

文章编号: 1001-0920(2013)07-1083-04

## 基于混合和声搜索算法求解竞争选址问题

于宏涛<sup>1,2</sup>, 高立群<sup>1</sup>, 吕勇军<sup>2</sup>

(1. 东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110819; 2. 沈阳工程学院 自动控制工程系, 沈阳 110136)

**摘要:** 针对竞争选址问题, 提出一种新的混合和声搜索算法. 混合和声搜索算法初始化和声记忆库时结合了贪婪算法, 降低了初始解的不可行性概率. 在寻优过程中, 引入了鱼群算法的觅食行为, 提高了算法跳出局部最优解的能力和收敛速度. 即兴产生一个新的和声时, 充分考虑了当前最优解的指导作用, 提出了新的基因调整方法, 增强了算法的探索能力. 在竞争选址问题上对所提出的算法进行了测试, 仿真结果验证了所提出算法的有效性.

**关键词:** 竞争选址; 和声搜索算法; 贪婪算法; 人工鱼群算法

**中图分类号:** TP18

**文献标志码:** A

## Hybrid harmony search algorithm for competitive location problem

YU Hong-tao<sup>1,2</sup>, GAO Li-qun<sup>1</sup>, LV Yong-jun<sup>2</sup>

(1. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Department of Automatic Control Engineering, Shenyang Institute of Engineering, Shenyang 110136, China. Correspondent: YU Hong-tao, E-mail: neu970773@chinaren.com)

**Abstract:** A novel hybrid harmony search(HHS) algorithm is proposed for the competitive location problem. The greedy algorithm is used for initializing the harmony memory of harmony search(HS) algorithm, which can reduce the probability of the initial infeasible solution. During the search, the artificial fish-warm prey behavior is introduced into the HS algorithm so as to enhance the ability of escaping from local optimal solution and accelerate the converge speed of the algorithm. Moreover, the current optimal solution is considered when the new harmony is improvised, and a new pitch-adjusted method is presented in order to enhance the exploration ability. Experiments are carried out on typical competitive location problems. Simulation shows the effectiveness of the proposed algorithm.

**Key words:** competitive location; harmony search algorithm; greedy algorithm; artificial fish-warm algorithm

## 0 引言

竞争选址是指市场中已经存在同行业的其他设施, 新设施进入市场时将打破原有的供需秩序, 抢占市场份额<sup>[1]</sup>. 近几年, 国内外学者对竞争选址问题进行了一些研究. 文献[2]研究了随机性需求情况下的竞争选址问题; 文献[3]研究了以获取某一市场份额为目标, 并同时考虑公司和客户两者费用的竞争选址问题; 文献[4]研究了分布式供应链的竞争选址问题; 文献[5]研究了多设施的连续空间竞争选址问题; 文献[6]研究了已存在的设施吸引力可调的离散竞争选址问题; 文献[7]研究了考虑覆盖半径的竞争选址问题; 文献[8]研究了考虑市场扩张和吞并的竞争选址问题. 以上研究的侧重点是针对不同情况建立竞争选址问题的数学模型, 尽管其研究背景不尽相同, 但文

献[2-8]的数学模型却有着很大的相似性, 都是以重力模型<sup>[9]</sup>作为基础. 由于竞争选址问题是NP-hard问题<sup>[10]</sup>, 以上文献的求解主要采用了禁忌搜索算法和遗传算法这两种智能算法. 对于智能算法发展迅猛的今天, 目前研究竞争选址问题的相关文献所应用的智能算法相对比较单一, 求解性能分析也略显不足.

本文基于典型的竞争选址问题模型(重力模型)对竞争选址问题的求解算法进行研究, 针对该求解问题的特点提出一种更加有效的改进和声搜索算法. 该改进和声搜索算法在基本和声搜索算法的基础上融合了贪婪算法思想以及人工鱼群算法的觅食行为, 增强了逃离局部最优解的能力和收敛速度, 同时为和声搜索类算法解决离散规划问题提供了范例.

收稿日期: 2012-08-28; 修回日期: 2012-12-17.

基金项目: 国家自然科学基金项目(60674021).

作者简介: 于宏涛(1978—), 男, 博士生, 从事数学建模与智能优化理论的研究; 高立群(1949—), 男, 教授, 博士生导师, 从事模式识别和智能优化理论等研究.

## 1 竞争选址问题描述

假定为公司 A 进行设施选址, 市场上已存在  $m$  个属于其他公司的同类设施, A 公司与这些公司具有竞争关系. 所要决策的问题是在预算限制下, 如何确定选址地点, 使公司 A 的设施所占市场份额最大.

模型中将要涉及的参数和变量如下:  $i, I$  为消费者需求点的指标和指标集;  $j, J$  为设施点的指标和指标集;  $J_B$  为其他公司已存在的设施点的指标集;  $J_A$  为 A 公司候选设施点的指标集,  $J_A = J - J_B$ ;  $d_{ij}$  为需求点  $i$  到设施  $j$  的距离;  $a_i$  为  $i$  点的需求量;  $u_{ij}$  为  $i$  点消费者关于  $j$  点设施的效用;  $p_{ij}$  为  $i$  点消费者由  $j$  点设施服务的概率;  $n$  为建设的新设施的最大数目;  $g_j$  为设施点  $j$  的选址成本;  $C$  为预算限制; 决策变量为

$$y_x = \begin{cases} 1, \\ 0. \end{cases} \quad (1)$$

其中:  $y_x = 1$  表示在  $x$  点建立新设施,  $y_x = 0$  表示在  $x$  点不建立新设施.

效用是消费者在零售店购物所感受到的满意程度, 是影响消费者选择零售店购物的重要因素. 文献 [11] 提出的基于 Huff 的效用函数为

$$u_{ij} = \frac{A_j^\alpha}{d_{ij}^\beta}. \quad (2)$$

其中:  $A_j$  为设施吸引力, 其值大小与零售店价格、门店规模、服务水平等属性紧密相关;  $d_{ij}$  为距离引力, 其值为零售商与消费者之间的距离;  $\alpha, \beta$  为已知参数, 分别反映顾客对零售商的设施吸引力和距离的灵敏度.

为了避免距离为零时效用无穷大, 引用文献 [8] 中的效用函数

$$u_{ij} = \frac{A_j^\alpha}{(d_{ij} + 1)^\beta}. \quad (3)$$

根据效用函数的大小, 可以定义消费者  $i$  选择设施服务  $j$  的概率为

$$p_{ij} = \frac{u_{ij}}{\sum_{j \in J} u_{ij}}. \quad (4)$$

基于上述分析和假设, 最大市场份额模型为

$$\max Z = \sum_{x \in J} \sum_{i \in I} a_i p_{ix}; \quad (5)$$

$$\text{s.t.} \sum_{x \in J_A} y_x \leq n, \quad (6)$$

$$\sum_{x \in J_A} g_x y_x \leq C, \quad (7)$$

$$y_x = \{0, 1\}. \quad (8)$$

其中: 式 (5) 为保证公司 A 获得最大的市场份额, 式 (6) 为新设施的个数约束, 式 (7) 为成本约束, 式 (8) 表示决策变量.

## 2 混合和声搜索算法求解竞争选址问题

竞争选址问题属于 0-1 规划问题, 而且预算资金和建立设施数目都有所限制. 由于大规模、高维数竞争选址的复杂性, 经典的优化方法难以胜任, 人们通常利用智能方法予以求解. 但是, 目前各类优化算法大部分都是针对连续变量问题进行求解, 均存在陷入局部最优的问题.

和声搜索 (HS) 算法<sup>[12]</sup>是模拟音乐家即兴创作过程而形成的一种启发式全局优化搜索算法. 该算法主要针对连续变量问题, 求解时也容易陷入局部最优, 处理整数规划问题时存在一定的困难. 为此, 本文提出了 HHS 算法, 以解决复杂竞争求解问题.

HHS 算法寻优步骤如下.

**Step 1** 初始化参数.

初始化参数包括寻优  $x_i$  变量的上界  $UB_i$  和下界  $LB_i$ , 和声记忆库的大小 (HMS), 和声记忆库考虑概率 (HMCR), 基音调整概率 (PAR), 最大迭代次数 NI.

**Step 2** 初始化和声记忆库.

基本和声记忆库 (HM) 由 HMS 个随机产生的和声向量 (解向量) 组成, 表示为

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_1^2 & \cdots & x_1^N \\ x_2^1 & x_2^2 & \cdots & x_2^N \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \cdots & x_N^{HMS} \end{bmatrix},$$

其中  $x_j^i$  表示第  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, HMS$ ) 个和声解向量的第  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) 个和声分量.

在求解选址问题时, 和声向量采用 0, 1 编码, 其中 1 代表在该设施点建立设施, 0 代表在该设施点不建立设施, 记解向量  $x^i$  中分量和 (选定设施点数量) 为  $n_i$ .

为解决初始化和声向量可能为不可行解向量的问题, 引入了贪婪算法的思想. 首先基于选址成本从小到大排序, 找出基于预算资金能够最多建立设施的数目  $n_{\max}$ , 同时基于逆序找出最少能够建立设施的数目  $n_{\min}$ . 若  $n_{\max}$  大于待建设设施的最大数目  $n$ , 则令  $n_{\max} = n$ , 否则  $n_{\max}$  值不变; 然后随机选取分量和  $n_i$  介于  $[n_{\min}, n_{\max}]$  之间, 并将满足约束条件的解向量构成和声记忆库.

**Step 3** 即兴产生新的和声.

基于 HMCR、PAR 对解向量  $x' = [x'_1, x'_2, \dots, x'_N]$  进行即兴创作, 产生一个新的和声向量. 如果和声记忆库考虑概率 HMCR 得到满足, 且基音调整概率 PAR 不被满足, 则执行和声记忆库考虑操作. 所谓和声记忆库考虑, 是指从和声记忆库中的  $\{x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^{HMS}\}$  内随机选取一个赋给  $x'_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, N$ , 构成向量  $x'$ ;

如果和声记忆库考虑概率HMCR得到满足,且基音调整概率PAR得到满足,则进行音调调整操作.HHS算法与其他的各类和声算法有以下两点不同:

1) 在和声记忆库中当前最优解的基础上执行基音调整操作,这样可以充分发挥和声记忆库中最优解的指导作用,提高收敛速度.

2) 在基音调整操作中引入了人工鱼群算法<sup>[13]</sup>的觅食思想.将和声记忆库中最优和声向量 $x^{best}$ 看作人工鱼群的当前状态,并计算其目标函数.寻优时,随机去掉 $x^{best}$ 一个已选候选点,基于目前的剩余成本在可选择设施的集合中随机选择一点作为替补已选候选点,得到和声向量 $x^j$ .如果和声向量 $x^j$ 的目标函数值大于和声向量 $x^{best}$ 的目标函数值,则令所产生的新和声向量 $x' = x^j$ ;反之,在可选择设施的集合中再重新随机选择一点作为替补已选候选点,构建状态 $x^j$ ,判断是否满足要求;反复几次后,如果仍不能满足要求,则令最后一次基于觅食行为得到的和声向量 $x^j$ 为新产生的和声向量 $x'$ .鱼群觅食思想的引入有助于在较优的和声向量邻域内进行精细搜索.

当HMCR不能满足时,则需执行随机选取操作,该操作是指在满足 $n_{min} \leq n_i \leq n_{max}$ 条件下随机取值0或1,构成新的和声向量 $x'$ .此操作主要是增加全局搜索能力,避免陷入局部最优.

如果以上步骤所产生的新和声向量 $x'$ 为不可行解,则随机去掉一个已选的候选点;若仍为不可行解,则再随机去掉另一个已选候选点.依此类推,直至其为可行解.

**Step 4 更新和声记忆库.**

如果新产生的和声向量 $x'$ 的目标函数值好于和声记忆库中最差的和声向量 $x^{worst}$ 的目标函数值,则用 $x'$ 代替 $x^{worst}$ ;否则排除 $x'$ ,保留 $x^{worst}$ 到下一代.

**Step 5 核查终止准则.**

如果当前迭代次数大于最大迭代次数NI,则终止运行;否则,重复执行Step 3和Step 4.

HHS算法基于以上寻优步骤,随着迭代次数的进行,和声记忆库中当前迭代得到的最优和声向量总是不差于上一次迭代得到的最优和声向量,因此该算法具有一定的收敛性.

**3 仿真分析**

本文采用文献[7]中的仿真实例和参数设置对所提出的算法进行分析.对选址费用限制 $C$ 分别为7.5亿元、8亿元、8.5亿元、9亿元、9.5亿元和10亿元几种情况,分别采用遗传算法(GA)、禁忌搜索算法(TS)、HS算法、新颖的全局和声搜索算法(NGHS)<sup>[14]</sup>和本文提出的HHS算法进行仿真实验.

GA参数设置如下:种群规模为20,采用单点交

叉和单点变异,其中交叉概率和变异概率分别为0.5和0.1.

TS参数设置如下:禁忌表长度为3,邻域定义参见文献[3].

HS算法参数设置如下:和声记忆库大小HMS = 5,和声记忆库考虑概率HMCR = 0.95,基音调整概率PAR = 0.3.

NGHS算法参数设置如下:和声记忆库大小HMS = 5,和声记忆库考虑概率HMCR = 0.95,基音调整概率PAR = 0.3,变异率 $p_m = 0.1$ .

HHS算法参数设置如下:和声记忆库大小HMS = 5,和声记忆库考虑概率HMCR = 0.95,基音调整概率PAR = 0.5,觅食行为次数取3.

以上算法采用Matlab 7.0编程工具进行实验仿真,最大迭代次数均为100,计算运行20次.在不同选址费用限制下,统计算法的最优值、平均值、最差值和标准差的计算结果如表1所示,最优值的平均值进化过程曲线如图1~图6所示.

表1 不同条件下的计算结果

C/亿元	算法	最优值	平均值	最差值	标准差
7.5	GA	19.5209	17.6174	13.9649	1.5153
	TS	17.6781	2.4514	0	6.001
	HS	0	0	0	0
	NGHS	19.5209	5.0143	0	7.9059
	HHS	19.6989	19.6989	19.6989	0
8	GA	19.6989	18.6452	15.9133	1.1141
	TS	17.1635	0.8582	0	3.8379
	HS	0	0	0	0
	NGHS	19.5209	4.14	0	7.5086
	HHS	19.6989	19.6989	19.6989	0
8.5	GA	20.6945	18.5555	15.0809	1.6944
	TS	18.6326	3.1618	0	6.6287
	HS	16.3526	1.4464	0	4.4938
	NGHS	19.1289	4.3132	0	7.6996
	HHS	20.6945	20.5476	19.9599	0.3014
9	GA	20.6945	18.4706	14.9269	1.9258
	TS	19.1015	2.7719	0	6.7789
	HS	18.1684	0.9084	0	4.0626
	NGHS	19.2662	5.102	0	8.1154
	HHS	20.6945	20.3936	19.8974	0.3056
9.5	GA	21.0911	18.8122	15.5182	1.5698
	TS	19.0231	2.6897	0	6.5813
	HS	18.9161	1.7554	0	5.4211
	NGHS	20.5845	9.3151	0	9.6075
	HHS	21.6062	21.3147	21.2823	0.0997
10	GA	21.2603	19.6035	15.7421	1.5419
	TS	20.7362	3.955	0	8.1231
	HS	17.6081	1.7111	0	5.269
	NGHS	21.1607	9.3872	0	9.6854
	HHS	21.6062	21.6062	21.6062	0

从表1可以看出,HHS算法的最优值、平均值、最差值都明显优于GA算法、TS算法、HS算法和NGHS算法,说明具有较好的求解质量.此外,HHS算法的标准差值小于其他算法,表明HHS算法具有较

好的求解稳定性. GA算法求解性能仅次于HHS算法;文献[3]中的TS算法对初始解依赖性较强,在20次独立运行中,仅几次得到可行解,而文献[3]并未给出不可行解处理方法,所以求解该问题时其性能较差;HS算法的基本求解思想并不适于求解该问题,性能较差;文献[14]中的NGHS算法主要针对求解0-1背包问题,尽管它与竞争选址问题略有相似,但还是具有一定的差异,因此,应用此法求解竞争选址问题并不能达到理想的效果.

图1~图6分别是选址费用限制为7.5亿元、8亿元、8.5亿元、9亿元、9.5亿元和10亿元几种情况的

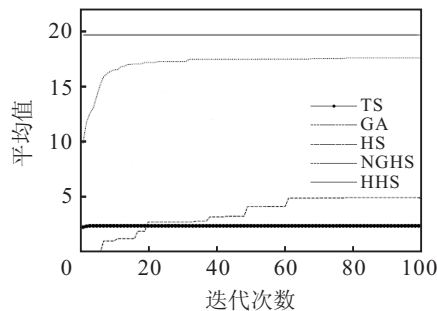


图1  $C = 7.5$  时平均值进化过程曲线

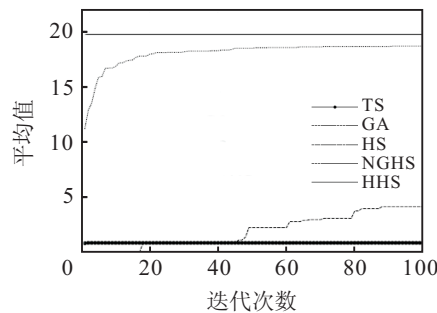


图2  $C = 8$  时平均值进化过程曲线

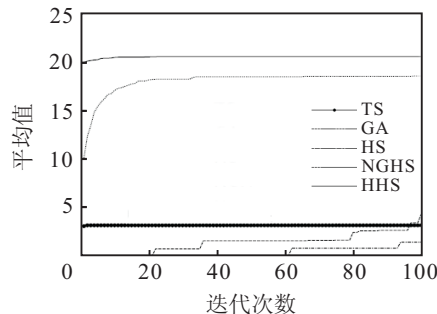


图3  $C = 8.5$  时平均值进化过程曲线

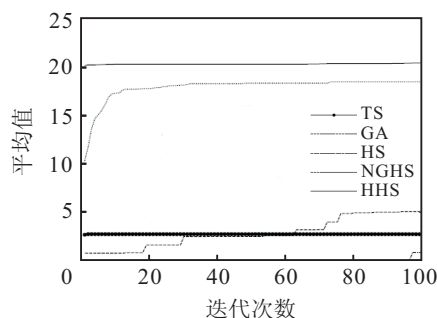


图4  $C = 9$  时平均值进化过程曲线

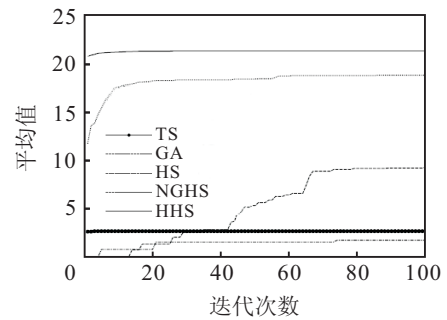


图5  $C = 9.5$  时平均值进化过程曲线

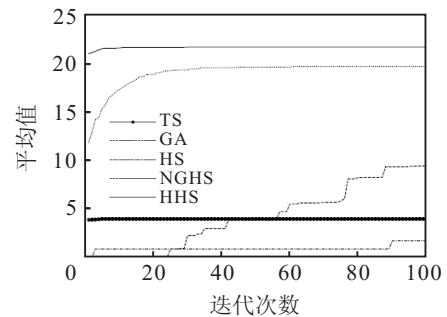


图6  $C = 10$  时平均值进化过程曲线

20次独立运行的平均值进化曲线.从图1~图6可以看出,HHS算法的收敛速度明显快于TS、GA、HS和NGHS算法,它在迭代的早期就已经达到了一个比较高的求解质量,表明HHS算法在寻求高质量的解方面具有更高的效率.

## 4 结论

本文针对竞争选址问题的特点,提出了一种HHS算法.该算法在HS算法基础上引入贪婪算法思想,提高了算法收敛速度,此外,新的和声向量的产生不再完全即兴,基音调整时基于当前最优和声向量执行人工鱼群算法的觅食行为,可以进一步提高算法跳出局部最优解的能力,进而提高算法的寻优质量.最后应用该算法对竞争选址问题进行了求解,并与目前求解该问题的其他算法进行了比较,结果表明HHS算法在求解竞争选址问题时更为有效.该算法可推广应用于其他0-1规划求解问题.

## 参考文献(References)

- [1] Plastria F. Static competitive facility location: An overview of optimisation approaches[J]. European J of Operational Research, 2001, 129(3): 461-470.
- [2] Uno T, Katagiri H, Kato K. Facility location problems with random demands in a competitive environment[J]. IAENG Int J of Applied Mathematics, 2009, 39(2): 122-127.
- [3] Zarrinpoor N, Seifbarghy M. A competitive location model to obtain a specific market Share while ranking facilities by shorter travel time[J]. The Int J of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 55(5-8): 807-816.