

基于云模型与证据理论的通信电子防御效能评估

杨 米^{1,2}, 陈建忠², 牛英滔²

(1. 解放军理工大学 通信工程学院, 南京 210007; 2. 南京电讯技术研究所, 南京 210007)

摘 要: 针对通信电子防御效能评估过程中指标的不确定性描述问题, 提出一种基于云模型和证据理论的信息融合评估方法。设计评语等级云发生器, 根据云隶属度构造基本信度分配函数。基于证据距离修正的证据融合规则对不同指标的基本信度分配信息进行融合, 并将融合后的基本信度分配与评语量化值进行线性加权, 得到最终评估结果。以跳频通信装备为例进行通信电子防御效能评估, 结果表明, 该方法能有效降低专家评价的主观性, 使评估结果更准确客观。

关键词: 云模型; 证据理论; 基本信度分配; 电子防御; 效能评估; 信息融合

中文引用格式: 杨 米, 陈建忠, 牛英滔. 基于云模型与证据理论的通信电子防御效能评估[J]. 计算机工程, 2017, 43(6):40-45, 52.

英文引用格式: Yang Mi, Chen Jianzhong, Niu Yingtao. Evaluation of Communication Electronic Defense Effectiveness Based on Cloud Model and Evidence Theory[J]. Computer Engineering, 2017, 43(6):40-45, 52.

Evaluation of Communication Electronic Defense Effectiveness Based on Cloud Model and Evidence Theory

YANG Mi^{1,2}, CHEN Jianzhong², NIU Yingtao²

(1. College of Communication Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China;

2. Nanjing Telecommunication Technology Institute, Nanjing 210007, China)

【Abstract】 To deal with the uncertainty description of index in the evaluation of communication electronic defense effectiveness, an information fusion evaluation method based on cloud model and evidence theory is proposed. A cloud generator of comment levels is designed, and the Basic Probability Assignment (BPA) function is constructed by cloud membership grade. The BPA information of different indexes is synthesized based on the evidence fusion rules, and the final evaluation result is obtained through linearly weighting the synthetic BPA and quantization values of the comment levels. Taking the frequency hopping communication equipment as an example to evaluate communication electronic defense effectiveness, the results show that the method can effectively reduce the subjectivity caused by expert evaluation and make the evaluation result more accurate and objective.

【Key words】 cloud model; evidence theory; Basic Probability Assignment (BPA); electronic defense; effectiveness evaluation; information fusion

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.06.007

0 概述

以抗干扰、反侦察、抗截获技术为主要内容的通信电子防御技术对保证复杂电磁环境中通信方可靠有效通信至关重要^[1]。通信电子防御是一项复杂的系统工程, 与通信指挥、装备研制、组织运用、人员培训等因素都具有内在的联系。通信电子防御效能是对通信方采取电子防御技术或战术措施后, 执行或完成可靠有效通信程度的衡量。对通信电子防御效

能进行评估不仅有利于通信装备的研制和改进, 对通信装备的组织运用、效能提升也有重要意义。

目前学者们先后研究了层次分析法、灰色关联分析法、模糊综合评判法^[2]等主观或者客观的评估方法在装备效能评估中的应用, 但都无法对定性定量指标共存的综合指标体系进行客观准确的评估, 且在处理不确定性问题上受人为主观因素的影响较大。在实际评估过程中存在大量的模糊因素、人为因素等不确定因素, 如定性指标的模糊性、专家打分

基金项目: 国家自然科学基金(61401505); 江苏省自然科学基金(BK20151450); 江苏省自然科学基金青年基金(BK20130069)。

作者简介: 杨 米(1992—), 女, 硕士, 主研方向为无线通信; 陈建忠, 研究员; 牛英滔, 高级工程师。

收稿日期: 2016-09-01 **修回日期:** 2016-10-09 **E-mail:** 18761685780@163.com

的主观性、指标与评语映射等不确定性问题。同时,指标体系中定性指标比重的增加,也给评估的准确度带来很大影响。文献[3]通过专家打分来决定定性指标的评价,其缺点是过于主观且可信度不高;文献[4]采用基于模糊数学的模糊层次法评估雷达抗干扰性能,将指标与评语之间的关系仅映射为线性关系。近年来,随着云模型和证据理论不断发展,在处理模糊信息和不确定性信息上有明显优势,云模型能实现定性到定量的信息转换,证据理论能有效合成不同来源的信息^[5-6]。文献[7]将云模型理论与模糊综合评判法相结合,有效解决了评估结果单一、数据固有的模糊性和随机性问题,但存在未考虑指标变化趋势的非线性和权重设置过于主观的问题。文献[8]将云模型和证据理论相结合,解决了铁路风险评估过程中的模糊性和随机性等不确定性问题,但仅考虑了定性指标的处理,忽略了指标类型的区别。因此,需要综合考虑定性指标的模糊性和主观性、定量指标的变化趋势、指标与评估映射的客观性以提高评估可信度,设计合理、适用的评估方法将是通信电子防御效能评估研究的重点。

针对以上问题,本文提出一种基于云模型和证据理论的信息融合评估方法。该方法利用云模型将不确定性信息转换为基本信度分配(Basic Probability Assignment, BPA),通过证据融合公式对基本信度分配进行融合。结合跳频通信装备的评估指标体系评估电子防御效能,观察评估结果的波动性和客观性。

1 通信电子防御效能评估理论与模型

1.1 通信电子防御效能评估指标体系构建

通信装备的电子防御效能与装备的参数设置,电子防御技术/战术措施,以及操作人员对电子防御技术和战术措施的灵活组织运用密切相关。由于不同作战场景需要采取不同的作战方案,因此要从不同的通信电子防御方案中选择最优方案。首先要确定通信电子防御的方案集,然后通过评估不同方案的指标集选择评价最好的方案。根据通信电子防御的实际需要,本文从反侦察能力、抗截获能力、抗干扰能力、掌握程度 4 个方面对不同的通信电子防御效能进行测评,根据层次分析法得到评估指标体系结构,如图 1 所示。

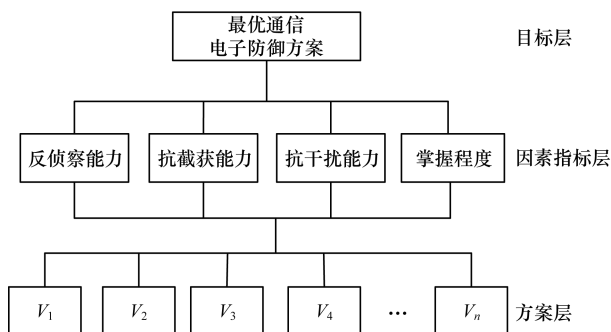


图 1 通信电子防御评估指标体系

在图 1 中,通信电子防御效能相当于第 1 层目标层,反侦察能力、抗截获能力、抗干扰能力、掌握程度构成第 2 层因素指标层,从各个侧面反映了通信电子防御效能的属性。分析反侦察能力、抗截获能力、抗干扰能力、掌握程度这 4 个影响通信电子防御的因素是为了构建评估指标体系。第 3 层为方案层,方案层中 V_i 代表第 i 种电子防御方案,由于不同电子防御方案使用不同的电子防御技术或战术,因此其评估指标体系也不同。本文第 3 层方案层的评估指标主要从影响第 2 层因素的固有性能参数、电子防御技术及电子防御战术上来选取,如反侦察能力可由自适应调制技术、最小发射功率等指标体现,抗截获能力可通过信道编码复杂度、跳频图案性能等指标来体现。通常在评估第 2 层因素的能力时,选择的第 3 层指标应尽可能是定量指标,如天线增益、最小发射功率等通信装备的固有参数。但随着电子防御技术/战术的发展,由频率自适应技术、空闲信道搜索技术、猝发通信等通信电子防御技术/战术措施组成的定性指标对通信装备的效能发挥也存在较大的影响,因此,一般构成电子防御方案的评估指标体系包括定性和定量 2 种指标。为方便运用云模型和证据理论对相关指标进行科学评估,首先应针对这种由定量指标和定性指标共同组成的评估指标体系进行指标预处理。

1.2 指标预处理

为使定量指标处于同一层面以便于对比,首先对定量指标进行归一化处理。对于定量指标 x_i ,由于指标变化特性对效能的影响趋势不同,本文设计线性、对数型(log)、指数型(β) 3 种归一化方法。通常将数值越大、性能越好的指标称为效益型指标,用 I 型表示,其归一化函数表达式如式(1)所示。

$$C_i^I = \begin{cases} \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \\ \frac{\log_{\alpha}(x_i) - \log_{\alpha}(x_{\min})}{\log_{\alpha}(x_{\max}) - \log_{\alpha}(x_{\min})} \\ \frac{\beta^{x_i} - \beta^{x_{\min}}}{\beta^{x_{\max}} - \beta^{x_{\min}}} \end{cases} \quad (1)$$

数值越小、性能越好的指标称为成本型指标,用 II 型表示,其归一化函数表达式如式(2)所示。

$$C_i^{II} = \begin{cases} \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \\ \frac{\log_{\alpha}(x_{\max}) - \log_{\alpha}(x_i)}{\log_{\alpha}(x_{\max}) - \log_{\alpha}(x_{\min})} \\ \frac{\beta^{x_{\max}} - \beta^{x_i}}{\beta^{x_{\max}} - \beta^{x_{\min}}} \end{cases} \quad (2)$$

其中, x_{\min} , x_{\max} 为 x_i 的最小值、最大值; α, β 为归一化参数; C_i^I, C_i^{II} 为指标预处理后的值。

由于定性指标 y_i 主要是语言性指标等无法定量描述的指标,如可靠性、跳频图案性能、掌握程度等,

因此此类指标可通过由 K 名专家进行评价,统计定性指标 x_i 隶属于各评语等级的概率,并与评语量化值进行线性加权,即为该项指标的归一化值,可表示为:

$$C_i = \sum_{j=1}^M c_j \times \frac{k_j}{K}, k_j = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

其中, k_j 为指标 i 隶属于 S_j 评语等级的次数, S_j 为第 j 级评语,例如 $k_4 = 20$ 代表有 20 名专家评价该指标属于 S_4 等级; M 为评语等级数; c_j 为第 j 级评语量化值。

1.3 基于云模型的评语等级云发生器

云模型^[9-10]将模糊集理论中的模糊性和概率论中的随机性有机结合,用期望 Ex 、熵 En 、超熵 He 3 个数字特征来整体表征一个概念。设 U 是一个有精确范围的论域, A 为某一定性概念,定义 $x \in U$ 是 A 的一次随机映射,若 x 满足 $x \sim N(Ex, En^2)$, 其中 $En' \sim N(En, He^2)$, 若倾向值 $u_A(x) = \exp(-(x - Ex)^2 / (2 \times En'^2))$ 表示对概念 A 的确定程度,则称 x 在论域上的分布称为正态云模型^[11],简称云。若论域 $U = [0, 1]$, A 包含 5 个评语等级 = {优(S_1), 良(S_2), 合格(S_3), 较差(S_4), 差(S_5)}, 对应的量化值为 $\{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$ 。本文将基于云模型的评语等级定性定量转换模型称为评语等级云,并由此构建评语等级正态云发生器 $Cloud(Ex, En, He, n)$, 其中 n 是云滴的个数。利用式(4)计算其正态云参数:

$$\begin{cases} Ex = c_i \\ En = (c_i - c_{i-1}) / 6 \\ He = H \end{cases} \quad (4)$$

其中, H 为常数,其值由评价语本身的模糊程度确定。

本文采用黄金分割率的模型驱动法^[12]来确定评语等级云模型,即相邻云的熵和超熵的较小者是较大者的 0.618 倍,如图 2 所示,其中,论域为 $[0, 1]$;横轴为评语等级对应的效能值区间;纵轴为评估等级所表达的定性概念对应的隶属度,是一个具有稳定倾向的随机数。

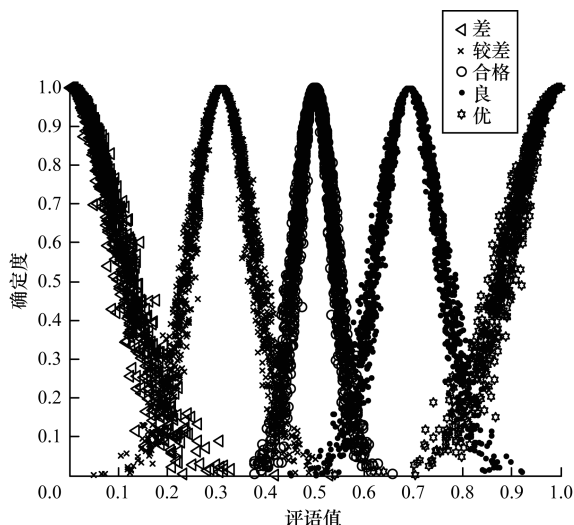


图2 评语等级云模型

图 2 中 5 朵云 $Cloud_1(1, 0.1031, 0.0139)$, $Cloud_2(0.691, 0.0637, 0.0139)$, $Cloud_3(0.5, 0.0394, 0.0139)$, $Cloud_4(0.309, 0.0637, 0.0138)$, $Cloud_5(0, 0.1031, 0.013)$ 分别代表定性概念评语等级优、良、合格、较差、差,形成一种指标预处理值与评语值的映射。

将指标预处理后的值代入式(5),通过评语等级云发生器求出其对每个等级的隶属度:

$$u(x_i) = \exp(-(x_i - Ex_i)^2 / (2 \times En_i^2)) \quad (5)$$

构造隶属度向量: $u_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik}, \dots, u_{iM}\}$, M 表示等级数。使用正向云发生器求得 N 个指标的隶属度,隶属度矩阵 U 为:

$$U = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1M} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2M} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u_{N1} & u_{N2} & \dots & u_{NM} \end{pmatrix} \quad (6)$$

将所有评估指标代入评语等级云模型中得到的隶属度成为评估指标的云隶属度,即指标隶属各等级的确定度。在云模型中 $En = \Delta / 2.355$, 根据 $3En$ 原则,若一个指标 x_i 的隶属度 u_{ij} 为最大隶属度, $u_{i(j-1)}$ 和 $u_{i(j+1)}$ 必然为第二和第三大的隶属度,其中 j 为评语等级, $j \in [1, M]$, 对于其他等级的隶属度可以近似做零处理。例如,当评估指标最小发射功率为 7 dBm 时,通过指标预处理后得到归一化值为 0.57,代入评估等级云中得到对该项指标的评价为以 0.31 的确定度隶属于合格等级,以 0.15 的确定度隶属于良等级,并以 0.54 的确定度同时隶属于这 2 个等级。由此形成通信电子防御效能的所有评估指标与评语等级的一种对应关系,并可利用这种关系为证据理论中的基本信度分配构建提供理论基础。

1.4 基于证据理论的信息融合

1.4.1 基本信度分配

证据理论^[13-14]是通过识别框架、基本信度分配等概念对不确定性进行描述,是一种不确定性推理方法。在证据理论中,假设需要对于某一问题进行评价,其所有可能出现的结果为 $\theta = \{\theta^1, \theta^2, \dots, \theta^n\}$, 称为识别框架。假设 θ 的所有子集构成集合表示为 2^θ , A 是 θ 的子集,则称 mass 函数 $m: 2^\theta \rightarrow [0, 1]$ 为基本信度分配函数,且满足:

$$\begin{cases} m(\Phi) = 0 \\ \sum_{A \subset \theta} m(A) = 1 \end{cases} \quad (7)$$

其中, $m(A)$ 表示对证据 A 的支持程度,基本信度分配值越大,其证据支持程度就越大。定义信任函数 $Bel(A)$ 表示对证据 A 为真的信任程度,为当前集中所有子集的基本概率之和。

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B) \quad (8)$$

本文根据1.3节获取的评估指标云隶属度来构造基本信度分配值,具体算法如下:

1) 若 $u_{i(j-1)} + u_{ij} < 1$ 或 $u_{ij} + u_{i(j+1)} < 1$, 记指标 i 同时隶属于2个相邻等级的隶属度为 $u_{i,j(j\pm 1)}$, 其中:

$$u_{i,j(j\pm 1)} = 1 - u_{ij} - u_{i(j\pm 1)} \quad (9)$$

第 i 个指标的基本信度分配值为:

$$\begin{aligned} m_i(A_j) &= u_{ij} \\ m_i(A_j A_{j\pm 1}) &= u_{i,j(j\pm 1)} \end{aligned} \quad (10)$$

2) 若 $u_{i(j-1)} + u_{ij} \geq 1$ 或 $u_{ij} + u_{i(j+1)} \geq 1$, 则第 i 个指标的基本信度分配值为:

$$m_i(A_j) = \frac{u_{ij}}{\sum_{j=1}^k u_{ij}} \quad (11)$$

根据云隶属度和该算法获取基本信度分配值是从数据集本身出发,不需要任何先验知识,且满足概率分配函数的条件,避免了以往由专家经验指定基本信度分配值带来的主观性。根据上文最小发射功率的评估等级云映射结果,结合本节基本信度分配算法得到该项指标的基本信度分配值为 $m(S_2) = 0.31, m(S_3) = 0.15, m(S_2 S_3) = 0.54$ 。

1.4.2 基于证据距离的证据融合规则修正

由文献[15-16]可知,在采用证据融合公式合成高度冲突的证据时,合成结果将与常理相违背。实际中冲突证据的出现是非常常见且必须要正确处理的。在证据合成前,本文采用证据距离来衡量各个证据的相互支持程度,进而确定证据可信度,并基于证据距离来修正证据融合公式。具体算法如下:

假设在识别框架 θ 下,证据 A^i 和 A^j 对应的 mass 函数为向量 m_i, m_j , 定义两证据间的距离为:

$$d_{ij}(m_i, m_j) = \max_{A^p \in \theta} (|Bel(m_i(A^p)) - Bel(m_j(A^p))|) \quad (12)$$

其中, $i, j = 1, 2, \dots, n$, $d_{ij}(m_i, m_j)$ 表明2个证据之间的差异, $d_{ij} \in [0, 1]$ 。 d_{ij} 的大小表明2个证据的相似程度,证据之间的相似程度定义为:

$$s_{ij} = 1 - d_{ij} \quad (13)$$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & 1 & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

通过计算两两证据间的距离,得到证据间相似矩阵 S , 则证据 A^i 被其他证据支持的程度为:

$$Sup(A^i) = \sum_{j=1, j \neq i}^n s_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

将证据 A^i 的支持度与 n 个证据中支持度最高的证据相比,可得到证据 A^i 在所有证据中的可信度,即:

$$Crd(A^i) = \frac{Sup(A^i)}{\max_{1 \leq r \leq n} (Sup(A^r))}, i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

由此得到修正后的基本信度分配值为:

$$\begin{cases} m^*(A^i) = Crd(A^i) \cdot m(A^i) \\ m^*(\theta) = 1 - \sum_{i=1}^n m^*(A^i) \end{cases} \quad (17)$$

为有效利用多源证据信息,证据理论提供一个证据融合规则。对于任意的 $A \subseteq \theta$, 设 m_1, m_2, \dots, m_n 是识别框架 θ 上有限个证据的 mass 函数, 则 n 个证据的融合公式为:

$$m^*(A) = \begin{cases} 0, A = \emptyset \\ \frac{\sum_{\cap A^i = A} \prod_{i=1}^n m^*(A^i)}{1 - K} \end{cases} \quad (18)$$

其中, K 衡量了 n 个证据源冲突的程度, $K = \sum_{\cap A^i = \emptyset} \prod_{i=1}^n m_i(A_i) < 1, A \neq \emptyset$ 。随着证据不断积累而逐步降低不确定性信息,进一步提高了评估结果的可靠性。本文 n 个证据来源于 n 个评估指标的基本信度分配,通过证据融合规则将这 n 个证据进行融合,最终可以得到通信电子防御效能的基本信度分配结果。

2 基于云模型与证据理论的信息融合评估

基于上述分析的评语等级云模型、指标预处理方法、云隶属度、基本信度分配、证据距离及证据融合规则等信息融合模型,给出一种基于云模型和证据理论的通信电子防御效能评估算法。算法具体如下:

步骤1 设通信装备的电子防御方案为 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_k\}$, 评估指标集为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$, 根据式(4)设计评语等级云发生器 $\{Cloud_1, Cloud_2, \dots, Cloud_n\}$ 。

步骤2 根据式(1)~式(3)对指标 x_i 进行预处理,通过式(5)、式(6)获取隶属度矩阵 U , 依据式(9)~式(11)构造指标 x_i 的基本信度分配函数 mass, 得到所有指标的基本信度分配矩阵 $BPA = (m_i(A_j))_{M \times N}$ 。

步骤3 根据式(12)获得证据距离 d_{ij} , 并基于证据距离和式(13)~式(16)求得各证据的可信度 $Crd(A^i)$, 以此修正基本信度分配和证据融合规则, 最后根据式(17)、式(18)得到电子防御效能的基本信度分配。

步骤4 将电子防御效能的基本信度分配值与评语量化值 c_j 进行线性加权, 即 $V_k = \sum_{j=1}^M c_j BPA(m(A_j))$, 得出不同方案的综合评估值 V_k 。通过比较不同方案的 V_k 值大小, 可选出最优的电子防御方案。基于云模型和证据理论的评估流程如图3所示。

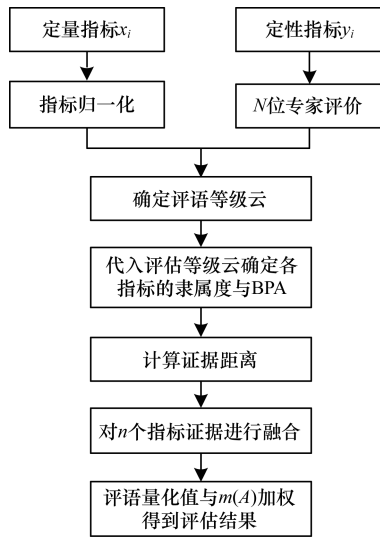


图3 基于云模型和证据理论的评估流程

3 仿真结果与分析

本节以跳频通信装备的自定义方案论证为应用背景,说明本文提出评估方法的有效性及其实用性。采用五级评语集 = {优(S_1),良(S_2),合格(S_3),较差(S_4),差(S_5)},评语等级量化为 $[1, 0.691, 0.5, 0.309, 0]$ 。根据1.3节基于黄金分割率构造的评语等级云模型,将五级评语集中每个评语用云表示。

根据先验知识,本文定义跳频通信装备的2种电子防御方案分别为 V_1 和 V_2 。例如,方案 V_1 的效能评估从跳频通信装备的电子防御技术和战术角度收集指标,通过自适应调制技术 U_1 、最小发射功率 U_2 来反映反侦察能力,通过信道编码复杂度 U_3 、跳频图案性能 U_4 反映抗截获能力,通过跳频速率 U_5 、频率自适应技术 U_6 、抗干扰容限 U_7 反映抗干扰能力, U_8 代表操作人员对该种跳频通信装备的掌握程度,由这8项指标构成方案 V_1 通信电子防御效能评估指标体系并收集各指标信息。而方案 V_2 与方案 V_1 的区别在于跳频通信装备的性能参数不同,所采用的电子防御技术或者战术不同。方案 V_2 采取的通信电子防御技术 U_6 为功率自适应技术。通过区分定量指标类型和统计 $K=30$ 位专家对定性指标的评价,结合1.2节的指标预处理计算方法得到评估指标信息如表1所示。在表1中,例如指标 U_2 最小发射功率为7 dBm,指标 U_3 信道编码复杂度为 10^6 。根据1.3节中各指标基本信度分配算法,将指标预处理后的值代入评语等级云模型中,经过式(9)~式(17)得到如表2所示的指标基本信度分配。在表2中,例如 S_1 这一列代表评估指标隶属于 S_1 等级的基本信度分配值, (S_1, S_2) 这一列代表评估指标同时隶属于 S_1 和 S_2 等级的基本信度分配值。

表1 2种通信电子防御方案的指标与评价信息

方案	反侦察能力		抗截获能力		抗干扰能力		掌握程度	
	U_1	U_2/dBm	U_3	U_4	$U_5/(\text{hop} \cdot \text{s}^{-1})$	U_6	U_7/dB	U_8
V_1	$k_1 = 10$	7	10^6	$k_2 = 28$	300	$k_1 = 20$	33	$k_1 = 20$
	$k_2 = 20$			$k_3 = 2$		$k_2 = 10$		
V_2	$k_2 = 17$	7	10^6	$k_1 = 15$	500	$k_1 = 4$	31	$k_1 = 25$
	$k_3 = 13$			$k_2 = 15$		$k_2 = 26$		

表2 方案 V_1 中指标的基本信度分配

指标	S_1	(S_1, S_2)	S_2	(S_2, S_3)	S_3	(S_3, S_4)	S_4	(S_4, S_5)	S_5
U_1	0.333 3	0.000 0	0.666 7	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
U_2	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.101 9	0.728 4	0.101 9	0.000 0
U_3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.218 8	0.612 1	0.169 1
U_4	0.000 0	0.000 0	0.492 1	0.472 7	0.035 2	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
U_5	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.045 5	0.672 4	0.282 1
U_6	0.545 5	0.181 8	0.272 7	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
U_7	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.290 2	0.574 4	0.135 4
U_8	0.333 3	0.000 0	0.666 7	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0

当仿真次数为1时,得到 $Crd = (0.895 9, 0.972 6, 0.871 2, 0.947 9, 1.000 0, 0.534 0, 0.813 7, 1.000 0)$,根据式(17)对原评估指标的基本信度分配值进行修正,通过式(18)证据融合后,得到 V_1 合成后的综合基本信度分配值为 $m_{V_1} = (0.140 8, 0.718 4, 0.140 8, 0.000 0, 0.000 0)$ 。由评估算法步骤4得到方案 V_1 的综合评价

为0.707 6,处于良的范围。

同理可得,方案 V_2 合成后的基本信度分配值为 $(0.276 0, 0.724 0, 0.000 0, 0.000 0, 0.000 0)$,综合评价为0.776 3。由于正态评估云发射器是正态随机数,由文献[14]可知,正态云具有很好的普适性,每次发射的评语等级云保留了指标处理的模糊性和随机性,以基本

信度分配融合的形式可弱化人为因素的主观影响,因此基于正态分布云的随机性,本文仿真评估了 1 000 次,图 4 所示是仿真 100 次的评估结果曲线,评估结果的波动验证了模糊性和随机性的存在。由此可看出,方案 V_1 的稳定性优于方案 V_2 ,但方案 V_2 的总体评价要优于方案 V_1 。在仿真 1 000 次后,得到评估结果的平均值为 $V_1 = 0.707 6, V_2 = 0.776 6$ 。

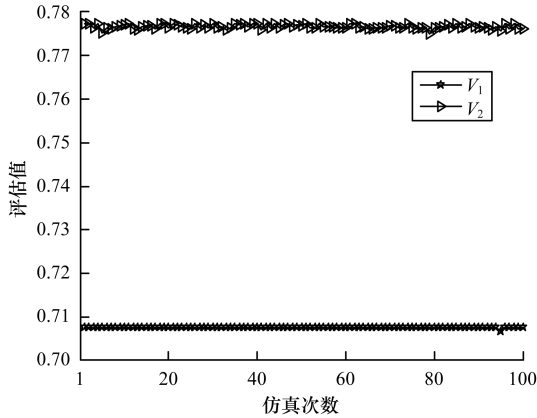


图 4 2 种方案评估 100 次的结果对比

以方案 V_1 和 V_2 的评估结果平均值为 Ex , 评估结果的最大值与最小值之差为 En 构造评估结果云模型,与 5 个评语等级云的对比如图 5 所示。由此可知,方案 V_1 和 V_2 的评估结果都处于良和优之间, V_1 的评估结果更稳定地趋近于良, V_2 的评估结果向优的评估等级靠拢。方案 V_1, V_2 在装备设置的性能参数和使用的技术方面都有所不同,但按照方案 V_2 的方式来使用跳频通信装备,其效能会更高,而方案 V_1 在参数设置和技术使用方面还需要改进。同时可以看出,增加跳频速率、信道编码复杂度或者使用通信电子防御技术,训练操作人员对装备的掌握程度等都可以提高通信电子防御效能。

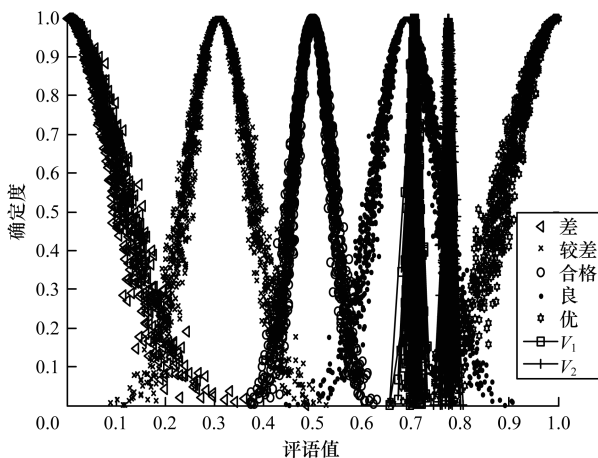


图 5 2 种方案的评估结果与评语等级云对比

结合表 1、表 2 进行对比分析可知,方案 V_1 和 V_2 各有优势,通过各评估指标信息无法直观看出方

案 V_1 和 V_2 哪个效能更高、性能更好,且由于定性指标多,专家的主观因素很大程度上影响着评估的客观性和可信度。基于本文提出的方法,为效能接近但是无法客观区分的通信电子防御方案提供了一种比较方法,同时指标预处理和评语等级云之间的映射反映了通信电子防御效能评估的模糊性和随机性,证据融合规则有效降低了专家评估的主观性,使得评估结果更为准确客观,保证了评估的合理性和有效性。

4 结束语

为解决当前评估方法中指标处理的模糊性、依靠专家指定或经验数据所带来的主观性等不确定性问题,本文针对通信装备电子防御效能进行评估建模,提出一种基于云模型和证据理论的信息融合评估方法。仿真结果表明,该方法通过建立评语等级云发生器,将指标预处理后的值映射到评语等级云,使指标的不确定性信息转化为基本信度分配信息,并利用证据融合规则进行融合,提高评估过程中不确定性信息处理的客观性和合理性。与传统的评估方法相比,该方法综合考虑的因素更复杂、全面,提高了评估的可信度,对通信装备的研制和改进具有一定的参考价值和应用前景。由于当前的评估工作仍无法定量比较评估的可信度,因此下一步将针对该问题进行研究,分析比较不同评估方法的优劣和评估结果的准确程度。

参考文献

- [1] Poisel R A. 通信电子战原理[M]. 2 版. 聂 噪,王振华,陈少昌,等,译. 北京:电子工业出版社,2013.
- [2] 姚富强. 通信抗干扰工程与实践[M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2012.
- [3] 陈亚丁,李少谦,程郁凡. 无线通信系统综合抗干扰效能评估[J]. 电子科技大学学报,2010,39(2):130-133.
- [4] Wang Jianqiang, Wang Pei, Wang Jing, et al. Atanassov's Interval-valued Intuitionistic Linguistic Multi-criteria Group Decision-making Method Based on the Trapezium Cloud Model[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2015, 23(3):542-554.
- [5] 周 剑,朱耀琴,柴旭东,等. 基于云模型与证据理论的共识分析方法[J]. 系统工程理论与实践,2012,32(12):2756-2765.
- [6] 阳小丽. 基于云模型和证据理论的数据融合算法研究[D]. 哈尔滨:黑龙江科技大学,2013.
- [7] 王建功,陈家松,王可人,等. 基于云模型与模糊综合评判的系统效能评估研究[J]. 无线电工程,2015,45(12):77-80.
- [8] 张友鹏,李远远. 基于云模型和证据理论的铁路信号系统风险评估[J]. 铁道学报,2016,36(1):75-80.

(下转第 52 页)

4 结束语

为解决物联网技术在实际运用中遇到的 IoT 节点数据冲突,导致有效识别距离下降的难题,本文提出一种基于联合退避-功率感知机制的物联网节点信息防碰撞算法。依次通过 RFID 射频信号的离散正交调制与解调、基于信噪比的联合功率感知机制及构建节点数据退避防冲撞规则的方式,降低信道噪声信号的干扰,解决数据读写碰撞等难题。实验结果表明,与 ColorWava 算法、DICA 算法相比,该算法的信号识别距离更大,且节点发射功率波动最小。下一步将引入信令矩阵信道处理机制,通过优化 IoT 节点与标签之间的信令交换,改善不同信号周期内信令的切换性能,进一步提高本文算法的信号识别距离与数据传输过程中的信道利用效率。

参考文献

- [1] Wang Honghui, Tuo Xianguo. Panzhihua Airport Landslide and an Emergency Monitoring and Warning System Based on the Internet of Things [J]. Journal of Mountain Science, 2013, 10(5): 873-884.
- [2] Ma Huadong. Internet of Things: Objectives and Scientific Challenges [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2011, 26(6): 919-924.
- [3] Ning Heshui, Liu Hui. Cyber-physical-social-thinking Space Based Science and Technology Framework for the Internet of Things [J]. Science China Information Sciences, 2015, 58(3): 1-19.
- [4] Xiang Chaocan, Yang Panlong, Wu Xuangou. QoS-based Service Selection with Lightweight Description for Large-scale Service-oriented Internet of Things [J]. Tsinghua Science and Technology, 2015, 20(4): 336-347.
- [5] Li Zheng, Liu Kaihua, Su Yuting. Adaptive Resource Allocation Algorithm for Internet of Things with Bandwidth Constraint [J]. Transactions of Tianjin University, 2012, 18(4): 253-258.
- [6] Chu Hequn, Wu Guanming. Design and Simulation of Self-powered Radio Frequency Identification (RFID) Tags for Mobile Temperature Monitoring [J]. Science China Technological Sciences, 2013, 56(1): 1-7.
- [7] Danilo D D, Luca C. A Long-range Computational RFID Tag for Temperature and Acceleration Sensing Applications [J]. Progress in Electromagnetics Research C, 2013, 45(1): 223-235.
- [8] 杨 斌, 郝杨杨. 面向监测应用的物联网节点布局方法研究 [J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(7): 1255-1261.
- [9] 黄 华. 物联网中传感节点数据异常检测方法研究 [J]. 计算机仿真, 2012, 29(5): 159-162.
- [10] 马荣飞. 基于物联网技术网络自适应移动节点资源监测研究 [J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(5): 1725-1728.
- [11] 尚志军, 赵雪峰, 杨志家. 基于传感器网络的有源射频识别系统设计 [J]. 计算机工程, 2008, 34(15): 267-268.
- [12] 安 健, 桂小林, 张 进. 面向物联网移动感知的服务节点发现算法 [J]. 西安交通大学学报, 2011, 45(12): 9-12.
- [13] 李余琪. 基于修正残差的物联网节点定位算法仿真 [J]. 计算机仿真, 2013, 30(5): 217-220.
- [14] Li Hongtao, Xing Jinsheng, Ma Jianfeng. A High-assurance Trust Model for Digital Community Control System Based on Internet of Things [J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2016, 11(1): 29-36.
- [15] Rodrigo R, Zhou Jianying, Javie L. On the Features and Challenges of Security and Privacy in Distributed Internet of Things [J]. Computer Networks, 2013, 12(10): 277-292.
- [9] Shi Yanbin, Liu Hong, Shi Yanli. Effectiveness System and Its Evaluation of the Airborne VHF Radio Set Based on Cloud Model [C]//Proceedings of International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2012: 955-958.
- [10] 刘延华, 陈国龙, 吴瑞芬. 基于云模型和 AHP 的网络信息系统可生存性评估 [J]. 通信学报, 2014, 35(8): 107-116.
- [11] 蔡红云, 杜瑞忠, 田俊峰, 等. 基于云模型和风险评估的信任模型研究 [J]. 计算机工程, 2012, 38(23): 139-143.
- [12] 祁 莹, 苏宏升. 基于黄金分割准则的混沌云粒子群算法 [J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(22): 244-249.
- [13] Mcheick H, Mohammad A F. The Evident Use of Evidence Theory in Big Data Analytics Using Cloud Computing [C]//Proceedings of CCECE' 14. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2014: 1-6.
- [14] Wang Huifang, Lin Dongyang, Qiu Jian, et al. Research on Multi-objective Group Decision-making in Condition-based Maintenance for Transmission and Transformation Equipment Based on D-S Evidence Theory [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2015, 6(2): 1035-1045.
- [15] 陈 超, 陈性元, 杨英杰, 等. 基于粗糙集和 D-S 证据理论的系统安全评估 [J]. 计算机工程, 2013, 39(10): 138-142.
- [16] 张 琳, 刘婧文, 王汝传, 等. 基于改进 D-S 证据理论的信任评估模型 [J]. 通信学报, 2013, 34(7): 167-174.

编辑 刘 冰

编辑 陆燕菲

(上接第 45 页)