

# 养殖场环境下的生猪多目标检测与跟踪方法

段玉瑶<sup>1</sup> 马丽<sup>1,2</sup> 王辉<sup>1</sup> 刘刚<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室,农业部农业信息获取技术重点实验室中国农业大学,北京 100083

<sup>2</sup>河北农业大学信息科学与技术学院,河北保定 071000

**摘要** 针对生猪多目标跟踪过程中猪舍内光照情况复杂、生猪间遮挡等问题,改进了传统多运动目标跟踪算法,开发了一套基于计算机视觉技术的目标跟踪系统。改进了前景检测方法,将灰度差分、S通道差分和帧间差分所获取的差分图像相融合。利用阴影与背景的颜色差异性和纹理相似性消除阴影的影响,得到完整的前景图像,提高了前景提取的准确度。改进均值漂移算法实现对目标生猪运动行为的准确跟踪,改进的算法融入了目标生猪的初始位置与颜色信息,修正了目标直方图模型,提高了跟踪的准确率。不同品种、不同光照条件下生猪的运动行为跟踪实验的结果表明,运动目标检测方法能够有效消除阴影对跟踪的影响,同时验证了算法的稳定性,跟踪准确率大于 85%。

**关键词** 图像处理;猪;多目标跟踪;目标检测

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

**doi:** 10.3788/AOS201535.s110002

## Multi-Pig Detection and Tracking Method under the Farm Environment

Duan Yuyao<sup>1</sup> Ma Li<sup>1,2</sup> Wang Hui<sup>1</sup> Liu Gang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education,

Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture,  
China Agricultural University, Beijing 100083, China

<sup>2</sup>College of Information Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China

**Abstract** In order to realize the multi-target tracking of pig's behavior in pigsty complex light situations and shelter among pigs, the traditional multi-object tracking algorithm is improved, and a target tracking system based on computer vision technology is developed. The foreground detection algorithms are improved, and the difference images obtained by gray difference, S-channel difference and frame difference are fusion. The color differences and texture similarity between shadow and background are used to eliminate the effect of shadow upon detection. The camshift algorithm is improved to realize the accurate tracking of pig's motor behavior in pigsty. The improved algorithm integrates the initial position and color information of target pigs, and fixes the histogram model. It improves the tracking accuracy. By the experiments of tracking different varieties pigs and tracking under different light situations, the experimental results show that the proposed target detection method can effectively eliminate the influence of the shadow and the experiments verify the stability of the algorithm, the tracking accuracy rate is greater than 85%.

**Key words** image processing; pig; multi-target tracking; target detection

**OCIS codes** 100.4999; 150.5495; 120.1880; 100.3008

## 1 引言

近年来,利用计算机视觉和图像处理技术来分析动物行为、表征动物健康状态已经成为相关领域的研究

**收稿日期:** 2015-01-15; **收到修改稿日期:** 2015-02-15

**基金项目:** 北京市科委资助项目(D141100003814003)

**作者简介:** 段玉瑶(1993—),女,硕士研究生,主要从事电子信息技术在动物福利领域应用方面的研究。

E-mail: duanauto@qq.com

**导师简介:** 刘刚(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事电子信息技术农业应用方面的研究,

E-mail: pac@cau.edu.com

热点<sup>[1]</sup>。在畜禽动物行为分析领域,猪的行为引起了研究人员的较大兴趣<sup>[2-6]</sup>,当猪舍环境改变或者受到某种应激时,猪会表现出各样的行为。例如,猪栏内的环境恶劣,加之实行定时采食,采食时间相对较短,易导致猪嘴的活动改向及出现咬尾、拱咬同伴腹部、争斗等异常行为<sup>[7-8]</sup>;猪舍内环境温度的升高会导致生猪表现出活动量减少,采食量下降,饮水增加,生长缓慢,甚至表现出负增重等热应激反应<sup>[9]</sup>。利用计算机视觉技术来分析生猪行为,首先需要准确跟踪并给出猪的运动轨迹。在猪舍中实时跟踪生猪运动轨迹难度较大,一方面生猪间互相遮挡情况严重,另一方面生猪的运动也没有规律可循,同时猪舍内阴影及复杂光照情况对前景提取也有很大影响。传统的基于计算机视觉的生猪运动轨迹的跟踪方法多在生猪背部事先进行颜色或图案的标记<sup>[10-11]</sup>,这样操作虽然减小了生猪运动轨迹跟踪的难度,但有悖动物福利原则。目前在计算机视觉领域提出了很多跟踪算法。基于均值漂移的跟踪算法作为一种高效的模式匹配算法,由于不要求进行全局搜索,已经被成功地应用在实时性要求较高的目标跟踪领域<sup>[12-13]</sup>。而粒子滤波器的多模态处理能力及在非线性、非高斯系统表现出来的优越性,决定了它的应用范围较为广泛<sup>[13-16]</sup>。尽管人们在运动物体检测与提取方面做了许多研究,仍旧没有通用的分割跟踪理论<sup>[17]</sup>。传统检测跟踪算法只适用于光照良好高分辨率视频,在养殖场环境下由于多种条件限制,视频质量很差,算法往往仅能实现对单只生猪的跟踪或短时间跟踪<sup>[18-20]</sup>,本文针对实际场景,改进了传统的检测跟踪算法,实现了对6只猪大于10 min的有效跟踪。

以单目静止不变焦摄像头获取的视频样本作为研究目标,提出了一种差分提取融合算法检测运动目标;利用阴影部分与背景部分的颜色差异性和纹理相似性消除阴影对前景检测的影响,得到完整的前景图像,提高了前景提取的准确度;改进均值漂移算法,利用椭圆搜索框选定目标生猪,获得其初始位置与颜色信息,修正了目标直方图模型,实现对目标生猪运动行为的准确跟踪。

## 2 系统方案设计

在京郊西山长丰养殖场自行搭建了面向生猪养殖的计算机视觉远程监控系统,IP摄像头为海康威视DS-2CD4232FDW型枪机,系统构架如图1所示。该系统包括图像采集系统和图像处理系统,可实现对生猪的实时监测,监控摄像头采集到图像数据后,通过无线网络传输至监控视频服务器,可以进行本地存储或者网络远程实时调用。待跟踪生猪品种为处于育肥期的金华两头乌、孕期金华两头乌、育肥期的大河乌猪以及后备期大约克猪,猪舍面积均为3 m×4 m。实验所使用的视频数据由远程调用得到。

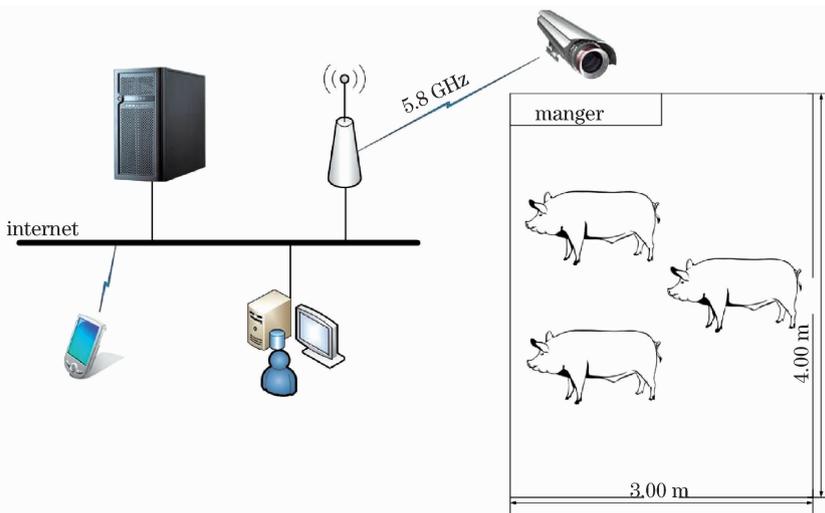


图1 生猪远程监控系统图

Fig. 1 Diagram of pig remote monitoring system

## 3 前景目标检测及阴影去除

目标检测的任务是将图像或视频中的目标检测出来,作为多目标跟踪的基础,它的结果严重影响跟踪效果。背景差分法<sup>[21]</sup>是最常用的一种目标检测算法,但在复杂光照环境下存在阴影交叠、目标物体间粘连等

问题,传统的背景差分法在检测目标中有很大的局限性<sup>[22]</sup>。根据具体的实验场景提出适宜的方法,算法流程图如图 2 所示。

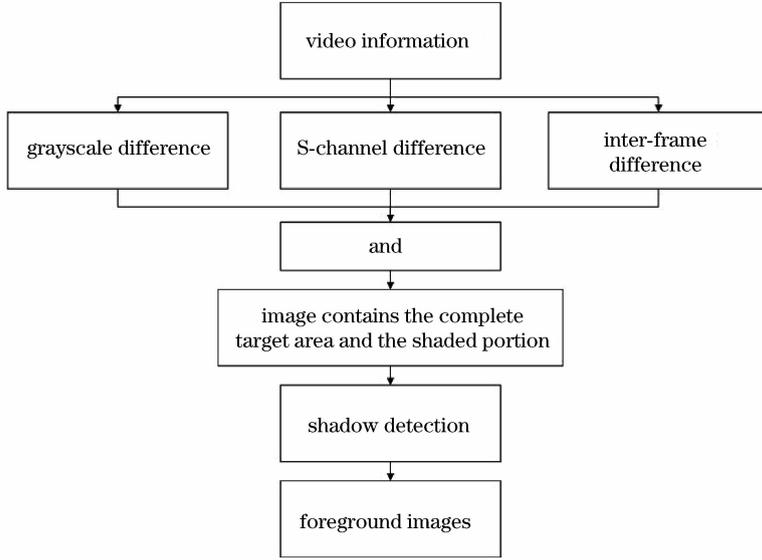


图 2 前景检测及阴影去除流程图

Fig. 2 Flowchart of foreground detection and shadow removal

### 3.1 前景检测

为解决猪舍场景复杂,光照条件多变,猪身颜色与背景颜色比较接近等问题,选择接近人类观察色彩方式的 HSV 颜色空间,并对 S 通道进行差分。传统的灰度差分会造成猪身浅色部分的缺失,同时大块的阴影也易被误检为目标<sup>[23]</sup>,虽然采用 S 通道差分法在猪身的深色部分检测中仍存在一定缺失,但效果有明显改善。将灰度差分获取的前景图像、S 通道差分获取的前景图像以及帧间差分获取的前景图像相与可得到较为完整准确的前景目标。

将图像由 RGB 颜色空间转换为 HSV 颜色空间,并对 S 通道进行差分:

$$\begin{cases} V \leftarrow \max(R, G, B) \\ S \leftarrow \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V}, & V \neq 0, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \\ H \leftarrow \begin{cases} 60(G - B) / [V - \min(R, G, B)], & V = R \\ 120 + 60(B - R) / [V - \min(R, G, B)], & V = G \\ 240 + 60(R - G) / [V - \min(R, G, B)], & V = B \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

$$D_1(i, j) = S(i, j) - S_{bj}(i, j), \quad (2)$$

式中  $S(i, j)$  为当前帧 HSV 颜色空间 S 通道分量,  $S_{bj}(i, j)$  为背景模型 HSV 颜色空间 S 通道分量,  $D_1(i, j)$  为 S 通道分量差分结果。

将背景模型及当前帧由 RGB 空间转换为灰度空间,对灰度通道进行差分:

$$D_2(i, j) = G(i, j) - G_{bj}(i, j), \quad (3)$$

式中  $G(i, j)$  为当前帧灰度值,  $G_{bj}(i, j)$  为背景模型灰度值,  $D_2(i, j)$  为灰度通道差分结果。

帧间差分法是对猪的视频序列中相邻两帧图像进行差分,差分图通过二值化处理后就可以得到包含运动猪只的区域<sup>[24]</sup>,帧间差分公式为

$$D_3(i, j) = F_t(i, j) - F_{t-1}(i, j), \quad (4)$$

式中  $F_t(i, j)$ ,  $F_{t-1}(i, j)$  分别是  $t$  和  $t-1$  时刻的图像,  $D_3(i, j)$  为帧间差分结果。

对当前图像序列进行灰度差分、背景差分以及帧间差分后,将三者结果相与,以获取准确的前景图像,

$$D(i, j) = D_1(i, j) \& D_2(i, j) \& D_3(i, j), \quad (5)$$

式中  $D(i, j)$  是进行相与操作后得到的前景图像,如图 3(c)所示。

### 3.2 阴影检测

采用上述差分提取融合算法得到的图像既包含完整的目标区域,也包含阴影部分。所谓阴影实际上是猪身投影在背景上的图像,与背景的差别仅在于亮度不同,而色度、纹理等与背景都是一致的<sup>[25]</sup>,前人研究多将阴影部分当做背景,不再进行处理。

利用若干像素组成的纹理判断阴影,假定观测到的阴影像素强度与入射光强直接成正比,因此阴影像素是背景模型中对应像素的等比例缩放。 $D(i,j)$ 为经过差分提取融合算法获取的前景图像,对每一个像素选取其四周 $(2N+1)^2$ 的区域作为纹理模板 $T_{ij}$ 。可得 $T_{ij}(n,m)=D(i+n,j+m)$ ,计算其能量 $E_R(i,j)$ 。然后再分别计算前景目标在该区域内的能量 $E_{T_{ij}}$ 以及背景区域在该区域内的能量 $E_B(i,j)$ ,求出纹理相似度 $J_{NCC}(i,j)$ ,

$$J_{NCC}(i,j) = \frac{E_R(i,j)}{E_B(i,j)E_{T_{ij}}}, \quad (6)$$

其中

$$\begin{cases} E_R(i,j) = \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-N}^N B(i+n,j+m)T_{i,j}(n,m) \\ E_B(i,j) = \sqrt{\sum_{n=-N}^N \sum_{m=-N}^N B(i+n,j+m)^2} \\ E_{T_{i,j}} = \sqrt{\sum_{n=-N}^N \sum_{m=-N}^N T_{i,j}(n,m)^2} \end{cases}, \quad (7)$$

同时满足条件:

$$J_{NCC}(i,j) \geq L_{ncc} \& E_{T_{i,j}} < E_{B(i,j)}, \quad (8)$$

式中 $L_{ncc}$ 为纹理相似度固定阈值。当 $L_{ncc}$ 过低时,会造成前景被误判成阴影;当 $L_{ncc}$ 值过高则会导致无法检测出部分阴影区域。

根据本文方法,进一步要求在 $(2N+1)^2$ 区域内前景与背景灰度之比的标准差小于给定阈值,并且纹理相似度大于设定阈值。若某一像素值周围区域满足上述条件,则判定继续进行,否则判定终止,旨在防止颜色过暗的目标被误判为阴影。

最终的目标检测结果如图3(d)所示,即使是与猪舍背景颜色非常接近的大河乌猪,前景检测也取得了很好的效果。

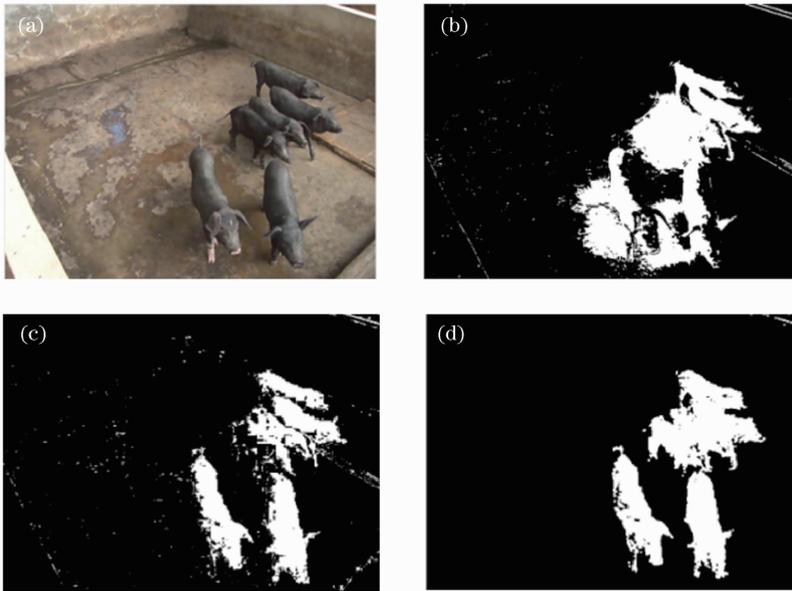


图3 目标检测结果图。(a)当前帧彩色图像;(b)传统帧差法检测出的前景图像;(c)本文算法获取的前景图像;  
(d)在图(c)基础上,经过阴影检测后的前景图像

Fig. 3 Results of target detection. (a) Color image of current frame; (b) foreground image detected by traditional frame difference; (c) foreground image detected by proposed algorithm; (d) foreground image after shadow detection based on pic. (c)

## 4 目标跟踪

生猪运动轨迹跟踪的难点在于粘连目标的分割以及目标间遮挡问题。目前常用的是均值漂移算法,可跟踪视频中尺寸不断变化的目标。基本思想是对视频图像的所有帧作均值偏移运算,并将上一帧的搜索框的中心和大小作为下一帧算法执行的搜索框的初始值,如此迭代下去。

均值漂移算法利用目标的颜色直方图模型将图像转换为颜色概率分布图,初始化一个搜索框的大小和位置,并根据上一帧得到的结果自适应调整搜索框的位置和大小,从而定位出当前图像中目标的中心位置。

### 4.1 初始化搜索框

在视频的第一帧由用户手动选定包含待跟踪目标的椭圆框作为初始的搜索框,进入下一帧,如图 4 所示。将传统跟踪方法常使用的矩形框改进为更符合生猪体态特征的椭圆框,椭圆形跟踪框标出了运动生猪所在位置,融合了生猪的初始位置以及猪身颜色信息。



图 4 手动选定初始搜索框

Fig. 4 Manually selected initial search boxes

### 4.2 计算搜索框的颜色概率分布

绘制搜索窗内的颜色直方图,并提取其直方图向量,作为目标搜索的依据。选取  $S$  通道计算直方图向量,根据搜索窗的直方图,计算当前图像的直方图反向投影[图 5(a)],即将图像中每一点的像素值替换为该值在直方图中所对应的频次。图像中与搜索窗颜色相似的区域像素值较高,该像素值越高,表明该区域为待搜索目标的可能性越大。

由于目标与背景颜色相近,导致背景中也有较大的区域具有较高的像素值。针对上述不足,对反向投影图做进一步处理,将其与当前帧的背景差分图[图 5(b)]进行与操作,

$$R(i, j) = N(i, j) \& A(i, j), \quad (9)$$

式中  $N(i, j)$  为当前帧背景差分图,  $A(i, j)$  为当前图像的直方图反向投影图,  $R(i, j)$  为更为准确的直方图反向投影图[图 5(c)],并提取直方图向量  $r(y)$ , 其中  $y$  为候选目标中心图像坐标,可计算得与目标模型的相似度  $\rho[r(y_0), q]$ ,  $q$  为目标直方图模型,

$$\begin{cases} q = \{q_u\}_{u=1 \dots m}, \quad \sum_{u=1}^m q_u = 1 \\ q_u = C_h \sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{x_i}{h}\right\|^2\right) \delta[b(x_i - u)] \end{cases} \quad (10)$$



图 5 获取准确反向投影图。(a)当前帧直方图反向投影;(b)当前帧背景差分图;(c)更准确的反向投影

Fig. 5 Get accurate back projection. (a) Histogram back projection of current frame;

(b) background subtraction map of current frame; (c) more accurate back projection

目标区域由  $n$  个像素点  $\{x_i\}$  构成,  $m$  为直方图 bin 个数, 式中  $x_i = (x_i, y_i)$  为像素点坐标,  $\delta$  为 Kronecker 函数,  $h$  为窗口的带宽矩阵, 用于限定要考虑的候选目标像素个数;  $b(x_i)$  为将像素  $x_i$  所对应的特征值映射到

相应的 bin 值的量化函数。

计算偏移向量,找到目标的下一次迭代新位置  $\hat{y}$ ,

$$\begin{cases} \hat{y} = \frac{x \sum_{i=1}^n x_i w_i g(\|\frac{y-x_i}{h}\|^2)}{\sum_{i=1}^n w_i g(\|\frac{y-x_i}{h}\|^2)} \\ w_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{q_u}{p_u(y_0)}} \delta[b(x_i) - u] \end{cases} \quad (11)$$

计算候选目标在新位置上与目标模板的相似度  $\rho[r(\hat{y}), q]$

$$\rho(y) \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{r_u(y_0) q_u} + \frac{1}{2 \sum_{i=1}^{n_h} k(\|\frac{x_i}{h}\|^2)} \sum_{i=1}^n w_i k(\|\frac{y-x_i}{h}\|^2), \quad (12)$$

$$\rho[r(\hat{y}), q] < \rho[r(y_0), q]. \quad (13)$$

当(13)式成立时,为  $\hat{y}$  赋值  $\frac{1}{2}(\hat{y} + y_0)$ ,直到  $\|\hat{y} - y_0\| < \epsilon$ ,将搜索框移动至反向投影图中像素值最高的区域,并利用本文算法根据当前的像素值分布对搜索框大小进行调整,并计算出目标的主轴方向,在图像中标记出目标的位置,完成当前帧的跟踪,进入下一帧。经过迭代,可完成接下来每一帧的跟踪,并实现生猪的连续跟踪。

## 5 实验结果与分析

利用如图 1 所示的生猪养殖计算机视觉系统,通过网络传输,可远程实时监测猪舍内生猪行为。实验采集了西山长丰养殖场内多组猪舍中生猪的运动视频。

首先随机选取育肥期金华两头乌猪舍内一段视频进行实验,视频采样率为 25 frame/s,分辨率为 592 pixel×440 pixel,该猪舍中有 6 只生猪。图 6 给出了本文算法对视频第 33 帧、第 470 帧、第 626 帧、第 705 帧和第 919 帧的跟踪结果及最终轨迹图,每帧图片左下角标注出了当前所对应帧数。

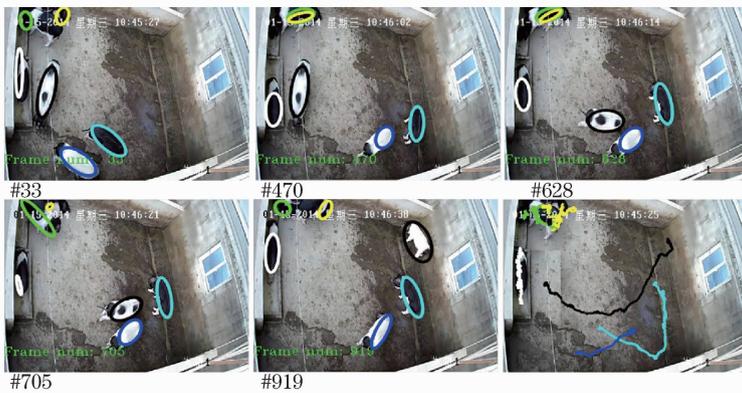


图 6 育肥期金华两头乌跟踪结果

Fig. 6 Tracking results of growing Jinhua Liangtouwu

由图 6 可知,在猪舍复杂背景下多猪跟踪效果较好,能够实现较准确的判断和跟踪,并最终给出每只猪的运动轨迹图,特殊情况如在第 470 帧图片上由于左上角两只猪之间遮挡非常严重,不能准确跟踪,当第 705 帧生猪间遮挡结束就可自动恢复准确跟踪。

为测试该系统在不同光照条件下的稳定性与准确性,采集了某孕期金华两头乌猪舍(该猪舍内有 4 只生猪)2015 年 1 月 17 日 8:00—16:00 共计 8 h 的视频(光照强度范围:80~150lx),每小时随机选取 10 min 进行跟踪测试。图 7 给出了本文算法对上述 8 段视频的跟踪效果。

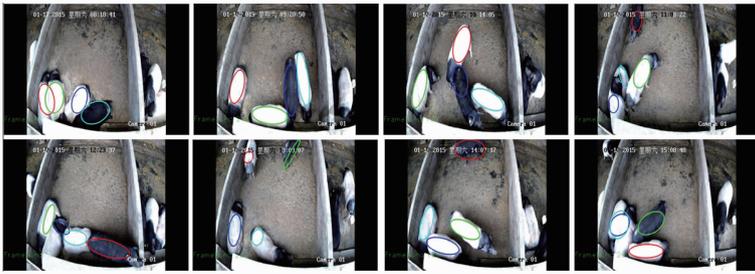


图 7 8:00—16:00 孕期金华两头乌跟踪结果

Fig. 7 Tracking results of pregnant Jinhua Liangtouwu at 8:00—16:00

由图 7 可知,全天各时段,处于不同光照条件下,系统均可实现对孕期金华两头乌的准确跟踪。

为了进一步测试系统的适应性和可移植性,在不同的环境及光照条件下中分别对另外两种不同种类和花色的生猪进行轨迹监控。图 8(a)、(b)分别给出了大约克猪和大河乌猪的跟踪效果及轨迹图,也可得到较为准确的跟踪结果。

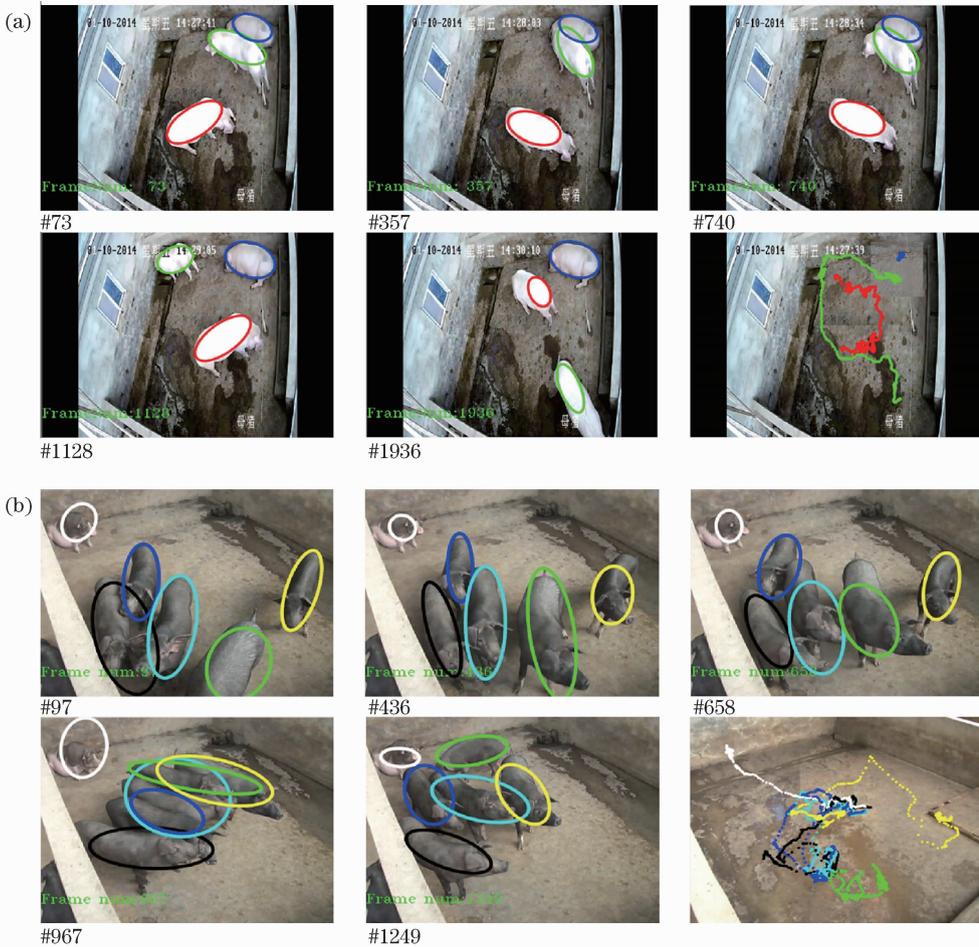


图 8 对不同品种生猪跟踪结果。(a)大约克猪;(b)大河乌猪

Fig. 8 Tracking results for different breeds of pigs. (a) Yorkshire pigs;

(b) black Dahe pigs

由图 8 可知,系统对大约克猪和大河乌猪也均可实现较为准确的跟踪,其中针对大约克猪跟踪精度更高,由于大河乌猪颜色与猪舍背景颜色更为接近,跟踪精度稍低。

表 1 给出了利用本文算法进行跟踪时的各项参数。

表 1 本文算法的各项检测参数

Table 1 Detection parameters of the proposed algorithm

Pig breeds	Number of pigs	Video's sample rate	Video's resolution	Tracking precision	Time length of tracking
Liangtouw during fattening	6	25 frame/s	592×440	89.4%	≥10 min
Liangtouw during gestation	4	25 frame/s	1280×720	86.9%	≥10 min
Yorkshire during backup period	3	25 frame/s	640×480	98.2%	≥10 min
Black pig during fattening	6	29 frame/s	640×480	84.7%	≥10 min

综上,基于本文算法,系统能够实现不同光照条件下、不同品种生猪的多目标准确跟踪,并且即使在出现严重遮挡情况时,当遮挡结束后,也可恢复准确跟踪。

## 6 结 论

生猪运动的检测是生猪行为学研究的重点之一,检测结果的好坏直接影响后续步骤,如生猪疾病预警等的分析处理,开发了一套基于计算机视觉技术的生猪多目标跟踪软件,采用差分提取融合算法进行前景检测,并利用阴影部分与背景部分的颜色差异性和纹理相似性消除阴影对前景检测的影响,得到完整的前景图像,提高了前景提取的准确度;改进均值漂移算法,利用椭圆搜索框选定目标生猪,获得其初始位置与颜色信息,修正了目标直方图模型。

实验表明,本文算法在生猪运动行为的准确跟踪方面有良好的效果,并最终给出生猪的运动轨迹。后续可通过轨迹信息提取生猪排泄、进食等信息,对生猪异常行为研究有较大应用潜力。该系统有待改进之处:为了提高遮挡严重时跟踪准确率,可进一步对跟踪窗口内目标进行分块,引入一种子块置信度机制并利用置信度最高的子块来确定目标生猪的最终位置。

## 参 考 文 献

- Xu Jianyu, Cui Shaorong, Miao Xiangwen, *et al.*. Application and prospect of computer vision technology in aquaculture [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 174-178.  
徐建瑜, 崔绍荣, 苗香雯, 等. 计算机视觉技术在水产养殖中的应用与展望[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 174-178.
- Ma Li, Ji Bin, Liu Hongshen, *et al.*. Differentiating profile based on single pig contour [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(10): 168-174.  
马丽, 纪滨, 刘宏申, 等. 单只猪轮廓图的侧视图识别[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 168-174.
- Liu Bo, Zhu Weixing, Yang Jianjun, *et al.*. Extracting of pig gait frequency feature based on depth image and pig skeleton endpoints analysis [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(10): 131-137.  
刘波, 朱伟兴, 杨建军, 等. 基于深度图像和生猪骨架端点分析的生猪步频特征提取[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 131-137.
- Liu Tonghai, Teng Guanghui, Fu Weisen, *et al.*. Extraction algorithms and applications of pig body size measurement points based on computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(2): 161-168.  
刘同海, 滕光辉, 付为森, 等. 基于机器视觉的猪体体尺测点提取算法与应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 161-168.
- Shao B, Xin H. A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 62(1): 15-21.
- Costa A, Borgonovo F, Leroy T, *et al.*. Dust concentration variation in relation to animal activity in a pig barn [J]. Biosystems Engineering, 2009, 104(1): 118-124.
- Beattie V E, Walker N, Sneddon I A. Effects of environmental enrichment on behaviour and productivity of growing pigs [J]. Animal Welfare, 1995, 4(3): 207-220.
- Cui Weiguo. Behavioral problems of environmental design in piggery [J], Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2000(zl), 77-81.  
崔卫国. 猪舍环境设计中的行为学问题浅谈[J]. 畜牧与兽医, 2000 (zl): 77-81.
- Wang Kaiying. Influence of temperature and humidity about rearing pigs physiology and production targets in piggeries [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(1): 99-102.  
汪开英. 猪舍环境温湿度对育成猪的生理及生产指标的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 99-102.
- Li Zhengbo. Automatic Behavior Analysis System of Pigs Bases on Computer Vision; China, 201410191838. 3[P]. 2014-05-08.  
李振波. 基于计算机视觉的育肥猪的自动行为分析系统及方法; 中国, 201410191838. 3[P]. 2014-05-08.
- Qiu Zhengjun. A System for Pig Identification Marks in Piggery Bases on Machine Vision; China, CN201310606328. 3[P]. 2013-11-25.  
裘正军. 基于机器视觉的猪舍内猪只标记识别方法; 中国, CN201310606328. 3[P]. 2013-11-25.
- Cheng Y. Mean shift, mode seeking, and clustering [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1995, 17(8): 790-799.
- Yang Jie, Zhang Xiang. Video Object Detection and Tracking and its Application [M]. Shanghai: Profile of Shanghai Jiao Tong University Press, 2012.

- 杨 杰, 张 翔. 视频目标检测和跟踪及其应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2012.
- 14 Liang Min, Liu Guixi. Multi-object tracking algorithm based on adaptive mixed filtering[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(9): 2554–2561.
- 梁 敏, 刘贵喜. 基于自适应混合滤波的多目标跟踪算法[J]. *光学学报*, 2010, 30(9): 2554–2561.
- 15 Zhang Xuguang, Zhang Yun, Wang Yanning, *et al.*. Covariance tracking based on forgetting factor and kalman filter[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(8): 2317–2323.
- 张旭光, 张 云, 王艳宁, 等. 基于遗忘因子与卡尔曼滤波的协方差跟踪[J]. *光学学报*, 2010, 30(8): 2317–2323.
- 16 Wang Zebing, Yang Wei, Qing Li. Target tracking based on particle swarm optimization using dynamic pyroelectric infrared sensor[J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(10): 1004001.
- 王泽兵, 杨 卫, 秦 丽. 基于粒子群算法的动态热释电目标跟踪[J]. *光学学报*, 2014, 34(10): 1004001.
- 17 Gupte S, Masoud O, Martin R F K, *et al.*. Detection and classification of vehicles[J]. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 2002, 3(1): 37–47.
- 18 McFarlane N J B, Schofield C P. Segmentation and tracking of piglets in images[J]. *Machine Vision and Applications*, 1995, 8(3): 187–193.
- 19 Lind N M, Vinther M, Hemmingsen R P, *et al.*. Validation of a digital video tracking system for recording pig locomotor behaviour[J]. *Journal of Neuroscience Methods*, 2005, 143(2): 123–132.
- 20 Zhou Yongjun, Yu Shouhua, Qu Jingying. Pig intelligent tracking based on multi-feature Camshift algorithm combined with Kalman filter [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013, 40(9): 174–177.
- 周勇钧, 俞守华, 区晶莹. 多特征 Camshift 和 Kalman 滤波结合的猪只智能跟踪[J]. *广东农业科学*, 2013, 40(9): 174–177.
- 21 Meier T, Ngan K N. Video segmentation for content-based coding[J]. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 1999, 9(8): 1190–1203.
- 22 Fan Liangzhong, Liu Ying, Yu Xinjie, *et al.*. Fish motion detecting algorithms based on computer vision technologies[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(7): 226–230.
- 范良忠, 刘 鹰, 余心杰, 等. 基于计算机视觉技术的运动鱼检测算法[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(7): 226–230.
- 23 Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, *et al.*. Detecting moving objects, ghosts, and shadows in video streams[J]. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 2003, 25(10): 1337–1342.
- 24 Yan Gang, Cui Guodong, Yu Ming. Player detection algorithm based on gaussian mixture models background modeling[J]. *Computer Simulation*, 2010 (9): 258–262.
- 阎 刚, 崔国栋, 于 明. 基于高斯混合模型的背景建模球员检测算法[J]. *计算机仿真*, 2010 (9): 258–262.
- 25 Jacques J C S, Jung C R, Raupp Musse S. Background subtraction and shadow detection in grayscale video sequences[C]. *Computer Graphics and Image Processing, 18th Brazilian Symposium on. IEEE*, 2005: 189–196.

栏目编辑: 苏 岑