

利用检测特征空间的目标实时跟踪

安国成¹ 张凤军²

(通号通信信息集团有限公司北京研究院 北京 100070)¹

(中国科学院软件研究所人机交互实验室 北京 100190)²

摘要 针对被跟踪目标尺度小、特征颜色与场景颜色相似的问题,提出一种基于实时检测结果的视频目标跟踪算法,即首先对背景进行高斯建模,利用背景减除法和帧间差分算法对前景区域进行有效提取,然后在提取的前景区域内进行基于均值移动算法的目标跟踪。基于像素级别的背景减除与帧间差分算法虽然精确和灵敏的优点,但是鲁棒性不强;而基于块级别的均值移动算法虽然鲁棒性强,但是弱化了特征颜色的空间信息,本文对两种机制进行了有效融合。通过该策略,跟踪系统在目标快速运动、有场景相似颜色干扰等情况下具有很好的跟踪性能,算法的计算量小,能够满足实时性要求。通过多组对比实验可以看出,新算法具有很强的抑制背景干扰、提高均值移动跟踪算法鲁棒性的能力。

关键词 实时检测,帧间差分,背景建模,均值移动

中图法分类号 TP391.41 **文献标识码** A

Target Tracking Based on Feature Space of Detection

AN Guo-cheng¹ ZHANG Feng-jun²

(Beijing Institute of Communication & Information Corporation, Beijing 100170, China)¹

(Intelligence Engineering Laboratory, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)²

Abstract To solve the problem of small targets or targets which have similar color with scene background in tracking, we propose an object tracking method which exploits real-time detection results. First, scene background is effectively modeled and foreground mask is obtained by background subtraction and frame differencing, then, mean shift algorithm is applied to objects tracking in the fused image space. Though precise and sensitive, pixel-level processing algorithms such as mixture of Gaussian and frame differencing are not robust. The mean shift algorithm which is a block-level processing one is robust whereas it weakens spatial information of feature space. This paper effectively combines the merits of both algorithms to achieve robustness and accuracy of object tracking. Through the method, our system shows very good tracking performance for targets which move fast or have similar color disturbance with scene background. Also, our algorithm is efficient and the computation of the novel algorithm is fast to satisfy real-time application. Several groups of comparative experimental results show that the new algorithm can effectively suppress the scene background disturbance and improve the performance of object tracking. Experimental results on video clips demonstrate the effectiveness and efficiency of our method.

Keywords Real-time detection, Frame differencing, Background modeling, Mean shift

1 引言

动态图像处理技术主要研究方向包括视频目标检测与跟踪,是智能分析领域的研究热点,它们在智能监控、人机交互、辅助医疗诊断等领域具有广泛应用前景。视频运动目标检测研究主要集中在如何对复杂背景进行高效、鲁棒的建模,提取前景目标。Xue采用两步前景提取算法,第一步是粗略提取前景目标,第二步是前景目标精细化,该算法可以抑制光照影响,但是算法运算量比较大,对目标轮廓具有模糊作用,所以

很难得到目标精细轮廓^[1]。Wu等采用基于场景时空信息的动态码本机制对目标前景进行有效检测^[2],通过实验可以看出算法具有很好的性能,但是码本更新是一个需要解决的难题。由于采用矢量码本,码本训练与更新可能浪费系统大量资源,造成算法实时性不强。Zha等采用多尺度马尔可夫随机场模型对背景建模^[3],该算法需要大量样本进行学习。Zhang等针对目标与场景颜色相似的难题,利用前景运动信息进行目标分割^[4],但是当背景存在多个运动目标时,该算法会受到严重影响。Dickinson等为了处理动态背景采用基于

本文受铁路综合视频监控系统维护技术研究,发改委《铁路控制信息网络综合视频监控系统产业化》,国家自然科学基金:基于手持一终端设备的三位用户界面研究(61173059),使用L1范数的捆绑调整方法研究(61203276),铁路通信信号运用及维护技术研究-铁路通信网监测与维护技术研究资助。

安国成(1979—),男,博士,高级工程师,主要研究方向为计算机网络、计算机视觉,E-mail: angc@crsic.com。

混合高斯函数的背景建模机制,并对前景进行空间和特征颜色建模^[5],利用这种机制,新观测像素可以被动态识别为前景与背景,以实现动态前景的分割。Butler等采用聚类分析机制对新进入像素进行分类^[6]。针对没有匹配的聚类中心,则创建新聚类中心,替代具有小权值聚类中心;针对存在匹配的聚类中心,则对各个聚类中心对应权值进行更新,通过此机制达到目标前景检测。可见,对背景建模、前景提取一直是一个研究难点、热点问题。

另一个重要研究领域是视频跟踪。因为视频目标跟踪是一个非高斯、非线性的问题,粒子滤波算法在视频目标跟踪领域取得了很好的实验效果,因此粒子滤波逐渐成为重要的目标跟踪算法之一。Kass针对目标精确轮廓跟踪,利用Snake算法对唇部进行实时跟踪^[7],之后,Snake算法也逐渐成为一种重要的视频目标跟踪算法^[8]。均值移动算法是一种基于核密度梯度的无参数估计算法,Cheng在1995年对均值移动进行深入研究,以一种巧妙的方式进行数据聚类分析^[9]。Comaniciu将均值移动算法应用到视频跟踪以及目标分割之中,他将视频目标跟踪问题转化成概率密度搜索。Hu等利用目标空间、颜色信息对经典均值移动算法进行改进,采用一种全新相似度计算方法,但是改进算法并不能很好解决空间颜色相似干扰的问题^[10]。在目标跟踪过程中,参考模板是否正确、及时地反映被跟踪目标颜色特性、目标参考模板与目标候选模板之间相似度度量方法对跟踪性能存在明显影响。在实际应用场景之中,不可避免地存在目标快速移动、背景颜色特征干扰、光照突然变化等情况。采用固定颜色统计分布作为参考模板进行目标跟踪,可能导致跟踪精度下降,甚至丢失目标。针对均值移动算法在上述复杂情况下的目标跟踪问题,提出一种利用凸核函数的算法,算法同时利用了目标的颜色特征和运动特征,当目标颜色特征丢失,系统采用运动特征进行补偿,实现信息互补作用。采用双学习机制处理目标因光照突变而产生参考模板和目标候选模板不一致的问题,算法既利用了颜色特征,又利用了目标空间信息,但是算法复杂度明显增加。Chen等针对目标运动模型不确定的问题,提出一种隐含运动的模型粒子滤波算法,在一定程度上提高了算法对目标跟踪的效率,减少了丢失目标的可能性^[11]。

视频目标的检测与跟踪一直都是两个重要研究领域,通常目标检测、目标跟踪处于整个系统两个不同模块之中,其中检测为目标跟踪提供初始条件,而在后继跟踪中,一般很少再利用检测的结果,除非发生目标丢失,需要重新初始化系统。在实际跟踪应用中,有可能会出现目标比较小或者视频质量较差,目标颜色与背景颜色相近等情况,从而导致跟踪目标特征线索不稳定。此时,跟踪器的跟踪精度明显下降,甚至丢失目标。本文提出融合检测结果的视频目标跟踪算法,即在跟踪的同时,采用背景减除、帧间差分算法提取变化像素,这样可以将背景中与目标颜色相似的静止干扰像素剔除。最后将得到的前景和对应的视频区域进行“与”操作,进而得到目标有效候选区域,在候选区域内使用均值移动算法对目标进行进一步跟踪。该算法融合了像素级别的检测算法和块级别的跟踪算法各自的优点,算法操作简单、计算量小,通过实验可以看出,算法跟踪精度高,鲁棒性强,不易发生丢失目标的现象。

2 算法介绍

背景减除和帧间差分算法是两种经典的视频目标检测算法,其具有实时性好、运算量小的优点。另外本节也给出基于颜色特征的均值移动算法,它具有运行速度快、鲁棒性强的特性。

2.1 背景减除与帧间差分

对背景减除算法的研究主要包括背景构造方法、背景更新机制、阴影剔除策略等方面。采用背景减除算法对前景目标进行检测,首先要对背景进行构造。通常可以采用混合高斯建模方法,假设某一像素在一段时间内样本值为: $x_1, x_2, \dots, x_N$,采用 M 个高斯函数对其进行建模:

$$\Pr(x_t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{1}{(2\pi)^{\frac{d}{2}} |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x_t - x_i)^T \Sigma^{-1} (x_t - x_i)} \quad (1)$$

$$\text{当各个颜色通道的协方差不相干时,即 } \Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 \end{bmatrix}$$

背景的概率密度简化为:

$$\Pr(x_t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \prod_{j=1}^d \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_j^2}} e^{-\frac{(x_{tj} - x_{ij})^2}{\sigma_j^2}} \quad (2)$$

当像素 x_t 处的概率 $\Pr(x_t) < TH$ 时, x_t 为前景,反之为背景。

此种背景建模算法对于较稳定的背景具有很好的检测效果,但是在光照变化剧烈、物体在场景中发生位置变化等情况下适应能力较差。此时需要背景更新以使系统适应新情况。背景更新的研究包含两个方面:更新时机和更新策略。令 t 时刻提取的背景模型为 B_t ,当前时刻图像帧为 I_t ,采用连续背景更新策略:

$$B_{t+1} = \alpha I_t + (1 - \alpha) B_t \quad (3)$$

式中, α 是更新速度。当场景变化剧烈时,该机制可能产生大量误警。当 $\alpha=1$ 时,上述背景建模方法在进行前景检测时,就简化成帧间差分方法:

$$D_{t+1} = \begin{cases} 1, & |I_{t+1}(x, y) - B_t(x, y)| > T \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

式中, $B_t(x, y) = I_t(x, y)$ 。帧间差分法具有很强背景变化适应能力,但对运动前景目标、暂时静止目标检测存在漏洞、漏检的现象。

背景相减法和帧间差分算法是前景运动目标检测的一类重要方法,对它们的研究依然是视频图像处理的一个重要方向。

2.2 均值移动算法

利用均值移动机制对运动目标跟踪,需要确定目标跟踪特征线索。用于目标跟踪的特征线索包括目标颜色、目标纹理、目标梯度等信息。基于颜色信息的目标跟踪具有鲁棒性强、实现简单、算法运行效率高等特性。系统在跟踪之前对被跟踪目标进行参考模板构造:

$$\hat{q}_u = C \sum_{k=1}^n K\left(\left\|\frac{x_0 - x_k}{h}\right\|^2\right) \delta[b(x_k) - u], u=1, 2, \dots, m \quad (5)$$

式中, x_0, x_k 表示跟踪目标中心像素坐标,第 k 个像素坐标; m 为量化颜色分量个数; n 为像素总个数; h 为核函数带宽;

$K(\|x\|^2)$ 为核函数; C 为归一化常数,使 $\sum_{u=1}^m \hat{q}_u = 1$; $\delta(\cdot)$ 是Kronecker delta 函数;函数 $b: R^2 \rightarrow \{1, 2, \dots, m\}$ 计算位置在 x_k 处像素所属颜色分量。在后继跟踪过程对处于位置 y 处的目标也采用类似方法建立候选模板核密度 $\hat{p}_u(y)$ 。Comaniciu 采用 Bhattacharyya 相似度量两个模板相似度^[13]:

$$d(y) = \sqrt{1 - \rho[\hat{p}(y), \hat{q}]}$$
 (6)

对 $\rho[\hat{p}(y), \hat{q}]$ 进行泰勒展开得到权值计算公式:

$$\omega_k = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(y_0)}} \delta[b(x_k) - u]$$
 (7)

依据目标初始位置 y_0 计算新位置 y_1 ,然后将 $y_0 \leftarrow y_1$,经过若干次迭代直到获得目标最终跟踪位置:

$$y_1 = \frac{\sum_{k=1}^n x_k \omega_k K'(\| \frac{y_0 - x_k}{h} \|^2)}{\sum_{k=1}^n \omega_k K'(\| \frac{y_0 - x_k}{h} \|^2)}$$
 (8)

3 实时检测与跟踪

基于背景建模和帧间差分的前景检测、运动检测与基于均值移动算法的视频目标跟踪是视频处理的两个重要研究领域,通常这两个领域对图像的关注重点不同:背景建模、帧间差分是像素级别的图像处理,而均值移动算法是图像块级别的处理,如何利用它们各自的优点来进行小目标、弱特征目标跟踪是本文研究重点。

3.1 算法特性分析

基于背景建模以及帧间差分进行前景检测、运动检测一直都是目标检测的重要研究领域,通常将利用背景建模进行前景检测的结果作为跟踪算法的初始化。背景建模通常采用多高斯模型对背景的每一个像素进行高斯建模,在后继的前景检测过程中对其进行背景更新。前景检测、运动检测算法能够很好地反映图像帧像素级别的变化,但是像素之间空间、时间上的关系并不明确,如何确定像素的这种空间、时间的对应关系将是一个难题。针对这一难题,可以通过跟踪机制(如均值移动算法)来确认连续帧之间像素的隶属关系,即哪些变化的像素属于跟踪目标,哪些不属于跟踪目标。

在视觉跟踪中,均值移动算法由于具有原理简单、收敛速度快、实时性能优越的特性,得到广泛应用。基于核颜色直方图的均值移动算法以颜色为跟踪特征,对图像块内颜色特征进行加权统计。其由于对图像处理处于块的级别,因此对目标的旋转、形变、尺寸变化以及部分遮挡等都具有很好的鲁棒性,但是通过大量实验表明,均值移动算法在跟踪目标比较小、目标颜色特征与背景颜色特征较为接近的情况下容易陷入局部极值点。另外,均值移动算法虽然采用了核颜色直方图来对跟踪目标进行建模,其考虑了不同颜色分量的空间分布对核直方图的影响,但当被跟踪目标较为弱小、颜色特征与背景较为接近时,这种目标颜色空间分布的加权方式就显得比较粗糙,所以有效利用目标不同颜色分量的空间位置信息将有助于提高整个跟踪算法的性能。

视频像素级别的变化可以通过背景减除、帧间差分来确定,而像素的隶属关系可以通过块级别的均值移动算法来完成。因此将二者进行有机的结合,利用它们各自的优点来提高跟踪算法的鲁棒性、抗干扰性将成为可行途径。

3.2 算法结构

基于上面的思考,本文主要采用如下算法流程。图1为系统流程图,其中包括:背景的多高斯建模,相邻帧的帧间差分,前景图像融合等模块。通过基于多高斯背景建模可以获得较为明显的前景区域,这些区域可能包括跟踪目标,也包括其它前景目标。随着时间的变化,此时背景可能发生变化。为了抑制光照变化的影响,将彩色图像转换成灰度图像,前景检测的阈值设置较大,由于跟踪目标与背景颜色相近,因此检测到的前景可能存在漏洞或者残缺,然而这种漏检的像素可以降低对跟踪模块的影响。为了进一步增强跟踪性能,使用帧间差分的方法,此方法可以抑制场景的渐变影响,增加目标由于运动而产生的新像素,最后将两种检测结果进行“或”融合,获取跟踪候选前景区域图像,此候选图像剔除了大部分背景干扰,使跟踪在有效的区域内进行,使均值移动陷入局部极值点的机会变小,从而提高算法的跟踪性能。

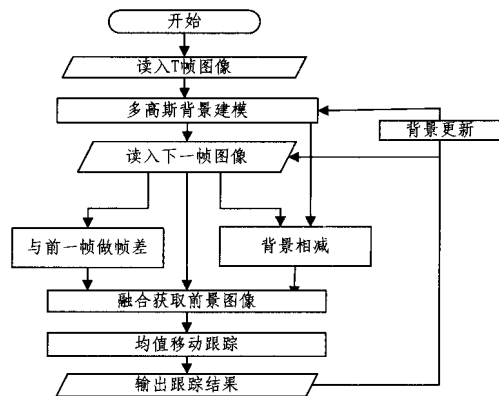


图1 系统流程图

根据上面叙述,整个算法流程如下所示。

算法流程

- Step 1 读入T帧图像进行多高斯背景建模;
- Step 2 当前帧初始化跟踪目标的位置 y_0 ,以 y_0 为中心,建参考目标的核颜色直方图;
- Step 3 利用当前帧和前一帧进行帧差,获取帧差模板;
- Step 4 利用当前帧和背景进行检测,获取前景模板;
- Step 5 在当前帧,利用帧差模板和前景模板,获取跟踪候选区域的前景图像;
- Step 6 在跟踪候选区域的前景图像中,对候选区域进行核直方图建模,利用式(7)计算各个颜色分量的权值;
- Step 7 按照计算式(8)计算候选目标新位置 y_1 ;
- Step 8 判断如果 $\|y_1 - y_0\| \leq \epsilon$,则停止迭代,并令 $y_0 = y_1$,输出目标位置,更新背景模型,读入下一帧,开始新的跟踪;否则,赋值 $y_0 = y_1$,返回到Step 6,继续迭代跟踪。

3.3 算法验证

为了进一步深入了解该算法,我们给出中间处理结果,其中第一个视频是一个打架监控录像,第一幅图与跟踪过程的中某一帧图像,跟踪目标为穿浅色衣服的上半身。我们可以看出通过背景建模,前景检测可以得到具有孔洞、残缺的前景图像,如图2(b)所示,之所以存在空洞和残缺,是因为目标的颜色跟背景较为接近,背景中其它与目标颜色相近的像素已经被剔除,从而降低了跟踪算法陷入局部极值点的可能性。另外,由于跟踪目标处于运动状态,可以看到帧间差分算法具有很好的运动检测效果,如图2(c)所示,这样我们利用了场景先验知识和帧间的运动信息,将得到融合的真实图像,如图

2(d)所示,可以看出,融合的真实图像已经剔除了很多与目标跟踪无关的背景颜色干扰,我们在新的图像空间中进行目标跟踪,即在图 2(d)中进行目标跟踪,这样跟踪算法陷入局部极值点的可能性大大降低,算法性能得到提高。图 3 是一个快速旋转的吊牌实验,从中也可以看出背景减除、帧间差分它们分别所具有的各自特性,这种特性融合到了跟踪算法之中,提高了整个跟踪算法的鲁棒性。

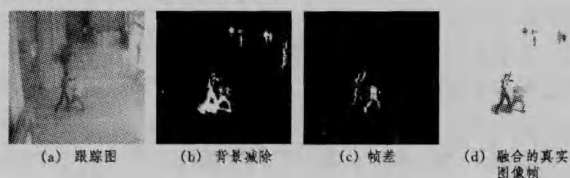


图 2 算法验证示意图(打架)

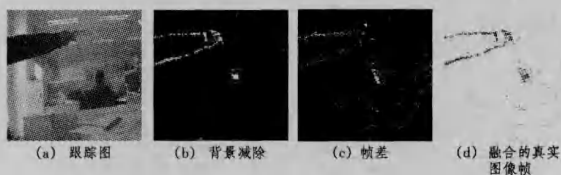


图 3 算法验证示意图(吊牌)

4 对比实验

为了验证本文算法所具有的优良性能,使用一段室内监控录像,视频分辨率是 320×240 ,视频序列总帧数为 430 帧。背景建模使用视频前 10 帧,混合高斯个数为 2。均值移动算法使用 RGB 颜色空间,3 个颜色通道分量采用 $16 \times 16 \times 16 = 4096(m)$ 划分。均值移动算法每帧最大迭代次数是 10,迭代终止条件: $\epsilon = 0.5$,手动选择人体上半为初始跟踪目标,目标大小为 20×20 。从图 4 的视频可以看出跟踪人体颜色与背景较为相似,尤其是在打架过程中,由于目标运动过快,导致有些视频帧目标比较模糊,其颜色特征出现了一定的扭曲。从跟踪效果可以看出,新算法通过背景建模很好地抑制了背景颜色在跟踪过程中的作用,提高了整个算法的跟踪精度。另外,由于跟踪算法是在检测空间内进行的,因此有效降低了跟踪算法的迭代次数,在下列视频序列中,平均每帧图像的跟踪迭代次数为每帧 5 次,然而经典均值移动算法的平均迭代次数为每帧 12 次。



原始跟踪结果;帧号:144、184、230、254



本文算法;帧号:144、184、230、254

图 4 干扰目标跟踪

为了验证算法在弱目标跟踪的跟踪性能,使用一段吊牌快速旋转的视频。吊牌的颜色与背景颜色较为接近,吊牌的分辨率大小为 17×17 ,系统的其它参数同上面的实验。具体

跟踪效果见图 5。吊牌的主要颜色分布包括黑色和淡粉色两种成分,从第 285 帧的跟踪效果可以看出,吊牌的跟踪窗口被背景中的黑色和淡粉色区域所吸引,即此时该区域的颜色空间分布与吊牌的颜色空间分布不同,但是由于均值移动算法对颜色分布的空间位置不是十分敏感,因此导致它们的核颜色直方图比较接近,使跟踪算法陷入局部极值点,而本文有效地利用了背景减除、帧间差分算法,所以整个跟踪算法对像素的空间位置分布更加敏感,使整个跟踪过程具有更好的抗干扰特性。



原始跟踪结果;帧号:259、269、285、293



本文算法;帧号:259、269、285、293

图 5 弱颜色目标跟踪

在上述两段视频中进行算法评估,表 1 给出了总体跟踪性能评估比较结果。手工标注跟踪目标真实位置。具体方法:3 人分别独立在每帧中对目标区域标注多次,然后求标注位置平均值,将其作为真实目标位置。如果连续两次标注误差超过某阈值,如 2 个像素,则重新标注图像目标位置。X 轴、Y 轴方向上的误差记作 X 轴误差和 Y 轴误差。在每帧图像中,如果跟踪目标位置落在手工标注目标中心区域内,则认为跟踪成功,否则认为跟踪失败。整段视频跟踪成功率定义为全部成功跟踪帧数除以该序列总视频帧数:

$$\text{跟踪成功率} = \frac{\text{有效跟踪帧数}}{\text{总视频帧数}} \times 100\% \quad (9)$$

表 1 算法跟踪性能比较

视频序列	跟踪算法	X 轴误差	Y 轴误差	成功率
打架视频	均值移动	2.7 ± 4.4	6.7 ± 7.1	76.9%
	本文算法	1.1 ± 1.7	3.2 ± 4.9	92.5%
吊牌视频	均值移动	3.6 ± 3.1	3.9 ± 4.8	71.4%
	本文算法	2.1 ± 2.4	2.7 ± 3.1	90.6%

注: X 轴和 Y 轴误差表示为均值±标准差。

结束语 本文利用背景建模和帧间差分的方法提取融合前景图像,然后在融合前景图像中进行目标跟踪。该算法结合了前景检测与目标跟踪各自具有的优点,利用了帧间差分对帧间变化的敏感性以及背景建模先验知识,解决了影响跟踪性能的相似像素干扰的问题,同时,算法也利用了均值移动的局部寻优特性,使整个算法具有优良的特性。通过该策略,跟踪算法在目标快速运动、有场景相似颜色干扰等情况下具有很好的适应能力,提高了目标跟踪的长期稳定性以及跟踪精度。通过多组对比实验可以看出,新算法具有很强的抑制背景干扰的能力。另外算法计算量小,可以满足实时性要求。

参考文献

- [1] Xue Geng-jian, Sun Jun, Song Li. Background subtraction based on phase feature and distance transform[J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33(12): 1601-1613

- [2] Wu M J, Peng X R. Spatio-temporal context for codebook-based dynamic background subtraction [J]. International Journal of Electronics and Communications, 2010, 64(8): 739-747
- [3] Zha Y F, Bi D Y, Yang Y. Learning complex background by multi-scale discriminative model [J]. Pattern Recognition Letters, 2009(30): 1003-1014
- [4] Zhang X, Yang J. A novel algorithm to segment foreground from a similarly colored background [J]. International Journal of Electronics and Communications, 2009, 63: 831-840
- [5] Dickinson P, Hunter A, Appiah K. A spatially distributed model for foreground segmentation [J]. Image and Vision Computing, 2009(27): 1326-1335
- [6] Butler D E, Jr V M B, Sridharan S. Real-time adaptive foreground/background segmentation [J]. EURASIP journal on Applied Signal Processing, 2005, 14: 2292-2304
- [7] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: Active contour models [J]. International Journal of Computer Vision, 1988, 1(4): 321-331
- [8] An G C, Yang H, Wu Z Y. A Novel Fast Moving Object Contour Tracking Algorithm [J]. Journal of Electronics (China), 2009, 26(1): 94-100
- [9] Cheng Y Z. Mean shift, mode seeking, and clustering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790-799
- [10] Hu J S, Juan C W, Wang J J. A spatial-color mean-shift object tracking algorithm with scale and orientation estimation [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(16): 2165-2173
- [11] Chen Shu, Zou Bei-ji, Li Ling-zhi. A novel particle filter with implicit dynamic model for irregular motion tracking [J]. Machine Vision and Applications, 2013, 1432-1769

(上接第 287 页)

简单根据阈值法进行 *MigUp* 或者 *MigDown* 操作。在模糊推理规则中,其前置条件包括模糊输入量 $E(t)$ 与 $DE(t)$,在两个变量体现数据块 S_i 的热度时,从 S_i 的被访问频率以及频率的变化来反映其活跃程度。 S_i 虽然被访问,并且可能超过了阈值,但是,其访问时间是在很长一段周期内完成,那么 $DE(t)$ 值也不会很高,从而反映出 S_i 的活跃程度不高,很可能在未来一段周期内不会出现密集访问情况,存在一定的降级预期,那么根据模糊推理规则输出结果 $U=EM$,表明还需要一段时间的观察,所以 *OP* 执行 *HitCount* 操作,即层级不变继续执行引用频率的统计分析工作。这样避免了盲目的升级或者降级操作,保留一个操作缓冲区使得整个迁移过程更加平滑,不是一种非此即彼的过程。如图 3 所示,在引入了 FLM 的规则后,系统的响应时间整体上比较平稳,对于后半段出现的波峰主要是由于数据的访问出现了网络的拥塞所致,但是从系统整体运行过程考虑迁移操作的影响相对平缓。

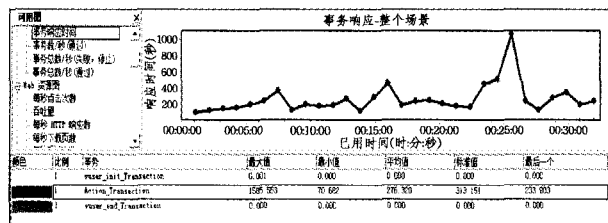


图 3 FLM 模型影响

结束语 数据分级存储过程中,存在着由于热点数据定义模糊所导致的迁移抖动问题,通过引入模糊逻辑推理分析的理论,对热点数据的特征变量进行模糊化处理,并且完成将精确值转化到模糊量化论域,从而能够用模糊语言进行定义,然后根据专家经验给出模糊推理规则,并且在模糊规则之中对数据分级存储特征模型 FLM 的层级变量进行设置,最后通过最大隶属度计算方式得到输出量变量。通过分析发现,基于模糊逻辑的 FLM 模型能够在一定程度上有效应对数据迁移抖动问题,并且能够将数据特征的模糊化概念进行合理

分析。

参考文献

- [1] Massiglia P. Exploiting Multi-tier File Storage Effectively 2009 [OL]. http://www.snia.org/education/tutorials/2009/spring/file/Paul_Massiglia_Exploiting_Multi-Tier_File_StorageV05.pdf
- [2] Shah G, Voruganti K, Shivam P, et al. ACE: Classification for information lifecycle management [C]//Proc of NASA Mass Storage Systems and Technologies (MSST 2006). Washington, D C: IEEE, 2006
- [3] Tim L C, Simth C H M, Miller E L. An improved long-term file-usage prediction algorithm [OL]. <http://users.soe.ucsc.edu/~elm/Papers/cmg99.pdf>, 1999
- [4] Compellent D. Automated Tiered Storage-Data Progression [OL]. <http://www.compellent.com/Products/Software/Automated-Tiered-Storage.aspx>
- [5] EMC. EMC FAST VP FOR UNIFIED STORAGE SYSTEMS [R]. <http://www.emc.com/collateral/software/white-papers/h8058-fast-vp-unified-storage-wp.pdf>
- [6] Gong Zhang, Chiu L, Liu Ling. Adaptive data migration in multi-tiered storage based cloud environment [C]//2010 IEEE 3rd Int Conf on cloud computing. Piscataway, NJ: IEEE, 2010: 32-38
- [7] 聂雪军, 秦磊华, 周敬利, 等. 内容感知存储系统中自动分级存储模型研究 [J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(6)
- [8] Guerra J, Pucha H, Glider J, et al. Cost Effective Storage using Extent Based Dynamic Tiering [C]//The Proceeding of USENIX Conference on File and Storage Technologies. 2011: 273-286
- [9] 宋丽娜, 戴华东, 任怡. 基于海量数据存储系统多级存储介质的热点数据区分方法 [J]. 计算机研究与发展, 2012, 49(Suppl.): 6-11
- [10] 魏武, 张起森, 王明俊, 等. 一种基于模糊逻辑的城市交叉口交通信号控制方法 [J]. 交通运输工程学报, 2001, 1(2): 99-102
- [11] 胡春斌, 安实, 王健. 基于模糊逻辑的路径选择模型 [J]. 城市交通, 2009, 7(5): 91-95