

基于粗糙集的第三方支付网络效益风险的评估

曹黎侠, 伏文清

(西安工业大学 理学院, 陕西 西安 710032)

摘要: 效益已经成为第三方支付企业生存的潜在风险因素, 然而第三方支付网络效益风险的评估, 到目前还没有见到相关的研究成果。结合粗糙集理论、复杂网络理论和古典统计学, 研究了第三方支付复杂网络的度分布及其特性, 提出了一种第三方支付网络效益风险的评估方法。考虑了复杂网络中的不确定信息和网络结构的不可分辨性, 考虑了产生效益的主观原因—努力水平, 构建了一种新的效益风险指标体系, 能够满足第三方支付企业实现对平台效益风险的评估。仿真实例表明, 网络的交易额(收藏额)比广告费用对网络信任度的影响更大, 网络信息度是影响网络效益风险的关键性因素。

关键词: 粗糙集; 第三方支付网络; 模糊综合评价; 效益风险

中图分类号: TP182; O29

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2019)03-0149-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2019.03.031

Benefit Risk Evaluation of Third-party Payment Network Based on Rough Set

CAO Li-xia, FU Wen-qing

(School of Science, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: Benefits have become a potential risk factor for the survival of third-party payment enterprises. However, so far, no relevant research results have been seen in the evaluation of benefits and risks of third-party payment networks. Combining rough set theory, complex network theory and classical statistics, we study the degree distribution and characteristics of the complex network of the third-party payment and put forward a method to evaluate the benefits and risks of the third-party payment network. Considering the uncertain information in the complex network and the indistinguishability of the network structure, as well as the subjective cause-effort level, we construct a new benefit risk index system, which can meet the needs of third-party payment enterprises to realize the evaluation of the platform benefit risk. The simulation shows that the transaction volume (collection amount) of the network has a greater influence on the network trust degree than the advertising cost, and the network information degree is the key factor affecting the network benefit risk.

Key words: rough set; third-party payment network; fuzzy comprehensive evaluation; benefit risk

0 引言

近年来,国内第三方支付企业在蓬勃发展的同时,效益问题和风险问题也成为平台经济研究的热点之一^[1-3]。有关专家学者指出,国内第三方支付平台交易的风险主要有^[4-5]法律风险、金融风险、信用风险、市场风险和网络安全风险,并给出风险管理的一些政策上的建议。关于平台效益问题的研究,现有的成果都是运用模糊综合评价法和层次分析法对影响第三方支付平台收益的因素进行分析^[6-8],没有考虑到平台交易依附于互联网这一信息网络的结构特征,同时忽略掉了网络交易的不确定性,也就难以解决平台

企业的效益问题。文献[9-13]研究了基于粗糙集的复杂网络,却没有涉及复杂网络的风险评估问题。因此,文中将平台的效益问题也划归为平台交易的风险问题,通过对平台交易效益风险的评估方法研究,为平台管理者提供一种可操作的定量化的效益风险评估方法。由于第三方支付网络是以商家和商家经营的商品为节点,以网址的链接为边,顾客访问某一节点,具有不确定性,该节点与哪些节点相连具有不可分辨性,因此,首先建立基于粗糙集的第三方支付复杂网络—粗糙复杂网络,并研究该网络的度分布,然后依据网络度分布的特性实现第三方支付网络效益风险的评估。

收稿日期: 2018-05-26

修回日期: 2018-09-27

网络出版时间: 2018-12-20

基金项目: 陕西省教育自然科学基金专项研究项目(16JK1369); 2018年度陕西省统计科学研究课题(2018LY12); 西安工业大学教学改革研究重点项目(17JGZ11); 西安工业大学校长基金项目(XAGDXJJ17027)

作者简介: 曹黎侠(1971-),女,博士,副教授,研究方向为粗糙集、复杂网络、运筹学与控制论、管理决策分析及博弈论等。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20181219.1553.088.html>

1 第三方支付粗糙复杂网络的构建

第三方支付平台交易网络中,顾客作为网络访问的主体,按决策行为分类,含浏览、收藏和购买。根据第三方支付平台交易的实际情况,顾客购买前通常先收藏,则购买的商品和商品的链接形成了第三方支付下近似复杂网络;收藏的商品和商品的链接形成了第三方支付上近似复杂网络;浏览并未收藏的商品组成了以顾客决策行为为知识分类的负域。鉴于此,可以先根据第三方支付平台顾客浏览信息的特点构造第三方支付复杂网络,对应了粗糙集的论域 U ;再根据顾客收藏的商品及其链接边、购买的商品及其链接边,确定第三方支付上近似复杂网络和下近似复杂网络,从而构建出第三方支付粗糙复杂网络。

由于该网络构建时是从具有 m_0 个孤立节点的网络开始,然后以一定的概率随机地与其中 m 个节点相连。因此,该网络模块具有适应度模型^[10]的特点,其构建原理如下:

(1) 增长: 从一个具有 m_0 个节点的网络开始,每次引入一个新的节点,随机地与 m 个已存在节点相连,这里 $m \leq m_0$; 每个节点的适应度 η_i 按概率分布 $\rho(\omega_i)$ 选取。

(2) 优先连接: 一个新节点与一个已经存在的节点 i 相连接的概率 π_i 与节点 i 的度 k_i 、节点 j 的度 k_j 和适应度 η_i 之间满足如下关系:

$$\pi_i = \frac{\eta_i k_i}{\sum_j k_j \eta_j} \quad (1)$$

经过 t 步后,这种算法产生一个包含 $N = t + m_0$ 个节点, mt 条边的网络。根据增长性和择优选择,网络将最终演化成一个标度与 η_i 有关的状态,即网络的度分布与 η_i 的取值有关,不同的时刻构建的网络会有所差异。

在模型中,从网络中某一节点 V_i 的度值 k_i 随时间变化的角度出发,假设其度值连续,有方程:

$$\frac{\partial k_i}{\partial t} = m \pi_i = m \frac{\eta_i k_i}{\sum_j k_j \eta_j} \quad (2)$$

由于每一时间步加入 m 条边,即网络总加权重度值增加 $2m$,于是第 t 步的总度值为:

$$2mt = \sum_j k_j \eta_j \quad (3)$$

将式 3 代入式 2 得:

$$\frac{\partial k_i}{\partial t} = m \pi_i = m \frac{\eta_i k_i}{\sum_j k_j \eta_j} = m \frac{\eta_i k_i}{2mt} = \frac{\eta_i k_i}{2t} \quad (4)$$

解方程 4 得:

$$\ln k_i(t) = \frac{\eta_i}{2} \ln t + C \quad (5)$$

由初始条件,节点 V_i 在时刻 t_i 以 $k_i(t_i) = m$ 加入到系统中,可以得到:

$$C = \ln(k_i(t_i) \cdot t_i^{-\frac{\eta_i}{2}}) = \ln(m \cdot t_i^{-\frac{\eta_i}{2}})$$

因此

$$k_i(t) = m \cdot \left(\frac{t}{t_i}\right)^{\frac{\eta_i}{2}} \quad (6)$$

由式 6 知:

$$P(k_i(t) < k) = P(t_i > t \cdot \left(\frac{m}{k}\right)^{\frac{2}{\eta_i}}) \quad (7)$$

假设等时间间隔地向网络中增加节点,则 t_i 值就有一个常数概率密度。

$$P(t_i) = \frac{1}{m_0 + t} \quad (8)$$

由式 7 和式 8 可以得到:

$$P(t_i > t \cdot \left(\frac{m}{k}\right)^{\frac{2}{\eta_i}}) = 1 - P(t_i \leq t \cdot \left(\frac{m}{k}\right)^{\frac{2}{\eta_i}}) = 1 - \int_{t_i=0}^{t \cdot \left(\frac{m}{k}\right)^{\frac{2}{\eta_i}}} P(t_i) dt_i = 1 - \frac{t}{m_0 + t} \times \left(\frac{m}{k}\right)^{\frac{2}{\eta_i}} \quad (9)$$

所以度值的分布为:

$$P(k) = \frac{\partial P(t_i > t \cdot \left(\frac{m}{k}\right)^{\frac{2}{\eta_i}})}{\partial k} = \frac{2tm^{\frac{2}{\eta_i}}}{\eta_i(m_0 + t)^2} k^{-(\frac{2}{\eta_i}+1)} \quad (10)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时, $\lim P(k) = \frac{2}{\eta_i} \cdot m^{\frac{2}{\eta_i}} \cdot k^{-(\frac{2}{\eta_i}+1)}$, 完全

符合 $\gamma = \frac{2}{\eta_i} + 1$ 幂律分布。显然,第三方支付复杂网

络具有幂律为 $\gamma = \frac{2}{\eta_i} + 1$ 的无标度网络特性。

由此可知,第三方支付的下近似复杂网络和上近似复杂网络作为第三方支付复杂网络的子网络,是度分布为幂律分布的无标度网络。

2 基于粗糙网络加权度的效益风险评估模型

2.1 模型构建的基本思想与方法

文献[14]研究表明,影响第三方支付平台效益的指标有顾客人气、交易额、广告费和商家购买产品和服务。由于交易额、广告费和商家购买产品和服务是由粗糙网络中活动的参与者商家和第三方的努力水平决定的,交易额、广告费和商家购买产品和服务的收益越大,效益风险也就越小。商家和第三方支付管理者的努力水平表现出来的状态就是第三方支付粗糙网络的顾客访问量和网络的信任度,即网络的人气指数。因此,文中将第三方支付粗糙网络的效益风险结构确定

为由商家和网络官方的努力水平决定的,体现在顾客访问量和粗糙网络信任度上。因此,构建的第三方支付粗糙网络效益风险结构如图1所示。

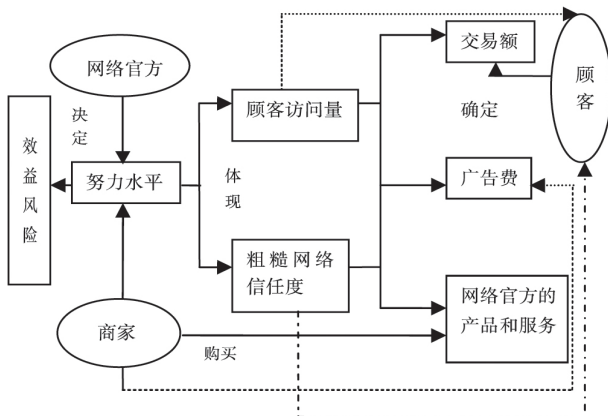


图1 第三方支付粗糙网络效益风险结构

这样,对第三方支付粗糙网络效益风险评估问题的研究,形成了以交易额、广告费和网络官方的产品和服务为二级指标,以顾客访问量和粗糙网络信任度为一级指标的评估体系。考虑到第三方支付粗糙网络管理者在交易额中是以比例提成,交易额越大,管理者的提成收益越大。在此,将交易手续费差额用交易额代替来研究效益风险评估问题。因此,文中以“广告费一般且交易额高和广告费用适中且交易额高”为条件在粗糙网络上收集数据,计算各指标在效益风险中的权重。

2.2 基于粗糙集的无标度网络效益风险评估模型

由2.1节得知,第三方支付粗糙网络是一种无标度网络,适合采用最大度搜索法收集网络中节点的信息^[9,45]。因此,以“广告费用一般且交易额高和广告费用适中且交易额高”为条件在粗糙网络上收集数据,确定研究对象。模型的构建包含以下几步:

Step1: 数据的收集。在粗糙网络中分别收集广告形式为热点排序且交易额高(收藏商品金额高),以及广告形式为品牌推广且交易额高(收藏商品金额高)的商品,记录其顾客访问量、商品评价、购买商品的价格和数量、收藏商品的价格和数量、广告费和网络中的商家数。

Step2: 数据的处理。运用粗糙集理论与方法^[11]删除冗余数据、消去不完整和不确定性数据,绘制盒形图排除异常数据。对于下近似粗糙复杂网络 \underline{RCN} ,用向量 \underline{a} 表示网络中节点的属性, $\underline{a} = (\text{顾客访问量}, \text{商品评价}, \text{价格}, \text{数量}, \text{广告费}, \text{商家数})$; 对于上近似粗糙复杂网络 \overline{RCN} ,用向量 \overline{a} 表示网络中节点的属性, $\overline{a} = (\text{顾客访问量}, \text{商品评价}, \text{收藏商品价格}, \text{被收藏的数量}, \text{广告费}, \text{商家数})$ 。

Step3: 二级指标权重的确定。根据层次分析法确

定二级指标交易额(收藏商品金额)、广告费和网络官方产品和服务对两个一级指标在效益风险中的权重,

$$\underline{\omega}_2 = \begin{pmatrix} \underline{\omega}_{11} & \underline{\omega}_{12} & \underline{\omega}_{13} \\ \underline{\omega}_{21} & \underline{\omega}_{22} & \underline{\omega}_{23} \end{pmatrix}^T, \underline{\omega}_2 = \begin{pmatrix} \underline{\omega}_{11} & \underline{\omega}_{12} & \underline{\omega}_{13} \\ \underline{\omega}_{21} & \underline{\omega}_{22} & \underline{\omega}_{23} \end{pmatrix}^T; \text{确定一}$$

级指标顾客访问量、粗糙网络信任度对目标层的权重

$$\underline{\omega}_1 = (\underline{\omega}_{11}^* \underline{\omega}_{12}^*)^T, \underline{\omega}_1 = (\underline{\omega}_{11}^* \underline{\omega}_{12}^*)^T。$$

Step4: 建立效益风险评价矩阵向量: $\underline{R} = (y_j \cdot \underline{R}_1,$

$\underline{R}_2, \underline{R}_3)$, $\overline{R} = (y_j \cdot \overline{R}_1, \overline{R}_2, \overline{R}_3)$ 。其中, y_j 表示佣金; \underline{R}_1

表示商品交易额, $\underline{R}_1 = \sum_{i=1}^{gs} (\text{商品 } i \text{ 价格} \times \text{销售量})$,

\overline{R}_1 表示顾客收藏商品金额, $\overline{R}_1 = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{gs} (\text{商品 } i \text{ 价格}$

$\times \text{收藏商品数}) \cdot \frac{\text{card}(\underline{R}(X))}{\text{card}(\overline{R}(X))}$, gs 和 \overline{gs} 分别为顾客购

买和收藏的商品数; \underline{R}_2 表示广告费, $\underline{R}_2 = C_{31} \cdot hbs + C_{32} \cdot sbs$, 热点排序的商品数和广告费分别为 hbs 、 C_{31} , 品牌推广的商品数和广告费分别为 sbs 、 C_{32} ; \underline{R}_3 和

\overline{R}_3 分别表示 \underline{RCN} 和 \overline{RCN} 中购买官方的产品和服务费

用, $\underline{R}_3 = bs \times (C_1 + C_2)$, $\overline{R}_3 = \overline{bs} \times (C_1 + C_2)$, bs 和

\overline{bs} 分别表示 \underline{RCN} 和 \overline{RCN} 中的商家数。

Step5: 确定风险评价等级。

评判结果等级

$$\text{rate}_{\text{效益}} = \begin{cases} \text{很小} & D \geq 115\% \cdot \text{cost} \\ \text{较小} & 115\% \cdot \text{cost} > D \geq 110\% \cdot \text{cost} \\ \text{一般} & 110\% \cdot \text{cost} > D \geq 105\% \cdot \text{cost} \\ \text{较大} & 105\% \cdot \text{cost} > D \geq \text{cost} \\ \text{很大} & \text{cost} > D \end{cases} \quad (11)$$

其中, cost 表示粗糙网络管理者的经营成本; D 表示效益风险评判结果。

Step6: 合成评价结果向量,得出评判结果和评判等级。

$$\underline{D} = \underline{R} \cdot \underline{\omega}_2 \cdot \underline{\omega}_1 = (y_j \cdot \underline{R}_1, \underline{R}_2, \underline{R}_3) \cdot$$

$$\begin{pmatrix} \underline{\omega}_{11} & \underline{\omega}_{21} \\ \underline{\omega}_{12} & \underline{\omega}_{22} \\ \underline{\omega}_{13} & \underline{\omega}_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{\omega}_{11}^* \\ \underline{\omega}_{12}^* \end{pmatrix}, \text{rank}_{\text{效益}};$$

$$\overline{D} = \overline{R} \cdot \overline{\omega}_2 \cdot \overline{\omega}_1 = (y_j \cdot \overline{R}_1, \overline{R}_2, \overline{R}_3) \cdot$$

$$\begin{pmatrix} \overline{\omega}_{11} & \overline{\omega}_{21} \\ \overline{\omega}_{12} & \overline{\omega}_{22} \\ \overline{\omega}_{13} & \overline{\omega}_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \overline{\omega}_{11}^* \\ \overline{\omega}_{12}^* \end{pmatrix}, \text{rank}_{\text{效益}}。$$

3 仿真实例与模型的求解

文中采取统计抽样的方法研究并解决问题。在 2017 年 5 月 3 日 10:00–18:00 时国内某 C2C 第三方支付平台下近似复杂网络和上近似复杂网络中收集广告费用一般或者适中且交易额或收藏额高的商品,共采纳数据 114 组。除去冗余数据、不完整和不确定性数据后,整理出有效数据共 97 组,考虑篇幅的限制,数据就不一一列出。

此次数据的收集,采集到下近似复杂网络节点数为 85,上近似复杂网络节点数为 97,涉及到的商家数分别为 53 和 61;粗糙网络的精确度为:

$$\alpha_R(X) = \frac{\text{card}R(X)}{\text{card}R(X)} = \frac{85}{97} = 0.876$$

根据上述模型的构建过程,对该第三方支付粗糙复杂网络的效益风险进行评估。

Step1: 二级指标权重的确定。

在确定某一指标的权重时,首先设计专家调查表,征集业界人士、顾客填写调查问卷,并将此次收集到的数据发放给他们作为参考。针对三个二级指标在两个一级指标中的重要程度,构造层次分析法中的判断矩阵 \bar{C}_1, \bar{C}_2 ;对两个一级指标在效益风险目标中的重要性构造判断矩阵 \bar{C}_3 :

$$\bar{C}_1 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} \\ 2 & 1 & 5 \\ 3 & \frac{1}{5} & 1 \end{pmatrix}, \bar{C}_2 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{8} & \frac{1}{9} \\ 8 & 1 & \frac{1}{9} \\ 9 & 9 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\bar{C}_3 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\bar{C}_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 \end{pmatrix}, \bar{C}_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 5 \\ \frac{1}{2} & 1 & 3 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix},$$

$$\bar{C}_3 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} \\ 3 & 1 \end{pmatrix}$$

依据层次分析法,得到权向量矩阵为:

$$\bar{\omega}_2 = \begin{pmatrix} \bar{\omega}_{11} & \bar{\omega}_{12} & \bar{\omega}_{13} \\ \bar{\omega}_{21} & \bar{\omega}_{22} & \bar{\omega}_{23} \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} 0.441 & 0.820 \\ 0.502 & 0.154 \\ 0.057 & 0.026 \end{pmatrix}$$

$$\bar{\omega}_1 = (\bar{\omega}_{11}^* \bar{\omega}_{12}^*)^T = \begin{pmatrix} 0.333 \\ 0.667 \end{pmatrix}$$

$$\bar{\omega}_2 = \begin{pmatrix} \bar{\omega}_{11} & \bar{\omega}_{12} & \bar{\omega}_{13} \\ \bar{\omega}_{21} & \bar{\omega}_{22} & \bar{\omega}_{23} \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} 0.600 & 0.582 \\ 0.200 & 0.309 \\ 0.200 & 0.110 \end{pmatrix}$$

$$\bar{\omega}_1 = (\bar{\omega}_{11}^* \bar{\omega}_{12}^*)^T = \begin{pmatrix} 0.250 \\ 0.750 \end{pmatrix}$$

Step2: 效益风险评价矩阵的建立。

根据百度文库的有关资料,取 $y_j = 0.03$, $\text{cost} = 58.80 \text{ W}$, $\bar{\text{cost}} = 79.30 \text{ W}$,将收集到的数据代入下式:

$$\bar{R}_1 = \sum_{i=1}^{97} (\text{商品 } i \text{ 价格} \times \text{销售量}) = 918.285 \text{ W}$$

$$\bar{R}_1 = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{97} (\text{商品 } i \text{ 价格} \times \text{收藏商品数}) \cdot$$

$$\frac{\text{card}(\bar{R}(X))}{\text{card}(\bar{R}(X))} = \frac{1}{2} \times 4028.106 \times 0.876 = 1764.301$$

$$\bar{R}_2 = C_{31} \cdot \bar{hbs} + C_{32} \cdot \bar{sbs} = 203 \text{ W}$$

$$\bar{R}_2 = C_{31} \cdot \bar{hbs} + C_{32} \cdot \bar{sbs} = 241 \text{ W}$$

$$\bar{R}_3 = \bar{bs} \times (C_1 + C_2) = 53 \times 0.2000 = 10.6 \text{ W}$$

$$\bar{R}_3 = \bar{bs} \times (C_1 + C_2) = 61 \times 0.2 = 12.2 \text{ W}$$

$$\bar{R} = (y_j \cdot \bar{R}_1 \bar{R}_2 \bar{R}_3) = (27.549 \quad 203 \quad 10.6)$$

$$\bar{R} = (y_j \cdot \bar{R}_1 \bar{R}_2 \bar{R}_3) = (52.929 \quad 241 \quad 12.2)$$

Step3: 合成评价结果向量,得出评判结果和评判等级。

$$\bar{D} = \bar{R} \cdot \bar{\omega}_2 \cdot \bar{\omega}_1 = (27.549 \quad 203 \quad 10.6) \cdot$$

$$\begin{pmatrix} 0.441 & 0.820 \\ 0.502 & 0.154 \\ 0.057 & 0.026 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.333 \\ 0.667 \end{pmatrix} = 74.285$$

$$\bar{D} = \bar{R} \cdot \bar{\omega}_2 \cdot \bar{\omega}_1 = (52.929 \quad 241 \quad 12.2) \cdot$$

$$\begin{pmatrix} 0.600 & 0.582 \\ 0.200 & 0.309 \\ 0.200 & 0.110 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.250 \\ 0.750 \end{pmatrix} = 100.561$$

根据式 11 得 $\text{rank}_{\text{效益}} = \text{很小}$, $\text{rank}_{\text{效益}} = \text{很小}$ 。

模型求解结果表明,该 C2C 第三方支付粗糙网络的效益风险评价等级为风险很小。交易额(收藏额)对顾客访问量以及粗糙网络信任度的影响最大,广告费次之,网络官方产品和服务最小;在第三方支付粗糙复杂网络中,粗糙网络信任度对网络效益风险的影响程度都要比顾客访问量大得多。

对平台管理的启示:

(1) 网络官方在网络信任度的提升方面要多下功夫,平台交易额或收藏额是影响网络信任度的关键因素,广告费用次之;合理的激励和管理机制,促进交易额(收藏额)和广告费用的平衡稳定,可以预防效益风险的发生。

(2) 根据无标度网络的“强者通吃”特性和互联网金融的 10% 法则,风险评价等级为一般、较大和很大的第三方支付企业,必然被淘汰。风险评价等级为较

小的企业,应该改进经营管理理念,否则就会被强者吃掉。

(3) 官方在某一时刻分别在 \overline{RCN} , \overline{RCN} 中以最大加权重为源节点,以加权重由大到小为查找条件,沿着网络的最短路径,搜集节点的属性 a, \bar{a} ,当节点数达到样本容量收集数据结束,构建模型得到风险评估结果。

4 结束语

文中构建的粗糙网络风险评估模型具有以下优点和创新性:考虑了粗糙复杂网络的不确定信息和网络结构的不可分辨性,更接近于实际的复杂网络;从粗糙复杂网络效益风险存在的根源—管理者和商家的努力水平来分析问题,建立二级风险评估指标体系,与现有的第三方支付平台效益评价指标体系相比,指标的数目大幅度减少,考虑了产生效益的主观原因—努力水平;在数据收集时,运用了粗糙网络度分布的特性,使用了最大加权重节点搜索法,减少了操作的盲目性,为平台效益风险的评估节约了成本。

参考文献:

- [1] 曹黎侠,黄光球,况湘玲.基于粗糙集理论的第三方支付平台的效益问题[J].统计与信息论坛,2016,31(1):62-68.
 - [2] VINODHINI G, CHANDRASEKARAN R M. Measuring the quality of hybrid opinion mining model for e-commerce application[J]. Measurement, 2014, 55: 101-109.
 - [3] DU Gengshen, RUHE G. Two machine-learning techniques for mining solutions of the release planner decision support system[J]. Information Sciences, 2014, 259: 474-489.
 - [4] LIU Jun, XIONG Qingyu, SHI Weiren, et al. Evaluating the importance of nodes in complex networks[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2016, 452: 209-219.
 - [5] 陈维滨.电子商务第三方支付模式的选择及风险防范[D].泉州:华侨大学,2010.
 - [6] ZHAO Shu, ZHANG Ling, XU Xiansheng, et al. Hierarchical description of uncertain information[J]. Information Sciences, 2014, 268: 133-146.
 - [7] 洪之旭,陈浩,程亮.基于大数据的社会治理数据集成及决策分析方法[J].清华大学学报:自然科学版,2017,57(3):264-269.
 - [8] SHALAGINOV A, FRANKE K. Big data analytics by automated generation of fuzzy rules for network[J]. Applied Soft Computing, 2017, 52: 359-375.
 - [9] 汪小帆,李翔,陈关荣.复杂网络理论及其应用[M].北京:清华大学出版社,2005.
 - [10] 曹黎侠,黄光球,李艳.基于网络基的粗糙复杂网络决策方法及应用[J].计算机科学与探索,2016,10(11):1601-1613.
 - [11] CAO Lixia, HUANG Guangqiu. Concept design and construction algorithm of rough complex networks[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2017, 33(3): 1441-1451.
 - [12] CAO Lixia, HUANG Guangqiu. Study on mixed strategy Nash equilibrium based on rough set theory and particle swarm optimization[J]. The Open Cybernetics & Systemic Journal, 2015, 9: 88-92.
 - [13] FERRETTI S. Gossiping for resource discovering: an analysis based on complex network theory[J]. Future Generation Computer Systems, 2013, 29: 1631-1644.
 - [14] 曹黎侠,黄光球.第三方支付平台交易的粗糙博弈模型及算法研究[J].运筹与管理,2016,25(5):46-52.
 - [15] 余鹰,苗夺谦,赵才荣,等.基于粗糙集的多标记决策系统知识获取方法[J].计算机科学与探索,2015,9(1):94-104.
-
- (上接第148页)
- [7] LIU Shiqiang, KOZAN E. Scheduling trains with priorities: a no-wait blocking parallel-machine job-shop scheduling model[J]. Transportation Science, 2011, 45(2): 175-198.
 - [8] KARABOGA D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization[R]. [s. l.]: [s. n.], 2005.
 - [9] 宋栓军,杨佩莉,石雯丽.基于人工蜂群算法的柔性工艺与车间调度集成优化[J].计算机应用,2017,37(2):523-529.
 - [10] 李修琳,鲁建厦,柴国钟,等.混流装配排序问题的改进人工蜂群优化[J].计算机集成制造系统,2011,17(12):2599-2609.
 - [11] PAN Q K, WANG L, SANG H Y, et al. A high performing memetic algorithm for the flowshop scheduling problem with blocking[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2013, 10(3): 741-756.
 - [12] KARABOGA D, BASTURK B. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm[J]. Journal of Global Optimization, 2007, 39(3): 459-471.
 - [13] TAILLARD E. Benchmarks for basic scheduling problems[J]. European Journal of Operational Research, 1993, 64(2): 278-285.
 - [14] JARBOUI B, EDDALY M, SIARRY P. A hybrid genetic algorithm for solving no-wait flow shop scheduling problems[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 54(9-12): 1129-1143.
 - [15] DING J Y, SONG S, GUPTA J N D, et al. An improved iterated greedy algorithm with a Tabu-based reconstruction strategy for the no-wait flow shop scheduling problem[J]. Applied Soft Computing, 2015, 30(5): 604-613.
 - [16] SHAO W S, PI D C, SHAO Z S. A hybrid discrete optimization algorithm based on teaching-probabilistic learning mechanism for no-wait flow shop scheduling[J]. Knowl-