

解 WTA 问题群智能优化算法的 种群初始化问题研究*

常天庆¹, 白帆^{1,2}, 李勇¹, 张波¹

(1. 装甲兵工程学院 控制工程系, 北京 100072; 2. 海军 92373 部队, 辽宁 大连 116001)

摘要: 为提高解武器—目标分配问题(WTA)的群智能优化算法初始种群性能,从提高初始种群多样性的角度提出了基于密码筒的种群初始化方法,从提高初始种群解质量的角度分别提出了基于目标威胁—打击效果混合排序的种群初始化方法和装甲分队战术种群初始化方法。最后,通过一系列不同规模 WTA 算例的仿真实验对初始化方法进行评估,结果表明三种种群初始化方法均达到了设计要求,且各具优势。

关键词: 种群初始化; 武器—目标分配问题; 群智能优化算法; 装甲分队

中图分类号: TP18 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)05-1377-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.05.024

Research on population initialization for swarm intelligence optimization solving WTA

CHANG Tian-qing¹, BAI Fan^{1,2}, LI Yong¹, ZHANG Bo¹

(1. Dept. of Control & Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China; 2. Navy Troop 92373, Dalian Liaoning 116001, China)

Abstract: In order to improve the performance of initial population for swarm intelligence optimization solving weapon-target assignment, this paper established the population initialization method based on cryptex to improve population diversity of initial population, and established the population initialization method based on threat-capability matrix sorting and armored element tactic population initialization method to improve solution performance of initial population. Finally, several simulation experiments with WTA examples of a series of scales were carried on to evaluate initialization methods. The results indicate that three methods have reached the design requirements, and have respective advantages.

Key words: population initialization; weapon-target assignment; swarm intelligence optimization; armored element

0 引言

对于群智能优化算法来说,最初种群的个体特性对后期算法寻优效果将产生重要影响。采用普通随机初始化得到的种群具有很大的不确定性,算法容易过早收敛于局部极值。而具有良好多样性的初始种群,其个体分布均匀、彼此离散度高,有助于提高算法收敛速度和求解精度,能够降低算法陷入局部极值的概率,可以有效缓解算法早熟现象。

1 群智能优化算法的种群初始化方法

1.1 研究现状

群智能优化算法的传统种群初始化方法有两种^[1]:a)采用普通随机方法生成;b)利用某些先验知识来产生。普通随机方法简单易行,但由于需要根据可行域进行取舍,因此难以高效率地得到高质量的初始种群。而先验知识方法存在着对于许多优化问题先验知识难以被有效利用的问题。以武器—目标分配问题(WTA)为例,由于打击效果矩阵与双方兵力的

空间分布密切相关,因此兵力的空间分布信息是重要的先验知识。然而对于广义 WTA 问题,这种兵力空间分布信息几乎是不可知的,或者是很难获取的。

还有一些学者借鉴实验设计方法,对传统种群初始化方法进行改进,提出了正交初始化方法^[2,3]和均匀初始化方法^[4,5]。正交法和均匀法将初始种群的编码参数分别映射成正交实验参数和均匀实验参数,通过构造正交表、均匀设计表来实现种群初始化。通过该法得到的初始种群,可以很好地满足正交实验和均匀实验的正交性、均匀性、分散性等良好特性。以正交法为例,对于 m 个武器 n 个目标的 WTA 问题,欲得到规模为 s 的初始种群,只需将种群规模 s 映射为正交表的行数,个体样本数 n 映射为水平数,个体编码长度 m 映射为正交表的列数,构造形如 $L_s(n^m)$ 的正交表即可得到初始种群。

然而,正交法最大的不足在于正交表构造过程中的限制。正交表分为标准表、非标准表和混合正交表。其中:标准表的水平数只能取素数或素数幂;非标准表构造的初始种群比标准表的性能要差,而且其在构造过程中也有一系列限制;混合正交表除由并列法改造意外,一般无一定规律可循^[6]。另一方

收稿日期:2012-08-19;修回日期:2012-09-24 基金项目:军队科研计划资助项目

作者简介:常天庆(1964-),男,河南郑州人,教授,博士,主要研究方向为火控系统及其智能化技术;白帆(1982-),男,辽宁大连人,博士,主要研究方向为智能计算、指控系统建模(whiteSai@139.com);李勇(1983-),男,湖南浏阳人,博士研究生,主要研究方向为装备智能故障诊断;张波(1978-),男,陕西西安人,助教,博士,主要研究方向为战车火控与指控系统。

面,根据数论在多维数值积分中的应用原理,均匀设计表要依照正交表进行构造^[6],因此均匀法也存在和正交法一样的限制。正是由于正交表、均匀设计表在构造过程中的以上限制,基于正交法和均匀法的种群初始化,从算法设计到软件实现都困难重重,大大制约了其在种群初始化问题上的广泛应用。

因此,本文研究主要针对装甲分队的 WTA 问题,根据装甲分队作战特点尝试利用其先验知识进行种群初始化,希望本文的研究能够对其他军兵种的 WTA 问题起到一个抛砖引玉的借鉴作用。

1.2 设计要求

解 WTA 问题的群智能优化算法,通常采用基于特定有限符号集编码。为了使算法能够更快地收敛,尽可能少地陷入局部极值,种群的初始化应遵循以下规范:

a) 遍历性(ergodicity)。编码符号集中的每种符号在种群中均有机会出现。

b) 均匀性(uniformity)。种群中的每种编码符号出现次数相等,或趋于相等。

c) 离散性(discreteness)。种群中的任意个体之间的距离应尽可能远,所有个体最大限度地分布于编码空间中。

显然,良好的均匀性可以保证遍历性,然而均匀性和离散性却没有必然联系,而且实际应用中离散性是最难保证的。

2 装甲分队 WTA 问题概述

WTA 问题的研究最初用于制订作战计划和训练指挥军官,同时也为武器的选择和新武器的研制与采购提供参考^[7]。后来,特别是近年来,随着计算机技术的发展,WTA 问题的研究开始致力于解决复杂条件下的大规模、多类型武器、多类型目标的火力分配问题,并期望日后用于作战指挥自动化与智能化^[8]。

2.1 模型描述

目前学术界对 WTA 问题的求解研究,大多针对其静态模型,并且公认其静态模型已经相对成熟^[8]。一般意义上的 WTA 问题可描述为:

定义武器集 $W = \{w_i\}$, $i = 1, 2, \dots, m$, 描述 m 个武器;定义目标集 $T = \{t_j\}$, $j = 1, 2, \dots, n$, 描述 n 个目标;定义打击效果矩阵 $P = (p_{ij})_{m \times n}$, 描述武器 i 对目标 j 的打击能力;目标威胁向量 $Q = (q_j)_n$, 描述目标对武器的威胁程度;矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 用于描述 WTA 方案(即解集), 其中 $x_{ij} = \{0, 1\}$ ($x_{ij} = 1$ 表示武器 i 对目标 j 进行攻击, 否则 $x_{ij} = 0$ 表示不进行攻击)。

模型通常追求对敌打击效果最大化, 则其数学描述为

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{j=1}^n (q_j \times (1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}})) \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq m \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

本文在此基础上引入关系算子, 对解空间重新编码, 从而实现模型的无约束化^[9]。改进后的模型为

$$\max \quad \sum_{j=1}^n (q_j \times (1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij} \times (x_i = j)))) \quad (2)$$

式中: 向量 $X = (x_i)_m$ 为模型解集, $x_i = 1, 2, \dots, n$ 表示武器 i 所打击目标的战斗序号; $=$ 为相等关系算子, 当左右两边数值相等时取值 1, 否则取值 0, 如式(3)所示。

$$(a = b) = \begin{cases} 1 & a = b \\ 0 & a \neq b \end{cases} \quad (3)$$

显然, 模型无约束化后向量 $X = (x_i)_m$ 中的元素全部为可行解, 且其向量空间遍布于可行解空间。同时, 比起原模型, 解的数量由 $2^{m \times n}$ 个, 锐减为 n^m 个。

2.2 装甲分队 WTA 问题可行解分析

由于针对于不同的军兵种, 其 WTA 问题有着不同特点, 因此本文着重讨论面向装甲分队的 WTA 问题, 希望能够对其他军兵种的作战仿真研究起到抛砖引玉的作用。

与装甲分队的三种火力机动样式相对应, 其 WTA 问题可行解可分为三类: 集中火力射击(简称集火射击)、区分火力射击(简称分火射击)和混合火力射击(既有集中火力射击又有区分火力射击, 简称混合射击)。从经验来看, 当各方面条件比较不利于射击时(如距离远、打击效率低), 最优解通常是集火射击方式; 当各方面条件比较利于进行射击时(如距离近、打击效率高), 最优解通常是分火射击方式。而实际情况中, 最优解往往为同时包含集火射击和分火射击的混合射击方式。

通过分析不难发现: 对于给定的武器数 m 和目标数 n , 所有解集共有 n^m 个, 符合集火射击的解有 n 个, 符合分火射击的解有 l 个, 剩下的为混合射击的解共 $(n^m - n - l)$ 个。其中 l 满足

$$l = P(m, n) = \begin{cases} P_n^m & m \geq n \\ P_n^m & m < n \end{cases} \quad (4)$$

特别地, 这里排列公式 P_n^m 采用文献[10]中的定义, 即 $P_n^m = m(m-1)(m-2)\cdots(m-n+1)$, $1 \leq n \leq m$, 且 $P_0^m = 1$ 。

3 基于密码筒的种群初始化

3.1 密码筒原理

影片《达芬奇密码》中曾提到过一种筒形密码锁, 通过转动套在筒上的密码环来实现密码筒的解锁。现实中密码筒的密码环上通常设置 0~9 的数字或 A~Z 的字母, 并通过设置多个密码环来增加密码破解的难度, 如图 1 所示。

如果以密码筒某次转动后各个密码环上符号排布为种群, 可以发现该种群能够较好地满足种群初始化的所有设计要求。本文受密码筒原理启发, 设计出了基于密码筒的种群初始化方法。

具体来说, 由于每位密码环配置相同, 只要将其设置为占满编码空间, 无论它们如何排布, 每种编码符号均会以相等的频次出现, 因此满足遍历性、均匀性。

另一方面, 由于每位密码环上编码固定, 生成的初始种群中任意个体间距离由此确定, 与密码环位置无关。这种性质便于进行密码换编码设计, 以实现更好的种群离散性。

3.2 个体差异测度

这里个体间的距离为刻画个体差异的测度, 采用类海明距离定义:

定义 1 对于向量 $a = (a_i)_m$ 和向量 $b = (b_i)_m$, 两者距离记为 $d(a, b)$, 计算公式为

$$d(a, b) = \sum_{i=1}^m (a_i \neq b_i) \quad (5)$$

其中: $\neq$ 为不等关系算子, 当左右两边数值不相等时取值 1, 否则取值 0, 如式(6)所示。

$$(a \neq b) = \begin{cases} 1 & a \neq b \\ 0 & a = b \end{cases} \quad (6)$$

3.3 基于密码筒的随机种群初始化

对于前文定义的武器数为 m 、目标数为 n 的 WTA 问题,其解向量 $X = (x_i)_m$ 即为种群中的个体,则码长为 m ,且编码符号集为目标编号集 $\{1, 2, \dots, n\}$ 。鉴于密码筒中密码符号分布特性,构造密码筒随机初始子群(简称,密码筒子群)。具体方法如下:

设定密码筒子群规模为 ns^* ,为了满足遍历性、均匀性,密码环设置为若干个编码符号集的乱序排列,即 $ns^* = k \times n, 1 \leq k \leq s/n, k \in Z$ 。显然,该子群中每个符号编码的出现频次均为 k 。

为了保证良好的离散性,密码环采用固定步长跳跃抽取构造离散序列,每位密码环依次错位构造密码筒,则此时密码筒上的编码即为密码筒初始子群。

在此基础上,将剩余的种群规模 $s - ns^*$ 用随机优选法^[11]填充。具体方法为:先随机生成一定数目的个体;然后从中挑出最好的个体加入初始子群中;这种过程不断迭代,直到初始子群中个体数达到了预定规模。

综上,纵向排列密码筒初始子群和随机优选初始子群,得到最终的初始种群。

4 装甲分队战术种群初始化

由对装甲分队 WTA 问题可行解的分析可知,初始种群从战术上可分为集火射击、分火射击和混合射击三类,则从这三部分入手,分别构造初始子群的方法称为战术种群初始化法^[12]。

若将初始种群记为 S ,将符合集火射击、分火射击和混合射击的子群分别记为 S^I 、 S^{II} 和 S^{III} ,则有 $S = [S^I; S^{II}; S^{III}]$ 。其中, $S^l = (s_{ij}^l)_{k \times m}^l, l = \{I, II, III\}$ 分别对应三种初始子群, k^l 为相应初始子群个体数, m 为武器数。

4.1 武器—目标空间排序

为了分别区别武器集和目标集,需要对武器和目标编排火力分配编号。由于装甲分队的 WTA 问题与武器—目标集群的位置关系密切相关,火力分配编号应反映其空间位置关系,即相邻的武器或目标的火力分配编号也应该相邻或者接近。在算法实现过程中,可以采用指定的某种方向来顺序编排编号,如先从西至东,后由北至南。

4.2 集火射击的初始子群

集火射击指多对一的射击方式,是一种极端情况,其初始子群个体数为 n ,则有 $s_{ij}^I = i$,即

$$S^I = \{s_{ij}^I = i \mid i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m\}$$

4.3 分火射击的初始子群

分火射击指一对一的射击方式。根据前文的分析,符合分火射击的解的数量过多,这里剔除了火力交叉的情况,则其初始子群个体数为 $|m - n| + 1$ 。分两种情况讨论如下:

a) $m \leq n$ 。其初始子群个体数为 $n - m + 1$,满足 $s_{ij}^{II} = i + j - 1$,即

$$S^{II} = \{s_{ij}^{II} = i + j - 1 \mid i = 1, 2, \dots, n - m + 1; j = 1, 2, \dots, m\}$$

b) $m > n$ 。其初始子群个体数为 $m - n + 1$,满足

$$s_{ij}^{III} = \begin{cases} j - i + 1 & i \leq j \leq i + n - 1 \quad i = 1, 2, \dots, m - n + 1 \\ 0 & \text{otherwise} \quad j = 1, 2, \dots, m \end{cases}$$

4.4 混合射击的初始子群

混合射击初始子群采用随机优选法产生,以填补初始种群

中除集火射击、分火射击两初始子群以外的部分,因此个体数 $n(S^{III}) = s - n - (|m - n| + 1)$ 。根据解 WTA 问题群智能算法参数设置经验,种群规模 s 通常不小于武器或目标数的 2 倍。于是有

$$S^{III} = \{s_{ij}^{III} = \text{rand}(1, n) \mid i = 1, 2, \dots, n(S^{III}); j = 1, 2, \dots, m\}$$

其中: $\text{rand}(a, b)$ 表示在区间 $[a, b]$ 上服从均匀分布的随机整数, $a \leq b, a, b \in Z^+$ 。

综上,初始种群为三个子群顺次纵向排列而成,即

$$S = \begin{bmatrix} S^I \\ S^{II} \\ S^{III} \end{bmatrix}$$

5 基于目标威胁—打击效果混合排序的种群初始化

从 WTA 模型的数学描述(如式(2)所示)来看,目标函数值的大小取决于目标威胁向量 $(q_j)_n$ 、打击效果矩阵 $(p_{ij})_{m \times n}$ 以及模型解矩阵 $(x_{ij})_{m \times n}$ 。因此,高质量的种群初始化也可以认为是一个根据已知的目标威胁向量和打击效果矩阵来预测、推測满足目标函数的最优 WTA 方案矩阵范围的过程。

因此,本文提出了一种基于目标威胁—打击效果混合排序的种群初始化方法。此方法的设计思想,即通过构造一个目标威胁—打击效果混合矩阵(记为 QP),来推测一组最优解的候选作为初始种群。

5.1 构造目标威胁—打击效果混合矩阵

由于原目标函数中目标威胁向量与打击效果矩阵的运算比较复杂,因此 QP 矩阵有必要在目标函数的基础上作适当简化。鉴于 WTA 模型曾被采用为形如 $\sum \sum q_j p_{ij} x_{ij}$ 的形式^[13~17],构造 QP 矩阵如下:

将目标威胁向量扩展成矩阵,令 $q_{ij} = q_j (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$,则

$$QP = (q_{ij} \cdot p_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} q_{11}p_{11} & q_{12}p_{12} & \cdots & q_{1n}p_{1n} \\ q_{21}p_{21} & q_{22}p_{22} & \cdots & q_{2n}p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m1}p_{m1} & q_{m2}p_{m2} & \cdots & q_{mn}p_{mn} \end{pmatrix} = (qp_{ij})_{m \times n}$$

5.2 目标威胁—打击效果混合矩阵序列化

为了推测候选最优解,需要对 QP 矩阵进行序列化以确定解的优劣的概略顺序。具体做法:对 QP 矩阵的每行按由大至小顺序排序,得到其索引矩阵 $sQP = \text{sort}(QP) = (sqp_{ij})_{m \times n}$,此即为解的概略顺序矩阵。其中, sqp_{ij} 表示武器 i 对目标群打击排序的概略第 j 位目标编号。显然,最优解更大可能包含排名靠前的武器—目标对。

5.3 构建初始种群

由于候选最优解子群在解空间中过于集中,为兼顾初始种群多样性,另设随机初始子群共同构建初始种群。记包含候选最优解的初始子群为 S^* ,个体数为 ns^* ;随机初始子群为 S^r ,个体数为 ns^r ,则总初始种群 $S = [S^*; S^r]$,个体数 $s = ns^* + ns^r$ 。

1) 候选最优解初始子群

设置解的概略顺序矩阵最大排名 k^* , $k^* < n$,即候选最优解初始子群的每个个体均在不大于 k^* 的排名内选取。于是有 $s_{ij}^* = sqp_{jk}$,即

$$S^* = \{s_{ij}^* = sqp_{jk} \mid i = 1, 2, \dots, ns^*; j = 1, 2, \dots, m; k \leq k^*\}$$

2) 随机初始子群

采用与前文同样的随机优选法,即

$$S' = \{s'_{ij} = \text{rand}(1, n) \mid i = 1, 2, \dots, ns'; j = 1, 2, \dots, m\}$$

综上,纵向排列两个初始子群,得到初始种群

$$S = \begin{bmatrix} S^* \\ S' \end{bmatrix}$$

6 仿真实验

为了评估种群初始化方法,主要从初始种群的均匀性、离散性以及解的质量三方面对普通随机法、随机优选法、密码筒法、分队战术法和混合排序法设计仿真实验,实验对象如表 1 所示。

表 1 仿真实验对象

序号	名称	说明
1	普通随机法	基于均匀随机分布的种群初始化法
2	随机优选法	文献[11]介绍的方法
3	密码筒法	基于密码筒的种群初始化法
4	分队战术法	装甲分队战术种群初始化法
5	混合排序法	基于目标威胁—打击效果混合排序的种群初始化法

6.1 构造 WTA 仿真算例

WTA 仿真算例按照 6-4、8-6、10-8、15-10、20-10 的五种武器—目标规模随机生成,每种规模随机生成 20 例。

具体方法:随机生成指定数量的红蓝双方遭遇战对阵想定,包括对阵双方的空间位置、武器目标类型等信息,并在此基础上计算当前态势下红方(武器)对蓝方(目标)的打击效果、蓝方对红方的威胁。

6.2 种群初始化及评估指标

对选取的 WTA 仿真算例,采用表 1 中的方法分别进行种群初始化 25 次。由于每种武器—目标规模的 WTA 算例随机生成了 20 例,因此可以保证对于不同规模的 WTA 算例,每种种群初始化方法实验 500 次。之后,对产生初始种群的均匀性、离散性和解的质量三个指标进行评估。其中:

- 均匀性考察初始种群中每种编码符号出现的频次;
- 离散性考察初始种群中个体间的相互距离;
- 解的质量考察初始种群中个体所对应的解的目标函数值,该指标反映了初始解和最优解的接近程度。

6.3 实验数据及分析

通过对实验数据的统计分析,可以得到如表 2~4 和图 2 所示的实验结果。其中:表 2 衡量均匀性,为每种初始种群中各个编码出现次数标准差的均值,数值越小越好;表 3 衡量离散性,为每种初始种群中个体间距离的均值,数值越大越好;表 4、图 2 中的数据,为每种初始种群中个体所描述的解的目标函数值的最大值与均值,数值越大越好。

表 2 均匀性—编码出现频率均值

方法	规 模				
	6-4	8-6	10-8	15-10	20-10
普通随机法	11.1752	11.0862	10.7463	11.7486	9.9232
随机优选法	9.4339	11.8541	12.3515	12.1615	11.3386
密码筒法	0.0000	1.3257	1.3923	0.0000	0.0000
分队战术法	6.0708	6.2249	6.5079	5.6822	0.0000
混合排序法	49.8251	6.6884	6.9960	6.2060	1.2828

从均匀性指标来看,密码筒法由于在算法设计时就充分考虑了种群多样性,因而在该指标上表现最好。而且当 n 为 s 的因数时,初始种群可以达到完全均匀(即所有编码出现次数相同,标准差为 0)。分队战术法的表现比较稳定,一直维持在可

接受的范围内。当 m, n 均为 s 的因数时,初始种群可以达到完全均匀。当解空间(n^m)不足以远大于种群规模 s 时(即 $\log_{10}(n^m/s) \leq 2$),混合排序法生成的初始种群比较集中,种群多样性较差,但这种情况随着解空间与种群规模数量级差距的拉大而得到很好的改善。随机优选法的表现与此完全相反。

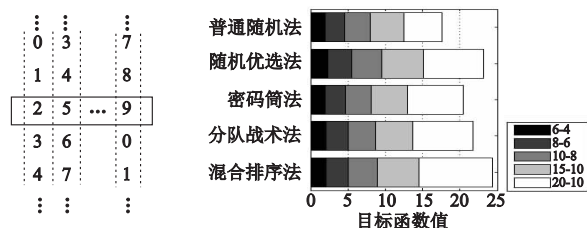


图 1 筒形密码锁示意图

图 2 解的质量—目标函数均值

表 3 离散性—个体距离均值

方法	规 模				
	6-4	8-6	10-8	15-10	20-10
普通随机法	4.5003	6.6663	8.7496	13.4988	18.9997
随机优选法	4.3336	6.6064	8.7051	13.4713	18.9795
密码筒法	4.5455	6.7313	8.8348	13.6364	19.1919
分队战术法	4.5309	6.6919	8.7728	13.5667	19.0365
混合排序法	3.9060	6.6674	8.7488	13.5001	18.9992

表 4 解的质量—目标函数最值

方法	规 模				
	6-4	8-6	10-8	15-10	20-10
普通随机法	3.0426	4.2306	5.2183	6.8729	9.9801
随机优选法	3.0675	4.2615	5.1881	6.9436	10.3558
密码筒法	3.0561	4.2121	5.2221	6.9812	10.3775
分队战术法	3.0675	4.2957	5.1964	7.2705	11.6877
混合排序法	3.0675	4.3058	5.2740	7.1039	11.7883

从离散性指标来看,对于不同规模的 WTA 算例,该指标最大值为武器数 m 。五种方法的效果差距不大,均可以达到令人满意的数值,而且随着武器—目标规模的增大,各方法的指标均趋近于数值上限。尽管如此,密码筒法还是由于设计方面的优势,相对其他方法在此指标上稍胜一筹。

从解的质量指标来看,分队战术法和混合排序法由于在算法设计时分别考虑了模型的物理意义和数学意义,因此在该指标上一直领先于其他方法。随机优选法由于存在一个筛选的环节,因此其解的质量得以相对提升。除此以外的普通随机法和密码筒法均表现较差。

综上,密码筒法具有很好的种群多样性,尽管其生成的初始种群均离最优解较远,但从长远考虑该方法更有潜力。分队战术法和混合排序法均具有极好的解的质量,相信在此基础上,通过群智能优化算法稍加启发式扰动即可找到最优解。然而也正是因为两种方法对于目标函数的过于依赖,使得其对于其他优化问题的适应性减弱,尤其分队战术更适用于装甲分队这类军事对抗问题的优化,对于某些特定的装甲分队 WTA 问题,该方法的效果还会更好。随机优选法尽管在某些方面的性能要优于其他方法,但由于其计算代价过大,因此只适合小规模使用。

7 结 束 语

从目前的研究来看,没有一种通用的方法能够相对令人满意地解决不同的优化问题。即使对于 WTA 问题,不同军兵种有各自的特点,应当根据武器平台等相关特性选择合适的方法来解决。 (下转第 1392 页)

粒子代表一组可行解,其中各元素表示所研究问题空间的分解任务,采用 PASPSO 算法展开求解得到:一个定货周期内运进铁矿石 118.2 万吨,其中 891 388.3 吨采用江海直达方式,在一级中转港的 1 号港口中转后直接运抵目的港。另外 290 572.7 吨采用三程方式,在一级中转港 1 号港口卸船后,通过二级中转港的 2 号港口运抵目的港,全程运费为 1.571 547 亿元。

4 结束语

从均衡性角度,结合我国钢铁企业实际状况,以矿石运输方式、运量分配、线路选择及运输成本为最优综合求解目标,构建了均衡性约束的运输—分配模型,并采用一种改进模拟退火粒子群优化算法对该运输—分配模型中的一个订货周期内的运输方式、运量分配、线路选择及运输成本进行了综合优化,有利于钢铁企业中铁矿石进口运输与后续生产物流的均衡协调问题,降低企业成本,提升企业核心竞争力。

参考文献:

- [1] HAKIMI S L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph[J]. *Operations Research*, 1964, 12(3): 450-459.
- [2] HAKIMI S L. P-median theorems for competitive location[J]. *Annals of Operations Research*, 1986, 5(1): 79-88.
- [3] TAPIERO C S. Transportation-location-allocation problems over time[J]. *Journal of Regional Science*, 1971, 11(3): 377-384.
- [4] MELKOTE S, DASKIN M S. An integrated model of facility location and transportation network design[J]. *Transportation Research Part A*, 2001, 35(6): 515-538.
- [5] 杨超,马云峰,杨璐.一类带能力约束的服务站选址问题[J]. *系统工程*, 2004, 22(1): 19-23.
- [6] 章海峰,郝春艳,杨超.带三重容量限制的中转物流选址—分配模型[J]. *管理工程学报*, 2008, 22(1): 62-65.
- [7] 胡丹丹,杨超,刘智伟.带有响应时间承诺的选址—分配问题研究[J]. *管理科学*, 2010, 23(1): 114-121.
- [8] 孔祥荣,韩伯棠.基于合作博弈的运输分配方法[J]. *系统工程理论与实践*, 2010, 30(7): 1340-1344.
- [9] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization[C]// *Proc of IEEE International Conference on Neural Networks*. 1995: 1942-1948.
- [10] 陶新民,王妍,赵春晖,等.双尺度协同变异的离散粒子群算法[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2011, 32(12): 1617-1623.
- [11] KADIRKAMNATHAN V, SELVARAJAH K, FELEMING P J. Stability analysis of particle dynamics in particle swarm optimizer[J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 2006, 10(3): 245-255.
- [12] 周敏,李太勇.粒子群优化算法中的惯性权重非线性调整策略[J]. *计算机工程*, 2011, 37(5): 204-206.
- [13] 梁昔明,陈富,龙文.基于动态随机搜索和佳点集构造的改进粒子群优化算法[J]. *计算机应用*, 2011, 31(10): 2796-2799.
- [14] 左旭坤,苏守宝.基于粒距和动态区间的粒子群权重调整策略[J]. *计算机应用*, 2010, 30(9): 2286-2289.
- [15] 纪雪玲,李明,李玮.一种克服局部最优的收缩因子 PSO 算法[J]. *计算机工程*, 2011, 37(20): 213-215.
- [16] 高哲,廖晓钟.基于平均速度的混合自适应粒子群算法[J]. *控制与决策*, 2012, 27(1): 152-155, 160.
- [17] 杨恢先,刘子文,汪俊.改进的 PSO 混合算法[J]. *计算机应用*, 2010, 30(6): 1516-1518.
- [18] 李娅,李丹,王东,等.改进的混沌粒子群算法求解车辆路径问题[J]. *计算机应用研究*, 2011, 28(11): 4107-4110.
- [19] 王槐林,刘明菲.物流管理学[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2010.
- [20] XIE Xiao-feng, ZHANG Wen-jun, YANG Zhi-lian. Dissipative particle swarm optimization[C]// *Proc of IEEE International Conference on Evolutionary Computation*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2002: 1456-1461.
- [21] 龙文,梁昔明,董淑华,等.动态调整惯性权重的粒子群优化算法[J]. *计算机应用*, 2009, 29(8): 2240-2242.
- [22] 朱童,李小凡,鲁明文.位置加权的改进粒子群算法[J]. *计算机工程与应用*, 2011, 47(5): 4-6, 16.

(上接第 1380 页)

下一步的研究重点应针对具体的群智能优化算法,对种群初始化方法选取及参数设置问题进行进一步研究。

参考文献:

- [1] 王小平,曹立明.遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2002.
- [2] 陈理国,蔡之华.改进的正交遗传算法及其在函数优化中的应用[J]. *计算机工程与设计*, 2008, 29(13): 3413-3415, 3418.
- [3] 江中央,蔡自兴,王勇.用于全局优化的混合正交遗传算法[J]. *计算机工程*, 2009, 35(4): 204-206.
- [4] 高齐圣,潘德惠.基于均匀设计的遗传算法及其应用[J]. *信息与控制*, 1999, 28(3): 236-240.
- [5] 张志远,何川.均匀设计和遗传操作并行的遗传算法[J]. *西南交通大学学报*, 2002, 37(5): 536-540.
- [6] 任露泉.试验设计及其优化[M]. 北京:科学出版社, 2011.
- [7] 兵器工业部兵器系统工程研究所.陆军武器系统分析(下册)[M]. 北京:兵器工业部系统工程研究所, 1994.
- [8] 李勇君,黄卓,郭波.武器—目标分配问题综述[J]. *兵工自动化*, 2009, 28(11): 1-4, 9.
- [9] 白帆,常天庆,王钦钊.基于模糊火力适度原则的坦克分队 WTA 模型研究[J]. *系统仿真学报*, 2012, 24(6): 1161-1164.
- [10] 叶其孝,沈永欢.实用数学手册[M]. 2 版. 北京:科学出版社, 2006.
- [11] 陈国良,王煦法,庄镇泉,等.遗传算法及其应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 2001.
- [12] 常天庆,白帆,王钦钊.解坦克分队武器—目标分配问题的小生境遗传算法[J]. *装甲兵工程学院学报*, 2012, 26(1): 48-53.
- [13] 陈云飞,刘玉树,范洁,等.火力优化分配问题的小生境遗传蚂蚁算法[J]. *计算机应用*, 2005, 25(1): 206-209.
- [14] 孔令鹏,王玉生,王海峰.基于蚁群算法的防空 C³I 系统火力分配模型研究[J]. *指挥控制与仿真*, 2006, 28(2): 60-63.
- [15] 刘家军,邢俊英,李万顺.火力分配的优化算法[J]. *军事运筹与系统工程*, 2005, 19(1): 18-22.
- [16] 曹奇英,何张兵. WTA 问题的遗传算法研究[J]. *控制理论与应用*, 2001, 18(1): 76-79.
- [17] 姜青山,郑保华,郭利民.遗传算法在舰艇编队防空火力分配中的应用[J]. *火力与指挥控制*, 2005(S1):