

# 社交物联网研究综述

弭宝瞳 梁循 张树森

(中国人民大学 信息学院 计算机系 北京 100872)

**摘要** 物联网的理论、技术和应用已成为学术界的研究热点, 拓展物联网的研究, 需要来自各个领域的创新。近年来, 基于社交网络与物联网相融合的研究, 逐渐形成了物联网领域内一个新的研究主题——社交物联网。社交物联网从物联网的不同层面来应用社交网络的研究成果, 进而解决物联网研究中的具体问题, 为物联网的发展带来了新的机遇。当前, 社交物联网的概念并不统一, 研究内容也较为分散。本文通过对社交物联网的系统性梳理, 进一步总结归纳了社交物联网的主要研究内容。首先本文给出了社交物联网的一般性定义, 并探讨了社交物联网的研究意义和主要研究方法, 然后分析了社交物联网的模型, 并讨论了社交物联网的实现, 接下来介绍了社交物联网的应用, 最后展望了社交物联网的研究重点。本文总结了社交物联网的理论体系, 为物联网的理论、技术和应用提供了新的研究视角。

**关键词** 社交网络; 物联网; 社交物联网; 信息-物理-社会融合系统; 交叉融合

**中图法分类号** TP18

## A Survey on Social Internet of Things

MI Bao-Tong LIANG Xun ZHANG Shu-Sen

(Department of Computer Science, School of Information, Renmin University of China, Beijing 100872)

**Abstract** The theory, technology and application of Internet of Things have become a hot topic in academic research, while expanding the research on the Internet of Things needs to innovate from various fields. The current research based on the integration of social networks and Internet of Things has formed a new research topic in the Internet of Things. The resulting paradigm named Social Internet of Things (SIoT), which applies the theory of social networks into the different levels of the Internet of Things to solve specific research issues, has brought new opportunities for the development of the Internet of Things. At present, the concept of SIoT is not well defined, and the research content is also scattered. In this paper, we make a systematic analysis of the SIoT, and further sum up major research contents in this field. Firstly, we present a general definition of the SIoT, which is a sub set of Internet of Things, using intelligent hardware and human as the node, using social network as the organization type, using the social relationship between things and things, things and human, human and human, formatting research methods and models with social network characteristics, so as to realize the connection, service and application of the Internet of Things, it is a form of realization of technology, architecture, and application of the internet of things using social network research methods. SIoT further promotes the integration of the real world and the virtual world, enriches the realization of the Internet of things, expands the research scope of the social networking, and provides a new solution for the specific problems of the Internet of things. Next, we discuss the research significance and main research methods of the SIoT, including link selection, community discovery, trust management, service discovery, and privacy security. Facing different research directions and using social networks to solve the problems of Internet of things, researchers have put forward

本课题得到国家自然科学基金项目(71271211、71531012)资助。弭宝瞳, 男, 1990年生, 博士研究生, 主要研究领域为物联网、社会计算, E-mail: mibaotong@ruc.edu.cn。梁循 (通讯作者), 男, 1965年生, 博士, 教授, 博士生导师, CCF会员, 主要研究领域为神经网络、支持向量机、社会计算, E-mail: xun\_liang@163.com。张树森, 男, 1988年生, 博士研究生, 主要研究领域为数据挖掘、社会计算。

different research methods in the field of SIoT. Then we analyze the models of the SIoT, analysis and summarize it from architecture model and abstract model. Then we discuss the realization of SIoT, including the theory, the platform and technology. Followed by the application of social networks, like transportation, medical, environmental, personal and social fields, improve the quality of people's life and promote social progress. Finally, we point out the key research of SIoT in the future, such as the definition of relationship, management of data, security problem, discovery and combination of service, isomerism, interactive mode. The paper summarizes the framework of SIoT, and provides a new perspective for the theory, technology and application of Internet of Things. SIoT as the result of the convergence of social networking and Internet of Things, though it is only a subset of the Internet of things, SIoT has further promoted the theoretical research of Internet of Things, and expanded the theoretical system of social networking. Therefore, the rapid development of the Internet of Things provides more opportunities for the multidirectional cross penetration of other scientific research fields.

**Key words** social networks; internet of things; social internet of things; cyber-physical-social systems; integration

## 1 引言

物联网被誉为互联网的未来,将使当前人与人之间的沟通形态拓展到人与人、人与物、物与物之间<sup>[1]</sup>。同时,物联网也将使社交网络的定义不再局限于人与人之间,而是扩展到人与人、人与物、物与物之间。但要实现这样有效可靠的物联网,仍需面对一系列问题。例如,感知现实世界、传输数据、管理相关服务以及构建应用程序等<sup>[2]</sup>。实际上,学术界针对这些问题已经做了很多工作<sup>[3]</sup>,我们将其总结为两个优先级较高的目标:一是通过在感知层和网络层上的操作,实现物品联网;二是通过提供中间件、功能应用以及协议标准,实现物品相关服务的开发和利用。

与物与物之间形成的物联网领域相对应,人与人之间组成的社交网络领域已有大量的方法和应用可以借鉴,尤其在互联网领域的研究中,广泛应用了社交网络的模型和方法,并提出许多相应的解决方案。例如,社会感知网络(Socially Aware Networking, SAN)<sup>[4]</sup>的提出,将社会感知作为网络设计中不可或缺的因素之一,从而为应用和服务提供更好的网络支持<sup>[5]</sup>。借鉴社交网络解决互联网相关问题的思路,研究人员逐渐提出了将社交网络与物联网相融合的解决方案,从而实现上述物联网的两个目标。例如,早在2001年,就有研究人员提出将物品之间的关系社会化的想法<sup>[6]</sup>,在无线传感器之间建立临时关系,并让传感器节点的所有者控制该关系的建立。因此将社交网络的相关方法,应用到传感器网络、无线自组织网等相关的物联网感

知层和网络层,推动了物联网的第一个目标,即物品联网。但由于当时物联网和社交网络服务(Social Network Service, SNS)的概念都还处于起步阶段,并未引起广泛关注。

近年来,随着智能物品的出现,进一步发掘了人与物、物与物之间交互的潜力。例如文献<sup>[7]</sup>区别了连接到在线社交网络(Online Social Network, OSN)与只连接到互联网的物品。文献<sup>[8]</sup>提出了Social Device的概念,利用语义技术,将社交能力嵌入到物品中,从而实现物品之间的自主交互。Matthias等人<sup>[9]</sup>将社交网络和技术网络相结合,并在物联网环境中,讨论了Socio-Technical Networks的特征。但由于智能物品的种类繁多,网络协议的复杂专用,导致物联网应用之间相互集成的复杂度较高,因此出现了将物联网技术与互联网技术相结合的物品万维网技术(Web of Things, WoT)<sup>[10]</sup>,而Social Web of Things(SWoT)<sup>[11]</sup>的提出,把OSN作为一种特定的互联网应用,与WoT相结合,强调了人在物联网中的参与度<sup>[12]</sup>。随着OSN、WoT、SWoT等相关概念的提出与发展,将社交网络应用到物联网的服务层和应用层,进一步推动了物联网的第二个目标,即实现相关服务的开发和应用。

2011年,Atzori等人<sup>[13]</sup>定义了智能物品形成的社交网络,正式提出了社交物联网(Social Internet of Things, SIoT)的概念,即类似于人类的社交网络服务(SNS),将社交关系的概念引入到物品之间,从而体现以下优势:(1)社交物联网的建立,可以有效实现对象和服务发现,保证网络可扩展性,如同人类社会网络;(2)可以利用物品之间的“朋友”关系,通过物品之间的交互,实现信任

管理；（3）可以将社交网络的研究模型应用于物品网络的连接问题。

需要指出的是，对于将社交网络与物联网相结合的研究，除了本文重点关注的SIoT以外，还有其他上述类似概念，如Social Device、Socio-Technical Networks、SWoT等，都是利用社交网络解决物联网的相关研究问题，以促进物联网的实现与应用。因此本文通过分析上述相关概念及其研究内容，提出了社交物联网的研究框架。如图1所示，社交物联网是社交网络与物联网相融合的产物，拥有其独特的概念与特性。在抽象了物联网不同层面的基础上，借鉴社交网络的方法与模型，形成具有自身特点的社交物联网方法与模型，推动物联网的连接、服务与应用。进而应用到现有的社交网络平台及物联网系统，从而组成了以研究方法、研究模型、实现平台、具体应用为代表的社交物联网研究领域，并最终为社交物联网的发展，提供了整体视角。图1中的标号代表本文章节，并在具体章节展开论述。

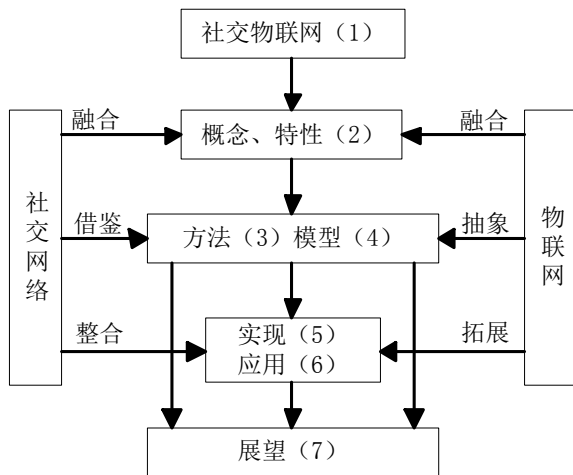


图1 社交物联网研究框架

目前社交物联网已经引起了国内外研究机构的广泛关注，例如国内的北京邮电大学<sup>[14]</sup>，西安交通大学<sup>[15]</sup>及其他<sup>[16]</sup>。但从现阶段的研究成果上看，关于社交物联网的研究仍处于初级阶段，还存在诸多需要解决的理论和技术难题，部分概念仍比较模糊。例如南京邮电大学的沈苏彬教授，在《软件学报》的物联网2014专刊前言中提到，通过统计分析方法导出的社会网络用于推导一个客观上具有社会属性的物品信任管理，是否比利用物联网感知的具有社会属性的物品行为数据直接进行物品信任管理更加有效，还有待进一步研究<sup>[17]</sup>。

当前社交物联网的概念尚未统一，Ortiz等人<sup>[18]</sup>曾对社交网络与物联网的融合进行过综述，但该工

作没有明确社交物联网的定义，只是简单列举了当前的相关文献，缺少对社交物联网主要研究问题（研究方法、系统模型等）的总结和分析，无法形成系统性的理论体系。因此本文将于第二节展开分析社交物联网的概念性定义及研究特征，并从现实世界与虚拟世界的融合、物联网的实现、社交网络的研究范畴以及物联网的具体问题4个方面来探讨社交物联网的研究意义。同时，本文克服当前社交物联网的碎片化研究现状，以社交物联网的研究框架为基础，总结社交物联网的研究领域，从概念、方法、模型、实现和应用5个方面，归纳了社交物联网的研究内容，为物联网的发展与应用，提供了一种新颖的实现方式。

因此，本文的主要目标是明确社交物联网的概念，并运用社交物联网的研究方法，进而指导社交物联网的模型构建，推动社交物联网的实现与应用，为社交物联网进一步研究和发展提供系统性的理论支撑，从而推动社交物联网相关研究更好的发展。本文首先总结了社交物联网的相关概念与研究意义；然后归纳了社交物联网的主要研究方法，并对社交物联网的模型、实现和应用进行总结分析；最后，指出了当前社交物联网所面临的研究挑战与机遇。

## 2 社交物联网概念

### 2.1 社交物联网定义

当前针对社交物联网的研究越来越多，但对社交物联网的概念并没有形成统一的定义。Atzori等人<sup>[19]</sup>提出的社交物联网概念，主要侧重建立物与物之间的社交关系，从而有效地实现资源发现和服务发现，但并没有体现人类社交网络在物联网应用方面的潜力。文献<sup>[20]</sup>认为在物联网中增加社交网络的属性，可以类比人类的社交网络来定义物联网对象之间的社交关系，设计社交物联网的抽象模型，分析基于物联网对象建立的社交网络结构，从而将基于人类社交网络的模型<sup>[21]</sup>扩展到基于物品的社交网络中。文献<sup>[11]</sup>则针对物联网的应用，利用社交网络的框架来实现物联网中的物品共享，实现用户与物品之间的直接交互。在文献<sup>[22]</sup>中，作者设想未来互联网将具有普适物联网架构，提出了类似于社会组织框架的模型，但该模型并没有将社交网络的特点应用到物联网中。此外，文献<sup>[18]</sup>从互联网的角度，提出了社交物联网的体系结构，用来解决相关参与

方的社交需求,但这仅仅是从社交网络角度提出的物联网需求模型,无法满足物联网的整体架构。

由此可见,上述研究工作都是从技术、框架、应用等不同角度将社交网络与物联网相结合,解决物联网中的某些问题或者实现物联网的某些应用。但是不同的概念反映的只是社交网络与物联网相结合的不同侧面,因此需要对社交物联网有一个新的完整认识。

本文通过总结上述概念及相关工作的特点,结合社交物联网的研究框架,归纳了社交物联网的研究特征:

- (1) 在物与物之间,建立物品之间的社交网络,从而实现像人类社会网络那样的可拓展性;
- (2) 在物与人之间,挖掘人与物联网之间的联系,以结合人类社会特征方面的研究。
- (3) 在人与人之间,将物联网服务与社交网络服务相结合,实现更好的服务发现和用户体验;
- (4) 抽象社交网络研究模型,为物联网的实现与应用,提供一种新的研究思路。

因此,社交物联网的本质特性是物联网与社交网络在概念、方法、模型及应用方面的交叉融合。由此,本文总结了社交物联网的一般性定义及形式化定义。

**定义1.** 社交物联网 (Social Internet of Things, **SIoT**) 是物联网的一个子集,以智能硬件及其用户为代表的实体为节点,采用社交网络的组织方式,利用物与物、物与人、人与人之间的社交关系,形成具有社交网络特点的研究方法和模型,从而实现物联网的连接、服务和应用,是物联网在技术、架构、应用等方面利用社交网络研究方法的一种实现形式。

社交物联网虽然不是一类特殊的物联网,也不能称为物联网的一种演进<sup>[23]</sup>,但社交物联网的节点可能是物也可能是人,其自身网络的拓扑结构、节点内容、节点位置的不同造就了形形色色的社交网络行为。因此,社交物联网作为物联网与社交网络从多角度、多层面融合后的产物,与物联网和社交网络又存在本质上的不同。物联网的定义是万物互联,但并没有定义互联的方式,比如通过无线自组织网络来实现物与物的连接,而社交物联网明确了通过建立社交网络的方式,来实现物与物、物与人、人与人的互联。一般社交网络的定义是人与人之间的社交,而在社交物联网环境中,对社交网络的定义泛化为人与人、人与物、物与物的更大范围的社

交,从而在属性、结构、内容、位置等方面区别于一般社交网络。

我们根据Atzori等人<sup>[19]</sup>对社交物联网的描述,以建立物与物之间的社交关系为代表,将社交物联网抽象为具有拓扑结构的计算机网络,节点表示物或人,边表示物与物、物与人、人与人之间的社交关系,其形式化定义如下。

**定义2.** 令 $V$ 表示社交物联网的节点集合: $V = \{v_1, \dots, v_i, \dots, v_m\}$ ,其中 $m$ 为节点数量, $v_i = S \cup T$ ,表示其中任意一个节点,其中 $S$ 代表物的集合, $T$ 代表人的集合,将社交物联网抽象为无向图 $G = \langle V, E \rangle$ ,其中 $E$ 为边的集合, $E = \{(v_i, v_j) \mid v_i \in V, v_j \in V\}$ ,每条边 $(v_i, v_j)$ 代表两个节点之间的社交关系。

令 $N_i = \{v_j \mid (v_i, v_j) \in E, v_i \in V, v_j \in V\}$ ,表示与节点 $v_i$ 具有社交关系的节点集合,则 $K_{ij} = \{v_k \mid v_k \in N_i \cap N_j\}$ 表示与 $v_i$ 和 $v_j$ 的都具有社交关系的节点集合。

由此,在硬件领域,以智能芯片为代表的硬件设备抽象为网络节点 $v_i$ ,通过抽象不同节点的属性,建立节点之间的社交关系 $E$ 。在软件领域,将社交网络结构图 $G$ 与现有的通讯协议相结合,建立社交物联网的底层通讯基础。在安全领域,将节点所具有的社交关系 $N_i$ 与节点的行为数据相结合,提供更丰富的安全及隐私保护方法。在服务领域,利用 $K_{ij}$ 代表的具有社交关系的节点集合,使用链接预测、社区发现等方法,为服务发现提供更全面的技术支撑。

## 2.2 社交物联网的研究意义

虽然社交物联网是物联网的一个子集,但社交物联网的研究,进一步推动了现实世界与虚拟世界的融合,丰富了物联网的实现方式,拓展了社交网络的研究范畴,为物联网具体问题提供了新的研究思路。

### 2.2.1 面向现实世界与虚拟世界的融合

近年来,智能设备、智能手机、智能汽车、智慧家庭、智慧城市等概念被相继提出,为了实现这些目标,学术界形成了各种不同的甚至是互不相交的研究领域,主要包括:无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks, **WSN**),物联网 (Internet of Things, **IoT**),信息物理融合系统 (Cyber-Physical Systems, **CPS**) 等<sup>[24]</sup>。

其中**IoT**和**CPS**可以分别看作是现实世界与虚拟世界融合的不同侧面<sup>[25]</sup>,**IoT**在互联网的基础上,所代表的现实世界与虚拟世界融合的系统层面,实现了物品联网以及更多应用系统的开发<sup>[26]</sup>。**CPS**利

用互联网的成熟技术,所代表的现实世界与虚拟世界融合的技术层面,更加注重语义、融合、可信等方面的网络虚拟作用<sup>[27]</sup>,IoT与CPS共同构成的现实世界与虚拟世界相融合的社会层面,主要包括社会、经济、法律以及隐私保护等问题。本文在社交物联网概念的基础上,结合互联网、IoT与CPS的发展,提出了现实世界与虚拟世界融合的体系结构发展示意图,如图2所示。

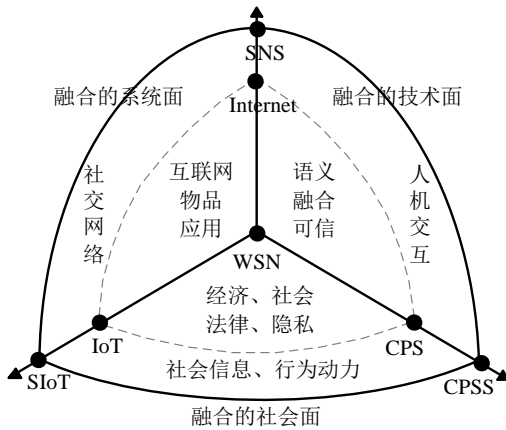


图2 现实世界与虚拟世界的融合

社交网络与互联网的结合,形成了各种各样的SNS应用,促进了人与人之间社交关系的连接。同时,随着人在计算系统中的作用越发重要,CPS的快速发展对人的行为和交互产生了巨大影响,而CPS中的很多复杂问题需要集成考虑人的因素,CPS从关注计算、通讯和控制的融合,扩展到融合人类和社会特征,进入到了信息-物理-社会融合系统(Cyber-Physical-Social Systems, CPSS)时代<sup>[28]</sup>。同样,SIoT的提出,拓展了物联网与人类社会特征相结合方面的相关理论研究。

如图2所示,在融合的技术层面,CPSS和SNS都更加注重人的参与性,例如CPSS通过智能化的人机交互方式实现了人员组织和物理实体系统的有机结合,而SNS通过良好的人机交互界面,丰富了人与人之间的沟通形式。在融合的系统层面,SIoT与SNS都应用了社交网络的相关原理和方法,例如SIoT将人与人之间的社交关系拓展到物与人、物与人之间,而SNS将线下的社交关系映射到了线上。在融合的社会层面,SIoT与CPSS都拓展了社会信息、行为动力等方面的理论研究。

### 2.2.2 面向物联网的实现

当前物联网实现的瓶颈在于物联网的应用过于碎片化,解决方案的设计和构建通常是孤立的<sup>[29]</sup>。这主要是在没有广泛认可的具有互操作性参考架构的情况下,孤立研究和开发的结果。

随着互联网与现代技术的结合,我们日常使用的对象正在转化为可以感知环境并进行响应的智能对象,成为物联网不可或缺的组成元素<sup>[30]</sup>。但这仅仅是智能化进程的第一步,未来将会出现从智能对象到具有社会智能的社会化对象(Social Object),对象之间将通过自主交互来实现物联网中的服务发现<sup>[31]</sup>。

因此,本文认为解决物联网碎片化发展的一种方法是借助当前互联网服务提供的网络协议和通信规范,让物品以社交形式与外界进行交互。由此本文总结了物联网的发展趋势,如图3所示。

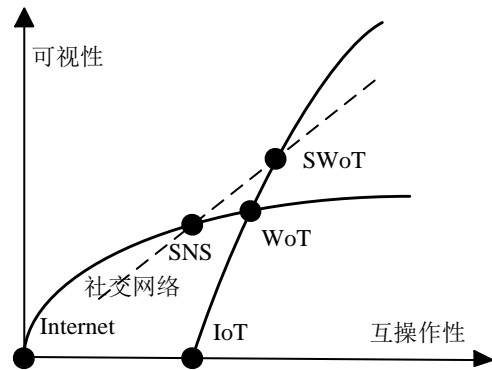


图3 物联网的实现趋势

图3中社交网络与互联网的结合,推动了SNS的发展,促进了人与人之间社交关系的连接;物联网与互联网的结合,通过互联网技术屏蔽物联网的异构性,实现了物品的可视性和互操作性。在此基础上,当社交网络再次与物联网相结合,集成SNS和WoT的特点,建立物与物、物与人、人与人之间的社交关系,实现统一的物联网互操作性参考架构。因此社交物联网的提出,进一步促进了物联网在可视性及互操作性方面的实现。

### 2.2.3 面向社交网络的研究范畴

一般社交网络建立的是人与人之间的关系网络,人是网络中的节点,依靠人与人之间的朋友关系组织在一起。而在社交物联网环境下,社交网络的研究范畴将拓展到物与物、物与人、人与人之间,从而在属性、结构、内容、位置等方面与一般社交网络表现出量或者质的区别。

社交物联网环境下的社交网络,在属性方面,网络节点将同时包括物与人,需要抽象物与人的属性,定义物与物、物与人之间的社交关系。在结构方面,如何利用人与人社交网络和物与物社交网络间的相互映射关系,处理由大量物品带来的大规模网络拓扑结构问题。在内容方面,增加了物品信息,这为社交网络分析带来了更丰富的数据支撑,也为

社交网络分析方法的优化带来了新的机遇。此外，在位置方面，通过智能手机、车载移动终端等多种传感网技术的应用，也进一步推动了移动社交网络的研究<sup>[32]</sup>。

因此，物联网与社交网络是互惠的，物联网受

益于社交网络，形成社交物联网的同时，拓展了社交网络的研究范畴。

### 2.2.4 面向物联网的具体问题

当前许多团队正在从事物联网相关课题的研究，我们将其概括为8个领域：大规模、体系结构

表1 社交物联网的研究领域在物联网中的适用性

物联网研究领域	社交物联网研究领域	适用物联网的具体问题	适用性分析
大规模	链接选择、服务发现	设备发现、异质性	利用物品间的社交关系，透明化物品的异质性，实现分布式查询，保证设备发现的有效性和扩展性。
体系结构与集成	体系结构模型、抽象模型	架构、应用、系统集成	利用社交物联网的模型，促进物联网通用架构的实现，丰富物联网的应用，为系统集成提供新的解决方案。
知识生成与大数据	社区发现、语义技术	数据关联、语义视图 <sup>[2]</sup>	利用社交关系、移动模型、相似兴趣建立社区，实现物品数据与人的正确关联，利用语义技术，实现物联网基于语义的视图。
鲁棒性	链接选择	动态维护、实时验证	通过建立社交物联网的小世界网络拓扑模型，当面对一定数量的节点失效现象时，提高网络的鲁棒性 <sup>[42]</sup> 。
开放性	语义技术、实现平台	统一接口、人机交互	利用主流 SNS 提供的开放接口，解决了不同平台的接口标准问题，利用开放 API，开发丰富的物联网人机交互应用。
安全	信任管理	安全机制、信任计算	增加了物联网解决信任问题的社交属性，从而提出了新的安全策略，丰富了仅基于物品行为数据的信任计算方法。
隐私	隐私安全	权限控制	利用 SNS 提供的跨域认证和跨域访问控制功能，可实现物联网的细粒度权限控制，但在物联网底层隐私保护方面，不具有适用性。
人的参与	体系结构模型、实现技术、社交物联网的应用	应用扩展、行为模式、用户控制	社交物联网对物联网的一个重要作用在于促进了人的参与，各种面向服务类需求的体系结构模型，与 SNS 相结合，增强了人的参与性，以用户为中心的应用开发，丰富了人与物的交互模式，同时为人类行为模式的研究提供了科学数据。

与集成、知识形成与大数据、鲁棒性、开放性、安全性、隐私性、人的参与 (Humans in the Loop)<sup>[24]</sup>

根据定义1，从整体上说，社交物联网是借助社交网络的研究成果，解决物联网的相关问题。本文总结了当前社交物联网研究的具体领域，与物联网的研究问题相对应，讨论了针对社交物联网的研究对物联网相关问题的适用性，如表1所示。

本文后续部分，将综合以往基于社交网络与物联网相结合的方法、模型、技术及应用，对其进行总结和概括，提出未来可能的研究重点，并注重对物联网相关问题的解决，为物联网的进一步研究和提供便利和帮助。

## 3 社交物联网主要研究方法

社交物联网在利用社交网络的模型与技术，从不同角度解决物联网问题的同时，也形成了自身的研究方向。根据2.2.4节提出的物联网具体问题及其适用原则，我们归纳了社交物联网中的5个主要研究方向：链接选择、社区发现、信任管理、服务发现及隐私安全。面向不同的研究方向，利用社交网络解决物联网相关问题，研究人员在社交物联网领域提出了不同的研究方法。

### 3.1 面向链接选择的方法

在物联网中，随着连接到网络的物品呈指数式

增长，将形成一个巨大的搜索空间，如何搜索物品所提供的某项特定服务，是一个关键性问题。基于此问题所提出的几种实时搜索方法<sup>[33]</sup>，一个共同的问题是中心化架构来建立的搜索引擎，无法根据设备和查询规模的数量实现动态扩展。而在社交物联网中，应用人类社交网络的小世界现象原则及六度分割理论<sup>[21]</sup>，每个物品可以通过使用社交关系来查找期望的服务，以分布式方式查询其“朋友”或者“朋友”的“朋友”，从而保证资源发现和服务发现的有效性和扩展性<sup>[34]</sup>。

基于上述思路，Nitti等人<sup>[35]</sup>引入了网络适航 (Network Navigability) 的概念，将朋友选择抽象为网络节点的链接选择问题。如图4所示，当节点1希望获取节点10的信息时，需要面临多种选择问题，即如何通过节点1与周围节点的关系与信息。文献<sup>[36]</sup>提出了链接选择策略，以及动态调整节点链接数量阈值的方法，从而实现分布式搜索，保证本地网络和全局网络的适航性。

但是该策略将网络中的所有节点都包含在内，利用社交网络中基于节点相似性的共同邻居算法，只考虑了共同邻居节点个数。而社交物联网中的节点相似性，在网络拓扑结构的基础上，还需要考虑物品和人所具有的社交属性。因而节点相似性将具有更多的个性化内容，例如角色、行为、兴趣等。因此，单纯利用网络适航概念解决链接选择问题，在社交物联网环境下并不具有通用性。

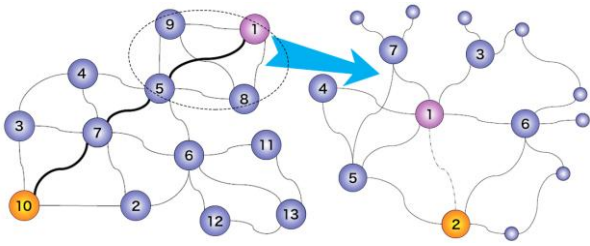


图4 社交物联网链接选择模型

其实在社交网络中，经常使用Shapley-value<sup>[37]</sup>的方法来解决网络及社会分析方面的问题，因此Militano等人<sup>[38]</sup>提出了基于Shapley-value的博弈论模型，通过对效用函数的计算，与无好友限制的解决方案进行对比，进一步提高了网络适航性。

在社交物联网的链接选择过程中，还存在优化信息请求者和信息提供者之间距离的问题，这可以借鉴信息中心网络<sup>[39]</sup>，记录信息搜索的过程轨迹，建立缓存系统，将查询信息存储在物品中实现重用。文献<sup>[40]</sup>将此方法与社交物联网中的朋友选择方法相比较，论述了上述两个方法的适用场景。以上方法都是基于图的结构来执行搜索，Jung等人<sup>[41]</sup>又基于超图模型，利用超边描述节点之间的多种潜在关系，丰富了社交物联网的关系模型。

上述社交物联网的链接选择方法，可用来提高社交物联网的鲁棒性，但仍需面对大量异构网络所带来的节点失效、拓扑结构低效等问题。Qiu等人<sup>[42]</sup>通过建立社交物联网的小世界网络拓扑模型，针对各种异构的传感器网络，提出了一种小世界贪婪模型（Greedy Model with Small World, GMSW），从而在增加小规模路径时，能够快速地向网络具有小世界属性，当面对一定数量的节点失效现象时，GMSW模型具有突出的性能表现，进一步增强了社交物联网的网络鲁棒性。

在一般社交网络中，往往利用节点属性特征，网络拓扑结构，节点相似性等实现链接选择<sup>[43]</sup>。而在社交物联网环境下，节点属性特征不再是传统的用户画像，而是以物品及其服务所代表的更复杂的属性特征。同时社交物联网环境下的网络拓扑结构，在考虑一般社交网络拓扑结构的同时，还要考虑异构的传感器网络等特定环境<sup>[44]</sup>。而在节点相似性方面，一般社交网络主要基于网络结构信息定义节点相似性<sup>[45]</sup>。而在社交物联网中，物品节点将具有更多的个性化内容，其节点相似性主要来自网络的外部属性，例如特定的服务请求以及节点之间的关系类型，从而为链接选择提供了更丰富的数据支撑。因此相比一般社交网络，社交物联网环境下的链接选择，在属性、结构、内容方面，拥有更全面

的分析条件，但同时也要面临更复杂的处理环境。

### 3.2 面向社区发现的方法

社区发现对研究复杂网络的特征具有重要作用，特别是在社交网络中，社区结构是客观存在的。其中，利用社区发现技术在优化推荐系统、降低计算复杂度等方面都具有重要意义。因此，利用社交物联网的物品或用户间的社交网络模型，以及应用社区发现算法，为服务发现、路径推荐、信任管理等各方面研究提供了丰富的研究方法。例如，拥有相同智能物品的用户通常具有相同的兴趣，同时这些智能物品的运动和行为模式又具有相似性，且通常会频繁的交互。因此，可以利用这些特点实现社区发现。我们将社交物联网环境下的社区发现策略，抽象为三类：基于结构的方法、基于位置的方法及基于内容的方法。

基于结构的方法，结构是社交关系的基础，没有结构就没有社交关系，当结构给定时，可以形成形形色色的社交关系，如社区结构、关键路径、重要节点等。其中基于社交关系，利用节点之间的长期社交关系建立社区，过去经常联系的节点将属于同一个社区，进而通过社区内的社交关系，实现节点之间的资源共享。文献<sup>[46]</sup>利用节点之间的长期邻居关系，提出了基于移动社区的发布/订阅模型，从而有效提升了延迟容断网络的内容服务质量。Misra等人<sup>[47]</sup>基于好友关系建立了社区发现模型，将社交网络的权限控制机制应用到物联网。Zheng等人<sup>[48]</sup>利用用户之间的社交关系和社会贡献，提出了基于图的社会感知算法，从而提升了D2D通讯中的多文件传播效率。在机会物联网（Opportunistic IoT）<sup>[49]</sup>的概念中，通过人的机会性接触建立社区，使得物联网的资源信息能够在社区之间共享和传播。此外，Ning等人<sup>[50]</sup>在社会感知网络概念的基础上，利用移动节点的社会关系形成社区，提出了可复制调解激励策略，为社交物联网的数据分发，提供了一种高性能研究方法。

基于位置的方法，位置的移动会导致结构的变化，从而导致社区结构、关键路径、重要节点等社交关系的改变。其中基于移动模型，利用物品所属用户的移动轨迹建立社区，具有相同轨迹和行为特征的节点将属于同一个社区。An等人<sup>[51]</sup>通过分析移动节点之间的社交关系，挖掘社区特点，提出了一种面向物联网移动感知节点的社会关系认知模型，You等人<sup>[51]</sup>基于相同的思路，分析了移动感知节点的社会关系，然后挖掘节点的活动规则及其所属社

区的活动规律,进一步提高了在目标区域的节点发现效率以及服务发现的成功率。同时, Girolami等人<sup>[52]</sup>在与物联网密切相关的移动自组织网络中,分析了人的社交行为和移动属性,建立了临时社区,并在社区内提出了一种主动服务搜索协议,提高了服务发现效率。

基于内容的方法,内容是结构的丰富和延伸,内容的相似性、重要性、新颖性、时效性等有时会导致社区结构、关键路径、重要节点等社交关系的重塑。其中基于兴趣相似性,利用节点用户的兴趣和用户共享资源的相似性建立社区。针对建立在对等网络(Peer-to-Peer, P2P)上的移动社交网络, Qureshi等人<sup>[53]</sup>结合用户的兴趣,节点的移动性,提出了一种自适应内容分享协议,提升了P2P移动社交网络的内容传播效果。在断开的移动自组织网络中, Chen等人<sup>[54]</sup>提出了一种基于内容的P2P文件共享系统,根据文件内容,通过兴趣提取算法,将具有相同兴趣的节点组成一个社区,同时根据节点之间的交互频率,将节点分为稳定节点和移动节点,进而提高了文件搜索的效率。Li等人<sup>[55]</sup>同时利用移动社交网络中的用户兴趣和移动模型相似性,建立了全局社区与子社区,并映射到物理设备上,如图5所示。

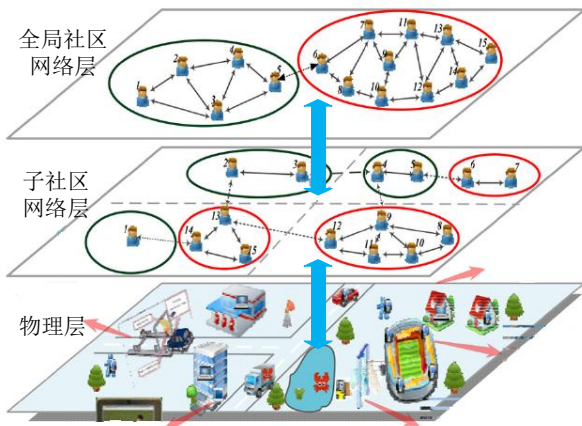


图5 社交物联网社区发现模型

图5中全局社区网络层与物理层之间,抽象了子社区网络层,作为用户社区与物理社区的映射,提出了社交物联网环境下的资源搜索机制,提高了搜索效率,缓解了社交物联网的系统负载。

上述社交物联网的社区发现策略中,基于结构的方法,建立了物与物、物与人、人与人之间的社交网络,从而为处理人与人之间社交网络与物与物之间社交网络的相互映射,以及为社交网络的结构研究,提供了新的研究视角。在基于位置的方法中,更多的结合了移动社交网络的相关研究方法,而利

用感知技术,社交物联网拥有更丰富的行为数据,以及更精确的动态位置数据。从而区别于一般社交网络中的以人作为社区发现的主要研究对象,社交物联网社区发现的主要研究对象将是物品及物品所代表的服务。基于内容的方法,社交物联网环境下具有大量的物品数据及用户数据,通过对兴趣相似性,个性化推荐等研究方法的应用,提高了信息传播的效率。因此如何将社交网络的各种社区发现方法与社交物联网所特有的结构、位置、内容相结合,将是社交物联网的一个研究重点。

### 3.3 面向信任管理的方法

在物联网中,由于底层设备经常处于公共区域并通过无线进行通信,没有有效的信任管理机制,物联网中的攻击和故障将掩盖其所有功能<sup>[56]</sup>。同样在社交物联网中,设备与设备,用户与设备之间的交互方式将更加丰富,没有值得信赖的安全通信和可信交互,社交物联网将无法成为一个成熟的体系,而其所具有的其他潜力也将无从发挥。因此信任管理是社交物联网的一个主要研究问题,以确保数据的可靠,服务和用户的安全。

近年来,信任管理在物联网和社交网络中已有很多成熟的解决方案。例如, Yan等人<sup>[57]</sup>将物联网中的信任管理策略总结归纳为8个方面:信任评估、信任框架、数据感知信任、身份信任及隐私保护、信任传播、多方安全计算、用户信任、应用信任。同时,该作者也研究了社交网络中信任管理的几个关键问题:基于上下文感知的信任产生、可信内容推荐,安全通信,流量控制、用户隐私推荐和保护以及信任和隐私增强技术<sup>[58]</sup>,为利用物联网与社交网络中已有的信任管理方法,综合应用于社交物联网中,提供了重要参考。例如, Huang等人<sup>[59]</sup>在普适社交网络(Pervasive social networking, PSN)中提出的基于信任的分布式安全社交通信机制,为社交物联网中的安全通信机制,提供了研究基础。

在社交物联网环境下,物品之间可以建立社交关系,因此相比物联网,社交属性成为其信任管理中一个不可或缺的条件,同时相比社交网络,社交物联网又具有物联网中普遍存在的大规模、存储限制、能量消耗等问题,因此在可扩展性、适配性、性能等方面,又是社交物联网信任管理中要考虑的因素。

本文借鉴文献<sup>[60]</sup>对物联网中的信任管理分类:信任组成、信任传播、信任聚合、信任更新及信任建立,对比分析了社交物联网的信任管理策略,如



表2所示。

在具体研究中, Bao等人<sup>[61]</sup>在物联网的信任管理中考虑了社交信誉和服务质量(Quality of Service, QoS)因素, 针对社交物联网环境的动态变化, 例如节点行为的变化, 成员关系的变化, 交互模式的变化, 提出了动态信任管理协议, 使用直接观察和间接建议的策略来更新信任状态。但在社交物联网中, 物品还可以独立于用户, 建立物品之间的社交网络<sup>[62]</sup>。由此作者进一步提出了以兴趣社区为基础的社交物联网, 从而取代用户, 直接将物品节点组成社区, 同时考虑了社交物联网的扩展性、自适应性及自恢复问题<sup>[63]</sup>。但是, 恶意节点依然可以基于信誉的主要属性, 使用与信誉相关的漏洞来破坏系统功能<sup>[64]</sup>。为解决此问题, Chen等人<sup>[65]</sup>利用分布式协同过滤技术, 通过身份验证, 信息推荐等组合方法, 对具有相似社会兴趣的节点实现信任反馈。

同时, Nitti等人<sup>[66]</sup>针对社交物联网的信任管理问题, 提出了基于社交网络的解决方案, 为社交物

联网环境下的信任管理, 奠定了重要的研究基础。但该研究的重点在于实体的定义和交互协议的设计, 缺乏在开发信任系统时对物品社会关系及交互信息的利用<sup>[67]</sup>。Truong<sup>[68]</sup>等人针对社交物联网服务中节点之间的信任评估, 提出了信任服务平台, 并结合信誉、推荐及知识因素建立了信任模型。该方法虽然能够在一定程度上处理动态问题, 但是在复杂的社交物联网环境中, 依然存在全局配置的问题。文献<sup>[69]</sup>提出了一种服务接入的推荐方案, 可以用于抵抗恶意攻击。

此外, 基于节点信誉水平计算的方法, 是社交物联网环境下信誉管理的基本方法<sup>[70]</sup>, 但如果单纯的利用物品之间的社交网络来传递信誉水平, 仍具有危险性, 而基于担保人的信任机制, 可提供端对端的担保服务。Xiao等人<sup>[71]</sup>结合这两种方法的特点, 提出了基于担保和信誉的信任管理模型, 通过对信用担保和信誉水平两个参数的计算, 用来检测并且孤立恶意节点。

表2 社交物联网信任管理策略比较

信任管理策略	信任组成				信任传播			信任聚合			信任更新		信任形成		
	QoS	社交属性				分布式	集中式	贝叶斯	权重			事件驱动	时间驱动	单方	多方
		朋友关系	兴趣社区	相似性	信誉				静态权重	动态权重	模糊逻辑				
基于动态变化 <sup>[52]</sup>	√				√			√			√	√		√	
基于社交网络 <sup>[53]</sup>	√	√			√	√		√			√			√	
基于兴趣社区 <sup>[54]</sup>	√	√	√	√	√		√		√		√	√	√		
基于协同过滤 <sup>[56]</sup>	√	√	√	√	√		√		√		√	√	√		
基于信任评估 <sup>[57,59]</sup>		√			√					√	√		-	-	
基于接入推荐 <sup>[60]</sup>	√	√			√			√			√	√	√		
基于信誉担保 <sup>[62]</sup>		√								√	√		-	-	

总体而言, 社交物联网中的信任模型在基于QoS的同时, 可结物品间社交属性, 其中利用最多的是朋友关系, 未来可探索其他社会属性在信任模型方面的应用, 如兴趣社区、相似性等方面。虽然大多数信任模型采用分布式的传播方式, 以适合拥有大规模异构物品的物联网系统, 但在信誉计算方面, 集中式依然具有优势。针对信任聚合, 传统的权重方法依然是最常用的, 未来可尝试更多方法进行模拟和计算。而对于信任更新所采用的驱动方式, 如果在服务完成时或者当节点之间交互时更新信任状态, 可采用事件驱动方式, 而时间驱动的信任更新方法可周期性地执行, 适合对能量消耗有严格要求的场景。最后在信任形成时可以考虑多个信任属性, 也可以仅考虑单个信任属性, 在现有的研究方法中, 一般采用多个信任属性结合静态权重, 以及单个信任属性结合动态权重的组合方式。

### 3.4 面向服务发现的方法

在物联网中, 描述物品状态的上下文通常被用于情景感知决策中<sup>[72]</sup>。但如果要满足用户具体情景下的需求, 需要用户主观的上下文, 以提供合适的服务。这些主观上下文描述了用户的目标, 偏好, 情绪等认知状态, 因此可利用社交物联网中的SNS环境, 可结合上下文的客观和主观因素, 提供更符合用户需求的物联网服务<sup>[73]</sup>。

其中, Hussein等人<sup>[74,75]</sup>基于上下文感知技术, 提出了个性化自适应服务的发现方法, 减少了上下文数据采集及处理的开销。Beltran等人<sup>[76]</sup>提出了语义网页服务, 基于REST规范, 将设备服务与Web服务相连接, 实现了Web服务与社交物联网的结合。Yao等人<sup>[77]</sup>基于服务推荐, 实现了将物联网和社交网络的结合, 从而在人与人、物与物以及人与物的

交互中,提供更好的服务。Wu等人<sup>[78]</sup>将社交网络, P2P网络, 传感器网络相结合, 基于KeyGraph算法提出了服务选择策略, 提升了社交网络与物联网相结合的灵活性与安全性。

上述方法主要利用了社交物联网环境中的SNS, 通过服务推荐, 服务选择等方法, 实现人与人、人与物之间的服务发现功能。而如何借鉴社交网络的相关模型, 利用社交物联网环境下的社区发现方法, 抽象物与物建立的社交网络所具有的结构、位置、内容上的特殊属性, 实现物与物之间的自主服务发现, 设计物与物之间的服务组合等相关策略, 将是社交物联网在服务发现领域的一个研究重点。

### 3.5 面向隐私安全的方法

根据物联网的网络体系结构, 面向物联网的隐私安全可分别针对感知层、传输层和应用层, 不同的隐私保护方法各有其特点, 从而满足不同的隐私保护需求。在社交物联网环境下的隐私安全方法, 主要从应用和技术两方面, 解决访问控制及数据安全问题。

其中, Wu等人<sup>[79]</sup>结合社交物联网的跨域访问场景, 研究了基于社交物联网的细粒度跨域访问控制机制, 包括认证中心的信任模型、用户登录协议、跨域安全认证协议和跨域精细访问控制, 为物联网和社交网络的安全集成提供了参考。

当前, 面向物联网数据分布式存储的相关研究越来越多, 然而大多数方案是基于传统存储代码设计的, 不能解决编码片段丢失的问题。而在计算机网络中, 可以使用再生码以保护传统分布式存储代码<sup>[80]</sup>, 而在社交物联网中, 物品可以通过社交关系形成网络, 基于此原理, 文献<sup>[81]</sup>提出了社交物联网的分布式存储框架, 从而在物理传感器的数据融合过程中, 具有修复丢失代码片段及保护数据安全的能力。

目前基于社交物联网隐私安全方面的研究相对较少, 而物联网与社交网络在理论上的结合, 为社交物联网的隐私安全研究提供了新的研究思路。例如Yan等人<sup>[82]</sup>在PSN中提出了一种匿名身份验证方案来验证假名和信任级别, 从而实现PSN的隐私保护。Feng等人<sup>[83]</sup>在此基础上, 进一步提出了一种基于群签名的匿名认证方案, 用于认证信任级别而不是节点的身份, 以避免隐私泄露, 保证了PSN中的安全通信。因此在社交物联网环境下, 在解决物联网自身隐私安全的同时, 如何利用社交网络中已

有的隐私保护方案, 解决物与物、物与人、人与人之间的社交网络相融合时的隐私安全问题, 将是未来的一项研究重点。

## 4 社交物联网模型

建立和分析社交物联网的模型, 一方面是对物联网参考模型<sup>[84]</sup>的拓展, 另一方面是进一步理解社交物联网的概念, 客观地引导社交物联网的理论研究和技术开发。本文从体系结构模型和抽象模型两个角度, 分别进行总结和分析。其中体系结构模型在物联网参考模型的基础上进行了拓展, 从而更加满足物联网的需求, 同时指导社交物联网的设计与实现; 抽象模型则为社交物联网的具体研究问题, 提供了模型支撑。

### 4.1 社交物联网体系结构模型

根据定义1, 社交物联网是物联网的一个子集, 社交物联网体系结构模型是物联网模型基础上的拓展。因此, 社交物联网体系结构模型的建立, 既要体现社交物联网的特点, 又要满足物联网模型的通用需求, 从而推动社交物联网的实现。本文总结归纳了现有社交物联网的体系结构模型, 并从不同角度分析对比了相关模型。

我们根据ITU-T在2014年发布的物联网通用需求建议书, 将物联网通用需求分为非功能需求和功能需求, 其中, 非功能需求主要指实现物联网本身的相关需求, 功能需求是指物联网所提供的相关功能, 包括服务类需求、通信类需求、装置类需求、数据管理类需求以及安全和隐私保护类需求, 这些需求对物联网体系结构的构建提出了明确要求<sup>[23]</sup>。

#### 4.1.1 面向非功能需求的结构模型

面向非功能类需求的结构模型, 要求物联网体系结构支持分布式处理、冗余备份、自主管理, 并且其实现不能依赖于某类特定的技术。例如, 面向非功能类需求的物联网三层架构模型, 是基于物联网本身的实现, 包括用于本地网络的数据获取和节点合作的传感层, 能够跨越不同网络传输数据的网络层, 以及将物联网应用和中间件实现整合的应用层。

其中, Atzori等人<sup>[19]</sup>参考物联网三层架构模型, 拓展了物联网的应用层, 提出了社交物联网的层次化架构模型, 如图6所示。其中基础层实现数据和相关描述符的存储管理, 记录节点的描述信息和社交关系, 以及现实世界和虚拟世界中对象的活动信

息；组件层包括关系管理，服务发现，服务组合，信任管理等功能；应用层基于物品的社会行为，面向人、物品和第三方服务，实现交互式应用的开发。

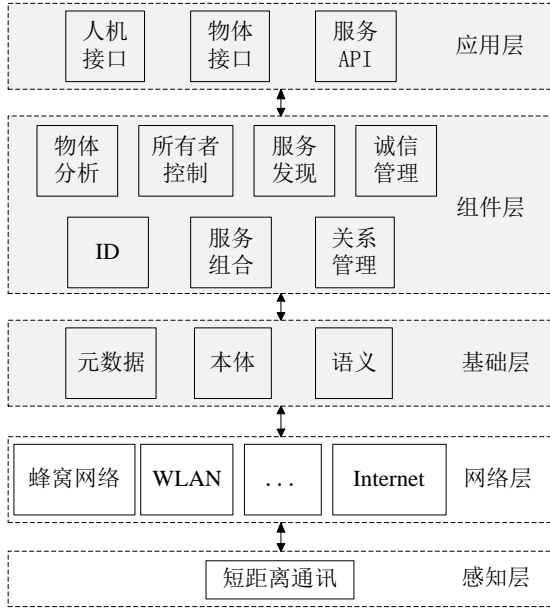


图6 SIoT层次化模型

随着物联网与互联网的结合，WoT的提出屏蔽了感知装置、网络协议方面的异构性，以开放API的形式，方便应用开发。Ciordea等人<sup>[85]</sup>在WoT的基础上，提出了社交物联网的四层架构模型，由底层到上层分别是代理层、社交层、组织层和应用层。物品在代理层作为智能体，抽象出自主性、社交性、反应性和主动性等特点，从而增强了物品的自主能力。社交层将这些代理与社交网络架构相融合，实现代理之间的连接，同时根据社交网络中的社交图谱，定义了用于访问SNS的统一开放接口。组织层提供了一系列策略，控制物品的自主性，支持社交物联网应用的协同工作。应用层为服务、内容、社交平台资源的管理提供了策略和标准，从而满足自主管理等非功能类需求。

在Social Device<sup>[8]</sup>的概念中，物品之间将实现协同合作，整合本地和互联网信息，并且能够通过语义方式交换信息，从而在互相协作的物品之间形成社交网络。同时，在人与人之间的社交网络中，物品将作为内容的发布者和消费者，最终作为Web服务的接口，与人的日常生活紧密联系在一起，如图7所示，物与物形成的社交网络与人与人形成的社交网络，通过Web服务接口，进一步促进了人与物之间的交互。

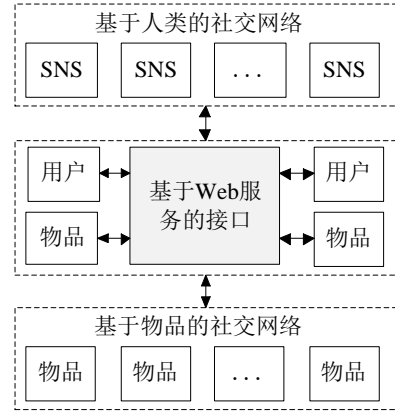


图7 Social Device模型

#### 4.1.2 面向应用支撑类需求的结构模型

应用支撑类需求主要体现在标准化的物联网应用支撑接口，以及物联网的应用支撑功能单元。在社交物联网中，将物联网与SNS相结合，可以利用SNS的开放接口作为标准化的应用接口。同时，将物联网与社交网络的语义、推荐技术相结合，可以实现各功能单元之间的应用支撑。

Paraimpu<sup>[86]</sup>是一种基于Web的社交物联网系统架构。Paraimpu允许用户连接，使用，组合物品和服务，实现更加个性化的应用。如图8所示，系统采用中心化架构，非阻塞Web服务，RESTful通讯接口，以及NoSQL数据库作为存储方案。并且与Foursquare, Twitter, Arduino等其他社交网络系统相结合，提供可编程接口，组管理，用户管理等功能，从而支持物联网环境下社交与共享方面的应用。

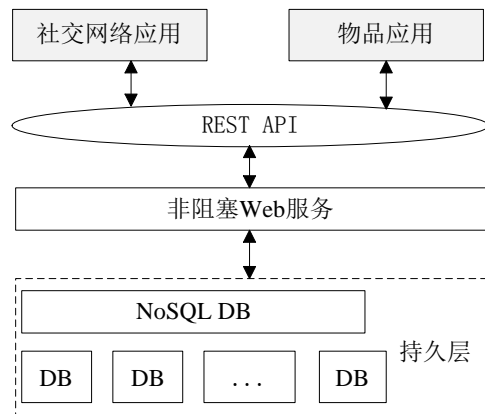


图8 Paraimpu体系结构模型

Hussein等人<sup>[87]</sup>以DPWS (Devices Profile for Web Service) 为基础，利用语义分析，智能推荐等技术，实现搜索、发现、服务组合和过滤等功能，并将系统框架分为四个层次：设备层，服务层，智能层和社交层，如图9所示。设备层是物理设备的虚拟抽象，包括操作系统，内存，网络连接，实现操作系统和DPWS的透明和独立。服务层完成服务

发现，并且封装设备所提供的服务功能，对外开放可重用的社交设备API。智能层完成语义化和推荐操作，创建了面向社交设备的本体。社交层与社交网站的社交引擎相连接，提供社交用户界面和社交设备接口。该模型实现了不同模块之间的协同处理，从而在人和物品之间建立社交网络，提供个性化的交互应用。

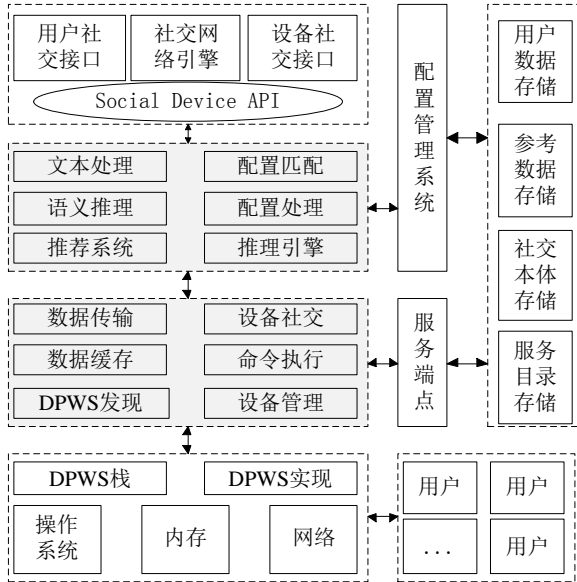


图9 基于DPWS的结构模型

4.1.3 面向服务类需求的结构模型

服务类需求中基于语义的服务需求、自主服务需求、位置或场景感知需求属于物联网的特征需求。在社交物联网环境下，可以基于丰富的用户与社会场景，利用语义模型和技术，在物联网的服务层与应用层，实现语义标注、语义识别、自主计算、位置识别和场景感知等功能。

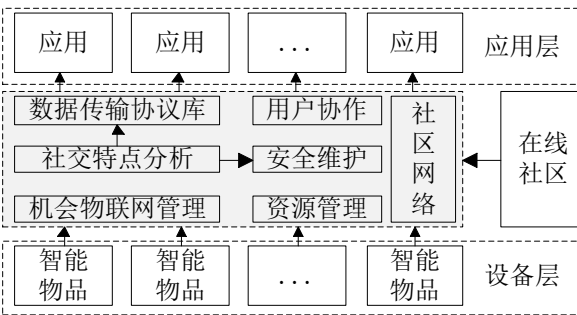


图10 机会物联网结构模型

机会物联网<sup>[49]</sup>通过用户感知，场景感知，社会感知等技术，利用人类运动轨迹和机会性接触建立机会社区，实现信息在社区内的传播和共享。其参考架构如图10所示，该架构在物联网设备的基础上，实现机会网络管理，隐私安全保护，资源管理，社交特征提取，用户协作等基本组件，为各种应用

程序的信息分发与访问提供统一的接口，从而满足物品数据自动采集、通信和处理方面的自主服务需求。

Cheng等人<sup>[14]</sup>利用语义网技术，将OSN和物联网平台相结合，在设备与设备，人与设备之间建立社交关系。如图11所示，设备通过Web Service的API实现联网，为了实现设备之间彼此理解，同时提供用户友好界面，将原始数据转换为基于上下文推理的自然语言，再将自然语言解释为机器语言。用户可以使用Web Service API访问系统数据库，开发个性化的应用。

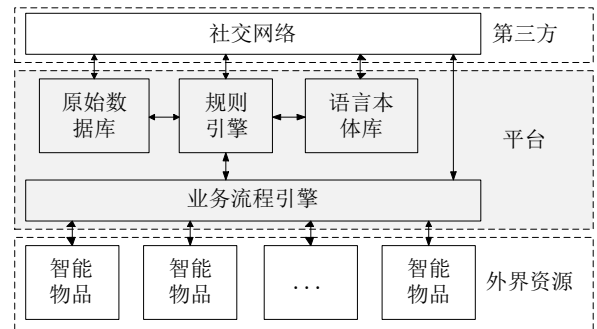


图11 SWoT结构模型

上述机会物联网模型和SWoT模型，满足基于语义的服务需求，能够在物联网服务层和应用层支持这些基于知识的操作。但在具体的语义标注，语义识别方面，并没有定义明确的语义模型。Kim<sup>[88]</sup>等人针对社交物联网中物与人的关系，物与物的关系，建立关系、用户、位置和本体的模型，提出了Socialite模型，如图12所示，以关系本体为中心，将用户本体、位置本体与设备本体相互连接，从而实现了信息共享及服务推荐功能。

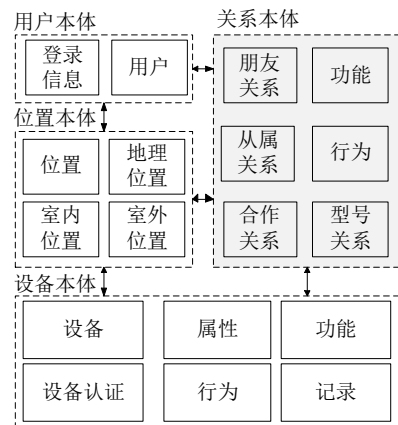


图12 Socialite语义结构模型

4.1.4 面向通信类需求的结构模型

Console等人<sup>[89]</sup>提出了SWIT（Social Web of Intelligent Things）模型，如图13所示，运用人工智

能技术，物品可以生成并维护社交知识，与人进行交互，从而在物品和人之间建立起社交网络。其模型如图13所示，客户端向物品发送信息时，将信息发送到代理，根据信息内容，代理完成更新操作，内容分析和知识社会化处理完成相应工作。客户端向物品请求信息时，查询代理以获得对客户端请求的回答，所获得的数据由代理根据用户模型和当前上下文进行过滤和重新组织。在整个通信过程中，通过感知数据内容，自动选择合适的代理和路径，从而提高了数据传递的服务质量。

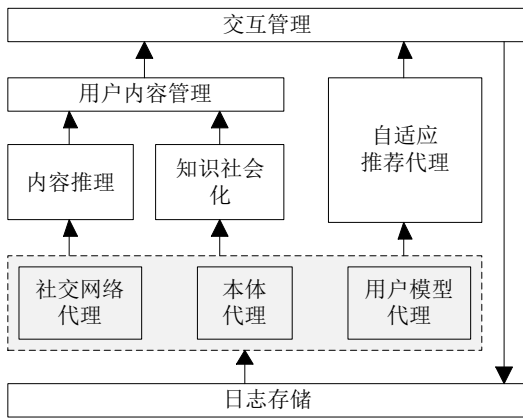


图13 SWIT结构模型

4.1.5 面向装置类需求的结构模型

装置类需求中所有需求都是属于物联网特征需求，这就需要在物联网体系结构中单独设立装置单元。现有的物联网体系结构框架大都只考虑了连接层次的装置类需求，而在社交物联网环境下的结构框架模型，将更加注重物联网服务层次和应用层次的装置类需求。

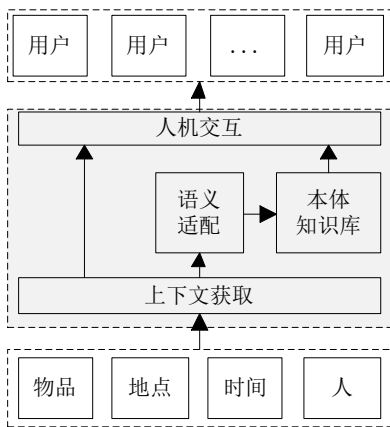


图14 基于NFC智能代理的结构模型

在机会物联网的模型中，各种感知应用程序需要获取用户上下文和智能环境，从而支持非接触式的人机交互。然而，不确定的现实世界环境使得系统难以充分感知环境并实现用户目标。Lin等人<sup>[90]</sup>提出了一个具有近距离无线通讯技术（NFC）智能

代理框架，如图14所示，将NFC技术与环境上下文获取、本体知识库和语义适配模块相结合，从而获取位置，时间，设备，活动以及社会方面的信息。同时，作者提出了一种基于信用的激励策略，以鼓励基于社交关系的合作，从而支持基于语义的自动配置和应用。

4.1.6 面向数据管理类需求的结构模型

Choi等人<sup>[91]</sup>通过分析设备之间的交互以及用户的社交信息，并模仿人类的社交过程，建立设备之间的社交关系。如图15所示，社交代理（Social Agent）一方面收集设备产生的非结构化数据，经过一系列的结构化处理，存储在社交数据库中，另一方面收集社交网站上的信息，抽象出设备用户之间社交关系。当设备发现新设备时，运行在每个设备上的社交代理发起社交过程，当设备接收到服务或者资源请求时，通过分析社交关系，来决定是否进行相应操作。在此过程中，针对数据分类、数据挖掘、数据存储、数据查询等操作，增强了社交物联网即时收集、存储和处理数据的能力。

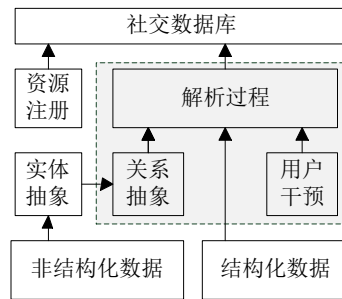


图15 Social Agent模型

社交物联网作用在现实世界与虚拟世界融合的社会面，可以实时描述人类行为和活动。同时，通过智能手机等个人设备提供的海量数据以及智慧城市中的智能设备，感知我们的轨迹，行为和生态系统的演变。Jara等人<sup>[92]</sup>将人类动力学应用在物联网系统上，利用生产消费，行为理解，动机反馈等过程，通过大数据、云计算，与物联网形成一个闭环系统。

4.1.7 面向安全和隐私保护类需求的结构模型

Bernabe等人<sup>[93]</sup>基于社会感知的物联网应用场景，提出了安全框架，如图16所示，该框架基于IoT-A EU项目的ARM（Architecture Reference Model）标准，注重安全，信任和隐私问题。从而可以支持网络中的社会属性，配置和设定不同国家、不同社会机构的边界和访问控制策略。

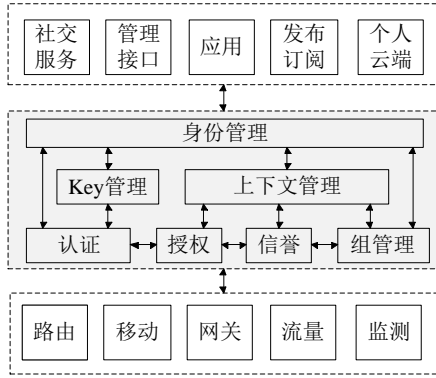


图16 基于ARM的结构模型

表3 社交物联网体系结构模型的综合比较

架构分类	结构模型	主要设计要求	构件类型	关键技术	物联网通用需求对体系结构的设计要求
非功能类	SIoT层次模型 <sup>[19,85]</sup> Social Device模型 <sup>[8]</sup>	分布处理、自适应分布处理	分层、组件 Web Service	语义、本体 语义、SNS	支持分布处理、冗余备份结构、自适应技术、以及自主管理。
应用支撑类	Paraimpu模型 <sup>[86]</sup> 基于DPWS的模型 <sup>[87]</sup>	可编程接口、用户管理协同处理	Web Service 分层、组件	Rest API 语义、推荐	支持应用可编程接口、组管理、时间同步、分布协同处理、以及用户管理。
服务类	机会物联网模型 <sup>[49]</sup> SWoT结构模型 <sup>[14]</sup> Socialite模型 <sup>[88]</sup>	场景感知、自主服务 语义标注、语义识别 语义标注、语义识别	分层、组件 Web Service 组件	上下文感知 SNS、语义、本体 语义、本体	支持语义标注、语义识别、位置识别和场景感知、以及自主服务。
通信类	SWIT模型 <sup>[89]</sup>	内容感知	智能体	语义、推荐	支持自主通信、组通信、时间约束通信、自主联网需求、以及内容感知通信。
装置类	基于NFC的模型 <sup>[90]</sup>	即时监测	智能体	语义、本体	支持基于标识连接、即插即用、即时物品监测、装置移动性以及可用性检测。
数据管理类	Social Agent模型 <sup>[91]</sup> SIoT闭环模型 <sup>[92]</sup>	数据存储、挖掘、查询 数据传送、融合	智能体 组件	— —	支持数据自主收集、传送、存储、融合、挖掘、查询、更新、以及维护。
安全和隐私保护	基于ARM的模型 <sup>[93]</sup>	访问控制	分层、组件	上下文感知	支持通信、数据管理、服务、以及装置的安全和隐私保护。

(1) 基于架构类型的比较分析。以SIoT层次模型、Social Device模型为代表的非功能类结构模型，是在物联网层次化模型的基础上提出的，旨在满足实现和部署社交物联网过程中的技术性需求，并为社交物联网的模型提供了研究基础。因此在社交物联网的研究尚未成熟的条件下，当前社交物联网模型的全面实现和部署仍然依赖于物联网模型的发展。而在功能类结构模型中，以Paraimpu、SWoT、SWIT、NFC模型为代表的支撑、服务类、通信类、装置类结构模型，充分发挥了社交物联网环境中的社会感知、语义识别、SNS服务等功能，丰富了传统物联网模型中的用户需求、服务形式及实现方式。但在数据管理、安全和隐私保护方面，社交物联网相比传统的物联网环境，面临着更复杂的处理环节，同时也增加了社交物联网的实现难度，例如Social Agent模型需要同时处理设备之间以及用户之间的社交网络数据。因此，当前社交物联网的结构模型主要体现了社交物联网在服务、应用及数据方面的优势，而针对底层装置及通信，则需要依赖于硬件的智能化与感知技术的发展。

(2) 基于设计要求的比较分析。由于社交物联网非功能类模型的实现和部署建立在物联网传

#### 4.1.8 社交物联网结构模型的综合分析

上述面向不同物联网需求的社交物联网体系结构模型，特别是在满足功能类需求方面，为构建社交物联网系统提供了很好的参考。但由于针对不同的需求，这些结构模型所侧重的设计要求也不相同，因此采用了不同技术路线及构件类型。表3综合对比了这些参考模型的设计要求，构件类型及关键技术。同时表3也从以下3方面分析对比了不同模型的优势与限制。

统模型的基础上。因此SIoT层次模型及Social Device模型更好的满足了分布式处理要求，并且在互操作性、可缩放性、可适配性方面，相对其他模型具有明显优势。Paraimpu模型主要满足可编程接口、用户管理要求，因此可以更加灵活地满足社交物联网的不同应用需求。基于DPWS的模型主要实现协同处理功能，从而实现特定应用。机会物联网模型重点满足场景感知需求，从而支持用户的个性化定制服务。SWoT结构模型和Socialite模型重点满足基于语义的服务需求，从而支持社交物联网自主服务的发现与组合。SWIT模型满足内容感知要求，从而提高了特定数据传递的服务质量。基于NFC的模型相对于其他结构模型，重点满足底层设备的感知与连接需求。Social Agent模型与SIoT闭环模型，在满足数据管理需求方面的同时，前者重点实现数据存储、数据挖掘、数据查询等应用类需求，后者重点实现数据传输、数据融合等服务类需求。基于ARM的模型，为社交物联网的访问控制权限提供了一种解决方案。

(3) 基于技术实现的比较分析。在社交物联网结构模型的关键技术方面，大量应用了语义技术或本体概念，如SIoT层次模型、Social Device模型、

基于DPWS的模型、SWoT结构模型、Socialite模型、SWIT模型、基于NFC的模型。之所以大量应用了语义技术或本体概念，一方面是社交物联网的环境为语义技术提供了丰富的上下文，另一方面是面向社交物联网的研究特征，通过语义技术可以更全面的实现物与物、物与人、及人与人之间的交互。机会物联网模型和基于ARM的模型主要运用了上下文感知技术，为语义技术的运用，提供了数据支撑。而利用Rest API、SNS、推荐等技术的模型，为社交物联网的应用提供了丰富的实现方式。因此社交物联网结构模型的构建，依赖于上述关键技术发展的同时，也推动了相关技术的发展与应用。但在上述技术实现中，智能硬件的改造方面有所欠缺，随着物联网底层技术的发展，人工智能技术将为社交物联网的模型研究带来新的设计要求及实现方式。

### 4.2 社交物联网抽象模型

定义2形式化表示了社交物联网环境下物与物之间形成的社交网络。根据该定义，我们建立了若干与具体问题相关的抽象模型，并分为以下几类：即面向关系建立的抽象模型，面向网络的抽象模型，面向节点的抽象模型，面向关系描述的抽象模型。为社交物联网环境下的问题抽象与解决，提供了参考。

#### 4.2.1 面向关系建立的抽象模型

定义2形式化表示了物与物之间的社交网络，而在人与人形成的社交网络中，人们可以通过互联网相互交流，共享资源，形成社区。因此在人类社交网络与物品社交网络共同形成的社交物联网环境下，人类社交网络的用户兴趣和好友关系可以映射到物联网中，建立人与物之间的关系模型。在该关系模型中，用户不仅可以找到他们感兴趣的人，而且可以找到感兴趣的服务和资源。

我们将人与人、人与物、物与物用二元关系模型来表示，人与人 ( $\{\exists s_{ii}, \forall i, i' \in P\}$ )，人与物 ( $\{\exists y_{ij}, \forall i \in P, j \in T\}$ )，物与物 ( $\{\exists t_{ij}, \forall j, j' \in T\}$ )。在建立人与物的关系模型时，可以利用推荐系统的协同过滤模型，为用户 $u_i$ 提供最合适的物品 $v_j$ 。定义 $x_i$ 为人的注册信息， $x_j$ 为物品的描述信息， $z_i$ 为人的兴趣信息， $z_j$ 为物品的语义信息。基于条件概率的形式，人与物品建立关系的可以表示为 $p(y_{ij}) \sim p(y_{ij} | x_i, x_j, z_i, z_j, \theta)$ ，其中 $\theta$ 表示超参数集合。

#### 4.2.2 面向图的抽象模型

一般社交网络通常是基于人与人之间关系形成的。但在社交物联网中，用户可以访问与其没有

社交关系的物品上的服务，这需要系统提供可靠的服务质量，包括信任、安全性、可扩展性、响应时间等，这些因素通常依赖于社交物联网具有的网络结构。

在定义2的基础上，假设 $D$ 是物品的集合， $A$ 是基于这些物品操作的集合， $D(V)$ 和 $A(V)$ 分别代表属于用户 $V$ 的设备和操作，则 $\delta: V \times D$ 映射了物品所属的用户， $\eta: D \times A$ 映射了基于物品的操作，最后 $\rho: E \times A$ 代表用户之间可相互提供的操作。例如 $\rho = \{(张三, 李四) \rightarrow (\text{位置}, \text{温度})\}$ 表示张三可以为李四提供他的位置和周围温度信息。

#### 4.2.3 面向动态网络的抽象模型

社交物联网代表了人与物品组成的网络，物理环境中的物品以及虚拟环境中的代理，以及位置，数据，操作等信息，而这些状态又是动态变化的。

在定义2中，将社交物联网抽象为无向图 $G = \langle V, E \rangle$ ，为了进一步表示图的动态性，定义 $G_t$ 表示在 $t$ 时刻社交物联网的状态图， $\{V_{type}\}, \{E_{type}\}$ 为物品及其关系的语义集合。则社交物联网的抽象模型可表示为 $G_t = (N, E)$ ，其中 $N$ 表示 $G_t$ 的节点集合， $E \subseteq N \times E_{type} \times (N \cup V_{type})$ 。

#### 4.2.4 面向关系描述的抽象模型

对社交网络的研究离不开在线社交网站的发展，而在线社交网站之所以能够提供朋友推荐，信息共享等功能，是由于定义了良好的模型，以及人与人之间的精细的社会关系。同样在社交物联网中，需要建立一个环境模型，描述人和智能物品之间的关系，从而让人和智能物品进行沟通。

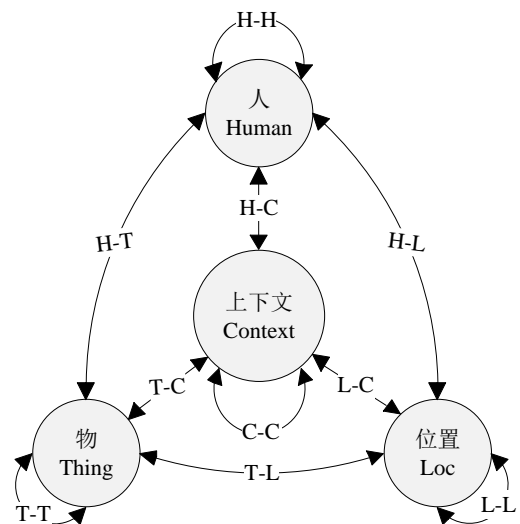


图17 社交物联网关系描述模型

如图17所示，人代表一个人或一群人，物代表社交物联网环境中的物品，位置代表一个明确的地

理信息,人、物和位置,可以分别描述自身的关系,也可以描述相互之间关系,例如H-H表示人与人之间的关系,T-T表示物与物之间的关系,H-T表示人与物之间的关系。最后把人,物体和位置产生的所有数据作为上下文实现交互<sup>[96]</sup>。

针对模型中的关系,可使用N-Triples的形式来描述,即<[主体]><[关系词]><[客体]>。例如<[人]><拥有><[物]>, <[人]><使用><[物]>,表示人与物品的关系; <[人/物]><位于><[位置]>, <[位置]><属于><[位置]>,表示与位置相关的关系; <[物品]><具有><[描述]>, <[物品]><具有><[服务]>,表示上下文所具有的内容。

#### 4.2.5 社交物联网抽象模型的应用

社交物联网抽象模型的建立,为社交物联网中主要研究问题提供了模型化描述。而在人类社交网络中,已有大量抽象模型可供参考。因此我们将社交物联网的抽象模型与人类社交网络的抽象模型相结合,列举了几项具有代表意义的研究方法及其应用场景,如表4所示。

表4 社交物联网抽象模型应用

模型	研究方法	应用场景
面向动态网络	节点相似性	资源发现
面向关系描述	关系量化	服务推荐
面向图	网络中心性	社区发现
面向关系建立	信任度量	信任管理

##### 1) 节点相似性

在社交物联网环境下,节点的相似性问题,可抽象为物品所代表资源的相似性,在实现社交物联网的服务发现,链接选择时,起到重要作用。在面向动态网络的抽象模型中,定义了物品的语义集合 $\{V_{type}\}$ ,其中, $m$ 表示该语义集合中的关键词个数, $w_{ui}$ 和 $w_{vi}$ 表示第 $i$ 个关键词的权重,资源 $u$ 与资源 $v$ 的相似性可以用余弦相似度计算。

利用动态网络抽象模型,可以将节点相似性方法与社交物联网环境中的节点内容相结合。例如,如何实现有效的资源发现,是社交物联网环境下的主要功能。利用社交物联网环境中物品及其所有者的社会属性研究中,Li等人<sup>[49]</sup>基于偏好和运动模式的余弦相似度计算,提出了一种新的资源发现机制,提高了社交物联网的搜索效率,减少了系统开销。Kang<sup>[94]</sup>等人同样基于相似性的方法,进一步缩小了的资源发现的搜索区域。

##### 2) 关系量化

在面向关系描述的抽象模型中,定义了各种关系表示模型,但是在解决具体问题过程中,需要对

社交关系进行量化。假设 $Q$ 是对社交关系的量化表示,公式(1)表示了节点 $A$ 与 $B$ 之间的社交关系量值:

$$Q(A, B) = wL(A, B) + (1-w)I(A, B) \quad (1)$$

其中, $L(A, B)$ 是节点 $A$ 与 $B$ 在一段时间内的交互频率,通过对关系描述的分析, $I(A, B)$ 表示节点 $A$ 与 $B$ 在一段时间内的交互强度, $w$ 是权重因素。

在社交网络中,针对用户的兴趣建模通常由于使用的信息被伪造和误导,导致不佳的服务推荐和兴趣预测。Yao<sup>[95]</sup>等人通过量化社交物联网中的人和物之间的关系,利用社交网络的传播模型,提高了社交物联网中的服务推荐准确率。

##### 3) 网络中心性

中心性(Centrality)是判定网络中节点重要性的指标,是节点重要性的量化。例如度中心性是刻画节点中心性的最直接度量指标,一个节点的节点度越大就意味着这个节点的度中心性越高,该节点在网络中就越重要。度中心性指标对于社交物联网环境下的服务发现、社区发现,具有重要意义。在公式(1)的基础上, $w_{ij}$ 表示节点 $N_i, N_j$ 的关系权重, $N$ 表示节点 $p_i$ 的邻居数,则公式(2)表示了节点 $p_i$ 的度中心度:

$$D(p_i) = \sum_{j=1, j \neq i}^N w_{ij} \quad (2)$$

##### 4) 信任度量

公式(1)实现了对社交关系的量化表示,在此基础上,可以添加与更多的信任属性,以表示社交关系的可信度。设 $p_i, p_j$ 是两个邻接节点, $T_{ij}$ 表示节点 $i$ 对节点 $j$ 的信任度,如公式(3)表示:

$$T_{ij} = (1 - \alpha - \beta)Q(i, j) + \alpha O_{ij}^{dir} + \beta O_{ij}^{ind} \quad (3)$$

其中 $Q(i, j)$ 是利用公式(2)的计算结果, $O_{ij}^{dir}$ 表示经验值, $O_{ij}^{ind}$ 表示节点 $i, j$ 的共同好友的建议值。

建立可靠的社交物联网系统,需要针对社交物联网节点信息,进一步量化节点之间的社交关系。TRM-SIoT模型<sup>[96]</sup>将量化后的社交关系作为影响因素,与P2P网络及移动移动自组织网络中的信任管理方法相结合,实现了社交物联网环境下的信任管理。Nitti等人<sup>[97]</sup>基于P2P和社交网络中的解决方案,定义了信任管理的两个模型,从而有效隔离了网络中的恶意节点。

#### 4.3 社交物联网整体模型

社交物联网的结构模型和抽象模型,为社交物联网的研究和实现,提供了重要基础。本文将结构模型和抽象模型综合为一个整体模型,如图18所



示。

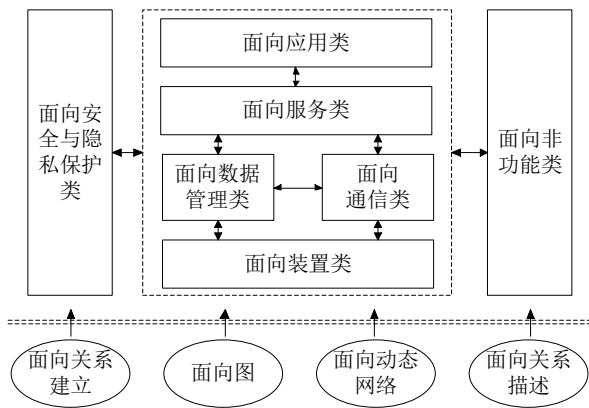


图18 社交物联网整体模型

社交物联网的7类结构模型覆盖了社交物联网的通用需求，同时每类结构模型之间相互连接，形成一个整体，从而满足社交物联网的实现与应用。而社交物联网的4类抽象模型，将社交物联网结构模型中设计的具体问题抽象化，为社交物联网的研究方法及应用场景上，提供了理论基础。社交物联网整体模型，为社交物联网中基于模型的方法、实现及应用，提供了一个整体视角。

## 5 社交物联网实现

### 5.1 社交物联网实现原理

社交物联网的实现，最直接的方式是将物联网与SNS相结合。SNS一般拥有图形化界面，实现用户与用户之间的交互，同时创建个性化的应用。社交物联网的实现，需要向用户提供友好易用的界面来操作物品。因此，可以在SNS中使用图形化标识来配置物品属性，从而让用户轻松地理解物品的含义、功能以及交互方式。用户可以方便的创建命令，让物品实现自动操作，从而将用户与物品之间的交互转化为用户与SNS应用之间的交互。但是单纯的基于SNS的实现，只是促进了物品的可操作性，并没有考虑如何创建物品之间或者物品与人之间的关系，以及该用哪些策略来管理物品。这种缺少关系管理的实现方式，仅仅是基于WoT的一种实现形式，无法全面体现社交物联网的优势。

因此，更加符合社交物联网概念的实现方式是在物联网平台的基础上，定义物与物、物与人、人与人之间的社交关系。同时，以满足物联网需求为目标，面向现有的物联网平台，增加社交网络的理论及相关技术，实现物与物之间基于社交网络的服务发现，以及人与物之间基于社交网络的共享和交

互<sup>[98]</sup>。但该方式受限于当前物联网平台的实现，增加了系统复杂度，在具体实现过程中将面临更多困难。

### 5.2 社交物联网实现平台

Paraimpu<sup>[99]</sup>是一个面向物联网的可扩展社交平台，对于联网的智能设备，利用网页上的虚拟服务以及社交网络框架，实现用户添加、使用、共享、组合和交互功能，从而创建个性化的应用程序。同时用户能够发现和标记由其他用户共享的设备。SAC (Social Access Controller)<sup>[111]</sup>作为客户端与智能设备之间的代理，利用现有的社交网站，例如Facebook, Twitter和OpenSocial, 从而使用户可以在实际好友之间共享物理设备。SAC同时支持可编程的网页应用开发，利用RESTful接口，智能设备和网页应用都可以实现共享，使用户能够随时使用。

MUL-SWoT<sup>[100,101]</sup>是一个针对社交物联网应用开发的平台。MUL-SWoT平台支持物品与SNS之间的多媒体通讯，向用户提供物联网服务推荐，支持用户及其物品之间的自然语言交互，通过调用Web API，支持与第三方平台之间的通讯。Lilliput<sup>[102]</sup>平台建立了物联网中的人、物、位置之间的社交关系，同时提出了用户的操作权限，从而利用语义网页技术实现了社交物联网的统一权限操作。Girau等人<sup>[103]</sup>基于ThingsSpeak项目，增加了社交关系管理，社区的创建与管理功能，实现了社交物联网的实验平台。Lysis<sup>[104,105]</sup>是基于PaaS实现的社交物联网平台，实现了对物品的虚拟化社交，用户数据的存储和应用的执行都是在云空间内完成，同时利用Google APP Engine丰富的API，可方便的实现语义搜索和定位功能。此外，Voutyras等人<sup>[106]</sup>在COSMOS平台的基础上，将物品抽象为具有社会关系的虚拟实体，利用物联网环境下的交互场景以及人类社交网络环境下的社会媒体，实现了具有知识流的社交物联网平台。

本文总结了社交物联网实现平台的相关特点，如表5所示。基于物联网的社交物联网实现平台，能够实现物与物之间的社交关系，同时在数据格式、数据性质、认证方式、权限控制方面，与基于SNS的实现方式基本兼容，提高了物联网与社交网络融合的可行性。

表5 社交物联网的实现平台

实现平台	实现方式	社交关系	数据格式	数据性质	认证方式	权限控制
Paraimpu <sup>[99]</sup>	基于SNS	人-人	JSON/XML/TEXT	文本/数字	OAuth	私有, 朋友, 公共
SAC <sup>[11]</sup>	基于SNS	人-人	JSON	文本/数字	OAuth	私有, 朋友
MUL-SWoT <sup>[100,101]</sup>	基于SNS	人-人、人-物	JSON	文本/数字/媒体	OAuth 2.0	私有, 朋友, 第三方
Lilliput <sup>[102]</sup>	基于物联网	人-人、人-物、物-物	JSON	文本/数字	OAuth	私有, 朋友, 公共
ThingSpeak <sup>*[103]</sup>	基于物联网	人-物、物-物	JSON/XML/CSV	文本/数字	Key	读、写
Lysis <sup>[104,105]</sup>	基于物联网	人-人、人-物、物-物	JSON	文本	N/A	私有, 朋友, 公共
COSMOS <sup>*[106]</sup>	基于物联网	人-人、人-物、物-物	N/A	文本/媒体	N/A	私有, 朋友

其中, 以Paraimpu、SAC、MUL-SWoT平台为代表的基于SNS的实现方式, 虽然可以更方便地实现社交物联网系统, 但主要建立了人与人、人与物之间的社交网络, 并没有建立物与物之间的社交网络。而全面实现社交物联网, 重点是在物与物之间建立社交关系。例如, Lilliput、ThingSpeak、Lysis、COSMOS平台在物联网系统的基础上, 通过建立物与物之间社交网络的同时, 建立人与人之间的社交网络, 更全面地满足了社交物联网的研究特征。在上述平台中, 以JSON数据格式、文本数据性质、OAuth认证方式的实现形式, 最为普遍, 这主要得益于当前互联网技术的成熟性。而在权限控制方面, 利用当前主流的SNS系统, 实现私有、朋友、公共三种权限。然而上述平台主要实现了人与人、人与物以自然语言的形式进行交互, 但社交物联网的全面实现是建立物与物之间的社交网络, 通过物与物之间的自主交互, 实现像人类社交网络那样的可拓展性。因此社交物联网一方面对传统物联网平台提供了一种新的实现方式, 另一方面推动了传统物联网平台与SNS平台的融合与应用。

### 5.3 社交物联网实现技术

在社交物联网的架构设计阶段, 将面临多种方案选择问题, 本文从系统架构, Web服务, 数据标准, 物品发现方式的不同方案, 进行了对比, 为社交物联网的实现提供指导。

(1) 分布式与集中式。分布式架构具有许多理论优势, 如单点故障的鲁棒性, 匿名执行能力等, 因此通常会使用P2P技术来连接物联网中的物品。但分布式系统目前仍有一些技术难题, 而且对物联网中物品支持最多的仍然是HTTP协议, 不过云计算的发展, 为社交物联网的分布式实现, 提供了新的机遇<sup>[107]</sup>。中心化的在线服务可以利用HTTP的多种协议和数据格式, 作为SNS与物理设备之间的代理, 或者作为数据和用户之间的中继, 例如, Sinha等人<sup>[108]</sup>提出了社交物联网的一种中间件框架, 从而让物理设备为SNS提供信息。

(2) SOAP与REST接口。在面向Web服务的架构中, SOAP作为消息层的标准, 为物联网中物品的连接和组合提供了通信协议。但由于Web服务编程的复杂性, 并不适合最终用户创建点对点模式的应用程序。而在社交物联网中, 可以将用户、物品等抽象为资源, 因此基于面向资源接口设计的REST方式, 将更好的支持物联网系统的集成。

(3) 强制标准与数据适配。实现社交物联网环境下物品或者服务之间交互的一个关键问题是数据的正确读取与处理。最直接的解决方案就是定义严格的数据集, 这样所有的物品或者服务在收到数据之后, 都能够轻松处理并做出相应决定, 但这种公共数据集的标准在短期内难以实现。因此可以考虑使用统一的数据通讯格式, 推送包含数据或者标识符的字符串, 或者是像JSON对象、XML实例的结构化数据。

(4) 标签与发现。在物联网中, 物品发现通常是指寻找物品以及发现这些物品所提供的服务。而在社交物联网中, 可以允许用户发现其他用户所分享的物品, 并对其添加标签, 以表示物品所提供的服务, 从而实现物品的发现与使用。

在社交物联网的具体开发阶段, 将涉及以下主要技术。本文简单介绍了其在社交物联网开发过程中发挥的作用。

(1) SNS。在过去几年, 社交网络服务的流行度大大增加, 例如一些在全球被广泛使用的Facebook、Twitter、Myspace、Linkedin等。其中代表用户属性的个人简介, 表示社交关系的好友列表, 以及促进内容共享的状态服务, 是物联网增加社交属性的最直接方法<sup>[109]</sup>。社交网络服务一个非常重要的特征是其对外开放的API。通过调用这些API, 第三方应用可以访问社交网络服务的内部结构及权限控制机制<sup>[110]</sup>, 为物与物之间建立社交关系, 提供了开发基础。借助社交网络服务实现的社交物联网, 将继承这些第三方应用, 通过开发第三方应用程序, 可以丰富人与物品之间的个性化交互<sup>[111]</sup>。

(2) Web服务。社交网络服务通常是与物联网的应用层相结合,实现人与物品之间的交互,而Web服务可以用于实现设备与设备,或者设备与服务之间的交互。例如REST协议使用HTTP作为应用协议的架构风格,作为一种轻量级协议,更适用于资源受限的物理设备之间的交互,进而为社交物联网的分布式处理,自主管理等功能,提供技术支持。

(3) 语义。在社交物联网环境下,不但拥有物联网中的描述物品客观状态的上下文,还有反映用户主观意向的上下文,这对语义技术的运用,提供了良好的环境,通过对客观与主观上下文的语义分析,提供更符合用户需求的物联网服务。例如,利用自然语言与机器语言转换所开发的问答系统,结合社交物联网环境下的物品与用户上下文,将使物与人之间的交互方式更加丰富。同时,在客观和主观上下文的语义分析中,利用情景自动构建<sup>[102]</sup>,模糊推理等方法,自主发现符合用户需求的社交关系,从而更准确的实现社交物联网中的服务发现。

(4) 感知。随着面部识别、语音命令、眼球追踪和手势控制等技术的发展,物与物、人与物、人与人之间的交互方式将更加丰富。利用感知技术实时获取物品与人的上下文,为社交物联网环境中建立的物与物之间的社交网络。同时,在结构、内容、位置方面提供了更丰富的数据支撑。

(5) 智能硬件。来自WSN, M2M (Machine to Machine) 等底层网络的传感器和智能硬件,具备一定的感知能力,是社交物联网中的理想节点。然而,这些设备通常不能直接连接到互联网,并且需要使用网关来传输数据和接收命令。一方面如何改造智能硬件,使其具备一定的计算能力,从而在社交物联网中实现自主交互。另一方面,如何让具备联网功能的设备具有自适应,可配置接口,及多协议能力,从而促进社交物联网的实现。例如,硬件应该具备处理器和存储器,驱动软件具备人工智能算法,从而让硬件本身具备一定的智能化和自主性<sup>[113]</sup>。

因此,针对社交物联网的实现,在架构方面,需要与物联网中的传统技术相结合,其中分布式架构、REST接口和数据适配随着云平台的发展,更加适用于社交物联网的实现,而标签方式受益于社交物联网环境下的用户主动标注,将具有更多优势。在技术方面,SNS所提供的应用API,为社交物联网的实现,提供了很多便利,同时随着移动社交网络应用的兴起,进一步丰富了社交物联网的实

现方式。Web服务作为WoT的实现方式,同样也是SWoT的实现基础。随着以语义、感知为代表的人工智能技术的发展,为社交物联网环境下的物与物、人与物、人与人之间的交互提供了技术支持,随着智能硬件的不断成熟,将进一步提升社交物联网节点智能化和自主性,从而让物品之间实现社交网络的自主建立。

## 6 社交物联网应用

### 6.1 社交物联网应用场景

物联网在许多领域可以提高我们的生活质量,例如交通、医疗、环境、个人与社会领域<sup>[2]</sup>。当前将社交网络与物联网相结合,利用社交网络中普遍存在的人与社会环境,将进一步提高人们的生活质量,推动社会的进步,同时将社交网络应用到物联网具体问题上,将进一步促进物联网技术的发展。因此,本文将从生活、科技、社会领域对社交物联网的应用场景进行分类。

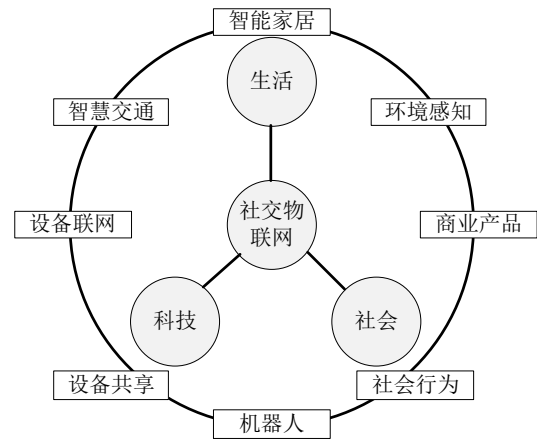


图19 社交物联网应用领域分类

如图19所示,社交物联网在生活方面,主要应用于智能家居、智慧交通、环境感知;在科技方面,为设备联网、设备共享、机器人提供了一种实现方式;在社会方面,主要丰富了商业产品,促进了人类社会特征方面的研究。

#### 6.1.1 智能家居

智能家居作为社会信息化的重要组成部分,将信息处理完全融入到日常生活中,把家居环境转变为一个与用户进行交互的共享空间。但在目前传统的智能家居系统中,用户作为整个系统的中心,只能对智能设备进行单向操作。将社交网络引入智能家居中,让人与人之间的社交关系拓展到智能设备之间,从而实现人与智能家居的多种交互方式。

SocialHome<sup>[114]</sup>利用现有的社交网络架构及其Web API,将智能家居与Web相整合,提供物理设备的社会状态,利用Facebook的社交功能及Web2.0技术,将智能家居的通讯过程转化为可分享的,可社交的可视化状态。为了进一步减少用户的干预,SDIF框架<sup>[115]</sup>引入社会化设备(Social Device)的概念,在设备相互访问时建立社交关系,从而促进设备之间的合作。类似机顶盒,多媒体播放器的家庭设备,通常拥有丰富的用户信息,如喜好、习惯、日常规律等,而将这些设备连接到社交网络中,促进了用户在社交网络中的交互<sup>[116]</sup>。文献<sup>[117]</sup>将社交网络引入到家庭无线环境中,解决了直观的交互问题和安全问题。

### 6.1.2 智慧交通

车联社会网络<sup>[118]</sup>(Vehicular Social Networks)的提出,融合了社交网络与车联网。通过分析车载环境下用户的社会关系、社会活动、兴趣爱好等信息,车联社会网络为用户提供了更加个性化的行车服务,同时车联网中的用户模型、通讯网络模型对社交网络又实现了拓展和反馈。RoadSpeak<sup>[119]</sup>是一个语音聊天系统,让经常往返于同一路线上的用户自动加入社交网络,在此基础上,SOR系统<sup>[120]</sup>实现了用户界面,好友推荐,链接预测等功能,让用户实现了更好的交流。此外,SIoV(Social Internet of Vehicles)<sup>[121,122]</sup>概念的提出,将社交物联网的概念应用到车联网中,在智能汽车之间建立社交网络,从而为用户提供各种各样的服务。tNode<sup>[123]</sup>系统利用社交物联网概念中物品之间的社交关系,例如从属关系,位置关系,合作关系等,让车辆之间可以共享与行驶有关的信息。而Yang等人<sup>[124]</sup>将社交网络中的直接信任和间接信任策略拓展到车联社会网络中,解决了传统PKI方法的限制。

### 6.1.3 环境感知

随着人们对周围环境认知需求的增长,环境监测方面应用也越来越多。S-Sensors<sup>[125]</sup>使用描述环境状态的短消息来传达物理世界的感知数据,并且利用社交网络中的社区发现模型,形成传感器网络的社区,实现了数据的可访问和资源的可管理。在环境感知领域,当前大部分研究是基于无线传感器网络,对环境进行监控和控制,在系统实现过程中,开发人员需要完成网页编程,服务端的开发和维护,以及网络安全工作,例如,Zhang等人<sup>[126]</sup>利用微博平台的架构和API,应用到农业温室环境的监控中,减少了开发过程中的工作量。Choi等人<sup>[127]</sup>

利用Facebook平台,实现了对室内环境的监控。SenseQ<sup>[128]</sup>利用用户的传感器收集各种信息,并通过Twitter实现信息发布与问题回答功能。

### 6.1.4 网络通信

在无网络接入的环境下,稳定可靠的设备间无线通信是智慧城市物联网中连接人和物的关键要求之一。其中,Ning等人<sup>[129]</sup>提出了一种基于智能手机自适应传输机制,并在此基础上研究了一种面向社会属性的链接选择方案,从而改善了智慧城市物联网的网络连接和吞吐量。而当存在网络接入的条件时,当前智能设备的联网主要是在Wifi环境下,通过手动选择无线网络并输入共享的密码来实现,这不仅违背安全原则,而且需要对每个设备输入密码。针对无线网络接入,Li等人<sup>[130]</sup>提出了一种面向社交物联网的无线接入网络虚拟化框架,从而最大化支持社交物联网的群组。Yununs等人<sup>[131]</sup>将社交物联网应用到EAP-TLS认证标准中,提出了EAP-SocTLS方法,作为Wifi认证和授权的一种分布式方法,利用直接朋友,间接朋友等社交关系,完成认证和授权,实现智能设备的自动联网。

### 6.1.5 设备共享

人们拥有的一些个人设备,其状态和资源可能是其他人感兴趣的,而且人们愿意与家人,朋友和同事有选择的共享这些设备。不过,这需要一个方便而且安全的机制来实现。例如,M4M<sup>[132]</sup>模型允许社交网络中的朋友相互共享设备。Tiago等人<sup>[133]</sup>将社交物联网系统应用到大学校园中,实现了共享设备信息及用户偏好信息。SenseShare<sup>[134]</sup>是一个利用社交网络来提供身份验证,隐私保护,同时与他人共享传感器数据的应用程序。SBone架构<sup>[135]</sup>在此基础上,允许个人设备共享其资源和状态,使用社交网络实现身份验证,命名,发现和访问控制,根据社交网络中的社交关系建立共享机制,进一步实现了设备状态和设备资源的共享。此外,Lee等人<sup>[136]</sup>提出了一种算法,结合对社交网络的分析以及设备的社交属性,在没有人为干预的社交物联网环境中,实现了设备之间的信息共享。

### 6.1.6 机器人

社交物联网的基本特征是在物品与物品之间建立社交网络,从而屏蔽物联网环境下不同通信协议和异构网络,在智能物品之间和人之间实现交互。因此对于机器人的发展,通过在人-机器人和机器人-机器人交互的基础上增加社会维度。例如,Turcu等人<sup>[137]</sup>提出了基于RFID技术的认知机器人,

在与环境交互的同时实现特定行为，再利用社交网络的链接存储和分享功能，将机器人之间的社交属性由本地拓展到全局，从而在实现本地设备信息与社交网络数据的融合。

### 6.1.7 社会行为

由智能手机，社交网络和智能城市提供的数据，通过复杂网络理论分析，在社会领域中实时描述人类行为，形成了一个专门的分支，称为“人类动力学”。在人类领域中，Ahmad等人<sup>[138,139]</sup>提出了在社交物联网中使用大数据定义人类行为的方法，分析智能城市中的生态系统，利用可穿戴设备识别人类行为，利用大数据确定人类动态，最后反馈给用户，改善人类的行为。在社会领域中，节能是一个巨大的全球性问题，对环境，社会和政治都有影响。然而人们仍然不能清楚地知道它们消耗了多少能量，这主要是因为还没有适当的度量来定义他们的总消费是低还是高。在这种情况下，社交网络服务是一个比较理想的平台。其中，Kamilaris等人提出了社会电力（Social Electricity）<sup>[140]</sup>，用户可以感知他们行为的耗电量，与朋友，邻居和具有类似特征的其他用户相比较，从而自发地减少人们的耗电行为。

### 6.1.8 商业产品

丰田朋友网络（Toyota Friend）是社交物联网最早的商业应用之一，让汽车产生的数据在社交网络中

实现共享，从而改善客户服务。同时，在客户之间建立虚拟社区，以提高客户对品牌的忠诚度。Nike+是另一个商业平台，部署在耐克篮球鞋中的传感器能够在社交网络中发布数据。耐克围绕这个概念构建了销售设备生态系统，以提高客户的使用体验。爱立信研究所为物品提供更多的自主性，实现物品之间的通信，提出了SWoT平台，让物品之间的交互类似于Facebook或其他社交网络上的交互，从而让人们更好的利用物联网技术。

## 6.2 社交物联网应用分析

通过分析上述不同应用场景，我们提取出了社交物联网的主要应用原理，即通过建立物品之间的社交网络，实现服务发现，信息发布，信任评估，信息过滤，通过分析用户之间的社交网络，实现服务组合，行为分析。

将上述应用原理与研究方向、模型选择、交互形式、具体应用相结合，如表6所示。当前，社交物联网的应用，主要利用社区发现方法、面向关系建立的抽象模型以及人与物之间的交互，体现了社交物联网在融合社交网络相关应用上的优势。

表6 社交物联网的应用分析

应用原理	具体原理	研究方向	抽象模型	交互方式	应用方式	代表应用
节点发现	通过好友关系，从而寻找供所需服务的另一节点	链接选择 服务发现	面向节点的抽象模型	人-物、物-物	建立车辆之间的社交网络，实现车辆之间的信息共享	SIoV <sup>[121]</sup> tNode <sup>[123]</sup>
信息发布	沿着好友路径发布新信息，从而优化了信息传播	链接选择	面向网络的抽象模型	人-物、物-物	将物品信息通过社交网络进行传播	S-Senser <sup>[125]</sup>
信任评估	评估信息和服务潜在提供者的可信度	信任管理 社区发现	面向关系建立的抽象模型	人-物、物-物	将社交网络中的信任策略应用到设备中	车联社会网络 <sup>[118]</sup> 设备联网 <sup>[130]</sup>
信息过滤	节点之间相互协作提供完整视图，对信息进行处理	社区发现	面向关系描述的抽象模型	人-物、物-物	通过融合及过滤产品产生的数据，为用户提供完整视图	Nike+
服务组合	将人类社交网络的特点映射到物联网中	社区发现	面向关系建立的抽象模型	人-人、人-物	利用SNS的信息共享，权限控制等功能，优化物联网服务	RoadSpeak <sup>[119]</sup>
行为分析	将物联网数据反馈到社交网络，分析人类社会行为	社区发现	面向关系建立的抽象模型	人-人、人-物	用户可以感知他们行为的耗电量	社会电力 <sup>[140]</sup>

## 7 社交物联网研究重点和展望

社交物联网对物联网的研究和发展，起到了重要的推进作用，近年来针对社交物联网的研究和应用都取得了大量进展，逐渐让社交物联网成为一个研究热点。然而，在社交物联网研究中，不仅存在物联网已有的问题，还存在一些社交物联网特有的亟待解决的问题。本文论述了当前社交物联网的研究重点，并提出了对未来研究的展望。

(1) 社交物联网的关系定义。当前基于社交物联网的实现，主要是将物联网服务与社交网络服务相结合，利用人类之间的社交关系，实现人与物品的交互，但这仅仅是社交物联网的一种实现形式。更深入的研究社交物联网，需要建立物品之间的社交关系。当前针对物品关系的定义，主要表现为“继承关系”、“同位置关系”、“协作关系”、“拥有关系”等较为宽泛的定义<sup>[13]</sup>。因此，在定义1的基础上，未来如何利用社交物联网环境中的物

品属性、网络结构,传播内容等特征,融合社交物联网中对物与物、物与人、人与人社交关系的定义,进而实现对社交关系的形式化表示,并提出社交关系的语义表示模型,则是社交物联网理论体系的重要基础。

(2) 社交物联网的数据处理。社交物联网环境下的社交网络,在属性、结构、内容、位置等方面,相比一般社交网络,提供了更丰富也更复杂的处理环境。如何优化一般社交网络中的传统方法,处理物与物、物与人、人与人交互产生的所有数据。对于数据存储,不可能将所有的数据存储在最唯一的服务器中,因此需要提出高效的分布式存储系统;对于数据管理,需要设计数据结构,定义来自用户和物品的非结构数据;对于数据分析,还需要运用大数据分析的方法,为用户和物品提供有价值的信息。因此,未来面向社交物联网的数据处理,可以基于数据管理需求的社交物联网模型,构建社交物联网的实现平台,从而形成有效的数据处理环境。

(3) 社交物联网的安全问题。安全问题是物联网面临的一大挑战,同样也是社交物联网未来发展的关键问题,没有安全的技术,确保用户可靠的通信,以及可信赖的交互,社交物联网的良性发展将无法成为现实,而其所具有的其他潜力也将无法发挥。当前解决社交物联网的安全问题,主要是基于社交网络建立物品之间的信任模型,例如,利用社交网络、兴趣社区等方法,提供物品间的信任管理,但这种通过统计分析方法导出的社交网络用于推导物品信任模型,是否比利用物联网感知的物品行为数据直接进行物品信任管理更加有效,需要进一步研究<sup>[17]</sup>。

(4) 社交物联网的服务发现和组合。在物联网系统中,有许多服务发现和服务组合的方法可以借鉴,而社交物联网中物与物的交互是以社交网络的形式实现的,并利用社交网络的信息传播,实现服务搜索和发现。例如,当前应用在Web服务中的发现,搜索,选择等方法<sup>[141]</sup>,是否可以用于处理社交物联网中的数据,服务,应用等问题。同时,可以利用针对交互上下文的语义处理方法,提供更加高级的智能方法。因此,需要正确管理社交物联网环境中的上下文,提供明确的访问机制和数据解释。例如,研究如何将RDF和OWL的语义方法拓展到社交物联网中对用户和设备特征的描述中<sup>[142]</sup>,从而促进组件之间的互操作性,实现自主服务组合。同时,建立服务类需求的社交物联网模型,利

用物与物建立的社交网络所具有的结构、位置、内容上的特殊属性,提高服务发现和组合的自主性。

(5) 社交物联网的异构性。传感器、RFID标签、智能手机、电脑等物联网的组成部分,使物联网产生与生俱来的异构性,而在社交物联网中,进一步增加了社交网络的结构特性。因此,社交物联网的实现必须能够集成多种类型的设备,技术和服 务<sup>[143]</sup>。如何确保物品的互操作性,如何确保在动态的上下文环境中,系统组件的可靠运行,以及如何搭建统一的架构组织,支持不同级别的冗余,从而为最终用户提供可靠的信息。这将主要依赖于社交物联网通信类模型的构建,语义感知技术的发展,以及智能硬件的改造。在此基础上,基于社交物联网的链接选择,例如基于小世界贪婪模型<sup>[38]</sup>,寻找更多的影响因素,提高网络的鲁棒性,从而提出更好的解决方法,将是一项非常有意义的研究。

(6) 社交物联网的交互。从物联网的角度,在物与物的交互中,社交物联网将面对一个由数十亿设备组成的巨大平台管理。其中,如何实现自我管理,自我操作,自我修复和自我保护能力的机制,需要进一步研究自动网络管理、自动数据分析、服务发现、组合策略和自组织协议<sup>[144]</sup>。在物与人、人与人的交互中,社交物联网专注于为用户提供物品和其他用户的数据和服务,因此如何设计友好的用户界面,实现社交物联网的平台,用于设备和用户之间的交互,仍是当前面临的一个挑战。从社交网络的角度来看,将社交网络中基于社会感知的高效数据传输与命令分发<sup>[129]</sup>,适用于社交物联网环境下物与物、物与人、人与人之间的交互,将是社交网络应用于物联网的一个重点问题。

## 8 总结

由于物联网本身带有异构性、安全性等问题,以及当前研究和开发的孤立性导致了物联网应用的碎片化。因此,需要从新的研究视角,针对理论、技术、应用等方面形成系统性的研究方法。社交物联网的提出,是物联网的一种实现方式,为物联网的研究提供了新的研究视角,丰富了物联网的研究方法。本文通过对社交物联网进行系统性综述,论证了社交物联网是物联网与社交网络在概念、方法、模型、及应用方面的交叉融合,从而丰富了社交物联网的理论体系。

首先,本文明确了社交物联网的概念及其研究

意义, 归纳了社交物联网的主要研究方法。然后, 本文详细讨论了社交物联网的模型, 实现及应用, 系统性评述了已有研究成果。最后, 本文提出了社交物联网的研究挑战和发展方向。总的来说, 大量的基于社交网络解决物联网相关问题的研究方法还需不断提出, 大量的基于社交物联网的实现和应用也还有待开发, 社交物联网在物联网领域内将是一个新的研究热点。

社交物联网作为社交网络与物联网交叉融合的成果, 虽然只是物联网的一个子集, 但社交物联网进一步推动了物联网应用的理论研究, 同时拓展了社交网络的理论体系。因此, 物联网的迅猛发展, 为其它科研领域面向物联网的多方位交叉渗透, 提供了更多的发展机遇。

## 参考文献

- [1] Tan L, Wang N. Future internet: the internet of things//Proceedings of the Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE). Chengdu, China, 2010: 376-380
- [2] Atzori L, Iera A, Morabito G. The internet of things: a survey. *Computer networks*, 2010, 54(15): 2787-2805
- [3] Gubbi J, Buyya R, Marusic S. Internet of things (iot): a vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 2012, 29(7):1645-1660
- [4] Xia F, Liu L, Li J. Socially aware networking: a survey. *IEEE Systems Journal*, 2015, 9(3): 904-921
- [5] Ning Z, Xia F, Kong X. Social-oriented resource management in cloud-based mobile networks. *IEEE Cloud Computing*, 2016, 3(4): 24-31
- [6] Holmquist L, Mattern F, Schiele B. Smart-its friends: a technique for users to easily establish connections between smart artefacts//Proceedings of the Ubiquitous Computing. Berlin, Germany, 2001: 116-122
- [7] Bleeker J. A manifesto for networked objects—cohabiting with pigeons, arphids and aibos in the internet of things. *Finoa Candlin. The object reader*, London, UK: Routledge, 2009: 165-174
- [8] Vazquez J I, Lopez-De-Ipina D. Social devices: autonomous artifacts that communicate on the internet//Christian Floerkemeier ed. *The Internet of Things*. Berlin, Germany: Springer, 2008: 308-324.
- [9] Kranz M, Roalter L, Michahelles F. Things that twitter: social networks and the internet of things//Proceedings of the Pervasive Computing. Helsinki, Finland, 2010: 1-10
- [10] Guinard D, Trifa V. Towards the web of things: web mashups for embedded devices//Proceedings of Mashups, Enterprise Mashups and Lightweight Composition on the Web, Madrid, Spain, 2009: 15
- [11] Guinard D, Fischer M, Trifa V. Sharing using social networks in a composable web of things//Proceedings of the Pervasive Computing and Communications. Mannheim, Germany, 2010:702-707
- [12] Chung T, Mashal I, Alsaryrah O. Social web of things: a survey//Proceedings of the Parallel and Distributed Systems (ICPADS), Seoul, Korea, 2013: 570-575
- [13] Atzori L, Iera A, Morabito G. Siot: giving a social structure to the internet of things. *IEEE communications letters*, 2011, 15(11): 1193-1195
- [14] Cheng C, Zhang C, Qiu X. The social web of things (swot)-structuring an integrated social network for human, Things and Services. 2014, 9(2): 345-352
- [15] An J, Gui X, Zhang W. Research on social relations cognitive model of mobile nodes in internet of things. *Journal of Network and Computer Applications*, 2013, 36(2): 799-810
- [16] Ning H, Liu H, Yang L. Cyberentity security in the internet of things. *Computer*, 2013, (4): 46-53
- [17] Shen S, Lin C. Opportunities and challenges in the study of internet of things. *Journal of Software*, 2014, 25(8):1621-1624  
(沈苏彬, 林闯. 专题前言:物联网研究的机遇与挑战. *软件学报*, 2014, 25(8):1621-1624)
- [18] Ortiz A, Hussein D, Park S. The cluster between internet of things and social networks: review and research challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 2014, 1(3): 206-215
- [19] Atzori L, Iera A, Morabito G. The social internet of things (siot) - when social networks meet the internet of things: concept, architecture and network characterization. *Computer Networks*, 2012, 56(16):3594-3608
- [20] Atzori L, Carboni D, Iera A. Smart things in the social loop: paradigms, technologies, and potentials. *Ad Hoc Networks*, 2014, 18: 121-132
- [21] Kleinberg J. The small-world phenomenon: an algorithmic perspective//Proceedings of the thirty-second annual ACM symposium on Theory of computing. Oregon, Portland, 2000: 163-170
- [22] Ning H, Wang Z. Future internet of things architecture: like mankind neural system or social organization framework. *IEEE Communications Letters*, 2011, 15(4):461-463
- [23] Shen S, Yang Z. Architecture of internet of things and its standardization. *Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications*, 2015, 01:1-18(in Chinese)  
(沈苏彬, 杨震. 物联网体系结构及其标准化. *南京邮电大学学报(自然科学版)*, 2015, 01:1-18)
- [24] Stankovic J. Research directions for the internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, 2014, 1(1):3-9
- [25] Shen S, Mao Y, Fan Q. The concept model and architecture of the internet of thing. *Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications*, 2010, 30(4):1-8 (in Chinese)  
(沈苏彬, 毛燕琴, 范曲立. 物联网概念模型与体系结构. *南京邮电大学学报(自然科学版)*, 2010, 30(4):1-8)
- [26] Xia F, Yang L T, Wang L. Internet of things. *International Journal of Communication Systems*, 2012, 25(9): 1101-1102
- [27] Rajkumar R, Lee I, Sha L. Cyber-physical systems: the next computing revolution//Proceedings of the Design Automation Conference, Anaheim, USA, 2010: 731-736
- [28] Wang F. The emergence of intelligent enterprises: from cps to cpss. *IEEE Intelligent Systems*, 2010, 25(4):85-88
- [29] Tarkoma S, Ailisto H. The internet of things program: the finnish perspective. *IEEE Communications Magazine*, 2013, 51(3):10-11
- [30] Kortuem G, Kawsar F, Sundramoorthy V. Smart objects as building blocks for the internet of things. *IEEE Internet Computing*, 2010, 14(1):44-51
- [31] Atzori L, Iera A, Morabito G. From "smart objects" to "social

- objects": the next evolutionary step of the internet of things. *IEEE Communications Magazine*, 2014, 52(1):97-10
- [32] Xiao M, Wu J, Huang L. Community-aware opportunistic routing in mobile social networks. *IEEE Transactions on Computers*, 2014, 63(7): 1682-1695.
- [33] Ostermaier B, RöMer K, Mattern F. A real-time search engine for the web of things. //Proceedings of the Internet of Things (IOT), Tokyo, Japan, 2010: 1-8
- [34] Girau R, Martis S, Atzori L. Neighbor discovery algorithms for friendship establishment in the social Internet of Things// Proceedings of the Internet of Things (WF-IoT), Reston, USA, 2016: 165-170
- [35] Nitti M, Atzori L, Cvijikj I. Friendship selection in the social internet of things: challenges and possible strategies. *IEEE Internet of Things Journal*, 2015, 2(3):240-247
- [36] Nitti M, Atzori L, Cvijikj I. Network navigability in the social internet of things//Proceedings of the IEEE World Forum on Internet of Things. Seoul, South Korea, 2014:405-410
- [37] Shapley L. A value for n-person games I. *Contributions to the Theory of Games (AM-28)*, 2016, 2: 307
- [38] Militano L, Nitti M, Atzori L. Enhancing the navigability in a social network of smart objects: a shapley-value based approach. *Computer Networks*, 2016, 103: 1-14
- [39] Ahlgren B, Dannewitz C, Imbrenda C. A survey of information-centric networking. *IEEE Communications Magazine*, 2012, 50(7): 26-36
- [40] Nitti M, Atzori L. What the sIoT needs: a new caching system or new friendship selection mechanism//Proceedings of the Internet of Things (WF-IoT). Milan, Italy, 2015: 424-429
- [41] Jung J, Chun S, Jin X. Enabling smart objects discovery via constructing hypergraphs of heterogeneous IoT interactions. *Journal of Information Science*, 2016, 44 (1) :110-124
- [42] Qiu T, Luo D, Xia F. A greedy model with small world for improving the robustness of heterogeneous internet of things. *Computer Networks*, 2016, 101: 127-143
- [43] Zhao Z, Liu X, Duan Z. A Survey on social ties mining, *Chinese Journal of Computers*, 2017, 40(3): 535-555 (in Chinese) (赵姝, 刘晓曼, 段震. 社交关系挖掘研究综述. *计算机学报*, 2017, 40(3): 535-555)
- [44] Yao Y, Cao Q, Vasilakos A V. EDAL: an energy-efficient, delay-aware, and lifetime-balancing data collection protocol for heterogeneous wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Networking (TON)*, 2015, 23(3): 810-823
- [45] Liu C, Liu J, Jiang Z. A multiobjective evolutionary algorithm based on similarity for community detection from signed social networks. *IEEE transactions on cybernetics*, 2014, 44(12): 2274-2287
- [46] Li F, Wu J. Mops: providing content-based service in disruption-tolerant networks//Proceedings of the Distributed Computing Systems. Montreal, Canada, 2009: 526-533
- [47] Misra S, Barthwal R, Obaidat M. Community detection in an integrated internet of things and social network architecture//Proceedings of the Global Communications Conference. Anaheim, USA, 2012:1647-1652
- [48] Zheng Z, Wang T, Song L. Social-aware multi-file dissemination in device-to-device overlay networks//Proceedings of the Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS). Toronto, Canada, 2014: 219-220
- [49] Guo B, Zhang D, Wang Z. Opportunistic IoT: exploring the harmonious interaction between human and the internet of things. *Journal of Network and Computer Applications*, 2013, 36(6): 1531-1539
- [50] Ning Z, Liu L, Xia F. Cais: a copy adjustable incentive scheme in community-based socially-aware networking. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2016, 66(4), 3406 - 3419
- [51] You L, Li J, Wei C. Mpar: a movement pattern-aware optimal routing for social delay tolerant networks. *Ad Hoc Networks*, 2015, 24: 228-249
- [52] Girolami M, Barsocchi P, Chessa S. A social-based service discovery protocol for mobile ad hoc networks//Proceedings of the Ad Hoc Networking Workshop (MED-HOC-NET). Ajaccio, France, 2013: 103-110
- [53] Qureshi B, Min G, Kouvatsos D. An adaptive content sharing protocol for p2p mobile social networks//Proceedings of the Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA). Perth, Australia, 2010: 413-418
- [54] Chen K, Shen H, Zhang H. Leveraging social networks for p2p content-based file sharing in disconnected manets. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2014, 13(2): 235-249
- [55] Li Z, Chen R, Liu L. Dynamic resource discovery based on preference and movement pattern similarity for large-scale social internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, 2016, 3(4): 581-589
- [56] Roman R, Najera P, Lopez J. Securing the internet of things. *Computer*, 2011, 44(9): 51-58
- [57] Yan Z, Zhang P, Vasilakos A. A survey on trust management for internet of things. *Journal of network and computer applications*, 2014, 42: 120-134
- [58] Yan Z, Niemi V, Chen Y. Mobile social networking: an innovative approach//Alvin Chin ed. *Mobile Social Networks*. New York, USA: Springer, 2014:195-235
- [59] Huang C, Yan Z, Li N. Secure pervasive social communications based on trust in a distributed way. *IEEE Access*, 2016, 4: 9225-9238
- [60] Guo J, Chen R. A classification of trust computation models for service-oriented internet of things systems//Proceedings of the Services Computing (SCC). New York, USA, 2015: 324-331
- [61] Bao F, Chen I. Dynamic trust management for internet of things applications//Proceedings of the 2012 international workshop on Self-aware internet of things. Grenoble, France, 2012: 1-6
- [62] Bao F, Chen I. Trust management for the internet of things and its application to service composition//Proceedings of the World of Wireless Mobile and Multimedia Networks. San Francisco, USA 2012:1-6
- [63] Bao F, Chen R, Guo J. Scalable, adaptive and survivable trust management for community of interest based internet of things systems//Proceedings of the Autonomous Decentralized Systems (ISADS). Mexico City, Mexico, 2013: 1-7
- [64] Chen R, Bao F, Guo J. Trust-based service management for social internet of things systems. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 2015, 13(6): 684-694
- [65] Chen R, Guo J, Bao F. Trust management for soa-based IoT and its application to service composition. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2015, 9(3): 482-495
- [66] Nitti M, Girau R, Atzori L. Trustworthiness management in the social internet of things. *IEEE Transactions on Knowledge & Data*



- Engineering, 2014, 26(5):1253-1266
- [67] Sicari S, Rizzardi A, Grieco L. Security, privacy and trust in internet of things: The road ahead. *Computer Networks*, 2015, 76: 146-164.
- [68] Truong N, Um T, Lee G. A reputation and knowledge based trust service platform for trustworthy social internet of things//*Proceedings of the Innovations in Clouds Internet and Networks (ICIN)*. Paris, France, 2016: 104-111
- [69] Chen Z, Ling R, Huang C. A scheme of access service recommendation for the social internet of things. *International Journal of Communication Systems*, 2015, 29:694-706
- [70] Jayasinghe U, Truong N, Lee G. Rpr: a trust computation model for social internet of things//*Proceedings of the Ubiquitous Intelligence & Computing*, Toulouse, France, 2016: 930-937
- [71] Xiao H, Sidhu N, Christianson B. Guarantor and reputation based trust model for social internet of things//*Proceedings of the 2015 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*. Paphos, Cyprus, 2015: 600-605
- [72] Perera C, Zaslavsky A, Christen P. Context aware computing for the internet of things: a survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2014, 16(1): 414-454
- [73] Saleem Y, Crespi N, Rehmani M. Exploitation of social iot for recommendation services//*Proceedings of the Internet of Things (WF-IoT)*, Reston, USA, 2016: 359-364
- [74] Hussein D, Park S, Crespi N. A cognitive context-aware approach for adaptives services provisioning in social internet of things//*Proceedings of the IEEE International Conference on Consumer Electronics*. Las Vegas, USA, 2015:192-193
- [75] Hussein D, Han S, Lee G M. Towards a dynamic discovery of smart services in the social internet of things. *Computers & Electrical Engineering*, 2017, 58: 429-443.
- [76] Beltran V, Ortiz A, Hussein D. A semantic service creation platform for social iot//*Proceedings of the Internet of Things (WF-IoT)*. Seoul, South Korea, 2014: 283-286
- [77] Yao L. A propagation model for integrating web of things and social networks//*Proceedings of the Service-Oriented Computing*. Paphos, Cyprus, 2011: 233-238
- [78] Wu J, Dong M, Ota K. Chance discovery based security service selection for social p2p based sensor networks//*Proceedings of the 2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. San Diego, USA, 2015: 1-6
- [79] Wu J, Dong M, Ota K. A fine-grained cross-domain access control mechanism for social internet of things//*Proceedings of the Ubiquitous Intelligence and Computing*, Balikpapan, Indonesia, 2014: 666-671
- [80] Dimakis A, Godfrey P, Wu Y. Network coding for distributed storage systems. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2010, 56(9): 4539-4551
- [81] Wu J, Dong M, Ota K. Securing distributed storage for social internet of things using regenerating code and blom key agreement. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 2015, 8(6): 1133-1142
- [82] Feng W, Yan Z, Xie H. Anonymous authentication on trust in pervasive social networking based on group signature. *IEEE Access*, 2017, 5: 6236-6246.
- [83] Yan Z, Feng W, Wang P. Anonymous authentication for trustworthy pervasive social networking. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2015, 2(3): 88-98.
- [84] Chen H, Cui L. Design and model checking of service oriented software architechure for internet of things: a survey. *Chinese Journal of Computers*, 2016, 39(5):853-871(in Chinese)  
(陈海明,崔莉. 面向服务的物联网软件体系结构设计及模型检测. *计算机学报*, 2016, 39(5):853-871)
- [85] Ciortea A, Boissier O, Zimmermann A. Reconsidering the social web of things: position paper//*Proceedings of the Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication*. New York, USA, 2013: 1535-1544
- [86] Pintus A, Carboni D, Piras A. The anatomy of a large scale social web for internet enabled objects//*Proceedings of the Second International Workshop on Web of Things*. San Francisco, USA, 2011: 6
- [87] Hussein D, Han S N, Han X. A framework for social device networking//*Proceedings of the Distributed Computing in Sensor Systems*. Cambridge, USA, 2013: 356-360
- [88] Kim J, Maron A, Mosse D. Socialite: a flexible framework for social internet of things// *Proceedings of the Mobile Data Management (MDM)*, Pittsburgh, USA, 2015: 94-103
- [89] Console L, Lombardi I, Picardi C. Toward a social web of intelligent things. *AI Communications*, 2011, 24(3): 265-279
- [90] Lin C, Ho P. Framework for nfc-based intelligent agents: a context-awareness enabler for social internet of things. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2014,10(2):1-16
- [91] Choi J H, Kang K, Kang D. An analysis on device sociality: deriving human social relationships from device interactions. *International Journal of Advances in Soft Computing & Its Applications*, 2014, 6(3):14-29
- [92] Jara A J, Bocchi Y, Genoud D. Social internet of things: the potential of the internet of things for defining human behaviours//*Proceedings of the Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS)*. Salerno, Italy, 2014: 581-585
- [93] Bernabe J, Hernández J, Moreno M. Privacy-preserving security framework for a social-aware internet of things//*Proceedings of the Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence*. Belfast, UK, 2014: 408-415
- [94] Kang D, Choi H, Rhee W. Social correlation group generation mechanism in social iot environment//*Proceedings of the Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*. Vienna, Austria, 2016: 514-519
- [95] Yao, Lina. Things of interest recommendation by leveraging heterogeneous relations in the internet of things. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 2016, 16(2):1-25.
- [96] Kokoris-Kogias E, Voutyras O, Varvarigou T. Trm-siot: a scalable hybrid trust & reputation model for the social internet of things//*Proceedings of the Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Berlin,Germany, 2016: 1-9
- [97] Nitti M, Girau R, Atzori L. A subjective model for trustworthiness evaluation in the social internet of things//*Proceedings of the International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications-(PIMRC)*. Sydney, Australia, 2012: 18-23
- [98] Farris I, Girau R, Nitti M. Taking the siot down from the cloud: integrating the social internet of things in the input architecture// *Proceedings of the Internet of Things (WF-IoT)*. Milan, Italy, 2015: 35-39
- [99] Pintus A, Carboni D, Piras A. Paraimpu: a platform for a social web of things//*Proceedings of the 21st International Conference on World Wide Web*. Lyon, France, 2012: 401-404
- [100] Chung T Y, Mashal I, Alsaryrah O. Mul-swot: a social web of things

- platform for internet of things application development//Proceedings of the Internet of Things (iThings). TaiBei, China, 2014: 296-299
- [101] Chung T Y, Alsaryrah O, Mashal I. Social web of things services fault handling and queuing scheduling//Proceedings of the Ubiquitous and Future Networks. Sapporo, Japan, 2015: 323-327
- [102] Byun J, Kim S H, Kim D. Lilliput: ontology-based platform for iot social networks//Proceedings of the Services Computing (SCC). Anchorage, USA, 2014: 139-146
- [103] Girau R, Nitti M, Atzori L. Implementation of an experimental platform for the social internet of things//Proceedings of the Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS). Taichung, China, 2013: 500-505
- [104] Girau R, Martis S, Atzori L. Lysis: a platform for iot distributed applications over socially connected objects. *IEEE Internet of Things Journal*, 2017, 4(1): 40-51
- [105] Farris I, Girau R, Militano L. Social virtual objects in the edge cloud. *IEEE Cloud Computing*, 2015, 2(6): 20-28
- [106] Voutyras O, Bourels P, Kyriazis D. An architecture supporting knowledge flow in social internet of things systems//Proceedings of Wireless and Mobile Computing Networking and Communications (WiMob). Larnaca, Cyprus, 2014: 100-105
- [107] Zhang W, Jin Q, El D. Enabling the social internet of things and social cloud. *IEEE Cloud Computing*, 2015, 2(6): 6-9
- [108] Sinha A, Kumar P. A novel framework for social internet of things. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016, 9(36):1-6
- [109] Lee H, Kwon J. Survey and analysis of information sharing in social iot//Proceedings of the Disaster Recovery and Business Continuity (DRBC). Jeju Island, Korea, 2015: 15-18
- [110] Kim J E, Fan X, Mosse D. Empowering end users for social internet of things//Proceedings of the Internet-of-Things Design and Implementation. Pittsburgh, USA, 2017: 71-82
- [111] Rau P, Huang E, Mao M. Exploring interactive style and user experience design for social web of things of Chinese users: a case study in beijing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2015, 80: 24-35
- [112] Cao H, Zhu J. Context-aware p2p mobile social network structure and discovery algorithm. *Chinese Journal of Computers*, 2012, 35(6): 1223—1234 (in Chinese)  
(曹怀虎, 朱建明. 情景感知的 P2P 移动社交网络构造及发现算法. *计算机学报*, 2012, 35(6): 1223—1234)
- [113] Bojic, I, Tomislav L, Vedran P. Bio-inspired clustering and data diffusion in machine social networks//Ajith Abraham ed. *Computational social networks*. London, UK: Springer, 2012:51-79
- [114] Kamilaris A, Pitsillides A. Social networking of the smart home//Proceedings of the 21st Annual IEEE International Symposium on Personal, Turkey, 2010: 2632-2637
- [115] Kang D, Choi J, Jung J. Sdif: social device interaction framework for encounter and play in smart home service. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2016, 62(1): 85-93
- [116] Diaz-Sanchez D, Marin A, Almenarez F. Social applications in the home network. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010, 56(1): 220-225
- [117] Gupta D, Dwith C, Ramakanth B. Wireless home automation using social networking websites//Proceedings of the Advanced Computing and Communications (ADCOM). Bangalore, India, 2014: 12-15
- [118] Vegni A, Loscri V. A survey on vehicular social networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2015, 17(4): 2397-2419.
- [119] Smaldone S, Han L, Shankar P. Roadspk: enabling voice chat on roadways using vehicular social networks//Proceedings of the 1st Workshop on Social Network Systems. New York, USA, 2008: 43-48
- [120] Luan T, Lu R, Shen X. Social on the road: enabling secure and efficient social networking on highways. *IEEE Wireless Communications*, 2015, 22(1): 44-51
- [121] Nitti M, Girau R, Floris A. On adding the social dimension to the internet of vehicles: friendship and middleware//Proceedings of the Communications and Networking (BlackSeaCom). Chisinau, Moldova, 2014: 134-138
- [122] Alam K, Saini M, El A. toward social internet of vehicles: concept, architecture, and applications. *IEEE Access*, 2015, 3: 343-357.
- [123] Alam K, Saini M, El A. Tnote: a social network of vehicles under internet of things//Proceedings of the International Conference on Internet of Vehicles. Beijing, China, 2014: 227-236
- [124] Yang Q, Wang H. Toward trustworthy vehicular social networks. *IEEE Communications Magazine*, 2015, 53(8): 42-47
- [125] Baqer M, Kamal A. S-sensors: integrating physical world inputs with social networks using wireless sensor networks//Proceedings of the Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP). Melbourne, Australia, 2009: 213-218
- [126] Jiabin Z, Lichang C, Qingsong D. A social networks integrated sensor platform for precision agriculture//Proceedings of the 2014 4th IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content. Beijing, China, 2014: 131-136
- [127] Choi Y, Kim S, Park H. Indoor monitoring system employing facebook platform for wsn//Proceedings of the Advanced Communication Technology (ICACT). Rajampet, India, 2013: 1037-1041
- [128] Meana-Llorián D, Garc á C, Garc á-D áz V. Senseq: replying questions of social networks users by using a wireless sensor network based on sensor relationships. *Data Sci Pattern Recognit*, 2017, 1(1): 1-12
- [129] Ning Z, Xia F, Hu X. Social-oriented adaptive transmission in opportunistic internet of smartphones. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2017, 13(2): 810-820
- [130] Li H, Dong M, Ota K. Radio access network virtualization for the social Internet of Things. *IEEE Cloud Computing*, 2015, 2(6): 42-50
- [131] Durmus Y, Langendoen K. Wifi authentication through social networks—a decentralized and context-aware approach//Proceedings of the Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops). Budapest, Hungary, 2014: 532-538
- [132] Deshpande P, Kodeswaran P, Banerjee N. M4m: a model for enabling social network based sharing in the internet of thing//Proceedings of the Communication Systems and Networks (COMSNETS). Bangalore, India, 2015: 1-8
- [133] Alves, Tiago M. Exploring the social internet of things concept in a univeristy campus using nfc//Proceedings of the Computing Conference (CLEI). Arequipa, Peru, 2015: 1-12
- [134] Schmid T, Srivastava M. Exploiting social networks for sensor data sharing with senseshare. *Center for Embedded Network Sensing*, 2007.1(1):1-6
- [135] Shankar P, Nath B, Iftode L. Sbone: personal device sharing using social networks. *Tech Rep: DCS-TR-666*.USA: Rutgers University, 2010.
- [136] Lee H, Kim K, Kwon J. A pervasive interconnection technique for efficient information sharing in social iot environment. *International*

- Journal of Smart Home, 2016, 10(1): 9-22
- [137] Turcu C. The social internet of things and the rfid-based robots//Proceedings of the Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), Saint-Petersburg, Russia, 2012: 77-83
- [138] Ahmad A, Rathore M, Paul A. Defining human behaviors using big data analytics in social internet of things//Proceedings of the Advanced Information Networking and Applications (AINA). Crans-Montana, Switzerland, 2016: 1101-1107
- [139] Paul A, Ahmad A, Rathore M. Smartbuddy. defining human behaviors using big data analytics in social internet of things. IEEE Wireless Communications, 2016, 23(5): 68-74
- [140] Kamilaris A, Pitsillides A, Fidas C. Social electricity: a case study on users perceptions in using green ict social applications. International Journal of Environment and Sustainable Development, 2016, 15(1): 67-88
- [141] Guinard D, Trifa V, Karnouskos S. Interacting with the soa-based internet of things: discovery, query, selection, and on-demand provisioning of web services. IEEE transactions on Services Computing, 2010, 3(3): 223-235
- [142] Katasonov A, Kaykova O, Khriyenko O. Smart Semantic Middleware for the Internet of Things//Proceedings of the Informatics in Control, Automation and Robotics, Intelligent Control Systems and Optimization, Madeira, Portugal, 2008:169-178
- [143] Zorzi M, Gluhak A, Lange S. From today's intranet of things to a future internet of things: a wireless-and mobility-related view. IEEE Wireless Communications, 2010, 17(6): 44-51
- [144] Qiu T, Liu X, Feng L. An efficient tree-based self-organizing protocol for internet of things. IEEE Access, 2016, 4(6):3535-3546



**MI Bao-Tong**, born in 1990, Ph.D. candidate. His research interests include internet of things, social computing.

**LIANG Xun**, born in 1965, Ph. D. professor, Ph.D. supervisor. His research interests include internet information analysis, data mining, business intelligence, and social computing.

**ZHANG Shu-Sen**, born in 1988, Ph.D. candidate. His research interests include data mining, social computing.

## Background

In recent years, there are quite a number of independent research activities that investigated the potentialities of integrating the concept of social networks into the solutions of Internet of Things. The resulting paradigm, named Social Internet of Things (SIoT), has brought new opportunities for the development of the Internet of Things. However, the concept of SIoT is not well defined, and the research content is also scattered at present. Along with more research in the area between Internet of Things and social networks, it is the time to define the SIoT clearly and analyze the SIoT systematically.

This paper summarizes the research field of SIoT from concept, method, model, realization and application, and

provides a new way to achieve the development and application of Internet of things. This paper first discusses the related concepts and research significance of SIoT, then analyzes the method, model, realization and application of SIoT, finally points out the current research challenges and opportunities of SIoT.

This paper is supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos. 71271211, 71531012, the Natural Science Foundation of Beijing under Grant No. 4132067, the Natural Science Foundation of Renmin University of China under Grant No. 10XNI029, the Beijing high school youth talent plan under Grant No. 21147514040.