

新一代指挥控制系统信息化能力分析与评估

路云飞 李琳琳 张 壮 和 何
(火箭军工程大学作战保障学院 西安 710025)

摘 要 随着信息技术的快速发展,传统指挥控制系统由于信息化能力严重滞后,已不能满足现代战争的作战需求。因此,文中开展了新一代指挥控制系统信息化能力分析与评估的研究。首先,构建了信息化能力指标体系;其次,针对传统系统评估不涉及指标建模、难以保证指标值有效性的问题,结合每个指标的特性,建立了可量化的数学模型;最后,运用经典评估方法实现了信息化能力的评估,发现了系统建设中存在的不足,为系统性能的改进与完善提供了重要参考。

关键词 指挥控制,信息化能力,效能评估,指标建模,信息优势,指标体系

中图法分类号 E2744 **文献标识码** A

Information Capability Analysis and Evaluation of New Generation Command and Control System Computer Engineering and Applications

LU Yun-fei LI Lin-lin ZHANG Zhuang HE He
(Academy of Operational Support,Rocket Force University of Engineering,Xi'an 710025,China)

Abstract With the rapid development of information technology,the information capacity of traditional command and control system is seriously lagging,that can not meet the needs of modern war operations. Therefore,this paper carried out information capability analysis and evaluation of new generation command and control system. Firstly,the evaluation index system of information capability was constructed. Secondly,aiming at the problem that the traditional evaluation does not involve the index modeling,and the difficulty to guarantee the validity of the index value,the detailed quantifiable mathematical model was constructed according to the characteristics of each index. Finally,the classical evaluation methods were used to complete the evaluation of information capabilities and discover the system construction shortage,which provides an important reference for system improvement.

Keywords Command and control,Information capability,Effectiveness evaluation,Index modeling,Information superiority,Index system

1 引言

随着大数据、云计算和人工智能等新技术的快速发展,指挥控制系统作为现代战场的“中枢系统”,信息化程度日益提高。传统的指挥控制系统由于信息技术严重滞后,已不能满足作战需求。因此,加强指挥控制系统信息化能力建设,成为国防和军队建设的重点内容。

目前新一代指挥控制系统正处于立项研制的关键阶段,有针对性地进行效能评估,发现系统存在的不足,为系统性能完善提供建议,具有十分重要的意义^[1-3]。指标量化建模是效能评估的基础,模型的优劣直接影响到指标值获取的有效与否,进而对全系统的效能产生直接影响。因此,本文首先在国军标和传统指挥控制系统指标体系基础上,融入信息优势评估指标,重点针对指挥控制系统信息化建设评估的问题,构建了信息化能力评估指标体系。其次,结合每个叶子指标特点,通过阅读大量参考文献,建立了可量化的数学模型,为指标评价值的获取奠定了坚实的基础。最后,运用经典评估方法实现了系统效能评估,发现了系统中存在的不足,为系统性能的

改进与完善提供了重要参考。

2 信息化能力指标体系构建

指标体系构建是系统效能评估的关键。本节首先结合新一代指挥控制系统信息化程度高的特点,详细介绍了系统建设中一些相关概念;其次结合指标筛选方法,构建了最终的评估指标体系。

2.1 相关概念介绍

与传统指挥控制系统相比,“信息优势”^[4]和“新一代”是系统的主要特点。为便于读者理解,本节首先介绍了 3 个相关概念。

1)指挥控制系统。其是联合作战背景下不同军兵种或者同一军兵种内不同作战单元之间相互联系、协调作战的一个中枢系统。其能够实现对作战范围内的作战单元的有效协同指挥,并进行实时监控。

2)新一代。其概念相对于不同军兵种和武器装备特性来说具有不同的内涵。该概念是针对导弹作战指挥控制系统高度智能化、服务化和一体化的特点而提出的一种信息化程度

本文受国家 863 计划重点课题(2012AA7010213)资助。

路云飞(1992—),男,硕士生,主要研究方向为指挥控制系统效能评估方法,E-mail:15091098140(通信作者)。

更高的指挥控制系统。

3)信息优势。更多强调的是先进的信息技术,如人工智能、大数据和云计算等新技术在指挥控制系统中的广泛应用,使得系统更加智能化、服务化和一体化,这也正是新一代指挥控制系统与传统系统的区别所在。

2.2 指标体系构建

构建新一代指挥控制系统效能评估指标体系,必须遵循最简性原则、可测性原则、稳定性原则、时效性原则和独立性

原则^[5-6]。同时结合新一代指挥控制系统信息化程度高的特点,将信息优势评估指标融入评估指标体系。在指标体系构建过程中,首先在国军标和传统指挥控制系统指标体系的基础上,构建初始评估指标体系^[7];其次利用 SPSS17.0 进行皮尔森相关性分析,剔除相关性较大的指标;最后基于灰色粗糙集的指标筛选方法^[8],筛选出贡献度较大的指标。在上述基础上,构建了新一代指挥控制系统信息化能力评估指标体系,如图 1 所示。

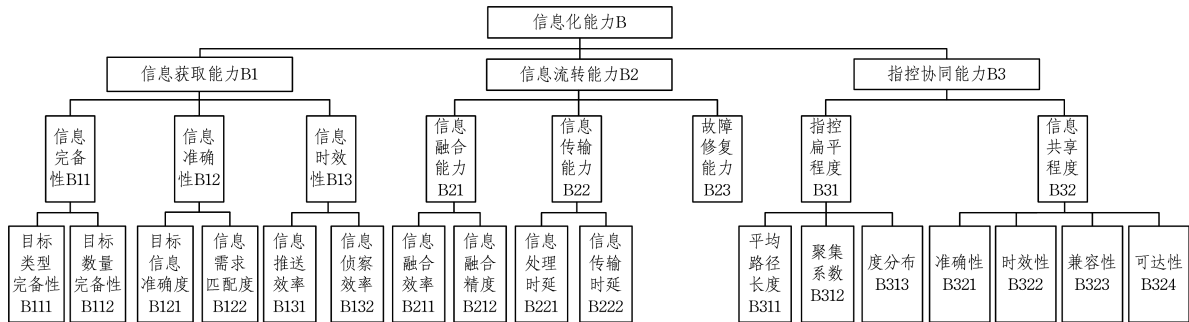


图 1 信息化能力指标体系

3 信息化能力指标建模

3.1 信息获取能力指标建模

导弹部队主动侦察手段相对较弱,作战所需情报态势信息主要靠相关情报部门订阅式的信息推送,因此信息获取能力是指上级推送情报信息与实际作战所需情报信息的匹配程度,主要包括 3 个指标:信息完备性、信息准确性和信息时效性。

1)信息完备性

信息完备性^[4]是指情报侦察获取敌方来袭或战略目标数量与实际数量的比值,包括类型完备性 $C(t)$ 和数量完备性 $D(t)$ 。其具体计算模型为:

$$C(t)=\rho(t)/\phi(t) \tag{1}$$

其中, $\phi(t)$ 表示 t 时刻敌方目标的实际种类数; $\rho(t)$ 表示 t 时刻已被侦察发现的敌方目标种类数。

$$D(t)=\eta(t)/\lambda(t) \tag{2}$$

其中, $\lambda(t)$ 表示 t 时刻敌方目标的实际数量; $\eta(t)$ 表示 t 时刻被侦察发现的敌方目标数量。

t 时刻信息完备性为 $F(t)$, 则:

$$F(t)=C(t)\times D(t) \tag{3}$$

2)信息准确性

信息准确性是指态势感知中,正确侦察发现的目标特征与实际特征的吻合度,以及获取的目标信息与决策所需信息的匹配程度。一般用目标信息准确度和信息需求匹配度两个指标来表示。

目标信息准确度可用分发环节中,侦察获取的每个目标特征参量与实际特征参量的吻合度来衡量。其计算模型为:

$$\begin{aligned} Vali(t) &= (valis(t) | vali_o(t), vali_p(t)) \\ &= \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{|g_{ij} - f_{ij}|}{g_{ij}}}{m * n} \end{aligned} \tag{4}$$

其中, $vali_o(t)$, $vali_p(t)$ 和 $valis(t)$ 分别表示侦察、处理和传送 3 个阶段的信息准确性; g_{ij} 和 f_{ij} 分别表示第 i 个目标的第 j 个特征被侦察发现的信息和实际存在的特征信息; m 表示

目标总数量; n 表示目标的特征参量长度。

信息需求匹配度是指经融合处理后的信息发送给决策使用节点的信息含量与该节点决策实际需要信息的匹配程度。一般可采用信息使用节点对每类信息需求的满足程度来衡量,即是否能够满足需要的信息。其计算模型为:

$$Settle = \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{r_i} \tag{5}$$

其中, p_i 表示发送给决策使用节点的第 i 类信息; r_i 表示决策节点实际所需完整的第 i 类信息; n 表示决策节点所需信息类型的总数。

3)信息时效性

信息时效性可用指控系统获取目标信息时间与战标要求时间差来表示,包括信息推送效率和信息侦察效率。

信息推送效率 η_{pa} 是指信息需求节点从发出信息订阅需求开始到获得所需信息的时间 t_{send} 与战标要求时间 t_o 的差值,若 $t_{send} > t_o$, 则 $\eta_{pa} = 0$ 。

$$\eta_{pa} = \frac{|t_{send} - t_o|}{t_o} \tag{6}$$

信息侦察效率 η_{dr} 是指情报侦察节点侦察目标信息的时间 t_{rec} 与战标要求时间 t_o 的差值,若 $t_{rec} > t_o$, 则 $\eta_{dr} = 0$ 。

$$\eta_{dr} = \frac{|t_{rec} - t_o|}{t_o} \tag{7}$$

若 η_{pa} 和 η_{dr} 包含的目标信息是同一类信息, 则 $\begin{cases} \eta_{pa} = 0, & \text{when } \eta_{dr} > \eta_{pa} \\ \eta_{dr} = 0, & \text{when } \eta_{dr} < \eta_{pa} \end{cases}$; 若包含的目标信息是不同种类的目标信息, 则进一步进行信息融合, 相关模型度量标准请参考信息融合能力指标数学模型。

3.2 信息流转能力指标建模

信息流转能力是指从导弹作战集团获取战场情报、态势、气象和地形等信息开始到武器平台获取所需信息完成任务期间,信息能够可靠地进行融合、分发、传输的能力,包括信息融合能力、信息传输能力和故障修复能力。

1)信息融合能力

信息融合能力是指,信息处理节点对来自情报推送节点

和主动侦察节点的信息进行融合处理,剔除冗余信息和将模糊信息精确化,辅助指挥决策的能力,一般用信息融合效率和信息融合精度表示。

信息融合效率 $\eta_{mix}^{[9]}$ 是对信息融合时效性的一种度量,是指信息处理节点对上级分发信息的融合处理时间 t_{mix} 相对于实际作战允许时间 t_{o-ac} 的时效性,一般用式(8)表示。

$$\eta_{mix} = \frac{|t_{mix} - t_{oac}|}{t_{oac}} \tag{8}$$

信息融合精度 r_{mix} 是对信息融合准确性的度量,一般用信息融合处理节点推送的战场态势信息 $send_i$ 与实际战场态势信息 $reality_i$ 的比值表示。

$$r_{mix} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{send_i}{reality_i} \tag{9}$$

其中, $send_i$ 表示信息融合节点推送的第 i 类信息; $reality_i$ 表示实际战场环境下的第 i 类信息。一般两类信息一致则该类信息融合精度为 1,否则为 0。

2)信息传输能力

信息传输能力可以用信息处理节点到信息使用节点的传输时延来表示,一般从信息处理时延和信息服务时延两方面来度量。

信息处理时延可以用侦察节点获取信息到信息融合处理节点的信息传输时延表示。其计算模型为:

$$Delay(t)_i = \text{Max}(\sum_{u=1}^w delay(t)_{i,u} + \sum_{c=1}^v delay(t)_{i,c}) \tag{10}$$

信息服务时延是指信息从融合处理节点到决策节点的传输时延。其计算模型为:

$$Delay(t)_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{u=1}^w delay(t)_{i,u} + \sum_{c=1}^v delay(t)_{i,c})}{n} \tag{11}$$

其中, $delay(t)_{i,u}$ 和 $delay(t)_{i,c}$ 分别表示第 i 条信息流中第 u 个节点的处理时延和第 c 条边的传输时延; w 表示传输信息流中的总节点数; v 表示传输信息流中的总链路数; n 表示所有信息流传输链路的总数。

信息时效性一般用信息处理时延和信息服务时延的和来表示。其计算模型为:

$$Delay(t)_{infor} = Delay(t)_i + Delay(t)_s \tag{12}$$

3)故障修复能力

故障修复能力^[10]是指信息传输网络在受到外界因素或其他原因干扰,导致信息不能正常传输的情况下,在允许时间内,经故障修复恢复信息正常传输的能力。

假设随机变量 Y 为故障修复时间,即从信息传输系统故障开始到修复完毕、恢复正常功能的时间,此时称 Y 服从维修分布,记为:

$$G(t) = P(Y \leq t) \tag{13}$$

对于 Y 分两种情况进行讨论:连续变量和离散变量。

若 Y 为连续变量,则系统修复密度函数为:

$$g(t) = G'(t) \tag{14}$$

进而得到平均修复时间 T_{MTTR} 为:

$$T_{MTTR} = E(Y) = \int_0^{+\infty} t \cdot g(t) dt \tag{15}$$

若 Y 为离散变量,则平均修复时间 T_{MTTR} 为:

$$T_{MTTR} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \tag{16}$$

其中, t_i 为第 i 次故障修复的时间。

綜上得故障修复能力 E 为:

$$E = T_{MTTR} / T_{\alpha} \tag{17}$$

其中, T_{α} 为故障总时间。

3.3 指控协同能力指标建模

指控协同能力是反映指挥控制系统信息化能力的间接指标,一般用指控网络的扁平化程度(即指挥节点分散化)和信息共享程度(即网络互连互通能力)表示。

1)指控扁平程度

指控扁平程度主要通过指挥控制网络的拓扑结构来反映,因此考虑平均路径长度、聚集系数和度分布^[11],具体量化公式如下。

①平均最短路径长度

定义指挥控制系统中任意两个指挥节点 i 和 j 之间的最短距离为 d_{ij} ,指控网络直径可用所有 d_{ij} 中的最大值来表示。

$$D = \max_{i,j} d_{ij} \tag{18}$$

一般用任意两个指控节点之间距离的平均值表示该指挥控制网络的平均最短路径 L 。

$$L = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i \neq j} d_{ij} \tag{19}$$

其中, N 为指控节点数。

②聚集系数

定义 1 聚集系数 C_i 为指挥控制网络中与指控节点 i 协同指挥的 k_i 个节点间,实际存在的协同指挥链路数与可能存在的最大指挥链路数 $C_{k_i}^0$ 的比值。

$$C_i = \frac{E_i}{C_{k_i}^0} = \frac{1}{k_i(k_i-1)} \tag{20}$$

指挥控制网络的聚集系数 C 一般用指挥控制网络中所有指控节点聚集系数的平均值表示。

$$C = \frac{1}{N} \sum_i C_i$$

其中, N 为指控节点数。

③度分布

一个指控节点的度是指其他与该节点间有信息交互的友邻节点数目。在数学上一般用 $p(k)$ 表示度分布,其含义为任意一个指控节点度为 k 的概率。

2)信息共享能力

信息共享能力^[12]是指各指挥节点能够对系统内的目标信息、数据库信息等建立正确的索引、存储和传输,保证能够正常使用、完成任务的能力,一般包括准确性、时效性、可达性和兼容性 4 个指标。

准确性是衡量共享信息有效程度的指标,是反映信息在共享前后完整性的指标,一般用正确共享信息数量 $Infor_{right}$ 与共享信息总量 $Infor_{sum}$ 的比值来表示。

$$Infor_{acc} = \frac{Infor_{right}}{Infor_{sum}} \tag{21}$$

时效性是对任务周期与信息共享周期重合度的一个度量标准,一般将其投影在一维坐标轴上,通过时间轴上的重合度来表示。设 C_{start} 为任务周期开始时间, C_{end} 为任务周期结束时间; T_{start} 为共享信息周期开始时间, T_{end} 为共享信息周期结束时间。通过这 4 个时刻可以得出两个时间段:任务周期 $C_{task} = |C_{start} - C_{end}|$ 和共享信息周期 $T_{inf} = |T_{start} - T_{end}|$,经归

类分析可得 T_{inf} 和 C_{task} 的重合度有 6 种情形,如图 2、表 1 所示。

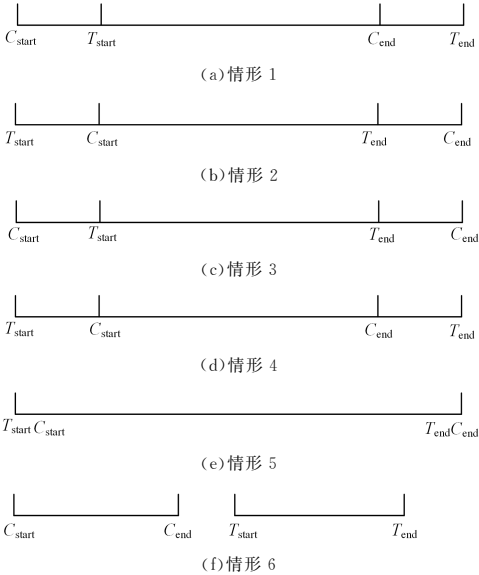


图 2 共享周期和任务周期的匹配情况(6 种情形)

表 1 各情形下的时效性对比

重叠情况	满足作战要求	无过度损耗	任务可完成	
情形 1	T_{inf} 和 C_{task} 交叉重叠	*		
情形 2	T_{inf} 和 C_{task} 交叉重叠	*		*
情形 3	$C_{task} > T_{inf}$	*		
情形 4	$C_{task} < T_{inf}$	*		*
情形 5	$C_{task} = T_{inf}$	*	*	*
情形 6	T_{inf} 和 C_{task} 相离			

注：* 代表满足要求

可达性是衡量信息共享广度和深度的指标,一般用平均接收和传送共享信息种类数的比值来评价,如式(22)所示：

$$L_{arr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{infor_{re-i}}{infor_{send-i}}$$

(22)

其中, $infor_{re}$ 表示接收到的信息种类数, $infor_{send}$ 表示传送的信息种类数。

兼容性是衡量信息在不同指挥平台、战场环境下被不同指挥节点共享程度的指标,主要考虑信息存储格式、类型及不同平台间数据接口的适用性,一般在系统开发中有固定的军用标准值。

4 信息化能力评估及分析

为验证指标体系的可行性和指标模型的准确性,首先根据前文构建的指标模型获取指标评价值,然后利用经典效能评估方法对系统进行评估^[13]。

1) 指标权重确定

根据文献[14]中的指标赋权方法得到信息化能力评估指标体系中各指标的权重,如表 2—表 4 所列。

表 2 三级指标的权重

指标	B111	B112	B121	B122	B131	B132	B211	B212	B221
权重	0.67	0.33	0.54	0.46	0.5	0.5	0.47	0.53	0.62
指标	B222	B311	B312	B313	B321	B322	B323	B324	
权重	0.38	0.26	0.39	0.35	0.27	0.21	0.24	0.28	

表 3 二级指标的权重

指标	B11	B12	B13	B21	B22	B23	B31	B32
权重	0.24	0.38	0.38	0.33	0.5	0.17	0.45	0.55

表 4 一级指标的权重

指标	B1	B2	B3
权重	0.32	0.35	0.33

2) 指标评价值获取

关于底层指标的计算模型,前文已有详细的介绍,为验证指标体系的合理性和指标模型的正确性,直接给出叶子节点的指标值,如表 5 所列。

表 5 指标评价值

指标	评价值 1	评价值 2	评价值 3	评价值 4	评价值 5	均值
B111	0.53	0.67	0.95	0.58	0.96	0.74
B112	0.72	0.88	0.81	0.75	0.65	0.76
B121	0.82	0.89	0.76	0.75	0.80	0.80
B122	0.65	0.75	0.80	0.63	0.69	0.70
B131	0.76	0.68	0.70	0.80	0.82	0.75
B132	0.67	0.56	0.68	0.72	0.87	0.70
B211	0.88	0.53	0.64	0.90	0.76	0.74
B212	0.71	0.78	0.64	0.69	0.75	0.71
B221	0.66	0.66	0.72	0.78	0.73	0.71
B222	0.54	0.58	0.63	0.67	0.60	0.60
B311	0.74	0.84	0.87	0.78	0.90	0.83
B312	0.90	0.78	0.74	0.84	0.82	0.82
B313	0.82	0.88	0.90	0.72	0.76	0.82
B321	0.93	0.88	0.85	0.90	0.77	0.87
B322	0.54	0.67	0.71	0.58	0.64	0.63
B323	0.67	0.72	0.72	0.64	0.66	0.68
B324	0.69	0.64	0.79	0.80	0.82	0.75
B23	0.76	0.74	0.82	0.68	0.78	0.76

3) 单项指标效能值计算

采用文献[15]中的评估方法,按照由下向上、逐级融合的思想^[14],结合叶子节点评价值和表 2 中三级指标权重,获得二级指标评估值,如表 6 所列。

表 6 二级指标效能评估结果

指标	B11	B12	B13	B21	B22	B23	B31	B32
评估值	0.75	0.75	0.73	0.72	0.67	0.76	0.82	0.74

通过上述计算,已获得新一代指挥控制系统信息化能力评估指标体系中二级指标的效能评估结果。同样,利用文献[15]中系统效能评估公式,并结合表 3 中的二级指标权重,得到一级指标效能评估结果,如表 7 所列。

表 7 一级指标效能评估结果

指标	B1	B2	B3
评估值	0.74	0.70	0.78

4) 信息化能力综合效能计算

利用文献[15]中的效能评估公式,结合表 4 中的一级指标的权重值和表 7 中的一级指标评估值,可得新一代指挥控制系统信息化能力效能评估值。

$$E=0.32\times0.74+0.35\times0.70+0.33\times0.78=0.74$$

从系统信息化能力效能评估结果来看,系统的整体效能值为 0.74,而信息获取能力、信息流转能力和指控协同能力的效能值分别为 0.74、0.70 和 0.78。通过对比分析来看,信息获取能力的效能值与信息化能力相同,说明信息获取能力建设基本上与信息化能力建设同步发展;信息流转能力的效能值是 0.70,明显低于信息化能力 0.74 的效能值,说明信息流转能力建设比较薄弱,制约了信息化能力的提升。进一步

剖析信息流转能力的 3 个二级指标,从表 6 可以看出,故障修复能力效能值只有 0.67,说明系统的修复能力严重滞后于系统信息化建设的发展,是阻碍系统信息化能力提升的关键;指控协同能力的效能值为 0.78,已明显高于信息化能力的整体效能值,说明在指控系统方面的建设相对完善。

结束语 本文针对新一代指挥控制系统信息化能力评估中的指标体系构建、指标建模和效能评估开展研究。通过系统效能评估,验证了信息化能力指标体系的合理性和指标模型的正确性,并发现了信息化能力建设中存在的不足,为系统性能的改进提供了重要参考。

此外,指标建模是一个系统工程,涵盖范围广,涉及诸多学科知识,由于个人能力所限,不免存在部分指标模型不够细化。例如,故障修复能力的评估应该按照故障种类或修复程度来进行评估,而文中则采用了平均故障修复时间和总故障时间的比值来进行度量。因此,今后需要进一步细化、完善指标建模。

参 考 文 献

[1] 陈黎,李芳芳,赵广彤.美陆军一体化防空反导指控系统研究及启示[J].现代防御技术,2016,44(5):82-88.

[2] 李向阳,潘长鹏,李伟波.基于 C-AHP 的指挥控制系统作战效能指标体系研究[J].舰船电子工程,2014,34(2):31-34.

[3] 房坚,王钺,袁坚.基于集合距离的信息优势度量方法[J].系统工程与电子技术,2017,39(1):114-119.

[4] 江汉,尹浩,李学军,等.C4ISR 体系对抗仿真中的信息优势度量[J].系统工程与电子技术,2006,28(1):88-91.

[5] QI Z F,HAN S,LI J X. Applications of Generalized Rough Set

Theory in Evaluation Index System of Radar Anti-Jamming Performance[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University(Science), 2016,21(2):151-158.

[6] YANG J S,WANG F Y. Developing a quantitative index system for assessing sustainable forestry management in Heilongjiang Province,China;a case study[J]. CrossMark, 2016,27(3):611-619.

[7] 杜俊慧.基于灰色粗糙集的评价指标筛选方法研究[J].中北大学学报,2012,33(5):559-562.

[8] 陈强,陈长兴,陈婷,等.基于 ADC 模型的数据链系统作战效能评估[J].火力与指挥控制,2016,41(1):72-76.

[9] 胡涛,焦彦维,王华兵,等.基于区间云模型对信息的效能评估[J].系统工程理论与实践,2017,37(2):478-485.

[10] 孙璐璐.层次型无线传感器网络故障检测方法研究[D].沈阳:沈阳理工大学,2015.

[11] 蓝羽石,毛少杰,王衍.指挥信息系统结构理论与优化方法[M].北京:国防工业出版社,2015.

[12] 申普兵,赵占东,宫强兵.网络作战能力评估指标体系构建问题的研究[J].计算机科学,2016(S1):505-507.

[13] JANA K,JAN S. Fuzzified AHP in the evaluation of scientific monographs [J]. Central European Journal of Operations Research, 2016,24(2):353-370.

[14] XU R S,ZHANG J L,ZUO H B,et al. A novel model for cost performance evaluation of pulverized coal injected into blast furnace based on effective calorific value[J]. Journal of Central South University of Technology, 2015(22):3990-3998.

[15] 陈兆兵,郭劲,王兵,等.车载高架式光电探测系统的作战效能评估[J].光学精密工程,2013,21(1):77-86.

(上接第 526 页)

数据征信平台可便捷地搭建出基于信用的应用服务,最后基于该平台设计了一个去中心化的借贷应用,进一步阐述了如何通过大数据征信平台开发互联网信用生态中的应用服务。

参 考 文 献

[1] 刘楠,刘露.区块链与云计算融合发展 BaaS 成大势所趋[J].通信世界,2017(17):61-62.

[2] TAPSCOTT A,TAPSCOTT D. How blockchain is changing finance[J]. Harvard Business Review, 2017,1:23-32.

[3] BYSTRÖM H. Blockchains, real-time accounting and the future of credit risk modeling[J]. Lund University, Department of Economics, 2016,4:146-152.

[4] GUO Y,LIANG C. Blockchain application and outlook in the banking industry[J]. Financial Innovation, 2016,2(1):24-38.

[5] 蔡然.区块链金融的发展趋势研究[J].金融发展研究, 2018,1:37-41.

[6] 袁勇,王飞跃.区块链技术发展现状与展望[J].自动化学报, 2016,42(4):481-494.

[7] 雷锋网.区块链在征信业的应用探讨:切中了痛点,但也面临四大挑战[EB/OL]. <https://www.leiphone.com/news/201704/>

84JXeQoOKLlSY1oP.html.

[8] 钱卫宁,金澈清,邵奇峰.区块链与分享型数据库[J].大数据, 2018,1:36-45.

[9] KATE A. Introduction to Credit Networks;Security,Privacy,and Applications[C]//Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. ACM, 2016: 1859-1860.

[10] 钱卫宁,邵奇峰,朱燕超,等.区块链与可信数据管理:问题与方法[J].软件学报,2018(1):150-159.

[11] 百度百科.区块链[EB/OL]. <https://baike.baidu.com/item/%E5%8C%BA%E5%9D%97%E9%93%BE>.

[12] 闫树,卿苏德,魏凯.专题:区块链与数据共享——区块链在数据流通中的应用[J].大数据, 2018,1:1-12.

[13] 刘文,秦静.区块链技术及其在数字加密货币中的应用[J].通信学报, 2018,3:682-687.

[14] 王海龙,田有亮,尹鑫.基于区块链的大数据确权方案[J].计算机科学, 2018,45(2):15-19.

[15] 袁勇,周涛,周傲英,等.区块链技术:从数据智能到知识自动化[J].自动化学报, 2017,43(9):1485-1490.

[16] 乔蕊,董仕,魏强,等.基于区块链技术的动态数据存储安全机制研究[J].计算机科学, 2018,2:57-62.