

用户参与产品设计过程动态特性研究

谈莉斌^{1,2} 唐敦兵¹ 朱海华¹

(1. 南京航空航天大学机电学院, 南京 210016; 2. 安徽工业大学机械工程学院, 马鞍山 243032)

摘要: 企业将产品创新设计过程向用户开放,在获得用户海量创新资源及用户真实需求的同时,大量无组织自主个体参与造成的设计过程趋于复杂也逐渐引起重视,亟待研究用户自主参与产品设计过程的动态特性。与已有文献将用户在开放设计过程中提交的方案视作不变常量不同,本文考虑设计过程中用户间的交互导致用户个体方案随时间变化的特征,研究用户个体互动、并促进产品模型迭代完善的动态规律。首先,从微观角度研究基于博弈理论的用户个体互动演化机制;其次,从宏观角度研究参与设计用户组成的复杂网络典型特征。根据理论研究,采用软件仿真方法,研究用户参与产品设计过程动态特性的定性规律,结果表明,开放设计过程中产品模型始终趋于收敛。以煤炭破碎机的用户参与设计为实例,统计设计过程中参与用户个体方案与产品模型的交互迭代演化规律,验证了本文理论模型与仿真结果的正确性。

关键词: 用户参与; 产品设计; 动态特性

中图分类号: TH166; TP391.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)05-0404-07 OSID: 

Dynamic Characteristics of User's Participation in Product Design Process

TAN Libin^{1,2} TANG Dunbing¹ ZHU Haihua¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China
2. School of Mechanical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032, China)

Abstract: In order to obtain users' massive innovative resources and real user needs, enterprises open product innovative design process to users. Due to the involvement of a large number of unorganized and autonomous individuals, the dynamic and complex evolution of the design process has gradually attracted attention. Unlike the existing literature, which regarded the user's proposed product solution as a constant, the process of user participation in design was regarded as a dynamic gradient process. Therefore, the user's individual solution and the product model interacted and iterated in the process. Firstly, the typical results of individual interaction of the user were studied. Based on the game theory, the game model was established and its Nash equilibrium was solved. Secondly, the dynamic evolution of user groups was analyzed and its growth process was simulated. The simulation results were compared with the definition of the scale-free network, and the conclusion was drawn that the user group involved in the design was a typical scale-free network. According to the user's individual interaction model and the user group network model, the software simulation was carried out. The coal crusher design project was used as a case study to verify the correctness of the theoretical model and simulation results. The conclusion that the product model tended to converge in different communication environments was obtained. This conclusion provided a theoretical basis for the application of a large number of users to participate in the design. According to the discrete point simulation and the surface fit, the convergence speed distribution of product solution with user's game income as the argument was obtained. It was concluded that the convergence speed of the overall solution of the product was related to the parameters of the interactive environment, which was more complex and irregular. Therefore, dynamic monitoring was important when users were involved in the product design process.

Key words: user participation; product design; dynamic characteristics

收稿日期: 2019-10-09 修回日期: 2019-11-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(51575264, 51805253)

作者简介: 谈莉斌(1981—),男,博士生,安徽工业大学讲师,主要从事数字化设计与制造研究, E-mail: alextlb@ahut.edu.cn

通信作者: 唐敦兵(1972—),男,教授,主要从事数字化设计与制造和智能制造系统研究, E-mail: d.tang@nuaa.edu.cn

0 引言

近年来,越来越多企业将产品创新设计活动向用户开放。企业在获得用户海量创新资源的同时,用户需求也带人产品设计过程^[1]。开放创新(Open innovation)概念^[2]在该背景下提出,类似概念有:Collective invention^[3]、User innovation^[4]、Community-based innovation^[5]等,这些理论对产品的创新设计产生了积极的影响^[6-7]。开放创新方法的日益普及与互联网的高速发展,导致互联网各种创新平台^[8-9]的兴起,用户可通过互联网随时提交某产品设计的创意。互联网沟通的便捷性,使得参与用户规模较大。

与传统产品创新相比,开放创新关键特征是去中心化、无组织自主个体的参与。随着参与产品设计过程中无组织自主用户规模的增加,用户之间是否可以通过随机交互获得大多数用户满意的统一产品方案也亟待论证。

RIEDL 等^[10]建立基于网络的评级实验,313 名参与者对某创新社区 24 种想法进行了评估,并得出结论,决策的速度和决策的正确性具有复杂的函数关系。MARTÍNEZ 等^[11]通过方案统计研究了用户参与的开放式创新社区,指出用户方案倾向于个人喜好,设计师团队方案倾向于产品本身的品牌特征与合理性,两者存在一定的冲突。GIANNOCCARO 等^[12]建立了产品设计决策过程的数学模型,该模型反映了消费者、设计决策团队、供应商等不同利益攸关方对最终产品方案决策的影响。HAMDI 等^[13]提出新兴自然消费者的概念,并研究了领先用户与新兴自然消费者在产品创新中的区别。上述文献均阐述了用户对产品的设计过程的影响,但忽略了微观用户个体与宏观产品模型相互影响的迭代演化特性,因此无法系统性地研究其过程动态特性。

本文从用户个体互动行为和群体网络两方面,分析用户参与产品设计的动态演化过程和对产品方案形成过程的影响,仿真研究该动态过程的定性特征,并通过实例验证仿真结果正确性,以期获得用户参与产品设计过程动态特性的定性规律,从而为用户参与设计模式向大规模用户开放提供理论依据。

1 个体交互一般模型

开放创新中用户均为自主参与,未被强制要求提出完整、清晰的产品方案。用户初期一般根据熟悉的产品某一部分,提出自己的碎片化方案。在用户间交互过程中,相互影响、借鉴,并逐渐完善自己的产品方案。本文从两用户间一般交互过程分析开始,逐步建立用户个体交互一般数学模型。

1.1 用户交互典型行为分析

两用户交互后的行为分为 3 种典型情况:① 坚持自己的方案。② 用户 X 被用户 Y 说服,完全同意用户 Y 的方案。③ 都意识到对方的方案有可取之处,借鉴对方的方案完善自己的方案。用户个体间交互属于哪种典型过程,取决于很多因素,一般有:① 用户方案的合理性:较合理的用户方案,更易影响相对不完整、不合理的用户方案。② 用户说服别人的能力:用户说服别人能力强于被交互用户时,更易影响其他用户方案。③ 用户不被别人说服的能力:当用户本身不被别人说服的能力较强时,即使该用户方案不够合理与完整,也不易被其它方案影响。

1.2 基于博弈理论的 SO 模型

用户方案交互的 3 种典型行为,与博弈理论有共通之处^[14]。ALESSANDRO 等^[15]在博弈理论基础上,提出了个体影响与被影响(Stubborn individuals and orators,SO)模型,与本文中用户个体交互情况更加接近。SO 模型,玩家 X 和玩家 Y 可以在 3 种不同的行为中进行选择:坚持观点、改变观点、互相妥协。博弈收益 ξ 的确定如下:① $\xi = +\mu$, 玩家 Y 改变观点。② $\xi = +\nu$, 玩家 X 坚持观点。③ $\xi = -\nu$, 玩家 Y 坚持观点。④ $\xi = -\mu$, 玩家 X 改变观点。⑤ $\xi = +\omega + 1/\rho$, Y 妥协向 X 观点靠拢。⑥ $\xi = -\omega + 1/\rho$, X 妥协向 Y 观点靠拢。此处 $\mu, \nu, \omega \in \mathbf{R}$, $0 < \nu, 0 < \mu, \omega < \mu$ 且假设 $\nu < \mu, \rho$ 为两用户观点的差异距离。

SO 模型还引入了 2 个变量, $\kappa (0 < \kappa < 1)$ 表示玩家说服对手的概率, $\lambda (0 < \lambda < 1)$ 为玩家不被对手说服的概率。最后,玩家 X 的收益如表 1 所示。玩家 Y 收益与玩家 X 相似。求解表 1 纳什均衡得:当 $\rho \leq 1/(\nu + \omega)$ 时,纳什均衡为 X 妥协且 Y 妥协;当 $\rho > 1/(\nu + \omega)$ 时,纳什均衡为 X 坚持且 Y 坚持。

表 1 SO 模型用户 X 的收益
Tab.1 Payoff of user X in SO model

X	Y 改变	Y 坚持	Y 妥协
改变	$\mu[\kappa_X(1-\lambda_Y)-\kappa_Y(1-\lambda_X)]$	$-\mu\kappa_Y(1-\lambda_X)-\nu\lambda_Y(1-\kappa_X)$	$\omega\kappa_X(1-\lambda_Y)-\mu\kappa_Y(1-\lambda_X)+(4\rho)^{-1}$
坚持	$\nu\lambda_X(1-\kappa_Y)+\mu\kappa_X(1-\lambda_Y)$	$\nu[\lambda_X(1-\kappa_Y)-\lambda_Y(1-\kappa_X)]$	$\nu\lambda_X(1-\kappa_Y)+\omega\kappa_X(1-\lambda_Y)+(4\rho)^{-1}$
妥协	$\mu\kappa_X(1-\lambda_Y)-\omega\kappa_Y(1-\lambda_X)+(4\rho)^{-1}$	$-\omega\kappa_Y(1-\lambda_X)-\nu\lambda_Y(1-\kappa_X)+(4\rho)^{-1}$	$\omega[\kappa_X(1-\lambda_Y)-\kappa_Y(1-\lambda_X)]+(2\rho)^{-1}$

1.3 用户个体博弈模型

SO 模型体现了用户的典型行为,用户被说服的概率都因个体不同存在差异等特征。GUTSTEIN 等^[16]和 ZHENG 等^[17]的研究指出了用户对产品方案的影响力存在差异,还有一些研究群体进化的文献也指出了精英个体在种群进化中

$$\mathbf{M}_i = \begin{bmatrix} \mu[\kappa'_X(1-\lambda_Y) - \kappa'_Y(1-\lambda_X)] & -\mu\kappa'_Y(1-\lambda_X) - \nu\lambda_Y(1-\kappa'_X) & \omega\kappa'_X(1-\lambda_Y) - \mu\kappa'_Y(1-\lambda_X) + (4\rho)^{-1} \\ \nu\lambda_X(1-\kappa'_Y) + \mu\kappa'_X(1-\lambda_Y) & \nu[\lambda_X(1-\kappa'_Y) - \lambda_Y(1-\kappa'_X)] & \nu\lambda_X(1-\kappa'_Y) + \omega\kappa'_X(1-\lambda_Y) + (4\rho)^{-1} \\ \mu\kappa'_X(1-\lambda_Y) - \omega\kappa'_Y(1-\lambda_X) + (4\rho)^{-1} & -\omega\kappa'_Y(1-\lambda_X) - \nu\lambda_Y(1-\kappa'_X) + (4\rho)^{-1} & \omega[\kappa'_X(1-\lambda_Y) - \kappa'_Y(1-\lambda_X)] + (2\rho)^{-1} \end{bmatrix}$$

(1)

SO 模型中观点距离 ρ 也由以下两函数代替

$$\rho(\kappa'_{Y,\lambda_X}) = \{4[\nu\lambda_X + \omega\kappa'_Y - (\nu + \omega)\lambda_X\kappa'_Y]\}^{-1} \quad (2)$$

$$\rho(\kappa'_{X,\lambda_Y}) = \{4[\nu\lambda_Y + \omega\kappa'_X - (\nu + \omega)\lambda_Y\kappa'_X]\}^{-1} \quad (3)$$

式(1)中用户观点值用 1 维常量表征,而关于产品方案的用户观点往往包含复杂的多维产品信息。考虑到用户在参与设计过程中提交的方案,一般都为简单的方案,并不包含详细的产品结构及功能与结构间复杂的耦合关系。为简化博弈模型,本文将用户方案用 1 组向量代替,向量的每个数值代表用户在产品某个子方案上的观点值。定义该向量形式为

$$\mathbf{S}_i = (f_1^i, \dots, f_j^i, \dots, f_m^i) \quad (4)$$

两用户交互时,关于每个子方案有单独的方案观点距离,其值为 $\rho_j^{xy} = |f_j^x - f_j^y|$ 。开放创新中两用户交互某子方案的纳什均衡,随两用户间观点距离 $\rho(\kappa'_{Y,\lambda_X})$ 和 $\rho(\kappa'_{X,\lambda_Y})$ 变化,解纳什均衡得:① $\rho_j^{xy} \leq \rho(\kappa'_{Y,\lambda_X})$ 且 $\rho_j^{xy} \leq \rho(\kappa'_{X,\lambda_Y})$,在 X 妥协、Y 妥协时获得纳什均衡。② $\rho_j^{xy} \geq \rho(\kappa'_{Y,\lambda_X})$ 且 $\rho_j^{xy} \geq \rho(\kappa'_{X,\lambda_Y})$,在 X 坚持、Y 坚持时获得纳什均衡。③ $\rho_j^{xy} \geq \rho(\kappa'_{Y,\lambda_X})$ 且 $\rho_j^{xy} \leq \rho(\kappa'_{X,\lambda_Y})$,在 X 坚持、Y 妥协时获得纳什均衡。④ $\rho_j^{xy} \leq \rho(\kappa'_{Y,\lambda_X})$ 且 $\rho_j^{xy} \geq \rho(\kappa'_{X,\lambda_Y})$,在 X 妥协、Y 坚持时获得纳什均衡。

最终的纳什均衡首先考虑除 SO 模型之外的用户影响力对交互结果的影响,其次考虑用户方案在局部子方案上的差异,因此与开放创新中用户个体交互情况更为贴近。

设在 t 时刻,两用户未交互前各自的方案分别为 $S_X(t)$ 和 $S_Y(t)$ 。交互后坚持自己的观点,方案值不变。如妥协并部分接受对方的观点,根据博弈理论,用户 X 方案值改变为

$$S_X(t+1) = S_X(t) + 0.5\kappa'_X(1-\lambda_Y)(S_Y(t) - S_X(t)) \quad (5)$$

用户 Y 方案值改变为

$$S_Y(t+1) = S_Y(t) + 0.5\kappa'_Y(1-\lambda_X)(S_X(t) - S_Y(t)) \quad (6)$$

的突出作用^[18-19]。本文在 SO 模型的基础上,结合相关研究,提出新的变量:影响力系数 $\delta(0 < \delta < 1)$ 。考虑影响力系数后,SO 模型中的 κ 被新的变量 κ' 代替,其中 $\kappa'_X = \kappa_X\delta_X$, $\kappa'_Y = \kappa_Y\delta_Y$ 。按照表 1 排列,考虑用户影响力系数的用户收益用矩阵表示为

2 用户参与设计群体交互特性

第 1 节中,从微观层面分析了两不同方案用户的典型交互行为。宏观角度来看,用户群体增长过程的典型特征、用户个体方案的演化差异、用户间的交互分布情况等,均影响产品最终方案形成。

2.1 用户参与设计过程分析

借鉴文献[20]对协同创新动态过程的阶段划分,本文将其大致分为 4 个阶段:① 初期阶段:提交产品方案的用户相对较少。② 增长阶段:几个有价值的用户方案涌现,触发其他用户的设计灵感,提交设计方案人数逐渐增加。③ 方案爆炸阶段:方案数量达到临界值时,知识爆炸效应出现,提交方案用户数量急剧增加。方案较合理的用户具有更大影响力,影响更多新用户方案形成。④ 融合决策阶段:用户间迭代交互并完善自身方案,逐渐形成主流产品模型。

可以看出,用户参与设计的群体网络随着参与用户的增加而不断增长,网络内用户间的交互具有随机性,用户与其他用户交互的概率与自身影响力成正比。

2.2 用户参与设计过程仿真

根据分析的用户群体网络增长特性,在 Netlogo 软件中建立网络增长模型。模型初期从两个相互连接的节点开始,表征为交互的两用户。每过一个时间步增加一个新的节点,新节点选择已有节点的概率与该节点的连接数成正比。依据复杂网络的相关概念,本文定义某节点相连接的边的数目为该节点的“度”。图 1 为网络特性图,由图 1 可以看出,随着网络的增长,网络节点度分布近似为幂律分布这一特征保持不变。

2.3 用户参与设计网络特征分析

类似的开放创新网络研究中,HUANG 等^[21]分析了开源社区的组织结构与演化机制,指出了开源社区中大量参与者构成了典型的无标度网络。无标

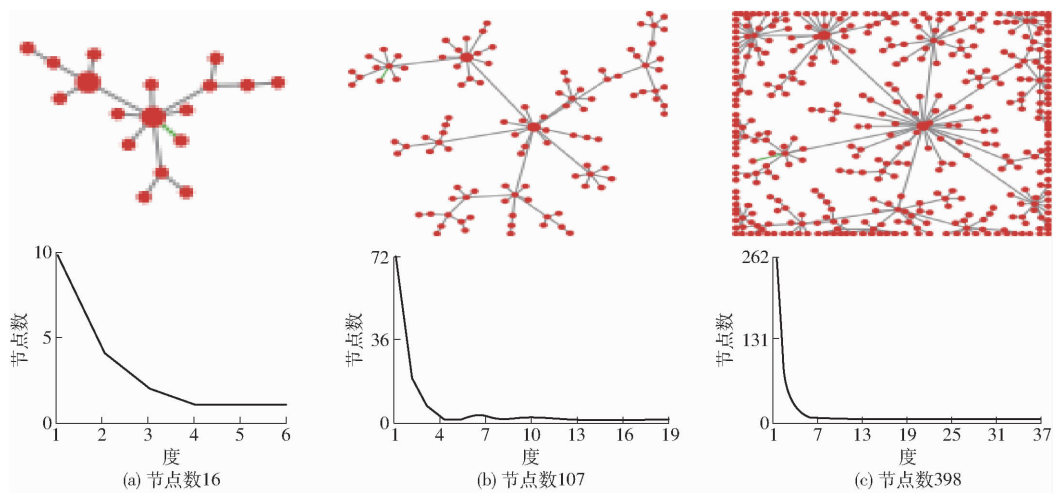


图 1 不同节点数的网络连接与度分布

Fig. 1 Network connection and degree distribution with different numbers of nodes

度网络模型有 2 个典型特征：① 增长：网络每一时间步中添加一个具有 m 条边的新节点。② 优先附加：新节点连接到已有节点的概率，与该被连接节点的连接数量成正比，网络中节点度分布呈幂律分布。通过用户参与设计网络群体的描述与相应仿真结果，比较无标度网络的定义，证明开放创新过程的动态系统具有典型的无标度网络特征。

3 用户参与设计过程仿真分析

3.1 仿真预处理

根据用户个体交互行为与群体交互的网络演化机制，采用 Monte Carlo 仿真方法^[22]，使用 Netlogo 6.0.2 软件^[23]对用户参与设计过程进行动态建模与仿真。

根据 ZHU 等^[24]的研究，将用户的需求强度分为 5 个等级：喜欢、同意、中立、忍受、厌恶。按照该 5 个等级将对应的用户方案值数字化为 0、1、2、3、4，用户各子方案的变化区间均经过映射标准化为该取值范围。在仿真过程中，用户的子方案值取值为 0~4 之间、符合正态分布的随机数，用户总方案值用式(4)所示的向量表示。用户自身博弈参数均用 0~1 的正态分布随机数表示。在特定的交互环境中，用户博弈收益 a 、 b 为固定值。因此在每次仿真中， a 和 b 的值不变。为将包含多维子方案的用户总体方案变化趋势用曲线表示，采用欧氏距离表征用户的方案向量与所有子方案值均为中值的中立方案间的相似程度，即

$$V_i = \frac{(f_1^2 - m^2) + \cdots + (f_j^2 - m^2) + \cdots + (f_m^2 - m^2)}{\sqrt{(f_1 - m)^2 + \cdots + (f_j - m)^2 + \cdots + (f_m - m)^2}} \quad (7)$$

3.2 仿真过程

仿真过程遵循理论模型中用户个体的交互演

化特征，以及用户群体的无标度网络动态增长特征。由 2 个初始的 Agent 开始，根据无标度网络特征定义网络的增长与连接概率。两 Agent 连接后，根据式(5)、(6)定义的函数，自身方案演化后达到纳什均衡。考虑到在用户参与后期，所有拟参与的用户均提交了产品方案，新的用户出现较少，仿真设置当无标度网络增至 200 个 Agent 时，Agent 数量停止继续增长，继续博弈交互 100 步后停止运行。

图 2 为当 $a = 0.1$ 和 $b = 1$ 时用户方案的演变过程，图中每条曲线代表 1 个用户方案演变的轨迹。图 3 为与图 2 对应的用户方案值的方差变化曲线，可以看到随着主流方案的形成，用户方案趋于收敛，但收敛过程较漫长。图 3 中，经过 300 次迭代后，方案方差终值为 0.037。用相同的仿真程序运行 5 次，

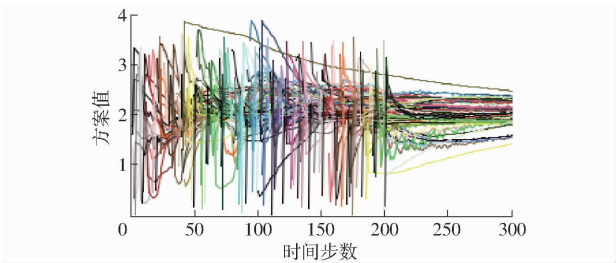


图 2 方案演化示意图 ($a = 0.1, b = 1$)

Fig. 2 Solution evolution diagram ($a = 0.1, b = 1$)

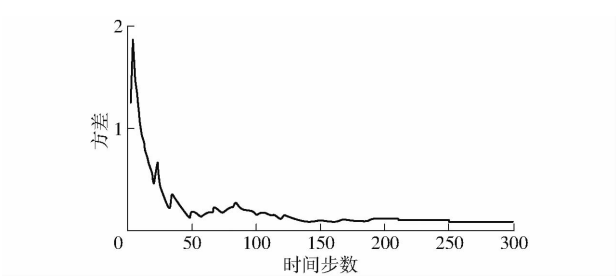


图 3 迭代 300 次方差曲线 ($a = 0.1, b = 1$)

Fig. 3 Variance curve of 300 iterations ($a = 0.1, b = 1$)

方差终值分别为 0.038、0.038、0.041、0.037、0.040，说明了仿真的稳定性。

3.3 仿真结论

表 2 为网络交互环境参数 a 和 b 不同取值时，

分别迭代 300 次后产品总体方案方差的集合。图 4 为根据表 2 离散点数据拟合的曲面，表明了方差（即收敛速度）随 a 和 b 变化而逐渐增加或逐渐减小，存在复杂的函数关系。

表 2 用户方案在不同创新环境下收敛方差
Tab.2 Convergence variance of user solutions in different innovation environments

a	b										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.1	0.065	0.027	0.029	0.030	0.045	0.024	0.041	0.178	0.153	0.044	0.037
0.2	0.174	0.104	0.094	0.137	0.031	0.035	0.105	0.019	0.024	0.077	0.060
0.3	0.083	0.013	0.135	0.232	0.054	0.020	0.060	0.016	0.068	0.036	0.040
0.4	0.037	0.047	0.086	0.100	0.012	0.268	0.056	0.024	0.053	0.056	0.147
0.5	0.066	0.039	0.113	0.043	0.064	0.052	0.204	0.093	0.080	0.069	0.061
0.6	0.023	0.145	0.036	0.132	0.141	0.033	0.069	0.090	0.241	0.082	0.164
0.7	0.106	0.035	0.061	0.139	0.221	0.079	0.079	0.058	0.104	0.165	0.034
0.8	0.053	0.026	0.148	0.100	0.170	0.045	0.061	0.038	0.114	0.099	0.119
0.9	0.108	0.050	0.145	0.071	0.140	0.070	0.042	0.054	0.106	0.101	0.140
1.0	0.031	0.046	0.172	0.052	0.080	0.075	0.188	0.186	0.106	0.077	0.257

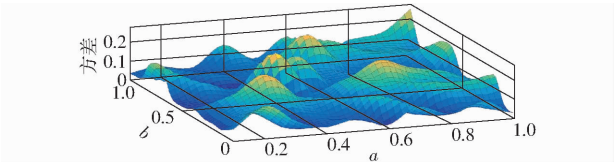


图 4 表 2 数据拟合的曲面
Fig.4 Surface fitting based on data in Tab.2

4 实验与分析

4.1 实验过程

以煤炭破碎机设计过程为实例，研究用户参与设计过程动力学特征。实验要求为设计一款可将块状煤炭破碎为粒度不超过 3 mm 的均匀颗粒，且允

许被破碎煤炭有一定的含水率。图 1 证明，参与设计用户数量并不改变设计网络的无标度特征，因此实验在一个 14 人团队中开展。参与者最后提出的产品方案与群体决策后的最终产品方案相似程度超过 90%，则该参与者可以获得较高的激励奖。在该交互环境设置下，较为合理的观点更容易获得认可，且用户改变自己某个子方案向较合理子方案靠拢的收益明显大于坚持自己的子方案的收益。

各成员初始提出的方案见表 3。参与者在提出初始方案后与其他参与者随机交流，并相互影响方案完善。经过多轮交流，当所有参与者的方案趋于稳定，总体方案无变化时，结束本次实验。

表 3 参与者初始方案
Tab.3 Participants' initial solutions

参与者	进料方式	出料方式	粉碎方式	最大破碎直径/mm	成本/元	允许含水率/%	碎部材质	噪声/dB	除尘	进料保护	远程诊断
P1	自由式	重力式	锤式	30	1000	10	42CrMo	25	脉冲	是	是
P2	自由式	重力式	齿辊式	*	*	*	42CrMo	50	手动	是	否
P3	可调式	*	光辊式	*	*	50	6542	100	*	否	*
P4	自由式	*	齿辊式	25	800	*	*	50	脉冲	是	否
P5	自由式	筛选式	齿辊式	*	*	*	*	*	*	是	*
P6	*	*	齿辊式	50	*	*	42CrMo	*	*	*	*
P7	自由式	*	齿辊式	*	*	*	*	*	手动	*	*
P8	*	*	齿辊式	75	1200	*	*	*	*	是	*
P9	自由式	筛选式	齿辊式	*	*	*	*	*	*	*	否
P10	可调式	筛选式	光辊式	60	500	30	40Cr	200	无需	否	是
P11	*	筛选式	*	90	*	*	*	*	*	*	否
P12	可调式	筛选式	锤式	*	*	20	*	50	*	*	*
P13	自由式	*	齿辊式	*	*	*	*	50	*	*	*
P14	自由式	重力式	*	*	*	*	40CrNiMo	*	*	*	*

4.2 实验数据分析

首先将表 3 中每个子方案用数值表示。当子方

案为连续值时，如最大破碎直径，则确定该连续值区间的上、下限，下限取值为 0，上限取值为 1，中间值按

照在上下限区间的位置取值。如子方案为离散值,考虑到实验目的为考察产品方案的动态演变特性,该特性与离散值上下限映射方案选择无关,因此可随机确定。如粉碎方式为锤式、齿辊式与光辊式 3 种,则随

机将锤式取值为 0、齿辊式取值为 0.5、光辊式取值为 1。对于参与者在某个子方案暂时没有确定观点的情况,以该子方案区间的中值作为缺省值代替。数值化后可获得表 3 映射的参与者方案,见表 4。

表 4 数据化参与者初始方案
Tab. 4 Digitized summary of participants' initial solutions

参与者	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
P1	0	0	0	0.33	0.83	0.20	0	0.13	0	1	1
P2	0	0	0.50	0.50	0.50	0.50	0	0.25	0.50	1	0
P3	1	0.50	1	0.50	0.50	1	0.33	0.50	0.50	0	0.50
P4	0	0.50	0.50	0.28	0.67	0.50	0.50	0.25	0	1	0
P5	0	1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1	0.50
P6	0.50	0.50	0.50	0.55	0.50	0.50	0	0.50	0.50	0.50	0.50
P7	0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
P8	0.50	0.50	0.50	0.83	1	0.50	0.50	0.50	0.50	1	0.50
P9	0	1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0
P10	1	1	1	0.67	0.42	0.60	0.67	1	1	0	1
P11	0.50	1	0.50	1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0
P12	1	1	0	0.50	0.50	0.40	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50
P13	0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50
P14	0	0	0.50	0.50	0.50	0.50	1	0.50	0.50	0.50	0.50

根据式(7),将参与者子方案值组成的数据降维为 1 维数值。每轮交流后,记录降维数据形成如图 5 所示,相应的参与者均方差如图 6 所示。由图 6

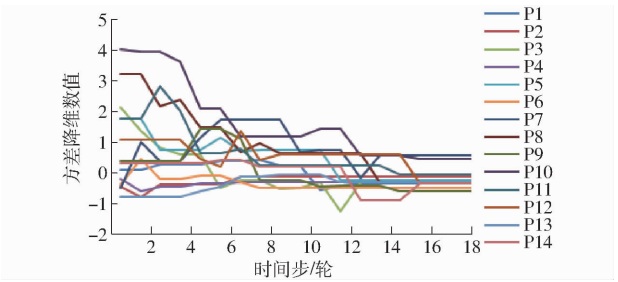


图 5 参与者方案降维数值变化过程

Fig. 5 Changing process of dimension reduction number of participant solution

可知,参与者方案的差异随时间变化逐渐缩小,并在第 16 次交流后达到稳定。在监测到第 17~19 次交流中,用户方案均无变化后,实验结束。破碎机最终产品方案见表 5。

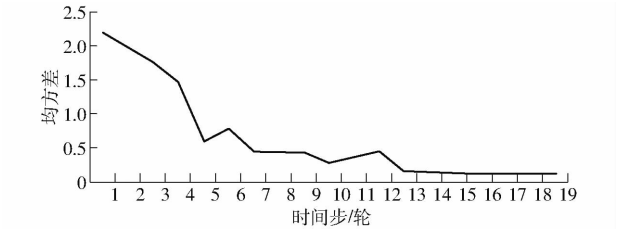


图 6 方案均方差变化过程

Fig. 6 Changing process of mean square deviation of solutions

表 5 破碎机最终方案
Tab. 5 Final solution of crusher

进料方式	出料方式	粉碎方式	破碎直径/mm	成本/元	含水率/%	碎部材质	噪声/dB	除尘	进料保护	远程诊断
自由式	重力式	齿辊式	50	800	30	42CrMo	25	脉冲	是	否

4.3 实验结果

根据实验过程与最终结果可得:① 实验过程中用户个体、群体方案均动态演化,验证了理论模型的正确性。② 通过降维后图形,监测到群体方案随交流次数增加而逐渐收敛,因此实验与动力学仿真吻合。③ P1 与 P10 初始方案较完善,其他方案交流中均向其接近,验证赋予用户影响力系数正确性。

5 结论

(1)基于博弈理论及用户参与设计过程交互特征分析,获得了开放式设计过程中用户个体交互的博弈模型。该博弈模型综合了用户观点动态演化和用户间博弈合作的特征,因此可准确映射用户在开放式设计过程的行为规律。

(2)基于复杂网络理论及用户群体互动演化分

析,获得开放式设计过程中用户群体的复杂网络特征与演变规律。

(3)采用 Monte Carlo 仿真方法,研究了开放式设计用户群体方案演化的定性规律,得出参与设计的用户规模及过程中交互环境的变化均不能改变产品模型逐渐收敛的趋势,该结果为用户参与设计模

式向大规模用户开放提供理论依据。

(4)产品总体方案收敛速度与用户交互环境参数有关,复杂且无明显规律。因此,对用户参与产品设计过程进行动态监测非常重要,以及时调整交互环境,引导设计过程按照预期周期和目标收敛。

参 考 文 献

- [1] ZOBEL A. Benefiting from open innovation: a multidimensional model of absorptive capacity[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2017, 34(3):269–288.
- [2] WEST J, BOGERS M. Open innovation: current status and research opportunities [J]. *Innovation Management Policy & Practice*, 2017, 19(1):1–8.
- [3] GREENSTEIN S. The emergence of the Internet: collective invention and wild ducks [J]. *Industrial and Corporate Change*, 2010, 19(5):1521–1562.
- [4] SCHULTE-RÖMER N. Extraordinary LED installations: events for user-innovation interaction [J]. *Industry and Innovation*, 2018, 25(7):699–727.
- [5] RICE E, ROBIN P, STRINGFELLOW E, et al. Innovations in community-based and interdisciplinary research: a network perspective on innovation in social work science [J]. *Research on Social Work Practice*, 2017, 27(2):189–193.
- [6] MOLICK E, ROBB A. Democratizing innovation and capital access: the role of crowdfunding [J]. *California Management Review*, 2016, 58(2):72–87.
- [7] BOGERS M, ZOBEL A K, AFUAH A, et al. The open innovation research landscape: established perspectives and emerging themes across different levels of analysis [J]. *Industry and Innovation*, 2017, 24(1):8–40.
- [8] CARROLL G P, SRIVASTAVA S, VOLINI A S, et al. Measuring the effectiveness and impact of an open innovation platform [J]. *Drug Discovery Today*, 2017, 22(5):S135964461730034X.
- [9] HOFSTETTER R, ZHANG J Z, HERRMANN A. Successive open innovation contests and incentives: winner-take-all or multiple prizes? [J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2017, 35(4):492–517.
- [10] RIEDL C, BLOHM I, LEIMEISTER J M, et al. Rating scales for collective intelligence in innovation communities: why quick and easy decision making does not get it right [C] // *International Conference on Information Systems*, Saint Louis, USA: DBLP, 2010:1–9.
- [11] MARTÍNEZ T, MARÍA R, RODRIGUEZ F, et al. Customer preferences versus managerial decision-making in open innovation communities: the case of Starbucks [J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2015, 27(10):1–13.
- [12] GIANNOCCARO I, NAIR A. Examining the roles of product complexity and manager behavior on product design decisions: an agent-based study using NK simulation [J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2016, 63(2):237–247.
- [13] HAMD L, KEINZ P, NAGARD L, et al. Comparing lead users to emergent-nature consumers as sources of innovation at early stages of new product development [J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2019, 36(5):616–631.
- [14] OSBORNE M J, RUBINSTEIN A. A course in game theory [J]. *Economica*, 1996, 63(249):164–165.
- [15] ALESSANDRO D M, VITO L. Opinion formation models based on game theory [J]. *International Journal of Modern Physics C*, 2006, 18(9):1377–1395.
- [16] GUTSTEIN A, BREM A. Lead user projects in practice-results from an analysis of an open innovation accelerator [J]. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 2018, 15(2):1850015.
- [17] ZHENG P, XU X, XIE S Q. A weighted interval rough number based method to determine relative importance ratings of customer requirements in QFD product planning [J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2019, 30(1):3–16.
- [18] 包志炎,王学斌,计时鸣,等.面向定制产品进化设计的优势种群产生策略[J/OL]. *农业机械学报*, 2018, 49(1):404–413. BAO Zhiyan, WANG Xuebin, JI Shiming, et al. Generating strategy of superior population for customization products evolutionary design [J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(1):404–413. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180151&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.01.051. (in Chinese)
- [19] 吴金妹,王亚辉,贾晨辉.基于正交设计模型的多目标进化算法[J/OL]. *农业机械学报*, 2017, 48(2):362–369, 392. WU Jinmei, WANG Yahui, JIA Chenhui. Multi-objective evolutionary algorithm based on orthogonal designing model [J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(2):362–369, 392. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170249&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.02.049. (in Chinese)
- [20] TAN L, TANG D, CHEN W. Dynamic model and simulation of open innovation in product development [J]. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2019, 32(3):253–267.
- [21] HUANG H Y, LE Q, PANCHAL J H. Analysis of the structure and evolution of an open-source community [J]. *Journal of Computing & Information Science in Engineering*, 2010, 11(3):031008 (1–14).
- [22] PATRICK A. Monte carlo simulation of defluent opinion dynamics with quality differences [J]. *International Journal of Modern Physics C*, 2004, 15(10):1439–1447.
- [23] KAHN K. An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NETLOGO [J]. *Physics Today*, 2015, 68(8):55–57.
- [24] ZHU D S, LIN C T, TSAI C H, et al. Study on the evaluation of customers satisfaction-the perspective of quality [J]. *International Journal for Quality Research*, 2010, 2(4):105–116.