

陈湑,林勇.大数据分析背景下地震后紧急物流资源调度模型设计[J].地震工程学报,2018,40(6):1343-1349.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.06.1343

CHEN Tian,LIN Yong.Design of a Model for the Scheduling of Emergency Logistics Resources after Earthquakes against the Background of Big Data Analysis[J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(6):1343-1349.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.06.1343

# 大数据分析背景下地震后紧急物流资源 调度模型设计

陈 湑<sup>1</sup>, 林 勇<sup>2</sup>

(1. 福州理工学院, 福建 福州 350000; 2. 福建商学院, 福建 福州 350000)

**摘要:** 在地震后伤员救治和紧急物流资源配送时,传统基于轮询调度算法的调度模型存在效率低的问题。针对这一问题,设计一种大数据分析背景下地震后紧急物流资源调度模型。根据受灾点的物资需求量和伤员的救治需求,以最低损耗为目的,在车辆和直升机调度时设计地震后紧急物流资源的调度模型;在此基础上采用遗传调度算法,通过初始化种群获取模型中的多种资源调度策略,根据子代种群的适应度值计算资源调度路径的选择概率,经过交叉和变异实现高效快速的地震后紧急物流资源调度。实验结果表明,所设计模型可对震后救援资源的高效调度起到良好指导作用。

**关键词:** 大数据; 分析背景; 地震; 紧急物流; 资源调度; 模型设计

中图分类号: F252

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)06-1343-07

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.06.1343

## Design of a Model for the Scheduling of Emergency Logistics Resources after Earthquakes against the Background of Big Data Analysis

CHEN Tian<sup>1</sup>, LIN Yong<sup>2</sup>

(1. Fuzhou Institute of Technology, Fuzhou 350000, Fujian, China;

2. Fujian Business University, Fuzhou 350000, Fujian, China)

**Abstract:** A model for the scheduling of emergency logistics resources after earthquakes was designed against the background of big data analysis to address the low efficiency of the traditional resource scheduling model, which is based on the round robin scheduling algorithm. Vehicle and helicopter schedules were established with the purpose of loss minimization and in accordance with the material demand of affected sites and the treatment demand of casualties. In the model, the genetic scheduling algorithm was used to obtain multiple resource scheduling strategies through population initialization. The selection probability of the resource scheduling path was

收稿日期:2018-08-20

基金项目:2018年福建省本科高校教育教学改革研究项目(FBJG20180063);福建省教育科学“十三五”规划2018年度课题立项(FJJKCG18-025);2018年度“福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划”福建省教育厅闽教科[2018]31号;国家重点研发计划项目(2017YFC0804400);2017年福建省本科高校重大教育教学改革项目(FBJG20170129)

第一作者简介:陈 湑(1982-),女,福建福州人,硕士,副教授,研究方向:物流管理。E-mail:city520@foxmail.com。

通信作者:林 勇(1975-),男,福建福州人,硕士,教授,研究方向:大数据云计算,通信与信息系统。E-mail:31735934@qq.com。

calculated in accordance with the subpopulation fitness value. Experimental results showed that the designed model can guide the efficient dispatching of postearthquake rescue resources.

**Keywords:** big data; analysis background; earthquake; emergency logistics; resource scheduling; model design

## 0 引言

随着科学技术的发展,计算机和互联网以多种形式影响着人们的日常工作和生活,科技网络不仅规模巨大而且正在快速增长,并逐渐引用到各个重要领域。轮询调度算法的原理是每一次把来自用户的请求轮流分配给内部中的服务器,从1开始,直到 $N$ (内部服务器个数),然后重新开始循环。轮询调度算法的优点是其简洁性,它无需记录当前所有连接的状态,所以它是一种无状态调度。但是由于轮询调度模型是理想化模型,实际应用中依旧存在效率低的问题。地震灾害频发造成严重的人员伤亡和财产损失,面对频繁发生的地震灾害,需要借鉴科技网络的力量,构建地震后紧急物资资源调度模型,以最大限度地降低人员伤亡和财产损失为目的,满足灾区人们对物资的急切需求。大量的数据分析和计算为紧急物资的处理和分配带来了极大的挑战,云计算在整合和管理海量资源方面具有显著效果,以Google提出的MapReduce模型为例,该模型在大数据的批处理方面有明显优势,提升了数据的运算的效率。

文献[1]提出面向多灾点需求的应急资源调度博弈模型及优化,但在对多受灾点进行紧急物资配送时,存在配送路径繁琐的弊端;文献[2]提出基于模糊案例推理的预测技术,向地震灾区采取模糊集运算方式调度物资,考虑到获取灾点信息较少,且计算方式会出现真值上的偏差,因此可能存在物资调度不合理的问题。针对这些问题,设计一种大数据分析背景下地震后紧急物流资源调度模型,可以有效提升紧急物资的配送效率。

## 1 大数据分析背景下地震后紧急物流资源调度模型设计

大数据分析背景下设计的地震后紧急物流资源调度模型主要针对两方面,即伤员的运输与救助灾区紧急物资的配送。由于地震对交通有很强的损毁效果,因此该模型也考虑到多种交通工具的协调调度问题<sup>[3]</sup>,以达到在最短时间内运输最多伤员和物资的目的。

### 1.1 地震后紧急物流资源调度模型构建

大数据分析背景下地震后紧急物流资源调度模型的构建依赖以下的目标函数和限制条件<sup>[4]</sup>,用于

表示地震灾区尚未满足的总损失量为目标函数[式(1)]。该函数由两部分构成,分别是地震后的伤员数目和所需物资数量。

$$\min f_1 = |O_j^1 + O_j^2 - \sum_{i,j \in S} \sum_{k \in M} \sum_{p \in N} (MQ_k \times x_{ij}^k + NQ_p \times y_{ij}^p | \partial_o + |Q_j^1 + Q_j^2 - \sum_{i,j \in S} \sum_{k \in M} \sum_{p \in N} (MQ_k \times x_{ij}^k + NQ_p \times y_{ij}^p | \partial_Q) \quad (1)$$

式中: $Q_j^1$ 、 $Q_j^2$ 分别为地震受灾点 $j$ 的紧急物资和普通物资所需量; $O_j^1$ 和 $O_j^2$ 为受灾点 $j$ 的重伤和轻度受伤的人员数量<sup>[5]</sup>; $\partial_o$ 和 $\partial_Q$ 分别代表灾区的待急救人员和所需物资未满足的惩罚因子; $MQ_k$ 和 $NQ_p$ 分别为急救车辆和直升机的最大运输空间; $M$ 以及 $N$ 分别表示急救车辆和直升机的集合, $k$ 以及 $p$ 分别表示急救车辆以及直升机数量, $S$ 表示地震灾后集合点数量; $x_{ij}^k$ 和 $y_{ij}^p$ 为决策变量,当该值为1时,表明由点 $i$ 到 $j$ 间的运输为汽车或飞机,当该值为0时,说明无运输设备。

$$\min f_2 = \sum_{k \in M} D_k \times z_k + \sum_{p \in N} D_p \times g_p + \sum_{k \in M} \sum_{i,j \in S} C_k \times d_{ij} \times x_{ij}^k + \sum_{p \in N} \sum_{i,j \in S} C_p \times d_{ij} \times y_{ij}^p \quad (2)$$

目标函数[式(2)]为车辆运输和直升机运输的最低损耗。 $i, j \in S$ 是 $\{A\}$ 和 $\{B\}$ 的并集,是紧急物资配送中心和地震受灾点的集合。 $M = \{k | k = 1, 2, \dots, k\}$ 和 $N = \{p | p = 1, 2, \dots, p\}$ 分别为车辆和直升机集合; $D_k$ 和 $D_p$ 分别代表运输车辆和直升机的固定成本<sup>[6]</sup>。单位距离内车辆和直升机的运输成本用 $C_k$ 和 $C_p$ 表示。

对于式(2)目标函数设置的约束条件是:

$$\sum_{k \in M} \sum_{i \in S} x_{ij}^k = 1; \forall j \in B \quad (3)$$

$$\sum_{p \in N} \sum_{i \in S} y_{ij}^p = 1; \forall j \in B \quad (4)$$

式(3)、(4)表示运输车辆和直升机在某救治点处的服务过程,且车辆和直升机均服务一次<sup>[7]</sup>。 $B$ 表示地震灾后的集合点。

$$\sum_{j \in B} (O_j^1 + O_j^2) \leq Q_A \quad (5)$$

$$\sum_{j \in B} (Q_j^1 + Q_j^2) \leq Q'_A \quad (6)$$

式(5)和(6)说明输送伤员和救灾物资的数量应在配送中心的服务限度内。 $Q_A$ 和 $Q'_A$ 为配送中心的救治伤员和配送物资的最大处理能力。

$$\sum_{i \in S} x_{ij}^k - \sum_{i \in S} x_{ji}^k = 0; \forall j \in S, k \in M \quad (7)$$

$$\sum_{i \in S} y_{ij}^p - \sum_{i \in S} y_{ji}^p = 0; \forall j \in S, p \in M \quad (8)$$

式(7)和(8)表示在车辆和直升机完成运输任务后需立刻从该处离开<sup>[8]</sup>。

$$\sum_{k \in M} x_{ij}^k \leq |R| - 1; \forall i, j \in B \quad (9)$$

$$\sum_{p \in N} y_{ij}^p \leq |R| - 1; \forall i, j \in B \quad (10)$$

式(9)和(10)代表不完整的环路路径,即将不必要的支路去除, $R$ 是所有地震受灾点的集合。

$$t_j^k = t_i^k + T_{ij}^k \times x_{ij}^k; \forall i \in S, \forall j \in B, \forall k \in M \quad (11)$$

$$t_j^p = t_i^p + T_{ij}^p \times y_{ij}^p; \forall i \in S, \forall j \in B, \forall p \in N \quad (12)$$

式(11)、(12)用于描述急救车辆和直升机抵达受灾点后的用时; $t_j^k$ 和 $t_j^p$ 分别为运输车辆和直升机抵达灾区的时刻; $T_{ij}^k$ 和 $T_{ij}^p$ 分别为直升机和车辆从*i*点到*j*点的用时; $t_i^k$ 和 $t_i^p$ 代表车辆*k*和直升机*p*在*i*的时刻。

$$t_j^k \leq L_j^k, \forall j \in B; \forall k \in M \quad (13)$$

$$t_j^p \leq L_j^p, \forall j \in B; \forall p \in N \quad (14)$$

式(13)、(14)为地震后灾区最低限度要求的车辆和直升机的运输时间;救灾点*j*要求车辆和直升机的最晚到达时间分别用 $L_j^k$ 、 $L_j^p$ 表示。

$$\sum_{k \in M} \sum_{i \in B} x_{li}^k = \sum_{k \in M} \sum_{i \in B} x_{il}^k \leq 1; \forall l \in A \quad (15)$$

$$\sum_{p \in N} \sum_{i \in B} y_{li}^p = \sum_{p \in N} \sum_{i \in B} y_{il}^p \leq 1; \forall l \in A \quad (16)$$

上述两式说明当车辆和直升机完成输送任务后应立刻返回配送中心; $x_{li}^k$ 和 $y_{li}^p$ 分别为车辆从配送中心到救灾点*i*的距离。

$$\sum_{j \in B} (CQ_j^2 + NM \times O_j^2) \sum_{i \in S} x_{ij}^k \leq MQ_k \quad (17)$$

$$\sum_{j \in B} (CQ_j^1 + SA \times O_j^1) \sum_{i \in S} y_{ij}^p \leq NQ_p \quad (18)$$

式(17)、(18)为在车辆和直升机的空间容纳范围内分配给二者的最大受灾点需求量<sup>[9]</sup>;运输物资的体积用*C*表示;普通伤员和重伤人员的体积分别用*NW*和*SA*表示; $O_j^1$ 和 $O_j^2$ 分别为救灾点急需救治的重伤人员和普通伤员人数; $Q_j^1$ 和 $Q_j^2$ 分别为救灾点所需的紧急物资和普通物资的数量。

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\}, y_{ij}^p \in \{0, 1\}, z_k \in \{0, 1\}, \quad (19)$$

$$\forall i \in S, j \in S, k \in M, p \in N$$

式(19)决策变量范围是 $\{0-1\}$ 。

在初步构建完大数据分析背景下地震后紧急物流资源调度模型后,需采用合适的资源调度算法将紧急物流资源合理分配,获取一个地震后紧急物流资源调度模型的优化调度。

## 1.2 地震后紧急物流资源调度模型的优化调度

上述模型中对伤员和紧急物流资源运输包含多种变量和约束条件。遗传算法是大数据分析中常采用的搜索最优解算法,因此将其用于优化求解地震后紧急物流资源调度模型过程中,主要分为种群编码、初始化种群、适应度函数评估、交叉操作、变异操作、资源调度策略六个步骤,获取最佳资源调度结果。

### (1) 种群编码

遗传算法是一种借鉴生物进化机理的随机搜索方法。该算法从目标问题可能存在的解集的某个种群开始,在初代种群产生后,依照优胜劣汰的准则,将最优的近似解保留<sup>[10]</sup>,在每一代种群中依照问题域个体的大小选择个体,同时在遗传学基础上将遗传算子进行交叉变异,获取新的解集种群。将遗传算法用于地震后紧急物流资源的调度中,对不同的资源调度策略进行优化求解,主要分为种群编码和初始化种群两种方法,提升紧急物流资源调度效率。

### (2) 初始化种群

本文模型中地震后紧急物流资源调度模型对于初始的种群的描述,采用生成树法<sup>[11]</sup>,对树的定义描述如下:

① 多种物理机集合和虚拟机集合中的多种元素共同构成树;

② 初始定义的管理源节点为树的根节点;

③ 树中包括全部的物理机节点和虚拟机节点;

④ 树种的叶子节点均为虚拟机节点。

调度模型包含虚拟机与物理机之间的映射关系,二者间不同的映射关系为不同的地震后紧急物流资源调度策略。

### (3) 适应度函数评估

本文模型对适应度函数定义如下:

$$f(S, T) = \frac{1}{A + B \times f_H} \quad (20)$$

式中: $A$ 和 $B$ 分别表示模型定义的固定加权系数; $\sigma_0$ 为资源调度均衡时允许的偏差约束且能够进行预定义; $f_H = \Phi(\sigma_0(S, T) - \sigma_0)$ , $\Phi(X)$ 为惩罚函数; $S$ 为多种紧急物流物资的调度方案; $T$ 为调度时间,其中惩罚函数 $\Phi(X)$ 的表达式如下:

$$\Phi(X) = \begin{cases} 1, & X \leq 0 \\ r, & X > 0 \end{cases} \quad (21)$$

采用适应度函数对种群中的个体适应度进行计算,且始终将最高适应度值带入到子代种群<sup>[12]</sup>,然后基于子代种群的适应度值对种群中个体的选择概率进行计算,即计算资源调度路径的选择概率,如下式所示:

$$P_i(S) = \frac{f_i(S, T)}{\sum_{i=1}^D f_i(S, T)} \quad (22)$$

式中:  $f_i(S, T)$  为种群中第  $i$  个个体的适应度值; 种群规模用  $D$  表示。

#### (4) 交叉操作

通过交叉操作杂交,即采用互交换和自交换两种方式来获取信息个体<sup>[13]</sup>,交叉操作可提升遗传算法的搜索能力。本文模型采用的遗传算法生成树算法,可提升后代染色体的有效性。本文模型在交叉过程中,通过保护染色体摄入相同的基因,确保生成树的有效性,交叉操作过程如下:

① 基于旋转选择算法原则随机选取两个亲本个体  $T_1$  和  $T_2$ ;

② 将上述步骤选择的两个亲本个体构成一个个体树  $T_0$ ;

③ 针对  $T_1$  和  $T_2$  亲本样本中的不同叶子节点,先根据不同虚拟机的负载对叶子节点被选中概率  $p$  进行计算,在计算出的概率基础上将叶子节点随机分

配给物理机集合中带有最低负载的叶子节点;

④ 重复进行上述叶子节点分配操作<sup>[14]</sup>,直到个体数量满足资源调度的需求。

#### (5) 变异操作

本文模型采用式(23)计算自适应变异概率:

$$P_m = \exp(-1.5 \times 0.5t) / D \times \sqrt{M} \quad (23)$$

式中: 算法的迭代次数用  $t$  表示; 同样种群规模和虚拟机数量分别用  $D$  和  $M$  表示。种群内个体的变异概率变化是随机产生的,筛选出配送最优路径。

#### (6) 资源调度策略

为了寻找一条最佳的应急物资输送线路,构建大数据分析背景下地震后紧急物流资源调度模型,最大程度地满足受灾区的需求<sup>[15]</sup>,同时尽可能地降低资源调度成本,采用遗传算法根据当前的物资调度方案和最佳调度方案计算出成本基因,依照成本基因筛选出成本最低且调度效率最高的调度方案,实现对大数据分析背景下地震后紧急物流资源模型的高效设计。

## 2 实验分析

为验证构建调度模型的有效性,进行仿真分析。以某地震灾区的灾后紧急物流物资的调度情况为例,从该灾区中任意选择一个紧急配送中心,设置该配送中心支持 5 个直升机和 10 辆汽车服务,同时该灾区共搭建 15 个受灾点。表 1 为救灾运输工具的

表 1 救灾运输工具的详细信息

Table 1 Detailed information of conveyance

运输工具	数量 /个	运输空间 /m <sup>3</sup>	运输速度 /(km·h <sup>-1</sup> )	固定成本 /元	单位距离运输成本 /(元·km <sup>-1</sup> )
直升机	5	22	330	1 200	25
卡车	10	26	68	300	3

详细信息。灾区所需的紧急物资量、普通物资需求量、地震灾害中受伤人员数、救治伤员所需的最短运输时间分别用表 2 和表 3 描述。需注意在地震中受伤较严重的人员不可与物资混合装运,应将直升机预留出 3 个重伤员位置。

设种群规模为 80,算法迭代 20 次,变异概率和交叉概率分别为 0.1 和 0.9,实验获取目标函数权重变化为物资运输路径的影响作用,  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  表示目标函数  $f_1$  和  $f_2$  进行不同组合。根据调度算法,使用 MATLAB2012 编程语言进行计算,得到最短的物资运输路线结果(表 4)。

分析表 4 数据结果可知,随着目标函数权重  $\alpha_1$  值的不断增大,即加强地震后受灾区伤员的救助和物资需求,目标函数  $f_1$  的灾区未满足总损失逐渐减少,运输成本逐渐提升。因此在实际地震救援中,

表 2 不同受灾点的物资需求情况

Table 2 Material demands in different disaster sites

受灾点 编号	坐标(x,y)	紧急物资需求量 /件	普通物资需求量 /件
1	(22,56)	35	45
2	(93,152)	42	50
3	(36,92)	46	55
4	(155,262)	39	51
5	(222,246)	53	58
6	(112,106)	64	65
7	(112,196)	37	47
8	(183,44)	42	48
9	(108,242)	30	44
10	(48,88)	47	54
11	(77,52)	53	59
12	(123,185)	41	45
13	(133,106)	46	50
14	(85,107)	54	55
15	(208,166)	40	46

表 3 不同受灾点运输伤员数和最晚到达时间

Table 3 Number of the wounded transported by different disaster sites and the latest arrival time

受灾点 编号	运输伤员 数量/人	最晚到达时间/min	
		重伤	普通
1	9	190	790
2	10	220	910
3	6	200	830
4	12	170	710
5	8	290	1 190
6	11	310	1 270
7	14	390	1 590
8	9	321	1 314
9	7	315	1 290
10	10	266	1 094
11	8	276	1 134
12	15	280	1 150
13	10	210	870
14	7	180	750
15	12	300	1 270

表 4 物资运输路线安排结果

Table 4 Arrangement of vehicle routes for materials

	$\alpha_1=0.6$	$\alpha_1=0.7$	$\alpha_1=0.8$	$\alpha_1=0.9$
	$\alpha_2=0.4$	$\alpha_2=0.3$	$\alpha_2=0.2$	$\alpha_2=0.1$
车辆 1	1-7-8	2-6	3-1	9-15-6
车辆 2	3-7-5	6-10-7	13-3	11-13
车辆 3	5-8	8-14-6	14-7-4	7-1
车辆 4	11-6	5-12	4-9-1	14-5-4
车辆 5	12-6-4	11-4-7	10-8-4	6-8-1
车辆 6	9-2-1	5-7-8	6-14-9	6-3-4
车辆 7	2-6-8	2-8-9	4-9-7	11-15-5
车辆 8	14-9-7	14-5	15-7	5-14
车辆 9	4-13	4-8-13	6-7-12	14-15-7
车辆 10	7-6-14	8-9	1-8	12-14
机 1	15-7	13-2	14-9	12-8
机 2	6-7-14	5-9	6-2-8	7-10
机 3	10-15	13-8	7-6-2	7-9-10
机 4	15-6-4	4-9-12-8	4-8-13-1	4-13
机 5	12-14-10-5	2-5-9	8-10	3-4
$f_1$	140	129	127	110
$f_2$	603 950	670 630	707 660	758 410

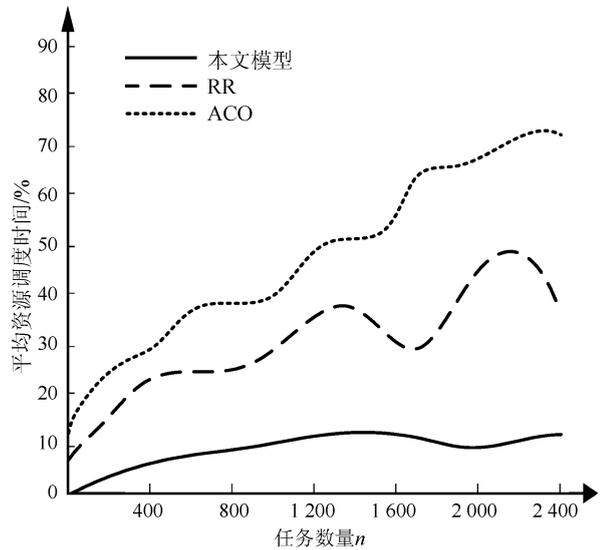


图 1 不同模型的资源调度用时(单位:s)  
Fig.1 Resources scheduling time for different models (Unit:s)

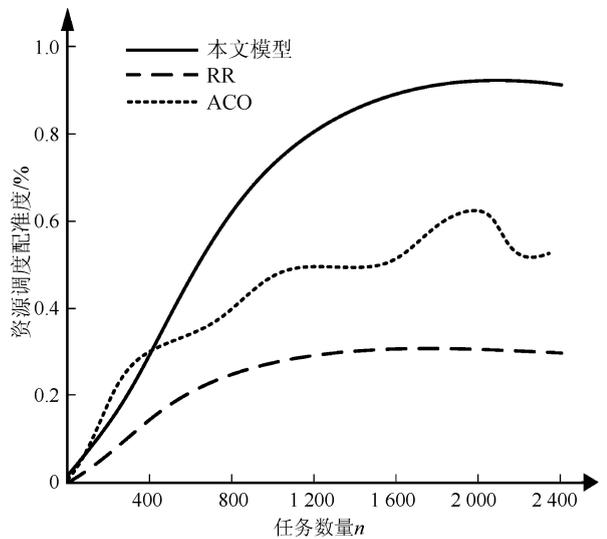


图 2 不同模型的资源调度配准率(单位:%)  
Fig.2 Resources scheduling registration rate for different models (Unit:%)

应将灾区的紧要需求放在首位,降低灾区未满足的损失。这也说明本文模型和算法真实有效,能对震后伤员救治和资源调度起到良好的指导作用。

验证大数据分析背景下地震后紧急物流资源调度模型的有效性,采用 Gridsim 软件模拟出一个云计算局部域,为衡量模型的调度性能,将基于轮询调度算法(Round Robin,RR)的云计算地震后紧急物流资源调度模型,基于蚁群优化算法(ACO)的云计算地震后紧急物流资源调度模型与本文模型进行对比,主要是对紧急物流资源调度用时和资源调度利用率进行比较。图 1 和图 2 分别为不同资源调度模

型的资源调动用时和资源利用率结果。

分析图 1 和图 2 曲线可知,随着任务数量的不断增加,三种模型对地震后紧急物流资源的调度用时和调度配准率也在不断变化。仔细分析图 1 三条曲线可知,本文模型随着任务数量的逐渐增加,调度速率提升缓慢,但任务数达到一定规模后,调度用时几乎不再变动;分析轮询调度模型和蚁群优化调度模型的调度用时曲线可知,随着任务数量的增加,两种调度模型进行资源调度的用时也在逐渐增加,且增长较快。分析图 2 曲线可以看出,本文模型在资

源调度的配准率方面具有较强的优势,尤其在大数据规模下调度配准结果明显优于另外两种调度模型,充分说明大数据分析背景下本文模型在应用到地震后紧急物资的调度方面具明显优势。

将三种模型分别模拟运行 100 次,将 100 次资源调度的平均计算结果作为最终结果,比较三种模型运行过程中的 CPU (Central Processing Unit/Processor, 中央处理器, 其功能主要是解释计算机指令以及处理计算机软件中的数据) 运行均衡性(图 3)。

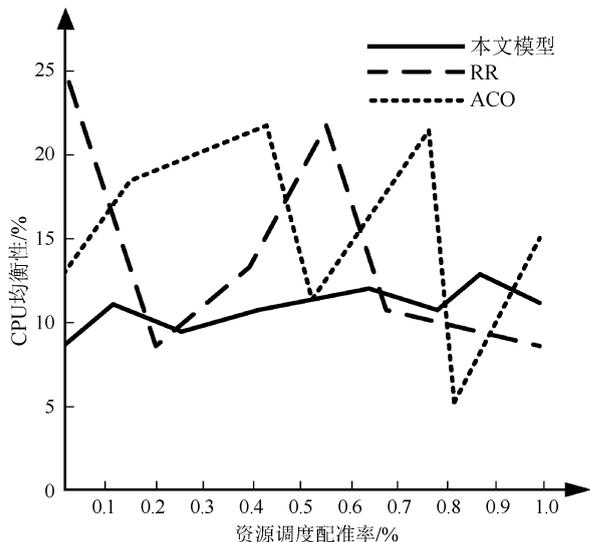


图 3 CPU 运行均衡性比较结果

Fig.3 Comparison between the running equilibrium of CPU

分析图 3 曲线可知,在不同的配准下,三种模型进行地震后紧急物流资源调度时的 CPU 均衡性变化较大,本文模型的 CPU 均衡性较稳定,另外两种模型较差,说明大数据分析背景下地震后紧急物流资源调度模型具有较强的稳定性和应用性。

### 3 结论

大数据分析背景下,设计一种地震后紧急物流资源调度模型。此模型解决了轮询调度算法的调度模型存在效率低的问题,通过使用紧急物流资源调度模型提高资源调度配准率,缩短配送资源所用的时间,对灾后伤员的救治和紧急物资进行调度,降低震后的财产损失;根据当前的物资调度方案和最佳调度方案计算出成本基因,根据成本基因决定最优的资源调度策略。根据实验结果可以看出,本文模型能较好地解决地震后紧急物资输送和伤员的救治问题,具有较强的实用性;从实验对比结果看出,本文模型和算法是真实有效的,能对震后伤员救治和

资源调度起到良好的指导作用,且其配准结果较为理想。

### 参考文献(References)

- [1] 杨继君,余廉.面向多灾点需求的应急资源调度博弈模型及优化[J].中国管理科学,2016,24(8):154-163.  
YANG Jijun, SHE Lian. Game Model and Optimization Based on Resource Requirements of Multiple Crisis Locations[J]. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(8): 154-163.
- [2] 郭继东,杨月巧.地震应急物资需求预测的模糊案例推理技术[J].中国安全生产科学技术,2017,13(2):176-180.  
GUO Jidong, YANG Yueqiao. Study on Fuzzy Case-based Reasoning (FCBR) for Demand Forecast of Emergency Material in Earthquake[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2017.
- [3] 刘航.考虑不确定性的地震灾害应急救援设备并行优化设计[J].地震工程学报,2018,40(5):1118-1123.  
LIU Hang. Parallel Optimization Design Incorporating Uncertainty of Emergency Rescue Equipment for Earthquake Disasters[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(5): 1118-1123.
- [4] 雷兆明,刘畅,廖文喆,等.钢铁企业物流库存资源调度优化管理[J].计算机仿真,2017,34(7):395-399.  
LEI Zhaoming, LIU Chang, LIAO Wenzhe, et al. Optimal Management for Iron and Steel Enterprise Logistics Inventory Resources Scheduling[J]. Computer Simulation, 2017, 34(7): 395-399.
- [5] QIAN Y, ZHANG J, ZENG J, et al. The Analysis of an Optimisation Model for Emergency vehicles Scheduling in Multi-mode Layer Networks[J]. International Journal of Computer Applications in Technology, 2016, 53(3): 270-278.
- [6] 郭凯,黄金刚,彭克银,等.大数据技术在海量测震数据中的应用[J].地震研究,2017,40(2):317-323.  
GUO Kai, HUANG Jin'gang, PENG Keyin, et al. Research and Application of Big Data Technology in Mass Seismic Data[J]. Journal of Seismological Research, 2017, 40(2): 317-323.
- [7] 蒋本立,张小平.大数据网络的均衡调度平台设计与改进[J].现代电子技术,2016,39(6):62-65.  
JIANG Benli, ZHANG Xiaoping. Design and Improvement of Balanced Scheduling Platform for Big Data Network[J]. Modern Electronics Technique, 2016, 39(6): 62-65.
- [8] 廖彬,于炯,张陶,等.数据依赖约束下的任务调度资源选择算法[J].计算机应用,2014,34(8):2260-2266.  
LIAO Bin, YU Jiong, ZHANG Tao, et al. Task Scheduling and Resource Selection Algorithm with Data-dependent Constraints[J]. Journal of Computer Applications, 2014, 34(8): 2260-2266.
- [9] 郝春亮,沈捷,张珩,等.大数据背景下集群调度结构与研究进展[J].计算机研究与发展,2018,55(1):53-70.  
HAO Chunliang, SHEN Jie, ZHANG Heng, et al. Structures and State-of-art Research of Cluster Scheduling in Big Data

- Background[J]. Journal of Computer Research and Development, 2018, 55(1): 53-70.
- [10] 孙君,谭清美.基于GF-AHP组合模型的应急物流能力评估——以地震灾害为例[J].北京工业大学学报,2014,40(9): 1354-1360.
- SUN Jun, TAN Qingmei. Evaluation of Emergency Logistics Capabilities Based on GF-AHP Combined Models: Taking the Earthquake Disaster as an Example [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2014, 40(9): 1354-1360.
- [11] 王付宇,叶春明.地震伤员配送及手术调度优化问题研究进展[J].计算机应用研究,2017,34(3):653-657.
- WANG Fuyu, YE Chunming. Review and Prospect of Optimization on Earthquake Wounded Distribution and Operation Scheduling[J]. Application Research of Computers, 2017, 34(3): 653-657.
- [12] 段满珍,陈光,董博,等.不确定信息下应急救援路径选择模型[J].交通运输系统工程与信息,2017,17(4):173-181.
- DUAN Manzhen, CHEN Guang, DONG Bo, et al. Emergency Rescue Path Selection Model under Uncertain Information [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2017, 17(4): 173-181.
- [13] 戴君,王晶,易显强.灾后应急资源配送的LRP模型与算法研究[J].中国安全生产科学技术,2017(1):122-127.
- DAI Jun, WANG Jing, YI Xianqiang. Study on LRP Model and Algorithm for Emergency Resource Distribution after Disaster [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2017.
- [14] SOARES J, GHAZVINI M A F, OLIVEIRA P B D M, et al. Multi-objective Model for the Day-ahead Energy Resource Scheduling of a Smart Grid with High Penetration of Sensitive Loads[J]. Applied Energy, 2016, 162: 1074-1088.
- [15] 郭子雪,曹万鹏.基于区间数的应急物资调度决策模型及算法研究[J].数学的实践与认识,2017,47(1):24-31.
- GUO Zixue, CAO Wanpeng. Time Minimization Model of Emergency Material Dispatching Decision Making Based on Interval Number [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2017, 47(1): 24-31.
- [16] 李玉洁,彭立顺.公共建筑结构的抗地震倒塌能力优化评估分析[J].地震工程学报,2018,40(1):20-25.
- LI Yujie, PENG Lishun. Optimized Evaluation Analysis of Seismic Collapse Capacity of Public Buildings [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(1): 20-25.
- [17] 李天华,袁永博.地震重灾区诱发次生地质灾害风险评估研究[J].地震工程学报,2018,40(1):111-115.
- LI Tianhua, YUAN Yongbo. Risk Assessment of Secondary Geological Disasters Induced in an Earthquake-stricken Area [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(1): 111-115.