

求解 VRP 问题的混合鱼群遗传优化算法

王培崇^{1,2}, 钱旭¹, 周玉¹

WANG Pei-chong^{1,2}, QIAN Xu¹, ZHOU Yu¹

1.中国矿业大学(北京)机电与信息学院,北京 100833

2.石家庄经济学院信息工程学院,石家庄 050031

1.School of Mechanical Electronic & Information Engineering, China University of Mining & Technology(Beijing), Beijing 100083, China

2.Information Engineering School, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China

E-mail: hebwolf@126.com

WANG Pei-chong, QIAN Xu, ZHOU Yu. Hybrid artificial fish school algorithm to solve Vehicle Routing Problem(VRP). Computer Engineering and Applications, 2009, 45(24): 201-203.

Abstract: This paper analyzes the general Vehicle Routing Problem(VRP) in logistics distribution, and establishes its mathematic model. Then, it designs a hybrid artificial fish school algorithm, and researches how to use the algorithm to solve the general vehicle routing problem. In the early phases it can get the optimal solution by artificial fish school algorithm quickly and in the final stage find the global optimal solution by genetic algorithm. Finally, some experiments are executed to show that this algorithm has convergent ability and is stable.

Key words: logistics distribution; Vehicle Routing Problem(VRP); artificial fish school algorithm; genetic algorithm

摘要:首先对物流配送中的一般车辆优化调度问题(VRP)进行了分析,并为之建立了相应的数学模型。随后设计了一个人工混合鱼群算法,并研究了如何应用该算法解决车辆优化调度问题,该算法在初期阶段应用人工鱼群算法迅速获得阶段最优解,在后期阶段应用遗传算法寻求最优解。最后通过仿真实验验证了该算法具有求解速度快,性能稳定等优点。

关键词:物流配送;车辆优化调度问题;人工鱼群算法;遗传算法

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2009.24.060 **文章编号:**1002-8331(2009)24-0201-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP391

1 引言

在当今社会的经济领域中,物流企业的发展壮大无疑是不可忽视的。对于物流企业,其主要工作成本出现在货物的配送过程,运输车辆如何进行最优调度,以减少不必要的成本浪费,提高收益,无疑是最值得关注和研究的^[1-2]。在数学中一般车辆优化调度问题(Vehicle Routing Program)通常被归结为组合优化问题,这是一个典型的 NP-hard 问题。随着问题规模的增大,使用数学中的确定性算法获精确解几乎是不可能的。针对这一问题,目前已经出现了较多的应用智能算法来解决的思路,比如:遗传算法^[3]、蚁群算法^[4-5]和微粒子群算法^[6]等。

我国李晓磊博士于 2002 年提出的一种群智能算法即人工鱼群算法^[7-8],该算法具有良好求取全局极值的能力,能够较好地克服局部极值,并且算法对参数选择以及初值不敏感,对搜索空间也具有一定的自适应能力,是一种高效、并行、自适应的全局搜索算法,特别适合于解决组合优化领域的问题,所以应用该算法来求解车辆调度问题不失为一个新的解决问题的思路。

但是该算法也有自身的比较典型的缺点,就是计算早期表

现的收敛速度较快,能够迅速靠近最佳求解点,但是在后期计算过程中该算法的收敛速度会降低较多,而且寻求精确解的能力也较低。故将人工鱼群算法和遗传算法有机结合起来,在算法的早期利用鱼群算法的快速收敛能力迅速确定解的范围即阶段最优解,然后应用遗传算法寻求整体的最优解,有效地将人工鱼群算法和遗传算法的优点结合起来,实验证明该算法具有较好的求解速度和确定精确值的能力。

2 车辆优化调度问题的描述

2.1 组合优化问题描述

不失一般性,对求解最小化(下同)问题进行描述,其数学模型如下^[7-8]:

$$\begin{aligned} \min & (g(y)) \\ \text{s.t.} & h(y) \geq 0 \\ & y \in M \end{aligned}$$

上述公式中, y 为决策变量, $g(y)$ 为需要求解的最小化目标函数, $h(y)$ 为求解过程中的约束, M 为有限个点的组合集合。

基金项目:教育部 07 重点科技基金(the Key Science Foundation of Ministry of Education of China under Grant No.107021);石家庄经济学院基金(the Science Foundation of Shijiazhuang University of Economics, No.XN0914)。

作者简介:王培崇(1972-),男,博士研究生,主要研究方向:人工智能及软件工程;钱旭(1962-),教授,博士生导师,主要研究方向:人工智能、信息融合技术;周玉(1978-),博士研究生,主要研究方向:智能控制理论,可拓学。

收稿日期:2009-06-01 **修回日期:**2009-07-03

用 M 表示决策变量的定义域, G 表示问题的可行解域, g 为目标函数, 满足的可行解为 y^* , 则问题的解的数学模型描述如下:

$$g(y^*) = \min\{g(y) | y \in G\}$$

$$G = \{y | y \in M \text{ and } h(y) \geq 0\}$$

2.2 车辆调度问题的数学模型

将一般车辆优化调度问题进行如下描述^[5-6]: 从某个物流配送中心(其编号设为 0)使用 m 辆货车向 n 个货物需要点配送货物(编号依次为 1, 2, ..., n), 设 $g_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为第 i 个客户的货物需求量, 其中这些货车具有相同的载重量 q_{\max} , 配送中心和各需求点的位置事先已经确定, $d_{ij} (i=0, 1, 2, \dots, n; j=0, 1, 2, \dots, n)$ 为点 i 和点 j 之间的运输距离, 每辆车最大的配送行驶距离也是确定的, 要求配送车辆均从物流配送中心出发, 完成货物运送任务后返回配送中心。该问题的目标是: 在满足车辆载重量约束和各需求点需求量约束的情况下, 尽量使用较少的车辆且使得车辆总的运输距离最短。同时满足以下的限制条件:

- (1) 每个需求点的需求量均小于或等于配送货车的载重量;
- (2) 每次配送车辆行驶的距离不超过车辆一次配送中最大的行驶距离;
- (3) 客户的需求必须得到满足, 且每个需求点只能由一辆货车一次运送完成。

若客户 i 的需求由车辆 k 完成, 则 y_{ki} 值为 1, 否则为 0; 若车辆 k 从货物需求点 i 行驶到需求点 j , 则 x_{jk} 值为 1, 否则为 0。VRP 的数学模型如下^[5-6]:

$$\min z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^m d_{ij} x_{jk}$$

$$\sum_{i=1}^n g_i y_{ki} \leq q_{\max}, \quad k=1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ki} = 1, \quad i=1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = y_{ij}, \quad j=1, 2, 3, \dots, n; k=1, 2, 3, \dots, m$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ijk} = y_{ki}, \quad i=1, 2, 3, \dots, n; k=1, 2, 3, \dots, m$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ or } 1, \quad i, j=1, 2, 3, \dots, n; k=1, 2, 3, \dots, m$$

$$y_{ki} = 0 \text{ or } 1, \quad i=1, 2, 3, \dots, n; k=1, 2, 3, \dots, m$$

3 求解 VRP 的混合鱼群优化算法

应用求解 VRP 的混合鱼群算法分为两个阶段来处理: 问题计算的初期阶段应用鱼群算法快速收敛能力迅速求解出该问题的最优解的范围, 即阶段最优解; 第二阶段, 应用遗传算法对阶段最优解继续优化, 较精确地搜寻全局最优解。

鉴于送货问题和集货问题本质上的一致性, 为了表示上的方便采用了后面一种问题进行描述。

3.1 应用鱼群算法确定阶段最优解

针对鱼群算法引入如下的符号进行描述:

N 为鱼群中的鱼的数量(本处为货物需求点数 n); 向量 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 表示人工鱼个体的状态, 其中 $x_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 为欲寻优的变量; 人工鱼当前所在位置的食物浓度表示为 $y = f(x)$, 其中 y 为目标函数值; 人工鱼个体之间的距离表示为 $d_{i,j} = \|x_i - x_j\|$; $visual$ 表示人工鱼的感知范围; $step$ 表示人工鱼移动的步长; δ 表示拥挤度因子; Try_number 为尝试次数。

求解步骤如下:

步骤 1 初始化各项参数($N, visual, step, \delta, Try_number$)以及迭代次数, $n_c=0$ 。

步骤 2 人工鱼在自己的视野范围内随机游动, 其当前状态为 x_i , 当发现食物的时候向食物靠近。

步骤 3 对于每条人工鱼执行下面的操作:

(1) 设 $m=0$, 人工鱼的当前状态设为 x_i ;

(2) 执行 $x_j = Random(N(x_i, visual))$ 生成一个新状态, $m \leftarrow m+1$;

(3) 如果 $f(x_i) < f(x_j)$, 则将人工鱼的状态修改为: $x_i \leftarrow x_i + Random(step)(x_j - x_i) / \|x_j - x_i\|$; 否则, 如果 $m < Try_number$, 返回(2)执行;

(4) 执行随机游动行为前进一步: $x_i \leftarrow x_i + Random(step)$ 。

步骤 4 对于每条人工鱼执行下面的聚群操作:

(1) 在其视野范围 $visual$ 之内生成其同伴的集合 $K = \{x_j | x_j - x_i \leq visual\} (i, j=1, 2, 3, \dots, n)$;

(2) 如果 K 不是空集的话, 依据下面公式求取其中心位置: $x_c = \sum x_j / n_j$, 其中其可见区域内的同伴个数为 n_j , 即 $n_j \geq 1$;

(3) 如果 $n_j / n < \delta (0 < \delta < 1)$, 并且此时 $f(x_i) < f(x_c)$, 则人工鱼向中心位置 x_c 前进一步 $x_{mesu} = x_i + Random(step)(x_c - x_i) / \|x_c - x_i\|$, 否则执行步骤 2。

步骤 5 对于每个人工鱼执行如下操作:

(1) 探测邻域内是否存在状态最优的伙伴 x_{\max} , 如果没有则继续执行步骤 2, 否则执行下一步(2);

(2) 如果 $f(x_i) < f(x_{\max})$, 并且 x_{\max} 的邻域内伙伴的数目 n_f 满足 $n_f / n < \delta, 0 < \delta < 1$, 则该鱼儿向最优伙伴 x_{\max} 的位置前进一步: $x_i \leftarrow x_i + Random(step)(x_{\max} - x_i) / \|x_{\max} - x_i\|$ 。

步骤 6 迭代次数是否满足, 没有满足, 则执行步骤 2, 满足则输出结果。

3.2 优化结果公告板

因为该算法主要是寻找最优的解个体, 所以在执行过程中, 设置一个公告板来记录求解过程中的当前最优鱼几个体的状态。执行过程如下:

各人工鱼每次执行完毕上述的步骤之后, 检验自身状态与公告板的状态, 如果自身状态优于公告板状态, 就将公告板的状态改写为自身状态, 这样就使公告板记录下历史最优的状态。

算法中各个参数的初始值设置如下: $N=20; visual=1.5; step=1.5; \delta=0.618$; 尝试次数 $Try_number=6$ 。

3.3 应用遗传算法求取最优解阶段

应用文献[5]中的遗传算法针对前一阶段取得的阶段最优解进行最佳解寻找, 算法步骤如下^[9]:

步骤 1 将经过人工鱼群求解阶段获得的阶段最优解作为应用遗传算法的当前最优解;

步骤 2 设置父代个体为当前最优解;

步骤 3 应用插入变异方法将该父代个体分裂, 形成两个子个体;

步骤 4 分别对上述父个体和两个子个体进行子路径内部变异处理。父个体变为一个子个体, 两个子个体经过处理后得到两个孙个体;

步骤 5 比较子个体、孙个体以及父代个体的适应函数值, 并记录最优个体值;

步骤 6 循环控制变量加 1, 若小于指定的循环次数, 则转

步骤 2, 否则执行步骤 7;

步骤 7 将所求最优解输出, 算法结束。

说明: 在该遗传算法中, 变异的处理中使用 k 阶变异算子来对遗传算法进行改进, 以提高该遗传算法的求解效率, 处理方式如下:

父个体 A: 0 2 **3** **5** 6 10 **8** **9** 0 4 5 7 1 0
子个体 B: 0 2 **8** **9** 6 10 **3** **5** 0 4 5 7 1 0

4 仿真实验结果

以 19 个客户的配送为题验证结果, 该配送中心有 19 个客户随机分布于周围 10 km 的范围之内, 配送中心位于坐标 (0, 0) 处, 各个客户的需求随机产生, 车辆最大载重量为 9 t。基础数据表 1 如下:

表 1 实验用基础数据^[5]

客户号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
横坐标/km	0	0	0	-2	-3	3	-4	-4	1	1
纵坐标/km	0	-1	3	-2	-3	-1	0	-1	-2	-1
配送量/t	0	1.5	1.8	2.0	0.8	1.5	1.0	2.5	3.0	1.7
客户号	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
横坐标/km	1	3	-3	2	1	2	2	1	-3	-1
纵坐标/km	3	4	0	0	-3	-1	1	-4	2	-1
配送量/t	0.6	0.2	2.4	1.9	2.0	0.7	0.5	2.2	3.1	0.1

运用该文提出的鱼群遗传混合算法运行 30 次, 19 次得到该问题的最优解, 最优解为 0-13-5-15-9-0-8-14-17-1-0-12-6-7-4-3-19-0-18-0, 所需车辆 4 辆, 最大运送旅程是 42.09 km, 优于文献[4]中的最优解, 与文献[5]中的结果相当。该算法连续 10 次的平均执行时间是 0.299 s, 接近于文献[5]中的执行时间, 同时求得最优解的几率为 59.98%, 证明该算法是可

(上接 145 页)

- [6] 黄景涛, 马龙华, 钱积新. 基于统计试验设计方法的支持向量机参数选取[J]. 电路与系统学报, 2008, 36(6): 18-22.
- [7] 黄景涛, 马龙华, 钱积新. 一种用于多分类问题的改进支持向量机[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2004, 38(12): 1633-1636.
- [8] Deb K. Multi-objective optimization using evolutionary algorithms[M]// Ross S, Weber R. Wiley-Interscience Series in Systems and Opti-

(上接 200 页) 表 7 创新复方 2 药毒性味量化表

药名	性(量化值)	味 1(量化值)	味 2(量化值)	味 3(量化值)
果香菊	温(0.7)	辛(1.0)		
天山柴胡	微寒(-0.7)	苦(1.0)		
东北溲疏	寒(-1.0)	辛(1.0)		苦(0.8)
木奶果	寒(-1.0)	苦(1.0)		辛(0.8)

结论: 不符合辛温解表剂的类别, 可以直接从创新复方集中删除。

6 结论

论述了可能性构造空间理论及其选择操作、中药复方创新的过程, 并基于可能性构造空间理论研究了采用模糊数学量化改进中药复方创新系统选择的方法。文中主要是从中药的性、味和归经上完成的量化, 还可以探索从中药的功效、主治上进行模糊量化, 使得最后提供给中医专家判别的创新复方集最小化。此系统的实现是帮助和启发中医药研究人员进行新药发现和对已有中医药复方进行改进的创造性思维过程的体现。

行的有效的。应用该算法求解 8 个客户和 11 个客户的情况, 均能较好地求得最优解。

5 结论

人工鱼群算法是最近发展起来的群智能算法, 具有较好的求解全局极值能力和快速的收敛能力。目前在组合优化以及各个领域都得到了相应的应用, 该文的实验研究表明将该算法与其他的智能算法融合以期改进该算法和其他智能算法的弱点是一个很好的研究方向。

参考文献:

- [1] Bullnheimer B, Hartl R, Strauss C. An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem[J]. Annals of Operation Research, 1999, 89(13): 319-328.
- [2] Brysy O, Dullaert W. A fast evolutionary metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows[J]. International Journal of Artificial Intelligence Tools, 2002, 12(2): 143-157.
- [3] 曲倩倩, 曲仕茹, 温凯歌. 混合遗传算法求解配送车辆调度问题[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(15): 205-207.
- [4] 刘志硕. 基于自适应蚁群算法车辆路径问题研究[J]. 控制与决策, 2005, 20(5): 522-526.
- [5] 张翠军, 张敬敏, 王占锋. 基于车辆路径问题的蚁群遗传融合优化算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(4): 233-235.
- [6] 张敬敏, 张翠军. 求解 VSPSTW 问题的混合差分演化算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(9): 230-232.
- [7] 李晓磊, 邵之江, 钱积新. 一种基于动物自治体的寻优模式: 鱼群算法[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(11): 32-38.
- [8] 李晓磊, 路飞, 田国会, 等. 组合优化问题的人工鱼群算法应用[J]. 山东大学学报: 工学版, 2004, 34(5): 64-67.
- mization, 2001. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [9] Chang C C, Lin C J. LIBSVM: A library for support vector machines[EB/OL]. [2001]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.
- [10] Newman D J, Hettich S, Blake C L, et al. UCI repository of machine learning databases. Irvine, CA: University of California, Department of Information and Computer Science, 1998. [D/OL]. <http://www.ics.uci.edu/~mllearn/MLRepository.html>.

参考文献:

- [1] 李德华. 创造性思维中的可能性构造空间的理论框架 PCST[J]. 计算机杂志, 1993, 21(5).
- [2] Li De-hua. Combination operator set in possibility construction space (PCS)[C]//IEEE International Conference on MFF'96, 1996.
- [3] 关景火, 李德华. 可能性构造空间理论在中药复方创新系统中的初步应用[J]. 北京生物医学工程, 2002, 21(4): 279-282.
- [4] 谢颂华, 李德华. 基于可能性构造空间理论的创新配方系统研究[J]. 武汉理工大学学报, 2008, 30(5): 714-717.
- [5] 张跃, 邹涛平. 模糊数学方法及其应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992: 274-276.
- [6] 张民庆, 张名伟. 现代临床中药学[M]. 上海: 上海中医药大学出版社, 2002.
- [7] 赵体浩. 方剂学[M]. 北京: 学苑出版社, 2002.
- [8] 赵蔡斌, 周鲁. 中药复方的模糊分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2003, 4(9): 62-63.
- [9] 胡波. 中药方剂性味的多维宏观量化表达方法研究[D]. 成都中医药大学, 2005.