

6-16-2022

## Image Center Layout Optimization Method Based on Improved Genetic Algorithm

Zhijie Li

*School of information and control engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; lizhijie@xauat.edu.cn*

Haoqi Shi

*School of information and control engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;*

Changhua Li

*School of information and control engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; lch304502@126.com*

Jie Zhang

*School of information and control engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Image Center Layout Optimization Method Based on Improved Genetic Algorithm

## Abstract

**Abstract:** Aiming at the layout optimization methods of image center being influenced by the subjective factors and low level of automation, a method of combining systematic layout planning(SLP) with the improved genetic algorithm is proposed. *The layout scheme generated by SLP improves the initial population of the genetic algorithm and increases the diversity of the initial population. In order to improve the efficiency of optimization, the improved algorithm updates the crossover probability and mutation probability adaptively according to the evolution stages and the fitness value of the individuals.* On the basis of the layout area model and multi-objective optimization mathematical model established for an image center in Xi'an, the improved genetic algorithm is used to in the simulation. The experimental results show that the improved algorithm is faster and more effective than the traditional genetic algorithm or ant colony algorithm. The method can also improve the automation level of image center layout optimization and provide a reasonable reference scheme for the architectural designers.

## Keywords

image center, layout optimization, systematic layout planning, genetic algorithm, adaptive adjustment

## Recommended Citation

Zhijie Li, Haoqi Shi, Changhua Li, Jie Zhang. Image Center Layout Optimization Method Based on Improved Genetic Algorithm[J]. Journal of System Simulation, 2022, 34(6): 1173-1184.

# 基于改进遗传算法的影像中心布局优化方法

李智杰, 石昊琦, 李昌华\*, 张颖

(西安建筑科技大学 信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 针对影像中心现有布局优化方法自动化水平低、受个人主观意愿影响较大等问题, 提出运用系统布置方法(systematic layout planning, SLP)和改进遗传算法相结合的方法对布局进行优化。利用SLP生成的布局方案改善遗传算法的初始种群, 增加初始种群多样性; 从遗传进化代数和个体适应函数值2个方面实现遗传参数自适应调节, 提高其寻优效率。在西安某影像中心布置区域模型和多目标优化数学模型的基础上, 运用改进后遗传算法对西安某影像中心布局优化问题进行了仿真实验。实验结果证明: 该算法在求解影像中心布局优化问题时比传统遗传算法或蚁群算法速度更快、效果更好。提高了影像中心布局优化的自动化水平, 为建筑设计人员提供合理的参考方案。

**关键词:** 影像中心; 布局优化; 系统布置方法; 遗传算法; 自适应调节

中图分类号: TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X(2022)06-1173-12

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-1043

## Image Center Layout Optimization Method Based on Improved Genetic Algorithm

Li Zhijie, Shi Haoqi, Li Changhua\*, Zhang Jie

(School of information and control engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Aiming at the layout optimization methods of image center being influenced by the subjective factors and low level of automation, a method of combining systematic layout planning (SLP) with the improved genetic algorithm is proposed. *The layout scheme generated by SLP improves the initial population of the genetic algorithm and increases the diversity of the initial population. In order to improve the efficiency of optimization, the improved algorithm updates the crossover probability and mutation probability adaptively according to the evolution stages and the fitness value of the individuals.* On the basis of the layout area model and multi-objective optimization mathematical model established for an image center in Xi'an, the improved genetic algorithm is used to in the simulation. The experimental results show that the improved algorithm is faster and more effective than the traditional genetic algorithm or ant colony algorithm. The method can also improve the automation level of image center layout optimization and provide a reasonable reference scheme for the architectural designers.

**Keywords:** image center; layout optimization; systematic layout planning; genetic algorithm; adaptive adjustment

收稿日期: 2020-12-28 修回日期: 2021-04-06

基金项目: 国家自然科学基金(61373112, 51878536); 陕西省自然科学基金(2020JQ-687)

第一作者: 李智杰(1980-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为模式识别、数字建筑等。E-mail: lizhijie@xauat.edu.cn

通讯作者: 李昌华(1963-), 男, 博士, 教授, 博导, 研究方向为模式识别、数字建筑等。E-mail: lch304502@126.com

## 引言

随着医疗模式和医学技术的不断更新,现代影像中心成为医技科室中发展最快的科室之一。如何科学、合理地优化影像中心布局,使其满足不断增长的需求,以提高利用率并拥有更长的生命周期,是亟需解决的问题。现代化的影像中心日常的检查范围广、使用量大,布局优化时不但要考虑科室之间组合的合理性,还要考虑医护、病患流动的便捷性<sup>[1]</sup>。

在传统布局设计中,较大程度地依赖设计人员的经验,因此布局方案具有较强的主观性和模糊性。针对此问题, Lin等<sup>[2]</sup>在参考专家经验的基础上,采用了系统布置方法(systematic layout planning, SLP)与模糊约束理论相结合的方式,克服了布局方案中主观性较强的弊端,优化了上海某医院手术室的设施布局方案;格日勒满达呼等<sup>[3]</sup>应用聚类分析辅助SLP的方法,对某大学医院的放射科报告工作区进行了优化。随着计算机技术的蓬勃发展,人们逐渐开始借助计算机强大的运算能力和仿真技术来辅助优化布局设计。布局优化问题属于组合优化问题,通常采用二次分配问题的模型进行分析<sup>[4]</sup>。应用较广泛的是利用元启发式智能搜索技术求解,其中较为主流的搜索算法有遗传算法<sup>[5]</sup>、蚁群算法、粒子群优化算法等。国内、外学者针对布局优化问题的研究大多集中在车间内设备布置。Guan C等<sup>[6]</sup>针对布局问题建立了多目标优化的模型,利用离散框架的多目标粒子群优化算法进行了求解;刘志雄等<sup>[7]</sup>以拖车水平运输总距离最小化为目标,针对件杂货码头堆场布局进行建模和优化计算,得到了不同堆场堆存策略下的堆场布局方案。随着其他领域的蓬勃发展,应用于不同领域的布局优化方法层出不穷。Kim等<sup>[8]</sup>提出在专家系统基础上,利用遗传算法对潜艇内部舱室和装备的布置进行了优化; Tongur V等<sup>[9]</sup>针对大型医院的综合门诊、实验室和放射科的布局,分别使用迁徙鸟类优化,禁忌搜索和模

拟退火进行排布,从而使现有诊所的布局优化效率提高了约58%。随着布局空间内作业单元数量的增加和实用性需求的提高,此类问题的求解难度不断增加,一些专家学者将目光聚焦于算法的改进上。张宏斌等<sup>[10]</sup>基于SLP方法,利用启发式规则生成多种有效的布置方案,提高了作业单元的排布效率; Safarzadeh等<sup>[11]</sup>建立具有模糊约束条件的非线性多整数规划模型,使用3种不同交叉的遗传算法对布局问题进行了求解。

关于影像中心布局优化领域的理论和实践研究较少,一方面在于影像中心布局问题的特殊性和复杂性,另一方面在于医院建筑领域研究人员大多基于过往设计经验进行总结和改进,较少从数学角度思考布局优化问题。针对上述问题,本文基于拥有多个科室和具有固定出、入口等特点的西安某影像中心,构建了该区域模型和科室布局的多目标优化数学模型。为提高遗传算法的收敛速度,在传统算法的基础上利用SLP生成的初始布局方案优化初始种群,同时增加交叉概率、变异概率自适应调节机制,该机制根据每一代进化情况为其选择最优的遗传算子参数进行遗传操作。

## 1 构建影像中心布局模型

### 1.1 影像中心模型

影像中心各个科室具有不同的功能,科室之间具有不同程度的相互联系,因此需要按照相应的规则对待布置的区域进行布置<sup>[12]</sup>。本文建立了影像中心布置区域的简化模型,如图1所示。该模型以影像中心左下角为原点建立平面二维直角坐标系,模型中标注了出、入口位置。该模型中将影像中心分成16个待布置区域,优化目标是将待布科室布置到16个待布置区域中。科室均为矩形结构,每个科室的长和宽分别平行于空间四周,同一列科室的中心位置处于同一垂直线上。 $W$ 和 $H$ 分别为影像中心的总宽度和总长度; $x$ 和 $y$ 分别

为科室的中心点在  $X$  轴和  $Y$  轴上的位置;  $w_i^x$  和  $w_i^y$  分别为科室  $i$  在  $X$  和  $Y$  方向的长度。由于科室需要纵向紧密排列, 只需考虑科室  $i, j$  在水平方向应保证的最小间距  $d_{ij, \min}^x$ 。

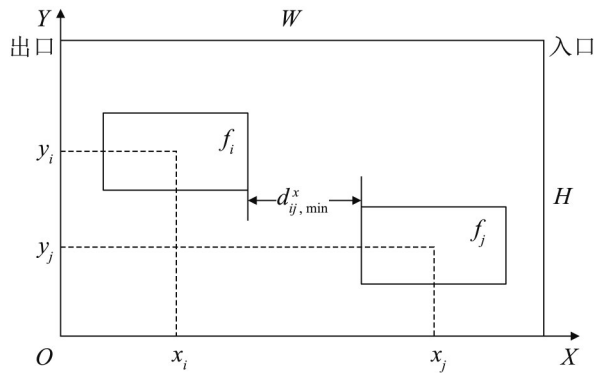


图1 影像中心区域模型

Fig. 1 Image center regional model

## 1.2 影像中心布局优化数学模型

针对影像中心布局优化问题, 建立子目标函数: 涉及科室间流通需求和邻接需求的相对位置子目标; 评价科室布置位置优劣的绝对位置子目标; 考虑了部分功能科室形状对设备摆放影响的人机工程子目标。

### 1.2.1 相对位置子目标

影像中心医护人员、病患流量较大, 影像中心病患可能前往各个科室, 各科室间具有不同程度的流通关系。表 1 为量化描述各科室间流通强度的等级关系表。

表1 流通强度等级关系  
Table 1 Distribution intensity rating

等级	系数	描述
1	1.00	流通强度非常强
2	0.75	流通强度比较强
3	0.50	流通强度一般
4	0.25	流通强度比较弱
5	0	基本无流通需求

流通关系目标函数:

$$F_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^{n+1} P_{ij} D_{ij} \quad (1)$$

式中:  $P_{ij}$  为科室  $i, j$  之间的流通强度;  $D_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$ 。

科室之间的邻接关系等级依据科室间邻接需求强度来确定。对于任意 2 个科室, 流通关系和邻接关系相互独立, 即使科室间存在很强的流通关系, 其邻接关系也可能很弱, 如取片处与各功能科室(MRI 室、CT 室等)间流通性强但不需要邻接。因此在布置科室时需要综合考虑。表 2 为邻接强度等级关系表。

表2 邻接强度等级关系  
Table 2 Neighborhood strength scale

等级	系数	描述
1	1.00	邻接强度非常强
2	0.75	邻接强度比较强
3	0.50	邻接强度一般
4	0.25	邻接强度比较弱
5	0	基本无邻接需求

基于邻接关系的目标函数:

$$F_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^{n+1} Q_{ij} D_{ij} \quad (2)$$

式中:  $Q_{ij}$  为科室  $i, j$  之间的邻接强度。

### 1.2.2 绝对位置子目标

针对影像中心某些对位置有特殊要求的科室, 建立绝对位置目标函数。此函数作为惩罚函数, 用来评价科室布置位置的优劣, 引导算法向某一特定的方向收敛。影像中心布局中, 具有许多难以量化但对最终布局结果有着至关重要的因素, 如环境、放射性等。由于难以量化这些因素, 设计人员需要基于影像中心规模情况, 依据多年经验对科室的位置做出相应的评价, 这是对专家经验的一种综合考虑。

目标函数为

$$F_3 = \mu_1 f(x) + \mu_2 f(y) \quad (3)$$

式中:  $f(x)$  为科室相应的位置在  $X$  轴方向距最优位置的值;  $f(y)$  为科室相应的位置在  $Y$  轴方向距最优位置的值;  $\mu_1, \mu_2$  为惩罚因子。

### 1.2.3 人机工程学子目标

人机工程学约束模型优化目标是通过调整科

室的长宽比,使某些科室的形状便于设备的摆放。现代化影像中心相关设备体积较大、不易搬动,因此合理的科室形状便于设备的摆放。影像中心某些科室的医疗设备对净尺寸(长、宽)有特定的要求,如建议CT扫描室长宽比为4:3,节省空间的同时便于CT机以特定的方向摆放。目标函数:

$$F_4 = \beta \sum_{i=1}^n (\gamma_i - \gamma_{i0})^2 \quad (4)$$

式中:  $\gamma_i$  为第  $i$  个科室的长宽比,即  $\gamma_i = w_i^y / w_i^x$ ;  $\gamma_{i0}$  为第  $i$  个科室的最佳长宽比;  $\beta$  为惩罚因子。

#### 1.2.4 布置规则约束

合理的科室布局,应在满足科室最小净面积的前提下,保证每一列的各科室宽度由该列中最大科室宽度决定,以此保持每列科室整齐。同时还需要综合考虑以下约束条件:

(1) 每个科室都应在影像中心区域内,即:

$$\begin{cases} x_i - w_i^x / 2 > 0 \\ y_i - w_i^y / 2 > 0 \end{cases} \quad (5)$$

且  $\begin{cases} x_i + w_i^x / 2 < W \\ y_i + w_i^y / 2 < H \end{cases}$

(2) 在  $X$  轴方向上,保证科室在不重叠的前提下,水平方向上布置的科室不能超过影像中心的总宽度。

$$\begin{cases} |x_i - x_j| - d_{y,\min}^x \geq (w_i^x + w_j^x) / 2 \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (|x_i - x_j| + (w_i^x + w_j^x) / 2) \leq W \end{cases} \quad (6)$$

(3) 在  $Y$  轴方向上,保证科室在不重叠的前提下,垂直方向上布置的科室不能超过影像中心的总长度。

$$\begin{cases} |y_i - y_j| = (w_i^y + w_j^y) / 2 \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (|y_i - y_j| + (w_i^y + w_j^y) / 2) \leq H \end{cases} \quad (7)$$

## 2 模型求解算法的设计

### 2.1 算法对比

针对布局问题的研究,国内外学者多采用

蚁群算法和遗传算法。Adrian等<sup>[13]</sup>分别对常规遗传算法、粒子群算法和蚁群算法进行了改进,使其在解决施工现场中布局优化问题的性能和效率得到了一定的提高,并得到了相近的有效解。相较于其他算法,蚁群算法具有较强的鲁棒性以及较好的搜索能力,但由于蚂蚁优先选择跟进信息素较多的路线以及“叛逆”蚂蚁概率性开辟新路径这2个特点,使得算法容易陷入局部最优且收敛速度较慢<sup>[14]</sup>。模拟生物进化的遗传算法是一种具有并行计算能力的全局搜索算法<sup>[15]</sup>,在搜索最优解的过程中同时对搜索空间中所有解进行评估,并行化的搜索方式提高了全局搜索的能力。然而,遗传算法局部搜索能力较弱,在进化后期搜索效率降低,容易产生早熟收敛的问题<sup>[16]</sup>。

基于此,本文利用蚁群算法和遗传算法进行计算求解,并针对遗传算法进行改进后再求解。

### 2.2 改进遗传算法

遗传算法伪代码如下:

```

g=0, Initialize N, C, M, G //初始化种群N、交叉集C和变异集M, 种群大小pop size, 最大迭代数G
encoding() //编码
while g<G
for i = 1~pop size //
Evaluate fitness //计算各个个体适应度值
end for
for i = 1~pop size // 选择运算
select operation //将选择算子作用于群体
end for
for i = 1~pop size // 交叉运算
if random(0, 1)<Pc // Pc交叉概率
C ← Crossover(Pi, Pj) // Pi, Pj为父代个体,
进行交叉得到2个新个体赋值给C
end if
end for
for i = 1~pop size // 变异运算

```

```

if random(0, 1) < Pm // Pm 变异概率
    M ← Mutation(Pi) // Pi 为父代个体, 得到新的
    个体赋值给 M
end if
end for
C、M 代替父代, 产生新种群 N
g = g + 1
end while
    
```

在遗传算法中, 初始种群、交叉概率  $P_c$  和变异概率  $P_m$  是决定算法性能的重要因素<sup>[17-18]</sup>。初始种群的分布状态比较随机, 会制约算法的收敛速度。传统的遗传算法中交叉概率  $P_c$  和变异概率  $P_m$  在进化过程中固定不变, 不能很好地满足种群进化的需要<sup>[19]</sup>。在迭代初期, 为了扩大整体搜索范围, 种群需要更高的交叉概率, 在迭代后期种群个体趋于相似基因, 可能会陷入局部最优, 适当提高个体发生变异的概率, 鼓励新个体的产生。因此, 本文首先对传统遗传算法的初始种群进行优化, 其次分别对  $P_c$  和  $P_m$  设置自适应调节机制, 便于交叉参数、变异参数在迭代过程中动态调整数值, 以此来提升遗传算法的搜索效率。

### 2.2.1 初始种群优化

合理的初始种群可以提高遗传算法的收敛效率, 然而其分布状态是随机的, 会影响遗传算法的寻优效率<sup>[20]</sup>。在优化初始种群的方法中, 葛华辉等<sup>[21]</sup>借鉴传统 SLP 得到的布置方案作为改进后的 NSGA-II 中部分初始种群, 防止其过早陷入局部最优; 孙凯等<sup>[22]</sup>利用蚁群算法当作遗传算法的初始种群, 融合了蚁群算法的局部寻优能力和遗传算法的全局搜索能力。本文利用改进后的 SLP 得到了科室初步排列方案以代替部分随机产生的初始种群, 通过融合随机产生的个体与特定个体的方式生成优化后的初始种群, 增添了初始种群的多样性。

SLP 是通过分析待设计区域内各个单元的相互关系, 得到单元相互关系表<sup>[23]</sup>, 得到数个可行

的布置方案。本文针对科室的功能和病患到达科室的移动频率 2 个方面加以分析, 通过这 2 个方面对科室间的关联程度加以定义和计算, 绘制科室间关系图, 对待布置区域进行初步布置。这种传统的方法无法确切的得知科室的摆放位置, 因此参考了相关设计人员建议、影像中心相关规范对初始布局方案进行了优化, 生成了初步方案序列。这些初步方案作为可行解, 代替遗传算法初始随机生成的部分种群, 使初始种群分布更加广泛。SLP 具体操作流程如图 2 所示。

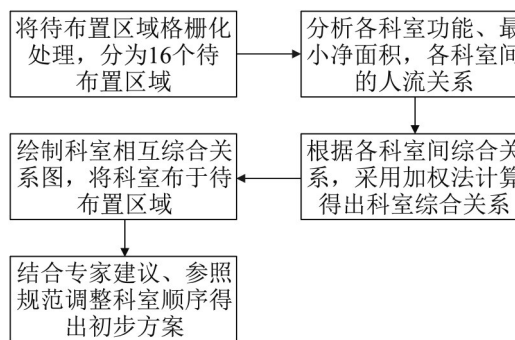


图 2 SLP 流程  
Fig. 2 SLP flow chart

- (1) 各科室功能分析: 对各科室功能进行分析, 对科室间关联性、位置需求进行归纳总结。
- (2) 各科室人流关系分析: 根据就诊流程总结出病患移动的频繁程度, 对病患前往各科室的频率进行分析。依据病患访问频繁的程度, 将病患就诊频率高的科室优先放置于入口位置附近。
- (3) 通过查阅相关规范, 结合各个科室的最小净面积、设备的运输成本、各个科室间的关系等, 将影像中心进行网格划分处理, 生成初步布局方案。

### 2.2.2 自适应交叉概率调节机制

交叉算子中  $P_c$  值的大小决定了整个种群中个体的更新速度。假若  $P_c$  值过大, 会破坏优秀的遗传模式; 相反, 过小的  $P_c$  值会导致算法搜索效率缓慢, 种群难以得到进化。适当地提高  $P_c$  的值, 可以在进化的初期扩大全局搜索能力, 加快种群的

更新速度。在进化的后期，种群中每个个体趋于稳定，适当的减小 $P_c$ 值使优良的基因结构得以保存延续。此外，考虑到交叉操作可能改变甚至破坏基因结构，对于适应度越高的个体，进行交叉操作的概率应适当减小；相反，对适应度较差的个体，给予更高的 $P_c$ 值以提高其参与交叉操作的概率从而不断的优化。基于上述考虑，设置调节机制：

$$p_{ci} = \begin{cases} p_{c\max} - (p_{c\max} - p_{c\min}) \left( \frac{f_i - \bar{f}}{2(f_{\max} - \bar{f})} \right), & f_i \geq \bar{f} \\ p_{c\max}, & f_i < \bar{f} \end{cases} \quad (8)$$

$$p_{c\max} = \begin{cases} 0.9, & g \leq G/4 \\ 0.8, & G/4 < g \leq 3G/4 \\ 0.7, & 3G/4 < g \leq G \end{cases} \quad (9)$$

式中： $P_{ci}$ 为个体 $i$ 发生交叉算子的概率； $G$ 为迭代过程中最大迭代数； $g$ 为当前迭代数； $f_i$ 为个体 $i$ 的适应度函数值； $f_{\max}$ 为当前种群中最大的适应度值； $P_{c\min}=0.6$ ； $\bar{f}$ 为当前种群中平均适应度值。由式(8)，(9)可知，当前迭代的代数和种群中个体适应度的值决定了交叉概率的取值。

### 2.2.3 自适应变异概率调节机制

变异算子中 $P_m$ 值的大小决定了种群中个体变异的概率，个体发生适当的变异在提高种群多样性的同时，可以以一定的概率跳出局部最优。 $P_m$ 值的大小，直接导致遗传进化中新个体产生的效率，取值过大，算法则近似于单纯的随机搜索；取值过小，就不易产生新的个体结构。因此，需建立基于遗传进化代数和种群个体适应函数值的自适应调节公式：

$$p_{mi} = \begin{cases} p_{m\min} + (p_{m\max} - p_{m\min}) \left( \frac{f_i - \bar{f}}{2(f_{\max} - \bar{f})} \right), & f_i \geq \bar{f} \\ p_{m\min}, & f_i < \bar{f} \end{cases} \quad (10)$$

$$p_{m\min} = \begin{cases} 0.001, & g \leq G/4 \\ 0.002, & G/4 < g \leq 3G/4 \\ 0.003, & 3G/4 < g \leq G \end{cases} \quad (11)$$

式中： $P_{mi}$ 是个体 $i$ 发生变异的概率，设置 $P_{m\max} =$

0.005。随着迭代次数的增加种群个体趋于稳定，适当提高个体发生变异的可能性，有利于跳出局部最优，扩大全局搜索能力。

### 2.2.4 精英个体保留策略

在进行选择操作时，利用精英个体保留策略，即将适应函数值最高的个体直接复制归入待交叉配对的父代种群中。当所有的父代个体进行交叉算子后，通过精英个体保留机制，使交叉前的精英个体替换交叉后群体中适应函数值最差的个体，以此来剔除质量较差的个体，使得精英个体得以保留。

### 2.2.5 算法结构

编码：针对影像中心科室布局问题，科室序列为决策变量，其特点是整数序列，有着固定的长度。本文采用直接编码方式，科室序号作为整数基因，科室序列作为固定长度染色体。与二进制编码相比，采用直接编码方式的优点是不需要再进行解码，这是解决布局问题中较常用的方法。每个科室都有相对应的 $x$ 、 $y$ 坐标值，通过参数集记录并保存每个科室坐标的变换。采用多列布置方式，以第一列为起始，由下至上的顺序沿 $Y$ 轴（一列）布置科室，当超出待布置区域的长度 $H$ 时，利用自动换列策略进行下一列科室布置，直至布置完全部科室。

选择算子：布局最优是寻找使目标函数式(12) $F$ 最小的值，适应度函数 $f_{ii}=1/F$ 。基于精英个体保存策略，使适应度最高的个体参与交叉操作，同时对于所有个体，依据适应度函数值比例执行赌盘选择算子。

交叉算子：采用部分匹配交叉法。先随机产生2个交叉点，两点间的区域为匹配区域。交换父代的匹配区域，对于子代中匹配区域外与父代重复的编码，按顺序逐一修复，进而产生2个子代。

变异算子：采用交叉变异算子，随机选取变异点 $k_1$ 和 $k_2$ ，改变 $k_1$ 和 $k_2$ 位置的序列，产生子代个体。

综上所述，本文设计的改进遗传算法流程如图3所示。



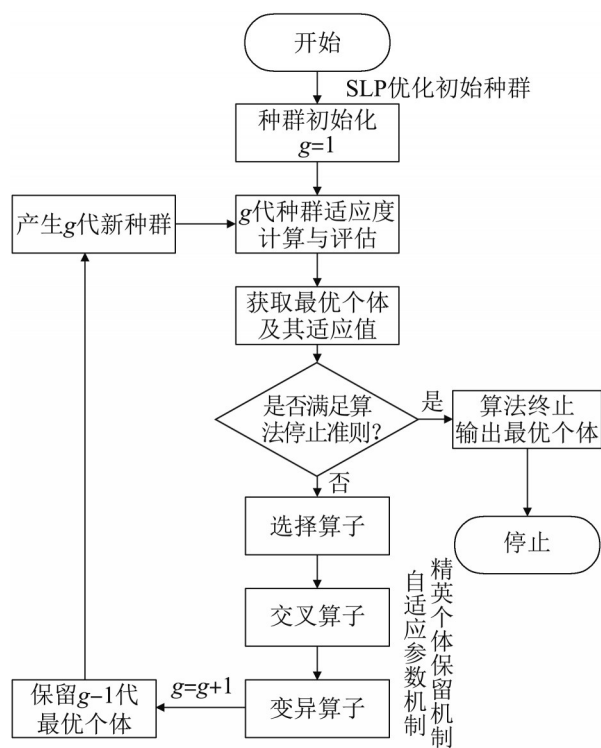


图 3 改进遗传算法流程框架  
Fig. 3 Flow framework of improved genetic algorithm

### 3 实验仿真分析

对西安某影像中心的部分区域进行仿真实验, 该区域沿X轴方向长度W为40 m, 沿Y轴方向长度H为35 m。规定各科室沿X轴为科室的宽度, 沿Y轴为科室的长度。该区域内计划布置16个主要科

室, 具体编号如表3所示, 通道主要为纵向。

表 3 科室编号  
Table 3 Section number

编号	科室	编号	科室
1	肠胃机室	9	远程会诊室
2	MRI室	10	阅片室
3	预留机房室	11	医生值班室
4	DR1室	12	取片处
5	DR2室	13	骨密度仪室
6	医生办公室	14	乳腺钼靶室
7	增强注射室	15	CT室
8	医生更衣室	16	双源CT室

#### 3.1 参数设置

种群规模N=30, 最大进化代数G=300, 算法停止准则为进化代数g达到上限。由SLP方法构建的2组科室初始布置方案如表4所示, 代替部分随机产生的初始种群中科室编号。

表 4 SLP初步布置方案  
Table 4 SLP preliminary layout plan

方案	方案序列
I	4、14、6、9、5、1、10、11、8、7、15、16、13、12、2、3
II	6、10、9、11、8、4、5、1、14、15、16、13、12、7、2、3

基于相关的规范和专家经验得到该区域内的各科室的相对位置参数矩阵如下,  $T_1$ 和 $T_2$ 分别表示流通参数矩阵和邻接参数矩阵:

$$T_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0.25 & 0.5 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

对于绝对位置目标参数，主要考虑取片处、增强注射室应该靠近入口处，医生办公室、医生更衣室、远程会诊室、阅片室、医生值班室等属于医用专属科室，应该集中放置，并尽量远离病患流通过程。结合建筑相关专家意见和规范，确定部分科室的最优位置，将其转化为坐标系中确定的坐标点。如医生办公室，由于属于医用专属科室，参考建筑相关专家意见将其放置尽量远离病患的位置，以保证其私密性，因此建议放置于左下角。对于人机工程目标，主要考虑MRI室、预留机房室、CT室和双源CT室这几个科室，其 $\gamma_{oi}$ 设置为4/3。

将多目标优化问题通过线性加权的方法转化为单目标优化问题，如式(12)所示。对于参数 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 、 $\omega_4$ 分别分析每一个参数，并保持其余3个参数不变，以判断各个参数对结果的影响。首先，统一设置值为0.25，然后分别使参数取值为0.25、0.5、0.75、1，依次计算取值不同时对计算结果的影响，如图4所示。取值按照对结果影响从小到大依次为 $\omega_3$ 、 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_4$ 。为了在多目标优化问题中，充分发挥各个分目标的作用，对结果影响较大的参数取较小值，反之，取较大值。经过多次实验后， $\omega_1$ 取0.15、 $\omega_2$ 取0.25、 $\omega_3$ 取0.50、 $\omega_4$ 取0.10时能够获得较好的结果。

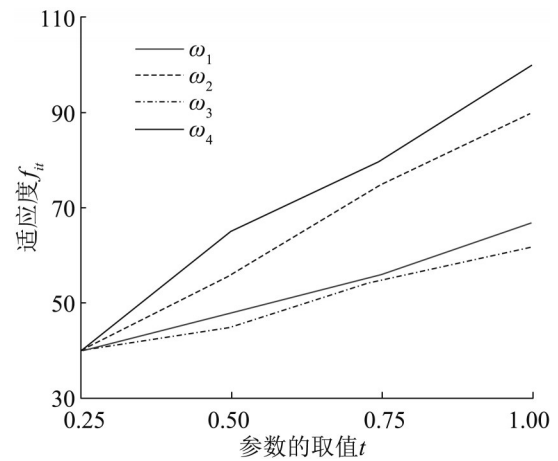


图4 参数对结果影响曲线  
Fig. 4 Effect of parameters on results

针对各个目标函数对最终结果影响程度的分析，分别对其赋予相应的权重值：

$$F = \omega_1 F_1 + \omega_2 F_2 + \omega_3 F_3 + \omega_4 F_4 \quad (12)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^{16} z_i \leq S \quad (13)$$

式中： $\omega_1 \sim \omega_4$ 为各目标函数权重； $z_i$ 为第*i*个待布置科室的面积； $S$ 为影像中心待布置区域的总面积。由于 $z_i$ 在开始计算时是一个基于建筑规范的最小净面积，该值固定且总和小于待布置区域总面积。然而，为了充分利用整个待布置区域，随着每一次迭代都对所有科室面积进行自动调整，使得各个科室最终布满整个区域。自动调整的准

则是所有科室的面积之和不得大于影像中心待布置区域总面积, 各个科室的面积始终大于其最小净面积的要求。调整方式为对于满足布局要求的科室序列, 假若布置后每列内的可用面积未被全部利用, 则将列内的剩余面积平均分配给该列的所有科室。分配后的各科室具有新的可用面积, 以此为基准再计算求得科室矩形空间内的长、宽值, 生成科室序列相对应的布局参数集。

### 3.2 仿真实验

本文针对遗传算法的改进, 采用了优化初始种群和自适应机制2部分, 首先利用该2部分分别对遗传算法进行改进并对布局优化问题计算求解, 对比分析2个改进部分的特点。最后, 利用文中提出的改进遗传算法、遗传算法以及蚁群算法, 分别对布局优化问题进行计算求解。各进行20次重复实验, 并记录各个算法的收敛代数和收敛的最优值, 算法收敛曲线如图5~6所示。分别计算各算法20次实验最优值的平均值, 计算结果如表5所示。

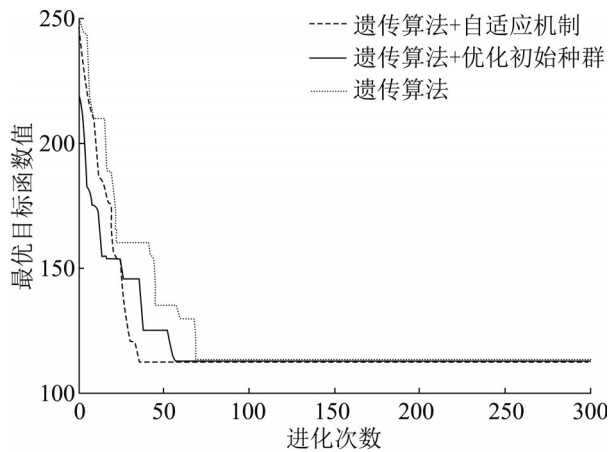


图5 算法性能曲线I  
Fig. 5 Performance curve I

通过图5、表5可知, 利用SLP的初始布置方案改善了初始种群的质量, 在遗传算法迭代初期, 寻优效率较快。然而迭代中后期, 寻优效率变慢, 相较于传统遗传算法, 整体收敛代数减少。采用自适应机制的遗传算法, 在迭代初期虽然没有优化初始种群后的遗传算法寻优效果好, 但利用自

适应机制和精英个体保留的策略, 全程保持较好的寻优效率, 最终收敛代数少于只优化了初始种群的传统遗传算法。自适应机制全程较好的寻优效果, 弥补了前期未对初始种群进行优化的劣势。

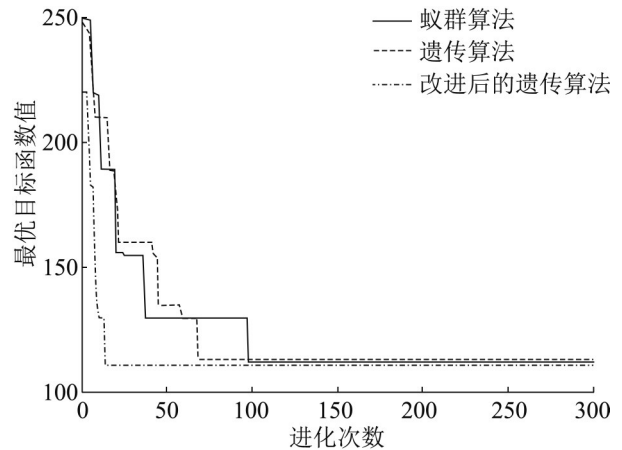


图6 算法性能曲线II  
Fig. 6 Performance curve II

表5 算法性能对比  
Table 5 Performance comparison

算法	平均收敛代数	平均收敛值
遗传算法+优化初始种群	56	111.563 1
遗传算法+自适应机制	42	111.292 2
蚁群算法	104	111.982 1
遗传算法	75	112.321 1
改进后的遗传算法	22	111.142 3

通过图6、表5可知, 改进后的遗传算法相较于传统遗传算法和蚁群算法在收敛速度上有较大的提高。蚁群算法虽然在初期比遗传算法效果更好, 但是在迭代中后期, 却陷入了局部最优, 在搜索过程中出现了停滞, 以至于发现最优解的过程较长。改进后的遗传算法拥有传统遗传算法良好的全局搜索能力, 利用SLP初始布局方案代替了遗传算法随机生成的部分初始种群, 增加了初始种群的质量, 使改进遗传算法在前期具有较好的寻优效率。与传统遗传算子变异概率、交叉概率不变不同, 改进算法采用自适应交叉、变异概率调节机制, 根据迭代代数和个体适应度值的不同, 动态地改变变异、交叉的概率。在进化前期,

适当的增大交叉概率，加快了种群更新的速度，扩大了整体搜索范围；在进化后期，适当提高个体变异的概率，有利于跳出局部最优，提高了算法的寻优效率。利用精英个体保存策略使父代适应度值高的个体代替子代种群中适应度值低的个体，使得精英个体得以延续，加快寻优的效率。

改进的遗传算法所得的布置方案解序列如表6所示。

表6 布置方案  
Table 6 Layout plan

方案	解序列
I	1、14、6、9、4、5、10、11、8、2、13、3、12、7、15、16
II	1、14、6、11、8、5、4、10、9、2、13、3、12、7、15、16

2种方案对应的布置图如图7~8所示。其中方案I与方案II的主要区别在于远程会诊室、值班室和更衣室位置布置的不同。

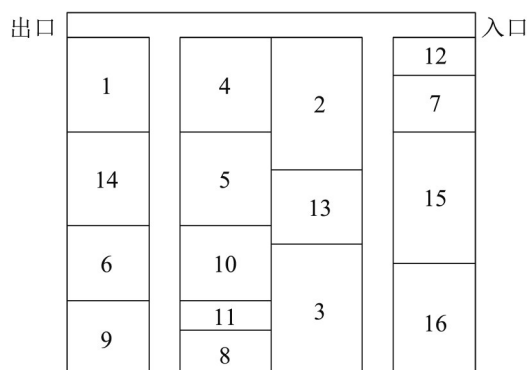


图7 布置方案 I  
Fig. 7 Layout plan I

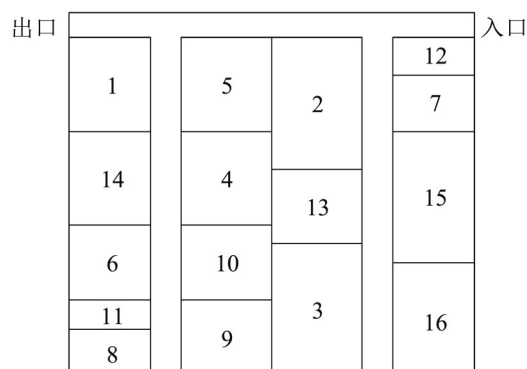


图8 布置方案 II  
Fig. 8 Layout plan II

在本文建立的模型基础上，利用改进后的遗传算法计算求解得到了2种布置方案。通过与建筑设计人员绘制的方案相比较，它们在布局上基本一致：在保证最小流通通道的基础上，使科室布满整个影像中心。医护办公室集中布置，并处于相对独立的位置，避开了病患主要流通过路；医疗流程中相关的科室邻接布置，例如，增强注射室和CT室、DR1和DR2等；取片室放置于入口处，与其流量较大的CT室、MRI室等放于取片室附近；CT室、MRI室形状合理，便于设备摆放。自动布局优化不受人为因素干扰，可以更客观、更高效地对影像中心各科室进行布置。在符合相关规范的前提下，更好地利用影像中心整个区域。综上，本文所建立的模型和改进的优化算法可以有效地解决影像中心区域的布局优化问题。

## 4 结论

本文运用系统布置方法和改进遗传算法相结合的方法对西安某影像中心布局问题进行了优化，具有以下特点：

(1) 基于影像中心布局优化问题和相关约束问题，通过综合考虑建立了多目标优化数学模型，以确保各科室之间不重叠且不超过边界，提高布局优化的合理性。

(2) 采用改进的SLP方法得到了初步布局方案，将其作为遗传算法的部分初始种群。改善了初始种群，使其更具多样性、合理性，以加快寻优速度。

(3) 分别针对遗传过程中2个重要参数(交叉概率、变异概率)设置了自适应调节机制，依据迭代代数和适应度值的不同动态调整参数，体现了较强的自适应性，提升了寻优效率。

通过对西安某影像中心布局问题的仿真分析可知，改进后的遗传算法在寻优效率上有了一定的提升。与实际布置方案对比，本文优化后的科室布局位置基本一致，验证了模型的有效性。综

上, 本文提出的方法提供了一种智能化、自动化的布局优化方式, 可以减少人为经验对布局优化的影响, 为建筑设计人员提供了设计参考意见, 具有一定的实际意义。今后在实践中还需要结合不同规模的影像中心进行分析和不断完善, 使基于影像中心布局优化的设计方法具有更高的应用价值。

### 参考文献:

- [1] 孙国强. 医学影像中心工程的规划设计建议[J]. 中国医院建筑与装备, 2009(3): 15-18.  
Sun Guoqiang. Suggestions on Planning and Design of Medical Image Center Project[J]. China Hospital Architecture and Equipment, 2009(3): 15-18.
- [2] Lin Qinglian, Liu Huchen, Wang DuoJun, et al. Integrating Systematic Layout Planning with Fuzzy Constraint Theory to Design and Optimize the Facility Layout for Operating Theatre in Hospitals[J]. Journal of Intelligent Manufacturing(S0956-5515), 2015, 26(1): 87-95.
- [3] 格日勒满达呼, 哈日巴拉, 王成国, 等. 从某医院核医学学科布局设计看职业病危害评价的意义[J]. 职业与健康, 2012, 28(23): 2902-2904.  
Gerilemandahu, Haribala, Wang Chengguo, et al. Significance of Pre-Assessment on Occupational Hazards: from the Layout Design of Nuclear Medicine Department in a Hospital[J]. Occupation and Health, 2012, 28(23): 2902-2904.
- [4] 王家, 王洋, 邓铁军, 等. 施工现场设施布局优化问题的新型启发式算法[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2020, 47(9): 128-136.  
Wang Jia, Wang Yang, Deng Tiejun, et al. A New Heuristic Algorithm for the Layout Optimization of Construction Site Facilities[J]. Journal of Hunan University (Natural Science), 2020, 47(9): 128-136.
- [5] Liao T Warren, Egbelu P J, Sarker B R, et al. Metaheuristics for Project and Construction Management-A State-of-the-Art Review[J]. Automation in Construction (S0926-5805), 2011, 20(5): 491-505.
- [6] Cao Guan, Zhang Zeqiang, Liu Silu, et al. Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Multi-Workshop Facility Layout Problem[J]. Journal of Manufacturing Systems (S0278-6125), 2019, 53: 32-48.
- [7] 刘志雄, 董宇, 张春君. 件杂货码头堆场布局优化研究[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(6): 1436-1443.  
Liu Zhixiong, Dong Yu, Zhang Chunjun. Research on Yard Layout Optimization of General Cargo Terminal [J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(6): 1436-1443.
- [8] Kim K S, Roh M I. A Submarine Arrangement Design Program Based on the Expert System and the Multistage Optimization[J]. Advances in Engineering Software (S0965-9978), 2016, 98: 97-111.
- [9] Tongur V, Hacibeyoglu M, Ulker E. Solving a Big-Scaled Hospital Facility Layout Problem with Meta-Heuristics Algorithms[J]. Engineering Science and Technology, an International Journal(S2215-0986), 2020, 23(4): 951-959.
- [10] 张宏斌, 吴锋. 基于自动化排布算法的工厂系统布局方法[J]. 工业工程与管理, 2020, 25(4): 173-180.  
Zhang Hongbin, Wu Feng. Plant System Layout Method Based on Automatic Layout Algorithm [J]. Industrial Engineering and Management, 2020, 25(4): 173-180.
- [11] Safarzadeh S, Koosha H. Solving an Extended Multi-Row Facility Layout Problem with Fuzzy Clearances Using GA[J]. Applied Soft Computing(S1568-4946), 2017, 61: 819-831.
- [12] 沈新平, 叶炯贤, 陈劲松, 等. 大型公立医院医学影像中心的规划与筹建[J]. 中国医学装备, 2011, 8(11): 48-52.  
Shen Xiping, Ye JiongXian, Chen Jinsong, et al. Planning and Preparation of Medical Image Center in Large Public Hospitals [J]. China Medical Equipment, 2011, 8(11): 48-52.
- [13] Adrian A M, Utamima A, Wang K J. A Comparative Study of GA, PSO and ACO for Solving Construction Site Layout Optimization[J]. Ksce Journal of Civil Engineering(S1226-7988), 2015, 19(3): 1-8.
- [14] 张松灿, 普杰信, 司彦娜, 等. 蚁群算法在移动机器人路径规划中的应用综述[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(8): 10-19.  
Zhang Songcan, Pu Jiexin, Si Yanna, et al. Application of Ant Colony Algorithm in Mobile Robot Path Planning [J]. Computer Engineering and Application, 2020, 56(8): 10-19.
- [15] 鲍劲松, 李志强, 周亚勤. 基于遗传算法的舰载装备多目标作业调度优化研究[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(5): 901-908.  
Bao Jinsong, Li Zhiqiang, Zhou Yaqin. Multi Objective Job Scheduling Optimization of Shipboard Equipment Based on Genetic Algorithm [J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(5): 901-908.
- [16] Dhadwal M K, Jung S N, Kim C J. Advanced Particle Swarm Assisted Genetic Algorithm for Constrained Optimization Problems[J]. Computational Optimization & Applications(S0926-6003), 2014, 58(3): 781-806.
- [17] 于莹莹, 陈燕, 李桃迎. 改进的遗传算法求解旅行商问题[J]. 控制与决策, 2014, 29(8): 1483-1488.

- Yu Yingying, Chen Yan, Li Taoying. Improved Genetic Algorithm for Solving Traveling Salesman Problem[J]. Control and Decision, 2014, 29(8): 1483-1488.
- [18] Peng Y F, Zeng T, Fan L Z, et al. An Improved Genetic Algorithm Based Robust Approach for Stochastic Dynamic Facility Layout Problem[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society(S1026-0226), 2018(4): 1-8.
- [19] 王宁, 魏利胜. 一种基于GA的新型生物地理学优化算法研究[J]. 系统仿真学报, 2020, 32(9): 1717-1723.  
Wang Ning, Wei Lisheng. A New Biogeographic Optimization Algorithm Based on GA [J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(9): 1717-1723.
- [20] Dhadwal M K, Jung S N, Kim C J. Advanced Particle Swarm Assisted Genetic Algorithm for Constrained Optimization Problems[J]. Computational Optimization & Applications(S0926-6003), 2014, 58(3): 781-806.
- [21] 葛华辉, 冯毅雄, 密尚华, 等. 集成自动导引车路径规划的智能制造数字化车间设备布局优化方法[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(7): 1655-1664.
- Ge Huahui, Feng Yixiong, Mi Shanghua, et al. Equipment Layout Optimization Method for Intelligent Manufacturing Digital Workshop Integrated with AGV Path Planning[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2019, 25(7): 1655-1664.
- [22] 孙凯, 刘祥. 基于蚁群-遗传混合算法的设备布局优化方法[J]. 系统工程理论与实践, 2019, 39(10): 2581-2589.  
Sun Kai, Liu Xiang. Equipment Layout Optimization Method Based on Ant Colony Genetic Algorithm[J]. System Engineering Theory and Practice, 2019, 39(10): 2581-2589.
- [23] 胡小建, 冯爽. 基于物流优化的SLP在车间设施布局的应用研究[J]. 物流工程与管理, 2016, 38(1): 73-76.  
Hu Xiaojian, Feng Shuang. Application of SLP in Workshop Facility Layout Based on Logistics Optimization[J]. Logistics Engineering and Management, 2016, 38(1): 73-76.