

基于电子优化算法的项目工期-成本优化

申建红¹, 杜怡萱¹, 韦佑鑫²

(1. 青岛理工大学管理学院, 山东 青岛 266520;

2. 中国建筑第八工程局一公司, 河南 郑州 453500)

摘要:针对不同工序多方案条件下的项目工期-成本优化问题, 引入了一种新的算法——电子优化算法 (Electimize). 在建立工期-成本优化的数学模型并简要介绍算法原理的基础上, 应用 MATLAB 软件对算法进行编程, 引入精英档案存储提高寻优效率, 实现了最低成本对应的最优工期搜索. 针对一个经典算例, 采用电子优化算法进行优化, 并将其结果与遗传算法和枚举法的结果进行对比, 进而验证了该算法的可行性与适用性.

关键词:工期-成本优化; 电子优化算法; 遗传算法; 精英档案

中图分类号: F281

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2013)04-0597-05

工期-成本优化 (time-cost trade-off problem (TCTP)) 对于保证工程项目的顺利实施以及企业经济效益的获得有重大意义, 其本质上属于典型的多目标、多变量、多约束的混合非线性组合优化问题, 即在一定的约束条件下, 为每个工序选择合适的实施方案, 以同时实现工期和成本目标的最优.

目前, 工期-成本优化问题的求解方法主要分为三类: 数学方法、简单启发式方法以及元启发式方法.

传统的数学方法, 可以得到最优解或满意解, 但计算量巨大、建模困难、容易陷入局部最优. 简单启发式方法基于经验规则、可以得到较为满意的解, 但数学严密性不足、不能保证最优, 故在解决复杂问题上潜力不大.

随着人工智能和计算机技术的发展, 诸如遗传算法、蚁群算法、粒子群算法等元启发式算法都在工期-成本优化问题上取得了一定成果. Feng CW, Liu L, Burns SA^[1] 引入遗传算法进行工期-成本分析; Heng Lit and Peter Love^{[2][3]} 改进了遗传算法; Sou-Sen Leu 等^[4] 将模糊集理论引入遗传算法中来解决不确定条件下工期-成本优化问题; Zheng D 等^{[5][6]} 应用改进自适应权重法 (MAWA) 转化多目标为单目标, 并运用遗传算法来寻优; Emad Elbeltagi^[7] 等比较了五种进化算法在工期-成本优化问题上的表现; 熊鹰, 匡亚萍^[8] 将蚁群算法与改进自适应权重方法 (MAWA) 结合, 找到问题的帕雷托前沿; I-Tung Yang^[9] 引入改进的粒子群算法, 它运用精英档案来贮存非支配解, 并指导进一步的搜索; Zong Woo Geem^[10] 利用现象模仿与和声算法来解决工期-成本寻优问题.

最近, Mohamed Abdel-Raheem 与 Ahmed Khalafallah^[11] 指出了现有方法的两个缺陷: 总是无差别地对待每一个可能的解, 而不考虑它们寻优潜力的差别; 忽略了周围环境的改变对物种行为的影响, 且算法中多采用未得到科学验证的经验公式. 之后, 他们提出了电子优化算法 (Electimize). 该算法模拟多支电路中多数电子选择阻值最小支路这一行为, 独立地评估系统中每个个体的表现水平, 且在进化过程中采用欧姆公式和柯西赫夫法则, 更为科学严谨, 可用于解决一些离散、组合型的优化问题.

因此本文尝试采用 Electimize 算法解决工期-成本优化问题. 首先, 建立了工期-成本优化的数学模型; 其次, 应用 MATLAB 软件对算法进行编程. 其中, 引入了精英档案^[9] 以存贮每次循环中较优的解,

收稿日期: 2012-11-16 修改稿日期: 2013-07-25

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目 (ZR2009FM045)

作者简介: 申建红 (1970-), 男, 山东青岛人, 博士, 教授, 主要从事土木工程风场实测及结构抗风、工程项目质量与安全及工程风险及信息管理方面研究.

在指导进一步的搜索的同时,避免对解的重复运算,提高效率.最后,引用一个经典的七工序案例^[12]与遗传算法进行对比来验证该算法的适用性和有效性.文末提出了模型与算法的不足及进一步研究的方向.

1 问题描述及数学模型

项目中的若干道工序按照一定的逻辑关系组成了网络计划,每道工序可以有多个实施方案,每个实施方案完成工序的持续时间和直接成本也不一样.这种多实施方案下的项目总工期可按如下公式计算:

$$ES_0 = 0 \quad (1)$$

$$ES_i = \max\{EF_k\}, k \in P_i \quad (2)$$

$$EF_i = ES_i + t_{ij} \quad (3)$$

$$T = EF_{n+1} \quad (4)$$

其中: ES_i (EF_i) 分别为工序 i 的最早开始(最早结束)时间; P_i 为工序 i 的紧前工序集合; t_{ij} 为工序 i 采用第 j 个方案时的持续时间; 工序 $0(n+1)$ 为虚拟的开始(结束)工序.

项目的总成本包括两个方面:直接成本与间接成本.直接成本等于所有工序直接成本之和,与工作量相关.项目间接成本包括对项目实施进行必要的管理、监督、检查、协调等工作的费用,与项目工期相关,工期越长,间接成本越大.综上所述,项目的总成本,即目标函数可表示为:

$$\text{Minimize}(C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{NS(i)} C_{ij} * X_{ij} + T \times C_d + C_l - W) \quad (5)$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{当第 } i \text{ 道工序不采用第 } j \text{ 个方案;} \\ 1, & \text{当第 } i \text{ 道工序采用第 } j \text{ 个方案.} \end{cases} \quad (6)$$

其中: C 为项目总成本; C_{ij} 为第 i 个工序采用第 j 种方案时的直接费用; $NS(i)$ 为第 i 道工序的方案总数; T 为总工期; C_d 为每日间接费用; C_l 为违约金; W 为对于施工进度加快的奖励.

2 电子优化算法^[11]

多枝电路中,电子总是倾向于选择电阻较小的线路,生成随阻值而变的电流强度.最近,受这一现象的启发, Mohamed Abdel-Raheem 等提出了 Electimize 算法^[11].该算法建立了多枝电路与应用模型之间的内在联系,如图 1 所示.

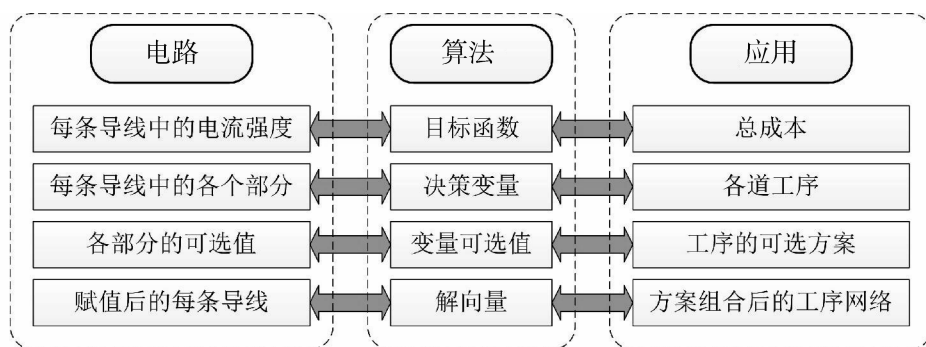


图 1 多枝电路、算法及模型之间的关系

Fig. 1 Relationship among multi-branch electric circuit, electimize and application model

算法从随机产生的导线群出发,通过对导线中电流强度的计算和评价来更新各部分导线的阻值,生成代表新的解向量的导线,逐渐迭代出越来越优的解.在首次提出算法后,作者又在电阻的构成、对照导线的选取、敏感性分析、电阻的更新、选择概率的计算等方面进行了改进^[13-14],考虑了各种随机与现实的因素,使算法更为符合实际,同时加快了收敛进程.算法流程见图 2.作为一种富有潜力的新型进化算法,其在工期-成本优化问题上的应用性能与效率还未得到广泛的验证与认可.故本文采用该算法对一经典的工程实例进行搜索寻优,并将其结果与遗传算法的结果进行对比来检验算法的收敛水平与效率.

3 Electimize 算法的案例应用

3.1 工程实例

本文选用文献[12]中的经典案例,其网络计划如图3所示.每道工序有3到5个不等的可选方案,具体信息见表1,间接成本取1 500元/天.

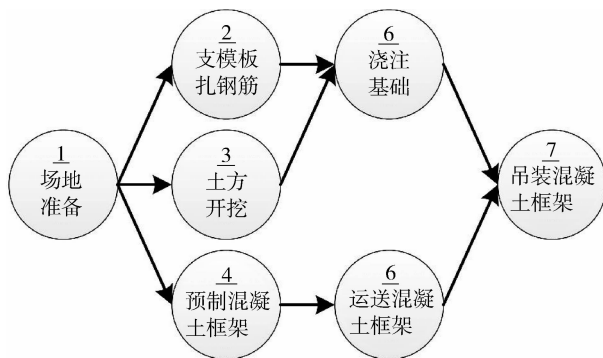


图3 案例网络图

Fig. 3 The Network of the Case

本文应用 MATLAB 软件对算法进行编程,其强大的功能不仅可实现最优解的搜索,还可保证工序间的逻辑关系、统计结果分析并绘制成图,且不必与 Microsoft Office Project、EXCEL 等软件之间交互使用,省略了变量的存储、读取等步骤,加快了运算速度.本算例构建了15条导线,完成了16次循环,每次循环有6条导线进入敏感性分析.

3.2 结果分析与讨论

对于该算例,枚举法共需搜索 $4\ 860 (=3^5 \times 5 \times 4)$ 个可行解,而采用电子优化算法得到的解库规模为 $240 (=15 \times 16)$,即在搜索了240个可行解后找出了最优解:总成本为22.05万元,对应最优工期为68 d.图4为程序初始解与最终解的目标函数值分布,可以看出算法逐渐收敛,目标函数值有明显改进.与初始循环的随机分布相比,最终循环中,大部分目标函数值聚集在最优值附近,只有2个由于轮盘赌法则的随机性出现较大偏离,由此可知该算法收敛效率较高.

表1 案例具体信息

Tab. 1 Information in details

工序编号	1			2					3			4
方案编号	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	1
持续时间/d	14	20	24	15	18	20	30	60	15	22	33	12
直接成本/元	23 000	18 000	12 000	3 000	2 400	1 800	1 500	1 000	4 500	4 000	3 200	45 000
工序编号	4			5					6			7
方案编号	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3
持续时间/d	16	20	22	24	28	30	14	18	24	9	15	18
直接成本/元	35 000	30 000	20 000	17 500	15 000	10 000	40 000	32 000	18 000	30 000	24 000	22 000

文献[12]采用遗传算法对其求解,找到三个帕雷托解,与本算法的对比结果见表2.由此可知电子优化算法得出了遗传算法未搜索到的、总成本更低的最优解.这是由于阻值更新与选择算子能保证对解空间的全局搜索,尽可能避免算法陷于局优.

由于该算法求出的是对应最低成本的最优工期,而遗传算法得出的是形成最优工期-成本曲线的帕

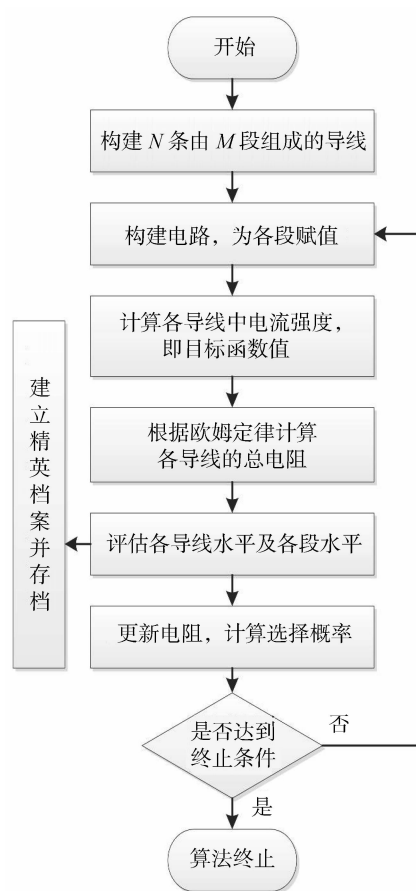


图2 算法流程图

Fig. 2 Flow chart of electimize

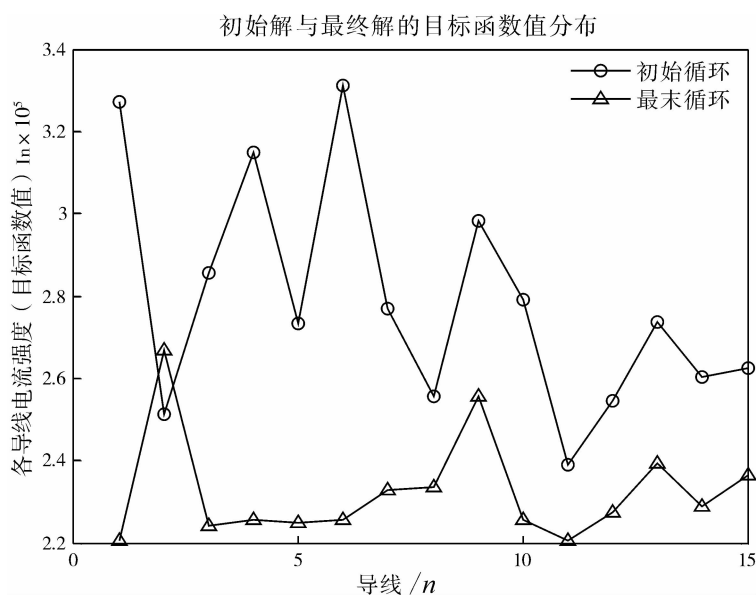


图4 程序初始解与最终解的目标函数值分布

Fig. 4 The Distribution of the objective function value at the first and the last iteration

里托前沿,为进行对比,比较遗传算法的帕里托解集各工期下两种结果对应的总成本,结果见表3。由表3可知,对于遗传算法解集中的各工期,该算法搜索到的对应总成本低于或等于遗传算法中的总成本。

综上可知,电子优化算法解库规模较小,且在解的质量上要优于遗传算法,可适用于工期成本优化问题。

表2 两种算法的算例结果对比

Tab. 2 Results generated by the genetic algorithm and electimize

算法	解向量的序号	工期/d	总成本/万元
遗传算法	{1,1,1,3,3,2,1}	66	23.65
	{1,1,2,2,3,2,1}	73	25.15
	{3,4,1,3,3,2,1}	84	25.10
电子优化算法	{1,1,1,3,4,3,1}	68	22.05

表3 两种算法不同工期所对应的总成本对比

Table 3 Comparison between the total cost corresponding to different time of the two algorithms

工期/d	总成本/万元		Electimize 算法对应的解向量
	遗传算法	电子优化算法	
66	23.65	23.65	{1,1,1,3,3,2,1}
73	25.15	23.63	{1,3,2,2,3,3,1}
84	25.10	23.93	{3,3,1,2,1,3,3}

4 结论及未来研究方向

工程项日期-成本的优化是典型的 NP-hard 问题,关键在于高效地解决组合爆炸,寻找最优解或较满意的解。从上述算例可以看出,电子优化算法对该问题的求解是十分适用的,但算法自身并不十分完善,在工期-成本优化中的应用还有很多地方有待改进,主要有以下四个方面:

(1) 本文所解决的是对应最低成本的最优工期,而实际工程中,有的决策者可能侧重于寻找对应最短工期的最低成本,故可尝试将本算法与帕里托解结合,得出帕里托前沿以供决策者根据自身情况加以甄选。

(2) 本文仅对工期与成本两大目标进行优化,而资源、质量、健康、环境以及安全等要素亦不可忽视。

(3) 本文未考虑实际工程中的不确定性,而随机型网络计划的工期成本优化问题,将是日后研究的重点。

(4) 目前,电子优化算法的参数主要由实验得出,缺乏一定的理论指导。在笔者对算法程序的反复运行中发现,参数的设置对算法的收敛进程影响很大。此外,该算法在选择算子、敏感性分析、阻值的更新等方面未必绝对是最优的,因而,该算法需要得到更多的验证及改进,才会日趋成熟并更为高效、广泛地应用。

参考文献 References

- [1] FENG Chung-wei, LIU Liang, BURNS Scott A. Using genetic algorithms to solve construction time-cost trade-off problems [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 1997, 11(3):184-189.
- [2] LI Heng, LOVE Peter. Using improved genetic algorithms to facilitate time-cost optimization [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1997, 123(3):233-237.
- [3] LI Heng, Cao J, LOVE Peter. Using machine learning and genetic algorithm to solve time-cost trade-off problems [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1999, 125(5):347-353.
- [4] LEU Sou-sen, CHEN An-Ting, YANG Chung-huei. A GA-based fuzzy optimal model for construction time-cost trade-off [J]. International Journal of Project Management, 2001(19):47-58.
- [5] ZHENG D X M, Ng S T, KUMARASWAMY, M M. Applying a genetic algorithm-based multi-objective approach for time-cost optimization [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2004, 130(2):168-176.
- [6] ZHENG D X M, Ng S T. Stochastic time-cost optimization model incorporating fuzzy sets theory and non replaceable front [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2005, 131(2):176-186.
- [7] ELBELTAGI Emad, HEGAZYB Tarek, GRIERSON Donald. Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms [J]. Advanced Engineering Informatics, 2005(19):43-53.
- [8] 熊 鹰, 匡亚萍. 基于蚁群算法的施工项目工期-成本优化[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 3(3), 105-111. XIONG Ying, KUANG Ya-ping. Time-Cost Trade-Off of Construction Project based on Ant Colony Algorithm [J]. Systems Engineering 2007, 3(3), 105-111.
- [9] YANG I T. Using elitist particle swarm optimization to facilitate bi-criterion time-cost trade-off analysis [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2007, 133(7):498-505.
- [10] ZONG Woo Geem. Multi-objective Optimization of Time-Cost Trade-Off Using Harmony Search [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2010, 136(6):711-716.
- [11] KHALAFALLA Ahmed, ABDEL-RAHEEM Mohamed. Electimize: New Evolutionary Algorithm for Optimization with Application in Construction Engineering [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2011, 25(3):192-201.
- [12] LIU Liang, BURNS Scott A, FENG Chung-wei. Construction time-cost trade-off analysis using LP/IP hybrid method [J]. Journal of Construction Engineering Management, 1995, 121(4):446-454.
- [13] ABDEL-RAHEEM Mohamed, KHALAFALLA Ahmed. Using Electimize to Solve the Time-Cost-Tradeoff Problem in Construction Engineering [C]. Computing in Civil Engineering, 2011, 250-257.
- [14] ABDEL-RAHEEM Mohamed, KHALAFALLA Ahmed. Introduction of a New Optimization Mechanism for Electimize [C]//2011 UKSim 13th International Conference on Modelling and Simulation, 2011:8-13.

Time-cost trade-off of project based on electimize

SHEN Jian-hong¹, DU Yi-xuan¹, WEI You-xin²

(1. School of Management, Qingdao Technological University, Qingdao 266520, China;

2. The First Company Engineering Bureau LTD, Zhengzhou 453500, China)

Abstract: Aiming at time-cost trade-off problem in which each activity has several optional methods respectively, a new algorithm named electimize was introduced. Based on establishing the mathematical model and introducing briefly the principle of electimize, MATLAB was adopted to code the algorithm, Elitist archive was embedded to accelerate the searching for optimal solutions, and finally the optimal time corresponding to the least cost was attained. Finally, a classical case was tested using electimize, and its result was compared with that of genetic algorithm and Enumeration method, which demonstrated the feasibility and applicability of electimize.

Key words: time-cost trade-off problem; electimize; genetic algorithm; elitist archive