

〈红外应用〉

## 基于 LoG 算法的水果热成像检测

韩亚辉<sup>1</sup>, 王琢<sup>1,2</sup>, 刘佳鑫<sup>1,2</sup>

(1. 东北林业大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 东北林业大学 林业人工智能研究院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:** 传统的水果分级与损伤检测大多采用感官评定的方法, 随着计算机视觉技术的发展, 计算机视觉检测分级技术发展迅速。研究中针对解决水果损伤部位检测的问题提出了一种利用图像处理技术对水果热成像损伤部位进行检测的技术方案。本方案采用 Laplacian of Gaussian (LoG) 算法对损伤部位进行检测, 使用高斯卷积模板抑制噪声, 通过设置不同的卷积核尺寸以及 $\sigma$ 值获得不同的卷积滤波结果, 加强了图像中损伤部位的色彩程度, 进而更好地利用边缘检测技术获取损伤部位的边缘信息。采用具有局部损伤的苹果作为研究对象, 选取有参考和无参考等5种评价方法, 分析卷积过程对于损伤部位边缘检测的影响。结果表明, 在水果热成像中 LoG 算法可以有效地检测水果的损伤部位, 卷积核尺寸对于水果损伤部位边缘检测结果的影响远大于 $\sigma$ 值, 通过增大卷积核尺寸可以有效地加深损坏部分的边缘信息, 研究为水果损伤区域检测提供了一种可行的解决方案。

**关键词:** 水果损伤; 热成像; LoG 算法; 边缘检测

中图分类号: TN219 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2021)07-0709-07

## Fruit Thermal Imaging Detection Based on Laplacian of Gaussian Algorithm

HAN Yahui<sup>1</sup>, WANG Zhuo<sup>1,2</sup>, LIU Jiixin<sup>1,2</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering of Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;

2. Institute of Forestry Artificial Intelligence of Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** Traditional fruit grading and damage detection mostly use sensory evaluation methods. With the development of computer vision technology, automatic computer vision detection and grading technology developed rapidly. To solve the problem of fruit damage detection, we propose a technical scheme for fruit thermal imaging damage detection using image processing technology. In this scheme, the Laplacian of Gaussian (LoG) algorithm was used to detect the damaged parts; a Gaussian convolution template is used to suppress noise. Different convolution filter results were obtained by varying the convolution kernel sizes and  $\sigma$  values to enhance the color degree of the damaged part in the image. Then, the edge detection technology was used to obtain the edge information of the damaged part. In the experiment, apples with local damage were selected as the research object, and five evaluation methods, including references and non-references, were selected to analyze the influence of the convolution process on the edge detection of damaged parts. The experimental results show that the LoG algorithm can effectively detect the damaged parts of fruits during thermal imaging, and the influence of the convolution kernel size on the edge detection results is far greater than the value of  $\sigma$ . By increasing the size of the convolution kernel, the edge information of the damaged parts can be effectively deepened. This study provides a feasible solution for fruit damage area detection.

**Key words:** fruit damage, thermal imaging LoG algorithm, edge detection

收稿日期: 2020-08-06; 修订日期: 2020-12-04.

作者简介: 韩亚辉 (1996-), 硕士研究生。研究方向: 图像处理。E-mail: 2962592004@qq.com.

通信作者: 王琢 (1979-), 硕士, 副教授。研究方向: 林业工程自动化、检测与测试技术。E-mail: wangzhuo@nefu.edu.cn.

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (2572019CP21)。

## 0 引言

水果含有丰富的营养且能促进消化，具有健康、美容的功能，是日常生活中的重要食品之一<sup>[1-2]</sup>。我国是水果生产大国，但是水果每年的出口量仅占总产量的3%左右，主要原因在于我国的水果分级水平低，以人工分级为主<sup>[3-4]</sup>。此外，水果从种植者到消费者手中，要经过采摘收购、保鲜贮藏、包装运输、市场销售等过程<sup>[5]</sup>，在这些处理过程中水果极易受损。水果损伤会严重影响水果的经济效益<sup>[6]</sup>，因此对于水果的损伤检测显得尤为重要。

传统的检测方法例如感官评定<sup>[7]</sup>和理化指标检测方法<sup>[8]</sup>等有损检测造成了水果的浪费。与此同时，无损检测技术已无法满足目前大量水果的检测需求。因此无损检测技术越来越受到检测行业的重视。无损检测是在不破坏被测对象的前提下，根据被测物体的热、光、电等特征，对被测物体的品质进行测量的技术<sup>[9]</sup>。门洪等<sup>[10]</sup>研究了苹果的损伤部位与完整部分的温差特性，通过设置不同的加热距离和拍摄距离获得对比热图像，并且定性定量地分析了果梗和花萼的温度曲线和温差，以此来排除果梗和花萼对损伤特征提取的影响。周其显等<sup>[11]</sup>利用热成像技术研究了损伤苹果表面温度的变化，结果表明在缺陷部位的温度曲线变化与果梗花萼处的温度曲线变化存在明显的差异。从以上研究可知，热成像技术可以达到缺陷检测的目的。但是以上研究仅判断了损伤部位的温差特性，并未获得损伤区域的边缘轮廓。

损伤水果的边缘轮廓可以使用边缘检测技术获得。边缘检测是图像处理和计算机视觉中的基本问题，对于图像处理中的特征提取，目标识别具有重大意义<sup>[12]</sup>。水果一旦存在缺陷，会很大程度的影响水果品质。水果的缺陷检测主要针对水果表面的缺陷进行及时检测<sup>[6]</sup>。本研究对获得的热图像进行卷积操作加深损伤部位的边缘信息，之后使用边缘检测算法进行损伤部位的提取。常用的边缘检测算法主要有 Canny 算子、Sobel 算子、Laplacian、Schar 滤波器等。利用红外热像仪所获得的水果热图像，其干扰噪声大于传统的可见光图像中的噪声<sup>[13]</sup>，然而以上提到的几种常规边缘检测方法不能有效地克服红外图像中的噪声部分。LoG 算法通过对图像进行卷积滤波，然后再通过计算二阶过零点来检测边缘，因此可以有效地克服红外图像中的噪声。黄玉蕾利用 LoG 算法的这种特点设计了结合形态学滤波的边缘检测算法，实验结果表

明，该方法保留了更加完善的边缘信息<sup>[14]</sup>。张阳等利用双边滤波的 LoG 算法进行边缘检测，结果表明该算法可以有效地消除噪声，获得准确的边缘信息并且具有良好的检测精度<sup>[15]</sup>。

## 1 LoG 算法简介

Laplacian 算子是  $n$  维欧几里德空间中的一个二阶微分算子，常用于图像增强领域和边缘提取。LoG 算法就是对一个标准高斯函数进行二次偏微分。

二维正态高斯函数为：

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

式中： $\sigma$ 是方差，决定了图像平滑程度的大小<sup>[16]</sup>。 $\sigma$ 越大，高斯图像锐化程度越大，周围像素权重越大高斯滤波作用越大； $\sigma$ 越小，高斯图像越扁平，周围像素权重越小，高斯滤波作用越小。

通过原始图像  $f(x, y)$  与高斯函数卷积定义滤波之后的图像：

$$f^*(x, y) = f(x, y) * G(x, y) \quad (2)$$

式中： $f^*(x, y)$ 为滤波之后的图像； $*$ 代表卷积操作。

因为对函数先卷积再求微分和先求微分再卷积的结果相同，即：

$$\nabla^2[G(x, y) * f(x, y)] = \nabla^2[G(x, y)] * f(x, y) \quad (3)$$

所以，定义 LoG 算法为：

$$\text{LoG} = \nabla^2 G(x, y) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} G(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} G(x, y) = \frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\pi\sigma^4} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

## 2 实验过程

实验选取具有局部损伤的苹果，使用 FORTIC 340 系列手持式热像仪获取水果损伤部位正面（图中水果的裂缝为水果的损伤部位）、损伤部位的背面、果梗处等3个方向的可见光图像，如图1所示。在 Ubuntu 系统中使用 Clion 集成开发环境中的 OpenCV 库以及 LoG 算法生成不同的高斯卷积模板并进行图像的滤波，滤波结果如图2所示，其中  $K$  代表卷积核的尺寸大小。之后使用 LoG 算法对水果图像进行损伤检测，检测结果如图3所示。为了量化评价不同的卷积模板对于水果损伤部位边缘检测的影响，引入有参考和无参考图像评价方法对不同边缘检测结果进行评价。



(a) 水果正面损伤 (b) 水果背面损伤 (c) 水果果梗  
(a) Damage to the frontal of the fruit (b) Damage to the back of the fruit (c) Fruit stem

图1 水果可见光图像

Fig.1 Visible light image of fruit

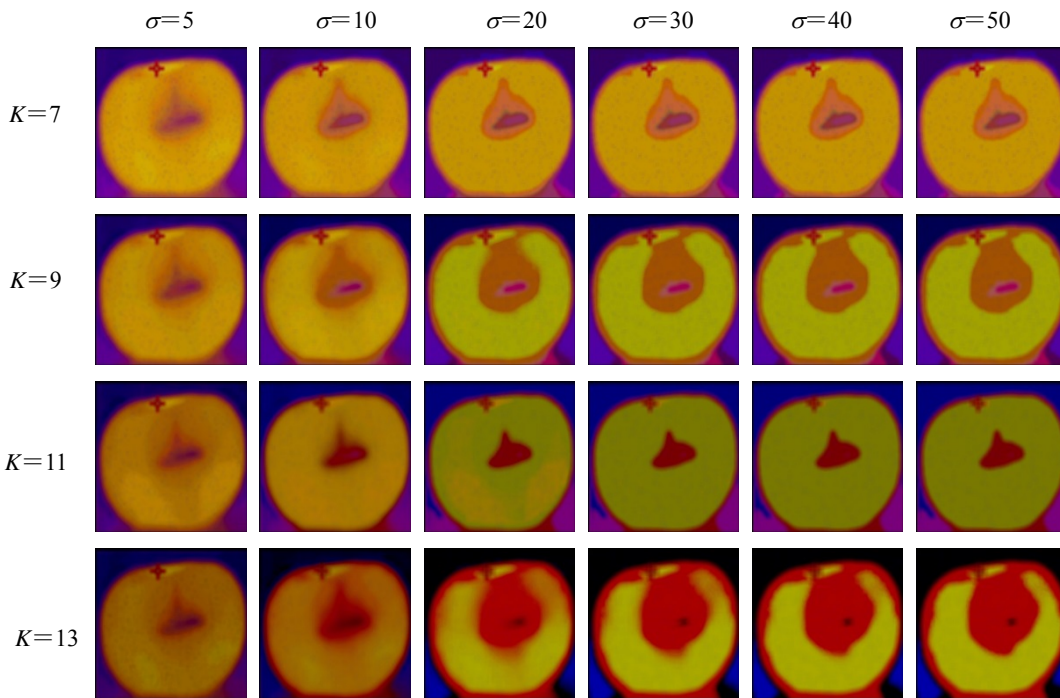
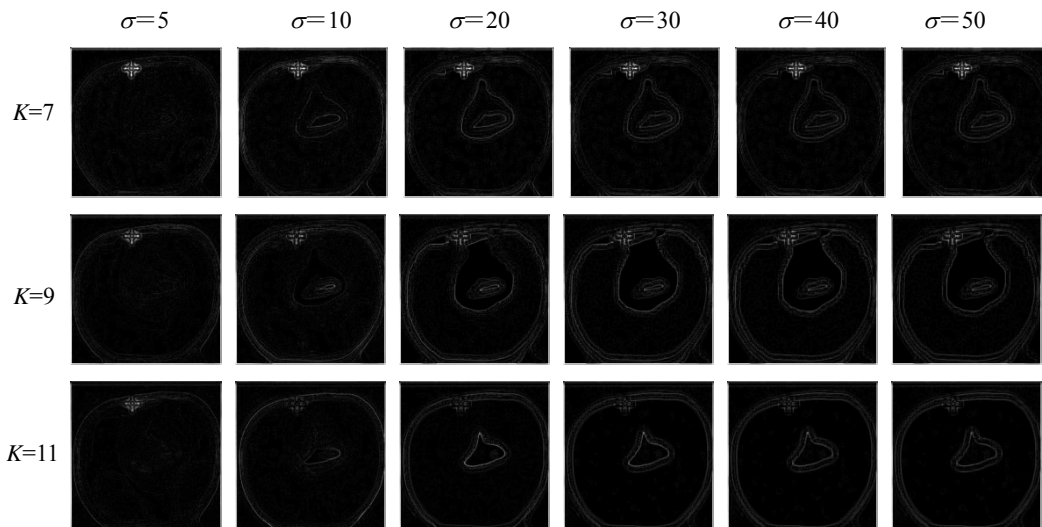


图2 损伤部位图像卷积结果

Fig.2 Convolution results of damaged image



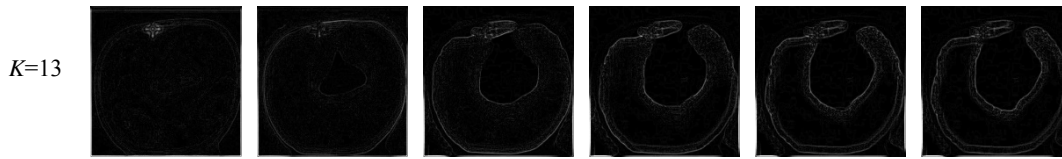


图 3 损伤部位边缘检测结果

Fig.3 Edge detection results of damaged parts

### 3 评价方法

为了进一步解释 LoG 算法在热成像检测中的作用,本研究使用均方误差、峰值信噪比、结构相似度、Laplacian 函数、方差函数等 5 种评价方法对实验结果进行分析。

#### 3.1 均方误差 (Mean Square Error, MSE)

大小为  $m \times n$  的干净图像  $f$  和噪声图像  $k$ , 均方误差 MSE 定义为:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} [f(x,y) - k(x,y)]^2 \quad (5)$$

式中:  $f(x,y)$  为点  $(x,y)$  的灰度值;  $k(x,y)$  代表了高斯滤波之后图像点  $(x,y)$  灰度值。MSE 衡量了两幅图片之间的灰度值差异。

#### 3.2 峰值信噪比 (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)

峰值信噪比是目前普遍使用的一种图像客观评价指标<sup>[17]</sup>, 用于衡量图像失真程度。PSNR 定义为:

$$PSNR = 10 \times \lg \left( \frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (6)$$

式中:  $MAX_I^2$  是图片最大可能像素,  $MAX_I^2 = 2^B - 1$ 。B 代表灰度级数, 如果每个像素都由 8 位二进制表示, 那么就为 255。

#### 3.3 结构相似度 (Structural Similarity, SSIM)

结构相似度的定义如下:

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_x\sigma_y + C_2)}{(\mu_x^2\mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2\sigma_y^2 + C_2)} \quad (7)$$

式中:  $\mu_x, \mu_y$  分别代表原始图像与滤波图像的灰度均值;  $\sigma_x, \sigma_y$  分别为原始图像与滤波图像的标准差; 常数  $C_1 = (K_1B)^2$ ,  $K_1$  取经验值为 0.01;  $C_2 = (K_2B)^2$ ,  $K_2$  取经验值为 0.03。

#### 3.4 Laplacian 函数

Laplacian 评价方法是利用 Laplacian 算子对图像进行卷积得到图像的高频分量, 利用高频分量评价图像质量。定义如下:

$$L(f) = \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} |G(x,y)| \quad (8)$$

式中:  $G(x,y)$  代表卷积之后的图像。

#### 3.5 方差函数

方差函数基于清晰图像的灰度差异比模糊图像的灰度差异更大这一原理来评价图像质量。其定义如下:

$$D(f) = \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} |f(x,y) - \mu|^2 \quad (9)$$

式中:  $\mu$  代表整幅图像的平均灰度。

### 4 结果分析

根据边缘检测量化结果进一步分析了 LoG 算法中不同的  $K$  以及  $\sigma$  对于损伤部位边缘检测的影响。边缘检测图像的量化结果如表 1 所示, 其中  $K$  代表卷积核的大小。表 1 中分别展示了在 MSE、PSNR、SSIM、Laplacian、方差等 5 种评价方法中边缘检测结果随卷积核大小以及  $\sigma$  的变化情况。

分析表 1 中的数据可知, 在 MSE 评价方法中保持 LoG 算法中的  $K$  不变, 横向比较不同  $\sigma$  变化情况, 其变化最大的一组数据是在  $K=11$  时取得, 极值差为 1492.20; 保持其  $\sigma$  不变纵向比较不同  $K$  变化情况发现, 在  $\sigma=5$  时其变化范围最小, 极值差为 4125.13。因此在 MSE 评价方法中纵向变化的最小值是横向变化最大值的 2.76 倍, 即 LoG 算法中  $K$  值的影响是  $\sigma$  值的 2.76 倍。

根据以上方式分别分析其它 4 种评价方法, PSNR 评价方法中横向变化最大值在  $K=11$  时取得, 其值为 1.6145, 纵向变化最小值在  $\sigma=20$  时取得, 其值为 7.0481, 该方法纵向变化的最小值是横向变化最大值的 4.37 倍; SSIM 评价方法是横向变化最大值是在  $K=11$  时取得, 其值为 0.069935, 纵向变化最小值在  $\sigma=40$  时取得, 其值为 0.191439, 该方法纵向变化的最小值是横向变化最大值的 2.74 倍; Laplacian 评价方法是横向变化最大值是在  $K=9$  时取得, 其值为 1.49624, 纵向变化最小值在  $\sigma=30$  时取得, 其值为 3.59167, 该方法纵向变化的最小值是横向变化最大值的 2.4 倍; 方差评价方法是横向变化最大值是在  $K=13$  时取得, 其值为 180.426, 纵向变化最小值在  $\sigma=5$

时取得,其值为1038.721,该方法纵向变化的最小值是横向变化最大值的5.76倍。

综上分析可得,在LoG算法中,卷积核尺寸对于边缘检测结果的影响远大于 $\sigma$ 值的影响。因此,本研究将重点分析卷积核尺寸对于边缘检测结果的影响。为了更加突出卷积核对于数据变化的影响,本文把表1中的数据转化为图4~图8的可视化图像。

图4~图8中横轴代表 $\sigma$ 值,每个 $\sigma$ 又包含了 $K$ 取4种不同值的数据,纵轴代表MSE、PSNR、SSIM、Laplacian、方差的取值范围。从5幅图中可以更加直观地看到 $\sigma$ 值变化对于评价数据的影响远小于卷积核变化的影响对于评价数据的影响。

从图4中可以看到当卷积核尺寸不断增大之后,MSE的值逐渐增大,这是由于增大卷积核尺寸之后,

图像的中心像素受到领域内的加权影响越来越大导致卷积之后的图片灰度值与原图像相比差别增大,从而导致MSE值的变化越来越大。观察图3中的损伤检测结果可以看出随着MSE的增大,损伤部位的边缘信息显示得更加丰富。在图5~图8中,随着滤波核尺寸不断增大,图像的PSNR、SSIM、Laplacian、方差大致呈现逐步下降的趋势。观察图3可知,随着PSNR、SSIM、Laplacian、方差值的降低,边缘检测的结果越来越好,而且更加的接近水果真实的损伤状态。但是当 $K=13$ 时,水果损伤周围的完整部位也被检测为损伤部位,这是因为卷积模板过大使周围的完整水果图像受到损伤部位图像的加权影响,错误地检测了损伤部位。

表1 滤波结果量化值

Table 1 Quantized value of filtering results

		$\sigma=5$	$\sigma=10$	$\sigma=20$	$\sigma=30$	$\sigma=40$	$\sigma=50$
MSE	$K=7$	932.33	1033.55	1159.55	1157.57	1159.55	1159.21
	$K=9$	1850.98	2007.50	2525.38	2559.60	2561.29	2562.35
	$K=11$	3331.90	3340.24	4442.35	4816.12	4823.55	4826.10
	$K=13$	5057.46	5913.20	5876.27	5954.22	5985.96	6002.32
PSNR	$K=7$	18.4351	17.9875	17.4879	17.4953	17.4879	17.4892
	$K=9$	15.4568	15.1043	14.1075	14.0491	14.0462	14.0444
	$K=11$	12.9093	12.8930	11.6547	11.3038	11.2971	11.2948
	$K=13$	11.0915	10.4126	10.4398	10.3826	10.3595	10.3476
SSIM	$K=7$	0.961849	0.955389	0.948082	0.948056	0.948080	0.948086
	$K=9$	0.922108	0.926302	0.913651	0.911872	0.911722	0.911521
	$K=11$	0.834795	0.842830	0.793065	0.773563	0.773045	0.772895
	$K=13$	0.732744	0.712764	0.753693	0.755303	0.756641	0.756533
Laplacian	$K=7$	10.3903	11.1540	10.96140	10.3558	10.2464	10.2421
	$K=9$	9.63460	9.54343	10.63036	9.35341	9.34649	9.13412
	$K=11$	6.36219	6.24669	7.62676	7.15089	7.03636	7.00650
	$K=13$	6.66614	6.64652	7.12676	6.76413	6.57969	6.29320
Variance	$K=7$	1730.12	1736.66	1722.77	1666.19	1679.57	1679.31
	$K=9$	1426.23	1456.53	1367.94	1373.06	1366.66	1364.33
	$K=11$	1319.41	1397.31	1252.20	1274.32	1272.49	1272.55
	$K=13$	691.399	510.973	563.156	614.730	633.922	630.566

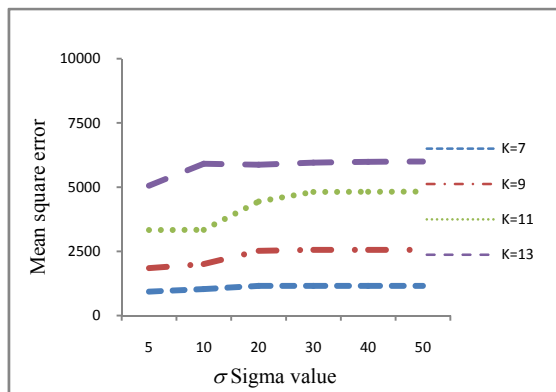


图4 MSE数据图

Fig.4 MSE data map

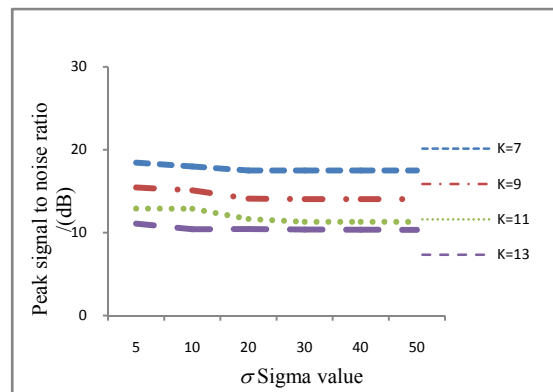


图5 PSNR数据图

Fig.5 PSNR data map

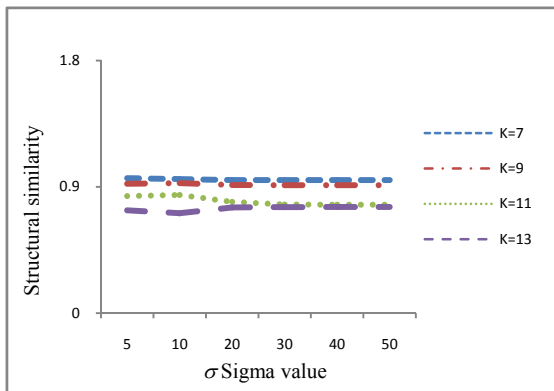


图6 SSIM数据图  
Fig.6 SSIM data map

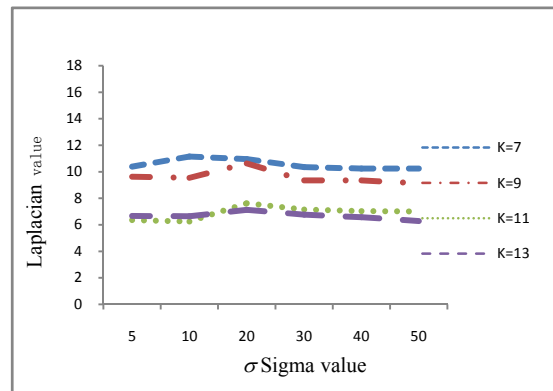


图7 Laplacian数据图  
Fig.7 Laplacian data map

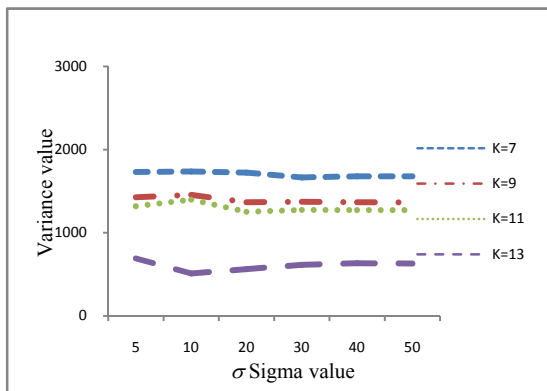


图8 方差数据图  
Fig.8 Variance data map

### 5 结论

针对水果损伤部位检测的问题,本文首先对使用热像仪获得图像进行卷积滤波处理,之后使用LoG算法进行边缘检测获得损伤部位的边缘轮廓,并且使用5种不同的评价方法量化检测结果。从边缘检测的量化结果来看,卷积核的尺寸和 $\sigma$ 对于水果损伤部位的边缘检测结果均具有影响。通过分别分析每种评价方法中的卷积核尺寸和 $\sigma$ 值量化结果,得出卷积核尺寸对于水果损伤部位边缘检测结果的影响远大于 $\sigma$ 值的结论。此外,从本研究的边缘检测结果来看,增大卷积核尺寸可以有效地加深损坏部分的边缘信息,但是当尺寸过大时,会影响损伤部位检测的结果。研究证明了LoG算法在热成像损伤水果检测中的实用性和可行性,为损伤水果的检测提供了可行方案。

### 参考文献:

[1] 李广, 吴限鑫, 王建忠, 等. 水果功能性营养成分及其检测技术研究进展[J]. 农产品质量与安全, 2019(5): 75-80.  
LI Guang, WU Xianxin, WANG Jianzhong, et al. Research progress on

functional nutrients in fruit and related testing technology: a review[J]. *Quality and Safety of Agro-products*, 2019(5): 75-80.  
[2] 车远侠. 水果科普知识在学前教育中的作用——评《水果的秘密》[J]. *中国果树*, 2019(6): 28.  
CHE Yuaxia. The role of fruit science knowledge in preschool education—Comment on "The Secret of Fruits"[J]. *China Fruits*, 2019(6): 28.  
[3] 李承龙, 鲁明丽. 基于边缘检测技术的果品分级方法研究[J]. *常熟理工学院学报*, 2018, 32(2): 78-82.  
LI Chenglong, LU Mingli. Fruits Grading Algorithm Based on Detection Technology[J]. *Journal of Changshu Institute of Technology*, 2018, 32(2): 78-82.  
[4] 李娟. 数字处理技术在果品分级中的应用——评《水果品质智能分级技术》[J]. *中国果树*, 2019(6): 23.  
LI Juan. Application of Digital Processing Technology in Fruit Grading—Comment on "Fruit Quality Intelligent Grading Technology"[J]. *China Fruits*, 2019(6): 23.  
[5] 张妍. 果蔬农产品质量安全现状分析[J]. *农业科技与信息*, 2019(22): 34-35, 39.  
ZHANG Yan. Analysis on the Status Quo of Quality and Safety of Fruits, Vegetables and Agricultural Products[J]. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2019(22): 34-35, 39.  
[6] 肖付才, 靳雯雯. 数字图像边缘检测算法及在农产品检测中的运用[J]. *热带农业工程*, 2019, 43(1): 133-135.  
XIAO Fucui, JIN Wenwen. Algorithm of Digital Image Detection and Its Application in Agricultural Product Processing[J]. *Tropical Agricultural Engineering*, 2019, 43(1): 133-135.  
[7] QIU S S, WANG J. Application of Sensory Evaluation, HS-SPME GC-MS, E-Nose, and E-Tongue for Quality Detection in Citrus Fruits[J]. *Journal of Food Science*, 2015, 80(10): s2296-s2304.  
[8] 马康凌, 杨绍林, 刀静梅. 中国农产品检测技术现状与展望[J]. *云南农业科技*, 2019(2): 60-63.  
MA Kangling YANG Shaolin, DAO Jingmei. Current Status and



- Prospects of Agricultural Products Testing Technology in China[J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2019(2): 60-63.
- [9] 徐赛, 孙潇鹏, 张倩倩. 大型厚皮水果的无损检测技术研究[J]. *农产品质量与安全*, 2019(5): 30-35, 48.  
XU Sai, SUN Xiaopeng, ZHANG Qianqian. Research progress on nondestructive testing technology applied to large thick-skinned fruit[J]. *Quality and Safety of Agro-products*, 2019(5): 30-35, 48.
- [10] 门洪, 陈鹏, 邹丽娜, 等. 基于主动热红外技术的苹果损伤检测[J]. *中国农机化学报*, 2013, 34(6): 220-224, 229.  
MEN Hong, CHEN Peng, ZOU Lina, et al. Apples' damage detection based on active thermal infrared technique [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2013, 34(6): 220-224, 229
- [11] 周建民, 周其显. 基于主动热成像技术的苹果早期机械损伤检测[J]. *农机化研究*, 2010, 32(8): 162-165.  
ZHOU Jianmin, ZHOU Qixian. Detection of Early Mechanical Damage in Apple Based on Active Thermal Imaging[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2010, 32(8): 162-165.
- [12] 马超. 基于多尺度多方向的图像边缘检测算法研究及其应用[D]. 开封: 河南大学, 2019.  
MA Chao. Research and Application of Image Edge Detection Algorithm Based on Multi-scale and Multi-direction[D]. Kaifeng: Henan University, 2019.
- [13] 钟艺晶. 一种绝缘子串红外图像的特征提取方法研究[J]. *机电信息*, 2020(21): 86-87.  
ZHONG Yijing. Research on a Feature Extraction Method of Infrared Image of Insulator String[J]. *Mechanical and Electrical Information*, 2020(21): 86-87.
- [14] 黄玉蕾. 基于形态学滤波结合 LOG 算法的边缘检测[J]. *计算机测量与控制*, 2019, 27(7): 257-260, 284.  
HUANG Yulei. Edge Detection Based on Morphological Filtering Combined with LOG Algorithm[J]. *Computer Measurement & Control*, 2019, 27(7): 257-260, 284.
- [15] 张阳, 刘缠牢, 卢伟家, 等. 基于 LoG 算子的双滤波边缘检测算法[J]. *电子测量技术*, 2019, 42(4): 95-98.  
ZHANG Yang, LIU Chanlao, LU Weijia, et al. Improved double filtering LoG operator edge detection[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2019, 42(4): 95-98.
- [16] 贺萌. 基于自适应形态学的边缘检测及应用[D]. 长沙: 中南大学, 2013.  
HE Meng. Edge Detection Based on an Adaptive Morphology Algorithm and Application[D]. Changsha: Central South University, 2013.
- [17] SLANINA M, RICNY V. Estimating PSNR in High Definition H. 264/AVC Video Sequences Using Artificial Neural Networks[J]. *Radio Engineering*, 2008, 17(3): 103-108.