

doi: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.005

# 基于运动信息引导的高原鼠兔目标跟踪方法\*

陈海燕<sup>1,2</sup> 张爱华<sup>1</sup> 胡世亚<sup>1</sup>

(1. 兰州理工大学电气工程与信息工程学院, 兰州 730050; 2. 兰州理工大学计算机与通信学院, 兰州 730050)

**摘要:** 针对自然生境环境下高原鼠兔平滑运动和突变运动共存时, 基于平滑性运动假设的跟踪方法稳定性和准确性低的问题, 提出了一种运动信息引导的高原鼠兔跟踪方法。通过提取鼠兔相邻帧的运动信息, 利用运动信息来判断鼠兔的运动模式, 从而采取相应的采样跟踪策略。当运动模式判定为平滑运动时, 采用马尔可夫链蒙特卡罗采样跟踪方法; 当运动模式判定为突变运动时, 采用 Wang-Landau 蒙特卡罗采样跟踪方法。实验结果表明: 基于运动信息引导的目标跟踪方法的成功率达到 95.49%, 而 Wang-Landau 蒙特卡罗方法的成功率为 93.68%; 所提方法的中心点误差均值和方差为 13.46 和 67.89, 分别是 Wang-Landau 蒙特卡罗方法的 84.18% 和 40.67%, 减小了 15.82% 和 59.33%。

**关键词:** 高原鼠兔 目标跟踪 运动信息 马尔可夫链蒙特卡罗 Wang-Landau 蒙特卡罗

**中图分类号:** TP391.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)09-0034-05

## Object Tracking Method of *Ochotona curzoniae* Based on Guidance of Motion Information

Chen Haiyan<sup>1,2</sup> Zhang Aihua<sup>1</sup> Hu Shiya<sup>1</sup>

(1. College of Electronic and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China

2. School of Computer and Communication, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** Due to the randomness and unpredictability of *Ochotona curzoniae* movement, the motions of *Ochotona curzoniae* contain smooth motions and abrupt motions in natural habitat environment. Under the circumstance of abrupt motions, the target position displacement is large between two adjacent frames. The stability and accuracy of the tracking method based on smooth motion hypothesis are difficult to guarantee. And abrupt motions are easy to cause *Ochotona curzoniae* tracking failure because abrupt motions violate the motion smoothness constraint. In allusion to the tracking problem of *Ochotona curzoniae* that smooth motions and abrupt motions coexistence, an *Ochotona curzoniae* tracking method based on the guidance of motion information was proposed. Considering the prior knowledge that the position displacement between two adjacent frames is smaller in smooth movement and the position displacement between two adjacent frames is larger in abrupt motion, motion information between the adjacent frames was extracted by the frame difference method at first and then the movement mode of *Ochotona curzoniae* was judged by motion information and appropriate sampling tracking strategy was taken to track *Ochotona curzoniae*. If the mode was judged to be a smooth motion mode, the Markov Chain Monte Carlo (MCMC) sampling tracking method based on the motion smoothness assumption was employed. Or else Wang-Landau Monte Carlo (WLMC) sampling tracking method used for abrupt motion tracking was adopted. The experimental results show that the proposed method can not only ensure the *Ochotona curzoniae* tracking performance of abrupt motions but also improve the *Ochotona curzoniae*

收稿日期: 2015-05-29 修回日期: 2015-07-17

\* 国家自然科学基金资助项目(61362034、81360229、61265003)和甘肃省自然科学基金资助项目(1310RJY020、1212RJYA033、2014GS02715)

作者简介: 陈海燕, 副教授, 博士生, 主要从事信号处理、目标检测与跟踪研究, E-mail: chenhaiyan@sina.com

通讯作者: 张爱华, 教授, 博士生导师, 主要从事生物医学信号检测、处理与识别研究, E-mail: lutzhangah@163.com

tracking performance of smooth motions. The tracking success rate of proposed method was 95.49% , but the tracking success rate of WLMC method was 93.68% , the mean value and the variance of central point error in the proposed method were 13.46 and 67.89 , which were 84.18% and 40.67% of those in the WLMC method , reduced by 15.82% and 59.33% , respectively.

**Key words:** *Ochotona curzoniae* Object tracking Motion information Markov chain Monte Carlo Wang-Landau Monte Carlo

## 引言

复杂背景下的运动目标跟踪是计算机视觉领域的一个重要研究方向<sup>[1]</sup>。自然环境环境下的高原鼠兔跟踪,由于鼠兔运动的随机性和不可预测性,在平滑运动的过程中往往会发生运动突变,在突变运动情形下相邻两帧间鼠兔的位移量大,用基于平滑性运动假设的方法对鼠兔跟踪时,跟踪的稳定性和准确性难以保障,容易导致鼠兔跟踪的失败。如何在保证鼠兔平滑运动跟踪性能同时,改善鼠兔突变运动的跟踪性能成了一个亟待解决的问题。

传统的目标跟踪方法分为确定性跟踪方法和随机采样跟踪方法两类<sup>[2]</sup>。确定性跟踪方法的代表是均值偏移(Meanshift)算法<sup>[3-5]</sup>,均值漂移算法作为匹配类跟踪算法的典型代表之一,计算量小、易于实现。文献[6]在Meanshift跟踪框架下,提出了一种视觉描述子来改善鼠兔与背景颜色相近场景下的跟踪性能,该方法基于均值漂移算法,能够保证鼠兔平滑运动的跟踪性能,但没有考虑鼠兔发生突变运动时的跟踪性能。在随机采样的跟踪方法中,粒子滤波算法是典型的代表<sup>[7-8]</sup>。其他主流的基于采样的跟踪方法,如马尔可夫链蒙特卡罗(MCMC)采样方法<sup>[9]</sup>、数据驱动的MCMC算法<sup>[10]</sup>等,也都基于目标运动的平滑性假设,因此当鼠兔发生运动突变时这些算法很容易丢失鼠兔目标<sup>[11]</sup>。

解决高原鼠兔突变运动跟踪最直接方法是对鼠兔的整个状态空间进行穷举搜索,但穷举搜索方案在实践中是不可行的<sup>[2]</sup>。近年来,一些用于突变目标跟踪的新方法被提出,如自适应马尔可夫链蒙特卡罗(AMCMC)采样方法<sup>[11]</sup>,Wang-Landau蒙特卡罗(WLMC)采样方法<sup>[12-13]</sup>,随机逼近蒙特卡罗(SAMC)采样方法<sup>[14]</sup>等。上述方法都是针对突变运动目标的跟踪,对鼠兔平滑运动的跟踪性能不佳。

本文针对高原鼠兔平滑运动和突变运动共存的特点,在WLMC跟踪算法的基础上,引入高原鼠兔的运动信息,提出一种运动信息引导的高原鼠兔跟踪方法。通过运动信息来判断鼠兔的运动模式,不同的模式采用不同的采样跟踪策略,从而保证对鼠兔状态空间采样有效性,提高鼠兔跟踪整体性能。

## 1 贝叶斯滤波

目标跟踪通常可以用贝叶斯滤波来模拟<sup>[12]</sup>。假设 $t$ 时刻鼠兔的状态为 $X_t$ , $1 \sim t$ 时刻鼠兔的观测值序列为 $Y_{1:t}$ ,鼠兔的跟踪就可以看作是在 $t$ 时刻,根据观测值 $Y_{1:t}$ 递归地估计鼠兔状态 $X_t$ 的过程。所以高原鼠兔的跟踪就是按贝叶斯滤波递归地更新鼠兔后验概率密度 $p(X_t/Y_{1:t})$ 的过程,即

$$p(X_t/Y_{1:t}) \propto p(Y_t/X_t) \int p(X_t/X_{t-1}) \cdot p(X_{t-1}/Y_{1:t-1}) dX_{t-1} \quad (1)$$

式中  $p(Y_t/X_t)$  ——鼠兔的观测模型

$p(X_t/X_{t-1})$  ——鼠兔的状态转移模型

观测模型通常可以采用鼠兔的颜色、纹理等特征。

采用贝叶斯滤波进行鼠兔状态估计时,首先通过基于蒙特卡罗采样的方法采样 $N$ 个粒子,来逼近鼠兔状态真实的后验概率分布。然后在 $N$ 个粒子中以最大的后验概率MAP作为鼠兔状态的最佳估计值。

$$X_t^{\text{MAP}} = \arg \max_{X_t^i} p(X_t^i/Y_{1:t}) \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

在基于蒙特卡罗采样的方法中,具有代表性的有粒子滤波算法、MCMC算法等。粒子滤波算法通过一系列带有权重的离散采样来近似目标状态的后验概率分布。但粒子退化问题限制了该算法的应用和发展<sup>[1]</sup>;MCMC算法利用马尔可夫链机制来产生状态空间的粒子,能有效解决粒子退化问题,同时降低高维状态空间的计算耗费<sup>[2]</sup>。WLMC采样是统计物理学领域估计状态密度的方法之一<sup>[15]</sup>。Kwon等<sup>[12-13]</sup>将WLMC采样方法应用到运动突变跟踪领域取得了较好的跟踪性能。针对以上采样跟踪算法的特点,本文在高原鼠兔跟踪中平滑运动采用基于MCMC采样跟踪方法,突变运动采用WLMC采样跟踪方法。

## 2 基于运动信息引导的鼠兔目标跟踪方法

高原鼠兔视频序列中,由于鼠兔运动的随机性与不确定性,突变运动与平滑运动共存,若对每一帧鼠兔图像进行全局采样,尽管能保证鼠兔突变运动

的跟踪性能,但难以保证鼠兔平滑运动的跟踪性能;此外基于全局的采样容易跟踪到与鼠兔目标相似的背景,从而影响跟踪效果<sup>[1]</sup>。考虑到鼠兔平滑运动时相邻两帧间位移量较小,突变运动时相邻两帧间位移量较大,本文利用帧差法来提取鼠兔相邻帧的运动信息,通过运动信息来判定鼠兔的运动模式,引导每一帧目标的跟踪。

### 2.1 状态空间及目标状态表示

假设  $t$  时刻的鼠兔的状态为  $X_t = (X_t^p, X_t^s)$ , 包含位置信息  $X_t^p$  和尺度信息  $X_t^s$ , 其中  $X_t^p = (X_t^x, X_t^y)$ ,  $X_t^x$ 、 $X_t^y$  分别表示鼠兔位置信息的  $x$ 、 $y$  坐标。本文在高原鼠兔跟踪中仅考虑鼠兔运动引起的位置突变,所以在 WLMC 采样跟踪方法中按文献 [12] 的方法对鼠兔的位置和尺度分别进行提议,尺度变化采用二阶自回归模型来模拟。

### 2.2 方法的具体实现

输入:  $t$  时刻的帧  $f(t)$ 、 $t-1$  时刻的帧  $f(t-1)$  以及  $t-1$  时刻鼠兔状态的最佳估计为

$$X_{t-1} = \{X_{t-1}^x, X_{t-1}^y, X_{t-1}^s\}$$

输出:  $t$  时刻鼠兔状态的最佳估计为

$$X_t = \{X_t^x, X_t^y, X_t^s\}$$

计算  $t$  时刻与  $t-1$  时刻的差分图像  $\Delta f(t)$ , 并且对差分图像进行阈值分割, 阈值设为  $T_1$ , 得到当前帧的运动差分图像  $f_b(t)$  为

$$f_b(t) = \begin{cases} 1 & (\Delta f(t) = |f(t) - f(t-1)| \geq T_1) \\ 0 & (\Delta f(t) = |f(t) - f(t-1)| < T_1) \end{cases} \quad (3)$$

对运动差分图像  $f_b(t)$  进行形态学处理, 去除噪声的影响, 获取鼠兔的运动区域面积  $S_{\text{motion\_area}}$ , 判断鼠兔运动模式的公式为

$$\text{运动模式} = \begin{cases} \text{突变运动} & (S_{\text{motion\_area}} \geq T_2) \\ \text{平滑运动} & (S_{\text{motion\_area}} < T_2) \end{cases} \quad (4)$$

采取相应的跟踪方式: 当鼠兔的运动区域面积  $S_{\text{motion\_area}}$  大于给定的阈值  $T_2$ , 表明鼠兔发生了突变, 对当前帧  $f(t)$  以上一帧鼠兔的最佳估计状态  $X_{t-1}$  为起点进行 WLMC 采样跟踪。

(1) 把当前帧的位置状态划分为  $d$  个互不相交的子空间  $S_i^p (i=1, 2, \dots, d)$ , 并对各子空间进行状态密度和直方图的初始化, 直方图初始化为  $h(S_i) = 0$ , 状态密度初始化为  $g(S_i) = 1$ 。

(2) 进行马尔可夫蒙特卡罗采样, 采样次数为  $N$ 。

① 若当前的采样状态为  $X_t^n$ ,  $n$  代表当前帧的第  $n$  个采样。随机产生一个  $0 \sim d$  之间的随机数  $i$  来进行子空间  $S_i^p$  的选取, 在子空间  $S_i^p$  按均匀分布提议

新状态  $X_t'$ 。② 判断该提议状态  $X_t'$  是否被接受, 若接受该状态, 则  $X_t^{n+1} = X_t'$ , 否则把当前状态作为下一个新状态, 即  $X_t^{n+1} = X_t^n$ 。③ 对新状态所属子空间的状态密度和直方图进行更新:  $h(S_i) \leftarrow h(S_i) + 1$ ,  $g(S_i) \leftarrow g(S_i) \times f$ ,  $f$  是大于 1 的修正系数。判断直方图是否具有平坦特性, 若具有平坦的直方图, 对各子空间直方图置零, 修正系数调整为  $f \leftarrow \sqrt{f}$ , 重新进行蒙特卡罗模拟, 直到直方图再次平坦。步骤 ① ~ ③ 循环进行, 直到修正系数  $f$  逼近 1 或者达到一定的循环次数。

(3) 按式 (2) 选取  $N$  个采样粒子中似然值最大的作为估计状态输出。

当鼠兔的运动区域面积  $S_{\text{motion\_area}}$  小于给定的阈值  $T_2$ , 表明鼠兔平滑运动, 对当前帧  $f(t)$  以上一帧鼠兔的最佳估计状态  $X_{t-1}$  为起点进行 MCMC 采样跟踪。

(1) 基于当前采样状态  $X_t^n$ , 提议一个新状态  $X_t'$ 。鼠兔平滑运动时用高斯分布模拟状态转移。提议函数  $Q$  设计为

$$Q(X_t'; X_t^n) = G(X_t' | \sigma^2) \quad (5)$$

(2) 提议状态是否被接受的判断式为

$$a = \min \left( 1, \frac{p(Y_t/X_t') Q(X_t^n; X_t')}{p(Y_t/X_t^n) Q(X_t'; X_t^n)} \right) \quad (6)$$

式中  $p(Y_t/X_t^n)$  —— 似然函数

$Q(X_t'; X_t^n)$  —— 提议密度

若接受该提议状态, 则把它加入马尔可夫链, 否则拒绝该提议状态, 把当前状态作为下一个新状态。

(3) 以上“提议”-“接受”步骤迭代地进行候选鼠兔目标状态的采样, 直到迭代次数达到一个预定的值  $N$ 。最后按式 (2) 将其中后验概率最大的状态作为鼠兔最佳状态的估计值。

本文算法实现时鼠兔状态转移模型采用二阶自回归模型。鼠兔外观模型采用基于 HSV 颜色直方图的表示模型<sup>[2]</sup>, 用 Bhattacharyya 距离度量鼠兔外观模型和候选鼠兔外观模型之间的相似度。

## 3 实验结果与讨论

为了评估本文方法的性能, 与 WLMC 方法进行了跟踪性能对比。采用的定量评价指标为跟踪成功率和中心点误差。如果当前帧真值矩形框中心点在估计的目标矩形框范围之内, 就认为该帧跟踪成功<sup>[16-17]</sup>, 成功率就是成功跟踪的帧数与总帧数的比值。中心点的误差用估计的目标矩形框中心点和真值矩形框中心点之间的欧氏距离来度量。本文方法采用 VS2013 在 Windows 7 系统, Intel (R) Core

(TM) i5-3230M 2.60 GHz 计算机上实现。

### 3.1 基于 LTDC 的高原鼠兔目标跟踪

文献 [6] 的局部纹理差异性算子 (LTDC) 方法在高原鼠兔平滑运动时取得了较好的跟踪性能, 但没有考虑鼠兔的突变运动。本文对文献 [6] 中所采用的高原鼠兔春夏季节的活动视频进行了测试, 视频共 724 帧, 鼠兔在 152 ~ 156 帧以及 716 ~ 724 帧发生了运动突变, 其余帧鼠兔平滑运动。实

验的部分结果如图 1 所示。在高原鼠兔发生运动突变时, 鼠兔跟踪失败, 如图 1b、1d、1e 所示。而平滑运动时跟踪效果良好。图 2 是 LTDC 方法中心点误差曲线, 误差均值为 5.55, 方差为 56.17。由误差曲线、误差均值以及方差可以看出, 鼠兔平滑运动时, 该方法具有较为稳定的跟踪性能。但突变运动发生时, 产生了较大的跟踪偏移与鼠兔目标丢失。



图 1 LTDC 方法对高原鼠兔视频序列跟踪的实验结果

Fig. 1 Tracking results of *Ochotona curzoniae* video sequence using LTDC method

(a) 第 18 帧 (b) 第 154 帧 (c) 第 574 帧 (d) 第 720 帧 (e) 第 722 帧

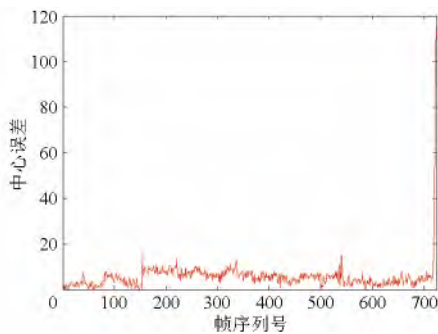


图 2 高原鼠兔视频 LTDC 方法误差曲线

Fig. 2 Error curve using LTDC method

### 3.2 基于运动信息引导的高原鼠兔目标跟踪

在本实验中, 对 5 段使用固定数码摄像机拍摄于青藏高原东南部甘南草原春夏季节的高原鼠兔活动视频进行测试。5 段视频中, 有 3 段含有鼠兔运动的动力学突变, 其余 2 段视频鼠兔运动较为平滑。

5 段视频都取得了相近的实验结果。图 3、4 是其中 1 段高原鼠兔视频序列的部分测试结果, 视频大小为 720 像素 × 480 像素, 帧率 25 帧/s, 共 554 帧, 跟踪场景中的高原鼠兔。鼠兔在 362 ~ 374 帧以及 546 ~ 554 帧发生了运动突变。

总体来看, 在高原鼠兔发生突变运动时, 本文方法和 WLMC 方法都能够捕获鼠兔目标, 如图 3、4e、4h 所示。但在平滑运动阶段, WLMC 方法由于基于全局采样, 产生了较大程度的鼠兔丢失, 跟踪到了与鼠兔颜色相近的背景, 如图 4a、4d 所示; 本文方法通过对鼠兔运动模式的判断, 平滑运动采用基于局部采样的 MCMC 方法, 获得了更好的跟踪性能, 如图 3a ~ 3d、3f、3g 所示。

表 1 列出了本文方法与 WLMC 方法的成功率, 本文方法的成功率达到 95.49%, 而 WLMC 方法的

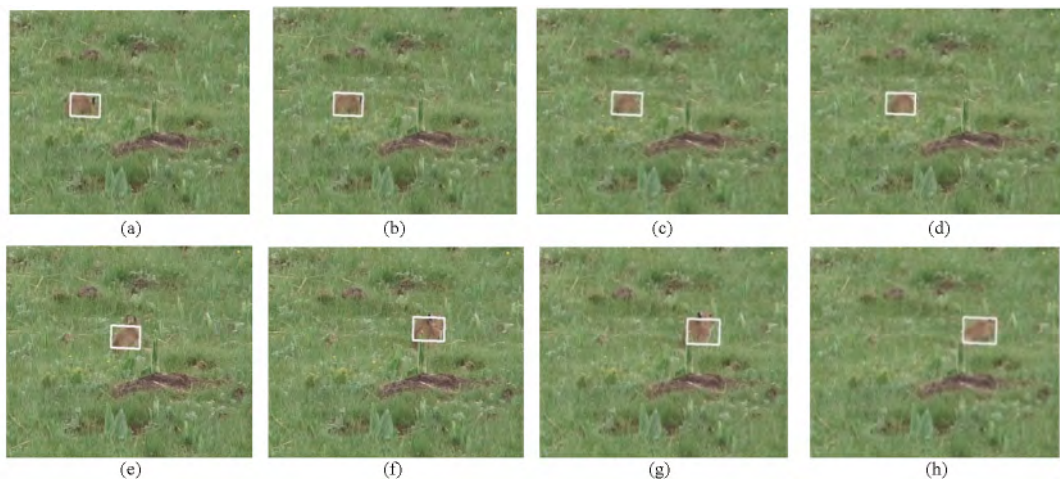


图 3 本文方法对高原鼠兔视频序列的实验结果

Fig. 3 Tracking results of *Ochotona curzoniae* video sequence using proposed method

(a) 第 41 帧 (b) 第 48 帧 (c) 第 185 帧 (d) 第 316 帧 (e) 第 370 帧 (f) 第 433 帧 (g) 第 542 帧 (h) 第 549 帧

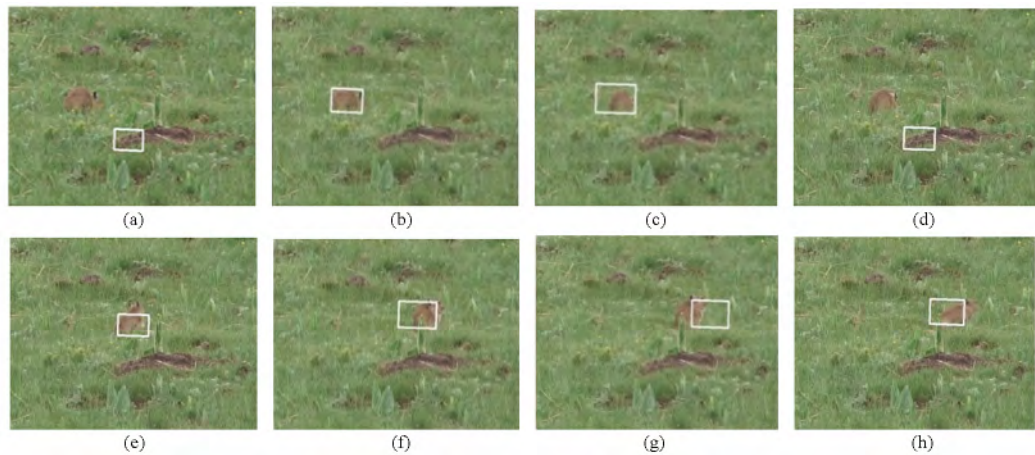


图4 WLMC算法对高原鼠兔视频序列的实验结果

Fig. 4 Tracking results of *Ochotona curzoniae* video sequence using WLMC method

(a) 第41帧 (b) 第48帧 (c) 第185帧 (d) 第316帧 (e) 第370帧 (f) 第433帧 (g) 第542帧 (h) 第549帧

成功率为93.68%。图5是2种方法的中心点误差曲线,可以看出WLMC方法存在较大的跟踪误差,

表1 不同方法的跟踪性能

Tab. 1 Tracking performance of different kinds of algorithms

方法	成功率/%	误差均值	方差
本文方法	95.49	13.46	67.89
WLMC方法	93.68	15.99	166.92

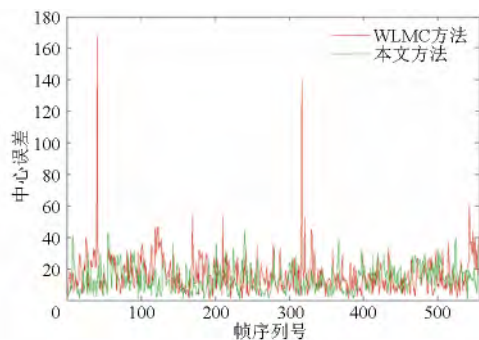


图5 高原鼠兔视频不同方法误差曲线

Fig. 5 Error curve using different kinds of algorithms

同时误差波动范围较大,而本文方法误差较小,误差波动范围也较小。表1同时列出了2种方法的跟踪误差均值和方差,本文方法的误差均值和方差分别是WLMC方法的84.18%和40.67%,分别减小了15.82%和59.33%。

## 4 结论

(1) 帧差法提取运动信息,方法简单,计算量小,不会额外增加计算开销。

(2) 运动信息引导采样,不同的运动模式采用不同的采样跟踪策略,提高了采样效率。

(3) 实验结果表明:在保证高原鼠兔运动突变跟踪性能的同时也改善了鼠兔平滑运动的跟踪性能,跟踪性能整体有所提高。

(4) 本文方法的成功率达到95.49%,Wang-Landau蒙特卡罗方法的成功率为93.68%。本文方法的中心点误差均值和方差为13.46和67.89,分别是Wang-Landau蒙特卡罗方法的84.18%和40.67%,减小了15.82%和59.33%。

## 参 考 文 献

- 江晓莲,李翠华,李雄宗.基于视觉显著性的两阶段采样突变目标跟踪算法[J].自动化学报,2014,40(6):1098-1107.  
Jiang Xiaolian, Li Cuihua, Li Xiongzong. Saliency based tracking method for abrupt motion via two-stage sampling [J]. Acta Automatica Sinica, 2014, 40(6): 1098-1107. (in Chinese)
- 王法胜,李续成,肖智博,等.基于Hamiltonian马氏链蒙特卡罗方法的突变运动跟踪[J].软件学报,2014,25(7):1593-1605.  
Wang Fasheng, Li Xucheng, Xiao Zhibo, et al. Hamiltonian Markov Chain Monte Carlo method for abrupt motion tracking [J]. Journal of Software, 2014, 25(7): 1593-1605. (in Chinese)
- Fukunaga Keinosuke, Hostetler Larry 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.
- Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-557.
- Li Peihua. An improved mean shift algorithm for object tracking [J]. Acta Automatica Sinica, 2007, 33(4): 347-354.

(下转第8页)

- 21 王学林, 姬长英, 周俊, 等. 基于灰色预测控制的果蔬抓取系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 112-117.  
Wang Xuelin, Ji Changying, Zhou Jun, et al. Design and experiment of fruit and vegetable grasping system based on grey prediction control[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(3): 112-117. (in Chinese)
- 22 Li Z, Li P, Yang H, et al. Stability tests of two-finger tomato grasping for harvesting robots[J]. Biosystems Engineering, 2013, 116(2): 163-170.
- 23 周俊, 朱树平. 农业机器人果蔬抓取中滑觉检测研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 171-176.  
Zhou Jun, Zhu Shuping. Slippage detection in gripping fruits and vegetable for agricultural robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(2): 171-176. (in Chinese)
- 24 吴良军, 杨洲, 洪添胜, 等. 荔枝树枝力学特性的试验研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 68-73.  
Wu Liangjun, Yang Zhou, Hong Tiansheng, et al. Experimental study on mechanical properties of litchi branches[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(16): 68-73. (in Chinese)
- 25 Xavier J, de Jesus A, Morais J, et al. Stereovision measurements on evaluating the modulus of elasticity of wood by compression tests parallel to the grain[J]. Construction and Building Materials, 2012, 26(1): 207-215.
- 26 陈燕, 蔡伟亮, 向和平, 等. 面向机器人采摘的荔枝果梗力学特性[J]. 农业工程学报, 2012, 28(21): 53-58.  
Chen Yan, Cai Weiliang, Xiang Heping, et al. Mechanical properties of litchi stem for harvesting robots[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(21): 53-58. (in Chinese)
- 27 Benjamin A Hook, Carolyn A Copenheaver. Compression wood formation in *Pinus strobus* L. following ice storm damage in southwestern Virginia, USA[J]. Journal of the Torrey Botanical Society, 2011, 138(1): 52-61.
- 28 文双全. 机器人多指手抓取规划算法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.  
Wen Shuangquan. Multi-fingered robotic hand grasp planning[D]. Hangzhou: Zhejiang University 2012. (in Chinese)
- 29 Xiong Y. Theory of point contact restraint and qualitative analysis of robot grasping[J]. Science in China, Series A-Mathematical, Physical, Astronomical and Technical Sciences, 1994, 37(5): 629-640.
- 30 Saldaña E, Siche R, Luján M, et al. Review: computer vision applied to the inspection and quality control of fruits and vegetables[J]. Brazilian Journal of Food Technology, 2013, 16(4): 254-272.
- 31 杨晓清, 王春光. 河套蜜瓜机械特性与静载损伤关系的研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 31-37.  
Yang Xiaoping, Wang Chunguang. Relationship between mechanical properties and damage of Hetao muskmelons under static compression[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3): 31-37. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 38 页)

- 6 陈海燕, 张爱华, 胡世亚. 基于局部纹理差异性算子的高原鼠兔目标跟踪[J]. 农业机械学报, 2015, 46(5): 20-25.  
Chen Haiyan, Zhang Aihua, Hu Shiya. The object tracking of *Ochotona curzoniae* based on the local texture difference operator[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(5): 20-25. (in Chinese)
- 7 Li Peihua. A novel color based particle filter algorithm for object tracking[J]. Chinese Journal of Computers, 2009, 32(12): 2454-2463.
- 8 Isard M, Blake A. ICONDENSATION: unifying low-level and high-level tracking in a stochastic framework[C]//Proceedings of European Conference on Computer Vision, 1998: 893-908.
- 9 Khan Z, Balch T, Dellaert F. MCMC-based particle filtering for tracking a variable number of interacting targets[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(11): 1805-1819.
- 10 Zhao Tao, Nevatia R. Tracking multiple humans in crowded environment[C]//Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2004 2: 406-413.
- 11 Roberts G O, Rosenthal J S. Examples of adaptive MCMC[J]. Journal of Computational and Graphical Statistics, 2009, 18(2): 349-367.
- 12 Kwon J, Lee K M. Tracking of abrupt motion using Wang-Landau Monte Carlo estimation[C]//Proceedings of the 10th European Conference on Computer Vision, 2008: 387-400.
- 13 Kwon J, Lee K. Wang-Landau Monte Carlo-based tracking methods for abrupt motions[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(4): 1011-1024.
- 14 Zhou Xiuzhuang, Lu Yao. Abrupt motion tracking via adaptive stochastic approximation Monte Carlo sampling[C]//Proceeding of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2010: 1847-1854.
- 15 Wang F G, Landau D P. Efficient multiple-range random walk algorithm to calculate the density of states[J]. Physical Review Letters, 2001, 86(10): 2050-2053.
- 16 Su Yingya, Zhao Qingjie, Zhao LiuJun. Abrupt motion tracking using a visual saliency embedded particle filter[J]. Pattern Recognition, 2014, 47: 1826-1834.
- 17 Li Xucheng, Wang Fasheng, Lu Mingyu. Performance evaluation of abrupt motion trackers[C]//IEEE International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics, 2014: 20-23.