

doi: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.05.004

# 基于局部纹理差异性算子的高原鼠兔目标跟踪\*

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目标跟踪中目标与背景颜色相近的问题, 提出了一种基于局部纹理差异性算子的高原鼠兔目标跟踪方法。构造了一种新的视觉描述子, 称作局部纹理差异性算子 LTDC, 用来体现目标和背景之间的细微差异性。将该 LTDC 算子与颜色信息相结合来表征目标模型, 并把该目标模型嵌入 Meanshift 跟踪框架中对高原鼠兔进行跟踪。实验结果表明, 所提出的目标表征方法与 FLBP 目标表征方法相比, 具有较强的目标与背景区别能力, 在目标和背景颜色相近的场景中, 能够较为准确地实现高原鼠兔目标的定位。且所提出的目标表征方法的 Meanshift 平均迭代次数是 FLBP 目标表征方法的 79.04%, 减少了 20.96%。跟踪平均总时间是 FLBP 目标表征方法的 82.35%, 平均降低了 17.65%。同时所提出方法的平均跟踪速度是 FLBP 目标表征方法的 1.22 倍。

**关键词:** 高原鼠兔 局部纹理差异性算子 均值漂移 目标跟踪

**中图分类号:** TP391.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)05-0020-06

## Object Tracking of *Ochotona curzoniae* Based on Local Texture Difference Operator

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:** In order to accurately track *Ochotona curzoniae* in natural habitat environment, an object tracking method based on Meanshift algorithm was proposed. Considering the object tracking method of kernel Meanshift algorithm based on RGB color histogram usually has the deformation of inaccurate tracking or lose of target in the scenario that the color is similar between the background and the object. In view of the problem that the color between the *Ochotona curzoniae* and the background is similar in the object tracking process in natural habitat environment, a visual descriptor named as the local texture difference operator (LTDC) was proposed to reflect the subtle differences between the *Ochotona curzoniae* and background. The LTDC operator was combined with color information to characterize the object model and the object model was embedded into the Meanshift tracking framework for the object tracking of *Ochotona curzoniae*. The experimental results show that the proposed method for characterizing the object has a strong difference ability of target and background. The object can be accurately positioned in the color similar scenario of the object and the background. Compared with the FLBP algorithm, the average iteration number of proposed method is 79.04% of the average iteration number of the FLBP algorithm, the average tracking total time of proposed method is 82.35% of the average tracking total time of the FLBP algorithm, the average tracking speed of proposed method is 1.22 times of the average tracking speed of the FLBP algorithm.

**Key words:** *Ochotona curzoniae* Local texture difference operator Meanshift Object tracking

收稿日期: 2014-12-24 修回日期: 2015-03-10

\* 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, 博士生, 副教授, 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

### 引言

高原鼠兔是青藏高原以及毗邻地区的主要生物灾害之一。对高原鼠兔准确、鲁棒跟踪是鼠兔行为分析的基础。国内外基于计算机视觉技术对自然环境环境下高原鼠兔跟踪的研究相对较少。均值漂移 Meanshift<sup>[1]</sup> 是一种非参数概率密度梯度估计方法, 被广泛应用于目标跟踪领域<sup>[2-3]</sup>。基于核的 Meanshift 目标跟踪方法<sup>[4]</sup> 以 RGB 颜色直方图作为目标的表征模型, 当跟踪场景中目标和背景颜色相近时会导致跟踪的不准确甚至目标丢失。自然环境环境中鼠兔运动的随机性很强、毛色与草色相近, 采用传统的基于颜色信息的目标表征方法时, 跟踪性能不佳。为此, 需要更有区别力的目标表征方法。

目标的纹理通常不会受光照和背景颜色影响, 是较为稳定的特征。文献[2]指出目标与背景的颜色相近时, 纹理模型是一个更有区别力的特征。颜色和纹理是 2 种优势互补的视觉特征, 将其共同表征目标也是学者们的共识<sup>[5]</sup>。局部二值模式(Local binary pattern, LBP) 是一种灰度描述子, 计算复杂度低, 具有旋转和灰度不变性等优点, 因而在目标的表征中得到了广泛应用<sup>[6]</sup>。文献[2]首次将旋转不变的模式 LBP<sub>8,1</sub> 的 5 种纹理模型嵌入 Meanshift 跟踪算法中, 取得了良好的跟踪效果, 由于要计算旋转不变的模式值, 计算量相对较大。文献[7]把 LBP 纹理和色度信息相结合, 在取得较好跟踪效果的同时, 也需要计算 9 种旋转不变的模式值。文献[8]把二级 LTP 纹理嵌入到 Meanshift 跟踪框架中, 提高了目标跟踪的鲁棒性, 但需要提取多级的 LTP 模式值。文献[9]把所提出的局部相似数量 LSN 视觉描述子与 RGB 颜色模型引入到 Meanshift 跟踪框架中, 取得了较好的跟踪效果, 但仅考虑了纹理的相似性度量, 没有考虑到局部纹理的差异性。

考虑到高原鼠兔目标跟踪中, 鼠兔目标与背景纹理的局部差异性, 本文提出一种局部三值差异性计数(Local ternary difference count, LTDC) 算子。将该算子与颜色信息相结合来表征目标, 以增强目标与背景颜色相近情况下目标的区分能力。将该目标表征方法嵌入到 Meanshift 框架下得到目标跟踪方法。

## 1 LTDC 局部纹理差异性算子

### 1.1 局部二值模式

2002 年 Ojala 等提出了局部二值模式(Local binary pattern, LBP) 算子<sup>[10]</sup>。LBP 算法步骤如图 1 所示。

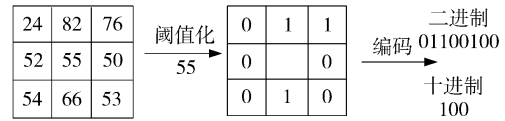


图 1 LBP<sub>8,1</sub> 算法的示例

Fig. 1 Illustration of LBP<sub>8,1</sub> algorithm

在此基础上, 又定义了旋转不变的模式 LBP<sub>P,R</sub><sup>riu</sup>, 旋转不变的模式 LBP<sub>P,R</sub><sup>riu</sup> 不是绝对不变的, 如图 2 所示。一些旋转不变的模式在图像旋转和插值后很有可能会发生变化<sup>[11]</sup>。

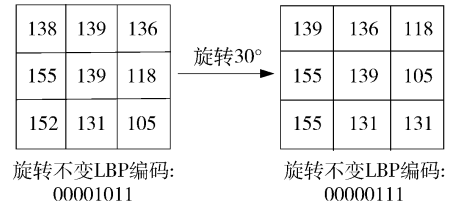


图 2 LBP<sub>P,R}^{riu} 图像旋转的非稳定性</sub>

Fig. 2 Stability of image rotation of LBP<sub>P,R}^{riu}</sub>

### 1.2 局部三值模式 LTP

在文献[10]的基础上, 提出了很多 LBP 的扩展模式, 如中心对称的局部二值模式(CS-LBP)<sup>[12]</sup>、显性局部二值模式(DLBP)<sup>[13]</sup>、完整局部二值模式(CLBP)<sup>[14]</sup> 以及局部三值模式(Local ternary pattern, LTP)<sup>[15]</sup> 等。

LTP 克服了 LBP 纹理对中心点的过度依赖和对噪声的敏感问题。通常把 LTP 的计算看作 2 个分离的 LBP(ULBP 和 LLBP) 信道的计算<sup>[15]</sup>, 阈值 T 的取值范围一般为 2~5。LTP 的计算过程如图 3 所示, T=2。

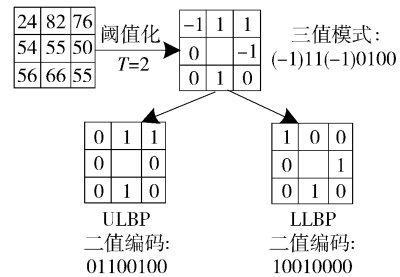


图 3 LTP 计算示意图

Fig. 3 Sketch of LTP calculation

### 1.3 LTDC 局部纹理差异性算子

基本的 LBP 和 LTP 模式, 都是运用二进制数进行编码, 这些方式都认为结构模式对旋转不变的纹理识别更为重要, 而灰度差值信息只是微结构信息的一个补充。文献[11]指出旋转不变的纹理模式对图像旋转和插值是不稳定的, 局部纹理识别中最具有区别的信息不是微结构信息, 而是局部灰度差异信息, 本文采用文献[11]的做法, 不对 LTP 编码, 而是统计模式值为 0、1 和 -1 的像素个数, 当 T 较

小时,模式值为0的像素个数就可以作为中心像素的相似性度量,如图4所示。其中,邻域像素与中心像素相似时用白色圆圈表示,否则用黑色圆圈表示。

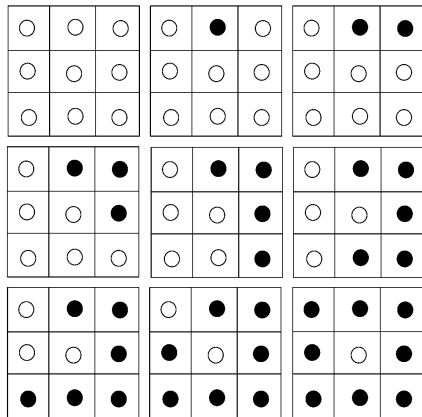


图4 局部相似性的9种模式

Fig. 4 Nine kinds of patterns of local similarity

相似性度量与文献[9]所提出的显著性算子LSN都考虑了目标和背景纹理的局部相似性,而没有考虑纹理的局部差异性。图5所示的是2个具有不同纹理结构的8邻域以及其相似性度量结果。可以看出当局部区域的纹理结构不同时,中心像素的相似程度有可能是相同的。因此,在背景颜色和目目标颜色相近的情形下,单纯使用相似性度量对目标和背景的区分是不利的。

17	12	1	1	0	-1	12	1	9	1	-1	0
6	10	8	-1	$c=3$	0	10	8	7	0	$c=3$	0
9	5	1	0	-1	-1	5	1	16	-1	-1	1

图5 不同局部纹理区域的相似性度量结果

Fig. 5 Similarity results of different local texture regions

考虑到在局部三值模式LTP中,把大于邻域宽度的像素值量化为1,小于邻域宽度的像素值量化为-1,受文献[11]的启发,可以统计量化值1和-1的数目,来反映在局部区域内有多少像素的灰度值高于中心像素。本文用局部三值计数(Local ternary count, LTC)来表示,图5中具有相同相似性程度的局部区域,其 $LTC_{8,1}^1$ 值分别1和2, $LTC_{8,1}^{-1}$ 值分别为4和3。因此, $LTC_{p,R}$ 不仅能够把具有不同纹理结构的局部区域加以区分,而且还能够区分具有相同纹理结构的局部区域,体现了中心像素和邻域像素的差异性。同时, $LTC_{p,R}$ 对图像旋转和图像插值具有稳定性,如图6所示,图像旋转 $30^\circ$ 和插值后,其 $LTC_{8,1}^1$ 保持不变。

为了减小目标的特征向量维数,考虑到LSN算子与 $LTC_{p,R}$ 之间的关系,本文采用 $LTC_{p,R}^1$ 来描述中心像素和邻域像素的灰度差异性,称作局部三值差异计数(Local ternary difference count, LTDC)算子,

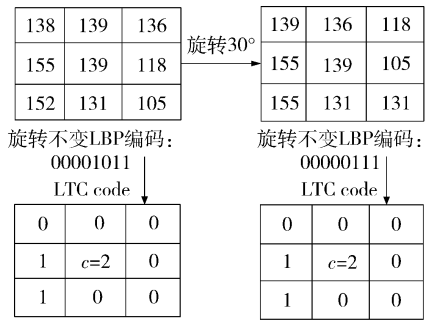


图6 图像旋转 $30^\circ$ 和插值后 $LTC_{8,1}$ 的计算

Fig. 6  $LTC_{8,1}$  calculation results after  $30^\circ$  image rotation and interpolation

定义为

$$LTDC_{p,R} = LTC_{p,R}^1 = \sum_{i=0}^{p-1} f(g_i - g_c, T) \quad (1)$$

其中 
$$f(x, T) = \begin{cases} 1 & (x > T) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases}$$

由定义可以看出:①LTDC算子通过比较中心像素和邻域像素的大小,统计量化值为1的个数,来反映中心像素和邻域像素的差异性。②LTDC算子具有稳定的旋转不变性。③LTDC算子变编码为计数,减小了运算的复杂度。

### 1.4 LTDC 纹理模型

考虑到视频目标跟踪的实时性,本文采用 $LTDC_{8,1}$ 算子来表示目标模式。 $LTDC_{8,1}$ 算子的取值范围为[0,8]共有9种模式,反映的是中心像素与8邻域像素的9种差异性。 $LSN_{8,1}$ 算子也有9种模式,反映的是中心像素与8邻域像素的9种相似性。为了更好地提取目标纹理和边界,考虑到LSN算子与LTC算子之间互补关系,借鉴文献[9]的做法,定义LTDC纹理模型为

$$LTDC_{8,1} = \begin{cases} \sum_{i=0}^7 f(g_i - g_c, T) & \left( \sum_{i=0}^7 f(g_i - g_c, T) \in \{4, 5, 6, 7, 8\} \right) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (2)$$

本文中,高原鼠兔目标毛色呈保护色,与背景颜色相似。同时,鼠兔纹理与草地纹理差异性也不大。为了区分这种细微差异性,阈值 $T$ 取较小值, $T=2$ 。

## 2 基于LTDC纹理颜色模型的目标跟踪

### 2.1 LTDC 纹理颜色模型计算

在MeanShift跟踪算法中,目标的表征是非常重要的。文献[4]把RGB颜色空间的R、G、B3个通道的颜色分量各自量化为16级,特征空间共包含4096个向量。大量的直方图量化区间会导致巴氏系

数的急剧减小,易造成目标定位不准确,同时占据较多的存储空间,造成空间的浪费。为此,本文采用文献[2]的做法,用  $R$  和  $G$  颜色通道及局部纹理差异算子 LTDC 构成的三维向量作为目标的特征表示。LTDC 纹理模型有 5 种基本模式,因此本文需要  $320(8 \times 8 \times 5)$  个向量作为目标的表示,仅为 RGB 颜色直方图目标表示法的 7.81%,减少了特征值的个数。

### 2.2 基于 LTDC 纹理颜色模型的目标跟踪算法

首先 Meanshift 初始化,选定目标区域,计算目标区域内的 LTDC 纹理颜色直方图,得到目标模型  $\{\hat{q}_u\}_{u=1,2,\dots,m}$  以及目标的初始位置  $\hat{y}_0$ 。

(1) 初始化迭代次数  $k \leftarrow 0$ 。

(2) 在当前帧中,计算以  $\hat{y}_0$  为中心的目标候选区域的 LTDC 纹理颜色直方图,得到候选模型  $\{p_u(\hat{y}_0)\}_{u=1,2,\dots,m}$ 。

(3) 根据  $\omega_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{p_u(\hat{y}_0)}} \delta[b(x_i) - u]$ , 计算权值  $\{\omega_i\}_{i=1,2,\dots,n}$ 。

(4) 根据  $\hat{y}_1 = \sum_{i=1}^{n_h} x_i \omega_i / \sum_{i=1}^{n_h} \omega_i$  得到新的窗口中心  $\hat{y}_1$ , 迭代次数  $k \leftarrow k + 1$ 。

(5) 令  $d \leftarrow \|\hat{y}_1 - \hat{y}_0\|$ ,  $\hat{y}_0 \leftarrow \hat{y}_1$ , 当  $d < \varepsilon$  或者  $k \geq K$  时停止迭代,显示当前跟踪结果,接着执行步骤(6)。否则,转到步骤(2),继续寻找当前帧的最优位置。其中  $d$  为相邻 2 次迭代计算所得目标候选坐标距离,  $\varepsilon$  为迭代收敛的最小阈值,  $K$  为所允许的最大迭代次数。

(6) 当前帧是最后一帧,则跟踪过程结束。否则,读取下一帧作为当前帧,以  $\hat{y}_0$  为目标候选窗口

的初始中心位置。返回步骤(1),在新的一帧中定位目标。

## 3 实验结果及讨论

### 3.1 实验平台及参数

为了验证所提出方法的跟踪性能,使用了 3 组测试序列。第 1 组为标准的 Tabletennis 视频序列,每帧图像大小为 352 像素  $\times$  240 像素,跟踪视频序列中运动员的头部。第 2、3 组视频序列为采用常规的带有 CMOS 传感器的固定数码相机,拍摄于青藏高原东南部的甘南草原的鼠兔春夏和秋冬季节的活动视频。为了减小数据处理量,每帧图像大小降维为 320 像素  $\times$  240 像素,跟踪视频序列中的高原鼠兔目标。

算法的硬件环境为: Intel (R), core (TM) i3-2120 CPU @ 3.30 GHz 4 GB 内存; 软件实验环境为: Window 7 操作系统, Matlab R2013a; 实验参数设置为  $\varepsilon = 0.1$ ,  $K = 20$ ,  $P = 8$ ,  $R = 1$ ,  $T = 2$ 。

### 3.2 跟踪性能评估

为了评估本文所提出的方法的跟踪性能,将本文所提出的方法与文献[2]方法的跟踪结果进行了比较。结果分别如图 7 ~ 10 所示。本文采用 Meanshift 迭代次数,跟踪时间来衡量算法的跟踪性能,表 1 是跟踪结果的数据分析。

第 1 个测试序列是标准的 Tabletennis 序列,共 58 帧,分别选取了视频的第 1、10、15、35、50、58 帧。第 2 个测试序列为高原鼠兔春夏季节的视频序列,共 715 帧,分别选取了视频的第 1、150、350、550、610、715 帧。由于 Tabletennis 视频和春夏季节高原鼠兔目标和背景颜色差别较大,所以 2 种方法的跟

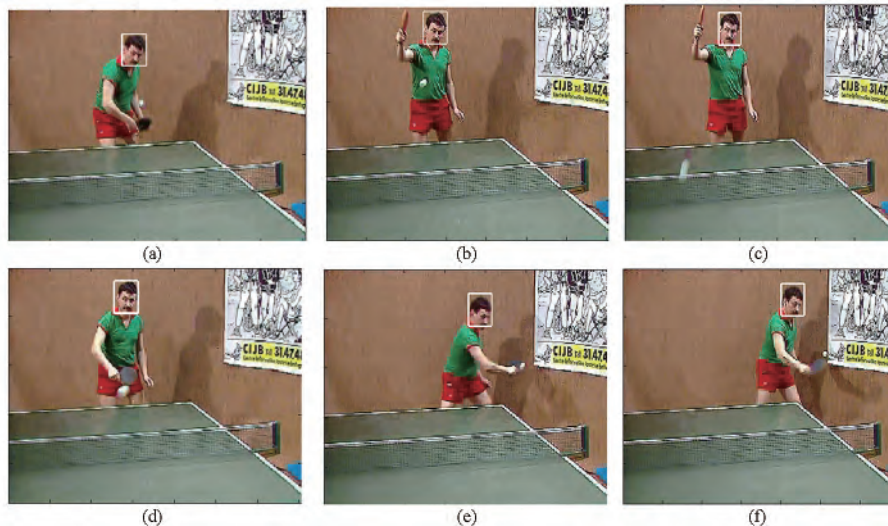


图 7 本文方法对 Tabletennis 视频序列的跟踪结果

Fig.7 Tracking results of Tabletennis video sequence with proposed method

(a) 第 1 帧 (b) 第 10 帧 (c) 第 15 帧 (d) 第 35 帧 (e) 第 50 帧 (f) 第 58 帧



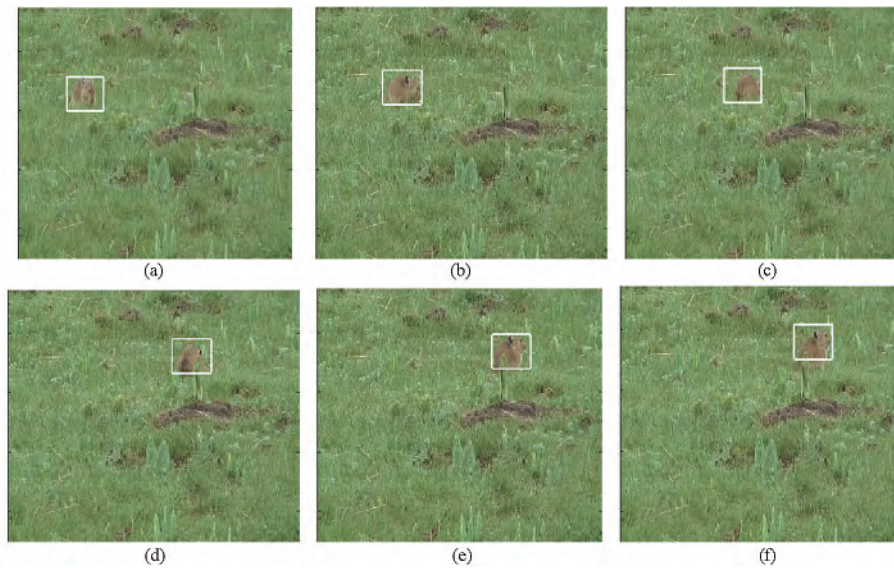


图8 本文方法对春夏季节高原鼠兔目标跟踪的结果

Fig. 8 Tracking results of *Ochotona curzoniae* video sequence with proposed method  
(a) 第1帧 (b) 第150帧 (c) 第350帧 (d) 第550帧 (e) 第610帧 (f) 第715帧

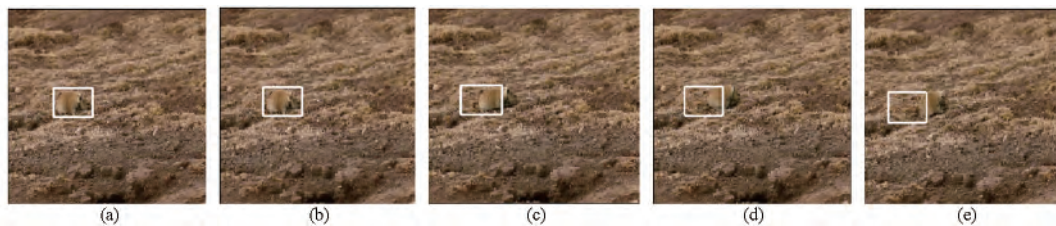


图9 本文方法对秋冬季节高原鼠兔目标跟踪的结果

Fig. 9 Tracking results of *Ochotona curzoniae* winter video sequence with proposed method  
(a) 第1帧 (b) 第4帧 (c) 第25帧 (d) 第40帧 (e) 第58帧

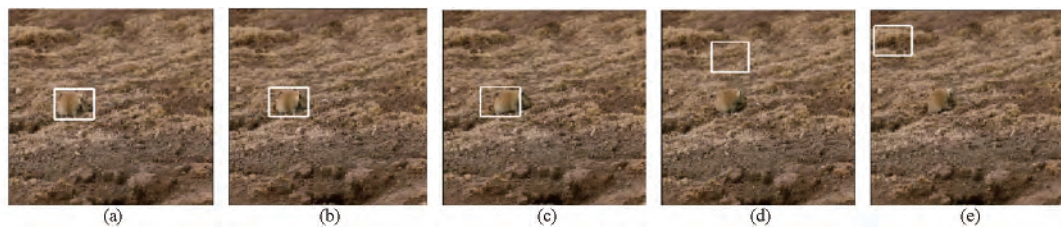


图10 文献[2]方法对秋冬季节高原鼠兔目标跟踪的结果

Fig. 10 Tracking results of *Ochotona curzoniae* winter video sequence with literature [2] method  
(a) 第1帧 (b) 第4帧 (c) 第25帧 (d) 第40帧 (e) 第58帧

表1 本文目标表示方法和文献[2]目标表示方法跟踪性能

Tab. 1 Tracking performance of two kinds of algorithms

视频序列	帧数	目标表示方法	总迭代次数	单帧平均迭代次数	总时间/s	跟踪速度/(帧·s <sup>-1</sup> )
Tabletennis 视频	58	本文方法	208	3.58	3.24	17.9
		文献[2]方法	215	3.71	3.96	14.6
春夏视频	715	本文方法	1 621	2.27	33.32	21.5
		文献[2]方法	2 043	2.86	41.97	17.0
秋冬视频	58	本文方法	130	2.24	3.46	16.8
		文献[2]方法	213	3.67	4.03	14.4

跟踪性能相近,都达到了较为准确的跟踪结果。

第3个测试序列是高原鼠兔秋冬季节的视频序列,共58帧,目标与背景颜色相近,选取了视频的第1、4、25、40、58帧。本文所提出的目标表征方法能较为准确地定位目标。尽管在第25帧出现了定位

偏差,但一直到最后一帧都能实现对目标的定位。文献[2]的方法同样在第25帧发生定位偏差,但在第39帧目标彻底丢失,一直到最后一帧都没有重新定位到目标。

表1是本文所提出的目标表征方法和文献[2]

的目标表征方法的跟踪数据比较。本文所提出的目标表征方法的 Meanshift 的迭代次数分别是文献 [2] 的目标表征方法的 96.74%、79.34%、61.03%，减少了 3.26%、20.66%、38.97%。跟踪总时间是文献 [2] 方法的 81.81%、79.39%、85.85%，分别降低了 18.19%、20.61%、14.15%。同时，本文所提出方法的跟踪速度是文献 [2] 方法的 1.23 倍、1.26 倍和 1.18 倍。

## 4 结论

(1) LTDC 算子具有一定的抗噪性能，且具有稳定的旋转不变性，计算量小。

(2) 目标特征空间维数少，能够体现目标和背景之间的微小差异。

(3) 实验结果表明：目标与背景颜色相近的场景下跟踪的鲁棒性较强，跟踪性能有所提高。

## 参 考 文 献

- 1 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.
- 2 Ning Jifeng, Zhang Lei, Zhang David, et al. Robust object tracking using joint color-texture histogram [J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence 2009, 23(7): 1245-1263.
- 3 Ning Jifeng, Zhang Lei, Zhang David, et al. Robust mean-shift tracking with corrected background-weighted histogram [J]. IET Computer Vision, 2012, 6(1): 62-69.
- 4 Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- 5 徐少平 李春泉 胡凌燕 等. 一种改进的颜色共生矩阵纹理描述符 [J]. 模式识别与人工智能, 2013, 26(1): 90-98.  
Xu Shaoping, Li Chunquan, Hu Lingyan, et al. An improved color cooccurrence matrix texture descriptor [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2013, 26(1): 90-98. (in Chinese)
- 6 宋克臣 颜云辉 陈文辉. 局部二值模式方法研究与展望 [J]. 自动化学报, 2013, 39(6): 730-744.  
Song Kechen, Yan Yunhui, Chen Wenhui. Research and perspective on local binary pattern [J]. Acta Automation Sinica, 2013, 39(6): 730-744. (in Chinese)
- 7 袁国武. 智能视频监控中的运动目标检测和跟踪算法研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2012.  
Yuan Guowu. Research on moving objects detection and tracking methods in intelligent visual surveillance system [D]. Kunming: Yunnan University, 2012. (in Chinese)
- 8 白昀. 基于二级 LTP 纹理颜色直方图的动物实时跟踪 [J]. 西北农业学报, 2012, 21(8): 195-200.  
Bai Yun. Animal real-time tracking algorithm based on joint second-level LTP texture and color histogram [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2012, 21(8): 195-200. (in Chinese)
- 9 Tavakoli H R, Moin M S, Heikkila J. Local similarity number and its application to object tracking [J]. International Journal of Advance Robotic Systems, 2013, 10(1): 184-190.
- 10 Ojala T, Pietikäinen M, Mäenpää T. Multi-resolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(7): 971-987.
- 11 Yang Zhao, De Shuang, Wei Jia. Completed local binary count for rotation invariant texture classification [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(10): 4492-4497.
- 12 Heikkilä M, Pietikäinen M, Schmid C. Description of interest regions with center-symmetric local binary patterns [C] // Prem Kalra, Shmuel Peleg. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 5th Indian Conference, ICVGIP 2006, LNCS4338, 2006: 58-69.
- 13 Liao S, Law M W, Chung A C. Dominant local binary patterns for texture classification [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(5): 1107-1118.
- 14 Guo Zhenhua, Zhang Lei, Zhang David. A completed modeling of local binary pattern operator for texture classification [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(6): 1657-1663.
- 15 Tan Xiaoyang, Triggs Bill. Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(6): 1635-1650.