

文章编号: 1002-0268 (2007) 09-0140-05

多目标物流配送优化问题建模 及其遗传算法设计

周泓, 孙江苏, 谭小卫

(北京航空航天大学 经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 建立了带有公共交货期的多目标物流配送优化模型, 考虑了3层配送网络中物品分配和运输模式选择, 并对迟到完成的任务给予惩罚, 所优化的目标为总费用最小化和分拣中心负载的平衡。建立了一种遗传算法求解过程, 对染色体采用了两部分编码, 分别表示对分拣中心和运输模式的选择决策, 并采用了可变的交叉和变异概率, 以防止求解陷入局部最优。最后通过数值仿真试验表明了多目标问题求解的有效性。

关键词: 运输经济; 物流配送; 多目标优化; 公共交货期; 遗传算法

中图分类号: F252

文献标识码: A

Multi-objective Optimization for Logistic Distribution and Its Genetic Algorithm

ZHOU Hong, SUN Jiang-su, TAN Xiao-wei

(School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract: A multi-objective optimization model for logistic distribution with common due date is presented with consideration of three-echelon distribution network, including customers, distribution centers and a mail post center as well as penalties to be incurred when items are delayed for any reason. Two objectives are considered, one is minimizing the total cost which consists of loading/unloading cost, delivering cost, handling cost and penalty cost, the other is balancing the workload at each distribution center. A genetic algorithm is designed to pursue the optimal results, in which the chromosome contains two parts to represent the selection decisions for distribution centers and transportation modes respectively and adaptive crossover rate and mutation rate are adopted for avoiding from local optima. Numerical experiments have been conducted finally to demonstrate the effectiveness of the algorithm.

Key words: transportation economy; logistic distribution; multi-objective optimization; common due date; genetic algorithm

0 引言

伴随经济的全球化发展, 物流成为企业第三利润源泉, 已经得到普遍认同。而面对激烈的竞争环境, 企业要想提高自身的竞争能力, 必须对其赖以生存的物流网络系统进行有效管理。物流配送便是研究如何实现物品在网络内的顺利流动, 即在经济合理区域范围内, 根据用户的要求, 对物品进行拣选、加工、包装、分割、组配等作业, 并按时送达指定地点的物流活动^[1]。对配送方案的选择主要考虑两个方面的因素, 一是流经网络的实体分拨, 二是运输方式的选

取。实体分拨策略通常与网络内存在的供应点、中转点和需求点的数量多寡、容量限制、时间因素等相关^[2,3]; 而运输策略则通常与运输费用、运输时间、运输容量等相关^[4,5]。并且这些因素之间存在悖反关系, 侧重考虑不同的因素, 会得到不同的配送方案。

对物流配送的优化可以通过建立线性规划模型, 混合整数规划模型和多目标规划模型求解。在实际配送网络中, 运输费用一般随运输的批量和运输距离成非线性变化^[4], 这增加了建模的难度和求解的复杂度, 研究中一般把运输模式简化成与单一因素或者某些组合因素成线性关系, 以寻求最优解^[2,4,5]。Ching-

收稿日期: 2006-04-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (70371005, 70521001); 新世纪优秀人才支持计划资助项目 (NCET-04-0175)

作者简介: 周泓 (1965-), 男, 山东安丘人, 教授, 博士生导师, 从事生产系统优化与仿真领域研究。(h-zhou@buaa.edu.cn)

Wu Chu^[5]和 Abdinnour-Helm^[6]分别建立了以运输费用最小为目标的整数规划模型,考虑了具有不同运输模式的配送网络优化问题。Felix^[2]等通过建立多目标模型,考虑了具有多需求点、多供应点的配送网络问题,在寻优的目标中,主要考虑了配送网络的总费用、顾客需求的提前期、顾客需求满足的迟到情况。

对配送网络模型的求解多属与 NP 难问题,研究者大都采用了启发式算法寻求最(次)优解。遗传算法在求解组合优化问题方面表现很强的搜索能力,并且对配送问题的求解具有很强的可靠性和鲁棒性,因此在这个领域得到了广泛的运用^[2,3,7,8]。

通过对实际运送特征的分析,本文建立了具有3层网络结构、且各层之间存在运输模式选择的多目标模型。在文献[2]研究的基础上,模型中引入了公共交货期,并在考虑了配送网络的运输费用和处理费用的基础上,增加了配送网络整体负载平衡的目标。对于问题的求解采用了遗传算法,并通过数值试验验证了多目标情况下物流配送的满意结果。

1 问题描述

本文以邮件配送服务为背景(如图1)。考虑含有 n 个顾客, m 个分拣中心,一个邮件处理中心的3层网络结构。每个顾客有一定数量的邮件需要通过邮件处理中心交运(所有邮件均为单一品种的),但是邮件在邮件处理中心交运前,必须经过任意一个分拣中心进行处理。同一顾客 i 的邮件可以完全在某一个分拣中心 j 进行处理,也可以分开在几个分拣中心处理,并且可以选择某种运输方式运到分拣中心 j ,每种运输方式的装卸时间和运输时间,以及装卸费用和运输费用各不相同。每个分拣中心具有一定的处理能力限制。分拣中心处理完邮件后,可以选取正常运输模式或者加急运输模式把物品运送到邮件处理中心。邮件处理中心具有一个公共交货期 DU_0 (当天邮件的最迟向外发运时间),每个分拣中心的邮件必须在这个时间前运送到邮件处理中心,不然就要接受一定的处罚费用。

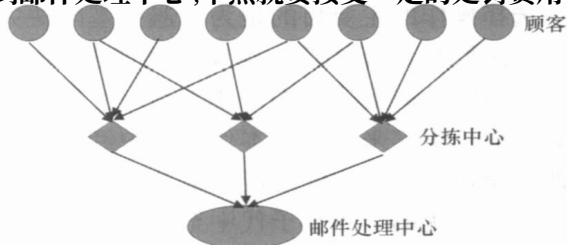


图1 邮件配送服务网络

Fig. 1 Mail dispatching network

根据以上要求,本文的优化内容包括3个方面:

- (1) 如何把顾客 i 的邮件分配到分拣中心 j ;
- (2) 在顾客 i 和分拣中心 j 间选取何种运输模式;
- (3) 在分拣中心 j 和邮件处理中心之间对正常运输模式和加急运输模式的权衡。

基于以上考虑,建立如下配送模型:

$$\min \{ TC, MSE \}, \quad (1)$$

s. t.

$$TQC_i = \sum \sum X_{ikj}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$\sum \sum X_{ikj} \leq MHW_j, j = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

第1个目标的表达式为

$$\begin{aligned} TC = & \sum \sum UL C_{ik} (\sum X_{ikj}) + \sum HWC_j (\sum \sum X_{ikj}) + \\ & \sum \{ [Y_j UL W_{j1} + (1 - Y_j) UL W_{j2}] \times (\sum \sum X_{ikj}) \} + \\ & \sum TT_j \times PC \times \sum \sum X_{ikj}, \quad (4) \\ & TT_j = \begin{cases} 1, & TT_j > DU_0, \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \end{aligned}$$

式中, $TT_j = f_{1j} + f_{2j}$ 为经分拣中心 j 的邮件到达邮件处理中心的时间,包括两部分: f_{1j} 为从各顾客处到达分拣中心 j 的最晚时间(包括装卸和运送), f_{2j} 为从分拣中心到达邮件处理中心的时间(包括装卸、处理和运送),其计算过程如下:

$$f_{1j} = \max_i \left\{ T_i^0 + L TC_{ik} \times X_{ikj} + \frac{S_{ij}}{DV_{1k}} \right\}, \quad (5)$$

$$f_{2j} = L TW_{jk} \times \sum \sum X_{ikj} + \frac{S_{j0}}{DV_{2k}}. \quad (6)$$

第2个目标的表达式为

$$MSE = \sqrt{\sum (LD_j - \overline{LD})^2 / m}, \quad (7)$$

其中, $LD_j = \sum \sum X_{ikj} / MHW_j$ 为分拣中心 j 的负载, $\overline{LD} = \sum TQC_i / \sum MHW_j$ 为系统平均负载。

以上模型中,决策变量为: X_{ikj} 为顾客 i 采用运输模式 k 运送到分拣中心 j 的邮件数量; Y_j 为分拣中心 j 的运输模式, $Y_j \in \{0, 1\}$, $Y_j = 1$ 为正常模式, $Y_j = 0$ 为加急模式。问题参数为: T_i^0 为顾客 i 开始请求邮件投递的时间; TQC_i 为顾客 i 的邮件数量; $UL C_{ik}$ 为顾客 i 采用运输模式 k 的单位装卸运输费用; $L TC_{ik}$ 为顾客 i 采用运输模式 k 的单位装卸时间; MHW_j 为分拣中心 j 的最大处理能力单位; HWC_j 为分拣中心 j 的单位处理成本; $UL W_{jk}$ 为分拣中心 j 采用运输模式 k 的单位装卸运输费用, $k = 1$ 为正常模式, $k = 2$ 为加急模式; $L TW_{jk}$

为分拣中心 j 采用运输模式 k 的单位装卸和处理时间, $k=1$ 为正常模式, $k=2$ 为加急模式; S_{ij} 为网络中节点 i 和节点 j 之间的距离, $j=0$ 表示邮件处理中心; DV_{lk} 为网络第 l 层采用运输模式 k 的运送速度; $l=1$ 表示从顾客到分拣中心, $l=2$ 表示从分拣中心到邮件处理中心; TT_j 为经分拣中心 j 的邮件到达邮件处理中心的时间; PC 为单位邮件的处罚成本; DU_0 为邮件处理中心的公共交货期。

式(1)中目标函数的第1部分为最小化物流配送的总费用,包括所有顾客的物品装卸运输费用,以及所有分拣中心的物品处理费用、物品装卸运输费用和惩罚费用。目标函数的第2部分为最小化物流配送系统中分拣中心的负载均方差,以使各分拣中心的负载尽可能平衡。

式(2)中约束使得对于任一顾客 i 来说,其采用各种运输模式运送到所有分拣中心的物品数量之和等于其本身物品数量。

式(3)中约束使得对于任一分拣中心 j 来说,其采用各种运输模式从所有顾客处运送来的物品数量之和小于其处理能力。

2 算法设计

由于上述模型具有复杂的非线性形式,很难用经典方法求解。本文采用了遗传算法进行寻优。遗传算法是由 John Holland 建立的一种广为应用、高效的随机搜索与优化方法。它以编码空间代替问题的解空间,以适应度函数作为评价依据,以编码群体为进化基础,以对群体中个体位串的遗传操作实现选择和遗传机制,建立起一个迭代过程。在这一过程中,通过对编码位串中重要基因的随机重组,使新一代的位串集合优于老一代的位串集合,群体的个体不断进化,逐渐接近最优解,最终达到求解问题的目的。

2.1 问题编码

遗传算法问题的可行解是用染色体来表示的。基于建立的模型结构,本文的染色体分为两部分。第1部分表示顾客和分拣中心间的物品分配。染色体结构如下:

2	1	3	2	2	3	1	3
---	---	---	---	---	---	---	---

其中,第 i 位基因位代表第 i 个顾客,相应的基因值代表所选择的分拣中心。解码时候,从左到右依次进行,如果某基因位上顾客的物品量大于分拣中心的处理能力,则按照拟定的修复策略先进行存储,不予分配。按照基因位安排完物品分配后,根据顾客剩余物品和分

拣中心剩余能力,按照“MAX-MAX”原则进行分配,即首先选取剩余物品最多的顾客,用剩余能力最大的分拣中心尽量满足他;若满足不了,再使用下一个有剩余能力的分拣中心。这和实际生活中的二次分配很类似,可以减少整体分配次数,并不会导致分拣中心负载严重不平衡。

第2部分处理配送网络内的运输模式选择,涉及整体网络。模型假定共有两种运输模式可供选择,模式1速度快,但是费用高;模式2速度慢,但是费用低。染色体结构如下:

1 1 2 1 2 2 2 1 1 2 1

其中,前8个基因位1~8代表顾客1到顾客8,第9~11个基因位代表分拣中心1到3。相应的基因值代表该处所选择的运输模式。

初始化染色体时候,第1部分分配基因采用随机方法生成1至 m 间的一个整数,第2部分运输模式采用随机方法生成1或2。

2.2 适应值函数

由于适应值是群体中个体生存机会选择的唯一确定性指标,所以适应函数的形式直接决定着群体的进化行为。根据建立的模型,适应函数的计算涉及到两个目标,其一是费用 TC ,其二是负载均方差 MSE ,两个目标都是越小越好,并且都大于0。因此,本文采用最小最优策略。适应值函数形式如下:

$$f(x) = \alpha \times TC_x / (\sum TC_x) + \beta \times MSE_x / (\sum MSE_x)$$

其中, α 为对网络费用赋予的权重; β 为对负载均方差赋予的权重。不同的权重可以反映出系统追求目标的侧重不同。

2.3 遗传算子

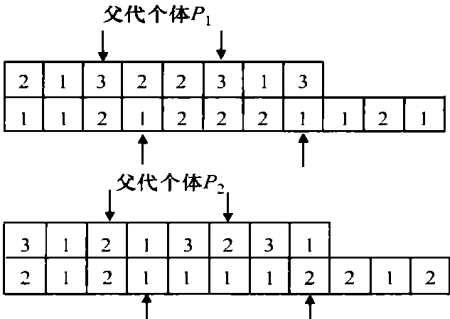
标准遗传算法的操作算子一般都包括选择、交叉和变异3种基本形式,它们构成了遗传算法具备强大搜索能力的核心。

2.3.1 选择

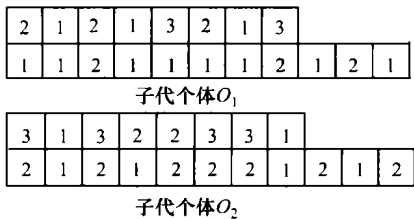
选择操作建立在对个体的适应度进行评价的基础之上。选择操作的主要目的是为了避免基因缺失、提高全局收敛性和计算效率。本文采用精英选择策略,即当前群体中适应度最好的个体不参与交叉运算和变异运算,而是用它来替换掉本代群体中经过交叉、变异等遗传操作后所产生的适应度最差的个体,这首先保证父代中最优的个体在子代中至少出现一次,然后按照标准的轮盘赌方式进行选择操作。这样可以保证最优秀的染色体被保留到下一代。

2.3.2 交叉

遗传算法的交叉算子是模仿自然界的有性繁殖的基因重组过程,其作用在于将原有的优良基因遗传给下一代个体,并生成包含更复杂基因结构的新个体。由于本文中的染色体包括两部分,故采用两点交叉法对两部分染色体分别进行交叉操作,即首先对群体中的个体进行随机配对,然后对每个配对组中的父代个体编码串中的两部分分别随机设置两个交叉点,交换交叉点间的部分染色体。如下例所示:



经过两点交叉后生成两个新的染色体:



并且交叉率按照线性函数: $P_c = 0.7 + (-0.4) \times \text{当前代数/总代数}$,从0.7线性变化到0.3。这样可以使遗传运算的初期包含更多的信息量,而到了后期有利于算法的收敛。

2.3.3 变异

遗传算法的变异算子则是模仿自然界的基因突变。本文也是对两部分染色体分别进行变异操作,即以变异概率 P_m 随机确定第1段染色体中的某个位置,将其基因值变为另一分拣中心号,然后以同样的方法对代表网络间运输模式的基因进行变异操作。如下例所示:



并且变异率按照线性函数: $P_m = 0.05 + (0.3 - 0.05) \times \text{当前代数/总代数}$,从0.05线性变化到0.3,这样是为了避免染色体陷入局部最优。

2.4 算法流程

基于所建立的配送网络结构和采用的算法,配送模型求解的流程如图2所示。首先构建整体网络架构,然后采用遗传算法初始化配送策略,进行染色体解码,并与网络架构进行交互,统计配送网络费用和

负载率参数,计算适应值,判断以进行遗传算子操作,最后给出满意的配送方案结果。

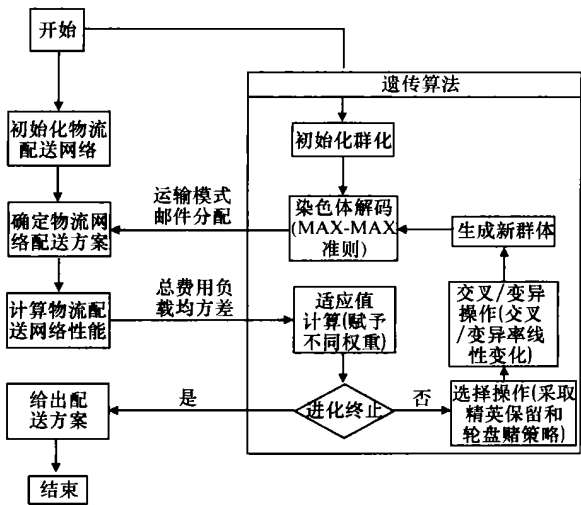


图2 算法流程

Fig. 2 Flow chart of the algorithm

3 数值仿真试验

根据建立的模型和选择的染色体编码策略,以1个邮件处理中心、4个分拣中心、14个顾客为背景(网络结构见图1),进行了10组试验。在每组试验中,每个顾客要求交运的物品数量按照设定的参数在一定范围内随机生成,而配送网络的其他参数,如每个分拣中心的处理能力、节点间距离等,在试验初始化时候按照设定的参数在一定范围内随机生成后,在试验过程中保持不变。然后在每组试验中,对物流配送的两个目标,即总费用和分拣中心的负载均方差赋予不同的权重。为了对比不同权重的影响,共设置了5组权重赋予两个目标,以反映实际中邮件处理中心对不同目标的权衡,如对TotalCost和MSE of LoadRate分别赋予1.0和0.0时,则说明邮件处理中心只考虑了总费用的因素,在此目标下进行物流配送,寻求满意解。权重组合如表1所示。

表1 权重组合

Tab. 1 Combination of weights

WeightsArray	TotalCost	MSE of LoadRate
1	1.0	0.0
2	0.95	0.05
3	0.8	0.2
4	0.4	0.6
5	0.15	0.85

每组试验得到的满意解的总费用和分拣中心的负载均方差对比图如图3,图4所示。

从图3总费用对比中可以看出,每组试验中的5

组满意解的总费用,按照 WeightArray1 到 WeightArray5 依次递增,也即随着所赋权重的增加,优化得到的总费用均匀地递减。

从图4负载均方差情况可以看出,10组试验中,采用 WeightArray1 和 WeightArray2 的均方差值相对较大,当给负载均方差所赋的权值继续增大时(WeightArray3),所得到的结果会发生显著跃变,可以得到效果非常好的负载平衡结果,而再继续增加权值时(WeightArray4, WeightArray5),效果的改进就不很显著了。通过对配送网络另外进行的20组试验(每组试验的权重以0.05递增/减变化,且每组数据

运行3次),可以得到图5所示的总费用和负载均方差的权衡关系图(去除劣解以后得到的非劣解前沿)。

从图5可以看出,当曲线位于A点左边时(对应的总费用权重为0.85,负载权重为0.15),费用指标下降非常迅速;而在A点右边,随着负载性能的进一步损失(均方差变大),由此带来的费用下降已不再非常显著。因此,决策者在进行配送方案权衡时候,对总成本和负载平衡目标权重分别取为0.85和0.15时,能够得到较为满意的结果,此时可以得到一个费用相对较小(34 265.38),且负载均方差也可接受(0.058)的物流配送方案。

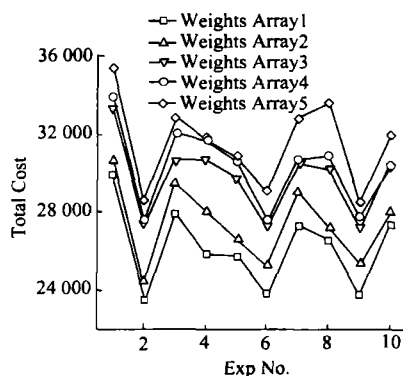


图3 总费用对比

Fig. 3 Comparison of the total costs

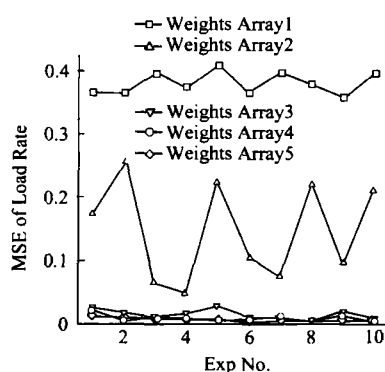


图4 负载均方差对比

Fig. 4 Comparison of the MSEs of load rate

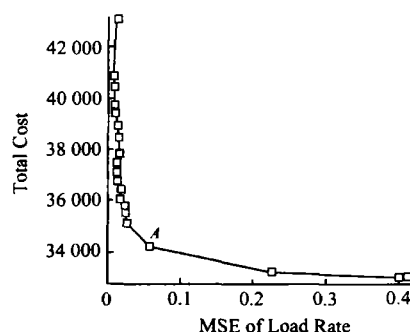


图5 总费用和负载均方差关系

Fig. 5 Relationship between total cost and MSE of load rate

4 结语

多客户、多分拣中心的邮件处理中心配送问题,需要同时处理配送过程中的物品分拨和运输模式选择,在保证服务完所有顾客需求的情况下,力求费用最小以及分拣中心的负载均衡。本文对此种物流配送问题建立了一种优化模型,并运用遗传算法给出了一种解决方案。在算法设计中,通过对遗传交叉和变异算子按照一定规则加以动态变化,有效缓解了陷入局部最优的情况。最后通过对总费用和分拣中心负载均衡性指标的权衡分析,找出了问题的满意解。

本文对这类问题的研究还只是初步探讨,而且做了较多简化,距离实际问题的解决尚有一定差距,例如,文中没有考虑车辆调度时的具体行进路线以及顾客需求的动态性等问题,这些将在以后的研究中进一步完善。

参考文献:

[1] 丁立言,张铎.物流配送[M].北京:清华大学出版社,

2002.

- [2] FELIX T S CHAN, S H CHUNG. Multicriterion genetic optimization for due date assigned distribution network problems [J]. Decision Support Systems, 2005, 39: 661 - 675.
- [3] DABUEKA AMBROSINO, MARIA GRAZIA SCUTELLA. Distribution network design: New problems and related models [J]. European Journal of Operational Research, 2005, 165: 610 - 624.
- [4] G P KIESMULLER, A G DE KOK, J C FRANSOO. Transportation mode selection with positive manufacturing lead time [J]. Transportation Research Part E, 2005, 41: 511 - 530.
- [5] CHING-WU CHU. A heuristic algorithm for the truckload and less-than-truckload problem [J]. European Journal of Operational Research, 2005, 165: 657 - 667.
- [6] S ABDINNOUR-HELM. Network design in supply chain management [J]. International Journal of Agile Management Systems, 1999, 1 (2): 99 - 106.
- [7] 玄光男,程润伟.遗传算法与工程设计[M].北京:科学出版社,2000.
- [8] 周明,孙树栋.遗传算法原理及应用[M].北京:国防工业出版社,1999.