

# 建设项目多资源优化的进化算法实现

张淑山,张连营

(天津大学 管理学院,天津 300072)

摘要:工程实践中,资源优化具有众所周知的重要意义,然而现存的一些资源优化的方法往往存在求解精度不够、求解效率较低、通用性差等缺点,尤其是在对具有不同权重的多资源均衡问题的研究还不是很充分。引入的改进进化算法在解决有不同权重的多资源均衡优化问题时表现得十分有效,计算过程容易掌握,由于算法本身具有隐并行性,特别适用于并行计算和全局优化问题。在计算机技术和网络技术迅速发展的今天,处理较复杂的大项目多资源优化问题,该算法具有不可估量的潜力和优越性。

关键词:建设工程项目;多资源均衡;改进进化算法

中图分类号:F062.4

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2009)21-0088-03

## 0 引言

资源优化有众所周知的实践意义,人们对资源优化进行了大量深入的研究。早期的数学模型和方法,不能有效解决实践中的较大而复杂的问题。后来发展的直观推断方法(线性规划方法和网络计划技术)是现在应用最广的技术。“消峰填谷”法利用资源使用的高峰与低谷,采取“拉平”策略不失为网络资源均衡与优化的一种有效方法,但大多数网络资源均衡优化问题是组合爆炸的NP困难问题。因此,该方法存在求解时间较长或无法完成、求解精度不高、误差较大的缺点<sup>[1]</sup>。而且目前的数学规划方法和启发算法都只能单独解决其中一个方面的优化问题<sup>[2]</sup>,而往往难以取得多资源均衡优化的最优解。

本文为解决工程多资源优化,借鉴了多目标优化问题的解决方法。通过分析比较,本文采用Rainer Storn和Kenneth Price在1995年提出的一种更简单更有效的微分进化算法(differential evolution,简称DE),并对算法作相应改进后用于解决“工期一定,资源均衡”的工程实践问题。目前,已有研究人员用传统的GA、微粒群算法等对工程项目资源均衡进行了相关的研究,但是应用微分算法来求解多目标优化问题的研究起步较晚,在实际的生产实践中还没有得到广泛的应用。在国内,刘自发等<sup>[3]</sup>利用改进微分进化算法进行了电力系统无功优化的研究,但尚未有人开展用该算法进行工程项目多资源优化的研究。

## 1 微分进化算法及其改进

DE的基本思想是:利用2个随机选取的矢量参数的差

向量作为第3个矢量参数的随机变化源,通过对当前种群进行重组、变异和选择等操作产生新一代种群,并逐步使种群进化到包含或接近最优解的状态。

控制参数的选择对DE算法的搜索性能有较大的影响,根据经验群体规模NP可选择在5ndim~10ndim倍的问题维数之间<sup>[1]</sup>,其中ndim为变量维数,但NP必须大于4以确保DE具有足够的不同变异向量。比例因数通常取0.2,交叉因数通常取0.5,依赖于目标函数的特性,在进化过程中它们的取值区间一般分别是(0.1,0.9)和(0.3,0.8),有时需要不断试验确定最优参数,这本身是算法自身的一个研究方向。

本文对DE的变异模式和参数控制作出改进。如下述式(3)所示,结合式(1)所示变异模式,本课题采用两种变异模式;对参数控制采用静态参数模式和式(4)、式(5)所示动态参数模式,并对以上两种变异模式和两种参数控制模式进行组合,形成4种模式。通过检验函数考察每种模式的寻优性能,并进行比较,编写了相关程序,以进行计算机模拟。

$$V_{i,G} = X_{r1,G} + F \cdot (X_{r2,G} - X_{r3,G}) \in (r1, r2, r3 \in [0, NP-1], r1 \neq r2 \neq r3 \neq i, \text{ and } F > 0) \quad (1)$$

(1)变异模式的改进。

Rainer Storn和 Kenneth Price提出了两种有效的变异模式<sup>[3]</sup>,第一种模式如式(1)所示,是比较基本的变异模式;第二种模式产生试验向量V的方法如下式所示<sup>[4]</sup>:

$$V = X_{i,G} + \lambda * (X_{best,G} - X_{i,G}) + F * (X_{r2,G} - X_{r3,G}) \quad (2)$$

这里引入新的控制变量 $\lambda$ ,将当前最优参数向量 $X_{best,G}$ 导入,以加强优秀模式的竞争能力和算法的收敛性,这种特点在没有明确目标函数的问题中十分有用。但也带来了新的麻

收稿日期:2009-07-21

基金项目:国家自然科学基金项目(70871088)

作者简介:张淑山(1983-),男,甘肃金昌人,天津大学管理学院系硕士研究生,研究方向为工程项目多目标集成管理;张连营(1954-),男,河产保定人,博士,天津大学管理学院教授,博士生导师,研究方向为质量体系及质量管理。

烦,增加新的控制变量会给最优参数的选择工作带来困难。

本论文在以上变异模式的基础上作出改进如下:

$$V = \underline{X}_{best,G} + F \cdot (X_{r2,G} - X_{r3,G}) \quad (3)$$

这种模式增加了群体进化的竞争压力,可以使问题很快收敛,但也会减弱算法开拓新空间的能力,可以通过采用较大的控制参数  $F$  和  $CR$  来避免算法早熟而限于局部极小值点。

(2) 控制参数的动态调整。

受粒子群算法中惯性权重动态调整思想的启发,本文对控制参数  $F$  和  $CR$  采用动态调整的策略,分别如下:

$$F = F_{max} - (F_{max} - F_{min}) \frac{G}{G_{max}} \quad (4)$$

$$CR = CR_{max} - CR_{max} - CR_{min} \frac{G}{G_{max}} \quad (5)$$

式中:  $F_{max}$ 、 $F_{min}$  分别为设定的比例因数  $F$  的最大值和最小值;  $CR_{max}$ 、 $CR_{min}$  分别为设定的交叉因数  $CR$  的最大值和最小值;  $G_{max}$ 、 $G$  分别为设定的最大迭代次数和当前的迭代次数。

(3) 为了验证算法的收敛,测试函数——采用著名的 De Jong 球体测试函数<sup>[6]</sup>:

$$f_1 = \sum_{j=0}^2 x_j^2 \quad x_j \in [-5.12, 5.12] \quad (6)$$

测试函数二采用 Griewangk 函数<sup>[7]</sup>, 该函数如下所示:

$$f_2 = \sum_{j=0}^9 \frac{x_j^2}{4000} - \prod_{j=0}^9 \cos\left(\frac{x_j}{\sqrt{j+1}}\right) + 1 \quad x_j \in [-400, 400] \quad (7)$$

该函数具有多个局部最优值, 所以可用来检验算法跳出局部最优解的能力, 该函数最小值为 0。

## 2 工程项目多资源均衡优化

资源优化包括“工期一定,资源均衡”和“资源一定,工期最短”两个方面。资源分配的目的在于资源有限的条件下,对资源进行合理安排,并使项目工期尽可能的短。资源均衡的目的是在保证项目工期不变的条件下,对工作进行合理安排,使资源需求尽可能均衡。

资源均衡的第一个方面的优化目标很简单,就是  $min T$ , 对于第二个方面的优化目标,表示为  $min M_{xi}$ <sup>[8]</sup>。

我们以典型的施工网络计划为例进行网络资源均衡优化问题的描述,假设给定初始网络计划,每道工序所需资源量是事先已确定,则资源均衡优化的目标是使单位工作日资源消耗的方差为最小,该问题为强约束非线性优化问题,数学模型描述如下:

目标函数:

$$Min(F) = \sum_{i=0}^m \omega_i M_i \quad (8)$$

## 3 基于改进微分净化算法的工程项目多资源均衡

改进后的微分进化算法用于工程项目资源均衡优化时,这里以各工序开工时间  $TS_i$  作为参数变量  $xi$ , 这样对群体初始化如式(9),其它均采用标准程序:

$$S_G = \{X_{1,G}, X_{2,G}, \dots, X_{NP,G}\}$$

$$X_{j,i,G} = (x_{1,i}^G, x_{2,i}^G, \dots, x_{ndims_i}^G) \quad x_{j,i}^G = ES_j + rand() \cdot (LS_j - ES_j) \quad (9)$$

## 4 算例分析

### 4.1 实例描述

本课题资源优化算例是一个有 13 项作业的网络图<sup>[10]</sup>的基础上增加网络图的任务到 19 项工序, 如表 1 所示, 每项作业有一个固定的资源需求强度, 简称资源强度, 该项目共需要 3 种资源:  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 。

### 4.2 进化过程

为了检测进化过程选取各适应值均值变化的过程作图,如图 1。

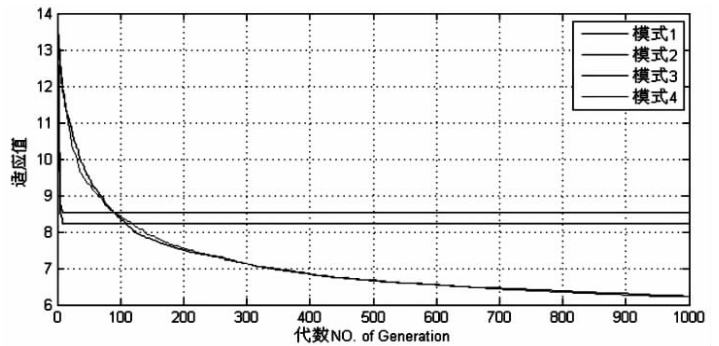


图 1 进化过程适应值均值变化过程示意

由图 1 可知模式 1、模式 3 收敛速度十分可观,但是似乎限于了局部极小值无法自拔。模式 2、模式 4 收敛过程十分稳定,并最终寻找到当前最优值,成功跳出局部收敛。表 2 是优化前后的各工序开工时间和各模式加权方差。

为了进一步监测整个进化过程体现各模式的进化效率, 以下对初始方案和经模式 3 优化前后的资源分布直方图对比,如图 2。

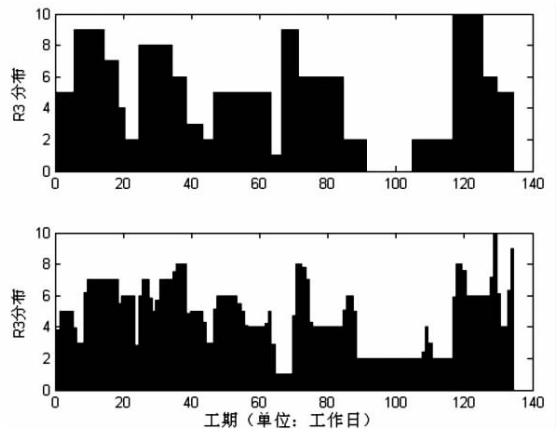


图 2 优化前后资源 R3 分布直方图 (上: 优化前; 下: 优化后)

表1 项目初始信息

Activity ID	Predecessors	Successors	Early start	Total float	Late start	Original duration	Resource		
							R1	R2	R3
A		B*, D*, F*	09-04-24	0	09-04-28	5	5	4	5
B	A*	C	09-04-29	11	09-05-17	9	4	6	2
C	B, D*	H, J	09-04-29	5	09-05-13	13	3	6	3
D	A*	C*, E	09-04-29	4	09-05-07	15	5	2	4
E	D, F*	H*, I, K	09-05-14	0	09-05-26	14	1	5	2
F	A*	E*, G*	09-0-518	0	09-05-31	19	3	1	1
G	F*	I	09-05-18	8	09-05-31	14	3	2	5
H	C, E*	I*	09-06-01	0	09-06-08	8	6	3	2
I	E, G, H*	J*, K*, L, M	09-06-09	0	09-06-17	9	5	5	5
J	C, I*	L, M	09-06-18	3	09-06-28	8	3	9	4
K	E, I*	L*, M*, N	09-06-18	0	09-06-25	11	5	7	1
L	I, J, K*	N*, Q	09-06-29	0	09-07-23	25	6	2	2
M	I, J, K*	O*, P	09-06-29	25	09-07-03	5	5	7	7
N	K, L*	P*, R	09-07-04	0	09-07-23	13	7	3	4
O	M*	R	09-07-24	25	09-08-05	20	3	2	0
P	M, N*	Q*, R*	09-08-06	0	09-08-17	12	6	3	2
Q	L, P*	S	09-08-18	4	09-08-30	9	7	2	4
R	N, O, P*	S*	09-08-18	0	09-08-26	13	1	7	6
S	Q, R*		09-08-31	0	09-09-04	5	7	8	5

由上面优化过程可知,模式1和模式2得到了相同的结果,但落入局部最优,对于该优化问题,模式2所得解为当前最优,所有改进模式所得当前最优解均减少50%左右。尽管资源R1优化后效果不明显,甚至出现较之于初始方案适应值增大的情况,但资源R2、R3优化后效果明显,尤其是资源R3优化效果最为明显。这是因为各资源具有不同的权重,稀缺性依次升高,这在工程实践中具有很重要的经济学意义,这也体现了算法的优越性和灵活性,是本文研究的创新点之一。

表2 工序开工时间及各模式加权方差

项目	初始	方案一	方案二*	方案三	方案四
R1	10.64051	5.339649	7.409494	6.99216	6.991188
R2	15.59189	12.52314	6.99259	10.71493	6.774739
R3	8.989808	6.926745	4.28432	7.00025	4.719645
加权方差	11.46562	8.527693	5.707939	8.237128	5.783267

## 5 结语

本论文采用改进微分进化算法的4种模式,对具有不同权重的多资源均衡问题进行优化。较之于遗传算法,该算法能够对多模态函数问题进行连续空间上的全局搜索;较之于CPM和PERT能处理具有不同权重的多资源均衡问题,并具有较高的收敛效率。如何选择更有效的模式以及如何如何进行参数选择并对其收敛性给出数学上的严格证明,如何将该算法推广到工程项目基于Pareto向量化最优解的

多目标优化等问题,也是十分有意义的研究领域。

### 参考文献:

- [1] 阳明盛,罗长童.最优化原理、方法及求解软件[M].北京:科学出版社,2006.
- [2] 雷英杰.MATLAB遗传算法工具箱及应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2005.
- [3] STORN R,PRICE K.DE—a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous space [J]. Technical Report TR-95-012, ICSI, 1995.
- [4] STORN R.Constrained optimization [J].Dr. Dobb's Journal, May 1995, 119-123.
- [5] 刘自发,闫景信.基于改进微分进化算法的电力系统无功优化[J].电网技术,2007,31(18):68-72.
- [6] GOLDBERG D E.Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning[Z].Addison-Wesley, 1989.
- [7] GRIEWANGK A O.Generalized Descent for Global Optimization [J]. JOTA, 1981, 34: 11-39.
- [8] 刘伟军,袁剑波.基于遗传算法的工程项目资源优化[J].计算机工程与应用,2006(21):180-182.
- [9] 丁建立,陈增强,袁著祉.基于混合蚁群算法的网络资源均衡优化[J].仪器仪表学报,2003,24(4):592-598.
- [10] 张连营,张金平,王亮.工程项目资源均衡的遗传算法及其MATLAB实现[J].管理工程学报,2004,18(1):52-55.

(责任编辑:王尚勇)