

# PBIL 算法求解物流中心选址优化问题<sup>①</sup>

袁利永<sup>1</sup> 金炳尧<sup>2</sup> 曹振新<sup>3</sup> (1. 浙江师范大学 数理与信息工程学院 浙江 金华 321004;  
2. 浙江师范大学 教师教育学院 浙江 金华 321004; 3. 浙江师范大学 汽车电气自动化研究中心  
浙江 金华 321004)

**摘要:** 物流中心的合理布局对整个物流系统的效益有着决定性的影响。通过对物流中心选址问题相关特点和要求进行研究,我们以建设成本和运行费用最优为目标构造了选址问题的数学模型,设计了基于 PBIL 的物流中心选址优化算法,并进行了算法的实现和测试。测试表明,该算法计算速度快、稳定性好,对约束条件增减具有良好的适应性。最后,提出了该算法的学习概率修正参数动态变化方法,测试表明通过该方法可有效提高算法的收敛速度和寻优能力。

**关键字:** PBIL; 物流中心; 选址模型; 进化计算; 启发式算法

## Optimization of Logistics Center Location Using PBIL Algorithm

YUAN Li-Yong<sup>1</sup>, JIN Bing-Yao<sup>2</sup>, CAO Zhen-Xing<sup>3</sup> (1.College of Information Science and Engineering, ZheJiang Normal University, Jinhua 321004, China; 2.School of Teacher Education, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China; 3.Research Center of Electrical Automation, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

**Abstract:** Rational distribution of a logistics center has decisive impact on the effectiveness of the entire logistics system. Through research on the characteristics and requirements of logistics center location, we constructed a mathematical model with capital cost and operating costs for the goal of optimal location problem, and designed the optimization algorithm of logistics center location based on the PBIL. We also make the implementation and testing of the algorithm. Tests show that the algorithm has fast speed, good stability, a good adaptability of increasing or decreasing of the constraints. Finally, we have put forward a dynamic change method of revising parameters of the learning probability in this algorithm, the test shows that through this method can effectively improve the convergence speed and optimization capabilities.

**Keywords:** PBIL; logistics centers; location model; evolutionary computing; heuristic algorithm

## 1 引言

PBIL 是由美国卡内基梅隆大学 Baluja,S.提出的进化学习算法<sup>[1]</sup>,它将进化过程视为学习过程,用学习所获取的知识—学习概率来指导产生后代,这种概率是整个进化过程的信息积累,用它指导产生的后代将会更优生(比起 GA 的双亲基因重组及 EP、ES 的单个父代变异 Gaussian),因而能在许多应用问题中获得

更快的收敛速度及更优的结果<sup>[2]</sup>。另外,该算法对复杂约束条件的增减具有较好的适应性。金炳尧等对 PBIL 算法提出了改进,并对 PBIL 算法在几种典型问题上的应用进行了研究<sup>[2,3]</sup>。

物流是现代化生产的重要组成部分,它被称为是“第三利润源泉”。物流中心在现代商品流通的作用极大,它是作为商品周转、分拣、配货、保管和流通加工等活

① 基金项目:教育部人文社会科学研究项目(09YJC630211);浙江省自然科学基金项目(Y607080)

收稿时间:2010-03-04;收到修改稿时间:2010-04-03

动的据点。物流中心布局是否合理,将对整个系统的物流合理化和商品流通的社会效益有着决定性的影响。良好的物流中心选址方案可以权衡仓储成本和运输成本等,降低物流系统的总成本,进而提高物流服务水平。物流中心选址优化是指从  $M$  个候选地址中寻求  $N(N < M)$  个来建设物流中心,使物流网络布局接近最优。显然物流中心选址模型是带有复杂约束的非线性规划模型,属 NP-hard 问题<sup>[4]</sup>。

## 2 PBIL算法简述

PBIL 算法将原优化问题的解空间  $S$  映射到基因学习算法能够操作的基因解空间  $S'$ 。可行解  $s' \in S'$  由  $l$  个基因位组成,其中第  $i$  位的值可以是集合  $\{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ini}\}$  中的任意一个或多个。集合  $\{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ini}\}$  称为第  $i$  位的等位基因。如果第  $i$  位只能取  $\{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ini}\}$  中的一个值,则称第  $i$  位为单等位基因位。对于有  $l$  个基因位、每个基因位都可以从  $n$  个等位基因中取值的优化问题,其基因解可以用一个布尔矩阵  $S^{l \times n}$  来表示,如果矩阵元素  $s_{ij}=1$ ,就表示第  $i$  个基因位的取值为该基因位的第  $j$  个等位基因值。

矢量  $P' = (P_1, P_2, \dots, P_l)$  用来表示在解空间  $S_l$  的  $l$  个基因位中每个基因位取与该基因位对应的等位基因值的概率。其中  $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ini})$  表示第  $i$  个基因位取与该基因位对应的  $n_i$  个等位基因值的概率。 $p_{ij}$  为第  $i$  个基因位取等位基因集合  $\{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ini}\}$  中第  $j$  个值的概率,  $j = 1, 2, \dots, n_i$ , 且每个基因位取等位基因的概率之和都为 1。

PBIL 算法把优化选择问题描述为  $\min f(s), s \in$  可行解空间,  $f$  为优化目标函数。

典型的 PBIL 进化学习过程描述如下:

步骤 1: 初始化学习概率  $P: P_{ij} = 1/n_i, 1 \leq j \leq n_i, P_{ij} \in P_i, 1 \leq i \leq l$ ;

步骤 2: 由学习概率  $P$  指导产生  $n$  个解  $S_1, S_2, \dots, S_n$ ;

步骤 3: 计算  $n$  个解的目标函数值  $f(S_1), f(S_2), \dots, f(S_n)$ , 并找出最优解  $s'$ ;

步骤 4: 用最优解向量  $s'$  修正学习概率  $P: p_{ij} = p_{ij} + \psi \times s'_{ij}, p_{ij} = p_{ij} / 1 \leq i \leq l$ ;

步骤 5: 返回步骤 2, 直至满足一定的结束条件为止。

参数  $\psi$  是一个经验常数, 在不同规模和约束条件

下, 它的取值对于问题求解速度和成功率都有较大的影响, 一般介于 0.01 ~ 0.1。

为了防止学习概率过早地收敛到 0 或 1 附近而产生早熟现象, Baluja.S 还将遗传算法中的变异操作引入到 PBIL 算法中<sup>[5]</sup>, 在每一代的最优解对学习概率进行修正后, 再按变异率  $P_m$  随机地选择部分学习概率值  $P_i$  进行随机扰动,  $R_m$  是变异速率。变异操作可表示为:  $\text{If}(\text{Random}(0, 1) < P_m) P_i = P_i * (1.0 - R_m) + \text{Random}(0 \text{ or } 1) * R_m$ 。

## 3 基于PBIL的物流中心选址优化算法

### 3.1 物流中心选址模型

物流中心选址是指在一个具有若干供应区块及若干需求区块的经济区域内, 选一个地址设置物流中心的规划工程。为简化实验计算, 物流中心选址模型基于二维地理坐标平面, 这符合实际中各个用户位置确定、需要全新和全盘考虑物流中心选址的情况, 而最终的目标是使得本物流中心选址模型下的总投资和运输时间和运输费用最低。如果忽略车辆的固定消耗, 那么运输时间和运输费用在优化目标中是一致的, 就是使得用户和相应物流中心总的加权距离达到最小。这里单位距离为融合了费用、时间等综合消耗性因素的加权距离。在本模型中另作如下条件限定: (1) 每个物流中心的服务总量不能超过每个物流中心自身的容量; (2) 一个物流中心可服务多个用户, 但一个用户只能分配给最近的一个物流中心服务, 这与实际情况基本相符。

本模型将城市简化为  $M$  乘  $N$  的正方形区块, 可表示为  $\text{CITY} = \{\text{CITY}_{ij} | 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$ 。用一个矩阵  $V$  来表示城市各区块的物流需求权重, 其中  $V_{ij}$  表示城市区块  $\text{CITY}_{ij}$  对应的物流需求权重 ( $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N$ )。集合  $\text{CLCSet} = \{\text{CITY}_{ij} | \text{对应的 } V_{ij} = 0\}$  表示物流中心候选集,  $L = |\text{CLCSet}|$  表示候选物流中心数量, 物流中心选址优化就是指从  $L$  个候选区块中寻求  $K (1 \leq K \leq L)$  个来建设物流中心, 使物流网络布局接近最优。影响物流运行成本的因素非常多, 为简化实验计算, 本模型只考虑最重要的两个因素: 客户到最近物流中心的路径长度与客户的物流需求权重, 两城市区块  $\text{CITY}_{ij}$ 、 $\text{CITY}_{xy}$  之间的路径长度简化为横坐标差值和纵坐标差值之和, 表示为  $d(\text{CITY}_{ij}, \text{CITY}_{xy}) = |i-x| + |j-y|$ , 这比用欧氏距离更接近实际的城市道路状况。

### 3.2 基于PBIL的算法设计

设  $C=\{C_i|1 \leq i \leq L\}$  表示物流中心候选集, 则物流中心选址优化问题的解可表示  $S=\{S_1, S_2, S_3, S_4 \dots S_L\}$ , 构成长度为  $L$  的基因序列, 其中基因位  $S_i$  的取值范围为  $\{0, 1\}$ , 1 表示将  $C_i$  选为物流中心, 0 则表示不选。 $P^L=(P_1, P_2, \dots, P_L)$  表示解空间  $S^L$  的  $L$  个基因位中每个基因位取基因值 1 的概率, 并设置  $P_i=0.5$ , 其中  $P_i \in P^L$ ,  $1 \leq i \leq L$ 。

设  $C^s=\{C_i| \text{对应的 } S_i=1\}$ , 其中  $S_i \in S$ ,  $1 \leq i \leq L$  表示解  $S$  中选中的候选物流中心集合。 $K=|C^s|$  表示解  $S$  中选中的物流中心数。求解物流中心选址优化问题的优化目标函数可表示为  $f(S)=\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij} * B(CITY_{ij}) + K * V_c + a * Of(S)$ , 其中  $V_c$  表示物流中心建设成本,  $B(CITY_{ij})=\min\{d(CITY_{ij}, C_i)\}$  表示  $CITY_{ij}$  到最近的物流中心的距离, 其中  $C_i \in C^s$ ,  $1 \leq i \leq K$ , 参数  $\alpha$  表示物流中心的服务总量超限罚值权重, 应设置为大于  $M * N * V_{avg} / 4$ , 其中  $V_{avg}$  为城市区块平均物流需求权重。 $Of(S)=\sum_{i=1}^K (SV(C_i) > b ? (SV(C_i) - b) : 0)$ ,

$SV(C_i)$  表示所有离  $C_i$  最近的城市区块到  $C_i$  物流需求加权运输成本之和, 参数  $\beta$  表示物流中心自身的容量。

### 3.3 仿真实验

3	0	3	9	3	1	1	1	2	3
3	3	3	2	3	0	0	1	0	0
6	1	3	3	1	9	1	9	2	6
0	3	0	2	0	0	0	1	2	3
0	2	1	1	1	3	1	9	2	9
1	1	1	1	0	2	6	9	9	9
0	3	2	3	1	2	2	9	1	0
9	6	2	0	3	2	1	9	3	1
1	1	3	3	1	3	9	0	9	3
0	3	1	9	9	3	1	2	0	6

图1 城市物流需求区块模型

为证明算法的可行性和有效性, 采用如下实验数据: 选用  $10 \times 10$  区块的城市模型, 城市区块的物流需求如图 1 所示, 其中数据为 0 的区块表示候选物流中心, 数据大于 0 的区块表示物流需求点, 相关数值表示该点物流需求权重。候选物流中心数量  $L=18$ , 物流中心建设成本为  $V_c=100$ , 参数  $\alpha=200$ , 参数  $\beta=100$ 。PBIL 算法中的种群大小为 50, 学习概率修正参数  $\psi$  为 0.02, 算法通过计算信息熵评价算法收敛

度, 并以此设置算法结束条件。

按照上述实验数据, 运用文中描述的算法, 采用 VB6.0 进行编程, 在 1.7GHzCPU、512M 内存的 PC 机上重复运行 100 次, 计算得到总费用平均值为 948.21, 最优值为 948, 最劣值为 956, 求得最优值的次数占总次数的 92%。算法平均收敛代数 66, 平均运算时间为 0.98 秒(若采用穷举法将有  $2^{18}$  种组合, 计算时间约 15 秒), 可见用 PBIL 算法求解该问题具有较高的稳定性和有效性。图 2 是本算法对实验数据的求解结果。

3	★	3	9	3	1	1	1	2	3
3	3	3	2	3	0	0	1	0	0
6	1	3	3	1	9	1	9	2	6
0	3	0	2	0	0	★	1	2	3
0	2	1	1	1	3	1	9	2	9
1	1	1	1	0	2	6	9	9	9
0	3	2	3	1	2	2	9	1	★
9	6	2	★	3	2	1	9	3	1
1	1	3	3	1	3	9	★	9	3
0	3	1	9	9	3	1	2	0	6

图2 实验数据的求解结果

## 4 算法改进与实验比较

### 4.1 算法改进

原有 PBIL 算法在用最优解向量  $S'$  修正学习概率  $P$  时, 各基因位的学习概率修正参数  $\psi$  采用经验常数。改进的算法则通过比较当代最优解与历代最优解来动态调整概率修正参数  $\psi$  的值, 算法改进描述如下: 设  $\psi'$  为基准概率修正值,  $SP$  表示历代最优, 若当代最优  $S'$  优于  $SP$ , 则  $\psi$  取  $\psi' \times \epsilon$ , 否则  $\psi$  取  $\psi'$ , 其中  $\epsilon > 1$ , 大量实验表明  $\epsilon$  取 2 效果较好。

本算法改进的基本思想是: 若当代最优解优于历代最优解, 可认为当代最优解趋向于最优解的概率较大, 应该对算法的搜索方向施加较大的影响; 若当代最优解劣于历代最优解, 可认为当代最优解趋向于最优解的概率较小, 应该对算法的搜索方向施加较小的影响。通过上述改进使算法在相同寻优能力的情况下具有更好的收敛效果。

### 4.2 实验比较

为验证算法改进的效果, 针对上一节中的实验数据, 分别采用原有算法和改进算法对学习概率修正参数  $\psi$  以 0.005 为步长从 0.01 至 0.10 的每一取值进

行了 50 次实验, 分别计算平均值进行比较。为了将两种算法的实验数据进行比较, 对实验所得的数据进行了一定的离散化处理, 并对个别分类 X 点进行数据补齐。图 3 显示在收敛代数相同的情况下, 改进算法的寻优能力好于原有算法, 图 4 显示在获取相同寻优能力的情况下, 改进算法的求解速度(即收敛代数)优于原有算法。

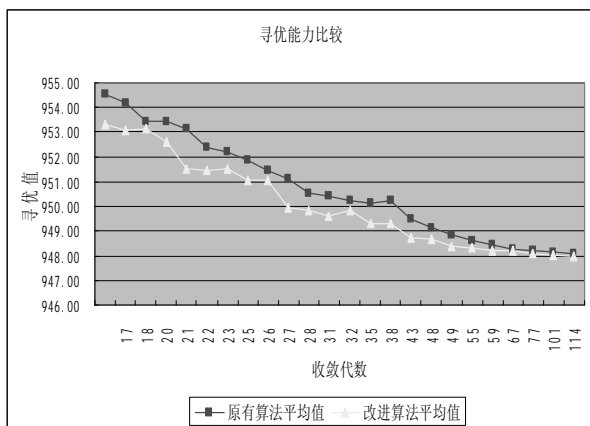


图 3 寻优能力比较

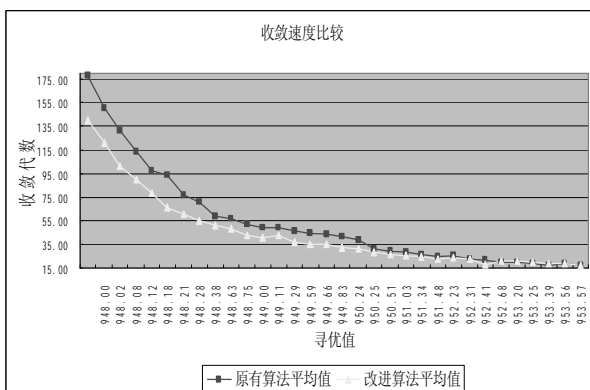


图 4 收敛代数比较

## 5 结束语

首次将 PBIL 算法应用城市物流中心选址优化问题, 通过对物流中心选址优化问题的分析确定了约束条件, 将约束较多的、复杂的物流中心选址优化问题抽象成简单合理的整数编码问题。本文建立的物流中心选址模型符合需全新建立物流系统和物流中心的情况, 只需对优化目标函数做少许修改也满足在已有物流系统基础上进行优化扩展的需要。考虑客户业务权重和基于横坐标差值与纵坐标差值之和的路径长度计算方法更符合实际情况。PBIL 算法对约束条件增减具有良好的适应性, 能够较为容易地实现相关模型由简单至复杂的演变。本文提出的学习概率修正参数动态变化方法, 提高了算法的收敛速度和寻优能力, 对使用 PBIL 算法求解类似的带有复杂约束的组合优化问题具有一定的参考价值。

### 参考文献

- 1 S.Baluja. Population-Based incremental learning. Technical Report, CMU-CS-94-163, CarnegieMellon University, 1994.
- 2 金炳尧, 蔚承建, 何振亚. 一个用于优化搜索的学习算法. 软件学报, 2001, 12(3): 448—453.
- 3 万珊珊, 郝莹. PBIL 进化算法求解排污口布局优化问题的研究. 计算机工程与应用, 2009, 45(15): 237—240.
- 4 陶羿, 朱建青, 李明. 基于改进遗传算法的物流中心选址优化. 计算机工程与应用, 2007, 43(25): 221—223.
- 5 Baluja S, Caruana R. Removing the genetics form the standard genetic algorithm. Proceedings of the International Conference on Machine Learning. San Mateo, 1995: 38—46.