

基于方向可调滤波器的改进Harris算子

翁松露^{1,2}, 张秋菊^{1,2}, 吴静静^{1,2}

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 无锡 214122)

摘要: **目的** 旨在传统Harris角点检测算子的基础上进行改进,以提高算子的漏检率和伪角点检测能力。**方法** 以自动物流包装线上物料的识别为例,把获取到的图像先进行预处理,得到灰度图像,在灰度图的基础上,首先通过方向可调滤波器进行4个不同角度的旋转,再分别进行角点检测,最后通过逻辑运算综合判断真伪角点。**结果** 把图像预处理的图像数据使用改进后的Harris角点检测算子进行角点检测,并与经典角点检测算子进行比较,结果表明改进后的算子确实有很强的辨别真伪角点的能力。**结论** 实验证明该方法可有效提高角点检测算子的识别准确率,误检率降低到了1.3%,漏检率降低到了2.9%。

关键词: 角点检测; Harris算子; 可调滤波器; 灰度图; 阈值

中图分类号: TP301 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)09-0068-06

Improved Harris Operator Based on Steerable Filter

WENG Song-lu^{1,2}, ZHANG Qiu-ju^{1,2}, WU Jing-jing^{1,2}

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: This work aimed to improve Harris operator based on the traditional Harris corner detection operator, in order to improve the detection accuracy and the false corner detection capability of the algorithm. Using the material recognition on automatic logistic packaging line as an example, the images obtained were first pretreated to get grey images, and rotation at four different angles was performed on the basis of the grey images using steerable filter. Then corner detection was performed, and finally, the authenticity of corner was comprehensively judged using logic computation. Corner detection of pretreated image data was conducted using the improved Harris corner detection operator, and compared to that using the traditional corner detection operator. The results showed that the improved operator indeed had very strong capability of judging the authenticity of corner. In conclusion, the experiment verified that this method could effectively enhance the recognition accuracy of corner detection operator, and the false detection rate in the experiment was reduced to 1.3% and the undetected rate was reduced to 2.9%.

KEY WORDS: corner detection; Harris operator; steerable filter; gray image; threshold

角点一般被定义为图像灰度值变化最大的区域,通过检测图像的角点可以把图像抽象出来,只通过具有代表性的点来代替整幅图像,大大缩小了图像的数据量,且大大提高了图像处理的速度与效率。角点检测(Corner Detection)^[1]是计算机视觉系统中用来获取图像特征的一种方法,广泛应用于运动检测、图像匹

配、视频跟踪、三维建模和目标识别等领域。

目前角点检测算法可归纳为2类:基于图像边缘的角点检测^[2-3]、基于灰度图像的角点检测^[4]。基于图像边缘的角点检测很大程度上依赖于图像的边缘检测和图像分割,而这2种操作想要获得好的效果,本身就有很大的难度,例如当遇到局部遮挡或者重叠的情

收稿日期: 2015-08-07

基金项目: 国家自然科学基金(61305016)

作者简介: 翁松露(1991—),女,江苏泰州人,江南大学硕士生,主攻机器视觉与模式识别。

通讯作者: 张秋菊(1963—),女,四川南充人,博士,江南大学教授,主要研究方向为智能制造。

况时就很难检测出完整的边缘,从而制约了它的适用范围。基于灰度图像的角点检测则巧妙地避免了这一问题,它通过检测邻域的灰度变化来检测角点,主要通过计算梯度值和曲率即可。一个成功的角点检测算子应该能够检测所有真正的角点,Harris^[5]算子是一种公认的、较好的、针对灰度图像的角点检测算法。由于其在检测时阈值的选择没有明确的理论规定,只是根据经验或者多次实验来确定,因此具有很大的不确定性。Harris角点检测算法被广泛应用于各个不同领域,杨蜀秦等人利用Harris算子对玉米、南瓜和西葫芦等具有尖端特征籽粒尖端进行了识别^[6];王明富、杨世洪等人通过Harris角点检测算法精确反映遥感图像压缩前后的几何质量变化^[7]。各种案例证明Harris角点检测算子在图像角点识别方面有很强的应用,但是其依然存在一些不足,需要进行改善。

近年来,许多专家学者针对Harris算子的不足已经提出了一些改进措施,如:刘博超等人针对Harris角点检测算法对于图像角点存在错检和漏检的问题,提出了一种基于图像边缘的改进角点检测方法,实验证明该角点检测算法准确率更高^[8]。房超、王小鹏等人利用双掩膜设定非极大值抑制的局部范围,结合K均值聚类方法进行非极大值抑制,此方法克服了传统Harris角点检测算法依靠经验选取阈值的不确定性造成的角点丢失或冗余问题,提高了角点检测的精度^[9]。王崑等人针对Harris角点检测算法对T型和斜T型角点存在定位不准确以及运算速度慢的问题,提出了一种计算相似角点的算法,改进了Harris角点检测算法,实验证明,改进后的方法更适合实时性要求高的场合^[10]。张小洪针对Harris算子不具有尺度变化特性这一缺点,构建了一种新的基于小波变换的Harris多尺度角点检测算法^[11]。

文中针对Harris算子在检测角点时对于伪角点的检测问题,以自动物流包装线上的物料识别为例,提出了一种以方向可调滤波器改进Harris算子的角点检测算法。把改进的Harris算子、传统的Harris算子以及经典的Susan算子^[12]在误检率和漏检率方面进行了比较。实验证明改进后的Harris算子可以很好地降低角点的误检率和漏检率。

1 Harris算子

1.1 基本思想

Harris角点检测算子的基本思想是:利用一个固定大小的窗口在待检测的图像平面内任意移动,同时

判断移动过程中其在不同方向上灰度值的变化,判定其是否为角点见图1。当在平坦区域时(见图1a),各个方向上灰度值都不变。在边缘区域时(见图1b),在边缘方向上的灰度值不发生变化。在角点处(见图1c),各个方向上的灰度值都发生了明显的变化。

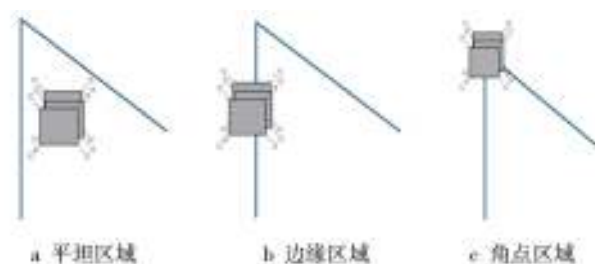


图1 Harris角点检测算法原理

Fig.1 The principle of Harris corner detection algorithm

分别对平坦、边缘、角点这3类不同区域上的点求取其水平、竖直方向灰度值的变化量,即: Δx , Δy 。可以看出:图1a中 Δx 和 Δy 都很小,变化量趋于0;图1b中, Δx 和 Δy 有且只有一个变化较大;在图1c中 Δx 和 Δy 的值都很大。根据这种性质,可以区分出图1c中窗口所处的区域为角点。

1.2 检测流程

经典Harris算子采用的是一种较为平滑的窗口函数——预平滑核函数(高斯函数):

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

为了降低噪声对检测准确率的影响,赋予中心点像素较大的权值。

1) 对图像中每一像素点计算其相关矩阵 $\mathbf{M}$:

$$\mathbf{A} = \omega(x, y) \otimes \Delta x^2 \quad (2)$$

$$\mathbf{B} = \omega(x, y) \otimes \Delta y^2 \quad (3)$$

$$\mathbf{C} = \mathbf{D} = \omega(x, y) \otimes (\Delta x, \Delta y) \quad (4)$$

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{D} \\ \mathbf{C} & \mathbf{B} \end{pmatrix} \quad (5)$$

2) 利用相关矩阵 $\mathbf{M}$ 计算每个像素点的角点量:

$$\mathbf{M} = \frac{\Delta x^2 \Delta y^2 - (\Delta x \Delta y)^2}{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (6)$$

3) 与极大值和阈值进行比较判断是否为角点。在 $w \times w$ 范围内寻找既满足是区域内的极大值点,而且角点量 R 大于设定阈值的点,则视为角点。

1.3 优缺点

Harris算子是一种高效的提取点特征算子,具有如

下优点:算法简单,耗时低,算子只需要计算在灰度基础上的一阶差分和滤波,操作较为简单;获得的点特征信息较为均匀,Harris算子对图像中所有点都计算其兴趣值,然后在邻域中择优选取;算法过程较为稳定,算子计算过程中只涉及一阶导数,不易受图像旋转、噪声影响和视点变换等因素的影响,是比较稳定的一种点特征提取算子。同时也具有一些不可消除的缺点,如对尺度变化很敏感,不具备尺度不变性;提取的角点级别是像素级的;定位精度差,容易漏掉一些实际的角点;需要进行非极大值抑制,提取角点的准确度取决于阈值的设定。阈值设定过大会引起角点信息的丢失,阈值设定过小又会导致大量伪角点被提取,文中针对其在检测角点时出现的漏检,误检等情况,利用方向可调滤波器进行改进。

2 方向可调滤波器

方向可调滤波器是Freeman^[13]于1991年提出的一种基于极坐标系 (r, θ) 中Fourier级数展开式的滤波器设计方法,采用了卷积的线性计算方式。其基本思想是将沿任意方向的滤波器表示为一组基滤波器函数的线性组合。图像经过一个方向滤波器后的响应可以通过一组基滤波器响应的线性组合表示,这就避免了重复卷积运算,从而减少了运算量。

方向可调滤波器具有任意旋转的功能,任意方向都可通过固定基滤波器的线性组合来表示,可以准确地检测出目标的边缘、纹理以及奇异点等特征。方向可调滤波器对应的基滤波器是在频域上相互之间有一定重叠的一组滤波器,其中每一个基滤波器都可表示为方向可调滤波器旋转到某一角度时的形式。其基本思想是从一组固定基础上的一个线性组合产生的一个旋转过滤器过滤器。某通用的可调滤波器结构见图2。

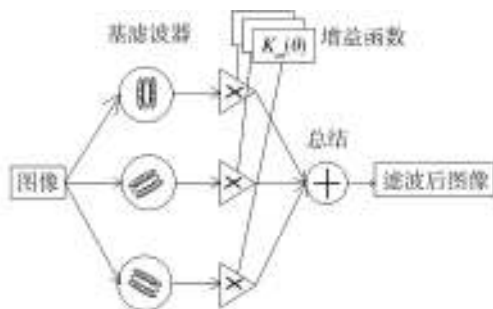


图2 方向可调滤波器的基本结构

Fig.2 The basic structure of the filter steerable

定义为如下形式:如果一个滤波器 $f^\theta(x, y)$ 可以

旋转,那么它在任意方向 θ 上的旋转 $f^\theta(x, y)$ 为

$$f^\theta(x, y) = \sum_{m=1}^M K_m(\theta) f^{\theta_m}(x, y) \quad (7)$$

式中: $f^\theta(x, y)$ 为基滤波器; M 为滤波器个数; $K_m(\theta)$ 为插值函数。

给定的一个确定函数 f 在极坐标系 $(r = \sqrt{x^2 + y^2}, \theta = \arg(x, y))$ 下,旋转后可以表示为Fourier级数在极角 ψ 的函数:

$$f(r, \psi) = \sum_{n=-N}^N a_n(r) e^{jn\psi} \quad (8)$$

式中: $j=-1; N$ 为离散距离。

此方法对旋转一个角度的方向导数滤波器的方向角有一定要求,其滤波器的函数必须是连续函数,否则此方法将不太适用。该算法的求解工程过程复杂,运算量较大,并不可直接用于工业自动化的几何图形识别,一般都是结合其它算子一起运用,如:结合金字塔算法进行人脸识别^[14]。文中利用方向可调滤波器对旋转任意角度的角点都可以表示为同一组基滤波器的线性组合。

3 改进的Harris算子

针对Harris算子在选择阈值时因图像旋转所带来的不确定性,文中利用方向可调滤波器具有的旋转不变性,来改善Harris角点检测算子。在Harris算子的检测流程中增加了利用方向可调滤波器进行不同角度的旋转,再进行Harris的检测,最后把各个方向的角点进行逻辑运算确定真伪角点。

3.1 算法流程

Harris角点检测^[15-16]需要设定阈值来进行非极大值抑制,提取角点的准确度取决于阈值的设定:阈值设定过大则会丢失角点信息,阈值设定过小又会导致大量的伪角点被提取,例如一些图像的噪声。传统的Harris算子根据人为经验进行阈值的设定,存在很大的不确定性,导致一些非角点的误检和实际角点的漏检情况的出现。

文中提出了一种利用方向可调滤波改进的Harris角点检测算法,在很大程度上可以改变算法人为选取阈值的方法,提高了算法检测角点时的准确率,其算法基本结构见图3。

通过CCD相机采集图像之后,经过增强、平滑、等预处理步骤,获得实验的二值化图像。把二值化图像的每个像素点视为离散灰度值的像素点,对于每一个

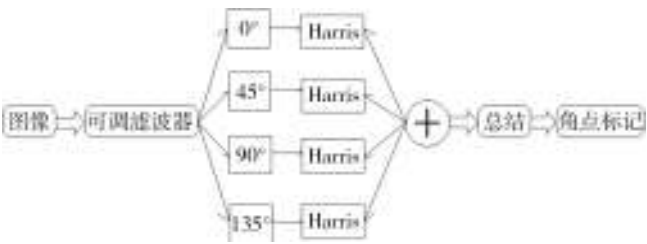


图3 改进 Harris 算法的结构
Fig.3 The structure of the improved Harris algorithm

像素点,取其4邻域进行计算,即十字点组,见图4。

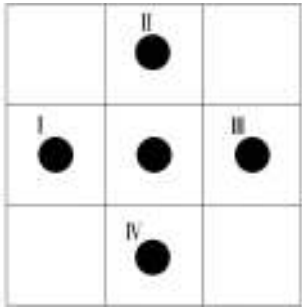


图4 十字点模型
Fig.4 Cross Point Model

通过检测十字点组周围 I , II , III , IV 等4个点的亮度值来判断中心点的亮度值,再根据亮度值判断其梯度值的大小。当然如果要想达到更高的精度,可以检测周围8个点的亮度值来计算中心点的梯度值。该例中针对的是实时的包装线系统,考虑到时耗、物料形状等因素,选取周围4个点的亮度值进行实验研究。

1) 首先利用方向可调滤波器对图像进行不同方向的旋转。由图4可以看出十字点组的4个点与中心点的位置关系为0° ,45° ,90° ,135° 等4个旋转角度,根据十字点的亮度值可以判断中心点的亮度值,所以文中选择了0° ,45° ,90° ,135° 等4个旋转角度,把处理好的灰度图像分别进行了上述4个角度的旋转,4个方向的旋转见图5。

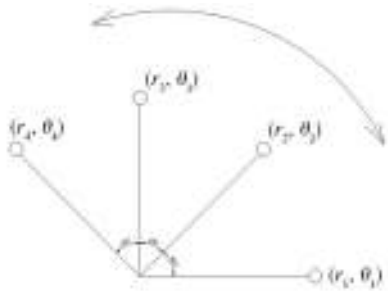


图5 图像进行 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 旋转
Fig.5 Image rotation about $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$

2) 根据图像清晰(聚焦)度评价函数中的拉普拉斯像能函数^[14],分别计算出十字点模型的亮度值,然后判断中心点的梯度值。

3) 利用 Harris 算子检测每个方向的角点。利用 Harris 算子,分别对经过4个方向可调滤波器处理后的图像进行角点信息的检测。

4) 将所有检测出的真伪角点进行逻辑“或”的操作,选取真实的角点,去除虚假的角点。

3.2 实例分析

实验基于 Microsoft Visual C++ 6.0 和 OpenCV 的编程环境下进行,选取角点检测算子经典的图像和实际案例中自动包装物流线上的物料作为研究对象。文中所有处理的图像都是执行完前期预处理后的灰度图像。对在灰度图的基础上 Susan 算子、经典 Harris 算子和经过方向可调滤波器改进后的 Harris 算子进行角点检测,并对检测结果进行了分析比较,见表1。

表1 对象1—3在不同算法下的检测结果
Tab.1 The test results with different algorithms of object one, two, and three

	对象1	对象2	对象3
原图			
Susan算子			
Harris算子			
改进后的 Harris 算子			

由此可以很明确地观察出不同算子对图像中角点信息的提取还是有很大区别的,尤其是在区分真伪角点方面,误检率和漏检率的分析 and 对比见表2—3。其中误检率 $\omega = \frac{k}{N}$, k 为非角点的点被误检为角点的

个数, N 为真实角点个数。平均误检率 $\bar{\omega} = \frac{1}{n} \sum_i^n \omega_i$, n 为实验对象总数。

表2 误检率对比
Tab.2 The comparison of false detection rate

算法	误检角点数			平均误检率/%
	对象1	对象2	对象3	
Susan	8	6	7	20.34
Harris	4	5	4	7.2
改进的 Harris	4	2	1	1.3

表3 漏检率对比
Tab.3 The comparison of undetected rate

算法	误检角点数			平均误检率/%
	对象1	对象2	对象3	
Susan	8	7	2	5.2
Harris	19	4	3	14.4
改进的 Harris	3	1	1	2.9

由表1可以看出在误检率方面, Susan算子的评价误检率最高, 传统的 Harris 算子次之, 改进后的 Harris 算子误检率最低。

漏检率 $\eta = \frac{l}{N}$, l 为实际是角点的点被漏检的个数; n 为真实角点个数。平均漏检率 $\bar{\eta} = \frac{1}{n} \sum_i^n \eta_i$, n 为实验对象总数。由表3可以看出在漏检率方面, Susan算子的漏检率最高, 传统的 Harris 算子次之, 改进后的 Harris 算子漏检率最低。综上可以看出传统的 Harris 算子在检测图像时误检率和漏检率方面比 Susan 算子优越, 而改进后的 Harris 算子更优越于传统的 Harris 算子。

4 结语

旨在改进 Harris 算子在检测角点时出现的漏检、误检的情况, 提出了一种基于方向可调滤波器的 Harris 算子改进算法。利用方向可调滤波器对疑似角点的像素点进一步检测其4个不同旋转角度方向的梯度值, 来确认此点是否真是角点, 实验证明该方法可以很好地提高真实角点的检测精确度, 降低对包含噪声在内的伪角点的误检率。文中虽对 Harris 算子在真伪角点的检测方面进行了改进, 但在一些高速场合使用时, 算法程序耗时太多, 还要对其进一步改进。

参考文献:

[1] 陈乐, 吕文阁, 丁少华. 角点检测技术研究进展[J]. 自动化技术与应用, 2005(5): 1—4.
CHEN Le, LYU Wen-ge, DING Shao-hua. A Survey of Corner Detection Algorithms[J]. Techniques of Automation and Applications, 2005(5): 1—4.

[2] LEE J S, SUN Y N, CHEN C H. Multiscale Corner Detection by Using Wavelet Transform[J]. IEEE Transactions on Image Processing: a Publication of the IEEE Signal Processing Society, 1995, 41: 100—104.

[3] BEUS H. L, STEVEN S, TIU H. An Improved Corner Detection Algorithm Based on Chain-coded Plane Curves[J]. Pattern Recognition, 1987, 20: 291—296.

[4] BARBARA Z, JAROSLAV K, GABRIELE P. Robust Detection of Significant Points in Multiframe Images 1 Electronic Annexes Available[J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 202: 199—206.

[5] HARRIS C, STEPHENS M. A Combined Corner and Edge Detector[C]// Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, 1988: 147—151.

[6] 杨蜀秦, 宁纪锋, 何东健. 基于 Harris 算子的籽粒尖端识别方法[J]. 农业机械学报, 2011(3): 166—169.
YANG Shu-qin, NING Ji-feng, HE Dong-jian. Identification of Tip Cap of Agricultural Kernel Based on Harris Algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011(3): 166—169.

[7] 王明富, 杨世洪, 吴钦章. 基于角点检测的遥感图像几何质量评价方法[J]. 测绘学报, 2011(2): 175—179.
WANG Ming-fu, YANG Shi-hong, WU Qin-zhang. A Geometric Quality Assessment Algorithm of Remote Sensing Image Based on Corner Detection[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2011(2): 175—179.

[8] 刘博超, 赵建, 孙强. 基于边缘改进的 Harris 角点检测方法[J]. 液晶与显示, 2013(6): 939—942.
LIU Bo-chao, ZHAO Jian, SUN Qiang. Improved Harris Corner Detection Method Based On Edge[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2013(6): 939—942.

[9] 房超, 王小鹏, 牛云鹏, 等. 基于改进 Harris 算法的角点检测[J]. 计算机与数字工程, 2011(5): 142—144.
FANG Chao, WANG Xiao-peng, NIU Yun-peng, et al. Corner Detection Based on An Improved Harris Algorithm[J]. 2011(5): 142—144.

[10] 王崴, 唐一平, 任娟莉, 等. 一种改进的 Harris 角点提取算法[J]. 光学精密工程, 2008(10): 1995—2001.
WANG Wei, TANG Yi-ping, REN Juan-li, et al. An Improved Algorithm for Harris Corner Detection[J]. Optics and Precision Engineering, 2008(10): 1995—2001.

[11] 张小洪, 李博, 杨丹. 一种新的 Harris 多尺度角点检测[J]. 电

- 子与信息学报,2007(7):1735—1738.
- ZHANG Xiao-hong, LI Bo, YANG Dan. A Novel Harris Multi-scale Corner Detection Algorithm[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2007(7):1735—1738.
- [12] STEPHEN M, SMITH J M. A New Approach to Low Level Image Processing[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23:45—78.
- [13] WILLIAM T F, EDWARD H A. The Design and Use of Steerable Filters[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 1991, 13:891—906.
- [14] 董立娟, 练秋生. 基于可调滤波器金字塔算法的人脸特征提取[J]. 微处理机, 2008(5):132—134.
- DONG Li-juan, LIAN Qiu-sheng. Face Feature Extraction Based on Steerable Filters[J]. Microprocessors, 2008 (5): 132—134.
- [15] 谢东海, 詹总谦, 江万寿. 改进 Harris 算子用于点特征的精确定位[J]. 测绘信息与工程, 2003(2):22—23.
- XIE Dong-hai, ZHAN Zong-qian, JIANG Wan-Shou. Improving Harris Corner Detector[J]. Journal of Geomatics, 2003 (2):22—23.
- [16] 杜飞明, 文益民, 陈方. 基于十字线灰度图像清晰度模型的构建与应用[J]. 计算技术与自动化, 2009(3):83—85.
- DU Fei-ming, WEN Yi-min, CHEN Fang. On Constructing and Applying Clarity-evaluation-model of the Cross-line Gray-scale Image[J]. Computing Technology and Automation, 2009(3):83—85.

(上接第 43 页)

- WU Ping, GAO Ming-yue. Packaging Design of Corrugated Paperboard for Fragile Container[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(1):74—79.
- [12] BIANCOLINI M E, BRUTTI C. Numerical and Experimental Investigations of the Strength of Corrugated Board Packages[J]. Packaging Technology & Science, 2003, 16(2):47—60.
- [13] 卢富德, 高德. C 楞瓦楞纸板动态缓冲模型及应用[J]. 功能材料, 2012(1):39—41.
- LU Fu-de, GAO De. Cushion Model and Its Application of C-flute Corrugated Paperboard[J]. Functional Materials, 2012 (1):39—41.
- [14] 舒悦. 瓦楞纸构建空间的创新应用研究[J]. 包装工程, 2014, 35(24):133—136.
- SHU Yue. Creative Application of Corrugated Paper in Space Construction[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(24):133—136.
- [15] 刘同文, 钱怡. 瓦楞纸板结构疲劳特性探究[J]. 包装工程, 2011, 32(5):38—42.
- LIU Tong-wen, QIAN Yi. Investigation on Fatigue Properties of Corrugated Board Structure[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(5):38—42.
- [16] 廖泽顺, 滑广军, 谢勇, 等. 瓦楞纸板横向边压强度有限元分析[J]. 包装工程, 2014, 35(13):56—60.
- LIAO Ze-shun, HUA Guang-Jun, XIE Yong, et al. Finite Element Analysis on Transverse Compressive Strength of Corrugated Board Edge[J]. Packaging Engineering, 2014, 35 (13): 56—60.
- [17] RAMMERSTORFER F G, PAHR D H, DAXNER T, et al. Buckling in Thin Walled Micro and Meso Structures of Lightweight Materials and Material Compounds[J]. Computational Mechanics, 2006, 37(6):470—478.
- [18] PATEL P, NORDSTRAND T, CARLSSON L A. Local Buckling and Collapse of Corrugated Board Under Biaxial Stress[J]. Composite Structures, 1997, 39(S1/2), 93—110.
- [19] GILCHRIST A C, SUHLING J C, URBANIK T J. Nonlinear Finite Element Modeling of Corrugated Board[J]. Mechanics of Cellulosic Materials, 1999, 85:101—106.
- [20] HAJ-ALI R, CHOI J, WEI B S, et al. Refined Nonlinear Finite Element Models for Corrugated Fiberboards[J]. Composite Structures, 2009, 87(4):321—333.
- [21] 贺妙欣. 具有展示窗的瓦楞纸箱的承载能力分析[D]. 无锡:江南大学, 2010.
- HE Miao-xin. Analysis on Load Capacity of Corrugated Boxes with Show Windows[D]. Wuxi:Jiangnan University, 2010.