

指挥信息系统信息能力的评估

孙 瑞,王智学,曹伟杰

(解放军理工大学 指挥自动化学院,江苏 南京 210007)

摘 要:高技术条件下的信息化战场,对指挥信息系统信息能力的要求越来越高。如何通过评估信息系统信息能力的高低来判断战场信息优势和制信息权的取得,以及发现系统信息能力存在的缺陷将是非常重要的问题。文中通过调研分析建立了指挥信息系统信息能力的多级评估指标,采用层次分析法确定了各同级指标间的相对权重,应用多元联系数集对分析方法完成了对指挥信息系统信息能力的综合评估。基于多元联系数集对分析模型客观严谨、评估结果合理,具有较高的可信度和可行性,适合于指挥信息系统信息能力的评估。

关键词:信息能力;评估;多元联系数;层次分析法

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)10-0125-04

Information Capability Appraise of Command Information System

SUN Rui, WANG Zhi-xue, CAO Wei-jie

(Institute of Command Automation, PLA University of Sciences and Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: It is becoming more and more increasingly for the demand of the information capability of command information system in information battle under the high-tech conditions. It is an important problem how to estimate the acquirement of the information superiority and information dominance in information battles, and find the bugs of the information capability of the command information system through the evaluation of the information ability. In this paper, some multilevel appraise indexes are constructed by research and analysis. Adopting the method of AHP determines the relative weight between the indexes. Using an evaluation model of multi-factor connection number for the set pair analysis completes comprehensive evaluation for the information capability of the command information system. The model based on multi-factor connection number for the set pair analysis is impersonal and strict, the evaluation result is reasonable, authentic and viable. It is worthy for evaluating information capability of command information system.

Key words: information capability; appraise; multi-factor connection number; AHP

0 引 言

未来战场,特别是高技术条件下的信息化战场,实时、准确地掌握战场信息,及时、高效地获取共享感知态势将是战场取胜的重中之重。因此,指挥信息系统的信息能力的高低将直接关系到战场上信息优势和制信息权的取得,是战场上不可或缺的能力之一。科学、客观、准确、全面地评估指挥信息系统的信息能力,有助于正确了解敌我双方指挥信息系统信息能力的强弱,及时掌握和发现其自身的能力缺陷,为评估判断信息优势提供依据,并为指挥信息系统设计的改进提供价值参考。文中通过调研分析建立了信息能力的多级

评估指标,采用层次分析法确定了各同级指标的相对权重,应用多元联系数集对分析方法完成了对指挥信息系统的信息能力综合评估。

1 评估指标体系的构建

所谓信息能力是指^[1-3],指挥信息系统所具有的信息获取、传输、处理和利用的能力,同时通过信息对抗来抑制敌获取、传输和利用信息的能力。鉴于信息能力的内涵和指挥控制过程中信息的流向^[4,5],指挥信息系统的信息能力 U 主要体现在信息获取能力 U_1 、信息处理能力 U_2 、信息传输能力 U_3 、信息利用能力 U_4 和信息对抗能力 U_5 五个一级指标上。

信息获取能力是指,指挥信息系统利用单传感器或传感器网络获取战场环境、敌情、我情等战场事实的能力。其二级指标^[6]主要有:信息获取的完整性 U_{11} 、信息获取的正确性 U_{12} 和信息获取的时效性 U_{13} 。

信息处理能力是将通过情报获取、侦察和监视等各种手段获取的原始态势信息进行数据融合和情报整

收稿日期:2012-02-23;修回日期:2012-05-25

基金项目:武器装备预研重点基金项目(9140A06040108JB8101)

作者简介:孙 瑞(1985-),男,江苏人,硕士研究生,研究方向为指挥信息系统信息能力的评估建模和形式化方法;王智学,教授,博士生导师,研究方向为 C4ISR 系统的军事需求工程、C4ISR 系统体系结构技术等。

合,形成满足各种指挥控制需求的公共态势的能力。其二级指标^[6]主要有:信息筛选的有效性 U_{21} 、信息融合的正确性 U_{22} 、信息的更新周期 U_{23} 和信息存储的完整度 U_{24} 。

信息传输能力是指运用多种通信手段,按照一定的传输协议,将信息从发动端传输到接收端的能力。其二级指标^[6]主要有:信息传输的完整性 U_{31} 、信息传输的时效性 U_{32} 、信息传输的准确度 U_{33} 和信息传输的安全性 U_{34} 。

信息利用能力是指,指挥信息系统所具有的信息检索和决策辅助能力。其二级指标^[6]主要有:信息检索的时效性 U_{41} 、检索信息的相关程度 U_{42} 、辅助决策信息的生成周期 U_{43} 和辅助决策信息的利用价值 U_{44} 。

信息对抗能力是指,指挥信息系统具有对敌信息系统的攻击、干扰和破坏,并防止敌破坏我信息系统的的能力。其二级指标^[6]主要有:网络攻击能力 U_{51} 、电磁干扰能力 U_{52} 、网络和节点的抗毁性 U_{53} 、电磁防护能力 U_{54} 、系统自身的修复能力 U_{55} 。

根据以上论述,指挥信息系统信息能力的指标评估体系如图 1 所示。

2 基于层次分析法的评估指标权重系数向量的确定

层次分析法(AHP)^[7,8]是常用的确定指标权重系数的方法。层次分析法通过指标间两两比较的方式构造判断矩阵,得到关于诸指标主观判断的定量描述,然后通过计算该判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} 和特征向量 W ,求出指标的权重系数向量,最后通过一致性检验确定指标权重系数向量的有效性。

层次分析法体现了主观与客观的辩证统一,由于其结合了定性的比较与定量的计算,使得指标权重的确立具有一定的可行性、有效性和可靠性。

利用层次分析法确定信息能力各级指标权重的一般步骤如下:

(1)通过每一层指标中两两指标间的比较,形成数值判断矩阵 A 。

T. L. Saaty 提供了 1~9 级标度方法生成数值判断矩阵,其九级标度的定义如表 1 所示:

表 1 判断矩阵 1~9 级标度及含义

| x 比 y 的标度 | y 比 x 的标度 | 含义 |
|-----------|-----------------|--------------|
| 1 | 1 | x 与 y 同等重要 |
| 3 | 1/3 | x 比 y 稍微重要 |
| 5 | 1/5 | x 比 y 明显重要 |
| 7 | 1/7 | x 比 y 强烈重要 |
| 9 | 1/9 | x 比 y 极端重要 |
| 2,4,6,8 | 1/2,1/4,1/6,1/8 | 介于以上两相邻判断的中值 |

(2)对矩阵 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 进行归一化处理:

$$\overline{a_{ij}} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} (i, j = 1, 2, \cdots, n) \tag{1}$$

(3)求出判断矩阵最大特征值多对应的特征向量 $W = (\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_n)$:

$$\omega_i = \frac{c_i}{\sum_{j=1}^n c_j} (i = 1, 2, \cdots, n) \tag{2}$$

其中 $c_i = \sum_{j=1}^n \overline{a_{ij}} (i = 1, 2, \cdots, n)$

(4)计算判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} :

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n \overline{a_{ij}} \cdot \omega_j}{\omega_i} \tag{3}$$

(5)评估判断矩阵的一致性。

根据公式 $CR = \frac{CI}{RI}$ 评估判断矩阵的一致性,当 $CR < 0.1$ 时,此判断矩阵符合一致性要求,否则需要重新

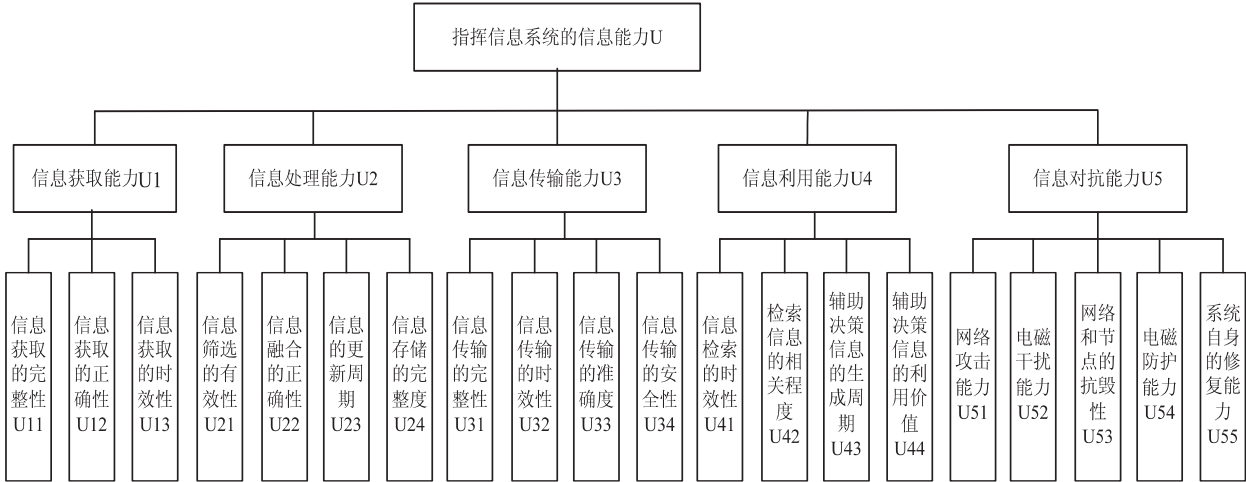


图 1 指挥信息系统的信息能力指标图

构建。其中,一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$, 平均随机一致性指标 RI 可以查表 2 求得。

表 2 平均随机一致性指标 RI 值

| n | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| RI | 0 | 0.5149 | 0.8931 | 1.1185 | 1.2494 | 1.3450 | 1.4200 |
| n | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| RI | 1.4616 | 1.4874 | 1.5156 | 1.5405 | 1.5583 | 1.5779 | 1.5894 |

3 基于多元联系数集对分析的信息能力评估模型的建立

当前,信息能力的评估方法^[9]主要有模糊综合评价法、灰色聚类分析、BP 人工神经网络等,但它们在某些方面均存在一些缺点,比如模糊综合评价法在采用“最大隶属度”原则和“取大取小”算法时,会导致部分评估信息的丢失等^[10],这样评估结果的可信性和可靠性必然会降低。文中采用基于多元联系集对分析的方法建立信息能力的评估模型。

3.1 多元联系数集对分析模型

多元联系数集对分析是在同异反三元集对分析^[11]的基础上扩展得到的。同异反集对分析模型体现了辩证法中“一分为三”的观点,但其在解决很多实际问题时显得过于粗糙,不能足够明确地表达和描述问题。而多元联系数集对分析模型是在同异反集对分析模型的基础上将“差异”(或者叫不确定因素)继续细化后得到,将“一分为三”扩展到了“一分为多”,以便更好地表达和描述问题和事物之间的关系,同时保留了事物本身更多的信息。多元联系数^[12]的一般形式定义为:

$$\mu = a + b_1i_1 + b_2i_2 + \cdots + b_ni_n + cj \tag{4}$$

其中, $a, b_i (i = 1, 2, \cdots, n), c \in [0, 1]$ 满足归一化条件,即 $a + \sum_{i=1}^n b_i + c = 1$ 。 $i_k \in (-1, 1) (k = 1, 2, \cdots, n); j = -1$ 。当 $n = 1$ 时, (4) 式退化为同异反联系数, 当 $n \geq 2$ 时, (4) 式称为多元联系数。

3.2 利用多元联系数集对分析评估信息能力的一般步骤

(1) 确定评估等级空间维数和等级评语。

设待评估对象的评估等级空间 $V = (v_1, v_2, \cdots, v_k)$, 经过心理学家米勒实验证明, 在某个指标的等级判别时, 普通人能正确区别属性的等级在 5 ~ 9 级之间, 所以 k 的取值一般为区间 $[5, 9]$ 的整数, 且以取奇数为宜。 k 值过小不易表述清楚评价等级, 也不符合评估的质量要求; k 值过大, 评估的等级过分细化, 各等级间的区分不够明显; k 取奇数是为了能有一个中间等级。

当 k 值确定以后, 根据专家意见或者经验确定评估等级评语。例如, 当 $k = 5$ 时, 相应的信息能力各项指标的等级评语可定为 $V = \{\text{优, 良, 中, 一般, 差}\}$ 。

(2) 确定多元联系数的元数。

一般情况下, 联系数的元数确定取决于评估等级空间的维数 k 的值, 所以, k 值确定后可以设定利用 k 元联系数建立评估模型。例如, 当 $k = 5$, 等级评语集设定为 $V = \{\text{优, 良, 中, 一般, 差}\}$ 时, 即可确定利用五元联系数进行信息能力的评估。此时五元联系数为:

$$\mu = a + bi + cj + dk + el \tag{5}$$

其中 $a, b, c, d, e \in [0, 1]; i, j, k \in (-1, 1); l = -1$ 。

(3) 建立待评估指标的评估矩阵。

评估的指标通常分为正向型、逆向型和固定型三大类指标。正向型指标是指取值越大越好的指标; 逆向型指标是指取值越小越好的指标; 固定型指标是指取值越接近某个固定值越好的指标。通常应用于评估的指标多为正向型和逆向型指标, 固定型指标较为少见。

正向型指标评估矩阵中的系数计算公式为:

$$u_{mn} = \begin{cases} 0 & x \in [0, s_1] \\ \frac{x - s_1}{s_2 - s_1} & x \in (s_1, s_2) \\ 1 & x \in [s_2, +\infty) \end{cases} \tag{6}$$

逆向型指标评估矩阵中系数计算公式为:

$$u_{mn} = \begin{cases} 1 & x \in [0, s_1] \\ \frac{s_2 - x}{s_2 - s_1} & x \in (s_1, s_2) \\ 0 & x \in [s_2, +\infty) \end{cases} \tag{7}$$

式(6)、(7)中 x 表示为第 m 个评估指标中, 第 n 个评估等级的指标值, s_1, s_2 分别为 x 所在评估等级标准的门限值。

(4) 计算二级指标的综合评估多元联系数 u_n 。

$$u_n = W_n \cdot R_n \cdot E \tag{8}$$

其中, W_n 为各二级指标的权系数向量, R_n 表示评估矩阵, E 为多元联系数分量系统矩阵。

(5) 求解系统信息能力的综合评估多元联系数 u 。

通过对二级指标的综合评估多元联系数加权求和得到指挥信息系统的信息能力的综合评估多元联系数为:

$$u = \sum_{i=1}^k \omega_i u_i \quad (k \text{ 为一级指标的个数}) \tag{9}$$

4 实例分析

根据以上介绍的方法, 对某指挥信息系统的信息

能力进行综合评估。

(1) 此处以确定信息获取能力二级指标 ($U_{11} \sim U_{13}$) 的相对权重为例, 利用层次分析法得到如表 3 所示的确定结果:

表 3 信息获取能力二级指标权重的建立结果

| U_1 | U_{11} | U_{12} | U_{13} | 特征向量 (ω_1) | λ_{\max} | CI | RI | CR |
|----------|----------|----------|----------|------------------------|------------------|--------|--------|--------|
| U_{11} | 1 | 1/3 | 3 | 0.2605 | | | | |
| U_{12} | 3 | 1 | 5 | 0.6333 | 3.0387 | 0.0193 | 0.5149 | 0.0375 |
| U_{13} | 1/3 | 1/5 | 1 | 0.1062 | | | | |

同理, 信息能力的各层次指标的相对权重如表 4 所示:

表 4 信息能力各级指标

| 一级指标名称 (权重 ω_i) | 二级指标名称(权重 ω_{ij}) | 二级 指标值 |
|----------------------------|-------------------------------|-----------|
| 信息获取能力 U_1 (0.2607) | 信息获取的完整性 U_{11} (0.2605) | 0.75 |
| | 信息获取的正确性 U_{12} (0.6333) | 0.82 |
| | 信息获取的时效性 U_{13} (0.1062) | 0.85 |
| 信息处理能力 U_2 (0.1518) | 信息筛选的有效性 U_{21} (0.0569) | 0.82 |
| | 信息融合的正确性 U_{22} (0.5579) | 0.85 |
| | 信息的更新周期 U_{23} (0.1219) | 0.73 |
| | 信息存储的完整度 U_{24} (0.2633) | 0.94 |
| 信息传输能力 U_3 (0.4619) | 信息传输的完整性 U_{31} (0.2679) | 0.84 |
| | 信息传输的时效性 U_{32} (0.1246) | 0.72 |
| | 信息传输的准确度 U_{33} (0.5464) | 0.88 |
| | 信息传输的安全性 U_{34} (0.0611) | 0.75 |
| 信息利用能力 U_4 (0.0498) | 信息检索的时效性 U_{41} (0.0765) | 0.85 |
| | 检索信息的相关程度 U_{42} (0.2649) | 0.77 |
| | 辅助决策信息的生成周期 U_{43} (0.1150) | 0.64 |
| | 辅助决策信息的利用价值 U_{44} (0.5436) | 0.89 |
| 信息对抗能力 U_5 (0.0758) | 网络攻击能力 U_{51} (0.5047) | 0.82 |
| | 电磁干扰能力 U_{52} (0.2575) | 0.76 |
| | 网络和节点的抗毁性 U_{53} (0.0693) | 0.58 |
| | 电磁防护能力 U_{54} (0.1268) | 0.87 |
| | 系统自身的修复能力 U_{55} (0.0417) | 0.74 |

(2) 由于各二级指标的相对指标值可以通过其他相应的数学模型和方法求出, 所以首先通过计算定量求出各指标的初始值, 然后将其做一致化、无量纲化和归一化处理, 使所有指标转换为取值范围为 $[0, 1]$ 的正向型指标, 其结果如表 4 的二级指标值字段。

本实例分析中选用五元联系数集对分析模型, 根据相关专家的意见, 将等级评语集确定为 {最高, 较高, 中等, 较低, 最低}。由于所有指标值均已规范化到 $[0, 1]$ 的范围内, 所以设定评价标准如表 5 所示:

表 5 评估等级的门限值表

| 等级 | 最高 | 较高 | 中等 | 较低 | 最低 |
|-----|------------|-----|-----|-----|------------|
| 门限值 | ≥ 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | ≤ 0.1 |

此处仍以信息获取能力的二级指标为例, 根据 (6) 式可得信息获取能力的评估矩阵为:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0.60 & 0.40 & 0 & 0 & 0 \\ 0.75 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

将 R_1 、 W 、 E 代入 (8) 式得到信息获取能力的五元联系数:

$$u_1 = (0.2605 \ 0.6333 \ 0.1062) \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0.60 & 0.40 & 0 & 0 & 0 \\ 0.75 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} i \\ j \\ k \\ l \end{pmatrix}$$

$$= 0.5248 + 0.4752i + 0j + 0k + 0l$$

同理, 可求出信息处理能力、信息传输能力、信息利用能力和信息对抗能力的五元联系数分别为:

$$\begin{aligned} u_2 &= 0.7341 + 0.2658i + 0j + 0k + 0l \\ u_3 &= 0.7070 + 0.2930i + 0j + 0k + 0l \\ u_4 &= 0.5850 + 0.3805i + 0.0345j + 0k + 0l \\ u_5 &= 0.4962 + 0.4622i + 0.0416j + 0k + 0l \end{aligned}$$

将每个二级能力指标的综合五元联系数加权求和得到指挥信息系统的信息能力的五元联系数为:

$$\begin{aligned} u &= \sum_{i=1}^5 \omega_i u_i \\ &= 0.6461 + 0.3536i + 0.0049j + 0k + 0l \end{aligned} \tag{10}$$

(3) 对信息能力的五元联系数进行综合分析。

根据 (10) 式的信息能力五元联系数的结果分析, 此指挥信息系统的信息能力的综合评估相对于最高等级的同一度为 64.61%, 相对于较高等级的同一度为 35.36%, 相对于中等等级的同一度为 0.49%, 相对于较低级的同一度为 0%, 相对于最低等级的同一度为 0%。

根据“均分原则”, 取 $l = -1, i = 0.5, j = 0, k = -0.5$ 。则信息能力综合评估的五元联系数

$$u = 0.6461 + 0.3536 \times 0.5 = 0.8229$$

由于联系数的取值范围为 $[-1, 1]$, 可将五元联系数与评估等级做一一映射, 得到当五元联系数 $u \in [0.6, 1]$, 信息能力的评估结果为最高; $u \in (0.2, 0.6]$, 信息能力的评估结果为较高; $u \in (-0.2, 0.2]$, 信息能力的评估结果为中等; $u \in (-0.6, -0.2]$, 信息能力的评估结果为较低; $u \in (-0.6, -1]$, 信息能力的评估结果为最低。

综上所述, 指挥信息系统的信息能力的综合评估结果为最高等级。

5 结束语

文中采用了多元联系数集对分析方法给出了一种指挥信息系统信息能力的评估模型, 并通过层次分析法确定各级指标相对于上一级别的权重向量。该模型

(下转第 132 页)

点 10 被错分到了别的社团中,见图 1。

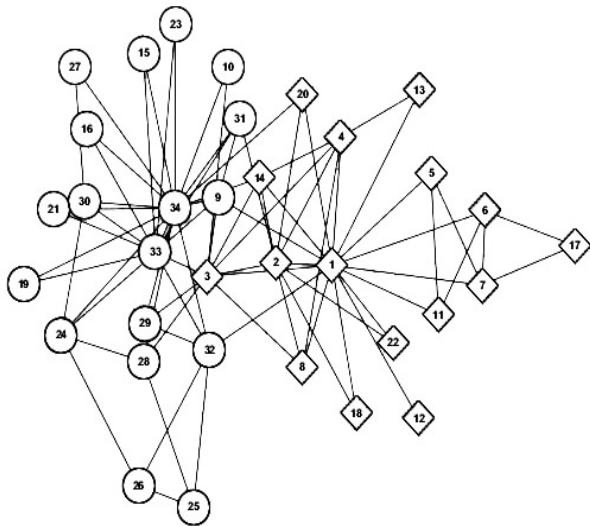


图 1 某次计算 Zachary club 网络的社团划分结果

5 结束语

复杂网络的研究已经备受关注,其社团结构发现已经成为一项很有挑战性的研究课题。该文用改进的 ACCA 来分析网络社团结构的划分,此方法的好处是社团数目不需要提前被指定,并且能够获取全局最优解是此算法最大的优点。实验表明用该算法分析复杂网络的社团结构是可行的。由于相关参数影响算法的性能,所以需进行深入研究。

参考文献:

- [1] 汪小帆,李翔,陈关荣. 复杂网络理论及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2006.

- [2] Hu Y Q, Li M H, Zhang P, et al. Community detection by signaling on complex networks[J]. Physical Review E, 2008, 78 (1): 016115.
- [3] Girvan M, Newman M E J. Community structure in social and biological networks[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2002, 99 (12): 7821-7826.
- [4] Guimerà R, Amaral L A N. Functional cartography of complex metabolic networks[J]. Nature, 2005, 433 (7028): 895-900.
- [5] Palla G, Derényi I, Farkas I, et al. Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society[J]. Nature, 2005, 435 (7043): 814-818.
- [6] 毛国军,段立娟,王石,等. 数据挖掘原理与算法[M]. 北京:清华大学出版社,2005:156-183.
- [7] 张云涛,龚玲. 数据挖掘原理与技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004:49-57.
- [8] Newman M E J. Fast algorithm for detecting community structure in networks[J]. Physical Review E, 2004, 69 (6): 066133.
- [9] Deneubourg J L, Goss S, Franks N, et al. The Dynamics of Collectivesorting; Robot-like Ants and Ant-like Robots[C]//Proc of the 1st Int'l Conf on Simulation of Adaptive Haviour. [s. l.]: [s. n.], 1991:356-365.
- [10] Radicchi F, Castellano C, Cecconi F. Defining and Identifying Communities in Networks[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2004, 101 (9): 2658-2662.
- [11] Dorigo M, Stutzle T. Ant Colony Optimization[M]. 张军,胡晓敏,罗旭耀,等译. 北京:清华大学出版社,2006.
- [12] Zachary W W. An information flow model for conflict and fission in small groups[J]. Journal of Anthropological Research, 1977, 33: 452-473.

(上接第 128 页)

能够客观、合理地确定信息能力各级指标间关于评估等级的联系度,是一种可行有效的信息能力的评估方法。

参考文献:

- [1] 邹振宁. 基于信息系统的体系作战指挥信息能力研究[M]. 北京:海潮出版社,2011.
- [2] 袁杭萍,王玲玲,权冀川,等. 基于信息质量的信息优势评估指标研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20 (5): 128-131.
- [3] 王新敏,赵洪利. C4ISR 系统信息能力研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2005, 16 (5): 6-9.
- [4] 曹蕾. 指挥信息系统[M]. 北京:国防工业出版社,2012.
- [5] Alberts D S, Garstka T J, Richard E H, et al. Understanding Information Age Warfare[M]. [s. l.]: Ccrp Publication Series, 2001.

- [6] Evidence Based Research, Inc. Network Centric Operations Conceptual Framework Version 1.0[R]. [s. l.]: Office of Force Transformation, 2003.
- [7] Saaty T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw, 1980.
- [8] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社, 1998.
- [9] 叶义成. 系统综合评价技术及其应用[M]. 北京:冶金工业出版社, 2006.
- [10] 庞彦军,刘开第. 模糊数学中“取大取小”运算引发的问题[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21 (9): 98-100.
- [11] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州:浙江科学技术出版社, 2000:15-17.
- [12] 王万军. 多元联系系数集对模型及其评价应用[J]. 甘肃联合大学学报:自然科学版, 2007, 21 (4): 76-78.

指挥信息系统信息能力的评估

作者：[孙瑞](#)，[王智学](#)，[曹伟杰](#)
作者单位：[解放军理工大学 指挥自动化学院, 江苏 南京 210007](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2012(10)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201210034.aspx