

DOI:10.13196/j.cims.2015.01.003

## 协同创作过程中的子群决策随机过程模型

岳芳, 顾新建<sup>+</sup>, 祁国宁, 曹玉华, 江丁丁

(浙江大学 现代制造工程研究所, 浙江 杭州 310027)

**摘要:**为研究协同中的群体决策过程,进而为协同系统的设计和和实施提供依据,以马尔科夫链和随机 Petri 网为工具,提出一种结构为最近邻耦合网络的子群决策随机过程模型,并给出了转移概率矩阵及其递推公式,以实现类似结构的扩展。根据有限理性理论,该模型采用一个概率函数描述主体的决策能力,以体现主体决策时的随机特性。以某系统中的三人子群决策过程为例,计算了子群状态转换概率及形成共识所需的讨论次数,并利用蒙特卡洛方法验证了该模型的有效性。

**关键词:**知识管理;协同创作;子群决策过程;马尔科夫链;随机 Petri 网

**中图分类号:**TP182      **文献标识码:**A

### Subgroup decision-making stochastic process model of collaborative building

YUE Fang, GU Xin-jian<sup>+</sup>, QI Guo-ning, CAO Yu-hua, JIANG Ding-ding

(Institute of Advanced Manufacturing Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:**To research the group decision-making process of collaborative building and to provide evidence for the design and implementation of collaborative systems, a subgroup decision-making process model with a structure of nearest neighbor coupled network was proposed by using Markov chain and Stochastic Petri Net. The transition probability matrix and its recursive formula were given to achieve the similar structural expansion. Based on the bounded rationality theory, a probability function was applied to describe the changes of subjects' decision-making capacity, and the questionnaire was designed to obtain the function parameters. By taking subgroup decision-making process with three subjects as an example, the state transition probability matrix of the subgroup and the discussion times required to form a consensus were calculated. The effectiveness of the proposed model was verified with Monte Carlo method.

**Key words:** knowledge management; collaborative building; subgroup decision-making process; Markov chain; stochastic Petri net

## 0 引言

协同创作是依靠集体的智慧共同创作智力成果的方法。协同创作过程可视为以智力成果为目标的一种群体决策过程,在该过程中,人们通过一定的方式交换意见,相互影响,对智力成果进行修改,形成最终结论。协同创作方法因为可以有效弥补个人经

验、知识结构和能力等的不足而得到了广泛应用,如基于 Web 2.0 的维基百科和百度百科等发展很快,就是协同创作思想的成功应用。此外,在知识管理领域(如标准的建设等工作)涉及的知识面广,单靠个别专家难以完成,迫切需要协同创作予以支持。

通过交流和学习,人们的认知和观点可能会改变,进而影响最终协作结果。交互过程是协同创作

收稿日期:2013-11-25;修订日期:2014-02-20。Received 25 Nov. 2013; accepted 20 Feb. 2014.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71132007,51175463);国家 863 计划资助项目(2013AA040602)。**Foundation items:** Project supported by the National Natural Science Foundation, China(No. 71132007,51175463), and the National High-Tech. R&D Program, China (No. 2013AA040602).

的关键环节,也是目前研究的重点。Scardamalia 等将知识的协同创作过程描述为发生在组织内的社会化过程<sup>[1]</sup>;Cress 等从系统论和认知论的角度研究人们的学习行为,提出了基于 Wiki 的知识协同创作模型,分析了社会化过程和人们认知过程之间的相互影响<sup>[2]</sup>;Moskaliuk 等认为人们的知识和 Wiki 知识的不一致度(性)处于中等水平时,更有利于人们的学习和知识的协同创作<sup>[3-4]</sup>。国内一些学者对 Web 2.0 环境下的用户信息交流行为进行了研究。例如,邓胜利等构建了 Web 2.0 环境下网络用户的群体动力模型<sup>[5]</sup>;席亚卿将群体动力与网络学习共同体结合,构建了网络学习共同体群体动力模型<sup>[6]</sup>。

针对交互过程的研究方法包括社会网络分析法、系统建模法和内容分析法等。Andreas Harrer 运用社会网络分析法,将知识的协同创作过程可视化<sup>[7]</sup>;Peter Reimann 等利用系统建模法,分析了在线聊天的日志文件,采用 Petri 网和数据挖掘技术探讨了交互中不同小组的决策过程<sup>[8]</sup>;Vicenc Gómez 等采用社会网络分析法,研究了网站中评论交互的沟通模式,以提高系统性能<sup>[9]</sup>。在协作过程中,用户在交换信息的同时往往存在相互学习。Daniel D. Suthers 认为在讨论、评论中的学习包括解释、争论、反思和改变观点等过程<sup>[10]</sup>;C.-K. Looi 等通过实验,记录学生使用 GroupScribbles 的过程,分析了学生的交互过程和知识融合过程<sup>[11]</sup>。

交互过程研究的难点在于影响主体决策的因素很多,且主体之间形成复杂的网络相互作用,群体观点随交流的进行不断变化。群体行为是通过人们之间的相互作用“涌现”出来的,具有不稳定性、非线性性和不确定性等特征<sup>[12]</sup>。社会网络分析法是一种静态分析的工具,难以对以知识传播和创新为内容的社会关系网络的动态形成过程,特别是在交互过程中主体的变化进行分析;内容分析法可以定量分析交互过程,但无法解释某一类交互是如何产生的,以及个体的决策行为,其指标分类比较抽象和宽泛,不太适应变化迅速的领域;系统建模法目前多研究规模较小(10 人左右)的组织内的交互过程,缺乏向规模较大的组织推广的计算方法,而在实际协作过程中形成的网络结构往往规模较大。

协同过程对协作结果有重要的影响。由于缺乏相关的理论和模型指导,目前难以对影响协作结果的因素进行分析,从而导致实际工程应用中,在制定协同创作的规则、开发相关软件系统时,主要依靠设

计人员的经验,具有一定的盲目性。获取主体真实的决策偏好及私有信息比较困难,但是以仿真实验和问卷调查的方式去获取却存在操作上的可能性。通过仿真实验可以模拟主体行为和互动,从微观机制得到宏观结果,从而探求群体决策的内在规律,指导相关设计。

本文采用系统建模的方法,分析了某网站用户对电机系统节能领域中概念的协同创建过程,将自发形成的协同网络分解为一些子结构。采用主体—子群—群体决策的思路进行研究,用概率函数表示主体决策能力的变化,并对最近邻耦合网络结构的子群决策过程进行研究,引入马尔科夫链(Markov Chain, MC),用随机 Petri 网(Stochastic Petri Net, SPN)表示子群决策过程,给出转移概率矩阵及其递推公式,可支持由小群体向具有类似结构的大群体扩展。

## 1 群体决策模型

群体决策是由一定组织形式的群决策成员(主体),为解决某些问题或达到预定目标,通过交流讨论加深理解后,根据一定的方案集和决策规则做出决策的活动<sup>[13]</sup>。参与决策的主体集合称为群体(group)。

在决策过程中,主体和主体之间的交流关系构成一个有向网络,记为  $G=(S(G),R(G))$ 。主体集为  $S(G)=\{S_i | i=1,2,\dots,m; m \geq 2\}$ ,关系集为  $R(G)=\{(S_i, S_j) | S_i, S_j \in S(G), (S_i, S_j) \neq (S_j, S_i), i \neq j\}$ 。(S<sub>i</sub>, S<sub>j</sub>)表示一条从 S<sub>i</sub> 指向 S<sub>j</sub> 的弧,即主体 S<sub>i</sub> 发表观点, S<sub>j</sub> 听取观点。在交流过程中, S<sub>i</sub> 的观点不改变,由于 S<sub>j</sub> 可能获取到更多的信息, S<sub>j</sub> 的观点可能改变。

针对同一问题,在群体中可能存在  $n$  种观点或偏好,用  $x$  表示所有观点的集合,  $x=\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ 。每个主体的观点随讨论的进行可能改变。在第  $t$  次讨论时,主体 S<sub>i</sub> 的观点是  $s_i(t)$ ,  $s_i(t) \in x$ ,用  $s(t)$  表示所有主体观点的集合,  $s(t)=\{s_1(t), s_2(t), \dots, s_m(t)\}$ 。当主体 S<sub>i</sub> 与持有  $x_j$  观点的主体交流后,如果接受该观点,则表示为  $s_i(t)=x_j$ 。

### 1.1 主体决策能力分析

主体是否接受某一观点,受其认知能力和知识存量的影响,具有一定的随机性,因此可将主体的决策过程视为一个随机事件。知识存量会随学习和交流而变化,可将其看作是关于讨论次数  $t$  的函数,表

示为  $b = g(b_{i,0}, t, \beta), 0 \leq b \leq 1$ 。其中:  $b_{i,0}$  为主体  $S_i$  知识存量的初值,  $b_{i,0} \geq 0$ ;  $\beta$  为积累效应系数, 即一次交流对主体决策能力产生的影响,  $0 \leq \beta \leq 1$ 。认知能力包括记忆、知觉和思维等<sup>[14]</sup>。假设在决策过程中认知能力保持稳定, 用常数  $a_{i,j}$  表示,  $0 \leq a_{i,j} \leq 1$ 。  $a_{i,j}$  为主体  $S_i$  不考虑知识存量的情况下即  $b_{i,0} = 0$  时, 凭直觉、想象力等接受观点  $x_j$  的概率。

设主体  $S_i$  在第  $t$  次讨论时接受观点  $x_j$  的概率, 即主体决策能力概率为  $p_{i,j}$ 。它是关于  $a_{i,j}$  和  $b$  的函数, 即

$$p_{i,j} = \text{Prob}(s_i(t) = x_j) = f(a_{i,j}, b_{i,0}, t, \beta)。(1)$$

式中  $f$  可以是关于  $t$  的递增函数(或递减函数)。主体参与交流的次数越多, 越倾向于接受  $x_j$ , 从而有利于提高  $p_{i,j}$ ,  $f$  为增函数, 反之则为减函数。

### 1.2 基于实例的协同过程研究

系统地表示和组织知识是实现知识共享和重用的基础<sup>[15-16]</sup>。概念知识地图可以形象地展示概念的属性及概念间的相互关系, 能够作为知识表达的基础。电机系统节能方案设计涉及大量专业领域知识, 建立概念知识地图(如图 1)有助于设计人员从宏观角度把握知识结构。由于知识的复杂性和专业性, 在构建概念知识地图时, 往往需要参考设计人员、生产人员等用户的群体意见。

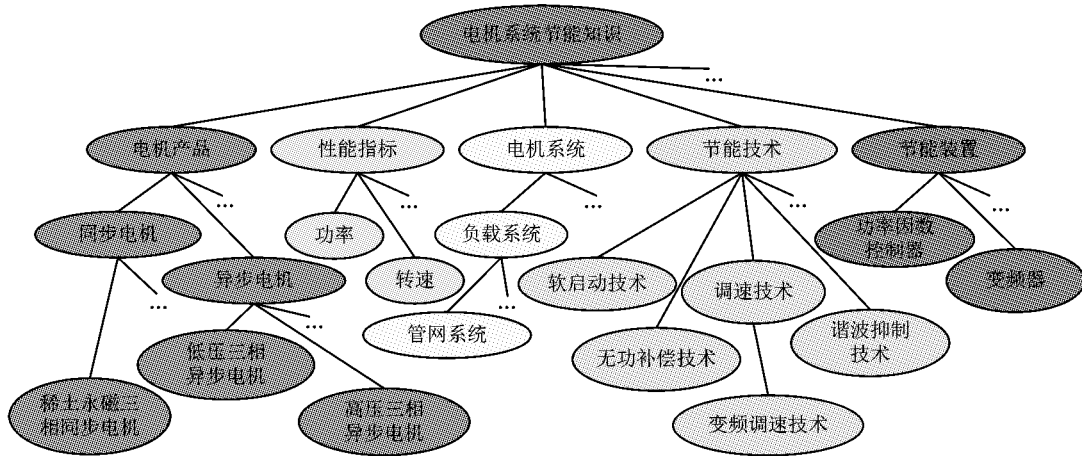


图1 电机系统节能领域的概念知识地图

在协同创作中, 用户是智力成果的浏览者和创作者。通过利用 Web 2.0 相关技术, 构建面向群体的、开放的、支持协同创作的知识管理系统, 可以更好地分享知识, 汇聚用户的智慧。在该系统中, 用户可以创建、查询、浏览和修改概念。修改概念的用户和之前编辑概念的用户间接地进行交流和互动, 从而构成一个交互网络。主体形成的协同网络结构往往比较复杂, 直接建立解析模型比较困难。而规则网络是复杂网络中最基本的一种模型, 常见的规则网络有全局耦合网络、最近邻耦合网络和星形耦合网络等<sup>[17]</sup>。主体在交流过程中自发形成若干子群(subgroup), 子群与子群可以同时进行交流。子群讨论形成结论的过程称为子群决策。可以通过研究子群的情况, 分析整个群体的讨论过程和主体偏好的变化规律。

由于这种基于 Web 2.0 的协同模式与百度百科等的协同模式相似, 通过统计百度百科中网络用户的操作历史, 可以研究协同主体之间的交互过程。

本文统计了截止 2013 年 10 月 31 日, 百度百科用户对电机系统节能领域中概念的修改记录, 删除了与电机节能内容无关的操作(如“删除广告”等), 与主题相关的修改共 749 次, 涉及 583 个用户。用户在协同创作过程中自发形成的网络结构如图 2 的 Group 层所示, 图中 Subgroup 层包含对词条变频器、功率和功率因数编辑过程中自发形成的多个规则子群; 圆点表示主体, 箭线表示交流, 主体之间的交流按照先后顺序进行, 有些主体之间会进行多次交流。

在实际协同网络中, 除了星形耦合网络以外, 图 2 最下方所示的最近邻耦合网络较常见, 因此本文针对这种结构的子群进行研究。最近邻耦合网络是指具有  $w$  个节点的网络中, 每个节点只与其周围的  $v$  个邻居节点相连。

为便于分析和计算, 在此对子群中主体的交互过程进行抽象和简化。子群以小组(team)为单位, 按照一定顺序进行讨论, 每个小组的人数相同, 用  $v$

表示。例如,在  $w=3$  和  $v=2$  的子群中,主体是 A、B 和 C,子群分为三个小组,即 A-B(第一个小组)、B-C(第二个小组)和 C-A(第三个小组),顺序进行交流。其中小组 A-B 进行交流的过程是:首先 B 发

表观点,A 听取观点( $B \rightarrow A$ ),A 可能改变观点;然后 A 发表观点,B 听取观点( $A \rightarrow B$ ),B 可能改变观点。类似地,整个子群交流的顺序为  $\{(B \rightarrow A), (A \rightarrow B), (C \rightarrow B), (B \rightarrow C), (A \rightarrow C), (C \rightarrow A)\}$ 。

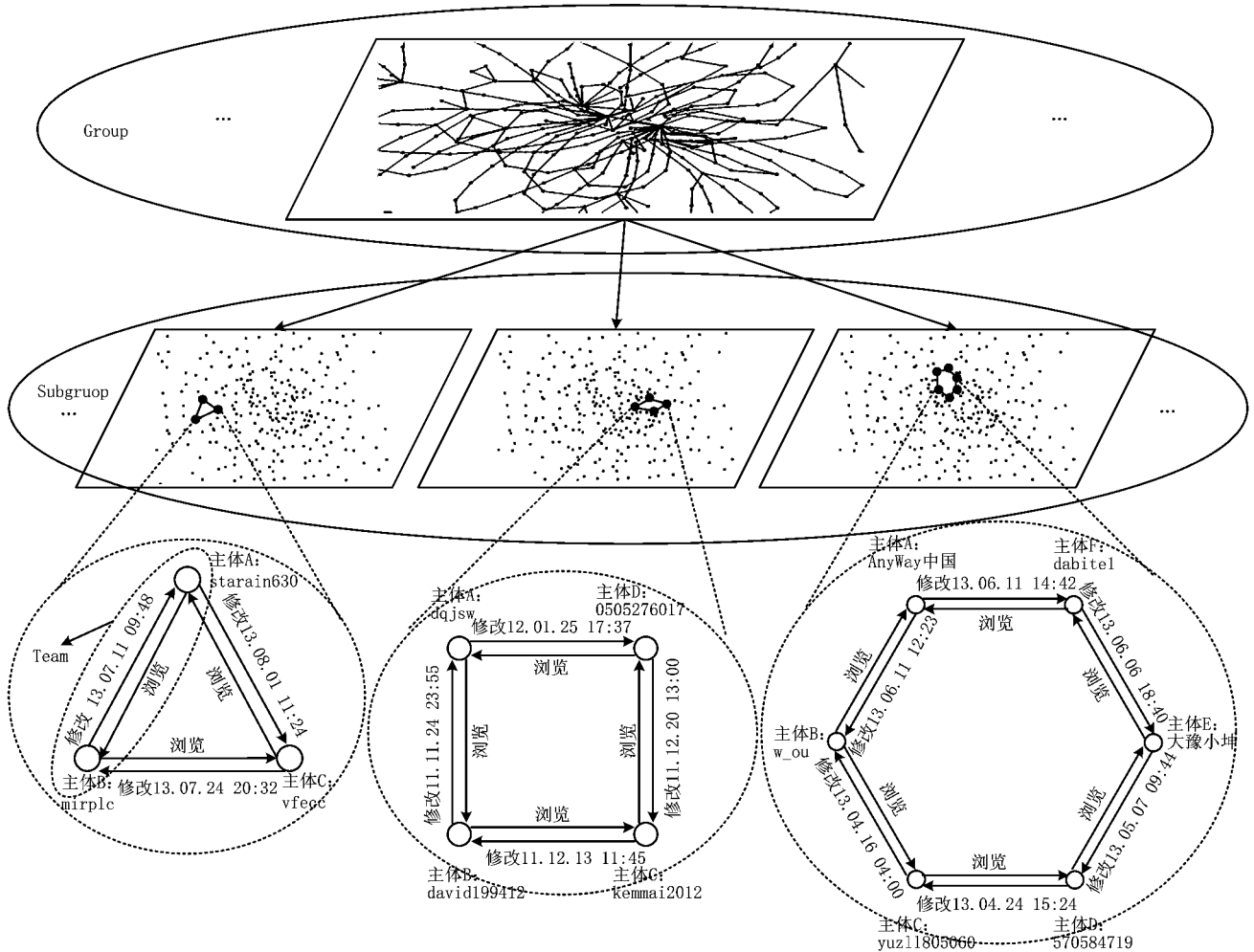


图2 某网站协同创作网络及其分解(部分)

## 2 子群决策过程

### 2.1 子群决策过程模型

子群中主体之间按照一定顺序进行讨论,主体根据决策能力概率函数  $p_{i,j}$  接受对方主体持有的观点或者保持原来观点。

若子群中有  $w$  个主体,则可能存在  $n$  种观点,子群中所有主体持有观点的可能组合有  $l=n^w$  种,可将其中一种组合称为状态。所有状态的集合记作  $M=\{M_0, M_1, \dots, M_{l-1}\}$ 。在第  $t$  次讨论时,子群的状态为  $X_t$ 。例如,可以定义,当子群处于状态  $M_0$  ( $X_t=M_0$ ) 时,所有主体的观点都为  $x_2$ ,即  $M_0=\{s_1(t)=x_2, s_2(t)=x_2, \dots, s_w(t)=x_2\}$ 。

假设子群在第  $t$  次讨论时为状态  $M_i$ ,在第  $t+1$  次讨论时变为状态  $M_j$  的概率为  $P_{M_i M_j}$ 。给定子群过去的状态  $X_0, X_1, \dots, X_{(t-1)}$  和现在的状态  $X_t$ ,将来的状态  $X_{(t+1)}$  独立于过去的状态,且只依赖于现在的状态。这种假设就定义了一个马尔科夫链。

以  $P$  记作一步转移概率  $P_{M_i M_j}$  的矩阵,

$$P = \begin{bmatrix} P_{M_0 M_0} & P_{M_0 M_1} & P_{M_0 M_2} & \dots \\ P_{M_1 M_0} & P_{M_1 M_1} & P_{M_1 M_2} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{M_l M_0} & P_{M_l M_1} & P_{M_l M_2} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}_{l \times l}$$

下面以  $w=3$  和  $v=2$  的子群为例,利用 SPN



表示子群的决策过程。设观点集合  $x = \{x_1, x_2\}$ 。这个模型共有 6 个位置和 6 个变迁,为了便于描述,引入索引变量  $i=1,2,3$ 。

(1) $R_i$  为“ $x_1$  观点”位置,如果  $R_i$  包含一个标记,则第  $i$  个主体持有该观点(偏好为  $x_1$ )。

(2) $W_i$  为“ $x_2$  观点”位置,如果  $W_i$  包含一个标记,则第  $i$  个主体持有该观点(偏好为  $x_2$ )。

(3) $B_i$  为“ $x_1$  变为  $x_2$ ”变迁,当主体  $i$  持有观点  $x_1$ ,并且与持有观点为  $x_2$  的主体交流后,主体  $i$  的观点按照  $p_{i,2}$  的概率变为  $x_2$ 。

(4) $G_i$  为“ $x_2$  变为  $x_1$ ”变迁,当主体  $i$  持有观点  $x_2$ ,并且与持有观点为  $x_1$  的主体交流后,主体  $i$  的观点按照  $p_{i,1}$  的概率变为  $x_1$ 。

用 SPN 描述的子群决策模型如图 3 所示。

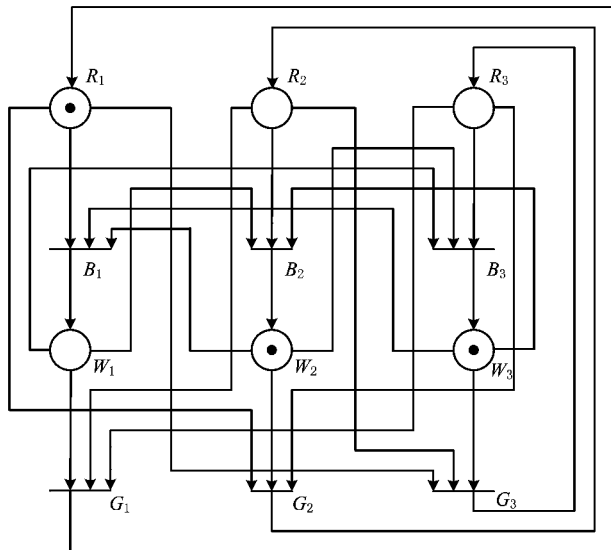


图3 用SPN描述的子群决策过程模型( $w=3, v=2$ )

### 2.2 转移概率矩阵及其递推公式

通过研究最简单的最近邻耦合网络  $w=2, v=2$ ,可以递推  $v=2$  的任意规模的这一类网络的转移概率矩阵。

在  $w=2$  和  $v=2$  的子群中,主体是 A 和 B,只有一个小组,即 A-B(第一小组),共 4 个状态,如表 1 所示。

表 1 子群状态( $w=2, v=2$ )

状态	A 偏好	B 偏好
$M_0$	$x_2$	$x_2$
$M_1$	$x_1$	$x_2$
$M_2$	$x_2$	$x_1$
$M_3$	$x_1$	$x_1$

在“B 发表观点,A 听取观点”这一小组讨论的子过程中( $B \rightarrow A$ ),根据 A 的决策能力概率函数  $p_{A,j}$ ,小组 A-B 状态的一步转移概率矩阵

$$P_{AB} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ p_{A,2} & 1-p_{A,2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-p_{A,1} & p_{A,1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

在“A 发表观点,B 听取观点”这一小组讨论的子过程中( $A \rightarrow B$ ),根据 B 的决策能力概率函数  $p_{B,j}$ ,小组 A-B 状态的一步转移概率矩阵

$$P_{BA} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-p_{B,1} & 0 & p_{B,1} \\ p_{B,2} & 0 & 1-p_{B,2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

经过讨论后,小组 A-B 状态的一步转移概率矩阵

$${}^{(1)}P_{4 \times 4}^{2,2} = P_{AB} \cdot P_{BA} = \begin{bmatrix} P_{M_0 M_0} & P_{M_0 M_1} & P_{M_0 M_2} & P_{M_0 M_3} \\ P_{M_1 M_0} & P_{M_1 M_1} & P_{M_1 M_2} & P_{M_1 M_3} \\ P_{M_2 M_0} & P_{M_2 M_1} & P_{M_2 M_2} & P_{M_2 M_3} \\ P_{M_3 M_0} & P_{M_3 M_1} & P_{M_3 M_2} & P_{M_3 M_3} \end{bmatrix}$$

其中:“(1)”表示子群的第一个小组讨论;“2,2”中的第一个“2”表示子群的主体总数  $w$ ,第二个“2”表示每个小组的讨论人数  $v$ 。

在  $w=3$  和  $v=2$  的子群中,主体是 A,B 和 C,分为三个小组,即 A-B(第一小组),B-C(第二小组)和 C-A(第三小组),共 8 个状态,如表 2 所示。

表 2 子群状态( $w=3, v=2$ )

状态	A 偏好	B 偏好	C 偏好
$M_0$	$x_2$	$x_2$	$x_2$
$M_1$	$x_1$	$x_2$	$x_2$
$M_2$	$x_2$	$x_1$	$x_2$
$M_3$	$x_1$	$x_1$	$x_2$
$M_4$	$x_2$	$x_2$	$x_1$
$M_5$	$x_1$	$x_2$	$x_1$
$M_6$	$x_2$	$x_1$	$x_1$
$M_7$	$x_1$	$x_1$	$x_1$

三个小组的一步转移概率矩阵分别表示为

$$\begin{aligned}
 {}^{(1)}\mathbf{P}_{8 \times 8}^{3,2} &= \begin{bmatrix} P_{M_0M_0} & P_{M_0M_1} & P_{M_0M_2} & P_{M_0M_3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{M_1M_0} & P_{M_1M_1} & P_{M_1M_2} & P_{M_1M_3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{M_2M_0} & P_{M_2M_1} & P_{M_2M_2} & P_{M_2M_3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{M_3M_0} & P_{M_3M_1} & P_{M_3M_2} & P_{M_3M_3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{M_0M_0} & P_{M_0M_1} & P_{M_0M_2} & P_{M_0M_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{M_1M_0} & P_{M_1M_1} & P_{M_1M_2} & P_{M_1M_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{M_2M_0} & P_{M_2M_1} & P_{M_2M_2} & P_{M_2M_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{M_3M_0} & P_{M_3M_1} & P_{M_3M_2} & P_{M_3M_3} \end{bmatrix}; \\
 {}^{(2)}\mathbf{P}_{8 \times 8}^{3,2} &= \begin{bmatrix} P_{M_0M_0} & 0 & P_{M_0M_1} & 0 & P_{M_0M_2} & 0 & P_{M_0M_3} & 0 \\ 0 & P_{M_0M_0} & 0 & P_{M_0M_1} & 0 & P_{M_0M_2} & 0 & P_{M_0M_3} \\ P_{M_1M_0} & 0 & P_{M_1M_1} & 0 & P_{M_1M_2} & 0 & P_{M_1M_3} & 0 \\ 0 & P_{M_1M_0} & 0 & P_{M_1M_1} & 0 & P_{M_1M_2} & 0 & P_{M_1M_3} \\ P_{M_2M_0} & 0 & P_{M_2M_1} & 0 & P_{M_2M_2} & 0 & P_{M_2M_3} & 0 \\ 0 & P_{M_2M_0} & 0 & P_{M_2M_1} & 0 & P_{M_2M_2} & 0 & P_{M_2M_3} \\ P_{M_3M_0} & 0 & P_{M_3M_1} & 0 & P_{M_3M_2} & 0 & P_{M_3M_3} & 0 \\ 0 & P_{M_3M_0} & 0 & P_{M_3M_1} & 0 & P_{M_3M_2} & 0 & P_{M_3M_3} \end{bmatrix}; \\
 {}^{(3)}\mathbf{P}_{8 \times 8}^{3,2} &= \begin{bmatrix} P_{M_0M_0} & P_{M_0M_1} & 0 & 0 & P_{M_0M_2} & P_{M_0M_3} & 0 & 0 \\ P_{M_1M_0} & P_{M_1M_1} & 0 & 0 & P_{M_1M_2} & P_{M_1M_3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{M_0M_0} & P_{M_0M_1} & 0 & 0 & P_{M_0M_2} & P_{M_0M_3} \\ 0 & 0 & P_{M_1M_0} & P_{M_1M_1} & 0 & 0 & P_{M_1M_2} & P_{M_1M_3} \\ P_{M_2M_0} & P_{M_2M_1} & 0 & 0 & P_{M_2M_2} & P_{M_2M_3} & 0 & 0 \\ P_{M_3M_0} & P_{M_3M_1} & 0 & 0 & P_{M_3M_2} & P_{M_3M_3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{M_2M_0} & P_{M_2M_1} & 0 & 0 & P_{M_2M_2} & P_{M_2M_3} \\ 0 & 0 & P_{M_3M_0} & P_{M_3M_1} & 0 & 0 & P_{M_3M_2} & P_{M_3M_3} \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

在子群决策过程中有些状态是不可达的,因此各个小组的一步转移概率矩阵是稀疏矩阵。 $w=3$ 和 $v=2$ 的子群决策过程的一步转移概率矩阵 $\mathbf{P}_{8 \times 8}^{3,2} = {}^{(1)}\mathbf{P}_{8 \times 8}^{3,2} \cdot {}^{(2)}\mathbf{P}_{8 \times 8}^{3,2} \cdot {}^{(3)}\mathbf{P}_{8 \times 8}^{3,2}$ 。

对于 $v=2$ 的最近邻耦合网络,当 $w \geq 4$ 时,第 $k$ 小组的一步转移概率矩阵存在如下递推关系:

(1)当 $k \leq w-2$ 时,

$${}^{(k)}\mathbf{P}_{2^w \times 2^w}^{w,2} = {}^{(k)}\mathbf{P}_{2^{w-1} \times 2^{w-1}}^{w-1,2} \otimes \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

(2)当 $k = w-1$ 时,

$${}^{(k)}\mathbf{P}_{2^w \times 2^w}^{w,2} = \begin{bmatrix} [{}^{(k)}\mathbf{P}_{1,1}^{w,2}]_{2 \times 2} & \cdots & [{}^{(k)}\mathbf{P}_{1,2^{w-1}}^{w,2}]_{2 \times 2} \\ \vdots & & \vdots \\ [{}^{(k)}\mathbf{P}_{2^{w-1},1}^{w,2}]_{2 \times 2} & \cdots & [{}^{(k)}\mathbf{P}_{2^{w-1},2^{w-1}}^{w,2}]_{2 \times 2} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

式中

$$[{}^{(k)}\mathbf{P}_{i,j}^{w,2}]_{2 \times 2} = {}^{(k-1)}\mathbf{P}_{2^{w-1} \times 2^{w-1}}^{w-1,2}(i,j) \otimes \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$i = 1, 2, \dots, 2^{w-1}, j = 1, 2, \dots, 2^{w-1}.$$

(3)当 $k = w$ 时,

$${}^{(k)}\mathbf{P}_{2^w \times 2^w}^{w,2} = \begin{bmatrix} [{}^{(k)}\mathbf{P}_{1,1}^{w,2}]_{4 \times 4} & \cdots & [{}^{(k)}\mathbf{P}_{1,2^{w-2}}^{w,2}]_{4 \times 4} \\ \vdots & & \vdots \\ [{}^{(k)}\mathbf{P}_{2^{w-2},1}^{w,2}]_{4 \times 4} & \cdots & [{}^{(k)}\mathbf{P}_{2^{w-2},2^{w-2}}^{w,2}]_{4 \times 4} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

式中

$$[{}^{(k)}\mathbf{P}_{\frac{i+1}{2}, \frac{j+1}{2}}^{w,2}]_{4 \times 4} = {}^{(k-1)}\mathbf{P}_{2^{w-1} \times 2^{w-1}}^{w-1,2}(i:i+1, j:j+1) \otimes \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$i = 1, 3, \dots, (2^{w-1} - 1), j = 1, 3, \dots, (2^{w-1} - 1).$$

### 3 应用案例

#### 3.1 系统介绍

本文基于 Java 平台,利用 Java 服务器网页(Java Server Pages, JSP)和 Servlet 技术,使用 Oracle 数据库开发了知识管理系统,以支持电机系统节能方案的设计。电机系统节能领域概念构建时,采用协同创作的方式,用户操作界面如图 4 所示。



图4 协同创作实例

#### 3.2 主体决策能力

设该系统用户对某一问题存在两种竞争型的观点  $x_1$  和  $x_2$ 。按照式(1),主体  $i$  面对观点  $x_1$  时的决策能力函数  $p_{i,1} = a_{i,1} + g(b_{i,0}, t, \beta)$ ; 面对观点  $x_2$  时的决策能力函数  $p_{i,2} = a_{i,2} - g(b_{i,0}, t, \beta)$ 。其中  $g = b_{i,0} + \beta \cdot t$ 。为获取系统用户的决策能力信息,以匿名形式进行随机抽样调查,考察用户的直觉、判断力和逻辑推理能力等,评估主体的决策能力。发放问卷 80 份,回收问卷 52 份,最终有效问卷 50 份。从这些用户中选取三个比较典型的主体 ( $S_A, S_B, S_C$ ) 作为研究对象。

调查问卷设置了 40 个判断题,包括正确命题和错误命题。通过统计主体答题的情况,可以估计主体  $a_{i,1}$  和  $a_{i,2}$  的值。例如,对于正确命题,主体  $S_A$  作出正确判断的比率是 0.6;对于错误命题,作出错误判断的比率是 0.5。因此,设  $a_{A,1} = 0.6, a_{A,2} = 0.5$ 。 $b_{i,0}$  是知识存量的初值,在此通过调查主体进入相关课题的时间来确定。设主体  $i$  进入相关领域研究的年限为  $T_i$ ,则  $b_{i,0} = T_i/100$ 。通过评估问卷得到的主体决策能力参数  $a_{i,j}$  和  $b_{i,0}$  如表 3 所示。关于  $\beta$  的

取值缺乏相关的研究和依据,考虑到一次交流对主体决策能力概率函数的影响较小,在此设为 0.01。

表 3 调查得到的主体决策能力函数参数

$S_A$	$a_{A,1} = 0.60, a_{A,2} = 0.50$	$b_{A,0} = 0.01$
$S_B$	$a_{B,1} = 0.80, a_{B,2} = 0.45$	$b_{B,0} = 0.01$
$S_C$	$a_{C,1} = 0.45, a_{C,2} = 0.50$	$b_{C,0} = 0.01$

#### 3.3 蒙特卡洛仿真对比实验

通过系统建模的方法,可以计算得到  $w=3$  和  $v=2$  的子群决策过程的转移概率矩阵  $P_{8 \times 8}^{3,2}$ 。首先,根据表 3 中的参数,计算主体  $S_A$  和  $S_B$  的决策能力概率函数  $p_{A,j}$  和  $p_{B,j}$ ,并由式(2)和式(3)得到  $P_{AB}$  和  $P_{BA}$ ;然后,根据式(4)计算得到<sup>(1)</sup>  $P_{8 \times 8}^{3,2}$ ,类似地,计算得到<sup>(2)</sup>  $P_{8 \times 8}^{3,2}$  和<sup>(3)</sup>  $P_{8 \times 8}^{3,2}$ ;最后将三者相乘得到  $P_{8 \times 8}^{3,2}$ 。随着讨论的进行,  $p_{A,j}$  和  $p_{B,j}$  不断变化,因此可以获得不同  $t$  下的  $P_{8 \times 8}^{3,2}$ ,进而得到马尔科夫链的状态转换图,该图也随  $t$  改变。图 5a 和图 5b 所示分别为  $t=1$  和  $t \geq 9$  时的马尔科夫链的状态转换图,状态之间的转换概率大小用箭线旁的数字表示。当  $t > 9$  时,转移概率矩阵保持不变,子群处于平稳状态。

对于复杂系统,还可以采用蒙特卡洛法模拟主体间的相互作用及其演化,通过与该方法的结果进行对比,对系统建模法的有效性进行验证。蒙特卡洛法采用随机数产生器生成主体初始观点。主体之间依次进行讨论,并根据自身的决策能力和参与讨论的其他主体的观点,改变观点或者保持原有观点。

蒙特卡洛实验进行了 10 000 次,统计得出子群由各个初始状态到最终状态出现的频率,进而得到马尔科夫链的状态转换图。图 5c 为  $t=1$  时的状态转换图,图 5d 为  $t=10$  时的状态转换图。由图可知,系统建模法得到的转移概率矩阵与蒙特卡洛法得到的结果非常吻合,说明所提出的子群决策过程模型是有效的。

#### 3.4 子群观点变化分析

协同创作一般遵循多数原则,当某一观点被多数主体接受时群体形成共识,该观点为群体观点。由于每个主体的观点会随着讨论和交流的深入而变化,形成稳定的群体观点和协作结果需要耗费时间,集结观点的时机选择十分重要。若集结过早,共识还未形成,则可能得到的是不稳定的结果;若集结过晚,则会影响协作效率。

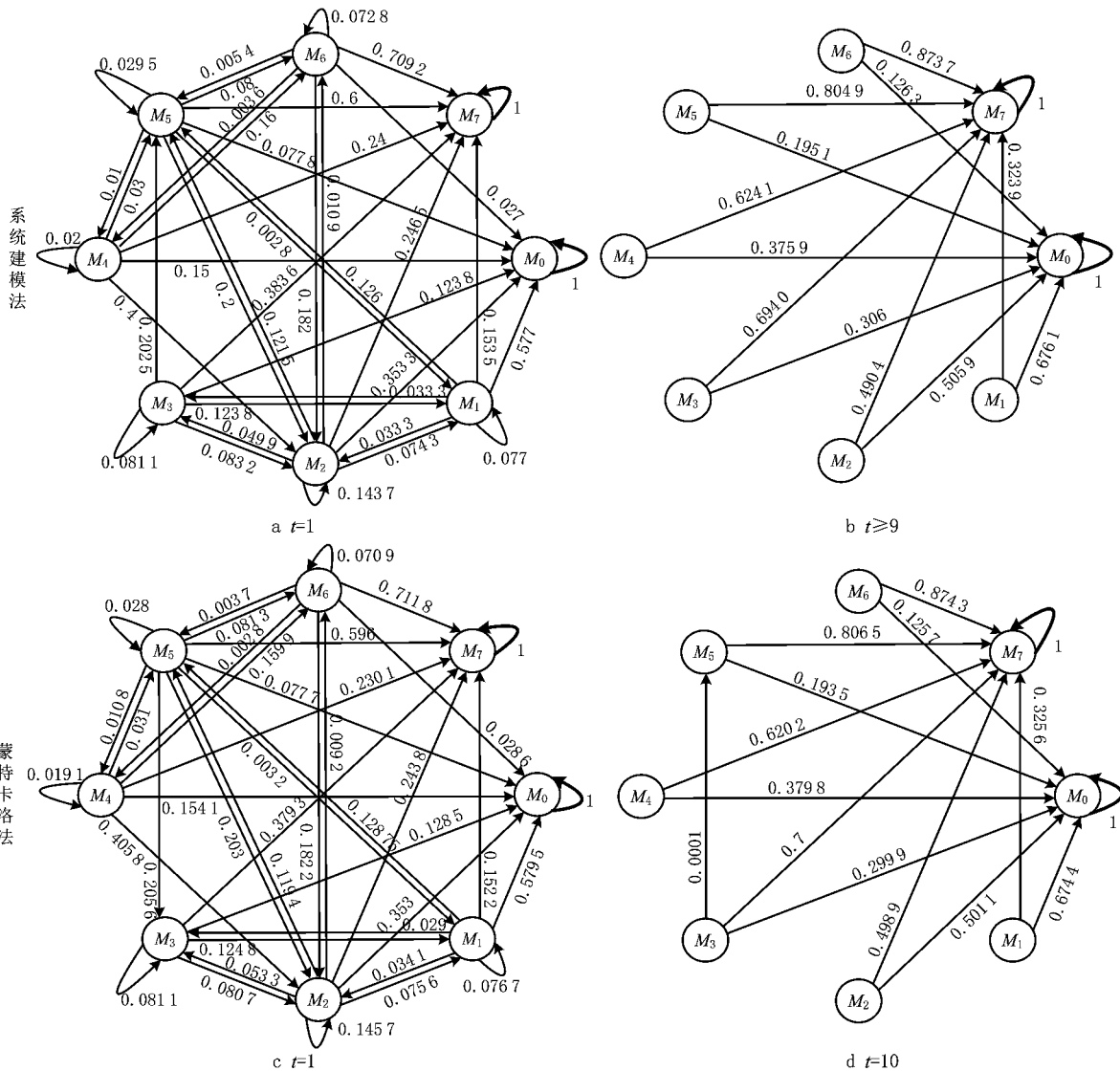


图5 系统建模法和蒙特卡洛法的状态转换图比较 ( $w=3, v=2$ )

利用子群决策过程模型,可以分析子群观点的变化规律。设子群中超过 50%的主体持有的观点为子群观点(共识)。  $x_1$  为子群观点的概率变化曲线,如图 6 所示。可见,主体所持有的初始观点将对共识的形成产生影响。图中水平虚线为“ $x_1$  是否成为子群观点”的分界线。对于不同的子群初始状态,在第  $t$  次讨论时  $x_1$  成为子群观点的概率不同。例如,当  $t=1$  时初始状态为  $M_1$ ,该概率较小,约为 0.312 8,初始状态为  $M_5$ ,该概率较大,约为 0.709 5。此外,随着讨论的进行,子群观点为  $x_1$  的概率是变动的,例如,初始状态为  $M_4$ ,当  $t=1$  时该概率约为 0.43,当  $t=4$  时,该概率约为 0.618 2,当  $t=9$  时,该概率约为 0.624。对于该三人子群,当讨论次数  $t \geq 4$  时,概率变动较小。可见,当子群人数

较少时,仅用较少的讨论次数即可达成共识。

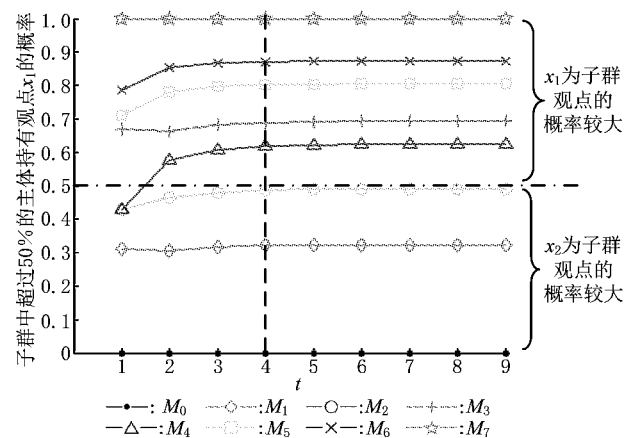


图6 子群中超过50%的主体持有观点 $x_1$ 的概率随 $t$ 的变化

根据分析结果,为了避免不稳定协作结果的影



响,在知识管理系统中设置最小讨论阈值。针对某一个问题,当用户的讨论次数小于该阈值时,说明讨论可能不充分,需要给予更多的时间并鼓励用户继续讨论。

#### 4 结束语

本文建立了最近邻耦合网络结构的子群决策随机过程模型,给出了转移概率矩阵及其递推公式,以实现随机性较大的决策过程的长期预测。以某知识管理系统为研究对象,分析了三人子群在不同讨论次数时的状态,估计子群达到稳定状态需要的时间,并利用蒙特卡洛法验证了该方法的有效性。

本方法将有限理性理论和随机过程理论应用于协同创作分析,为进一步探讨交互过程的动态变化以及优化系统设计提供了新的途径。与蒙特卡洛方法相比,该方法采用矩阵描述不同状态之间的转换概率,便于实现、计算效率高,可以满足系统实时仿真的要求;此外,蒙特卡洛方法是一种随机性算法,而本文所提方法是一种根据理论模型得到的确定性算法,该方法能更好地描述主体间的交互过程,有助于进一步分析协同创作的机理。未来将进一步探讨复杂网络结构的协同创作情况。

#### 参考文献:

- [1] SCARDAMALIA M, BEREITER C. Knowledge building: theory, pedagogy and technology[M]. New York, N. Y., USA: Cambridge University Press, 2006.
- [2] CRESS U, KIMMERLE J. A systemic and cognitive view on collaborative knowledge building with wikis[J]. International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 2008, 3(2): 105-122.
- [3] MOSKALIUK J, KIMMERLE J, CRESS U. Wiki-supported learning and knowledge building: effects of incongruity between knowledge and information[J]. Journal of Computer Assisted Learning, 2009, 25(6): 549-561.
- [4] MOSKALIUK J, KIMMERLE J, CRESS U. Collaborative knowledge building with wikis: the impact of redundancy and polarity [J]. Computers & Education, 2012, 58(4): 1049-1057.
- [5] DENG Shengli, FENG Lifei. The analysis of network user's community dynamics under Web 2.0 environment[J]. Document, Information & Knowledge, 2011(2): 78-82(in Chinese). [邓胜利, 冯利飞. Web 2.0 环境下网络用户的群体动力分析[J]. 图书情报知识, 2011(2): 78-82.]
- [6] XI Yaqing. The research on the group dynamic mechanism of online learning community in the Web 2.0 environment[D]. Chongqing: Southwest University, 2012(in Chinese). [席亚卿. Web 2.0 环境下网络学习共同体的群体动力机制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.]
- [7] HARRER A, MOSKALIUK J, KIMMERLE J, et al. Visualizing wiki-supported knowledge building: co-evolution of individual and collective knowledge[C]//Proceedings of the 4th International Symposium on Wikis. New York, N. Y., USA: ACM, 2008.
- [8] REIMANN P, YACEF K, KAY J. Analyzing collaborative interactions with data mining methods for the benefit of learning[M]//Analyzing Interactions in CSCL. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2011: 161-185.
- [9] GÓMEZ V, KALTENBRUNNER A, LÓPEZ V. Statistical analysis of the social network and discussion threads in slashdot[C]//Proceedings of the 17th International Conference on World Wide Web. New York, N. Y., USA: ACM, 2008: 645-654.
- [10] SUTHERS D D. Technology affordances for intersubjective meaning making: a research agenda for CSCL[J]. International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 2006, 1(3): 315-337.
- [11] LOOI C K, CHEN W. Community-based individual knowledge construction in the classroom: a process-oriented account [J]. Journal of Computer Assisted Learning, 2010, 26(3): 202-213.
- [12] CHEN Xiaohong. Complex large group decision-making method and its applications[M]. Beijing: Science Press, 2009(in Chinese). [陈晓红. 复杂大群体决策方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009.]
- [13] CHEN Xiaohong, CHEN Zhiyang, XU Xuanhua. Group decision support platform framework for complex large groups [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008, 14(9): 1796-1804(in Chinese). [陈晓红, 陈志阳, 徐选华. 面向复杂大群体的群体决策支持平台框架研究[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(9): 1796-1804.]
- [14] SOLSO R L. Cognitive psychology[M]. HUANG Xiting, transl. Beijing: Educational Science Publishing House, 1990(in Chinese). [罗伯特·索尔索. 认知心理学[M]. 黄希庭, 译. 北京: 教育科学出版社, 1990.]
- [15] CHEN Si, YAN Yan, SHANGGUAN Jingchang, et al. Product design knowledge representation based on business ontology[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2011, 17(4): 673-679(in Chinese). [陈思, 阎艳, 上官景昌, 等. 基于业务本体的产品设计知识表示方法[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(4): 673-679.]
- [16] SHI Meihong, WANG Ting, CHEN Yongdang, et al. Knowledge push system based on business process and knowledge need [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2011, 17(4): 882-887(in Chinese). [石美红, 王婷, 陈永当, 等. 基于业务过程和知识需求的知识推送系统[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(4): 882-887.]

- [17] JIANG Guoping, FAN Chunxia, SONG Yurong, et al. Synchronization and control of complex dynamical networks with applications in cyber physical systems[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications; Natural Science, 2010, 30(4): 41-51 (in Chinese). [蒋国平, 樊春霞, 宋玉蓉, 等. 复杂动态网络同步控制及其在信息物理系统中的应用[J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 30(4): 41-51.]

### 作者简介:

- 岳芳(1982—),女,山西阳泉人,博士研究生,讲师,研究方向:知识管理、制造业信息化、工业工程, E-mail:fyuemail@163.com;  
 顾新建(1956—),男,浙江湖州人,教授,博士生导师,研究方向:知识管理、制造服务、大批量定制等,通信作者, E-mail:xjgu@zju.edu.cn;  
 祁国宁(1949—),男,浙江杭州人,教授,博士生导师,研究方向:大批量定制、产品建模、制造服务等;  
 曹玉华(1976—),女,内蒙古赤峰人,博士研究生,讲师,研究方向:企业及产品生态效率评价等;  
 江丁丁(1990—),男,浙江温岭人,硕士研究生,研究方向:知识管理、制造业信息化、工业工程。

## “基于大数据和云技术的智慧制造”征文通知

随着物联网、云计算等新信息技术的广泛应用,在制造业的产品设计、生产和服务过程中将产生大量的数据,即所谓的大数据。其中物联网(如 RFID,无线传感器网络)主要用于收集无所不在的数据;云服务(如云制造服务数据)则作为服务/数据仓库为制造业提供有用的服务/数据。

充分、有效地利用大数据,可以提高制造企业的创新能力、促进网络智能制造的发展,进而为整个制造业的转型升级带来巨大推进力。然而,目前在整个产品生命周期中产生的制造大数据的类型尚属未知,如何从如此庞大的动态大数据中提取有用的信息并加以利用,是一项十分艰巨的任务,因此在云技术或云服务平台的支撑下,如何有效地管理和利用大数据并服务于制造业,是一个巨大挑战。近年来,已有诸多专家和学者对将大数据和云技术应用到工业生产中进行了大量研究。

为总结这些研究成果,《计算机集成制造系统》期刊拟开展“基于大数据和云技术的智慧制造”专刊征文活动,旨在报道大数据与云技术应用到工业中的相关方法、技术、系统等最新研究成果和进展,热忱欢迎相关领域的专家和学者踊跃投稿。

### 一、征文范围

1. 智慧制造模式;
2. 云制造中的大数据;
3. 数据驱动的制造系统;
4. 基于大数据和云技术的个性化设计与制造;
5. 供应链管理中的大数据与云技术;
6. 基于云平台的 3D 打印;
7. 基于云平台的智能工厂;
8. 制造知识管理;
9. 制造服务管理;
10. 工业大数据挖掘算法;
11. 制造系统智能物联技术;
12. 基于信息物理融合系统的工业应用;
13. 基于大数据和云技术的绿色设计与制造。

### 二、征文要求

1. 论文必须为原创,并且未被其他会议、期刊录用或发表;
2. 论文可以是围绕主题的综述论文、技术方法论文和应用性论文,具有一定的创新性和前瞻性;
3. 论文格式请直接参照《计算机集成制造系统》期刊论文的格式要求,或访问期刊主页 <http://www.cims-journal.cn> 查询稿件格式要求。

### 三、投稿方式和截止日期

1. 通过《计算机集成制造系统》期刊网站: <http://www.cims-journal.cn> 进行投稿,稿件类型请务必注明“智慧制造”;
2. 投稿截止日期为 2015 年 8 月 31 日。

### 四、稿件录取

1. 所有来稿均需经两位以上同行专家评审,合格后方可录用。
2. 录用论文将集中在《计算机集成制造系统》以专刊的形式发表(EI 100%收录)。

### 五、投稿联系方式

联系人:杨璐 通信地址:北京 2413 信箱 34 分箱 CIMS 编辑部  
 邮政编码:100089 联系电话:(010)68962468-3;68962479  
 电子邮件:cims@onet.com.cn