

# 基于遗传-禁忌算法的应急救援前摄性调度优化

张全全<sup>1</sup>, 谭文安<sup>1,2</sup>

(1. 南京航空航天大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南京 210016;

2. 上海第二工业大学 计算机与信息学院, 上海 201209)

**摘要:**应急救援活动本身具有不确定性和复杂性的特点。为了对救援活动的顺利开展进行支持,文中以最小化救援损失为目标,研究应急救援前摄性调度优化问题。首先对问题进行界定,对问题进行符号化表示,并由此定义出资源约束下的救援计划调度优化模型。根据救援活动的紧急程度分配优先级,并定义出优化目标函数。该问题是强 NP-hard 的,由此根据现代优化算法的特点设计出遗传禁忌启发式算法。最后通过对某事故救援数据进行分析模拟对提出的算法进行说明。结果表明,该算法可以有效对优化模型进行求解。该研究可为突发事件的应急救援活动的开展提供决策支持。

**关键词:**前摄性调度;遗传算法;禁忌算法;应急救援

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)06-0119-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.06.026

## Proactive Scheduling Optimization of Emergency Rescue Based on Hybrid Tabu-genetic Optimization Algorithm

ZHANG Quan-quan<sup>1</sup>, TAN Wen-an<sup>1,2</sup>

(1. School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,  
Nanjing 210016, China;

2. School of Computer and Information, Shanghai Second Polytechnic University, Shanghai 201209, China)

**Abstract:** Emergency rescue and relief is complicated and uncertain. Proactive scheduling is essential to provide decision support for emergency rescue. In this paper, first the problem is defined and signified, thus defining the rescue plan scheduling optimization model under the restriction of resources. According to the degree of emergency for rescue activities, the priority is assigned and the optimal objective function is defined. The problem is NP-hard. Then a genetic-tabu heuristic algorithm is designed in accordance with the features of modern optimal algorithms. Finally, it is elaborated by analysis and simulation of accident rescue data. Experiment shows that the algorithm can effectively solve the optimal model. The research can be able to provide the decision support for emergency rescue of accident.

**Key words:** proactive scheduling; genetic algorithm; tabu algorithm; emergency rescue

## 0 引言

伴随着经济的高速增长,各类安全事故频发,给经济发展和社会稳定造成了不小的影响。及时有效的救援可以最大程度挽救生命财产的损失。为了应对各种突发事件,国家和企业在应急救援方案的制定和实施上投入了大量人力、物力和财力。由于突发事件固有的不确定性,想要高效地开展救援计划并非易事<sup>[1]</sup>。因此,合理科学的应急救援计划对于优化资源利用率、

保证救援活动的开展具有很大的指导意义<sup>[2-3]</sup>。

前摄性调度是指基于同类突发事件的历史数据,在救援活动不确定性的基础上,预先对应急救援活动进行规划并形成救援计划<sup>[4-5]</sup>。通过对历史资料的分析,可以结合救援目标,合理地进行推测,进而形成救援活动的计划<sup>[6]</sup>。

文中基于已发生事件的各项数据,结合对未来事件的预测,以最小化救援损失为目标,提出了资源约束下的应急救援计划。

收稿日期:2015-09-17

修回日期:2015-12-23

网络出版时间:2016-05-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(6127036);江苏省高校自然科学研究面上项目(15KJB520005);上海第二工业大学重点学科(XKKZD1301)

作者简介:张全全(1989-),男,硕士研究生,研究方向为大规模应急资源布局与调度;谭文安,教授,CCF 高级会员,研究方向为软件构架技术、协同计算、服务计算与知识管理、信息化工程及其支持环境研究等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160525.1709.054.html>

1 问题描述

对于某个突发事件,其救援过程可以表示为一个 AoN 网络<sup>[7]</sup>,每个节点代表救援活动,活动间的连线代表活动间的逻辑关系。救援活动  $i$  的救援时间为  $d_i$ ,其对资源的需求为  $r_i$ ,资源总量为  $R$ 。在没有资源约束的情况下,救援活动计划为  $U_0 = (u_{01}, u_{02}, \dots, u_{0n})$ 。

由于资源约束的存在,每个时刻的资源总量一定,因此需要对初始救援计划进行调整。为每个救援活动定义一个权重系数  $\lambda_i$ ,用来反映活动的原定开始时间每延迟一个单位所带来的相对损失。换言之,  $\lambda_i$  越大,该救援活动越重要。由于活动延迟造成的相对损失表示为  $\lambda_i(u_i - u_i^0)$ ,文中研究的调度优化问题的目标是 minimized 救援计划的损失。

2 优化模型

救援计划调度优化模型如下所示。

$$\min \text{Loss} = \sum_{i=1}^n [\lambda_i(u_i - u_i^0)] \tag{1}$$

s. t.

$$u_i = u_i^0, n \in F^T \cap P^T \tag{2}$$

$$u_j \geq u_i + d_i, i \in V_i \tag{3}$$

$$\sum_{i \in P^T} r_i \leq R \tag{4}$$

$$u_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \tag{5}$$

其中,  $F^T$  为已完成活动集合;  $P^T$  为正在进行的活动集合;  $V_i$  为活动  $i$  的紧后集合。(1)为目标函数,即最小化因计划调整而导致的损失;约束条件式(2)将计划调整时已完成救援活动的开始时间定义为初始计划开始时间;(3)用来约束活动之间的逻辑关系;(4)是资源约束,即某一时刻各救援活动所需要的资源总量不能大于现有资源总量;(5)为决策变量的定义域约束。

3 遗传禁忌混合算法

文献[8]被认为是遗传算法(GA)与禁忌算法(TS)进行混合的理论基础。文中将遗传变异操作后得到的每一条染色体作为 TS 的初始解  $S^{\text{ini}}$ ,然后从邻域中选一个可行解  $S^{\text{nei}}$ ,从  $S^{\text{ini}}$  移动到  $S^{\text{nei}}$ ,再从  $S^{\text{nei}}$  开始继续搜索,直到得到最优解。因为 TS 中引入了禁忌表,所以可避免循环和陷入局部最优。特赦准则为当一个移动被禁忌,但该移动的动作能使当前解优于禁忌搜索过程中搜索到的最优解时,则忽视禁忌。

文中在遗传算法中结合禁忌操作,经过遗传操作产生新一代后,对子种群采用 TS 快速搜索到每一编码链附近的局部最优解,可以避免陷入局部极小<sup>[9-14]</sup>。

3.1 编 码

编码:采用符号编码,该编码由  $n$  个活动开始时间组成。

适应度函数:目标函数的值越大,表明其适应度越低。

初始种群的产生:在不违反逻辑关系的前提下,安排一个活动序列,该序列由  $n$  个活动组成。

3.2 选 择

文中采用如下选择策略:将每代群体中的候选解按适应度由大到小排列,将排在第一位的最佳个体直接复制进入下一代;下一代群体的另外  $n-1$  个候选解则根据前代群体的  $n$  个个体的适应度,计算上代群体中所有个体适应度的总和,再计算每个个体的适应度所占的比例,作为其被选择的概率。

3.3 交 叉

对每一次的候选解,按一定的交叉概率  $p_1$  进行交叉操作。

- (1)从待交叉个体集合中选定一个染色体。
- (2)产生  $0 \sim 1$  之间的随机数  $r_1$ ,决定染色体是否交叉。如  $r_1 < p_1$ ,执行第三步;否则,直接复制染色体到下一代,返回第一步。
- (3)依随机产生  $1 \sim n$  之间的随机数  $r_2$  和  $r_3$ ,将两个位置的元素交换。

3.4 变 异

- 变异概率为  $p_2$  的变异算子实现步骤如下:
- (1)产生  $0 \sim 1$  之间的随机数  $r_3$ ,判断是否需要变异。如果  $r_3 < p_2$ ,执行第二步;否则,保留该个体到下一代。
  - (2)随机产生  $1 \sim n$  之间的随机数  $r_4$  和  $r_5$ ,逆转  $r_4$  和  $r_5$  两点的基因排列顺序。

3.5 禁忌邻点

1)在某个时间发生变化时,在未发生的活动集合中,忽略资源约束的前提下,利用动态关键路径法计算其余活动的时间窗。

2)从未发生的活动集合中随机选择一个活动,使其满足逻辑和资源约束。

- 具体算法步骤如下:
- (1)初始种群,计算种群中个体的适应度。
  - (2)根据适应度按最佳个体复制和轮盘赌方法选择下一代染色体。
  - (3)按交叉概率  $p_1$  执行交叉。
  - (4)按变异概率  $p_2$  执行变异。
  - (5)对变异后的染色体进行筛选,对不符合逻辑约束的  $m$  个候选解进行过滤,然后根据适应度对新的种群补充  $m$  个染色体,转步骤 4。
  - (6)对新产生的种群进行禁忌搜索。

①分别将种群中的每个染色体作为禁忌搜索的初始解,独立进行如下步骤。

②计算初始解  $S^{ini}$  的目标函数值  $Loss^{ini}$ 。定义禁忌算法的终止条件,即探测可行解的总数  $N$ 。初始化禁忌表,令计数  $num = 0$ 。

③生成  $S^{ini}$  的一个邻点  $S^{nei}$ , 计算其函数值  $Loss^{nei}$ , 检查该点是否位于禁忌表内,若是转步骤⑤;否则转步骤④。

④令  $S^{nei}$  为当前解,更新禁忌列表,若  $Loss^{nei} < Loss^{min}$ , 令  $Loss^{min} = Loss^{nei}$ ,  $S^{nei}$  为最优解,  $num + 1$ , 转步骤⑥, 否则直接转⑥。

⑤若  $Loss^{nei} < Loss^{best}$ , 激活该邻点移动的禁忌状态,令  $S^{nei}$  为当前解,  $Loss^{best} = Loss^{nei}$ ,  $num + 1$ , 更新禁忌表转步骤⑥;否则转步骤③。

⑥判断是否符合终止条件  $n \geq N$ , 若成立转步骤⑦;否则转步骤③。

⑦返回搜索到的满意解及其目标函数值。

(7)判断是否满足遗传算法迭代次数,若满足,在种群中筛选  $Loss$  值最低的染色体,停止算法并输出优化结果,否则转步骤3对新种群继续操作。

### 4 实验

根据某事故数据(见图1)提取出实验所需各项指标,如表1所示。

表1 活动计划表

编号	活动工期	权重	资源	编号	活动工期	权重	资源
1	1	0	1	10	5	6	15
2	1	10	10	11	6	9	4
3	2	5	15	12	6	9	22
4	2	5	4	13	8	5	5
5	5	12	10	14	8	4	15
6	6	4	15	15	7	8	10
7	6	8	17	16	5	7	8
8	4	6	6	17	4	10	4
9	3	10	12	18	1	20	10

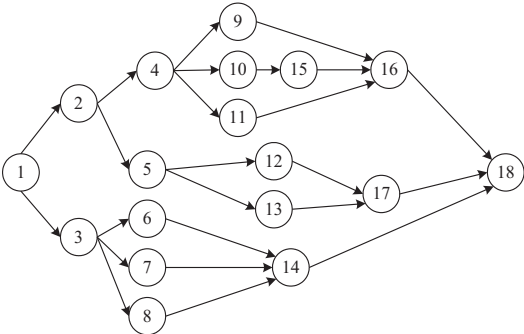


图1 算例的AoN网络图

忽略资源约束的情况下,各活动可以在由关键路径决定的最早时间执行,此时造成的损失为0,如图2

所示。考虑资源约束(本例中设同一时刻资源总量为55),如图3所示,则可能在某一时间发生活动对资源需求总量超过了资源上限,此时就需要对原来的活动序列进行调整,如表2所示。

表2 调整前后活动开始时间变化对照

活动编号	活动工期	开始时间	调整后开始时间	时间变化	活动编号	活动工期	开始时间	调整后开始时间	时间变化
1	1	0	0	0	10	5	4	9	5
2	1	1	1	0	11	6	4	4	0
3	2	1	1	0	12	6	7	7	0
4	2	2	2	0	13	8	7	13	6
5	5	2	2	0	14	8	9	14	5
6	6	3	10	7	15	7	9	9	0
7	6	3	3	0	16	5	16	16	0
8	4	3	3	0	17	4	15	15	0
9	3	4	4	0	18	1	21	21	0

利用前述的遗传禁忌算法,可以求得该救援项目的满意解为:

(0,1,1,2,2,10,3,3,4,9,4,7,13,14,9,16,15,21)

此时的损失值  $Loss^{best}$  为88。

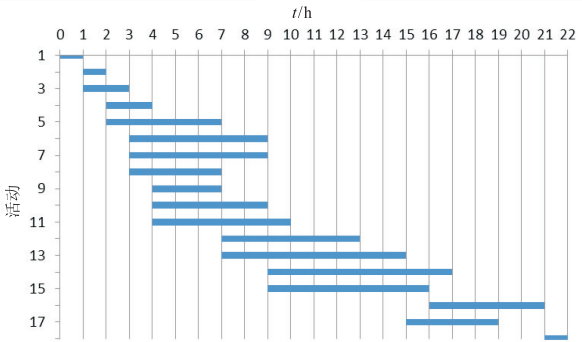


图2 无资源约束下的活动执行

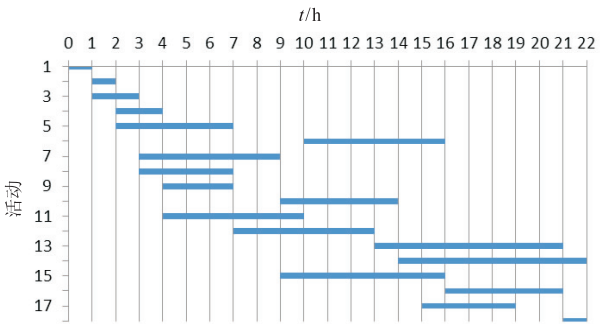


图3 资源约束下的活动执行

### 5 结束语

文中以最小化救援损失为目标,对救援活动进行前摄性调度优化,并由此形成救援计划。通过对问题的界定提出了调度优化模型。设计了遗传禁忌算法,结合遗传算法与禁忌算法的优点,求得问题的最优解。

最后通过一个算例说明算法的可行性。

活动执行无逻辑约束的可以同时进行,但是由于资源约束的存在使得原本可以同时开始的活动面临先后执行的问题。此时根据权重进行排序,先满足优先权高的活动,执行完后再为优先权低的活动进行资源调配,这样造成的损失最小。该研究可为应急救援的开展提供决策支持。

#### 参考文献:

- [1] 黄 钧,杨文国,朱建明. 应急资源体系研究状况与主要研究问题[J]. 中国应急管理,2009(2):10-13.
- [2] 曹 杰,杨晓光,汪寿阳. 突发公共事件应急管理研究中的重要科学问题[J]. 公共管理学报,2007,4(2):84-93.
- [3] 刘 茂,王 炜. 应急资源优化管理研究的主要问题[J]. 中国应急管理,2007(7):31-34.
- [4] Lambrechts O, Demeulemeester E, Herroelen W. A tabu search procedure for developing robust predictive project schedules[J]. International Journal of Production Economics,2008,111(2):493-508.
- [5] Vonder S V D, Demeulemeester E, Herroelen W. Proactive heuristic procedures for robust project scheduling: an experimental analysis[J]. European Journal of Operational Research,2008,189(3):723-733.

(上接第 118 页)

知和并发控制技术,并实现了“协同搬凳”实例。测试表明,基于 VRML 的协同虚拟现实系统能满足低带宽、实时性要求,文中提出的定时采集和发送数据的方法,满足了多用户协同虚拟现实的需要。

#### 参考文献:

- [1] 何正伟,吴华意,陈 静. 基于 Internet 的大规模城市建筑三维场景可视化研究[J]. 系统仿真学报,2009,21(10):2965-2970.
- [2] 周博飞,李绪华,张学之. 3 维城市模型建模方法分类与建模流程探讨[J]. 测绘与空间地理信息,2012,35(6):138-139.
- [3] 许爱军,张文金,黄正午. 多用户共享虚拟环境中 VRML 系统模型[J]. 计算机系统应用,2010,19(1):27-30.
- [4] 唐新明,张 过,祝小勇,等. 资源三号测绘卫星三线阵成像几何模型构建与精度初步验证[J]. 测绘学报,2012,41(2):191-198.
- [5] 林建明. CSCW 环境下基于信息驱动的群体感知建模及实现方法研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2001.
- [6] Funkhouser T A, Sequin C H, Teller S J. Management of large amounts of data in interactive building walkthroughs[C]//

- [6] Schatteman D, Herroelen W, Vonder S V D, et al. A methodology for integrated risk management and proactive scheduling of construction projects[J]. Journal of Construction Engineering & Management,2008,134(11):1-28.
- [7] Elmaghraby S E. Activity nets: a guided tour through some recent developments[J]. European Journal of Operational Research,1995,82(3):383-408.
- [8] Glover F, Kelly J P, Laguna M. Genetic algorithms and tabu search: hybrids for optimization[J]. Computers & Operations Research,1995,22(1):111-134.
- [9] Nowicki E, Smutnicki C. A fast taboo search algorithm for the job shop problem[J]. Management Science,1996,42(6):797-813.
- [10] 王 凌. 智能优化算法及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [11] Liang Xu, Huang Ming. Application of tabu search-parallel genetic algorithm for job-shop scheduling[J]. Computer Integrated Manufacturing System,2005,11(5):678-681.
- [12] 徐 宁,李春光,张 健,等. 几种现代优化算法的比较研究[J]. 系统工程与电子技术,2002,24(12):100-103.
- [13] 李大卫,王 莉,王梦光. 遗传算法与禁忌搜索算法的混合策略[J]. 系统工程学报,1998,13(3):28-34.
- [14] 王赛一,王成山. 遗传禁忌混合算法及其在电网规划中的应用[J]. 电力系统自动化,2004,28(20):43-46.

Proceedings of the 1992 symposium on interactive 3dgraphics. New York, NY, USA: ACM,1992:11-20.

- [7] 张瑞菊. SketchUp 结合 Google Earth 在虚拟校园中的应用[J]. 计算机应用,2013,33(S1):271-272.
- [8] 毕硕本,曾晓文,潘秋羽,等. 基于粒子系统的卫星云图三维仿真与简化算法[J]. 系统仿真学报,2014,26(11):2630-2635.
- [9] 庞存岐,丘 均,蔡声镇. 大规模室外场景中漫游实时渲染技术研究[J]. 福建师范大学学报:自然科学版,2013,29(3):37-41.
- [10] 许爱军,张文金,易 丹. 基于虚拟现实技术的远程教育平台研究与实现[J]. 计算机系统应用,2007,16(8):23-26.
- [11] 马延周. 虚拟场景中协同感知技术研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2008.
- [12] 许爱军,张文金,易 丹. 基于 VRML 的虚拟现实技术及应用[J]. 计算机与数字工程,2009,37(4):186-189.
- [13] 行开新,田 凌. 支持异地协同设计的异构 CAD 虚拟装配系统[J]. 清华大学学报:自然科学版,2009,49(2):226-231.
- [14] Wang Jiaojiao, Wang Lei, Cao Wenmin, et al. A 'drift' algorithm for integrating vector polyline and DEM based on the spherical DQG[C]//Proc of IOP conference series: earth and environmental science. UK: IOP Publishing,2014.