



“互联网 +”条件下制造业协作关系优化升级

耿超¹, 曲世友¹, 林廷宇^{2,3,4*}, 肖莹莹^{2,3,4}, 贾政轩^{2,3,4},
施国强^{2,3,4}, 王玫^{2,3,4}, 马秋丹⁵

1. 哈尔滨工业大学管理学院, 哈尔滨 150001

2. 北京电子工程总体研究所复杂产品智能制造系统技术国家重点实验室, 北京 100854

3. 北京仿真中心北京市复杂产品先进制造系统工程技术研究中心, 北京 100854

4. 北京仿真中心航天系统仿真重点实验室, 北京 100854

5. 中国人民大学商学院, 北京 100872

* 通信作者. E-mail: lintingyu2003@sina.com

收稿日期: 2018-01-02; 接受日期: 2018-03-18; 网络出版日期: 2018-07-20

国家高技术研究发展计划 (863 计划) (批准号: 2015AA042101) 资助项目

摘要 互联网条件下的制造业协作关系是复杂网络系统. 为了充分把握它的内在规律, 指导我国制造业与互联网融合发展实现转型升级, 本文研究提出“互联网 +”条件下制造业协作关系优化升级模型——基于控制理论框架的闭环反馈控制模型, 设计基于复杂社会网络理论的分析评估指标体系, 并基于大型制造业互联网协作平台实际运行的微观数据进行实证分析. 结果表明, “互联网 +”有助于显著改善制造业协作关系的质量, 提升整体的协作和创新绩效.

关键词 复杂社会网络, 建模与分析, 优化升级, 协作关系, 互联网 + 制造业

1 引言

当前, 全球新技术革命和产业变革的时代^[1,2], 新兴信息通信技术快速发展并与制造技术的深度融合, 正引发制造业制造模式、制造流程、制造手段、生态系统等重大变革^[3,4]. 在传统的制造系统中供应商、资源/能力需求者的协作关系是层级化绑定的, 要求供应链稳定和固化^[5], 追求空间临近和聚集^[6]. 而以互联网为载体, 以云计算、物联网、大数据等为代表的新兴技术的快速扩散, 正在催生出“大规模个性化定制、网络化协同制造和服务型制造”等很多新型的协作关系¹⁾. 鉴于互联网强大的替代性、渗透性、对新技术的扩散性, 以及因此带来的颠覆性影响, 国家正式提出“互联网 +”行动计

1) 国务院. 国务院关于积极推进“互联网 +”行动的指导意见. 2015-7-4. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-07/04/content_10002.htm.

引用格式: 耿超, 曲世友, 林廷宇, 等. “互联网 +”条件下制造业协作关系优化升级. 中国科学: 信息科学, 2018, 48: 810-823, doi: 10.1360/N112018-00002
Geng C, Qu S Y, Lin T Y, et al. The optimization and upgrading of the collaborative relationship in “Internet +” manufacturing industry (in Chinese). Sci Sin Inform, 2018, 48: 810-823, doi: 10.1360/N112018-00002

划,并进一步发布“国务院关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见”,希望通过“互联网+”可以“重塑创新体系、激发创新活力、培育新业态和创新公共服务模式”。本文的“互联网+”指的是以互联网为载体,运用新兴信息通信技术,通过平台化的手段进行资源/能力的整合,支撑业务的开展和模式的创新,以期推动制造业协作关系的变革、效率的提升。

关于以互联网为载体的信息通信技术对产业及其协作关系发展的影响,文献[7]通过对中国实际经济增长数据的实证分析,指出信息通信技术对经济增长存在替代效应和渗透效应(其中替代效应是指信息通信技术资本对其他资本的替代,直接支撑经济增长;渗透效应是指信息通信技术通过应用于各产业部门,提高全要素生产率,间接促进经济增长)。文献[8]提出产业集群的互联网化升级,即借助互联网技术建立信息空间临近的“互联网+”型产业集群,主要升级模式包括电商驱动型(先优化外部互动关系,再进行内部结构调整)和工业4.0驱动型(先优化内部资源配置,再建立外部与客户的直接联系),最终构建全新的产业生态。文献[9]分析了新的信息通信技术对产业空间组织的影响,提出互联网是全球生产网络扩展的催化剂,是地方产业集群演化的驱动力。文献[10]提出互联网的发展正改变服务业的基本性质,引起了广泛的资源重组与聚合,产生了如平台经济学等新的研究方向。文献[11]提出“互联网+”可以重构中医药全产业链博弈关系和发展模式。

以上述研究为代表,目前所知的研究主要偏宏观数据分析或者定性逻辑分析,在组织和空间上也有一定的局限(如局限在企业(集团)、区域、行业/产业等层面)。但是,众所周知,互联网是一个可汇聚近乎无限多企业的载体,是一个开放的,具有协同、博弈、涌现和不确定性的复杂巨系统,互联网条件下的制造业协作关系是一个复杂网络系统,宏观或者定性的研究难以充分把握它的作用规律,因此难以从政策建议、策略指导上给出更有说服力的意见和建议。本文拟在已有研究成果的基础上,从定量角度开展“互联网+”条件下制造业协作关系优化升级的建模与分析,分析“互联网+”条件下制造业协作关系优化升级的演化路径和“互联网+”的影响效应,并从大型的制造业互联网协作平台的实际运行的微观数据中找到有说服力的证据,以深入揭示“互联网+”对制造业协作关系优化升级的作用,用于指导我国制造业通过两化深度融合找到实现转型升级的有效途径。本文的创新点和贡献主要包括:

(1) 从可汇聚近乎无限多企业的开放平台的角度研究制造业协作关系,提出“互联网+”条件下制造业协作关系优化升级模型。

(2) 引入复杂社会网络理论,设计控制模型的评估指标体系,支持开展定量分析评估。

(3) 基于大型制造业互联网协作平台实际运行的微观数据进行大数据分析,通过实证揭示“互联网+”对制造业协作关系优化升级的作用。

本文其他章节的安排如下:第2节给出相关研究基础;第3节提出“互联网+”条件下制造业协作关系优化升级模型;第4节针对该控制模型给出基于复杂社会网络理论的评估指标;第5节进而基于大数据开展了实证分析;第6节给出主要结论。

2 相关研究基础

(1) 制造业协作关系研究。目前关于制造业协作关系的相关研究有:文献[12,13]提出,企业间的协作关系分为3种类型:一是基于服务互补形成的网络协作关系;二是外生服务依赖形成的网络协作关系;三是内生嵌入型服务形成的网络协作关系。文献[14,15]提出企业之间的协作关系分为弱连带关系、强连带关系、有效连带关系等。处于不同类型协作关系的企业之间的协作意愿、协作价值和协作收益和剩余不同,锁定的程度和影响也不同。文献[16]则基于互联网视角,研究了开放式创新模式下

企业合作博弈,结果表明通过互联网可以以低成本、广范围地寻找创新资源,开放式创新模式可以提高创新效率。以上研究较好地阐释了协作产生的层次和特点,以及互联网开放环境下企业竞争与合作的新形式,但还未能解释在基于互联网的开放环境下企业之间能否增进协作,并且通过协作在整体市场环境增强竞争力。

(2) 复杂社会网络研究方法。目前采用复杂社会网络研究方法的相关研究有:文献 [17] 以比亚迪为实例研究了网络特征与产业结构的关系,特别是结构洞对产业链、产业链整合以及企业成长的影响。文献 [18] 基于复杂网络理论研究了区域产业结构网络模型,分析了出度分布、入度分布、权分布、最大最短距离等特征。文献 [19] 基于中国 ICT 产业产学研合作的实证分析了合作网络“小世界性”对企业创新绩效的影响。文献 [20] 通过度数中心度、Bonacich power 参数等讨论了科技中介的网络位置对产业集群绩效的影响。文献 [21] 通过对 G7 与 BRIC 历年投入产出数据的网络中心度、网络中心势等网络指标分析对二期产业结构演进进行了比较研究。以上研究表明,复杂网络的典型指标(如度分布、结构洞、小世界性、中心性、网络密度等)是当前经济管理领域产业结构及协作关系方法的重要方法。但传统的研究主要局限于企业(集团)、区域、行业/产业内,很少从可汇聚近乎无限多企业的开放平台的角度,对协作关系的结构、行为和绩效进行研究。

(3) 网络效应对协作关系结构影响研究。目前关于网络效应对协作关系结构影响的相关研究有:文献 [22] 在复杂性视角下对间接网络效应下的产品扩散进行了研究,研究表明间接网络效应更多体现了市场中介的影响。文献 [23, 24] 分别分析了网络环境下的企业家口碑、意见领袖特点对网络其他参与者行为的影响。文献 [25] 研究了网络效应下的平台竞争,发现当平台战略成为企业的主要竞争模式时,产品的网络效应越大,企业之间的合并重组便成为产业发展新常态,互联网经济在很大程度上改变了传统产业组织理论的应用基础。文献 [26] 研究了网络环境下平台企业的运营策略,发现当平台企业无法利用网络效应时,应依托各种“非网络效应诱因”吸引用户进入生态圈,不断激发网络效应,反之,则应充分利用网络效应迅速扩张规模。这些研究都表明,制造企业在开放互联网环境下的协作关系具有典型的双边市场特征,平台、供需、企业三者间存在复杂的交互作用,对整个制造产业的发展规模和融合深度产生重要影响。

3 “互联网+”条件下制造业协作关系优化升级模型

(1) 制造业协作关系。社会网络理论认为,网络是由一群节点以及节点之间的连接所组成。对应到本文的研究内容,节点代表一个企业(集团);连接代表节点的相互关系,如协同研发、采购、生产、营销、售后等协作关系。从可汇聚近乎无限多企业的开放平台的角度考虑,虽然早期的企业进入网络是因为地缘(如产业园区企业被推动统一上线)、亲缘(如行业协会企业被推动统一上线)、业缘(如龙头企业带动配套企业整体上线),但是作为一个高效、全联通的协作网络,能有效降低协作成本、消除信息不对称性从而吸引更多的企业入驻(开放效应);而且随着进入网络的企业数量和类型越来越多,业务协作对象的可选择性越来越广、组合柔性越来越高(规模效应)。

(2) “互联网+”条件下制造业协作关系优化升级的演化路径。从可汇聚近乎无限多企业的开放平台的角度,我们将制造业协作关系优化升级的理想路径划分为局部连通的业务网络、全面互联的商业网络、开放组织的创新网络。表 1 分析了“互联网+”对制造业协作关系优化升级路径中各阶段的作用。

(3) 基于控制理论框架的闭环反馈控制模型。基于以上论述,借鉴控制理论框架,“互联网+”对制造业协作关系优化升级的影响被设计成具有闭环反馈的系统。如图 1 所示,该模型具体包括如下组

表 1 演化路径中各阶段的模式、手段和业态特征

Table 1 The characteristics of paradigm, means and ecosystem of each stage in the evolutionary path

	(1) Local inter-connected business network	(2) Comprehensive interconnected commercial network	(3) Open self-organizing innovation network
Paradigm:	Networked manufacturing (collaboration from off-line to on-line)	Service-oriented manufacturing (horizontal optimization of the value chain)	Mass customization (user-centered collaborative innovation)
Means:	Enhance the efficiency of all kinds of collaboration and enhance the connection capability of nodes	Provide full connectivity and promote equal opportunities between nodes	Enhancing openness and resource sharing on demand and promote the cross "reaction"
Ecosystem:	Local inter-connected, collaborative relationship is fixing and stable	Comprehensive interconnected, vertical cooperation and horizontal competition in value chain, flexible	Factor composition on demand, innovation ability upgrade, more flexible

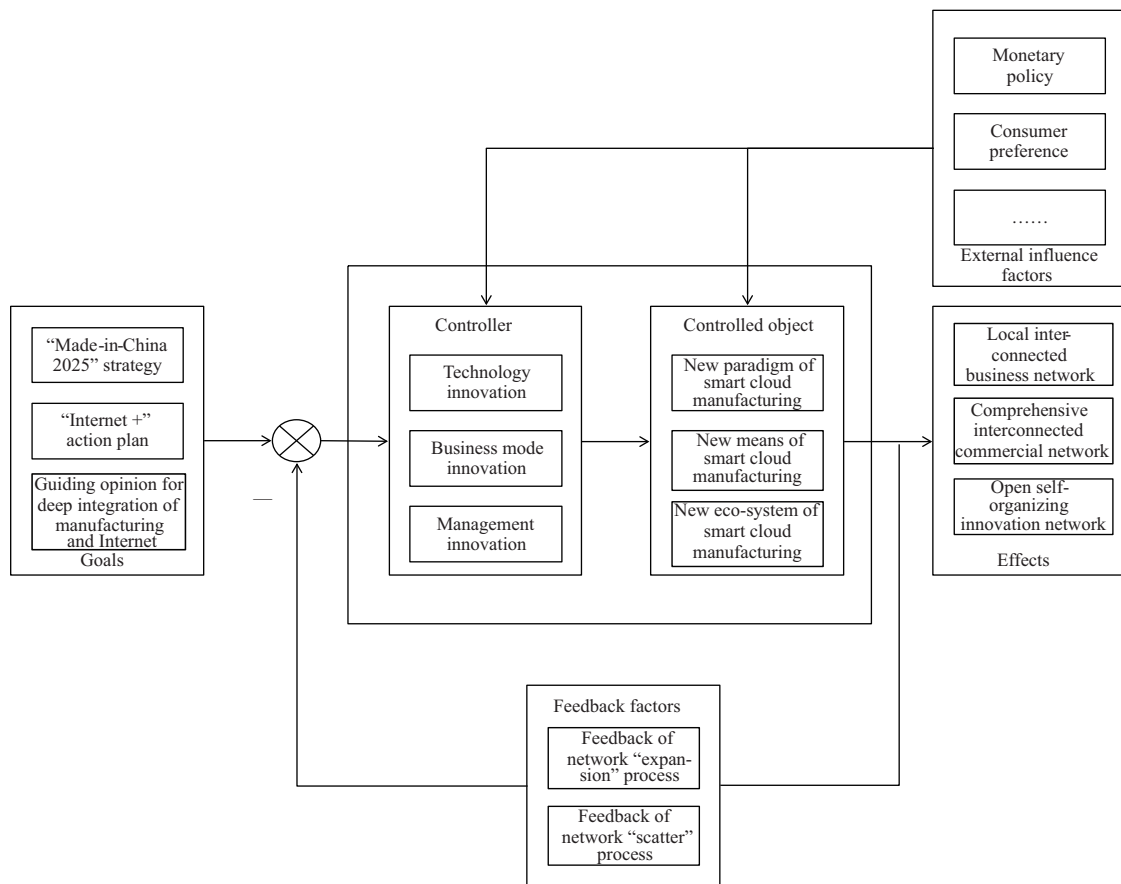


图 1 “互联网 +” 对制造业协作关系优化升级的控制模型

Figure 1 The control model of optimization and upgrading for the collaborative relationship in “Internet +” manufacturing industry

成部分.

设定目标: “互联网 +” 行动计划等政策提出的培育新型协作关系, 提升制造业整体的协作和创新

绩效的目标.

被控对象: 互联网条件下的制造业协作关系, 它将不断演化出新的模式、手段和业态 (生态).

控制器: 制造业与互联网融合发展过程中所采取的技术创新、商业模式创新和管理创新.

外部因素 (干扰): 政治、市场、社会等各类环境中的安全稳定、货币政策、能用价格、消费偏好等相关影响因素.

反馈环节: 根据演化经济学的规律^[27,28], 制造业协作关系作为复杂网络系统, 其“扩”、“散”过程产生的反馈作用.

输出效果: 制造业协作关系从局部连通的业务网络, 到全面互联的商业网络, 再到开放组织的创新网络.

(4) 预计动态过程——待检验假设. 针对上述闭环反馈框架, 预计控制系统的动态过程 (假设) 如下, 下文将从实证角度对假设 1 和 2 分别进行分析评估.

假设 1. 对于企业 (集团) 间协作关系而言, 企业可以寻求更多的合作伙伴和合作机会, 即促进了企业合作伙伴数量上升、企业间的合作强度增大、平均/总合作持久度保持稳定上升, 每个企业在网络中的作用都得到充分体现.

假设 2. 对于整体产业协作关系而言, 产业协作关系可以突破地缘、亲缘和业缘的限制, 促进更广泛合作关系建立、更大合作空间扩张, 形成从局部连通的业务网络, 到全面互联的商业网络, 乃至开放组织的创新网络的发展路径.

4 基于复杂社会网络理论的模型分析评估指标

本文基于复杂社会网络理论针对控制模型设计分析评估指标体系^[29~31], 将复杂社会网络特征指标体系分为两类, 包括基于企业自身特性指标和基于全网特性指标. 下面逐一进行介绍.

(1) 基于企业自身特性指标

(i) 平均最短路径. 平均最短路径测量连接网络中任意两个节点之间最短路径的平均长度, 平均最短路径越小说明网络节点之间凝聚性越强. 在本文中, 该值给出了协作业务由企业 i 流入到企业 j 的过程中所经过的中间企业数目的平均水平^[31].

(ii) 接近中心度. 节点的接近中心性以该节点到网络中其他节点的最短距离对该节点的中心化程度进行刻画, 其具体定义为^[32]

$$C_c(i) = \frac{N-1}{\sum_{j=1}^N d_{ij}}, \quad (1)$$

其中, d_{ij} 为网络中节点 i 到节点 j 之间实际产生协作的距离.

企业与网络中其他企业的最短距离之和越小, 其合作伙伴与潜在合作伙伴数目越多, 其与网络中其他企业之间合作与交易受到的限制约束越小, 交易与合作越容易. 另外, 从接近中心度的分布上还可以反映出网络连接的紧密程度.

(iii) 网络节点强度. 网络强度描述的是节点之间联系的强度大小, 具体到本文中, 则反映了产业集群网络中企业间交易频次的大小. 网络中节点 i 的网络强度定义为^[32]

$$S_i = \sum_{j=1}^N a_{ij} w_{ij}, \quad (2)$$

其中, w_{ij} 为以 i 为供应商、 j 为需求方所完成交易的次数. a_{ij} 为网络邻接矩阵 A 中的元. 邻接矩阵描述了网络节点间的连接情况, 具体描述如下:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{若有从 } i \text{ 到 } j \text{ 的连接,} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases}$$

(iv) Bonacich 中心度 (Bonacich power). Bonacich 认为一个节点的中心性不仅取决于其自身在网络中的连接程度, 也取决于其邻居在网络中的连接程度. 因此 Bonacich 定义了 Bonacich power 将节点周围邻居的连接情况加入一衡量节点的中心性: 当 Bonacich power 中定义的衰减因子为负值时, 若某节点拥有多个连接数少的邻居, 则邻居对其依赖性强, 此节点重要^[33]. 这样 Bonacich power 从中心程度之外的一个角度对节点的重要性进行了刻画.

(2) 基于全网特性指标

(i) 网络密度. 网络密度描述的是网络中节点间的连接紧密程度, 其值越高, 则网络中节点之间连接越充分, 越紧密, 其具体计算表达式为

$$D = \frac{L}{N(N-1)/2}, \tag{3}$$

其中, L 为网络中企业间实际交易数目, N 为网络中的企业数目.

(ii) 加权聚集系数. 加权聚集系数将网络的权重特征引入到了聚集系数中, 从而对加权网络的聚集特性进行分析. 在本文所研究的协作网络中, 边的权值 w_{ij} 为以 i 为供应商、 j 为需求方所完成交易的笔数. 借助 UCINET 软件, 整个网络的加权聚集系数表现为网络中所有节点的聚集系数按节点度数进行加权平均值.

(iii) 小世界熵. 小世界熵是将网络平均最短路径和聚集系数融合在一起, 构成衡量网络是否具有小世界特征的指标. 小世界熵值越大, 说明网络的小世界特征越明显, 其具体计算表达式为^[32]

$$SQW = \frac{c_{\text{global}}^w}{c_{\text{global}}^r} \bigg/ \frac{L}{L^r}, \tag{4}$$

其中, c_{global}^w , c_{global}^r , L 和 L^r 分别为网络的加权聚集系数、与涉及网络等规模的随机网络的加权聚集系数、涉及网络的平均最短路径长度及与涉及网络等规模的随机网络的平均最短路径长度. 从上述表达式可以看出, 在此项指标的计算中需要引入一个与所研究网络同等规模的随机网络. 对于此随机网络, 本文采用 Erdos-Renyi 随机网络进行求解计算.

(iv) 度数中心度和中心势. 通过节点度数可以简单衡量该节点中心性的指标, 度数中心度则描述的是一个节点与网络中其他节点产生联系的能力, 其中, 常见的 Hub 类型节点就是一种高度数中心性节点. 节点度数中心度的具体数学定义为^[32]

$$C_D(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij}, \tag{5}$$

其中, a_{ij} 为网络邻接矩阵 A 中的元素.

在本文中, 由于考虑的是有向图, 则分别对网络的入度中心度、出度中心度和全度中心度进行考虑, 给出表达式如下^[32]:

$$C_{D_{\text{in}}}(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij}, \quad C_{D_{\text{out}}}(i) = \sum_{i=1}^N a_{ij}, \quad C_{D_{\text{all}}}(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} + \sum_{i=1}^N a_{ij}, \tag{6}$$

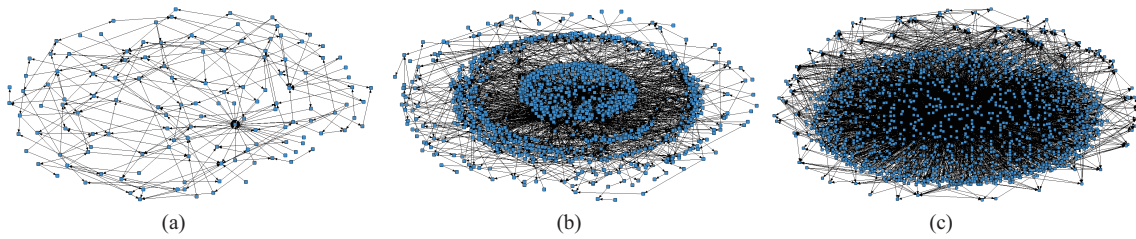


图 2 (网络版彩图) 网络拓扑结构图

Figure 2 (Color online) Network topology diagram. (a) Network 1; (b) network 2; (c) network 3

其中, N 为网络中节点的数目, a_{ij} 表示是否存在以企业 i 为供应商、企业 j 为需求方的交易的邻接矩阵元素.

通过同时考虑所有节点的中心度, 可得到网络的中心势指标, 从而刻画网络的整体度数中心性. 网络中心势的具体数学表达式为

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N (C_D^{\max} - C_D(i))}{\max[\sum_{i=1}^N (C_D^{\max} - C_D(i))]}, \quad C_D^{\max} = \max_{i \in \{1, \dots, N\}} C_D(i). \quad (7)$$

本文分别对入度中心势、出度中心势以及全度中心势进行计算.

(v) 特征向量中心度和中心势. 特征向量中心度承认并不是所有连接都具有同等价值. 一般而言, 与具有较强创新影响力的节点有连接比与具有较弱创新影响力的节点有连接更能增强一个节点对于网络的影响力. 通过标记包含研发设计类型交易, 采用与度数中心度和中心势类似的计算方法, 可以得到特征向量中心度和中心势, 从而对于整个网络真正的创新核心化程度进行计算.

5 基于大数据的实证分析

(1) 数据来源及处理

本文主要采用大型制造业互联网协作平台 (我国首个工业互联网云平台 “航天云网”) 实际运行的微观数据, 包括自 2013 年至 2016 年的注册企业信息、地理分布以及入网企业之间的线上交易数据. 根据线上协作发生时间按阶段统计处理 (2015.12~2016.4, 2015.12~2016.8, 2015.12~2017.1), 以协作发起方为入、参与方为出, 分别形成 3 张有向图网络; 去除网络中的重边、环结构 (Loop), 将重边上的值 (初始为 1) 进行相加, 并去除尚未参与到协作中的网络节点, 得到图 2 所示 3 张网络. 下文基于大数据的实证分析将基于这 3 张网络进行.

在工具上, 本文主要基于大型制造业互联网协作平台进行数据采集和统计, 采用 UCINET 及 Pajek 软件对网络的复杂社会网络特征指标进行求解, 辅助采用 Matlab 程序进行计算. 在方法上, 借鉴云制造对合作关系^[34]和复杂网络系统演化^[35]的分析方法进行数据处理和分析.

(2) 数据分析与讨论

(i) 企业 (集团) 间协作关系层面. 本部分主要基于企业自身特性指标的分析, 对假设 1 进行验证.

在平均最短距离方面, 从表 2 可以看出, 随着网络的演化, 平均最短路径长度逐渐下降, 结合图 3 中可达平均最短路径的分布可以看到, 所有节点平均最短路径长度的平均值下降的同时, 网络中各节点的平均最短路径也呈缩短趋势, 网络连接的紧密程度持续增加.

在网络接近中心度方面, 从图 4 中可以看到, 网络的接近中心度整体上呈现增长趋势, 在分布图中占据比例较高的入接近中心度值逐渐向坐标系右侧移动, 而出与入接近中心度相同, 也呈现右移趋

表 2 网络平均最短路径长度

Table 2 Average length of shortest network path

Network	Average length of shortest network path
Network 1	6.4
Network 2	4.7
Network 3	4.1

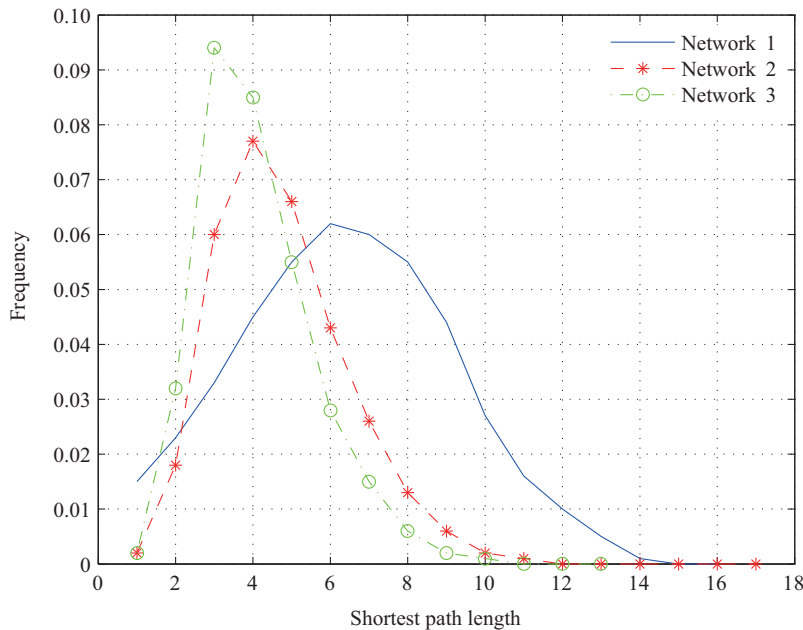


图 3 (网络版彩图) 可达最短路径分布

Figure 3 (Color online) Distribution of the shortest path could be reached

势. 这表明, 线上协作受到其他企业牵制的企业数目逐步减少, 企业对合作及合作伙伴的选择自由度增强.

从以上两点分析可知, 随着网络的发展, 企业间的合作频次、合作伙伴数量以及合作机会均有所上升.

在边权强度方面, 本文通过整个网络节点的平均强度对边权强度进行刻画. 从表 3 中可以看到, 随着协作网络的演变, 网络节点的平均强度逐渐增强, 这表明, 随着“互联网+”运用的深入, 企业间协作网络的边权强度逐渐增强, 合作关系更加密切, 合作强度逐步增大.

在 Bonacich 中心度方面, 从图 5 中可以看出, 在网络 1~3 的演化过程中, 网络中被其他企业依赖以及依赖于其他企业的企业数目减少, 企业间的合作关系得到扩展, 合作伙伴数量上升. 这表明, 随着产业集群网络的发展, 网络中依赖与被依赖关系呈逐渐减弱趋势, 企业间充分的合作关系逐步建立.

从边权强度及 Bonacich 中心度分析可知, 随着网络的发展, 企业间的合作强度增大, 合作日益密切, 平均/总合作持久度保持稳定上升, 每个企业对其他企业的依赖性逐步降低, 其在网络中的作用都得到充分体现.

(ii) 制造业整体协作关系层面. 本部分主要基于全网特性指标的分析, 对假设 2 进行验证.

在网络互联方面, 表 4 给出了加权聚集系数及网络小世界熵的计算结果. 可以看出, 随着网络发

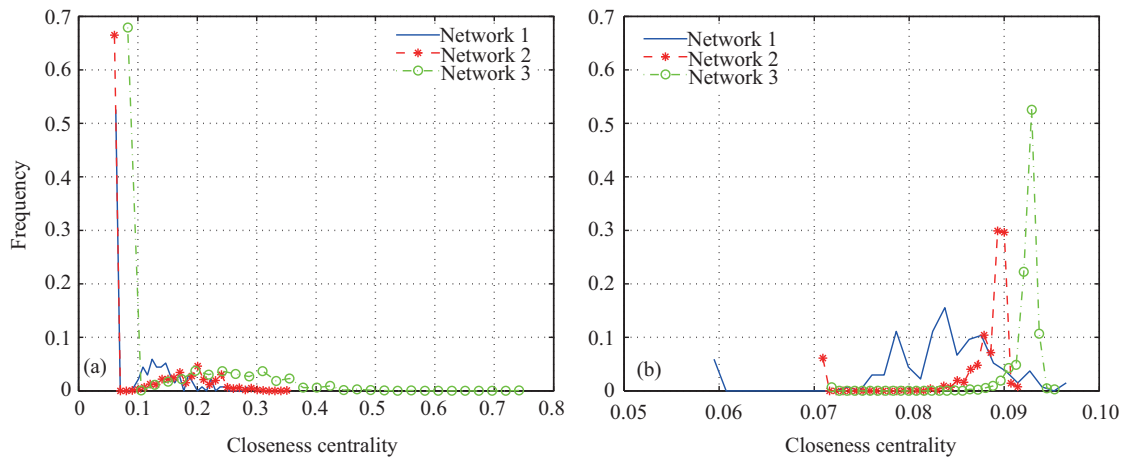


图 4 (网络版彩图) 网络接近中心度分布

Figure 4 (Color online) Power distribution of the closeness centrality of the network. (a) Normalized closeness centrality (in); (b) normalized closeness centrality (out)

表 3 网络节点平均强度

Table 3 Average intensity of the network node

Network	Average intensity of the network node
Network 1	2.8667
Network 2	11.1579
Network 3	15.6990

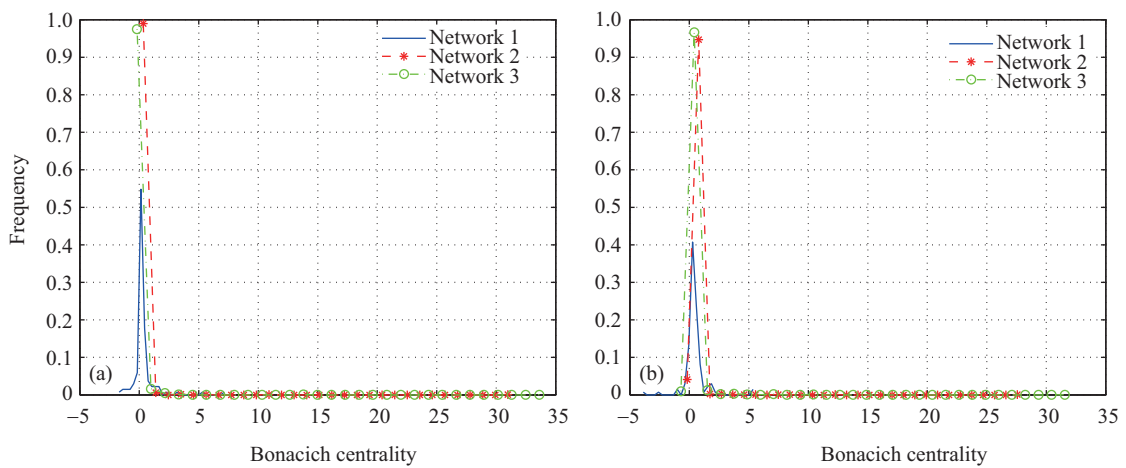


图 5 (网络版彩图) Bonacich 中心度

Figure 5 (Color online) Bonacich power. (a) Bonacich power (in) with $\beta < 0$; (b) Bonacich power (out) with $\beta < 0$

展, 加权聚集系数与小世界熵均呈现先显著上升, 而后下降的走势. 结合网络密度 (表 5) 和交易地域统计信息 (图 6) 可知: 在网络发展初期, 协作网络开始由少量连接的状态向局部聚类, 形成多个局部团体的形式转变, 其主要由协作受到外部因素 (如政府引导、龙头牵引等) 和地缘、业缘等传统企业协作关系诸多因素限制所导致. 而随着制造业互联网协作平台的发展, 企业间由局部合作走向更广泛的

表 4 网络小世界特征指标

Table 4 Index of small-world features of network

Network	Weighted clustering coefficient	Small-world entropy
Network 1	0.019	1.870
Network 2	0.995	1714.787
Network 3	0.656	504

表 5 网络密度

Table 5 Network density

Network	Network density
Network 1	0.00009874
Network 2	0.00102201
Network 3	0.00196813

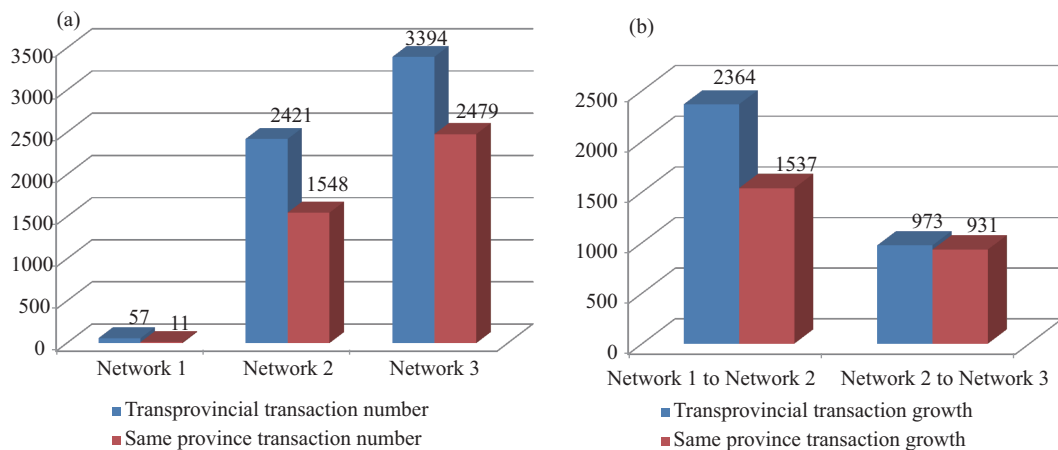


图 6 (网络版彩图) 交易地域统计信息

Figure 6 (Color online) Statistics information of transaction by geographic location. Transaction number (a) and transaction growth (b) with respect to geographic location

开放式合作与更充分的互联.

由上述分析可知,产业集群网络先呈现出局部连接较热以及明显的分群特征,之后分群特征逐渐减弱,多种诸如地缘、亲缘、业缘等限制被逐步突破,企业间交易与合作向更广泛的合作关系与更宽广的合作空间迈进.

在网络组织方面,表 6 给出了(出/入/全)度数中心势和特征向量中心势发展的结果.可看出:(a)入度中心势、出度中心势和全度数中心势均呈现上升趋势.反映出网络中具有较高度数节点的数目、节点度数差异化程度有所增加,体现出网络中逐步产生和引入 Hub 型企业.(b)特征向量中心势随着网络的发展而呈现逐渐下降的趋势,且下降趋势幅度最终趋于平缓.反映出实际上创新从低度数少核心网络,逐步转化为高度数少核心网络及高度数多核心网络.

可以看出,制造业协作网络经历了从局部协作到少数企业为核心,再到多核心、全面互联、广泛合作的逐渐转变,而网络的全面互联与企业间的广泛合作促使制造业协作网络进一步向开放组织的创新网络发展.

表 6 度数中心势及特征向量中心势

Table 6 Central potential of the closeness centrality and the eigenvector

Network	Central potential of the closeness centrality (in)	Central potential of the closeness centrality (out)	Central potential of the closeness centrality (total)	Central potential of the eigenvector
Network 1	0.2633	0.02267	17.2707	108.198
Network 2	0.4354	0.03841	266.1177	91.865
Network 3	0.7805	0.04055	652.0498	91.452

(3) 内在机理的讨论

“互联网 +”给微观的制造企业到宏观的整个制造业带来了技术创新、商业模式创新和管理创新。从演化经济学的角度看^[27, 28], 它的应用扩散遵循“自然选择”和“自适应学习”的演化规律。首先, 企业因为“地缘”、“亲缘”或者“业缘”关系, 成为平台早期的注册用户, 其因为“自然选择”产生线上的协作关系。在大幅提升协作效率甚至协作机会以后, 其深化应用“互联网 +”、积极拓展协作关系的意愿和行动不断加强——此为“扩”的过程。另外, 在早期注册用户获得效率和机会的提升以后, 示范效果在不同企业间传播, 并被“自适应学习”和持续改进。制造业协作关系的新模式、新手段和新业态不断涌现, 并能够被广泛地进行复制和推广——此为“散”的过程。“扩”、“散”过程的反馈作用下, 得以看到制造业协作关系不断优化升级, 验证了本文提出模型的正确性。

6 主要结论

当前, 全球新技术革命和产业变革的时代, 以互联网为载体的新兴信息通信技术的快速发展, 正在给制造业的协作关系带来变革。本文从可汇聚近乎无限多企业的开放平台的角度研究制造业协作关系这一复杂网络系统, 借鉴控制理论框架提出“互联网 +”对制造业协作关系优化升级的控制模型, 引入复杂社会网络理论建立定量分析评估指标体系, 并基于大型制造业互联网协作平台实际运行的微观数据进行大数据分析。主要结论如下。

互联网条件下制造业的协作关系网络具有明显的开放效应和规模效应, 从而能够吸引越来越多的企业入驻, 并在结构上产生根本性的改变; 而平台发展也充分遵循了复杂社会网络的演化规律, 体现出“扩”和“散”的发展过程。从单个企业(集团)来看, 企业间协作质量显著增强, 协作机会不断增多, 企业共享自身资源/能力按需组织业务协作的意愿大大提升; 从整体网络来看, 制造业协作关系可以从少数企业为核心、局部连通的业务网络, 发展到多核心、全面互联的商业网络, 再升级到广泛合作、开放组织的创新网络(全新的制造业生态)。

参考文献

- 1 Ian W. A third industrial revolution. *The Economist*, 2012-4-21
- 2 Byrne D M, Oliner S D, Sichel D E. Is the information technology revolution over? *Aei Economics Working Papers*, 2013, 25: 59-72
- 3 Johnson M W, Christensen C M, Kagermann H. Reinventing your business model. *Harvard Business Rev*, 2008, 35: 52-60
- 4 李伯虎, 柴旭东, 张霖, 等. 云制造——一种智能制造的模式与手段, 智能制造. 电子工业出版社, 2016

- 5 Wu D, Greer M J, Rosen D W, et al. Cloud manufacturing: strategic vision and state-of-the-art. *J Manuf Syst*, 2013, 32: 564–579
- 6 Wang J C. Differentiating industrial proximity and agglomeration in the development of clusters and parks. *China Soft Sci*, 2005, 12: 91–98 [王缉慈. 产业集群和工业园区发展中的企业邻近与集聚辨析. *中国软科学*, 2005, 12: 91–98]
- 7 Cai Y Z, Zhang J N. The substitution and percasiveness effects of ICT on China's economic growth. *Economic Res J*, 2015, 12: 100–114 [蔡跃洲, 张钧南. 信息通信技术对中国经济增长的替代效应与渗透效应. *经济研究*, 2015, 12: 100–114]
- 8 Liu Z. Study on the 'Internet +' and the Internet-based upgrading of industry clusters. *Sci Sci Manage S & T*, 2015, 36: 73–82 [柳洲. “互联网 +”与产业集群互联网化升级研究. *科学学与科学技术管理*, 2015, 36: 73–82]
- 9 Wang M F, Li J. Internet, industry clusters and global production networks: the new ICTs' effects on industrial space organization. *Human Geography*, 2009, 2: 17–22 [汪明峰, 李健. 互联网、产业集群与全球生产网络——新的信息和通信技术对产业空间组织的影响. *人文地理*, 2009, 2: 17–22]
- 10 Jiang X J. Resource reorganization and the growth of the service industry in an interconnected society. *Econ Res*, 2017, 3: 4–17 [江小涓. 高度联通社会中的资源重组与服务业增长. *经济研究*, 2017, 3: 4–17]
- 11 Chen J F, Guo C H, Wei W. “Internet plus traditional Chinese medicine”: reconstructing development pattern of the traditional chinese medicine's whole industry chain. *China Soft Science*, 2016, 6: 26–38 [陈静锋, 郭崇慧, 魏伟. “互联网 + 中医药”: 重构中医药全产业链发展模式. *中国软科学*, 2016, 6: 26–38]
- 12 左小明. 基于多层次列表的多核制造集群网络资源计划体系. 博士学位论文. 广州: 暨南大学, 2009
- 13 Zuo X M. The operation mode and agent analysis of collaboative relationship in manufacturing cluster network. *J Graduate School Chin Acad Soc Sci*, 2013, 4: 51–56 [左小明. 制造集群网络协作关系的运作模式与动因分析. *中国社会科学院研究生院学报*, 2013, 4: 51–56]
- 14 Zuo X M. The life cycle and growth mechanism of collaborative process in manufacturing cluster network. *J Graduate School Chin Acad Soc Sci*, 2011, 3: 56–60 [左小明. 制造企业集群网络协作过程生命周期及成长机理. *中国社会科学院研究生院学报*, 2011, 3: 56–60]
- 15 耿先锋, 何志哲. 基于社会网络的联盟协作关系治理. *现代管理科学*, 2007, 8: 37–38
- 16 Chen H H, Wang N. Enterprises' cooperative games analysis under the mode of open innovation—from the perspective of Internet. *Sci Tech Manage Res*, 2013, 33: 218–222 [陈红花, 王宁. 开放式创新模式下企业合作博弈分析——基于互联网的视角. *科技管理研究*, 2013, 33: 218–222]
- 17 Wang J, Zhou Q, Zhao C. Industrial chain integration, structure hole and firm growth: BYD and tencent Inc as example. *Sci Sci Manage S & T*, 2013, 34: 103–115 [汪建, 周勤, 赵驰. 产业链整合、结构洞与企业成长——以比亚迪和腾讯公司为例. *科学学与科学技术管理*, 2013, 34: 103–115]
- 18 Xing L Z. Analysis of regional industrial structure model based on complex networks theory. *J Ind Tech Econ*, 2012, 31: 19–29 [邢李志. 基于复杂网络理论的区域产业结构网络模型研究. *工业技术经济*, 2012, 31: 19–29]
- 19 Cao J Q, Qi G Q, Gao X. The impact of collaboration network's small-world characteristics on firm innovation performance: an empirical research on industry-university-research collaboration network in Chinese ICT industry. *Chin J Manage Sci*, 2015, 23: 657–661 [曹洁琼, 其格格, 高霞. 合作网络“小世界性”对企业创新绩效的影响——基于中国 ICT 产业产学研合作网络的实证分析. *中国管理科学*, 2015, 23: 657–661]
- 20 Guo Y Y, Chi R Y, Duan S. S&T intermediary function' network position and performance of industry cluster: evidence from typical industry clusters in Zhejiang Province. *Studies Sci Sci*, 2014, 32: 841–851 [郭元源, 池仁勇, 段姗. 科技中介功能、网络位置与产业集群绩效——基于浙江省典型产业集群的实证研究. *科学学研究*, 2014, 32: 841–851]
- 21 Du H D, Zhao S M. Empirical research on industrial structure evolution of G7 and BRIC: network analysis of input-output data from 1995 to 2005. *J Indust Eng Eng Manage*, 2014, 28: 17–25 [杜华东, 赵尚梅. G7 与 BRIC 产业结构演进的比较研究——基于 1995–2005 年投入产出数据的网络分析. *管理工程学报*, 2014, 28: 17–25]
- 22 Xian Y B, Mei L. Diffusion of network product with indirect network effect—research based upon complex network and computational economics. *J Manage Sci China*, 2009, 12: 70–81 [鲜于波, 梅琳. 间接网络效应下的产品扩散——基于复杂网络和计算经济学的研究. *管理科学学报*, 2009, 12: 70–81]
- 23 Yuan B, Liu H L, Lin Y. The effect of word of mouth about entrepreneurs on consumers' evaluation of entrepreneur's image. *China Soft Sci*, 2017, 1: 103–114 [袁兵, 刘洪亮, 林荫. 网络环境下企业家口碑的消费者反应. *中国软科学*, 2017, 1: 103–114]
- 24 青平, 张莹, 涂铭, 等. 网络意见领袖动员方式对网络集群行为参与的影响研究——基于产品伤害危机背景下的

- 实验研究. 管理世界, 2016, 7: 109–120
- 25 孙军, 高彦彦. 网络效应下的平台竞争及其后果分析. 管理世界, 2016, 5: 182–183
- 26 Li L, Zhao X D, Jian Z Q. Operation strategy of platform enterprises in network environments. *J Manage Sci China*, 2016, 19: 15–33 [李雷, 赵先德, 简兆权. 网络环境下平台企业的运营策略研究. 管理科学学报, 2016, 19: 15–33]
- 27 段文奇, 赵良杰. 基于复杂网络的平台扩散机制和竞争策略研究. 北京: 中国社会科学出版社, 2012
- 28 Witt U. What is specific about evolutionary economics? *J Evol Econ*, 2008, 18: 547–575
- 29 Scott J. *Social Network Analysis: A Handbook*. London: SAGE Publications, 2000
- 30 Berkowitz S D. *An Introduction to Structural Analysis: the Network Approach to Social Research*. Toronto: Butterworths, 2013
- 31 Tsvetovat M, Kouznetsov A. *Social Network Analysis for Startups*. Sebastopol: O’Reilly Media, Inc., 2013 [Tsvetovat M, Kouznetsov A, 著. 王薇, 王成军, 王颖, 等译. 社会网络分析: 方法与实践. 北京: 机械工业出版社, 2013]
- 32 Bonacich P. Power and centrality: a family of measures. *Am J Soc*, 1987, 92: 1170–1182
- 33 Haythornthwaite C. Social networks and Internet connectivity effects. *Inf Commun Soc*, 2005, 8: 125–147
- 34 Tai D Y, Xu F Y, Hu W. Cooperation concept and implementation of cloud manufacturing. *Comput Integr Manuf Syst*, 2012, 18: 1575–1583 [台德艺, 徐福缘, 胡伟. 云制造合作思想与实现. 计算机集成制造系统, 2012, 18: 1575–1583]
- 35 Liu Y K, Zhang L, Tao F, et al. Development and implementation of cloud manufacturing: an evolutionary perspective. In: *Proceedings of ASME 2013 International Manufacturing Science and Engineering Conference Collocated with the 41st North American Manufacturing Research Conference*, Madison, 2013. V002T02A007

The optimization and upgrading of the collaborative relationship in “Internet +” manufacturing industry

Chao GENG¹, Shiyu QU¹, Tingyu LIN^{2,3,4*}, Yingying XIAO^{2,3,4}, Zhengxuan JIA^{2,3,4}, Guoqiang SHI^{2,3,4}, Mei WANG^{2,3,4} & Qiudan MA⁵

1. *School of Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;*

2. *State Key Laboratory of Intelligent Manufacturing System Technology, Beijing Institute of Electronic System Engineering, Beijing 100854, China;*

3. *Beijing Complex Product Advanced Manufacturing Engineering Research Center, Beijing Simulation Center, Beijing 100854, China;*

4. *Science and Technology on Space System Simulation Laboratory, Beijing Simulation Center, Beijing 100854, China;*

5. *School of Business, Renmin University of China, Beijing 100872, China*

* Corresponding author. E-mail: lintingyu2003@sina.com

Abstract The collaborative relationship in the “Internet +” manufacturing industry is a complex network. To grasp its inherent laws fully to realize the transformation and upgrading of the manufacturing industry integrated with Internet, a model of optimization and upgrading of the collaborative relationship in the ‘Internet + manufacturing industry, which is a closed-loop feedback control model under a control theory framework, is proposed. An evaluation index system based on the theory of the complex social networks was designed, and an empirical analysis based on the micro operation data of a large collaboration platform for the ‘Internet + manufacturing industry was done. The results show that ‘Internet + can significantly improve the quality of the manufacturing collaboration relationship and improve overall collaboration and innovation performance.

Keywords complex social network, modeling and analysis, optimization and upgrading, collaborative relationship, Internet + manufacturing



Chao GENG was born in 1979. He is a Ph.D. candidate at the Economics and Management School of the Harbin Institute of Technology. His research interests are national innovation systems, innovation diffusion, and cloud manufacturing.



Shiyou QU was born in 1969. He is a professor and Ph.D. supervisor at the Economics and Management School of the Harbin Institute of Technology. His research interest is national innovation systems.



Tingyu LIN was born in 1984. He has a Ph.D. and is a senior engineer at the State Key Laboratory of Intelligent Manufacturing System Technology. His research interests include modeling, simulation and cloud manufacturing.



Yingying XIAO was born in 1987. She has a Ph.D. and is a senior engineer of State Key Laboratory of Intelligent Manufacturing System Technology. Her research interests include modeling and simulation, cloud manufacturing, and swarm intelligent algorithms.