

无标度网络 VS 星状网络： 物联网拓扑结构及其社会影响

刘永谋, 陈旭光

(中国人民大学 哲学院, 北京 100872)

摘要: 物联网的复杂性将超过互联网。无标度网络模型理论提供分析复杂网络的新方法。未来物联网可能呈现无标度网络和星状网络两种拓扑结构。物联网的拓扑结构将对未来社会产生重要影响, 要警惕物联网朝星状网络发展的社会风险。

关键词: 物联网; 无标度网络; 社会影响; 网络科学

中图分类号: F49 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5420(2013)02-0006-06

作为一种新的“动态的全球性网络”^[1], 物联网的复杂性将超过互联网。它连接的对象不再仅仅是互联网所面对的计算机, 而是广泛存在的各种“物”, 包括实体事物和虚拟事物; 它连接的方式也将超越以有线为主要连接方式的互联网, 而转向无线和有线兼备, 多种通信协议并存的形态; 它处理的数据和信息, 无论是数量还是范围更是远超互联网。

各种网络节点是如何连接、组织和管理? 网络整体结构是如何影响网络的功能? 诸如此类的问题对于如物联网一般的复杂网络非常重要。复杂的巨量“物”连接将影响物联网覆盖现实世界的方式、深度、广度以及网络自身的可靠性和安全性, 影响数据流动的方向、途径以及社会中“物”的资源分配和使用, 进而影响社会资源使用的公平、效率和安全等。网络的设计者最终可能会看到一个与他们的设计不尽相同的具有自组织特征的网络。互联网现在已经“完全有了自己的生命, 它具有复杂的、进化的系统所具有的一切特征, 使它

看起来更像细胞而不是电脑芯片”^[2]⁸²。

近年来方兴未艾的网络科学为物联网研究提供了非常有价值的视角。网络科学横跨计算机科学、系统科学、复杂性科学等诸多学科, 以各种复杂网络诸如人脑神经网络、食物链网络、电力网等为研究对象, 研究涉及复杂网络的各种拓扑结构及其性质, 与动力学特性(或功能)之间相互关系^[3]²⁴⁶。目前, 网络科学的标志性成果是发现了小世界网络和无标度网络。网络科学的发展将会为物联网提供理论分析工具, 帮助我们理解物联网, 而物联网则会成为一个最好的网络科学研究的样本, 两者将会在相辅相成中发展。本文试图用美国网络科学家巴拉巴西(Albert-László Barabási)提出的无标度网络模型理论对物联网未来可能形成的网络拓扑结构及其社会影响进行初步的分析, 并求教于方家。

一、无标度网络模型理论

无标度网络是巴拉巴西在研究万维网的拓

收稿日期: 2013-01-19

作者简介: 刘永谋(1974-), 男, 哲学博士, 副教授, 主要研究方向为科学哲学、科技与公共政策。

陈旭光(1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为科技与公共政策。

基金项目: 江苏省高校哲学社会科学重大项目“江苏省物联网发展的社会风险与公共政策研究”(2011ZDAXM012)

扑结构时发现的。无标度(scale-free)是相对于随机网络提出的概念。巴拉巴西曾用美国的公路交通网络和航空网络分别类比随机网络和无标度网络。若以城市为节点、道路为节点之间的链接,公路网络的网络拓扑结构就与随机网络一致,其特点是“大多数的节点都很相似,链接数目大体相当”^{[2]175}。若以机场为节点、航线为链接,航空网络不同于公路网络:整个网络中存在一些链接数目众多的“中心节点”,而其他节点只有少量的链接。如果对整个网络中每个网络节点上的链接数量进行统计,随机网络网络节点的特征可以由大多数的普通节点体现,而对于无标度网络,则无法找到一个特定的节点能代表其他节点的特性。换言之,航空网络不存在内在的尺度。大量的实证研究表明:绝大多数真实网络都是无标度网络,具备无标度网络的基本特性^{[4]4}。万维网、互联网均为无标度网络。随着物联网的急速发展,亦日益表现出无标度的特征。无标度网络详见图1:

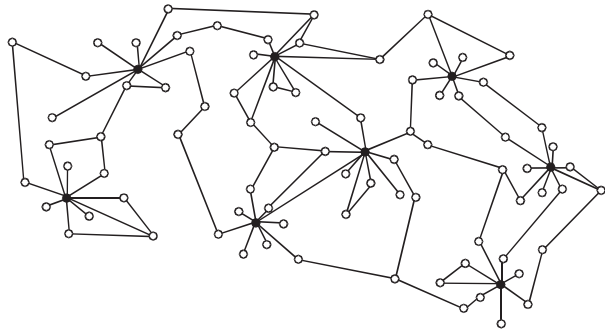


图1 无标度网络示意图

节点度分布符合幂率是无标度网络的标志性特征,即网络中存在呈等级分布的中心节点,这些为数并不多的节点拥有大量链接,而同时网络中大多数节点则仅有少量链接。与万维网一样,互联网的拓扑结构同样遵循幂率,由各种各样的线路连接起来的互联网路由器同样构成了无标度网络^{[5]251-262}。在万维网中,中心节点可能是雅虎、新浪这样的门户网站;在互联网中,则是一些大型数据中心。无标度网络模型能够很好地概括现实生活中大多数网络的特征,并解释这种网络形成的条件。

无标度网络的形成需要两个条件:一是网络节点的不断增长,二是被称为“优先情结”的接入原则。过去人们对于网络的认识以随机网络为主要模型,认为网络是静态的,有着恒定的节点数目。增长条件的观点打破了传统的网络静态属性假设,赋予网络以动态变化性。在复杂网络中,新的服务器、数据终端不断接入网络,新的网页、各种类型的文件链接不断被创建,网络节点在网络诞生之后呈现出井喷式的增长。而优先情结是指,在一个处于增长状态下的复杂网络中,新节点的接入总是优先选择那些有着更多链接数量的节点进行连接。而在随机网络中,新节点随机决定连接哪个节点。例如人们使用万维网时,总是希望能够登录门户网站从而能够获得更多其他网站、文件的链接,或者是把自己的网站链接放在门户网站上,从而增加自己的阅读流量。

在复杂网络中,还存在着“新星效应”。即某些后来者(新节点)会在短时间内积累到大量的链接,如网络搜索引擎的后来居上者Google。巴拉巴西认为,如果承认网络节点之间的差异性并为每个节点引入适应性特征,从而反映出网络中存在的激烈竞争,就能够很好地解释这一现象。节点适应性的不同会导致网络形成两种不同拓扑结构:其一是形成星状网络(如图2所示),即整个网络中的链接最终被某一个节点吸引,呈现出“赢者通吃”的趋势,其内在机制可以借助量子力学的玻色-爱因斯坦凝聚原理进行解释;其二是继续保持无标度的特征,呈现出没有完胜者而“适者致富”的趋势。简言之,无标度网络有可能转化为星状网络。但是,维持无标度的状态是多数真实网络的基本情况。

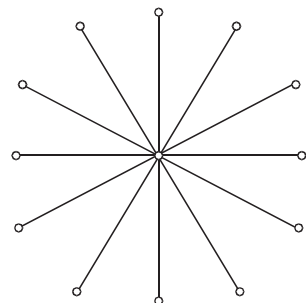


图2 星状网络

无标度网络具有面对故障的稳健性,面对攻击的脆弱性以及自组织性等基本特征。面对故障的稳健性表现在任何无标度网络都可以承受相当比例的节点损失而继续工作,其原因在于一定数量的网络中心节点使网络能够连成一体。面对攻击的脆弱性则表现在一旦网络的中心节点被破坏,则整个网络就会面临危险。同时,中心节点的破坏还会产生难以预估的连锁反应,从而导致网络崩溃。自组织特征是指在数百万节点和链接的独立个体行为支配下,复杂网络表现出的一种规则有序的结构和行为的现 象。整个网络行为不是在某个指挥机构下步调一致地运转,而是在多方竞争、博弈后的一种涌现。互联网、万维网均表现出自组织的特性:它们不是由某一个人设计出来的,也没有某一个机构对其统一管理,但是它们并没有因此陷入混乱或崩溃,相反,它们能够自我存在、生长和演化。

二、可能的物联网拓扑结构

就目前的物联网的发展水平而言,还难以对物联网的链接和节点进行量化分析从而判断物联网未来的拓扑结构。然而,根据无标度网络模型理论,未来物联网尽管会异常复杂形态万千,但其网络拓扑结构却极有可能朝无标度网络或星状网络方向发展。

物联网可能发展为无标度网络的原因至少有以下几点:

1. 物联网比互联网表现出更明显的动态性特征。这不仅源自更多新节点的加入,还与物联网“外部驱动”^{[6]12}的特征有关。外部驱动使得物联网链接的建立具有按照目标、任务、环境的不同随时变化的特点,不断有新链接的诞生和旧链接的消失,因而进一步增强了网络的动态性,而动态性有助于满足增长条件和优先情结。

2. 物联网更容易满足增长条件。物联网由数量庞大、不同类型和能力的感知节点组成,其节点的数量级将远远超过现有互联网,接入物联网的各种物(电子标签、智能终端、大型服务器、计算中心、数据中心等)的数量将会远超

出互联网,甚至呈现出爆发的状态。当电子标签等各类感知元件大规模部署应用时,任何物都能够接入物联网,而“能够使每颗沙粒拥有自己的IP地址”的IPV6网络已经为此做好了准备。并且,增长符合发挥物联网效能的内在需要,因为物联网与接入物的数量成正比。增长与物联网的内在目标相契合,即通过建立一个全球性的网络实现全球各类资源的整合应用。

3. 物联网更容易满足优先情结。从功能角度看,物联网通常被划分为传感、通信和计算三个层面。传感层的网络覆盖面最广、最为基础,大量的RFID芯片、条形码、磁条、M2M终端、摄像头以及各种传感器是其节点。由于其位置的泛在性要求,这类节点通常体积较小,智能化程度较低,成本低廉,受到较多的技术条件限制。另外,由于人们对隐私等问题的担忧,致使此类节点仅具有非常有限的计算能力、存储能力。而物联网对计算层功能的特殊要求,又使得其节点的各项技术性能较高,成本因此也会增加,因而部署的范围会明显小于传感层。因此,物联网的优先情结会表现在两个方面:一是每当网络中增加一个感知节点时,它会优先和网络中具有较高智能的计算节点相连接;二是计算节点因具体功能需求的不同,节点之间会存在差异性,因而小型计算节点又会优先连接智能化程度更高的计算节点,而它们又会与更大型的数据处理中心相连。

然而,网络拓扑结构还受到节点自身的适应性影响。物联网整个网络受到功能划分、地理位置、成本、社会文化等多因素作用,网络节点之间会存在明显的差异性,必然导致物联网中的节点之间存在竞争。在竞争环境下,节点的适应性为物联网朝星状网络方向发展提供了可能性。

物联网朝星状网络发展的关键在于:是否会出现某个连通性能极强的节点。如果通过竞争形成星状网络,意味着某个节点获得了整个网络的所有链接,物联网的所有信息流都将汇聚于此。该节点不仅有着极大的数据存储、运算能力,同时还能克服物联网的异构性带来的各种阻碍,从容驾驭各种细化的网络结构、

通信协议、网络权限等。就现在而言,形成这种节点的科技条件尚不充分,但未来科技水平以及社会文化环境的发展可能满足星状网络出现的条件。因此,未来物联网应当首先会具有无标度网络的基本特征,在发展到一定阶段后,存在着成为星状网络的可能。

三、物联网拓扑结构的社会影响

按照系统科学原理,在一个给定的环境中,结构决定功能。因此,物联网的拓扑结构会影响其社会功能的发挥。

物联网的无标度性将有助于促进社会的创造力。作为无标度网络,物联网首要特征在于动态性。动态性源自物联网发展对节点和链接的需求,这一需求会刺激社会的创造力。在物联网中,“创造即联系”^{[7]4,42},创造意味着新增的节点和链接,从而为网络提供持续不断的增长源泉。因此,物联网的发展会与社会创新相辅相成,形成良性循环,创新型社会的特征会突显。丹尼尔·贝尔的“后工业社会”特征更加明显,以“知识就是生产力”为核心的“中轴原理”会得到印证^[8]。事实上,知识正在成为当代社会革新与制定政策的源泉,信息技术、网络科学、计算机软件等领域的专业技术人员将处于主导地位。

物联网的发展将有助于社会个性的发展。物联网的自组织性将主要源自大量独立个体行为的某种合力,会有助于当代社会“人人时代”的特征。所谓“人人”是指“一个个具体的、感性的、当下的、多元化的人;他们之间的组织是一种基于话语权的、临时的、短期的、当下的组合”^{[9]5}。物联网与“人人时代”内在契合,能够相互促进,最终促使网络向人联网^①发展。

物联网的发展将有助于社会组织方式的转变。社会个性增强,会促进政府职能由管理向服务转变,从对人员的管控转变为积极发挥个人的创造力,促使个人的全面发展。因此,围绕兴趣、责任、公民意识等形成的各类 NGO 类组织将会得到长远发展。类似物联网外部驱动的特征,以任务为驱动的临时组织关系将会增多,无组织的组织力量将会得到彰显,现代

公司制度等组织方式将会受到影响。人们对政治、经济和社会文化等事务的主动参与精神将会有明显提升,热点问题能够引起更强的围观放大效应,自媒体得到空前发展,社会的开放性、交流融合趋势会更加明显。

上述两个方面的结合,会使以创造为核心的 DIY(Do It Yourself)文化逐渐繁荣。DIY 文化不仅为个体的智慧和创造力提供了展示的平台,更是物联网发展和应用的创新源泉。欧洲早在 2009 年为激发大众创造力,促进物联网推广应用而实施的欧洲 ITEA2 工程 08005、DIY 智能体验项目(DIYSE)可以视为 DIY 趋势的标志。DIY 文化的发展会进一步突出物联网时代的某些社会特征,即彰显自我的群体创新,乐于分享与贡献,普遍的参与精神以及基于竞争的合作。

鉴于无标度网络具有的面对故障的稳健性和面对攻击的脆弱性,物联网的系统稳定性和安全问题将会成为未来国家和社会风险的首要影响因素,并直接影响经济和社会的稳定。2009 年 Stuxnet 病毒攻击伊朗核设施的事件、2011 年“CSDN 泄密门”事件都在昭示这一问题。而早在 2007 年美国国土安全部代号“曙光”的网络攻击演习,表明了一些国家尝试应对这一风险的努力。在未来,虚拟空间的犯罪行为将会激增,种类也更加繁多,但其目的将不再局限于传统的信息窃取、更改和破坏等对虚拟空间的影响,而是转变为试图通过虚拟空间实现对物理空间的影响。相应地,关于网络空间的立法也将更加丰富,黑客文化将更加繁荣,恐怖势力、民族分裂势力以及黑客的攻击目标会更加明确,网络中的数据中心、计算中心这类中心节点将成为其主要目标,遭受攻击的次数会显著增长,攻击目的将从一般性破坏转为争夺中心节点的控制权。这些组织的

① 乌珂曼等认为,物联网的发展会经历物联内网、物联外网、未来物联网和人联网四个阶段。每进入一个新阶段,网络的普适性和可扩展性都随之增加。人联网是以社交(social)、位置(location)、移动(mobile)和线上支付、线下服务(Online to Offline)为基础打造的全新体验的用户分享社区。它与互联网、物联网不同,它通过使用国际流行的技术手段实现人与人之间的高效互联互通的社交形式。参见乌珂曼,等.物联网架构:物联网技术与社会影响[M].北京:科学出版社,2013:4-5.

破坏能力由社会局部影响转变为对整个物联网所触及世界的威胁。因此,鉴于网络中心节点的这种重要性,各国在将来对其稳定性、可靠性的研发和投入会增加,因而中心节点相比其他网络节点会得到更多的资金关注和科技投入,这一方面增强了网络的安全性,另一个方面也增强了这些节点的适应性,从而使物联网向中央化的星状网络转变成为可能。

一个星状结构的物联网会对社会产生何种影响?一方面,星状结构将实现物联网的最大效能,理论上能够实现对社会资源的完美调配。“当所有的物都被接入同一个网络、所有数据都输入同一个计算中心处理,整个社会的资源都被统一配置,物联网的力量达到最大。”^[10]^[80]另一方面,在政治上它会有使物联网成为极权统治工具的风险,在经济上它会造就胜者通吃的垄断企业诞生。

在《极权与民主:物联网的偏好与风险》中,刘永谋等曾借助边沁的圆形监狱理论对此进行过说明。若视囚室和塔楼为节点,监视关系(视线)为链接,圆形监狱拓扑结构如图3所示:

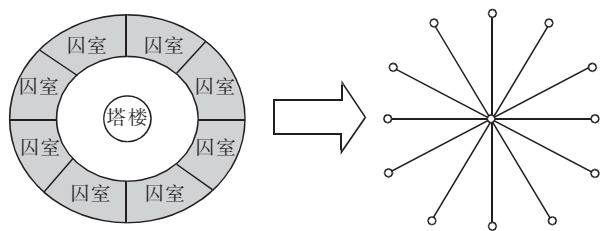


图3 圆形监狱的星状结构

圆形监狱的拓扑结构正是一个有着唯一中心节点的星状网络。按照结构决定功能的观点,物联网完全能够具备圆形监狱所有的功能,因而在政治上,极为可能成为一个极权统治的工具。在经济方面,位于中心的企业能够掌握所有的社会各类资源及其分配权,这一角色颇像计划经济时代的政府和20世纪90年代软件行业中的微软。如果缺乏有效的制约,某一企业就会实现对各行业的全面垄断。

因此,当人类有能力形成这类网络时,必然会导致激烈的争论,对于效率的渴求和失去自由、公平等价值的风险,让彼此间充满矛盾。

但无论人类的社会文明发达到何种程度,我们都应当对后者的代价保持足够的清醒。极权和垄断对社会的影响无需赘述,在理论层面可以从丰富的人文社科资源中寻找经验教训,在实际经验中可以从纳粹的衰亡、微软受到的制裁看到人们的基本态度。因此,我们需要寻找应对这类风险的措施,方法之一是从物联网转变为星状网络的条件着手思考。首先要考虑科技发展的水平。物联网中心节点所肩负的智能要求其计算能力、存储能力甚至智能化程度都要达到新的水平,这并非完全没有可能。其次,取决于社会文明程度或社会文化发展的水平。按照系统科学原理,“结构决定功能”必须以环境为前提。作为一种新技术,物联网的发展会受到当代社会文化发展的重大影响。要始终处理好科技和文化的关系,避免波兹曼所说的技术垄断文化现象的出现^[11]。要在价值观上提倡科技和人文的协调发展,在社会制度中建立对上述风险的控制机制,在物联网技术发展的过程中加强对其人文社会科学的研究,等等。

参考文献:

- [1] Cluster of European Research Projects on the Internet of Things (CERP - IoT). Internet of Things Strategic Research Roadmap[EB/OL]. [2012 - 12 - 23]. http://www.internet-of-things-research.eu/pd0f/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf.
- [2] 艾伯特·拉洛斯·巴拉巴西. 链接网络新科学[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,2007.
- [3] 方锦清,汪小帆,郑志刚,等. 一门崭新的交叉科学:网络科学(上)[J]. 物理学进展,2007(3):239-343.
- [4] 刘涛,陈忠,陈晓荣. 复杂网络理论及其应用研究概述[J]. 系统科学,2005(6):1-7.
- [5] FALOUTSOS M, FALOUTSOS P, FALOUTSOS C. On power-law relationships of the Internet topology[R]. Cambridge, MA: ACM SIGCOMM, 1999.
- [6] 刘海涛. 感知社会论[M]. 上海:华东师范大学出版社,2011.
- [7] 乌珂曼,等. 物联网架构:物联网技术与社会影响[M]. 北京:科学出版社,2013.
- [8] 丹尼尔·贝尔. 后工业社会的来临[M]. 北京:新华出版社,1997.
- [9] 克莱·舍基. 人人时代[M]. 北京:中国人民大学出版

社,2012.

(5):79-83.

[10] 刘永谋,吴林海. 极权与民主:物联网的偏好与风险——以圆形监狱为视角[J]. 自然辩证法研究,2012

[11] 尼尔·波兹曼. 技术垄断:文化向技术投降[M]. 北京:北京大学出版社,2007.

Scale-free networks versus star networks: the topology of the Internet of Things and its social impacts

LIU Yong-mou, CHEN Xu-guang

(School of Philosophy, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: The complexity of the Internet of Things (IoT) will surpass that of the Internet. The scale-free network model provides a new method for the analysis of complex networks. There are two possibilities for the topological structure of future IoT: the scale-free network and the star network. The topology of the Internet of Things will greatly influence the future society. We should be alert to the social risk of the development of the IoT towards the star network.

Key words: Internet of Things; scale-free networks; social impact; network science

(责任编辑:刘云)

· 简讯 ·

我校获得第六届高等学校科学研究优秀成果奖 (人文社会科学)一等奖

在2013年教育部第六届高等学校科学研究优秀成果奖(人文社会科学)评奖中,我校闵春发教授的科研成果“高校加强马克思主义意识形态工作和大学生思想教育研究”喜获一等奖。此成果是本届优秀成果奖中思想政治教育类唯一的一等奖。