

# 语义驱动的作战资源服务聚类方法

何宜超<sup>1</sup>, 孙 鹏<sup>1</sup>, 焦志强<sup>1</sup>, 张杰勇<sup>1</sup>, 王 衡<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学信息与导航学院, 西安, 710077; 2. 空装合肥第一军代室, 合肥, 230000)

**摘要** 针对 SOA 架构下指挥信息系统中作战资源服务池规模大、服务组织效率不高的特点,进行了服务组织聚类的研究。首先对作战资源进行属性分析,基于 OWL-S 描述规范对其进行服务化建模,形成作战资源原子级服务本体模型,实现云服务化;然后构建了作战资源服务聚类模型,并在遗传算法中将模拟退火方法和  $K$ -means 方法相结合,提出了一种作战资源服务聚类方法;最后通过仿真与 GS 和 GK 算法进行了对比。实验结果表明,所提算法能够在可接受的时间内找到适应度值更高的聚类方案,且方案结果适应度值的标准差较低。该方法相比于 GS 与 GK 算法具有更好的寻优性与稳定性。

**关键词** 作战资源服务化; 服务聚类; OWL-S;  $K$ -means; 遗传算法

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2020.04.016

**中图分类号** TP391.3 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2020)04-0101-07

## Semantic-Driven Clustering Method of Combat Resource Service

HE Yichao<sup>1</sup>, SUN Peng<sup>1</sup>, JIAO Zhiqiang<sup>1</sup>, ZHANG Jieyong<sup>1</sup>, WANG Heng<sup>2</sup>

(1. Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. Hefei First Military Generation Room, Hefei, 230000, China)

**Abstract** Aiming at the characteristics of large-scale combat resource service pools and low service organization efficiency in the command information system under the SOA architecture, a clustering study of service organizations is conducted. Firstly, the attributes of combat resources are analyzed, based on the OWL-S description specification, service-oriented modeling of combat resources is formed, and an atomic-level service ontology model of combat resources is formed to realize the cloud service of combat resources. Then a clustering model of combat resource service is constructed, and the simulated annealing method and the  $K$ -means method are combined in the genetic algorithm, and a clustering method of combat resource service is proposed. Finally, the simulation is compared with the GS and GK algorithms. The experimental results show that the proposed algorithm can find a clustering scheme with a higher fitness value within an acceptable time, and the standard deviation of the fitness value of the solution results is lower. Compared with GS and GK algorithms, this method has better optimization and stability.

**Key words** servitization of combat resources; service clustering; OWL-S;  $K$ -means; genetic algorithm

收稿日期: 2020-05-05

基金项目: 国家自然科学基金(61573017, 61703425)

作者简介: 何宜超(1996—),男,河南郑州人,硕士生,主要从事指挥信息系统领域研究。E-mail: 996422701@qq.com

**引用格式:** 何宜超, 孙鹏, 焦志强, 等. 语义驱动的作战资源服务聚类方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2020, 21(4): 101-107. HE Yichao, SUN Peng, JIAO Zhiqiang, et al. Semantic-Driven Clustering Method of Combat Resource Service[J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2020, 21(4): 101-107.

近年来,随着云计算、虚拟化<sup>[1]</sup>、云制造<sup>[2]</sup>等各种新技术的不断发展,军事网络信息体系的开放性不断增加,新型指挥信息系统正朝着“智能与韧性”的方向发展<sup>[3]</sup>。在新型指挥信息系统建设过程中,作战资源的整合接入问题及新型指挥信息系统的服务模式问题亟待解决。

作战资源的部署使其地理位置具有特殊性,各层级资源结构各异,规模巨大,难以实现共享与集中管理。为了实现对作战资源的有效利用,使其动态接入网络化指挥信息系统,将面向服务<sup>[4]</sup>的思想应用于系统,需要对作战资源解耦合,将其能力映射至服务,从而实现对作战资源的统一管理。基于上述思路,需要对大量云服务进行聚类重组,减小作战资源服务组织管理对象的规模,提高服务组织效率,同时为系统敏捷演化提供依据。

针对军事组织中作战资源的整合管理问题,文献[5]引入了一种以接口匹配作为服务约束的思想,重点以输入输出的形式定义接口,提供了对云服务化作战资源的相关服务操作,虽然易于在云协同中管理云服务,但定义形成的云服务规模大,管理效率低。文献[6]提出一种面向应用的军事信息服务规划(Application-Oriented Military Information Service Planning, AOMISP),将军事应用抽象成服务,并通过 PASW statistics 软件对作战资源按功能属性聚类,但聚类方法较简易,聚类效果一般。文献[7]基于 SOA 架构提出了新型工业制造理念——云制造,将制造资源服务化,以网络平台和云服务架构为基础,完成资源的虚拟及整合,文献[8~9]对实现云制造的关键技术进行了研究,实现了制造资源云服务化。

就资源服务化而言,对其形成的云服务应进行描述以实现系统的机器互识。目前已有关于对服务进行语义描述的研究。文献[10]提出了一种新型服务描述模型,以动态描述的思路对传统方式进行改进,并对服务进行模型化处理,使其能作为动态资源接入计算系统。

对于资源进行服务建模可以认为是一种池化过程。对于大规模的服务池,文献[11]利用遗传 K-means 算法对服务池进行聚类处理,在结合遗传算法的基础上,有效地提高了 K-means 聚类算法的稳定性,但在寻优后期搜索能力较弱。

为更好解决云化资源的机器互识和拼接整合问题,本文采用服务本体描述语言(Ontology Web Language of Service, OWL-S)<sup>[12]</sup>作为语义描述规范,通过分析作战资源特征和属性,对虚拟化作战资源进行了服务化建模,然后设计了一种改进聚类算

法对云化作战资源服务进行聚类,提高了聚类目标优化效果,改善了算法稳定性。

## 1 作战资源服务化

作战资源服务化是将同型异构的作战资源进行抽象聚合,形成弹性可扩展的资源池,使其能够实现动态分配,灵活调度与多域共享,从而使得作战资源的利用率得以提高,简化了对作战资源的管理,同时使战时作战方案得以优化。

### 1.1 作战资源概述

作战资源是指与作战直接相关的资源,它可以直接为作战行动提供支撑,包含武器装备、态势信息、后勤保障等相关资源。

战场中存在着数量庞大、形式不同的作战资源,为了对作战资源进行统一组织和运用,需要按照资源的物理属性及其功能作用,先对作战资源进行逻辑分类和建模,形成统一的语义描述,实现作战资源的机器互识。在复杂多变的战场环境下,武器装备等作战资源具有不同于普通计算资源的特征。若想更好地将武器资源应用于战场,需要对其属性进行分析研究<sup>[13]</sup>。

### 1.2 作战资源的属性模型

作战资源种类繁多,形态各异,对其进行服务化封装需要属性建模,屏蔽其异构性。作战资源可以按照主从属性进行划分,其中主要属性包括元属性(Basic)、实时属性(Rtime)、地理属性(Location)、功能属性(Capability)<sup>[14]</sup>。

元属性是对作战资源固有特征的描述,包含了作战资源的名称、编号、类别、基本描述。实时属性是对该作战资源实时可用状态的描述,包含可用状态、队列状态、占用状态、失效状态。地理属性主要包含作战资源的经纬度坐标。功能属性下包含多个二级服务属性,每个服务属性都包含其唯一编码、描述、接口属性等。

#### 1.2.1 Basic

$$\text{Basic} = \{\text{CR\_Id}, \text{CR\_Name}, \text{CR\_Type}, \text{CR\_Description}\}$$

其中:CR\_Id 为作战资源的唯一编码;CR\_Name 为作战资源名称;CR\_Type 为作战资源类型;CR\_Description 为作战资源描述。

#### 1.2.2 Rtime

$$\text{Rtime} = \{\text{Available}, \text{Occupied}, \text{Error}, \text{Scheduled}\}$$

其中:Available 指该作战资源处于可调用状态,用户可以对资源进行选择;Scheduled 指该作战资源处于队列状态,需完成前置任务需求;Occupied 指该作战资源处于执行任务状态,其他用户无法调用;Er-

ror 指该作战资源由于技术故障失效,无法被调用。

1.2.3 Location

Location = {Lo\_x, Lo\_y} 表示作战资源的经纬度坐标。

1.2.4 Capability

Capability = {Service<sub>1</sub>, Service<sub>2</sub>, Service<sub>3</sub>, ..., Service<sub>n</sub>}

Service<sub>n</sub> 作为该作战资源的二级属性,表示该作战资源可提供更小粒度的功能性原子级服务,用 X 元组表示为:

Service<sub>n</sub> = {S\_basic, S\_Access, S\_interface}

1) S\_basic 表示该原子级服务的基本属性,有:

S\_basic = {S\_Id, S\_Name, S\_Type, S\_Description, S\_Qos}

其中:S\_Id 表示该服务的唯一标识;S\_Name 表示该服务的名称;S\_Type 表示该服务的类型;S\_Description 表示该服务的具体描述;S\_Qos 表示该原子级服务的服务质量。

2) S\_Access 表示作战资源服务的访问属性,可形式化表示为以下四元组:

S\_Access = {Input, Output, Precondition, Effect}

其中:Input 指服务的输入;Output 指服务的输出;Precondition 指服务的先决条件;Effect 指服务执行后产生的结果。

3) S\_interface 表示服务的接口属性,可形式化表示为以下三元组:

S\_interface = {Protocol, Message format, Interface Type}

其中:Protocol 指通信协议;Message format 指消息格式;Interface Type 指接口类型。

1.3 作战资源服务化建模

作战资源具备多种能力,将其服务化是在云环境下得以广泛共享应用的前提。将作战资源能力以原子级服务的形式表示,并结合本体语言进行描述,即一切作战资源提供的能力以服务的形式共享,见图 1。OWL-S 是一种在语义网中用于对服务进行规范化描述的本体语言<sup>[14]</sup>。根据该语言的语法约束,对原子级服务进行本体建模,其中原子级服务继承作战资源的元属性、实时属性、地理属性,同时拥有自己专有的访问属性。

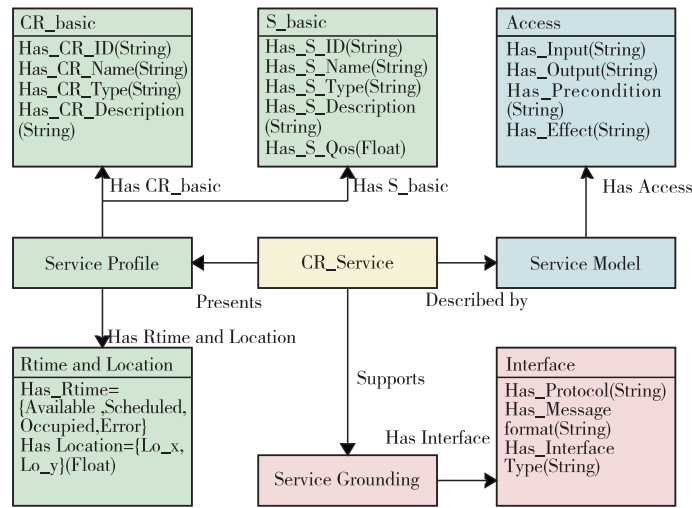


图 1 作战资源原子级服务本体模型

2 作战资源服务聚类

对于统一建模的作战资源原子级服务,由于其数量规模庞大,根据任务需求对其进行快速组合与匹配难度较大。为缩小服务组合优选管理对象规模,并为后续服务组合优选等操作提供候选服务集合,需对作战资源中的原子级服务进行聚类分析。原子级服务相似度和服务聚类目标是作战资源服务聚类分析的基础。

2.1 作战资源原子级服务相似度

本文对于作战资源原子级服务间相似度定义主要体现在其概念相似度 (S<sub>A</sub>) 及服务质量相似度

(S<sub>Q</sub>) 的综合相似度。首先计算 2 个服务间的属性重合度作为共同概念相似度,由式 (1) 可知,当两服务间不具备属性重合时,两者间概念属性相似度为 0,即两服务不相似。

$$S_A(X, Y) = \frac{|\{A_X\} \cap \{A_Y\}|}{|\{A_X\} \cup \{A_Y\}|} \quad (1)$$

式中:A<sub>X</sub>、A<sub>Y</sub> 分别表示样本 X、Y 的属性集合,服务质量相似度则采用欧氏距离作为 QoS 间的距离度量:

$$S_Q(X, Y) = \left[ \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中:x<sub>i</sub>、y<sub>i</sub> 表示 A<sub>X</sub> 与 A<sub>Y</sub> 属性集中的单一属性;n 表示属性集元素个数,则其综合相似度定义为:

$$S_C(X, Y) = \sqrt{S_A(X, Y) S_Q(X, Y)} \quad (3)$$

### 2.2 作战资源服务聚类目标

作战资源服务聚类的目标是将到某类中心距离之和最短的资源划分为同一类(相似度最大),即:

$$\max_S E(x_i) = \sum_{j=1}^m \sum_{x_i \in S_j} S_C(x_i, z_j) \quad (4)$$

式中: $m$ 表示作战资源类别数; $x_i$ 指样本为待求解的决策变量; $S$ 表示不同类的样本集合; $S_j$ 则为第 $j$ 类的样本集合; $z_j$ 为第 $j$ 类的聚类中心。

## 3 基于遗传的模拟退火 K-means 聚类方法

到目前为止,K-means 是最经典的聚类分析方法之一<sup>[15-18]</sup>。其原理是基于分区聚类的无监督聚类方法,该方法根据给定的度量距离,将具有相似特征的数据聚类为  $K$  个簇,最后通过投票情况决定对象的类型。算法时间复杂度为  $O(n^2)$ ,局部搜索能力强,收敛快,但是在求最优解时需要选择合理聚类中心,并且进行全局搜索时,特征计算能力较弱,难以得到全局最优解。文献[19]提出结合遗传算法的 K-means 聚类方法,用于寻找初始聚类中心,增强局部搜索能力,虽然一定程度上提高了全局搜索能力,但遗传算法自身存在早熟现象,且最优解有可能会出现倒退,算法难以得出最优结果。

本文提出一种基于遗传的模拟退火 K-means 算法,通过结合模拟退火算法与 K-means 操作改善遗传算法本身的缺陷,使得聚类性能得以提高。

### 3.1 染色体编码

对于个体的基因编码是遗传算法中的首要操作。假设作战资源原子级服务的总体样本数量为  $N$ ,聚类中心为  $m$ ,则个体中每一基因点  $G_x$  表示该作战资源服务所归属的类别号,由此得该个体样本见图 2。

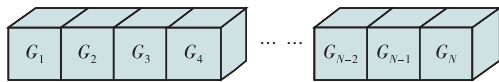


图2 染色体编码

将作战资源属性样本随机分至  $m$  类中,并根据分类结果生成染色体编码  $G_N$ 。设定种群大小为  $Q$ ,将该操作迭代  $Q$  次以形成初始种群  $P_0$ 。

### 3.2 选择操作

选择操作的主要目的是从当前种群中选取合适的个体为后续的操作提供父代个体。直观来看,优秀的父代个体可以产生更加优秀的后代,但强制选择适应度高的个体作为父代容易造成算法陷入局部最优,从而影响算法的寻优性。因此,在执行选择操作时,还需要兼顾到当前情况下处于劣势的个体,以保证算法的全局搜索能力。基于上述考虑,本文采用轮盘赌策略对个体进行选择,通过计算适应度确定其被选择

的可能性,适应度越高,被选择的概率也就越大。由此可得种群  $P$  中每一个体被遗传至下一代的概率为:

$$P(x_i) = \frac{E(x_i)}{\sum_{i=1}^Q E(x_i)}, i = 1, 2, \dots, Q \quad (5)$$

### 3.3 基于 K-means 的交叉操作

对于选择操作后形成的新种群,使用 K-means 算法代替遗传算法中的交叉操作以实现加速聚类的目的。具体过程为:对新个体更新其聚类中心,重新计算所有样本到中心的距离,并重新分配至最近的类,从而获得新个体。对上一步操作中形成的新种群中的所有个体进行该操作从而获得新种群。聚类中心的更新体现如下:

$$z_j^* = \frac{1}{n_j} \sum_{x_i \in S_j} x_i, j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

式中: $n$ 表示第  $j$  类的样本数量; $z_j^*$ 表示更新后的聚类中心。

### 3.4 模拟退火变异

在种群更替过程中,每一个体的编码情况都存在有一定的几率  $I_i$  发生变异。本文采用均匀变异操作,即每一染色体上不同位的基因,根据其其与聚类中心的距离,以一小概率  $I_i$  发生变异。

$$I_i = \frac{d(x_i - c_m) + 0.1}{\sum_{m=1}^m [d(x_i - c_m) + 0.1]} \quad (7)$$

式中: $d(x_i - c_m)$ 表示样本  $x_i$  到其对应中心  $c_m$  的欧式距离。为了进一步提高算法的局部搜索能力,本文引入模拟退火的思想来改善变异操作。设定初始温度与最终温度为  $T_0$  与  $T_e$ ,迭代次数为  $iter$ 。设定种群中个体的适应度值作为当前值  $V_0$ ,经变异操作后适应度值为  $V_1$ ,根据模拟退火思想,当  $V_1$  优于  $V_0$  时,选取变异后的个体作为当前解;当  $V_1$  劣于  $V_0$  时,则以概率  $\rho = \exp \frac{V_1 - V_0}{KT}$  接受变异个体,其中  $K$  为常数, $T$  表示当前温度。每一次退火都按照降温速度  $b$  进行降温,重复操作直至当前温度达到终止温度  $T_e$ ,进而形成新一代种群。

### 3.5 整体流程

- 1)参数初始化:聚类样本总数  $N$ ,聚类中心为  $m$ ,种群大小  $Q$ ,模拟退火初始温度  $T_0$ ,最终温度  $T_e$ ,常数  $K$ ,模拟退火变异迭代次数  $iter$ ;
- 2)将作战资源服务属性样本向量随机分至  $m$  类,并根据分类结果生成染色体编码  $G_N$ ,迭代  $Q$  次形成初始种群  $P_0$ ;
- 3)根据式(1)~(4)计算该种群中每个个体的目标函数值  $E(x_i)$ ;
- 4)根据式(5)~(7)对初始种群进行选择变异及交叉操作,生成新种群;

- 5)将 3)和 4)重复执行 *iter* 次;
- 6)输出该种群中的最优个体作为最优解。

$n=11$ , 聚类中心数  $m=15$ ;

数据集 2: 样本数据  $N=400$ , 每组样本属性数  $n=15$ , 聚类中心数  $m=6$ ;

数据集 3: 样本数据  $N=500$ , 每组样本属性数  $n=20$ , 聚类中心数  $m=12$ 。

### 4 实验仿真

#### 4.1 实验设计

根据前文设计的本体模型,采用模拟生成的 3 个数据集进行实验,验证算法的寻优性与稳定性。

数据集 1: 样本数据  $N=200$ , 每组样本属性数

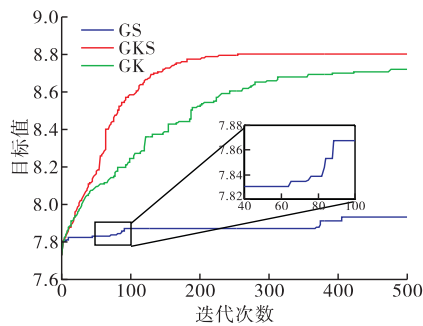
给出数据集 1 的一组样本数据实例,如表 1 所示。其中,每个聚类样本皆具有其 11 元属性组作为聚类参数,通过样本参数计算相似度并使用本文的改进算法对实验进行仿真。

表 1 作战资源样本服务

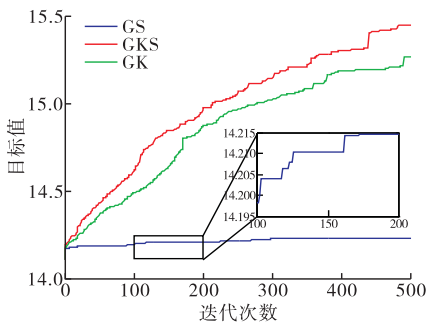
属性	样本服务				
	作战服务 A	作战服务 B	作战服务 C	作战服务 D	作战服务 E
所属作战资源(Belonging_CR)	歼击机 1	歼击机 2	歼击机 3	歼击机 4	歼击机 5
唯一标识(S_ID)	F-M-1	F-M-2	F-M-3	F-M-4	F-M-5
服务类型(S_type)	Attack	Attack	Attack	Attack	Attack
服务描述(S_description)	Ability provided by missile A	Ability provided by missile B	Ability provided by missile C	Ability provided by missile D	Ability provided by missile E
实时属性(S_Rtime)	idle	idle	idle	predetermined	predetermined
作用距离(Range)	10	10	15	10	15
杀伤概率(Killing_P)	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6
被拦截概率(Intercepted_P)	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10
攻击速度(Attack_S)/(km · h <sup>-1</sup> )	263.3	263.4	273.3	263.3	273.3
最低作战高度(Min_altitude)/km	3	3	5	3	5
地理属性(S_location)	(22°21'09"N, 122°13'19"E)	(18°42'09"N, 112°25'20"E)	(15°46'09"N, 115°13'11"E)	(22°21'09"N, 122°13'19"E)	(18°42'09"N, 112°25'20"E)

#### 4.2 算法寻优性实验

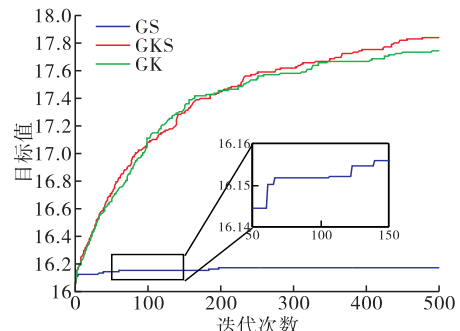
为验证本文改进算法的寻优性,本文对基于遗传的模拟退火算法(GS),基于遗传的 K-means 算法(GK)及本文提出的改进算法(GKS)进行比较,选取目标函数最优值及时间开销为对比数据,以对比 3 种算法的性能。结果见图 3。



(a) 数据集1



(b) 数据集2



(c) 数据集3

图 3 3 种数据集下实验结果

具体结果见表 2, best\_obj 表示目标函数最优值, time\_c 表示算法每代的时间开销。

表 2 3 种算法结果对比

数据集	方法	best_obj	time_c
[200, 11, 15]	GK	8.719 3	0.260 6
	GS	7.922 5	2.538 4
	GKS	8.804 3	2.665 4
[400, 15, 6]	GK	15.265 3	0.465 9
	GS	14.228 2	3.685 5
	GKS	15.446 4	3.806 3
[500, 20, 12]	GK	17.736 9	0.701 1
	GS	16.174 8	6.747 8
	GKS	17.835 3	6.925 8



可以看出,由于在本问题中GS算法没有采用基于K-means的交叉操作,搜索能力较弱,目标函数值较低;本文提出的GKS算法的目标函数值均优于另外2种算法,由于改进算法中引入了模拟退火操作,所需的时间开销大于GK算法。整体来看,本文提出的算法可以得出更优的目标函数值、更优的聚类结果。

### 4.3 算法稳定性实验

为进一步验证本文提出改进算法的稳定性,本文选取第3组数据集进行6次实验,并记录3种算

法的最优函数值,实验结果见图4。

图5为算法稳定测试测试结果,本文所提出的改进算法性能均优于GK与GS算法。为验证算法稳定性,选取标准差这一指标对目标函数值的结果进行分析,结果见表3,本文提出的GKS算法仿真结果的标准差值为0.033 641 777,小于GK与GS算法的标准差值,相比于GK算法和GS算法更为稳定。综上所述,本文提出的改进算法具有较好的寻优与稳定性。

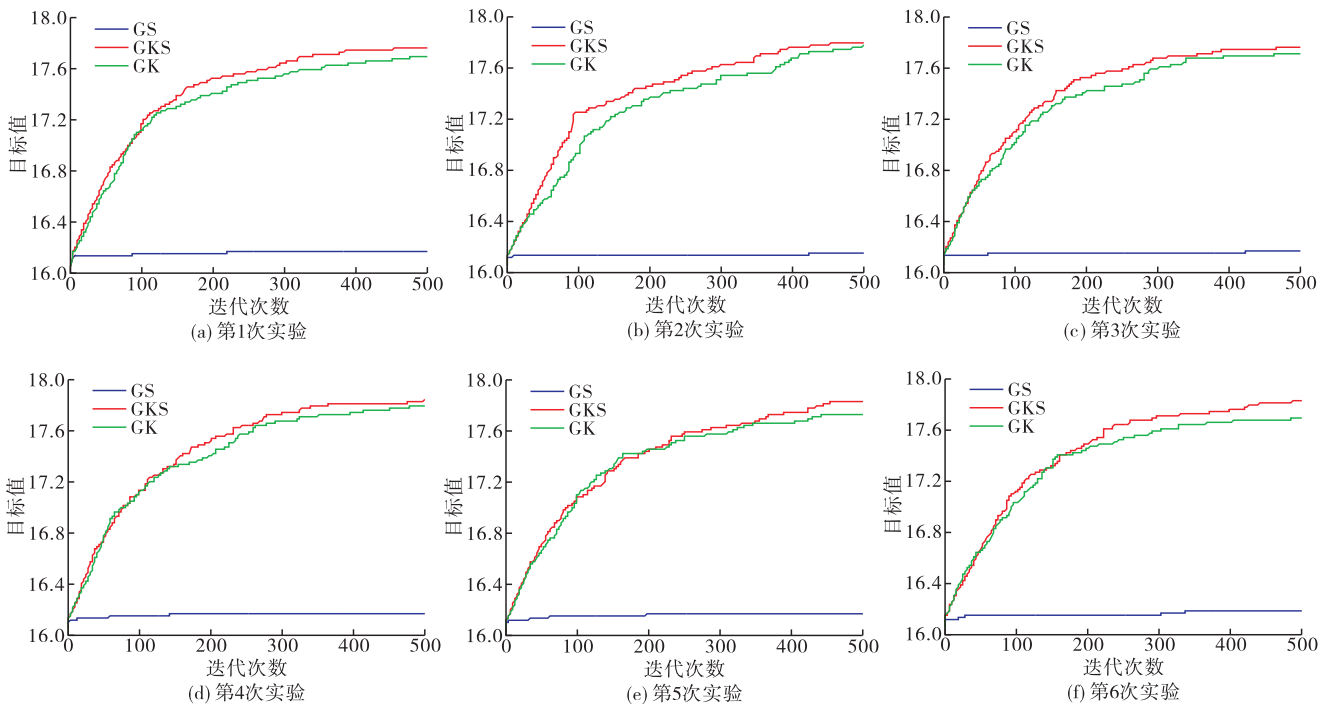


图4 实验结果对比

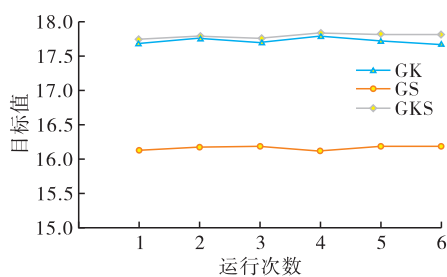


图5 算法稳定性测试结果

表3 统计参数结果

类别	均值	标准差
GK	17.732 25	0.041 790 858
GS	16.169 73	0.034 345 871
GKS	17.799 75	0.033 641 777

## 5 结语

对服务化组织的作战资源进行聚类是减小服务

管理对象规模、提高作战资源组织运用效率的重要手段。本文首先基于OWL-S构建原子级服务本体模型,为作战资源聚类提供资源描述的基础,然后根据服务本体模型描述特点改进服务间相似度定义,最后结合模拟退火算法改进变异操作,基于K-means算法的思想改进了交叉操作,提出了一种基于遗传的模拟退火K-means算法。通过实验验证,该方法相较于GS算法和GK算法具有更好的寻优性和稳定性。

### 参考文献

[1] LI W, ZHONG Y, WANG X, et al. Resource Virtualization and Service Selection in Cloud Logistics[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2013, 36(6):1696-1704.

[2] ZHANG Y, ZHANG G, LIU Y, et al. Research on Services Encapsulation and Virtualization Access Model of Machine for Cloud Manufacturing[J]. Journal of

- Intelligent Manufacturing, 2017, 28(5): 1109-1123.
- [3] 蓝羽石,周光霞,王珩,等. 韧性指挥信息系统构建机理及实现研究[J]. 指挥与控制学报, 2015, 1(3): 284-291.
- [4] JONES S. Toward an Acceptable Definition of Service [J]. IEEE Software, 2005, 22(3): 87-93.
- [5] QI L H, ZHANG A. Research on a Service-Oriented Cloud Cooperation for the New Military Organization [C]// Proceedings of the 27th Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2015). Qingdao: IEEE, 2015: 655-659.
- [6] 李艳良. 面向应用的军事信息服务规划研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2014.
- [7] 李伯虎,张霖,王时龙,等. 云制造——面向服务的网络化制造新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 3-9, 18.
- [8] 李伯虎,张霖,任磊,等. 云制造典型特征、关键技术与应用[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(7): 1345-1356.
- [9] 任磊,张霖,张雅彬,等. 云制造资源虚拟化研究[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(3): 511-518.
- [10] CHHUN S, MOALLA N, OUZROUT Y. Qos Ontology for Service Selection and Reuse[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2016, 27(1): 187-199.
- [11] KAPIL S, CHAWLA M, ANSARI M D. On K-Means Data Clustering Algorithm with Genetic Algorithm [C] // Proceedings of the 4th International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing. Wagnaghat, India: IEEE, 2016: 202-206.
- [12] OWL-S. Semantic Markup for Web Service [EB/OL]. (2004-10) [2020-01-01]. <http://www.w3.org/Submission/OWL-S/>.
- [13] 齐玲辉,面向服务的军事组织云协同关键技术研究[D]. 西安:西北工业大学, 2015.
- [14] 黄松. 云制造环境下机床装备资源服务组合优化选择方法研究[D]. 重庆:重庆大学, 2018.
- [15] ALAZZAWI M, LUO J, RENFA L. EEER: Energy Efficient Clustering Using Representatives for Wireless Sensor Networks [J]. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 2015, 12(10): 3516-3526.
- [16] FU J, LIU Y, CHAO H. ICA: An Incremental Clustering Algorithm Based on OPTICS [J]. Wireless Personal Communications, 2015, 84(3): 2151-2170.
- [17] 凌静. 基于语义的物联网服务聚类算法的研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2020.
- [18] GAYATHRI B. Analysis of Text Clusters Based on Fuzzy and Rough K-Means Strategies [J]. Data Mining & Knowledge Engineering, 2014, 6(8): 340-343.
- [19] LU Y, LU S Y, FOTOUHI F, et al. FGKA: A Fast Genetic K-Means Clustering Algorithm [C] // ACM Symposium on Applied Computing. Nicosia, Cyprus: ACM, 2004: 622-623.

(编辑:徐敏)