

青藏高原高原鼠兔活动节律监测方法研究

苏晓雪 李希来* 孙华方 李成一 宋梓涵

青海大学农牧学院 西宁 810016

摘要: 高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 是高寒草甸生态系统特有物种和关键物种, 其挖掘觅食等活动行为直接影响本地高寒草甸的健康状况和持续发展。以有效洞口调查为代表的传统人工观察方法很难连续数天观察, 造成可获取数据量小、效率较低, 导致高原鼠兔行为生物节律研究数据采集困难。因此本文构建了融合图像自动采集、优化数字图像处理算法和智能识别技术的高原鼠兔监测系统, 可无接触、数字化、连续性监测高原鼠兔行为活动。首先, 考虑高原鼠兔活动节律监测需求, 在青海省河南蒙古族自治县克旗河滩布局并划分了面积为 25 m × 30 m 的实验小区; 其次, 监测实验区域, 获取高原鼠兔全周期活动节律数据; 最后提出基于改进帧差法的高原鼠兔目标自动识别策略。实验结果显示, 本文设计的监测系统可在自然环境下完成高原鼠兔活动数据采集, 基于改进帧差法的高原鼠兔目标自动识别策略精准率、召回率、 F_1 值分别为 87.20%、83.37%、0.85, 可准确获取高原鼠兔详细的活动节律信息。活动节律分析结果表明, 高原鼠兔地面活动高峰期在 10:00 时和 16:00 时, 夜晚无活动, 属于白昼型动物。青藏高原鼠兔活动节律监测方法可有效提升高原鼠兔的种群密度、活动节律等相关研究效率和准确度。

关键词: 高原鼠兔; 高寒草甸; 监测系统; 活动节律

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2023) 04-630-10

Study on the Monitoring Method of Plateau Pika Activity Rhythm on the Qinghai-Tibet Plateau

SU Xiao-Xue LI Xi-Lai* SUN Hua-Fang LI Cheng-Yi SONG Zi-Han

College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China

Abstract: [Objectives] Plateau Pika (*Ochotona curzoniae*) is an endemic and key species in the alpine meadow ecosystem, and its behaviors of digging, foraging, and moving directly affect the health and stability of the alpine meadow. However, it is difficult to achieve continuous behavioral observation for several days to obtain all the data required for the biological rhythm observation of Plateau Pika. Due to the shortcoming of

基金项目 青海大学青年教师科研基金项目 (No. 2021-QNY-12), 国家自然科学基金联合基金项目 (No. U21A20191), 三江源国家公园联合研究专项 (No. LHZX-2020-08), 高等学校学科创新引智计划项目 (No. D18013), 青海省科技创新创业团队项目“三江源生态演变与管理创新团队”;

* 通讯作者, E-mail: xilai-li@163.com;

第一作者介绍 苏晓雪, 女, 博士研究生; 研究方向: 高寒生态恢复和环境保护; E-mail: 13897465586@163.com.

收稿日期: 2022-12-14, 修回日期: 2023-05-04 DOI: 10.13859/j.cjz.202304016

the traditional method, a Plateau Pika monitoring system is constructed by integrating image automatic acquisition, optimizing digital image and processing algorithm, and intelligent recognition technology, which realize non-contact, continuous, and digital monitoring of Plateau Pika. **[Methods]** According to the need for Plateau Pika activity rhythm monitoring, the experimental layout was designed with an area of 25 m × 30 m in Henan Mongolian Autonomous County, Qinghai Province. The Plateau Pika monitoring system is designed, and the optimized and improved frame difference method is proposed. **[Results]** Through the monitoring of the experimental area, the video image data of the recorded Plateau Pika is obtained. The Plateau Pika monitoring system meets the basic application requirements of observing Plateau Pika activities in the natural environment. The improved frame difference method is used to realize the detection of moving targets based on the complex image. The average accuracy rate, recall rate, and weighted average were 87.20%, 83.37%, and 0.85 (Table 2). The peak of ground activity of Plateau Pika appeared at 10:00 and 16:00, and it was inactive at night (Fig. 6), so it belonged to diurnal animals. **[Conclusion]** These results can meet the target detection requirements of Plateau Pika's monitoring system, recording the activity rhythm and frequency, which provides new research ideas and effective technical means for Plateau Pika behavior research.

Key words: Plateau Pika; Alpine meadow; Monitoring system; Activity rhythm

观测青藏高原的高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 是掌握其生态行为 (牛榆玲 2020)、生态习性 (潘璇等 2016)、物种间相互关系和环境压力 (宋梓涵等 2020, 张彩军等 2021) 等生物学和生态学信息的基础, 也是制定合理防控策略 (张兴禄等 2015, 张骞等 2019) 的必要条件。传统的样线法、捕获法等人工记录方式仅掌握了洞口位置、数量等有限信息, 无法持续长时间、无接触采集鼠兔活动节律信息。另一方面, 野生动物在人类活动干扰情况下有逃避行为 (Stankowich 2008, 方小斌等 2017), 必然改变其行为模式 (Belotti et al. 2012)。因此, 研究长周期且无接触的鼠兔活动数据采集、传输及处理方法是研究其活动节律的基础。

大数据、物联网和人工智能等技术的快速发展, 促进了数字化监测系统在动物行为研究中的应用。与传统的观察方法相比, 数字化监测系统可自主检测并记录监测区域中的目标, 客观判断动物行为活动节律 (任炜等 2021, 肖治术等 2022), 避免了野生动物面对监测的应激反应造成的行为活动研究误差。数字化视频监控具有无干扰、低损伤、长周期连续监测等优势, 为研究动物日常活动模式提供了数

据基础, 已被广泛应用于野生动物监测、调查和节律研究等动物生态学领域 (刘明冲等 2019, 李保国等 2021)。

将计算机视觉技术和数字化监测分析技术相结合, 可连续捕捉有效视频序列中的监测目标, 是识别目标动物、研究目标行为的有效方法之一 (Risse et al. 2017, Valletta et al. 2017, Haalck et al. 2020, Lopez-Marcano et al. 2021)。例如: 基于计算机视觉算法的群养猪个体检测和跟踪 (Vander Zande et al. 2021)。基于卷积神经网络的养殖奶牛爬跨行为识别算法准确率可达 98.25%, 而单幅图像耗时仅为 0.26 s, 实现了奶牛爬跨行为实时判别 (刘忠超 2019)。以上研究方法适用于实验室环境、养殖场畜舍等非自然特定场景, 采集数据为较短时间的图像序列。同时上述研究的目标动物体型较大且与背景环境相比具有明显的视觉特征。

高原鼠兔处于环境温度和光照强度不断变化的野外环境下, 属于典型的扰动条件下目标识别研究。在局部二元拟合模型中加入形态学梯度, 采用改进的局部二元拟合模型分割自然环境下高原鼠兔图像, 在提高收敛速度的同时可防止演化曲线陷入局部极值 (王帆 2018)。

基于粒子滤波的高原鼠兔突变运动跟踪方法，通过鼠兔运动形式判断选择最佳跟踪方法，提高了整体跟踪准确性（曾雨辉 2019）。针对帧间差分运动目标检测方法极易出现的运动目标拖影现象和空洞等缺陷，提出了基于关联帧差分法的运动目标检测与跟踪方法（陈海燕等 2017）。以上方法均可提高高原鼠兔活动检测的准确度，但存在持续监测时间短，且很难适用于非接触式无干扰活动节律研究。

高原鼠兔体型偏小、与背景环境对比度低，导致现有的动物观察、视频数据处理方法无法直接应用于高原鼠兔行为研究。在视频数据处理过程中，若目标占图像序列区域过小，则需提高采集设备分辨率，增加了标检测算法的计算量。另一方面，高原鼠兔被毛呈现保护色，被毛颜色与背景颜色极为相近，没有明显的纹理、形状特征，体表颜色特征单一造成监测目标与背景对比度低，增大了目标识别难度。与此同时，高原鼠兔所处环境背景复杂多变、视觉特征不显著、目标辨识难度大、水平集初始化计算量和冗余度高，导致识别及监测计算困难、检测速度慢且运算效率低。高原鼠兔活动存在随机性，其非刚体目标特征提高了跟踪要求（王帆 2018）。视频图像中高原鼠兔快速随机运动，姿势（正面、背面、侧面等）和行为状态（休息、采食、修饰、奔跑等）交互呈现，而且目标遮挡、目标出现与消失等干扰现象不断，造成高原鼠兔在视频中呈现的尺寸、姿态、形状随运动不断变化。例如：高原鼠兔与视频采集设备之间的距离变化，必然会导致其成像尺寸、形状、姿态改变。现有的模板匹配法等

典型跟踪算法极易出现高原鼠兔目标区域变形严重、模板不匹配和跟踪失败等问题。

青藏高原地区气候恶劣，高海拔大温差环境下监测系统布置和运维难度增加。采集的视频图像呈现倾斜、背光、雨雪、遮挡等多变场景，而光照变化则影响直接视频成像颜色值和灰度值，这些数据分析干扰项进一步增加了目标识别难度。雨雪、强风等天气突变引发视频采集设备抖动，采集图像序列伴随着外噪声干扰，引发的非刚性变形干扰运动目标检测，很难有效识别和跟踪目标。另一方面，极端天气情况下，数据传输非计划性中断导致视频数据断点、设备运维困难。为解决以上问题，本文提出了一种适用于高原鼠兔的监测系统的改进帧差法高原鼠兔目标识别策略，远程无接触采集高原鼠兔视频数据，自动完成复杂背景下高原鼠兔运动目标识别，准确掌握其活动节律。

1 高原鼠兔监测系统设计

本文设计的高原鼠兔监测系统（图 1），由现场采集视频终端、通信网络、远程监控中心组合构建而成，支持多监测点接入，具有较高的扩展性。系统整体包含前端视频数据采集模块、网络视频数据传输模块、后端视频分析处理服务器与显示终端、数据存储数据库部分组成。监测中心与监测终端连接，利用视频图像采集设备获取高寒草甸监测区域视频，对视频源码流解析处理为连续的图像序列。采用计算机视觉图像处理算法，识别检测视频图像序列中的鼠兔目标，并在终端进行数据的存储。

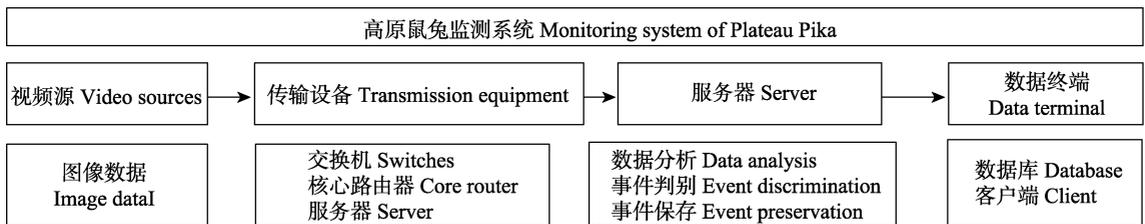


图 1 高原鼠兔监测系统

Fig. 1 Monitoring system of Plateau Pika

2 高原鼠兔监测系统构建

2.1 视频图像采集

高原鼠兔监测系统采用红外摄像机采集视频图像，通过网络视频数据传输模块、交换机、光纤收发器以及核心路由设备，将取自摄像机的码流传送至视频转发服务器；服务器获取视频图像后实现视频图像实时显示，当野外出现强雨雪等恶劣天气情况时，网络视频数据传输会出现中断状况，其数据实时性、时间同步性较弱，数据储存于 MicroSD/Micro SDHC/Micro SDXC 卡。

2.2 数据处理

计算模块分析、处理及保存接收的数据，展示视频监测场景的画面。服务器将视频图像码流数据进行解码处理，视频逐帧转为连续的图像序列，利用运动目标检测算法识别视频图像中的高原鼠兔，存储获取的数据信息。数据处理过程如图 2 所示。

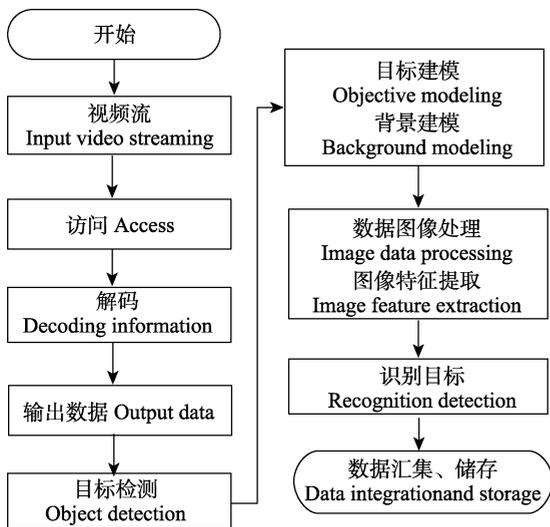


图 2 数据处理过程
Fig. 2 Data processing process

若图像序列图像中出现运动目标，相邻两帧图像序列之间会出现差别，通过前后两帧视频图像相同位置像素点灰度值差分运算，求得图像对应位置像素差值的绝对值，判断其是否

大于某一阈值，进而分析视频图像序列的物体运动特性，以获取运动目标轮廓。差分法的实际像素点处理过程描述如下。

选取 T 为差分图像二值化时选取的阈值，将 t 和 $(t - 1)$ 时刻的图像 $i(t)$ 和 $i(t - 1)$ 做差可得差分值： $\Delta i = i(t) - i(t - 1)$ 。此基础上可得连续两帧图像间的差分图像：

$$D(x, y) = \begin{cases} 1 & \Delta i \geq T \\ 0 & \Delta i < T \end{cases}, D(x, y) = 1 \text{ 表示前景,}$$

$D(x, y) = 0$ 表示背景, $D(x, y)$ 为连续两帧图像间的差分图像。

当运动目标长期停留在场景中（高原鼠兔处于静止非运动状态）或目标慢速变化，易出现“空洞”现象，因此需进一步对图像精确分割。采用迭代法实现阈值分割，重复地对图像进行阈值操作，将图像分割为对象类和背景类，目标灰度集合与背景灰度集合，且两个灰度集合可用一个灰度级阈值进行分割，利用每一个类中的灰阶级别对阈值进行改进，分割阈值随着迭代的进行检测出每一帧中的目标，迭代阈值分割算法处理过程描述如下， $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$ ， T_1 和 T_2 分别表示相邻两帧差分图像二值化时的阈值。

2.2.1 视频图像预处理 采用双边滤波器 (bilateral filter) 对视频图像进行滤波运算的预处理。双边滤波器通过结合空域信息和灰度相似性，保留视频图像边缘并去除噪声，增加图像对比度，具有简单、非迭代、局部的特点。双边滤波器系数由几何空间和像元差值决定，对图像进行滤波操作后输出的像元值 $g(i, j)$ ，依赖于对邻域像元值的加权，即

$$g(i, j) = \frac{\sum_{k,l} f(k, l) w(i, j, k, l)}{\sum_{k,l} w(i, j, k, l)}$$

$$w(i, j, k, l) = \exp\left(-\frac{(i-k)^2 + (j-l)^2}{2\sigma_d^2} - \frac{\|f(i, j) - f(k, l)\|^2}{2\sigma_r^2}\right)$$

权重系数 $w(i, j)$ 取决于空域核和值域核的乘积。其中，空域滤波器对空间上邻近的点进

行加权平均, 加权系数随着距离的增加而减少。值域滤波器则是对像素值相近的点进行加权平均, 加权系数随着值差的增大而减少。双边滤波器处理后图像对比度和细节信息有效增强, 更有利于后期运动目标检测。

2.2.2 目标检测 在获取预处理视频后, 读取视频文件并对视频帧进行处理得到时域图像序列。将处理完的时变图像向量做差, 采用当前帧图像向量减背景帧图像向量的方式获得待检测高原鼠兔位置, 该方法易于实现、实时性高, 且不受相邻两帧图像中目标位置是否重合的影响。获得背景帧图像: $G_d(x, y, t) = \sum \sum G(x, y, t) - (mn - 1)G_d(x, y, t_0)$, m 、 n 分别为视频读取后获得的图像帧的宽度和高度, $G_d(x, y, t)$ 为 t 时刻更新后的背景帧向量, $G(x, y, t)$ 为当前帧向量, $G_d(x, y, t_0)$ 为选取的参考向量。为抑制检测过程中光照变化对检测结果的影响, 将当前帧向量与参考向量做差, 对差分图像像素求均值后加到初始背景帧图像中。 $D(x, y, t) = f(x, y, t) - f_d(x, y, t)$, 当前帧图像 $f(x, y, t)$ 减去更新背景帧图像 $f_d(x, y, t)$ 后, 获得差分图像 $D(x, y, t)$, 在差分图像中, 由于待检测目标与背景信息不同, 故待检测目标所在位置处, 差分图像像素绝对值较大, 获得二值图像 $D(x, y, t)$ 作为目标检测判据。由于阴影存在某区域内时该处灰度值比有遮挡后此处灰度值高的特性, 因此判定 $D(x, y, t) > T$ 的区域作为目标区域, 抑制阴影对目标区域获取的影响。

考虑到阈值 T 对光照及其他因素变化的适应性, 可按照如下方式优化设计判定阈值。首先求取差分图像像素点均值和方差, 在此基础上提出基于灵敏度参数 η 的阈值优化方。

$$\mu = \sum_{x=0}^m \sum_{y=0}^n D(x, y, t)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{x=0}^m \sum_{y=0}^n D[(x, y, t) - \mu]^2}{mn}}$$

$$T = \mu + \eta\delta,$$

其中, μ 差分图像 $D(x, y, t)$ 像素点的均值, δ 为差分图像 (x, y, t) 像素点的标准差, η 为微调

参数, 根据环境的恶劣程度选取合理的微调参数, 以提高阈值对图像背景细节的过滤能力和对待检测目标的灵敏度。将 T 带入公式获取目标区域位置。

在实际情况中, 由于自然环境复杂且不可控, 图像序列中的背景存在轻微变动, 二值化后的差分图像受到背景的扰动, 存在多个非连通的潜在目标区域, 利用形态学开运算去除背景扰动产生的影响, 获得真实目标区域, 可得二值图像。 $g(x, y) = EH[f(x, y)]$, 计算真实目标区域的 (x, y) 作为目标定位的基本信息, 获得坐标值 (x, y) 。

$$x = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n xB'(x, y, t)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n B'(x, y, t)}$$

$$y = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n yB'(x, y, t)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n B'(x, y, t)}$$

获取目标在图像中的位置, 此时可对检测结果进一步处理, 通过对二值图像进行膨胀、腐蚀后获取目标区域位置。

高原鼠兔生活的自然环境复杂, 检测目标体型小, 在图像数据中仅占极小部分区域, 计算时易出现目标丢失, 且过量背景信息增加了水平集初始化的计算量和冗余度。因此, 采用 **K-means** 算法对粗分割图像进行精确分割, 根据当前帧图像 $f(x, y, t)$ 目标区域位置, 阈值化处理差分结果。 $T_0 = \frac{Z_{\max} + Z_{\min}}{2}$, 当前帧图像分割完毕, 读取下一帧图像, 继续循环上述过程, 迭代所得的阈值分割的图像效果良好, 提高了高原鼠兔检测效率, 直至将视频中所有帧图像处理完毕, 目标检测过程结束。

2.2.3 算法评价指标 本算法以精准率 (precision)、召回率 (recall) 和它们的加权平均值 (F_1) 为指标来评价模型效果, 若分类正例表示为 positive, 分类负例为 negative, 则

指标如表 1。

表 1 评价指标

Table 1 Evaluation indicators

真实值\预测值 True value \ Predicted value	正例 (1) Positive	负例 (0) Negative
正例 (1) Positive	真正例 True positive T_p	假负例 False negative F_f
负例 (0) Negative	假正例 False positive F_p	真负例 True negative T_f

(1) 精准率 P 是正确预测的正样本数与所有预测的正样本数之比 $P = \frac{T_p}{T_p + F_p}$ 。

(2) 召回率 R 是真实为正的样本中预测为正的样本的比例 $R = \frac{T_p}{T_p + F_f}$ 。

(3) F_1 值为模型精准率与召回率的加权平均, 其反映的是模型精准率与召回率的综合性能, F_1 值的取值范围在 $0 \sim 1$ 之间。 $F_1 = \frac{2PR}{P + R}$ 。

2.2.4 高原鼠兔日活动节律观察 2021年3月至2022年2月, 每月选择晴朗、无雨雪并利于观察鼠兔活动天气的3d, 24h连续录制高原鼠兔活动视频。检测视频, 图像序列中存在高原鼠兔, 即判定为有效图像, 随后将获取的图像数据信息存储。采用时间相对丰富度指数

(time-period relative abundance index, T_{rai}) 分析高原鼠兔活动节律, 计算公式: $T_{rai} = \frac{T}{N} 100\%$,

式中, T_{rai} 表示时间相对丰富度指数, T 为高原鼠兔在每小时出现的图像序列数, N 为图像序列总数。

3 系统测试

3.1 实验点选择

选择位于黄河二级支流流域内青海省河南蒙古族自治县克旗合滩 ($34^{\circ}41'07''$ N, 东经 $101^{\circ}46'02''$ E, 海拔 3 743 m), 选择坡向向阳, 坡度 3° 的中度退化草甸作为研究区。设置 3 个面积 $30 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ 实验小区作为监测点, 高原

鼠兔密度控制区, 7 只高原鼠兔, 3 只雄性和 4 只雌性, 采用定制的钢丝围栏材料围建 (Maron et al. 2011), 每间隔 2 m 用长 1.4 m 的角铁固定围栏, 地面以下 0.5 m 安装防鼠钢纱网 (网孔 0.8 cm), 地面以上 0.6 m 安装防鼠镀锌铁皮 (型号 35), 钢纱网和镀锌铁皮各留 0.1 m 用铆钉连接, 铆钉密度需保证鼠兔无法从钢纱网和镀锌铁皮缝隙中穿过。

3.2 视频图像采集设备安装

架设监控设备进行高原鼠兔监测系统安装之前, 需要摄像头厂商提供数据手册。该手册中包含分辨率、旋转角度、红外距离、电源等参数。根据监控摄像头设备参数确定其安装方案。用 TISTONG 太阳能监控器 (TST-Q1R-4G, 图 3) 固定在 2 m 高架架上拍摄。安装完成后, 拍摄采集高原鼠兔活动视频数据并运行监测, 验证其性能符合应用的要求。在满足验证条件的情况下, 可根据应用要求调整监测时间。



图 3 视频图像采集设备

Fig. 3 Video image acquisition equipment

3.3 数据采集

实验数据集采用基于视频的高原鼠兔监测系统数据集, 包含了 864 段高原鼠兔活动 (静止、运动等基本行为模式) 视频片段, 图像的分辨率为 1920×1080 , 其中部分高原鼠兔监控画面显示如图 4 所示。

4 系统及场景测试

通过视频分析算法设计构建高原鼠兔监测

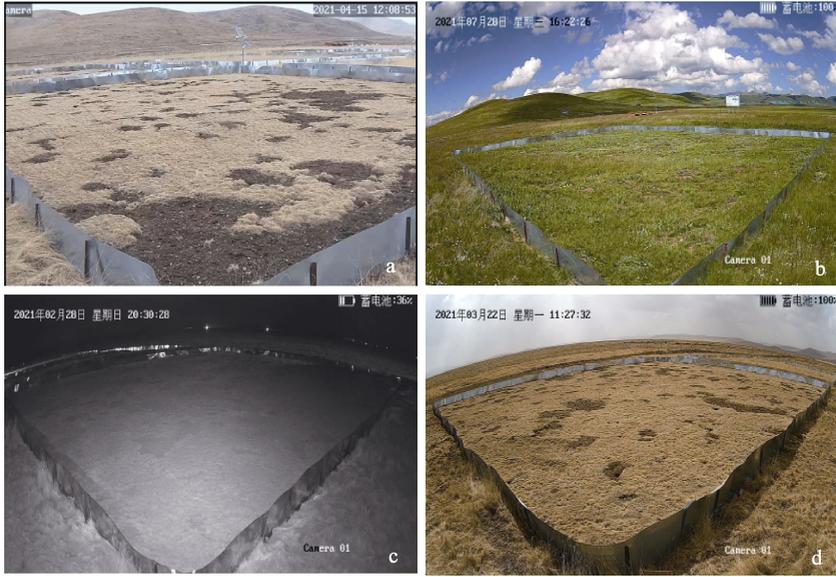


图 4 不同时间段高原鼠兔系统监测画面

Fig. 4 Monitoring pictures of Plateau Pika system in different time periods

高原鼠兔系统监测画面时间分别为: a. 2021 年 4 月 15 日 12:08:53 时; b. 2021 年 7 月 28 日 16:22:26 时; c. 2021 年 2 月 28 日 20:30:28 时; d. 2021 年 3 月 22 日 11:27:32 时。

The monitoring screen time of Plateau Pika system is: a. At 12: 08: 53 on April 15, 2021; b. 28 July, 2021, at 16: 22: 26; c. 20: 30: 28 on February 28, 2021; d. At 11: 27: 32 on March 22, 2021.

系统, 针对构建的系统选取野外自然实验地场景监控视频进行测试, 验证高原鼠兔监测系统的有效性。实际执行系统测试时通过对视频码流进行解码处理等操作实现对监控区域成数据提取、运动目标检测汇集存储相关数据储存。测试设备运行环境与软硬配置信息数据处理作系统: 采用 TISTONG 太阳能监控器 (TST-Q1R-4G) 拍摄, 利用 Matlab R2016b 软件, 在 Lenovo Pro-13 2020 (Inter (R) Core (TM) i7-10710U CPU@1.10 GHz, RAM 16.0 GB) 64 位 windows10 中文版操作系统上实现。基于 Matlab 软件搭建高原鼠兔监测系统, 实现运动目标检测。高原鼠兔监测系统将在相关软件的运行环境与终端软件安装配置完毕的情况下, 随机选取 3 段视频, 实测验证高原鼠兔监测系统的效果, 样本 1、样本 2、样本 3 时长分别为 10 min、12 min、15 min, 其中部分视频实际场景的测试效果显示如图 5 所示。

5 结果

本文设计的高原鼠兔监测系统所采集的视频图像分辨率为 1920×1080 , 图像序列清晰, 满足自然环境中高原鼠兔无接触连续观察。通过数据分析处理, 分别检测样本 1、样本 2 和样本 3, 以间隔 24 帧 (1 s) 读取 1 次并保存视频帧, 得到 600、720、900 张连续图像序列, 对应检测结果见表 2。

上述模型的平均精准率、召回率、 F_1 可在野外复杂自然场景下准确识别高原鼠兔。从实验计算过程考虑, 运动目标图像序列帧间差分与时空相关性分析算法, 根据所选取秒集时间间隔作为帧间间隔, 以 24 帧为间隔, 增大帧间隔数, 提取帧包含了高原鼠兔较长活动的时间, 可避免目标在区域内静止的状况, 减少目标空洞区域, 避免出现空洞现象, 从图像序列中获取运动目标区域位置, 进一步分割阈值标记运



图5 视频实际场景测试效果

Fig. 5 Tests using actual video scene

高原鼠兔监测系统视频实际场景画面时间分别为: a. 2020年4月23日10:56:07时; b. 2020年4月23日10:56:18时; c. 2020年4月23日10:57:13时; d. 2021年5月19日14:25:19时; e. 2021年5月19日16:25:47时; f. 2021年5月19日16:26:32时; g. 2021年5月25日18:56:16时; h. 2021年5月25日18:56:35时; i. 2021年5月25日18:56:40时。

The actual scene screen time of the video of the Plateau Pika monitoring system is: a. 10:56:07 on April 23, 2020; b. 10:56:18 on April 23, 2020; c. 10:57:13 on April 23, 2020; d. 14:25:19 on 19 May, 2021; e. 16:25:47 on 19 May, 2021; f. 16:26:32 on May 19, 2021; g. 18:56:16 on 25 May, 2021; h. 18:56:35 on 25 May, 2021; i. 18:56:40 on May 25, 2021.

表2 实际检测结果

Table 2 Actual test results

样本 Sample	精准率 Precision P (%)	召回率 Recall R (%)	F_1 值 F_1 value
样本 1 Sample 1	87.64	81.69	0.85
样本 2 Sample 2	89.00	85.57	0.87
样本 3 Sample 3	84.97	82.84	0.84
平均值 Average value	87.20	83.37	0.85

动目标区域位置提高目标检测准确性, 实现运动目标的识别。其次, 帧间差分算法简单, 易于实现, 实时性高, 程序设计复杂度低, 运行

速度快, 动态环境适应能力强、操作简单, 对场景光线变化影响较小, 具有较好地抗干扰能力; 假设采用全图进行背景建模, 背景复杂且标在图像序列中占比小于 30×60 , 目标与背景对比度低, 冗余信息增多, 计算量增大从而带来大量内存消耗, 额外增加的计算开销, 海量的数据信息致使计算速度降低。综合考虑高原鼠兔监测的复杂自然环境, 目标辨识度低及运动目标在图像序列占比小等因素, 利用高原鼠兔监测系统对鼠兔进行监测和研究是可行的, 该模型符合高原鼠兔监测系统的应用要求。

本文中, 摄像机有效工作日累计 108 d, 记录高原鼠兔活动有效数据视频 2 592 h。行为节律数据以 1 h 为单元统计。高原鼠兔在观察期间都比较活跃, 日活动行为相对丰富度曲线呈“M”字型。高原鼠兔地面活动时间从早晨 6:00 时至傍晚 19:00 时, 夜晚无活动(图 6), 日活动中具有 2 个明显的活动高峰, 分别出现在 10:00 时及 16:00 时段, 高原鼠兔属于白昼型动物。

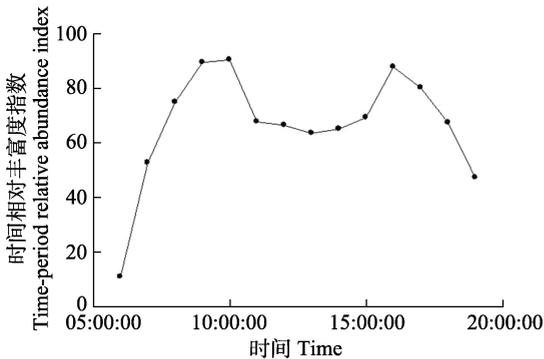


图 6 高原鼠兔日活动时间相对丰富度指数

Fig. 6 Time-period relative abundance index of Plateau Pika

6 讨论

本文主要关注高原鼠兔活动节律监测方法研究。传统有效洞口调查方法存在高度依赖实验人员操作统计、极易改变高原鼠兔行为模式的问题。另一方面传统方法只能在环境相对适宜的实验地区开展特定时间、离散的监测或数据统计。而自然环境恶劣地区(如高寒高海拔大温差环境)实验监测条件差、连续监测难度高, 无法满足高原鼠兔活动节律观察的数据要求。为解决以上问题, 本文综合考虑目标监测环境的复杂性和辨识需求, 提出了基于改进帧差法的高原鼠兔目标自动识别策略, 并设计了高原鼠兔监测系统。在青海省河南蒙古族自治县克旗河滩部署面积为 $25\text{ m} \times 30\text{ m}$ 、高原鼠兔密度为 7 只的监测实验区, 安装高原鼠兔监测系统, 实现了实验区域无接触式连续监测。改进帧差法的高原鼠兔目标自动识别策略实现了复景图像中运动目标检测, 其平均精准率、召

回率及 F_1 值分别为 87.20%、83.37%、0.85。为高原鼠兔行为生态学、活动节律、行为分类和模式识别等研究提供了数据支撑。本文提出的高原鼠兔活动节律监测方法可有效降低实验成本, 解决了恶劣自然条件环境下实验难度大、数据准确度低等问题, 可推广应用于对人类活动敏感的物种监测、高寒高海拔实验困难的地区。

在本研究中, 高原鼠兔日活动时间相对丰富度有两个峰值, 地面平均活动时间从早上 6:00 时持续至傍晚 19:00 时。实验结果表明, 啮齿类动物的活动模式与地上生物量、种间竞争、捕食风险、太阳辐射、光照水平、环境温度、相对湿度和风速等因素有关。

草地过度放牧是导致鼠害发生的重要原因(周雪荣 2010), 青藏高原草地约有高原鼠兔 6 亿只, 仅青海省受危害的草原面积就高达 730 万 hm^2 , 其中“黑土滩”面积则超过了 330 万 hm^2 (焦秀洁等 2018)。未来研究将重点关注高原鼠兔的活动节律及行为模式与高寒草甸退化之间的耦合作用。

参 考 文 献

- Belotti E, Heurich M, Kreisinger J, et al. 2012. Influence of tourism and traffic on the Eurasian lynx hunting activity and daily movements. *Animal Biodiversity & Conservation*, 35(2): 235–246.
- Haalck L, Mangan M, Webb B. 2020. Towards image-based animal tracking in natural environments using a freely moving camera. *Journal of Neuroscience Methods*, 330: 108455.
- Lopez-Marcano S, Jinks E, Buelow C, et al. 2021. Automatic detection of fish and tracking of movement for ecology. *Ecology and Evolution*, 5(18): 8254–8263.
- Maron J L, Pearson D E. 2011. Vertebrate predators have minimal cascading effects on plant production or seed predation in an intact grassland ecosystem. *Ecology Letters*, 14(7): 661–669.
- Risse B, Mangan M, Webb B, et al. 2017. Visual tracking of small animals in cluttered natural environments using a freely moving camera. 2017 International Conference on Computer Vision Workshop. 335: 2840–2851.

- Stankowich T. 2008. Ungulate flight responses to human disturbance: A review and meta-analysis. *Biological Conservation*, 141(9): 2159–2173.
- Valletta J J, Torney C, Kings M, et al. 2017. Applications of machine learning in animal behaviour studies. *Animal Behaviour*, 124: 203–220.
- Vander Zande L E, Guzha O, Rodenburg T B. 2021. Individual detection and tracking of group housed pigs in their home pen using computer vision. *Frontiers in Animal Science*, 2: 669312.
- 陈海燕, 曾雨辉, 王帆. 2017. 高原鼠兔行为时间序列短期预测模型研究与应用. *中国农机化学报*, 38(5): 69–74.
- 方小斌, 邹瑀琦, 丁长青. 2017. 鸟类惊飞距离及其影响因素. *动物学杂志*, 52(5): 897–901.
- 焦秀洁, 谭春桃, 李涛, 等. 2018. 飞机播撒杀鼠剂对高原鼠兔的防治效果. *中国媒介生物学及控制杂志*, 29(5): 488–490.
- 李保国, 侯荣, 张河, 等. 2021. 中国兽类行为学和行为生态学研究进展与展望. *兽类学报*, 41(5): 525–536.
- 刘明冲, 唐卓, 管晓, 等. 2019. 利用远程视频监控系统观察卧龙自然保护区的羚牛和水鹿. *林业科技通讯*, (3): 16–21.
- 刘忠超. 2019. 奶牛发情体征及行为智能检测技术研究. 陕西: 西北农林科技大学博士学位论文.
- 牛榆玲. 2020. 高原鼠兔生活习性研究. *畜牧兽医杂志*, 39(2): 82–83.
- 潘璇, 米玛旺堆. 2016. 高原鼠兔生态学研究进展. *生态学杂志*, 35(9): 2537–2543.
- 任炜, 余山, 张永清. 2021. 计算行为学研究进展. *科学通报*, 66(30): 3799–3810.
- 宋梓涵, 李希来, 李杰霞, 等. 2020. 高原鼠兔跑道对高寒草甸退化斑块扩大与连通的影响. *生态学杂志*, 39(10): 3276–3284.
- 王帆. 2018. 基于改进 CV 模型的高原鼠兔图像分割方法研究. 兰州: 兰州理工大学硕士学位论文.
- 肖治术, 肖文宏, 王天明, 等. 2022. 中国野生动物红外相机监测与研究: 现状及未来. *生物多样性*, 30(10): 234–259.
- 曾雨辉. 2019. 基于粒子滤波的高原鼠兔突变运动跟踪. 兰州: 兰州理工大学硕士学位论文.
- 张彩军, 王小燕, 姚宝辉, 等. 2021. 甘南草原 3 种啮齿动物的食性及其营养生态位特征. *草地学报*, 29(7): 1484–1490.
- 张骞, 杨晓渊, 郭婧, 等. 2019. 青藏高原区退化草地生态恢复: 退化现状, 恢复措施, 效应与展望. *生态学报*, 39(20): 7441–7451.
- 张兴禄, 李广. 2015. 高原鼠兔和高原鼯鼠在高寒草甸生态系统的作用. *草业科学*, 32(5): 816–822.
- 周雪荣, 郭正刚, 郭兴华, 等. 2010. 高原鼠兔和高原鼯鼠在高寒草甸中的作用. *草业科学*, 27(5): 38–44.

(上接第 621 页)

仔蛇出生后, 以窝为单位集中喂养于养殖箱内。养殖箱内铺设一层厚约 5 cm 的碎裂棕榈壳, 随机摆放一些干枯的树枝供幼蛇攀爬, 同时放置几片破裂的瓦片供仔蛇躲避。所有养殖箱内均放置饮水盆, 提供充足的水源。刚出生仔蛇无进食欲望; 出生后 1 月仔蛇需通过人工辅助用镊子将乳鼠送到幼蛇嘴边, 不断侵扰, 幼蛇攻击乳鼠并吞食, 每 5 日给每条幼蛇喂食 1 只乳鼠; 出生第 2 年幼蛇, 所有个体均可自主进食, 每条幼蛇每 5 日喂食 2~4 只乳鼠。出生当年 11 月中下旬, 仔蛇活动性下降, 钻入瓦片下, 逐步进入冬眠状态, 直至第二年 4 月出蛰。在越冬过程中, 12 条仔蛇由于身体瘦弱而陆续死亡。在 2019 年养殖过程中, 8 条仔蛇由于身体瘦弱或疾病也陆续死亡。截止 2019 年 10 月, 28 条出生仔蛇仅存活 6 条, 每条雌蛇均存活 2 条仔蛇。1 龄幼蛇头体长 (306.3 ± 26.4) mm、尾长 (70.0 ± 6.2) mm、体重 (22.5 ± 3.8) g ($n=6$)。

蛇类是地球上生物多样性的重要组成部分。然而, 由于蛇类生活环境隐秘, 与哺乳动物、鸟类、鱼类等其他脊椎动物类群相比, 蛇类受到的关注较少, 多数蛇类的繁殖生物学和生活史资料缺乏。本次对云南竹叶青蛇生殖过程以及幼蛇生长过程的记录, 补充了云南竹叶青蛇的繁殖生物学和生活史资料。

致谢 宜宾学院生命科学与食品工程学院王平、唐奎、张德勇等同学协助养殖, 谨此致谢!

吴亚勇 李科 廖琳鸿 刘芹 郭鹏*

宜宾学院生命科学与食品工程学院, 动物多样性与生态保育宜宾市重点实验室 宜宾 644000