基于时间窗的多车场车辆路径问题研究

闫凯，李爱光，郭健

（信息工程大学 河南 郑州 450001）

**摘要：**智能优化算法在解决车辆路径问题时具有较好收敛性，整体法在解决时间窗的多车场车辆路径问题时具有较好的全局性，结合二者优点，论文进行了算法研究。首先采用整体法获得到车辆路径问题的全局最优解，然后采用智能优化算法对配送点进行车场的选择，匹配代价最小的车场。最后通过实验论证，验证了算法在解决时间窗的车辆路径问题上的有效性。

**关 键 词：**智能优化算法；整体法；时间窗；多车场车辆路径；

**中图分类号：**p289 **文献标识码：**A

Research on Multi - depot Vehicle Routing Problem Based on Time Windows

YAN Kai, LI Aiguang, GUO Jian

(Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** The intelligent optimization algorithm has a good convergence in solving the vehicle routing problem. The overall algorithm has a better overallity in solving the multi-depot vehicle routing problem with time window, and combining the advantages of the two, the paper studies the algorithm. Firstly, the global optimal solution of the vehicle routing problem is obtained by using the global algorithm. Then, the intelligent optimization algorithm is used to select the depot and match the least cost depot. Finally, the validity of the algorithm in solving the problem of vehicle path path in time window is verified by experiment.

**Key words:** Intelligent optimization algorithm；Overall algorithm；Time Window；Multi - depot vehicle routing

# 0 引言

随着现代物流业的发展，车辆路径问题在物流配送领域的作用日趋明显，如何设计合理的配送方案，提高物流配送效率，降低物流配送成本，已成为物流企业竞争的核心。车辆路径问题（Vehicle Routing Problem，简称VRP）[1]即在配送区域范围内，所有配送车辆都从配送中心出发，选择合适的配送路线，满足一定的约束条件（如车辆的最大容载量、货物需求量、行驶里程约束、时间限制等），来实现特定的目标（如总的行驶距离最短、时间最短、使用车辆数目最少、总体费用最低等）。目前，车辆路径问题已广泛应用于各行各业，比如军事物流配送、快递投放与取件、垃圾回收和牛奶配送等。

车辆路径问题由于具有很强的市场应用价值，引起众多研究人员的兴趣。随着现代商业的发展，许多大型的货运公司在区域范围内建立起多个配送中心，因此多车场车辆路径问题就显得非常重要。多车场车辆路径问题（*Multi-Depot Vehicle Routing Problem，MDVRP*）是单车场车辆路径问题的一个拓展，*VRP*问题属于完全*NP*问题，因此*MDVRP*也属于*NP*问题。针对多车场车辆路径问题，主要有传统方式、整体法以及启发式优化法三种方法[2-4]。传统的方法首先是将多车场问题转换为单车场问题，在此基础上按照单配送问题的方法进行处理，常用的转化方法有中垂线分区法、圆域分区法以及客户聚类法等；整体法主要是通过虚拟配送中心的方式来实现多配送中心问题，首先设置虚拟配送中心，然后从虚拟配送中心出发，选择车场后完成配送任务[5]；启发式优化法主要是指采用智能优化方法来处理多车场问题，常见的优化算法有遗传算法、蚁群算法、模拟退火算法和混合算法等[6]。传统方法在求解多车场车辆路径问题时，一定程度上降低了问题的复杂性，但失去了问题的整体性；整体法在求解多车场问题时，注重问题的整体性，忽略单一车辆的优化；优化算法通过构造的方式对问题对进行求解，然而求解过程注重单一的某个车辆，忽视了问题的整体性[7-9]。本文拟采用智能优化算法和整体法求解基于时间窗的车辆路径问题，不仅考虑了车辆路径问题的整体性，还兼顾单一车辆的优化过程。

# 1 问题描述及数学建模

基于时间窗的多车场车辆路径问题(图1)可描述为：配送区域内有*M*个车场，每个车场具有运载能力为*Q*的车辆*（m=1,2……M）*辆，配送区域有*N*个客户，每个客户的需求量为*，*并且对于任意用户*i*，都有需求量*,*每个客户的需求要求在时间窗*内完成，*若车辆到达*i*客户的时间在 *之前，车辆需要等待，*则增加车辆的机会成本，若车辆到达客户*i*的时间在*之*后，用户的需求将不能在规定的时间内被满足，增加车辆的惩罚成本，车辆若在约定的时间窗内满足用户，车辆的运输成本将不会受到任何影响。假定每个配送中心的货物充足，客户的需求量和时间窗要求已知，如何设计合理的配送方案，使得总的配送成本最小，并且满足一定的约束条件：

1. 每条路径上的客户需求的总量不能超过一辆车的最大载重量；
2. 每个客户的需求必须满足且只能由一辆车来满足；
3. 车辆只能从一个车场出发，最后返回原车场，不能从一个车场去另外一个车场；
4. 客户的需求必须在规定时间内完成，否则将受到一定的惩罚成本；
5. 配送任务结束后，车辆消耗的总费用最少。



图1多配送中心问题

用户编号为*0,1,2,3……N*，车场编号为*N+1,N+2,……N+M*。为建模方便，我们定义两个变量：



基于时间窗的多车场车辆路径问题的数学模型为：



















其中，式（1）和（2）为自定义的变量；式（3）表示配送完所有的客户点，所花费的配送费用最低，包括车辆启用的固定成本、运行过程中的油料消耗以及由于时间延误造成的惩罚费用；式（4）为车辆的容量限制，表示一辆车所配送客户的总需求量不能超过车辆的最大载货量；式（5）表示每个车场完成配送任务使用的车辆数目不超过该车场车辆的数目；式（6）表示一个客户点的任务只能对应一个车场中的一个车辆；（7）和（8）表示每个顾客只能被来自同一车场的同一辆车服务，其它车场的车辆不能对该客户进行服务；（9）表示所有配送车辆从配送中心出发，完成配送任务后，返回配送中心；（10）车辆不能从一个车场达到另外一个车场；（11）为客户的时间窗约束，表示在规定的时间范围内，客户的需求得到满足，否则车辆将增加一定的惩罚成本。

# 2 多车场问题的解决方法分析

当前物流配送中车辆调度问题的研究主要集中在配送规模较大、配送范围广、客户数量多的多配送中心模式,且在实践中发现一般规模较大的物流企业都采用多配送中心车辆调度模式,因此研究多配送中心年辆调度问题其有重要的现实意义[10]。目前对于多配送中心车辆调度问题主要采用传统的多配送中心解决法、多配送中心整体法和启发式优化法。

## 2.1 分区法

传统的多配送中心解决方法是将多配送中心车辆调度问题看做是多个单配送中心车辆调度问题的组合,在此基础上将其分离然后进行优化[11]。传统方法的研究重点在于如何将多配送中心车辆调度问题拆分成多个单配送中心车辆调度问题,最后在全局的基础上对其解进行优化。以往在拆分的过程中主要确定各个配送点与配送中心的对应关系,按照距离最近或者划分边界的方法,在实际应用中一般以配送中心的总配送路程最短优先,所以选取距离最近的方法来划分客户。传统的多配送中心问题求解的方式有圆域分区法、中垂线分区法以及最近邻域法。



图2 分区法解决多配送中心问题

传统方法是将多配送中心划分为多个单配送中心的问题,然后运用处理单配送中心车辆调度问题的算法来求解,最后组合起来,具有一定的可行性。但在分割的过程中失去了问题的整体性,仅在各自配送中心的范围内取得费用最少,很难在整体上取得最优解。

## 2.2 整体法

整体法与传统的解决方法思路相反,在求解优化的过程中首先假设一个虚拟的总配送中心,然后将各个配送中心看做是从总配送中心出发需要服务的客户,所有的车辆都从虚拟的总配送中心出发(实际的配送中心忽略不计)，到各个配送点完成配送任务后，最后返回虚拟配送中心[12]。在配送过程中,从虚拟配送中心到各个分配送中心的过程是零费用,且规定车辆必须先到达各个分配送中心,然后才能对客户进行配送,配送过程结束之后，再返回各分配送中心的过程。



图3 整体法解决多配送中心问题

整体法在解决多配送中心问题时将配送过程看作是一个整体。首先设置虚拟的配送中心，然后所有的配送车辆从虚拟配送中心出发，到达实际配送中心后，按照就近原则选择要服务的客户点，完成配送任务后，返回实际的配送中心。整体法在解决多配送中心问题时，它在全局角度上考虑问题的最优解,但是，在解决时间窗的多配送中心问题时，距离最近并不意味着整体的消耗最少，配送点的选择不仅要充分考虑配送点之间的距离，而且要考虑配送点的时间窗要求。

## 2.3 启发式全局优化法

现代启发式全局法的思想是把多配送中心车辆调度问题本身看做是复杂的多个问题的组合,在此越础上进行优化研究[13]。与传统解决法和整体法不同,启发式全局法将研究重点是通过一系列方法来简化求解计算过程,降低求解搜索的复杂程度，常用的启发式算法有遗传算法、蚁群算法、模拟退火算法、禁忌搜索算法和人工神经网络算法等。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *0* | *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *…* | *A* | *B* | *C* |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *0* | *3* | *1* | *5* | *2* | *4* | *…* | *C* | *B* | *A* |

图四 启发式优化方法求解多配送问题

启发式算法在求解车辆路径问题时，首先对路径进行编码，通过不断的更新节点的顺序获取车辆路径问题的最优解。启发式算法具有较好的收敛性，求解质量高，但它在求解问题过程中，过分关注求解每一辆车的最优路径，然而忽视了问题的整体性。

# 3 算法设计

启发式算法在解决单车场问题具有较好的收敛性，整体法在求解多车场问题具有较好的全局性，首先利用虚拟配送中心的方式将多配送中心问题转化为单车场路径问题，然后采用启发式算法求解“单车场的车辆路径问题”，最后为每个配送点选择车场。



图5算法的设计流程

混合算法的一般步骤如下：

第一步：算法中参数的设置，主要包括选择率自适应的交叉率和自适应的变异率，蚁群信息素的总量蚂蚁个数以及；

第二步：确定染色体的编码方式以及适应度函数的计算方式；

第三步：对所有的节点进行染色体编码，并计算染色体的适应度值，选择父代中较好的一部分染色体遗传到下一代中，子代进行自适应的交叉和变异过程，并且产生新的染色体；

第四步：计算新染色体适应度值的大小，并且根据适应度值的大小进行折半排序；

第五步：计算相邻两代染色体适应度值的平均值，并且计算相邻两代染色体的进化率，如果相邻两代染色体的进化率不超过3%或者超过遗传算法中设置的最大迭代次数，则将该组染色体的适应度值转化成蚁群算法中初始状态下信息素的浓度，否则重新进行选择、交叉和变异操作；

第六步：将所有的蚂蚁随机放置在任意一个顶点，蚂蚁根据状态转移规则选择下一个待访问的节点，当蚂蚁选择完所有节点时，形成多条访问的路径；

第七步：计算当前所有路径适应度值的大小，并且标记适应度值最好的蚂蚁；

第八步：更新当前最优路径上信息素的浓度，然后更新所有路径上信息素的浓度；

第九步：判断当前迭代次数是否小于最大迭代次数，如果当前迭代次数小于蚁群算法的最大迭代次数，则将每只蚂蚁重新放置在每个节点处，按照状态转移规则重新访问所有节点；如果当前迭代次数大于最大迭代次数时，则停止蚁群算法，得到当前一组最优路径；

第十步：对于当前每一条路径，我们采用2-opt算法进行路径优化，得到一组基于虚拟配送中心的车辆路径，然后对所有路径进行排序操作；

第十一步：计算每辆车到实际配送中心的消耗，然后将虚拟配送中心转换成实际的配送中心，总消耗最小的转换结果即为当前最优的配送方案。

# 4 案例分析

为了验证文中算法的有效性，实验采用标准的MDVRPTW问题进行实验验证。实验环境为Inter酷睿i5，内存8G，操作系统win10，编程语言为C++,开发环境为vs2010。

标准的MDVRPTW具体问题是：有三个配送中心A、B、C，每个配送中心货物充足，有15个配送点，每个客户点具有一定的需求量，也有一定的时间窗限制，具体的车辆路径实验数据如下[14]（图6和7）：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| X | 19 | 33 | 73 | 49 | 70 | 27 | 10 | 39 |
| Y | 0 | 3 | 85 | 73 | 94 | 44 | 69 | 25 |
|  | 1.0 | 1.8 | 1.1 | 0.6 | 1.9 | 1.4 | 1.2 | 0.2 |
| [*]* | [74,144] | [58,128] | [15,85] | [46,106] | [47,117] | [85,155] | [21,91] | [59,119] |
| 编号 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |  |
| X | 16 | 68 | 10 | 83 | 88 | 32 | 70 |  |
| Y | 81 | 76 | 57 | 43 | 52 | 58 | 18 |  |
|  | 1.7 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 1.9 | 1.6 | 0.9 |  |
| [*]* | [37,107] | [21,121] | [74,174] | [58,158] | [15,125] | [56,156] | [87,187] |  |

图6客户点的实验数据

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 车场编号 | A | B | C |
| X | 33 | 26 | 57 |
| Y | 77 | 30 | 0 |
|  | 0 | 0 | 0 |

图7配送中心的实验数据

为了验证算法的有效性，实验分别采用多车场车辆路径问题的传统方法（中垂线法）、整体法、智能优化算法以及本文设计的混合算法对多车场的时间窗问题进行求解。在实验中，我们取车辆的单位油耗为8，车辆的启动成本是60，配送过程的早到行为所产生的等待成本为0.5，晚到的惩罚成本为1.5,测试结果如下（图8）所示：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 算法 | 统计值 | 平均值 | 最优配送方案 |
| 分区法(中垂线法) | 5102 | 5102 | A->14->4->10->3->A  A->9->5->A  B->6->11->7->1->B  C->15->12->13->8->C  C->2->C |
| 整体法 | 4994 | 4994 | A->14->4->10->3->A  B->6->8->2->1->B  C->15->12->13->11->C  A->9->7->5->A |
| 智能优化算法 | 4460 4517 4594 4452 4403  4381 4314 4328 4451 4366 | 4430 | 16->3->5->10->4->16  16->12->13->6->11->16  16->14->7->9->16  18->15->8->1->2->18 |
| 混合算法 | 4313 4290 4399 4335 4366 4417 4381 4315 4341 4280 | 4345 | 16->4->10->3->5->16  16->13->12->15->8->11->16  16->14->7->9->16  17->1->2->6->17 |

图8测试结果

从上图我们可以看出:分区法、整体法和智能优化算法在求解带时间窗的多车场车辆路径问题时，分区法的求解效果最差，整体法次之，智能优化算法最好，而将整体法和智能优化算法结合生成的混合算法相比智能优化算法，平均费用降低了85个单位。因此，采用混合算法可以降低带时间窗的多车场车辆路径问题的费用。

# 5 结论

本文针对时间窗的多车场车辆路径问题，建立了配送方案的最小费用模型，分析了分区法、整体法和智能优化算法在解决多车场车辆路径问题时的优劣，结合整体法和智能优化算法，进行了混合算法的设计，最后通过实验论证，验证了混合算法在解决时间窗的多车场车辆路径问题的有效性。在后续工作中，将混合算法与相关GIS软件结合，进行物流配送系统的开发并进行实际应用。

**参考文献**

[1] 杨从平. 基于蚁群算法的快递物流配送路径优化[J]. 物流工程与管理. 2014(04): 65-67.

[2] 姚婷婷. 车辆调度有及其遗传算法[D]. 西北师范大学, 2013.

[3] 邹彤，李宁，孙德宝，等. 多车场车辆路径问题的遗传算法[J]. 计算机工程与应用. 2004(21): 82-83.

[4] 杨元峰. 多车场多车型车辆路径问题的改进遗传算法[J]. 计算机与现代化. 2008(09): 10-13.

[5] 钟石泉，贺国光. 多车场有时间窗的多车型车辆调度及其禁忌算法研究[J]. 运筹学学报. 2005(04): 67-73.

[6] 李小花. 多车场带容量限制弧路径规划问题研究[D]. 重庆大学, 2009.

[7] 戴树贵，陈文兰，潘荫荣，等. 多配送中心车辆路径安排问题混合蚁群算法[J]. 四川大学学报(工程科学版). 2008(06): 154-158.

[8] 孙世权. 多配送中心车辆路径优化问题的研究[D]. 西安电子科技大学, 2012.

[9] 汪平. 多生产点烟草企业的原材料运输车辆路径问题研究[D]. 华中科技大学, 2010.

[10] 高志刚. 多车辆配送路径分析及与GIS平台的集成技术研究[D]. 武汉理工大学, 2005.

[11] 王诗瑶，王文发，富文军，等. 大规模单车场VRP问题中扫描法的改进[J]. 现代电子技术. 2014(24): 34-36.

[12] 高特，李莉，钟莲，等. 乌鲁木齐市社区蔬菜直销统一配送路径优化[J]. 物流技术. 2014(11): 168-170.

[13] 张立峰，赵方庚，孙江生，等. 战时备件配送的MDVRP问题及其遗传算法求解[J]. 计算机应用与软件. 2010(02): 194-196.

[14] 钟石泉. 物流配送车辆调度智能优化方法研究[D]. 天津大学, 2004.

作者简介：闫凯（1992-），男,汉族，陕西咸阳人，硕士生，主要研究方向为运筹地理信息系统。

基金项目：无

邮 编：450001

通信地址：河南省郑州市高新区科学大道62号