

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2019.03.011

基于 NSGA-II 多目标遗传算法的宿舍室内空间布局优化研究

李琳, 王旭鹏

(西安理工大学 艺术与设计学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 为了适应宿舍室内空间布局自身评价指标中模糊性与多态性的特点,克服评判中缺乏科学性和客观性的问题,本文在分析宿舍室内有效活动空间利用率的基础上,运用 NSGA-II 多目标遗传算法对宿舍空间布局优化问题进行求解,以某大学四人间宿舍为例建立数学模型,采用改进遗传算法进行室内空间布局优化设计。研究表明,NSGA-II 多目标遗传算法可有效解决宿舍室内空间布局问题,该研究结果也为其他同类问题的解决提供了一种有效的途径。

关键词: 有效活动空间利用率; NSGA-II 遗传算法; 室内空间布局优化

中图分类号: TU241.2

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2019)03-0338-05

Research on optimization of dormitory interior space layout based on NSGA-II multi-objective genetic algorithm

LI Lin, WANG Xupeng

(School of Art and Design, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to adapt to the characteristics of the ambiguity and polymorphism in the evaluation index of the dormitory space layout and to overcome the problem by the lack of scientificity and objectivity in evaluation, the utilization rate of effective activity space is analyzed, with the problem of interior space layout solved by the NSGA-II multi-objective genetic algorithm in this paper. A four-person dormitory in a university is used as an example to establish a mathematical model, with the genetic algorithm used to optimize the layout of the dormitory space. The research result shows that the NSGA-II multi-objective genetic algorithm can effectively solve the problem of dormitory space layout, and that it also provides an effective way for solving other similar problems.

Key words: utilization rate of effective activity space; NSGA-II genetic algorithm; optimization of interior space layout

高校宿舍不仅是学生日常起居的生活空间,还是学习交流、思想交汇的重要场所。近年来随着高校建设步伐的加快,学生宿舍建筑环境得到较大提升,但是居住人口过密、宿舍空间布局不佳、宿舍室内环境凌乱等问题仍普遍存在,严重影响了学生宿舍的生活质量。其中,宿舍空间布局是规划宿舍设施配置、提高宿舍空间利用率、提升人员活动便利性等的重要基础,对宿舍功能达成度、学生宿舍生活满意度都有着重要影响。

由于国内外高校住宿制度差异较大,国内外学者对于高校宿舍研究的侧重点也有所不同。国外高校学生住宿以自主选择为主,很多学生会选择在校外租房居住。因此宿舍居住人数较少,居住环境相对宽松、舒适。目前国外学者关于高校宿舍空间的研究主要有:①基于宿舍室内物理环境(如:室内温度、湿度,光照照度等)与人际关系的宿舍空间设计^[1]。②发挥优势、控制劣势的旧宿舍空间改造^[2];③从技术和功能的角对宿舍设施进行使用评价,

收稿日期: 2019-01-27

基金项目: 陕西省社会科学基金资助项目(2019K037)

作者简介: 李琳,女,讲师,研究方向为产品设计、产品语意表达。E-mail:lilin15158@xaut.edu.cn

通讯作者: 王旭鹏,男,副教授,博士,研究方向为人体运动生物力学、产品造型及信息化。E-mail:wangxupeng@xaut.edu.cn

促进宿舍设施的完善^[3]。国内学者从不同角度对宿舍空间环境、宿舍家具、宿舍内人际交往等内容进行了研究,其中宿舍室内空间布局的代表性研究有:林道发^[4]、刘思思^[5]等通过实地调查提出宿舍空间优化设计方法;郑颖等^[6]通过对人体尺寸、人员活动与空间需求关系的研究,以宿舍家具为依托,创造宿舍内个人箱体式单元空间,并对单元空间的组合构成进行了探讨;郝宇^[7]运用 POE 分析法对内蒙古中部中学宿舍空间布局进行了研究。国内外学者依据研究对象特征,采用不同的算法对空间布局进行了优化研究。Dino 等^[8]采用了多目标建筑设计优化工具(multiobjective architectural design explorer, MADE)对建筑空间布局、能量及采光性能进行优化。Kim Soo-Young 等^[9]提出了最优管道路线的目标函数,采用改进的空间评估方法对船舶机舱管道系统空间效率布局设计进行优化。武田艳等^[10]运用多目标粒子群优化算法(particle swarm optimization, PSO)构建社区公共服务设施配置空间优化模型并求解出最优方案。孙昕等^[11]运用工艺专业化布局 SLP 方法对产品的综合关系进行分析,并以整体厨房产品为例建立数学模型,采用改进粒子群算法进行求解,实现了产品布局优化设计。李云等^[12]针对游艇舱室布局的多目标问题,采用 NSGA-II 算法对其进行优化计算,并进行实例验证。钟婷^[13]采用空间句法对成都少城空间进行量化研究并建立模型,为城市空间优化决策提供量化支撑。

以上研究为宿舍室内空间布局优化提供了思路和方法。鉴于宿舍空间布局自身评价指标具有模糊性与多态性,且目前对宿舍空间布局方案的评价主要依靠实地调查、设计人员的经验和居住人群的反馈,缺乏评判的科学性和客观性,本文拟以某大学四人间学生宿舍为例,通过研究宿舍室内有效活动空间利用率,对人员共享活动空间进行定量分析,同时结合宿舍空间环境特征(空间便利性、设施支持力、环境舒适性^[14]),采用 NSGA-II 多目标遗传算法进行室内空间布局优化设计并求解。该方法可为涉及空间布局及空间利用率设计等方面的研究提供理论支撑。

1 宿舍室内有效活动空间利用率

室内空间布局问题实质上是容器(空间)与属具(室内设施)的相互关系问题。布局效果的优劣一方面与人员有效活动空间的大小有关,另一方面与人员活动的便利性、环境舒适性、室内设施的支持力有关。本文采用有效活动空间利用率这一数据指标对

室内人员活动空间使用情况进行评价。

宿舍室内有效活动空间是指:除去宿舍家具与设施所占空间,宿舍家具与设施四周无法利用的狭小空间,余下的较为宽敞、具有连续性的活动空间^[15]。室内有效活动空间越大,人员活动开展就越顺利,反之则空间局促,活动受限。有效活动空间可用其对应的地面面积表示。为了便于比较不同空间布局下的有效活动空间使用情况,本文引入了有效活动空间利用率这一评价指标^[15]:

$$E = \frac{S}{A} \quad (1)$$

式中: S 为室内有效活动空间所对应的地面面积; A 为室内地面总面积。

由式(1)可知, E 的数值应在 $0\sim 1$ 之间, E 数值越大,说明室内有效活动空间利用率越高,方案效果越好。

宿舍室内有效活动空间面积为^[15]:

$$S = A - S_1 - S_2 \quad (2)$$

式中: S_1 为宿舍家具与设施占用空间所对应的地面面积之和; S_2 为宿舍家具与设施周边无法利用的狭小空间所对应的地面面积之和。

S_2 由两部分构成:①人员无法出入的空间所对应的地面面积;②人员能够进入却无法开展有效活动的空间所对应的地面面积。在实际测量和计算中, S_2 可通过下述方法求得。宿舍家具一般沿墙摆放,选取不靠墙的家具顶点(如图1中A、B、C、D四个顶点)依次用正交直线相连,这些正交直线将宿舍空间划分为若干子空间(如图1中1、2、3、4四个子空间),评判各个子空间能否进行人员活动。

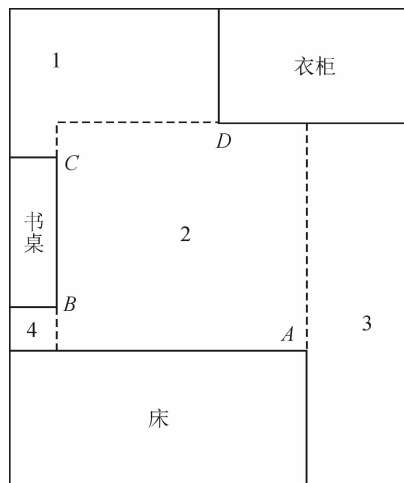


图1 室内空间划分

Fig. 1 Interior space division

评判标准:①进入子空间的入口宽度要不小于800 mm(该宽度依据室内门的宽度尺寸标准进行设

定);②子空间对应的地面面积要不小于 0.753 m^2 (该面积可根据 1988 年人体尺寸国标中 18~25 岁、95 百分位男性的两肘展开尺寸 941 mm 与入口尺寸 800 mm 而定)。若子空间不能满足上述两个评判标准中的任何一个,则被列入 S_2 中。

有效活动空间利用率是按照空间对应的地面面积进行计算,而宿舍是一个伴有人员活动的立体空间,且室内家具布置对人员活动的便捷性、环境舒适性也会产生影响。因此,室内空间布局优化还需充分考虑空间环境特征和人员活动需求。

2 室内空间布局优化设计数学模型

宿舍室内空间布局包含空间、宿舍家具及其相互关系和要求。这些关系与要求即为布局的约束条件。人员活动的便利性与环境舒适性要从宿舍家具配置、家具摆放位置以及人员心理需求等多个角度综合考量。因此,本文采用 NSGA-II 多目标遗传算法为宿舍室内空间布局建立数学模型^[12]。

2.1 目标函数

1) 宿舍家具之间不产生干扰,且彼此间隔距离越大越好,用 $F_1(x)$ 来描述:

$$F_1(x) = \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^n (x_i - x_j)^2 \quad (3)$$

式中: x_i 、 x_j 为对干扰距离有要求的家具位置参数; n 为对干扰距离有要求的家具总数。

2) 在宿舍面积、家具数量及尺寸一定的情况下,家具及活动区域所占用的面积均是一定的。设计中要使人员活动的中心区域利用率最大化,本文中用 $F_2(x)$ 来描述这个活动的距离:

$$F_2(x) = \sum_{i=1}^n \omega_i (x_i - x_a)^2 \quad (4)$$

式中: ω_i 为室内空间布局设计中各家具所对应区域的重要性权系数,且 $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$; x_a 为活动区中心位置参数。

2.2 设计变量

本文中,将设计变量定义为家具的位置参数 \mathbf{X} , ($i=1, 2, \dots, n$), 即:

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_n\} = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\} \quad (5)$$

式中: x_i 为属具 i 的 x 坐标 ($i=1, 2, \dots, n$); y_i 为属具 i 的 y 坐标 ($i=1, 2, \dots, n$); i 为家具编号,本研究取 $n=16$ 。

2.3 约束条件

宿舍室内空间优化布局约束条件主要涉及以下

三类:

1) 家具布置主要受宿舍空间的约束,既不能超出宿舍的边界,又要满足对距离有要求的相邻家具间的位置关系,即:

$$\begin{cases} \frac{s_i}{2} \leq x_i \leq L - \frac{s_i}{2} \\ \frac{q_i}{2} \leq y_i \leq W - \frac{q_i}{2} \\ |x_i - x_j| = d_{xij} \\ |y_i - y_j| = d_{yij} \end{cases} \quad (6)$$

式中: (x_j, y_j) 为家具的位置参数 ($j=1, 2, \dots, n$); s_i 、 q_i 分别为家具 i 在 x 、 y 方向的尺寸; d_{xij} 和 d_{yij} 分别为家具 i 与 j 之间在 x 和 y 方向的距离要求; L 和 W 分别为房间长和宽。

2) 宿舍内家具间互不干涉,不能出现交错:

$$\begin{cases} |x_i - x_j| \geq \frac{s_i + s_j}{2} \\ |y_i - y_j| \geq \frac{q_i + q_j}{2} \end{cases} \quad (7)$$

式中: s_j 、 q_j 分别为家具 j 在 x 、 y 方向的尺寸。

3) 保证各家具不影响人员出入,该约束条件为:

$$\begin{cases} |x_i - x_d| \geq \frac{s_i + L_d}{2} \\ |y_i - y_d| \geq \frac{q_i + W_d}{2} \end{cases} \quad (8)$$

式中: x_d 、 y_d 为家具相对门的定位参数; L_d 、 W_d 为门的长和宽。

上述宿舍室内空间布局优化设计模型以室内有效活动空间利用率最大为目标,同时考虑人员活动便利性、环境舒适性和设施支持力,结合适合的优化算法,即可进行宿舍室内空间布局优化设计。

3 优化算例

某大学四人间学生宿舍室内空间布局如图 2 所示(尺寸单位: mm)。室内空间由生活起居空间和阳台组成。生活起居空间是宿舍成员主要活动区域且空间布局灵活多变,而阳台多被用来堆放杂物、晾晒衣物,是生活辅助空间,较少承担人员活动。因此,四人间学生宿舍室内空间布局优化以生活起居空间为研究对象。

3.1 宿舍室内有效活动空间利用率

生活起居空间总面积为 16.08 m^2 。宿舍家具占地总面积 6.605 m^2 ,其中床占地面积 3.6 m^2 ,书桌占地面积 1.98 m^2 ,衣柜占地面积 1.025 m^2 。

选取不靠墙的家具顶点,依次用正交直线连接,

将宿舍空间划分为 6 个子空间: C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 、 C_6 (如图 2 所示)。子空间 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 、 C_6 的占地面积分别为 3.1 m^2 、约 3.55 m^2 、 1.54 m^2 、 0.36 m^2 、 0.51 m^2 、 0.25 m^2 。

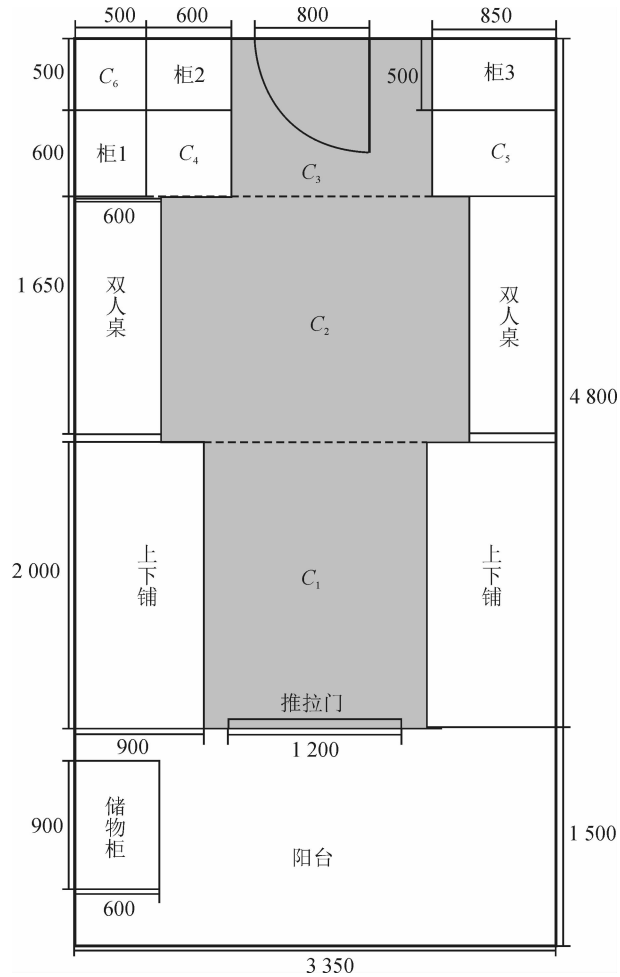


图 2 宿舍室内空间布局
Fig. 2 Dormitory space layout

由于子空间 C_4 、 C_5 、 C_6 占地面积均小于 0.753 m^2 , 因此, S_2 面积为 1.12 m^2 。

由式(2)可知, 宿舍室内有效活动空间面积为 8.355 m^2 (图 2 中灰色区域)。

由式(1)可知, 宿舍室内有效活动空间利用率约为 51.96%。

根据上述分析可知: ①该宿舍室内有效活动空间利用率较好, 室内空间布局能够满足日常生活需求; ②宿舍空间布局趋于扁平化, 纵向高度空间利用不充分; ③宿舍家具摆放位置容易对人员活动产生干扰, 无法形成相对独立的个人私密性空间。如: 书桌沿墙并排摆放, 不易形成相对安静的学习空间; 上下铺容易互相干扰, 无法形成相对私密的睡眠空间。

3.2 宿舍室内空间布局优化方案

在 MATLAB 环境下, 基于改进的 NSGA-II 遗

传算法进行宿舍室内空间布局优化求解, 结果如表 1、表 2 所示。

表 1 优化布局参数结果 1

Tab. 1 Parameter results of optimization layout 1

编号	家具名称	长/mm	宽/mm	NSGA-II 布局优化结果	
				x/mm	y/mm
1	上下床 1	2 000	900	450	1 000
2	上下床 2	2 000	900	2 550	1 000
3	上下床 3	2 000	900	2 550	3 800
4	上下床 4	2 000	900	450	3 800

表 2 优化布局参数结果 2

Tab. 2 Parameter results of optimization layout 2

编号	家具名称	长/mm	宽/mm	NSGA-II 布局优化结果	
				x/mm	y/mm
1	书柜 1	1 650	600	150	500
2	书桌 1	600	500	600	500
3	衣柜 1	500	850	450	1 500

结合上述优化结果, 建立如图 3 所示(尺寸单位: mm)的宿舍室内空间布局优化方案。

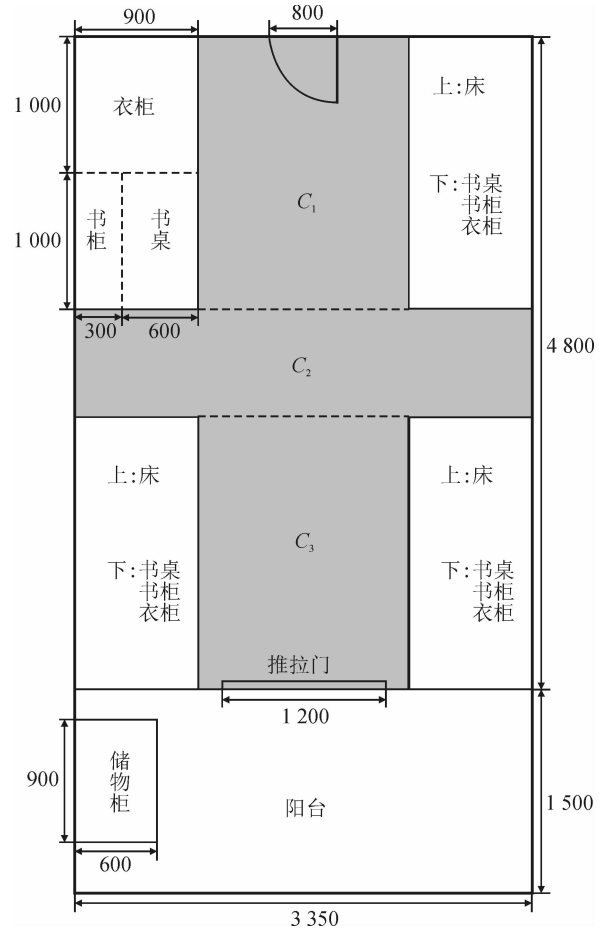


图 3 宿舍空间布局优化方案

Fig. 3 Optimization scheme for dormitory space layout

3.2.1 优化方案有效活动空间利用率

生活起居空间总面积为 16.08 m^2 。

宿舍家具占地面积:书桌、书柜与衣柜均位于床铺下方,与床铺所对应的地面面积重合,因此家具占地面积只需计算床铺所对应的地面面积即可。因此, S_1 为 7.2 m^2 。

优化方案中,子空间 C_1 、 C_2 、 C_3 的占地面积分别为 3.1 m^2 、 2.68 m^2 、 3.1 m^2 ,均大于 0.753 m^2 ,因此, S_2 面积为 0。

综上,室内有效活动空间面积为 8.88 m^2 (图 3 中灰色区域),室内有效活动空间利用率约为 55.22% 。

由此可知,运用 NSGA-II 遗传算法对宿舍室内空间布局进行优化,能够显著提高有效活动空间利用率。

3.2.2 人员活动便利性与环境舒适性的提升

依据人员在宿舍内的活动内容与生活需求,笔者将宿舍空间划分为睡眠空间、学习空间、交往空间、储藏空间。空间布局优化方案将床、书桌沿宿舍墙壁布置且分置于房间四角,减少了外部环境对睡眠空间与学习空间的干扰,保证了个人活动空间的相对独立性。其中睡眠空间对私密性需求最为强烈,因此上床下桌的组合关系能够为使用者提供较好的私密性环境。

交往空间是宿舍成员的共享活动空间,优化方案将其集中设置于室内中心区域(图 3 中灰色区域),便于人员日常出入和交往活动的开展。宿舍家具采用上床下桌的组合方式能够减少家具占地面积,且分置于房间四角,保证了室内有效活动空间的集中化和最大化。个人衣柜和书柜设置于床铺下方,方便人员使用。

4 结 语

合理的空间布局为提升宿舍功能达成度提供支撑,是提升宿舍生活质量的重要基础。本文通过分析宿舍室内有效活动空间利用率,采用 NSGA-II 多目标遗传算法对宿舍室内空间布局优化问题进行求解。以某大学四人间宿舍为例,从空间环境特征、人员心理需求等多个角度进行综合考量,设计约束条件,运用改进遗传算法对其室内空间布局进行优化。优化实践案例表明:①基于 NSGA-II 多目标遗传算法的宿舍室内空间布局优化方案,能够显著提高室内有效活动空间利用率;②空间布局优化方案恰当地规划了宿舍功能空间,充分利用了室

内纵向高度空间,为后续宿舍室内相关研究奠定了重要基础;③空间布局优化方案较好地满足了人员活动开展的便利性与环境舒适性要求,提升了宿舍人员的生活质量。

需要指出的是,宿舍物理环境因素(如光效、温度等)对室内空间布局的影响在本研究中并未涉及。在今后的研究中,团队将继续关注宿舍室内空间功能需求,围绕相关问题加以研究和探讨。

参考文献:

- [1] HARE K. Design of living spaces in dormitories[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 92(10): 445-451.
- [2] IMAN K, BRENDA V. Shared student residential space: a post occupancy evaluation [J]. Journal of Facilities Management, 2016, 14(2): 102-124.
- [3] MOHAMMAD A H. On the performance evaluation of sustainable student housing facilities[J]. Journal of Facilities Management, 2008, 6(3): 212-225.
- [4] 林道发,朱效勇,兰颖.大学生宿舍空间优化设计探讨[J].家具与室内装饰,2014,(2):85-87.
LIN Daofa, ZHU Xiaoyong, LAN Ying. College students' dormitory space optimization design[J]. Furniture & Interior Design, 2014, (2): 85-87.
- [5] 刘思思.研究生宿舍空间优化设计研究[J].山西建筑,2007,33(20):20-21.
LIU Sisi. A study on the optimum design of the graduate students' dormitory [J]. Shanxi Architecture, 2007, 33(20): 20-21.
- [6] 郑颖,张晓勤.大学生宿舍箱体单元空间的优化设计研究[J].四川建筑,2010,30(5):61-63.
ZHENG Ying, ZHANG Xiaoqin. A study on the optimization design of unit space in college students' dormitory[J]. Sichuan Architecture, 2010, 30(5): 61-63.
- [7] 郝宇.基于POE理论的中学学生宿舍空间布局研究:以内蒙古中部为例[D].呼和浩特:内蒙古工业大学,2018.
HAO Yu. Research on the spatial distribution of middle school students' dormitory based on POE theory: a case study of the middle part of Inner Mongolia[D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Technology, 2018.
- [8] DINO I G, ÜÇOLUK G. Multiobjective design optimization of building space layout, energy, and daylighting performance[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2017, 31(5): 04017025.
- [9] KIM S Y, BYUNG-YOUNG M. Layout design optimization of pipe system in ship engine room for space efficiency[J]. Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 2013, 37(7): 784-791.

(下转第 377 页)

- of Technology, 2018, 34(1): 116-121.
- [3] 阳振宇,潘建平,陈梦. 基于高低帽变换的图像迭代分割方法[J]. 测绘工程, 2018, 27(8): 60-65.
YANG Zhenyu, PAN Jianping, CHEN Meng. An iterative image segmentation method based on high and low cap transformation[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2018, 27(8): 60-65.
- [4] VINCENT O R, FOLORUNSO O. A descriptive algorithm for Sobel image edge detection [C]//Proceedings of informing Science & IT Education Conference, 2009: 97-106.
- [5] HEATH M, SARKAR S, SANOCKI T, et al. Comparison of edge detectors: a methodology and initial study [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1998, 69(1): 38-54.
- [6] 潘跃龙,顾寄南,郑立斌,等. 基于梯度算子的边缘检测方法的研究与改进[J]. 制造业自动化, 2014, 36(17): 82-84.
PAN Yuelong, GU Ji'nan, ZHENG Libin, et al. Research and improvement on the algorithms of image edge detection based on gradient operators[J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(17): 82-84.
- [7] 王永强,马伦,律方成,等. 基于有限差分 and 有限体积法相结合的油浸式变压器三维温度场计算[J]. 高电压技术, 2014, 40(10): 3179-3185.
WANG Yongqiang, MA Lun, LÜ Fangcheng, et al. Calculation of 3D temperature field of oil immersed transformer by the combination of the finite element and finite volume method [J]. High Voltage Engineering, 2014, 40(10): 3179-3185.
- [8] 王文峰,阮俊虎, CV-MATH, 等. 计算机视觉与机器认知[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2017, 93-98.
- [9] 张金凤. 印刷图像检测技术的研究[D]. 西安:西安理工大学, 2019.
ZHANG Jinfeng. Research on printed image detection technology [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2019.

(责任编辑 周 蓓)

(上接第 342 页)

- [10] 武田艳, 占建军, 严伟. 基于改进 PSO 的保障性社区公共服务设施配置空间优化研究[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(1): 263-272.
WU Tianyan, ZHAN Jianjun, YAN Wei. Study on configuration of space and optimization for the indemnificatory community public service facility based on modified PSO [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2017, 37(1): 263-272.
- [11] 孙昕, 吉晓民, 王毅. 基于 SLP 和改进粒子群算法的产品布局优化设计方法研究[J]. 西安理工大学学报, 2016, 32(4): 488-493.
SUN Xin, JI Xiaomin, WANG Yi. Research on product layout optimization method based on SLP and improved particle swarm optimization algorithm[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2016, 32(4): 488-493.
- [12] 李云, 龚昌奇. 改进的遗传算法在游艇舱室布局优化设计中的应用[J]. 船海工程, 2010, 39(1): 34-37.
LI Yun, GONG Changqi. Application of improved genetic algorithms in the optimization design of yacht cabin's layout[J]. Ship & Ocean Engineering, 2010, 39(1): 34-37.
- [13] 钟婷. 空间句法在成都少城空间优化中的应用[J]. 重庆建筑, 2018, 17(10): 10-15.
ZHONG Ting. Application of space syntax in space optimization of Chengdu Shaocheng space [J]. Chongqing Architecture, 2018, 17(10): 10-15.
- [14] 钟锐琛, 邵雯, 张圆. 高校庭院空间环境特征对空间利用的支持研究[J]. 居业, 2017, 24(9): 42-43.
ZHONG Ruichen, SHAO Wen, ZHANG Yuan. Research on space utilization of university courtyard based on space environment characteristics[J]. Create Living, 2017, 24(9): 42-43.
- [15] 王运龙, 王晨, 纪卓尚, 等. 船舶居住舱室智能布局优化设计方法研究[J]. 中国造船, 2013, 54(3): 139-146.
WANG Yunlong, WANG Chen, JI Zhuoshang, et al. A study on intelligent layout design of ship cabin[J]. Shipbuilding of China, 2013, 54(3): 139-146.

(责任编辑 周 蓓)