

基于多特征融合的粒子滤波生猪采食行为跟踪

李亿杨¹, 孙龙清^{1*}, 孙鑫鑫^{1,2}

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 同方股份有限公司, 北京 100083)

摘要: 针对中国养猪业规模化、集约化迅猛发展过程中, 人工观察监测记录生猪生长情况需损耗大量人力和物力, 得到数据误差大的问题, 该文提出将颜色特征与目标轮廓形心特征融合, 基于粒子滤波算法实现生猪采食行为跟踪, 当目标跟踪矩形框中心坐标和跟踪目标轮廓形心坐标之间的横坐标偏差大于跟踪目标轮廓横坐标方向的最大值与最小值的差的一半时, 或其之间的纵坐标偏差大于跟踪目标轮廓纵坐标方向的最大值与最小值的差一半时, 对基于颜色特征粒子滤波算法得到的跟踪矩形框的中心坐标进行二次修正, 提高了目标生猪跟踪的可靠性和鲁棒性; 通过对比试验, 结果表明: 该方法能够对目标生猪的采食行为进行自动跟踪、记录和分析, 记录的目标生猪一天内的采食次数和采食时间与人工记录结果基本相同, 有效跟踪平均精度为 93.4%。

关键词: 采食; 跟踪; 算法; 粒子滤波; 颜色特征; 轮廓形心; 验证; 生猪

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.z1.037

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2017)-Supp.1-0246-07

李亿杨, 孙龙清, 孙鑫鑫. 基于多特征融合的粒子滤波生猪采食行为跟踪[J]. 农业工程学报, 2017, 33(增刊 1): 246-252. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.z1.037 http://www.tcsae.org

Li Yiyang, Sun Longqing, Sun Xinxin. Automatic tracking of pig feeding behavior based on particle filter with multi-feature fusion[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(Supp.1): 246-252. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.z1.037 http://www.tcsae.org

0 引言

生猪的采食行为是影响其短期内生理营养需要和活动行为的重要因素, 记录和分析生猪的采食行为, 是判断其健康与否^[1]的重要依据。在现有规模化集约化养殖模式下, 传统的人工方法存在记录数据误差大和消耗大量人力的问题。基于生猪运动特征和视频图像信息, 实现生猪采食行为活动的实时跟踪并记录生猪采食信息, 是最有效的跟踪监测方法之一。

在视频图像处理技术^[2-5]应用于动物行为分析方面, 国内外相关研究取得了许多成果^[6-9], 并将最新的动物行为学研究成果广泛应用于动物福利养殖及动物产品生产实践中^[10-12]。Viazzi S^[13]基于图像处理方法开发行为检测系统, 实现连续自动检测猪之间攻击行为; Brown-Brandl 等^[14]研究了生长育肥猪摄食行为, 将摄食行为和采食所花费的时间等信息用于管理牲畜, 识别患病动物; Costa A^[15]利用图像处理技术实时观测、记录和分析生猪的活动行为, 并对活动行为进行分类; 吴琼^[16]基于自适应背景差分法建立运动生猪检测模型, 设计了生猪检测跟踪系统, 运用于生猪的排泄次数的记录; 李振晔等^[17-18]采用自适

应背景差分法和连续三帧帧间差分法结合, 基于卡尔曼滤波模型, 完成了实时跟踪运动目标生猪。在粒子滤波跟踪技术方面, Li C 等^[19]提出一种先进的辅助 *delayed-weight* 粒子滤波算法, 深入研究粒子演化和正式定义基于观测结构粒子之间关系的树结构, 通过引导筛选、辅助粒子滤波和另一个 *delayed-weight* 粒子滤波来提高移动目标的跟踪精度; Péteri R^[20]研究了基于内在动态纹理的粒子滤波运动目标跟踪算法, 该方法速度快, 能够在纹理区分之间, 动态跟踪不同的内在运动, 克服了基于粒子滤波的颜色分布问题; Wu J 等^[21]提出一种基于自适应参数模型的粒子滤波对于非线性系统的缺陷检测和定位的方法; Kim J 等^[22]提出了自适应 Rao-Blackwellized 粒子滤波方法与高斯混合模型方法, 解决了目标跟踪过程中目标出现异常变化问题; Cho H T 等^[23]提出一种基于粒子滤波的自适应车辆噪声参数测定方法, 实现获取车辆速度和类型。Chavali 等^[24]研究了层次化粒子滤波多模态数据融合技术在多目标跟踪中的应用; 宦若虹等^[25]研究了动态背景下基于粒子滤波的运动目标跟踪。籍颖等^[26]提出基于改进的粒子滤波的农用车辆导航定位方法; 姜志伟等^[27]提出粒子滤波同化方法在 CERES-Wheat 作物模型估产中的应用方法。综上所述表明在跟踪目标与背景颜色相差突出时, 基于单一特征的粒子滤波技术能够实现目标的跟踪, 没有解决在跟踪目标的周围存在多个颜色特性及形状大小相似的个体时, 目标跟踪的可靠性和鲁棒性问题。

本文基于目标轮廓形心坐标, 将粒子滤波算法得到的跟踪目标坐标进行二次修正, 实现对目标生猪采食行

收稿日期: 2016-11-14 修订日期: 2017-01-11

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2013AA102306); “十二五”国家科技计划课题(2014BAD08B05); 山东省自主创新资助项目(2014XGA13054)

作者简介: 李亿杨, 主要研究方向为计算机图形图像处理。北京 中国农业大学信息与电气工程学院, 100083。Email: adela@cau.edu.cn

※通信作者: 孙龙清, 副教授, 硕士生导师, 主要从事农业信息化研究。北京 中国农业大学信息与电气工程学院, 100083。Email: sunlq@cau.edu.cn

为进行自动跟踪记录和分析。试验表明：与单一颜色特征的粒子滤波生猪跟踪方法相比，本文跟踪方法能有效解决部分遮挡问题，并将自动记录数据与人工记录数据进行比较，验证本文算法的有效性和跟踪精度。

1 材料与原理

1.1 粒子滤波跟踪原理

粒子滤波算法是按照一定规则，对样本粒子进行随机采样，观测采样粒子的相似度，确定样本粒子权重，利用粒子和权值来近似地表示后验概率，估计运动目标系统的状态。可将粒子滤波跟踪过程归纳总结为 4 步：粒子初始化、重要性采样、重采样和输出目标状态。

步骤 1：粒子初始化

初始时刻 $k=0$ ，随机采样 N 个粒子样本，各样本初始化权值为

$$\omega_0^i = 1/N, i=1,2,\dots,N \quad (1)$$

步骤 2：重要性采样

采样： $x_k^i \sim q(x_k^i | x_{k-1}^i, z_k)$ ，设随机粒子采样得到的 N 个粒子样本，设采样样本点为：

$$\{x_{0:k}^i, i=1,2,\dots,N\} \quad (2)$$

式中 x_k^i 表示在 k 时刻粒子 i 的状态， x_{k-1}^i 表示在 $k-1$ 时刻粒子 i 的状态， z_k 表示系统的观测值， x_k^i 表示满足 $q(x_k^i | x_{k-1}^i, z_k)$ 概率分布的样本粒子， $q(x_k^i | x_{k-1}^i, z_k)$ 是重要性采样函数， $x_{0:k}^i$ 后验概率中随机采样得到的粒子。

权值更新：

$$\omega_k^i = \omega_{k-1}^i \frac{p(z_k | x_k^i) p(x_k^i | x_{k-1}^i)}{q(x_k^i | x_{k-1}^i, z_k)} \quad (3)$$

式中 ω_k^i 表示在 k 时刻粒子 i 的权值， ω_{k-1}^i 表示在 $k-1$ 时刻粒子 i 的权值， $p(z_k | x_k^i)$ 是已知 k 时刻的先验概率分布，

$p(x_k^i | x_{k-1}^i)$ 是已知 $k-1$ 时刻的后验概率。

3) 权值归一化：权值归一化后新的 ω_k^i 为该粒子的权值 ω_k^i 与所有粒子的权值和的比值。

$$\omega_k^i = \frac{\omega_k^i}{\sum_{i=1}^N \omega_k^i} \quad (4)$$

式中等式左边 ω_k^i 为第 i 个粒子归一化后的权值，等式右边 ω_k^i 为归一化前的第 i 个粒子的权值。

步骤 3：重采样

粒子计算迭代次数增加，会出现少数粒子的权重逐渐变大，其余大多数粒子的权重变小的退化问题，迭代次数的不断增加，粒子滤波中的粒子退化现象是不可避免的^[28-30]，粒子退化现象导致粒子无法准确表示系统状态的后验概率。以式 (5) 来描述有效的粒子数：

$$N_{\text{eff}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N (\omega_k^i)^2} \quad (5)$$

式中 N_{eff} 为有效粒子数目。设 N_T 为有效样本数阈值，当 $N_{\text{eff}} < N_T$ 时，有粒子退化，需要对粒子样本进行重采样，即进行一次重要性采样。

步骤 4：输出目标状态，采样完成，计算目标状态，具体如式 (6)。

$$x_k = \sum_{i=1}^N x_k^i \omega_k^i \quad (6)$$

式中 x_k 表示在 k 时刻系统状态。

1.2 轮廓形心计算

基于目标轮廓形心的计算方法，当跟踪目标检测完成后，采用边界追踪算法完成跟踪目标生猪边界点的坐标 (x_j, y_j) ($j=1,2,3,\dots,M$) 采集，本文选择屏幕左上角为 xoy 坐标原点，水平向右为横轴 x 轴正方向，垂直向下为纵轴 y 的正方向，坐标单位为像素。形成一个封闭的跟踪目标多边形轮廓，并获取跟踪目标 x 方向、 y 方向的最大值和最小值。假定总共有 M 个坐标点，则通过式 (7) 来计算得到运动目标生猪的轮廓形心坐标 (x_c, y_c) 。

$$\begin{cases} x_c = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M x_j \\ y_c = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y_j \end{cases} \quad (7)$$

2 多特征融合粒子滤波跟踪算法实现

2.1 颜色与轮廓形心特征融合

在视频图像运动目标跟踪算法中，运动模型与目标的真实运动规律越匹配，跟踪算法的性能越好。本文将目标轮廓形心计算方法和颜色特征粒子滤波跟踪算法相结合，缩小跟踪偏移。

首先，由式 (7) 计算得到运动目标生猪的形心坐标 (x_c, y_c) 。

其次，基于颜色特征粒子滤波算法跟踪计算，得到 k 时刻目标状态： $\mathbf{X}_k = [x_k, y_k, w_k, h_k, s_k]^T$ 。其中， (x_k, y_k) 为 k 时刻跟踪矩形框左上角坐标， (w_k, h_k) 为跟踪矩形框的宽度和高度， s_k 为颜色特征。

根据目标状态 \mathbf{X}_k ，由式 (8) 计算得到跟踪矩形框中心坐标 (x_i, y_i) 。

$$\begin{cases} x_i = x_k + \frac{1}{2} w_k \\ y_i = y_k + \frac{1}{2} h_k \end{cases} \quad (8)$$

式中 (x_k, y_k) 为 k 时刻跟踪矩形框左上角坐标。最后，在得到基于颜色特征的目标跟踪矩形框中心位置后，与根据式 (7) 计算得到的目标生猪轮廓形心坐标 (x_c, y_c) 相结合。通过比较跟踪矩形框中心坐标 (x_i, y_i) 和轮廓形心坐

标 (x_c, y_c) 之间的位移量, 来判断是否对跟踪矩形框中心坐标进行更新。用式(9)来判断是否对中心坐标进行更新。

$$\begin{cases} |x_c - x_i| > \frac{1}{2}w^* \\ |y_c - y_i| > \frac{1}{2}h^* \end{cases} \quad (9)$$

式中 w^* 为目标生猪 x 方向的最大值与最小值的差; h^* 为目标生猪 y 方向的最大值与最小值的差。如果2个坐标点之间的位移量满足式(9)2个条件中任意一个, 则重新计算跟踪矩形框中心坐标, 更新坐标值由式(10)计算得到。

$$\begin{cases} x'_i = x_i + \frac{1}{2}|x_i - x_c| \\ y'_i = y_i + \frac{1}{2}|y_i - y_c| \end{cases} \quad (10)$$

式中 (x'_i, y'_i) 是修正后的跟踪矩形框中心坐标, (x_i, y_i) 为修正前的跟踪矩形框中心坐标。

2.2 算法跟踪实现

基于跟踪目标轮廓形心与颜色特征相结合的粒子滤波跟踪算法具体步骤归纳如下。

步骤1: 采集一帧图像, 第一帧手动选择目标位置;

步骤2: 根据跟踪目标计算基于颜色特征的目标跟踪矩形框中心坐标; 1) 根据章节1.1中粒子滤波原理步骤1, 随机采样 N 个粒子, 初始权值为: $\omega_0^i = 1/N, i = 1, 2, \dots, N$; 2) 计算跟踪区域内粒子的颜色特征值; 3) 基于颜色特征进行粒子重要性采样; 4) 判断是否需要粒子样本的重采样; 5) 输出估计目标状态, 得到跟踪矩形框左上角坐标; 6) 对得到的跟踪矩形框左上角坐标利用式(8)计算得到跟踪矩形框中心坐标;

步骤3: 根据轮廓形心计算公式, 计算目标生猪轮廓

形心坐标;

步骤4: 基于轮廓形心坐标修正跟踪目标位置坐标;

1) 通过跟踪矩形框左上角坐标计算出目标跟踪矩形框中心坐标; 2) 得到的坐标不满足式(9), 则转至步骤5, 否则, 根据目标轮廓形心坐标值, 更新跟踪矩形框中心坐标;

步骤5: 输出跟踪矩形框, 实现跟踪。

3 试验结果与分析

3.1 试验场地及视频图像采集

本试验的生猪养殖场选取在北京市南口镇中国农业科学院饲料研究所试验基地生猪养殖场内, 生猪自由采食。采用大华视频采集设备, 选取适当的视频摄像头安装位置, 实现一个摄像头能够覆盖一个生猪养殖栏, 对生猪进行一天24h完整视频记录, 并以视频文件形式保存。本文的试验运动目标跟踪系统, 在Visual studio 2010开发环境下, 基于OpenCV库和GSL科学计算函数库开发。

3.2 初始粒子样本数目确定

为达到最佳跟踪效果首先要确定初始粒子样本的数目。采用的初始粒子数目越多, 跟踪目标越不易丢失, 跟踪的鲁棒性增加, 同时计算量增加, 实时性越差; 采用的初始粒子数目越少, 跟踪目标越容易丢失, 跟踪的鲁棒性下降, 同时计算量减少, 实时性越好。为了保证跟踪的实时性和鲁棒性, 本文采用对比试验确定最佳的初始粒子数。对采集的视频文件进行处理试验, 系统对初始粒子数目分别为100、150、200、250、300和400个6组不同粒子数目进行跟踪测试, 分别记录程序运行0~10、0~15、0~20、0~25、0~30s时, 处理视频流的帧数, 如表1所示。从表1看出, 在初始化粒子数目为250个情况下, 与视频播放正常播放速度(24帧/s)基本保持一致, 选取250个粒子数作为跟踪初始化粒子数, 是最佳跟踪效果。

表1 不同粒子数目不同时间内处理的视频帧数及帧频

Table 1 Video frames and frame frequency with different particle number within different time processing

初始粒子数目 Initial particles number	0~10 s		0~15 s		0~20 s		0~25 s		0~30 s		平均帧频 Average frame frequency/ (帧·s ⁻¹)
	帧数 Frames	帧频 Frame frequency/ (帧·s ⁻¹)	帧数 Frames	帧频 Frame frequency/ (帧·s ⁻¹)	帧数 Frames	帧频 Frame frequency/ (帧·s ⁻¹)	帧数 Frames	帧频 Frame frequency/ (帧·s ⁻¹)	帧数 Frames	帧频 Frame frequency/ (帧·s ⁻¹)	
100	456	45.6	532	35.4	792	39.6	912	36.4	1 080	36.0	38.2
150	336	33.6	504	33.6	648	32.4	816	32.6	984	32.8	32.4
200	288	28.8	408	27.2	576	28.8	720	28.8	888	29.6	26.0
250	240	24.0	360	24.0	504	25.2	600	24.0	720	24.0	24.2
300	216	21.6	312	20.8	384	19.2	480	19.2	624	20.8	19.9
400	168	16.8	240	16.0	312	15.6	384	15.3	480	16.0	15.6

3.3 跟踪目标轮廓提取

图1a为能够提取到跟踪目标生猪完整轮廓时的状态。当目标生猪轮廓提取不完整时, 以提取到的目标生猪自身轮廓、目标生猪与遮挡物的分界线构成一个封闭的图形, 以此图形形心坐标替代跟踪目标生猪的轮廓(图1b)。

3.4 目标生猪跟踪结果

跟踪矩形框中心和轮廓形心坐标示意图如图2所示(坐标单位为像素)。对2014年8月12日, 08:38:26—08:38:44时间段的视频。对6#生猪基于颜色特征粒子滤波算法目标生猪跟踪效果(图3)与基于多特征融合的粒

子滤波算法目标生猪跟踪的结果（图 4），以及跟踪过程中目标形心、跟踪矩形框中心坐标变化和修正坐标（表 2）进行比较分析。

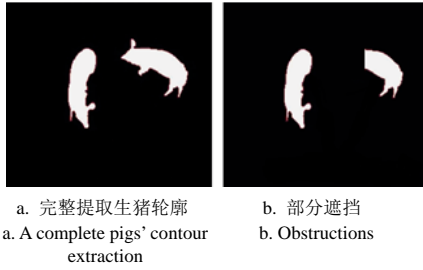


图 1 提取生猪轮廓
Fig.1 To extract contour of pigs

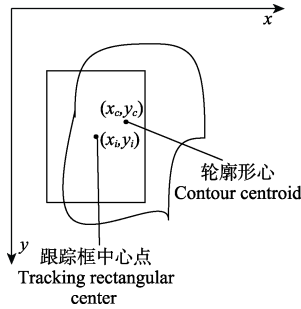
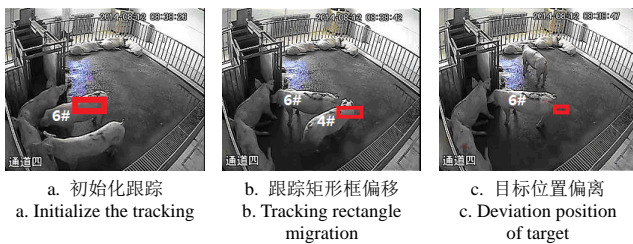


图 2 跟踪矩形框中心和轮廓形心坐标示意图
Fig.2 Tracking rectangular center and contour centroid coordinate diagram



注：图中左上角为 xoy 坐标原点，水平方向为 x 轴，垂直向下为 y 轴；矩形框为目标跟踪框。下同。
Note: Point in figure top-left is as origin of coordinate xoy with horizontal direction as x axis, vertical direction as y axis; Rectangular box is for target tracking. The same as below.

图 3 基于颜色特征的粒子滤波算法目标生猪跟踪效果
Fig.3 Target pig tracking effect with particle filter algorithm based on color features

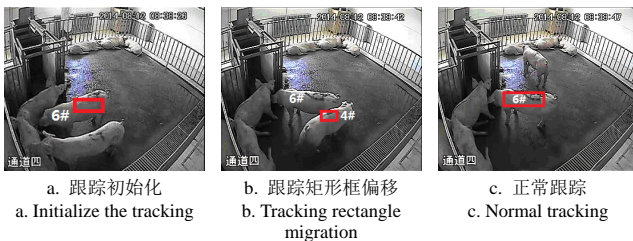


图 4 多特征融合的粒子滤波算法目标生猪跟踪效果
Fig.4 Target pig tracking effect with particle filter algorithm based on multi-features fusion

图 3 和图 4 都是对 6# 生猪进行跟踪截图。图 3a 和图 4a 都是对 6# 生猪进行初始化跟踪，图 3b 和图 4b 是在 08:38:42 时刻由于 4# 生猪朝向 6# 生猪方向运动，跟踪矩形框发生偏移，此时图 3c 中跟踪目标偏离。从表 2 查询

图 4b 中 6# 生猪当前跟踪矩形框中心坐标为 (981,708)，目标生猪形心坐标为 (722,518)，导致跟踪目标坐标偏移。图 4c 中系统根据本文式 (9) 判定需要对跟踪目标坐标进行修正，根据式 (10) 计算修正坐标的值，将跟踪矩形框中心坐标修正为 (851,613)，缩小跟踪矩形框的偏移（如表 2），图 4c 显示正确跟踪 6# 生猪。本文实现轮廓形心和颜色特征相结合的多特征融合粒子滤波目标跟踪，提高了基于粒子滤波跟踪目标生猪算法的鲁棒性。

表 2 2014-08-12，多特征融合的粒子滤波算法下 6# 生猪坐标修正

Table 2 Revised 6 # pig's coordinates by particle filter algorithm based on multi-features fusion, 2014-08-12

跟踪时间 Tracking time	跟踪矩形框中心坐标 Coordinates of rectangular center	目标形心坐标 Centroid coordinates of target	偏差 Deviation	修正坐标 Revised coordinates
08:38:26	(684,509)	(868,569)	(184,60)	(776,539)
08:38:28	(703,517)	(873,736)	(170,219)	(788,618)
08:38:30	(682,509)	(723,520)	(41,11)	无需修正
08:38:32	(696,516)	(739,568)	(43,52)	无需修正
08:38:34	(767,529)	(867,723)	(100,194)	(817,626)
08:38:36	(760,529)	(819,617)	(59,88)	无需修正
08:38:38	(619,510)	(717,731)	(26,221)	(632,620)
08:38:40	(706,523)	(743,544)	(37,21)	无需修正
08:38:42	(722,518)	(981,708)	(259,210)	(851,613)
08:38:44	(755,556)	(898,735)	(143,179)	(826,645)

图 5 为跟踪目标生猪被部分遮挡物时的跟踪状态，可以看出，当目标生猪被部分遮挡时，基于多特征融合的粒子滤波算法也能较好地跟踪目标生猪。

3.5 应用于生猪采食次数统计

在自由采食条件下，利用多特征融合粒子滤波跟踪算法对目标生猪在一天中的采食次数进行统计。根据研究^[31-32]，生猪单次采食 5 min 以内的频率高达 55.00%，单次采食 10 min 以内的频率为 82.92%。本系统将生猪在采食台平均单次停留时间为 5 min 以上，确定为一次成功采食。在图 3、图 4 中可以看到，该生猪养殖基地的猪舍安装专业的采食设备，一次仅容一头生猪进入，且只能站立饮食。据观察，由于自身体重、采食设备空间狭小、其它生猪的干扰等多种因素影响，生猪在采食结束后或不采食进入采食台后，会很快离开，可以排除长时间占有采食台而不采食和在采食台躺卧的可能性。图 6 为生猪在采食台采食时的跟踪效果图。当目标生猪进入采食台时，跟踪矩形框继续跟踪目标生猪，并开始计时，当从采食台退出时停止计时。

由表 3 和表 4 人工统计得到生猪实际采食次数，2014-08-12 期间 1# ~ 8# 生猪实际采食次数分为 4、5、4、5、5、5、5、5 次，共计 38 次。2014-09-09 期间 1# ~ 8# 生猪实际采食次数分别为 5、5、5、5、5、4、4、4 次，共计 37 次。



图5 目标生猪被遮挡
Fig.5 Target pig obscured



图6 在采食台跟踪生猪
Fig.6 Tracking the pig in feeding area

表3 1#~8#生猪在 2014-08-12 实际采食时间

Table 3 1# - 8# pigs' actual feeding time on 2014-08-12

生猪编号 Pigs	第一次饮食 1 st feeding	第二次饮食 2 nd feeding	第三次饮食 3 rd feeding	第四次饮食 4 th feeding	第五次饮食 5 th feeding
1#	05:53:18	10:50:30	13:59:20	16:10:22	
2#	01:12:53	06:03:33	09:41:01	15:41:30	21:04:50
3#	07:23:00	11:44:20	15:13:00	18:31:10	
4#	03:15:00	10:39:40	15:24:30	18:04:10	21:04:50
5#	06:32:54	07:40:00	12:01:40	13:58:00	23:31:10
6#	07:05:22	08:19:00	13:02:00	15:51:10	23:24:19
7#	05:49:00	08:06:40	13:50:10	16:36:00	17:54:50
8#	00:59:55	03:30:52	15:00:58	16:49:28	18:12:45

表4 1#~8#生猪在 2014-09-09 实际采食时间

Table 4 1#~8#pigs' actual feeding time on 2014-09-09

生猪编号 Pigs	第一次饮食 1 st feeding	第二次饮食 2 nd feeding	第三次饮食 3 rd feeding	第四次饮食 4 th feeding	第五次饮食 5 th feeding
1#	03:42:10	07:13:00	09:45:16	11:50:00	17:10:17
2#	07:48:20	13:19:20	15:24:30	16:32:22	23:29:20
3#	01:01:49	06:56:13	09:09:22	13:51:40	22:08:48
4#	00:55:00	06:22:32	11:20:30	16:59:00	23:14:55
5#	00:31:55	07:08:01	10:12:10	15:51:00	18:17:30
6#	07:17:00	14:52:05	18:50:40	22:20:42	
7#	03:32:00	10:22:30	15:11:34	17:56:33	
8#	03:51:55	06:46:36	14:10:10	17:33:45	

表5 为人工记录和本文算法跟踪生猪采食次数统计表, 由表5数据可知, 2014-08-12 生猪实际采食次数 38 次, 本文算法跟踪采食次数 35 次, 有效跟踪精准度 92.1%, 同理得到 2014-09-09 期间采食精度 94.6%, 平均统计得到有效跟踪精度为 93.4%。

表5 生猪采食次数统计表

Table 5 Pigs' feeding frequency statistics

生猪编号 Pigs	2014-08-12		2014-09-09	
	实际次数 Times of manual statistics	跟踪次数 Tracking times	实际次数 Times of manual statistics	跟踪次数 Tracking times
1#	4	3	5	4
2#	5	4	5	5
3#	4	5	5	4
4#	5	4	5	5
5#	5	6	5	5
6#	5	4	4	4
7#	5	4	4	4
8#	5	5	4	4
总次数 Total times	38	35	37	35

4 结论

本文构建了基于粒子滤波算法的目标生猪跟踪系统, 实现了多特征融合粒子滤波跟踪算法对生猪采食行为的跟踪。主要结论如下: 1) 将颜色特征与目标轮廓形心特征融合, 基于目标轮廓形心坐标, 对粒子滤波算法得到的目标跟踪矩形框中心坐标进行二次修订, 提高了目标生猪跟踪的可靠性和鲁棒性; 2) 试验结果表明, 该算法能够准确、有效、连续地对目标生猪的采食行为进行自动跟踪记录和分析, 平均统计得到有效跟踪精度为 93.4%。

[参考文献]

- [1] 朱伟兴, 浦雪峰, 李新城, 等. 基于行为监测的疑似病猪自动化识别系统[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 188-192.
Zhu Weixing, Pu Xuefeng, Li Xincheng, et al. Automatic identification system of pigs with suspected case based on behavior monitoring[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(1): 188-192. (in Chinese with English abstract)
- [2] Wang Y, Yang W, Walker L, et al. Enhancing the accuracy of area extraction in machine vision-based pig weighing through edge detection[J]. Int J Agric & Biol Eng, 2008, 1(1): 37-42.
- [3] Zhao K X, He D J. Target detection method for moving cows based on background subtraction[J]. Int J Agric & Biol Eng, 2015, 8(1): 42-49.
- [4] Porto S, Arcidiacono C, Anguzza U, et al. A computer vision-based system for the automatic detection of lying behaviour of dairy cows in free-stall barns[J]. Biosystems Engineering, 2013, 115(2): 184-194.
- [5] Mendes E D M, Carstens G E, Tedeschi L O, et al. Validation of a system for monitoring feeding behavior in beef cattle[J]. Journal of Animal Science, 2011, 89(9): 2904-2910.
- [6] Pluk A, Bahr C, Poursaberi A, et al. Automatic measurement of touch and release angles of the fetlock joint for lameness detection in dairy cattle using vision techniques[J]. Journal of Dairy Science, 2012, 95(4): 1738-1748.
- [7] Poursaberi A, Bahr C, Pluk A, et al. Real-time automatic lameness detection based on back posture extraction in dairy cattle: Shape analysis of cow with image processing techniques[J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2010, 74(1): 110-119.
- [8] Pluk A, Bahr C, Leroy T, et al. Evaluation of step overlap as an automatic measure in dairy cow locomotion[J]. Transactions of the ASABE, 2010, 53(4): 1305-1312.
- [9] Oczak M, Berckmans D, Vranken E, et al. Analysis of aggressive behaviours of pigs by automatic video recordings[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 99: 209-217.

- [10] 刘波, 朱伟兴, 霍冠英. 生猪轮廓红外与光学图像的融合算法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(17): 113—120.
Liu Bo, Zhu Weixing, Huo Guanying. An image fusion algorithm of infrared thermal and optical images for pig contour[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(17): 113—120. (in Chinese with English abstract)
- [11] 赵凯旋, 何东健. 基于卷积神经网络的奶牛个体身份识别方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 181—187.
Zhao Kaixuan, He Dongjian. Recognition of individual dairy cattle based on convolutional neural networks[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(5): 181—187. (in Chinese with English abstract)
- [12] 齐琳, 包军, 李剑虹. 动物行为学研究在动物福利养殖中的应用[J]. 中国动物检疫, 2009, 26(9): 68—69.
- [13] Viazzi S. Image feature extraction for classification of aggressive interactions among pigs[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 104(2): 57—62.
- [14] Brown-Brandl T M, Rohrer G A, Eigenberg R A. Analysis of feeding behavior of group housed growing-finishing pigs[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 99(6): 209—217.
- [15] Costa A. The use of image analysis as a new approach to assess behaviour classification in a pig barn[J]. Acta Veterinaria Brno, 2013, 82(1): 25—30.
- [16] 吴琼. 基于机器视觉的生猪行为检测跟踪技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2012.
Wu Qiong. Detection and Tracking Technology Research of Pig Behavior Based on Machine Vision[D]. Beijing: China Agricultural University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李振晔. 运动目标检测跟踪技术在生猪行为监测中的应用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2013.
Li Zhenye. Study on Moving Object Detection and Tracking Technology in the Application of Pig Behavior Monitoring[D]. Beijing: China Agricultural University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [18] Sun L, Li Z, Duan Q, et al. Automatic monitoring of pig excretory behavior based on motion feature[J]. Sensor Letters, 2014, 12(3): 673—677.
- [19] Li C, Sun L, Zheng Z, et al. An advanced auxiliary delay-weight particle filter with linear computation cost[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2016, 2016(4): 1—11.
- [20] Péteri R. Tracking dynamic textures using a particle filter driven by intrinsic motion information[J]. Machine Vision and Applications, 2011, 22(5): 781—789.
- [21] Wu J, Song S, An W, et al. Defect detection and localization of nonlinear system based on particle filter with an adaptive parametric model[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2015, 2015(6): 1—12.
- [22] Kim J, Lin Z, Kweon I S. Rao-Blackwellized particle filtering with Gaussian mixture models for robust visual tracking [J]. Computer Vision & Image Understanding, 2014, 125: 128—137.
- [23] Cho H T, Mun S. Adaptive noise parameter determination based on a particle filter algorithm[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2016(4): 1—7.
- [24] Chavali P, Nehorai A. Hierarchical particle filtering for multi-modal data fusion with application to multiple-target tracking[J]. Signal Processing, 2014, 97(7): 207—220.
- [25] 宦若虹, 王浙沪, 唐晓梅, 等. 动态背景下基于粒子滤波的运动目标跟踪方法[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(5): 109—111.
Huan Ruohong, Wang Zhehu, Tang Xiaomei, et al. Moving target tracking method based on particle filter in a dynamic background[J]. Computer Applications and Software, 2011, 28(5): 109—111. (in Chinese with English abstract)
- [26] 籍颖, 张漫, 刘刚, 等. 基于改进粒子滤波的农用车导航定位方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 227—231.
Ji Ying, Zhang Man, Liu Gang, et al. Positioning method of vehicle navigation system based on improved particle filter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(8): 227—231. (in Chinese with English abstract)
- [27] 姜志伟, 陈仲新, 任建强, 等. 粒子滤波同化方法在 CERES-Wheat 作物模型估产中的应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 138—146.
Jiang Zhiwei, Chen Zhongxin, Ren Jianqiang, et al. Estimation of crop yield using CERES-Wheat model based on particle filter data assimilation method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(14): 138—146. (in Chinese with English abstract)
- [28] Li T, Sattar T, Sun S. Deterministic resampling: Unbiased sampling to avoid impoverishment in particle filters[J]. Signal Processing, 2012, 92(7): 1637—1645.
- [29] Zhong J, Fung Y. Case study and proofs of ant colony optimization improved particle filter algorithm[J]. IET Control and Applications, 2012, 6(5): 689—697.
- [30] Fu X, Jia Y. An improvement on resampling algorithm of particle filters[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2010, 58(10): 5414—5420.
- [31] 徐如海, 胡锦涛, 翁经强, 等. 猪采食规律观测[J]. 养猪, 2007(2): 18—18.
- [32] 孙华, 宋忠旭, 彭先文, 等. 肥育猪采食规律研究[J]. 养猪, 2015(6): 47—48.

Automatic tracking of pig feeding behavior based on particle filter with multi-feature fusion

Li Yiyang¹, Sun Longqing^{1*}, Sun Xinxin^{1,2}

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing, 100083, China;

2. Tongfang Co., Ltd., Beijing, 100083, China)

Abstract: The basic behavioral characteristics of live pigs are mainly shown through daily food intake frequency, water intake frequency, and excretion frequency. These factors indicate the health states of pig growth. Monitoring and analyzing the behavioral characteristics of pigs are important basis to understand their health situations. Currently, we mainly use artificial way to monitor livestock behavior in China. This method consumes large amounts of human labor and energy, and the observed data obtained in this way is subjective. It is difficult to ensure the accuracy and the continuity of the records. We take good advantage of pig detection and tracking technology based on machine vision to monitor the behavior of pigs to evaluate the health status of pigs in time, and to reduce the morbidity and mortality of pigs and increase the slaughtering rate of pigs. It has important practical significance and application value in improving people's confidence in pork quality and increasing the income of farmers. Target tracking technology is the basis of the moving target identification and abnormal behavior tracking, recording and analysis. We research the real-time monitoring of the target pigs foraging based on the particle filter target tracking technology. Particle filter algorithm closely approximates Bayesian filtering algorithm based on Monte Carlo simulation, and it is used in target tracking widely. Conceptually, a particle filter tracker maintains a probability distribution over the state (location, scale, and so on) of the object being tracked. Particle filters represent this distribution as a set of weighted samples, or particles. Each particle represents a possible instantiation of the state of the object. In other words, each particle is a guess representing one possible location of the object being tracked. The set of particles contain more weight at locations where the object being tracked is more likely to be. This weighted distribution is propagated through time using a set of equations known as the Bayesian filtering equations, and we can determine the trajectory of the tracked object by the particle with the highest weight or the weighted mean of the particle set at each time step. In view of the pig behavior characteristics and the actual situation of the farms' video image acquisition, this paper takes a group of pigs raised as detection tracking target. On the basis of analyzing and summarizing in particle filter tracking algorithm, we carried out particle filter target tracking technology for pigs which is based on the color characteristics to achieve the goal of tracking pigs. In order to solve the problems in the color characteristics of particle filter target tracking for pigs, we fused the color characteristics and the target contour centroid feature. The specific methods were as follows: First of all, according to the particle filter tracking algorithm based on single color feature of target tracking on the position of the rectangle coordinates, and the height and width of the target tracking rectangular box, we calculated the center of the target tracking rectangle coordinates. Secondly, we determined the centroid position of moving pigs on the basis of the comparison and analysis of moving target centroid position and the minimum circumscribed rectangle length-width ratio. Finally, according to the target contour centroid location and the center of the tracking target rectangle coordinates, we calculated the amount of deviation between them. When the deviation of target contour centroid and tracking rectangular box was too large, we took a second correction for tracking the target coordinates based on the particle filter algorithm with multi-feature fusion. The improved algorithm presented in this paper updated the tracking rectangular coordinates through the target contour centroid coordinates, and gave the new tracking rectangular box. This paper constructs the target pig tracking system based on particle filter algorithm, achieves a multi-feature fusion particle filter tracking algorithm through area real-time monitoring, and completes the statistics of the target pig's feeding time and food intake frequency. Experiment results prove that this algorithm can automatically accurately track, record and analyze the feeding behaviour of the target pigs, and effectively deal with the problems such as target short-time missing. The feeding frequency and time of the target pigs are almost the same as the manual statistics.

Keywords: feeding; tracking; algorithms; particle filter; color feature; contour centroid; verification; pig