

doi: 10.7690/bgzd.2020.11.017

# 基于正态云理论的 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力评估

冯军星

(中国人民解放军 31654 部队 92 分队, 甘肃 酒泉 735000)

**摘要:** 为解决 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力评估过程中模糊因素和随机因素影响的问题, 构建 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力评估的云模型。建立 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力的评价指标体系, 结合云的概念和层次分析法, 计算加权云重心向量, 采用基于正态云模型的评估方法, 对信息处理能力进行评估, 并运用实例进行了验证。验证结果表明: 该方法简单可行, 较好地融合了评估过程中的模糊性和随机性, 实现了评估过程中定性指标和定量指标之间的转换。

**关键词:** 正态云; C<sup>4</sup>ISR; 信息能力; 评估

**中图分类号:** TP302 **文献标志码:** A

## Evaluation on Information Ability of C<sup>4</sup>ISR System Based on Normal Cloud Theory

Feng Junxing

(No. 92 Team, No. 31654 Unit of PLA, Jiuquan 735000, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of fuzzy factors and random factors in the process of C<sup>4</sup>ISR system information capability assessment, a cloud model for C<sup>4</sup>ISR system information capability assessment is constructed. An evaluation index system for the information capability of the C<sup>4</sup>ISR system is established, combined with the concept of the cloud and the AHP, to calculate the weighted cloud center of gravity vector. The evaluation method based on the normal cloud model is used to evaluate the information processing capability, and verified by examples. The verification results show that the method is simple and feasible, and it combines the fuzziness and randomness in the evaluation process, and realizes the conversion between qualitative and quantitative indicators in the evaluation process.

**Keywords:** normal cloud; C<sup>4</sup>ISR; information capability; evaluation

### 0 引言

C<sup>4</sup>ISR 系统, 即指挥自动化系统, 不仅是现代作战兵力“倍增器”, 而且是作战指挥的“神经中枢”<sup>[1]</sup>。未来战争中, C<sup>4</sup>ISR 系统必定是作战双方着力建设的重要组成部分和相互较量的核心力量。C<sup>4</sup>ISR 系统是一个复杂的系统, 系统的能力构成可以划分为信息能力、决策能力和行动能力, 而信息能力又是 3 种能力的基础。分析和研究 C<sup>4</sup>ISR 系统的信息能力具有重要意义。

在 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力评估研究中, 既有可用精确数值表示的定量指标, 又有可用语言值表示的定性指标, 在评估过程中必须充分考虑模糊因素和随机因素的影响。云理论能够较好地解决这个问题, 因此, 笔者以 C<sup>4</sup>ISR 系统的信息能力为研究对象, 探讨利用正态云理论对 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力评估的步骤和方法。

### 1 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力指标体系

#### 1.1 构建指标体系的原则<sup>[2]</sup>

1) 全面性。根据未来战场的作战需求, 全面考虑影响和制约 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力的各种因素, 尽量全面反映 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力的构成。

2) 重要性。影响 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力的指标和因素有很多, 不能面面俱到, 应该有所区分, 有所取舍, 但不能影响整体。

3) 独立性。各评价指标应互不相关, 保持相对的独立性。不能相互包含, 出现“你中有我, 我中有你”的情况。

4) 客观性。确定评指标时应避免加入个人主观意愿, 同时指标含义尽量明确, 能够真实反映 C<sup>4</sup>ISR 系统的信息能力。

#### 1.2 构建评价指标体系

建立科学合理的 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力评估指标

收稿日期: 2020-06-20; 修回日期: 2020-07-26

作者简介: 冯军星(1985—), 男, 河南人, 硕士, 助理工程师, 从事军事运筹分析研究。E-mail: 494322156@qq.com。

体系,是信息能力评估研究中的基础工作,也是最为关键的环节。信息优势是指能够不间断地搜集、处理和传播信息流,同时能够探测和阻止敌方此类活动的的能力。 $C^4ISR$  系统的信息能力划分为信息感知、信息处理、信息传送和信息对抗等能力<sup>[3]</sup>。结构指标体系如图 1 所示。

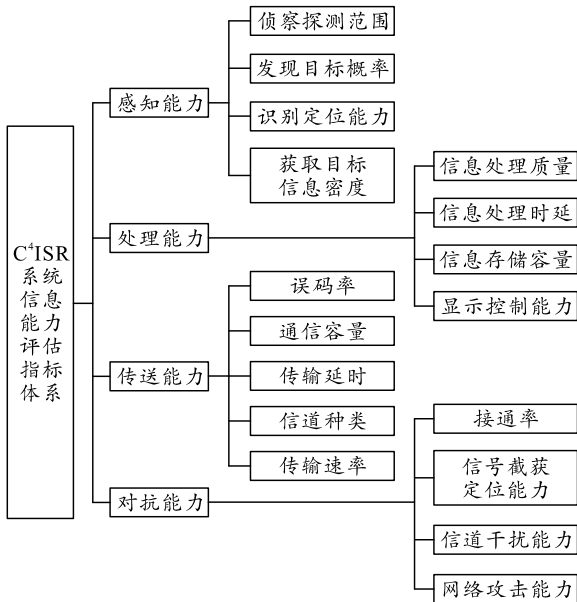


图 1  $C^4ISR$  系统信息能力评估指标体系

## 2 正态云理论再思考

### 2.1 云的数字特征<sup>[4]</sup>

云是用语言值表示的某个定性概念与其定量表示之间的不确定转换模型,能有效反映知识中概念的模糊性和随机性,并揭示这两者之间的内在联系。

云的数字特征可以用期望值  $Ex$  (expected value)、熵  $En$  (entropy)、超熵  $He$  (hyper entropy) 3 个数值进行表示。其中: $Ex$  是云对象期望值在论域中的位置,即云重心的位置,也是正态云覆盖范围下面积的形心对应的论域值,标定了相应模糊概念的信息中心值; $En$  是对定性概念的模糊度和概率的综合度量,反映定性概念的不确定性; $He$  是  $En$  的熵,反映了每个数值隶属这个语言值程度的凝聚性,即云滴的离散性,是云厚度的最大值。熵越大,表述的概念就越宏观,模糊性和随机性也越大。

正态云具有普遍适用性,是基本的云模型。正态分布具有普适性,大量社会和自然科学中定性知识的云的期望曲线近似服从正态分布或半正态分布<sup>[5]</sup>。参考文献<sup>[6]</sup>的算法,得到 1 维正态云的图像如图 2 所示。

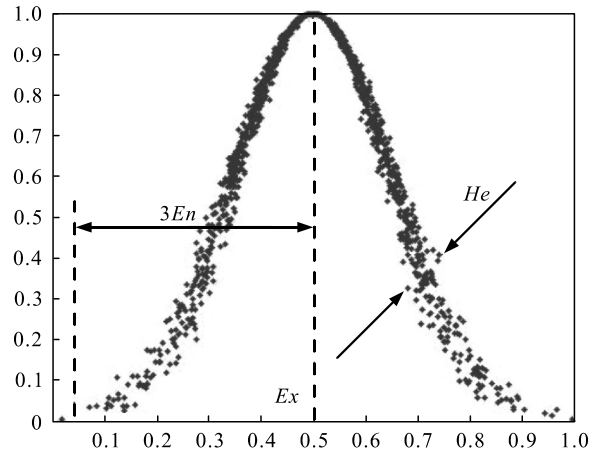


图 2 1 维正态云

### 2.2 1 维云发生器

云发生器 (cloud generator, CG), 即云生产算法,按照云的产生机理和计算方向可分为正向云和逆向云。如图 3 所示,正向云发生器是根据云的数字特征期望值、熵、超熵和云滴数,输出满足云分布规律的 2 维云滴  $Drop(x_i, \mu_i)$ ; 如图 4 所示,逆向云发生器恰好相反,根据已知相当数量的云滴分布  $Drop(x_i, \mu_i)$ , 确定云的数字特征。

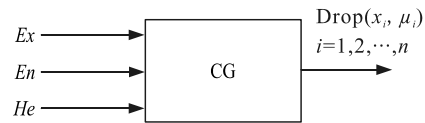


图 3 正向云发生器

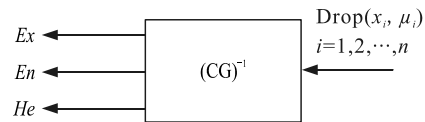


图 4 逆向云发生器

## 3 构建 $C^4ISR$ 系统信息能力评估云模型<sup>[7-11]</sup>

### 3.1 各评估指标的云概念化

在  $C^4ISR$  系统信息能力评估指标体系中,既有精确数值型指标,又有语言值型指标。精确数值型指标,熵和超熵均为 0,即数字特征表示为  $(Ex, 0, 0)$ ; 语言值型指标,数字特征为  $(Ex, En, He)$ ; 所以,精确数值型的定量指标可以看作是语言值型的定性指标的一个特例。提取系统状态中的  $n$  组构成决策矩阵。 $n$  个精确数值型的指标可用一个云模型来表示:

$$Ex = (Ex_1 + Ex_2 + \dots + Ex_n) / n,$$

$$En = \max(Ex_1 + Ex_2 + \dots + Ex_n) / 6 - \min(Ex_1 + Ex_2 + \dots + Ex_n) / 6.$$

### 3.2 求各指标的权重

笔者利用层次分析法 (analytic hierarchy process), 结合多个作战领域的专家经验得出 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力各项指标的权重, 记为  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$ 。

### 3.3 求加权综合云的云重心向量

按照云理论,  $m$  个评价指标可以由  $m$  个云模型来表示,  $m$  个评价指标所反映的系统状态可用一个  $m$  维综合云表示。当  $m$  个评价指标改变时, 该  $m$  维综合云的形状也随着改变, 云重心也随着改变。 $m$  维综合云的重心用  $T$  表示,

$$T = (T_1, T_2, \dots, T_m) = a \times b。$$

式中:  $T_i = a_i \times b_i$ ;  $a$  为云重心的位置向量;  $b$  为云重心的高度向量。

### 3.4 计算加权偏离度

假定理想状态下,  $m$  维综合云的中心位置向量  $a = (E_{x1}^0, E_{x2}^0, \dots, E_{xm}^0)$ , 云重心高度向量为  $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ , 其中  $b_i = \omega_i \times 0.371$ , 则理想状态下云重心向量  $T_0 = a \times b^T = (T_1^0, T_2^0, \dots, T_m^0)$ 。同样, 在某一状态下,  $m$  维综合云重心向量为  $T = (T_1, T_2, \dots, T_m)$ 。

因此, 定义加权偏离度  $\theta$  来衡量理想状态和非理想状态下  $m$  综合云的偏差大小。显然,  $\theta$  值越大, 表明差异越大; 反之, 越小。

对云重心向量进行归一化处理, 得到一组向量  $T^G = (T_1^G, T_2^G, \dots, T_m^G)$ 。其中,

$$T_i^G = \begin{cases} (T_i - T_i^0) / T_i^0 & T_i < T_i^0 \\ (T_i - T_i^0) / T_i & T_i \geq T_i^0 \end{cases} \quad i=1, 2, \dots, m。$$

因此, 系统状态的综合云重心向量转化为有大小和方向但无量纲的数值。特别地, 理想状态下, 综合云重心向量为  $(0, 0, \dots, 0)$ 。

将归一化的指标向量乘以权重再相加, 得到加权偏离度  $\theta$ 。即  $\theta = \sum_{i,j=1}^m (\omega_j T_i^G)$ 。

### 3.5 定性评测结果的云概念化

笔者采用 5 个评语组成评语集, 即  $V = c \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$  (差, 较差, 一般, 较好, 好), 可量化为  $(0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)$ 。如图 5 所示, 将这 5 个评语置于连续的语言标尺上, 按照 3.1 节对每个评语值进行云概念化, 超熵的大小需要综合评语值的随机程度确定, 可以生成一个定性评测的云决

策器。

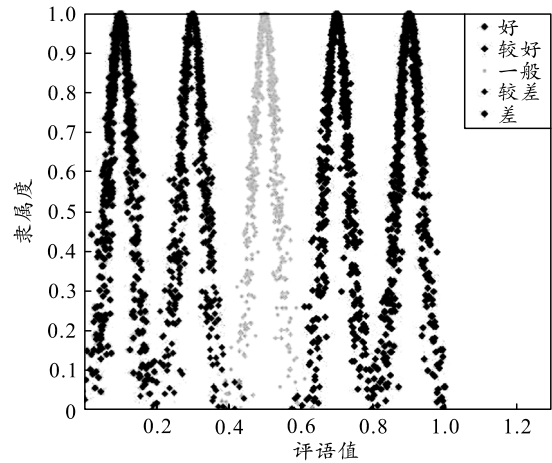


图 5 定性评测云决策器

## 4 实例分析

以某数字化部队 C<sup>4</sup>ISR 系统的信息能力为例, 采用基于正态云模型的评估方法, 对信息处理能力进行评估, 其他 3 项能力的评估以此类推。具体步骤如下:

### 1) 计算各指标的云模型。

定量指标的大小一般由测试得出; 定性指标的状态值可由专家评判得出。由  $n$  个专家对信息处理能力的 2 个定性指标进行评价打分, 得到  $n$  种系统状态。如表 1 所示, 为保证评估结果的精度, 抽取的样本容量应符合统计规律, 可在  $n$  种状态中随机抽取 6 种状态。根据前文所述, 语言值 (差, 较差, 一般, 较好, 好) 可量化为  $(0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)$ 。

表 1 指标状态

状态	信息处理 质量	信息处理 时延	信息存储 容量	显示控制 能力
1	好	12	8	一般
2	一般	10	11	较好
3	较好	8	10	好
4	好	9	12	较差
5	一般	11	9	差
6	较好	8	8	较差
理想 状态	好	10	10	好

将表 1 中的各个评语量化后, 得到各个指标的决策如表 2。

如表 3 所示, 根据 3.1 节, 可以得到各指标云模型的期望和熵。

### 2) 计算各指标的权重。

利用 AHP (层次分析法) 软件 yaahp 0.5.2, 得出 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力各指标的权重  $\omega = (0.522 0, 0.192 0, 0.128 7, 0.157 2)$ 。

表 2 指标决策

状态	信息处理 质量	信息处理 时延	信息存储 容量	显示控制 能力
1	0.9	12	8.5	0.5
2	0.5	10	9.8	0.7
3	0.7	8	9.5	0.9
4	0.9	9	8.5	0.3
5	0.5	11	9.6	0.1
6	0.7	8	8.8	0.3
理想状态	0.9	10	10	0.9

表 3 各指标云模型的期望值和熵

状态	信息处理 质量	信息处理 时延	信息存储 容量	显示控制 能力
期望值	0.7	9.67	9.12	0.47
熵	0.067	0.667	0.217	0.133

3) 计算加权云重心向量。

理想状态下各指标的加权云重心向量为:

$$T^0 = (T_1^0, T_2^0, T_3^0, T_4^0) = (0.174\ 3, 0.712\ 3, 0.477\ 5, 0.052\ 5).$$

本次状态下各指标的加权云重心向量为:

$$T = (T_1, T_2, T_3, T_4) = (0.135\ 6, 0.688\ 8, 0.435\ 4, 0.027\ 4).$$

计算得到加权偏离度为

$$\theta = \sum_{i,j=1}^4 (W_j^* T_i^G) = -0.208\ 7.$$

即距离理想状态下的加权偏离度为 0.208 7。本次状态下 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力评估的最终评判值大约在 0.791 3。将得到的加权偏离度数值输入到图 5 所示的定性评测云决策器，激活“较好”和“好”2 个云对象如图 6 所示。激活“较好”云对象的程度大于激活“好”云对象，故评估结果应表述为“介于较好和好之间，倾向于较好”。

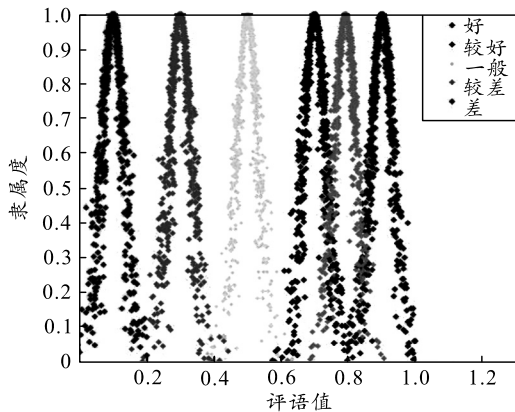


图 6 定性评测云决策器

根据文献[12]，采用的模糊综合评判法对表 2 中的数据进行计算，得到评分值为 74.398 0(最大值为 100)，2 种评估方法所得结果趋于一致，验证了

运用正态云理论进行评估的可行性和科学性。

5 结论

笔者结合云的概念和层次分析法，构建了 C<sup>4</sup>ISR 系统信息能力评估的云模型，并运用实例进行了验证。笔者充分考虑了信息能力评估中存在的 uncertainty，综合考虑模糊性和随机性，较好解决了评估过程中定性指标与定量指标的转换问题。同时，得到的评估指标为语言值，直观性强，更容易被接受。结合信息能力评估的云模型，对 C<sup>4</sup>ISR 系统的决策能力和行动能力进行研究，可得到 C<sup>4</sup>ISR 系统的综合能力，为部队训练和作战提供参考。

参考文献:

- [1] DEKKER A. Applying social network analysis concepts to military C4ISR architectures[J]. Connections, 2002, 24(3): 99-102.
- [2] 马亚龙, 邵秋峰, 孙明, 等. 评估理论和方法及其军事应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 15.
- [3] 徐小岩. 军队信息化概论[M]. 北京: 解放军出版社, 2005: 280-282.
- [4] 李德仁, 王树良, 李德毅, 等. 空间数据挖掘理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 142-152.
- [5] 龚艳冰, 张继国. 基于正态云模型和熵权的人口发展现代化程度综合评价[J]. 资源与环境, 2012(1): 139.
- [6] 刘桂花, 宋承祥, 刘弘, 等. 云发生器的软件实现[J]. 计算机应用研究, 2007(1): 47.
- [7] 焦利明, 于伟. 云重心评判法的防空兵 C<sup>4</sup>ISR 系统生存能力效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(5): 103-104.
- [8] 韩朝帅, 王坤, 潘恩超, 等. 基于云理论的复杂装备维修性指标评价研究[J]. 兵器装备工程学报, 2017(3): 72-76.
- [9] 朱拥勇, 陈光, 任俊鹏, 等. 基于云理论人鱼水雷装备维修能力评估方法[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(S1): 102-105.
- [10] 武文军, 成洪俊, 曹宁, 等. 云重心理论在防空兵作战能力评估中的应用[J]. 火力与指挥控制, 2005, 30(4): 82-83.
- [11] 罗佳, 薛青, 张国辉, 等. 基于云理论的 C<sup>4</sup>ISR 系统作战效能评估应用于研究[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(1): 213.
- [12] 苏续军, 陈建泗. 模糊综合评判的装备研制风险评估[J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(4): 119-120.