

# 基于混沌优化的最优运输路径问题研究

张 燕

(许昌学院数学与统计学院 许昌 461000)

**摘 要** 在分析 Logistic 混沌序列遍历性的基础上,将 Logistic 混沌序列映射到多极点目标函数的搜索区间来搜索全局最优解。研究混沌优化算法的一般步骤和算例分析,并将混沌优化算法应用于运输路径的最优化选择问题中。研究结果表明了混沌优化算法具有较好的全局搜索最优解能力,同时也验证了其在最优运输路径选择上的可行性和有效性。

**关键词** 混沌优化,遍历性,全局搜索,最优路径

中图分类号 O241.5 文献标识码 A

## Research on Optimal Transportation Route Based on Chaos Optimization

ZHANG Yan

(School of Mathematics and Statistics, Xuchang University, Xuchang 461000, China)

**Abstract** Based on the analysis of ergodicity of Logistic chaotic sequences, the Logistic chaotic sequence was mapped to the search region of the multi pole objective function to search the global optimal solution. We studied on the general procedure of chaos optimization algorithm, analyzed the example, and applied the chaos optimization algorithm to the transport route optimization problem. The results show that the chaos optimization algorithm has better global search ability of the optimal solution, and it has the feasibility and effectiveness of the optimal transportation route selection.

**Keywords** Chaos optimization, Ergodicity, Global search, Optimal route

运输是现代物流系统中科学决策、成本控制和效率提升的重要因素,对经济社会发展具有重要意义。运输路径优化为企业科学决策管理、减少商品损耗、提高库存周转率、加速商品流通、降低流通成本、提高社会需求满足度、增强企业竞争力以及减小作业劳动强度等提供了基础保障<sup>[1]</sup>。

在某种程度上,最优化是讨论决策问题的最佳选择问题,通过构建适当的数学模型将决策问题转化为求解状态空间上的全局极大值或极小值问题,被广泛应用于工程设计、经济规划、生产管理、交通运输和国防等重要领域<sup>[2]</sup>。一般地,对于凸问题或单峰问题,采用局部优化算法,通过单纯形法、梯度下降法和贪心法等确定性优化策略能够快速收敛到局部最优解<sup>[2]</sup>。但在实际的决策问题优化过程中,需要解决的问题绝大多数是比较复杂的多峰问题,需要在问题状态空间的全局范围内搜索最优解,局部优化算法在解决这类问题时很容易陷入局部极小值而无法很好地搜索到全局最优解。混沌优化作为一种全局优化算法,能够较好地避免陷入局部极小值的问题,能够在决策问题状态空间中搜索到全局最优解。其基本思想是将混沌序列线性映射到优化变量区间,并利用混沌变量对目标函数全局极大值进行搜索<sup>[3]</sup>。

作为一种新的优化算法,混沌优化得到了众多学者的广泛关注和重视,他们开展了一系列的理论和应用研究,并取得了一定的研究成果。李兵等<sup>[4]</sup>通过载波方式将混沌序列引入优化算法,成功地搜索出目标函数的全局最优解,避免了优化

过程中搜索陷入局部极值的问题。张彤等<sup>[3]</sup>提出了一种变尺度混沌优化算法,在搜索过程中不断缩小优化变量的搜索区间,并提高搜索精度,以提高搜索效率。黄显峰等<sup>[5]</sup>将混沌优化算法应用到水资源优化配置中,验证了该算法的有效性。袁小芳等<sup>[6]</sup>将混沌优化算法应用到支持向量机最佳参数选取中,并通过实例仿真表明混沌优化算法是选取支持向量机最佳参数的有效方法。郑希云等<sup>[7]</sup>将混沌优化算法应用于包含多馈入直流输电系统的交/直流互联电力系统,进行各直流调制和电力系统稳定器之间的协调控制。本文将混沌优化算法应用于交通运输路径最优选择问题,并通过实例仿真计算验证基于混沌优化的最优运输路径选择的可行性和有效性。

### 1 混沌的遍历性

混沌是确定性非线性系统中存在的一种貌似无规则、随机的运动<sup>[8]</sup>,具有遍历性、随机性和内在规律性。混沌运动始终局限在某个有限区域内做轨道永不重复的自相似运动,因此,在充分长的时间区间里,随着时间的推移,混沌运动将遍历状态空间上的每一个点。混沌的遍历性是利用混沌序列进行全局最优解搜索的理论基础,与随机过程不同的是,混沌在看似无规则的运动过程中蕴含着自身的内在演化规律。本文以 Logistic 混沌时间序列为例验证混沌的遍历特性,并利用关联维数分析 Logistic 混沌时间序列蕴含的内在规律,证明混沌时间序列与均匀分布的随机过程在本质上的不同,为混沌优化提供理论支持。

对于 Logistic 映射

$$x(n+1) = \mu x(n)(1-x(n)) \quad (1)$$

取  $\mu=4$ , 初始值  $x(1)=0.41$ , 迭代 1000 次产生一个分布在  $(0,1)$  区间上的混沌序列, 如图 1 所示; 在定义域  $(0,1)$  上以  $1/1000$  的步长产生一个由 1000 个均匀分布在值域  $[0,1]$  上的随机点构成的噪声序列, 如图 2 所示。从图 1 和图 2 中可直观地看出, 混沌序列和噪声序列都是由 1000 个点构成且都分散分布在  $(0,1)$  区间上, 二者的遍历性具有较高的相似度。但混沌序列的遍历性中蕴含着自身演化的内在规律, 而噪声序列表现出来的一个随机过程, 采用 G-P 法<sup>[9]</sup> 分别计算 Logistic 混沌序列和噪声序列的关联维数, 并绘制其关联维嵌入维  $d(m)-m$  图, 如图 1 和图 2 所示。可以明显地看出, 混沌序列的关联维数随着嵌入维数的增加而趋于收敛<sup>[10]</sup>, 当嵌入维数  $m=8$  时, 关联维数的值是非整数; 噪声序列的关联维数随着嵌入维数的增加而趋于发散。

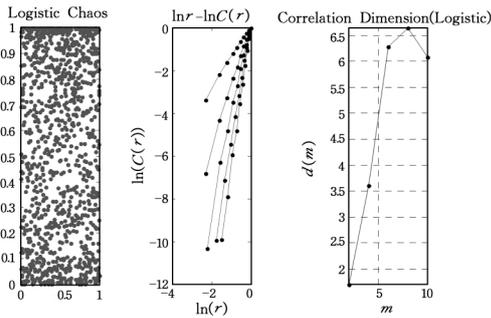


图 1 Logistic 混沌序列及其关联维数

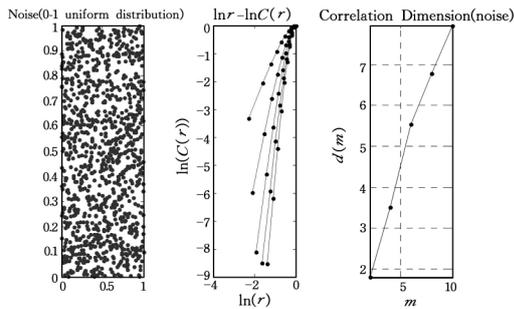


图 2 0-1 均匀分布噪声及其关联维数

## 2 混沌优化算法与算例分析

本文采用 Logistic 混沌变量对目标函数进行全局最优化搜索, 对于连续对象的全局极小值优化问题<sup>[2-3]</sup>:

$$\min f(x_i), \text{ s. t. } x_i \in [a_i, b_i], i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

第 1 步 算法初始化。设置  $k=1; x_i^k = x_i(1), x_i^* = x_i(1)$ 。其中  $k$  是混沌变量迭代标志,  $x_i(1)$  为  $(0,1)$  区间内  $i$  个具有微小差别的初始值,  $x_i^*$  为当前得到的最优混沌变量,  $f^*$  为当前最优解初始化为较大的数。

第 2 步 利用式(3)将混沌变量  $x_i^k$  映射到目标函数优化变量的取值区间  $mx_i^k$ 。

$$mx_i^k = c_i + d_i x_i^k \quad (3)$$

其中,  $c_i, d_i$  为常数。

第 3 步 利用混沌变量对目标函数进行优化搜索, 若第  $i$  次搜索的结果不大于当前最优解, 即  $f(mx_i^k) \leq f^*$ , 则将本次搜索的结果作为当前最优解, 对应的混沌变量作为当前最优

变量, 即  $f^* = f(mx_i^k), x^* = x_i^k$ ; 若  $f(mx_i^k) > f^*$ , 则放弃本次搜索的结果而继续搜索。

第 4 步 若经过第 3 步的若干次搜索后仍保持  $f^*$  不变, 则按式(4)进行第二次载波。

$$mx_i^{k*} = c_i^* + \alpha_i x_i^{k*} \quad (4)$$

其中,  $\alpha_i x_i^{k*}$  为遍历区间上很小的混沌变量,  $c_i^*, \alpha_i$  为调节常数,  $x_i^{k*}$  为当前最优解。

第 5 步 用二次载波后的混沌变量继续迭代搜索目标函数的最优解, 令本次搜索到的最优解为  $f'(mx_i^{k*})$ 。若  $f'(mx_i^{k*}) \leq f^*$ , 则将本次搜索的结果作为当前最优解, 对应的混沌变量作为当前最优变量, 即  $f^* = f'(mx_i^{k*}), x^* = mx_i^{k*}$ ; 若  $f'(mx_i^{k*}) > f^*$ , 则放弃本次搜索的结果, 继续搜索。

第 6 步 如果满足终止条件则终止搜索并输出最优解, 反之则返回第 5 步继续搜索。

本文用式(5)的算例目标函数对混沌优化算法进行测试。

$$F = 100 * (x_1^2 - x_2)^2 + (1 - x_1)^2, -2.048 \leq x_i \leq 2.048 \quad (5)$$

计算函数 F 的全局极小值并分析其性能。测试时, 利用混沌优化算法随机优化目标函数 10 次, 得到 10 个全局极小值, 并计算得出其均方根误差(RMSE)等于 0.0039, 如表 1 所列。对比目标函数的理论最优点、全局极小值和优化结果可以看出, 混沌优化算法在满足一定精度情况下能够较好地搜索出目标函数的全局极小值。

表 1 混沌优化算法优化目标函数的结果

理论值	混沌优化结果			RMSE
	$x_1$	$x_2$	全局极小值	
最优点: (1.0, 1.0) 全局极小值: 0	0.9881	0.9801	0.0015	0.0039
	0.9678	0.9365	0.0018	
	1.0590	1.1220	0.0035	
	1.0170	1.0330	0.0002	
	1.0050	1.0050	0.0014	
	1.0410	1.0920	0.0092	
	0.9434	0.8931	0.0041	
	0.9814	0.9681	0.0028	
	1.0670	1.1400	0.0046	
	1.0140	1.0310	0.0006	

## 3 最优化运输路径

本文建立的运输路径优化模型中共有  $n$  个城市  $c_i (i=1, 2, \dots, n)$ , 每个城市都可能作为运输路径的起点, 运输过程要遍历  $n$  个城市中的每一个城市, 最后仍要返回起点城市。最优运输路径选择就是在从起点到终点最后又回到起点的所有可能运输路径中选择路径距离最小的那条路径, 该问题实质上是一个较复杂的 NP 问题<sup>[11]</sup>。假设各城市间的运输方式和运输费用相同, 以总运输路径距离最小为目标函数<sup>[12]</sup>, 模型如式(6)所示:

$$\min L = \min \left( \sum_{i=1}^{n-1} d(c_i, c_{i+1}) + d(c_n, c_1) \right) \quad (6)$$

其中,  $d(c_i, c_{i+1})$  表示城市  $c_i$  与城市  $c_{i+1}$  之间的距离,  $L$  表示某条运输路径的距离。混沌优化算法是一种全局优化算法, 利用混沌序列遍历式(6)的目标函数状态空间中的每个点, 从而实现复杂问题的求解。

某公司在 10 个城市均设有物流配送站, 且各物流配送站

是平行关系,即每个物流配送站都可以为其他任何一个城市调配和发送货物。根据实际需要,该公司需定期从各个城市调配和发送货物,各城市的位置坐标如表 2 所列。

表 2 各城市位置坐标

城市编号	横坐标(X)	纵坐标(Y)
1	9.5000	52.4000
2	12.6600	54.4400
3	18.2200	62.1300
4	16.7600	76.4300
5	22.5500	91.6300
6	27.2500	78.2100
7	21.8200	45.9900
8	19.6400	76.3300
9	26.7400	45.2700
10	46.0500	62.6600

为提高效率和控制成本,公司需要为每次货物运输的路径作最优化选择。按照上述模型,将该问题转化为最短路径问题并利用 Logistic 混沌序列遍历以某个城市为起点的所有路径,迭代次数设置为 50000,搜索其最优路径,如图 3 和图 4 所示。为验证混沌优化算法在路径优化选择中的实际效果,随机对运输路径优化 10 次,且每次优化的初始路径均不同,如表 3 所列。从表 3 中可以看出,不同初始路径的初始路径

距离是各不相同的,采用混沌优化算法优化运输路径得到的该初始路径下最优路径的距离均是一致的,这表明混沌优化算法能够在运输路径优化中获得比较理想的优化效果,从而证明了该优化方法在运输路径优化上是可行且有效的。

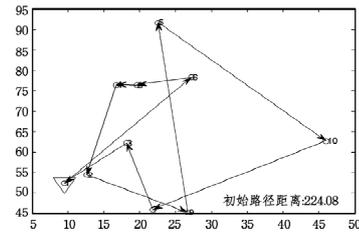


图 3 初始路径

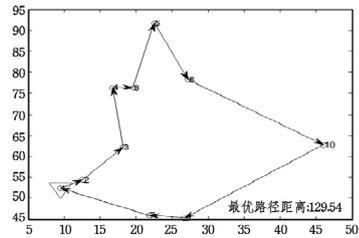


图 4 最优路径

表 3 不同初始路径下的优化结果

初始路径	初始距离	最优路径	最优距离
1->6->8->4->2->9->5->10->7->3->1	224.08	1->2->3->4->8->5->6->10->9->7->1	129.54
1->2->10->5->4->8->7->3->6->9->1	211.60	1->7->9->10->6->5->8->4->3->2->1	129.54
2->3->8->6->4->10->1->7->5->9->2	235.45	2->1->7->9->10->6->5->8->4->3->2	129.54
3->5->9->7->4->2->8->1->10->6->3	264.33	3->4->8->5->6->10->9->7->1->2->3	129.54
6->5->10->3->7->4->2->1->8->9->6	243.68	6->10->9->7->1->2->3->4->8->5->6	129.54
6->9->7->1->5->2->3->4->10->8->6	225.44	6->5->8->4->3->2->1->7->9->10->6	129.54
7->3->5->4->1->8->9->10->6->2->7	236.31	7->9->10->6->5->8->4->3->2->1->7	129.54
8->9->4->10->5->6->3->7->1->2->8	224.07	8->5->6->10->9->7->1->2->3->4->8	129.54
9->4->10->7->1->3->6->8->5->2->9	218.59	9->7->1->2->3->4->8->5->6->10->9	129.54
10->4->7->9->8->3->2->6->5->1->10	245.23	10->6->5->8->4->3->2->1->7->9->10	129.54

结束语 混沌优化算法作为一种全局优化算法,利用混沌序列遍历目标函数状态空间上的点,能够较好地搜索目标函数的全局极值。研究表明,该优化算法在最优运输路径选择上能够取得比较理想的效果,证明了其在最优运输路径选择上具有可行性和有效性。由于最优运输路径问题对时间的实时性要求不太严格,因此本文采用的混沌优化算法没有考虑利用混沌序列在目标函数状态空间上搜索到最优解的时间开销,同时在建立运输路径模型时只考虑了路径距离因素,而没考虑不同城市间的不同运输方式和运费等因素,这些都将成为后续研究内容。

参 考 文 献

[1] 石兆. 物流配送选址—运输路径优化问题研究[D]. 长沙:中南大学,2014:1-9.  
 [2] 胡行华. 混沌优化算法的研究与应用[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2008:19-41.  
 [3] 张彤,王宏伟. 变尺度混沌优化方法及其应用[J]. 控制与决策,1999,14(3):285-287.

[4] 李兵,蒋慰孙. 混沌优化方法及其应用[J]. 控制理论与应用,1997,14(4):613-615.  
 [5] 黄显峰,邵东国,顾文权,等. 基于多目标混沌优化算法的水资源配置研究[J]. 水利学报,2008,39(2):183-186.  
 [6] 袁小芳,王耀南. 基于混沌优化算法的支持向量机参数选取方法[J]. 控制与决策,2006,21(1):111-113.  
 [7] 郑希云,李兴源,王渝红. 基于混沌优化算法的 PSS 和直流调制的协调优化[J]. 电工技术学报,2010,25(5):170-175.  
 [8] 吕金虎. 混沌时间序列分析及其应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005:24-36.  
 [9] GRASSBERGER P, PROCACCIA I. Measuring the strangeness of strange attractors[J]. Physica D,1983(9):189-208.  
 [10] 樊明智,刘道文. 基于混沌特性参数的股指神经网络建模及预测[J]. 统计与决策,2012,357(9):47-49.  
 [11] 肖天国,符卓. 基于遗传算法的联合运输路径优化[J]. 中国科技论文在线,2008,10(3):720-724.  
 [12] 郭平,娜文晋. 基于 TSP 问题的蚁群算法综述[J]. 计算机科学,2007,34(10):181-184.