



基于主观逻辑方法的 消费者多源信任融合模型

尹进, 胡祥培, 郑毅

大连理工大学 系统工程研究所, 辽宁 大连 116023

摘要: 社会化商务中, 消费者依赖在线口口相传建立感知信任, 其本质是复杂网络上的多源信任融合问题。国内外学者对多源信任融合问题进行了大量研究, 并以主观逻辑方法为代表形成了信任融合方法的研究体系。然而, 由于社交网络中消费者感知信任的多源性和高度主观性以及用户生成内容的海量性, 给多源信任融合模型带来量化难、实时处理难和融合难等问题。

针对上述难题, 提出“先聚类、后融合”的研究思路, 先对海量推荐信息进行聚类, 再融入感知信任的主观因素构建多源信任融合模型。首先, 将推荐信息间的相似性作为节点关系, 从社交网络中抽取推荐信息相似性网络, 用谱平分方法对聚簇进行划分, 实现对推荐信息的聚类; 其次, 用网络属性度量感知信任的影响因素, 从复杂网络视角出发, 提出消费者感知信任定性因素的量化方法; 再次, 以多属性决策方法为基础, 改进主观逻辑方法构建多源信任融合模型, 从而将感知信任的影响因素融入主观逻辑方法, 突破主观逻辑方法只考虑推荐信息和网络路径的局限性; 最后, 通过仿真实验对推荐信息实验数据进行聚类, 并分析主观因素对感知信任意见空间的调节作用, 验证模型的可行性。

研究结果表明, 研究模型能够快速划分推荐信息相似性网络, 客观地量化感知信任的影响因素, 使其融入信任度计算之中, 且能够体现消费者感知信任的主观性和异质性。从仿真实验结果看, 该模型能够有效解决大规模社交网络中推荐信息海量性、权威程度、从众行为和主体间亲密度等影响因素对信任度计算结果起调节作用。该模型将信任融合模型扩展到社会化商务领域, 可以帮助商家评价已有消费群体对新消费者感知信任的影响力, 为大规模网络中消费者感知信任的度量和预测提供新视角, 为商家实时分析消费者感知信任意向和制定营销策略提供方法支持。对于难以建立新消费者信任的商家, 可以通过制定激励机制来提高用户生成内容量, 培养或引入权威人士作为明星节点, 建立有主题的小社区等形式来促进主体间交流, 增强消费者之间的亲密度, 从而提高消费者感知信任。

关键词: 社会化商务; 感知信任; 多源信任融合; 信任传递; 主观逻辑方法

中图分类号: F713

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2017.03.007

文章编号: 1672-0334(2017)03-0075-08

引言

社会化商务在中国刚刚兴起, 并正以迅猛的势头发展^[1]。以社会化媒体为依托的社会化商务营销

模式已成为中国电子商务的重要组成部分^[2], 为“大众创业, 万众创新”提供了新的平台, 越来越多的小微商家参与到社会化商务交易中^[3]。然而, 由于买

收稿日期: 2016-03-07 **修返日期:** 2017-03-04

基金项目: 国家自然科学基金(71431002); 国家创新研究群体科学基金(71421001)

作者简介: 尹进, 大连理工大学系统工程研究所博士研究生, 研究方向为社会化商务等, 代表性学术成果为“A trust transitivity model of farmers for purchasing agricultural means of production online”, 发表在2014年第3期《ICIC Express Letters》, E-mail: yinjin@mail.dlut.edu.cn

胡祥培, 工学博士, 大连理工大学系统工程研究所所长江学者特聘教授, 研究方向为电子商务与物流管理、智能调度优化等, 主持国家创新研究群体科学基金“新兴电子商务的信息与物流管理”(71421001), E-mail: drhxp@dlut.edu.cn

郑毅, 大连理工大学系统工程研究所博士研究生, 研究方向为智能医疗等, E-mail: zhengyi8807@163.com

买卖双方不能见面、信息不对称、进入门槛低、支付无担保等问题,导致众多小微商家难以建立消费者信任,带来社会化商务信任危机问题,导致社会化商务交易额偏低。信任能够有效降低消费者感知风险和交易成本,促进交易^[4-5],如何利用社交网络预测并快速建立消费者感知信任,是社会化商务商家面临的新难题。

通过在线口口相传建立感知信任是社会化商务与传统电子商务的重要区别,根据网络中的推荐信息建立感知信任是典型的信任融合问题^[6]。然而与传统电子商务相比,社会化商务中消费者的感知信任具有关系导向性和来源多样性等特点^[7],对传统信任融合方法提出新的挑战。即①社会化商务中消费者感知信任的形成机制复杂^[8-11],感知信任的高度主观性导致量化难;②用户生成内容的海量化和动态性导致多源融合模型实时处理难;③消费者感知信任的产生源于“熟人”的推荐、社会关系强度、推荐者特点等多种因素的影响,感知信任的多源性带来融合难的问题。

针对以上难点问题,本研究提出“先聚类,后融合”的研究思路,从复杂网络视角抽取意见相似性网络并划分聚簇,量化感知信任的关键影响因素,并借鉴多属性决策思想改进主观逻辑方法,构建多源信任融合模型。在保证计算实时性的基础上,为社会化商务背景下消费者感知信任的度量和预测奠定基础,为商家快速分析消费者感知信任意向、制定基于消费者感知信任的营销策略提供新方法。

1 相关研究评述

社会化商务中,消费者感知信任的影响因素是信任融合模型的重要组成部分。随着社会化商务迅速发展,越来越多国内外学者开始研究社会化商务背景下的信任问题。本研究从社会化商务中消费者感知信任影响因素和信任融合模型两方面,对国内外相关研究进行评述。

1.1 消费者感知信任的关键影响因素

国内外学者对电子商务环境下消费者感知信任的影响因素进行了大量研究,而在社会化商务背景下,消费者能够获得的信息来源更为丰富,因而感知信任的建立过程更加主观和复杂。与电子商务相比,社交网络中主体间关系、口口相传相关行为^[10]、用户生成内容^[12]、购买经历^[13]和网络结构特性等因素对消费者感知信任产生了重要影响,其中关键的影响因素如下。

(1) 推荐者权威程度

推荐者的权威程度是衡量其推荐信息影响力的重要指标,社交网络中的权威人士是一类具有较高影响力的主体^[14],其推荐信息直接影响消费者的购买行为^[15]。消费者在决策过程中更加注重专家的意见和建议,权威人士的意见能够显著降低消费者的感知风险^[16],在信任传递中起重要作用。特别是在购买技术含量高的商品时,消费者更倾向于依赖专

家的意见^[17]。权威人士的专业性、产品涉入和交互性对接收其推荐的消费者感知信任有直接影响,并显著影响消费者的购买意愿^[18]。

(2) 消费者从众行为

从众行为是一种常见的电子商务消费者行为^[19]。由于电子商务交易中买卖双方不见面,消费者无法接触商品获得直观的信息,因而消费者的感知风险较高。为了降低感知风险,消费者常常效仿他人的决策^[20]。根据其他消费者的评论建立感知信任的过程即产生了从众行为^[21]。

从众行为可以进一步分为规范性社会影响和信息性社会影响。社会化商务中,人与人之间的交流和口口相传的推荐是影响消费者信任感知的关键因素^[22-25],海量的用户生成内容中包含大量的商品评论、消费体验和情感,具有显著的信息性社会影响,使社会化商务中消费者从众行为更为明显^[26]。

(3) 主体间亲密度

亲密度指主体间关系的紧密程度,是衡量推荐信息影响力的重要指标^[27]。社交网络中存在大量实时更新的用户生成内容,不同亲密度的朋友提供的推荐信息往往会对消费者产生不同影响。口口相传的已有研究表明,越亲密的关系在推荐过程中起到的作用越明显,越亲密的关系越让人觉得放心和可靠,从而更容易促进信任传递的形成^[28-29],而通过亲密度高的关系获得的推荐信息对消费者的购买决策影响更大^[7,30]。

以上3种消费者行为是社会化商务中消费者感知信任的关键影响因素,如果舍弃这些主观因素,则问题退化为计算机网络中节点间信任传递问题——根据节点间交互记录判断网络中某一节点是否可信。传统信任传递和融合模型将网络中的主体视为同质的节点,不考虑主体的属性、行为因素和异质性,无法体现消费者主观的行为,难以应用于社会化商务背景。而将定性影响因素融入定量模型,则面临着定性因素难以度量和融合难等问题,是制约社会化商务背景下信任传递模型的关键性难题。

1.2 信任融合方法

信任融合起源于网络安全研究领域,是信任传递模型的重要组成部分,用于解决分布式网络中节点身份认证和识别问题。当网络中的某个主体需要根据他人推荐判断另一主体是否可信时,信任融合用于计算主体通过来自多条路径上的推荐信息形成的信任^[31-33]。国内外学者对其进行了大量研究,以主观逻辑方法为代表形成了信任融合方法的研究体系。

信任融合方法大多建立在概率论基础之上,用概率来表示主体对其他主体的信任程度。如D-S证据理论是建立以Bayesian理论为基础的不确定性推理方法,其证据合成规则可用于多个推荐信息的聚合计算^[32-33],该规则定义了合取算子,对不同焦元的可信度函数进行计算,再根据基本概率分配函数进行归一化处理得到聚合后的信任值。田博等^[34]用

D-S合成规则融合消费者的推荐信任计算综合信任度,应用D-S证据理论构建推荐信任评价模型;成坚等^[35]应用D-S证据理论计算多个间接信任值之间的距离来评估节点的信任度,并将该模型应用于识别无线传感器网络中的恶意节点。

证据理论中Dempster组合规则对证据之间的独立性要求比较严格,当证据间冲突较大时意见融合不准确^[36]。JOSANG^[37-38]针对上述问题进行改进,提出主观逻辑方法(trust network analysis with subjective logic, TNA-SL),将意见空间扩展为三维,加入不确定性维度来表达人的主观信任感知,定义了融合算子,来融合多个推荐信任。该方法用意见空间三元组 ω 表示消费者感知信任, $\omega = \{b, d, u\}$, b 为信任信念, d 为不信任信念, u 为感知的不确定性,且 $b + d + u = 1$ 。打破了只有信任和不信两个维度的传统表示方法,更贴近人的思维方式^[39]。

一些学者在主观逻辑方法的基础上进行改进,对主观逻辑方法进行丰富和拓展。焦洪强^[40]在主观逻辑方法的基础上加入时间因素和折扣算子,解决主观逻辑方法不能动态变化和搜索路径过长等问题;王进等^[41]提出少数服从多数的信任聚合规则来改进主观逻辑方法,并用乐观因子刻画主体的个性,体现了消费者的主观性。主观逻辑方法对感知信任的表达更贴近人的主观意识,然而,该方法需要对每条信任传递路径进行计算,在应用于社会化商务背景时存在计算速度慢的问题。

1.3 小结

信任融合模型研究源于计算机网络安全领域,国内外学者已经在该领域取得了大量成果,但是由于其研究对象局限于计算机网络背景,上述成果还无法直接应用于社会化商务。存在的主要困难和问题有:①多源信任融合难:计算机网络安全领域只考虑主体和主体间的信任关系,是单因素的信息融合模型,而在社会化商务中,消费者通过推荐者的属性、与推荐者的关系^[42],甚至是网络的结构信息来形成感知信任,是典型的多源信任融合问题;②模型量化难:人的感知信任影响因素比较复杂且以定性研究为主,如何量化这些影响因素并使其融入信任融合模型中,是建模的难点问题;③难以保证实时性:传统信任传递模型在计算过程中对每一条推荐信任路径进行计算,适用于规模比较小的网络,而规模庞大的社交网络中,用户生成内容具有高动态性特点,原有信任融合方法难以满足社会化商务的实时性要求。

综上,如何处理海量推荐信息,将消费者感知信任的定性影响因素定量化,并将其融入模型中,是解决社会化商务中多源信任融合问题的两个关键点。针对以上问题,本研究在主观逻辑方法的基础上进行改进,提出“先聚类,后融合”的学术思想,解决传统信任传递方法在应用于社会化商务时存在的上述3个难题。研究思路如下:①对推荐信息进行聚类:抽取推荐信任相似性网络生成Normal矩阵,并用谱平

分方法聚类;②量化感知信任关键影响因素:将感知信任实证研究结论与复杂网络结构属性相联系,从复杂网络视角量化感知信任的关键影响因素;③构建多源信任融合方法:借鉴多属性决策方法的思路改进主观逻辑方法,融入量化后的关键影响因素度量各聚类的感知信任,对多个聚类进行融合计算。

2 海量推荐信息的聚类 and 融合模型

2.1 社会化商务中推荐信息的聚类

社会化网络规模庞大,推荐信息具有海量特征。而主观逻辑方法对网络中每条路径都进行计算,计算量庞大,无法适应网络的实时性特点。对海量信息根据相似性进行聚类是解决该问题的有效途径。

谱评分方法能够融入网络结构信息,且不用事先指定聚类数量和中心^[43],适用于社会网络背景并且划分结果比较准确,其核心问题是如何构建Normal矩阵。社交网络中大量的主体以用户生成内容为载体发布推荐信息,表达个体的感知信任意见。将推荐信息间的相似性作为节点关系,即可从社交网络中抽取推荐信息相似性网络,在此基础上构建Normal矩阵,并用谱平分方法进行网络划分,可以将聚类问题转化为复杂网络聚簇划分问题,实现复杂网络视角下推荐信息的聚类。

定义1 设网络中共有 n 个节点,其中任意两个节点 i 和 j 的三维推荐意见向量分别为 ω_i 和 ω_j , $\omega_i = \{b_i, d_i, u_i\}$, $\omega_j = \{b_j, d_j, u_j\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, n$,计算其夹角余弦 $\cos \theta_{ij}$ 得到两者相似度 sr_{ij} ,即

$$sr_{ij} = \cos \theta_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^3 \omega_{ik} \omega_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^3 \omega_{ik}^2} \sqrt{\sum_{k=1}^3 \omega_{jk}^2}} \quad (1)$$

其中, k 为 ω_i 中的第 k 个元素, $k \in \{1, 2, 3\}$ 。

由此得到感知推荐信息的相似性矩阵 SR ,即

$$SR = \begin{pmatrix} 1 & sr_{12} & sr_{13} & \cdots & sr_{1n} \\ & 1 & sr_{23} & \cdots & sr_{2n} \\ & & 1 & \cdots & sr_{3n} \\ & & & \ddots & \vdots \\ & & & & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

将相似性矩阵进一步转化为Normal矩阵 N ,即

$$N = K^{-1}(SR - E) \quad (3)$$

其中, K 为各节点的度构成的对角矩阵, E 为单位矩阵。有

$$K = \text{diag}[\text{deg}(1), \text{deg}(2), \dots, \text{deg}(n)] \quad (4)$$

其中, $\text{deg}(i)$ 为第 i 个节点的度数。继续求解Normal矩阵的第一或第二特征值及其特征向量,通过观察特征向量的阶梯状分布情况,实现对网络中聚簇的划分。

定义2 设整个网络可划分为 g 个聚簇,第 t 个聚簇为 $C_t < V_t, E_t >$, V_t 为第 t 个聚簇中节点的集合, E_t 为第 t 个聚簇中边的集合,则第 t 个聚类中心为 ω_t^* ,即

$$\omega_t^* = \{b_t^*, d_t^*, u_t^*\} = \frac{\sum_{q=1}^{|V_t|} \omega_q}{|V_t|}, t = 1, 2, \dots, g \quad (5)$$

其中, ω_q 为第 t 个聚簇中任一节点的意见向量, $q = 1, 2, \dots, |V_t|$ 。

2.2 社会化商务中消费者信任关键影响因素的量化

(1) 推荐者权威程度

推荐信息相似性网络的聚簇中是否包含权威人士以及权威人士的影响力,反映了该聚簇感知信任意见对新消费者的影响力。社交网络中度数越高的节点受到越多用户的关注,或者与越多的用户之间存在关联,即该主体居于相对中心的地位^[44],其推荐信息往往具有更高的影响力,因而主体的权威程度可以用网络中节点的绝对点度中心度数来测量。

设社交网络图为 $G < V, E >$, V 为网络图中节点的集合, E 为网络图中边的集合,则

$$G < V, E > = C_1 < V_1, E_1 > \cup C_2 < V_2, E_2 > \cup \dots \cup C_g < V_g, E_g > \quad (6)$$

定义3 对于网络图中任一聚簇 C_t , 定义 v 为聚簇中的节点, $v_{C_t}^*$ 为该聚簇中的明星节点, 则 $v_{C_t}^*$ 的点度中心度为 $C_{AD}(v_{C_t}^*)$, 即

$$C_{AD}(v_{C_t}^*) = \max \{ \deg(v) \mid v \in C_t \}, t = 1, 2, \dots, g \quad (7)$$

聚簇的相对权威程度为 p_t , 即

$$p_t = \frac{C_{AD}(v_{C_t}^*)}{\sum_{i=1}^g C_{AD}(v_{C_i}^*)}, t = 1, 2, \dots, g \quad (8)$$

(2) 消费者从众行为

聚簇规模指聚簇中包含的节点数量,某一类推荐信息形成的聚簇规模越大,说明持某类推荐意见的个体数量越多,则该聚簇具有较大的从众影响力,因而可以用聚簇中节点的数量来衡量聚簇规模带来的影响力。

定义4 聚簇的相对从众系数为 h_t , 即

$$h_t = \frac{|V_t|}{|V|}, t = 1, 2, \dots, g \quad (9)$$

(3) 主体间亲密度

复杂网络的聚类系数表示朋友关系网络中任意三元组闭合的概率,也就是某一主体与其朋友的朋友成为朋友的可能性,反映了朋友关系的亲密度和信任传递路径的有效性。因此,对于信任的接收方节点 v_0 与任一聚簇 C_t 形成的子图 G_t 来说, G_t 的聚类系数体现了聚簇 C_t 对 v_0 的影响力。

将接收方节点 v_0 及其与聚簇 C_t 中所有节点之间的邻接边视为图 $O_t < V_t', E_t' >$, 则接收方节点 v_0 与聚簇 $C_t < V_t, E_t >$ 形成的子图为 $G_t < V_t'', E_t'' >$, 即

$$G_t < V_t'', E_t'' > = C_t < V_t, E_t > \cup O_t < V_t', E_t' >, t = 1, 2, \dots, g \quad (10)$$

则 $|V_t''| = |V_t| + 1, |E_t''| = |E_t| + |E_t'|$ 。

图 G_t 的集聚系数为 $\delta(C_t)$, 即

$$\delta(C_t) = \frac{2|E_t''|}{|V_t''| \cdot (|V_t''| - 1)} = \frac{2(|E_t| + |E_t'|)}{(|V_t| + 1) \cdot |V_t|}$$

$$t = 1, 2, \dots, g \quad (11)$$

定义5 任一聚簇 C_t 的相对亲密度系数为 c_t , 即

$$c_t = \frac{\delta(C_t)}{\sum_{i=1}^g \delta(C_i)}, t = 1, 2, \dots, g \quad (12)$$

2.3 多源信任融合方法

传统的信任融合方法只考虑节点间信任关系,无法融入消费者的多种心理因素,不适用于社会化商务背景。消费者根据多种因素形成自己的感知信任是一个对多源信息的主观处理过程,其问题本质与多属性决策方法有相通之处。将主观逻辑方法与多属性决策方法思路相结合,能够弥补主观逻辑方法无法融合多种感知信任影响因素的不足,同时将消费者的个体差异性融入到模型中。本研究用多属性决策方法的研究思路将权威程度、从众系数和相对亲密度系数以及个体的感知信任主观赋权整合,再融入主观逻辑方法,调整意见空间的分配并进行融合计算,提出一种解决多源信任融合问题的新方法。

定义6 设聚簇影响力的要素集为 $U, U = \{P, H, C\}$, P 为权威程度, H 为从众行为, C 为亲密度;聚簇影响力矩阵为 $R_t, R_t = (p_t, h_t, c_t), t = 1, 2, \dots, g$;消费者对权威程度的主观赋权为 a_1 , 对从众行为的主观赋权为 a_2 , 对亲密度的主观赋权为 a_3 , 则主观赋权向量为 $A, A = (a_1, a_2, a_3)$, 且有 $a_1 + a_2 + a_3 = 1$ 。

则融合值为 F , 即

$$F = RA^T = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_g)^T \quad (13)$$

其中, φ 为 F 中的元素。

推荐者的权威程度、消费者的从众行为和消费者与推荐者间的亲密关系能够降低消费者的感知不确定性,加强消费者对推荐信息的坚定程度。用融合值调整聚簇意见空间的分配,将聚簇的推荐信息转化为消费者主观的感知信任意见空间,即

$$\begin{aligned} \omega_t'^* &= \{b_t'^*, d_t'^*, u_t'^*\} \\ &= \left\{ \left(1 + \frac{\varphi_t u_t^*}{b_t^* + d_t^*}\right) b_t^*, \left(1 + \frac{\varphi_t u_t^*}{b_t^* + d_t^*}\right) d_t^*, (1 - \varphi_t) u_t^* \right\} \end{aligned} \quad (14)$$

融合 g 个聚簇的感知推荐信息意见空间,多聚簇的意见空间为 ω^o , 即

$$\omega^o = \omega_1'^* \oplus \omega_2'^* \oplus \dots \oplus \omega_g'^* \quad (15)$$

对于任意两个不同的聚簇 α 和 β , 其主观感知信任意见空间分别为 $\omega_\alpha'^*$ 和 $\omega_\beta'^*$, $\omega_\alpha'^* = \{b_\alpha'^*, d_\alpha'^*, u_\alpha'^*\}, \omega_\beta'^* = \{b_\beta'^*, d_\beta'^*, u_\beta'^*\}$, 两个聚簇融合后的意见空间为 $\omega_{\alpha,\beta}, \omega_{\alpha,\beta} = \{b_{\alpha,\beta}, d_{\alpha,\beta}, u_{\alpha,\beta}\} = \omega_\alpha'^* \oplus \omega_\beta'^*$, 其中,

$$\begin{cases} b_{\alpha,\beta} = \frac{b_\alpha'^* u_\beta'^* + b_\beta'^* u_\alpha'^*}{u_\alpha'^* + u_\beta'^* - u_\alpha'^* u_\beta'^*} \\ d_{\alpha,\beta} = \frac{d_\alpha'^* u_\beta'^* + d_\beta'^* u_\alpha'^*}{u_\alpha'^* + u_\beta'^* - u_\alpha'^* u_\beta'^*} \\ u_{\alpha,\beta} = \frac{u_\alpha'^* u_\beta'^*}{u_\alpha'^* + u_\beta'^* - u_\alpha'^* u_\beta'^*} \\ \alpha = 1, 2, \dots, g, \beta = 1, 2, \dots, g, \text{ 且 } \alpha \neq \beta \end{cases} \quad (16)$$

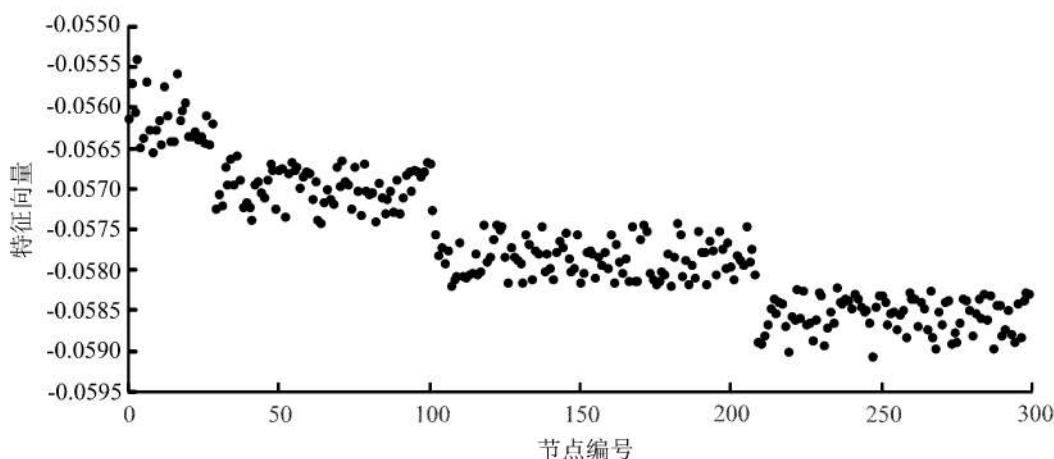


图1 300个节点的随机推荐信息相似性网络特征向量分布图

Figure 1 Eigenvector Distribution Map of Random Recommendation Information Similarity Networks of 300 Nodes

3 算例分析

假设对于社会网络中的商家X来说,某个商品的300个客户在社交网络上发表评论,并对可信程度进行描述和打分,为了分析现有300个客户对商家的感知信任,预测新进入的消费者通过现有推荐信息产生的感知信任并据此制定营销战略,商家对这300个客户的推荐信息和网络结构进行分析。以一个新进入客户为例,通过仿真实验进行算例分析对其感知信任进行预测。

(1)仿真实验设计

步骤1 生成301个节点的随机网络,表示301个节点的社交网络,取第301个点为潜在客户,并对其他300个节点的推荐信息意见空间进行随机赋值;

步骤2 根据(1)式计算推荐信息间的相似度作为节点间关系;以各主体的推荐信息作为主体,抽取推荐信息网络,并根据(2)式生成Normal矩阵,采用谱平分方法对网络进行划分;按照(5)式计算聚簇中心;

步骤3 计算聚簇中节点的度数、节点数量和聚簇与第301个节点构成的子网络的集聚系数,根据(6)式~(12)式计算各个聚簇的权威程度、从众系数和相对亲密度系数;

步骤4 对主观赋权向量A进行赋值,并根据(13)式~(16)式调整各聚簇的意见空间再进行融合,对潜在客户的感知信任度进行预测。

(2)仿真实验结果

对300个节点构成的网络进行划分,求解生成的Normal矩阵第一特征值为0.894,求解对应的特征向量,并对特征向量值进行排序和聚类,得到的分布见图1,可以看到300个推荐信息按照相似性较为清晰地划分为4个聚簇。

各聚簇的节点数量和聚簇中心的意见空间见表1。

根据(6)式~(12)式对各聚簇的3个属性进行度量,对应的属性值见表2。

表1 推荐信息相似性网络的聚簇划分情况
Table 1 Clustering Partition of Recommendation Information Similarity Networks

聚簇	聚簇中节点数量	聚簇中心的意见空间
1	$V_1 = 29$	$\omega_1^* = \{0.390, 0.493, 0.117\}$
2	$V_2 = 73$	$\omega_2^* = \{0.372, 0.352, 0.276\}$
3	$V_3 = 107$	$\omega_3^* = \{0.334, 0.323, 0.343\}$
4	$V_4 = 91$	$\omega_4^* = \{0.284, 0.272, 0.444\}$

表2 推荐信息相似性网络各聚簇属性值
Table 2 Attribute Value of Clusters in Recommendation Information Similarity Networks

	聚簇1	聚簇2	聚簇3	聚簇4
p	0.098	0.241	0.351	0.310
h	0.097	0.243	0.357	0.303
c	0.097	0.240	0.356	0.307

对主观赋权向量A进行随机赋值,并根据(13)式计算融合值F,等同于对F中的元素进行随机赋值: $F = \{\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4\}^T = \{0.341, 0.319, 0.920, 0.201\}^T$ 。并根据表2给出的4个聚簇的属性值和(14)式,对表1中聚簇中心的意见空间进行调整,得到调整后4个聚簇的意见空间为

$$\omega_1^{*'} = \{0.408, 0.515, 0.077\}$$

$$\omega_2^{*'} = \{0.418, 0.394, 0.188\}$$

$$\omega_3^{*'} = \{0.494, 0.479, 0.027\}$$

$$\omega_4^{*'} = \{0.329, 0.316, 0.355\}$$

根据(15)式和(16)式对4个聚簇调整后的意见空间进行融合,得到第301个客户感知信任的预测值为

$$\omega^{\circ} = \{0.458, 0.497, 0.018\}$$

通过算例分析,验证了模型的可行性。从仿真结果看,第301个潜在消费者的感知信任意见空间为 $\omega^{\circ} = \{0.458, 0.497, 0.018\}$,不信任信念值为0.497,略高于信任信念值0.458,说明消费者倾向于认为商家不太可信,其信任空间中三维向量的分布与第3个聚簇的感知信任意见空间最相似,而第3个聚簇的属性集合为 $R_3 = \{0.351, 0.357, 0.356\}$,是4个聚簇中属性值最高的,说明权威程度、从众系数和亲密度对消费者感知信任具有较强的影响力。潜在消费者的感知不确定性为0.018,低于4个聚簇感知不确定性的值,说明聚簇的属性起到调节作用,降低了消费者的感知不确定性。

4 结论

本研究对社会化商务中的多源信任融合问题进行研究,针对多源信任模型量化难、实时处理难和融合难等问题,提出“先聚类,后融合”的研究思路,从复杂网络视角出发,将主观逻辑方法、谱平分方法和多属性决策研究思路相结合构建模型。研究结果表明,本研究提出的模型能够快速划分推荐信息相似性网络,有效解决大规模社会网络中推荐信息海量问题;社交网络中权威消费者的推荐、用户间关系和推荐者数量对新消费者的感知信任起到重要影响,将这3种因素融入模型中,使模型能够体现消费者的主观性和异质性,这些影响因素对信任度计算结果起到调节作用。

本研究提出的多源信任融合模型创新点在于:

①提出“先聚类,后融合”的研究思路,能够有效减少计算量,将信任融合模型拓展到动态性较强的社交网络中,为消费者感知信任实时分析提供新视角。②提出主观因素定量化度量方法,为消费者感知信任的主观因素度量提供支持,使模型适用于处理主观性和差异性较强的消费者感知信任。③借鉴多属性决策方法的思路改进主观逻辑方法来构建多源信任融合模型,突破主观逻辑方法只考虑推荐信息和网络路径的局限。

该模型可以帮助商家评价已有消费群体对新消费者感知信任的影响力,为大规模网络中消费者感知信任的度量和预测提供新方法,为商家实时分析消费者感知信任意向和制定营销策略提供支持。对于难以建立新消费者信任的商家来说,可以通过制定激励机制提高用户生成内容量,培养或引入权威人士作为明星节点,建立有主题的小社区促进主体间交流,增强消费者之间的亲密度,从而提高消费者感知信任。

与传统电子商务相比,社会化商务中消费者异质性和个性化更为凸显,人际关系成为影响消费者感知信任的关键因素,因此,能够融入消费者主观因素及社会网络结构属性的信任传递与融合模型,是社会化商务信任管理的重要研究方向。在未来的研究工作中,我们将针对聚簇间意见冲突处理机制进

行深入研究,完善社交网络中消费者感知信任的融合方法,丰富社会化商务中消费者信任及交易决策机制研究体系,并将研究结果与微博和微信营销实际数据相结合,进一步验证本研究提出的模型并拓展应用研究,为社会化商务商家制定有针对性的营销策略提供方法支持。

参考文献:

- [1] 卢云帆,鲁耀斌,林家宝,等. 社会化商务中顾客在线沟通研究:影响因素和作用规律. *管理评论*, 2014, 26(4):111-121.
LU Yunfan, LU Yaobin, LIN Jiabao, et al. An empirical study: the impact of online communication on purchase intention in social commerce. *Management Review*, 2014, 26(4): 111-121. (in Chinese)
- [2] STEPHEN A T, TOUBIA O. Deriving value from social commerce networks. *Journal of Marketing Research*, 2010, 47(2):215-228.
- [3] 中国电子商务研究中心. 2015年第一季度微店报告. (2015-05-28) [2016-01-23]. <http://b2b.toocle.com/detail-6253698.html>.
China e-Commerce Research Center (CECRC). *Micro shop report for the first quarter of 2015*. (2015-05-28) [2016-01-23]. <http://b2b.toocle.com/detail-6253698.html>. (in Chinese)
- [4] 李建标,李朝阳. 信任的信念基础:实验经济学的检验. *管理科学*, 2013, 26(2):62-71.
LI Jianbiao, LI Chaoyang. An experimental economics test on belief as the basis of trust. *Journal of Management Science*, 2013, 26(2):62-71. (in Chinese)
- [5] 徐彪,张媛媛,张珣. 负面事件后消费者信任受损及其外溢机理研究. *管理科学*, 2014, 27(2):95-107.
XU Biao, ZHANG Yuanyuan, ZHANG Xun. A study on mechanism of consumer trust damage and its spillover after negative events. *Journal of Management Science*, 2014, 27(2):95-107. (in Chinese)
- [6] JØSANG A. The consensus operator for combining beliefs. *Artificial Intelligence*, 2002, 141(1/2):157-170.
- [7] YAN S R, ZHENG X L, WANG Y, et al. A graph-based comprehensive reputation model: exploiting the social context of opinions to enhance trust in social commerce. *Information Sciences*, 2015, 318:51-72.
- [8] ZHOU L, ZHANG P, ZIMMERMANN H D. Social commerce research: an integrated view. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2013, 12(2):61-68.
- [9] BROWN J J, REINGEN P H. Social ties and word-of-mouth referral behavior. *Journal of Consumer Research*, 1987, 14(3):350-362.
- [10] KIM S, PARK H. Effects of various characteristics of social commerce (s-commerce) on consumers' trust and trust performance. *International Journal of Information Management*, 2013, 33(2):318-332.
- [11] CHEN J, SHEN X L. Consumers' decisions in social commerce context: an empirical investigation. *Decision Support Systems*, 2015, 79:55-64.
- [12] HAJLI M N. A study of the impact of social media on con-

- sumers. *International Journal of Market Research*, 2014, 56(3):387-404.
- [13] WEISBERG J, TE'ENI D, ARMAN L. Past purchase and intention to purchase in e-commerce: the mediation of social presence and trust. *Internet Research*, 2011, 21(1):82-96.
- [14] 刘志明, 刘鲁. 微博网络舆情中的意见领袖识别及分析. *系统工程*, 2011, 29(6):8-16.
LIU Zhiming, LIU Lu. Recognition and analysis of opinion leaders in microblog public opinions. *Systems Engineering*, 2011, 29(6):8-16. (in Chinese)
- [15] SUMMERS J O. The identity of women's clothing fashion opinion leaders. *Journal of Marketing Research*, 1970, 7(2):178-185.
- [16] BANSAL H S, VOYER P A. Word-of-mouth processes within a services purchase decision context. *Journal of Service Research*, 2000, 3(2):166-177.
- [17] FRIEDMAN H H, FRIEDMAN L. Endorser effectiveness by product type. *Journal of Advertising Research*, 1979, 19(5):63-71.
- [18] 梦非. 社会化商务环境下意见领袖对购买意愿的影响研究. 南京: 南京大学, 2012:58-59.
MENG Fei. *Research of opinion leaders' impact on purchase intention under social commerce context*. Nanjing: Nanjing University, 2012:58-59. (in Chinese)
- [19] LUO B, LIN Z. A decision tree model for herd behavior and empirical evidence from the online P2P lending market. *Information Systems and e-Business Management*, 2013, 11(1):141-160.
- [20] LIU Y, SUTANTO J. Buyers' purchasing time and herd behavior on deal-of-the-day group-buying websites. *Electronic Markets*, 2012, 22(2):83-93.
- [21] CHEN Y F. Herd behavior in purchasing books online. *Computers in Human Behavior*, 2008, 24(5):1977-1992.
- [22] HAJLI M. Social commerce adoption model // *UK Academy for Information Systems Conference Proceedings 2012*. Oxford, 2012:1-26.
- [23] SEE-TO E W K, HO K K W. Value co-creation and purchase intention in social network sites: the role of electronic word-of-mouth and trust: a theoretical analysis. *Computers in Human Behavior*, 2014, 31:182-189.
- [24] HAJLI M, HAJLI M, KHANI F. Establishing trust in social commerce through social word of mouth. *International Journal of Information Science and Management*, 2013(Special issue):39-53.
- [25] CHEN J V, SU B, WIDJAJA A E. Facebook C2C social commerce: a study of online impulse buying. *Decision Support Systems*, 2016, 83:57-69.
- [26] WANG Y, YU C. *Social interaction-based consumer decision-making model in social commerce: the role of word of mouth and observational learning*. Auburn, Alabama: Auburn University, 2015.
- [27] SHIN D H. User experience in social commerce: in friends we trust. *Behaviour & Information Technology*, 2013, 32(11):1191-1192.
- [28] BERGER J. Word of mouth and interpersonal communication: a review and directions for future research. *Journal of Consumer Psychology*, 2014, 24(4):586-607.
- [29] YAN S R, ZHENG X L, WANG Y, et al. A graph-based comprehensive reputation model: exploiting the social context of opinions to enhance trust in social commerce. *Information Sciences*, 2015, 318:51-72.
- [30] GRANOVETTER M, SOONG R. Threshold models of interpersonal effects in consumer demand. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 1986, 7(1):83-99.
- [31] 鄢章华, 滕春贤, 刘蕾. 供应链信任传递机制及其均衡研究. *管理科学*, 2010, 23(6):64-71.
YAN Zhanghua, TENG Chunxian, LIU Lei. Transfer mechanism of supply chain trust and its equilibrium. *Journal of Management Science*, 2010, 23(6):64-71. (in Chinese)
- [32] SHAFER G. *A mathematical theory of evidence*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1976:28-35.
- [33] SHAFER G. Dempster's rule of combination. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2016, 79:26-40.
- [34] 田博, 覃正. B2C电子商务中基于D-S证据融合理论的推荐信任评价模型. *管理科学*, 2008, 21(5):98-104.
TIAN Bo, QIN Zheng. Recommended trust evaluation model in business-to-consumer e-commerce based on D-S evidence fusion theory. *Journal of Management Science*, 2008, 21(5):98-104. (in Chinese)
- [35] 成坚, 冯仁剑, 许小丰, 等. 基于D-S证据理论的无线传感器网络信任评估模型. *传感技术学报*, 2009, 22(12):1802-1807.
CHENG Jian, FENG Renjian, XU Xiaofeng, et al. Trust evaluation model based on D-S evidence theory in wireless sensor networks. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2009, 22(12):1802-1807. (in Chinese)
- [36] 梁昌勇, 陈增明, 黄永青, 等. Dempster-Shafer合成法则悖论的一种消除方法. *系统工程理论与实践*, 2005, 25(3):7-12, 85.
LIANG Changyong, CHEN Zengming, HUANG Yongqing, et al. A method of dispelling the absurdities of Dempster-Shafer's rule of combination. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 2005, 25(3):7-12, 85. (in Chinese)
- [37] JØSANG A. The consensus operator for combining beliefs. *Artificial Intelligence*, 2002, 141(1/2):157-170.
- [38] JØSANG A. A logic for uncertain probabilities. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2001, 9(3):279-311.
- [39] KAPLAN L, ŞENSOY M, CHAKRABORTY S. Partial observable update for subjective logic and its application for trust estimation. *Information Fusion*, 2015, 26:66-83.
- [40] 焦洪强. 基于拓展主观逻辑的电子商务信任问题研究. 保定: 河北大学, 2015:24-40.
JIAO Hongqiang. *Research of e-commerce trust problem based on expanded subjective logic*. Baoding: Hebei University, 2015:24-40. (in Chinese)
- [41] 王进, 孙怀江. 基于Jisang信任模型的信任传递与聚合研究. *控制与决策*, 2009, 24(12):1885-1889.
WANG Jin, SUN Huaijiang. Trust transitivity and aggregation research based on Jisang's trust model. *Control and Decision*, 2009, 24(12):1885-1889. (in Chinese)
- [42] NG C S P. Intention to purchase on social commerce websites

- across cultures: a cross-regional study. *Information & Management*, 2013, 50(8): 609–620.
- [43] CAPOCCI A, SERVEDIO V D P, CALDARELLI G, et al. Detecting communities in large networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2005, 352(2/4): 669–676.
- [44] 刘军. 社会网络分析导论. 北京: 社会科学文献出版社, 2004: 116–117.
- LIU Jun. *An introduction to social network analysis*. Beijing: Social Sciences Academic Press (China), 2004: 116–117. (in Chinese)

Consumers' Multi-source Trust Fusion Model Based on the Subjective Logic

YIN Jin, HU Xiangpei, ZHENG Yi

Institute of Systems Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China

Abstract: In social commerce, consumers establish perceived trust through online word-of-mouth (WOM), whose essence is multi-source trust fusion which has been fully analyzed by scholars worldwide and an analysis system has been formed based on subjective logic. However, due to multi-sources and high subjectivity of consumers' perceived trust as well as massive user-generated content (UGC), there still exist some key issues in trust fusion model development in relation to quantitative processing, real-time processing and information fusion given the context of social commerce.

We propose a method of "clustering before fusion" to establish the multi-source trust fusion model. First, this study takes similarity of recommendation as relationships between nodes to extract recommendation similarity network from social networks, and then partitions the recommendation similarity network with spectral bisection in order to cluster recommendation information. Second, we come up with the quantitative approach of perceived trust from the perspective of complex network. Third, we establish a multi-source trust fusion model by improving subjective logic based on multiple attribute decision making. The model integrates influential factors and breaks through the limits that subjective logic only takes into account the recommendations and network path. Finally, we verify the feasibility of the model. The data of recommendation experiments are clustered by simulation experiments and the mediating effects of subjective factors on perceived trust space are tested.

This study indicates that the recommendation can be modular in similarity network rapidly with the use of our model mentioned above. In addition, measuring the influential factors objectively and taking account into trust degree calculation will deliver the subjectivity and heterogeneity of consumers. Based on the simulation results, massive recommendation information in social networks has been effectively addressed by our model. Meanwhile, the influential factors such as authority, herd behavior and closeness act a mediating effect in the calculation result of trust degree.

Extending the use of trust fusion model into social commerce can evaluate the spreading effect from existing consumers to new consumers in perceived trust. Thus this model provides a new perspective for measuring and forecasting consumers' perceived trust in massive social networks, and offers sellers a method in real-time analysis of consumers' perceived trust intention and market strategy development. For the sellers with obstacles in new consumers' trust establishing, raising the quantity of UGC will be a good choice. Developing stimulating mechanism, fostering or introducing authority as stars, building small communities to promote communication can be alternatives to finally enhance the closeness between consumers.

Keywords: social commerce; perceived trust; multi-source trust fusion; trust transitivity; subjective logic

Received Date: March 7th, 2016 **Accepted Date:** March 4th, 2017

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China (71431002) and the Funds for Creative Research Groups of China (71421001)

Biography: YIN Jin is a Ph. D candidate in the Institute of Systems Engineering at Dalian University of Technology. Her research interest focuses on social commerce. Her representative paper titled "A trust transitivity model of farmers for purchasing agricultural means of production online" was published in the *ICIC Express Letters* (Issue 3, 2014). E-mail: yinjin@mail.dlut.edu.cn

HU Xiangpei, doctor in engineering, is a Changjiang Scholar chair professor in the Institute of Systems Engineering at Dalian University of Technology. His research interests include e-commerce and logistics management, intelligent scheduling and optimization. He is the principal investigator for the research project titled "Information and logistics management under emerging electronic-business", supported by the Funds for Creative Research Groups of China (71421001). E-mail: drhxp@dlut.edu.cn

ZHENG Yi is a Ph. D candidate in the Institute of Systems Engineering at Dalian University of Technology. His research interest focuses on intelligent medical. E-mail: zhengyi8807@163.com

□