

# 基于粗糙集的新兴技术未来产业影响力评估模型研究

汪江桦<sup>1,2,3</sup>, 冷伏海<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 国家科学图书馆 北京 100190;

2. 新疆财经大学 计算机科学与工程学院 乌鲁木齐 830012 3. 中国科学院 研究生院 北京 100049)

**摘要** : 新兴技术的发展具有很大的不确定性, 使得对其进行准确评估变得非常困难。利用粗糙集理论在处理不确定问题方面的优良特性, 研究基于粗糙集理论的新兴技术未来产业影响力评估模型, 为政府、企业以及投资者在新兴技术的产业布局和投资计划方面提供有价值的决策参考。

**关键字** : 粗糙集 ; 新兴技术 ; 产业影响力 ; 评估模型

**中图分类号** : G250.2 ; F276 **文献标识码** : A **文章编号** : 1007-7634(2013)05-123-05

## An Evaluation Model of Future Industrial Influence of Emergency Technology Based on Rough Sets

WANG Jiang-hua<sup>1,2,3</sup>, LENG Fu-hai<sup>1</sup>

(1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. School of Computer Science and Engineering, Xinjiang University of Finance and Economics, Urumqi 830012, China; 3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** : Due to the great uncertainty in the development of emergency technology, it is a hard issue to evaluate an emergency technology accurately. In this paper, the excellent characteristics of rough sets in dealing with the uncertainty data are used to study this issue. An evaluation model of future industrial influence of emergency technology is constructed by using rough sets with a view to offering valuable help to government, enterprise and investor in their businesses which are related to the emergency technology.

**Key words** : rough sets; emergency technology; industrial influence; evaluation model

## 1 引言

新兴技术是建立在科学基础上的革新, 这些技术有潜力去创造一个新行业或改造一个老行业, 包括产生于激进革新的间断性技术以及通过集中多个过去的独立研究成果而形成的更具创新性的技术<sup>[1]</sup>。新兴技术对国家的经济和科技的发展具有重大影响, 各国政府对其关注日益增强。我国制定的《国家“十二五”科学和技术发展规划》便强调了新兴技术在科技发展中的重要地位。准确评估一项新兴技术的未来产业影响力对国家及企业的产业

布局和产业投资有着重要指导作用。然而, 由于新兴技术的发展及其产业化具有很大的不确定性, 判断一项新兴技术是否能够推动产业的发展或者是否可以形成新的产业等, 是一项非常困难的工作, 因此, 需要借助一些处理不确定问题的理论工具, 来建立快速有效地对新兴技术的未来产业影响力进行评价的体系和机制。

粗糙集理论是波兰数学家 Pawlak 在 1982 年提出的一种用于处理不确定性问题的有力工具<sup>[2-3]</sup>, 它在解决不确定问题过程中不依赖任何先验知识, 完全根据现有数据进行客观分析, 找出隐藏在数据背后潜在的有用知识。同时, 通过粗糙集中的约简理

收稿日期: 2012-05-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(70873123)

作者简介: 汪江桦(1982-), 女, 湖北人, 讲师, 博士研究生, 主要从事高科技信息分析与竞争情报研究。

论,可以对数据中的属性进行约简,去除冗余的数据,从而减少计算的复杂度,简化问题的解决过程。此外,粗糙集还提供了很多好的量化问题的思想,可以据此来计算指标的权重,使得预测的结果显得更加客观,并可减少依靠专家经验所带来的种种不便,提高效率。

粗糙集作为一种处理不确定性问题的高效工具,已被广泛的应用于人工智能、决策控制、数据挖掘等众多领域<sup>[4-8]</sup>,并取得了非常显著的效果。有学者将粗糙集理论应用在综合评价领域。Ramarma 基于粗糙集近似空间对软件质量进行测评<sup>[9]</sup>。Aijun An 等基于粗糙集方法对水资源调度系统进行预测及评价<sup>[10]</sup>。张淑梅设计了基于粗糙集理论的决策支持系统,对苏州工业园区科技项目进行评估与决策<sup>[11]</sup>。李远远建立了基于粗糙集的指标筛选模型、客观权重确定模型和综合评价模型<sup>[12]</sup>。近年来也有学者开始尝试将粗糙集与传统的竞争情报分析方法相结合,用于技术预见和技术评估中。沈永清基于粗糙集理论构建技术型无形资产价值评估模型<sup>[13]</sup>。黄鲁成基于粗糙集理论结合专家调查法开展新技术评价研究,并用实验进行了验证<sup>[14]</sup>。目前基于粗糙集理论进行技术预测和评估的研究尚处于起始和零散的阶段,并未形成系统的研究体系。

本研究将粗糙集理论应用于新兴技术未来产业影响力的评估,其优势在于:①客观性强。依据属性重要性得到指标的相对重要性权重,避免主观赋权的弊端。②能有效去除冗余数据。利用粗糙集中的约简方法对评估体系中的冗余指标进行去除,这样能够在很大程度上减少数据的收集以及处理的工作量,提高效率。③自动获取分类规则。利用粗糙集理论,可以对给定数据进行自主学习,去除不必要的知识,在简化的数据基础上自动快速地生成分类规则,为实现智能化评价提供依据和知识储备。

## 2 粗糙集理论

### 2.1 粗糙集概念

本小节我们将介绍有关粗糙集的一些基本知识,相关内容可参考文献【2-3】。

设  $U$  是一个非空有限集合,称之为论域。 $R$  为论域  $U$  上的一簇等价关系,称二元组  $S=(U, R)$

是关于论域  $U$  一个近似空间。若  $P \subseteq R$ , 且  $P \neq \emptyset$ , 则  $\cap P$  仍然是论域  $U$  上的一个等价关系,称为  $P$  上的不可分辨关系,记为  $IND(P)$ 。 $U/IND(P)$  表示等价关系  $IND(P)$  对论域  $U$  的划分。划分中的每个集合元素被称为关于  $IND(P)$  的一个等价类,在同一个等价类中的元素之间是不可分辨的。

一个等价关系  $P$  可以产生论域  $U$  上的一个划分,我们把这个划分可以理解为所掌握的知识。对于  $\forall X \subseteq U$ , 根据这个知识我们通常很难来精确的刻画  $X$ 。此时,可以用下面一组近似集来逼近  $X$ , 对它进行一个粗糙的刻画:

$$apr(X) = \cup \{K | K \in U/P \wedge K \subseteq X\}$$

$$\overline{apr}(X) = \cup \{K | K \in U/P \wedge K \cap X \neq \emptyset\}$$

我们称  $apr(X)$  为  $X$  的下近似,  $\overline{apr}(X)$  为  $X$  的上近似。对于论域  $U$  上的任意一个子集  $X$ , 如果  $apr(X) = \overline{apr}(X)$ , 则  $P$  对  $U$  的划分可以精确的刻画  $X$ ; 反之, 则  $P$  对  $U$  的划分可以粗糙的刻画  $X$ , 并称有序集合对  $(apr(X), \overline{apr}(X))$  是相对于  $X$  的粗糙集。

### 2.2 属性重要度

粗糙集理论中的属性重要度<sup>[2,3,15]</sup>是对信息决策表中的属性进行定量分析的一种有效方法,在很多实际应用中,它被用于设置属性的权重以及在设计启发式约简算法时作为启发信息来提高约简的效率。属性重要度通常包括基于包含度的属性重要度、基于正域的属性重要度以及基于信息熵的属性重要度。这些不同类型的重要度在对属性重要性的敏感程度上有所不同,在实际应用中可根据具体情况进行选择使用。

### 2.3 决策表约简

由于信息决策表中通常存在大量的冗余数据,为降低计算的复杂度,提高处理速度,通常需要对信息决策表进行约简操作,去除其中不需要的属性与属性值。常用的约简方法有以下三种:①定义法。在信息系统的决策表中,将属性集中的属性挨个移去,同时检查决策表的正区域是否改变,若未改变即表示该属性为冗余属性。②区分矩阵法。通过构造区分矩阵得到区分函数。而后应用吸收律对区分函数进行化简后得到析取范式。每个主

蕴含式均为约简。③基于属性重要性启发式法。假设当前的候选约简集是P,首先计算条件属性中不包含在P中的属性相对于决策属性D的重要度,按照属性的重要程度从大到小逐个加入属性,直至该集合是一个约简为止;而后,检查该集合中的每个非核属性,看移去该属性会否改变该集合对决策属性的依赖度。如果不影响,则将其删除<sup>[8]</sup>。

#### 2.4 规则提取

对决策表进行约简后进一步从中提取出有用的决策规则。常见的规则提取算法有两种:一种是根据定义逐条分析每条规则,剔除每条规则的冗余属性值;另一种是根据扩展的skowron区分矩阵,然后对区分矩阵进行区分函数构造应用吸收律对区分函数进行化简,使之成为析取范式,则每个主蕴含式均为规则约简。

### 3 影响因素分析

新兴技术最基本的特征是高度的不确定性,对其未来产业影响力进行评价是一个复杂的系统问题,需要考虑诸多内部和外部因素。内部因素是从技术本身的角度来分析新兴技术的产业化潜力,具有决定性的作用。而外部因素则是从社会的政治、经济以及市场等方面来分析新兴技术的市场化、产业化的可行性,对新兴技术的发展有着重要的影响。具体来说:

新兴技术的内在因素包括:①技术先进性。指新兴技术高于现有技术的平均水平,与以往技术相比是否具有突出的实质性优势和领先性,其优越性越明显,发展潜力就越大,就越有可能推动产业的发展,对未来产业的影响力也就越大。②技术成熟度。指新兴技术处于技术生命周期阶段的成熟程度。对企业及行业来说,在恰当的技术成熟度阶段做出发展战略及投资计划是极其重要的。③技术可操作性。指新兴技术在研发、升级、应用等方面的难易程度。可操作性越强,新兴技术成功推向市场进而对产业产生影响的可能性就越大。④技术地位。指技术是主流技术还是非主流技术之分,能否成为未来的主导技术,能否形成技术标准等,一般情况下主流技术的获利、生存时间较长,其未来产业影响力也较大。⑤技术保护程度。一是技术是否有知识产权保护,具有独立知识产权的技术有高度的专属性和排他性;二是技术的不可替代性,

或是被其他技术替代的可能性比较小,其可供产业化开发的潜力就大。⑥技术机会。技术机会可以为准确判断技术的未来走向提供一定的依据,如果围绕主要技术所在的领域出现大量的技术机会,则说明新兴技术未来的产业发展前景比较好。

新兴技术的外部因素包括:①市场因素。指新兴技术与市场的结合程度,新兴技术成果必须与市场相结合才能体现技术的创新价值,实现产业化,并最终获得经济效益。包括市场类型、市场规模、市场潜力、市场满意度、市场竞争等方面。②产业因素。指所在行业的或是相关行业因素对新兴技术的影响。包括产业结构和产业资源(基础设施、人才、技术和资金)等方面的因素。③企业因素。指企业对新兴技术的融合程度。包括企业的营运能力、企业管理能力、企业的市场控制力等方面的因素。④环境因素。指新兴技术顺利产业化的外部保障条件。包括政策因素、人文环境、环境和资源等方面的因素。

综上所述,对新兴技术的未来产业影响力的分析,要从技术本身的内在因素以及市场等诸多外部因素去考虑。如果一项新兴技术在各个方面都有上佳表现,则表明其未来具有较好的发展前景以及较强的产业影响力;反之,则说明该技术的发展潜力较弱或外围发展环境不适合其顺利的发展。

### 4 评估模型的构建

本研究构建的新兴技术未来产业影响力评估模型主要以新兴技术的专利、科学文献、网络信息、市场调研报告等资料为基本数据对象,利用传统的竞争情报分析方法,对所研究新兴技术领域的基本数据进行预处理,得到模型的指标体系及原始数据,然后利用粗糙集理论中的约简和属性重要度等方法,将不必要的指标进行去除。在此基础上,进一步利用粗糙集理论中的规则提取等手段,建立基于信息决策表的决策规则提取模型。

#### 4.1 新兴技术内在因素信息决策表的建立

新兴技术的内在因素通常包括技术先进性、技术成熟度、技术可操作性、技术地位、技术保护程度以及技术机会等,每个因素都有其相应的一系列研究指标。在本研究中,对新兴技术的各内在因素进行研究的实验数据主要来自相关技术的专利、科学文献、网络信息等方面。针对不同的内在因素,我

们一方面借鉴过去相关研究中所提出的指标体系,利用粗糙集的属性约简方法来筛选出其中有用的指标;另一方面,利用诸如SWOT分析法、专利分析法等情报分析方法,从搜集到的数据中挖掘一些新的指标。综合这两方面的指标集,我们可以得到一个新的指标体系,从而建立起与各内在因素相对应的信息决策表。

在信息决策表中,属性通常分为连续属性和离散属性两种。由于粗糙集只能对数据库中的离散的属性进行处理,而在实际应用中,数据库里存在着大量的非离散属性,即连续属性。因此,在利用粗糙集对信息决策表进行属性约简和规则提取之前,需要先对其中的连续属性进行离散化处理<sup>[15]</sup>。目前,针对粗糙集理论中连续属性离散化问题已提出了很多有效的算法,如基于层次聚类的离散化方法<sup>[16]</sup>、基于信息熵的离散化算法<sup>[17]</sup>以及基于遗传算法的离散化方法<sup>[18]</sup>等,这为我们解决不同情况下的连续属性离散化问题提供了借鉴和保障。由此,我们建立起了可利用粗糙集方法进行处理的技术内在因素所对应的信息决策表。

#### 4.2 新兴技术外部因素信息决策表的建立

新兴技术的外部因素主要包括市场、产业、企业以及环境等方面。与技术的内在因素不同的是,新兴技术的外部因素无法仅通过专利等数据资料进行分析,它还需要对新兴技术所涉及的企业、产业及政治经济环境等进行研究。这就需要对网络中各种相关资源及市场调研报告等资料进行有用数据的提取,并利用诸如宏观环境分析(PEST分析)、五种力量模型等竞争情报分析方法,来挖掘和选择恰当的评价指标,从而建立各外部因素的信息决策表。在此基础上,再借助连续属性离散化方法,得到适用于粗糙集方法处理的信息决策表。

#### 4.3 基于粗糙集的决策规则提取模型

通过对搜集到的各方面原始数据进行分析和挖掘,我们可以得到影响新兴技术的各内外因素的指标体系,并依此可建立对应于各因素的信息决策表。利用粗糙集的属性重要度方法对这些信息决策表中的各属性(指标)进行分析,我们会发现不是所有的属性都是同等重要,有些属性对于分类是没有作用的,或者其作用是可以被其他属性所替代,即在信息决策表中存在冗余的属性。而有些属性虽然对决策表的整体分类来说是必要的,但从知识

范畴的角度看,其在某些分类中对应的属性值又相对于其他属性的取值是不必要的,即存在冗余的属性值。这就造成了信息决策表中存有大量不必要的信息,为此需要对其进行去除,以提高数据处理的效率。

粗糙集中的约简理论可以有效地解决信息决策表中的数据冗余问题。首先可以对信息决策表的各属性进行判断,找出所有的核属性,然后借助属性重要度或信息熵等量化方法,求得属性的约简。其次,在获得属性约简的基础上,利用知识范畴的约简方法,将冗余的属性值去除,得到无任何冗余信息的决策表。最后,利用粗糙集中的规则提取方法,从决策表中提取所有的分类规则,形成决策规则集。由此,建立如下的决策规则提取模型,如图1所示。

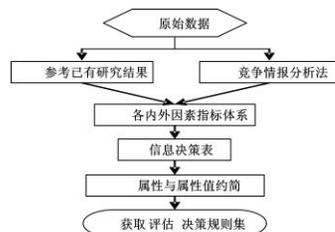


图1 粗糙集决策规则提取模型

### 5 评估模型的层次化

在现实应用中,决策者往往需要对技术进行不同层次的判断,从部分到整体进行全面的把握,从而保证所制定的新兴技术未来的产业布局及投资战略更加合理和长远。因此,提供不同层次的决策参考模型不仅具有理论研究意义,更具有重要的现实意义。从前面的评估模型的构建中我们知道,指标体系的建立是其中非常关键的一环,它的合理与否将直接影响到评估决策的效果。为此,我们首先需要制定层次化的指标体系,进而实现不同层次的评估决策规则提取。

#### 5.1 评估指标体系层次化

影响新兴技术发展的因素主要有两个方面,即内部因素和外部因素。内部因素是从技术本身的各种状态的角度去评估其未来的发展潜力,而外部因素则是从政治、经济和市场等外围环境的角度去做判断。因而,内部和外部因素都涉及很多具体的方面,而每个方面又有着很多具体的评价指标。据此,我们将所研究数据的评估指标体系分成三个层

次,即:第一层是由技术的内在与外部各因素的评价指标组成,是最细的一层指标;第二层是将技术的内在与外部各因素作为不同评价指标;第三层则是将技术的内在因素和外部因素作为评价指标。如图2所示。

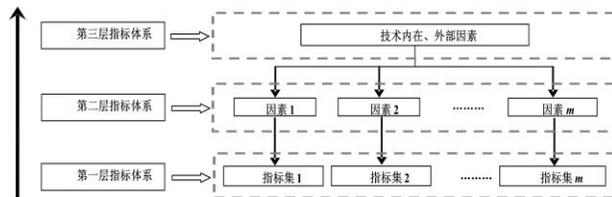


图2 指标体系的层次图

这三层指标是从微观逐步向宏观递进,第一层指标可以用于对每个具体因素的情况进行评价,这可以为决策者提供较为细致的决策参考;第二层以因素做指标,可以对内在因素整体和外部因素整体的情况进行评价,可以让决策者从技术的内在和外部两个方面分别对技术的发展潜能进行评估;第三层则是综合考虑技术的内在和外部因素,从而给决策者提供一个关于新兴技术未来发展潜力的总体评价和参考意见。

## 5.2 评估决策规则层次化

从上面的分析中可知,不同层次的指标体系可以建立不同的信息决策表。而基于这些不同的信息决策表,我们又可以通过决策规则提取模型来获得不同层次的评估决策规则。因此,针对上一小节建立的三层指标体系,构造如下三层决策规则的提取模式,如图3所示。

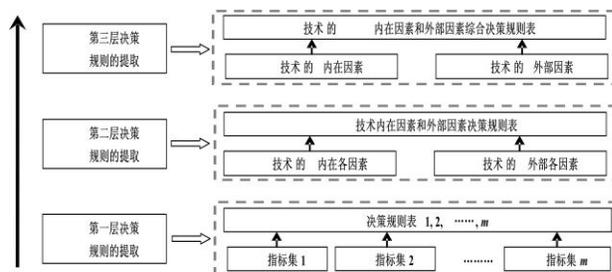


图3 决策规则提取的层次图

其中,第一层的决策规则集可以根据第一层的各指标集所确定的信息决策表来获取,而第二层则是以各个内在因素和外部因素作为指标来建立信息决策表,再从中提取决策规则。第三次的指标又进一步放大,将技术的内在因素和外部因素各作为一个指标,从而形成一个只有两个条件属性的信息决策表。通过这样三层的规则提取,我们可以得到对所研究的新兴技术从微观到宏观的一系列评估

规则,使得决策者可以据此来做出更为全面和客观的判断,为其制定更合理可靠的决策提供有力支持。

## 6 结 语

对新兴技术的评估是一个复杂的系统工程,涉及到很多方面的因素与技术。本研究致力于向新兴技术领域的决策者和研究人员提供一种客观、低成本、高效率的技术评估决策方法,并对此类研究提供一种新的研究思路 and 手段。我们从技术内在因素和市场等诸多外部因素两方面入手对新兴技术的未来产业影响力进行研究探讨,并在此基础上运用粗糙集的约简、属性重要度和规则提取理论,构建了基于多层次规则提取的新兴技术未来产业影响力评估模型。本文所构建的评估模型只是一个初步的成果。在后续的研究中,我们还将进一步研究模型的具体实现方案,并通过某一领域的新兴技术数据进行实证研究,来验证模型的有效性和可靠性,同时根据实证研究的结果来对模型进行改进。

## 参考文献

- 1 乔治·戴,保罗·休梅克.沃顿论新兴技术管理[M].北京:华夏出版社,2002:6.
- 2 Z. Pawlak. Rough Sets[J].International Journal of Information and Computer Sciences, 1982,11(5): 341-356.
- 3 Pawlak Z. Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning about Data[M].Boston: Kluwer Academic Publishers, 1991:45.
- 4 安利平,陈增强,袁著祉.基于粗糙理论的多属性决策分析[J].控制与决策,2005,(3): 294-298.
- 5 李永敏,朱善君,陈湘晖,等.基于粗糙集理论的数据挖掘模型[J].清华大学学报(自然科学版),1999,(1): 111-114.
- 6 刘清,黄兆华,刘少辉,等.带Rough算子的决策规则及数据挖掘中的软计算[J].计算机研究与发展,1999,(7): 33-37.
- 7 Wang G Y, Yang Y, Kong H. Self-Learning facial emotional feature selection based on rough set theory[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2009,(20):312-314.
- 8 吴先华,马庭淮.粗糙集理论在高科技项目评价中的应用研究[J].科学学与科学技术管理,2006,(7): 5-8.
- 9 Ramanna S. Approximation methods in a software quality measurement framework[C]. Electrical and Computer Engineering, 2002. IEEE CCECE 2002. Canadian Conference on, 2002.
- 10 Aijun An, Christine Chan, Ning Shan, et al. (下转第132页)

的研究一方面可以从模型的适用范围等方面,针对不同类型的物联网应用分别进行研究,对模型构成的要素做进一步的改进;另一方面,可以结合不同类型的物联网应用接受模型进行科学的实证研究,为使用者和研究者提供更多的参考依据。

### 参考文献

- 1 孙其博,刘杰,黎彝,范春晓,孙娟娟.物联网:概念、架构与关键技术研究综述[J].北京邮电大学学报,2010,33(3),1-9.
- 2 Amin, H. An analysis of online banking usage intentions: an extension of the technology acceptance model [J]. Interactional Journal Business and Society, 2009, 10(1), 27-40.
- 3 Pruthikrai, Mahatanankoon. The Effects of Personality Traits and Optimum Stimulation Level on Text-Messaging Activities and M-commerce Intention [J]. Interactional Journal of Electronic Commerce, 2007, 12(1), 7-30.
- 4 Chau, P., & Hu, P. Information technology acceptance by individual professionals: a model comparison approach [J]. Decision Sciences, 2001, 32(4), 699-719.
- 5 宋雪雁,王萍.信息采纳行为概念及影响因素研究[J].情报科学,2010,28(5):760-767.
- 6 张研,王磊,毕新华,苏婉.吉林省中小企业信息技术吸纳能力影响因素实证研究[J].情报理论与实践,2012,35(7):78-81.
- 7 Ajzen, I., & Fishbein, M. Understanding Attitudes and Predicting Social Behavior [C]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1980, 35-55.
- 8 Davis, F. D. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology [J]. MIS Quarterly, 1989, 13(3), 319-340.
- 9 Davis, F. D., & Venkatesh, V. A Critical Assessment of Potential Measurement Basis in the Technology Acceptance Model: Three Experiments [J]. Human-Computer Studies, 1996, (45):19-45.
- 10 Ajzen, I. From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior, Action Control: From cognition to Behavior [C]. New York: Springer Verlag, 1985.
- 11 Taylor, S., & Todd, P.A. Decomposition and crossover effects in the theory of planned behavior: a study of consumer adoption intentions [J]. Internet Journal of Business in Marketing, 1995, (12):137-155.
- 12 Vallerand, R. J., & Bissonnette, R. Intrinsic, Extrinsic, and Amotivational styles as Predictors of behavior: a Perspective study [J]. Journal of Personality, 1992, 66(3) 599-620.
- 13 Rogers, E. M. The diffusion of innovations [M]. New York: Free Press, 1983 54.
- 14 Bandura, A. Social foundations of thought and action [M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1986 65.
- 15 Triandis, H. Values, attitudes, and interpersonal behavior [C]. Nebraska Symposium on Motivation, 1980.
- 16 Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. User acceptance of information technology: toward a unified view [J]. MIS Quarterly, 2003, 27(3) 425-478.
- 17 RA Bauer. Consumer behavior as risk taking: Dynamic marketing for a changing world [M]. Chicago: American Marketing Association, 1960 34-36.
- 18 Pavlou P A. Consumer acceptance of ecommerce: Integrating trust and risk with the technology acceptance model [J]. Journal International of Electronic Commerce, 2003, 7(3): 101-134.
- 19 Stone R N, Winter FW. Risk is it still uncertainty times consequence? [C].Proceedings of the American Marketing Association, Winter Educators Conference, Chicago: IL ,1987, 261-265.
- 20 程晓璐.基于UTAUT的移动商务用户接受模型研究[D].杭州:浙江大学,2010.
- 21 Nysveen, H., Pedersen, H., Thorbjornsen, H., & Berthon, P. Mobilizing the brand [J]. Journal of Service Research, 2005, 7(3) 257-276.
- 22 Ritu Agarwal, Elena Karahanna. Time flies when you're having fun: cognitive absorption and beliefs about information technology usage [J]. MIS Quarterly, 2000, 24(4) 665-694.  
(责任编辑 徐波)

(上接第127页)

- Applying Knowledge Discovery to Predict Water-supply Consumption[J].IEEE Expert-Intelligent Systems & Their Applications, 1997,(12): 72-78.
- 11 张淑梅.基于粗糙集理论的科技项目决策支持系统的研究与实现[D].苏州:苏州大学,2008.
  - 12 李远远.基于粗糙集的指标体系构建及综合评价方法研究[D].武汉:武汉理工大学,2009.
  - 13 沈永清,李学伟.技术型无形资产价值评估方法研究——基于粗糙集理论的评估模型[J].北京交通大学学报(社会科学版),2007,(3):71-75.
  - 14 黄鲁成,卢文光,王吉武.基于粗糙集理论的新技术评价研究[J].科技管理研究,2007,(12):111-112.
  - 15 苗夺谦,李道国.粗糙集理论、算法与应用[M].北京:清华大学出版社,2008.
  - 16 苗夺谦. Rough Set理论中连续属性的离散化方法[J].自动化学报,2001,(3): 296-302.
  - 17 谢宏,程浩忠,牛东晓.基于信息熵的粗糙集连续属性离散化算法[J].计算机学报,2005,(28): 1570-1574.
  - 18 代建华,李元香,刘群.粗糙集理论中基于遗传算法的离散化方法[J].计算机工程与应用,2003,(8): 13-14.  
(责任编辑 徐波)