

基于认知的机会发现场景构造与分析层次模型研究

程红梅¹, 张振亚²

(1. 安徽建筑大学管理学院, 安徽合肥 230022;

2. 安徽建筑大学安徽省智能建筑重点实验室, 安徽合肥 230022)

摘要: 为了有效辨识与管理, 依据认知信息加工论, 参照认知活动的过程特性、认知情境模型和注意的信息过滤器机制, 提出了由私有视图获取、私有场景构造、场景融合、场景泛化与场景分析等五层信息处理过程组成的基于认知的机会发现场景构造与分析层次模型。该模型明确了认知的事件簇集获取、面向信息过滤器机制实现的注意表示与演化、机会发现场景事件簇构造、机会发现场景凝聚、机会发现场景构造与分析过程中联想等实现模型的关键问题。实验结果表明, 在将聚类视作数据分布场景描述的前提下, 通过私有场景的凝聚构造凝聚场景实现数据的聚类分析, 可以显著提升聚类结果的准确性。

关键词: 机会发现; 场景; 认知; 智能信息处理

中图分类号: TP18

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2016.01.010

引用格式: CHENG Hongmei, ZHANG Zhenya. Research on cognition based hierarchical model for the construction and analysis of scenario in chance discovery[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2016, 46(1):76-81.

程红梅, 张振亚. 基于认知的机会发现场景构造与分析层次模型研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2016, 46(1):76-81.

Research on cognition-based hierarchical model for the construction and analysis of scenarios in chance discovery

CHENG Hongmei¹, ZHANG Zhenya²

(1. School of Management, Anhui Jianzhu University, Hefei 230022, China;

2. Anhui provincial Key Laboratory of Intelligent Building, Anhui Jianzhu University, Hefei 230022, China)

Abstract: To identify and manage chance events effectively, a cognition-based hierarchical model for the construction and analysis of scenarios in chance discovery is presented according to cognitive information processing theory with the cognitive situation model, the process characteristic of cognition and the information filter mechanism of attention in cognition as references. The new model is composed of five information processes from bottom to top such as acquisition of private views, construction of private scenarios, integration of scenarios, generalization of scenarios and scenario analysis. Problems such as the acquisition of event clusters based on cognition, the representation and evolution of attention oriented to the implementation of filter mechanisms of attention, the construction of event clusters in chance discovery scenarios, the aggregation of chance discovery scenarios, the implementation of the association

收稿日期:2015-08-27;修回日期:2015-09-29

基金项目:国家自然科学基金(11471304, 61340030)资助.

作者简介:程红梅,女,1969年生,讲师/硕士.研究方向:商务智能、计算机审计. E-mail: hmcheng@mail.ustc.edu.cn

通讯作者:张振亚,博士/教授, E-mail: zzychm@ustc.edu.cn

phenomenon in the construction and analysis of chance discovery scenarios are discussed in detail. If cluster partition is treated as the chance discovery scenario and the chance discovery scenario is constructed as the aggregation of some private chance discovery scenarios where one private chance discovery scenario is one kind of cluster partition on dataset. Exmpermental results show that the accuracy of the cluster partition can be improved significantly.

Key words: chance discovery; scenario; cognition; intelligent information processing

0 引言

动态系统中能够对决策产生影响的事件^[1-4]受到机会发现(chance discovery)研究的关注,相应地,机会发现是发现与管理机会的非平凡过程^[4-6].与使用数据挖掘技术获取蕴含于被分析数据中的非平凡模式不同,机会发现过程强调依据被分析数据获取动态系统中的高价值事件^[1,4,7].机会发现研究认为:机会发现活动参与者的认知是机会发现过程中的主线索(central clue),动态系统中的观测数据是机会发现过程中的外部线索(peripheral clue)^[1,3-4,8-9];机会发现过程综合了交流(communication)、场景(scenario)获取以及数据建模与挖掘(data modeling & mining)等三类活动,是人机交互作用的双螺旋过程^[2,4,6,10-12];机会发现双螺旋链的触点(contact point)^[10-11]为交流活动的背景,并为机会发现过程提供了人机交互的途径^[4-6].

1 机会发现场景构造模型

认知情境模型^[13]可以为机会发现场景的构造与分析提供必需的认知科学依据.认知情境模型认为:人在理解过程中至少需要建构空间、时间、实体、起因、目的等 5 个维度.其中,时间和空间指事件发生的时空背景;实体是用来理解情境结构的中介;起因指事件之间的引起和结果关系;目的指在某一情境中中介物的目标,需要和愿望也可以是目的^[13].情境模型的结构与内容包括了时空框架、实体集合、实体之间的关系等三种基本信息.其中,关系信息为具体情境的理解提供了一条结构线索^[13].情境模型可用于描述被分析动态系统中实体关系和事件的实体关系,代表了人对具体事件和状态的理解^[13].应用中,建立情境模型可以为新信息的理解以及对信息涉及的人和事的判定提供基础^[13].由于知觉、注意、记忆、表象、概念、问题解决、推理、语言是从低级到高级的不同层次的认知活动,且这些活动使得人的思维可以分为感知思维、形象思维、抽象思维,并

构成层次关系^[14-15],参照认知情境模型构造机会发现场景时遵循上述认知活动的层次关系可以在机会发现场景构造过程中实现对意识活动的参照.根据扎根理论(ground theory)^[16-19]的持续比较分析(constant comparison analysis)原则,机会发现场景构造与分析过程中隐含结构与事件的突现可以通过场景泛化来实现;场景的泛化受参与者的认知活动及其对系统观察数据的敏感程度影响,神经网络方法在场景泛化中的运用与参与者认知水平的场景泛化过程类似.

图 1 给出了基于认知的机会发现场景构造与分析层次模型的示意.根据认知活动的过程特性和认知情境模型,图 1 将机会发现场景构造与分析过程分解为私有视图获取、私有场景构造、场景融合、场景泛化及场景分析 5 个认知指导的信息处理过程.模型实现时需要依据认知心理学关于记忆、注意研究结论以及神经网络异联想研究成果对各信息处理过程进行基于认知的建模,可以使用智能计算方法完成各过程中的信息处理任务.

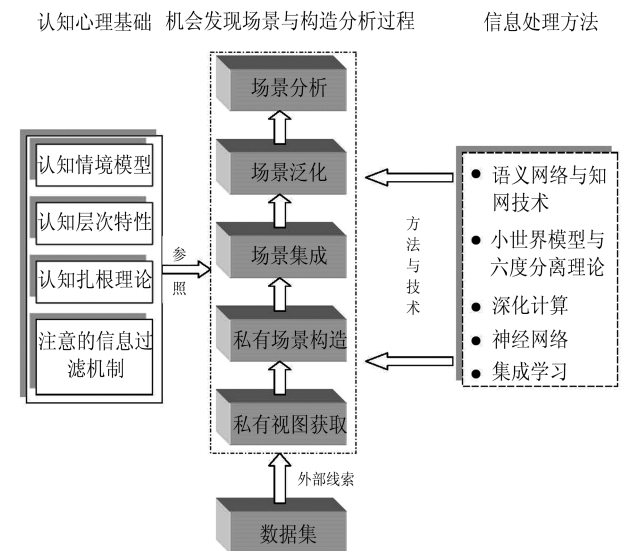


图 1 机会发现场景构造与分析层次模型
Fig. 1 The hierarchical model for the construction and analysis of chance discovery scenario

2 机会发现场景构造与分析层次模型中的典型问题

基于认知的事件簇集获取、面向信息过滤器机制实现的注意表示与演化、场景事件簇构造、场景凝聚^[5-6]、场景构造与分析过程中的联想等问题是基于认知的机会发现场景与构造分析层次模型实现时的基本问题^[5]。

2.1 基于认知的事件簇集获取

设 E 是机会发现活动中全部(已知)事件的集合, M 是 E 中事件相关矩阵, R 是 M 定义的 E 中的关系, 则 $G = \langle E, R \rangle$ 描述了事件的分布. 设 $C_1 \subseteq E \wedge C_1 \neq \emptyset$, C_1 是事件簇当且仅当 $\forall u, v \in C_1, s \in E - C_1, M(u, v) \geq M(u, s)$, 则 C 是事件簇集当且仅当 $C = \{C_1, C_2 \dots C_p\}$ ($C_i, i = 1 \dots p$) 是事件簇且 $\forall i \neq j \wedge i, j \in \{1 \dots p\}, C_i \cap C_j = \emptyset$. 通常对 $C = \{C_1, C_2 \dots C_p\}$ 并不要求 $\bigcup_{i=1}^p C_i = E$. 由于集合 E, R 的势一般都很大, 且 E, R 是通过对系统的观察获得, 通常难以一次完全获取, 以 G 为起点构造事件簇困难重重. 考虑到机会的发现是意识活动的过程与结果, 注意作为意识的重要属性, 参与者的注意水平对场景的形成具有指向性的影响. 参与者的注意水平, 特别是注意的选择性和集中性特征受参与者的认知水平及社会认知水平影响明显, 这意味着事件簇的构造过程受机会发现参与者认知水平的影响, 并不是 E 中的所有事件元素以及 R 中的所有关系元素都必须参与事件簇的构造. 设 f 是参与者对事件的认知水平, F 是参与者对事件间关系的认知水平, 则 $G' = \langle E_f, R_f \rangle$ 是事件簇构造的起点. 其中, E_f 是参与者认知水平约束下的事件集, R_f 是参与者认知水平约束下的关系集. 形式上, $E_f \subseteq E, R_f \subseteq R$ 且 $\|E_f\| \ll \|E\|, \|R_f\| \ll \|R\|$, 故以 G' 为起点构造事件簇将显著减轻参与者的负担.

2.2 面向信息过滤器机制实现的注意表示与演化

认知心理研究认为, 注意可以在意识活动的各阶段(早期、中期、晚期)能动地发挥作用, 单通道过滤器模型、衰减模型和反应选择模型对应着各阶段注意的信息过滤机制. 基于注意的信息过滤机制对机会发现数据建模与分析过程施加倾向性影响, 是将参与者的认知作为内部线索作用于机会发现活动的有效途径. 注意是底层的认知心理活动, 目前, 在智能信息处理的研究中, 对注意的形式化描述多以

被检测到的物理信号为基础(如图象处理中, 注意可以参照区域内的亮度、颜色等信息构造). 机会发现需要根据参与者的关注与行为数据对注意进行表示; 由于注意可随着认知活动的变化而改变, 在基于认知的机会发现场景与构造分析层次模型中, 注意需要随机会发现过程的深入而演化.

2.3 机会发现场景事件簇构造

动态系统中事件的普遍联系性质使得参照事件的间接联系扩展事件相关矩阵^[5], 并据此构造机会发现场景能够更清晰地揭示事件间的隐含联系. 参与者的认知作用于扩展相关矩阵的构造过程为私有场景构造过程中参与者的认知提供了途径. 可以证明, 机会发现场景中事件簇是存在的. 事件簇的构造依赖于已认识到的事件的相关性. 设 E 是机会发现活动中全部(已知)事件的集合, $C_1 \subseteq E \wedge C_1 \neq \emptyset, m = \|E\|, n = \|C_1\| > 0, M$ 是 E 的扩展相关矩阵, 令 $k_1 = \frac{1}{n^2} \sum_{u, v \in C_1} M(u, v), k_2 = \frac{1}{n(m-n)} \sum_{u \in C_1, v \in E - C_1} M(u, v), k_3 = \frac{1}{m^2} \sum_{u, v \in E} M(u, v)$, 称 k_1 为 C_1 的内部平均相关度, k_2 为 C_1 的外部平均相关度, k_3 为被考察系统全部事件的平均相关度, $cr = k_1/k_2$ 是事件簇 C_1 的紧致度. 其中, 若 $C_1 = E$, 规定 $k_2 = k_1$. C_1 是一个事件簇当且仅当 $k_1 \geq k_2$. 设 $C_1 \dots C_p$ 为机会发现场景构造与分析时已知全部 p 个事件簇, $cr_1 \dots cr_p$ 是各事件簇的紧致度, 则依据事件簇的紧致度构造最优事件簇的约束条件为 $\max \sum_{i=1}^p cr_i$. 根据事件簇的紧致度构造事件簇集的过程是一个最优化过程, 是机会发现场景构造的关键. 最优事件簇集构造约束不适合在线机会发现活动. 设 E 是机会发现活动中已知全部事件(或者需要考察的全部事件)集, M 是 E 的扩展相关矩阵, $S = \langle E, R, M, C \rangle$ 是机会发现活动的场景, 则“相同事件簇中事件的相关度尽可能大, 不同事件簇间事件的相关度尽可能小”描述了基于 M 构造 S 中事件簇的约束需求.

2.4 机会发现场景凝聚

在机会发现场景构造与分析时, n 位参与者构造出各自的私有场景 $S_1, \dots, S_n, d(S_i, S_j)$ 是场景 S_i, S_j 的显著性差异, $f(S) = \sum_{i=1}^n d(S, S_i)$. 若 $f(S_0) = \min f(S)$, 则场景 S_0 是场景 S_1, \dots, S_n 的

凝聚. 私有场景凝聚是机会发现构造与集成场景的重要手段, 场景凝聚方法是机会发现双螺旋过程实现的关键, 也为参照社会认知和暂时性群体共识构造机会发现场景提供了可行方法.

2.5 机会发现场景构造与分析过程中联想的实现

依据已获得的基本事件结构和候选机会事件, 深入描述机会发现场景中事件分布以获得隐含事件结构是场景构造与分析过程中联想的目标. 设 $S = \{s_1, s_2 \dots s_n\}$ 是已确定的基本事件结构的集合, $s_i (1 \leq i \leq n)$ 是基本事件结构, $Net(S)$ 是以 S 中的元素为吸引子的系统, 可以用神经网络表达: 设 Ψ 是 $Net(S)$ 的吸引子集, $R = \Psi \cap S, \|R\|$ 是 R 的势, 则 $\max \|R\|$ 是构造 $Net(S)$ 时合适的约束条件, Ψ 是 S 的一种联想. 通过对场景迁移过程中 $Net(S)$ 的变化, 特别是对 Ψ 变化的分析可以实现事件结构和候选机会的深度辨识.

机会发现场景构造与分析过程中的联想实现既可以为机会发现场景构造过程中隐含事件的获取提供计算工具, 也为机会的突现提供了途径.

3 实验结果与分析

机会发现研究, 其数据集中的全部数据的聚类分布是一种机会发现场景. 使用一种聚类分析方法对数据集中的数据进行一次聚类分析获得数据的聚类分布形成了数据集的一个机会发现私有场景; 使用场景凝聚技术将多个私有场景凝聚为一个场景将可以更全面地描述数据集中数据的分布情况. 为验证基于认知的机会发现场景构造与分析模型中从私有场景构造到场景凝聚的有效性, 实验使用了 <http://kdd.ics.uci.edu> 的新闻组数据集: 该数据集是文本数据集, 每个数据是一篇来源于特定主题新闻组的新闻文本; 全部数据采集自 20 个新闻组, 每个新闻组采集 1 000 篇文章; 每个新闻组都围绕诸如宗教、体育、军事等特定的主题设置, 每个新闻组中的新闻主题相同, 不同新闻组中的新闻主题不同. 实验中, 每篇新闻文本被表示成一个 2 446 维的 TF 向量; 构造 TF 向量的字典由全部新闻中的字词、短语按照 1% 随机抽样构造. 在进行聚类分析时, 每个向量被模 1 正则化.

$$d(u, v, C_1, C_2) = \begin{cases} 1, & (C_1(u) = C_1(v) \text{ and } C_2(u) \neq C_2(v)) \\ & \text{or } (C_1(u) \neq C_1(v) \text{ and } C_2(u) = C_2(v)) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$d(V, C_1, C_2) = \sum_{(u, v) \in V \times V} d(u, v, C_1, C_2) \quad (2)$$

表 1 私有聚类场景和凝聚聚类场景的准确率

Tab. 1 precision ratio about private cluster scenario and cluster scenario aggregation

	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4
1	0.769 4	0.645 1	0.657 4	0.582 1	0.553 0
2	0.775 5	0.583 9	0.755 3	0.522 7	0.569 3
3	0.773 5	0.601 2	0.617 9	0.666 2	0.549 3
4	0.791 0	0.736 2	0.640 9	0.673 3	0.622 7
5	0.782 6	0.604 2	0.572 1	0.554 0	0.581 8
6	0.794 1	0.657 1	0.604 8	0.612 6	0.649 0
7	0.774 1	0.661 2	0.574 4	0.530 9	0.609 1
8	0.789 2	0.723 5	0.511 2	0.691 8	0.597 9
9	0.778 1	0.580 6	0.648 7	0.657 0	0.551 7
10	0.778 1	0.646 6	0.554 1	0.563 0	0.573 7

设 C_1, C_2 是数据集 V 的两个聚类划分, 对 $\forall (u, v) \in V \times V$, 定义 $d(u, v, C_1, C_2)$ 如式(1)所示, 则 $d(\cdot)$ 定义了 C_1, C_2 对 u, v 是否属于同一个聚类划分判定的差异性; 数据集 V 的聚类划分 C_1, C_2 的差异性如式(2)所示. 进一步设 C_1, \dots, C_m 是数据集 V 的 m 个聚类划分, 若聚类划分 C_0 满足 $D(C_0) = \min D(C) = \min \sum_{i=1}^m d(V, C_i, C)$, 则 C_0 是 C_1, \dots, C_m 的聚类凝聚. 从机会发现场景构造与分析过程的角度看, $D(C_0)$ 是私有场景 $C_1 \dots C_m$ 的场景凝聚.

实验通过随机选取 8 个新闻组、每个新闻组随机选取 200 篇文本构造了实验数据集. 对实验数据集中的数据, 首先分别使用 4 个 Hamming 神经网络进行聚类分析构造私有聚类场景, 然后将 4 私有聚类场景以式(2)为依据构造聚类场景凝聚. 表 1 给出了 10 次实验中私有聚类场景以及聚类场景凝聚准确性描述. 表 1 中, C_1, C_2, C_3, C_4 列的数据分别使用 4 个私有聚类的平均准确率, 而 C_0 列为聚类场景凝聚的平均准确率. 为获得平均准确率, 每个 Hamming 神经网络重复进行 400 次聚类分析, 相应的凝聚过程亦进行 400 次. 由于已知每个数据表示新闻文本所在的新闻组, 因此可使用准确率作为衡量聚类场景优劣的依据. 依据图 1 可以判定: 经过凝聚处理后, 聚类凝聚场景的准确率得到显著提升. 需要指出的是: 实验采用遗传算法实现了私有聚类场景的凝聚, 其中遗传算法使用的适应度函数满足式(2)规定.

4 结论

参照认知心理活动的过程与特点发现动态系统中可以成为机会的高价值事件,本文结合认知情境模型,提出了基于认知的机会发现场景构造分析过程的层次模型.模型突显了注意的信息过滤器机制在机会发现场景构造中的作用,并明确了作用方式,可以缓解机会发现活动中参与者的交互疲劳.模型中,围绕场景事件簇获取、场景构造与融合过程定义了若干最优化问题,并通过将社会认知作为场景融合过程参数的方式明确了社会认知在机会发现活动中的地位与作用方式;神经网络联想机制被应用于机会发现场景的泛化与分析,为在机会发现活动中参照意识活动中的联想提供了可行途径与工具.

目前,机会发现在产品设计、疾病检测、智能金融工程、社交网络、无线传感器网络、网络安全、遗传算法优化等方面有着广泛的应用^[1,5-6,20-31].机会的发现是意识活动的过程与结果,参照认知心理过程与特点构造机会发现场景不仅可以突显认知心理在机会发现过程中的作用,而且也强化了机会发现过程中内部线索的作用,为机会的辨识与管理提供新观点与新方法.同时,基于认知的机会发现场景构造与分析模型设计的数据处理方法也为数据的深度分析和大数据处理过程中直接参照认知因素提供了一个有效的途径.

参考文献(References)

- [1] Ohsawa Y. Chance Discovery [M]. Springer-Verlag, 2003.
- [2] Abe A. Cognitive chance discovery: From abduction to affordance and curation[J]. International Journal of Cognitive Informatics and Cognitive Computing, 2013, 8(2): 308-314.
- [3] McBurney P, Parsons S. Chance discovery and scenario analysis[J]. New Generation Computing, 2003, 21(1): 13-22.
- [4] 张振亚,程红梅,王煦法.从数据挖掘到机会/征兆发现[J].计算机科学,2007,34(10):188-191.
- [5] 张振亚,程红梅,张曙光.基于六度分离理论的机会发现场景构造方法[J].模式识别与人工智能,2011,24(3):332-339.
Zhang Z Y, Cheng H M, Zhang S G. An approach to construction of scenario map in chance discovery based on six degree of separation theory [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2011, 24(3): 332-339.
- [6] 张振亚,程红梅,张曙光.机会发现中简单场景构造方法研究[J].计算机工程,2011,37(8):192-193,196.
Zhang Z Y, Cheng H M, Zhang S G. Research on approach of simple scenario map construction in chance discovery[J]. Computer Engineering, 2011, 37(8): 192-193, 196.
- [7] Rybakov V V. Chance discovery and unification in linear modal logic [C]// Proceeding of 15th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems. Kaiserslautern, Germany: Springer, 2011: 478-485.
- [8] Chiu T F. An integration of grounded theory and chance discovery to explore the technology opportunity [J]. International Journal of Intelligent Information and Database Systems, 2012, 6(3): 231-254.
- [9] Abe A. Relation between chance discovery and Black Swan awareness[C]// Proceeding of 15th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems. Kaiserslautern, Germany: Springer, 2011: 495-504.
- [10] Ohsawa Y, Matsumura N, Okazaki N. Understanding scenarios of individual patients of hepatitis in double helical process involving KeyGraph and DSV [C]// Proceeding of 4th IEEE International Workshop on Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology. Springer, 2005:456-469.
- [11] Ohsawa Y, Nara Y. Understanding Internet users on double helical model of chance-discovery process[C]// Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control. Baltimore, USA: IEEE Press, 2002: 844-849.
- [12] Oehlmann R, Gill B. A diagrammatic approach to discovering chances in team relationships [C]// Proceedings of 15th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems. Kaiserslautern, Germany: Springer, 2011:440-441
- [13] 何先友,杨惠,李惠娟,等.空间情境模型的更新:认知方式的影响[J].心理学报,2011,43(11):1247-1262.
- [14] 李金波,许百华,田学红.人机交互中认知负荷变化预测模型的构建[J].心理学报,2010,42(5):559-568.
- [15] 王沛,林崇德.社会认知的理论模型综述[J].心理科学,2002,25(1):73-75.
- [16] Gasson S, Waters J. Using a grounded theory approach to study online collaboration behaviors[J]. European Journal of Information Systems, 2013, 22(1): 95-118.
- [17] Hoda R, Noble J, Marshall S. Developing a grounded

- theory to explain the practices of self-organizing Agile teams[J]. *Empirical Software Engineering*, 2012, 17(6): 609-639.
- [18] Chien Ming-Kuei, Chang Te-Ming, Kuo Wei-Chun, Applying Grounded Theory to study green supply chain management practices in Taiwan's industry [C]// *International Technology Management Conference*. Bangalore, India: IEEE Press, 2012: 129-136.
- [19] Chiu T F. An integration of grounded theory and chance discovery to explore the technology opportunity [J]. *International Journal of Intelligent Information and Database Systems*, 2012, 6(3): 231-254.
- [20] Yang F S, Wang A L, Yang Y T. Using chance discovery in recruiting strategies to explore potential students in Taiwan [C]// *Proceedings of 6th Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*. Bangkok, Thailand: Springer, 2014: 444-453.
- [21] Abe A. Curating and mining (big) data [C]// *Proceedings of IEEE 13th International Conference on Data Mining Workshops*. Dallas, USA: IEEE Press, 2013: 664-671.
- [22] Wang H, Xu F J, Hu X H, et al. IdeaGraph: A graph-based algorithm of mining latent information for human cognition [C]// *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. Manchester, UK: IEEE Press, 2013: 952-957.
- [23] Shimizu A, Suzuki Y, Ueda H. A dress coordination robot system which can improve user's ability by a dialogue robot [J]. *Communications in Computer and Information Science*, 2013, 374: 606-610.
- [24] Wang H, Ohsawa Y. Idea discovery: A scenario-based systematic approach for decision making in market innovation [J]. *Expert Systems with Applications*, 2013, 40(2): 429-438.
- [25] Zhang C, Wang H, Xu F J, et al. IdeaGraph plus: A topic-based algorithm for perceiving unnoticed events [C]// *Proceedings of IEEE 13th International Conference on Data Mining Workshops*. Dallas, USA: IEEE Press, 2013: 735-741.
- [26] Su I. Chance discovery in teaching of EFL writing using weak tie to innovation model (WTTI Model) [C]// *Proceedings of 3rd International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications*. Taiwan, China: IEEE Press, 2012: 344-349.
- [27] Abe A. Visualization as curation with a holistic communication [C]// *Proceedings of 2012 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence*. Washington, USA: IEEE Press, 2012: 266-271.
- [28] Wang H, Ohsawa Y, Nishihara Y. Innovation support system for creative product design based on chance discovery [J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(5): 4890-4897.
- [29] Ohsawa Y, Yada K. Discovery of significant events for decision making [J]. *Information Sciences*, 2009, 79(11): 1567-1569.
- [30] Wang H, Ohsawa Y, Lv P, et al. IdeaGraph: Turning data into human insights for collective intelligence [J]. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2014, 213: 33-44.
- [31] Khezerlou A V, Alizadeh S. A new model for discovering process trees from event logs [J]. *Applied Intelligence*, 2014, 41(3): 725-735.