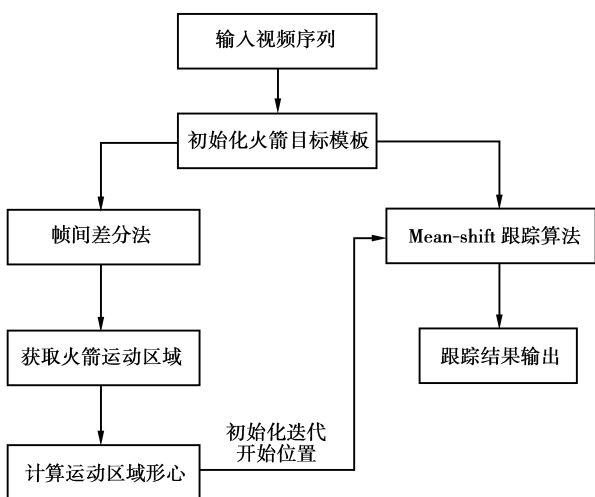


图 2 基于 Mean-shift 算法与 3 帧差分法的火箭目标跟踪算法流程图

步骤 5: 更新火箭目标模型分布为 $\{p_u(y_1)\}_{u=1 \dots m}$, 更新相似度函数 $\rho[p(y_0), q] = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y_1)q_u}$;

步骤 6: 如果 $m_{h,G}(y) < \epsilon$ 算法停止, 否则设定 $y_1 = y_0$, 返回到步骤 1 继续迭代。

3 仿真实验

为了测试算法对火箭目标跟踪的有效性, 一段长 500 帧的 240×320 的火箭快速升空时的录像被用来作为测试序列。在本次仿真试验中, 使用图像灰度作为目标的特征空间。将图像灰度量化为 256 个 bin, 采用高斯函数作为 Mean-shift 目标跟踪的核函数、Bhattacharyya 系数为相似性函数, 跟踪目标由人工初始为 99×12 像素大小的长方形, 使用 3 帧差分法检测的结果如图 3 所示。

图 3 中的(a)、(b)、(c)图中由于摄像机的运动, 以及光照的变化使得这连续 3 帧中的背景发生了改变。(d)图中是使用 3 帧差分法后的图像。(e)图是对差分后的图像进行去噪和二值化处理后的图像, 从(e)图中可以看出, 使用三帧差分法在运动背景中能够提取出基本完整的火箭目标轮廓。(f)图为提取形心后的运动火箭, 图中间处的白色十字为火箭目标的形心。

图 4 为使用经典 Mean-shift 对火箭目标的跟踪。(a)图序列的第一帧图像。是(b)中的黑色长框内的图像是 Mean-shift 算法的初始模板。(c)图到(i)图分别是测试序列图像中的第 10、20、30、40、100、200 帧和第 400 帧的跟踪结果。

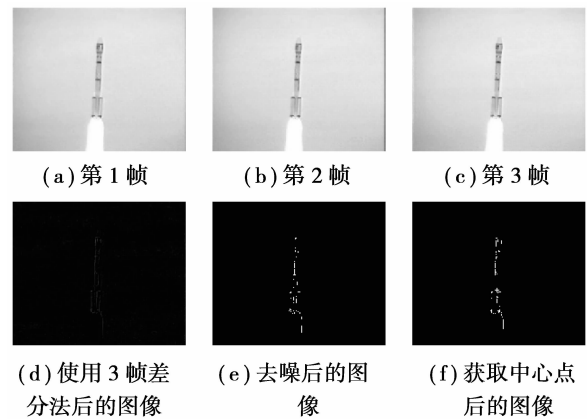


图 3 3 帧差分法仿真结果

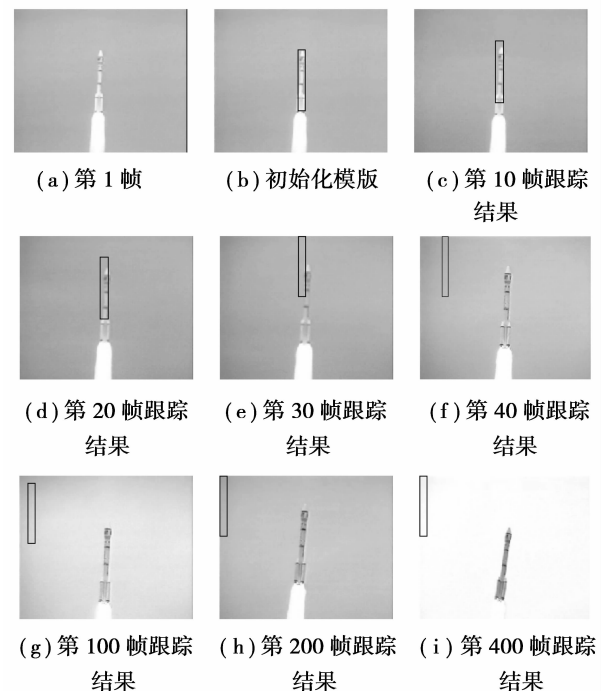


图 4 基于传统 Mean-Shift 跟踪算法的火箭跟踪结果

从图 4 中可以看出, 从第 20 帧开始, 经典 Mean-shift 跟踪算法对火箭的跟踪开始发生模板漂移, 跟踪窗口已经明显偏离火箭目标位置, 随着跟踪误差的累积, 到第 40 帧开始完全丢失目标。由于缺乏一个跟踪误差的消除机制重新寻找目标, 跟踪窗口离正确目标位置越来越远, 最终停留在图像的右上角。

图 5 是使用经典 Mean-shift 算法对火箭跟踪的每帧迭代次数的示意图。从第 40 帧开始, 每帧的迭代次数都是 16, 这是因为在算法中避免找不到匹配目标时, 避免程序进入死循环的一种做法。也就是从第 40 帧开始, 算法已经完全不能跟踪到正确的目标, 而不能收敛。

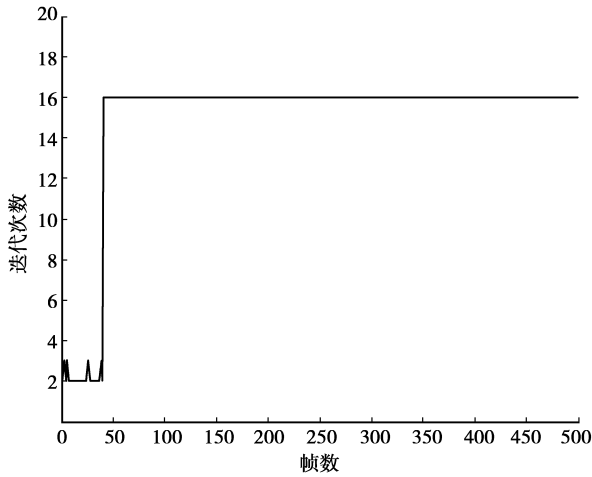


图 5 使用 Mean-shift 算法对火箭跟踪的每帧迭代示意图

图 6 为使用所提方法对火箭目标的跟踪。(a)图是序列的第一帧图像。(b)图中的黑色长框内的图像是算法的初始模板。(c)图到(i)图分别是测试序列图像中的第 10、20、30、40、100、200 帧和第 400 帧的跟踪结果。

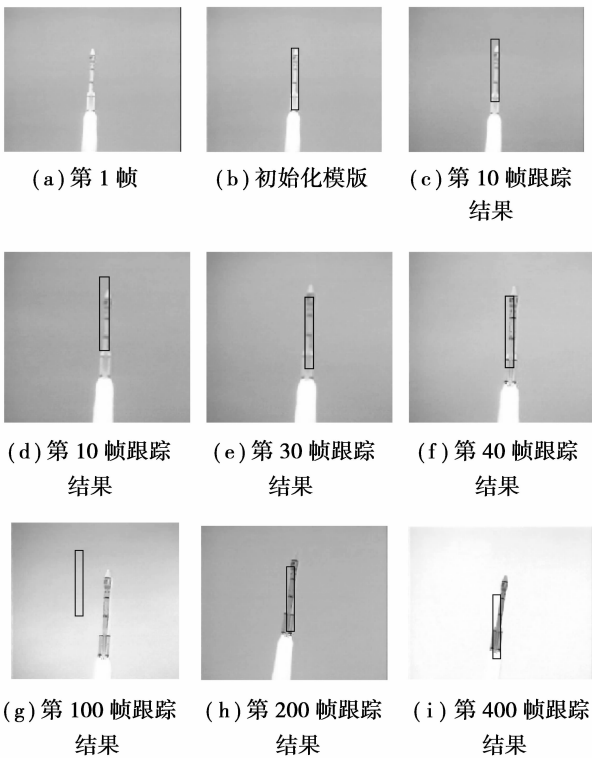


图 6 基于经典 Mean-Shift 跟踪算法的火箭跟踪结果

从图 6 中可以看出,第 20 帧的跟踪窗口,和使用经典 Mean-shift 跟踪算法一样产生了漂移,但是由于引入帧间差分法对误差修正后,在第 30 帧并没

有出现使用经典 Mean-shift 跟踪方法所产生的大面积模板漂移。虽然在第 100 帧中,出现跟踪失败的情况,但在后续的跟踪中由于引入 3 帧差分法后重新初始化 Mean-shift 的迭代位置,在后续帧中并没有因为一次跟踪的失败而导致整个跟踪过程的失败。

图 7 是使用所提算法对火箭跟踪的每帧迭代次数的示意图,算法平均迭代次数为 1.582 次/每帧,可以很好地满足火箭跟踪系统的实时性要求。从图中可以看出,在整个过程中也出现了 6 次,迭代次数达到 16 帧,这表示有 6 次丢失目标而造成算法无法收敛的情况,但这没有影响整个过程的火箭目标跟踪。

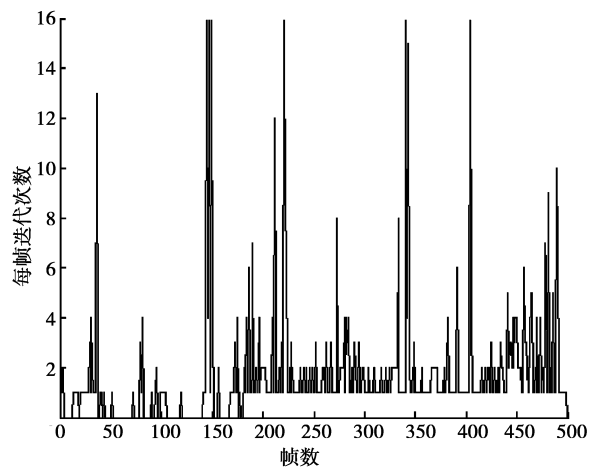


图 7 改进 Mean-shift 算法对火箭跟踪的每帧迭代示意图

从上述对比实验中,可以看出采用所提的火箭目标跟踪算法,明显优于经典的 Mean-shift 算法对快速运动火箭目标的跟踪。采用 3 帧差分法提取火箭目标运动区域的形心,初始 Mean-shift 跟踪算法的初始迭代位置,有效地消除了 Mean-Shift 迭代算法中存在的跟踪误差累积的问题。

4 结 论

针对复杂背景下的快速运动的火箭目标跟踪问题,分析了传统 Mean-shift 算法对快速运动目标跟踪的局限性,提出了一种基于 Mean-shift 跟踪算法与 3 帧差分法相结合的火箭目标跟踪算法,有效地解决了使用 Mean-shift 算法无法对快速运动的火箭目标跟踪的问题以及在跟踪过程中的跟踪误差累积问题。仿真实验表明了所研究算法的有效性和可行性。

参考文献:

- [1] FUKUNAGA K, HOSTETLER L D. The estimation of the gradient of a density function with applications in pattern recognition [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1975, 21(1): 32-40.
- [2] CHENG Y. Mean shift, mode seeking and clustering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790-799.
- [3] HUAN B, COMMANICIU D, ZHU Y, et al. Sequential kernel density approximation and its application to real-time visual tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis, 2008, 30(7): 1186-755.
- [4] COMMANICIU D, MEER P. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002 24(5): 603-619.
- [5] COMMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- [6] BABU R V, MAKUR A. Kernel-based spatial-color modeling for fast moving object tracking[C]// IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. USA: IEEE, 2007: 901-904. .
- [7] LI Z, TANG Q L, SANG N. Improved mean shift algorithm for occlusion pedestrian tracking [J]. Electronics Letters, 2008, 44(10): 622-623.
- [8] GUO S, LIU W, LU X, et al. An adaptive weight values updating mean shift tracking algorithm[C]// International Conference on Information and Automation. Zhuhai: IEEE, 2009: 790-794.
- [9] LI Y, ZHAO Z, ZHANG W, et al. Trajectory tracking of particle material motion on sieve surface based on Mean shift algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(5): 119-122.
- [10] WANG G L, LIANG D Q, WANG Y C, et al. Algorithm for tracking of fast motion objects with adaptive mean shift [C] // Proceedings of the 8th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial, Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing. Qingdao: IEEE, 2007, (5): 359-363.
- [11] COMMANICIU D, MEER P. Mean shift analysis and applications[C]// Proceeding of IEEE International Conference on Computer Vision. Washington, USA: IEEE, 1999 (2): 197-203.
- [12] 朱胜利, 朱善安, 李旭超. 快速运动目标的 Mean-shift 跟踪算法[J]. 光电工程, 2005, 33(5): 66-70.
- ZHU SHENG-LI, ZHU SHAN-AN, LI XU-CHAO. Algorithm for tracking of fast motion objects with Mean-shift [J]. Opto-Electronic engineering, 2005, 33(5): 66-70.
- [13] COLLINS R, LIPTON A, KANADE T, et al. A system for video surveillance and monitoring: VSAM nal report [R]. PIT (Pittsburgh): Carnegie Mellon University, 2000.
- [14] PEFTITSIS D, ADAMIDIS G, BALOUKTSIS A. Electrical machines[C]// 18th International Conference on Electrical Machines. Vilamoura, Portugal: IEEE, 2008: 1-5.
- [15] ZHAN C, DUAN X, XU S, 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: IEEE, 2007: 519-523.
- [16] THAKOOR N, GAO J. Automatic extraction and localization of multiple moving objects with stereo camera in motion [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. USA: IEEE, 2005 (2): 1269-1274.

(编辑 侯 湘)