

基于色差信息多色彩模型的黄羽鸡快速分割方法

毕敏娜¹ 张铁民^{1,2} 庄晓霖¹ 杨秀丽¹ 梁莉¹ 焦培荣³

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 国家生猪种业工程技术研究中心, 广州 510642;
3. 华南农业大学兽医学院, 广州 510642)

摘要: 快速准确分割出复杂背景下的鸡只图像,是应用机器视觉系统快速识别实际饲养环境下病鸡的关键步骤。以某鸡舍散养的黄羽肉鸡为分割目标,提出了一种基于色差信息的多色彩模型鸡只分割方法。首先对200幅自然环境下拍摄的图像在常用的色彩模型下,分析了鸡冠、鸡身羽毛、鸡肚羽毛以及背景的颜色特征,利用背景在RGB色彩模型的R、G、B三分量色差信息特征进行一次分割,去除大部分的背景,然后转换到HSV色彩模型,获取黄羽鸡不同部位的H分量阈值,再由H阈值范围提取鸡身、鸡冠实现二次分割,最终得到分割目标。实验结果表明所提方法实际分割正确率为86.3%,优于L*a*b*色彩模型聚类的78.4%。所提方法复杂度小,运算时间短,适用于实时分割场合。

关键词: 黄羽鸡; 色彩模型; 色差信息; 机器视觉; 图像分割

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)12-0293-06

Fast Segmentation Method of Yellow Feather Chicken Based on Difference of Color Information in Different Color Models

Bi Minna¹ Zhang Tiemin^{1,2} Zhuang Xiaolin¹ Yang Xiuli¹ Liang Li¹ Jiao Peirong³

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China
2. National Pig Seed Engineering Technology Research Center, Guangzhou 510642, China
3. College of Veterinary Medicine, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The first step to identify the sick chicken in the farms by machine vision system is segment of object from images fast and correctly. However, it is a challenge to extract the chicken from pictures because of the complex background. A segmentation method based on the difference of three components of RGB model and HSV model was presented to extract yellow feather broilers from the image. Totally 200 images were taken under the natural environment by using digital cameras and iPhone 6. Totally 30 images were selected from 200 images to setup pixels data sets for the color components analysis. Background and feather data sets included 10 sample areas in each selected image. Each sample area had 10×10 pixels. Comb data sets had three sample areas of each selected image and included 5×5 pixels for each sample area. All data sets were analyzed in the different color models, such as RGB, HSV, L*a*b*. It was found that the value of R, G, B components of the background and the chicken belly was nearly the same or very close while the average value was different. This characteristic was used to abandon the background pixels in the RGB model. Then the remaining part of the image was converted to the HSV color model. The research obtained H component threshold for comb and feather by statistics data sets, respectively. Totally 102 images were processed in the experiment. The result showed that segmentation accuracy of yellow feather broilers from images using the proposed method was 86.3%, which was better than that of L*a*b* color model (78.4%). This method was simple with short calculation time and was suitable for real-time segmentation.

Key words: yellow feather chicken; color model; color difference information; computer vision; image segmentation

收稿日期: 2016-08-03 修回日期: 2016-09-19
基金项目: 国家自然科学基金项目(51177053)、广东省省级科技计划项目(2014A050503061)和国际科技合作领域项目
作者简介: 毕敏娜(1980—),女,博士生,主要从事农业机器视觉研究,E-mail: biminna@scau.edu.cn
通信作者: 张铁民(1961—),男,教授,博士生导师,主要从事智能检测与控制、农业航空应用和机器人技术研究, E-mail: tm-zhang@163.com

引言

肉鸡产业是我国畜牧业的重要组成部分。然而近年来,我国家禽养殖业时常受到疫病的侵袭。现有的病鸡检测仍以人工为主,通过肉眼逐个查看鸡冠、翅膀、羽毛、行为体征状态来判断养殖鸡是否健康。人工检测效率低,依赖经验容易出现漏检误检,无法满足肉鸡养殖规模扩大和养殖密度增加的现状^[1]。随着计算机和图像处理技术的发展,过去主要依靠人的视觉进行辨别和判断的工作,可以由机器视觉技术部分或全部替代,从而提高生产效率,降低人的劳动强度^[2]。国外学者已开展基于机器视觉系统的禽畜行为研究^[3-8]、预测肉类产量^[9-12]等。目前国内基于机器视觉的动物行为研究还处于起始阶段^[13-16],由于其系统廉价、安装扩容简易、实时客观、非入侵性的优点已成为新的研究方向。

我国近几年开始将视觉识别技术应用于家禽健康识别。陆晨芳^[17]在不同时间段提取同一只鸡的鸡冠,通过判断是否存在静止的冠部特征来判断鸡的健康状况;而后利用鸡只轮廓提取和支持向量机(SVM)检测死鸡,识别成功率在 85% 以上;彭彦松^[18]提出一种先提取肉鸡轮廓,再基于支持向量机 SVM 判断肉鸡腹水综合症的检测方法;又利用鸡冠中心点是否变动初步判断死鸡,再提取鸡冠 5 个特征向量样本数据,应用支持向量机判断是否存在死鸡;李亚硕等^[1]截取视频图像,在 $L^*a^*b^*$ 色彩模型提取鸡只鸡冠,根据鸡冠颜色识别鸡只是否患病;李腾飞^[19]提出一种基于 $L^*a^*b^*$ 颜色空间的 b^* 分量的图像分割方法获取鸡只脚部图像,以连通区域标定对鸡只脚部个数进行有无病死鸡判断。

病鸡的外观主要表现有鸡冠发白或发绀、眼睑肿胀、鸡脚出血、腹部肿胀等症状,且常伴有精神沉郁、羽毛蓬松、缩脖子、活动明显减少、蹲伏等行为。通过图像识别复杂环境下的病鸡,必须获取包含头部特征、鸡脚特征、羽毛特征、姿态等完整的鸡只图像。而鸡只行为研究^[3-5,7]大部分将摄像器材安装在鸡舍或鸡笼顶部,垂直拍摄获取鸡只俯视图,难获取鸡只的各个具体部位。现有病鸡死鸡的图像识别多是鸡冠、鸡脚等单个部位提取,局限于单个特征

的病鸡死鸡。本文以某鸡舍多角度获取的散养黄羽肉鸡图像为例,提出一种基于色差信息的多色彩模型鸡只分割方法。利用 RGB 色彩模型中色差信息对黄羽肉鸡图像的背景进行一次分割,然后将去除背景的图像转换到 HSV 色彩模型,根据 H 分量阈值进行二次分割,从而得到完整的鸡只图像,最后与 $L^*a^*b^*$ 颜色模型聚类算法^[20]进行对比。

1 图像采集与色彩模型分析

1.1 图像采集

实际散养下的黄羽肉鸡图像受光照影响,分割算法必须适用于不同光照的图像。有别于农作物、水果等静物,黄羽鸡因运动姿态各异,算法也必须能够将各种姿态的目标对象分割出来。病鸡的识别是通过鸡冠、翅膀、羽毛、行为、体征状态等特征综合判断,因此必须将黄羽鸡从图像中完整分割出来。本文对环境光照不一、各种姿态的黄羽鸡图像分别进行了采集。图像采集所采用的数码相机型号为 SONY A7s,智能手机为 iPhone 6,最大分辨率为: 2 448 像素×3 264 像素;图像采集地点为华南地区某一黄羽肉鸡散养场,时间是 2016 年 3 月上旬某日 10:00 及 14:00(天气晴朗、光线充足),共采集 200 幅彩色黄羽肉鸡图像,图像格式以 RGB 存储,图像大小统一为 480 像素×640 像素。

1.2 色彩模型分析

彩色图像处理算法的关键是确定合适的颜色模型。目前常用的色彩模型有 RGB、HSV、 $L^*a^*b^*$ 、YIQ、YCbCr 等。RGB 颜色模型适用于图像的颜色显示,但 RGB 模型的 3 个分量具有高度相关性。HSV 模型的色彩信息与亮度无关,其色度和饱和度与人眼对颜色的感知相关,适用于彩色图像目标的分割。给定 RGB 格式的图像,可以得到 HSV 模型的 3 个分量公式为

$$H = \begin{cases} 0^\circ & (A_{\max} = A_{\min}) \\ 60^\circ \times \frac{r - b}{A_{\max} - A_{\min}} + 0^\circ & (A_{\max} = r; g \geq b) \\ 60^\circ \times \frac{g - b}{A_{\max} - A_{\min}} + 360^\circ & (A_{\max} = r; g < b) \\ 60^\circ \times \frac{b - r}{A_{\max} - A_{\min}} + 120^\circ & (A_{\max} = g) \\ 60^\circ \times \frac{r - g}{A_{\max} - A_{\min}} + 240^\circ & (A_{\max} = b) \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \begin{cases} 0 & (A_{\max} = 0) \\ \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max}} = 1 - \frac{A_{\min}}{A_{\max}} & (A_{\max} \neq 0) \end{cases} \quad (2)$$

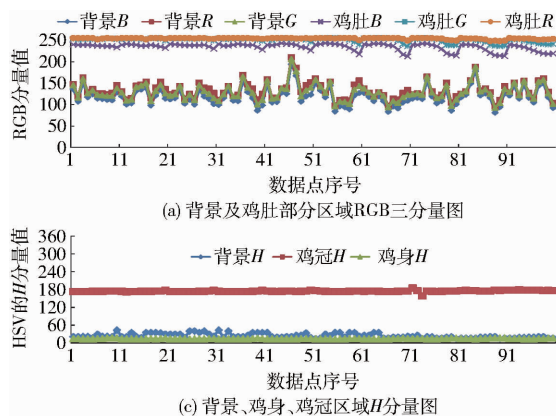
$$V = A_{\max} \quad (3)$$

其中 $r = \frac{R}{R+G+B}$ $g = \frac{G}{R+G+B}$ $b = \frac{B}{R+G+B}$

式(1)~(3)中, r 、 g 、 b 表示 RGB 图像的 3 个分量归一化后数值,其值是 0~1 之间的实数,三者中最大值用 $A_{\max}$ 表示,最小值用 $A_{\min}$ 表示。按公式得到的色调 H 值域为 $[0^\circ, 360^\circ]$,饱和度 S 和亮度 V 值域

为 $[0,1]$ 。

对实验图像观察发现,采集的图像主要由复杂的背景及土黄色的黄羽鸡组成。图像背景有刨花、麦秸、稻草、麸糠组成的垫料,呈土灰色,并混有鸡粪和散落的羽毛,还有饮水罐、饲料槽等设施。分割目标黄羽鸡的鸡冠呈鲜红色;鸡身羽毛颜色不同部位差异较大,鸡头到鸡背部分的羽毛颜色较深呈土黄色,鸡翅以下羽毛颜色较浅,鸡肚部分的羽毛颜色呈黄白色,鸡脚颜色与鸡背羽毛颜色相近。从采集的 200 幅图像中随机抽取 30 幅图像,提取背景、鸡冠、鸡身羽毛、鸡肚样本区域。由于背景、鸡身、鸡肚所占图像比例大,每幅图像中提取 10 个样本区域,每个样本为 10 像素 $\times$ 10 像素;鸡冠占图像比例小,每幅图像提取 3 个样本区域,每个样本为 5 像素 $\times$ 5 像素。由此构成黄羽鸡各部分的颜色数据集,并



在 RGB、HSV 和 $L^*a^*b^*$ 3 种色彩模型下进行色彩分量分析,经对比发现有如下特点:

(1)在 RGB 色彩模型中,背景区域、鸡肚区域每个数据点的 R 、 G 、 B 颜色值非常相近或一致,在图 1a(随机抽取 100 个数据)中表现为同一像素点的 3 个分量值重叠一起。而鸡身羽毛、鸡冠区域数据点的 3 个分量颜色值差异较大,如图 1b 所示。

(2)在 HSV 色彩模型中,鸡身区域和鸡冠区域的 H 分量稳定某一数值,而且不互相重叠,但是背景的背景的 H 分量和鸡身 H 分量有重叠区域,如图 1c 所示。HSV 的 H 分量有重叠区域,因此不能进行良好的分割。

(3)在 $L^*a^*b^*$ 色彩模型中,背景和鸡身的 a^* 、 b^* 分量数值较稳定在一个不重叠的区域,3 个分量分布特征如图 1d 所示。

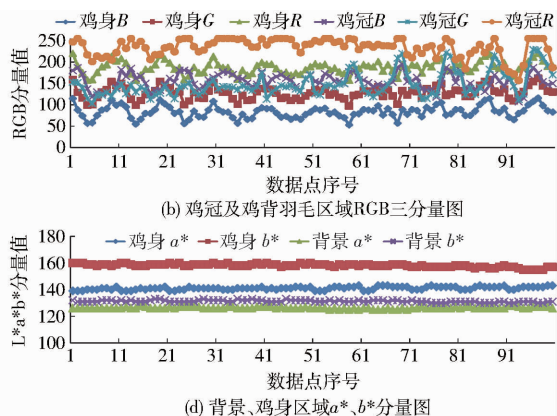


图 1 图像在不同颜色模型的分量图

Fig. 1 Diagrams of component values of image in different color models

2 基于色差信息与 HSV 色彩模型的图像分割

2.1 基于 RGB 色彩模型的色差信息一次分割

基于上述对黄羽鸡各部分在不同色彩模型分析,对 $R-G$ 、 $R-B$ 和 $B-G$ 颜色分量均值统计后选用 $R-B$ 差值进行图像分割,利用 R 、 G 、 B 三分量的色差阈值去除背景,公式为

$$I_{\text{mask1}} = \begin{cases} 0 & (|I_r - I_g| + |I_r - I_b| + |I_b - I_g| < T_1; \\ & \frac{1}{3}(I_r + I_g + I_b) < T_2) \\ 1 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中 I_{mask1} 是分割图像二值图, I_r 、 I_g 、 I_b 是原图像数据点 i 的 R 、 G 、 B 分量值, T_1 、 T_2 分别是背景数据点色差阈值、鸡肚子数据点 R 、 G 、 B 分量均值阈值。式(4)中的 T_2 可通过计算鸡肚子区域数据点的 R 、 G 、 B 三分量的平均值获取。

色差阈值 T_1 在实时分割前的计算公式为

$$T_1 = \frac{k}{K_1 K_2 d^2} \sum_{m=1}^{K_1} I_{\text{RGB}_m} \quad (5)$$

其中

$$I_{\text{RGB}_m} = \sum_{n=1}^{K_2} \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^d (|I_{\text{Area}_n}^R(i,j) - I_{\text{Area}_n}^G(i,j)| + |I_{\text{Area}_n}^R(i,j) - I_{\text{Area}_n}^B(i,j)| + |I_{\text{Area}_n}^G(i,j) - I_{\text{Area}_n}^B(i,j)|) \quad (6)$$

式(5)中 k 是大于 1 的比例系数,可通过实验调整; K_1 是图像数量; I_{RGB_m} 是第 m 幅图像所有样本区域数据点的 R 、 G 、 B 分量差值绝对值累加和; K_2 第 m 幅图像提取的样本区域个数; d 是所提取正方形样本区域的边长像素长度; $I_{\text{Area}_n}(i,j)$ 是第 n 个样本区域中的像素点 (i,j) ; $I_{\text{Area}_n}^R(i,j)$ 、 $I_{\text{Area}_n}^G(i,j)$ 、 $I_{\text{Area}_n}^B(i,j)$ 分别是样本区域像素点 (i,j) 的 R 、 G 、 B 分量值。色差阈值确定算法流程图如图 2a 所示。

2.2 HSV 色彩模型二次分割

利用色差信息一次分割后,去除了绝大部分的背景信息,将图像转换到 HSV 色彩模型,背景 H 分量不再与鸡身 H 分量重叠,可利用 H 分量将鸡身、鸡冠分割出来,去除饲料槽等其他非目标图像,得到二次分割二值图。鸡身和鸡冠的 H 分量阈值范围

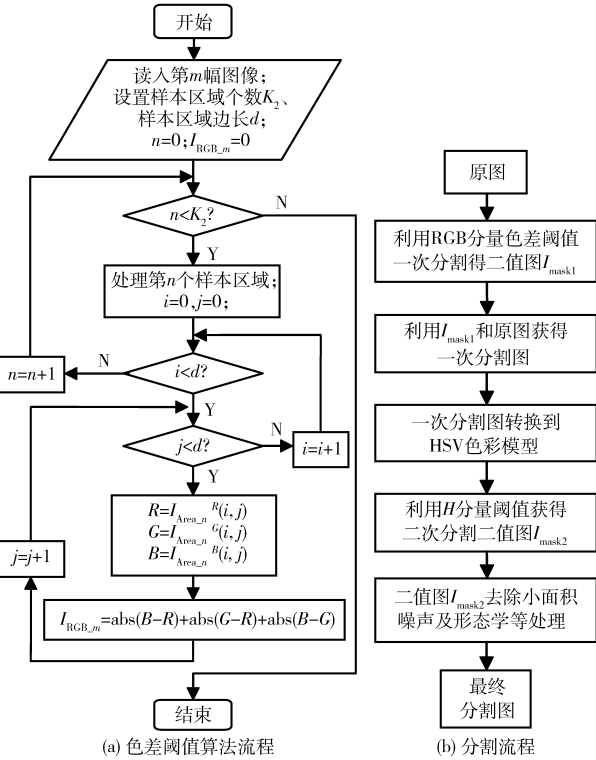


图 2 流程图
Fig. 2 Flow chart of segmentation

可通过以下方法确定:将抽取的 30 幅样本图像转换到 HSV 色彩模型,每幅图选取 5 个鸡身样本区域,每个区域提取 10 像素×10 像素;每幅图取 2 个鸡冠样本区域,每个区域提取 5 像素×5 像素。计算每个样本区域的最大值和最小值,确定 H 分量的分割阈值范围。

H 分量阈值得到的二次分割二值图 I_{mask2} 一般不理想,存在由噪声、混在背景的鸡毛所产生的孔洞,需进一步进行形态学滤波,包括进行 8×8 的模糊平滑处理、膨胀腐蚀,填充孔洞等。基于色差信息和多色彩模型的分割算法流程如图 2b 所示。

3 实验结果和对比分析

3.1 实验结果

所用计算机配置为: Intel(R) Core(TM) i5-CPU 中央处理器,操作系统采用 Windows 7(64 位),4 GB 内存,使用 Microsoft Visual Studio 2015 平台,通过 OpenCV 2.0 编程实现图像预处理、背景、鸡身和鸡冠等样本区域在各色彩模型数据的提取,黄羽鸡分割及后续处理。

现场采集的图像按拍摄角度和光照条件划分为 2 类:拍摄角度有俯拍、侧拍;光照条件分为正常光照、弱光照,如图 3 所示。实验中选用光线不一,拍摄角度各异,黄羽鸡姿态不一的 102 幅图像进行处理。式(5)中的 k 经实验设置为 1.5。采用本文方

法对鸡只进行分割,过程如图 4 所示。为进行对比,使用 $L^*a^*b^*$ 色彩模型 a^* 、 b^* 分量进行聚类分割,分割效果如图 5 所示。

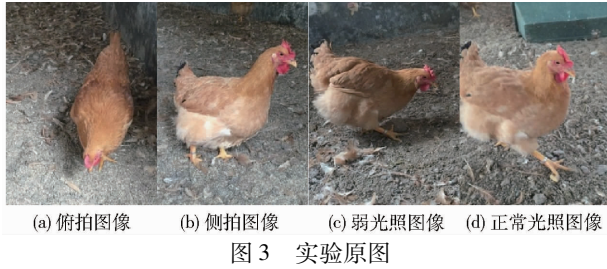


Fig. 3 Original images of experiment

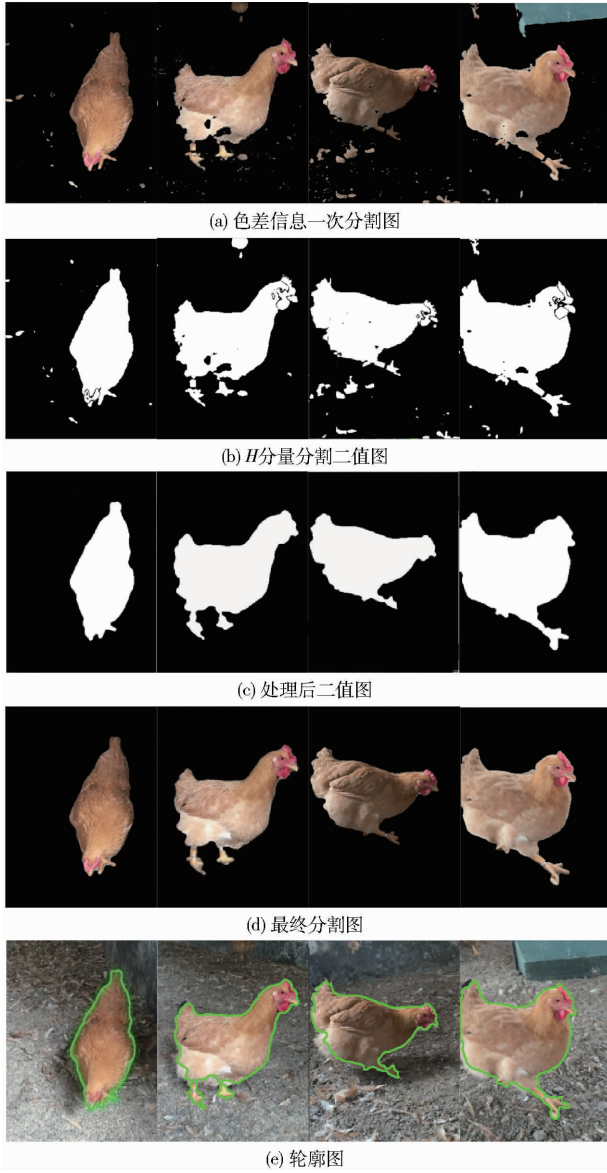


图 4 本文方法分割过程图

Fig. 4 Segmentation process diagrams using presented method

3.2 实验结果分析比较

图像的分割效果可通过主观视觉评价方法和客观量化评价方法^[21]。

主观视觉评价利用视觉直观判断 2 种方法的分割效果图的优劣。为便于主观比较分割效果,提取

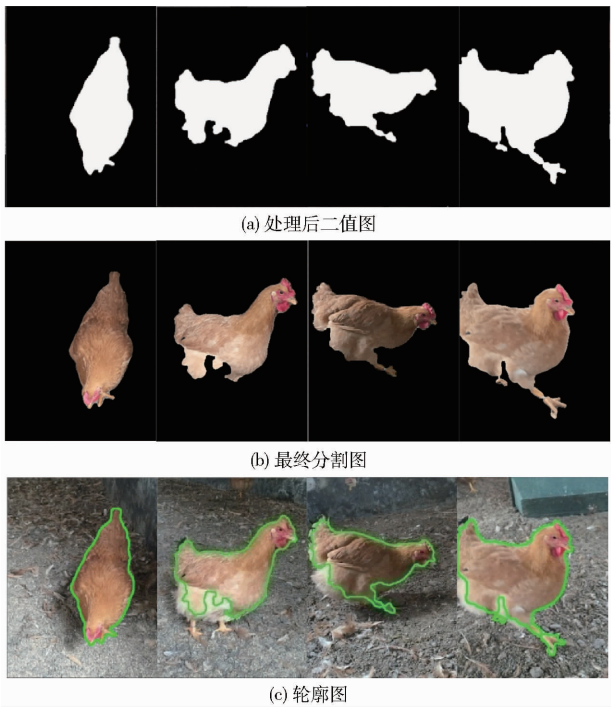


图 5 基于 $L^*a^*b^*$ 色彩模型分割效果图

Fig. 5 Segmentation process diagrams based on $L^*a^*b^*$ color model

黄羽鸡轮廓图,见图 4e 和图 5c。从图 4d 和图 5b 的最终分割图比较可知,基于色差信息多色彩模型分割方法和基于 $L^*a^*b^*$ 色彩模型分割方法可有效去除饮水罐、饲料槽等背景。从轮廓图 4e 和图 5c 对比可知,本文方法与基于 $L^*a^*b^*$ 色彩模型均能较好地俯拍的黄羽鸡完整地分割出来。但是对于侧拍的鸡只图像(图 3b),基于 $L^*a^*b^*$ 色彩模型分割不完整,如图 5b 所示,无法有效地将黄羽鸡羽毛颜色较浅肚子部分和鸡脚分割出来。本文方法能较好地将黄羽鸡完整分割出来,见图 4b 对应的分割效果图。从图 3c 和图 3d 2 幅不同光照下图像对应的分割图(图 4d)看出,本文方法受到周围环境光线影响较小。

客观量化评价从 3 个方面进行:一是分割目标图像是否带其他背景,表征分割正确与否;二是根据文献[22],本文提出使用分割目标图像面积与实际目标图像面积之比表征图像完整性,面积比超过 80% 且不带其他背景的分割图像认为正确分割;三是算法运行速度。利用本文方法与基于 $L^*a^*b^*$ 色彩模型分割方法对采集图像进行分割,对比结果见表 1。2 种分割方法的分割正确率结果见表 2。

表 1 2 种方法图像分割完整性和运算时间

Tab. 1 Integrity and calculation time of segmentation of two methods

图像类型	图像编号	鸡只实际面积	基于 $L^*a^*b^*$ 色彩模型分割方法			本文方法		
			鸡只分割面积	面积比/%	时间/s	鸡只分割面积	面积比/%	时间/s
正常光照下俯拍图像	I_1. jpg	54 585	52 527	96. 2	0. 082	53 704	98. 4	0. 085
	I_2. jpg	92 551	89 035	96. 2	0. 078	91 902	99. 3	0. 084
	I_3. jpg	91 429	82 092	89. 8	0. 085	87 187	95. 4	0. 083
	I_4. jpg	22 781	21 439	94. 1	0. 091	22 327	98. 0	0. 086
	I_5. jpg	55 612	40 112	72. 1	0. 078	52 536	94. 5	0. 081
平均值				89. 68	0. 083		97. 12	0. 084
正常光照下侧拍图像	I_11. jpg	77 701	62 720	80. 7	0. 084	72 437	93. 2	0. 078
	I_12. jpg	120 484	50 016	41. 4	0. 087	98 432	81. 7	0. 089
	I_13. jpg	90 371	80 525	89. 1	0. 094	88 996	98. 5	0. 083
	I_14. jpg	87 613	50 440	57. 6	0. 077	76 769	87. 6	0. 086
	I_15. jpg	128 879	125 874	97. 7	0. 082	128 808	99. 9	0. 084
平均值				73. 30	0. 085		92. 18	0. 084
弱光照下图像	I_21. jpg	55 181	12 800	23. 2	0. 068	39 322	71. 3	0. 084
	I_22. jpg	92 551	89 035	96. 2	0. 071	91 440	98. 8	0. 080
	I_23. jpg	81 514	64 738	79. 4	0. 082	76 563	93. 9	0. 085
	I_24. jpg	96 891	91 869	94. 8	0. 083	91 869	94. 8	0. 080
	I_25. jpg	93 766	0	0	0. 092	0	0	0. 094
平均值				58. 72	0. 079		71. 76	0. 085

表 2 2 种方法分割正确率

Tab. 2 Segmentation accuracy of two methods

图像/幅	基于 $L^*a^*b^*$ 色彩模型分割方法		本文方法	
	正确分割	分割正确	正确分割	分割正确
	图像/幅	率/%	图像/幅	率/%
102	80	78. 4	88	86. 3

从表 1 可以看出,2 种方法的程序运行时间均在 0. 06 ~ 0. 1 s 之间,从 2 种方法对应的色彩模型可知,背景色差阈值、鸡身鸡冠 H 分量阈值范围可提前通过样本获得,实际分割过程只存在一次色彩模型转换,算法运行时间与图像大小有关,此分割速度满足疫病检测的实时需求。从分割鸡只的完整性比

较,本文方法对俯拍、侧拍、不同光照的图像分割优于 $L^*a^*b^*$ 色彩模型分割方法。从表2可知提出的新方法黄羽鸡分割正确率达86.3%,高于 $L^*a^*b^*$ 色彩模型分割的78.4%。

4 结论

(1)基于 $L^*a^*b^*$ 色彩模型算法,能较好地分割颜色均匀的黄羽鸡图像,俯拍图像的分割完整性平均值为89.68%;黄羽鸡侧拍图像的分割完整性平均值为73.3%;弱光照图像的分割完整性平均值为58.7%;程序平均耗时0.082 s,分割正确率78.4%,

不满足黄羽鸡图像完整分割。
(2)本文方法对俯拍的黄羽鸡图像分割完整性平均值为97.12%,侧拍黄羽鸡图像的分割完整性平均值为92.18%。弱光照图像的分割完整性平均值为71.76%;本文算法平均耗时0.085 s,分割正确率为86.3%,能较完整地分割出图像中的黄羽鸡,适合用于对实际现场采集的黄羽鸡图像分割,可为后续基于机器视觉进行病鸡识别提供完整目标对象。
(3)光照条件影响分割效果,后续研究对原图像进行亮度增强后,减少光照影响后再进行彩色分割。

参 考 文 献

1 李亚硕,毛文华,胡小安,等. 基于机器视觉识别鸡冠颜色的病鸡检测方法[J]. 机器人技术与应用, 2014(5):23-25.

2 刁智华,王会丹,魏伟. 机器视觉在农业生产中的应用研究[J]. 农机化研究, 2014(3):206-211.
DIAO Zhihua, WANG Huidan, WEI Wei. Summary of research on machine vision application in agricultural production[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014(3):206-211. (in Chinese)

3 SERGEANT D, BOYLE R, FORBES M. Computer visual tracking of poultry[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1998, 21(1):1-18.

4 LEROY T, VRANKEN E, VAN B A, et al. A computer vision method for on-line behavioral quantification of individually caged poultry[J]. Transactions of the ASABE, 2006, 49(3):795-802.

5 RAMAZANI R B, KRISHNAN H R, BERGESON S E, et al. Computer automated movement detection for the analysis of behavior[J]. Journal of Neuro Science Methods, 2007, 162(1-2):171-179.

6 AYDIN A, CANGAR O, EREN O S, et al. Application of a fully automatic analysis tool to assess the activity of broiler chickens with different gait scores[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 73(2):194-199.

7 KRISTENSEN H H, CORNOU C. Automatic detection of deviations in activity levels in groups of broiler chickens—a pilot study[J]. Biosystems Engineering, 2011, 109(4):369-376.

8 PEREIRA D F, MIYAMOTO B C B, MAIA G D N, et al. Machine vision to identify broiler breeder behavior[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 99(7):194-199.

9 MENESATTI P, COSTA C, ANTONUCCI F, et al. A low-cost stereo vision system to estimate size and weight of live sheep[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2014, 103(2):33-38.

10 MEHDIZADEH S A, NEVES D P, TSCHARKE M, et al. Image analysis method to evaluate beak and head motion of broiler chickens during feeding[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2015, 114:88-95.

11 MORTENSEN A K, LISOUSKI P, AHRENDT P. Weight prediction of broiler chickens using 3D computer vision[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 123:319-326.

12 KONGSRO J. Estimation of pig weight using a Microsoft Kinect prototype imaging system[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2014, 109:32-35.

13 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 CSAE, 2010, 26(1):188-192. (in Chinese)

14 劳凤丹,滕光辉,李军,等. 机器视觉识别单只蛋鸡行为的方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24):157-163.
LAO Fengdan, TENG Guanghui, LI Jun, et al. Behavior recognition method for individual laying hen based on computer vision[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(24):157-163. (in Chinese)

15 吴燕. 基于星状骨架模型的猪的跛脚识别[D]. 镇江:江苏大学, 2014.
WU Yan. Detection of pig lame walk based on star skeleton model[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2014. (in Chinese)

16 沈明霞,刘龙申,闫丽,等. 畜禽养殖个体信息监测技术研究进展[J]. 农业机械学报, 2014, 45(10):245-251.
SHEN Mingxia, LIU Longshen, YAN Li, et al. Review of monitoring technology for animal individual in animal husbandry[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10):245-251. (in Chinese)

17 陆晨芳. 基于机器视觉的规模养鸡场死鸡探测系统设计研究[D]. 镇江:江苏大学, 2009.
LU Chenfang. Study on dead birds detection system based on machine vision in modern chicken farm[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2009. (in Chinese)

18 彭彦松. 基于支持向量机的养鸡场死鸡检测方法研究[D]. 镇江:江苏大学, 2010.
PENG Yansong. Study on detecting dead birds in modern chicken farm based on SVM[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010. (in Chinese)

- Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2003,23(3):261–264. (in Chinese)
- 8 高占文. DJL-100 型温室大棚卷帘机设计[J]. 农业科技与装备,2015(1):17–19.
GAO Zhanwen. Design of type DJL-100 rolling blinds machine for greenhouse using[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2015(1):17–19. (in Chinese)
- 9 帕合尔鼎·阿布来提,吴乐天,杨会民,等. JLL-1.5 型卷帘机温光自动控制系统的设计与研究[J]. 中国农机化学报, 2015,36(4):65–68,72.
Pahridin, WU Letian, YANG Huimin, et al. Design and study on temperature-light automatic control system for JLL-1.5 type rolling shade machine[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015,36(4):65–68,72. (in Chinese)
- 10 王俊衡,李莉,穆永航,等. 日光温室光照强度测量系统研究[J]. 农业机械学报,2015,46(增刊):194–200.
WANG Junheng, LI Li, MU Yonghang, et al. Measurement system of light intensity in solar greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015,46(Supp.):194–200. (in Chinese)
- 11 孙昊,滕光辉,张晓飞,等. 日光温室卷帘机荷载实时测量系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(1):138–145.
SUN Hao, TENG Guanghui, ZHANG Xiaofei, et al. Design and test on real-time measurement system of mat roller workload for sunlight greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(1):138–145. (in Chinese)
- 12 孙晓飞. 基于管状电机的卷帘机自动监控系统初探[D]. 北京:中国农业大学,2014.
- 13 丁小明. 日光温室卷帘机安全隐患分析和预防[J]. 农业工程技术:温室园艺,2011(2):22–24.
- 14 樊庚,滕光辉,孙昊,等. 基于全防护型的上拉式卷帘系统优化[J]. 农业工程,2015,5(增刊1):53–57.
FAN Geng, TENG Guanghui, SUN Hao, et al. Optimize of pull-up shutter system for sun-light greenhouse based on full protection[J]. Agricultural Engineering, 2015,5(Supp.1):53–57. (in Chinese)
- 15 张洪才. 安全型大棚卷帘机[J]. 农业知识:瓜果菜, 2008(8):9.
- 16 程乃士. 减速器与变速器设计与选用手册[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- 17 刘刚. 温室大棚卷帘机的设计[J]. 农业科技与装备,2012(11):29–30,34.
LIU Gang. Design of shutter machine for greenhouse[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment,2012(11):29–30,34. (in Chinese)
- 18 汤天浩. 电机及拖动基础[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- 19 赵明宏. 后置式卷帘机安装使用方法及经济效益分析[J]. 农业科技与装备,2009(3):138–139.
ZHAO Minghong. The installation and analysis on the economic benefits of rear-mounted roll blind machine[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment,2009(3):138–139. (in Chinese)
- 20 王曦. 日光节能温室卷帘机定位关键技术研究[J]. 农产品加工,2016(1):41–43,46.
WANG Xi. Study on the key technology of solar greenhouse shutter position control model[J]. Farm Products Processing, 2016(1):41–43,46. (in Chinese)
- 21 张志刚. 日光温室电动卷帘机行程控制改进设计[J]. 新疆农机化,2011(4):27.
- 22 NY/T 2205—2012 大棚卷帘机 质量评价技术规范[S]. 2012.

(上接第 298 页)

- 19 李腾飞. 笼养蛋鸡健康行为监测机器人系统研究[D]. 北京:中国农业大学, 2016.
LI Tengfei. Study on caged layer health behavior monitoring robot system[D]. Beijing: China Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- 20 劳凤丹,滕光辉,李卓,等. 复杂环境中蛋鸡识别及粘连分离方法研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4):213–216,227.
LAO Fengdan, TENG Guanghui, LI Zhuo, et al. Recognition and conglutination separation of individual hens based on machine vision in complex environment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4):213–216,227. (in Chinese)
- 21 温长吉,王生生,于合龙,等. 基于改进蜂群算法优化神经网络的玉米病害图像分割[J]. 农业工程学报, 2013,29(13):142–149.
WEN Changji, WANG Shengsheng, YU Helong, et al. Image segmentation method for maize diseases based on pulse coupled neural net work with modified artificial bee algorithm[J]. Transactions of the CSAE, 2013,29(13):142–149. (in Chinese)
- 22 任守纲,陆海飞,袁培森,等. 基于显著性检测的黄瓜叶部病害图像分割算法[J]. 农业机械学报,2016,47(9):11–16.
REN Shougang, LU Haifei, YUAN Peisen, et al. Segmentation algorithm of cucumber leaf disease image based on saliency detection[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(9):11–16. (in Chinese)