

文章编号: 2095-4980(2020)05-0877-06

基于多链球型结构宇宙算法的番茄表面缺陷分割

荆科科

(郑州市职业学院 电子信息工程系, 河南 新密 452370)

摘要: 为了改善番茄表面缺陷分割的效果, 采用多链球型结构宇宙算法。首先建立多链球型宇宙拓扑结构, 每个宇宙体只能、最多与周围的 3 个宇宙体进行信息交流, 以保持该宇宙出入流平衡; 通过最优阈值分割番茄缺陷图像, 使用一个分离元素作为结束图像分割的停止条件; 最后给出了算法流程。实验仿真显示, 本文算法对番茄图像表面缺陷分割结果清晰, 对各类缺陷的正确分割率比较高。

关键词: 多链; 球型; 宇宙; 番茄; 分割; 阈值

中图分类号: TN911.73; TP393

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2019336

Tomato surface defect segmentation based on multi-chain spheroidal structure universe algorithm

JING Keke

(Department of Electronic Information Engineering, City University of Zhengzhou, Xinmi Henan 452370, China)

Abstract: Multi-Chain Spheroidal Structure Universe Algorithm(MCSSUA) is proposed in order to improve the quality of tomato image surface defect segmentation. Firstly, multi chain spheroidal universe structure topology is established, and the universe can only communicate with the three universes around itself to maintain the balance of the universe. Secondly, the optimal threshold is adopted to segment the tomato defect image, and a separate element is taken as the stop condition for ending the image segmentation. Finally, the flow of the proposed algorithm is given. The simulation shows that the multi-chain spheroidal structure universe algorithm can segment the tomato image surface defect with clear results, and higher correct segmentation rate of various defects than other algorithms.

Keywords: multi-chain; spheroidal; universe; tomato; segmentation; threshold

番茄质量在流通和再次加工中起着决定性作用, 其检测水平直接关系到产品价值^[1]。目前主要依靠人工分检表面轻微损伤, 存在破坏性、效率低等缺点^[2], 番茄自动化分拣对提高工作效率、节约劳动力成本具有现实意义。番茄图像表面缺陷分割是研究自动化分拣的关键步骤, 目前的分割方法有: 直方图阈值(Histogram Threshold, HT)分割, 实现简单^[3], 但若番茄图像灰度分布不呈双峰特征或背景复杂时, 往往会造成错误分割; 聚类算法(Clustering Algorithm, CA)根据番茄图像的属性对番茄进行分类划分^[4], 但没有考虑像素的空间位置, 同一类的像素有可能分属于图像中不相连通的区域; 粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)对番茄图像缺陷分割简单, 容易实现, 收敛速度快且对目标函数要求少^[5], 但后期收敛速度较慢, 寻优精确度低, 容易陷入局部最优; 最大类间方差(Maximum Inter Class Variance, MICV)算法具有稳定性强、准确性较高的优点^[6], 但是需要遍历图像整个灰度级求最大类间方差, 运算较复杂; 宇宙算法(UA)找到番茄图像缺陷目标正确率比较高^[7], 但宇宙个体的分布特征对整个算法的执行效率有极大的影响。

为提高番茄图像表面缺陷分割的效果, 采用多链球型结构宇宙算法(MCSSUA), 建立宇宙拓扑结构以及宇宙间信息交流过程, 实现信息共享, 保持该宇宙出入流平衡。

收稿日期: 2019-09-10; 修回日期: 2019-11-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61275154)

作者简介: 荆科科(1985-), 男, 讲师, 主要研究方向为物联网技术应用。email:jingkeke8519@foxmail.com

1 多链球型结构宇宙算法模型

1.1 多链球型宇宙空间拓扑结构

宇宙空间拓扑结构决定了算法的性能^[8-10], 本文采用空间多链球型结构, 如图 1 所示。空间链、宇宙的数量决定了算法的运行效率, 图中共有 24 个宇宙体, 级链设置为 3 级, 即每个宇宙体只能、最多与周围的 3 个宇宙体进行信息交流; 宇宙间信息交流不能跳跃式交流, 即不能与自身有间隔的宇宙体进行信息交流; 当某个宇宙体自身信息量发生变化时, 可通过信息移民方式实现信息共享, 使其他宇宙的信息发生变化。

图 1 中, A, B, C, D, E, F, G 为空间多链球型结构的宇宙个体, 若以宇宙个体 A 为寻优的起点, A 的链可能为 $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow \dots$; $A \rightarrow B \rightarrow \dots$; $A \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow \dots$ 等多条链路, 选择链路的条件为宇宙群信息熵实现共享所经历的最少宇宙体。

第 i 个宇宙体的信息量为:

$$H(i) = -p_i \log p_i \quad (1)$$

式中 p_i 为第 i 个宇宙体的信息变化概率。

各个宇宙对应链路使用概率为 $1/3$, 宇宙 A 同时发送 2 bit 信息 x_1, x_2 , 可到目的宇宙 C, B 和 G , 宇宙 C, B 和 G 获得 x_1, x_2 的概率均为 $1/6$, 则宇宙 A 到 3 个目的宇宙的最大可行信息流为:

$$\max \text{flow}(A, 1/3, 2) = \max \text{flow}((C \text{ or } B \text{ or } G), 1/3, 1/6, (1 \text{ or } 2)) \quad (2)$$

各个宇宙具有对信息进行转发、保存的能力, 如宇宙 C 同时收到比特信息 x_1, x_2 时, 可以转发其中任意一个比特信息, 同时为了以后需要, 该信息也可对接收的任意比特信息复制保存。

1.2 宇宙间信息共享过程

在多链球型宇宙结构中, 由于宇宙可与其他宇宙进行连接, 这样为宇宙间信息进行共享提供了条件, 同时共享可加快宇宙自身信息的交流, 促进其进化。当进入某个宇宙的信息流 $f(v_i^+)$ 小于流出该宇宙的信息流 $f(v_i^-)$ 时^[11-12], 则与此宇宙相连链路上的 3 个宇宙可作为源进行续流, 增加信息流入量, 以便保持该宇宙信息平衡; 当进入某个宇宙信息流 $f(v_i^+)$ 大于流出该宇宙信息流 $f(v_i^-)$ 时, 则与此宇宙相连链路上的 3 个宇宙可作为汇进行滞流, 使流入量减少^[10]。宇宙链路中某个宇宙 v_i 信息流控制公式为:

$$\begin{cases} f(v_i^+) = \{f(v_i^-) - f(v_i^+)\} \times \frac{\tau}{f(v_k^+, v_k^-)} & f(v_i^+) < f(v_i^-) \\ f(v_i^-) = \{f(v_i^+) - f(v_i^-)\} \times \frac{\zeta}{f(v_k^+, v_k^-)} & f(v_i^+) > f(v_i^-) \end{cases} \quad (3)$$

式中: v_k^+ 和 v_k^- 分别为该宇宙周围多链中第 k 条链路的进入、流出信息, $k=1, 2, \dots, m$, m 为链路总数; $f(v_k^+, v_k^-)$

为链路信息差; τ, ζ 为调节因子, $\tau = \frac{(f(v_i^-) + f(v_i^+))^2}{f(v_i^-)^2 + f(v_i^+)^2}$, $\zeta = \frac{(f(v_i^-) - f(v_i^+))^2}{|f(v_i^-)^2 - f(v_i^+)^2|}$ 。则宇宙间信息共享公式为:

$$\xi = \frac{\exp\left(\frac{|f(v_i^-) - f(v_i^+)|}{|f(v_k^+) - f(v_k^-)|} - 1\right)}{\exp(k)} \quad (4)$$

只有宇宙的入流容量等于出流容量, 称为出入容量平衡; 否则, 称出入容量不平衡。宇宙信息出入容量平衡避免了宇宙自身弱化趋势, 一旦某个宇宙出现信息量严重不平衡, 链路上的其他 3 个宇宙进化将受到影响, 出现信息坍塌现象。

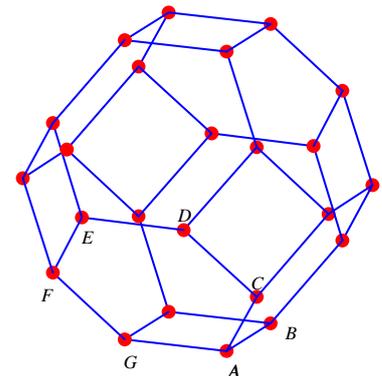


Fig.1 Spatial multi-chain spheroidal structure
图 1 空间多链球型结构

2 番茄缺陷检测过程

番茄缺陷区域与复杂背景区域的灰度值可能出现交叉，此时若通过全局阈值进行分割，会出现误分割，缺陷区域无法检测出来。为避免错误检测的发生^[13-15]，通过最优阈值分割番茄图像。

对番茄图像进行中值滤波预处理，假设背景和缺陷区域的概率密度分别为 $p_1(z)$ 和 $p_2(z)$ ，混合概率密度：

$$p(z) = P_1 p_1(z) + P_2 p_2(z) = \frac{P_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left[-\frac{(z-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right] + \frac{P_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left[-\frac{(z-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right] \quad (5)$$

式中： μ_1 和 μ_2 分别为背景和缺陷区域的平均灰度值； σ_1 和 σ_2 分别为关于均值的均方差； P_1 和 P_2 分别为背景和缺陷区域灰度值的先验概率，满足 $P_1 + P_2 = 1$ 。若 $\mu_1 < \mu_2$ ，某个阈值 T 使得灰度值小于 T 的像素分割为背景，灰度值大于 T 的像素分割为缺陷的错误划分概率为：

$$E_1(T) = \int_{-\infty}^T p_2(z) dz, E_2(T) = \int_T^{\infty} p_1(z) dz \quad (6)$$

总误差概率为：

$$E(T) = P_2 E_1(T) + P_1 E_2(T) \quad (7)$$

当该误差概率最小时，可获得最优阈值，对总误差概率求导并令导数为零，得

$$P_1 p_1(T) = P_2 p_2(T) \quad (8)$$

将该结果代入 $p(z)$ ，可得二次式：

$$\begin{cases} A = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \\ B = 2(\mu_1 \sigma_2^2 - \mu_2 \sigma_1^2) \\ C = \sigma_1^2 \mu_2^2 - \sigma_2^2 \mu_1^2 + 2\sigma_1^2 \sigma_2^2 \sum_{i=1}^n X_i^2 \ln\left(\frac{\sigma_2 P_1}{\sigma_1 P_2}\right) \end{cases} \quad (9)$$

该二次方程式有 2 个解，即获得 2 个分割阈值：

$$\begin{cases} T_1 = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} + \frac{\sigma_1^2}{\mu_1 - \mu_2} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \\ T_2 = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} + \frac{\sigma_2^2}{\mu_1 - \mu_2} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \end{cases} \quad (10)$$

如果番茄图像的背景和缺陷区域的方差相等，即 $\sigma^2 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ，则获得一个阈值：

$$T_1 = T_2 = T_{\text{optimal}} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_2} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (11)$$

若背景和缺陷区域灰度值的先验概率相等，则阈值就是 2 个区域的平均灰度值的中值。

如果 T_1, T_2 阈值分割出的缺陷和目标的均值和标准差不能使式(12)成立，需对分割出的缺陷目标区域进行再次分割。

$$\mu_1 - \mu_2 > \gamma(\sigma_1 + \sigma_2) \quad (12)$$

式中： γ 为参数，在 2~3 之间取值，本文选取为 2.5。

随着待分割区域的缩小，缺陷目标信息所占的比例增大，最终可获得最优的分割结果：

$$\begin{cases} \hat{T}_{\text{optimal}} = \text{Arg}\{\max \sigma_{\text{total}}\} \\ \sigma_{\text{total}} = \alpha(\mu_1 - \mu_2)^2 + \beta(\sigma_1 - \sigma_2)^2 \end{cases} \quad (13)$$

式中 α, β 为分割背景、缺陷区域灰度值方差对总方差的贡献度， $\alpha \in [0, 1], \beta \in [0, 1], \alpha + \beta = 1$ 。使用一个分离元素 SF 作为结束图像分割的停止条件：

$$SF = \frac{\sigma_{\text{total}}}{v_T} \quad (14)$$

式中 v_T 为图像的总方差。 SF 趋向于 1 时，图像中的缺陷区域被完全分割出来，即 σ_{total} 也取最大值。只有 α, β 为最佳组合时，才能获得较大 σ_{total} 值，这样组合数据通过多链球型结构宇宙算法寻优处理，获取最大 σ_{total} 值。

算法流程如下：

步骤 1 输入番茄图像；

步骤 2 根据式(5)~式(10)计算 2 个分割阈值；

- 步骤 3 若满足式(12)计算要求, 进行步骤 6, 否则进行步骤 4;
 步骤 4 对已分割区域进行再次分割;
 步骤 5 若 SF 为 0.991 5, 进行步骤 6, 否则进行步骤 3;
 步骤 6 输出番茄检测图像。

3 实验仿真

实验 PC 配置: CPU 为英特尔 I5 系列 7 500, DDR3 系列内存主频 2 400 MHz、容量 16 GB, 在 Matlab7.0 平台实现仿真。宇宙数量、链路数量对算法性能影响如图 2 所示。从图 2 可以看出, 宇宙数量对算法性能起决定性作用, 当宇宙数量大于 20 个时, 寻优消耗时间几乎不再变化, 此时再增加宇宙数量已无意义。在 20 个宇宙体条件下, 改变链路数量, 当链路数量较少时, 消耗时间较多, 当链路数量大于 3 条时, 此时再增加链路数量寻优消耗时间变化不大, 因此本文设置 20 个宇宙体, 链路数量为 3 条。

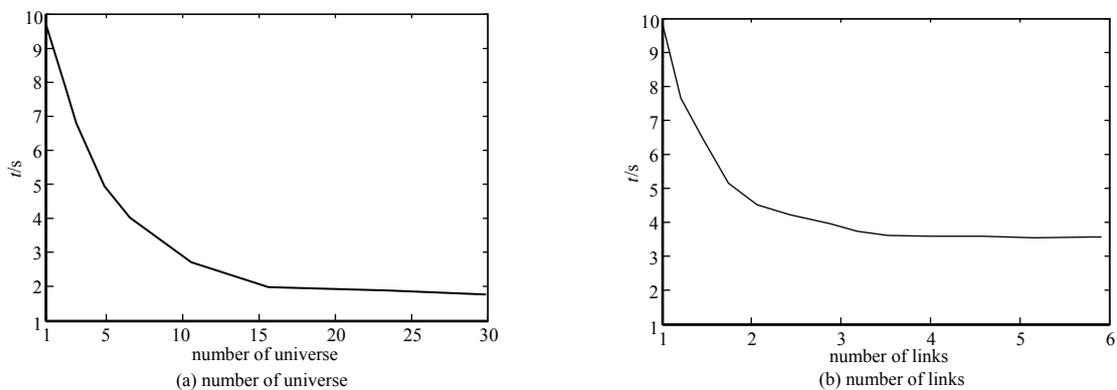


Fig.2 Influence of number of universe and links on algorithm performance

图 2 宇宙、链路数量对算法性能影响

3.1 检测视觉效果分析

番茄表面缺陷主要包括裂伤、碰压伤、斑点、疤痕、腐烂、虫伤, 不同类型的缺陷其 α, β 值不同。经过 30 次蒙特卡罗实验, 本文多链球型结构宇宙算法获得 α, β 值分别如下: 裂伤: $\alpha=0.45, \beta=0.55$; 碰压伤: $\alpha=0.64, \beta=0.36$; 斑点: $\alpha=0.32, \beta=0.68$; 疤痕: $\alpha=0.40, \beta=0.60$; 腐烂: $\alpha=0.48, \beta=0.52$; 虫伤: $\alpha=0.25, \beta=0.75$ 。采用不同的算法进行番茄表面缺陷分割对比实验, 包括 HT, CA, PSO, MICV, UA, MCSSUA, 番茄表面腐烂缺陷待分割原图如图 3(a)所示, 图 3(b)~图 3(g)为不同算法的分割结果。

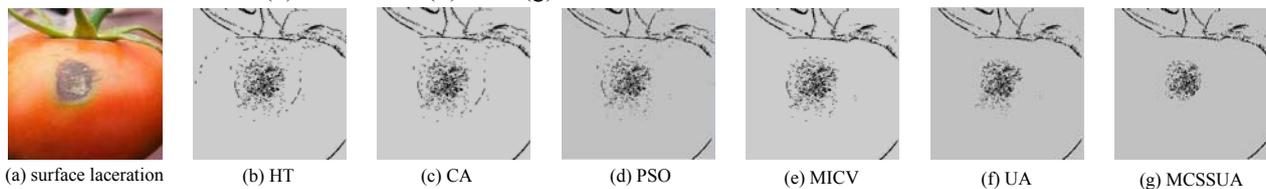


Fig.3 Segmentation results of rot on tomato surface using different algorithms

图 3 不同算法对番茄表面腐烂分割结果

从图 3 的分割效果上可以看出, 本文算法对番茄表面腐烂缺陷分割结果清晰, 整个腐烂区域分割较集中, 其他算法对腐烂区域分割比较分散, 分割出的边缘有断痕现象, 不利于后期处理。

3.2 检测性能分析

3.2.1 番茄表面缺陷分割分析

分别对番茄裂伤、碰压伤、斑点、疤痕、腐烂、虫伤缺陷进行正确分割率性能分析, 为使结果有效, 进行 30 次蒙特卡罗实验, 其检测曲线如图 4~图 9 所示。

从图 4~图 9 的番茄各类缺陷正确分割率分析可以发现, 本文算法对各类缺陷的正确分割率比较高, 其中对裂伤的正确分割率可达 92%左右, 对碰压伤的正确分割率可达 91%左右, 对斑点的正确分割率可达 93%左右, 对疤痕的正确分割率可达 95%左右, 对腐烂的正确分割率可达 92%左右, 对虫伤的正确分割率可达 96%左右, 对虫伤分割正确率比较高的原因是虫伤的边缘较其他缺陷比较规则, 便于分割。

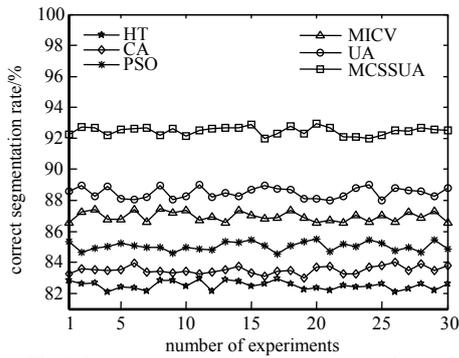


Fig.4 Correct segmentation rate of tomato laceration
图 4 番茄裂伤正确分割率

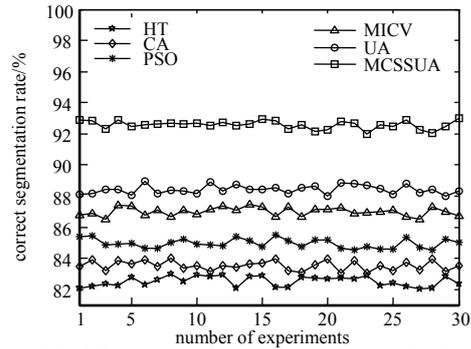


Fig.5 Correct segmentation rate of tomato bruise
图 5 番茄碰压伤正确分割率

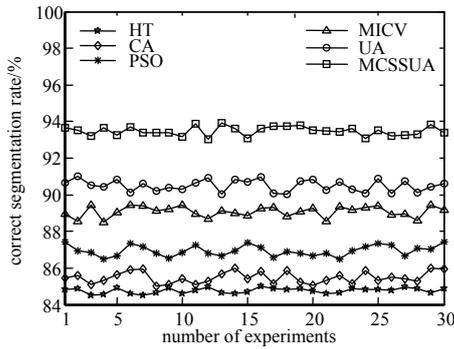


Fig.6 Correct segmentation rate of tomato spots
图 6 番茄斑点正确分割率

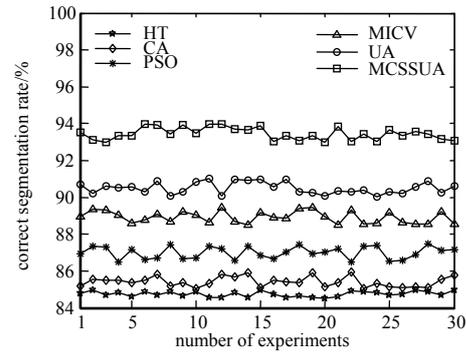


Fig.7 Correct segmentation rate of tomato scars
图 7 番茄疤痕正确分割率

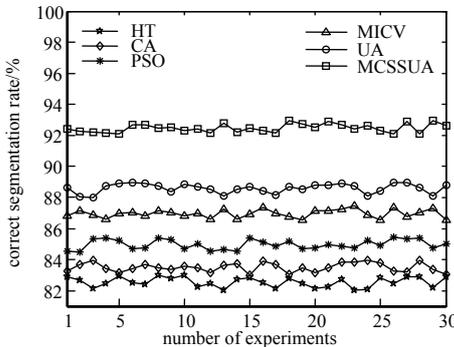


Fig.8 Correct segmentation rate of tomato rotten
图 8 番茄腐烂正确分割率

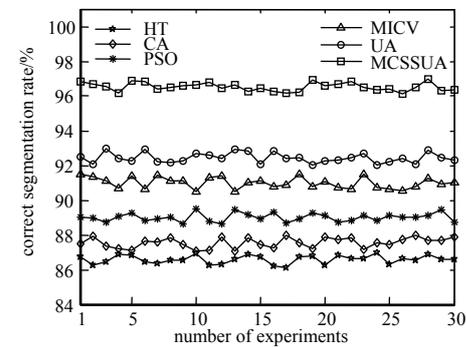
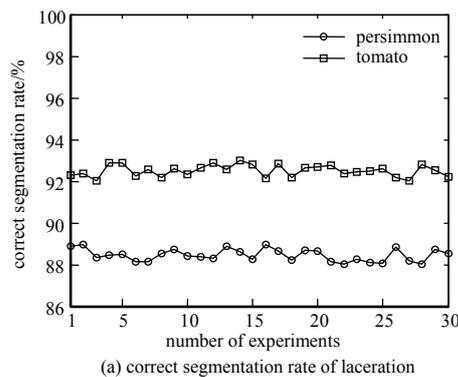


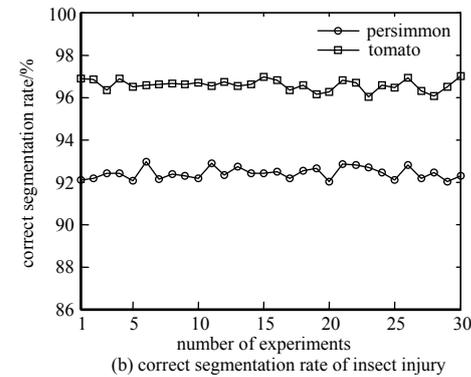
Fig.9 Correct segmentation rate of tomato insect injury
图 9 番茄虫伤正确分割率

3.2.2 与番茄类似水果柿子表面缺陷分割对比分析

与番茄类似水果柿子表面缺陷裂伤、虫伤分割效果如图 10 所示。对比分析可以看出，本文算法对番茄类似水果柿子表面缺陷裂伤、虫伤分割准确率番茄较高，能够区分与番茄类似水果，便于番茄表面缺陷分割。



(a) correct segmentation rate of laceration



(b) correct segmentation rate of insect injury

Fig.10 Comparative analysis
图 10 对比分析

4 结论

为了提升番茄表面缺陷分割的效果,本文采用多链球型结构宇宙算法,宇宙信息流共享可加快信息的交流,促进宇宙的进化。实验仿真通过各种算法对比,本文算法对番茄图像表面缺陷分割结果清晰,对各类缺陷的正确分割率比较高,为番茄缺陷分割提供了一种新思路。

参考文献:

- [1] WAN P,TOUDESCHI A,TAN H Q,et al. A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018,146(3):43-50.
- [2] WANG L,FAN X T,SOKORAI K,et al. Quality deterioration of grape tomato fruit during storage after treatments with gaseous ozone at conditions that significantly reduced populations of Salmonella on stem scar and smooth surface[J]. Food Control, 2019,103(9):9-20.
- [3] FATEME M K,HAMID R M,ABDOLHOSSEIN S. Modified histogram-based segmentation and adaptive distance tracking of sperm cells image sequences[J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2018,154(2):173-182.
- [4] 陈强. 基于聚类技术的多阈值图像分割技术[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2018,16(4):715-718. (CHEN Qiang. Multi-threshold image segmentation based on clustering method[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2018,16(4):715-718.)
- [5] SUN S H,YU T T,NGUYEN T T,et al. Structural shape optimization by IGABEM and particle swarm optimization algorithm[J]. Engineering Analysis with Boundary Elements, 2018,88(3):26-40.
- [6] SUBIR G,ANALISA F. Common variance fractional factorial designs and their optimality to identify a class of models[J]. Subir Ghosh Analisa Flores, 2013,143(10):1807-1815.
- [7] 田源,孙凌. 基于宇宙算法的农业害虫图像检测[J]. 江苏农业科学, 2017,45(15):195-198. (TIAN Yuan,SUN Ling. Image detection of agricultural pest based on universe algorithm[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017,45(15):195-198.)
- [8] GABRIYELYAN S S,MORRIS S A. Free topological vector spaces[J]. Topology and its Applications, 2017,223(6):30-49.
- [9] CARMEN A. The weak topology in finite dimensional asymmetric normed spaces[J]. Topology and its Applications, 2019, 264(9):455-461.
- [10] JERZY K. Cp-spaces dominated by metrizable topologies[J]. Topology and its Applications, 2019,265(15):106837-106849.
- [11] PADMANABHAN T,PADMANABHAN H. Cosmic information,the cosmological constant and the amplitude of primordial perturbations[J]. Physics Letters B, 2017,773(10):81-85.
- [12] 徐光联,马晓录. 基于节点环的物流网格配送方法[J]. 科技和产业, 2013,13(7):110-115. (XU Guanglian,MA Xiaolu. Logistics grid distribution method based on node ring[J]. Science Technology and Industry, 2013,13(7):110-115.)
- [13] 何微. 基于外部特征参数的番茄分级方法研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2013. (HE Wei. Tomato grading method based on external characteristic parameters[D]. Wuhan,China:Huazhong Agricultural University, 2013.)
- [14] IRERI D,BELAL E,OKINDA C,et al. A computer vision system for defect discrimination and grading in tomatoes using machine learning and image processing[J]. Artificial Intelligence in Agriculture, 2019,2(6):28-37.
- [15] TIAN K,LI J H,ZENG J F,et al. Segmentation of tomato leaf images based on adaptive clustering number of K-means algorithm[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019,165(10):104962-104978.