基于改进遗传算法的物流中心选址优化

陶　羿[1],朱建青[1],李　明[2]
TAO Yi[1],ZHU Jian-qing[1],LI Ming[2]

1.解放军信息工程大学 理学院,郑州 450002
2.信号盲处理国防科技重点实验室,成都 610041
1.Institute of Sciences,Information Engineering University,Zhengzhou 450002,China
2.National Defence Key Laboratory of Blind Processing of Signals,Chengdu 610041,China
E-mail:taoyi@sohu.com

TAO Yi,ZHU Jian-qing,LI Ming.Optimization of locations of logistics centers based on improved Genetic Algorithm. Computer Engineering and Applications,2007,43(25):221-223.

Abstract: With the characteristics and demands of locations of logistics centers,a mathematics model has been made on logistics locations problems on the basis of the optimization of the total transport costs and time among customers and their serving centers.An improved Genetic Algorithm of global optimization solution has been given.In view of the tight relation between the fitness function and each service demands of locations of logistics centers,the subproblem of allocations of service demands has been sovled by Lagrangian relaxation method.The linear convex combination,subtle mutation and violent mutation,and ES-($\mu+\lambda$) selection have been adopted to avoid premature convergence and prevent fast local optimal solution.The instance demonstrates that the improved algorithm can effectively get the global optimal solution.

Key words: locations of logistics centers;Genetic Algorithm;allocations of service demands;Lagrangian relaxation method

摘　要:根据物流中心选址问题的特点和要求,在运输成本和运输时间最优的基础上,构造了选址问题的数学模型。给出了一种改进遗传算法的求解方法,其中由于适应度函数与各物流中心对应的需求分配情况密切相关,用拉格朗日松弛法来解决对于特定位置的物流中心服务需求分配的子问题。遗传算子采用线性凸组合的杂交方式、强弱两种变异方式以及进化($\mu+\lambda$)选择方式,从而有效地避免算法的早熟现象,可防止其很快收敛到局部最优解。实例求解表明,该算法可以有效、快速地求得物流中心选址问题的全局最优解。

关键词:物流中心选址;遗传算法;需求分配;拉格朗日松弛法
文章编号:1002-8331(2007)25-0221-03　**文献标识码:**A　**中图分类号:**O224

1　引言

在物流系统中,物流中心居于重要的枢纽地位,其主要的任务就是根据各个用户的需求及时准确和廉价地配送商品货物。如果在军事物流中,还需要着重考虑到时效性的问题[1]。物流中心的位置一旦被确定,以后就很难再改变,因此物流中心的合理选址就显得非常重要,并且必须要找到一个全局最优的位置。一般说来,物流中心选址模型是非凸和非光滑的带有复杂约束的非线性规划模型,属 NP-hard 问题[2-4]。遗传算法是一种借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机搜索算法,并不依赖于梯度信息,对目标函数没有凸(凹)性、连续性、线性要求,且具有较强的全局性搜索能力,并且还具有隐含并行性的优点和避免陷入局部最优以收敛于全局最优的能力。

已经有不少运用遗传算法进行物流中心选址优化的研究[4-7],但是这些模型的求解过程及结果并没有考虑物流中心和用户的需求分配关系的处理问题, 操作往往带有很大随机性。事实上,从节约运输成本和运输时间的角度考虑,物流中心和用户的分配关系应该是相对固定的,应该着重考虑。另外,在以往遗传算法通常采用一般的杂交算子,这些算子针对实数值编码适应性很差,难以实施操作,而且其对种群的多样性要求很高,很容易发生局部最优值的早熟收敛现象。本文就是基于一种改进的遗传算法对物流中心选址模型进行优化。

2　物流中心选址模型的建立

本文的物流中心选址模型基于二维地理坐标平面,这符合实际中各个用户位置确定、需要全新和全盘考虑物流中心选址的情况,而最终的目标是使得本物流模型下的总的运输时间和运输费用最优。如果忽略基本建设的生产资料费和车辆的固定消耗,那么运输时间和运输费用在优化目标中是一致的,就是

基金项目:郑州市科技计划项目(No.04DA61ABRD13);国家部委科技基金。
作者简介:陶羿(1979-),女,硕士研究生,主要研究方向:运筹学应用,数学建模,现代最优化方法、智能算法、军事物流模型及其理论;朱建青(1962-),男,教授,中国运筹学会理事,主要从事运筹学、数值计算的理论与方法等研究;李明(1978-),男,博士研究生,主要研究方向:军事信息处理及通信信号盲处理。

使得用户和相应物流中心总的加权欧式距离达到最小。这里单位距离为融合了费用、时间等综合消耗性因素的加权欧氏距离,两点距离越小,代表总的成本和时间等综合消耗就越小。

设拟建设 m 个物流中心,容量受限;待服务的用户共有 n 个,每个用户的服务需求量为一固定的常数值。并另作如下条件限定:(1) 每个物流中心的服务总量不能超过每个物流中心自身的容量;(2)用户数多于物流中心数,$n>m$;(3)一个物流中心可服务多个用户,但一个用户只能分配一个物流中心服务。

模型中用到的参数说明如下:i 和 j 分别代表物流中心的序号和用户的序号;m 和 n 分别代表物流中心的总个数和用户的总个数;$F_i=(x_i,y_i)$表示物流中心的待定位置;$C_j=(u_j,v_j)$表示用户的位置;a_i 表示第 i 个物流中心的容量;b_j 表示第 j 个用户的需求量;$d(F_i,C_j)$是第 i 个物流中心到第 j 个用户的欧氏距离,$d(F_i,C_j)=\sqrt{(x_i-u_j)^2+(y_i-v_j)^2}$。

服务需求关系和决策变量说明如下:z_{ij} 为 0–1 离散决策变量,表用户和物流中心的服务需求分配关系,如果 $z_{ij}=1$,就表示第 j 个用户由分配的第 i 个物流中心提供服务, 否则 $z_{ij}=0$;于是得到下面的优化目标函数:

$$\min f(F,z)=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}d(F_i,C_j)\cdot z_{ij} \tag{1}$$

$$\text{s.t. } g_i(z)=\sum_{j=1}^{n}b_jz_{ij}\leqslant a_i, i=1,2,\cdots,m \tag{2}$$

$$g_{m+j}(z)=\sum_{i=1}^{m}z_{ij}=1, j=1,2,\cdots,n \tag{3}$$

$$z_{ij}=0 \text{ or } 1, i=1,2,\cdots,m, j=1,2,\cdots,n \tag{4}$$

其中式(1)为目标函数,约束式(2)确保每个物流中心的服务总量不能超过其自身的容量,约束式(3)确保一个用户只能分配一个物流中心服务,约束式(4)表示第 j 个用户和第 i 个物流中心服务需求分配关系。

显然,所建模型是属于非凸和非光滑的带有复杂约束的混合整数非线性规划模型,优化的目标是使物流中心和用户之间总的欧式距离最小,并且最优解中隐含了物流中心和用户之间服务需求分配的相互关系情况。用实数浮点值来进行染色体编码,种群的初始化在包含所有用户位置的正方形区域内随机产生,适应度函数选用总欧式距离的倒数,由于适应度函数与特定物流中心对应的用户需求情况紧密联系,提出了采用拉格朗日松弛法来解决用户服务需求量分配的子问题,从而解决了适应度函数的计算问题;然后采用线性凸组合的杂交方式、强弱变异两种方式以及进化$(\mu+\lambda)$选择方式,从而有效地避免遗传算法的早熟现象,可防止其很快收敛到局部最优解。通过遗传算法的求解,最终得到了稳定、高效的全局最优的物流中心位置。

3 结合拉格朗日松弛法的改进遗传算法

3.1 编码

物流中心位置属于连续变量,采用实数浮点值来进行染色体编码。设第 k 个染色体为 $v_k=[(x_1^k,y_1^k),(x_2^k,y_2^k),\cdots,(x_i^k,y_i^k),\cdots,(x_m^k,y_m^k)]$,其中的分量$(x_i^k,y_i^k)$表第 k 个染色体的第 i 个物流中心位置。

3.2 初始化种群

对于种群中的每一个染色体,其 m 个物流中心的初始位置都在在包含了所有用户位置的正方形区域内随机产生。设第 j 个用户 $C_j=(u_j,v_j)(j=1,\cdots,n)$,则可由下面的式子确定其包含的正方形区域:

$$x_{\min}=\min_j\{u_j|j=1,\cdots,n\};x_{\max}=\max_j\{u_j|j=1,\cdots,n\}$$

$$y_{\min}=\min_j\{v_j|j=1,\cdots,n\};y_{\max}=\max_j\{v_j|j=1,\cdots,n\}$$

初始化种群时,对于第 k 个染色体 $v_k(k=1,\cdots,n)$来讲,它的每一个分量(x_i^k,y_i^k)须满足:x_i^k 在$[x_{\min},x_{\max}]$随机产生,y_i^k 在$[y_{\min},y_{\max}]$随机产生。

3.3 适应度评价

对于某一个指定的染色体 v_k,物流中心的位置是固定的,可以考虑用最优分配的欧氏距离之和来作为 v_k 的适应度。染色体 v_k 的适应度函数为:

$$Fit(v_k)=\frac{1}{f(F,z)}=\frac{1}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}t(F_i,C_j)\cdot z_{ij}} \tag{5}$$

3.4 拉格朗日松弛法

显然,适应度函数与各物流中心对应的需求分配情况密切相关,因而适应度的计算需要先解决服务需求分配子问题,用拉格朗日松弛法来解决对于位置固定的物流中心服务需求分配的子问题。设拉格朗日乘子为 μ_i,松弛容量约束 $g_i(z)=\sum_{j=1}^{n}b_jz_{ij}\leqslant a_i$,转化后的拉格朗日松弛问题[8]即为:

$$\min L(z;\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_i)=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}t(F_i,C_j)\cdot z_{ij}+\sum_{i=1}^{m}\mu_i(a_i-\sum_{j}^{n}b_jz_{ij}) \tag{6}$$

$$\text{s.t. } g_{m+j}(z)=\sum_{i=1}^{m}z_{ij}=1, j=1,2,\cdots,n \tag{7}$$

$$z_{ij}=0 \text{ or } 1, i=1,2,\cdots,m, j=1,2,\cdots,n \tag{8}$$

由于这里拉格朗日松弛问题良好的可分性,其可转化成 n 个独立的子问题,其中每个子问题都是求解从 m 个实数值里面挑选最小值的问题。

3.5 遗传算子操作

(1)杂交:采用线性凸组合的杂交方式。设两个父亲染色体 v_1、v_2 分别为:

$$v_1=[(x_1^1,y_1^1),(x_2^1,y_2^1),\cdots,(x_i^1,y_i^1),\cdots,(x_m^1,y_m^1)]$$

$$v_2=[(x_1^2,y_1^2),(x_2^2,y_2^2),\cdots,(x_i^2,y_i^2),\cdots,(x_m^2,y_m^2)]$$

则它们产生的后代由下式决定:

$$\bar{x}_i^1=\alpha_i\cdot x_i^1+(1-\alpha_i)\cdot x_i^2, \bar{y}_i^1=\alpha_i\cdot y_i^1+(1-\alpha_i)\cdot y_i^2$$

$$\bar{x}_i^2=(1-\alpha_i)\cdot x_i^1+\alpha_i\cdot x_i^2, \bar{y}_i^2=(1-\alpha_i)\cdot y_i^1+\alpha_i\cdot y_i^2$$

其中 α_i 为(0,1)之间的随机数,$i=1,2,\cdots,m$。

(2)变异:采用弱变异和强变异两种方式。弱变异是指给父亲染色体加上一个小的随机扰动产生后代,而强变异是指按照初始化种群的方式重新产生后代。设后代染色体$\bar{v}$表示为:

$$\bar{v}=\begin{cases}v+\delta, & \text{弱变异}\\ \Theta, & \text{强变异}\end{cases}$$

表 1　20 个用户的位置及其物资需求量

j	(u_j,v_j)	b_j	j	(u_j,v_j)	b_j	j	(u_j,v_j)	b_j	j	(u_j,v_j)	b_j
1	（7 000，2 640）	300	6	（3 860，1 980）	700	11	（3 180，1 380）	600	16	（8 140，1 980）	500
2	（1 660，2 950）	900	7	（4 960，3 680）	900	12	（4 140，1 380）	200	17	（6 900，3 000）	800
3	（3 780，3 320）	900	8	（6 802，2 400）	900	13	（6 820，2 970）	400	18	（720，5 400）	600
4	（3 980，1 520）	600	9	（1 750，1 180）	400	14	（2 810，2 260）	600	19	（7 050，5 180）	800
5	（2 140，2 760）	700	10	（5 440，2 420）	700	15	（1 270，5 760）	1 000	20	（4 840，6 520）	900

其中 $\delta=[\delta_1,\delta_2,\cdots,\delta_{2m-1},\delta_{2m}]$，$\delta_i$ 是分布在 $(-\alpha,\alpha)(i=1,2,\cdots,2m)$ 的随机数，而 α 为一很小的正数；$\Theta=[(\theta_1^x,\theta_1^y),(\theta_2^x,\theta_2^y),\cdots,(\theta_m^x,\theta_m^y)]$，$\theta_1^x$ 是 $[x_{\min},x_{\max}]$ 内的随机数，θ_1^y 是 $[y_{\min},y_{\max}]$ 内的随机数。

（3）选择：采用进化 $(\mu+\lambda)$ 选择方式。该方式为确定性选择过程，从父代（μ 个）和子代（λ 个）中选取最好的染色体，并且禁止从种群中选取相同染色体。如果选择结果不足 μ 个的话，按照初始产生种群个体的方式随机产生来补足。这种方式可以有效地避免遗传算法的早熟现象，可防止其很快收敛到局部最优解[9]。

4　实例及优化结果

为证明算法的可行性和有效性，采集了某物流系统中的一个数值实例：现有 20 个用户，需确定 3 个物流中心的位置。每个用户的位置及其物资需求量由表 1 中给出，考虑到计算的方便，表中的坐标是经过处理后的相对坐标。三个物流中心的最大物资容量分别为 $a_1=5\,000$，$a_2=5\,000$，$a_3=4\,000$，这里的容量是经过规范化处理后的数值，并不代表实际的容量值。

遗传算法的参数分别为：种群数 20，最大进化代数 200，杂交率 0.8，变异率 0.2。按照本文给出的选址配模型，运用文中描述的算法，在 Matlab7.1 中进行编程，运行 50 次程序，用其结果的平均值得到最优的物流中心位置，同时也得到物流中心和用户服务需求分配的关系情况，见表 2。

表 2　最优的物流中心位置及其对应的用户分配情况

物流中心序号 i	地址 $F_i(x_i,y_i)$	分配的用户	实际容量情况	最大限制容量
1	（210，351）	2，5，6，9，14，15，18	4 900	5 000
2	（535，152）	1，3，4，8，10，11，12，16	4 700	5 000
3	（618，407）	7，13，17，19，20	3 800	4 000

在求解结果的处理方式上，采用的是 50 次运行求平均值的方法。经过 50 次遗传算法的运行最终平均得到的目标函数值为 42 230，对比每次运行得到的结果，发现每次结果在平均值上下的波动很小，如图 1 所示。可见给出的遗传算法求解过程该问题具有较高的稳定性和有效性。可以验证，增加程序运行的次数可以进一步提高结果的稳定性和精确性，但是 50 次以上的运行次数对运行结果的改善已经很小，所以取 50 次运行的结果作为全局最优解的结果是合理的。

5　结语

提出的物流中心选址模型及其优化算法的结果已经形成方案提交，作为某物流系统设计规划的重要决策参考。

本文建立的物流中心选址模型符合用户数量已经确定、需全新建立物流系统和物流中心的实际情况，并且最终同时解决

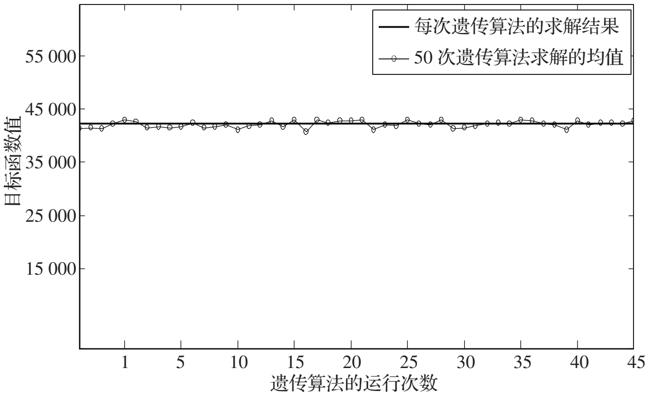

图 1　改进遗传算法求解的稳定性

了中心选址和服务需求分配两个问题，具有很强的实践指导意义。在遗传算法优化的过程中，利用拉格朗日松驰法，把复杂的适应度函数的计算问题转化为个独立的子问题，从而简化了计算；采用的遗传算子可以有效地避免遗传算法的早熟现象，可防止其很快收敛到局部最优解，从而达到全局最优解或近似全局最优解，并且文中所使用的编码方法、适应值的求法以及选择、交叉和变异算子，对求解类似的非凸和非光滑的带有复杂约束的混合整数非线性规划模型优化问题具有参考价值。

（收稿日期：2006 年 12 月）

参考文献：

[1] 姜大立，王丰，张剑芳.物流系统模型与应用[M].北京：中国物资出版社，2006.

[2] 丰建荣.MINLP 问题全局优化算法的研究[J].系统仿真学报，2005，17（8）：1859-1863.

[3] Grossman I E.Mixed-integer nonlinear programming techniques for the synthesis of engineering systems[J].Research in Engineering Design，1990，1：205-208.

[4] Zhou J，Liu B.New stochastic models for capacitated location-allocation problem[J].Computers and Industrial Engineering，2003，45（3）：111-125.

[5] 周根贵，曹振宇.遗传算法在逆向物流网络选址问题中的应用研究[J].中国管理科学，2005-02：42-44.

[6] 张培林，魏巧云.物流配送中心选址模型及其启发式算法[J].交通运输工程学报，2003-06：66-67.

[7] 吴坚，史忠科.基于遗传算法的配送中心选址问题[J].华南理工大学学报：自然科学版，2004-06：71-74.

[8] Conn A R，Gould N I M，Toint Ph L.A globally convergent augmented Lagrangian algorithm for optimization with general constraints and simple bounds[J].Mathematics of Computation，1997，66（27）：261-288.

[9] Gen Mitsuo，Cheng Runwei.Genetic Algorithms and engineering optimization[M].NY：John Wiley & Sons，2000-01.