

基于蜂窝工业物联网的智能工厂解决方案

龚淑蕾^{1,2}, 李堃³, 童恩¹, 郭洪德³, 周毅¹, 王晔¹, 丁飞⁴

(1. 中国移动通信集团江苏有限公司, 江苏 南京 210029; 2. 南京大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210093;
3. 爱立信(中国)通信有限公司, 江苏 南京 211100; 4. 南京邮电大学物联网学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 目前制造业整体信息化水平参差不齐, 普遍存在工厂设备智能化程度低、系统封闭无法互联互通等问题。首先利用窄带物联网低功耗等特性, 灵活部署传感设备, 实现生产数据的实时采集和传输, 然后建设基于蜂窝工业物联网的制造执行系统, 实现“人、机、料、法、环”信息的闭环处理, 进一步对贯穿整个生产流程的工业大数据进行建模、分析和处理, 降低运维成本, 提高生产效率和产品质量, 最后对应用整体效益进行评估, 使工厂产能得到有效提升。

关键词: 蜂窝物联网; 工业物联网; 智能制造; 大数据

中图分类号: TP92

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2019.00112

Smart factory solutions based on cellular industrial Internet of things

GONG Shulei^{1,2}, LI Kun³, TONG En¹, GUO Hongde³, ZHOU Yi¹, WANG Ye¹, DING Fei⁴

1. China Mobile Group Jiangsu Co., Ltd., Nanjing 210029, China

2. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China

3. Ericsson (China) Communication Co., Ltd., Nanjing 211100, China

4. School of Internet of Things, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

Abstract: So far, the overall informatization level of manufacturing industry has been uneven, and there are many problems such as low intelligence and poor connectivity. First of all, with the features like low power consumption of the Internet of things, the sensor devices can be deployed flexibly to realize real-time collection and transmission of production data. Then the manufacturing execution system based on the cellular industrial Internet of things had been built, and realized the closed-loop processing of human, machine, material, method and surrounding. The industrial big data of the whole production process was modeled, analyzed and processed. The operation and maintenance cost was reduced, and the production efficiency and product quality were improved. Finally, the overall efficiency of the application was evaluated which showed that the factory capacity was improved effectively.

Key words: cellular Internet of things, industrial Internet of things, intelligent manufacturing, big data

1 引言

制造业乃立国之本、强国之基。中国制造业的产值和产量自 2010 年以来已处于世界首位。我国主要依靠提供大量的廉价劳动力掌握下游的生产制造, 从产业链价值角度来看, 制造业属于低附加值部分, 利润不高, 大而不强, 与美国、德国等制造业强国相比还有一定差距^[1-2]。发展智能制造是推动中国制造业由大变强的根本途径, 国家、地方政

府纷纷出台政策大力扶持, 目前主要存在以下发展难点: 一是制造业的信息化水平参差不齐; 二是受制于设备智能化程度低、MES 等软件相对封闭无法互联互通、机器产生海量数据等因素, 数据实时采集和存储能力受限; 三是缺乏贯穿整个产业链的有效的大数据分析挖掘能力; 四是标准体系不健全, 产品网络互连和信息共享难。

制造业的发展趋势是智能制造, 实现途径是信息化和工业化融合。面向未来, 必须深化供给侧结

结构性改革，全面落实“中国制造 2025”。CB Insights 指出，资产密集型的产业需要利用工业物联网来提升工作效率与成效，工业物联网可助力制造业转型升级。5G 窄带物联网(NB-IoT, narrow band Internet of things)、uRLLC 以及 eMTC 等技术的快速演进，为工业物联网提供了强大的技术支撑^[3]。今年可基本实现 NB-IoT 全国覆盖，2020 年将实现全国普遍覆盖，在室内、交通路网、地下管网等应用场所实现深度覆盖，基站规模达 150 万个^[4]。

蜂窝网络低功耗的特性可以使数据采集终端采用电池供电方式，安装灵活、切换灵活且不需要频繁充电。大连接、广覆盖的特性可高效实现各类传感器数据获取、传输和管理，改变传统自动化技术中被动的信息采集方式，自动、准确、及时地采集生产过程中的生产参数，从真正意义上实现生产制造过程中的人、设备、系统之间的无缝交互式连接^[4-6]。

2 面向智能制造的蜂窝工业物联网解决方案

2.1 端—管—云—应用架构体系

面向智能制造的蜂窝工业物联网解决方案采用端—管—云—应用架构，如图 1 所示，支持海量数据存储管理、设备安全稳定连接管理、网络安全管理以及自动化运维。“端”——利用基础通信套件（SDK）实现各类终端的统一接入。“管”——建立物联网专网，面对种类繁多的工业物联网应用，实现多种技术并存，采用融合工业组网模式，支持有线、无线融合组网。“云”——运营支撑平台包括物联网连接管理平台和 OneNET 平台，提供用户自助服务、业务统计、终端管理、通信管理、API 能力开放、安全防护等能力；业务支撑平台包括一级业务支撑系统和省级业务支撑系统，提供产品和资源管理、服务开通、营销管理、计费能力。“应用”——联合创新，合作共赢，各应用平台既可以连接 OneNET 平台，也可直接连接分组数据网关。

2.2 智能工厂解决方案

智能工厂采用基于有线+无线信息物理系统的综合解决方案，涵盖终端、网络、云端、数据分析等，智能工厂试验基于支持 NB-IoT 等技术的多模基站，采用 OneNET 物联网开放平台及其 SDK，智能工厂端到端方案框架如图 2 所示。区别于传统工厂的物理有线连接方式，智能工厂通过增加宏基站和室内分布的覆盖，提供稳定、可靠、安全、灵活的移动网络，进行差异互补。

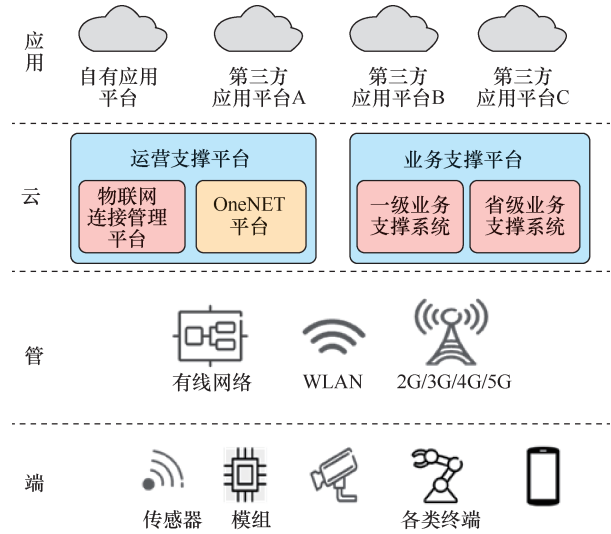


图 1 端—管—云—应用架构

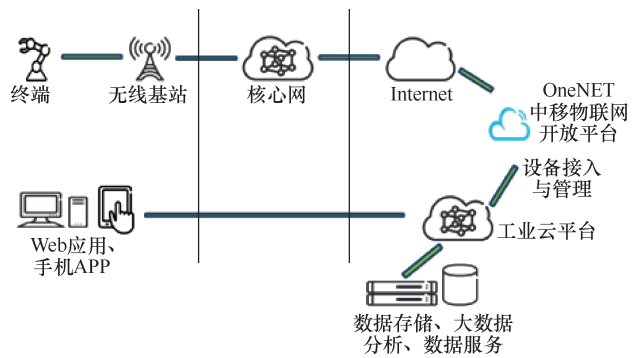


图 2 智能工厂端到端方案框架

1) 终端

终端部分包含传感器、NB 模块、电池、MCU 等器件，可采集现场生产设备和物料数据，监控生产现场执行情况，同时进行数据上报，终端架构如图 3 所示，终端逻辑如图 4 所示。

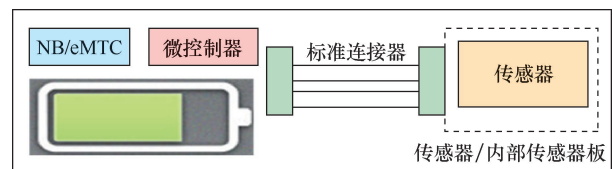


图 3 终端架构

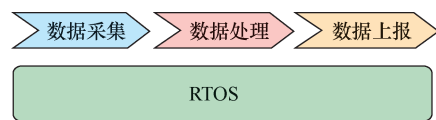


图 4 终端逻辑

2) 网络

网络部分区别于传统制造业数据采集手段单一、建设和部署成本偏高以及数据采集点受限等特

点,本智能工厂方案引入数据采集终端蜂窝网络传输手段,无须基础设施建设和网络搭建成本,可以有效扩展数据采集边界,降低用户成本。

3) 云端

云端部分包含业务支撑平台和运营支撑平台。生产制造工厂中存在不同供应商的设备和系统,导致通信接口多样化和数据格式异构化。云端的软、硬件接入能力可实现不同设备间的互联互通,同时保证后台系统的扩展性和稳定性。系统具备可扩展性,可以提供对外的数据访问接口,鉴权通过即可对外提供数据;软件采用模块化方式开发,云端服务功能模块如图5所示,包含多用户接入引擎、设备接入模块、协议转换模块、用户鉴权及管理、设备鉴权及管理、流处理及事件触发、消息路由、数据清洗、转发及存储以及多协议输出模块等。

4) 数据分析

借助跨层级的数据传输建立自下而上的数据通道,利用云端整合能力,实现设备和设备、设备和系统之间的互联互通、数据共享。利用人工智能、云运算、大数据、虚实整合等新兴技术,实现特定条件下的生产情形判断和逻辑推理,继而优化工厂运输、材料供应、产线生产、产品测试、仓储物流等生产环节,降低工厂成本,提高生产效率。

2.3 贯穿生产的子模块设计

基于蜂窝物联网的智能工厂解决方案覆盖生产管理的材料库存、贴片、装配、测试、包装入库等环节,包含生产环境监控、安防及贵重资产管理、智能料盒、智能螺丝刀、测试预测性维护系统、无线按灯系统、流水线产出实时管理7个子模块,基于生产线的7个子模块如图6所示。采用可视化的管理软件,对采集的数据进行数学模型建模和分析,实现智能控制,提升运营效率。

2.4 方案特征

2.4.1 基于工业物联网的传统制造执行系统

传统制造执行系统(MES, manufacturing execution system)可以提高工厂透明度,加强对生产过程的控制和响应,但并未实现“人、机、料、法、环”信息的闭环处理,无法实现互联互通^[7]。智能工厂通过引入蜂窝工业物联网技术,建设基于蜂窝工业物联网的MES,既增加了无线部署的灵活性,又扩充了信息获取来源,实现工厂软件、MES及蜂窝物联网应用软件的一体化集成,工业物联网MES框架如图7所示,现有系统包含生产执行可视化系统、订单计划管理、测试管理系统等,工业云平台包含环境综合监测、智能螺丝刀管理、生产线故障报警等7个应用模块。基于端—管—云业务总体架构,在业务层实现现有系统和工业云平台的互联互

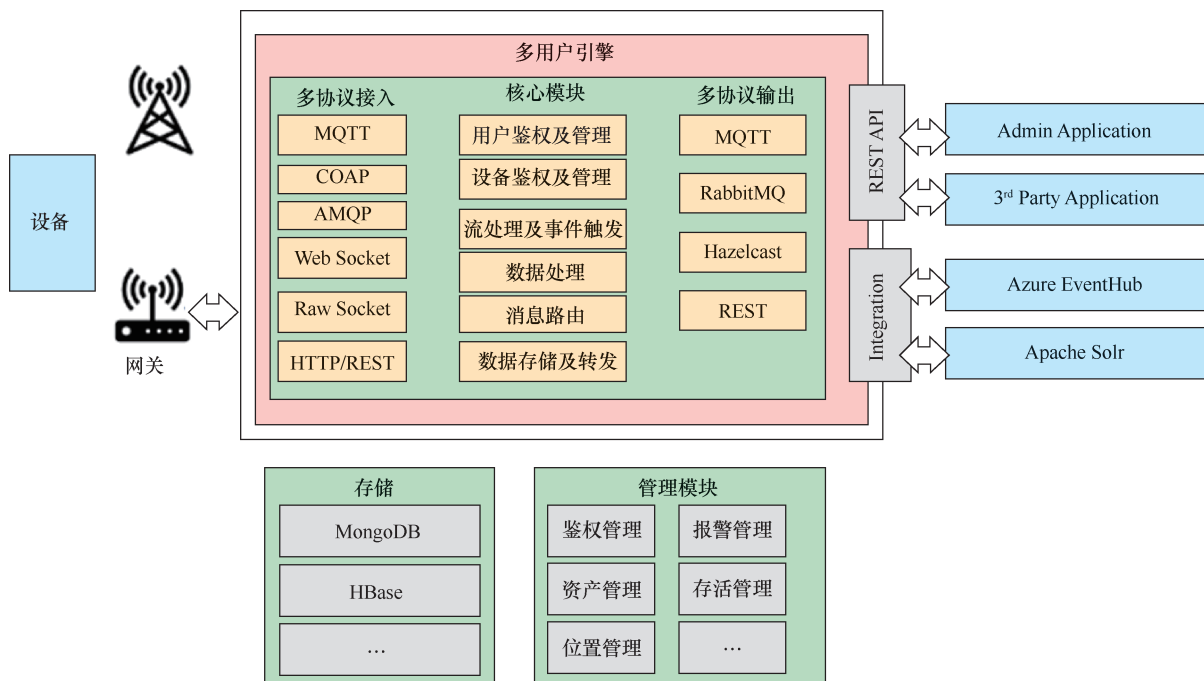


图5 云端服务功能模块

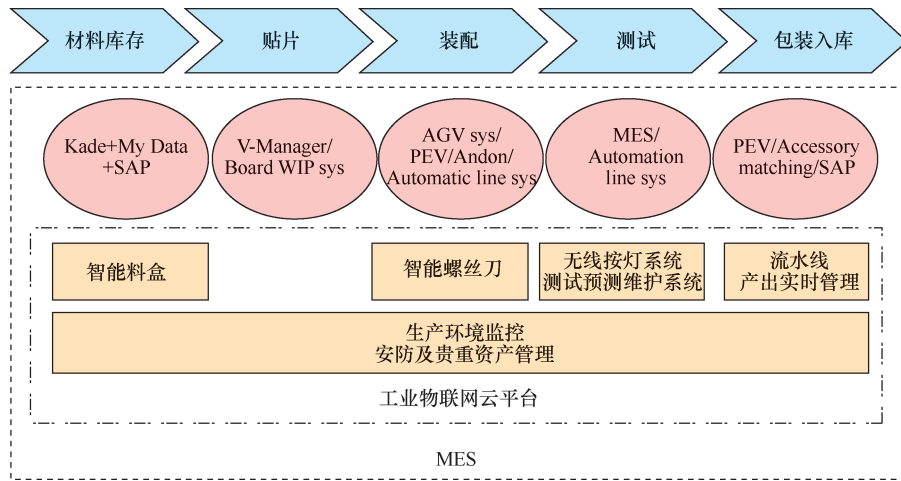


图 6 基于生产线的 7 个子模块

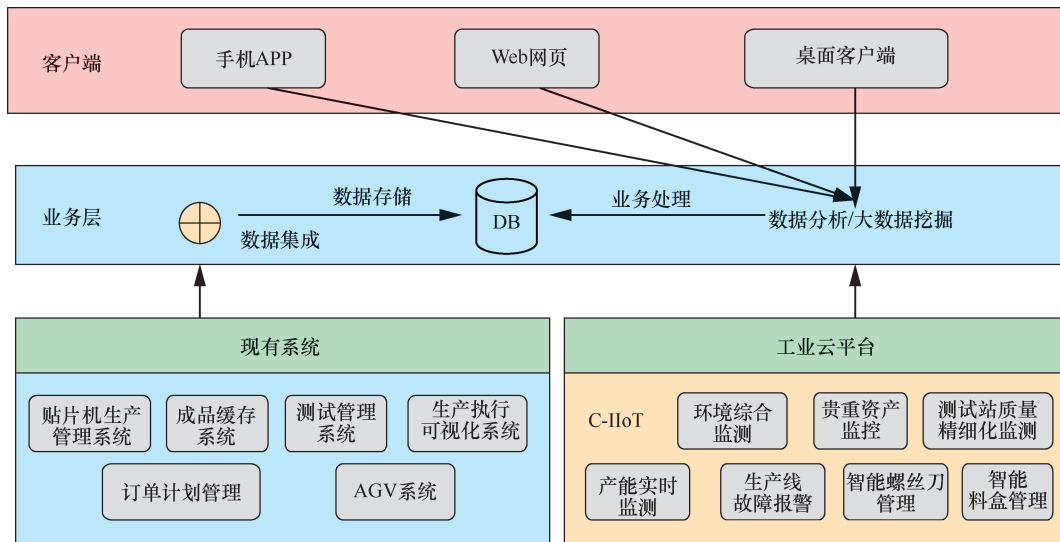


图 7 工业物联网 MES 框架

通，在客户端实现 Web 网页、手机 APP、桌面客户端等多种数据展现形式。

利用丰富的低功耗传感设备，使工厂范围内的信息、系统及实物进行生产信息同步和网络化协同，消除“信息孤岛”，使 MES 成为智能工厂的大脑，实现集成范围更广、过程跟踪更精确和数据获取更完整。

2.4.2 贯穿整个生产流程的大数据挖掘

针对生产线运行产生的大量工业数据，涉及的设备种类和数量繁多，应采用不同的数据挖掘方法。对于存在时序关联或日志操作关联的生产环节，数据信息资源间存在较大的管理关系，可以采用关联分析方法；对于随时间变化而变化的测试硬件类数据，可以采用偏差检测分析方法；对于设备

或辅料购置、维修、更换等信息，可以构建分类预测算法进行自动类别划分。

以测试预测性维护系统应用为例，首先需要进行场景数据建模，其次对多台射频测试器进行长时间的数据测试，通过数据拟合得到设备的历史趋势曲线来进行预测分析，对过临界和有偏差的点及时进行设备校正。

3 方案效能

3.1 落地江苏移动爱立信智能工厂

爱立信南京工厂是爱立信全球最大的生产制造供应中心，也是新产品引入和工业化技术中心，正在积极面向工业 4.0 进行升级。江苏移动联合爱立信采用本解决方案落地全球首个蜂窝工业物联

网智能工厂，通过工具智能化和数据可视化方案，率先实现制造业智能化转型试点，支持传统产业向数字化、智能化、绿色化转型升级，支持“中国制造 2025”。

考虑厂房内空间墙壁遮挡较少，现场设计 3 台远程视频单元（RRU），分别覆盖生产车间、仓库和实验室区域，实现对厂区内的全覆盖。

生产流数据分析如图 8 所示，图 8 给出了现阶段智能工厂智能螺丝刀、生产环境监控、智能料盒等 7 个子模块的数据分析页面，直观展示了采集分析后的工厂数据，如工厂实时温/湿度、PM2.5、PM10、螺丝刀运行次数、按灯告警信息、订单状态信息等。工厂管理人员可根据页面呈现的状态进行统计、告警等，及时发现问题并调整资源分配，提升生产效率和产品质量。

3.2 效益

在工业物联网的发展进程中，无论是企业还是厂商，最终关注的焦点是项目的效果及效益，因为效益能直接反映客户的投入与产出情况，因此，用经济效益来衡量工业物联网项目的质量。一个典型的工业物联网项目可以通过远程和预测维护降低相关成本，通过实时数据分析提高服务竞争力，可带来的效益包括但不限于生产线停机时间减少、产

品缺陷减少、设备效率增加、库存改善、产量增加等。

3.2.1 投资分析

江苏移动爱立信智能工厂主要涉及测试终端、传感器、NB 模组、SIM 卡等设备类投资、基础网络建设投资以及物联网云平台等。

3.2.2 定性分析

1) 人力成本节约

以智能料盒为例进行人力成本节约测算。为了解决目前依靠人工观察、扫码通知库房进行材料补给工作的步骤多、实时性差问题，智能工厂通过在料盒上装配压力传感器和 NB-IoT 模块，实时监控材料状态并进行统计上报。当材料重量少于预先设定值时，便会自动通知库房进行补料，改进后一方面可以节约 86%的扫码人力，另一方面可以缩短信息传输时间，避免信息漏报，提高补料效率。

2) 产能提升

以按灯系统为例进行产能测算。工厂现有的按灯系统使用有线连接方式，生产状态异常以车间集中屏方式呈现，依赖于车间员工的观察。当出现故障时，需要员工察觉状态变化并用电话通知相关工程师进行故障处理。爱立信智能工厂则采用 eMTC 通信



图 8 生产流数据分析

技术，将故障信息通过 VoLTE 直接通知相关工程师进行处理，能够有效缩短故障响应时间，提高生产效率。按灯系统报警信息统计如图 9 所示，图 9 对比了按灯系统改进前后各类故障报警信息平均响应时间和平均处理时间，改进后系统可以有效节约故障响应和处理时间，减少生产停线时间，增加产出，按灯系统可使产能提升约 0.5%。

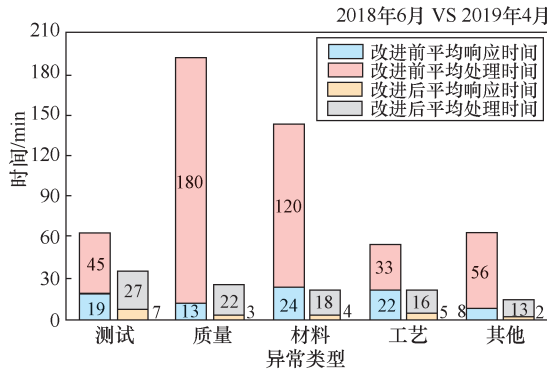


图9 按灯系统报警信息统计

3) 质量提升

以测试预测性维护系统为例进行质量提升测算。生产中射频连接器价格相对昂贵，其生命周期内的性能显得尤为重要。使用距离传感器和 NB 模块来监测测试设备的实际使用次数，无需对现有设备进行更改，部署灵活。对设备使用次数和测试性能进行数据建模，利用大数据分析、机器学习等方式进行性能预测，可以按时校准测试设备。

测试系统误差和使用次数如图 10 所示，图 10 给出了优化后的测试性能曲线，横坐标表示设备使用次数，纵坐标表示设备系统误差。利用信号发生器、频谱分析仪和矢量网络分析仪测试每条射频路径上的损耗值，与校准值之间的误差即为当前测试系统误差。当系统误差高于 0.2 dB 时就会提示进行测试设备校准，利用测试预测系统可以降低设备维护成本，提升测试精准度和产品质量。

3.2.3 量化分析

智能工厂各应用案例投入及产出分析维度依照上述的人力成本节约、产能提升及质量提升 3 个维度分别进行计算，智能工厂整体生产环节人力成本节省了 30%，产能提升了 2%。根据投资回收期（单位通常用“年”表示）的计算公式：投资回收期=总投资/人力成本节约-因投资带来的维护成本增加，计算后的项目总投资回报周期约为 2 年，总投资回报率超过 130%。

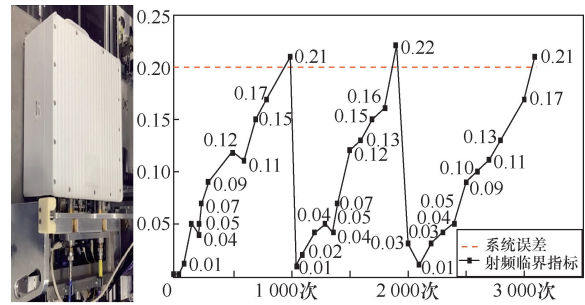


图10 测试系统误差和使用次数

4 结束语

基于蜂窝工业物联网的智能工厂解决方案充分利用 NB-IoT 低功耗等特性提出设备监控、精准维护等 7 个典型应用的灵活部署方案，与工厂原有多个独立生产系统互联互通，实现“人、机、料、法、环”信息的闭环处理，对贯穿整个生产流程的工业大数据进行建模、分析和处理，降低运维成本，提高生产效率和产品质量，经过评估，工厂产能得到了有效提升。

蜂窝物联网与工业融合是一片蓝海，5G 技术将承载底层核心传输，解决人与物和物与物的海量连接、快速传输和信息共享，带来极致体验。未来的智能制造将基于泛在网络，从无人化向协同化方向发展，从需求驱动向数据驱动方向转变。

参考文献：

- [1] 高晓雨, 马冬妍, 王涛. 中国制造信息化指数构建与评估研究[J]. 制造业自动化, 2017, 39(3):52-55.
GAO X Y, MA D Y, WANG T. Structuring and evaluating study of made-in-China informatization index[J]. Manufacturing Automation, 2017, 39(3): 52-55.
- [2] 林忠钦, 奚立峰, 蒋家东, 等. 中国制造业质量与品牌发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2017, 19(3): 20-28.
LIN Z Q, XI L F, JIANG J D, et al. Development strategies for the quality and brand of China's manufacturing industry[J]. Engineering Science, 2017, 19(3): 20-28.
- [3] 中国电子技术标准化研究院. 工业物联网白皮书(2017版)[S]. 2017.
China Electronic Standardization Institute. White paper on industrial Internet of things (2017 edition) [S]. 2017.
- [4] WANG Y P E, LIN X, ADHIKARY A, et al. A primer on 3GPP narrowband Internet of things (NB-IoT)[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 55(3): 117-123.
- [5] 朱洪波, 杨龙祥, 朱琦. 物联网技术进展与应用[J]. 南京邮电大学学报, 2011, 31(1): 1-9.
ZHU H B, YANG L X, ZHU Q. Survey on the Internet of things[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science), 2011, 31(1): 1-9.

- [6] 张万春, 陆婷, 高音. NB-IoT 系统现状与发展[J]. 中兴通讯技术, 2017, 23(1): 10-14.
ZHANG W C, LU T, GAO Y. System status and development of NB-IoT[J]. ZTE Technology Journal, 2017, 23(1): 10-14.
- [7] TAO F, CHENG Y, ZHANG L, et al. Advanced manufacturing systems: socialization characteristics and trends[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2017, 28(5): 1079-1094.



郭洪德（1963- ），男，重庆人，爱立信（中国）通信有限公司智能制造项目总经理，主要研究方向为基于蜂窝物联网工业应用的研究和开发。

[作者简介]



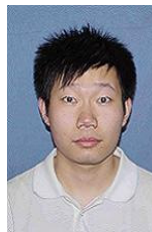
龚淑蕾（1988- ），女，江苏南通人，中国移动通信集团江苏有限公司工程师，南京大学电子科学与工程学院博士生，主要研究方向为物联网技术与行业应用、大数据分析和空间信息网络。



周毅（1963- ），男，重庆人，博士，中国移动通信集团江苏有限公司总经理、教授级高级工程师，主要研究方向为移动通信。



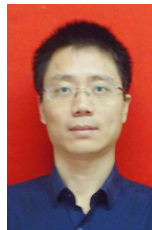
李堃（1981- ），男，江苏徐州人，爱立信（中国）通信有限公司项目总监，主要研究方向为智能工厂和蜂窝物联网应用开发。



王晔（1987- ），男，江苏扬州人，博士，中国移动通信集团江苏有限公司工程师，主要研究方向为物联网和短距离移动通信。



童恩（1971- ），男，江苏扬州人，博士，中国移动通信集团江苏有限公司高级工程师，主要研究方向为物联网和移动通信。



丁飞（1981- ），男，江苏徐州人，南京邮电大学物联网学院物联网创新中心主任、副教授，主要研究方向为物联网与信息系统、异构网络融合技术、智能感知与信息处理等。

物联网学报

Chinese Journal on Internet of Things



2019年6月30日出版

定价：60.00元

ISSN 2096-3750



9 772096 375195