

基于云模型的灾难恢复能力评价方法研究

姚文斌 王真 赵玲 姚翔

(北京邮电大学计算机学院 北京 100876)

摘要 鉴于现有灾难恢复能力评价体系对动态指标的考虑不足,不能全面地反映现实系统,评价方法未对系统的整体稳定性做分析且权重计算偏于主观,易受人为因素影响等情况,构建了一套新的灾难恢复能力评估体系和评价方法。提炼归纳了体现灾难恢复能力的综合性动态指标,丰富了指标体系。引入云理论,提出了基于正态分布区间数的指标评价规范化方法和改进的G1-熵权法的综合赋权模型,最终得出了系统灾难恢复能力的云模型表示方法,完成了定性到定量的转换。通过实例仿真验证了该方法的可行性。

关键词 云模型,系统评价,灾难恢复能力,综合赋权

中图分类号 TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.8.032

Study on Disaster Recovery Capability Evaluation Approach Based on Cloud Model

YAO Wen-bin WANG Zhen ZHAO Ling YAO Xiang

(School of Computer Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract The existing index system about disaster recovery capability often takes insufficient account of the dynamic index. At the same time, the existing evaluation methods do not make analysis on system stability, and the weight calculation method is far too subjective. To solve these problems, a new index system and an evaluation approach of disaster recovery capability were proposed. The composite indicators, such as RPO and RTO, were added into the index system. Combined with cloud model, the paper proposed a method for normalizing the index value based on interval number and a comprehensive empowerment model based on G1 and entropy method. This evaluation constructs the cloud model for disaster recovery capability, which implements the conversion from qualification to quantitation. Then the experiment confirms the feasibility of this method.

Keywords Cloud model, System evaluation, Disaster recovery capability, Comprehensive empowerment

灾难恢复系统(Disaster Recovery System, DRS)是保障信息系统安全、稳定运行的一个极为重要的因素,是业务连续性运作的有效依仗。而灾难恢复能力则是表征DRS是否能在灾难发生后,利用灾难恢复资源和灾难恢复预案及时恢复并保证业务持续运作的指标。对系统灾难恢复能力进行评价预测,能够指导灾难恢复项目的建立实施并对系统薄弱部分进行预警,具有着重要的意义。

近年来,国内外有关灾备方面的评估大多集中在性能及组件的分析^[1,2]以及灾难恢复计划的优化选择^[3],对灾难恢复能力等综合型指标的评价则相对较少。在指标体系划分方面,文献[4]利用层次分析法将灾难恢复能力作为目标层,从管理、技术等方面进行逐层分解,初步提炼出灾难恢复能力的指标体系。文献[5]在此基础上做了补充,加入了系统可能面临的威胁因素,丰富了指标体系,但缺乏对于动态指标的考虑。文献[6]在之前的基础上分析并总结了影响灾难恢复的动态指标,将其分类后针对每一种动态指标提出了合适的度

量方法,完善了指标体系,但没有考虑到系统的综合运行情况。本文对影响灾难恢复能力的静态指标、动态指标以及动态综合指标进行提炼规划,完善了指标体系。

在评价算法方面,现有的文献多采用层次分析法与模糊综合评价相结合的方法以及相应的改进算法。考虑到灾难恢复能力的评价涉及到的指标体系较庞大,且大多为动态或者定性指标,之前研究中缺乏从采集的样本值转化为规范化指标评价价值的方法,直接使用单一数值作为指标评价价值,这并不适用于评测灾备系统这种大多为浮动性指标的情况;而这些算法中用来赋权的层次分析法亦面临着赋权过于主观、一致性检验难度增加、专家需两两对比的权重数目过多等问题。在求取评价结果时普遍使用的隶属函数在分析灾备系统这种模糊且不稳定的系统时亦遭遇瓶颈。

针对这些问题,本文总结了灾难恢复能力的指标体系并设计了一套灾难恢复能力的评价方法,使用区间数对指标样本进行采集,并引入云模型理论,对指标评价的样本值进行规

到稿日期:2014-09-12 返修日期:2014-11-20 本文受国家高技术研究发展计划资助项目(2012AA012600),北京市教育委员会共建项目专项,国家发改委信息安全专项(2011RCZJ16)资助。

姚文斌(1972-),男,博士后,教授,主要研究方向为灾备技术、云计算与物联网,E-mail: yaowenbin_cdc@163.com;王真(1991-),女,硕士生,主要研究方向为灾难恢复系统架构与灾难恢复系统评价;赵玲(1989-),女,硕士生,主要研究方向为信息化系统建模与仿真;姚翔(1990-),男,硕士生,主要研究方向为灾备技术与故障分析。

范化处理,得到指标评价值的云模型表示,解决了动态指标与定性指标表示困难的问题;并使用了改进的 G1 法结合熵权法完成指标体系的综合赋权,获取指标的综合云权重,避免了一致性检验,对权重的不确定性亦有所描述,并同时保证了权重计算的客观性;最后,利用云模型对系统不确定性的体现,得出灾难恢复能力基础值和稳定性的综合定量表示,使得评价结果具有更全面的参考价值。

1 云模型概述

云模型是李德毅院士于 1995 年在概率论和模糊数学的基础上提出的概念,对模糊性、随机性及二者关系进行了描述,是完成定性概念与定量数据之间相互转换的有效工具^[7]。

云可由 3 个数字特征表达,即期望 E_x 、熵 E_n 和超熵 H_e ,三者将模糊性与随机性集合到一起,完成定性概念到定量的相互转化。而逆向云发生器可以利用统计得到的“云滴”反向计算出以上 3 个数字特征。常用的逆向云发生器算法主要有拟合法^[8]、基于云 X 信息的逆向云发生器算法^[9]和基于正态分布区间数的逆向云算法^[10]。

2 基于云模型的灾难恢复能力的综合评价方法

2.1 灾难恢复能力评价的思路

定义 1 设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 是所研究的论域,其中 x_1, x_2, \dots, x_m 为论域中影响各对象的灾难恢复能力的属性, T 是与 X 相联系的灾难恢复能力描述值。论域中的任意一个属性 x 对于 T 所描述的灾难恢复能力隶属度 $A(x_1, x_2, \dots, x_m)$ 是一个具有稳定倾向的随机数,而灾备能力隶属度在论域上的分布则称为灾难恢复能力云,每一个元素与其对应的隶属度组合成灾难恢复能力云滴。

对灾难恢复能力的评价是一种复杂多属性定性指标评价,结合灾备相关标准与实际情况,先将其作为目标域进行分层次细化来构建指标体系,再从细粒度指标逐层向上求取目标值。结合云理论,该过程可大致分为 4 个步骤:1) 指标体系的构建;2) 利用算法构造指标关于灾难恢复能力的云模型,即指标评价云;3) 利用赋权算法获取指标权重云;4) 计算系统灾难恢复能力云。详细流程如图 1 所示。

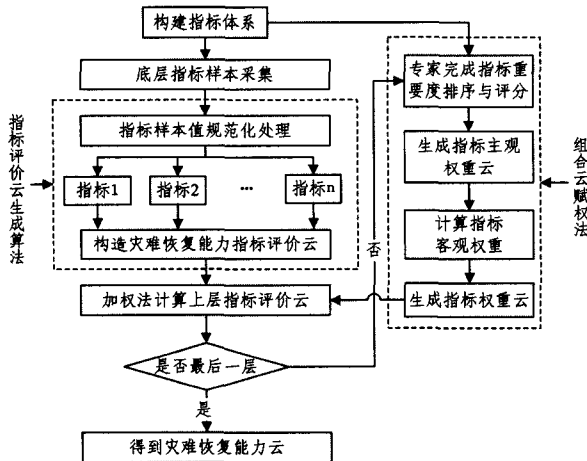


图 1 基于云的灾难恢复能力评价流程

2.2 灾难恢复能力指标体系的构建

根据国家相关标准,结合实际情况,将影响灾难恢复能力的基本要素归结为灾难备份系统、灾难备份场地、灾难备份运维管理 3 个部分。

灾难备份系统是用于灾难恢复目的的信息系统,由数据备份系统、备用数据处理系统和备用的网络系统组成^[11]。它是整个灾难备份中心的主体部分,包括灾难恢复所采用的技术、策略以及承载实现它们的软硬件设施。

为保证顺利完成灾难恢复的过程,还需要对灾难恢复系统进行运维管理并提供专业技术支持,根据不同用户的需求分析,明确灾难恢复预案,这将组成灾难备份的运维管理部分,指导并保障灾难恢复的有序进行。

灾难备份场地即完成整个灾难备份及恢复过程的环境及场地设施。

3 个部分的组合囊括了灾难恢复所需要的全部资源。考虑到灾难备份系统是一个技术与管理相结合的复杂协作系统,其综合性能与实际运行结果受动态因素的影响较大。简单的分块细化以及简单加成分析并不能确切表示其综合能力,对此本文加入综合性动态指标,通过分析实际运行中的信息反馈,并将之统计归类后作为评测灾难恢复能力的一组动态因子。

据此提出评测灾难恢复能力的指标体系,如图 2 所示。

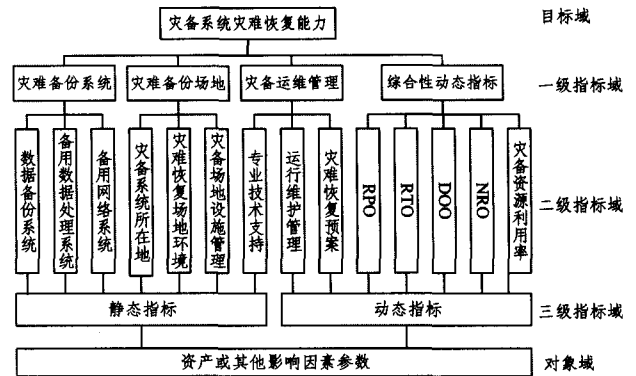


图 2 灾难恢复能力指标体系架构

其中,三级指标域为各个二级指标的有效组成因子的集合,静态部分包括系统各功能部件与模块,动态部分则为影响系统容灾能力的动态指标以及综合性指标的动态分量,这一层也是指标集到基础数据的有效对接。

2.3 灾难恢复能力指标云生成算法

由于灾备过程是一个复杂的、具有多种不确定性因素的过程,灾难恢复能力的评测涉及到的指标既包括可测得的性能指标,也包括一些定性指标。获取的指标评价的样本值往往多种多样,如何将这此样本值转换为描述灾难恢复能力的定量评价是评价算法所面临的首要问题。

针对这个问题,本节提出一种指标评价规范化方法。首先通过专家决策或计算机监测获取若干区间数作为指标值样本,这相比于单一数值更适合于表示浮动性指标;接着将区间数样本进行规范化处理,利用基于正态分布区间数的逆向云算法对区间数评价进行集结,并计算出指标的灾难恢复能力云模型表示,即灾备能力指标评价云。

算法 1 灾难恢复能力指标评价云生成器

输入: n 个区间值 $[x_i^-, x_i^+]$ ($i=1, 2, \dots, n$), 即某项灾难恢复能力指标的各个样本值

输出: 灾难恢复能力指标评价云, 用 $A(E_x, E_n, H_e)$ 表示, 其中 E_x 代表期望值、 E_n 代表熵、 H_e 为超熵

算法具体步骤如下:

1. 将成本型和居中型指标区间数转化为效益型区间数 $[a_i^-, a_i^+]$ 。
2. 将转化后的各个指标区间值标准化为 $[0, 100]$ 上的效益型区间数

$[a_i^-, a_i^+]$, 并将其作为评价区间值。

3. 经过以上处理, 根据文献[10]中的描述, 假定这 n 个区间数均为正态分布区间数, $a_i = [a_i^-, a_i^+]$ 可看成模糊隶属曲线为 $\mu_{a_i} = e^{-\frac{(x-t_i)^2}{2\sigma_i^2}}$ 的模糊数的 α -水平截集, 将 a_i 模糊化处理成:

$$a_i = [t_i - \sigma_i \sqrt{-2 \ln \alpha}, t_i + \sigma_i \sqrt{-2 \ln \alpha}]$$

$$t_i = \frac{a_i^- + a_i^+}{2}, \sigma_i = \frac{a_i^+ - a_i^-}{\sqrt{-8 \ln \alpha}} \quad (1)$$

4. 输入 n 个模糊化处理过的样本区间, 根据模糊数运算法则以及模糊扩张原理得到指标评价的云期望曲线方程:

$$\mu_{a_i} = e^{-\frac{(x-t_i)^2}{2\sigma_i^2}} \quad (2)$$

5. 将上面得到的 n 个模糊数的模糊隶属曲线平移构成一个曲线簇, 则整个曲线簇可以看作云的一个近似。由此可将云期望曲线方程的均值 t 作为所要求的正态云模型的期望值 E_x , 方差 σ_i 的期望和标准差作为云模型的熵 E_n 和超熵 H_e , 即得到指标评价云 $A(E_x, E_n, H_e)$ 。

2.4 基于 G1 法的组合云赋权法

对灾难恢复能力的评估为一种多属性评价问题, 其中属性值即指标值赋权为其中重要的环节之一。本节结合云理论, 提出一种基于 G1 法^[12]的改进组合赋权法用以求取综合云权重。具体的计算步骤如下:

1) 改进 G1 法获取主观权重

G1 法是一种主观赋权法, 解决了指标值过多时一致性检验难以完成的问题, 而灾难恢复能力的评价涉及到大量指标, 用此法简单、直观, 减小了算法复杂度。但该过程中, 序关系的构建多采用投票制, 当决策者出现重大分歧时, 单一的结果难免会偏离实际情况。针对这个问题, 现提出改进算法, 假设 m 个指标组成的待评价指标集为 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 。

算法 2 基于改进 G1 法的主观云权重生成器

输入: 专家在指标权重计算过程中的投票以及打分

输出: m 个指标的云权重, 用 $w_{ak} = (E_{xwk}, E_{nwk}, H_{ewk})$ 表示, 其中 $k = 1, 2, \dots, m$

算法具体步骤如下:

1. 将决策者随机分为 n 个组, 每组人数为 Z , 分别利用 G1 法计算权重, 得到 n 组权重向量, 均按照指标的原始顺序调整为: $W_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im}] (i=1, 2, \dots, n)$ 。
2. 将 n 个组计算得出的第 k 个指标的所有权重值作为权重云滴, 利用文献[10]中的基于 X 信息的逆向云算法计算出该指标云权重的期望 E_{xwk} 、熵 E_{nwk} 、超熵 H_{ewk} 。
3. 依此类推, 计算出所有 m 个指标的云权重。

2) 熵权法获取客观权重

在信息论中, 熵是系统无序程度的一个度量, 指标的信息熵越小, 其信息量越大, 对应评价中起到的作用也就越大, 权值比重越大。在算法 1 中已经获得了各项指标的信息熵 E_{ik} , ($k=1, 2, \dots, m$), 将其代入下式, 求得指标的熵权:

$$w_{ik} = \frac{1 - E_{ik}}{m - \sum_{k=1}^m E_{ik}} \quad (3)$$

3) 综合权重的确定

通过以上两个步骤获取主观权重 w_{ak} 与客观权重 w_{ik} 后, 利用下式求得第 k 个指标的综合云权重:

$$w_k = (E_x(w_k), E_n(w_k), H_e(w_k))$$

$$= \left(\frac{w_{ak} * E_{xwk}}{\sum_{k=1}^m w_{ak} E_{xwk}}, E_{nwk}, H_{ewk} \right) \quad (4)$$

其中, $k=1, 2, \dots, m$ 。

2.5 构造系统灾难恢复能力云

在 2.2 节中已将灾难恢复能力细化分解为 3 层的指标体系, 现通过将多个可测得的定量指标与易评判定性指标进行加权来求取上层指标的方法, 逐层向上获取系统灾难恢复能力的定量描述。具体步骤如下:

1) 采集第三层指标样本数据, 样本数为 n 。利用算法 1 对样本数据进行预处理, 获取每个指标的指标评价云, 用云的 3 个数字特征 $A_i(E_x, E_n, H_e)$ 来表示。假设第 i 个二级指标可细化为 m 个三级指标, 这 m 个指标评价云组成云矩阵:

$$M_{ix} = \begin{bmatrix} (E_{x1}, E_{n1}, H_{e1}) \\ (E_{x2}, E_{n2}, H_{e2}) \\ \vdots \\ (E_{xm}, E_{nm}, H_{em}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

2) 利用算法 2 对这 m 个指标求取对应权重云, 得到权重云矩阵:

$$W_{ix} = \begin{bmatrix} (E_{xw1}, E_{nw1}, H_{ew1}) \\ (E_{xw2}, E_{nw2}, H_{ew2}) \\ \vdots \\ (E_{xwm}, E_{nwm}, H_{ewm}) \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

3) 利用加权法, 根据云运算中乘和公式求取第 i 个二级指标的指标评价云:

$$A_{ix} = M_{ix} \times W_{ix} \quad (7)$$

4) 重复步骤 1)–3), 求得所有 14 个二级指标的指标评价云, 并求取每个指标的对应权重云, 计算出 4 个一级指标的云模型。

5) 继续使用加权法, 最终得到灾难恢复能力的云模型表示:

$$A(E_x, E_n, H_e)$$

其中, E_x 为灾难恢复能力的基础值, 是衡量一个系统应对灾难能力的最主要指标, E_x 越大代表灾难恢复能力越强; E_n 表征着系统灾难恢复能力的稳定性, 在两系统 E_x 相同的情况下, E_n 越小则表示系统稳定性越好; 而 H_e 则表示着灾难恢复能力的随机性, 即一些意外发生的可能性, 在期望与熵都相同的情况下, 随机性越小, 系统越稳定, 灾难恢复能力可靠性越高。

3 实例分析

以北京市某数据中心灾备系统为例, 建立由 7 位灾难恢复领域专家组成的评价小组, 使用本文方法进行灾难恢复能力评价。现以二级指标“数据备份系统”为例构建其灾难恢复能力云模型, 完成实例评价。

1) 确定评价指标集

根据国标 GB/T20988-2007《信息系统灾难恢复规范》中关于数据备份系统的定义, 将其划分为 6 个三级指标 $C(C1, C2, C3, C4, C5, C6)$, 如图 3 所示。

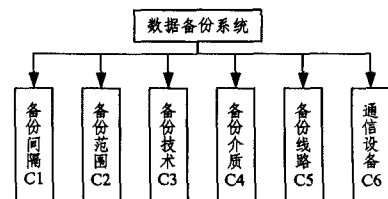


图 3 数据备份系统指标体系

2) 指标样本采集

对 $C(C1, C2, C3, C4, C5, C6)$ 进行数据样本采集, 对于无法定量表示的指标, 采用专家打分法获取指标评价区间。利用算法 1 中步骤 1 与步骤 2 将指标值进行规范化处理, 获取 0 到 100 之间的评价区间, 用 $[a_{ik}^-, a_{ik}^+]$ 表示, 其中 $i=1, 2, \dots, 6; k=1, 2, \dots, 7$, 组成评价样本矩阵(见表 1)。

表 1 评价样本表

指标层	样本 1	样本 2	样本 3	样本 4	样本 5	样本 6	样本 7
备份间隔	[71, 76]	[72, 78]	[75, 80]	[70, 80]	[80, 85]	[75, 78]	[68, 72]
备份范围	[60, 70]	[50, 60]	[61, 69]	[65, 70]	[61, 65]	[61, 66]	[52, 66]
备份技术	[70, 80]	[74, 88]	[72, 86]	[80, 85]	[80, 88]	[71, 76]	[73, 88]
备份介质	[80, 85]	[87, 90]	[83, 88]	[78, 83]	[83, 85]	[71, 76]	[82, 87]
备份线路	[70, 85]	[78, 85]	[71, 89]	[73, 77]	[77, 80]	[71, 76]	[75, 84]
通信设备	[80, 90]	[80, 88]	[75, 87]	[78, 85]	[75, 80]	[71, 76]	[72, 75]

3) 使用算法 1 计算各指标评价云, 以指标 C1 备份间隔为例, 取 $\alpha=0.5$:

$$E_x^{(C1)} = \frac{\sum_{k=1}^7 t_k}{7} = \frac{\sum_{k=1}^7 a_{c1k}^- + \sum_{k=1}^7 a_{c1k}^+}{2 \times 7} \approx 75.7 \quad (8)$$

$$E_n^{(C1)} = \frac{\sum_{k=1}^7 \sigma_k}{7} \approx 2.3 \quad (9)$$

$$H_c^{(C1)} = \sqrt{\frac{1}{7} \left[\sum_{k=1}^7 (a_k - E_n^{(C1)})^2 \right]} \approx 0.81 \quad (10)$$

则备份间隔的云评价模型为 $C1(75.7, 2.3, 0.81)$, 同理可得 $C2(62.6, 3.4, 1.31)$, $C3(79.4, 4.3, 1.56)$, $C4(82.7, 1.8, 0.45)$, $C5(77.9, 3.8, 2.04)$, $C6(79.4, 3.0, 1.14)$ 。

4) 每个专家自成一组, 分别使用 G1 法计算各指标主观权重, 用 $w_{Gk}^{(C1)}$ 表示, 其中 $i=1, 2, \dots, 6; k=1, 2, \dots, 7$, 构建权重矩阵(见表 2)。

表 2 G1 法所得权重表

指标层	权重 1	权重 2	权重 3	权重 4	权重 5	权重 6	权重 7
备份间隔	0.2832	0.2412	0.2658	0.2832	0.2026	0.2600	0.2324
备份范围	0.2023	0.2009	0.1705	0.1686	0.1558	0.1805	0.2113
备份技术	0.1686	0.2009	0.1421	0.2023	0.2837	0.2167	0.1761
备份介质	0.1297	0.1546	0.2045	0.1297	0.1416	0.1389	0.1467
备份线路	0.1081	0.1104	0.1184	0.1081	0.0983	0.1068	0.1112
通信设备	0.1081	0.0920	0.0987	0.1081	0.1180	0.0971	0.1223

5) 依据算法 2 获取指标主观云权重, 依旧以指标 C1 备份间隔为例, 首先利用基于 X 信息的逆向云发生器获取指标云权重的期望 $E_{wG}^{(C1)}$ 、熵 $E_{nw}^{(C1)}$ 、超熵 $H_{nw}^{(C1)}$ 。其中

$$\overline{w_G} = \frac{\sum_{k=1}^7 w_{Gk}^{(C1)}}{7} \quad (11)$$

$$S^2 = \frac{1}{6} \sum_{k=1}^7 (w_{Gk}^{(C1)} - \overline{w_G})^2 \quad (12)$$

$$E_{nw}^{(C1)} = \overline{w_G} \approx 0.2526 \quad (13)$$

$$E_{nw}^{(C1)} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{7} \sum_{k=1}^7 |w_{Gk}^{(C1)} - E_{nw}^{(C1)}| \approx 0.0292 \quad (14)$$

$$H_{nw}^{(C1)} = \sqrt{|S^2 - (E_{nw}^{(C1)})^2|} \approx 3.01 \times 10^{-4} \quad (15)$$

计算指标 C1 的熵:

$$w_b^{(C1)} = 0.618 \quad (16)$$

C1 综合云权重为

$$w^{(C1)} = \left(\frac{w_b^{(C1)} E_{nw}^{(C1)}}{\sum_{i=1}^6 w_b^{(G)} E_{nw}^{(G)}}, E_{nw}^{(C1)}, H_{nw}^{(C1)} \right) = (0.2545, 0.0292, 3.01 \times 10^{-4}) \quad (17)$$

同理可得 $w^{(C2)} = (0.1837, 0.0220, 0.0072)$, $w^{(C3)} = (0.1961, 0.0396, 0.0217)$, $w^{(C4)} = (0.1513, 0.0226, 0.0126)$, $w^{(C5)} = (0.1080, 0.0048, 0.0035)$, $w^{(C6)} = (0.1063, 0.0112, 7.76 \times 10^{-4})$ 。

6) 利用加权法获取数据备份系统的灾难恢复能力云模型, 表示为: $B(75.7, 4.7834, 2.1443)$, 现随机产生 1000 个云滴来构造一维云模型, 如图 4 所示。

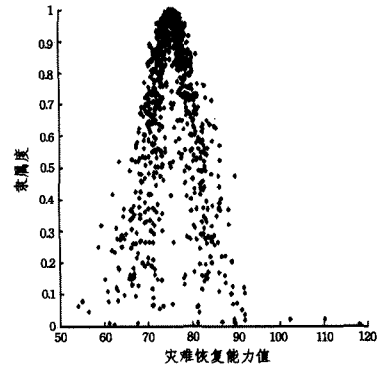


图 4 数据备份系统灾难恢复能力云

根据得出的云模型结果可以看出, 100 分为满分时, 该信息中心数据备份系统的灾难恢复能力基础值位于 75 分左右, 处于较高水平; 但其熵值与超熵值偏大, 系统稳定性欠缺。这一问题在专家打分表上也有所体现, 专家对于系统各部分灾难恢复能力的评价并不统一。从各指标权重云来看, 备份间隔及备份技术是影响数据备份系统灾难恢复能力的主要因素, 应作为系统构建与维护的重点; 分析各指标评价云可以看出备份范围目前是该系统的薄弱环节, 可适当对其进行补救, 将之前一些疏于备案的数据进行重新备份, 以增强系统抵御灾难的可靠性。

结束语 云模型是一种将模糊性与随机性相互关联来完成定性概念到定量数值间转换的不确定性模型, 是不确定性问题的一个较先进的解决方案。灾备系统这类复杂系统的评价过程中涉及到定性到定量转化及多属性决策赋权等一系列模糊不确定性问题, 文章借鉴了云模型的研究思想, 提出了基于区间数逆向云的指标值规范化方法及指标评价云的概念, 解决了动态指标与模糊定性指标表示困难的问题; 提出了基于 G1 法的改进组合赋权法, 将主观赋权与客观赋权结合起来, 并简化了赋权算法计算步骤。随后, 根据提炼整合的灾难恢复能力指标体系, 并结合以上两种算法, 得出了灾难恢复能力的云模型表示; 不但对灾备系统的灾难恢复能力做了基本值的分析, 而且给出了系统稳定性与随机性的定量体现, 使得评价过程更加完善, 以满足灾难恢复能力研究中新的评估需求。最后, 通过实例证实了该方法的可行性。

参考文献

- [1] Ueno Y, Miyaho N, Suzuki S, et al. Performance Evaluation of a Disaster Recovery System and Practical Network System Applications[C] // 2010 Fifth International Conference on Systems and Networks Communications(ICSNC). IEEE, 2010: 195-200
- [2] Boehmer W, Brandt C, Groote J F. Evaluation of a business continuity plan using process algebra and modal logic[C] // 2009 IEEE Toronto International Conference Science and Technology

- for Humanity(TIC-STH). IEEE,2009:147-152
- [3] Alhazmi O H, Malaiya Y K. Evaluating disaster recovery plans using the cloud[C]//Reliability and Maintainability Symposium (RAMS),2013 Proceedings-Annual. IEEE,2013:1-6
- [4] 陈敏刚,董军,张丽亮,等. AHP 和模糊综合评判在灾难恢复能力评估中的应用[J]. 计算机工程,2006,32(18):135-137,140
Chen Min-gang, Dong Jun, Zhang Li-liang, et al. AHP and Fuzzy Comprehensive Evaluation Application in Disaster Recovery Ability Evaluation[J]. Computer Engineering, 2006, 32(18): 135-137, 140
- [5] 李佳,徐达,王晓磊. 基于风险分析的信息系统灾难恢复能力评估[C]//中国通信学会. 虚拟运营与云计算——第十八届全国青年通信学术年会论文集(上册). 2013:6
Li Jia, Xu Da, Wang Xiao-lei. Information System Disaster Recovery Capability Evaluation Based on Risk Analysis[C]//China Institute of Communications. Virtual Operation and Cloud Computing—The Eighteenth Annual Conference Proceedings National Youth Communication(Volume). 2013:6
- [6] Zhang G, Yang Y, Mao X. Disaster recovery evaluation PROC model framework based on information flow[C]//2011 International Conference on Computer Science and Network Technology(ICCSNT). IEEE,2011:1841-1845
- [7] 秦丽,李兵. 一种基于云模型的不确定性数据的建模与分类方法[J]. 计算机科学,2014,41(8):233-240
Qin Li, Li Bing. Novel Method of Uncertain Data Modeling and Classification Based on Cloud Model[J]. Computer Science, 2014, 41(8): 233-240
- [8] 吕辉军,王晔,李德毅,等. 逆向云在定性评价中的应用[J]. 计算机学报,2003,26(8):1009-1014
Lv Hui-jun, Wang Ye, Li De-yi, et al. The Application of Backward Cloud in Qualitative Evaluation[J]. Chinese Journal of Computers, 2003, 26(8): 1009-1014
- [9] 刘常昱,冯芒,戴晓军,等. 基于云 X 信息的逆向云新算法[J]. 系统仿真学报,2004,16(11):2417-2420
Liu Chang-yu, Feng Mang, Dai Xiao-jun, et al. A New Algorithm of Backward Cloud[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(11): 2417-2420
- [10] 于少伟,史忠科. 基于正态分布区间数的逆向云新算法[J]. 系统工程理论与实践,2011,31(10):2021-2026
Yu Shao-wei, Shi Zhong-ke. New Algorithm of Backward Cloud Based on Normal Interval Number[J]. Systems Engineering—Theory&Practice, 2011, 31(10): 2021-2026
- [11] 杨义先,姚文斌,陈钊. 信息系统灾备技术综述[J]. 北京邮电大学学报,2010,33(2):1-6
Yang Yi-xian, Yao Wen-bin, Chen Zhao. Review of Disaster Backup and Recovery Technology of Information System[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010, 33(2): 1-6
- [12] 李军,李继光,姚建刚,等. 属性识别和 G1-熵权法在电能质量评价中的应用[J]. 电网技术,2009,33(14):67-73
Li Jun, Li Ji-guang, Yao Jian-gang, et al. Application of Attribute Recognition and G1-Entropy Method in Evaluation of Power Quality[J]. Power System Technology, 2009, 33(14): 67-73

(上接第 137 页)

从社区划分可视化的结果来看,社区划分的区分度比较明显,社区内节点之间的联系明显大于社区之间节点的联系。这说明了本文利用的社区划分评价指标的有效性。

结束语 动态社会网络是社会媒体发展的必然趋势,本文引入拟态计算的概念来描述动态多变的社会网络,利用传染病模型来描述信息传播的过程并加入到社区划分的模型中。为验证模型的有效性,利用下载的真实数据,与 spin model 和 Kuramoto 模型进行对比实验。实验表明 MCC 模型对动态社区划分有明显的提高。

参 考 文 献

- [1] 邬江兴. 拟态计算与拟态安全防御的原意和愿景[J]. 电信科学, 2014, 30(7): 2-7
Wu Jiang-xing. Meaning and Vision of Mimic Computing and Mimic Security Defense[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(7): 2-7
- [2] 崔可嘉. 微博及其构建的拟态环境研究[J]. 新闻知识, 2014(10): 73-74
Cui Ke-jia. Study on micro-blog pseudo environment and its construction[J]. News Research, 2014(10): 73-74
- [3] 贺小光,兰讽. 网络社区研究综述——从信息交流到知识共享[J]. 情报科学, 2011, 29(8): 1268-1271
He Xiao-guang, Lan Feng. A Review on Network Community—Information Communication to Knowledge Sharing[J]. Information Science, 2011, 29(8): 1268-1271
- [4] Hu Y, Li M, Zhang P, et al. Community detection by signaling on complex networks[J]. Phys Rev E, 2008, 78(1): 016115
- [5] 李姣姣. 微博拟态环境构建分析[J]. 青年记者, 2012(33): 82-83
Li Jiao-jiao. Analysis of the construction of micro-blog mimicry environment[J]. Youth Journalist, 2012(33): 82-83
- [6] 苏娜. 新媒体拟态环境对大学生网络舆情的影响及应对[J]. 江苏高教, 2014(3): 123-125
Su Na. New media pseudo environment influence on College Students' network public opinion and the Countermeasures[J]. Jiangsu Higher Education, 2014(3): 123-125
- [7] Leskovec J, Lang K J, Mahoney M W. Empirical comparison of Algorithms for network community Detection[C]//Proceedings of the International Conference on World Wide Web. Raleigh, NC, USA, 2010: 631-640
- [8] Rand, William M. Objective criteria for the evaluation of clustering methods[J]. Journal of the American Statistical association, 1971, 66(336): 846-850
- [9] Wagner S, Wagner D. Comparing clusterings: an overview[R]. Universität Karlsruhe, Fakultät für Informatik, 2007
- [10] 吉福生,王燕燕,徐明玉,等. 社会化机会网络中节点归属位置感知的路由机制[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2015, 27(3): 404-410
Ji Fu-sheng, Wang Yang-yan, Xu Ming-yu, et al. Node home location aware routing mechanism for social opportunistic networks[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2015, 27(3): 404-410