

Research Review on Super-Network and Knowledge Super-Network

Yunjiang Xi¹, Xi Yang¹, Xiao Liao^{2*}

¹School of Business Administration, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong

²School of Internet Finance and Information Engineering, Guangdong University of Finance, Guangzhou Guangdong

Email: *winnie3223@163.com

Received: Aug. 9th, 2019; accepted: Aug. 22nd, 2019; published: Aug. 29th, 2019

Abstract

With the upsurge of complex network research, a special type of network, super-network or hyper-network, has attracted more and more scholars' attention. In this paper, the current researches of super-network are introduced, which may help researchers to understand the concept, types, applications, hot-spots, and trends of super-network. Of course, this paper will discuss three types of super-network model: hyper-graph super-network, multi-layer optimized super-network, and multi-network, integrated super-network, based on the analysis of current researches. Besides, the paper analyzes these super-networks' characteristics, application, and recent research results through examples. In addition, the paper discusses one of the important directions of super-network research: knowledge super-network, which mainly introduces the model, application and development trends of knowledge super-network. Finally, the paper summarizes the present situation of super-network in knowledge, and its future research direction. In future, the research on super-network may combine artificial intelligence, big data, knowledge processing and personalized knowledge services, and so on.

Keywords

Super-Network, Knowledge Super-Network, Super-Graph, Research Review

超网络与知识超网络研究简述

席运江¹, 杨茜¹, 廖晓^{2*}

¹华南理工大学工商管理学院, 广东 广州

²广东金融学院互联网金融与信息工程学院, 广东 广州

Email: *winnie3223@163.com

*通讯作者。

摘要

超网络是复杂网络研究热潮后，研究者关注的一个重要方向。本文对超网络的研究现状进行了简述，以帮助研究者了解超网络的概念、类型、应用、热点及未来方向等。本文通过对现有研究的分析及综合，指出超网络的三种类型：超图超网络(hyper-graph super-network)、多层优化超网络(multi-layer optimized super-network)，多网集成超网络(multi-network integrated super-network)。并结合实例分析了每类模型的特点、应用、以及近几年的研究成果。此外，还重点简述了超网络研究的一个重要方向：知识超网络，主要介绍超网络在知识管理领域的模型、应用及发展趋势等。最后对超网络的现状进行总结，并对其未来研究方向进行了简要分析。未来，超网络研究可结合人工智能、大数据、知识处理与个性化知识服务等。

关键词

超网络，知识超网络，超图，研究简述

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着复杂网络研究热潮的兴起，一种特殊类型的网络——超网络，引起了越来越多的学者关注。与常规网络及复杂网络相比，超网络在描述和分析具有多子系统、多子网结构的复杂系统方面，具有独特的优势，因此成为研究大型复杂系统的一种新兴工具。尤其是最近几年，超网络相关研究呈现爆发趋势。因此，本文拟对超网络的概念、类型、应用及研究热点等进行简单综述，并重点介绍超网络研究的一个重要方向：知识超网络，主要介绍超网络在知识管理领域的模型、应用及发展趋势。

2. 超网络的概念

超网络的概念，最早于1985年被提出[1]，目前已成为研究大型复杂系统的一种新兴工具。对于何为超网络，影响较大的是美国科学家 Nagurney Anna [2]提出的：“高于而又超于现存网络”的网络即为超网络，用“Super-network”来表示。学者王志平与王众托认为超网络的一个重要特征就是：网络嵌套或包含着子网络[3]。此外，还有学者认为凡是可以用超图来描述的网络都可以称为超网络[4]，通常用“Hyper-network”表示。本文中的超网络这一概念统一用“Super-network”表示。

3. 超网络的模型及应用

从现有文献看，超网络的模型与应用主要有如下三个方面：

1) 基于超图的超网络模型(super-graph super-network)及应用研究

主要以超图为工具，通过超边连结多个同质或不同质的节点，从而简明、准确地刻画各类节点之间的复杂关系。如图1所示，即为文献[4]中的一个超图超网络示例，图2为文献[5]中的一个知识超图超网络的实例。

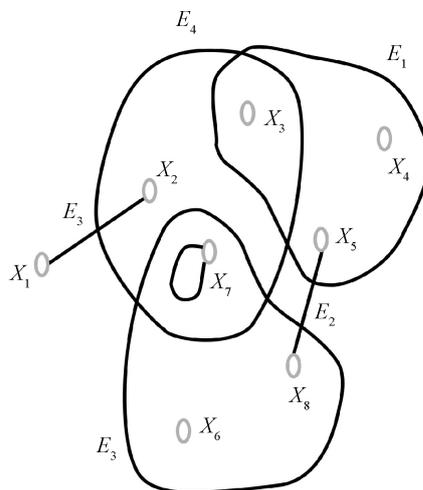


Figure 1. The knowledge hyper-graph from documentation [4]

图 1. 文献[4]中的知识超图示例

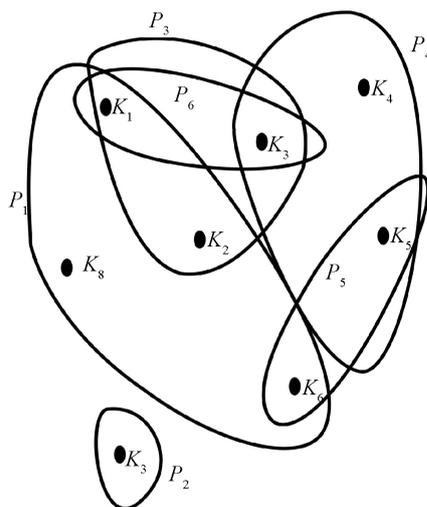


Figure 2. The knowledge hyper-graph super-network from documentation [5]

图 2. 文献[5]中的超图超网络示例

基于超图的超网络，结构简单，更适合刻画现实世界的多元结构[4]。正因如此，超图超网络引起了许多研究者的兴趣，对其特性和应用进行了深入探讨。例如索琪、郭进利等对超图超网络的结构及演化进行了研究[4]，Pretolsno D 等研究了如何在超图中简单快速识别出超网络的算法[6]，马涛、郭进利等构建了专利超网络研究产学研合作[7]，马秀娟、赵海兴、胡枫等还研究了基于超图的超网络相继故障分析等问题[8]，Jiang-Pan Wang, Qiang Guo 等构建了合作超网络研究知识传播等[9]。许多相关成果的不断涌现，极大的推进了超图超网络的相关研究。

2) 基于变分不等式的多层优化超网络模型(multi-layer optimized super-network)及应用研究

主要以变分不等式工具，研究具有多层次网络结构系统的协调优化问题。Nagurney 团队、王志平等人的研究，基本上都属于此种类型。例如，图 3、图 4 即为 Nagurney 团队研究的供应链优化超网络模式，用于研究供应链网络上的优化问题。

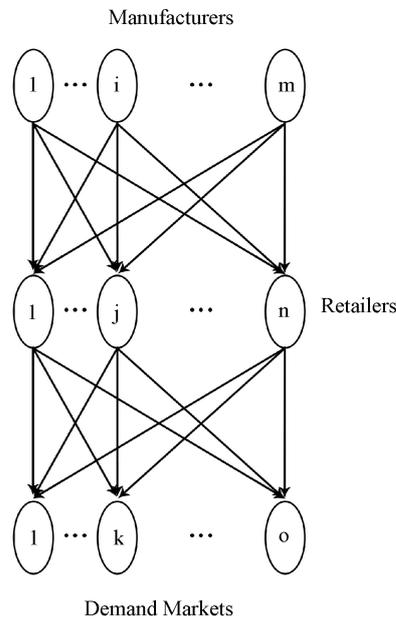


Figure 3. Multilayer optimized super-network from documentation [10]

图 3. 文献[10]中的多层优化超网络示例

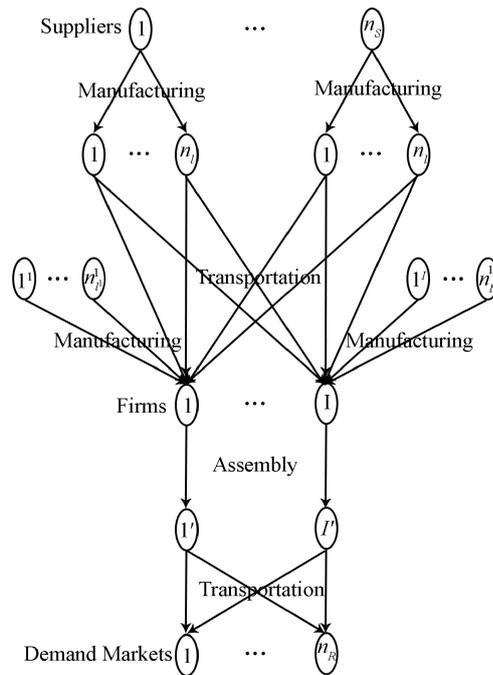


Figure 4. Multilayer optimized super-network from documentation [11]

图 4. 文献[11]中的多层优化超网络示例

此外，米传民、李丹丹等还构建了金融均衡超网络[12]，邢清华、夏璐等构建了反导体系统超网络[13]、吴义生等构建了低碳超网络优化模型[14]、Yamada T 等构建了供应链超网络模型，以研究其效率问题[15]。可以看出，这类超网络模型多用于解决复杂系统的优化、均衡、效率等方面的问题。

3) 基于多子网整合的多网集成超网络模型(multi-network integrated super-network)及应用研究

这类网络主要用于描述由多个子网络构成的多网结构网络系统[16] [17],通过对各子网之间作用关系的描述,实现多子网结构的超网络建模。如图 5、图 6 所示,即为两个多网集成超网络示例,二者都由多层子网集成而成。

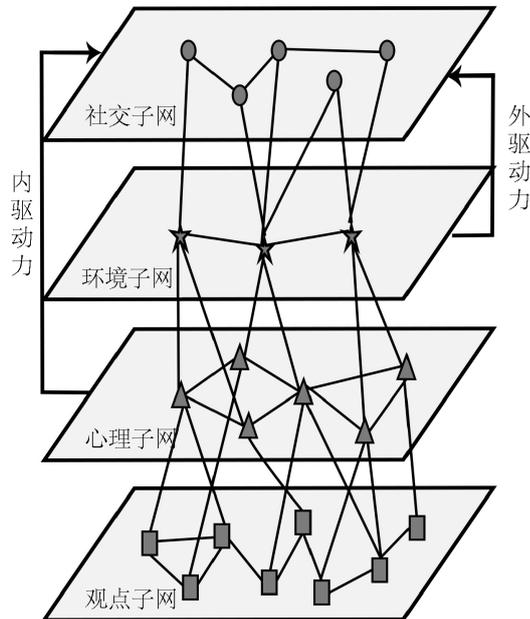


Figure 5. Multi-network integrated super-networks from documentation [17]

图 5. 文献[17]中的多网集成超网络

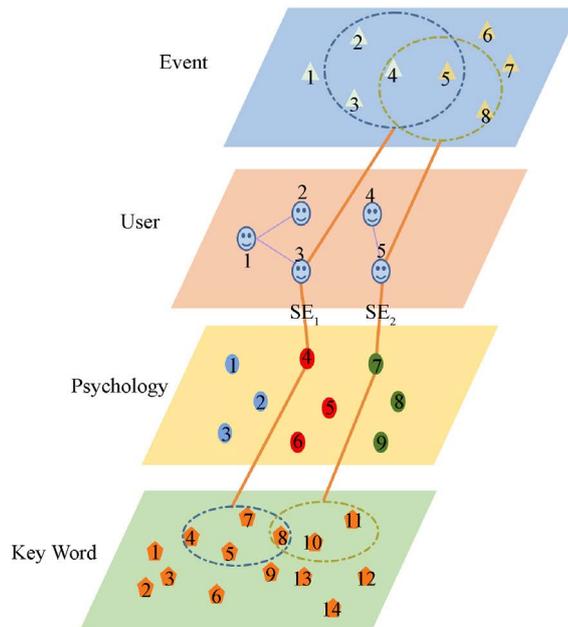


Figure 6. Multi-network integrated super-networks from documentation [18]

图 6. 文献[18]中的多网集成超网络

这一类超网络对于描述由多个子系统构成的复杂系统结构、对各子系统进行整合建模和分析等,提供了新的方法,因而得到了广泛应用。例如, Yuxue Chi 等研究了在线信息评价超网络[19], 迟钰雪、刘怡君等构建了舆情演化超网络[20], 李纲、巴志超等构建了科研合作超网络[21], 田儒雅、孙巍等构建了图书知识资源超网络[22]等, 黄远、沈乾、刘怡君等构建了微博舆论场多网集成超网络[23]等。

从上述分析可以看出, 超网络模型具有多种形式, 可以适用于多种需求的复杂系统建模及分析, 因而具有广阔的应用前景。而且, 有关超网络的应用研究, 已经涉及到各个领域, 例如舆情传播超网络、军事超网络[13]、社交超网络、供应链超网络、社会化标注超网络[24]等。可以说, 跟各领域的应用相结合, 构建符合问题需求的超网络模型, 进而利用超网络工具解决具体应用问题, 极大地拓宽了超网络的应用范围, 也成为超网络研究发展的重要推动力量。

4. 知识超网络相关研究

知识超网络是用于描述复杂知识系统的一种网络形态, 是超网络在知识管理领域的应用研究。如图 7、图 8 所示, 即为两个知识超网络的应用实例。其中图 7 为用超网络描述的知识系统的结构[25], 图 8 为图书情报领域的知识合作超网络模型[22]。

知识超网络可看作知识网络的一种特例。由于知识系统的特殊复杂性, 单一的网络结构很难完全描述知识系统的复杂结构, 许多学者考虑用超网络来研究相关问题, 取得了很好的效果。尤其是近几年来, 知识超网络成为了知识管理领域的研究热点之一, 出现了大量的研究成果, 极大的促进了该领域的研究进展。

1) 知识超网络的类型。从现有研究看, 前文所述的三种类型的超网络都在知识超网络研究中出现。例如, 马涛、郭进利等使用超图超网络研究产学研合作专利申请问题[7], 郭强、刘建国等使用超图超网络研究知识扩散问题[9]; 对于第二类超网络, Nagurney 等应用变分不等式研究知识系统超网络的均衡问题[26], 即属于此类型。李纲、巴志超等构建的科研合作超网络[21], 田儒雅、孙巍等构建的知识合作超网络[22]等则属于第三种类型。可以看出, 多种类型的超网络模型都可以和知识管理的问题相结合, 从而使知识超网络的模型十分丰富, 能很好的应用于复杂知识系统的各类问题。

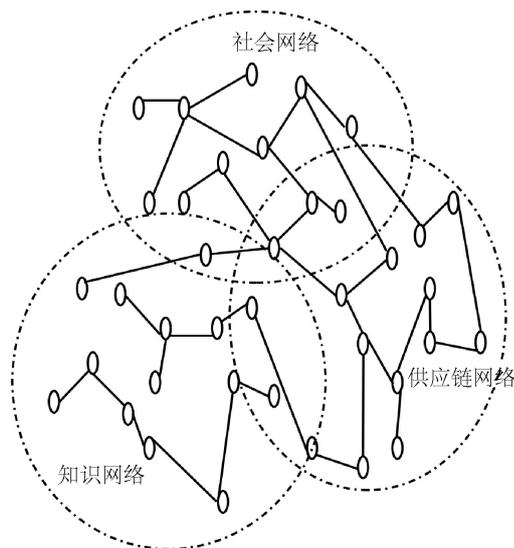


Figure 7. Knowledge super-network from documentation [25]

图 7. 文献[25]中的知识超网络

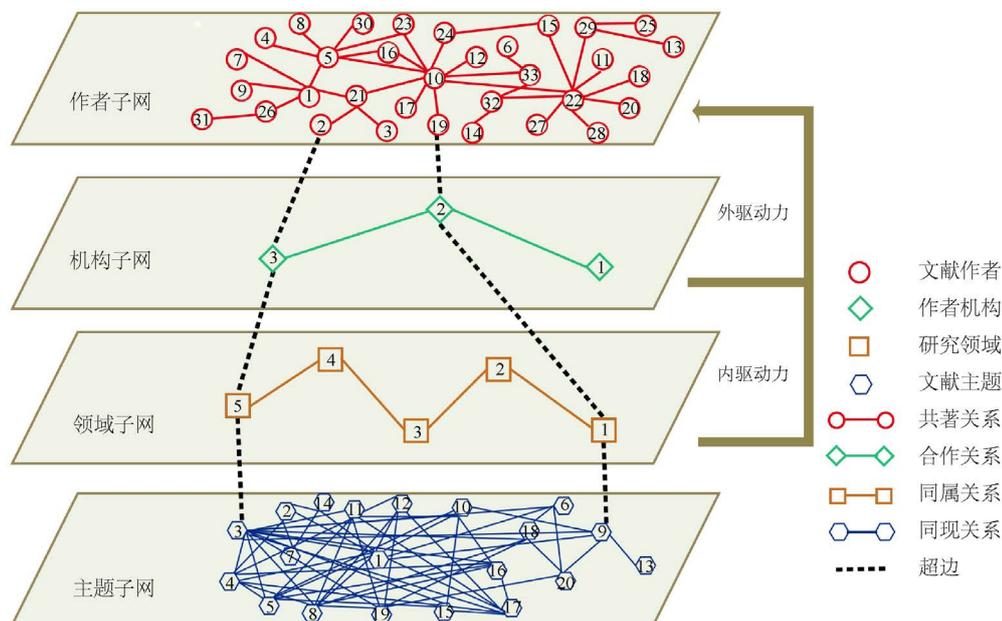


Figure 8. Knowledge cooperation super-network model from documentation [22]

图 8. 文献[22]中的知识合作超网络模型

2) 知识超网络的应用。由于知识超网络模型丰富，在知识管理中应用广泛，因此相关的应用研究越来越深入，极大拓宽了知识超网络的应用范围。相关应用包括知识发现超网络[5]、知识创新超网络[27]、知识合作超网络[22]、知识扩散超网络[9]、知识服务超网络[28]、知识共享超网络[29]、知识资源整合超网络[29] [30]等。上述研究涉及到知识发现、创新、合作、扩散、共享、服务、整合等几乎所有知识处理过程。可以看出，知识超网络在知识管理中具有广阔的应用前景，是处理复杂知识系统相关问题的得力工具。

综上，知识超网络具有多种类型的模型，可广泛应用于各个知识处理过程中去。作为一种有效的知识系统整合建模和分析工具，已成为研究复杂知识系统各类问题的有效工具，必将在知识管理领域发挥更大的作用。

5. 未来研究方向

通过对上文分析及讨论，可以看出超网络与知识超网络是研究复杂知识系统的有效工具，可以借鉴并应用于社区知识管理、知识服务中。对相关研究进行综合分析，并结合其他相关学科的发展，如下几个方面可能成为超网络的未来研究方向：

1) 基于超图的超网络研究，逐渐成为热点。近几年相关研究中，超图超网络的成果接近一半，说明这一领域更受研究者关注，有可能为超网络研究带来突破。

2) 超网络的应用研究，涉及到很多领域，并呈现快速扩散之势。使用超网络解决各领域的问题，将是未来研究的主要方向。

3) 知识超网络的研究，是超网络研究领域的重要方向，尤其是在当今智能经济时代，知识超网络作为一种有效的多维知识整合和分析工具，必将在更多领域发挥更大的作用。

4) 超网络研究，整体上还处于新兴发展阶段，其本身的研究理论及方法还处在不断完善之中。如何与其他领域进行融合，尤其是与大数据、人工智能、知识处理及个性化知识服务等领域的融合，将为超网络领域的研究带来更多创新机会。

基金项目

广东省自然科学基金博士启动纵向协同试点项目(2017A030310165)。

参考文献

- [1] Sheffi, Y. (1985) *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- [2] Nagurney, A. and Dong, J. (2002) *Supernetworks*. Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham, Northampton, 17.
- [3] 王志平, 王众托. 超网络理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 275-280.
- [4] 索琪, 郭进利. 基于超图的超网络: 结构及演化机制[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(3): 720-734.
- [5] 唐洪婷, 李志宏. 基于超网络演化模型的社区知识发现与分析[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(3): 765-776.
- [6] Pretolani, D. (2013) Finding Hypernetworks in Directed Hypergraphs. *European Journal of Operational Research*, **230**, 226-230. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.04.020>
- [7] 马涛, 郭进利. 基于加权超图的产学研合作申请专利超网络——以上海 ICT 产业为例[J]. 系统工程, 2018, 36(1): 140-152.
- [8] 马秀娟, 赵海兴, 胡枫. 基于超图的超网络相继故障分析[J]. 物理学报, 2016, 65(8): 374-383.
- [9] Wang, J.-P., Guo, Q., Yang, G.-Y. and Liu, J.-G. (2015) Improved Knowledge Diffusion Model Based on the Collaboration Hypernetwork. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, **428**, 250-256. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.01.062>
- [10] Nagurney, A. (2005) On the Relationship between Supply Chain and Transportation Network Equilibria: A Super-network Equivalence with Computations. *Transportation Research Part E*, **42**, 293-316. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2005.02.001>
- [11] Li, D. and Nagurney, A. (2015) A General Multitiered Supply Chain Network Model of Quality Competition with Suppliers. *International Journal of Production Economics*, **170**, 336-356. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.09.034>
- [12] 米传民, 李丹丹, 张婷, 钱媛媛, 周志鹏. 考虑社交网络和互联网金融的金融市场超网络均衡研究[J]. 中国管理科学, 2018, 26(12): 56-65.
- [13] 邢清华, 夏璐, 徐浩. 基于信息流的反导体系结构超网络均衡模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(12): 3253-3264.
- [14] 吴义生, 吴顺祥, 白少布, 朱振涛. 面向网购的低碳供应链超网络优化模型及其应用[J]. 中国管理科学, 2017, 25(6): 111-120.
- [15] Yamada, T., Imai, K., Nakamura, T., et al. (2011) A Supply Chain-Transport Super-network Equilibrium Model with the Behaviour of Freight Carriers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **47**, 887-907. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.05.009>
- [16] Boccaletti, B.G., Criado, R., et al. (2014) The Structure and Dynamics of Multilayer Networks. *Physics Reports*, **544**, 1-122. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2014.07.001>
- [17] Kivela, M., Arenas, A., Barthelemy, M., et al. (2014) Multilayer Networks. *Journal of Complex Networks*, **2**, 203-271. <https://doi.org/10.1093/comnet/cnu016>
- [18] 马宁, 刘怡君. 基于超网络的舆情演化多主体建模[J]. 系统管理学报, 2015, 24(6): 785-794+805.
- [19] Chi, Y.X., Tang, X.Y., Lian, Y., Dong, X.F. and Liu, Y.J. (2018) A Super-network-Based Online Post Informative Quality Evaluation Model. *Knowledge-Based Systems*, **168**, 10-24. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.12.027>
- [20] 迟钰雪, 刘怡君. 基于超网络的线上线下舆情演化模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2019, 39(1): 259-272.
- [21] 李纲, 巴志超. 科研合作超网络下的知识扩散演化模型研究[J]. 情报学报, 2017, 36(3): 274-284.
- [22] 田儒雅, 孙巍, 吴蕾, 张学福. 基于超网络的图书情报领域知识合作特征分析[J]. 情报理论与实践, 2016, 39(10): 25-30.
- [23] 黄远, 沈乾, 刘怡君. 微博舆论场: 突发事件舆情演化分析的新视角[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(10): 2564-2572.
- [24] 潘旭伟, 傅青苗. 基于超网络的社会化标注行为[J]. 系统工程, 2015, 33(3): 78-83.
- [25] 王丽丽, 陈国宏, 庄彩云, 林卓. 超网络知识系统定义、内涵及运行机制[J]. 南京航空航天大学学报(社会科学版), 2019, 21(1): 41-46.

-
- [26] Nagurney, A. and Dong, J. (2005) Management of Knowledge Intensive Systems as Super-networks: Modeling, Analysis, Computations and Applications. *Mathematical and Computer Modeling*, **42**, 397-417.
<https://doi.org/10.1016/j.mcm.2004.01.015>
- [27] 余谦, 刘嘉玲. 技术邻近动态下创新超网络的演化机理研究[J]. 科学学研究, 2018, 36(5): 946-954.
- [28] 武澎, 王恒山. 基于超网络的知识服务能力评价研究[J]. 情报理论与实践, 2012, 35(8): 93-96.
- [29] 潘旭伟, 汪雅喜, 杨祎. 知识超网络环境中集成优化过程的知识共享服务研究[J]. 科研管理, 2011, 32(5): 87-93.
- [30] 席运江, 党延忠, 廖开际. 组织知识系统的知识超网络模型及应用[J]. 管理科学学报, 2009, 12(3): 12-21.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7311, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: mm@hanspub.org