文章编号: 1000-8608(2007)03-0414-05

城市物流网络中中间节点分布与规模优化研究

阎 利 军[1,2], 杨 忠 振*[3], 刘 冲[4], 康 海 贵[1]

(1.大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024;
2.大连市交通局, 辽宁 大连 116021;
3.大连海事大学 交通工程与物流学院, 辽宁 大连 116026;
4.浙江省交通规划设计研究院, 浙江 杭州 310006)

摘要: 城市物流网络由节点和链接构成,对于流通的商品物流节点是交通枢纽、中间节点和零售设施. 为使零售商品在城市内流通的总运输费用最小,利用选址模型和遗传算法优化城市物流网络中中间节点的空间分布和规模. 首先分析了城市中商品运输系统,建立了运输费用和中间节点的建设费用模型;针对零售设施对物流中间节点的选择行为,根据费用和选择模型开发了优化物流中间节点的分布和规模模型;最后,利用大连市的数据进行了实例研究,验证了模型的有效性.

关键词: 城市物流; 物流网络; 遗传算法; 选址模型
中图分类号: U492.3 文献标识码: A

0 引 言

城市经济的发展扩大了城市规模,货物运输在城市交通中越来越受到重视,因此有效地管理城市货运交通需求是解决城市交通问题的一个重要途径. 城市物流网络一般由节点和链接组成,节点包括城市的交通枢纽(高速公路口、码头、机场等)、中间节点(通常叫做物流枢纽)和商品零售设施. 链接指的是连接节点间的运输路径. 由于城市交通网络相对比较固定,物流网络优化的关键是优化中间节点,即优化城市中物流枢纽的空间位置和规模. 因为这些物流枢纽不但有利于减缓城市交通拥挤,减轻货物运输对城市的空气污染,节省能源,还能改善城市货物运输系统,减少物流成本. 好的物流枢纽的建立可以将城市货物运输的重心转向市郊,有效地减少城市中心区的交通压力,提高整个城市交通系统的效率.

城市物流枢纽首先是一个仓储中心,它可以将城市的外来商品先集中在城市交通压力较少的区域(一般离市区较远),这样不仅有效地解决了市中心地区的用地问题,而且分散了城市中心地区的交通,减缓了交通压力. 城市物流枢纽是城市物流信息中心、集贸中心、分货中心和配送中心的复合体,它可以利用信息集中的优势选择最优的分货策略、调配最有效的货物配送路线以优化物流,使城市的总物流成本达到最低.

设施选址问题是一个经典的规划问题[1],很多学者对此很有研究. Taniguchi[2]利用双层规划理论建立了物流中心选址的双层规划模型,并利用遗传算法对模型进行了求解. 高自友[3]详细介绍了各种物流选址模型,尤其对各种双层规划模型有非常详细的论述. 这些模型很好地解决了在物流枢纽选址过程中交通费用的计算、枢纽建设费用的计算以及枢纽动态选址等问题,但是在物流枢纽仓储费用、零售中心的进货费用、物流枢纽的选择概率模型方面的研究较少. 本文在考虑这些问题的基础上,解决物流枢纽的规模和空间分布同时优化问题.

1 物流枢纽分布优化模型

来自城市外的商品首先将到达城市的运输枢纽(例如,港口、铁路货站、高速公路出口等). 先

收稿日期: 2005-10-19; 修回日期: 2007-03-15.
作者简介: 阎利军(1961-), 男, 博士生; 杨忠振*(1964-), 男, 教授, 博士生导师, E-mail: yangzhongzhen@263.net.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

进的城市物流体系依据物流信息中心的信息统一调度这些商品,为商品选择最优的时间、最佳的路径以及货物运输方式将它们从运输枢纽输送到城市的物流枢纽,经过集中储存、统一配送等现代化物流管理手段再将它们送到城市的物流终端(商业设施或工业设施). 城市的道路网和物流终端的空间形态和空间分布在一段时间内是稳定的,而作为物流中转的中间节点——物流枢纽的空间分布和规模结构极大地左右着城市物流网络中货物运输的交通需求.

1.1 交通枢纽到物流枢纽的商品运输及费用模型

受库存费用的约束以及运送批量的效率化影响,一般来说商品不应该直接由城市的交通枢纽运送到最终的销售地点,而要先运送到城市的物流枢纽(这也是它们被叫做中间节点的原因),然后根据各零售商业的需求信息以及道路拥挤状况分批分期地给予集中配送[2]. 因为一个城市可以有多个物流枢纽,可以将运输枢纽 k 到物流枢纽 j 的货物分布表示为 Q_{kj},q_{kj} 为道路网上两点间的最短距离,s 为商品的运输单价,商品在物流枢纽的平均仓储时间为 D,物流枢纽的仓储费用单价为 P_j,在城市物流网络上商品由交通枢纽到物流枢纽的运输费用及仓储费用为

$$\sum_{k=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} Q_{kj}\times q_{kj}\times s+\sum_{k=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} Q_{kj}\times D\times P_j \quad (1)$$

式(1)的第一部分为运输枢纽到物流枢纽的运输费用,第二部分为商品在物流枢纽的仓储费用.

1.2 物流枢纽到零售中心的商品运输费用模型

本研究的前提条件是商品零售中心的空间分布已经确定,由于它们大都位于地价较高的中心部位或地段比较好的住宅区内,为了极大地利用建筑面积,假设它们在保证最低库存的基础上,根据效用最大化原理选择物流枢纽进货. 这时它们比较关心的是商品在城市内部的运输费用、进货地点的服务水平及信赖度,那么零售中心选择物流枢纽作为进货地点的效用函数可以用式(2)表示:

$$U_{ij}=\sum_{k=1}^{m} Q_{kj}/f(t_{ij})+\mathrm{U}P_j \quad (2)$$

这里 U_{ij} 是零售中心 i 选择物流枢纽 j 进货时所能获得的效用,T、U是根据经验给出的效用系数,t_{ij} 是道路网上零售中心 i 到物流枢纽 j 的最短路径的一般化费用,一般用 $f(t_{ij})=1/t^2$ 表示综合的费用函数. 在诸多物流枢纽中零售中心 i 选择物流枢纽 j 进货的概率和进货的费用可用式(3)、(4)表示:

$$P_{ij}=\frac{\sum_{k=1}^{m} Q_{kj}/f(t_{ij})+\mathrm{U}P_j}{\sum_{j=1}^{n}\left(\sum_{k=1}^{m} Q_{kj}/f(t_{ij})+\mathrm{U}P_j\right)} \quad (3)$$

$$F_1=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{n} P_{ij}Q_i q_{ij}s \quad (4)$$

这里 Q_i 是零售中心 i 销售的商品总量.

1.3 物流枢纽的保有费用

这里将物流枢纽保有费用分成3部分: 建设费用、土地使用费以及日常运营管理费用. 由于商品运输费用是逐年计算的,建设费用和土地使用费应该按照资产的年减价率和利率分配到各个年度,那么物流枢纽的保有费用的计算方法如下式所示:

$$F_2=\sum_{j=1}^{n}\left[\left(\sum_{k=1}^{m} Q_{kj}\right)(P'_j\times r+R_j)\right] \quad (5)$$

式中: _ 为商品的仓储规模系数,即单位商品的仓储用地面积; P'_j 为单位用地面积的物流中心的建设费用; r 为年资本减价系数; R_j 为物流枢纽 j 土地使用租金.

1.4 优化模型

本研究的目的是优化物流枢纽的数量、规模和空间分布,从而使物流枢纽在城市商品物流网络中起到承上启下的作用,对上连接城市运输枢纽,对下连接商品零售设施,以便根据信息中心提供的信息,优化商品物流调度. 例如集中配送商品,避开交通高峰时段配送商品,优化运输车辆的调度,提高运送车辆的使用效率,减少货车在城市道路上的空驶率等. 本研究在优化设计阶段,无法考虑详细的配送方案的影响,因此只将城市商品物流网络中的商品运输费用和物流枢纽的保有费用最低作为优化的目标函数,建立如下优化模型:

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$\min F(Q_j) = \sum_{k=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(Q_{kj}\times q_{kj}\times s) + \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m}(Q_{kj}\times D\times P_j) + \sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{n}P_{ij}Q_i q_{ij}s + \sum_{j=1}^{n}\left[\left(\sum_{k=1}^{m}Q_{kj}\right)(P_j'\times r + R_j)\right]$$

$$\text{s.t.}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}Q_{ij} = Q$$

$$Q_{ij} > Q_{\min} \tag{6}$$

2 求解算法

可以看出: (1) 目标函数中包含的概率选择模型(式(2))是一个复杂的非线性模型; (2) 模型要同时优化物流枢纽的数量、规模和空间分布,m是一个不定的数量,未知数Q_{kj}的数目也是不定的. 但是借助遗传算法[4-5],不但可以求解上述非线性规划问题,更可以在遗传算法的进化过程中从预先给定大的种群Q_{kj}以优胜劣汰的方式淘汰那些劣质Q_{kj},在结束计算时得到优化状态下物流枢纽的个数、规模和空间位置. 因此遗传算法不但是优化模型的求解算法,还是优化模型必不可少的一部分. 为了设定尽可能多且合理的初始物流枢纽方案,可以用连续的栅格表示城市空间,然后根据各个栅格的地价、土地利用特征和在城市空间的位置及经验,认为可能在一部分栅格中建设物流枢纽,并设定潜在的建设规模,从而得到遗传算法中初始染色体和基因. 接下来实施遗传算法操作,即根据交叉率(p_c)实施基因交叉,根据变异率(p_m)进行基因变异,基于适应度函数和群体大小(P_s)选择较优的染色体得到下一代种群. 这个过程要反复进行直到算法收敛为止,具体操作方法和步骤如下.

步骤 **1** 对初始染色体编码,这里采用十进制编码方法.

步骤 **2** 在两个父代染色体间交换基因,采用式(7)所示的算术交叉法:

$$\begin{aligned} c_1^t &= \eta c_1^{t-1} + (1-\eta)c_2^{t-1} \\ c_2^t &= \eta c_2^{t-1} + (1-\eta)c_1^{t-1} \end{aligned} \tag{7}$$

其中c_1^{t-1}, c_2^{t-1}=父代染色体,c_1^t, c_2^t=子代染色体,η为(0, 1)间的一个随机数,$i = 1, 2, \cdots, k$(k是进行交叉的染色体的对数).

步骤 **3** 变异操作,如果$c = (c_1, c_2, \cdots, c_n)$是一个染色体,$c_k$($c_k \in [c_{k,\min}, c_{k,\max}]$)是一个被选择用于变异的基因,那么$c_k$的变异结果如式(8)所示:

$$\vec{c} = (c_1^{t-1}, c_2^{t-1}, \cdots, c_{k-1}^{t-1}, c_k^t, c_{k+1}^{t-1}, \cdots, c_m^{t-1})$$

$$c_k^t = \begin{cases} c_k^{t-1} + \Delta(t, c_{k,\max} - c_k^{t-1}) & \text{if } Random(0,1) = 0 \\ c_k^{t-1} + \Delta(t, c_k^{t-1} - c_{k,\min}) & \text{if } Random(0,1) = 1 \end{cases} \tag{8}$$

这里$\Delta(t, y)$的形式如式(9)所示,它返回$[0, y]$间的一个值,该值随进化代数增加向0逼近.

$$\Delta(t, y) = y\times(1 - r^{(1-t/T_{\max})^{\lambda}}) \tag{9}$$

r是$[0, 1]$间的似然数,t是当前进化代数,λ($\lambda = 2 \sim 5$)是由计算者指定的系数.

步骤 **4** 评价染色体的适应性,淘汰适应性弱的染色体. 用可变的惩罚方法建立适应函数,并且惩罚系数随着迭代次数的增加不断变大,如下式所示:

$$F(q) = F(Q_j) - M(t)\left(Q - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}Q_{ij}\right) \tag{10}$$

$$M(t) = U_1 t^{U_2} \tag{11}$$

步骤 **5** 判断是否继续迭代计算.

3 实例应用

以大连市为研究对象,优化大连市物流枢纽的空间分布及其规模: 东北起于大连湾,以铁路公路连接南关岭高速公路出口的大连市北部商业中心南关岭商贸生活资料物流枢纽、靠近大连市生产资料基地的革镇堡物流枢纽、以机场为中心的辛寨子物流枢纽、地处保税区靠近大连市吞吐量最大的港口大窑湾港的大窑湾物流枢纽以及连接大连市内和周边地区的香炉礁杂货物流枢纽,各大物流枢纽分布如图1所示. 为了验证模型和算法的有效性,还选取了大连市南部的4个地点作为物流枢纽的候选地点.

根据大连市现有的商业设施情况,在计算时将市内营业面积大于2 000 m^{2}的商业设施作为商

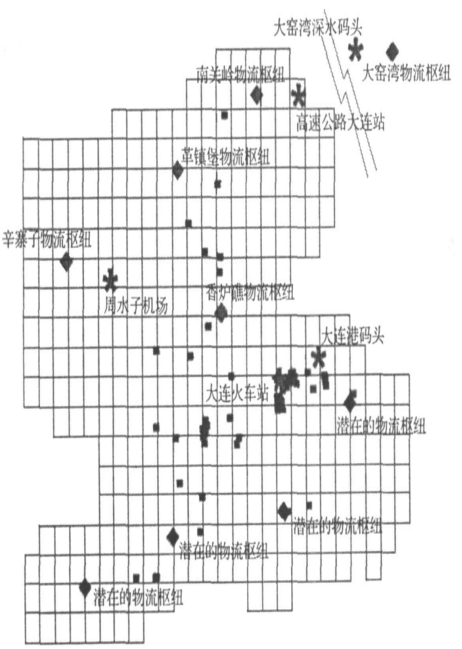
?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

品零售中心,并且认为其空间分布和规模在物流枢纽规划中是固定不变的. 图 1显示了这些已有零售中心的空间分布状况.

这里用 1 000 m× 1 000 m栅格表示城市空间,上面提到的 9个潜在的物流枢纽分别位于一个栅格中,为这些潜在物流枢纽设定一个原始的初始规模,这些初始规模在限定的某个上下限之间,其合计值应该等于城市运输枢纽的总的商品量.

在计算中,GAs中的参数取值如下: 交叉操作是 GAs中最主要的遗传操作,其值的大小直接关系到遗传进化的准确性,但取值过大又会使运算的时间过长,因此本文取 p_c = 0. 6;同生物界一样,GA中发生变异的概率很低,通常取值在 0. 001~ 0. 01,本文为了得到更加优化的结果取其上限值 p_m = 0. 01;此外,根据模型计算的要求,取基因算法中的人口 P_s = 30;经过对不同迭代次数的比较分析发现当迭代到 90次之后,相邻两代适应函数值的差小于 0. 01,因此取 T_{max} = 90.

计算过程中适应值的变化规律: 在前 50代计算过程中,随着物流枢纽的空间分布和规模的变化,零售商品在大连市内流通的总费用明显下降. 从第 50代的计算开始遗传算法的适应度值减小幅度大幅度降低,第 50代的适应度值与第 90代的适应度值差别不大. 这个结果显示出优化模型具有很好的收敛性,在进化 90代之后适应度曲线趋于平缓,因此在完成第 90代进化后终止了计算. 此时如果某物流枢纽的规模小于门槛值,可以认为此栅格处不易建设物流枢纽,在保证物流枢纽总规模不变的情况下,将其转移给相邻的物流枢纽.



大连市营业面积大于 2 000 m² 的商业设施

图 1　大连市物流设施分布图

Fig. 1　The distribution of the logistics hub in Dalian city

4　结　论

通过实例验算清楚地看到,由于考虑了地价指标,城市中心区的物流枢纽经过了一定数目的迭代,规模趋近于零,由此可以说明大连市没有物流枢纽选址在城市中心区. 在计算过程中大连市南部因为没有运输枢纽,所以 4个潜在物流枢纽均被淘汰. 而香炉礁物流枢纽由于地处城市中心区在优化当中物流枢纽的规模大幅度减小. 由此可知大连市物流枢纽应该选址在大连市的北部、

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

远离市中心地区、靠近大连市现有的运输枢纽的干道的周边.

计算的基础数据均取自大连市的实际情况,而得出的结果与大连市现有的物流枢纽的布局情况大致相同,部分差异也符合大连市物流枢纽发展的趋势,所以经过实例分析有效证明了模型和算法的正确性与实用性.

本研究开发的数学模型和求解方法很好地解决了城市物流枢纽的空间分布和规模的优化问题,具有很好的应用价值和实际意义. 在现阶段这些模型和算法可以有效地为各大中城市所应用. 在实际的应用过程当中,本文还不能将城市物流枢纽的建设对整个城市交通系统的影响进行量化,还缺少城市物流枢纽的建设对周围环境所产生的负面影响的正确的评估,这需要做进一步的研究.

参考文献:

[1] CAMPBELL J. Locating transportation terminals to serve an expanding demand [J]. **Trans Res Part B**, 1990, **24**(3): 173-193

[2] TANIGUCHI E. Optimal size and location planning of public logistics terminals [J]. **Trans Res Part E**, 1999, **35** 207-222

[3] 高自友. 现代物流与交通运输系统 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003

[4] 李敏强. 遗传算法的基本理论与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2002

[5] 杨忠振. 路网中新建道路空间走向的基因算法优化 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, **35**(12): 1531-1533

Study of optimization of scale and distribution of intermediate nodes in city logistics network

YAN Li-jun[1,2], YANG Zhong-zhen*[3], LIU Chong[4], KANG Hai-gui[1]

(1.School of Civil and Hydraul. Eng., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116024, China;
2.Dalian Munic. Commun. Bur., Dalian 116021, China;
3.School of Traffic Eng. and Logistics, Dalian Maritime Univ., Dalian 116026, China;
4.Zhejiang Prov. Plan Des. & Res. Inst. of Commun., Hangzhou 310006, China)

Abstract Urban logistics network consists of nodes and links. In terms of retailing goods, the nodes include transportation terminals, intermediate nodes and retailing facilities. Distribution and scales of intermediate nodes are optimized with location model and genetic algorithm to minimize the total transportation costs of goods in the whole city. Firstly, the goods transportation system in a city is analyzed, and models of transportation cost and construction cost for intermediate nodes are constructed. Secondly, the behavior of the retailing facility selecting the used nodes is analyzed and modeled, and based on cost and behavior models, the optimizing model is established. Finally, the data of Dalian city is used for the case study and the validity of the model is verified.

Key words urban logistics; logistics network; genetic algorithm; location model

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net