

基于多信息融合的疫苗制备中鸡蛋胚体分拣系统*

徐彦伟¹ 徐爱军¹ 颀潭成¹ 崔建鹏¹ 毛恒轩¹ 刘守川²

(1. 河南科技大学机电工程学院, 洛阳 471003; 2. 普莱柯生物工程股份有限公司, 洛阳 471000)

摘要: 采用多信息融合方法研究疫苗制备中鸡蛋胚体状态的识别与分拣技术。在研究不同状态鸡蛋胚体图像特征、温度衰减和透光度变化情况的基础上, 得出活胚图像中血管多、粗且呈放射状, 弱胚图像中血管少、细且断裂, 死胚图像内部均匀无血管, 污染胚图像内部有明显黑块特征; 鸡蛋胚体从 37.8℃ 的孵化箱中取出置于 25℃ 室温环境, 活胚、弱胚、污染胚、死胚的温度衰减速度依次增大; 活胚的透光度随孵化时间增加而逐渐降低, 其他胚体透光度变化相对较小。将图像、温度、透光度信息特征融合, 建立 BP 神经网络信息融合模型对鸡蛋胚体状态进行识别。最后, 从 37.8℃ 孵化箱中抽取 80 枚孵化 6 d 的鸡蛋胚体放置于室温 10 min 后, 采集图像、温度和透光度信息, 进行试验验证。结果表明多信息融合系统的识别准确率为 96.25%, 比单用图像、温度和透光度传感器进行识别的准确率分别提高了 6.25%、13.75% 和 8.75%。

关键词: 鸡蛋胚体 分拣系统 多信息融合 状态识别 神经网络

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)02-0020-07

Automatic Sorting System of Egg Embryo in Biological Vaccines Production Based on Multi-information Fusion

Xu Yanwei¹ Xu Aijun¹ Xie Tancheng¹ Cui Jianpeng¹ Mao Hengxuan¹ Liu Shouchuan²

(1. School of Mechatronics Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China

2. Pulike Biological Engineering, Inc., Luoyang 471000, China)

Abstract: Identification and sorting technology of egg embryo in biological vaccines production with the method of multi-information fusion was researched. The regularity cognition was obtained by the researches on image features, degradation of temperature and variations of transmittance of different types of egg embryo, which indicated that there were many thick radial blood vessels in living egg embryo image and few thin fractured blood vessels in weak egg embryo image, no blood vessels in dead egg embryo image and obvious black blocks features in polluted egg embryo image were found. The rates of temperature decay of living embryo, weak embryo, polluted embryo and dead embryo increased successively, and the transmittance of living embryo decreased gradually with hatching time increase while the variation of the transmittance of other egg embryo were comparatively lesser. The BP neural network model was established to do the egg embryo condition identification based on the information fusion of images, temperature and transmittance. Finally, 80 eggs were randomly selected to collect the information of images, temperature and transmittance to do the verifying experiment, the eggs were hatched six days and taken out from the 37.8℃ incubator and placed under normal room temperature for ten minutes. The result indicated that the identification accuracy of the system was 96.25%, which was increased by 6.25%, 13.75% and 8.75%, respectively, compared with that only using image, temperature or transparency sensors.

Key words: Egg embryo Sorting system Multi-information fusion Condition identification Neural network

收稿日期: 2014-11-03 修回日期: 2014-12-05

* 国家自然科学基金资助项目(51305127)和洛阳市科技计划资助项目(1001049A)

作者简介: 徐彦伟, 讲师, 博士, 主要从事机械产品精度与智能控制研究, E-mail: xuyanweiluoyang@163.com

通讯作者: 颀潭成, 教授, 主要从事复杂机械产品数控加工及机器视觉识别技术研究, E-mail: xietc@mail.haust.edu.cn

引言

通过把毒株注射到特种鸡蛋胚体中繁殖病毒是培养流感疫苗的一种有效方法。在疫苗培养前必须对鸡蛋胚体状态进行严格检查、筛选,剔除不适于疫苗培养的弱胚、污染胚、死胚。否则,培养结束后的病毒采集过程中一旦混入坏死胚蛋,同批次采集的疫苗就会被污染、废弃,甚至还有可能造成重大医疗安全问题^[1]。目前,用该方法生产疫苗过程中,鸡蛋胚体状态的检测工作主要依靠人工用照蛋器完成,不仅检测成本高,而且劳动强度大、实效性差、效率低,受主客观因素影响较大。除人工照蛋外,疫苗培养的其他环节自动化程度非常高,人工照蛋识别方式不仅技术落后而且与自动化生产显得格格不入,已经成为制约疫苗生产速度和企业经济效益提升的瓶颈因素。

近年来,众多学者对禽蛋品质的检测技术进行了相关研究^[1-8]。这些研究成果都在一定程度上促进了禽蛋品质检测技术的发展,但基本上都是基于单一传感器信息进行的研究。多传感器数据融合MSDF (Multi-sensor data fusion) 技术,是基于多个传感器测量结果基础上的更高层次的综合决策过程,相比单一传感器信息,MSDF 具有较高的容错性、互补性、实时性、经济性等优点,已成为研究热点^[9-16],近年来在食品检测领域中的应用也日趋广泛^[17-23]。目前尚未见有将图像、温度、光照度等信息融合并应用于疫苗制备中鸡蛋胚体状态识别的相关报道。本文采用BP神经网络技术将鸡蛋胚体的图像、温度、透光度等相关特征信息相融合,研究鸡蛋胚体状态的自动识别与分拣技术。

1 鸡蛋胚体分拣系统

根据用户的实际检测要求,设计了鸡蛋胚体托盘带传动式结构的多信息融合鸡蛋胚体状态识别分拣系统。系统结构包括缓冲工位、数据采集工位和自动分拣工位。缓冲工位起协调缓冲作用,保障后续工序平稳运行;数据采集工位由光源、带传动机构和驱动传感器运动的十字滑台机构组成,并用灯箱罩起来,做成暗室灯箱结构,采集鸡蛋胚体的图像、温度、透光度等相关特征信息,鸡蛋胚体托盘传动装置的高度相对固定,十字滑台机构和光源安装板的高度可根据实际情况进行调整;自动分拣工位采用十字滑台机构带动真空吸盘完成对不合格鸡蛋胚体的自动吸取和分拣。图1a为不含灯箱罩的系统实物图,图1b为数据采集工位中工业相机、红外温度传感器和光照度传感器的安装位置图。

采用 Point Grey CCD 工业相机,康视达自动化科技有限公司的 SPH - 75 - 60 - W 型 LED 光源 (60 W, 2 个),背向照明方式,采集鸡蛋胚体图像;研华科技 610L 型工业控制计算机处理和分析图像并提取图像特征;北京恒源兴创科技有限公司 HYXC - H01 型红外测温传感器 (测量精度: $\pm 1\%$) 采集鸡蛋胚体温度信息;北京飞超风速控制仪器有限公司 FC - GZD 型光照度传感器 (测量精度: $\pm 5\%$) 采集鸡蛋胚体的透光度信息。

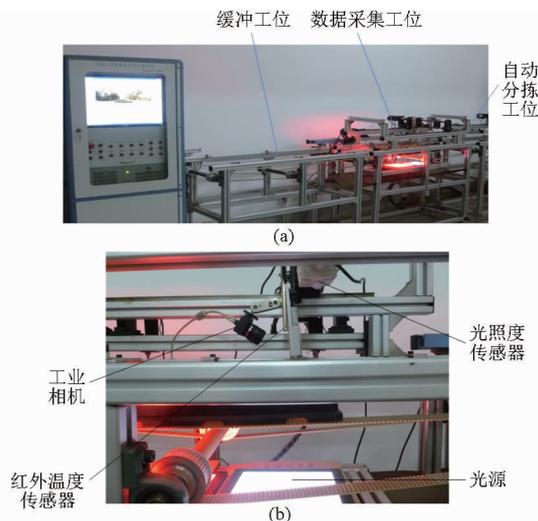


图1 系统整体结构图

Fig. 1 Whole structure chart of system

(a) 系统实物 (b) 传感器安装位置

2 鸡蛋胚体特征

2.1 鸡蛋胚体图像特征信息

2.1.1 鸡蛋胚体图像采集与预处理

根据实际生产分类标准,选取 100 枚经人工检测孵化 6 d 的鸡蛋胚体采集鸡蛋胚体的图像特征信息,其中活胚、弱胚、污染胚、死胚 4 种类型各 25 枚。4 种鸡蛋胚体的图像特征如图 2 所示,活胚图像血管粗且多并呈放射状,弱胚图像血管细少且断裂,死胚图像没有血管内部比较均匀,污染胚内部存在明显的黑块特征。弱胚、死胚和污染胚为存在缺陷需筛选的鸡蛋胚体。

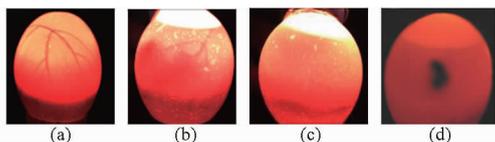


图2 不同类型鸡蛋胚体图像

Fig. 2 Types of egg embryo

(a) 活胚 (b) 弱胚 (c) 死胚 (d) 污染胚

2.1.2 鸡蛋胚体图像特征提取

对中值滤波平滑处理后的图像进行不同类型鸡蛋胚体血管、黑块 2 个特征的提取。

血管特征可通过鸡蛋胚体图像的 RGB 散点分布图和颜色直方图确定血管图像区域 R 、 G 、 B 分量的阈值波动范围,本文确定的 R 、 G 、 B 分量阈值为 194 ~ 205、20 ~ 40、30 ~ 50。鸡蛋胚体活胚图像的 RGB 散点分布图如图 3 所示。

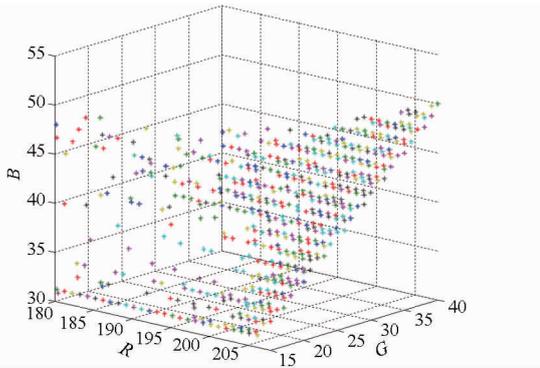


图3 鸡蛋胚体活胚图像 RGB 散点分布图

Fig.3 RGB scatterplot of the living embryo image

黑块特征可通过图像灰度化处理依据鸡蛋胚体图像 RGB 散点分布图和灰度直方图确定黑块图像的阈值分割范围,本文确定的阈值为 15 ~ 25。

提取血管与黑块特征后,统计血管或黑块区域像素点的个数,以血管和黑块的面积作为鸡蛋胚体图像的特征参数。

2.1.3 鸡蛋胚体图像在 Lab 颜色空间的特征

将鸡蛋胚体图像的 RGB 信息转换为 Lab 信息,结合 Lab 系统中鸡蛋胚体图像的特征参数研究鸡蛋胚体状态的检测。不同鸡蛋胚体图像在 Lab 空间中的数值统计信息如表 1 所示。

表 1 L 、 a 、 b 各个分量的特征参数

Tab.1 Characteristic parameter of L , a and b

类别	\bar{L}	δ_L	\bar{a}	δ_a	\bar{b}	δ_b
活胚	71.60	78.28	150.39	27.62	149.76	25.05
弱胚	107.37	84.93	111.25	42.49	118.72	62.34
死胚	115.22	85.00	159.75	28.53	156.32	23.65
污染胚	85.06	118.72	158.65	25.68	149.08	19.13

鸡蛋胚体图像在 Lab 空间中的颜色特征参数(各分量均值 \bar{L} 、 \bar{a} 、 \bar{b} 及标准差 δ_L 、 δ_a 、 δ_b)能有效表征不同鸡蛋胚体类型的差异。

2.2 鸡蛋胚体温度特征信息

鸡蛋最适宜的孵化温度为 37.8℃。在孵化箱中孵化时鸡蛋胚体的温度相同,但从孵化箱取出后不同类型的鸡蛋胚体的温度衰减速度不同。在室温(25℃)下,对上述 100 枚经人工检测孵化 6 d 的不同类型鸡蛋胚体采用红外温度传感器,以 2 Hz 频率采集从孵化箱中取出后 10 min 内不同时刻的温度信息,并对温度变化情况进行统计分析。

4 种鸡蛋胚体从孵化箱中取出 10 min 后的温度

衰减量及其平均值如表 2 所示,其中弱胚衰减量为活胚的 2.11 倍,污染胚衰减量为活胚的 2.70 倍,死胚衰减量为活胚的 2.74 倍。4 种鸡蛋胚体的温度衰减曲线如图 4 所示。正常发育的鸡蛋胚体在孵化初期已经具有成形的心脏和血管,心脏跳动和血管收缩产生的热量使活胚从孵化箱中取出后温度衰减缓慢,而弱胚、污染胚则比活胚温度衰减的快,死胚温度衰减的最快。根据表 2 可将从孵化箱取出置于室温 10 min 后温度衰减量小于 0.5℃ 的鸡蛋胚体判定为活胚,大于 0.9℃ 的判定为弱胚、污染胚或死胚。

表 2 不同类型鸡蛋胚体温度衰减量

Tab.2 Temperature decrement of different egg embryos

序号	温度衰减量/℃			
	活胚	弱胚	死胚	污染胚
1	0.444	0.897	1.256	1.227
2	0.452	0.937	1.224	1.196
3	0.416	0.983	1.242	1.207
4	0.475	0.974	1.231	1.177
5	0.452	0.958	1.237	1.235
6	0.448	0.982	1.265	1.247
7	0.461	0.935	1.215	1.211
8	0.451	0.892	1.308	1.203
9	0.463	0.977	1.287	1.231
10	0.472	0.954	1.239	1.213
11	0.458	0.952	1.226	1.186
12	0.433	0.976	1.274	1.203
13	0.428	0.984	1.253	1.218
14	0.488	0.968	1.186	1.224
15	0.466	0.935	1.246	1.231
16	0.472	1.014	1.242	1.283
17	0.431	0.966	1.208	1.218
18	0.455	0.958	1.261	1.234
19	0.426	0.943	1.207	1.215
20	0.437	0.922	1.233	1.227
21	0.481	0.925	1.247	1.187
22	0.412	0.962	1.228	1.231
23	0.426	0.948	1.235	1.218
24	0.477	0.946	1.241	1.202
25	0.465	0.953	1.185	1.217
平均值	0.452	0.954	1.239	1.218

2.3 鸡蛋胚体透光度特征信息

鸡蛋本身具有透光性。鸡蛋孵化时从心脏和血管开始发育,逐渐出现胚胎特征,形成机体器官,孵化第 6 天时,尿囊达到蛋壳膜内表面,卵黄囊分布在蛋黄表面的 1/2 以上,胚胎已经开始有规律的运动。随着鸡蛋胚体的发育,卵黄逐渐变大、散开并向有气室的一端移动,血管区域扩大成蛛网形,使其透光性能越来越差;而弱胚、污染胚、死胚发育缓慢或不发

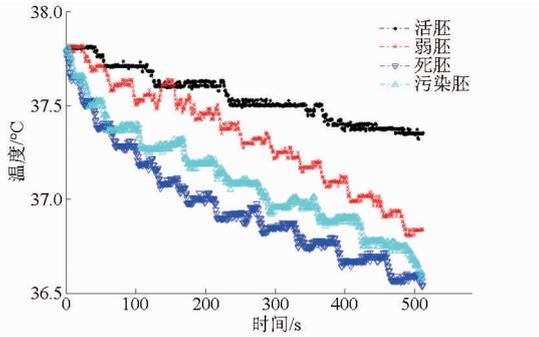


图 4 不同类型鸡蛋胚体温度衰减曲线

Fig. 4 Temperature change curves of egg embryos

育,透光性能反而下降不大。本文采用光敏探测器,将光照度强度转换为电流信号,再经过运算放大器转换为电压信号输出,通过分析鸡蛋胚体的透光度变化情况判别鸡蛋胚体的状态。

首先,选取 30 枚同批孵化前的鸡蛋进行透光度测量,求平均值作为孵化前鸡蛋胚体透光度的参照值。采集到的孵化前鸡蛋透光度电压输出值基本相同,最大值与最小值相差仅 10.48 mV,平均值为 510.7 mV。

然后,采集上述 100 枚经人工检测孵化 6 d 的不同类型鸡蛋胚体的透光度信息,并对其透光度电压输出值的变化情况进行统计分析。4 种鸡蛋胚体透光度相对于孵化前鸡蛋透光度参照值的变化量的平均值如表 3 所示,活胚透光度电压输出值变化最大,平均增加 4.386 V,弱胚透光度电压输出值变化较小,平均增加仅有 1.239 V,死胚和污染胚的透光度电压输出值几乎没有变化,仅有微量增加,平均分别为 0.029 V 和 0.252 V。根据表 3 可将透光度电压输出值增量大于 4 V 的判定为活胚,其余的判定为弱胚、污染胚或死胚。

3 BP 神经网络信息融合模型

多传感器系统的核心问题是选择合适的融合算法。在多传感器检测系统中,各信息源提供的信息具有一定程度的不确定性,对这些信息进行融合的过程本质上是一个不确定性推理过程。神经网络具有很强的容错性以及自学习、自组织及自适应能力,能够模拟复杂的非线性映射,可以根据当前系统所接受样本的相似性,确定分类标准。神经网络的特性和强大的非线性处理能力可以满足多传感器数据融合的技术处理要求。本研究采用 BP 神经网络技术研究疫苗制备中鸡蛋胚体状态的检测。

3.1 BP 神经网络结构参数设计

3.1.1 输入层和输出层设计

将从 RGB 色彩空间提取的鸡蛋胚体血管与黑

表 3 不同类型胚体透光度电压输出值变化情况

Tab.3 Changes of output voltage of transparency of different egg embryos

序号	电压输出值变化量/V			
	活胚	弱胚	死胚	污染胚
1	4.265	1.225	0.023	0.227
2	4.382	1.187	0.026	0.241
3	4.417	1.152	0.019	0.216
4	4.395	1.325	0.031	0.297
5	4.337	1.276	0.025	0.221
6	4.359	1.258	0.037	0.238
7	4.391	1.291	0.023	0.241
8	4.583	1.274	0.032	0.297
9	4.367	1.164	0.037	0.304
10	4.268	1.258	0.035	0.289
11	4.251	1.181	0.024	0.246
12	4.387	1.193	0.027	0.287
13	4.487	1.273	0.033	0.293
14	4.433	1.268	0.019	0.312
15	4.417	1.184	0.037	0.217
16	4.325	1.275	0.033	0.231
17	4.368	1.187	0.029	0.252
18	4.312	1.235	0.028	0.227
19	4.403	1.272	0.026	0.263
20	4.429	1.285	0.027	0.249
21	4.443	1.293	0.029	0.234
22	4.557	1.354	0.026	0.225
23	4.284	1.186	0.024	0.268
24	4.417	1.197	0.033	0.209
25	4.367	1.193	0.041	0.217
平均值	4.386	1.239	0.029	0.252

块特征的面积(以像素点计数)与图像在 Lab 颜色空间各分量的均值和标准差作为图像特征参数;将鸡蛋胚体温度衰减量作为温度特征参数;将鸡蛋胚体透光度的电压输出值变化量作为光照度特征参数。所以,输入向量确定为 8 个图像特征、1 个温度特征和 1 个透光度特征参数,即输入层的神经元个数为 10。鸡蛋胚体类型的判别结果为活胚、弱胚、污染胚和死胚 4 种情况,所以输出层神经元个数为 4。

3.1.2 隐含层设计

一个 3 层的 BP 神经网络可以完成任意 n 维到 m 维的映射,本文选取单层隐含层结构设计。隐含层节点数直接影响神经网络的性能,节点数过少,系统容错性差,识别未经学习的样本能力低;节点数过多会增加网络训练时间,并且将样本中非规律性的内容存储进去而降低系统泛化能力。隐含层节点数确定为^[24]

$$l = \sqrt{n + m} + a \quad (1)$$

式中 l ——隐含层节点数

n ——输入节点数

m ——输出节点数

a ——1~10之间的调节常数

采用试探法,依次在6~15个隐含层神经元个数之间建立BP神经网络模型,通过网络误差确定隐含层神经元个数最优值。当隐含层神经元数目为9时,网络误差最小为0.0937,隐含层节点数确定为9。

所以,鸡蛋胚体多信息融合的3层BP神经网络结构为10-9-4。

3.2 基于BP神经网络的多信息融合

鸡蛋胚体图像、温度和透光度特征参数的各个物理量意义不同,在神经网络训练前,要对数据进行归一化处理。采用归一化方法

$$x_i^0 = 1 - \frac{|x_i - \bar{x}|}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

其中

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n$$

因此,所有输入向量的数值都在0~1之间。

使用Sigmoid函数作为激活函数,网络初始权值在(-0.5,0.5)之间随机选取,训练步长为200,训练步数为500,训练误差为 1×10^{-4} ,对建立的网络结构10-9-4的3层BP神经网络模型进行训练,经过17步达到了训练目标误差,模型对训练集鸡蛋胚体回判率为98.83%。训练误差曲线如图5所示。

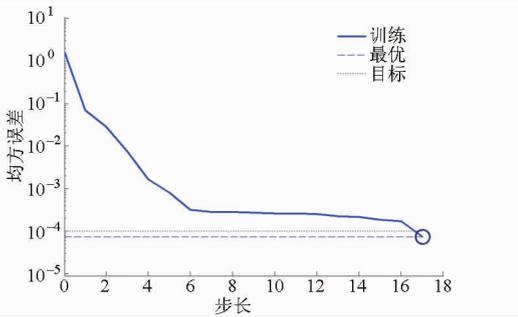


图5 训练误差曲线

Fig. 5 Curve of training error

4 试验结果及分析

随机选取80枚孵化6d的鸡蛋胚体作为试验样本。从37.8℃孵化箱中取出置于室温10min后采集样本的温度信息、透光度信息和图像信息。采用支持向量机的模式识别方法,基于二叉树结构的决策树分类器模型,分别进行基于单一传感器信息的鸡蛋胚体状态识别。采用BP神经网络技术融合温度、透光度和图像特征信息对鸡蛋胚体状态进行

多信息融合识别。将上述判别结果与人工识别结果(80个样本中,活胚67枚、弱胚6枚、死胚4枚、污染胚3枚)进行对比分析。

试验样本中鸡蛋胚体图像血管和黑块特征的像素点数统计结果如图6所示,鸡蛋胚体图像在Lab空间中的颜色特征参数(\bar{L} 、 \bar{a} 、 \bar{b} 及标准差 δ_L 、 δ_a 、 δ_b)的统计结果如图7所示。试验样本中鸡蛋胚体的温度衰减情况统计结果如图8所示,鸡蛋胚体的透光度电压输出值改变情况统计结果如图9所示。

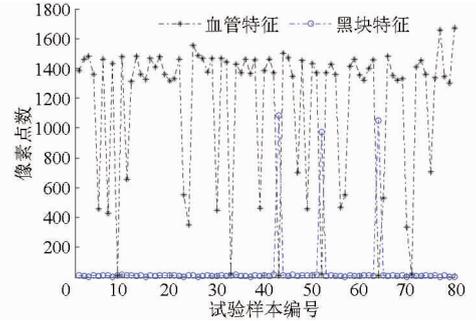


图6 试验鸡蛋胚体图像血管和黑块特征参数

Fig. 6 Feature parameters of blood vessel and black block in experimental egg embryo image

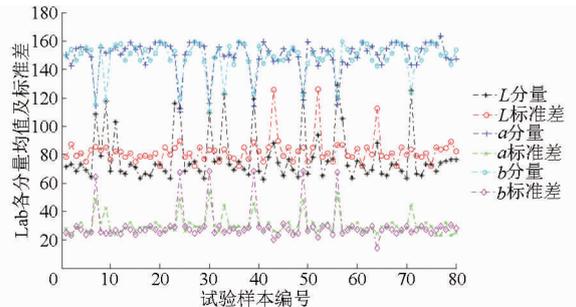


图7 试验鸡蛋胚体图像在Lab颜色空间特征参数

Fig. 7 Feature parameters of experimental egg embryo image in Lab colour space

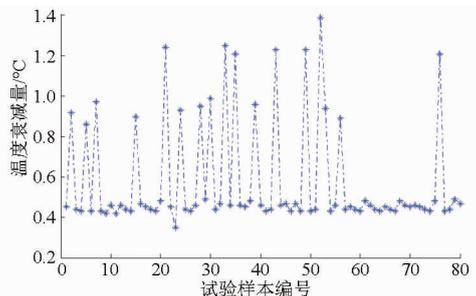


图8 试验鸡蛋胚体温度特征参数

Fig. 8 Temperature feature parameters of experimental egg embryo

单一图像特征识别与人工识别结果对比为,1枚弱胚被误判为死胚,7枚活胚被误判为弱胚,对活胚的判别准确率为89.55%,对全部4种胚体的检测率为90%。单一温度特征识别与人工识别结果对比为,3枚死胚被误判为活胚,1枚活胚被误判

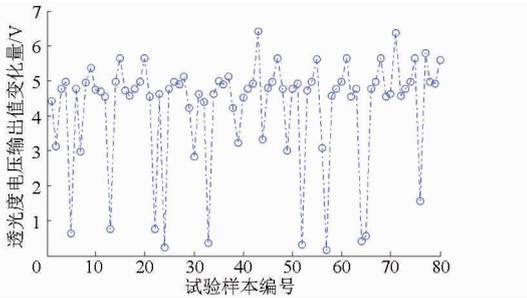


图 9 试验鸡蛋胚体透光度特征参数

Fig.9 Transparency feature parameters of experimental egg embryo

为死胚,2枚活胚被误判为污染胚,1枚污染胚被误判为死胚,1枚弱胚被误判为死胚,1枚污染胚被误判为活,5枚活胚被误判为弱胚,对活胚的判别准确率为92.54%,对全部4种胚体的检测率为82.5%。单一透光度特征识别与人工识别结果对比为,2枚死胚被误判为活胚,1枚弱胚被误判为死胚,1枚污染胚被误判为活胚,1枚死胚被误判为弱胚,4枚活胚被误判为死胚,1枚活胚被误判为污染胚,对活胚的判别准确率为92.54%,对全部4种胚体的检测率为87.5%。图像、温度、透光度多信息融合识别

与人工识别结果对比为,1枚弱胚被误判为死胚,2枚活胚被误判为弱胚,多信息融合系统对活胚的判别准确率为97.01%,对全部4种胚体的检测率为96.25%。

基于神经网络的多信息融合模型对鸡蛋胚体样本状态的判别准确率比单用图像、温度和透光度特征的判别率分别提高了6.25%、13.75%和8.75%。

5 结束语

研究了多信息融合技术在鸡蛋胚体状态识别中的应用问题。采用BP神经网络,将鸡蛋胚体的图像、温度、透光度信息相融合,构建了10-9-4的3层结构鸡蛋胚体状态识别模型并对其进行了训练。采用传感器、工控机、运动及其控制部件共同搭建了鸡蛋胚体自动分拣系统。测试结果表明系统对鸡蛋胚体活胚的检测准确率为97.01%,对全部4种胚体的检测率为96.25%,比单用图像、温度和透光度传感器的检测准确率分别提高了6.25%、13.75%和8.75%。采用多信息融合的方法比采用单一传感器进行检测的准确率更高。

参 考 文 献

- 1 单宝明. 基于机器视觉的疫苗制备中胚蛋成活性检测[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 178-181.
Shan Baoming. Hatching egg fertility detection in vaccine preparation based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5): 178-181. (in Chinese)
- 2 郁志宏, 倪志华, 李海军, 等. 机器视觉技术在禽蛋品质和孵化成活性检测中的应用[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2004, 25(3): 116-120.
Yu Zhihong, Ni Zhihua, Li Haijun, et al. Application of machine vision technique to detecting eggs quality and hatching eggs fertility [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition, 2004, 25(3): 116-120. (in Chinese)
- 3 马秀莲, 衣淑娟. 基于嵌入式系统与机器视觉的上孵前无精蛋识别系统[J]. 农业机械学报, 2011, 42(5): 187-192.
Ma Xiulian, Yi Shujuan. Unfertilized eggs verification system before hatching based on embedded system and machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(5): 187-192. (in Chinese)
- 4 祝志慧, 王巧华, 王树才, 等. 基于近红外光谱的孵前种蛋检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(4): 962-965.
Zhu Zhihui, Wang Qiaohua, Wang Shucui, et al. The detection of hatching eggs prior to incubation by the near infrared spectrum [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 32(4): 962-965. (in Chinese)
- 5 王树才, 任奕林, 陈红, 等. 利用敲击声音信号进行禽蛋破损检测和模糊识别[J]. 农业工程学报, 2004, 21(4): 130-133.
Wang Shucui, Ren Yilin, Chen Hong, et al. Detection of cracked-shell eggs using acoustic signal and fuzzy recognition [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 21(4): 130-133. (in Chinese)
- 6 孙力, 蔡健荣, 林颖, 等. 基于声学特性的禽蛋裂纹实时在线检测系统[J]. 农业机械学报, 2011, 42(5): 183-186.
Sun Li, Cai Jianrong, Lin Hao, et al. On-line detection of cracked shell eggs based on acoustic resonance analysis [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(5): 183-186. (in Chinese)
- 7 周平, 刘俭英, 文友先. 基于支持向量机的鸭蛋破损检测技术[J]. 农业机械学报, 2008, 39(1): 195-197, 204.
Zhou Ping, Liu Jianying, Wen Youxian. Damage detection technology of duck eggs based on support vector machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(1): 195-197, 204. (in Chinese)
- 8 王巧华, 文友先, 林雪东, 等. 鸡蛋透光图像形态特征与其新鲜度的相互关系[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 179-183.
Wang Qiaohua, Wen Youxian, Lin Xuedong, et al. Correlation between egg freshness and morphological characteristics of light transmission image of eggs [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3): 179-183. (in Chinese)
- 9 叶锦华, 李迪, 叶峰. 多信息融合定位的自动导向车鲁棒导引控制[J]. 电机与控制学报, 2013, 17(9): 111-118.
Ye Jinhua, Li Di, Ye Feng. Robust guidance control of nonholonomic AGV with localization based on multi-source information fusion [J]. Electric Machines and Control, 2013, 17(9): 111-118. (in Chinese)
- 10 高洪燕, 毛罕平, 张晓东, 等. 基于多信息融合的番茄冠层水分诊断[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 140-144.

- Gao Hongyan, Mao Hanping, Zhang Xiaodong, et al. Water moisture diagnosis of tomato canopy based on multi-information fusion [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(16): 140 - 144. (in Chinese)
- 11 高粱, 刘晓云, 廖志武, 等. 一种基于多信息融合的模糊边界检测算法 [J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(11): 2506 - 2514.
Gao Liang, Liu Xiaoyun, Liao Zhiwu, et al. Fuzzy boundary detection algorithm using multi-information fusion [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011, 32(11): 2506 - 2514. (in Chinese)
- 12 刘健, 吴雄喜, 计时鸣. 基于多信息融合的油液品质评价方法及其实现 [J]. 中国机械工程, 2010, 28(21): 2614 - 2618.
Liu Jian, Wu Xiongxi, Ji Shiming. Study on oil quality evaluation method and its implementation based on multi-information fusion [J]. China Mechanical Engineering, 2010, 28(21): 2614 - 2618. (in Chinese)
- 13 李永坚. 融合视觉和激光测距的机器人 Monte Carlo 自定位方法 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(1): 170 - 174.
Li Yongjian. Robot Monte Carlo self-localization method based on combination of vision sensors and laser range finder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(1): 170 - 174. (in Chinese)
- 14 冯娟, 曾立华, 刘刚, 等. 融合多源图像信息的果实识别方法 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(2): 73 - 80.
Feng Juan, Zeng Lihua, Liu Gang, et al. Fruit recognition algorithm based on multi-source images fusion [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(2): 73 - 80. (in Chinese)
- 15 倪涛, 马兆建, 张红彦, 等. 基于多传感器信息融合的六自由度运动记录方法 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(6): 258 - 262.
Ni Tao, Ma Zhaojian, Zhang Hongyan, et al. 6-DOF motion recording method based on multi-sensor information fusion [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(6): 258 - 262. (in Chinese)
- 16 谢春燕, 吴达科, 王朝勇, 等. 基于图像和光谱信息融合的病虫害叶片检测系统 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊1): 269 - 272.
Xie Chunyan, Wu Dake, Wang Chaoyong, et al. Insect pest leaf detection system based on information fusion of image and spectrum [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 269 - 272. (in Chinese)
- 17 陈全胜, 赵杰文, 蔡健荣, 等. 基于近红外光谱和机器视觉的多信息融合技术评判茶叶品质 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 5 - 10.
Chen Quansheng, Zhao Jiewen, Cai Jianrong, et al. Inspection of tea quality by using multi-sensor information fusion based on NIR spectroscopy and machine vision [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3): 5 - 10. (in Chinese)
- 18 张伟, 屠康, 刘鹏, 等. 基于机器视觉与敲击振动融合的鸭蛋孵化特性检测 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 140 - 145.
Zhang Wei, Tu Kang, Liu Peng, et al. Early fertility detection of hatching duck egg based on fusion between computer vision and impact excitation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 140 - 145. (in Chinese)
- 19 李小昱, 陶海龙, 高海龙, 等. 基于多源信息融合技术的马铃薯痂疮病无损检测方法 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 277 - 284.
Li Xiaoyu, Tao Hailong, Gao Hailong, et al. Nondestructive detection method of potato scab based on multi-sensor information fusion technology [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(19): 277 - 284. (in Chinese)
- 20 王献锋, 张善文, 王震, 等. 基于叶片图像和环境信息的黄瓜病害识别方法 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 148 - 153.
Wang Xianfeng, Zhang Shanwen, Wang Zhen, et al. Recognition of cucumber diseases based on leaf image and environmental information [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(14): 148 - 153. (in Chinese)
- 21 周炜. 基于多源信息融合技术的猪肉新鲜度无损检测方法研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
Zhou Wei. Research on the non-destructive testing method of pork freshness based on multi-information fusion [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- 22 常志勇. 基于仿生电子鼻的肉品新鲜度多信息融合识别技术 [D]. 长春: 吉林大学, 2013.
Chang Zhiyong. Multi-information fusion recognition technology of meat based on bionic electronic nose [D]. Changchun: Jilin University, 2013. (in Chinese)
- 23 王克俊. 基于多信息融合的苹果智能分级技术研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2009.
Wang Kejun. Research on apple intelligent classification technique based on multi-information fusion [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2009. (in Chinese)
- 24 胡广义, 张秋文, 张勇传. 基于 BP 人工神经网络的分布式降雨量插值估算 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2009, 39(4): 107 - 110.
Hu Guangyi, Zhang Qiwen, Zhang Yongchuan. Distributed rainfall interpolation using BPANN [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2009, 39(4): 107 - 110. (in Chinese)