

doi:10.11959/j.issn.2096-3750.2017.00026

## 物联网的核心本质——数据联网

张琦<sup>1</sup>, 杨浩<sup>2</sup>, Tony Q. S. Quek<sup>2</sup>, 金石<sup>3</sup>, 朱洪波<sup>1</sup>

(1. 南京邮电大学, 江苏 南京 210003; 2. 新加坡科技设计大学, 新加坡 487372; 3. 东南大学, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 物联网是各种智能设备、传感器及计算器件以自动控制方式集合起来的网络。在物联网中, 大规模的设备将产生大量数据传输至中心系统进行处理, 因此, 物联网技术的关键在于找到高效的数据处理方法。研究了物联网实现中面临的主要数据难题, 包括收集低功率数据、快速传输数据、准确分析数据和及时反馈数据等, 并将数据作为实体组成了新的网络——数据联网。数据联网是物联网的核心本质, 尤其在数据密集的应用中具有很强的研究价值。详细介绍了数据联网的概念和主要挑战, 同时提出了一些可以应用在数据联网中的成熟技术, 如大数据、数据挖掘及人工智能等。

**关键词:** 物联网; 数据联网; 数据处理

**中图分类号:** TN929.53

**文献标识码:** A

## Kernel of Internet of Things: Internet of Data

ZHANG Qi<sup>1</sup>, YANG Hao<sup>2</sup>, Tony Q. S. Quek<sup>2</sup>, JIN Shi<sup>3</sup>, ZHU Hong-bo<sup>1</sup>

(1. Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. Singapore University of Technology and Design, Singapore 487372, Singapore;

3. Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The Internet of Things (IoT) is a collection of devices, sensors and computing capabilities that enable intelligent command and control across vast regions in an automated manner, where data is generated by large-scaled devices and often sent to a centralized system for processing. Therefore, for IoT scenarios, it is important to have an efficient way to collect data at low power, transmit them in very short time, process them in close to real time, and send back the results of this processing. The main data problems in IoT are investigated, and the data entities are organized to form a network, coined as the Internet of Data (IoD), which has huge potential in data-intensive applications. To better understand IoD, the basic concept and main challenges of IoD are also stated. Meanwhile, to provide more detailed understanding, some feasible techniques that can be used in IoD are also explored, like big data, data mining and artificial intelligence, which are all hot research areas and have been studied extensively in recent years.

**Key words:** IoT, IoD, data processing

### 1 引言

随着无线通信及智能科技的快速发展, 越来越多的设备被连接至互联网中, 形成了物联网 (Internet of Things)。在物联网中, 不同种类的设备可以自动识别、相互通信, 甚至自判决。物联网的基本概念就是将存在于人们周围的各种器件, 如传感

器、传动装置和手机等, 通过唯一的地址识别系统, 使之互相连接、共同合作, 达到共同任务目标<sup>[1~3]</sup>。毫无疑问地, 物联网的最大优势在于它将大大提高日常生活的便利性和智能性, 同时也可满足用户的安全性和隐私性需求。

在无线通信技术越来越先进的现代社会, 各类设备层出不穷, 将这些物理设备嵌入互联网中使之

收稿日期: 2017-11-14; 修回日期: 2017-12-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61427801); MOE ARF Tier 2 基金资助项目 (No.MOE2015-T2-2-104); SUTD-ZJU 合作研究基金资助项目 (No.SUTD-ZJU/RES/01/2016, No.SUTD-ZJU/RES/05/2016)

**Foundation Items:** The National Natural Science Foundation of China (No.61427801), MOE ARF Tier 2 (No.MOE2015-T2-2-104), The SUTD-ZJU Research Collaboration (No.SUTD-ZJU/RES/01/2016, No.SUTD-ZJU/RES/05/2016)

收集数据并相互通信,就构成了物联网<sup>[4,5]</sup>。如图1所示,物联网可以用来预测城市事故和犯罪、帮助医生及时从起搏器和生物芯片等获得信息、为工业生产提供最优产能规划、创造真正的智能家居,以及为自动驾驶汽车提供技术支持等。物联网可以为未来生活带来无限种可能性。另外,物联网允许普通设备被现有网络远程感应和控制<sup>[6]</sup>,使越来越多的物理设备可以接入电脑控制系统,从而大大提升了工作效率和准确度,也减少了人工成本缩减开支。可以预料到,在未来,物联网将利用电脑科技和无线通信技术为现代生活带来无限种可能性。



图1 物联网应用示意

### 1.1 物联网的研究现状

目前已有许多文献对物联网进行了比较全面的调研和分析。文献[3]从多个角度对物联网进行了深入的研究,包括所采用的主要通信技术、可能遇到的主要技术难题和涉及的有线及无线感知网络元素等。文献[7]着重分析了物联网的架构及部署物联网时所面临的挑战。文献[8]研究了在中心云技术的支撑下,驱动装置和服务在物联网结构中的作用。文献[9]调研了物联网采用6LoWPAN/IEEE 802.15.4标准、蓝牙和NFC技术在无线临床设备以及电子医疗方面的应用。另外,文献[10]着重分析了物联网结合RFID标签的应用,而文献[6]则概述了IETF标准在物联网应用中可能遇到的挑战,同时也研究了物联网中使用的特殊协议堆栈。关于物联网的体系架构,文献[11,12]给出了详细分析,且后者着重于分析数据挖掘技术在物联网中的应用。除此之外,适用于物联网的一种新型技术——边缘

挖掘在文献[13]中进行了介绍。不同于传统的数据挖掘,边缘挖掘的对象是位于物联网边缘位置的无线电池和智能感应设备等。文献[14]阐述了物联网理论研究和实际部署之间的差距及所面临的主要问题,而文献[15]则调研了物联网的中波段解决方案。另外,文献[16]分析了物联网在自组织方面的可能遇到的挑战和技术难题,而文献[5]则讨论了如何将智能对象转化为社会对象,即增加网络信任级别,使对象间互相友好,方便及时访问。最后,文献[17]描述了物联网技术对智慧城市的解决方案和操作手段。

### 1.2 物联网的数据问题

在数字化生产和智慧城市背景下,所有领域都将面临的一个技术难题就是如何将各类不同设备器件存储的资源信息数据整合起来,并以极快的速度反馈到需求方<sup>[18,19]</sup>。例如,在药剂生产企业,除了要适应药物生产需求,还要监管化学原材料的供应和质量,每个参数数据都要被记录,以便出现问题时及时调研和纠正。企业的数据整合处理等需求业务量日益增大,但大规模的中心处理软件显然不是解决问题的办法,因为其成本昂贵且覆盖范围有限。物联网采用分布式结构给这些问题提供了一个更灵活的解决办法。区块链、发布—订阅(数据网络化)、关联数据和映射—归约等架构已经在有线网络中被分布式应用广泛采用<sup>[20,21]</sup>。因此,可以借鉴这些架构的思路,为分布式智能构造提供想法。但值得注意的是,无线设备(如传感器和手机等)功率低,带宽和计算能力有限,这些都是物联网方案中必须要关注的重点限制。另外,值得关注的是,物联网中有成亿的设备连接,因此,处理好流量控制和介质访问也是非常重要的。

在物联网应用中,数据处理是核心要点,包括收集低功率数据、快速传输数据、准确分析数据及及时反馈数据等。所有这些需求都为系统设计提出了严格的要求。物联网的实际部署首先要找到高效的数据处理方法。物联网平台的数据处理需求大致可归纳为以下几点。

- 1) 支持本地原始数据。物联网平台应支持本地数据处理,包括数据收集和数据分析等。
- 2) 支持多种负载类型数据。物联网应用通常需要平台支持不同负载的数据流处理,包括低时延、高准确度和大规模数据流等。
- 3) 支持数据连续性。物联网的商业应用通常

有运行时间、传输时延和错误恢复等方面的要求。因此，所有物联网平台都应该满足这些要求，尤其是在医疗等领域，数据连续性对保证病人生命非常重要。

4) 保证数据安全性和隐私性。物联网平台必须保证安全操作。但就目前来说，端到端通信的安全保障仍然是一个挑战。另外，用户的隐私性也必须被保证。可利用加密算法对数据进行伪装。

### 1.3 本文的主要研究内容

物联网中的大规模设备将产生大量数据，因此，如何高效和准确处理这些数据就成为了物联网的核心要点。本文分析了物联网中存在的主要数据问题和数据需求，包括对本地原始数据的支持、对不同负载数据流的支持、保证数据连续性和安全性等。为了处理这些问题，本文并将数据作为实体组成了新的网络——数据联网（Internet of Data）。数据联网是物联网的核心本质，尤其在数据密集的应用中具有很强的研究价值。本文详细介绍了数据联网的概念和主要难点，同时提出了一些可以应用在数据联网中的成熟技术，如大数据、数据挖掘及人工智能等，为数据联网的实际应用提供了参考思路。

## 2 数据联网的初步介绍

物联网是大量设备、传感器和计算器件以智能方式集合起来的网络，而这个系统中最重要元素就是数据。设备产生的数据通常需要传输至中心处理系统进行整合和处理并反馈至需求方。因此，如何高效并准确地处理数据成为物联网的核心问题。

### 2.1 数据联网的基本概念

物联网的广泛发展对现有网络和通信机制都提出了复杂的要求。据估计，现有网络中相互连接的设备数目在 500 亿数量级。预测到 2020 年，此数目还会再增加 1 000 倍。根据人们与其周围物体的不同业务需求，所有设备都将有相应的不同限制条件。这些设备范围广泛，涉及日常生活的各个方面；这些设备用途各异，可监督，可协助，也可保安，在智能家庭和智能工业都有实用价值。以往的通信过程大部分局限于人与人之间，而物联网则视角放宽，看到了更普遍的器件与器件之间的通信。这种机器通信不仅要求在大量的接入设备中瞬时感应信号源，更要求能够瞬时反馈至需求方。

所有物联网设备都有一个共同点就是会产生

大量的具体数据，而日益增强的器件计算能力使其产生的数据规模和复杂度较以往也急速增加。从交易和消费记录到使用模式，甚至用户位置等，物联网实际是一个数据的相互连接、引用及分析。从这个角度来看，在互联网中探究分布式智能的过程可归结为对大规模数据的探究，称为数据联网。对物联网的分析不能着重于其外形，而应归根于其实质，也就是数据。怎样将数据集合起来，怎样对数据进行存储，怎样将数据互联，都是需要解决的问题。所有物联网中的设备和对象只有在数据正确和安全处理后才能发挥作用，因此，数据是物联网策略和实现的驱动。

相比较日常生活中可以肉眼看到的设备，数据设备不仅数量更加巨大，且管理也更加困难<sup>[22,23]</sup>。这其中关键性的问题就是如何将这些数据有效地组织起来。简单的数据聚合是很简单的，但高效地将数据中包含的信息资源验证、分析、存储、管理等却不容易。多种多样的数据集合需要新的数据组织方法。如图 2 所示的智能家居系统<sup>[24,25]</sup>，用户举止、房间炉灶和访问者等数据都将被相应的传感器捕获。所有这些数据被压缩后都将被分配一个唯一的标签，继而将被传输至控制单元进行整合和简单的管理。之后，数据及其标签都将被传输至服务器进行进一步的分析，或直接反馈至交互设备给出反应。当客户端发起请求时，服务器将下载一份相应的数据实体并将其传输至客户端，同时客户端的反馈也会传送到服务器。

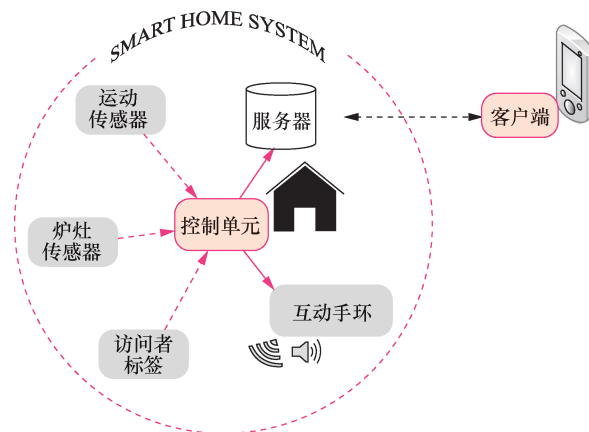


图 2 智能家居系统示意

数据联网的概念来自于数据的不可独立性，因为数据单独来看是没有任何意义的，只有相互连接相互渗透才能体现出其价值。

## 2.2 数据联网面临的挑战

数据联网最先面临的问题就是数据规模的巨大性和数据源的各异性。因此，在数据处理前，首先要解决数据组合和整合问题。物联网中，仅要求设备能够喷涌出高速数据流是不够的，数据还必须被集合起来并传输至存储系统以进行商业计算或策略判决。所以，数据整合引擎是整个物联网的核心驱动装备。哪些关键数据需要被整合、能够被整合，以及怎样整合，都是亟待解决的问题。

数据联网面临的另一个主要问题就是数据管理。传统的数据管理系统在一个单独的数据储备单元中处理离线数据存储、恢复和更新<sup>[26]</sup>，且从预定义的有限信息源中获取数据块。这类管理系统通常利用查询机制在数据库中恢复和更新数据信息以及插入新数据<sup>[27]</sup>。但是，数据联网的数据管理机制却完全不同，因其数据源具有大规模性和快速增长特性，且来源各异，包括传感器、嵌入式系统和移动设备等。传统数据管理系统中的数据询问是间歇式发生的，而物联网中的数据则是连续不断地从各种设备流向数据存储单元，且询问发生地更频繁也更差异化。因此，在数据联网中，数据管理系统必须能够将异构信息源传递出的线上数据整合并提供存储、记录及审查功能，以方便线下的进一步分析<sup>[28]</sup>。这种要求使数据管理系统从单纯的线下存储、询问处理和事务操作转变为线上线下的通信存储双向操作。

此外，数据整合也是数据联网面临的挑战。物联网中的设备分布广泛、种类各异，将各种异构数据统一整合并归类分析是数据联网的一个主要难题。另外，为了使边缘设备提供有效的服务，其数据需要与外界信息如商业资产、地理位置、天气情况等结合使用，这就为数据整合和管理又增加了新的难度。物联网中的数据通常是实时获得的，但同时也伴有各种各样的数据丢失、偏差和噪声。为了保持数据质量，各类数据源需要增加辅助数据段以消除失真，这些衍生出的数据量也使数据整合变得更加困难。

## 3 适用于数据联网的技术

本节将给出3种可用于数据联网的技术。

### 3.1 大数据

由于物联网中的传感器和设备数目巨大且种类繁多，因此，其产生的各类数据量将会非常庞大。

所以，能够处理大规模数据的大数据技术成为数据联网的首要技术手段。

大数据是指大量复杂数据的集合。传统的数据处理方法在如此体量和难度的数据处理问题变得束手无策。大数据的主要挑战包括数据集合、存储、搜寻、共享、分析以及可视化。大数据技术的设计初衷就是服务如物联网这种存在着数以亿计的设备的网络。这些设备可用于感知、计算和通信等，为日常生活的监管、协助、安保和智能提供新的解决途径。

大数据和数据联网是紧密关联的。物联网中的所有设备均将接入互联网且持续不断地收集数据，并利用这些数据观察业务变化趋势和效能降低等问题。大数据技术可以根据观察到的问题从而提出解决方案，且这种方式可用来在各个领域提升功效性能<sup>[29,30]</sup>。以智能插座为例，在家庭环境中，接入互联网的智能插座可以收集各个电器的电能消耗，从而判断哪个电器消耗最多，哪个电器消耗最少，继而通过远程控制各个电器的开关达到减少整个家庭电能消耗的目的。若想象智能插座是安装在整个城市中的，那么其收集到的数据可以判定城市中哪个位置哪个时段消耗电力最多。根据这些信息，电力供应公司可以相应地调整其供电格局，哪些地方哪个时段电力供应应该提升或下降均一目了然。这样的智能调整，可以在不影响正常使用的前提下缩小整个城市的能量消耗，节省成本的同时也保护了环境。

另一方面，大数据和数据联网也是有明显区别的。大数据多用来分析人类产生的数据，且多用来支持长期有效的需求如预测维护、容量规划、消费和税收保护等。但数据联网处理的则是来自于多种传感器的大量低时延、低有效期的机器数据，且多用来支持实时业务需求，如操作优化、实时广告投标和安全检测等<sup>[31]</sup>。大数据仅是处理数据，普通且简单，而数据联网则是以实际需求为基准，通常需要快速吸取和处理数据且精确并高效地分解数据<sup>[32]</sup>。大数据技术是数据联网的基础，数据联网同时还需要满足实时快速提取和压缩数据以及实时判决等特殊要求。

### 3.2 数据挖掘

数据挖掘是确定数据集合模式的过程，具体指从大规模的数据集合中发掘出创新性、有特色、有应用价值的数据模式，并且利用算法挖掘出数据中

的隐藏信息<sup>[33,34]</sup>。这点与物联网的需求不谋而合。物联网的一个主要功能就是连接用户与智能设备,且收集用户及其环境信息并为其进行合理的数据过滤和分析从而制定决策<sup>[35-37]</sup>。另外,物联网的初衷即是自动化控制和探索所有的设备、器械和传感器,以便为人类生活做出智能决策。因此,数据挖掘技术是能够为数据联网做决策支撑和性能优化的技术。

将数据挖掘应用于数据联网是具有挑战性的,因为数据联网中的数据来自于多种不同类别的数据源,数据量大且质低。这些数据同时也是异构的,可以为结构化的,半结构化的,甚至为完全未结构化的<sup>[38]</sup>。首先要面临的即是数据访问问题,也就是从不同位置的数据存储器中将大规模数据提取出来。这中间将面临数据噪声和失真问题。找到数据错误已然非常困难,还需要对其进行纠正。怎样将传统的数据挖掘算法应用于物联网的大规模数据环境是一个较大的挑战。第二面临的问题就是如何从大数据应用中挖掘出不确定甚至是不完善的数据,且保证其安全性。在不同应用和系统中安全高效地共享数据一直是数据挖掘技术的难点,这点在数据联网中也不例外,尤其是某些机密敏感信息,如银行交易和医疗病例等,都是需要高度关注的数

### 3.3 人工智能

人工智能是利用计算机科学使智能机器具有类似于人类的行为与反应的一种技术。人工智能包含一系列不同的技术手段,如机器学习、自然语言处理和深度学习等,其中机器学习技术已经率先应用到了物联网场景中<sup>[39]</sup>。自动驾驶汽车就是一个很好的例子,哪怕是半自动驾驶汽车也几乎是全部依靠机器学习而实现的。机器学习可以应用于只知道预期结果而不知道具体数据的场景,或者可以用来学习模型与环境之间的相互作用。机器学习的原理即为利用已知数据自动计算理论模型和相应算法使之能够连续不断地学习训练。因为机器学习可以用来根据已知信息和现象来改变形势或行为输出结果,它对物联网来说是非常重要的<sup>[40,41]</sup>。尽管机器学习的数据模型建立过程使用的还是传统静态数据分析方法,但机器学习算法是随着时间而不断完善的,且有越来越多的数据被捕捉和吸收。这就意味着机器学习可以预判,并且根据真实结果与预判之间的差距来调整算法参数,从而使算法越来越精

确。因此,在物联网中,通过从大量的传感器或设备中获取数据,机器学习能够得知此传感器或设备的典型特征,从而能够及时检测出异常数据。

在数据处理、数据管理和数据集合之后,数据联网的下一步就是从上述结果中发掘有实际应用意义的结论,这也是网络分析的最终目标。虽然物联网的每一步都源自于从各种不同的信息源中获取数据,但每一步的最终目的都是从这些数据中发掘有意义的或通用化的结论。这个过程通常称为学习,也是数据联网中非常有意义也很具挑战性的步骤。

然而,最大的问题将是寻找一种方式来分析由这些设备产生的数量极多的数据和信息。要将传统的机器学习方法应用于数据联网,需将其扩展以适应大规模、多样性和分布式数据带来的挑战。现有数据的巨大体量、汲取速率和短暂特性都已经突显出了传统学习方法的局限性<sup>[42]</sup>。其中一些主要挑战包括分布式设置、超多维超高分辨率数据以及异构复杂数据等。机器学习可以说是唯一一种可以跟上物联网产生数据的速度,并可以挖掘数据中拥有的隐藏信息的方法。

## 4 结束语

在物联网中,由于所连接的设备与传感器还快速扩张,这些设备产生的数据总量将会增长到一个难以置信的等级。因此,如何高效和准确处理这些数据就成为了物联网的核心要点。本文分析了物联网中存在的主要数据问题和数据需求,包括对本地原始数据的支持、对不同负载数据流的支持、保证数据连续性和安全性等。为了处理这些问题,本文将数据作为实体组成了新的网络——数据联网,并详细介绍了数据联网的基本概念和面临的主要挑战。与此同时,本文也提出了一些可以应用在数据联网中的成熟技术,如大数据、数据挖掘及人工智能等,为数据联网的实际应用提供了参考思路。

### 参考文献:

- [1] AL-FUQAHA A, GUIZANI M, MOHAMMADI M, et al. Internet of Things: a survey on enabling technologies, protocols, and applications[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2015,17(4): 2347-2376.
- [2] AL-FUQAHA A, KHREISHAH A, GUIZANI M, et al. Toward better horizontal integration among IoT services[J]. IEEE Communications Magazines, 2015, 53(9): 72-79.
- [3] ATZORI L, IERA A, MORABITO G. The Internet of Things: a sur-

- vey[J]. *Computer Networks*, 2010,54(15):2787-2805.
- [4] MOLINARO A, IERA A, AGUIAR R L, et al. Information centric networking for the Internet of Things: challenges and opportunities[J]. *IEEE Network*, 2016,30(2):92-100.
- [5] ATZORI L, IERA A, MORABITO G. From 'smart objects' to 'social objects': the next evolutionary step of the Internet of Things[J]. *IEEE Communications Magazines*, 2014,16(1): 77-97.
- [6] SHENG Z, YANG S, YU Y, et al. A survey on the IETF protocol suite for the Internet of Things: standards, challenges, and opportunities[J]. *IEEE Wireless Communications*, 2013, 20(6): 91-98.
- [7] KHAN R, KHAN S U, ZAHEER R, et al. Future Internet: the Internet of Things architecture, possible applications and key challenges[C]// 10th International Conference FIT. 2012: 257-260.
- [8] GUBBI J, BUYYA R, MARUSIC S, et al. Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions[J]. *Future Generation Computer System*, 2013, 29(7):1645-1660.
- [9] LOPEZ P, FERNANDEZ D, JARA A J, et al. Survey of Internet of Things technologies for clinical environments[C]// 27th International Conference WAINA. 2013:1349-1354.
- [10] YANG D, LIU F, LIANG Y. A survey of the Internet of Things[C]// 1st ICEBI. 2010: 358-366.
- [11] XU L D, HE W, LI S. Internet of Things in industries: a survey[J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014,10(4): 2233-2243.
- [12] TSAI C W, LAI C F, CHIANG M C, et al. Data mining for Internet of Things: a survey[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2014, 16(1): 77-97.
- [13] GAURA E I, BRUSEY J, ALLEN M, et al. Edge mining the Internet of Things[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2013, 13(10):3816-3825.
- [14] GLUHAK A, KRCO S, NATI M, et al. A survey on facilities for experimental Internet of Things research[J]. *IEEE Communication Magazines*, 2011, 49(11):58-67.
- [15] BANDYOPADHYAY S, SENGUPTA M, MAITI S, et al. Role of middleware for Internet of Things: a study[J]. *International Journal of Computer Science and Engineering Survey*, 2011, 2(3): 94-105.
- [16] ATHREYA A P, TAGUE P. Network self-organization in the Internet of Things[C]// 10th Annual IEEE Communication Society Conference, Sensor, Mesh Ad Hoc Communication Networks (SECON). 2013: 25-33.
- [17] ZANELLA A, BUI N, CASTELLANI A, et al. Internet of Things for smart cities[J]. *IEEE Internet Things Journal*, 2014, 1(1):22-32.
- [18] MIORANDI D, SICARI S, PELLEGRINI F D, et al. Internet of Things: vision, applications and research challenges[J]. *Ad Hoc Networks*, 2012,10(7):1497-1516.
- [19] BANDYOPADHYAY D, SEN J. Internet of Things: applications and challenges in technology and standardization[J]. *Wireless Personal Communications*, 2011, 58(1): 49-69.
- [20] DOMINGO M C. An overview of the Internet of Things for people with disabilities[J]. *Journal of Networks, Computer Applications*, 2012,35(2):584-596.
- [21] PALATTELLA M, ACCETTURA N, VILAJOSANA X, et al. Standardized protocol stack for the Internet of (important) Things[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013, 15(3):1389-1406.
- [22] SIEGEMUND F. A context-aware communication platform for smart objects[C]// *Lecture Notes in Computer Science*. 2004:69-86.
- [23] KORTUEM G, KAWSAR F, SUNDRAMOORTHY V, et al. Smart objects as building blocks for the Internet of Things[J]. *IEEE Internet Computing*, 2010, 14(1): 44-51.
- [24] GOMEZ C, PARADELLS J. Wireless home automation networks: a survey of architectures and technologies[J]. *IEEE Communication Magazines*, 2010, 48(6):92-101.
- [25] XU K, WANG X, WEI W, et al. Toward software defined smart home[J]. *IEEE Communication Magazines*, 2016, 54(5):116-122.
- [26] ALI N, ABU-ELKHEIR M. Data management for the Internet of Things: green directions[C]// *IEEE Globecom Workshops*. 2012: 386-390.
- [27] PADIYA T, BHISE M, RAJKOTIYA P. Data management for Internet of Things[C]// *IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*. 2015:62-65.
- [28] MA M, WANG P, CHU C H. Data management for Internet of Things: Challenges, approaches and opportunities[C]// *IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing*. 2013:1144-1151.
- [29] MUKHOPADHYAY A, MAULIK U, BANDYOPADHYAY S, et al. Survey of multiobjective evolutionary algorithms for data mining: Part II[J]. *IEEE Internet Things Journal*, 2014, 18(1):20-35.
- [30] KULKARNI R, FORSTER A, VENAYAGAMOORTHY G. Computational intelligence in wireless sensor networks: a survey[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2011, 13(1):68-96.
- [31] KAUL L, GOUDAR R H. Internet of Things and big data—challenges[C]// *IC-GET*, 2016: 1-5.
- [32] CARVALHO G, BERNARDINO J. The Internet of Things and big data: future trends[C]// *12th CISTI*, 2017:1-4.
- [33] MASCIARI E. A framework for outlier mining in RFID data[C]// *International Database Engineering and Applications Symposium*. 2007: 263-267.
- [34] BIN S, YUAN L, XIAOYI W. Research on data mining models for the Internet of Things[C]// *International Image Analysis and Signal Processing*, 2010:127-132.
- [35] BERKOVICH S, LIAO D. On clusterization of 'big data' streams[C]// *International Conference of Computing for Geospatial Research and Applications*, 2012.
- [36] BARANIUK R G. More is less: signal processing and the data deluge[J]. *Science*, 2011, 331(6018): 717-719.
- [37] GUHA S, MEYERSON A, MISHRA N, et al. Clustering data streams: theory and practice[J]. *IEEE Transactions on Knowledge Data Engineering*, 2003, 15 (3):515-528.
- [38] CANTONI V, LOMBARDI L, LOMBARDI P. Challenges for data mining in distributed sensor networks[C]// *International Conference on Pattern Recognition*. 2006:1000-1007.

[39] PONISZEWSKA-MARANDA A, KACZMAREK D. Selected methods of artificial intelligence for Internet of Things conception[C]// Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS). 2015:1343-1348.

[40] CHIN J, CALLAGHAN V, LAM I. Understanding and personalizing smart city services using machine learning, the Internet of Things and big data[C]//IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). 2017:2050-2055.

[41] CHUNG C M, CHEN C C, SHIH W P, et al. Automated machine learning for Internet of Things[C]// IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE-TW).2017:295-296.

[42] EARLEY S. Analytics machine learning, and the Internet of Things[J]. IT Professional, 2015, 17(1): 10-13.



**Tony. Q. S. Quek** (1973-), 男, 新加坡科技设计大学教授, 主要研究方向为无线通信优化与统计理论的应用、网络信号处理和资源配置问题等。



**金石** (1974-), 男, 东南大学教授, 主要研究方向为 5G 移动通信理论与关键技术、物联网理论与关键技术和机器学习与大数据处理在移动通信中应用等。

**作者简介:**



**张琦** (1987-), 女, 南京邮电大学讲师, 主要研究方向为大规模 MIMO、超密集异构网络和泛在物联网等。



**杨浩** (1989-), 男, 新加坡科技设计大学博士后, 主要研究方向为异构蜂窝网络和大规模 MIMO 等。



**朱洪波** (1956-), 男, 《物联网学报》执行主编; 南京邮电大学教授、博士生导师, 物联网研究院院长; 中国电子学会常务理事、会士、通信分会主任、教育工作委员会副主任, 中国通信学会会士、物联网委员会主任、学术工作委员会副主任, 教育部科技委信息学部委员, 国家重点研发计划“物联网与智慧城市”专项总体组专家, 教育部“泛在网络健康服务系统”工程研究中心主任, 江苏省“无线通信”重点实验室主任, 江苏省物联网技术与应用协同创新中心主任; 主要研究方向为泛在无线通信与物联网、宽带移动通信、下一代网络、无线通信与电磁兼容。