

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802106

面向电力通信网现场可穿戴运维 作业工单调度优化方法*

林密 洪杰 于祝芳 何书毅 张阳 吴伟明

(海南电网有限责任公司 海口 570100)

摘要: 电力通信网现场可穿戴运维对于电力通信网以及智能电网的稳定和有效运营至关重要,为了保证电力通信网现场可穿戴运维作业质量和提高运维作业效率,本文提出了一种电力通信网现场可穿戴运维作业工单调度优化方法,促进现场可穿戴运维作业的高效实施。针对目前电力通信网现场工单调度业务特征,结合运维人员技能、作业资源等特点,描述并建立多资源约束下的现场可穿戴运维作业技能最大化与时间最优工单调度模型,然后使用改进病毒遗传算法进行求解。本文提供了对提出算法的实验评估,并通过数值算例验证了该算法在多资源约束下的现场可穿戴运维作业工单调度中的有效性和可行性。

关键词: 电力通信网;可穿戴运维;工单调度;改进病毒遗传算法

中图分类号: TN915.853 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5099

Method of work scheduling optimization for field operation and maintenance in electric power communication network

Lin Mi Hong Jie Yu Zhufang He Shuyi Zhang Yang Wu Weiming

(Hainan Power Grid Co., Ltd., Haikou 570100, China)

Abstract: The field operation and maintenance of power communication network is very important for the stable and effective operation of power communication network and smart grid. In order to ensure the quality of operation and maintenance of power communication network and improve the operation and maintenance operation efficiency, this paper presents a field of power communication network. The operation and maintenance work order scheduling optimization method promotes the efficient implementation of on-site operation and maintenance operations. Aiming at the characteristics of onsite work order dispatching in power communication networks, combined with the characteristics of operation and maintenance personnel and operating resources, a mathematical model for on-site operation and maintenance work order scheduling under multi-resource constraints is described and established, and then a virus genetic algorithm is used to solve the problem. This paper provides an experimental evaluation of the proposed algorithm and verifies the effectiveness and feasibility of the proposed algorithm in field job maintenance scheduling under multi-resource constraints.

Keywords: power communication network; field operation and maintenance; work order scheduling; virus genetic algorithm

0 引言

电力通信网现场可穿戴运维对于电力通信网以及智能电网的稳定和有效运营至关重要,而这需要科学化、智能化、精确化的运维管理,特别是现场可穿戴运维来保障^[1]。由于现场可穿戴运维数据交互不畅会导致通信网运维工单

往往无法第一时间进行流转,制约了现场作业的高效实施,同时现场环节数据无法及时回传也制约了现场作业规范性落实,造成了现场可穿戴运维任务调度不合理,运维人员利用率和运维效率较低。此外,电力通信网现场可穿戴运维作业工单调度过程中还需要综合考虑人员技能、工作难度、人员位置、已承担任务、绩效考核、人员利用率、业务互斥性

收稿日期:2018-09-25

* 基金项目:面向电力通信现场的可穿戴运维技术与示范应用(070000KK52170008)项目资助

和设备差异性等多种因素,面向电力通信网现场可穿戴运维任务工作序列管理需求,分析电力通信网现场可穿戴运维任务调度特征,研究现场可穿戴运维任务调度技术,优化电力通信网现场可穿戴运维作业工单调度,提高运维作业效率、保证运维作业质量,因此深入研究面向电力通信网现场可穿戴运维作业工单调度优化方法是有必要的。

目前,大多数关于项目任务资源调度的算法都是关于单个项目的,针对多项目资源调度的协调算法的研究较少,以及较少的研究涉及到人力资源的因素。文献[2]提出一种基于边际效用函数的效用最优化资源调度方法,它根据边际效用函数的特点,将网络应用分为弹性和非弹性应用,并通过每个应用的边际效用函数求出其效用函数,该方法具有良好的求解效果和速度,但是并未考虑到网络的普实用性。文献[3]提出一种任务动态优先级分派策略(dynamic priority assignment, DPA),以及基于 DPA 的实时任务调度算法(dynamic real-time transaction scheduling, DRTP)。该算法分析了任务抢占调度的各种可能条件,以及系统中可能出现的颠簸调度,并给出避免颠簸的条件,该算法能够提高系统价值收益,降低任务截止期错失率,并大大减少任务抢占的次数,但是该算法没有考虑到人为因素,忽略了人力资源技能和能力的差异。文献[4]提供一种获得接近最优的遗传算法,该算法对多项目建设下的问题进行建模,并将目标函数视为资源使用差异的最小化,该算法有效解决了并行调度问题,但是并没有考虑多任务人力资源的调度问题。这严重限制了算法模型的应用,不能合理有效利用现有资源,导致作业调度效率低下。

本文分析电力通信网现场可穿戴运维工单调度业务特征,结合运维人员、作业资源、可穿戴设备通信状况和安全要求等特点^[5-6],建立多资源约束下的现场可穿戴运维作业技能最大化与时间最优工单调度模型,并基于改进病毒遗传算法求解运维工单资源调度的最优配置,有效避免遗传算法局部最优解问题^[7-9],解决运维现场作业调度中作业任务请求效率低下、作业任务无法自行调整等问题,以提高服务质量以及资源的利用率,实现多资源约束下的运维工单合理派送。

1 现场运维作业工单调度分析模型

1.1 现场运维工单调度影响因素

电力通信现场运维作业调度问题描述如下:整个作业调度过程中需要考虑到运维人员、运维资源、运维工单 3 大类。对 3 类运维影响因素进行需求分析,总结出各个影响因素的属性。对于运维人员,其包括各种类型的技能、熟练程度和权限状态;对于运维工单,每个运维项目有不同的工作序列,每道工序有所需工作技能、工作资源和相应完成时间;对于运维资源,包括运维种类和数量。

通过研究发现,电力通信网现场可穿戴运维作业工单调度问题可以描述如下:一个项目组有 m_1, m_2, \dots, m_m 成

员,每个成员都有不同类型的技能和熟练程度。项目团队现在需要完成 p_1, p_2, \dots, p_n 不同的项目,每个项目都包含 j_1, j_2, \dots, j_k 任务工作序列。先任务工作序列列预先给出,并且还给出完成每个任务工作序列的时间: t_1, t_2, \dots, t_k 。每个任务工作序列都由所需的工作技能类型和工作时间(总工作量、小时数)来表示。

不同项目的每个任务工作序列可能需要具有不同技能的员工。员工 $w_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 具有技能 s_1, s_2, \dots, s_f , 相应的技能因子是 $y_1, y_2, \dots, y_f (f$ 是技能类别的数量,技能因子 y_i 等于 $[0, 2]$, 0 表示没有技能; 1 表示平均技能,这意味着工人已经掌握了基本技能; 2 表示技能很熟练。技能因子由团队领导给出(可以使用专家评估方法)^[10]。由于项目团队成员具有技能因子大于 0 的各种技能,因此当他们有空时,成员将与任务工作序列进行多对多的关系映射:可以选择一名员工来部署多个任务,一项任务还可选择多名工作人员完成。部署成功后,可以在完成当前任务之前为其分配任务。

在对现场运维工单调度影响因素的分析基础上,根据电力通信网现场可穿戴运维的实际需求,还对模型有一些约束条件如下:

- 1) 不同项目之间的任务工作序列没有约束,同一项目中存在约束。
- 2) 如果为当前工作组设置的候选项为空,则需要花费一些时间,并等待部分资源释放后才能部署。
- 3) 启动后,任务工作序列不能中断。
- 4) 每个任务工作序列可由 1~3 人完成。
- 5) 预先分配和完成项目的时间。

1.2 基于需求分析的现场运维工单调度

工单调度模型的策略流程如图 1 所示。对 3 个影响因素的集合分别按顺序进行 4 类操作后,得到所需的工单调度结果。基于资源选择的工单调度模型的具体运行流程步骤如下:

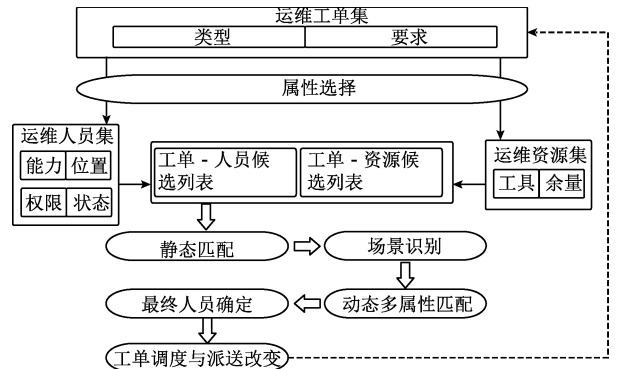


图 1 工单调度策略流程

- 1) 确认当前需调度的运维工单集的数目和内容,以及运维人员、运维资源信息。
- 2) 将运维工单集分吧与人员集、资源集进行属性选择。

查询数据库中的人员技术能力数据库,进行作业技术需求和人员技术能力匹配工作,实现能力与作业的匹配,保证作业质量;同时,查询完成任务所需的运维资源,进行作业技术需求和运维资源的匹配工作。人员技术能力数据库主要包括人员可以运维的设备类型、能力等级、人员职级、操作权限等;所需的运维资源包括获取资源所需要的权限,运维作业所需要的工具等。通过属性选择获得满足工单需要的人员和资源信息,形成工单-人员候选列表和工单-资源候选列表。之所以考虑资源-作业匹配结果,是因为部分运维资源可能就在运维现场,可以直接获得而减少运维资源获取时间,提高运维效率。

3)将工单-人员候选列表和工单-资源候选列表联合进行静态匹配,筛选同时满足工单和资源的静态要求的人员信息。

4)通过与运维人员所持的运维终端的信息交互,进行场景识别。感知的内容主要有:运维人员的实时位置,用于选取与目的运维场所距离较合适的人员;当前运维工作进度,用于舍弃虽然离得很近但当前运维工作短时期无法完成的人员,避免无效指派;运维资源,用于根据已有资源判断是否需获取新资源。

5)进行动态多属性匹配,选择出多资源约束条件和优化目标下每个工单在当前最适合的人员。

6)确定每个工单相应的运维人员,根据人员名单对每个工单进行下发,同时下发工单所需的位置信息、作业指导书和资源实例。新调度的工单进入人员的工单序列。

7)所有工单都被派发完,流程结束。

1.3 现场运维工单调度优化模型

根据优化目标不同,会建立不同的优化模型并选择不同的最适应的智能算法。电力通信网现场可穿戴运维的工单调度中,对于工单完成质量和完成效率有着更高的需求,因此在工单调度管理中,除了综合考虑人员技能、工作难度、人员位置、已承担任务、绩效考核、人员利用率、业务互斥性、设备差异性等多种因素,也需要考虑运维能力最大化与时间最优化的调度模型,并形成相应的调度方法。

运维能力最大化意味着运维人员的技能最大化。本文根据现场运维工单调度影响因素和调度策略,建立了技能最大化与时间最优的工单调度优化模型如下:

$$\text{Max}F \quad (1)$$

$$\text{Min}Z \quad (2)$$

Max F 为平均技能因子之和最大化函数,Min Z 时间之和最小化函数。

其中, F 为平均技能因子之和,表示如下:

$$F = \sum_{i=1}^{n \cdot k} \left(\sum_{j=1}^{\text{number}_i} y_{ij} / \text{number}_i \right) \quad (3)$$

式中: y_{ij} 为第 j 个运维人员具备的第 i 个任务序列所需技能类型的技能因子; number_i 为完成第 i 个任务序列的运维人员数量; n 为待完成项目的数量; k 为每一待完成项目

的任务序列数量。

而 Z 为时间之和,表示如下:

$$Z = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^{n \cdot k} c_{ij} x_{ij} \right) \quad (4)$$

式中: c_{ij} 为第 j 个运维人员完成第 i 个任务序列所需的时间; x_{ij} 为第 j 个运维人员针对第 i 个任务序列的完成度; m 为运维人员的数量。

根据现场运维工单调度约束条件,构建约束公式如下:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \cdot k \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{n \cdot k} c_{ij} x_{ij} \leq t_i \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

式中: t_i 是一个任务工作序列的结束时间。为确保任务的高质量,员工部署应确保将多个具有最高容量值的免费员工分配到当前任务。

2 基于改进病毒遗传算法的工单调度方法

本文在建立数学模型的基础上,采用改进病毒遗传算法进行工序排序。为确保任务的高质量,现场可穿戴运维人员部署应确保将具有最高技能因子的几名运维人员分配到当前任务。

对于改进病毒遗传算法的工单调度方法中的每一步流程,具体操作方法如下:

1)初始化

初始化操作中,通过对宿主个体编码来初始化宿主种群,通过对病毒个体编码来初始化所述病毒种群。基于所述工单调度模型,分别对宿主个体和病毒个体进行如下编码:

$$\mathbf{I} = \begin{pmatrix} \mathbf{J} \\ \mathbf{M} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} j_1 & \cdots & j_{n \cdot k} \\ M_{j_1} & \cdots & M_{j_{n \cdot k}} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{H} = (h_1 \quad h_2 \quad \cdots \quad h_{n \cdot k})$$

式中: \mathbf{I} 为宿主个体编码; \mathbf{J} 为任务序列; \mathbf{M} 为对应 \mathbf{J} 的运维人员分配模式向量。 \mathbf{J} 和 \mathbf{M} 中的基因分别称为工序基因和模式基因,当确定了任务工序 \mathbf{J} 和对应的运维人员分配模式向量 \mathbf{M} 后,每个染色体唯一对应了一个运维作业工单调度 (\mathbf{J}, \mathbf{M}) ; \mathbf{H} 为病毒个体编码,是对应于资源序列 $(1, 2, \dots, n \cdot k)$ 的运维人员分配模式向量,病毒个体产生于主个体的运维人员分配模式向量 \mathbf{M}_i ,病毒个体是运维人员分配模式向量 \mathbf{M}_i 的子串。

由于主个体编码方式已经对任务工序进行了充分搜索,因此只对运维人员分配模式向量 \mathbf{M} 产生病毒个体并进行病毒化操作,以扩大对运维人员分配模式的搜索。病毒个体表示的是部分资源状态的模式。

2)计算适应度和生命力

选择操作是对当前个体集合中选择较优的个体进入下一代的过程,本文的选择操作作用轮盘赌来实现。基本原则是根据每个染色体适应度值的比例确定个体的选择概率或

生存概率。

宿主个体的适应度函数：

$$fithost(\mathbf{I}) = \frac{1}{F + Z + 1} \quad (8)$$

式中： $fithost(\mathbf{I})$ 为宿主个体 \mathbf{I} 的适应度； F 为平均技能因子之和； Z 为时间之和。

病毒个体的生命力计算函数：

$$life_{i,t+1} = \lambda \cdot life_{i,t} + fitvirus_i \quad (9)$$

式中： $life_{i,t+1}$ 为病毒个体 V_i 在第 $t+1$ 代的生命力； λ 为衰减系数； $fitvirus_i$ 为病毒个体 V_i 的适应度。 $fitvirus_i$ 计算公式为：

$$fitvirus_i = \sum_{k \in S} (fithost'_k - fithost_k) \quad (10)$$

式中： S 为病毒个体 V_i 感染的宿主个体的集合； $fithost'_k$ 为宿主个体 k 感染病毒后的适应度； $fithost_k$ 为宿主个体 k 感染病毒前的适应度。

3) 主染色体进化

交叉操作是保障遗传算法有效性的重要环节，交叉操作一般采用每一对父代个体通过变化基因位产生新一代个体的方法进行。由于本文的遗传算子采用实数编码^[11]，采用双个体交叉算子进行交叉操作会增加校正伪解的工作量^[12]，因此本文采用单个体翻转交叉算子完成交叉操作，例如，进行交叉的个体为：

$$\mathbf{I}_{parent} = \begin{pmatrix} \mathbf{J}_{parent} \\ \mathbf{M}_{parent} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} j_{parent_1} & j_{parent_p} & \cdots & j_{parent_q} & j_{n * k} \\ M_{parent_1} & M_{parent_p} & \cdots & M_{parent_q} & M_{j_{n * k}} \end{pmatrix} \quad (11)$$

按照随机生成的两个数 p 和 q ，($0 < p < q \leq n$)，对 \mathbf{I}_{parent} 中索引为 p 和 q 之间的基因位进行翻转操作，生成新的个体为：

$$\mathbf{I}_{son} = \begin{pmatrix} \mathbf{J}_{son} \\ \mathbf{M}_{son} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} j_{son_1} & \cdots & j_{son_p} & \cdots & j_{son_q} & \cdots & j_{son_{n * k}} \\ M_{son_1} & \cdots & M_{son_p} & \cdots & M_{son_q} & \cdots & M_{son_{n * k}} \end{pmatrix} \quad (12)$$

其中

$$j_{son_p} = j_{parent_p}, j_{son_{p+1}} = j_{parent_{p+1}}, \cdots, j_{son_q} = j_{parent_q} \\ M_{son_p} = M_{parent_p}, M_{son_{p+1}} = M_{parent_{p+1}}, \cdots, M_{son_q} = M_{parent_q} \quad (13)$$

变异操作在遗传算法中作为交叉操作的有益补充，旨在搜索过程中扩大邻域搜索范围，本文的变异操作采用单点变异算子进行。单点变异算子对选择的染色体随机选择两个基因位，将这两个基因位的基因进行对调，这种基于单个基因位的单点变异算子能够有效的改变新个体与旧个体之间的海明距离^[13]，有利于搜索范围的扩大，对跳出遗传算法的局部最优有明显的改善。

4) 病毒的进化

(1) 病毒感染

宿主染色体的相应模式基因将被病毒染色体基因所取

代，将产生新的宿主个体^[14]，如图 2 所示。每一个病毒感染每个宿主个体的概率是 P_{infect} ，如果宿主个体的适应度在感染后增加，那么感染后的宿主个体将在感染前取代宿主个体。

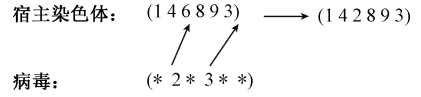


图 2 病毒感染的操作

(2) 病毒繁殖

随机选择宿主个体，宿主染色体的每个模式基因将用 P_{copy} 概率替换病毒染色体中的相应基因，产生新的病毒个体，如图 3 中的实例所示。

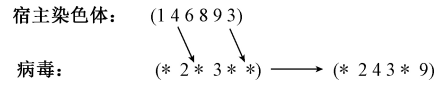


图 3 病毒繁殖的操作

最初的病毒个体是通过复制产生的，即通过宿主染色体以概率 P_{copy} 复制到没有感染能力的病毒个体。复制的作用是增加演化计算能力，或产生部分活跃的新资源模型。

5) 工单调度的方法流程

结合工单调度模型，得到基于改进病毒遗传算法的工单调度方法流程如下：

(1) 基于所述工单调度模型，初始化宿主种群 $HostPop$ 和病毒种群 $VirusPop$ ；

(2) 对所述宿主种群中每一宿主个体进行交叉和突变，并基于所述每一宿主个体的适应度，对所述宿主种群进行选择；

(3) 若所述病毒种群中任一病毒个体的生命力小于或等于 0，生成新的病毒个体替代所述任一病毒个体；

(4) 基于所述病毒种群，对所述宿主种群进行感染，根据感染后的宿主种群中每一宿主个体的适应度，对所述宿主种群进行更新，直至所述宿主种群的更新次数大于预设次数。

算法具体流程如图 4 所示。

3 仿真实验

本文用基本遗传算法 (genetic algorithm, GA)^[15]、非支配排序遗传算法 (non-dominated sorting genetic algorithm, NSGA)^[16] 和病毒进化遗传算法 (virus-evolutionary genetic algorithm, VEGA) 对相同的运维作业调度问题进行求解。两种算法都在 VS2017 环境下用 C# 进行编程，在相同的计算机上运行程序。基本参数见表 1。随机生成 100 个实例，并分别用 VEGA、NSGA 和 GA 进行计算。在同样的参数下，根据总工作序列数 N 的改变，使用平均计算时间和平均计算代数进行评估，实验结果如表 2 和表 3 所示。

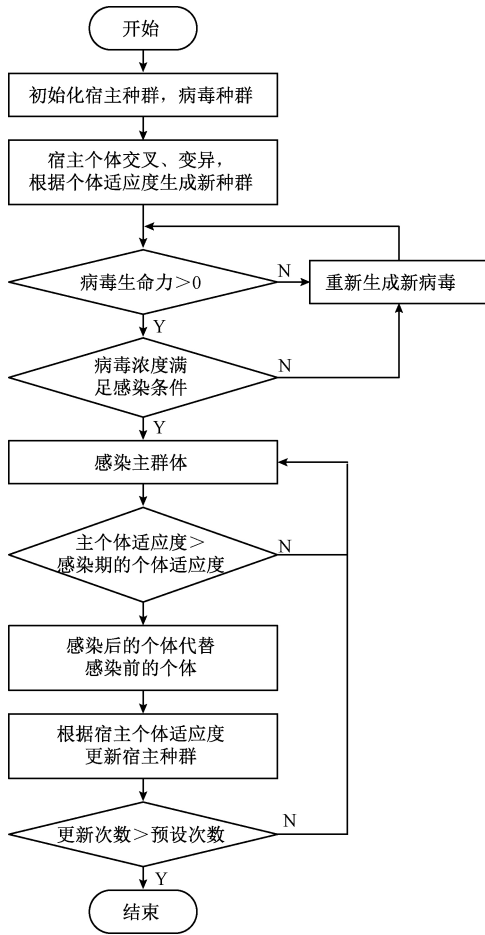


图 4 基于病毒遗传算法的工单调度流程

表 1 仿真实验参数取值

参数	取值
主群体种群规模 $HostPop$	100
病毒种群规模 $VirusPop$	10
交叉概率 P_c	0.8
变异概率 P_m	0.05
P_{copy}	0.2
P_{infect}	0.02
病毒衰减系数 λ	0.9
病毒浓度 $DensityVirus$	0.2

表 2 N 变化下各算法的平均计算时间

算法	N									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
GA	20	29	35	46	61	82	111	139	160	176
VEGA	14	19	27	37	46	58	72	90	108	125
NSGA	10	15	20	26	34	42	52	65	80	100

表 3 N 变化下各算法的平均计算世代

算法	N									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
GA	40	55	72	103	128	155	173	189	207	217
VEGA	25	40	48	67	80	95	108	120	130	137
NSGA	20	29	35	39	48	58	65	75	80	84

根据表 2 和表 3, 再绘制相应的随 N 变化的折线图, 如图 5 和图 6 所示。

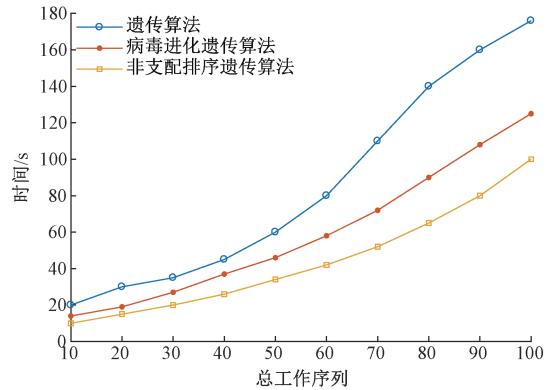


图 5 病毒繁殖的操作

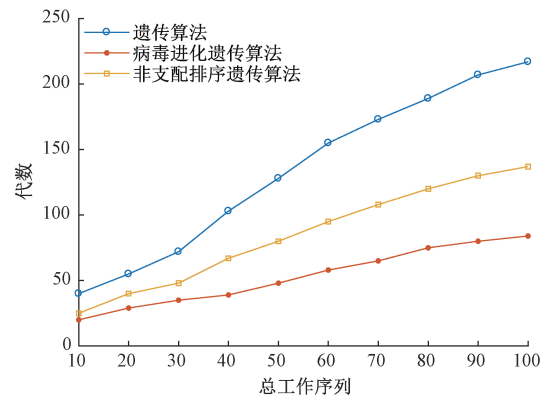


图 6 病毒繁殖的操作

从表 2、表 3 和图 5、图 6 可以看出, 随着总工作序列数 N 的逐渐增大, 工作内容越复杂, 3 种散发的平均计算时间和平均计算世代呈逐渐增长, 其中基本的 GA 增长速度最快, NSGA 的在平均计算时间上增长最慢, VEGA 在平均世代上增长最缓慢, 在复杂序列待处理时优势更明显。这反映了 VEGA 在此类问题上能用最少的搜索次数接近最优解, 总体能有较高的求解速率和质量。因此, 针对同样的运维作业调度问题, 改进病毒遗传算法求解的效率均优于基本遗传算法和非支配排序遗传算法, 不仅缩短了运维作业调度问题计算时间, 而且减少了计算代数, 在电力通信网现场运维的工单调度过程中, VEGA 可以高效地将现场可穿戴运维人员分配给适应的工单任务, 并在不断变化的环

境和状态中利用这一高效率寻优能力,结合现场可穿戴运维工单调度优化模型,根据实时信息进行合理调度,调度结果更灵敏更准确,快速获得整体最优工程解决方案,能够满足提高运维作业任务质量、缩短运维作业任务持续时间的需求。

4 结 论

本文提出一种面向电力通信网现场可穿戴运维作业工单调度优化方法,该方法通过分析电力通信网现场工单现场调度业务特征,结合运维人员、作业资源等特点,构建多资源约束下的电力通信网现场可穿戴运维作业工单调度数学模型,并基于改进病毒遗传算法进行求解,解决运维现场作业调度中作业任务请求效率低下、作业任务无法自行调整等问题,以提高服务质量以及资源的利用率,实现多资源约束下的运维工单合理派送。

实验结果表明,针对同样的运维作业调度问题,改进病毒遗传算法求解的质量均优于基本遗传算法,与遗传算法相比,改进病毒遗传算法不仅缩短了运维作业调度问题计算时间,而且减少了计算代数,可快速获得最优工程解决方案,能够满足提高运维作业任务质量,缩短运维作业任务持续时间的需求,具有更佳的实际应用效果。

参考文献

- [1] 张亮,王建磊.浅析新形势下电力通信网运维管理方式[J].中国科技信息,2013(23):95-97.
- [2] 宋亚楠,仲茜,刘斌.基于边际效用函数的网络资源调度[J].电子学报,2013,41(4):632-638.
- [3] 夏家莉,陈辉,杨兵.一种动态优先级实时任务调度算法[J].计算机学报,2012,35(12):2685-2695.
- [4] NURI S, HADDAD H. Genetic algorithm for the resource leveling under the multi project construction[J]. 2010.
- [5] 齐金平,查显锋.多任务多资源优化调度的改进病毒遗传算法[J].计算机应用,2011,31(7):1773-1775.
- [6] 刘强,李桐,于洋,等.面向可穿戴设备的数据安全隐私保护技术综述[J].计算机研究与发展,2018,55(1):14-29.
- [7] ZHANG H F, LI X P, ZHOU P. A job shop oriented virus genetic algorithm[C]. Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation (IEEE Cat. No. 04EX788), 2004(3):2132-2136.
- [8] VEENHUIS C, KÖPPEN M. Differential evolution with polymorphic schemes [C]. 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, San Antonio, 2009:1752-1757.
- [9] 朱云飞,蔡自兴,袁琦钊,等.求解多目标旅行商问题的混合遗传算法[J].计算机工程与应用,2011,47(7):52-56.
- [10] 王亮,杨宝庆,邹永杰,等.基于专家可信度的指挥能力评估方法[J].指挥与控制学报,2017,3(03):208-212.
- [11] FERREIRA P J S G., SANTOS D M S, AFREIXO V M A. New results and open problems in real-number codes [C]. 12th European Signal Processing Conference, Vienna, 2004:889-892.
- [12] KUMAR R., GILL S, KAUSHIK A. An impact of cross over operator on the performance of genetic algorithm under operating system process scheduling problem [C]. 2011 International Conference on Communication Systems and Network Technologies, Katra, Jammu, 2011:704-708.
- [13] 刘孝圣,刘磊,邓浩江.基于遗传算法的网络处理器任务分配问题[J].2015,32(8):117-120,126.
- [14] 宗德才,王康康.一种混合局部搜索算法的遗传算法求解旅行商问题[J].计算机应用与软件,2015,32(03):266-270,305.
- [15] INOUE T, UWATE Y, NISHIO Y. Genetic algorithm with virus infection for finding approximate solution[C]. 2013 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2013), Beijing, 2013:1604-1607.
- [16] DEB K. A fast elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II [J]. IEEE Transact Genetic algorithms on Evolutionary Computation, 2000, 6(2):182-197.

作者简介

林密,博士,主要从事电力通信系统运维管理工作。

E-mail:scirswork@foxmail.com

洪杰,硕士,主要从事电力通信系统运维管理工作。

于祝芳,本科,主要从事电力通信系统运维管理工作。