



信息通信领域产学研合作特色期刊

第三届国家期刊奖百种重点期刊 | 中国科技核心期刊

ISSN 1009-6868

CN 34-1228/TN

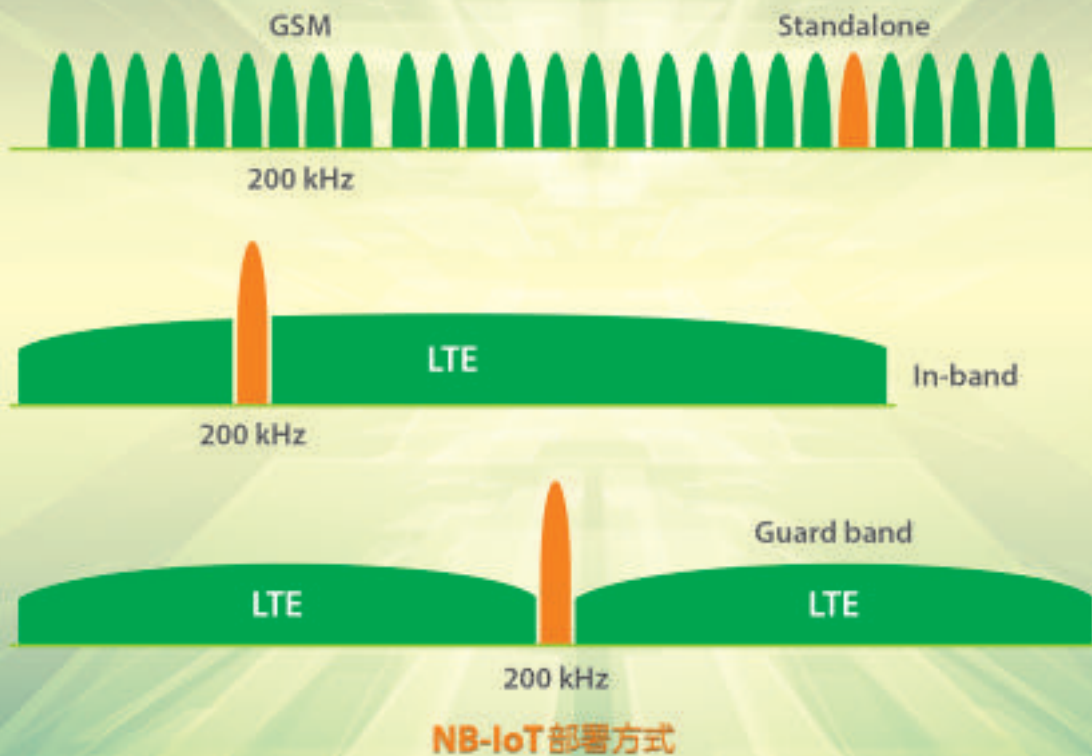
中兴通讯技术

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

tech.zte.com.cn

2017年2月 • 第1期

专题：NB-IoT 体系标准与应用



《中兴通讯技术》第7届编辑委员会委员名单

顾问 侯为贵（中兴通讯股份有限公司创始人） 钟义信（北京邮电大学教授） 陈锡生（南京邮电大学教授）

主任 陆建华（中国科学院院士，清华大学教授）

副主任 赵先明（中兴通讯股份有限公司董事长兼总裁） 糜正琨（南京邮电大学教授）

副主任 马建国（广东工业大学教授） 陈前斌（重庆邮电大学副校长）

编委（按姓氏拼音排序）

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| 曹淑敏 中国信息通信研究院院长 | 谈振辉 北京交通大学教授 |
| 陈建平 上海交通大学教授 | 唐雄燕 中国联通网络技术研究院首席专家 |
| 陈杰 中兴通讯股份有限公司高级副总裁 | 田文果 中兴新能源汽车有限责任公司董事长 |
| 陈前斌 重庆邮电大学副校长 | 童晓渝 中电科软件信息服务有限公司副总经理 |
| 葛建华 西安电子科技大学通信工程学院副院长 | 王京 清华大学教授 |
| 管海兵 上海交通大学电子信息与电气工程学院副院长 | 王文东 北京邮电大学软件学院副院长 |
| 洪波 中兴发展股份有限公司总裁 | 王翔 中兴通讯股份有限公司副总裁 |
| 洪伟 东南大学信息科学与工程学院院长 | 王喜瑜 中兴通讯股份有限公司副总裁 |
| 纪越峰 北京邮电大学信息光子学与光通信研究院
执行院长 | 卫国 中国科学技术大学教授 |
| 蒋林涛 中国信息通信研究院科技委主任 | 吴春明 浙江大学教授 |
| 李尔平 浙江大学信息学部副主任 | 邬贺铨 中国工程院院士 |
| 李红滨 北京大学教授 | 徐安士 北京大学教授 |
| 李建东 西安电子科技大学副校长 | 续合元 中国信息通信研究院技术与标准研究所总工 |
| 李军 清华大学教授 | 徐慧俊 中兴通讯股份有限公司执行副总裁 |
| 李乐民 中国工程院院士，电子科技大学教授 | 薛一波 清华大学教授 |
| 李融林 华南理工大学教授 | 杨义先 北京邮电大学教授 |
| 李少谦 电子科技大学通信与信息工程学院院长 | 杨震 南京邮电大学校长 |
| 李涛 南京邮电大学计算机学院院长 | 尤肖虎 东南大学教授 |
| 李星 清华大学教授 | 张宏科 北京交通大学教授 |
| 刘建伟 北京航空航天大学教授 | 张平 北京邮电大学网络技术研究院执行院长 |
| 陆建华 中国科学院院士，清华大学教授 | 张云勇 中国联通研究院院长 |
| 马建国 广东工业大学教授 | 赵慧玲 中国电信股份有限公司北京研究院总工程师 |
| 孟洛明 北京邮电大学教授 | 赵先明 中兴通讯股份有限公司董事长兼总裁 |
| 糜正琨 南京邮电大学教授 | 郑纬民 清华大学教授 |
| 庞胜清 中兴通讯股份有限公司高级副总裁 | 钟章队 北京交通大学教授 |
| 史立荣 中兴通讯股份有限公司董事 | 周亮 南京邮电大学通信与信息工程学院副院长 |
| 孙知信 南京邮电大学现代邮政学院院长 | 朱近康 中国科学技术大学教授 |



信息通信领域产学研合作特色期刊
第三届国家期刊奖百种重点期刊
中国科技核心期刊
工信部优秀科技期刊
中国五大文献数据库收录期刊
ISSN 1009-6868
CN 34-1228/TN
1995年创刊

办刊宗旨

以人为本,荟萃通信技术领域精英;
迎接挑战,把握世界通信技术动态;
立即行动,求解通信发展疑难课题;
励精图治,促进民族信息产业崛起。

Contents 目次

中兴通讯技术 总第132期 第23卷 第1期 2017年2月

卷首特稿

02 无线通信若干问题的思考 陆建华

专题:NB-IoT 体系标准与应用

- 06 NB-IoT 系统物理随机接入信道设计 刘锐,戴博,杨维维
10 NB-IoT 系统现状与发展 张万春,陆婷,高音
15 NB-IoT 系统资源调度研究 邱刚,陈宪明,戴博
21 NB-IoT 运营策略 贾雪琴,张云勇
25 一种基于NB-IoT节点的多蜂窝网络最优选择方法 潘甦,陶帅,陈宇青
29 NB-IoT 运营商面临的机遇与挑战 鲁娜,朱雪田,张成良
32 基于雾计算的NB-IoT框架、关键技术及应用 张红,王玉峰
37 智慧能源物联网应用研究与分析 陈永波,刘建业,陈继军
43 NB-IoT 关键技术及应用前景 邹玉龙,丁晓进,王全全

专家论坛

- 47 NB-IoT 中安全问题的若干思考 孙知信,洪汉舒
51 云计算驱动了雾计算的发展 薛育红

企业视界

- 53 M-ICT 2.0 战略——探索数字化转型之道 苏永钦

技术广角

- 58 一种基于安全标记的多租户访问控制方法 彭勇,侯超平,童遥,申光

期刊基本参数:CN 34-1228/TN*1995*b*16*64*zh*P*¥ 20.00*15000*14*2017-02

Contents 目次

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol. 23 No. 1 Feb. 2017

Guest Paper

02 Reflections on Wireless Communications LU Jianhua

Special Topic: System Standards and Applications of NB-IoT

06 Physical Random Access Channel Design for NB-IoT LIU Kun, DAI Bo, YANG Weiwei

10 System Status and Development of NB-IoT ZHANG Wanchun, LU Ting, GAO Yin

15 Resource Scheduling for NB-IoT QIU Gang, CHEN Xianming, DAI Bo

21 Operation Strategies of NB-IoT JIA Xueqin, ZHANG Yunyong

25 An Optimal Selection Method of Multi-Cellular Networks Based on NB-IoT Nodes
..... PAN Su, TAO Shuai, CHEN Yuqing

29 Opportunities and Challenges Faced by NB-IoT Operators
..... LU Na, ZHU Xuetian, ZHANG Chengliang

32 Architecture, Key Technologies and Applications of NB-IoT-Based Fog Computing
..... ZHANG Hong, WANG Yufeng

37 Applications of Intelligent Energy and Internet of Things
..... CHEN Yongbo, LIU Jianye, CHEN Jijun

43 Key Technologies and Application Prospect for NB-IoT
..... ZOU Yulong, DING Xiaojin, WANG Quanquan

Expert Forum

47 Security Issues of NB-IoT SUN Zhixin, HONG Hanshu

51 Fog Computing Development Driven by Cloud Computing XUE Yuhong

Enterprise View

53 M-ICT 2.0: Exploring the Way of Digitalized Transformation SU Yongqin

Technology Perspective

58 A Multi-Tenant Access Control Method Based on Security Mark
..... PENG Yong, HOU Chaoping, TONG Yao, SHEN Guang

敬告读者

本刊享有所发表文章的版权,包括英文版、电子版、网络版和优先数字出版版权,所支付的稿酬已经包含上述各版本的费用。

未经本刊许可,不得以任何形式全文转载本刊内容;如部分引用本刊内容,须注明该内容出自本刊。

2017年第1—6期专题

1 NB-IoT 体系标准与应用

王喜瑜 中兴通讯股份有限公司 副总裁
孙知信 南京邮电大学 教授

2 通信网络重构新技术

赵慧玲 中国电信北京研究院 总工

3 5G 无线传输技术

卫国 中国科学技术大学 教授

4 神经网络与深度学习

焦李成 西安电子科技大学 教授

5 硅基光电子集成技术与器件

陈建平 上海交通大学 教授

6 虚拟现实技术与应用

潘志庚 杭州师范大学 教授



王喜瑜

王喜瑜，中兴通讯股份有限公司副总裁，教授级高工；1998 年入职中兴通讯，先后主管 CDMA 设计开发部、BBU 研发中心、无线研究院、公司技术规划部，现负责中兴通讯系统产品研发业务领域相关工作；曾获国家科学技术进步奖二等奖、广东省科学技术进步一等奖、中国通信学会科学技术奖一等奖。



孙知信

孙知信，南京邮电大学教授、博士生导师、现代邮政学院及现代邮政研究院院长；主要研究方向为计算机网络与安全技术、多媒体物联网、大数据及云计算技术；获评为江苏省“333 新世纪科学技术带头人培养工程”培养对象，江苏省“青蓝工程”学术带头人培养对象；已发表论文 100 余篇。

导读

移动通信已经深刻地改变了人们的生活，而且随着未来移动数据流量爆炸性的增长，海量设备的连接，以及各类新业务和应用场景的不断涌现，这种改变不会停止只会加剧。物联网的发展是其中最主要的驱动力，它将人与人的通信延伸到物与物、人与物的智能互联，使移动通信技术渗透至更加广阔的行业和领域。面向未来，车联网、工业控制、智能家居、移动医疗、环境监测等将会推动物联网应用爆发式增长，数以千亿的设备将接入网络，实现真正的“万物互联”，并缔造出规模空前的新兴产业，为移动通信带来无限生机。

正是基于对物联网未来前景的看好，出现了众多的无线物联网接入技术，有以 Zigbee、Wi-Fi、蓝牙等为代表的短距离无线通信技术和以 LoRa、SigFox 或传统蜂窝技术为代表的长距无线通信技术，后者尤其是以低功耗广域覆盖（LPWA）而受业界青睐。作为新晋的 LPWA 技术窄带物联网（NB-IoT）因其在保持 LPWA 的基础上，更具有大连接、低成本和高可靠性等优势，一经出现就备受瞩目。

NB-IoT 从提出到标准化的完成，只有短短的不到两年的时间，各大芯片公司和产品制造商纷纷推出了产品路标，业内顶级运营商也发布了其 NB-IoT 网络试商用及业务应用示范 Roadmap，但是整个产业链的成熟需要更多的磨练。NB-IoT 产业的商业模式需要进一步研究，寻找其合适的应用场景和运营策略，改变目前物联网应用普遍存在的业务碎片化和增量不增收的老大难问题；NB-IoT 产品，尤其是芯片的成熟度需要时间的积累，NB-IoT 资源分配和组网技术还有很多研究的空间；如何有效部署 NB-IoT 网络也是一个重要课题，与现网的共存和融合也值得我们去探讨。

从技术上看，未来 NB-IoT 在定位、多播传输、多载波接入及寻呼、移动性等方面还有许多优化的空间，在连接密度、终端功耗及覆盖增强方面还需要不断优化。随着 NB-IoT 的规模商用，更多的网络和部署问题会随之出现，将会推动 NB-IoT 网络技术的研究不断深入，同时更多新的场景和应用也会随之出现，反过来将形成新的技术需求，从而迭代往复地推动 NB-IoT 发展到一个新的高度。

在本期专题和专家论坛文章中，业内诸多专家、学者贡献了研究成果和经验，碰撞出了思想的火花。我们期望建立一个关于 NB-IoT 知识分享和经验交流的平台，在给读者有益启示与参考的同时，也达到促进 NB-IoT 产业链早日成熟的目的。在此，对各位作者的积极支持和辛勤工作表示衷心的感谢！

王喜瑜 孙知信

2017 年 1 月 10 日



DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2017.01.001

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20170117.0952.004.html>

[摘要] 针对未来无线通信发展中信息与通信的基本问题,首先从信息表征方法对通信质量、信息处理,乃至通信体系结构的深刻影响,探讨未来无线通信可能的发展变革;其次在分析复杂无线网络容量优化难题的基础上,阐述在通信与网络难以完成融合的情况下,建立新的网络通信研究范式的必要性。建议抓住当前的发展机遇,立足源头创新,跳出以规模建设实现持续扩容等传统发展范式,以理性的方式谋求无线通信新的飞跃。

[关键词] 无线通信;信息表征;网络容量

[Abstract] In this paper, regarding the fundamental issues of information and communications in future wireless communications, we discuss a potential paradigm shift of future wireless communications through analyzing the impact of information representations on the quality of communication, information processing, and even a communication system architecture. Then, by revealing the aporia in capacity optimization with future complex wireless networks, the necessity of building a new research paradigm for network communications is elaborated, especially with yet not merged communications and networks due to radically unsolved issues. We need to seize the opportunities of present vigorous R&D activities, innovate from origins, abandon the traditional development approaches featured by constantly constructing infrastructures for marginal capacity improvement, and finally, in a reasonable manner, achieve a new flourish of wireless communications.

[Key words] wireless communications; information representation; network capacity

中图分类号:TN929.5 文献标志码:A 文章编号:1009-6868 (2017) 01-0002-004



陆建华,通信与信息系统专家,清华大学信息科学技术学院院长、电子工程系教授,中国科学院院士,IEEE Fellow;主要从事无线通信的理论及应用研究,为绕月探测等国家重大工程解决了重要的实际问题;曾获国家自然科学基金二等奖、国家技术发明二等奖等奖项,被授予“探月工程嫦娥二号任务突出贡献者”称号;发表学术论文200余篇,其中国际期刊论文70余篇,国内核心期刊论文70余篇。

收稿时间:2017-01-06
网络出版时间:2017-01-17

无线通信若干问题的思考

Reflections on Wireless Communications

陆建华/LU Jianhua

(清华大学,北京 100084)
(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

移动通信正在迈向第5代(5G)。以移动通信为代表的未来无线通信仍然面临日益匮乏的频谱资源与持续增长的容量需求等矛盾,其发展速度将逐步趋缓。如何实现新的飞跃,需要跳出传统的发展范式,回溯信息通信工程的理论技术源头重新思考,寻找新的发力点。文章中,我们力求从系统的角度探讨无线通信发展需要面对的若干基础问题,供本领域同行参考。

1 无线通信的现状与挑战

未来无线通信将显现出泛在应用的特征,用户可在任意时间、任意地点,使用任意终端设备实现任意网络接入,全球无线通信业务随之呈现出爆发式增长。Cisco公司于2016年

初发布白皮书指出^[1],2015年全球移动业务流量相比2014年增幅达到74%,相比2005年增长了近4 000倍;同时预测,到2019年全球具有移动连接功能的终端设备数量将可以达到115亿。

另一方面,未来无线通信仍然面临诸多难题。

首先,日益匮乏的频谱资源与持续增长的容量需求矛盾凸显,工程能力趋于理论极限,移动通信以及由其带动的移动互联网、智能终端等产业的进一步发展受到根本性制约,工程技术与理论研究的进步充满挑战。

其次,数字鸿沟依然存在。目前全球范围内80%以上的陆地、95%以上的海域缺乏有效的宽带信息覆盖,全球仍然有几十亿人口与互联网世

界隔绝,特别是对于生活在世界上最贫困国家的千百万人来说,他们无法享受到当今信息技术所带来的益处,消除数字鸿沟面临的布站、选址困难,建设成本昂贵等问题。

再者,关键应用领域宽带通信手段依旧非常匮乏。中国近海日常航行船舶超过一万艘,2016年全国海洋经济生产总值逾六万亿元,占中国国内生产总值近10%。然而中国的长期演进(LTE)等移动通信系统主要面向内陆覆盖,难以提供近海几十乃至上百千米以上宽带移动通信服务,指挥调度、安全生产存在严重隐患。此外,在航空通信、森林防火,以及突发事件等很多应用领域,对宽带信息通信技术的迫切需求也日益显现。

针对这些难题,我们需要跳出传统的以规模建设实现持续扩容的发展范式,从信息与通信理论方法的源头寻找解决途径,探索新的技术理论突破。

经典信息与通信理论的研究基础是假设系统可分解,以及信源、信道都服从独立同分布的统计特性。香农提出的信源、信道分离编码定理指出,如果信源具有独立同分布特性,且信道是平稳的,则可以通过分离设计信源编码和信道编码,达到与联合设计等同的最优结果。基于这种分离设计,在很大程度上简化了通信处理算法和实现复杂度,也成就了当今信息通信的繁荣。另一方面,未来无线通信系统的复杂性和不确定性导致信源、信道不再独立同分布,而且系统往往是不可分解的,继续沿用经典信息与通信理论不足以应对当前无线通信发展中的诸多难题,信息与通信理论需要源头创新。

2 关于信息与通信的思考

2.1 从信息表征到通信体系结构

回溯信息与通信理论的源头,首要问题是要再认识信息的本质。

从信息表征谈起。信息表征是

通信传输处理的基本信息单元,是信息论及通信理论的研究基础。信息传输过程由于受到传播环境中噪声与干扰的影响,因信息的表征方法不同通常使得传输的内容产生不同程度的失真。

已知的信息表征,在模拟通信中是波形,其抗噪声的性能不佳,但失真通常是线性的,其控制方法相对简单;发展到数字通信,其信息表征为比特,是香农作为熵的度量提出的。根据香农的定义,信息的数据表征如图1所示,将信息编码为比特串表示的数据,编码效率则反映信息量和数据量之间的关系。其中,信息量度量了信息的不确定度,数据量反映了实际花费多少比特。基于比特的信息表征抗噪声性能显著提高了,但由于比特间可能存在的关联性(比如经压缩的多媒体数据等),失真往往是非线性的,有时这种非线性失真不容易控制,有可能会造成通信质量的严重下降。

值得注意的是图1中的箭头方向,数据是由信息经编码后形成的。然而在现实应用中,箭头常常被反过来了,即先有数据(在信息获取过程中产生),再根据不同的应用需求提取信息;在有些应用场景下甚至简单地将数据与信息等同看待,这或许使得我们今天不得不面对越来越庞杂的大数据的困扰。

所幸的是,上述情况正在发生改变,寻求更为合理的信息表征成为人们努力的新方向。比如,视频、图像数据中蕴含的信息量远远小于现行编码方式产生的数据量。微软就做

了一个概念性尝试,在视频电话的应用中,只传输用户的语音数据,再参考本地存储的图像、唇形等信息,综合出可有效满足用户体验的视频,这种方法以信息为核心汇集所需传输的数据,使得通信数据量压缩好几千倍,相应的信息表征方法研究或将颠覆传统的信息处理。再比如,众所周知,人脑能在残缺、干扰等环境下瞬间完成复杂的信息感知。有研究指出,人类或只需要约1 000个像素就可实现感知^[2],其原因在于人脑中大量的先验知识对信息进行分析可起关键性作用,由此亦可探寻一种信息表征方法,从而规避可能的大数据之扰。《Nature》在2015年5月特刊研讨深度学习^[3],指出其能够发现大数据中的复杂结构和特征,这将为研究如何基于信息内容的特征表征信息,并谋求信息通信的突破创新探索新的途径。

由此可见,信息表征不仅影响通信的质量控制,而且对于信息处理也有着深刻的影响。有研究表明,信息表征从“比特→结构”的创新探索可以有效克服传播环境中噪声与干扰的影响,提高无线通信的可靠性以及效率^[4]。

然而,这还远不是问题的全部。进一步的一个问题是,信息表征如何影响通信的体系结构?

不妨看看人类是如何通信的。人类的通信方式是大脑对信息进行感知和学习,存储先验知识,并在后期学习过程中不断对先验知识的特征进行提炼,从而逐渐增强乃至进化未来对新信息的辨识能力,即所谓的

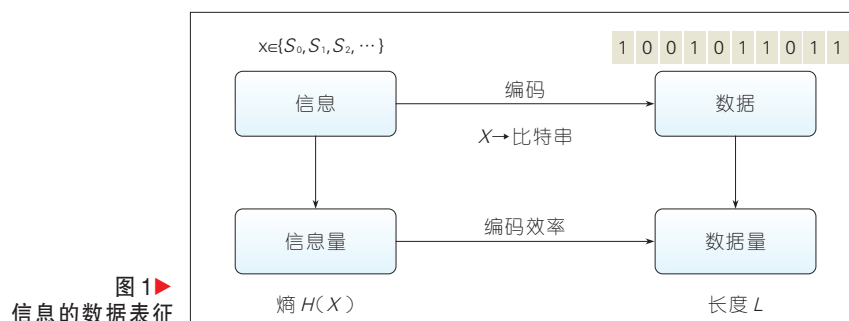


图1
信息的数据表征

“一回生，二回熟”。大脑感知结构化的信息^[5]，是一种长期进化形成的信息表征，贯穿于大脑感知、学习、存储、处理的全过程，它需要处理的信息是少量的。这样，通信过程中的数据量越来越少，但知识却越来越丰富。由此，一个重要的启发是：信息表征抑或不再是孤立的、静态的度量，而是一个过程，是通信过程的一部分。过程的表征需要引入状态，状态的引入将对现有的移动互联网体系结构产生深刻的变革。

为此，可借鉴人类通信变革现有的通信体系结构：将“终端-网络转发-终端”的传统通信转变为“终端-网络计算-终端”的协同通信与计算过程，由此产生移动互联网环境下的新型计算通信模型，如图2所示。图中信源 X 通过编码器，基于媒体库（或先验知识库，下同） S 的已知信息编码输出码字；译码器利用接收到的码字和译码媒体库 Y 译码输出重构信息 X' 。这里的媒体库 S 、 Y 可利用互联网的先验知识，为网络引入了状态，编码过程就是对信息进行计算与表征。在传统的通信体系结构下，假设接收端得到的信息为 Z ，那么无线信道需要传输的信息量为 X 与 Z 之间的互信息 $I(X, Z)$ 。基于图2的新结构，所需传输的信息量为条件互信息 $I(X, Z|Y)$ 。通常远小于原始的互信息 $I(X, Z)$ ，由此可实现通信传输数据量的大幅压缩。

毋庸置疑，对信息本质的再认识，以及信息表征方法的再探索，对于未来无线通信的发展变革具有深远意义。

2.2 从容量优化到通信与网络融合

现有的以规模建设实现持续扩容的发展范式，其基本出发点是粗略假定规模与容量的某种单调关系，然而实际上系统规模与容量的关系远比想象的复杂，有必要逐步理清这个关系，从而以理性的方式发展新的无线通信基础设施。

经典理论中，单条链路的通信传输容量是指可靠传输的最大信息速率，定义为：

$$C_R = \max_{\text{信源信道条件}} I(X; Y) = \max_{\text{信源信道条件}} [H(X) - H(X|Y)] = \max_{\text{信源信道条件}} \left[-\sum_x p(x) \log p(x) + \sum_x \sum_y p(x, y) \log p(x|y) \right]$$

其中的关键参数为：传输容量 C_R 、互信息 $I(X; Y)$ 、信源熵 $H(X)$ 、条件熵 $H(X|Y)$ 、信源概率分布 $p(X)$ 、信道转移概率 $p(X|Y)$ 。

当信源、信道的随机特性都可简化为独立同分布的模型时，上述容量可计算，上限即为香农的信道容量，它可简单给出带宽、信噪比等信道参数与通信容量之间的映射关系，如图3所示，这样通信系统的设计及扩容是简单的。

但当信源、信道的特性比较复杂时，通信传输容量通常难以建模求解，甚至是不确定的；加之未来无线网络中的链路通常由多链路构成，干扰复杂，无线通信业务（比如经压缩的多媒体数据）特性也复杂，这样的多链路网络架构参数（拓扑结构、链路特性、时/空/频多域资源组织运用方式等）与其信息服务能力（用户容量、传输容量、网络容量等）难以建立映射关系，如图4所示。因此，通信与网络的融合成为长期以来悬而未决的难题，在此情况下以规模建设实现持续扩容，或沿用传统方法构建新的复杂无线网络设施等发展模式就

缺乏理论依据了。

为了实现信息通信理论的创新突破，研究者们把目光从研究点对点通信转移到研究多点对多点网络中，这是一个重要的转折。最先研究的是多点对一点的多用户接入以及一点对多点的广播信道。在多用户接入信道下，Alshwed^[6]提出了多址访问（多点对一点）信道的信道容量，进而广播（一点对多点）信道可看作是多址访问信道的对偶模型，其容量也随后问世^[7]。Cover^[8]进一步研究了中继信道的可达速率和容量界，这个结果仍是迄今为止最具影响力的容量研究之一。紧接着有学者尝试两点对两点的干扰信道研究，却发现当通信链路大于等于3时，从信息论的角度给出信道容量没有精确解^[9]。

长期以来，许多学者试图分析无线网络环境下的容量域，然而仅仅几类特殊的网络模型有明确的容量表示或者已经找到容量的上下界，但一般网络模型的容量尚未知晓。研究表明，当延时、误码和用户业务的动态特性必须考虑的时候，经典的香农理论难以胜任^[10]。如何在通信与网络这个未完成的融合中，突破以现有技术为基础的链路分离、网络分层的无线网络架构，从根本上大幅提升无线网络服务能力，需要建立一种新的网络通信理论研究范式。这是我们面临的新难题，也是发展网络通信理

图2
移动互联网环境下的
新型计算通信模型

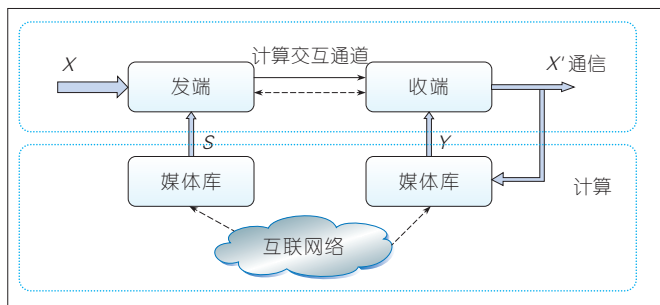
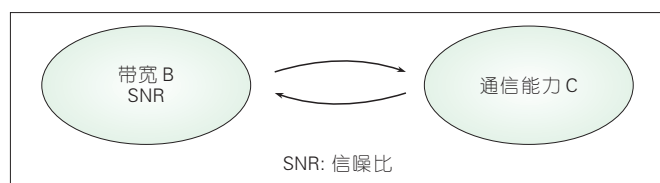
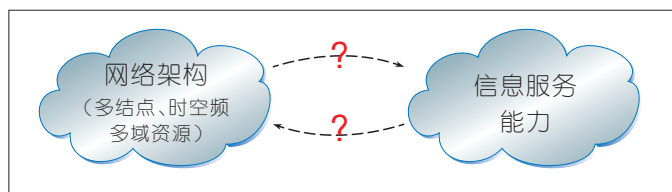


图3
信道参数与通信容量
(能力)的相互映射
关系





◀图4
网络架构参数与其
信息服务能力通常
难以建立映射关系

论的新机遇。

3 探寻无线通信发展的新起点

回顾无线通信的发展,自马可尼首次实现电磁波通信,到当前如火如荼的5G研发,历经了先漫长后迅猛发展的过程。如图5中的S曲线所示,自发现电磁波至1G模拟蜂窝网络问世花费了近一个世纪的时间,而从2G到4G的发展仅仅用了短短十几年。目前,产业界学术界都在全力投入5G研发中,但是从5G的几点核心技术来看:超密集网络(UDN)是传统微蜂窝基站在空域部署上的改进;毫米波则是传统宽带通信在频域部署上的扩展;而大规模天线则直接是传统多天线技术的进一步发展等。因此,5G更像是4G发展的延长线上的产物,抑或已经开始走向S曲线的天花板?

如何寻找到无线通信发展的新起点?

前面谈到,信息不能总是简单的以比特来度量,通信不能还是把主要的着眼点放在传输上,无线通信也不能简单理解为点对点的开环系统,通

信与网络的融合是大趋势。我们需要再认识信息通信工程,仿照人类通信“一回生,二回熟”的方式认识通信工程。早在1948年,“控制论之父”诺伯特·维纳就指出,通信工程应该作为一个闭环系统来考虑,而且通信与控制的问题是不能区分开的^[11]。实际上,现在的通信系统可以涉及信息科学的几乎所有环节,从传输到协议,从协议到网络,从网络到数据,从数据到计算,从计算到控制等都可从属并服务于通信工程,并且各个环节之间动态、关联的相互作用也应该是闭环的,认识到这一点,无疑创新空间将大为拓展。

科学发展上可以得到最大收获的领域是各种已经建立起来的学科之间的、被忽视的无人区^[12]。信息科学中,研究信息的产生、获取、存储、显示、处理、传输和利用等要素时,难以简单分割,常常表现出交叉、交织、胶着的状态,横向发展催生更多的边缘学科和交叉学科,成为科学进步和技术创新的主要源泉^[12]。因此,将来的信息通信要以体系化思维来主导,在无线通信系统中将各学科深度融合,从学科交叉中探索发展是谋求创

新突破的有效途径。

4 结束语

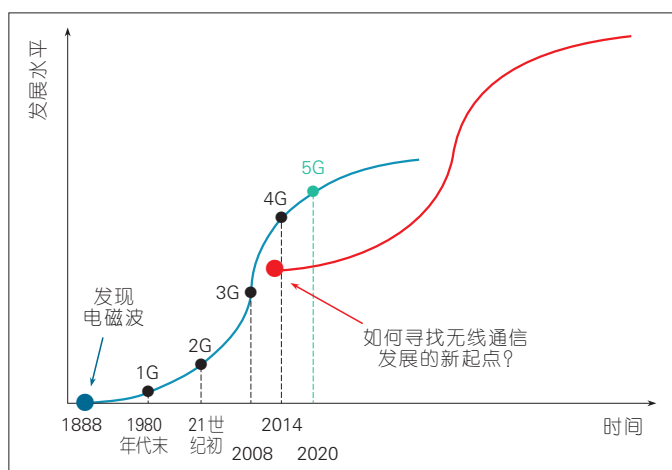
未来无线通信面临复杂干扰,资源受限,能耗约束,广域覆盖等多重挑战,无线通信理论与技术的发展征程需要探索新起点。应以体系化的思维谋求创新突破,在学科融合和交叉中寻觅解决之道,揭示其中的本质问题与规律,再度彰显方兴未艾、风光无限的无线通信领域。

致谢

在文章的撰写过程中,清华大学宇航中心的姜春晓博士将作者的演讲PPT整理成文稿,制作了图5,补充了基础数据,在此表示衷心感谢。

参考文献

- [1] Cisco. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020 White Paper[R]. Cisco, 2016
- [2] WEILAND J D and HUMAYUN M S. Visual Prosthesis [J]. Proceedings of the IEEE, 2008, 96(7): 1076–1084
- [3] LECUN Y, BENGIO Y, HINTON G. Deep Learning [J]. Nature, 2015, (521): 436–444
- [4] LU J, TAO X, and GE N. Structural Processing for Wireless Communications [M]//Springer Briefs in Electrical and Computer Engineering. Germany: Springer, 2015: 2191–8112
- [5] TENENBAUM J B, KEMPC, GRIFFITHS T L, et al. How to Grow a Mind: Statistics, Structure, and Abstraction [J]. Science, 2011, 331(6022): 1279–1285
- [6] AHLSSWEDE R. Multi-Way Communication Channels[C]//International Symposium on Information Theory (2nd 1971 Tsahkadsor). Armenia, 1971:23–52
- [7] COVER T M. Broadcast Channels[J]. IEEE Transformation Information Theory, 1972, 18 (1): 2–14. DOI: 10.1109/TIT.1972.1054727
- [8] COVER T, GAMAL A E. Capacity Theorems for the Relay Channel [J]. IEEE Transformation Information Theory, 1979, 25 (5): 572–584. DOI: 10.1109/TIT.1979.1056084
- [9] GUPTA P, KUMAR P R. The Capacity of Wireless Networks[J]. IEEE Transformation Information Theory, 2000, 46(2): 388–404. DOI: 10.1109/18.825799
- [10] HAJEK B, EPHREIMIDES A. Information Theory and Communications Networks: An Unconsummated Union[J]. IEEE Transformation Information Theory, 1998, 44 (6): 2416–2434. DOI: 10.1109/18.720543
- [11] WIENER N. Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal [M]. USA: John Wiley, 1948
- [12] 李德毅.《信息科学发展战略研究》中若干热点[J]. 中国计算机学会通信, 2010, (8):68–71



◀图5
无线通信发展的
S曲线

NB-IoT 系统物理随机接入信道设计

Physical Random Access Channel Design for NB-IoT

刘锟/LIU Kun

戴博/DAI Bo

杨维维/YANG Weiwei

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)

(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

随着通信以及互联网技术的不断发展,移动通信正在从人到人(H2H)向人到机器(H2M)以及机器到机器(M2M)通信的方向转变,万物互联成为移动通信发展的必然趋势。以车联网、智慧城市、智慧医疗、智能家居等为代表的物联网应用将产生海量连接,为了实现这一切则需要有一个无处不在的网络,运营商网络是全球覆盖最为广泛的网络,在接入能力上有独特的优势,但是考虑到物联网产生的连接数量远远超过H2H通信需求,当前的4G网络在连接能力上明显不足,因此有必要根据物联网业务特征和移动通信网络特点,研究以适应蓬勃发展的物联网业务需求的接入系统。业界上有许多物联网的技术以及相关标准被不断提出^[1-3],窄带物联网(NB-IoT)^[4]是物联网领域一个新兴的技术,占用了200 kHz带宽,且具备四大特点:广覆盖,将提供改进的室内覆盖,在同样的频段下,NB-IoT比现有的网络增益20 dB;具备支持海量连接的能力,支持低延时敏感度和优化的网络架构;

收稿时间: 2016-11-15
网络出版时间: 2016-12-28

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0006-004

摘要: 提出了两种用于窄带物联网(NB-IoT)终端接入网络的物理随机接入信道(PRACH)的设计方案,包括多子载波 PRACH 方案和单子载波 PRACH 方案。多子载波 PRACH 方案遵循长期演进(LTE)PRACH 的设计原理,在 PRACH 带宽、子载波间隔以及 Zadoff-Chu (ZC)序列的选取方面进行了重新设计,用以满足 NB-IoT 系统随机接入的需求;单子载波 PRACH 方案将终端全部功率集中在一个子载波上,可以提供更高的功率谱密度,更适合恶劣的无线信道环境下终端接入需求。从单子载波 PRACH 检测性能着手,结合仿真验证,给出满足 NB-IoT 系统随机接入的需求的单子载波 PRACH 设计方案。

关键词: NB-IoT; PRACH; 单子载波; 多子载波

Abstract: Two kinds of narrowband Internet of things (NB-IoT) physical random access channel (PRACH) design schemes are proposed in this paper, including multi-tone PRACH and single-tone PRACH. Multi-tone PRACH scheme follows long term evolution (LTE) PRACH design principle, and PRACH bandwidth, subcarrier spacing and the selection of Zadoff-Chu (ZC) sequence are redesigned to meet the requirements of random access in NB-IoT system. Single-tone PRACH with Tx power concentrated in a single subcarrier can provide higher power spectral density and is more suitable for terminal in harsh wireless channel environment. In this paper, a single-tone PRACH design scheme which is meet the requirements of random access in NB-IoT system is given based on the analysis and simulation verification of PRACH detection performance.

Keywords: NB-IoT; PRACH; single-tone; multi-tone

更低功耗,NB-IoT 终端使用 AA 电池便待机时间可长达 10 年;更低的模块成本。

针对 NB-IoT 系统,为了能够支持广覆盖以及海量连接能力,接入信道的设计则显得尤为重要。物理随机接入信道(PRACH)^[5]是 4G 长期演进(LTE)网络承担终端接入系统的重要信道,用于宽带无线系统的终端接入需求,因此无法直接用于 NB-IoT 系统。文章中,我们结合 NB-IoT 系统的特点,提出了两种用于 NB-IoT 终端接入网络的随机接入信道的设计方案,包括多子载波 PRACH 方案

以及单子载波 PRACH 方案,可以有效地支持 NB-IoT 系统内终端的接入需求。

1 多子载波 PRACH 方案

多子载波 PRACH 方案以 LTE PRACH 结构作为设计基础,在频域上配置一段频带作为前导带宽,时域上由循环前缀(CP)、前导序列以及保护时间(GT)组成,其中前导序列可以根据需求重复多次发送。

考虑到 NB-IoT 系统的应用场景主要是低速移动或静止的,我们选取 LTE 系统中适用中低速度场景的

PRACH 前导作为 NB-IoT 多子载波 PRACH 的设计基础。前导序列使用的 Zadoff-Chu (ZC) 序列^[6-7] $x_{u,v}(n)$ 按照式(1)生成:

$$x_{u,v}(n) = x_u((n + C_v) \bmod N_{ZC}) \quad (1)$$

其中,

• $x_u(n)$ 为 ZC 根序列, 按照式(2)生成, u 是根序列的索引, N_{ZC} 是 ZC 序列的长度

$$x_u(n) = e^{-j\frac{\pi u n(n+1)}{N_{ZC}}}, \quad 0 \leq n \leq N_{ZC} - 1 \quad (2)$$

$$C_v = \begin{cases} vN_{CS} & v=0, 1, \dots, \lfloor N_{ZC}/N_{CS} \rfloor - 1, N_{CS} \neq 0 \\ 0 & N_{CS} = 0 \end{cases}$$

其中, N_{ZC} 是 ZC 序列的长度, N_{CS} 即为循环移位的大小。

PRACH 前导时域信号生成及检测流程如图 1 所示, 其中, $y_{u,v}(n)$ 可以理解为 $x_{u,v}(n)$ 的一条循环移位序列, $y_{u,v}(n) = x_{u,v}(n - \tau)$ 。由于 ZC 序列属于恒包络零自相关 (CAZAC) 序列^[6], 所以 $x_{u,v}(n)$ 与 $y_{u,v}(n)$ 满足式(3):

$$\text{Corr}(x_{u,v}(n), y_{u,v}(n)) = 0 \quad (3)$$

式(3)为计算 $x_{u,v}(n)$ 与 $y_{u,v}(n)$ 之间的互相关值, 且满足 $\text{Corr}(x_{u,v}(n), y_{u,v}(n)) = 0$ 的 τ 最小取值为 1, 即只要 $x_{u,v}(n)$ 与 $y_{u,v}(n)$ 不同, 就会满足 $\text{Corr}(x_{u,v}(n), y_{u,v}(n)) = 0$ 。

但是考虑到 $x_{u,v}(n)$ 在转换到 $\tilde{x}(t)$ 时, 等同于经过了 N_2/N_{ZC} 倍的过采样操作, 接收端在恢复 $y_{u,v}(n)$ 时, 同样需要经过 N_2/N_{ZC} 倍的降采样操作, 这样就会导致并不是任意的往返时延 (RTD) 都会使得 $\text{Corr}(x_{u,v}(n), y_{u,v}(n)) = 0$, 满足 $\text{Corr}(x_{u,v}(n), y_{u,v}(n)) = 0$ 的最小 RTD 为 $1/\Delta f_{RA} N_{ZC}$, 其中, Δf_{RA} 为 PRACH 子载波间隔。

因此, 为了提高基站检测出 $y_{u,v}(n)$ 的精准度, $1/\Delta f_{RA} N_{ZC}$ 取值越小越好, 并且由于 $\Delta f_{RA} N_{ZC}$ 近似等于 PRACH 信道带宽, 也就是说 PRACH 信道配置的带宽越大, 基站的前导检测精准度越高。NB-IoT 系统带宽为 180 kHz, 则 $\Delta f_{RA} N_{ZC}$ 最大配置也就是 180 kHz。因此, 针对多子载波

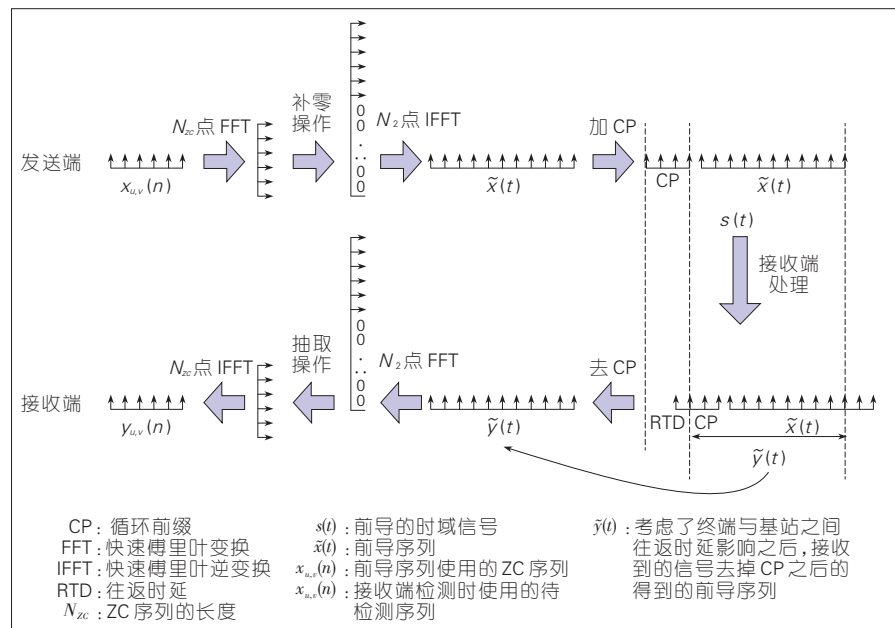
PRACH, 我们给出 180 kHz 带宽的 PRACH 设计方案。

图 2 中为多子载波 PRACH 的频域结构示意图, PRACH 频域总共占用了 180 kHz 带宽, 子载波之间的间隔为 1 250 Hz, 前导序列基于 ZC 序列生成, ZC 序列长度为 139, PRACH 频域带宽的前后分别预留 3.75 kHz 和 2.5 kHz 的保护带宽。

由于下行频偏估计的偏差以及多普勒频移等造成前导发送时的实际频率会与配置的频率产生一定的

偏差, 导致前导发送时出现相位旋转的问题。当前导发送时间过长, 相位旋转会变得很大, 进而接收端相干检测时会产生大量的误检, 影响前导的检测精准度。以频率偏差 ± 50 Hz, 50 Hz 为例, 经过仿真评估, 为了保证前导的检测性能, 前导的时域长度不要超过 4 ms。

按照上述分析, 前导的时域结构如图 3 所示。其中, CP 和 GT 的长度为 0.3 ms, 可以支持 45 km 的小区覆盖; 前导序列长度为 0.8 ms, 并且重



▲ 图 1 PRACH 前导生成及检测流程

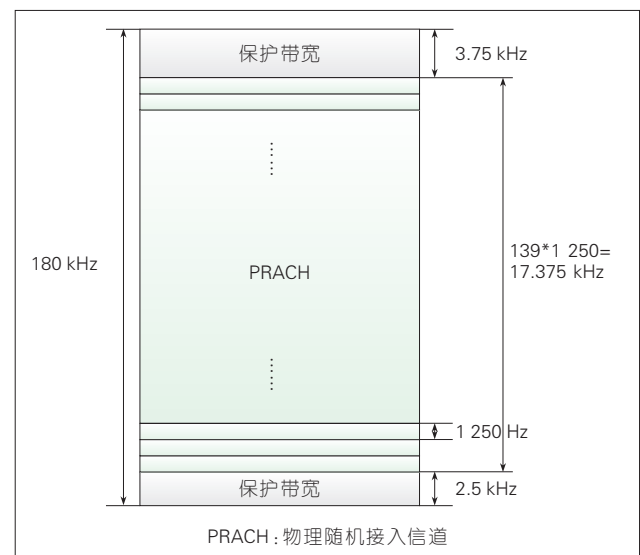
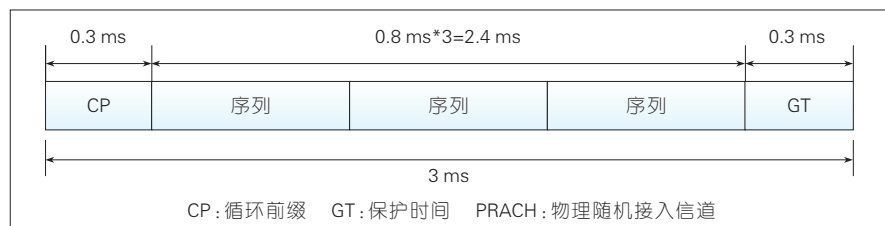


图 2 多子载波 PRACH 频域结构示意图



▲图3 多子载波 PRACH 时域结构示意图

复3次发送。

前导误检概率和正确检测概率如表1所示,具体仿真配置参考文献[8]。其中仿真配置中最小耦合损耗(MCL)为144 dB,对应NB-IoT系统非覆盖增强需求的最大MCL取值。

考虑到NB-IoT需要提供更广的覆盖以及更优的室内覆盖性能,因此前导如需要在更恶劣的无线信道环境下工作,则前导的检测性能需要进一步的提升。例如,在前导的基础上支持多次重复发送实现前导检测性能的提升。

2 单子载波 PRACH 方案

相比于多子载波 PRACH 方案,单子载波 PRACH 方案^[10-13]频域上仅占用1个子载波,终端可以将全部功率集中在这个子载波上,可以提供更高的功率谱密度,更适合恶劣的无线信道环境下终端接入需求。本节中,我们给出了两种单子载波 PRACH 设计方案。

2.1 第1种前导结构

由于单子载波 PRACH 的频率上只支持1个子载波,那么前导序列只能在时域上设计,例如,前导序列为长度为 N 的ZC序列 $x(n)$,且将 $x(n)$ 配置在时域上连续 N 个正交频分复用(OFDM)符号上发送。

前导设计时需要遵循以下原则:

(1) 同多子载波 PRACH 的分析一样,单子载波 PRACH 同样也需要考虑频率偏差造成的相位旋转对前导性能检测的影响,因此前导时域长度不建议超过4 ms。

(2) 由于单子载波 PRACH 的频

率带宽非常小,仅为1个子载波间隔,频率上容易受到频率选择性衰落的影响,造成前导检测性能下降。因此,前导发送时需要支持频率跳频,获得理想的频率分级增益,进而抑制频率选择性衰落的影响。

(3) PRACH 子载波间隔在允许的范围内需要尽量大一些,这样可以保证在相同的时域周期内序列 $x(n)$ 的长度更长,可以获得更好的自相关性和更低的互相关性。

基于上述原则,我们给出前导的具体结构,如图4所示,前导长度为4 ms,子载波间隔为15 kHz,OFDM符号长度为66.7 μ s。前导序列由2个符号组组成:1个符号组包括长度为4个OFDM符号的CP以及长度为23的ZC序列,另1个符号组配置的子

载波间隔150 kHz,GT长度是4个OFDM符号。

前导误检概率和正确检测概率如表2所示,其中,具体仿真配置见参考文献[11],仿真中配置的MCL=144 dB,对应NB-IoT非覆盖增强需求的最大MCL取值。

考虑到NB-IoT需要支持更广的覆盖以及改进室内覆盖性能的需求,因此前导需要能够在更恶劣的无线信道环境(例如MCL大于144 dB)中工作,前导的检测性能需要更进一步的提升,例如通过支持多次重复发送实现前导检测性能的提升。

前导结构可以支持前导的码分复用,进而提升PRACH信道容量。但是由于频域上不同的PRACH信道之间不能保证正交性,因此需要配置保护带宽用来抑制PRACH信道之间的干扰。由于单子载波PRACH的有效带宽仅为1个子载波,保护带宽相比于PRACH有效带宽开销过大,会对PRACH信道容量会有影响。

2.2 第2种前导结构

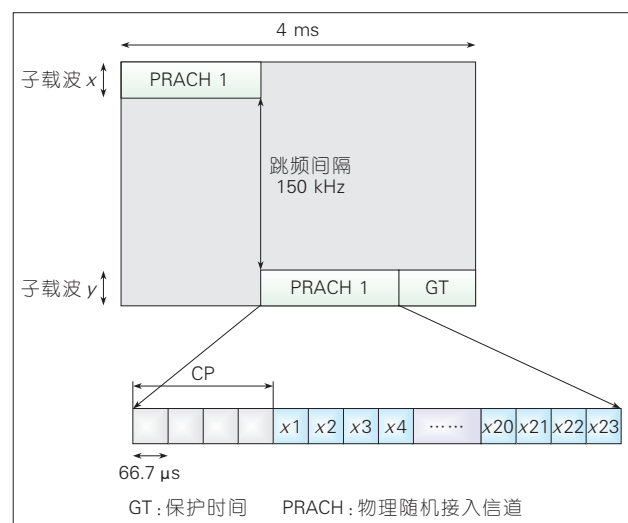
由于第1种前导结构需要配置保

▼表1 各子载波 PRACH 前导误检概率和正确检测概率统计结果

重复次数	SNR /dB	MCL/dB	误检概率	正确检测概率
1	0.4	144	8/10 000	98.9%

注:TA正确检测范围是 $[-2.08 \mu\text{s}, +2.08 \mu\text{s}]$ ^[9]
MCL:最小耦合损耗 PRACH:物理随机接入信道 SNR:信噪比 TA:定时提前量

图4
第1种前导结构



▼表2 单子载波 PRACH 第1种前导结构的前导误检概率和正确检测概率统计结果

重复次数	SNR/dB	MCL/dB	误检概率	正确检测概率
1	8.2	144	3/10 000	97.1%

注: TA 正确检测范围是 $[-2.08 \text{ us}, +2.08 \text{ us}]^{[9]}$
MCL: 最小耦合损耗 PRACH: 物理随机接入信道 SNR: 信噪比 TA: 定时提前量

护带宽,且保护带宽相对于 PRACH 占用的带宽(1个子载波间隔)来说,开销过大。因此,我们提出了一种不需要配置保护带宽的单子载波 PRACH 结构,如图5所示,前导子载波间隔为 3.75 kHz,且默认配置支持跳频。前导发送的最基本单位是4个符号组,包括1个CP以及5个符号,且5个符号上发送的信号相同,因此可以保证频域上配置多个 PRACH 信道时,不同的 PRACH 前导之间可以基本保证是正交的,即无需在 PRACH 信道之间配置保护带宽。每个符号组发送时占用的子载波相同,且符号组之间配置两个等级的跳频间隔,第1和第2个符号组之间、第3和第4个符号组之间配置第1等级的跳频间隔 $FH1=3.75 \text{ kHz}$;第2和第3个符号组之间配置第2等级的跳频间隔 $FH2=22.5 \text{ kHz}$ 。

表3中是在不同的定时提前量(TA)正确检测范围下前导正确检测概率的统计结果。其中,具体仿真配置参考文献[11],仿真中配置的 MCL=144 dB,对应 NB-IoT 非覆盖增强需求的最大 MCL 取值。从表3中我们可以看到:为了使第2种前导结构可以正常工作,就需要放松 TA 正确检测范围的规定,如从 $[-2.08 \text{ us}, +2.08 \text{ us}]$ 放松到 $[-4.16 \text{ us}, +4.16 \text{ us}]$,此时,前导正确检测概率可以从 54.38% 提升到 91.01%。

2.3 方案比较

(1) 前导正确检测性能

从 2.1 和 2.2 节中的仿真结果可以看到:第1种前导结构的正确检测精准度要优于第2种前导结构,主要的原因是第1种前导结构的前导序列是基于时域 ZC 序列生成的,ZC 序

列本身具有良好的自相关性以及很低的互相关性;第2种前导结构的前导序列则是简单的时域重复发送的信号(例如配置每个符号发送的都是“1”),这样的前导序列是无法保证良好的自相关性以及很低的互相关性的。

(2) PRACH 信道容量

第1种前导结构由于前导序列为 ZC 序列,因此可以支持前导的码分复用,进而提升 PRACH 信道容量。但是由于频域上不同的 PRACH 信道之间不能保证正交性,因此需要配置保护带宽用来抑制 PRACH 信道之间的干扰,由于 PRACH 的有效带宽仅为1个子载波,保护带宽相比于 PRACH 有效带宽开销过大,因此第1种前导结构会对 PRACH 信道容量造成较大的影响。

第2种前导结构,由于前导序列在各个 OFDM 符号上发送的信号都

是相同的,因此可以保证频域上配置多条 PRACH 信道时,PRACH 信道之间的正交性,即无需在 PRACH 信道之间配置保护带宽。同时,也由于这样的配置导致前导无法支持码分复用,在 PRACH 信道容量会有一定的限制。

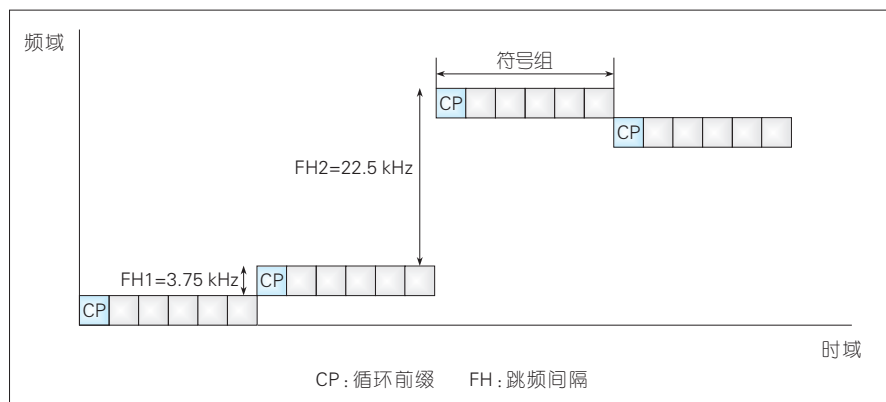
3 NB-IoT 标准中 PRACH 方案

NB-IoT 的研究和标准化工作在第3代合作伙伴计划(3GPP)标准组织进行,NB-IoT WI 于 2015 年 9 月 RAN #69 次会议正式立项^[14],考虑到 NB-IoT 终端中存在仅仅支持单子载波发送的终端,为了支持统一的 PRACH 方案,在 3GPP RAN1 #84 会议中单子载波 PRACH 被建议为唯一的 NB-IoT PRACH 方案^[15],并且在 3GPP RAN1 #84b 会议中第2种前导结构最终被 NB-IoT 标准采纳^[16]。

4 结束语

单子载波 PRACH 方案中第1种前导结构具有良好的前导检测性能,且可以支持码分复用,提高 PRACH

➔下转第20页



▲图5 第2种前导结构的增强方案3

▼表3 单子载波 PRACH 第2种前导结构的前导误检率和正确检测概率统计结果

TA 正确检测范围	重复次数	SNR/dB	MCL/dB	误检概率	正确检测概率
$[-2.08 \text{ us}, +2.08 \text{ us}]$	1	8.2	144	3/10 000	54.38%
$[-4.16 \text{ us}, +4.16 \text{ us}]$	1	8.2	144	3/10 000	91.01%

MCL: 最小耦合损耗 PRACH: 物理随机接入信道 SNR: 信噪比 TA: 定时提前量

NB-IoT 系统现状与发展

System Status and Development of NB-IoT

张万春/ZHANG Wanchun
陆婷/LU Ting
高音/GAO Yin

(中兴通信股份有限公司, 广东 深圳
518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

物联网应用发展已经超过 10 年, 但采用的大多是针对特定行业或非标准化的解决方案, 存在可靠性低, 安全性差, 操作维护成本高等缺点。基于多年的业界实践可以看出, 物联网通信能否成功发展的一个关键因素是标准化。与传统蜂窝通信不同, 物联网应用具有支持海量连接数、低终端成本、低终端功耗和超强覆盖能力等特殊需求。这些年来, 不同行业和标准组织制订了一系列物联网通信方面的标准, 例如针对机器到机器(M2M)应用的码分多址(CDMA)2000 优化版本, 长期演进(LTE) R12 和 R13 的低成本终端 category0 及增强机器类型通信(eMTC), 基于全球移动通信系统(GSM)的物联网(IoT)增强等, 但从产业链发展以及技术本身来看, 仍然无法很好满足上述物联网应用需求。其他一些工作于免授权频段的低功耗标准协议, 如: LoRa、Sigfox、Wi-Fi, 虽然存在一定成本和功耗优势, 但在信息安全、移动性、容量等方面存在缺陷, 因此, 一个新的蜂窝物

收稿时间: 2016-11-15
网络出版时间: 2016-12-29

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0010-005

摘要: 通过与现有长期演进(LTE)系统对比, 认为窄带物联网(NB-IoT)在物理层、空口高层、接入网、核心网引入的各项优化特性能够很好地满足物联网低功耗、低成本、深度覆盖的典型需求。NB-IoT 在标准体系统一、扩展能力上具有巨大优势, 必将成为物联网技术及产业链发展、物联网应用在全球部署的有力推动者。

关键词: NB-IoT; 网络架构; 系统特性

Abstract: By comparing with the existing long term evolution (LTE) system, we believe that the various optimization characteristics in physical layer, interface level, access network, core network of narrowband Internet of things (NB-IoT) can well meet the typical needs (low-power, low-cost, depth-coverage) of IoT. With the advantages like unified standard system and easy to expand, NB-IoT will accelerate industry chain progress and enable more business opportunities.

Keywords: NB-IoT; network architecture; system characteristics

联网标准需求越来越迫切。

在这个背景下, 第 3 代合作伙伴计划(3GPP)于 2015 年 9 月正式确定窄带物联网(NB-IoT)标准立项^[1], 全球业界超过 50 家公司积极参与, 标准协议核心部分在 2016 年 6 月宣告完成, 并正式发布基于 3GPP LTE R13 版本的第 1 套 NB-IoT 标准体系。随着 NB-IoT 标准的发布, NB-IoT 系统技术和生态链将逐步成熟, 或将开启物联网发展的新篇章。

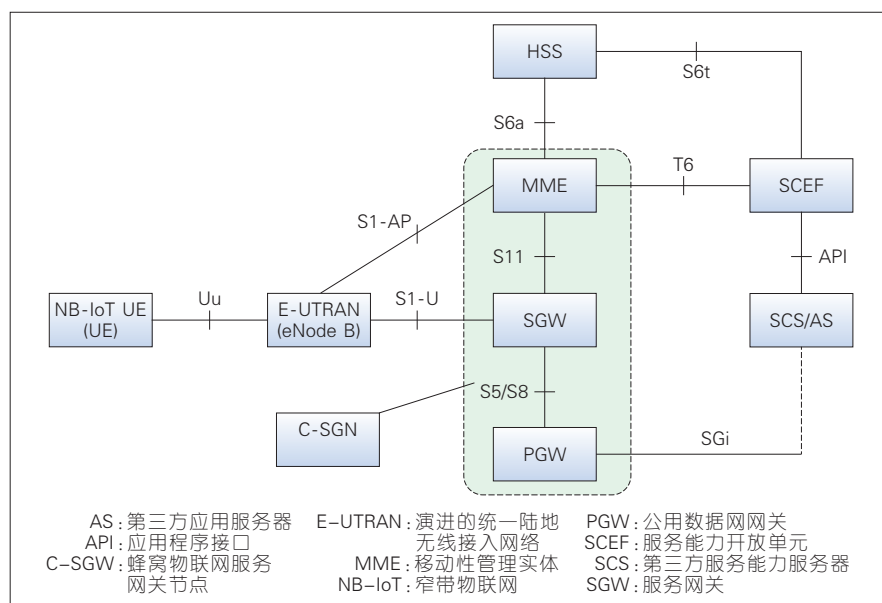
NB-IoT 系统预期能够满足在 180 kHz 的传输带宽下支持覆盖增强(提升 20 dB 的覆盖能力)、超低功耗(5 Wh 电池可供终端使用 10 年)、巨量终端接入(单扇区可支持 50 000 个连接)的非时延敏感(上行时延可放宽到 10 s 以上)的低速业务(支持单用户上下行至少 160 bit/s)需求。NB-IoT 基于现有 4G LTE 系统对空口物理层和高层、接入网以及核心网进

行改进和优化, 以更好地满足上述预期目标。

1 NB-IoT 网络架构

NB-IoT 系统采用了基于 4G LTE/演进的分组核心网(EPC)网络架构, 并结合 NB-IoT 系统的大连接、小数据、低功耗、低成本、深度覆盖等特点对现有 4G 网络架构和处理流程进行了优化。

NB-IoT 的网络架构如图 1 所示, 包括: NB-IoT 终端、演进的统一陆地无线接入网络(E-UTRAN)基站(即 eNodeB)、归属用户签约服务器(HSS)、移动性管理实体(MME)、服务网关(SGW)、公用数据网(PDN)网关(PGW)、服务能力开放单元(SCEF)、第三方服务能力服务器(SCS)和第三方应用服务器(AS)。和现有 4G 网络相比, NB-IoT 网络主要增加了业务能力开放单元(SCEF)



▲ 图1 NB-IoT 网络架构

来优化小数据传输和支持非 IP 数据传输。为了减少物理网元的数量,可以将 MME、SGW 和 PGW 等核心网网元合一部署,称之为蜂窝物联网服务网关节点(C-SGN)^[1]。

为了适应 NB-IoT 系统的需求,提升小数据的传输效率,NB-IoT 系统对现有 LTE 处理流程进行了增强,支持两种优化的数据传输方案,包括控制面优化传输方案 and 用户面优化传输方案。控制面优化传输方案使用信令承载在终端和 MME 之间进行 IP 数据或非 IP 数据传输,由非接入承载提供安全机制;用户面优化传输方案仍使用数据承载进行传输,但要求空闲态终端存储接入承载的上下文信息,通过连接恢复过程快速重建无线连接和核心网连接来进行数据传输,简化信令过程。

2 NB-IoT 系统特性

2.1 NB-IoT 物理层特性

NB-IoT 系统支持 3 种操作模式:独立操作模式、保护带操作模式及带内操作模式^[1]。

- 独立操作模式:利用目前 GSM/EDGE 无线接入网 (GERAN) 系统占

用的频谱,替代已有的一个或多个 GSM 载波。

- 保护带操作模式:利用目前在 LTE 载波保护带上还没有使用的资源块。

- 带内操作模式:利用 LTE 载波内的资源块。

(1) NB-IoT 下行链路

NB-IoT 系统下行链路^[4]的传输带宽为 180 kHz,采用了现有 LTE 相同的 15 kHz 的子载波间隔,下行多址方式(采用正交频分多址 (OFDMA) 技术)、帧结构(时域由 10 个 1 ms 子帧构成 1 个无线帧,但每个子帧在频域只包含 12 个连续的子载波)和物理资源单元等也都尽量沿用了现有 LTE 的设计。

针对 180 kHz 下行传输带宽的特点以及满足覆盖增强的需求,NB-IoT 系统缩减了下行物理信道类型,重新设计了部分下行物理信道、同步信号和参考信号,包括:重新设计了窄带物理广播信道(NPBCH)、窄带物理下行共享信道(NPDSCH)、窄带物理下行控制信道(NPDCCH),窄带主同步信号(NPSS)/窄带辅主同步信号(NSSS)和窄带参考信号(NRS);不支持物理控制格式指示信道(子帧中起

始 OFDM 符号根据操作模式和系统信息块 1 (SIB1) 中信令指示^[5]) 和 不支持物理混合重传指示信道(采用上行授权来进行窄带物理上行共享信道(NPUSCH)的重传^[5]);并在下行物理信道上引入了重复传输机制,通过重复传输的分集增益和合并增益来提升解调门限,更好地支持下行覆盖增强。

为了解决增强覆盖下的资源阻塞问题(例如,为了最大 20 dB 覆盖提升需求,在带内操作模式下,NPDCCH 大约需要 200 ~ 350 ms 的重复传输,NPDSCH 则大约需要 1 200 ~ 1 900 ms 重复传输,如果资源被 NPDCCH 或 NPDSCH 连续占用,将会阻塞其他终端的上/下行授权或下行业务传输),引入了周期性的下行传输间隔。

(2) NB-IoT 上行链路

NB-IoT 系统上行链路^[4]的传输带宽为 180 kHz,支持 2 种子载波间隔:3.75 kHz 和 15 kHz。对于覆盖增强场景,3.75 kHz 子载波间隔与 15 kHz 子载波间隔相比能提供更大的系统容量,但是,在带内操作模式场景下,15 kHz 子载波间隔比 3.75 kHz 子载波间隔有更好的 LTE 兼容性。

上行链路支持单子载波和多子载波传输,对于单子载波传输,子载波间隔可配置为 3.75 kHz 或 15 kHz;对于多子载波传输,采用基于 15 kHz 的子载波间隔,终端需要指示对单子载波和多子载波传输的支持能力(例如,通过随机接入过程的 msg1 或 msg3 指示)以便基站选择合适的方式。无论是单子载波还是多子载波,上行都是基于单载波频分多址(SC-FDMA)的多址技术。对于 15 kHz 子载波间隔,NB-IoT 上行帧结构(帧长和时隙长度)和 LTE 相同;而对于 3.75 kHz 子载波间隔,NB-IoT 新定义了一个 2 ms 长度的窄带时隙,一个无线帧包含 5 个窄带时隙,每个窄带时隙包含 7 个符号并在每个时隙之间预留了保护间隔,用于最小化 NB-IoT

符号和 LTE 探测参考信号 (SRS) 之间的冲突。

NB-IoT 系统也缩减了上行物理信道类型,重新设计了部分上行物理信道,包括:重新设计了窄带物理随机接入信道 (NPRACH)、NPUSCH;不支持物理上行控制信道 (PUCCH)。为了更好地支持上行覆盖增强,NB-IoT 系统在上行物理信道上也引入了重复传输机制。

由于 NB-IoT 终端的低成本需求,配备了较低成本晶振的 NB-IoT 终端在连续长时间的上行传输时,终端功率放大器的热耗散导致发射机温度变化,进而导致晶振频率偏移,严重影响到终端上行传输性能,降低数据传输效率。为了纠正这种频率漂移,NB-IoT 中引入了上行传输间隔,让终端在长时间连续传输中可以暂时停止上行传输,并且利用这段时间切换到下行链路,同时可以利用 NPSS/NSSS NRS 信号进行同步跟踪以及时频偏补偿,通过一定时间补偿后(比如频偏小于 50 Hz),终端将切换到上行继续传输^[6]。

2.2 NB-IoT 空口高层特性

NB-IoT 系统在空口高层主要是对现有 LTE 的控制面和用户面机制进行优化或简化,以达到降低系统复杂度和终端功耗,节省开销以及支持覆盖增强和更有效的小数据传输等一系列目的。

(1) RRC 信令流程优化

NB-IoT 系统相比于 LTE 系统,在功能上做了大幅简化,相应的无线资源控制 (RRC)^[3] 处理过程也明显减少,特别是对连接态移动性功能的简化,不支持连接态测量上报和切换。

对于控制面优化传输方案,空口信令流程被大幅缩减,最少只需 3 条空口 RRC 消息来建立无线信令承载并进行数据传输,无需激活接入层安全和无需建立无线数据承载。

对于用户面优化传输方案,可以在首次接入网络时激活接入层安全,

建立无线信令和数据承载,通过连接挂起过程在终端和基站存储终端的接入层上下文,挂起无线承载;后续通过连接恢复过程恢复无线承载并重新激活接入层安全来进行数据传输。通过连接恢复过程,空口信令流程也被大幅缩减。

(2) 系统消息优化

由于 NB-IoT 系统功能的简化,系统消息^[7]的类型减少且每个系统消息需要包含的信息也相应减少,而物理层广播信道的重新设计使得 NB-IoT 系统的主信息块 (MIB) 消息也不同于 LTE 系统,因此,在 NB-IoT 系统中最终重新定义了一套系统消息,包括窄带主信息块 (MIB-NB)、窄带主信息块 1 (SIB1-NB)~SIB5-NB、SIB14-NB、SIB20-NB 等 8 条系统消息,各条系统消息基本沿用了 LTE 相应系统消息的功能。

为了提升资源效率,NB-IoT 中系统消息的调度方式由 LTE 采用的动态调度改为半静态调度,包括:SIB1-NB 的调度资源由 MIB-NB 指定,其他 SIB 的时域资源由 SIB1-NB 指定。

为了降低终端接收系统消息带来的功耗和网络发送系统消息带来的资源占用,NB-IoT 系统的系统消息处理采用了以下机制,包括:系统消息的有效时间从 LTE 的 3 个小时扩展为 24 个小时,MIB-NB 消息中携带系统消息改变的指示标签,SIB1-NB 中携带了针对每个系统信息 (SI) 改变的单独的指示标签,连接态终端不读取系统消息,允许通过 NPDCCH 的控制信息直接指示系统消息变更等^[5]。

(3) 寻呼优化

为了满足 NB-IoT 终端超长待机时间的要求,NB-IoT 系统的寻呼机制也进行了优化^[8],支持以超帧为单位 (1 个超帧包含 1 024 个无线帧) 的长达 3 个小时的扩展非连续接收 (DRX);为了提升终端在扩展 DRX 周期内的寻呼接收成功率,NB-IoT 系统引入了寻呼传输窗 (PTW),允许在 PTW 内多次寻呼终端。

(4) 随机接入过程优化

针对覆盖增强需求,NB-IoT 系统采用了基于覆盖等级的随机接入^[9];终端根据测量到的信号强度判断当前所处的覆盖等级,并根据相应的覆盖等级选择合适的随机接入资源发起随机接入。为了满足不同覆盖等级下的数据传输要求,基站可以给每个覆盖等级配置不同的重复次数、发送周期等,例如,处于较差覆盖等级下的终端需要使用更多的重复次数来保证数据的正确传输,但同时为了避免较差覆盖等级的终端占用过多的系统资源,可能需要配置较大的发送周期。

(5) 接入控制

物联网终端数量巨大,需要有效的接入控制机制来保证控制终端的接入和某些异常上报数据的优先接入。NB-IoT 系统的接入控制机制充分借鉴了 LTE 系统的扩展接入限制 (EAB) 机制 (SIB14) 和随机接入过程的 Backoff 机制,并通过在 MIB-NB 中广播是否使能接入控制的指示降低终端尝试读取的 SIB14-NB 的功耗。

(6) 数据传输机制优化

针对 NB-IoT 系统低复杂度且数据包具有时延不敏感、低速、不频繁、量小等特性,空口数据传输的各协议层功能进行了相应简化。分组数据汇聚协议 (PDCP) 数据包的大小从 LTE 的 8 188 字节缩减为不超过 1 600 字节,可以相应地降低对缓冲区的要求,有利于降低 NB-IoT 设备的成本。对于控制面优化传输方案,不需要支持接入层安全中要求 PDCP 实现的加密和完整性保护,甚至不可以使用 PDCP 层,减少了 PDCP 协议头的额外开销;对于用户面优化传输方案,允许在连接恢复时继续使用原有的头压缩上下文但需要重置空口加密和完整性保护参数。无线链路层控制协议 (RLC) 层^[8]仅支持透明传输和确认传输模式,不支持无确认传输模式。媒体访问控制 (MAC) 层对调度、混合自动重传请求 (HARQ) 及连接态

DRX 等关键技术过程也进行了简化和相应的优化^[9],仅支持对逻辑信道的优先级设置但不进行速率保证,调度请求通过随机接入触发(NB-IoT 不支持 PUCCH);仅支持一个 HARQ 处理过程,上行 HARQ 从 LTE 的同步 HARQ 改为异步 HARQ,连接态 DRX 仅支持长 DRX 周期操作,支持在初始连接建立的随机接入过程携带终端的数据量报告以便基站能够为终端合理的分配传输资源^[10-12]。

2.3 NB-IoT 接入网特性

NB-IoT 系统的接入网基于现有 LTE 的 X2 接口^[13]和 S1 接口^[14]进行相关的优化。

X2 接口用以在 eNodeB 和 eNodeB 之间实现信令和交互。在 NB-IoT 系统中,X2 接口在基于 R13 的版本不支持 eNodeB 间的用户面操作,主要是在控制面引入了新的跨基站用户上下文恢复处理,在用户面优化传输方案下,挂起的终端移动到新基站发起 RRC 连接恢复过程,携带先前从旧基站获得的恢复 ID,新基站在 X2 接口向旧基站发起用户上下文获取流程,从旧基站获取终端在旧基站挂起时保存的用户上下文信息,以便在新基站上将该 UE 快速恢复。

S1 接口的控制面用以实现 eNodeB 和 MME 之间的信令传递,S1 接口的用户面用以实现 eNodeB 和 SGW 之间的用户面数据传输。在 NB-IoT 系统中,S1 接口引入的新特性主要包括:无线接入技术(RAT)类型上报(区分 NB-IoT 或 E-TUTAN 接入)、UE 无线能力指示(例如,允许 MME 通过下行 NAS 传输消息向 eNodeB 发送用户设备(UE)的无线能力)、优化信令流程支持控制面优化传输方案,以及为用户面优化传输方案在 S1 接口引入连接挂起和恢复处理等。

2.4 NB-IoT 核心网特性

NB-IoT 系统的核心网优化了现

有 LTE/EPC 在 MME、SGW、PGW 及归属签约用户服务器(HSS)之间的各个接口(包括 S5/S8/S10/S11/S6a 等)和功能,并针对新引入的业务能力开放单元(SCEF)增加了 MME 和 SCEF 之间的 T6 接口以及 HSS 和 SCEF 之间的 S6t 接口和相应功能。

NB-IoT 系统的核心网^[15]必须支持的功能包括:支持控制面优化传输方案 and 用户面优化传输方案的处理及提供必要的安全控制(例如,控制面优化传输方案使用非接入层安全,用户面优化传输方案必须支持接入层安全),支持控制面优化传输方案 and 用户面优化传输方案间的切换(例如,S11-U 和 S1-U 传输方式间的切换),支持与空口覆盖增强配合的寻呼,支持非 IP 数据经过 PGW(SGi 接口实现隧道)和 SCEF 传输(基于 T6 接口),对仅支持 NB-IoT 的 UE 实现不需要联合附着的短信服务(SMS),以及支持附着时不创建 PDN 连接。

对于使用控制面优化传输方案的 IP 数据传输,MME 在创建 PDN 连接请求中会指示 SGW 建立 S11-U 隧道。当 SGW 收到下行数据时,如果 S11-U 连接存在,SGW 将下行数据发给 MME,否则触发 MME 执行寻呼。

对于使用控制面优化传输方案的非 IP 数据传输,如果采用基于 SGi 的非 IP 的 PDN 连接,MME 需要和 SGW 建立基于通用分组无线服务技术(GPRS)隧道协议用户面协议(GTP-U)的 S11-U 连接,同时 PGW 不为终端分配 IP 地址或者即使为终端分配了 IP 地址也不发给终端,PGW 和外部 SCS/AS 间使用隧道通信;如果采用基于 T6 的非 IP 的 PDN 连接中,MME 需要和 SCEF 建立基于 Diameter 的 T6 连接。对上行非 IP 小数据包传输,MME 从 eNodeB 接收的网络附属存储(NAS)数据包中提取上行非 IP 小数据包,封装在 GTP-U 数据包中发送给 SGW 及 PGW,或封装在 Diameter 消息中发送给 SCEF。对下行非 IP 小数据包传输,MME 从 GTP-U 数据包中

提取下行非 IP 小数据包,或从 Diameter 消息中提取下行非 IP 小数据包,然后封装在 NAS 数据包中通过 eNodeB 发送给 UE。

为了支持用户面传输优化方案,NB-IoT 核心网各网元(MME、SGW 等)同样需要支持连接挂起和恢复的相应操作。对用户面传输优化方案,数据传输机制上与 LTE/EPC 机制相似,仅支持 IP 数据传输。

3 NB-IoT 后续演进及未来发展

2016 年 6 月,3GPP 在完成基于 R13 的 NB-IoT 技术标准的同时批准了 R14 NB-IoT 增强的立项^[16],涉及定位、多播传输、多载波接入及寻呼、移动性等增强型功能以及支持更低功率终端,计划在 2017 年 6 月完成标准化工作。

NB-IoT 中存在的软件下载等典型业务使用多播传输技术,对于提高系统资源使用效率有很大益处。但与传统 LTE 中主要支持多媒体广播多播的应用场景有所不同,其对传输可靠性要求更高。因此 R14 NB-IoT 需要重点解决带宽受限条件下的高可靠单小区多播控制信道(SC-MCCH)和单小区多播传输信道(SC-MTCH)传输问题,无线侧基于特定重复模式或交织方式的高效重传是值得考虑的解决方案。另一方面还需研究与终端省电密切相关的、优化的多播业务传输控制信息更新指示。通过 SC-MCCH 和 SC-MTCH 的调度信息来发送控制信息更新指示,可以提高更新指示传输效率并有助于降低终端功耗。R14 NB-IoT 还将引入多载波接入及寻呼功能,以便进一步提高窄带系统的容量。基于多载波部署,将会引入兼顾灵活性和信令开销的随机接入及寻呼资源配置方案,以及能够保证终端公平性及网络资源利用率最大化的载波选择以及重选算法。

随着 NB-IoT 标准体系逐步完善,

3GPP 也将海量机器类型通信 (mMTC) 作为 5G “新无线” (NR) 的典型部署场景之一, 列入未来标准化方向。mMTC 将在连接密度、终端功耗及覆盖增强方面进一步优化。

4 结束语

NB-IoT 标准为了满足物联网的需求应运而生, 中国市场启动迅速, 中国移动、中国联通、中国电信都计划 2017 年上半年商用, 并且已经开始实验室测试。在运营商的推动下, NB-IoT 网络将成为未来物联网的主流通信网之一, 随着应用场景的扩展, NB-IoT 网络将会不断演进以满足各种不同需求。

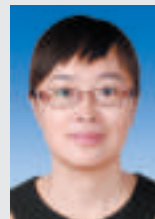
参考文献

- [1] 3GPP. Revised Work Item: Narrowband IoT (NB-IoT): 3GPP RP-152284[S]. 3GPP, 2015
- [2] 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects; General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, V13.8.0: 3GPP TS 23.401 [S]. 3GPP, 2016
- [3] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2, V13.5.0: 3GPP TS 36.300[S]. 3GPP, 2016
- [4] 3GPP. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation, V13.3.0: 3GPP TS 36.211[S]. 3GPP, 2016
- [5] 3GPP. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and Channel Coding, V13.3.0: 3GPP TS 36.212 [S]. 3GPP, 2016
- [6] 3GPP. Simulation Results of UCG Parameters for NB-IoT: R4-163255[S]. 3GPP, 2016
- [7] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification, V13.3.0: 3GPP TS 36.331[S]. 3GPP, 2016
- [8] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) Procedures in Idle Mode, V13.3.0: TS 36.304[S]. 3GPP, 2016
- [9] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, V13.3.0: 3GPP TS 36.321[S]. 3GPP, 2016
- [10] 3GPP. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer Procedures, V13.3.0: 3GPP TS 36.213 [S]. 3GPP, 2016
- [11] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Specification V13.3.0: 3GPP TS 36.323 [S]. 3GPP, 2016
- [12] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Link Control (RLC) Protocol Specification, V13.2.0: 3GPP TS 36.322[S]. 3GPP, 2016
- [13] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 application protocol (X2AP), V13.5.0: 3GPP TS 36.423[S]. 3GPP, 2016
- [14] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP), V13.4.0: 3GPP TS 36.413[S]. 3GPP, 2016
- [15] 3GPP. Work Item: Enhancements of NB-IoT: 3GPP RP-161901[S]. 3GPP, 2016

作者简介



张万春, 中兴通讯股份有限公司无线研究院院长; 主要从事 LTE、5G 相关无线产品研发; 获得深圳市科技进步一等奖 1 项, 国家科技进步二等奖 1 项, 国家科技进步奖特等奖 1 项。



陆婷, 中兴通讯股份有限公司技术预研高级系统工程师; 主要从事无线通信系统协议研究及标准推进, 先后参与 3G/4G/5G 多个标准版本制订工作; 已申请发明专利 30 项。



高音, 中兴通讯股份有限公司无线通信标准预研系统工程师; 主要从事 4G 和 5G 标准技术研究和标准推进工作; 曾任 SON 国家重大专项课题项目负责人; 已发表论文 4 篇, 3GPP 会议提案 200 余篇。

NB-IoT 系统资源调度研究

Resource Scheduling for NB-IoT

邱刚/QIU Gang
陈宪明/CHEN Xianming
戴博/DAI Bo

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳
518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

为满足蜂窝物联网 (IoT) 需求, 设计新的窄带物联网 (NB-IoT) 接入系统在第 3 代合作伙伴计划 (3GPP) 组织第 69 次全会中被提出。NB-IoT 系统关注低复杂度和低吞吐量的射频接入技术, 主要研究目标包括: 改善的室内覆盖、巨量低吞吐量用户设备的支持、较低的延时敏感性、超低设备成本、低的设备功率损耗以及网络架构。NB-IoT 系统的上下行的发射带宽都是 180 kHz, 与长期演进 (LTE) 系统的一个物理资源块 (PRB) 的带宽相同, 这有利于在 NB-IoT 系统中重用现有 LTE 系统的有关设计。NB-IoT 系统支持 3 种操作模式: 独立操作, 例如利用增强数据速率全球移动通信演进无线接入网 (GERAN) 系统使用的 1 个或多个全球移动通信系统 (GSM) 载波; 保护带操作, 例如利用在 LTE 载波的保护带范围内未被使用的资源块; 带内操作, 例如利用在正常 LTE 载波范围内的资源块^[1]。

文章中, 我们主要关注 NB-IoT 系统的资源调度设计。资源调度是无

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0015-006

摘要: 结合窄带物联网 (NB-IoT) 系统的上下行帧结构、复用方式、调度单元的特点, 提供了适用于 NB-IoT 系统的资源调度的设计方案, 包括非连续的下行调度、动态的上下行调度定时以及跨多个调度单元的上下行资源分配。采用上述方案, 避免了在极端或增强覆盖场景下, 因下行资源的连续占用所导致的对其他终端设备的上下行授权和下行业务传输的阻塞以及下行控制资源的浪费, 同时确保了相对灵活的资源分配。

关键词: 调度定时; 资源分配; 覆盖增强

Abstract: In terms of the features of uplink (UP)/downlink (DL) frame structure, multiplexing method and scheduling unit used by narrowband IoT (NB-IoT), the design schemes for resource scheduling, which is suitable for NB-IoT is proposed in this paper, including discontinuous DL scheduling, dynamic DL/UL scheduling timing and DL/UL resource allocation across multiple scheduling units. Based on the above schemes, the blocking of the transmission of DL/UL grant and DL traffic to other users caused by the continuous occupation of DL resource for enhanced or extreme coverage and the waste of DL control resource can all be avoided, and relative flexible resource allocation can be ensured.

Keywords: scheduling timing; resource allocation; coverage enhancement

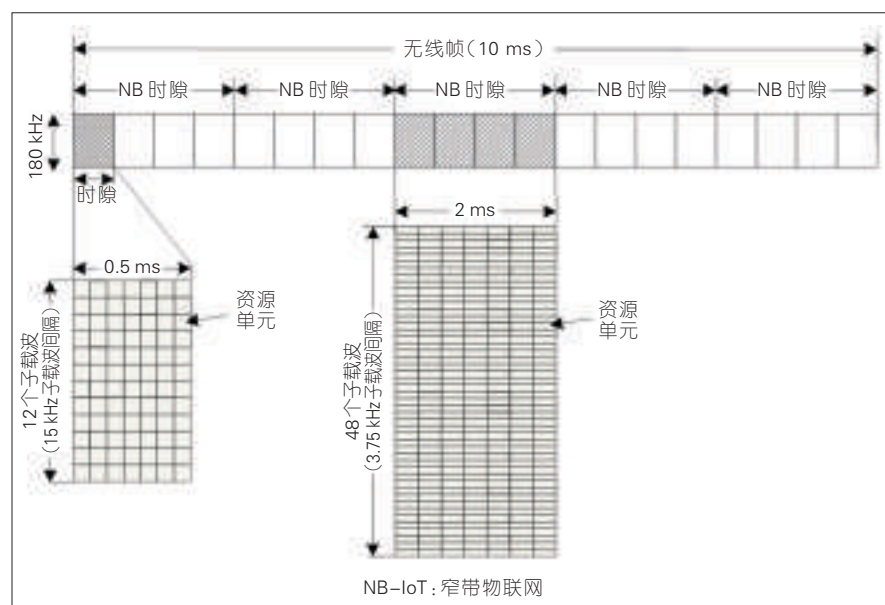
线通信系统物理层设计的重要方面。不同的帧结构、复用方式和调度单元适用不同的资源调度设计方法; 此外, 在上述帧结构、复用方式和调度单元中, 后项在一定程度上受到前项的影响。基于上述原因, 我们首先介绍 NB-IoT 系统上下行的帧结构、复用方式和调度单元, 这是后续资源调度设计的基础; 然后, 基于上述确定的帧结构、复用方式和调度单元, 分析适用于 NB-IoT 系统下行的非连续调度方式, 上下行的调度定时以及上下行的资源分配方案。

1 NB-IoT 帧结构

为支持带内操作模式, NB-IoT 系统下行仍采用 15 kHz 子载波间隔, 多

址方式仍重用正交频分多址 (OFDMA) 方式; 系统的下行帧结构、时隙结构、资源格和资源单元定义与 LTE 相同, 只是在频域上仅包含 12 个连续子载波 (对应 1 个资源块)。NB-IoT 系统的上行同时支持 3.75 kHz 和 15 kHz 两种子载波间隔, 多址方式仍重用单载波频分多址 (SC-FDMA) 方式。采用 3.75 kHz 的子载波间隔只支持单载波的调度, 而 15 kHz 子载波间隔同时支持单载波和多载波的调度。对于 15 kHz 的子载波间隔、帧结构与 LTE 相同; 为更好适配 3.75 kHz 的子载波间隔, 新的长度为 2 ms 的窄带时隙结构被定义, 如图 1 所示, 一个无线帧包含 5 个窄带时隙, 每个窄带时隙包含 7 个正交频分复用

收稿时间: 2016-11-15
网络出版时间: 2016-12-28



▲ 图1 NB-IoT 系统上行帧结构

(OFDM)符号^[1]。

2 NB-IoT 复用方式

基于已确定的帧结构,窄带物理下行控制信道(NPDCCH)和窄带物理下行共享信道(NPDSCH)以及不同NPDSCH的复用能够只按照时分复用(TDM)方式,或按照TDM和频分多路复用(FDM)的方式。前者实现简单,标准化影响小且具有更好的后向兼容性。为支持后者,除NPDCCH以外,NPDSCH也必须支持子载波级别的资源分配,这会导致较大的标准化影响。采用固定的FDM图样会导致资源浪费,而采用动态的FDM图样虽然具有更好的灵活性但控制开销较大。另外,对于下行,支持子载波级别的资源粒度并不能带来覆盖提升和显著的调度增益,反而会导致调度的复杂度和资源的碎片化。基于上述的分析,最终NB-IoT标准规定在NPDCCH与NPDSCH之间以及在不同NPDSCH之间的复用只采用TDM的方式,这直接决定了NPDCCH以及与其相关的上下行调度的整体机制^[2]。与下行不同,为实现更高的用户容量或复用程度以及扩展的上行覆盖,上行需要支持单载波的调度,所以不同

的窄带物理上行共享信道(NPUSCH)之间允许采用FDM的复用方式。

3 NB-IoT 调度单元

由于NB-IoT系统的下行只支持不同NPDSCH之间以TDM方式复用资源,所以NPDSCH的调度自然应该以子帧为单位。对于NB-IoT系统上行,当子载波间隔为3.75 kHz时,考虑到不管是针对承载上行业务还是混合自动重传请求确认信息(HARQ-ACK)的NPUSCH都只支持单载波调度,最终用于上行业务和HARQ-ACK调度的调度单元大小可以分别确定为32 ms(16个窄带时隙)以及8 ms(4个窄带时隙)。当子载波间隔为15 kHz时,对于承载上行业务的NPUSCH,调度单元的划分原则是:对于不同的频域子载波数,一个调度单元中有效的资源单元数量应该尽可能保持一致,同时还要保证时域长度恰好是2的整数幂。上述方法有助于在对应不同的频域子载波数的调度单元共享上行资源的情况下,降低资源的碎片率。基于上述原则,对应不同子载波数的调度单元的大小,如表1所示。对于承载HARQ-ACK的NPUSCH,只有单载波调度被支持,最

终用于HARQ-ACK调度的调度单元大小确定为2 ms(即2个子帧)^[3-4]。

4 NB-IoT 非连续下行调度

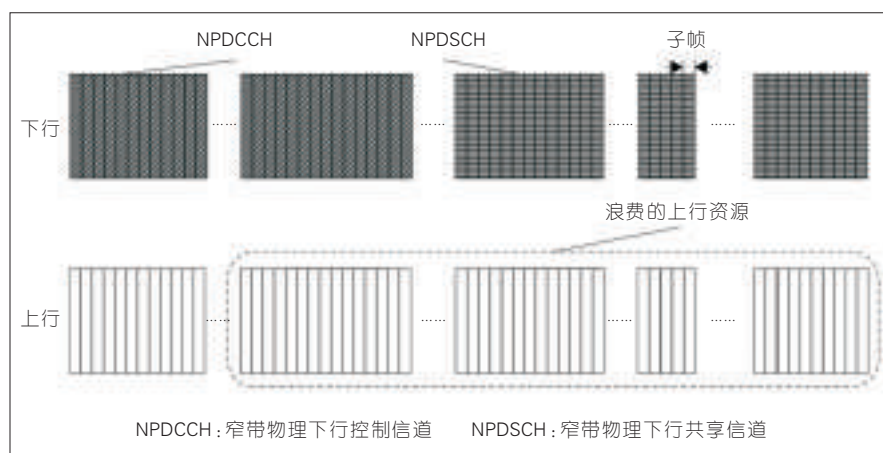
为达到NB-IoT系统最大20 dB的覆盖提升需求,对于带内操作,NPDCCH需持续时间为200~350 ms的重复传输,NPDSCH需要持续时间为1 200~1 900 ms的重复传输。对于独立操作,NPDCCH需要持续时间为20~100 ms的重复传输,NPDSCH需持续时间为200~300 ms的重复传输。在覆盖增强场景下,如果资源被NPDCCH或NPDSCH连续占用,将会导致以下两个问题:阻塞与其他终端设备有关的下行授权和下行业务的传输;阻塞与其他终端设备有关的上行授权的传输。尽管NB-IoT系统支持多载波的操作,但由于多载波操作是半静态配置的,上述阻塞问题并不能被有效地解决。此外,对于不支持多载波操作的场景,上述阻塞问题将更为突出。如图2所示,如果下行资源被分配给一个增强覆盖类型终端设备的NPDCCH和其调度的NPDSCH连续占用,此时在上述载波上的其他终端设备,尤其是非增强覆盖类型终端设备的下行业务传输会被阻塞,并且其他终端设备的上行授权也会被阻塞,进而导致上行资源的浪费^[5]。

为解决上述阻塞问题,将使用较大重复传输次数的NPDCCH和NPDSCH调度至非连续的子帧上是一个有效的解决方案。具体地,对于NB-IoT系统,实现上述的下行非连续资源调度的方式主要包括以下几种:

(1)直接以终端专有方式在一次重复传输中引入下行传输间隙^[6];

▼ 表1 不同子载波数的调度单元的大小

子载波数	调度单元大小/ms
12	1
6	2
3	4
1	8



▲图2 下行资源被NPDCCH和NPDSCH连续占用

(2)直接以小区专有方式定义下行传输间隙的周期和大小;

(3)通过预先设置调度窗的方式实现非连续调度^[5]。调度窗类似于将LTE系统带宽的频域调度范围转换到时域上进行调度。较大重复次数的NPDCCH和NPDSCH只占用周期性出现的调度窗内的部分子帧,这使得其他正常覆盖终端设备的NPDCCH和NPDSCH能够在调度窗范围内的其他子帧资源中被调度,如图3中所示。

如果非连续调度(或下行传输间隙)不具有统一或小区专有的周期性,将对需要连续调度的信道数据(尤其是在正常覆盖或中等覆盖条件

下)造成严重的冲突影响,所以非连续调度适合以小区专有的方式定义周期。另外,再考虑到引入调度窗的标准化复杂度,基于小区专有方式定义传输间隙的周期和大小以实现非连续的下行调度是相对更优的解决方案。需要说明的是,非连续的下行调度只适用于处于极端覆盖的终端设备,即仅针对配置的NPDCCH最大重复次数大于等于阈值的NPDCCH和NPDSCH应用;对于处于正常覆盖和中等覆盖的终端设备,作为传输间隙的子帧仍然被视为有效子帧。上述方法有效阻止了极端或增强覆盖终端设备的下行传输对正常和中等覆盖终端设备的上下行信道传输的

阻塞。

为尽量保证使用较大重复次数的传输,可以配置出适合的间隙取值留给较小重复次数下行信道的连续传输,传输间隙的周期和大小的取值从下行信道的重复次数集合中^[7]选取。如图4所示,传输间隙的周期被配置为256 ms,传输间隙的大小被配置为周期大小的1/4(即64 ms)。

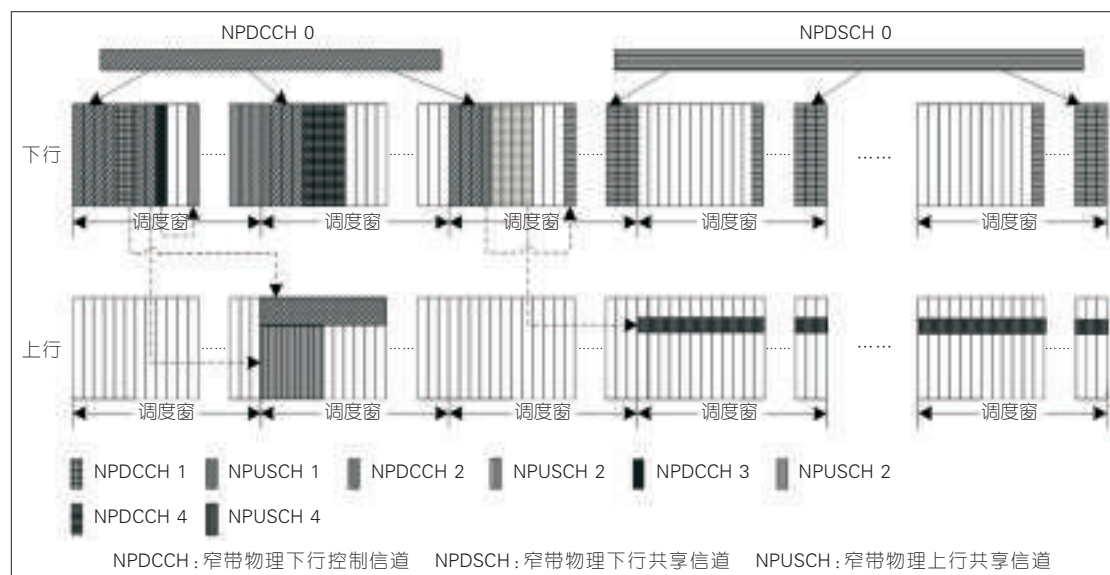
5 NB-IoT 调度定时

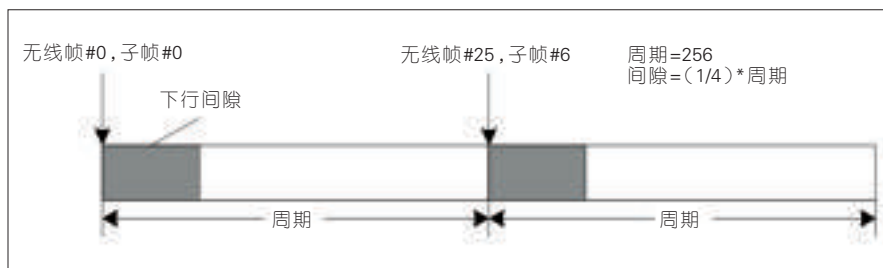
5.1 下行调度定时

5.1.1 NPDCCH与NPDSCH定时

由于NPDCCH与NPDSCH是以TDM方式复用且位于不同的子帧中,与LTE系统中物理层下行控制信道(PDCCH)调度在同一子帧的物理下行共享信道(PDSCH)不同,NPDCCH需跨子帧调度NPDSCH。跨子帧调度包括采用固定调度定时和采用动态调度定时的跨子帧调度^[8]。考虑到在NB-IoT系统中的1个子帧最多传输两个NPDCCH,而NPDSCH最小占用1个子帧,采用固定调度定时可能导致控制资源的浪费或资源阻塞,采用动态调度定时的跨子帧调度是相对更优的解决方案。其次,在方案确定的

图3
采用NPDCCH和NPDSCH的非连续下行调度





▲ 图4 下行传输间隙配置示例

过程中,关于调度定时间隔的定义还存在两个选项:调度定时间隔是从 NPDCCH 传输结束至 NPDSCH 传输的开始;调度定时间隔是从 NPDCCH 对应搜索空间的开始至 NPDSCH 传输的开始。由于后者的定义可能导致部分指示状态无效及一些定时间隔取值可能不适用于 NPDSCH 重复传输,最终基于前者的调度定时间隔是相对更优的解决方案。

关于如何指示调度定时间隔,存在3种方式:

(1)独立指示调度定时间隔取值,以子帧为单位;

(2)基于调度窗的定义,使调度定时间隔以及资源分配联合编码指示^[9];

(3)指示调度定时间隔取值为下行控制信息(DCI)的重复次数的相关倍数。

由于调度窗的定义没有被标准引入,最终采用方式1与方式3的折中将是相对更优的解决方案。例如针对配置给终端设备的 NPDCCH 最大重复次数是否大于门限值,分别给出两组调度定时间隔取值,从而同时兼顾正常和增强覆盖的调度定时。

5.1.2 NPDSCH 与 HARQ-ACK 定时

在 NPDSCH 与 HARQ-ACK 之间的定时是通过 DCI 指示的时域偏移确定。对于不同的子载波间隔, HARQ-ACK 传输对应的调度单元大小不同,所以针对两种不同子载波间隔的时域偏移指示信令^[10]应该被独立设计。其次,关于时域偏移的参考点包括两种方案:

(1)设置固定的时域偏移参考点周期,终端设备根据 NPDSCH 传输的结束位置加固定延迟确定第1个时域偏移参考点。如图5(a)所示,设想固定延迟为12 ms,时域偏移参考点的周期为8 ms,时域偏移的取值为0,当 NPDSCH-1 的结束子帧为第1个无线帧子帧#9时,对应的 HARQ-ACK 传输开始于第3个无线帧子帧#4。

(2)时域偏移参考点固定为 NPDSCH 传输结束位置^[11]加固定延迟。如图5(b)所示,设想固定延迟为12 ms,时域偏移取值为0,当 NPDSCH-1 结束子帧为第1个无线帧子帧#9时,对应的 HARQ-ACK 传输开始于第3个无线帧子帧#2。

其中,对于方案1,多个 HARQ-ACK 传输的起始位置相同,从而资源碎片相对较少;但是它的反馈时延相

对较大;对于方案2,虽然反馈时延相对较小,但是它可能导致更多的占用所有子载波的 NPUSCH 无法被调度(尤其是在子载波间隔为15 kHz 的场景下)。考虑到对于方案2,通过采用恰当的时域偏移取值也可以实现多个 HARQ-ACK 资源的对齐,从而能够达到和方案1同样的效果,所以方案2是相对更优的解决方案。

5.2 上行调度定时

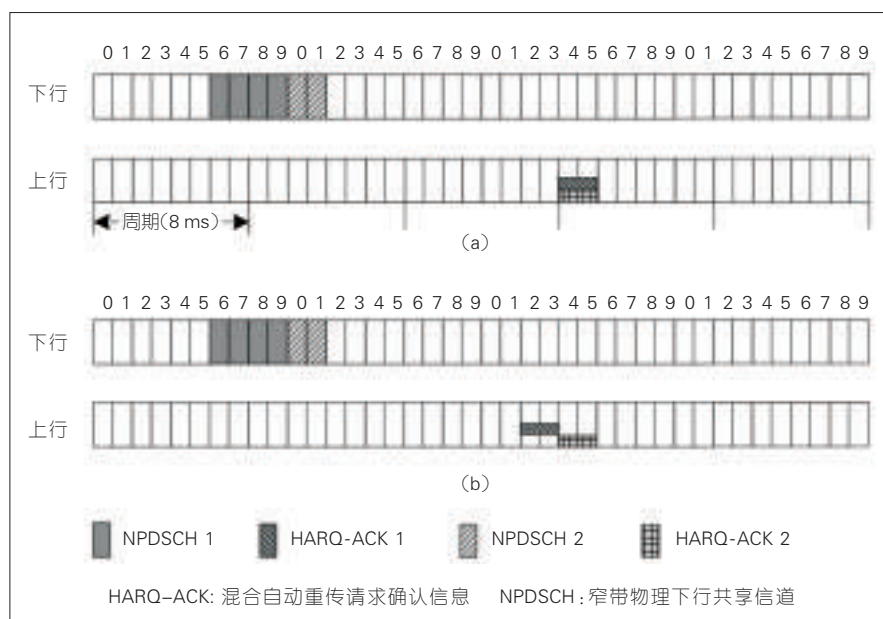
由于 NB-IoT 系统上行数据传输的特点,所以 NB-IoT 的上行支持异步 HARQ。由于不支持类似于 LTE 物理混合自动重传指示信道(PHICH)的传输,所以上行调度定时主要考虑的是 NPDCCH 和 NPUSCH 之间的定时。可供选择的方案和下行调度定时相同,最终优选的解决方案也与下行相同,但上行只定义了一组调度定时间隔取值。

6 NB-IoT 资源分配

6.1 下行资源分配

6.1.1 NPDSCH 的资源分配

由于 NPDSCH 的调度单元为1个



▲ 图5 采用固定周期的和固定的时域偏移参考点示例

子帧,所以不需要支持频域的资源分配,在时域上需要支持多个调度单元或子帧的分配以适配不同的传输块大小(TBS),并且在时域上还需要指示重复传输次数以累积接收能量从而实现覆盖增强。也就是说,NPDSCH资源分配的配置仅由子帧数量(N_{sf})和重复传输次数(N_{rep})这两个参数构成即可,而此时NPDSCH从根据下行调度定时确定的起始位置开始以 N_{sf} 个子帧为单位重复地传输 N_{rep} 次。

6.1.2 HARQ-ACK的资源分配

由于对应的调度单元大小和数目固定,所以资源分配只需要指示频域位置。此外,为累积接收能量从而实现覆盖增强,还需要指示重复传输次数。频域资源的分配包括基准子载波的选择和子载波偏移。基准子载波的分配主要包括以下3种候选方案^[11-12]:

- (1) 隐式获得,例如通过NPDCCH所在搜索空间的位置隐含获得HARQ-ACK对应的基准子载波;
- (2) 信令指示,例如通过DCI中的信令指示基准子载波;
- (3) 将一个子载波固定用作基准子载波。

由于通过方案1获得的基准子载波不是固定的,从而增加了对NPUSCH的调度约束且导致资源分块问题严重,同时方案2需要额外的控制信令开销,所以从减少控制开销和复杂度的角度,方案3是相对更优的解决方案。例如,当子载波间隔为15 kHz时,子载波#0固定用作基准子载波;当子载波间隔为3.75 kHz时,子载波#45固定用作基准子载波,上述的方法可有效避免在3.75 kHz和15 kHz子载波间隔的HARQ-ACK之间的相互阻塞。

另外,类似于HARQ-ACK的时域偏移指示,由于对于不同的子载波间隔,HARQ-ACK传输对应的调度单元大小是不同的,独立设计两种不同子

载波间隔的子载波偏移指示信令是可行的。

6.2 上行资源分配

上行资源分配的设计主要包括两种方案:

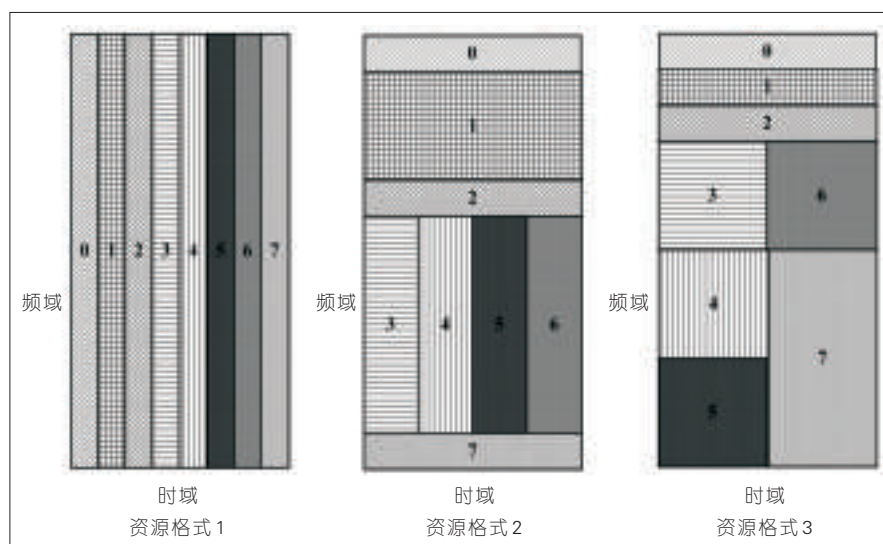
(1) 预定义资源格式^[13]。如图6所示,预先提供3种资源格式,通过高层信令配置使用哪一种资源格式,再通过DCI指示子块索引即可。采用上述方案可以有效地降低资源分配的开销,但是由于资源格式固定,调度灵活性受到限制并且资源浪费严重。

(2) 动态指示^[14]。当子载波间隔为3.75 kHz时,由于只支持单载波传输,所以只需要指示子载波位置即可(需要指示的子载波位置为48,所以资源指示域为6 bit)。当子载波间隔为15 kHz时,同时支持单载波和多载波传输,所以需要指示子载波数和起

始位置。一种直接的方案就是独立指示,因为子载波数有4种,而起始位置有12种,所以需要2 bit和4 bit分别指示子载波数和起始位置,即频域资源分配需要6 bit;另一种是采用联合指示的方式,如表2中所示,只需要5 bit就可以指示子载波数和起始位置。由此可见,联合指示方式的开销小于独立指示的开销,所以联合指示是相对更优的解决方案。此时,调度单元的个数(I_{RU})和重复传输次数(I_{Rep})仍然是通过DCI中的对应比特域指示。

7 结束语

在无线接入网(RAN)#72全会上3GPP批准了“Rel-14 NB-IoT W1: Enhancement of NB-IoT”立项,计划在2017年9月之前完成增强版本NB-IoT的标准化。其中,在Rel-14中NB-IoT的增强仍然属于在现有频谱



▲ 图6 预先定义的3种资源格式示例

▼ 表2 子载波数和起始位置的联合指示

索引	子载波数(x)及起始位置(m)
00000~01011	$x=1, m=1\sim12$
01110~10001	$x=3, m=1\sim4$
10010~10011	$x=6, m=1\sim2$
10100	$x=12, m=1$
10101~11111	保留

上 LTE 演进的范畴。与此同时, 3GPP 从 RAN1#84 bis 工作组会议上开始讨论在 5G 新无线(NR)范畴内命名为海量机器类型通信(mMTC)的进一步的 MTC 演进, 主要的演进方向^[15]包括更大的连接密度、更低的终端功耗和覆盖增强。为支持超大的连接密度并考虑到突发性的上行业务特性, 在未来 mMTC 的演进中, 新的调度(例如基于免同步或免调度或组调度机制的传输)并结合新的资源管理方式(例如基于码分复用的资源管理)可能会被采用, 这也是后续需要我们重点研究的内容。

参考文献

- [1] Huawei. Revised Work Item: Narrowband IoT (NB-IoT): 3GPP RP-152284[S]. 3GPP, 2015
[2] ZTE. Multiplexing of Downlink Channels for

- NB-IoT: 3GPP R1-160045[S]. 3GPP, 2016
[3] ZTE. Uplink data channel with 15 kHz subcarrier spacing for NB-IOT: 3GPP R1-160053[S]. 3GPP, 2016
[4] ZTE. Uplink Data Channel with 3.75 kHz Subcarrier Spacing for NB-IOT: 3GPP R1-160054[S]. 3GPP, 2016
[5] ZTE. Scheduling of DL and UL data channels for NB-IoT: 3GPP R1-160046[S]. 3GPP, 2016
[6] ZTE. Remaining Issues on NPDCCH Design of NB-IoT: 3GPP R1-161859[S]. 3GPP, 2016
[7] ZTE. Remaining Issues on NPDCCH Design of NB-IoT: 3GPP R1-162757[S]. 3GPP, 2016
[8] Ericsson. NB-IoT - NPDCCH Design: 3GPP R1-160074[S]. 3GPP, 2016
[9] ZTE. Scheduling of DL and UL Data Channels for NB-IoT: 3GPP R1-160469[S]. 3GPP, 2016
[10] Huawei. UCI for NB-IoT: 3GPP R1-162628 [S]. 3GPP, 2016
[11] ZTE. Remaining issues on UCI transmission for NB-IoT: 3GPP R1-162763[S]. 3GPP, 2016
[12] Ericsson. NB-IoT - Uplink Control Information: 3GPP R1-161875[S]. 3GPP, 2016
[13] Ericsson. NB-IoT - NB-PUSCH design: 3GPP R1-160271[S]. 3GPP, 2016
[14] ZTE. Resource Allocation of Uplink Data Channel for NB-IoT: 3GPP R1-161868[S]. 3GPP, 2016
[15] Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies (Release 14): 3GPP TR 38.913 V0.3.0[S]. 3GPP, 2016

←上接第 9 页

容量, 支持更多的终端同时发起接入请求, 但是由于频域上相邻的 PRACH 信道之间无法保证正交性, 因此需要配置保护带宽, 进而严重影响 PRACH 信道的使用。在后续的接入技术研究中, 考虑通过设计一种窄带滤波器, 将其作用到第 1 种前导结构上, 进而降低这种前导结构对于相邻子载波的干扰, 达到降低配置保护带宽的目的。与此同时, 再结合这种前导结构的码分复用特性, 就可以提高 NB-IoT 系统的 PRACH 容量, 满足 NB-IoT 系统未来发展接入的需求。

参考文献

- [1] Study on Provision of Low-Cost Machine-Type Communications (MTC) User Equipments (UEs) Based on LTE (Release 12): 3GPP TR36.888[S]. 3GPP, 2013
[2] Study on Enhancements to Machine Type Communications (MTC) and Other Mobile Data Applications Radio Access Network (RAN) Aspects (Release 12): 3GPP TR37.869 [S]. 3GPP, 2013
[3] Cellular System Support for Ultra-Low Complexity and Low Throughput Internet of Things (CIoT) (Release 13): 3GPP TR45.820

- [S]. 3GPP, 2015
[4] 戴国华, 余骏华. NB-IoT 的产生背景、标准发展以及特性和业务研究[J]. 移动通信, 2016, 40(07): 31-36
[5] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation: 3GPP TS36.211 V13.2.0[S]. 3GPP, 2007
[6] CHU D C. Polyphase Codes with Good Periodic Correlation Properties[J]. IEEE Transactions on, 1972, 18(4): 531-532
[7] FRANK R L, ZADOF S A. Phase Shift Pulse Codes with Good Periodic Correlation Properties[J]. IRE Transactions on Information Theory, 1961, 8(6): 381-382
[8] ZTE. Physical Random Access Channel Design of NB-IoT[S]. R1-156628. 3GPP, 2015
[9] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) Radio Transmission and Reception[S]. TS36.104 V13.5.0. 3GPP, 2016
[10] ZTE. NB-IoT PRACH Design: R1-160056 [S]. 3GPP, 2016
[11] ZTE. Single-tone PRACH for NB-IoT: R1-160482[S]. 3GPP, 2016
[12] ZTE. Remaining issues on single tone PRACH for NB-IoT: R1-161872[S]. 3GPP, 2016
[13] ZTE. Remaining issues on PRACH for NB-IoT: R1-162764[S]. 3GPP, 2016
[14] Qualcomm Incorporated. New Work Item: Narrowband IOT (NB-IOT): RP-151621 RAN #69 [S]. 3GPP, 2015
[15] Final_Minutes_report_RAN1#84_V200[S]. 3GPP, 2016
[16] Final_Minutes_report_RAN1#84bis_V100[S]. 3GPP, 2016

作者简介



10 余篇, 国际专利 5 篇。

邱刚, 中兴通讯股份有限公司无线研究院副院长; 主要从事 LTE (TDD/FDD)、Pre 5G 及 5G 项目版本交付工作; 曾担任国家科技重大专项、“863”国家重大专项等项目主要负责人; 曾获国家科学技术进步奖二等奖 1 项, 国家科学技术进步奖特等奖 1 项; 已发表中国专利



陈光明, 中兴通讯股份有限公司技术预研工程师; 主要从事 4G/5G 接入网物理层技术和标准化相关研究, 研究方向包括适用于蜂窝物联网系统的上下行控制信道和资源调度; 已申请专利 20 余篇, 向 3GPP 组织递交提案 30 余篇。



戴博, 中兴通讯股份有限公司标准预研工程师; 主要从事 MTC 和 5G 标准预研工作, 参与 LTE R8/9/10/11/12/13/14 标准制订。

作者简介



刘锐, 中兴通讯股份有限公司技术预研高级系统工程师; 主要从事 4G、5G 标准预研工作, 重点参与了 3GPP LTE、MTC 以及 NB-IoT 等标准协议的制订, 尤其侧重于接入技术的研究; 已向 3GPP 标准组织提交提案 30 多篇, 申请发明专利 40 余项, 发表论文 4 篇。



戴博, 中兴通讯股份有限公司资深标准预研工程师; 参与 LTE R8/9/10/11/12/13/14 标准制订, 现从事 MTC 和 5G 标准预研工作。



杨维维, 中兴通讯股份有限公司技术预研高级工程师; 主要从事 4G、5G 标准预研工作, 主要参与 3GPP LTE 和 NB-IoT 等标准协议的制订, 尤其侧重于上行数据信息和上行控制信息相关的技术研究; 已向 3GPP 标准组织提交提案 40 余篇。

NB-IoT 运营策略

Operation Strategies of NB-IoT

贾雪琴/JIA Xueqin

张云勇/ZHANG Yunyong

(中国联通研究院, 北京 100032)

(China Unicom Research Institute, Beijing 100032, China)

1 物联网业务及其面临的挑战

1.1 总体情况

当前, 全球电信运营商普遍面临市场饱和、增长乏力等问题。人与人通信的移动终端数量增长, 已看到天花板。物联网业务增长加快, 成为运营商新的增长点。根据运营商统计数据, 2015年中国市场的移动机器到机器(M2M)连接数已过亿。

在物联网产业环境下, 面向低功耗、广覆盖的低功耗广域技术(LPWA)应用前景广阔, 其巨大的市场潜力及低成本芯片、模组优势吸引运营商积极投入^[1-3]。

1.2 适用LPWA的物联网业务

物联网涉及的业务范围非常广泛, 比如工业物联网、智慧城市、车联网、可穿戴、智慧家庭等。其中, 数据传输具有小数据包、频发、时延不敏感、连接容量大等特点的物联网业务比较适合采用LPWA。根据全球移动

收稿时间: 2016-11-20
网络出版时间: 2017-01-04

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0021-004

摘要: 认为低功耗物联网(IoT)业务所面临的挑战主要包括: 在网络和终端方面, 模组成本高, 耗电量大, 网络覆盖不理想; 在运营方面, 增量不增收, 业务碎片化。窄带物联网(NB-IoT)能有效解决当前低功耗业务所面临的问题, 相比LoRa等非授权频谱低功耗广域物联网(LPWAN)技术, 在移动性、可靠性和安全性等方面具有优势, 更适合规模化运营。提出了运营商的NB-IoT运营策略, 包括迅速部署NB-IoT网络, 突破网络连接服务, 聚焦重点行业, 加强产业合作。认为NB将会成为LPWA的主流技术。

关键词: 低功耗物联网; 窄带物联网; 运营策略

Abstract: Main challenges faced by low power enabled Internet of things (IoT) services include two aspects: high module cost, high power consumption, bad network coverage for network and terminal; the increasing connectivity (while the income does not increase), and the fragmentation of services in operation. Comparing with other un-authorized spectrum low power wide area (LPWAN), e.g., LoRa, narrowband IoT (NB-IoT) has many advantages in terms of mobility, reliability and security, so it is more suitable for large scale operation. NB-IoT operation strategies are proposed in this paper, including quickly deploying NB-IoT network, expanding the network connection services to upper services, focusing on key industries and strengthening industrial cooperation. NB will become the main technology of LPWA.

Keywords: low power enabled IoT; NB-IoT; operation strategies

通信系统协会(GSMA)的研究, 有7种物联网业务的数据传输满足上述特点, 见表1。

1.3 物联网业务对网络和终端的挑战

物联网业务对网络和终端提出了很大挑战, 但有些性能要求是当前已广泛商用的2G/3G/4G、无线局域网

(WLAN)及其他无线技术所无法满足的。

• 海量终端接入: 城区每平方公里终端数为30万个;

• 覆盖范围广: 要求区域覆盖达到99.99%, 尤其是室内和上行覆盖, 相对于现有网络覆盖则提升了20 dB以上;

▼表1 适用LPWA的业务目录

业务分类	公共事业	智慧城市	智慧建筑	后勤保障	工业应用	农业与环境	消费与医疗
典型应用	<ul style="list-style-type: none"> 表类: 智能水表、气表 给水系统监测控制 白色家电 	<ul style="list-style-type: none"> 白色家电 智能停车 智能灯杆 智能垃圾桶 	<ul style="list-style-type: none"> 报警系统 HVAC 接入控制 	<ul style="list-style-type: none"> 工业资产、货柜追踪 	<ul style="list-style-type: none"> 工业设备监测控制、进程等 能源基础设施监测控制 自动贩卖机 	<ul style="list-style-type: none"> 农业应用、家畜监测控制 环境监测控制 	<ul style="list-style-type: none"> 智能自行车 生活辅助 远程临床跟踪 穿戴设备 大型家用电器 VIP追踪
	HVAC: 采暖通风与空调			LPWA: 低功耗广域技术			

- 终端成本低:芯片价格为1~2美元,终端成本小于5美元;

- 终端功耗超低:电池可以支持终端模块工作10年;

- 时延要求差异大:汽车自动驾驶、远程手术等业务端到端时延要求为1 ms,而远程抄表、水管网线监测等业务对端到端时延要求不高。

1.4 物联网业务对运营的挑战

(1) 低功耗业务增量不增收

当LPWA得到广泛部署后,连接数会大幅提升。据预测,2020年基于蜂窝网络的连接数将达到30亿。

以2020年的预测数据为基础,根据各类物联网终端对于网络传输速率的不同要求,我们一般认为:通过低功耗广域物联网(LPWAN)接入的低速率连接数接近70%;通过增强机器类型通信(eMTC)技术接入的中速率连接数约超过20%;通过3G/4G接入的高速率连接数不足10%。形成由低速到高速的金字塔形状,如图1左侧所示^[4]。

然而,物联网业务对运营商连接数的提升,并不能为运营商收入带来相应体量的增长。由于窄带物联网(NB-IoT)连接产生的数据流量极少,连接成本的敏感性高,大部分NB-IoT连接的每月每用户平均收入(ARPU)值仅为1~2元甚至更低,故带来的连接收入并不高。

由3G/4G接入的车联网,视频监控控制等高带宽、低时延业务的平均ARPU值较高,可达到NB-IoT业务ARPU值的20~50倍,是运营商流量经营的主体。

以此推算,虽然通过NB-IoT的接入的终端数量占蜂窝连接70%,但未来连接收入的主体仍来自于占10%的高带宽终端,即70%终端产生10%连接收入,10%终端产生70%连接收入,形成一个倒金字塔的形状,如图1右侧所示。

根据图1所示的模型,可以预测:2020年NB-IoT能为运营商带来的年收入不足500亿元。500亿元的年收入蛋糕放在全球的运营商面前实在是太小了。因为仅中国的三大运营商2015年的营业收入总和就已经超过了1万亿元人民币。

以此看来,庞大的NB-IoT网络连接并不会给运营商带来多大收入增量。虽然在移动互联网为流量主导的时期,运营商可以通过智能管道,采用精细化流量经营来实现更多增值。而在物联网时期,仅仅靠提供连接管道运营商会更快速地陷入增量不增收的泥潭。

(2) 业务碎片化

“碎片化”是物联网的天生属性。碎片化的天性是源于物联网需要与各行各业融合的特点。

运营商传统的业务产品都是易于标准化,易于复制,并适合大规模推广的。比如语音、短信、专线、彩信等,全国的客户经理经过培训都很容易掌握,因为这些产品的配置、维护都是标准化和程式化的。

而在物联网中,面对的行业非常多,需求差异非常大,对组网和终端/模组的定制需求非常旺盛。比如,车联网业务对网络和终端/模组的需求是时延敏感、传输高可靠;而抄表业

务,对网络和终端/模组的需求是时延不敏感、低功耗、低成本。

由于业务需求的碎片化,技术方案必然多样,所以出现了多个物联网标准化组织、多种物联网技术标准相互补充和竞争的情况。

2 NB-IoT 特点及产业链现状

NB-IoT是第3代合作伙伴计划(3GPP)针对低功耗广域物联网业务推出的一种新型窄带蜂窝无线接入技术标准^[5-7],其第1个标准版本于2016年6月份正式冻结,预计2017年会出现大规模商用。

作为低功耗广域物联网无线接入技术,NB-IoT具有广覆盖、大连接、低功耗、低成本4个方面的优势。

- 广覆盖:相比传统全球移动通信系统(GSM)网络,NB-IoT可以提供20 dB的覆盖增益,链路预算达到-164 dB;

- 大连接:NB-IoT每扇区可以支持5~10万个设备连接;

- 低功耗:NB-IoT的物联网终端,根据不同的业务模型,最长待机时间可达10年;

- 低成本:预计NB-IoT模组成本单价在5美元左右,相比3G/4G模组有显著的成本优势。

相比LoRa[®]等工作于免授权频谱的低功耗广域无线接入技术,NB-IoT工作于授权频谱并且基于蜂窝技术设计,天然可以为用户提供更加安全、更加可靠的通信服务。我们给出了NB-IoT和LoRa的一些简单的技术对比。

- 功耗:NB-IoT和LoRa终端设备理想状态下均可实现10年左右的电池寿命,LoRa在发射功率方面更低,NB-IoT则具有更好的节能管理和深度睡眠功能,支持非连续接收延长(eDRX)和节电模式(PSM)。

- 成本:LoRa相比NB-IoT起步较早,目前模组成本略低于NB-IoT,后期预计两者成本相差不大,取决于

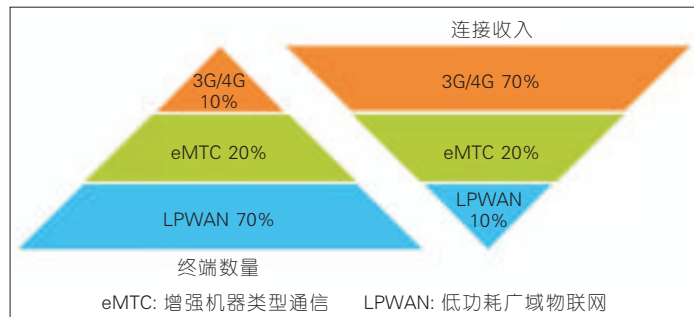


图1
网络连接和连接
收入模型

出货量。

- 安全: NB-IoT 在数据传输和设备认证方面均可以提供电信级的安全, LoRa 则是通过多层加密的方式提供数据安全支持。

- 可靠性: NB-IoT 基于授权频谱技术, 并保证丢包重传, 通信体验稳定, 而 LoRa 则基于免授权频谱, 会存在干扰问题, 导致丢包。

- 覆盖: NB-IoT 相比 LoRa 具有更高的链路预算和更大的发射功率, 虽然频谱上不如 LoRa 频率低, 但是具有更好的实际覆盖能力。

- 标准化: NB-IoT 和 LoRa 背后均有标准组织支持, 标准化程度较高。相比 LoRa 联盟, 3GPP 在无线通信技术方面具有更多的合作厂商且明确支持 NB-IoT 未来的演进增强, 因此 NB-IoT 在未来标准化方面的技术支持力度会好于 LoRa。

由于 NB-IoT 背后受到 3GPP 的力挺, 加上已经有部分运营商宣布了 NB-IoT 的商用计划, 虽然目前 NB-IoT 还未正式大规模商用, 但是在产业链方面已经获得众多厂商的明确支持。

从运营商对 NB-IoT 的响应和投入看, NB-IoT 标准得到了许多主流运营商的响应, 很多全球顶尖运营商都已围绕 NB-IoT 发布了各自的发展方略, 展开实验局。2016 年全球 50 家主流运营商中, 有一半支持 NB-IoT。在中国, 福建联通于 2016 年 11 月启动了中国首个窄带实际业务的标准 NB-IoT 商用网络建设^[9]。

随着 2016 年 6 月份 NB-IoT 标准确定发布, 已经有一大批测试网络出现, 而且商用网络也会出现, 2017 年将进入规模部署阶段。

除行业应用外, 据悉, 消费类行业如白色家电厂家也开始采用 NB-IoT 芯片进行产品开发。

可以预见, NB-IoT 生态正在以一种势不可挡的态势成型。作为应对物联网新时代诸多挑战的一大利器, NB-IoT 将引发整个物联网的革命性

变化, 成就万物互联的新时代, 为各行各业带来巨大机遇。

3 NB-IoT 运营策略

3.1 迅速部署 NB-IoT 网络

虽然 LPWA 在连接层面能为运营商带来的收入增益非常有限, 但是它却具有撬动众多亿万美元垂直行业市场的能力。未来的蓝海市场是产业链各方追逐的方向。

NB-IoT 标准于 2016 年年中才冻结。在其冻结之前, 同属于 LPWA 技术的 LoRa 已经在某些国家建了全国性网络并已开始运营(如荷兰电信^[10]和韩国 SKT^[11])。这在产业链生态培育上, 后发的 NB 面临了一些压力。

随着物联网的发展, 因大量对功耗敏感的物联网终端设备和业务的存在, 市场对 LPWA 的需求非常迫切。因非授权 LPWA 具有部署灵活, 建网快速等天然优点, 在运营商未商用 NB 之前, 某些市场会选择非授权频段技术。

由于绝大部分物联网业务属于企业业务, 这类业务的特点是粘性强, 示范性强, 并且容易被同类业务参考和大规模复制。因此, 从 NB 标准冻结到商用的时间窗应该是越小越好。

迅速部署 NB 是电信运营商必须做出的选择。

3.2 从网络连接扩展到价值量更高的业务

传统上, 运营商的核心业务主要包括语音、短信和数据。围绕着这 3 类业务, 运营商扮演着管道提供商的角色。

咨询公司的预测数据^[12]显示: 网络连接的收入在整个物联网的收入中将只占很小一部分, 大约在 15% 以下。如何破解运营商的物联网业务收入远远低于 NB 建网成本困局? 答案是必须提供网络连接之外的业务和能力。

如图 2 所示, 以德国电信为例, 其通过自建物联网连接网络、连接管理平台, 并与 Culmulocity 合作建立设备管理平台、应用使能平台以及可视化和分析平台, 在可视化和分析平台的基础上来提供集成和咨询业务。通过这种布局, 德国电信的收入来源从价值量最低的网络连接扩大到了价值量较高的集成和咨询服务。

所以, 运营商应迅速将物联网设备管理平台作为其核心能力建设, 并基于设备管理平台, 为各类第三方应用管理平台提供基础应用程序接口(API)、软件开发工具包(SDK)能力, 从“管”的提供者向“云”的提供者延伸; 另一方面, 面向不同行业、不同应用场景提供定制化物联网卡、通信模组, 也向着终端领域延伸。从智能管道向“云-管-端”综合方案转变, 成为运营商在物联网业务中的主要方向, 营收可以向网络的上下游延伸。

3.3 区分重点行业和非重点行业

针对物联网碎片化的天性和需要与行业结合的特点, 运营商既需要走进行业, 又必须把握好进入的深度和力度, 以平衡成本支出与收益。面对众多的垂直行业, 客观现实要求运营商有区别地对待垂直行业及其下的细分市场, 即识别出重点垂直行业和非重点垂直行业。

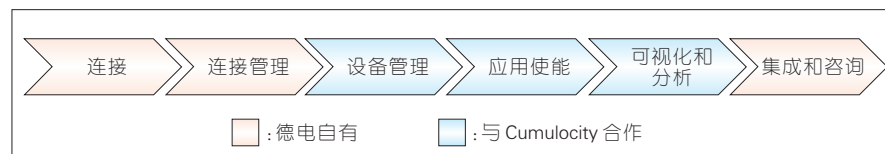
根据中国 NB-IoT 产业联盟的分析结果^[13], NB-IoT 技术可适用于八大垂直行业, 见表 2。

从表 2 中, 可以选择出 NB 的重点行业。对重点垂直行业, 可按其具体需求为其提供能力增强的物联网模组、终端、网络配置、平台和应用使能, 具体见图 3 中左侧的两个蓝色圆角方框。

对非重点垂直行业, 可利用通用平台为其提供网络连接之上的服务, 见图 3 右上方的两个蓝色圆角方框。

3.4 加强产业合作

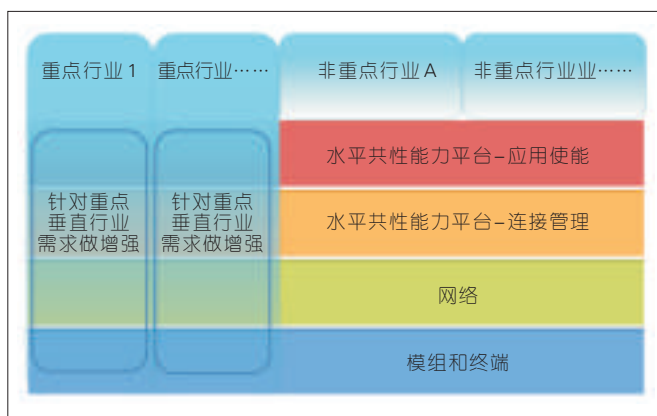
积极加入产业联盟、标准化组



▲图2 德国电信的物联网能力布局

▼表2 适用NB-IoT的八大行业

业务分类	公共事业	智慧城市	消费电子	设备管理	智能建筑	智慧物流	农业与环境	其他应用
典型应用	<ul style="list-style-type: none"> 智能水表 智慧水务 智能气表 智能热表 	<ul style="list-style-type: none"> 智能停车 智能路灯 智能垃圾箱 智能窨井盖 	<ul style="list-style-type: none"> 独立可穿戴设备 智能自行车 慢病管理系统 老人小孩宠物管理 	<ul style="list-style-type: none"> 设备状态监测控制 白色家电管理 大型公共基础设施 管道管廊安全监测控制 	<ul style="list-style-type: none"> 环境报警系统 中央空调监管 电梯物联网 人防空间覆盖 	<ul style="list-style-type: none"> 冷链物流 集装箱跟踪 固定资产跟踪 金融资产跟踪 	<ul style="list-style-type: none"> 农业物联网 畜牧业养殖 空气实时监测控制 水质实时监测控制 	<ul style="list-style-type: none"> 移动支付 智慧社区 智能家居 文物保护



▲图3 重点行业和非重点行业的能力框架

织,对垂直行业做科学分析,研究行业特点和市场规模,找准具体行业,朝着做深、做细的方向做好布局。同时识别出行业领军企业,建立强强合作关系,以弥补运营商的行业知识的短板。

4 结束语

LPWA技术作为推动物联网发展的基础已经可以商用。面对物联网和LPWA,运营商的机遇巨大,但挑战更大,比如:如何采用授权频段的NB技术?如何利用非授权频段的其它LPWA?如何选择重点垂直行业及其细分市场?如何建立基础能力以实现从卖连接到卖服务的价值扩充?如何与产业合作以建立良好的生态等都是正在探索的问题。

虽然还有很多未解决的问题,但

在市场和运营商的双重推动下,在未来的几年时间里,NB将会成为LPWA的主流技术。

参考文献

- [1] 朱洪波,杨龙祥. 物联网技术进展与应用[J]. 南京邮电大学学报, 2011, 31(1):1-9. DOI: 10.14132/j.cnki.1673-5439.2011.01.015
- [2] 严炎,陶志强. 运营商应对物联网业务发展的网络策略浅析[J]. 移动通信, 2012(5):71-73
- [3] 王志勤. 4.5G主要研究方向及产业发展前景[J]. 移动通信, 2015(17):19-19
- [4] 物联网智库. 运营商级NB-IoT网络运营探讨[EB/OL]. (2016-08-12)[2016-11-16]. <http://iot.ofweek.com/2016-08/ART-132209-11000-30023622.html>
- [5] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network E-UTRA and E-UTRAN Overall Description Stage 2 (Release 13): 3GPP TS 36.300 [S]. 3GPP, 2016
- [6] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network E-UTRA Services provided by the physical layer (Release 13): 3GPP TS 36.302 [S]. 3GPP, 2016
- [7] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network E-UTRA RRC Protocol

specification (Release 13) [S]. 3GPP TS 36.331, 3GPP, 2016

[8] LoRa Alliance. LoRaWAN Specification 1.0 [S]. 2016

[9] 飞象网. 福建联通打通国内首个带实际业务的标准化NB-IOT商用网络[EB/OL]. (2016-10-24)[2016-11-16]. <http://www.cctime.com/html/2016-10-24/1231665.htm>

[10] KPN. The Netherlands has first nationwide LoRa network for Internet of Things[EB/OL]. (2016-10-24)[2016-11-16]. <https://corporate.kpn.com/press/press-releases/the-netherlands-has-first-nationwide-lora-network-for-internet-of-things-.htm>

[11] China Webmaster. SK Telecom宣布提前六个月完成国家级物联网网络建设[EB/OL]. [2016-11-16]. <http://www.chinaz.com/mobile/2016/0705/547871.shtml>

[12] McKinsey. Unlocking the potential of the Internet of Things[EB/OL]. [2016-11-16]. <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>

[13] 中国NB-IoT产业联盟. NB-IoT问题清单-第三大类:NB-IoT产业链方面的系列问题.[EB/OL]. (2016-08-24)[2016-11-16]. <http://mt.sohu.com/20160824/n465694226.shtml>

作者简介



贾雪琴,中国联通研究院技术委员会专家;主要从事物联网技术研究和标准化工作,曾担任ITU-T SG20 报告人、CCSA TC11“移动互联网+健康”小组组长。



张云勇,中国联通研究院院长、技术委员会主任,北京邮电大学、四川大学兼职教授,“863”、国家重大专项和国家奖励办核心专家,中国通信学会会士,学会学术委员会会员,工信部SDN联盟副理事长,信息通信大数据联盟副理事长等;主持发布国际上第一个ITU云计算框架、SDN标准,报批发布国家、行业标准9项;获工信部ITU优秀文稿奖2次,优秀个人奖2次,获国际奖励1项,省部级奖励15项;出版中文论著19部,英文论著1部;发表学术论文70余篇,授权专利54项等。

一种基于NB-IoT节点的多蜂窝网络最优选择方法

An Optimal Selection Method of Multi-Cellular Networks Based on NB-IoT Nodes

潘甦/PAN Su

陶帅/TAO Shuai

陈宇青/CHEN Yuqing

(南京邮电大学, 江苏 南京 210003)
(Nanjing University of Posts and
Telecommunications, Nanjing 210003,
China)

随着需求的提升和技术标准的成熟, 物联网行业进入爆发期。据预测, 到2020年, 全球物联网设备将接近280亿个, 物联网市场将实现超过1.7万亿美元的营收^[1]。物联网的通信技术有很多种, 从传输距离上区分, 可以分为两类: 一类是短距离通信技术, 代表技术有 ZigBee、Wi-Fi、Bluetooth、Z-wave^[2]等, 典型的应用场景如智能家居; 另一类是广域网通信技术, 业界一般定义为低功耗广域网 (LPWAN)^[3], 典型的应用场景如交通、物流、健康医疗、零售、抄表、智慧农业和工业制造等领域。窄带物联网 (NB-IoT)^[4] 即是2015年9月在第3代合作伙伴计划 (3GPP) 标准组织中立项提出的一种新的窄带蜂窝通信 LPWAN 技术。

NB-IoT 构建于蜂窝网络, 只消耗大约180 kHz的带宽, 可直接部署于全球移动通信系统 (GSM) 网络、宽带码分多址 (WCDMA) 网络和长期演进

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0025-004

摘要: 提出了窄带物联网 (NB-IoT) 中一种基于全局收益最大的网络选择方法, 将各个切换时刻的瞬时收益的和转化为状态空间上瞬时收益的和。因此, 在各个切换时刻, 节点只需收集当前的网络状态信息就可计算出切换的目标网络, 达到全局最优。仿真结果表明, 使用本方法在业务持续时间内的全局收益要大于使用传统方法的最大瞬时收益的和。从而保证了物联网节点业务的服务质量 (QoS), 提高了网络利用率。

关键词: 物联网; 全局收益; 状态空间; 切换

Abstract: In this paper, we propose a network selection method based on the maximum global revenue for the narrowband Internet of things (NB-IoT). The sum of instantaneous revenue in each handoff decision can be transformed into the sum of instantaneous revenue over state spaces, so that in each handoff decision, only the current network status information should be collected by nodes to calculate the target network which can achieve global optimum optimization. The numerical results show that the global revenue obtained by our proposed method is greater than the sum of the maximum instantaneous revenue using the traditional method. Therefore, the proposed method guarantees the quality of service (QoS) of the IoT and improves the network utilization.

Keywords: IoT; global revenue; state space; handoff

(LTE) 网络中^[5], 以降低部署成本, 实现平滑升级。支持待机时间长, 对网络连接要求较高设备的高效连接。NB-IoT 具有广覆盖、多连接、低速率、低成本、低功耗、优架构等特点, 是一种可在全球范围内广泛应用的新兴技术。

目前, NB-IoT 的研究集中在优化部署模式, 增强覆盖, 减少网络时延和降低功耗等方面。如在文献[6]中, 作者着重描述了 NB-IoT 网络节点的上下行信道划分以及频率资源分配。在文献[7]中, 作者分析了 NB-IoT 不同模式下的节点通信性能、覆

盖范围以及功耗。文献[6-7]都是把 NB-IoT 部署在 LTE 网络中进行讨论的, 然而实际上 NB-IoT 往往是部署于 GSM 网络、WCDMA 网络和 LTE 网络组成的异构网络中。不同制式的网络有着不同的网络容量、带宽和开销, NB-IoT 节点传输不同速率的数据时切换到最适合的网络能有效减少系统开销, 提高网络效率, 这就产生了网络选择的决策问题。节点的业务类型、网络的状况以及系统表现都是影响决策的因素, 而进行决策带来的益处是网络负载的均衡和系统开销的降低。这些收益随时间改变因

收稿时间: 2016-11-17

网络出版时间: 2016-12-30

基金项目: 国家自然科学基金 (61271235)

而是瞬时收益,业务持续时间内各决策时刻瞬时收益的和称为全局收益。全局收益最大则网络选择的决策最优。文献[8-10]中分别使用了博弈论、决策树和层次分析的方法解决异构网络中的网络选择决策问题,但这些方法都着眼于决策时刻的瞬时收益而非全局收益,会出现各个决策时刻瞬时收益最大但是全局收益并非最大的情况。对于这类情况,文章中我们提出了一种基于全局收益最大的网络选择方法,将各个切换时刻的瞬时收益的和转化为状态空间上瞬时收益的和,使得NB-IoT中的物联网节点业务通信全局收益最大,从而保证了节点的业务质量,提高了网络效率。

1 基于全局收益最大的网络选择方法

NB-IoT基站侧可以直接使用现网的LTE站点和设备,带内部署模式可以利用LTE载波中任意频段的资源块传输数据,无需使用单独的频带。文章中,我们提出的全局收益最大的网络选择方法正是基于NB-IoT节点可以通过2G/3G/4G网络的频带来传送业务信息这一特点,实现节点根据不同速率业务来切换不同的传输网络,从而达到降低系统开销的目的。接下来我们对基于全局收益最大的网络选择方法进行讨论分析。

1.1 瞬时收益和全局收益

我们讨论的是由GSM网络、WCDMA网络、LTE网络构成的异构网络中,物联网节点两类基本的通信业务:极低速率业务(如上传天气测量数据等)和中等速率业务(如软件更新等)的收益情况。使用网络提供速率和网络的剩余带宽作为瞬时收益,可以较好地反映节点业务质量和网络负载均衡。显然,瞬时收益依赖于当前状态。

给定当前状态为 s_i ,它可以反映出网络的实时信息, $i=1,2$ 分别表示

极低速率业务和中等速率业务。若切换的目标网络为 a ,则瞬时收益函数可以定义为:

$$r(s_i, a) = \begin{cases} R_a^i / \left(\frac{W_a - B^{(s_i, a)}}{W_a} \right) & \text{if } B^{(s_i, a)} \geq \partial_a^i \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

其中, R_a^i 表示 i 类业务切换的目标网络 a 的速率收益; W_a 表示目标网络的系统带宽; $B^{(s_i, a)}$ 表示当前状态 s_i 下目标网络 a 的剩余带宽; ∂_a^i 表示目标网络中 i 类业务所占的带宽^[11], $a=1,2,3$ 分别表示GSM网络、WCDMA网络、LTE网络。

速率收益 R_a^i 的计算公式如式(2):

$$R_a^i = \begin{cases} 1 & i=1 \\ \ln(c_a + 1) & 0 \leq c_a < C_i, i=2 \\ \ln(C_i + 1) & c_a \geq C_i, i=2 \end{cases} \quad (2)$$

其中, c_a 是目标网络 a 所提供的速率; C_i 是 i 类业务所要求的速率。

剩余带宽 $B^{(s_i, a)}$ 就等于网络的系统带宽 W_a 减去节点网络中已经存在的业务所占用的带宽,因此剩余带宽的计算公式如式(3):

$$B^{(s_i, a)} = W_a - \sum_i N_a^i \cdot \partial_a^i \quad (3)$$

N_a^i 表示目标网络 a 中存在的 i 类业务的数目。

式(1)所定义的瞬时收益函数,综合了目标网络提供速率的收益以及剩余带宽的收益。当网络提供速率低于业务要求速率时,瞬时收益随网络提供速率以指数形式增长,当网络提供速率高于业务要求速率时,瞬时收益不变。而剩余带宽越高,瞬时收益越高。

若 i 类业务的初始状态为 s_i^0 ,各决策时刻的状态为 s_i^t ,各决策时刻所选择的网络为 a_i^t ,呼叫持续时间为 T_i ,切换算法为 π 时,则呼叫的全局收益函数^[12]为:

$$v^\pi(s_i^0) = E_{T_i} \left\{ \sum_{t=1}^{T_i} r(s_i^t, a_i^t) \right\} \quad (4)$$

其中, π 表示一种节点业务持续时间内网络选择方法,也就是在各个决策时刻根据当前状态指导物联网节点进行切换的方法; E_{T_i} 表示求关于节点业务持续时间期望。式(4)中的 $r(s_i^t, a_i^t)$ 用式(1)中定义的瞬时收益函数来计算。

1.2 决策模型的建立

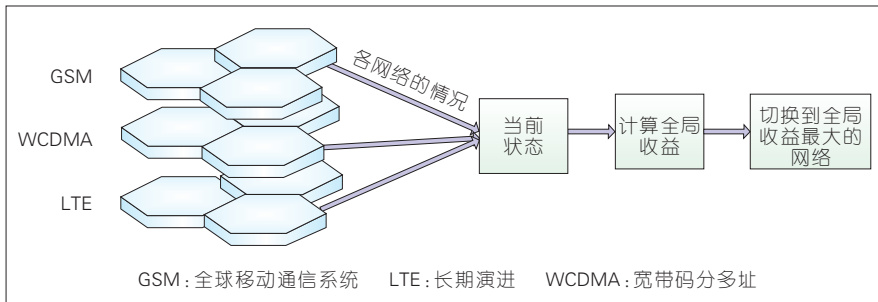
为了解决物联网节点业务在其持续时间内收益最大的问题,我们建立如下决策模型:每个业务在其持续时间内,都要经历多次切换,业务在各个决策时刻根据当前的状态计算全局收益,若全局收益最大的网络与节点当前所处的网络不同,则发生切换,否则留在原有网络,其过程如图1所示。

根据式(4)可知,为了计算业务在其持续时间内全局收益,需要将各个决策时刻的瞬时收益累加。那么,为了确定各个决策时刻,我们将 i 类业务的节点的持续时间离散成 T_i 个等间隔的时间段,间隔为 τ 。如图2所示,在每个时间段的开始时刻,我们可以进行切换判断,即切换的触发时刻为每个时间段的开始时刻。因此,决策时刻序列可表示为 $\phi = \{1, 2, \dots, T_i\}$ 。

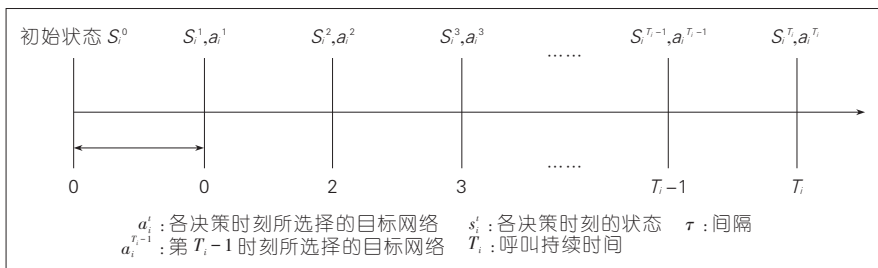
若假设 i 类业务的离散的呼叫时间段数目 T_i 服从均值为 $1/(1-\varphi_i)$ 的几何分布,则式(4)可化为:

$$v^\pi(s_i^0) = E_{T_i} \left\{ \sum_{t=1}^{T_i} r(s_i^t, a_i^t) \right\} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{t=1}^n r(s_i^t, a_i^t) \varphi_i^{n-1} (1-\varphi_i) = \sum_{t=1}^{\infty} \varphi_i^{t-1} r(s_i^t, a_i^t) \quad (5)$$

最优化的问题就是全局收益最大的问题,若方法 π^* 表示最优网络选择方法,则对于任意选择方法 π ,都有 $v^\pi(s_i^0) \geq v^{\pi^*}(s_i^0)$,且在任意切换时刻 t ,方法 $\pi(t) = \pi^*$ 。我们的目的就是求出一个最优网络选择方法 π^* ,



▲图1 业务在决策时刻进行切换判断的过程



▲图2 决策的时间轴

可使得式(5)的值最大。

1.3 最优网络选择方法的求解

1.3.1 状态空间的定义

网络的系统带宽和网络中各类业务的等效带宽都是确定的,只有网络中各类业务的数目是实时的。因此,我们将当前状态定义为当前各个网络中各类业务的数目组成的集合。而当前的状态是状态空间中其中一个,那么,我们定义状态空间为各个网络中各类业务的数目的所有可能情况,表示为式(6)。

$$\begin{aligned}
 S &= \{1, 2, 3\} \times m_{ij} \\
 s.t. (i, j) &\in \{(1, 1), (1, 2), (2, 2), (1, 3), (2, 3)\} \\
 m_{11} &\in \left[0, 1, 2, \dots, \frac{W_1}{d_1^1}\right] \\
 m_{12} &\in \left[0, 1, 2, \dots, \frac{W_2}{d_1^2}\right], m_{22} \in \left[0, 1, 2, \dots, \frac{W_2}{d_2^2}\right] \cap m_{12} \cdot d_1^1 + m_{22} \cdot d_2^2 \leq W_2 \\
 m_{13} &\in \left[0, 1, 2, \dots, \frac{W_3}{d_1^3}\right], m_{23} \in \left[0, 1, 2, \dots, \frac{W_3}{d_2^3}\right] \cap m_{13} \cdot d_1^1 + m_{23} \cdot d_2^2 \leq W_3
 \end{aligned} \quad (6)$$

其中, $\{1, 2, 3\}$ 表示业务当前所处的网络,分别为 GSM 网、WCDMA 网和 LTE 网; $m(i, j)$ 表示网络 j 中已存在的 i 类业务的数目; W_1 、 W_2 、 W_3 分别表示 GSM 网、WCDMA 网和 LTE 网的系统带宽; d_j^i 表示网络 j 中 i 类业务所

占的带宽, i 、 j 的含义与 $m(i, j)$ 中的相同。

我们认为 GSM 网只能承载极低速率业务,而 WCDMA 和 LTE 网均可承载极低速率业务和中等速率业务,因此, i 、 j 的取值组合限定在式(6)的 $(i, j) \in \{(1, 1), (1, 2), (2, 2), (1, 3), (2, 3)\}$ 条件中。对于可以承载多种业务的 WCDMA 网和 LTE 网, i 类业务的呼叫数除了被 W_j/d_j^i 限定外,还要保证系统资源足以承载各类业务的呼叫,即各类业务的数目所占用的资源小于等于系统资源。

因此,根据上述理论,我们可以将剩余带宽的计算式(3)细化为:

$$B^{(s, j)} = W_j - \sum_i m_{ij} \cdot d_j^i \quad (7)$$

其中, $m(i, j)$ 表示的是 j 网络中存在的 i 类业务的数目,可以从当前状态中获得。

1.3.2 状态转移概率的计算

给定当前状态,根据式(1)可以计算出业务的瞬时收益,根据式(5)可以计算出业务的全局收益,而式(5)中时间的最大取值为无穷,因此无法直接计算其全局收益的值。为

了计算全局收益,将式(5)中时间上的瞬时收益的和转化为状态空间上的瞬时收益的和进行求解。

在求解状态空间上的瞬时收益的和之前,需要知道处于各个状态的概率。若已知当前状态,则下一时刻的状态与当前状态有关,我们可以利用状态转移概率来计算各个状态的概率。

假设物联网节点业务的到达和离去都是服从泊松分布的,根据泊松分布的特性,该节点每次只能处理一个业务请求,只能有一个业务进入节点或者离开节点或者发生切换。业务的到达率和离去率分别为: $\lambda_i (i=1, 2)$ 和 $\mu_i (i=1, 2)$ 。

由于业务的到达和离去均服从泊松分布,则当前有 n 个业务,下一时刻有 $n+1$ 个业务和 $n-1$ 个业务的概率分别为: $P_{n+1, n} = \lambda_i e^{-\lambda_i}$ 和 $P_{n-1, n} = \mu_i e^{-\mu_i}$,业务数保持不变的概率为 $P_{n, n} = 1 - \lambda_i e^{-\lambda_i} - \mu_i e^{-\mu_i}$ 。给定当前状态 $s_i = \{j, m_{11}, m_{12}, m_{22}, m_{13}, m_{23}\}$ 和切换的目标网络 a ,极低速率业务转移到状态 s_i 的转移概率如下:

$$P[s_i | s_i, a] = \begin{cases} \lambda_1 e^{-\lambda_1} P_1^2 P_2^2 & \text{if } a=j, \text{且只有一个极低速率业务到达} \\ \lambda_2 e^{-\lambda_2} P_1^3 P_2^1 & \text{if } a=j, \text{且只有一个中等速率业务到达} \\ \mu_1 e^{-\mu_1} P_1^2 P_2^2 & \text{if } a=j, \text{且只有一个极低速率业务离去} \\ \mu_2 e^{-\mu_2} P_1^3 P_2^1 & \text{if } a=j, \text{且只有一个中等速率业务离去} \\ P_1^3 P_2^2 & \text{if } a=j, \text{且各类业务数目不变} \\ P_1^2 P_2^2 & \text{if } a \neq j, \text{且只有一个极低速率业务切换} \end{cases}$$

其中 $P_1 = 1 - \lambda_1 e^{-\lambda_1} - \mu_1 e^{-\mu_1}$, $P_2 = 1 - \lambda_2 e^{-\lambda_2} - \mu_2 e^{-\mu_2}$,同理可算出中等速率业务的转移概率。

1.3.3 最优化函数和数值迭代算法

对于 i 类业务,给定初始状态 s_i^0 ,令 $v(s_i^0)$ 表示全局收益的最大值,则有:

$$v(s_i^0) = \max_{\pi \in \Pi} v^\pi(s_i^0) \quad (8)$$

将时间上的瞬时收益的和转化为状态空间上的瞬时收益的和,即可表示为节点当前时刻所处状态的瞬时收益与下一时刻所有可能状态的

全局收益的和。

$$v(s_i^0) = \max_{a_i \in A} \left\{ r(s_i^0, a_i) + \sum_{s \in S} \lambda P[s|s_i^0, a_i] v(s) \right\} \quad (9)$$

式(9)的解就是全局收益的最大值。

求解该最优化问题的方法有很多,例如:数值迭代算法、线性规划、算法迭代等等。由于数值迭代算法是应用最广泛,最容易理解,容易编程实现的算法,所以我们采用数值迭代算法求解式(9),具体操作如下:

(1) 对于状态空间中的任意状态 s 令 $v^0(s) = 0$, 指定 $\varepsilon > 0$, $k = 0$;

(2) 对于各个状态 s , 计算

$$v^{k+1}(s) = \max_{a \in A} \left\{ r(s, a) + \sum_{s' \in S} \lambda P[s'|s, a] v^k(s') \right\};$$

(3) 如果 $\|v^{k+1} - v^k\| < \varepsilon(1 - \lambda)/(2\lambda)$, 进行下一步, 否则令 k 加 1 然后返回第 2 步;

(4) 对于状态空间中的任意状态 s , 挑选目标网络 a , 使得 $r(s, a) + \sum_{s' \in S} \lambda P[s'|s, a] v^{k+1}(s')$ 最大, 记为:

$$\delta(s) = \arg \max_{a \in A} \left\{ r(s, a) + \sum_{s' \in S} \lambda P[s'|s, a] v^{k+1}(s') \right\};$$

对于物联网节点, 根据网络所提供的状态空间的信息, 对于状态空间中的各个状态, 利用上述数值迭代算法, 可以计算该状态所对应的切换目标网络, 这就是我们求得的最优网络选择方法, 目标结果和时间无关, 只和状态相关。

2 仿真与结果分析

对于瞬时收益最大值的和, 我们定义为:

$$v(s) = \sum_{i=1}^N \max r(X_i, Y_i) \quad (10)$$

其中, X_i 为 i 时刻节点所处的网络, Y_i 为 i 时刻业务切换的目标网络。

由假设可知, 业务的到达和离去都是服从泊松分布, 其到达率和离去率分别为 $\lambda_i (i=1, 2)$ 和 $\mu_i (i=1, 2)$, 令 $\lambda_1 = \lambda_2 = 3.4$, $\mu_1 = \mu_2 = 0.1$, i 类业务的持续时长 T_i 是服从均值为 $1/(1 - \varphi_i)$

的几何分布的随机数, 令 $\varphi_1 = \varphi_2 \in [0.9, 0.95, 0.97, 0.98, 0.985]$ 。假设, 极低速率业务的初始状态为 $[1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$, 中等速率业务的初始状态为 $[2 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]$ 。根据式(9)和式(10)分别计算全局收益的最大值、最大瞬时收益的和, 结果如图3、图4所示。

由图3、图4可知, 对于极低速率业务和中等速率业务来说, 无论 $\varphi_i (i=1, 2)$ 取何值, 该类业务的全局收益的最大值均大于最大瞬时收益的和, 也就是说文中提出的基于全局收益最大的网络选择方法与节点的业务持续时长无关, 无论节点的业务时长是多少, 本方法都优于原有的网络选择方案, 达到了保障物联网节点业务质量的效果, 提高了网络效率。

图中的曲线之所以变化幅度比较大, 是因为节点的业务时长 T_i 是随机变化的, 时间越长, 节点的最大全局收益、最大瞬时收益的和越大。

3 结束语

文中我们讨论了 NB-IoT 的物联网节点在异构网络中的网络选择问题, 提出了一种基于全局收益最大的网络选择方法, 将各个切换时刻的瞬时收益的和转化为状态空间上瞬时收益的和。因此, 在各个切换时刻, 节点只需收集当前的网络状态信息就可计算出切换的目标网络, 达到全局最优, 保证了物联网节点的业务质量, 提高了网络利用率。随着 NB-IoT

→ 下转第 46 页

图3
极低速率业务的全局收益的最大值、最大瞬时收益的和的比较

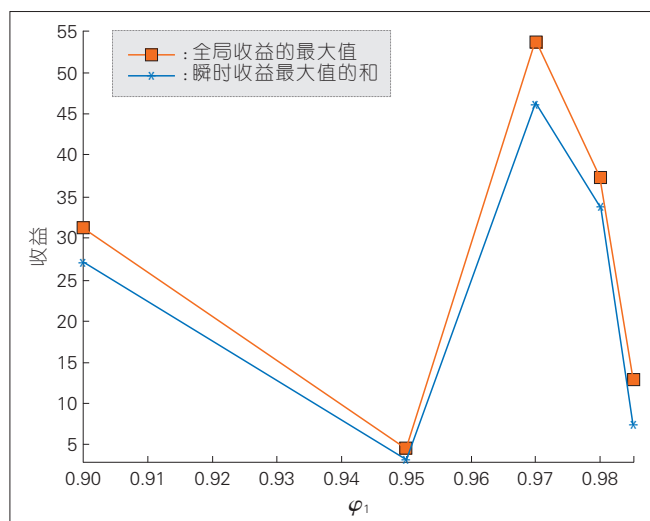
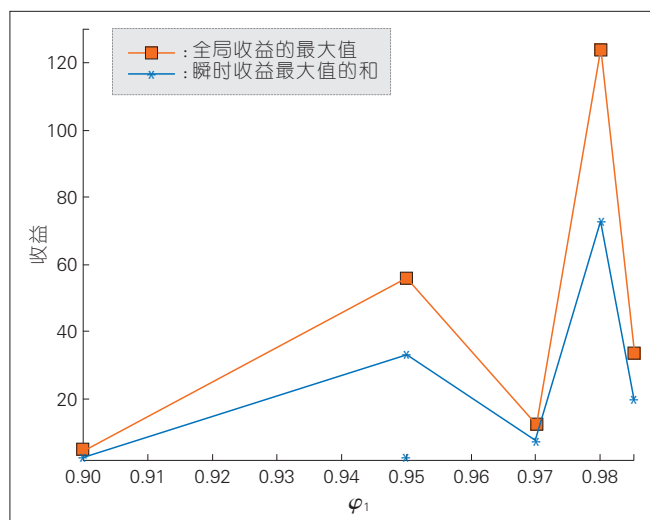


图4
中等速率业务的全局收益的最大值、最大瞬时收益的和的比较



NB-IoT 运营商面临的机遇与挑战

Opportunities and Challenges Faced by NB-IoT Operators

鲁娜/LU Na

朱雪田/ZHU Xuétian

张成良/ZHANG Chengliang

(中国电信股份有限公司北京研究院, 北京 100035)

(China Telecom Beijing Research Institute, Beijing 100035, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0029-003

摘要: 认为窄带物联网(NB-IoT)能够有效解决传统移动蜂窝网络承载物联网业务缺乏市场竞争优势的问题。可通过新建独立网络,或者升级LTE无线、核心网络实现NB-IoT网络部署。运营商可基于已有的长期演进(LTE)网络快速搭建一张连续深度覆盖、低成本、低功耗、可漫游、质量有保障的窄带专用物联网,拓展新兴业务。当前运营商发展NB-IoT面临商业模式、产业链、技术等多方面的挑战。

关键词: IoT; 低功耗广覆盖(LPWA); NB-IoT; LTE; LoRa

Abstract: Narrowband Internet of things (NB-IoT) effectively improves the competition capacity when using the traditional cellular network to carry the service of IoT. NB-IoT network can be deployed independently, or upgraded through the existing long term evolution (LTE) network. Operators can quickly build up a continuous depth coverage, low cost, low power consumption, roaming, quality guaranteed narrowband dedicated networking to develop new services. Currently, NB-IoT are facing many challenges, such as new business model, the maturity of industrial chain, the competition from other technologies and so on.

Keywords: IoT; low power wide area (LPWA); NB-IoT; LTE; LoRa

1 NB-IoT 技术概述

1.1 NB-IoT 技术特点

窄带物联网(NB-IoT)是第3代合作伙伴计划(3GPP) R13定义的无线接入技术,射频带宽为180 kHz,上下行峰值速率不超过250 kbit/s。NB-IoT主要面向低成本、低功耗、低速率、广覆盖的物联网业务,如传感器类、抄表类、物流监控、跟踪类等。与传统蜂窝网络相比,NB-IoT覆盖比通用分组无线服务技术(GPRS)增强20 dB,单小区可支持5万个连接,终端功耗和成本大幅降低。同时为了利用长期演进(LTE)已有成熟的产业链和全球规模部署优势,NB-IoT物理层和高层设计尽量与LTE兼容,并支持LTE带内、LTE保护带、独立3种工作模式。

1.2 NB-IoT 标准化与产业链进展

3GPP Release 13 NB-IoT于2015年9月通过立项,2016年6月完成核心部分标准化,预计2016年12月完

成性能部分和终端一致性测试规范(Phase1)标准化^[1-2]。3GPP Release 14继续对NB-IoT技术进行增强^[3-4],标准化工作从2016年6月RAN#72通过立项开始,预计到2017年RAN#75全会完成核心功能标准,RAN#77全会完成性能标准。

目前中兴通讯、爱立信、诺基亚等主流网络设备厂商NB-IoT商用版本路标多发布在2017第1季度。英特尔、高通、中兴微电子、展讯等芯片公司均发布NB-IoT路标。其中,英特尔于2016年内推出NB-IoT商用芯片,其他公司预计于2017年上半年推出NB-IoT商用芯片。整个产业链预计2017年上半年初步成熟。

国际上,沃达丰、德国电信等运营商将于2016年底部署NB-IoT试验网络。在中国,电信、移动、联通3家

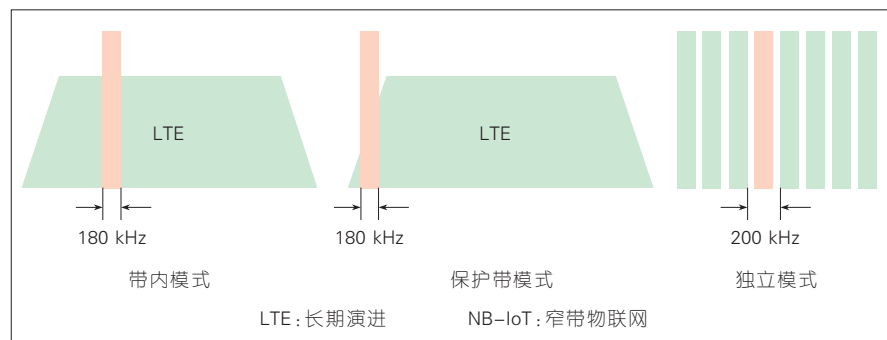
运营商都已在部分城市进行了NB-IoT试商用及业务应用示范。

1.3 NB-IoT 网络部署

为了支持低成本广覆盖,NB-IoT应部署在低频。目前全球NB-IoT主流均部署在1 GHz以下,多在800~900 MHz。NB-IoT支持3种工作模式(如图1所示):包括LTE带内模式,占用LTE 1个物理资源块(PRB);LTE保护带模式,占用了180 kHz带宽;独立模式,占用了200 kHz带宽(180 kHz射频带宽+左右各10 kHz保护带)。运营商可根据自身的频谱资源和现有网络情况,选择合适的工作模式,通过新建或者网络升级的方式部署NB-IoT无线网络。

NB-IoT目标承载低价值、数目庞大的物联网终端,主流核心网建设方

收稿时间: 2016-11-22
网络出版时间: 2017-01-06



▲ 图1 NB-IoT 工作模式示意

案为蜂窝物联网(CIoT)核心网独立组网,与传统高价值用户的LTE演进分组核心网(EPC)独立组网区分管理,采用不同的运营模式,如图2所示。CIoT核心网的处理机制与传统EPC有较大差异,独立部署的核心网设备的软硬件要求可基于CIoT业务特点进行优化和裁减,更好满足业务需求。此外,NB-IoT标准一直在增强演进,网络升级较频繁,独立部署可与LTE EPC互不影响。NB-IoT业务带宽小,时延不敏感,当前网络功能虚拟化(NFV)技术存在的用户面性能问题,在NB-IoT不是瓶颈,因此可根据部署时间点和产业成熟度优先考虑基于NFV技术。

考虑到网络建设初期NB-IoT业务量小,完全新建一张专用核心网成本较高,工作量较大,也可采用现有LTE EPC升级的方式快速支持NB-IoT。当NB-IoT业务量大时再通过独立建网的方式支持。

中国电信NB-IoT网络优先考虑采用独立工作模式部署在800 MHz上端,通过对800 MHz码分多址(CDMA)部分载波进行重耕部署LTE 800 MHz,再通过软件升级的方式支持NB-IoT。NB-IoT与800 MHz LTE无线网络共站址、共天馈、共设备、共传输,具有广覆盖的优势。同时,为了快速支持NB-IoT网络开通和业务运营,核心网初期采用EPC升级的方式,后续NB-IoT业务量大时,再独立建网。装有NB-IoT模块的终端通过NB-IoT蜂窝网络连接至全国统一的

物联网连接管理和业务应用使能平台,通过平台层接口对应用层各种业务进行开放^[5]。NB-IoT端到端整体网络架构如图3所示。

2 运营商面临的机遇与挑战

2.1 应用场景和市场机遇

近年来,美国、欧盟、中国、日本等主要经济体高度重视物联网,均从国家战略角度积极出台相关政策推动物联网产业发展。中国陆续出台了互联网+、中国制造2025等行动纲领,将物联网、移动互联网、云计算、大数据技术相结合,促进物联网在传统产业的应用,市场前景广阔。

在此产业背景下,LoRa、NB-IoT等LPWA技术出现,填补了技术空白,扩展了新的业务领域。各种新的业务应用陆续出现,如以智能抄表为代表的公共事业应用;以智能停车、智能灯杆为代表的智慧城市应用;以报警系统、采暖通风控制系统为代表的智慧建筑应用,以农林牧渔家畜监测控制、环境监测控制为代表的智慧农业与环境应用;以可穿戴设备、VIP

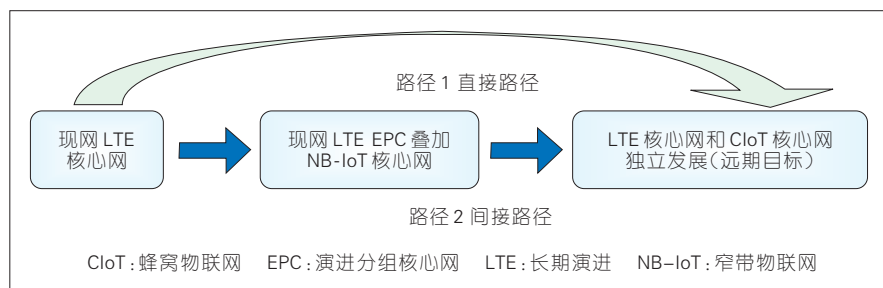
追踪为代表的消费医疗应用;以设备监测控制为代表的工业控制应用;以货柜追踪为代表的物流管理应用。

NB-IoT与LoRa相比,具有一系列优势,使得NB-IoT更受运营商青睐。首先,NB-IoT的系统设计,尽可能与LTE保持兼容一致,便于利用LTE已有成熟的产业链和全球广覆盖的网络,快速升级支持NB-IoT发展。其次,从频率资源来看,NB-IoT带宽窄,可利用LTE带内和保护带带宽资源,无需单独申请或拍卖频率;从网络建设来看,NB-IoT可与LTE共设备,基于已有LTE网络快速升级,无需单独建网;从技术特征来看,NB-IoT具有广覆盖、低功耗、低成本、大容量等一系列技术优势,有效解决了传统移动蜂窝网络承载物联网业务缺乏市场竞争优势的问题。因此NB-IoT自提出就备受市场关注,成为当下最热的LPWA技术之一。运营商可基于已有网络快速搭建一张连续深度覆盖、低成本、低功耗、可漫游、质量有保障的窄带专用物联网,拓展新兴业务领域。

2.2 运营商面临的挑战

当前,运营商发展NB-IoT也面临很多方面的挑战,包括商业模式、产业链、技术等。

商业模式挑战指NB-IoT终端产生的数据流量极少,且对成本的敏感性高,可以预测通过增加连接数直接带来的收入并不高。因此在物联网时代,尤其蜂窝低功耗广域网络,如果仅作为数据管道,会使运营商更快地陷入增量不增收的困境。运营商



▲ 图2 NB-IoT 核心网部署方案示意



图3
NB-IoT 端到端
整体网络架构

除了提供基础网络连接服务之外,还应积极开拓并主导连接管理平台和业务平台的建设与运营工作,为行业客户提供端到端的综合智能信息服务。通过将电信网络能力、平台能力、业务开发能力进行整合汇聚,营造出开放的物联网运营环境,在一些应用领域通过自营或与产业链其他公司合作,共同提供解决方案,探索新的业务运营模式。

产业链挑战指NB-IoT产业链和市场成熟度与LoRa相比,存在一定滞后。NB-IoT产业链预计2017年初步成熟,大规模商用在2018年之后。相比之下,LoRa联盟成立于2015年3月,目前拥有超过290多家成员,包括运营商、系统、软件、芯片、模组、云服务、应用厂商,已构建完整的生态系统,并在多个国家和地区部署商用。NB-IoT的强势出现一方面侧面刺激了用户对低功耗广域网的热情,激发了更多业务需求;一方面NB-IoT产业链短期无法成熟,

给了LoRa快速发展的机会。如何深耕行业应用,找准NB-IoT的切入点,是运营商发展NB-IoT面临的挑战。

技术挑战指如何基于现有的频率和网络资源,快速、低成本部署NB-IoT网络,并避免或尽可能降低对现有网络的影响。同时LPWA技术除了NB-IoT之外,还有基于LTE的eMTC技术、LoRa、Sigfox等。目前eMTC与NB-IoT有部分应用重叠竞争关系,导致产业界有不同的声音。如何在技术上保持NB-IoT标准的持续演进,满足运营商网络长期演进需求,同时挖掘更多的基于NB-IoT的应用,快速实现NB-IoT的规模应用,需要产业链各方共同努力。

3 结束语

物联网迎来历史性发展机遇,物联网接入技术众多,NB-IoT是低功耗广域网物联网代表技术之一。文章中,我们重点介绍了NB-IoT技术特点、标准化和产业链进展、网络部署方

案,并分析探讨了NB-IoT可能的应用场景和运营商面临的机遇与挑战。一方面物联网终端生命周期长,离网率低,可以预见NB-IoT网络运营周期较长;一方面NB-IoT多部署在低频,且技术特征已基本可满足未来5G海量物联网业务需求,因此需要NB-IoT在技术标准上保持继续演进,以承载未来5G海量物联网业务,降低运营商网络建设运营成本。

参考文献

- [1] Qualcomm Incorporated, New Work Item: Narrowband IOT (NB-IOT), TSG RAN#69: 3GPP RP-151621[S]. 3GPP, 2015
- [2] Huawei, HiSilicon, Revised Work Item: Narrowband IoT (NB-IoT), TSG RAN#71: 3GPP RP-160656[S]. 3GPP, 2016
- [3] Vodafone, Huawei, HiSilicon, Ericsson, Qualcomm, New work Item Proposal: Enhancements of NB-IoT, TSG RAN#72: 3GPP RP-161324[S]. 3GPP, 2016
- [4] Huawei, HiSilicon, Revised work item proposal: Enhancements of NB-IoT, TSG RAN#73: 3GPP RP-161901[S]. 3GPP, 2016
- [5] GSMA. Low Power Wide Area Solutions Assessment Version 1.0 [S]. 2015

作者简介



鲁娜, 中国电信股份有限公司北京研究院高级工程师;长期从事移动通信新技术研发工作;已发表论文10余篇,申请专利10余篇。



朱雪田, 中国电信股份有限公司北京研究院教授级高级工程师;长期从事移动通信和互联网技术创新与研发工作;作为项目组长先后负责多个国家重大项目;已发表论文超过50篇,专利20余篇,个人专著2本。



张成良, 中国电信股份有限公司北京研究院副院长、工业和信息化部通信科技委传送与接入组副主任、中国通信学会光通信委员会委员;国家有突出贡献的中青年专家,百千万人才国家级人选,曾获国家科技进步二等奖3项,部级科技进步奖一等奖2项、二等奖多项;2004年经国务院批准获政府特殊津贴,2006年被信息产业部授予“信息产业科技创新先进工作者”荣誉称号,中国科协第八次代表大会代表;著有技术著作2部,译著1部,近年来向ITU和OIF提供了30余篇文稿。

基于雾计算的 NB-IoT 框架、关键技术及应用

Architecture, Key Technologies and Applications of NB-IoT-Based Fog Computing

张红/ZHANG Hong¹
王玉峰/WANG Yufeng²

(1. 南京师范大学泰州学院, 江苏 泰州 225300;

2. 南京邮电大学, 江苏 南京 210003)
(1. Nanjing Normal University Taizhou College, Taizhou 225300, China;

2. Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0032-005

摘要: 针对窄带物联网(NB-IoT)技术特点和业务类型,提出了基于雾计算的 NB-IoT 网络架构,通过为 NB-IoT 接入点(AP)配置雾计算设备,将接入点升级为具有存储和计算能力的雾接入点(F-AP),使得数据收集、传输、处理和计算更靠近终端设备,提高应用系统的响应速度,节约网络带宽。

关键词: 雾计算; AP; NB-IoT

Abstract: Considering the technical characteristics and service types of narrowband Internet of things (NB-IoT), NB-IoT system architecture based on fog computing is proposed in this paper. By configuring a fog computing device for the NB-IoT access point (AP), the access point is upgraded to a fog access point (F-AP) with storage and computing power. In this way, the data sensing, transmission, processing and computing can become much closer to the end devices, and the latency and network congestion can be significantly decreased.

Keywords: fog computing; AP; NB-IoT

截至目前,蜂窝网已覆盖全球 90% 的人口,覆盖超过 50% 的地理位置^[1]。基于现有的蜂窝网络,运营商完全能够提供一个非常有竞争力的物联网技术,即窄带物联网(NB-IoT)^[2]。作为第 3 代合作伙伴计划(3GPP)标准化定义的、面向低功耗广域网(LPWA)的关键蜂窝网络技术,NB-IoT 自身具备的低功耗、广覆盖、低成本、大容量等优势,相比 Wi-Fi、蓝牙等其他物联网联接技术,还具备安全、频谱抗干扰等方面优势。NB-IoT 在 LPWA 市场的多个技术竞争中脱颖而出,可以广泛应用于多种垂直行业,如远程抄表、资产跟踪、智能停车、智慧农业等。随着 3GPP 标准在 2016 年 6 月“冻结”,NB-IoT 展现出了巨大市场机会,正在快速发展之中,标准、芯片、网络以及商业应用场景都会走向成熟。

NB-IoT 要走向成功必须要建立

开放产业平台,目前云计算凭借强大的计算和存储能力,成为大数据分析处理的支撑平台,但是物联网终端设备数量的爆发式增长,给传统的云计算框架带来了新的挑战。云计算框架先将数据集中存储在云端,再从云端发送到移动用户,云服务器远离移动设备,数据传输的距离大,导致延迟和通信开销增大。“雾计算”的概念在 2012 年被提出^[3],核心思想是“智能前端化”,即在云服务器和终端设备之间,利用网络设备或者专用设备提供计算、存储和网络通信服务,使得数据和计算更靠近终端设备,进而降低云服务器的计算和存储开销,并且提高了应用系统的响应速度,节约了网络带宽。

很多 NB-IoT 业务具有海量连接、

区域广的特点,以智能抄表应用为例,目前家庭拥有水表、电表、燃气表以及暖气表等很多表,将产生巨大数据量,全部上传云端会消耗大量网络资源;又如智慧电网这类地理分布广的大数据应用,与云端距离大,必然时延大;有些业务具有“用户需求就近信息”的特点,如智能停车业务,每个车位装备停车传感器,用户通过手机 APP 寻找附近停车位、付款、查找车辆等应用,移动用户需要附近区域的本地化信息。针对 NB-IoT 这些特点,我们提出了对应的雾计算框架,主要思想是将雾计算概念融入无线接入网架构中,将 NB-IoT 接入点(AP)升级为具有存储和计算能力的雾接入点(F-AP),一些用户终端应用只需在本地处理或者需求内容已

收稿时间: 2016-11-24
网络出版时间: 2017-01-05

经存储在邻近的接入点,不必连接云计算中心进行数据通信,降低执行时延,从而提高了应用系统的响应速度,节约了网络带宽。

文献[4-5]中,雾层由一些零散的、计算能力较弱的交换机或路由器等网络设备组成,为移动用户提供边缘信息服务,接入方式多为蓝牙和Wi-Fi;文献[6]提出基于雾计算的5G接入技术,雾层由可协作资源管理和联合信号处理的接入点、智能终端构成;文献[7]提出了以车为基础设施的车载雾计算的思想。文章中,针对NB-IoT,我们提出了在蜂窝网络中每个接入点配置雾计算设备,接入层构成雾层方案,在减小异构性,增强安全性,以及5G平滑升级方面更具有优势。

1 基于雾计算的NB-IoT架构

根据雾计算“智能前端化”的思想,我们把大量与特定环境相关的信息直接在本地接入点进行存储和计算,提出了如图1所示的基于雾计算的NB-IoT框架,上层为云计算中心,下层为NB-IoT传感器和移动终端层,在云计算中心和终端设备之间扩展一个更靠近终端设备和移动用户

的雾计算层,称为“雾层”。雾层部署在NB-IoT接入层,由具有存储和计算能力的F-AP构成,可以直接与覆盖区域的物联网终端和移动设备相连接。

F-AP作为NB-IoT站点,一方面将NB-IoT传感器收集的信息进行分析、处理、过滤,及时应对紧急事件,再选择性地一部分信息分发给其他雾节点或云计算中心;另一方面,它们可以将云服务器上的数据或终端设备上传的数据缓存在本地,而且能够完成移动终端请求的计算或数据流量任务,必要时可以进行任务分解,和其他节点合作,尽可能地将计算任务在本地进行处理,更好地满足了移动应用高流量和低延迟的需求。云计算中心优势保留,关注于高延迟长周期的大数据应用。

图1中左边是NB-IoT的典型应用,由于雾层的加入,业务范围扩大;右边是网络关键技术和面临挑战。

2 基于雾计算的NB-IoT关键技术

NB-IoT构建于长期演进(LTE)蜂窝网络,具有部署成本低、覆盖广、功耗低、海量连接的特点,通过扩展F-AP的边缘存储能力和计算能力,可

以减少时延、细化数据分析,从而更广泛地应用于多种垂直行业。

2.1 NB-IoT解决方案

(1)NB-IoT部署场景和空中接口技术^[8]

NB-IoT射频带宽为180 kHz,支持3种部署方式:独立部署、保护带部署、带内部署,如图2所示^[8]。

- 独立部署模式:可以利用单独的频带,适合用于全球移动通信系统(GSM)频段的重耕;

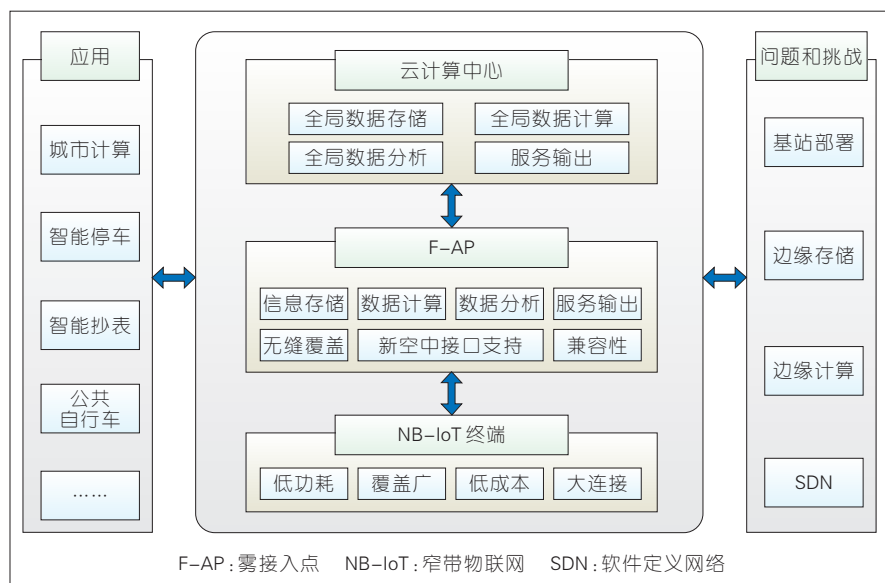
- 保护带部署模式:可以利用LTE系统中边缘无用频带;

- 带内部署模式:可以利用LTE载波中间的任何资源块。

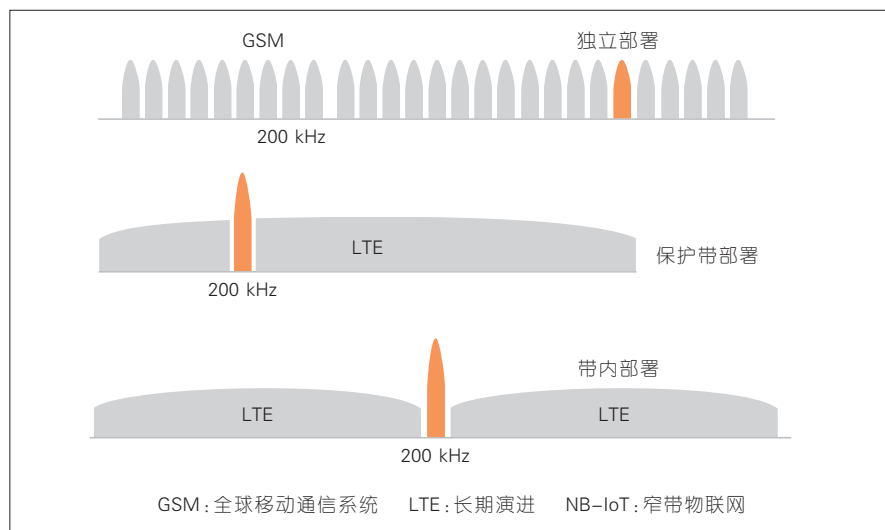
上行采用单载波频分多址(SC-FDMA)技术,终端支持单载波和多子载波技术。单载波技术包含3.75 kHz与15 kHz两种子载波带宽;多子载波技术支持15 kHz子载波带宽,支持更大峰值速率。下行采用正交频分多址(OFDMA)技术,子载波带宽为15 kHz。NB-IoT单独设计了同步信号,多媒体接入控制(MAC)/无线链路层控制协议(RLC)/分组数据汇聚协议(PDCP)/无线资源控制(RRC)层处理基于已有的LTE流程和协议,物理层进行相关优化。

(2)低成本

终端模块的成本对于海量接入的物联网技术发展至关重要,NB-IoT模块的成本可控制在5美金以内,甚至更低。NB-IoT终端模块基带复杂度低,采用180 kHz窄带系统甚至是更低的单载波模式,采样率低,缓存Flash/RAM要求小,数/模(D/A)和模/数(A/D)转换、信道估计要求低;23 dBm发射功率,可支持单片芯片内置功率放大器(PA),进一步降低成本;为了降低终端模块解码复杂度,使用卷积码代替turbo码;终端设备只使用单天线,使得射频和基带信号解调只需要一根接收链;又通过半双工模式,省去了双工滤波器,只需要一个开关和一个振荡器实现,从而降



▲图1 基于雾计算的NB-IoT框架



▲图2 NB-IoT部署方式

低成本和减小功耗。

(3) 低功耗

NB-IoT目标是典型的低速率、低频次业务模型,且等容量电池寿命可达10年以上。NB-IoT芯片复杂度低,工作电流小,空口信令简化,单次数传功耗低,可以通过基于覆盖等级的控制和接入减少单次数传时间。

NB-IoT借助节能模式(PSM)和扩展周期不连续接收技术(eDRX)可实现更长待机。其中PSM技术是Rel-12中新增的功能,在此模式下,处于RRC空闲期的终端可以进入深睡眠,不监测网络,达到省电的目的。eDRX是Rel-13中新增的功能,减少终端监测网络的频度,减少接收单元不必要的启动,相对于PSM,大幅度提升了下行可达性。另外,移动性管理只支持小区选择和重选,同时减少终端发送位置更新的次数,从而减少测量开销。

(4) 覆盖强,容量大

NB-IoT链路预算为164 dB,优于GSM、LTE 20 dB左右,覆盖区域更广、更深。如果按照覆盖面积计算,一个基站可提供7倍的覆盖面积(开阔区域);从覆盖深度角度看,可以覆盖位于地下室或隧道中的终端;支持多速率连接,如在一些场景中,终端设备信号微弱,可以选择单子载波模

式集中传输能量,大大提升信道容量,借助一个NB-IoT基站就可提供几万个连接。

2.2 边缘存储

当移动设备的用户处于一个特定的环境时,其需要的信息主要是与本地相关的各种信息。如在医院环境下,用户希望了解医院的就诊信息、就诊过程的状态信息;在智能停车业务中,用户需要知道的是所在街区的空车位和收费信息;在商场环境中,用户需要知道本商场各商品的具体信息等。利用移动用户对本地化信息的需求,可以把接入点覆盖区域内的大量本地信息存储在该F-AP的雾计算设备中,并在本地实时进行优化和计算,以及时完成用户请求的相关任务^[9]。

雾计算设备需要根据当地环境,预测用户需求,也包括高流行度的互联网内容文件,通过主动缓存的方式从云服务器上下载相应数据,或者通过被动缓存的方式存储流经它的相关数据,比如用户或传感器上传的数据,为用户提供快捷内容访问和检索功能,有效缓解云服务器的负担,大大降低通信的传输量,减少传输延迟。E. Baştuğ在文献[10]中证明,移动用户需求的信息类型可以在一定

程度上被预测出,建议在用户请求前预存信息。

目前成熟的缓存技术,如在学术和工业使用广泛的内容分发网络(CDN)^[9]。CDN通过在多地部署缓存服务器,将数据请求分散到各个服务器上,减少单个服务器负载,一定程度上缩短了数据传输路径,但是CDN的缓存服务器通常服务于一般的Internet用户,难以了解和预测移动用户的需求。与上述的数据缓存设备不同,一方面雾服务器更智能化,能够感知其部署的环境,推测出附近移动用户的数据需求特性,针对附近用户的兴趣进行数据缓存;另一方面,雾节点可以实时与物联网终端和移动用户交互数据,处理数据,雾节点能适时与云端连接,借助云计算中心处理大数据。相比于传统集中式存储机制,F-AP存储空间相对较小,边缘存储和传统存储的联合优化策略是一项关键技术。缓存也不是存储得越多越好,要在存储缓存代价和效益之间做出很好的权衡。

2.3 边缘计算

与传统的数据存储设备和接入技术不同,雾计算节点具有智能计算的能力。可以将NB-IoT传感器收集的信息进行实时分析、处理、过滤,再选择性把一部分信息分发给其他雾节点或云计算中心;雾节点可以独立地对覆盖区域的用户一些请求进行计算和处理,也可以请求云层,获得更深的数据分析。文献[11]中有雾计算在认知应用中使用的案例,文献[12]以智慧电网为例,分析了云计算和雾计算的分工,雾计算节点处理了短时间段(几毫秒到几天)、小范围的数据,并对时延敏感的事件做出及时处理,云计算中心处理了长时间段(几天到几个月)、大地理范围的一些数据,主要对网络进行了相关分析和优化。

文献[11]还以智能路灯为例,具体分析了雾计算功能。智能路灯可

以收集各个方向上汽车、行人、自行车的信息,比如位置和速度,从这些数据计算出相撞事故的概率,对概率高的可能事故做出及时处理;云计算中心则负责分析长时间段数据,主要对网络进行评估和优化。雾计算与文献[13]中 Cloudlets 相比,都具有边缘实时计算的能力,但雾计算是更完整、更生态的系统,具有本地信息预存的功能。

NB-IoT 连接海量传感器,可以用于城市管线监测控制、智能抄表。相比云计算,雾节点可以支持更细致的时间用量表,比如智能抄表,可以每小时收集燃气和煤气用量数据,计算能量、用量和费用情况,然后再比较各个时间段电费和燃气费,用户可以在不同的时间段选择更加经济的能耗方式^[14-15]。

考虑到有些应用中,单个 F-AP 难以有效快速地处理大量数据,彭木根^[6]等提出自适应形成 F-AP 簇,执行分布式协作计算来减小计算复杂度,提高计算速率和频谱效率。文献[16]提出了一种基于粒子群算法的多设备分布式计算方案,达到任务处理时延最小的目标。

3 面临的问题和挑战

基于雾计算的 NB-IoT 技术大规模的发展面临着下面的问题和挑战,有待于进一步解决。

3.1 F-AP 部署

有通信设备制造商建议,NB-IoT 站点有共建和独立建站两种方案。共建方案是在现有 LTE 基站完成复用和升级,可以充分利用现网的 LTE 站点资源和设备资源,共站点、共天馈、共射频、共公共无线电接口(CPRI)、共传输、共主控、共运行和维护管理(O&M),以达到快速部署 NB-IoT,节省建网成本的目的。独立建站 One-box 站点方案,简化了站点,易扩展、平衡演进。

文中提到的 F-AP 具有 3 个功能:

NB-IoT 接入点;移动终端接入点;具有雾计算能力。

3.2 雾计算软件系统

在雾计算框架中,管理系统需要动态决定哪些分析需要上传云端,哪些在雾端处理,从而使时延最小化,网络吞吐量最大化。F-AP 的功能可以通过软件定义来实现,不同的雾计算设备之间的接口具有高度的灵活性,软件定义网络(SDN)可以作为基本的启动程序来实现雾接入层的灵活性和可重构性,SDN 是通过核心技术 OpenFlow 将控制层和数据层分离开来,有集中的控制器管理,实现网络流量的灵活控制。用户可以开发各种应用程序,通过软件实现各种功能,以满足对网络资源的不同需求,而无需关心底层网络的物理拓扑结构。目前面临的问题:SDN 是应用于网络 IP 层,如何将其扩展到 MAC 层和物理层;SDN 是集中控制的,而雾接入层更注重分布控制;SDN 需要及时获取设备的位置和状态信息,这样一来会增加网络负担。网络虚拟化能够为 SDN 的运行提供基础架构,通过分离数据和控制平面,部署标准化网络硬件平台,使得许多移动网络设备中的软件可以按需安装、修改、卸载、实现业务扩展。

4 应用前景

基于雾计算的 NB-IoT 网络具有海量连接、低时延、边缘存储和边缘信息处理的特点,适用于以下一些应用场景。

4.1 健康状况监测

中国老年人比例逐年增高,独处状态的老人可以佩戴安装了 NB-IoT 模块的手表,随时感应身体状况,数据上传到雾计算节点,雾节点预存发病预测算法,可以实时计算感应器上传数据,及时处理紧急事件。文献[14]中利用雾计算监测、预测、阻止中风患者的发病,与云计算相比,时延

小,功耗低。

4.2 城市大数据分析

在现代城市空间中,可以通过价格低廉、分布各处的 NB-IoT 传感器获取大量的数据进行城市计算^[15],城市计算就是一个获取、整合、分析这些数据的过程,旨在解决城市面对的诸多重大的问题,比如空气污染、能源消耗、交通堵塞等。城市计算同样也可以帮助我们了解城市现象的本质,甚至预测城市发展的未来。

以污染问题为例,对于中国绝大多数空气质量监测控制系统来说,这些系统往往给出的数据是整个城市范围的空气质量。但是,空气质量会随着城市中各个点的交通、建筑密度、空气情况等因素发生剧烈变化。可以通过每个 NB-IoT 基站雾计算点来推断城市中任何指定位置的空气质量,可以提前预测 1~2 h 内的空气质量,以帮助人们更好地计划自己的生活,比如什么时候和去哪里慢跑,或者什么时候应该关窗户,什么时候应该戴上面具。

城市计算可以通过 NB-IoT 连接很多不起眼和普遍存在的传感技术,运用雾计算实现先进的数据管理和分析模型,以及高级的可视化算法,来创造一个改进城市环境,提高人民生活质量和增强城市运行系统的三赢方案。

4.3 智能公共自行车系统

随着污染问题的严重化,自行车出行是更环保的选择。现在很多城市都有公共自行车系统,但由于存放点有限,比如小区、学校只在门口可以存放,自行车不能入内,且通常小区、学校区域很大,用户体验不够方便,所以现有公共自行车系统功能没有被充分发挥。我们建议增加更多自由的存放点,如小区内每栋楼边都有存放点,并通过密码锁方式存放,由于存放点分散,可能会出现某个存放点没有自行车的情况,因此可以在

每辆公共自行车上装备一块价格低廉的NB-IoT芯片,把该自行车位置和使用情况信息上传到NB-IoT基站,基站雾计算节点可以计算出覆盖区域的自行车分布图,用户需要使用公共自行车时,可以用手机APP查询离他所在位置最近的公共自行车。

5 结束语

我们提出了基于雾计算的NB-IoT网络架构,通过为NB-IoT接入点配置雾计算设备,将接入点升级为具有存储和计算能力的F-AP,使得数据和计算更靠近终端设备,提高应用系统的响应速度,节约网络带宽。我们还阐述了NB-IoT技术特点和F-AP雾节点的功能,讨论了基站部署方案和SDN,并探讨了基于雾计算的NB-IoT应用前景和基于大数据的知识挖掘。物联网海量终端设备的接入和移动数据的爆发式增长,意味着下一代移动通信是超大规模和空前复杂的,需要引入网络功能虚拟化(NFV)、SDN和边缘计算作为网络关键技术,来提升网络的整体的承载和计算能力,这些关键技术都将是下一步研究内容。

参考文献

- [1] 黄海峰, 华余泉: 2016年是NB-IoT产业发展的关键年[J]. 通信世界, 2016(05): 27-28
- [2] 3GPP. NB-IoT Work Item Description RP-152284[EB/OL]. [2016-11-22]. <http://ow.ly/4mQAfx>

- [3] BONOMI F. Fog Computing and Its Role in the Internet of Things [C]//Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing. USA: ACM, 2012: 13-16
- [4] DASTJERDI A V, BUYYA R. Fog Computing: Helping the Internet of Things Realize Its Potential [J]. Computer, 2016, 49(8): 112-116. DOI: 10.1109/MC.2016.245
- [5] RAY K S, MONDAL M. Fog Computing: Focusing on Mobile Users at the Edge [J]. Computer Science, 2015, 2(3): 22-25
- [6] PENG M G, YAN S, ZHANG K S, et al. Fog-Computing-Based Radio Access Networks: Issues and Challenges [J]. IEEE Network, 2015, 30(4): 46-53. DOI: 10.1109/MNET.2016.7513863
- [7] HOU X S, LI Y, CHEN M, et al. Vehicular Fog Computing: A Viewpoint of Vehicles as the Infrastructures [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(6): 3860-3873. DOI: 10.1109/TVT.2016.2532863
- [8] Ericsson. NB-IoT: A Sustainable Technology for Connecting Billions of Devices[EB/OL]. [2016-04-22] [2016-11-26]. https://www.ericsson.com/thecompany/our_publications/ericsson_technology_review/archive/narrowband-iot-connecting-billions-devices
- [9] PENG G. CDN: Content Distribution Network [EB/OL]. [2016-11-22]. <https://arxiv.org/abs/cs/0411069>
- [10] BASTUG E, BENNIS M, DEBBAH M. Living on the Edge: The Role of Proactive Caching in 5G Wireless Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, (52): 82-89. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6871674
- [11] SATYANARAYANAN M, CHEN Z, HA K, et al. Cloudlets: at the Leading Edge of Mobile-Cloud Convergence [C]// 2014 6th International Conference on Mobile Computing, Applications and Services (MobiCASE). USA: IEEE, 2014: 1-9. DOI: 10.4108/icst.mobicase.2014.257757
- [12] BONOMI F, MILITO R, NATARAJAN P, et al. Fog Computing: A Platform for Internet of Things and Analytics [M]. Germany: Springer, 2014
- [13] SATYANARAYANAN M, BAHL P, CACERES R, et al. The Case for VM-Based Cloudlets in Mobile Computing [J]. IEEE Pervasive Computing, 2009, 8(4): 14-23. DOI: 10.1109/MPRV.2009.82
- [14] CAO Y, CEHN S Q, HOU P, et al. FAST: A Fog Computing Assisted Distributed Analytics System to Monitor Fall for Stroke Mitigation [C]//Processing of 10th IEEE International Conference Networking, Architecture and Storage (NAS 15). USA: IEEE, 2015: 2-11. DOI: 10.1109/NAS.2015.7255196
- [15] ZHENG Y, CAPRA L, WOLFSON O, et al. Urban Computing: Concepts, Methodologies, and Applications ACM [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST), 2014, 5(3): Article 38. DOI: 10.1145/2629592
- [16] 何秀丽, 任志源, 史晨华, 等. 面向医疗大数据的云雾网络及其分布式计算方案[J]. 西安交通大学学报, 2016, 50(10): 71-77

作者简介



张红, 南京师范大学泰州学院讲师, 南京邮电大学通信与信息工程专业在读博士研究生; 主要研究方向为下一代网络等; 已发表论文4篇。



王玉峰, 南京邮电大学通信与信息工程学院教授、博士生导师、通信工程系主任, 江苏省无线通信重点实验室副主任, 日本早稻田大学媒体研究所客座研究员; 曾担任日本国家信息通信技术研究院特聘研究员, 从事新一代网络体系结构研究; 目前研究方向为宽带信息网络、对等网络、移动社交网络等; 已发表论文70余篇。

智慧能源物联网应用研究与分析

Applications of Intelligent Energy Internet of Things

陈永波/CHEN Yongbo

刘建业/LIU Jianye

陈继军/CHEN Jijun

(中兴通讯股份有限公司, 江苏 南京
210012)
(ZTE Corporation, Nanjing 210012, China)

随着信息、连接和计算为主导的新一轮信息技术革命的兴起, M-ICT 技术在各个行业掀起了变革的浪潮。新能源技术革命与此深度融合, 在能源电力领域形成了“能源互联网”的革命性发展新趋势。能源互联网使得传统能源电力的开发、运输、存储、交易、使用等均发生革命性的变化^[1]; 使得能源电力向开放、对等、共享、高效、清洁、可持续方向发展。文献[2]指出: 能源互联网需要海量的数据连接支持。这些海量数据具备“小数据”特征, 包括: 业务相关性强; 连接难, 分布广, 分散性强且不易供电; 数据价值密度低, 需要大数据技术分析; 状态变化缓慢稳定, 采集频次低; 越限影响大, 日常关注度低。伴随着“万物互联”的需求, 各种物联网技术层出不穷。物联网时代将有数百亿物体接入网络中, 传统的接入技术有近距离无线接入技术和移动蜂窝网技术两类, 这两类技术都有其优势与不足。前者包括 Wi-Fi、蓝牙、ZigBee 等, 提供近距离高速快速接入的能力; 后者是移动蜂窝网技

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0037-006

摘要: 能源物联网(IoT)是智慧能源互联网(EoI)变革的重要支撑技术之一, 低功耗广域网(LPWA)物联网技术在智慧能源互联网领域将起到关键作用。能源电力领域小数据众多, 包括用户侧数据、电力系统边缘数据和智慧能源新技术及新业务数据等。这些数据包括电气量和非电气量, 需要根据 LPWA 技术特点界定其适用范围, 全新规划业务需求和模型。同时, 物联网安全需要从终端接入、数据传输和平台安全全面考虑。智慧能源互联网的市场化、高效化和清洁化发展创新了众多新的能源业务场景, 对能源物联网的需求将会十分显著。

关键词: LPWA; LoRa; 中国 LoRa 应用联盟(CLAA); 小数据; EoI; 能源物联网

Abstract: Energy Internet of things (IoT) is one of the important supporting technologies for the intelligent energy of Internet (EoI), and the low power wide area (LPWA) technology will play a key role in intelligent EoI. There are many small data in the energy and power industry fields, including user-side data, power system edge data and data of new technology and new business of intelligent energy. These data include electrical and non-electrical quantities, which could be acquired according to the technical characteristics of the LPWA, and new business requirements and models could be planned. For the IoT security, terminal access, data transmission and platform security need to be fully considered. Marketization, high efficiency and cleaning development of EoI are creating numerous new energy business scenarios, and the demands for energy IoT will be very significant.

Keywords: LPWA; LoRa; China LoRa application alliance (CLAA); small data; energy Internet of things

术, 满足大范围移动语音/数据的接入需要。这两种技术在功耗、成本、覆盖广度深度等方面受到限制^[3], 这两类技术均无法为小数据的连接提供理想的解决方案。像智能表计这样的万物互联的小数据连接需求, 催生了低功耗广域(LPWA)技术的兴起。文献[2]进一步介绍了 LPWA 技术在能源互联网领域的组网方案和应用, 但对能源互联网领域的小数据能源物联网应用的需求、场景和业务需要进一步进行研究和分析。文章中, 我们结合 LPWA 技术的特点, 对该问题进行研究分析, 希望进一步阐

明 LPWA 技术在智慧能源互联网的需求来源和具体业务内容。

1 LPWA 技术及 CLAA 物联网方案

LPWA 是一种能适配机器到机器(M2M)的业务, 具有流量小, 连接数量大等特性, 可形成一张广覆盖、低速率、低功耗和低成本的无线接入网络^[4]。物联网应用呈现“碎片化的大市场”特点, 物联网的发展本身就是多种技术的综合利用和融合发展^[5]。当前阶段, LPWA 技术体系较多, 常见的包括由第 3 代合作伙伴计划

收稿时间: 2016-11-18
网络出版时间: 2017-01-06

(3GPP)定义的基于授权频段的LPWA技术,如基于长期演进(LTE)空口优化的增强机器类型通信(eMTC)、窄带物联网(NB-IoT)技术,基于非授权频段的LoRa、Sigfox等。针对LPWA物联网的4个典型技术特点和应用碎片化的现实,如何根据不同的LPWA技术特点,选择合适的技术体系,解决物联网建网成本、功耗、覆盖、部署等一系列问题成为重要的研究方向。

为此,LoRa技术所有者Semtech、中兴通讯在LoRa联盟的支持下,联合中国数百家各类有志于LPWA物联网的合作伙伴,成立了中国LoRa应用联盟(CLAA),并由中兴通讯为主开发了CLAA物联网络解决方案,尝试解决此关键网络部署难题。

除了感知技术、连接技术、平台技术之外,物联网技术和云计算技术、大数据技术、人工智能技术进一步融合发展。未来的物联网业务将是物联网、云计算和大数据等信息技术的融合应用^[4]。CLAA物联网采用一网共平台多业务的思路建设物联网生态系统,借助互联网思维,融合云化技术,构建了CLAA物联网方案。文献[2]介绍了“云管端一体化”的运营级物联网建网方案及相关网元,这也正是CLAA物联网采用的核

心架构方案,如图1所示。

CLAA物联网架构的相关网元包括:终端注册中心(JS),实现终端接入认证、密钥生成功能;多业务平台(MSP),实现LoRaWAN媒体接入控制(MAC)功能、数据加解密功能和应用数据上下行分发功能;网络管理系统(NMS),实现对整个CLAA网络的管理;位置计算服务器(LCS),实现定位服务能力;客服和营帐系统(BOSS),实现CLAA业务的开通运营功能;IWG(LoRaWAN基站),实现LoRa物理层功能。

CLAA物联网具备区别于传统“小无线”、移动蜂窝网等无线接入网络的显著特点。

(1)分层解耦,灵活方便。CLAA网络区别于传统小无线项目型无线网络系统,把应用、运营、网络、终端解耦,实现专业分工,并融合了传统蜂窝网络的运营优势,赋予用户自主性、灵活性(用户可根据需要像购置移动蜂窝网终端(手机等)一样,随时随地部署传感终端,采集所需数据)。传感和应用厂商则可以专注终端和应用开发,实现规模发展,更能发挥优势。

(2)统一的网络标准,实现运营级的LPWA物联网网络。CLAA物联网在LoRaWAN协议的基础上,参考

电信运营商网络标准和相关协议,定义了基于LoRa技术的运营级物联网网络标准和网络协议,为可规模化运营的LPWA物联网建设和发展提供统一的标准和协议基础,实现一张网多业务共享,灵活方便;实现运营级的LPWA物联网网络建设和运营。

目前已经发布的标准和协议包括:《CLAA对中国470-510频段的使用网络技术要求》、《CLAA码号命名规范及原则》、《CLAA对LoRaWAN的MAC命令扩展规范》、《CLAA对网络运营商服务器外部服务接口定义》4个相关标准协议,版本根据商用示范项目运行情况和CLAA物联网开发情况持续更新。

(3)网络实现方案为采用弹性云端、全网服务。CLAA物联网的网络实现充分采用当前先进的云计算技术,采用弹性云端、全网服务的方案。CLAA物联网的云端服务网络功能(核心网)部署在公用或专有云端服务器,所有CLAA网络节点(CLAA基站)和应用业务均可通过互联网或行业专网与云端服务器连接,组成统一的物联网网络。CLAA物联网云端网络服务的部署规模是弹性的,可根据物联网基站部署数量、传感终端接入数量、业务应用系统接入数量等进行弹性扩充。可实现物联网网络

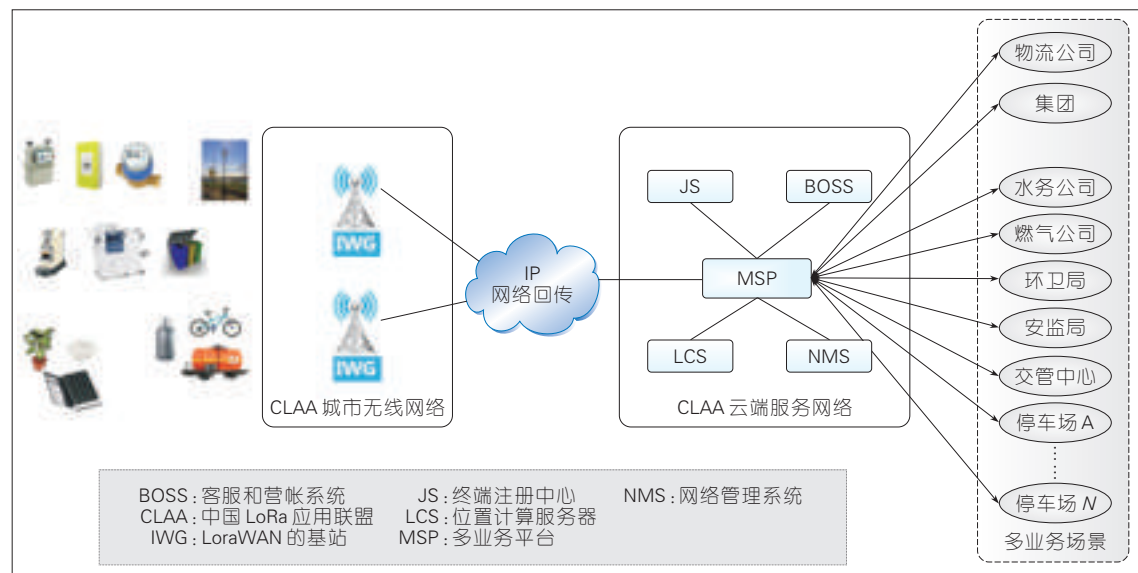


图1
CLAA物联网架构

的快速部署商用,又能灵活扩展演进。CLAA 物联网为全网服务方案,按照上述统一的网络标准进行管理,实现一张同平台多业务的网络服务。

(4)工程实现优势为采用按需部署,即装即用。CLAA 物联网基站(网关)为小型化即装即用设备,是轻量级接入物联网基站。用户或集成商可根据项目按需部署,而不必等待网络建设完成才能实现业务部署,业务部署和网络部署可同步进行。项目后期也可根据需要进行补盲、扩充等网络建设。物联网基站仅需现场短时间工程安装和配置操作便可接入云端网络服务,快速实现网络覆盖。

(5)独立式云化应用。传统物联网接入和应用,大多按照独立项目模式进行限定场所、场景的部署,所采集数据也难以云化。CLAA 物联网则为专业应用的独立式云化应用提供了网络方案基础,各类物联网应用如消防传感、市政设施、城市环境等数据可实现大众公有,按需开放的新型商业或管理模式。针对专业行业性的大范围管理也将提供十分便捷的方案,如物流、消防部门、生产安全管理、物业管理等。可以设想,未来所有建筑、工厂等处的烟感、温感等传感器状态信息均可传递到消防部门,对预防火灾、火灾报警、防灾快速反应都将起到不可估量的作用。

2 智慧能源物联网连接需求

能源互联网是以互联网思维和方法构建的新一代多能流集成的综合能源系统,并实现能源技术和通信信息技术深度融合,从而提升整个能源系统的安全性、可靠性和经济性,改善系统规划、运行、管理和服务水平,最终实现能源绿色化、市场化以及用能高效化^[6]。通过信息通信技术(ICT)将多种能源系统有机地融合在一起,使各个能源系统共享信息,协调运行,使其智能化和市场化成为可能^[9]。在能源互联网时代,数据采集和连接需要深度下沉,实现广泛海量

的万物连接,以实现能源开发利用的市场化、高效化、清洁化,满足大规模随机间歇性新能源接入能源网络的调度管理需要。

能源电力系统已经实现了电力生产业务的关键节点数据连接,但是还有海量的“小数据”需要连接支持,实现能源电力系统数据采集的深度下沉^[2]。这些海量的“小数据连接”包括3个方面:一是用户侧的能源电力设备,也包括用户本身(因使用、监测控制、维护等)的连接需要,如工厂供用电及电器、建筑供用电及电器、社区供用电网和家庭电器等;二是传统能源电力系统的边缘数据,如电器电缆温度、设备设施的环境数据、设备状态数据、资产状态数据等;三是智慧能源新业务数据的连接,包括分布式发电设施、风力发电、充电桩、风光互补路灯、需求响应、能效管理、节能服务等。

(1)能源用户侧的小数据连接

能源电力用户侧包括居民生活、商业、工农生产、基础设施,同样也包括用户本身。居民生活供能系统包括社区网络和家庭电器,目前此类供电、供气、供热等供能设施的居民用户侧数据连接除智能电表外,其他基本处在空白状态,例如社区及家庭中低压供电网络及设施、街边电气设备、公共用电电器、家庭取暖/燃气具、家庭用电供气管网及附属设备(开关、阀门等)。在建筑智能化程度较高的商业建筑中,部分供能系统安装了有限的数据采集系统,如建筑能效监测系统、智能空调系统等,但数据连接依然很不全面,如楼宇供用电网络和电器,包括配电房、电缆井、母线、各级配电箱、空调暖通设备、泵房、公共照明、IT设备及机房供电、应急照明等,还包括给排水管网,部分商业建筑包括供气管网。能源用户最重要的是工业企业,中国工业能耗占全社会总能耗的70%以上^[6],工厂供能网络的数据连接存在相当不足,甚至部分工业供能网络监测处在空

白状态。诸如管网压力、温度等状态数据,电气参数如电压、电流、电量、开关、故障等等大多没有得到有效连接,特别是和生产不直接相关的供能供电设施及其环境状态参数,大多处在连接缺失状态,无法进行全面的能效监测、能源考核,也无法进行智能化、精细化的供能系统管理和维护。机场、公路、供水、排灌、市政等各类基础设施也是较大的能耗用户,其用能系统数据连接同样不容乐观。用能单位的运行维护检修人员、居民用户自身等人员连接同样缺乏,相关人员无法快速准确获取能源设备参数,进行快速响应。

(2)传统能源电力系统的边缘小数据连接

文献[2]指出:传统能源电力系统,诸如变电站、电厂的运行生产关键数据已经成功实现了广泛连接,但是变电站、电厂、输电线路、配电网络的边缘小数据却没有得到广泛有效的连接。这些边缘数据包括电气设施周边环境数据,如气温、噪声、水浸、湿度、酸碱度、烟雾、粉尘等;电气设备状态数据,如设备温度、绝缘强度、倾斜状态、沉降、凝露、污秽等;附属设施状态数据,如电缆隧道环境数据、安全防范数据、电气建筑物状态数据、周围地理环境和状态数据(山体滑坡、地陷);电气设施的微气象微气候数据,如风速、气温、湿度、能见度、降水等。

上述数据均对传统电力能源设施的正常运行、故障产生、设备寿命、巡视检修等产生或多或少的影 响,相当一部分数据会对能源电力系统的正常运行产生较大威胁,如环境湿度、气温变化会导致设备凝露,造成设备绝缘性能下降,易导致电气设备的短路触电事故;山体滑坡、地陷导致管网、厂站受到毁灭性威胁。如果能够对这些边缘小数据实现广泛的连接,可以有效进行提前预防、报警和事前处理,防止故障、事故,甚至灾害的发生,同样也能提高日常的巡

检、运维、运行效率。

(3) 智慧能源新业务小数据连接

智慧能源互联网的各类新型业务需要广度和深度的数据连接支持,包括智能表计、碳排放、智能运维、能耗监测、能效管理、需求响应、用户侧电器、分散式充电桩等。能源电力的市场化建设,对各类、各级用户的精确用能计量数据是基础;而实时电力市场交易需要高频智能电表(15 min 采集一次)的数据支持;分布式光伏发电系统的智能运维,需要采集光伏组件的状态、并网发电数据和逆变器状态等,输配电网等能源网络的智能运维与此类似;发电预测和虚拟电厂业务需要大范围的气象气候监测;大范围中小商业和居民的用电需求响应业务,需要通过广泛的用电电器连接、用户连接等以实现人、电器、电网、储能、分布发电等的多维信息交互,进行需求响应互动操作;碳市场交易所需的广泛的清洁能源发电和碳排放监测数据,如采集大量分布式发电的发电量数据,打包后可参与碳市场交易,包括分布式光伏、分布式风力发电、分散型风/光互补小型发电系统等。

3 智慧能源物联网的业务分析

能源物联网业务类型包括数据类别、业务模式、数据流量和数据采集频次,在不同场景中均有不同,甚至差异明显。

3.1 能源电力物联网的数据类型

上述能源物联网中需要连接的小数据类型包括电气参数、非电量参数和其他参数类型。

(1) 电气参数

- 交流量:交流电气系统中的交流电量参数,包括三相电压、三相电流、有功功率、无功功率、功率因数和频率等。交流电量参数是反映电气回路、电器设备运行状态的基本参数,可用于故障判断、电气保护、状态

指示、参数计算、自动控制和反馈等。在电子信息系统中,一个交流电量参数可以作为一个模拟量,我们用 4 Byte 的浮点数表示。

- 直流量:直流电气系统中的直流电气参数包括直流电压、直流电流、直流功率等,是反映直流电气回路和直流电器设备的基本参数,可用于状态监测、故障和保护、参数计算、自动控制和反馈等。在电子信息系统中,一个直流量参数可以作为一个模拟量,用 4 Byte 的浮点数表示。

- 开关量:在交流或直流系统中的开关量参数是一个表示开关位置的数字量,如断路器位置、刀闸位置、开关分合、行程开关位置等,一般用 1 位比特表示一个位置状态,一台电气设备一般有多个位置信号,如断路器的分位、合位、故障位、储能位等。

- 状态量:反映电气系统或设备的工况状态的信号量,一般是参数变化反映的某一状态,如交直流量越限报警、压力浓度等模拟量越限状态、元件故障状态报警、设备在线状态、链路状态等,一般用 1 位比特表示。

- 控制量:控制量用于电气设备的远程或自动控制,是计算机系统软件、人机操作界面、自动控制开关等根据程序或人工主动发出的控制量信号,完成设备的启停、开关、状态切换等控制操作,一般采用 1 位比特来表示。

(2) 非电量参数

- 模拟量:能源电力系统中模拟量普遍存在,种类繁多,常见的非电量模拟量有温度、湿度、压力、速度、加速度、浓度、液位、位移、应力、形变、垂直度、水平度等。各种模拟量在能源电力系统中生产运行、状态监测、故障诊断、检修维护等均起到重要作用,是重要的物联网数据连接领域之一,一个模拟量一般用 4 Byte 的浮点数表示。

- 状态量:非电量状态是指能源电力系统中非电气设备的状态量参数,如模拟量越限、越位、就位、故

障、突变等,这些状态量对能源电力系统的多个业务如巡检、故障预防、检修抢险、设备运行等都是关键信号,是重要的物联网数据连接领域之一,一个状态量用 1 位比特表示。

(3) 其他类型参数

- 计量数据:计量数据在能源电力生产运行和经营业务中是基础数据之一,包括供应商和用户间的结算、公司内的效率效益考核、生产线的配方配料等业务,计量数据均是基础信息。计量数据包括电表有功电量、无功电量、水量、气量、热量、体积、重量、计数等,一般一个计量数据采用 4 Byte 的浮点数表示。

- 档位数据:在能源电力系统中,有一类设备可以进行输入或输出的多梯度或线性调节,为系统提供灵活的适应能力,如变压器的档位调节、阀门的流量调节等。档位数据包括当前档位信息和换挡指令信息,前者反馈当前设备的运行档位,后者对设备运行档位进行调整,档位信息根据不同的设备采用 1 个或多个 Byte 表示。

3.2 能源电力物联网的业务模式

能源电力物联网的数据连接业务模式根据其不同的应用业务场景、不同的数据通信协议有所不同。如监测业务、故障诊断业务、远程控制调度业务等对数据连接的需求和方式不同。不同的工业通信协议、电力通信协议也规定了不同的数据连接方式,包括常见的 Modbus RTU/ASCII 协议、CAN-BUS 协议、M-Bus、DNP、CDT/XT9702、IEC60870-5-101/102/103/104 规约、IEC61850 系列协议、厂商自定义协议等。这些不同的通信协议/规约对能源电力物联网的业务模式产生不同的影响和需求,文中不做详细阐述。

基于 LoRa 技术的 CLAA 物联网在传感终端侧有 3 种工作模式:CLASS A、CLASS B、CLASS C。CLASS A 模式传感器定时上传数据,

在每次传送数据后预留接收基站下行数据时隙窗口,可以响应主站端指令,功耗最低;CLASS B在每次上报数据时或定时开启接收基站下行数据的时隙窗口,响应主站端指令更灵活,功耗略多一点;CLASS C实时侦听基站指令,随时接收指令,响应性最强,但牺牲了低功耗优势。

分析不同的应用业务场景和相关通信规约的影响,结合CLAA物联网规范,从传感终端侧角度,能源电力物联网的数据连接业务模式可分为主动上报数据、被召唤数据、下行控制数据3类,每种类别又可以根据响应时间、使用环境、数据流量等进行细分。

● 主动上报:传感器时间触发方式上报数据,如定时、参数越限、状态改变、开关状态等事件。其中定时上报数据的方式最为常见,根据LPWA物联网技术的特点,一般少则10多分钟,多则数小时或每天上报一次数据。也可以采用定时和其他条件结合的触发上报模式,定时上报可以定期更新监测传感器工作状态,其他条件触发满足意外或重要事件的及时响应,如能源电力的厂站屋顶和设备处的消防报警器,平时每天上报一次自检数据,表明自身的工作状态,当有消防险情时,温感烟感越限要及时(数秒内)上报险情,通知相关系统或人员快速处理。这种模式是CLAA网络的主要支持方式,大部分CLAA物联网传感终端采用这种业务模式。

● 被召唤上报数据:一些应用业务场景和通信协议采用主站端召唤方式获取传感终端数据,传感终端被动响应主站召唤上传数据。此类业务模式让主站端具备物联通信数据采集的调度管理功能,主站可以根据系统业务需要,采用定时、条件触发等方式主动召唤所需传感终端数据,满足业务功能。这种业务模式需要传感终端在线监测通过CLAA物联网微基站传递的主站召唤指令,传感终端需要采用CLASS C模式工作,牺牲

低功耗的优势。在传感终端工作在CLASS A、CLASS B模式时,主站的召唤指令需要等待传感终端打开接收时隙窗口时才能得到响应。

● 下行控制数据:类似智能路灯、建筑照明、水泵监测控制等应用,需要远程控制功能,还有一些应用场景远程主站根据业务需要对传感终端进行参数修改、定值设定,传感终端需要响应主站通过物联网微基站传递的远程控制指令或参数定值。传感终端在CLASS A、CLASS B、CLASS C3种工作模式下均可实现下行数据的接收响应,可以根据不同的业务场景和需求选择不同的工作模式。

3.3 数据流量和采集频次

不同的传感业务需求、传输的数据流量不同,数据传输速率根据数据类型和采集频次确定。CLAA物联网IWG 200微基站具备8个并行的下行通道和1个上行通道,每个通道数据传输速率300 bit/s~5.5 kbit/s,传感终端在不同的网络位置,信号强弱不同,数据速率有所差异。CLAA网络协议中规定了数据帧头、终端地址、版本、校验等内容,这部分网络开销约30 Byte左右。在不同的网络环境中,根据设置的不同扩频因子(SF),有效载荷最大值不同:SF为12时,有效载荷约50 Byte;SF为7时,有效载荷约220 Byte。

不同的传感类型、数据类型和应用通信协议有效载荷值不同。例如,采用Modbus RTU协议,最小有效载

荷值可以为6个Byte(地址1 Byte、功能码1 Byte、长度值1 Byte、内容1 Byte、CRC校验2 Byte),可以传输8位状态量或开关量;有效载荷值最大可以为260 Byte左右,可以传输约60个4 Byte浮点数模拟量(交流量、直流量)。典型应用如智能路灯,每盏路灯监测包括单相电压、电流、功率、频率、功率因数5个模拟量,监测开灯状态、故障指示等多个状态数字量(建议用1个Byte,8位状态量),这样智能路灯监测控制每次上传数据有效载荷约26 Byte,加上网络开销,每次智能路灯控制终端与基站之间传送的数据包大小不到60 Byte。这样即使在CLAA网络基站边缘侧,采用SF为12也可以一次完成数据传送。

不同的应用场景采集数据的频次需求也不相同,采集频次影响网络容量和传送数据的效率。表1显示了CLAA网络1座微基站的网络容量情况。

建议在能源电力物联网应用中,改变传统有线连接的数据采集方式,全新考虑业务需求,详细核算数据包大小。通过重新规划业务模型,采用相关技术方法尽可能减少数据传送频次和数据包大小。例如采用2 Byte整数配合固定系数的方式采集模拟量(交直流电量);采用越限触发上送模拟量数据的传送模式,或者仅传越限相对值(如绝对值、比例值等);数秒传送一次改变为数分钟或数小时传送一次;设备在非工作时间停止或大幅降低传送数据的频次(如白天的路灯)。通过改变业务模式和相关

▼表1 网络负载与容量示例表

数据长度/ Byte	发包频次/ h	信道 负载	扩频 因子	空中时延/ ms	传送速率/ (kbit/s)	网络容量/ (个/单基站)
8	60	30%	7	36.1	5.47	3 989
			12	991.2	0.29	145
16			7	51.5	5.47	2 796
			12	1 155.1	0.29	125
32			7	71.9	5.47	2 003
			12	1 646.6	0.29	87

的一些技术方法,可大幅提升网络效率,提升网络容量,提升物联网网络的可用性。

4 物联网安全

2016年10月,发生在美国的借助物联网设备发动的大规模网络攻击造成了美国上千家大网站集体“掉线”^[7]。这一事件引起了广泛的讨论,物联网安全也受到了相关物联网企业和用户的普遍重视。物联网安全包括终端安全、数据传输安全、网络管理及运营平台安全、应用服务平台安全等方面。

物联网各环节的安全风险和防范涉及到整个物联网生态,发生安全事件可能导致较大的运营、生产和生活影响,严重时可能导致事故,对社会造成巨大影响。因此,物联网安全需要全力关注,做好全面的安全防范工作,也需要物联网生态链内的企业、用户、运营商等多方参与,共同完善安全解决方案。

5 结束语

能源物联网可以为智慧能源的许多应用场景提供基础的数据连接,实现智慧能源系统的市场化、高效化、清洁化开发应用。可以通过能源物联网连接各种各样的用电电器,采集电器运行参数,如电量、功率等,实现工业、建筑等能耗监测,实现能效管理功能,促进节能降耗,辅助实现能源电力的高效化消费。通过大范

围的城区电力用户大功率电器的物联网连接,为大范围城区电力用户参与电网需求侧响应提供基础数据连接。在新能源领域,能源物联网可以为分布式发电系统,分散的离网型微型新能源系统,如风光互补路灯、风光互补监测控制、光伏扬水等提供几乎不受地域范围限制的数据连接,实现新能源系统的智能监测控制、智能运维、发电预测等功能。

以LoRa技术为代表的LPWA物联网技术,因其广泛覆盖、超低功耗、较低的价格和海量接入的能力优势,极大地释放能源电力运营数据采集需求,使得海量低成本的能源电力传感器部署成为可能。CLAA物联网方案提出了互联网思维的运营级物联网建设新思路,为LPWA物联网的多方共同参与、互利共赢提供了生态链平台。能源电力领域中,致力于创新业务,快速获取能源电力数据的各方可以快速布网,连接所需数据,这必将为智慧能源互联网的发展提供强大助力。

致谢

本论文中的成果基于中兴通讯CLAA物联网项目团队的研究开发,向全体团队同事谨致谢意!

参考文献

- [1] 孙宏斌, 郭庆来, 潘昭光. 能源互联网: 理念、架构与前沿展望[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(19): 3-4
- [2] 陈永波, 汤奕, 艾鑫伟, 等. 基于LPWAN技术

的能源电力物联专网[CI]/电力行业信息化年会. 天津: 2016电力行业信息化年会论文集, 2016: 448

- [3] 夏莹莹, 刘琛, 邵震, 等. LPWA, 物联网产业发展的新机遇[J]. 通信企业管理, 2015(10): 68
- [4] 王艺. 物联网技术生态现状和展望[J]. 电信技术, 2016(5): 12
- [5] 吴建中. 欧洲综合能源系统发展的驱动与现状[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(5): 2-4
- [6] 王山山. 解振华: 我国应对气候变化有5个重点方向[J]. 中国经济周刊, 2013(31): 43
- [7] 彭茜. 新闻分析: 美国网络攻击暴露物联网安全隐患[EB/OL]. (2016-10-24). http://news.xinhuanet.com/2016-10/24/c_1119778739.htm

作者简介



陈永波, 中兴通讯股份有限公司行业解决方案部能源电力行业架构师; 从事能源电力行业发展和趋势研、M-ICT 技术需求分析、方案规划与设计开发工作, 同时作为公司 CGO 实验室 iLPN 城市物联网创新研发项目重要成员, 负责物联网微基站、传感终端微供能系统研究和方案设计, 以及能源电力物联网应用需求分析和方案设计工作。



刘建业, 中兴通讯股份有限公司物联网及能源总经理, 中兴通讯专家委员会常委, LoRa® Alliance 董事, CLAA 秘书长, All 理事等; 研究方向为传感器、智能仪器、工业自动化等, 目前从事能源领域行业规划、方案经营等工作, 同时负责物联网创新产品规划及研发; 已发表论文 30 余篇, 拥有专利 30 余项。



陈继军, 中兴通讯股份有限公司政企事业部能源行业市场总监、CLAA 物联网市场方案规划负责人, 并担任中兴通讯在 LoRa Alliance 董事会的代表, 参与了 CLAA 联盟的组建。

NB-IoT 关键技术及应用前景

Key Technologies and Application Prospect for NB-IoT

邹玉龙/ZOU Yulong¹
丁晓进/DING Xiaojin²
王全全/WANG Quanquan¹

(1. 南京邮电大学, 江苏 南京 210003;
2. 东南大学, 江苏 南京 211189)
(1. Nanjing University of Posts and
Telecommunications, Nanjing 210003, China;
2. Southeast University, Nanjing 211189,
China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0043-004

摘要: 基于窄带物联网(NB-IoT)的技术特点、组网方法及潜在应用场景,指出了其发展过程中面临的关键问题,包括NB-IoT的数据安全与传输可靠性,NB-IoT向宽带物联网(WB-IoT)演进的问题,以及物联网设备连接需求的低、中、高速率共存的问题。认为多速率物联网设备的研究将是下一阶段NB-IoT发展的重点方向。

关键词: 互联网; 物联网; NB-IoT

Abstract: In this paper, according to the technical features, networking methods, and potential application scenarios, we point out the key problems of narrowband Internet of things (NB-IoT), such as the data security and transmission reliability for NB-IoT, the evolution of the NB-IoT to wideband IoT(WB-IoT), and the coexistence of low, middle and high data rates for IoT devices. The multirate devices are proposed as the direction of NB-IoT research in the next stage.

Key words: Internet; IoT; NB-IoT

1 物联网的起源

物联网(IoT)是在互联网基础上延伸与扩展的一种网络,通过信息传感设备(例如无线传感器节点、射频识别装置、红外感应器等)按照事先约定的协议,将世间万物与互联网连接起来,并进行信息的交换和通信,从而实现智能化识别、定位、跟踪、监测控制和管理^[1-2]。IoT包括两个主要方面,即物与物之间的信息交互和人与物之间的信息交互。IoT通常可以分成3层,即感知层、网络层和应用层^[3-4]。感知层通过实时感知,随时随地对物体进行相关信息的采集和获取,并将收集到的物理信息传送到网络层;网络层通过将物理世界接入到信息网络,进行安全可靠的信息交互和共享;应用层则对感知信息 and 数据进行相关分析和处理,以实现智能化决策和控制。时至今日,IoT迎来了新的发展机遇和浪潮,极大地推动了智能交通、智能家居、智慧医疗以及智慧物流等行业的快速发展,

成为社会发展的重要动力,由此可能引发新一轮的工业革命^[5]。

2 NB-IoT 概述

2.1 NB-IoT 的发展背景

近年来,IoT发展迅速,世界万物都可以通过互联网相互连接,其中包括一些高速率业务(如视频类业务等),以及一些低速率业务(如抄表类业务等)。据不完全统计,低速率业务占据IoT业务的67%以上,且低速率业务还没有良好的蜂窝技术来提供支持^[6],这也意味着低速率广域网技术拥有巨大的需求空间。在IoT不断发展的同时,IoT通信技术也日趋成熟,其中广域网通信技术的发展尤其明显。广域网通信技术按频谱是否授权可以分成以下两种类型^[7]:

- (1) 非授权,如Lora和Sigfox等;
- (2) 授权,3GPP制订的蜂窝通信

技术,如2G、3G、4G,以及基于4G演进而来的长期演进(LTE)CAT-NB1,也称为窄带物联网(NB-IoT)技术^[8]。

综合来说,NB-IoT具有迫切的市场需求,同时也具备良好的通信网络支撑,因此拥有广阔的发展前景。

2.2 NB-IoT 的关键技术

本小节简要介绍了NB-IoT相关的主要内容,着重从以下4个部分来介绍。

(1) NB-IoT 主要技术特点

如表1所示,NB-IoT是在LTE基础上发展起来的,其主要采用了LTE的相关技术,针对自身特点做了相应的修改。

NB-IoT的物理层,射频带宽为200 kHz,下行采用正交相移键控(QPSK)调制解调器,且采用正交频分多址(OFDMA)技术,子载波间隔15 kHz;上行采用二进制相移键控

收稿时间: 2016-11-16
网络出版时间: 2016-12-28

▼表 1 NB-IoT 主要技术特点

层级		技术特点	
物理层	上行		BPSK 或 QPSK 调制
		SC-FDMA	单子载波,子载波间隔为 3.75 kHz 和 15 kHz, 传输速率在 160 kbit/s~200 kbit/s
	下行		多子载波,子载波间隔为 15 kHz, 传输速率在 160 kbit/s ~250 kbit/s
			QPSK 调制
物理层以上层		OFDMA,子载波间隔 15 kHz, 传输速率在 160~250 kbit/s	
核心网		基于 LTE 的协议	
		基于 S1 接口	
BPSK: 二进制相移键控 LTE: 长期演进		NB-IoT: 窄带物联网 OFDMA: 正交频分多址	QPSK: 正交相移键控 SC-FDMA: 单载波频分多址

(BPSK)或 QPSK 调制解调器,且采用单载波频分多址(SC-FDMA)技术,包含单子载波和多子载波两种。单子载波技术的子载波间隔为 3.75 kHz 和 15 kHz 两种,可以适应超低速率和超低功耗的 IoT 终端。多子载波技术的子载波间隔为 15 kHz,可以提供更高的速率需求。

NB-IoT 的高层协议(物理层以上)是基于 LTE 标准制订的,对多连接、低功耗和少数据的特性进行了部分修改。

NB-IoT 的核心网基于 S1 接口进行连接。

(2)NB-IoT 的频谱资源

IoT 是未来通信服务市场的核心增量用户群,中国四大电信运营商对 NB-IoT 的发展都很支持,各自都划分了 NB-IoT 的频谱资源,具体如表 2 所示。其中联通已经开通了 NB-IoT 的商用网络。

(3)NB-IoT 的部署

根据 NB-IoT 立项中 RP-151621 的规定,NB-IoT 支持 3 种部署场景。如图 1 所示,NB-IoT 所支持的 3 种部署场景分别是^[9]:

- 独立部署,即 stand-alone 模式,利用独立的频带,与 LTE 中的频带不重叠;
- 保护带部署,即 Guard-band 模式,利用 LTE 频带中边缘频带;
- 带内部署,即 In-band 模式,利用 LTE 频带进行部署。

(4)NB-IoT 的组网

NB-IoT 组网如图 2 所示,主要分成了如下所述的 5 个部分。

- NB-IoT 终端:支持各行业的 IoT 设备接入,只需要安装相应的 SIM 卡就可以接入到 NB-IoT 的网络中;
- NB-IoT 基站:主要是指运营商已架设的 LTE 基站,从部署方式来讲,主要有上面介绍的 3 种方式;
- NB-IoT 核心网:通过 NB-IoT 核心网就可以将 NB-IoT 基站和 NB-IoT 云进行连接;
- NB-IoT 云平台:在 NB-IoT 云平

台可以完成各类业务的处理,并将处理后的结果转发到垂直行业中心或 NB-IoT 终端;

- 垂直行业中心:垂直行业中心既可以获取到本中心的 NB-IoT 业务数据,也可以完成对 NB-IoT 终端的控制。

2.3 NB-IoT 的相关应用

根据 NB-IoT 的技术标准,NB-IoT 所支持的相关应用具有以下几个主要特点。

(1)低速率属性

通过前面的相关介绍可知,NB-IoT 主要是为了解决 IoT 中低速率业务而提出的。NB-IoT 采用了低阶调制,低速率也是其主要特征。

(2)高时延属性

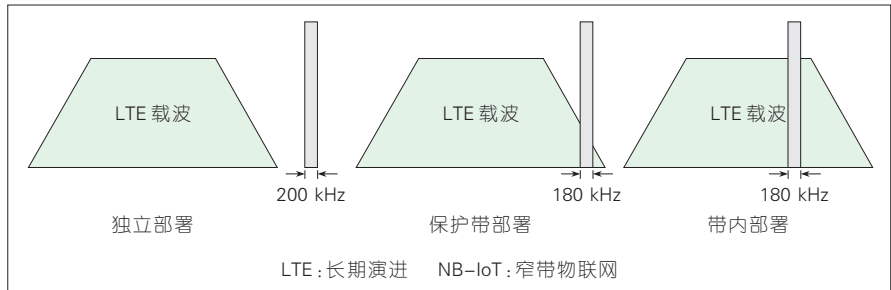
NB-IoT 具有很强的覆盖能力。为了实现高可靠的广域覆盖,NB-IoT 网络中的数据传输可能需要进行多次重传,从而导致较大的通信时延。当前 NB-IoT 标准设想的数据传输时延可能会达到 10 s。

(3)低频次属性

顾名思义,低频次就是指单位时

▼表 2 各运营商的 NB-IoT 频谱划分

运营商	上行频段/MHz	下行频段/MHz	频宽/MHz
联通	909~915	954~960	6
	1 745~1 765	1 840~1 860	20
电信	825~840	870~885	15
移动	890~900	934~944	10
	1 725~1 735	1 820~1 830	10
广电	700	700	未分配
NB-IoT: 窄带物联网			



▲图 1 NB-IoT 所支持的 3 种部署方式

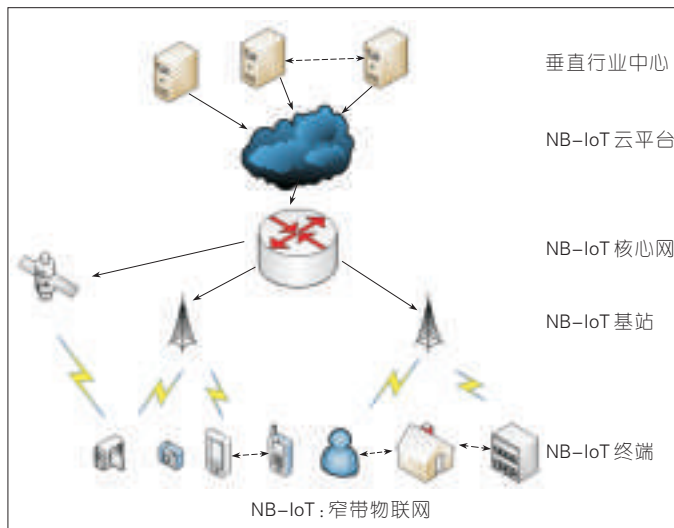


图2
NB-IoT 组网

间内业务数据传输次数不能过于频繁。过于频繁的数据传输不仅会增加IoT终端的功率消耗,也会对NB-IoT网络时延提出更为严苛的要求。

(4) 移动性弱特性

由于NB-IoT对终端功耗有很高的要求,NB-IoT Rel-13标准中不支持连接状态的移动性管理,包括相关测量、测量报告、切换等,以达到节省终端功耗的目的。

2.4 NB-IoT 的应用场景

随着IoT通信技术的快速发展,尤其是NB-IoT技术日趋成熟,IoT技术将不断渗透到各行各业。NB-IoT技术正飞速走进人们的生活,其支持的应用场景如下:

- 智慧市政,包括水、电、气、热等基础设施的智能管理;
- 智慧交通,包括交通信息、应急调度、智能停车等;
- 智慧环境,包括水、空气、土壤等实时监测控制;
- 智慧物流,包括集装箱等物流资源的跟踪与监测控制;
- 智慧家居,包括家居安防等设备的智能化管理与控制。

3 NB-IoT 发展面临的潜在问题

NB-IoT发展过程中可能面临以

下两类主要问题,即数据安全与传输可靠性问题,以及NB-IoT向宽带物联网(WB-IoT)的过度演进。

3.1 数据安全与传输可靠性

NB-IoT发展中面临的IoT数据安全性与传输可靠性问题可能由两方面引起:一方面是来自NB-IoT网络外部的攻击和窃听行为,另一方面是NB-IoT网络内部的信号干扰。

如图3所示,NB-IoT网络进行数据信息交互时,可能会面临外部用户的恶意攻击,从而降低网络信息传输的成功概率。随着恶意攻击行为的增加,NB-IoT网络信息交互的中断概率会随之上升,这也将导致数据重传次数的增加,从而加重NB-IoT网络的通信负担,甚至可能会导致网络的瘫痪。

从功耗的角度来看,NB-IoT网络设备需要具备很长的网络生存周期,然而重传次数的增加也会降低NB-IoT终端设备的生存周期。此外,从信息安全的角度来看,当NB-IoT网络进行信息交互的同时,还可能存在着恶意窃听行为,这将破坏数据信息传输的安全性。并且随着网络信息重传次数的增加,数据信息的安全性也越容易遭受到破坏。概括来说,外部用户的恶意攻击和窃听行为不仅降低了NB-IoT网络信息传输的可靠性,也将恶化NB-IoT网络信息的安全性。

此外,NB-IoT终端设备的增多也会消耗更多的LTE资源块。随着NB-IoT网络的演进发展,海量的接入设备可能会导致NB-IoT网络面临严重的同频干扰问题,这也会显著降低NB-IoT网络信息传输的可靠性。

3.2 WB-IoT 演进问题

根据当前的统计数据,IoT网络中67%以上的终端设备都具有低速率属性。然而,随着社会经济的发展,IoT网络中终端设备的速率需求也将发生变化,进而可能会出现低速率、中速率,以及高速率并存的应用场景,这也就导致当前的NB-IoT网络不能满足将来IoT设备的异构需求。由于IoT网络对终端设备具有严格的功耗限制,现有的蜂窝网络可能无法满足未来IoT网络发展的相关需求。因此,WB-IoT的需求也将越来越

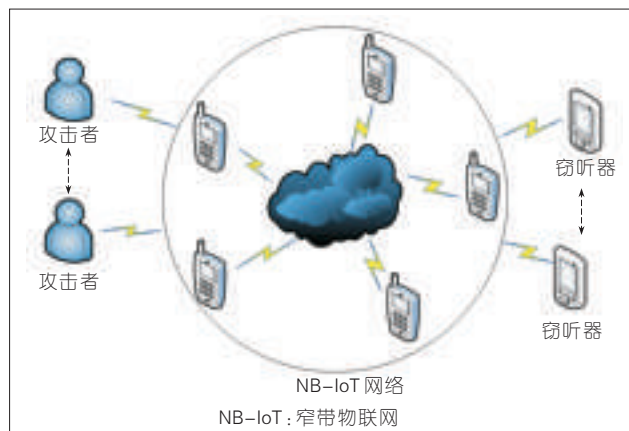


图3
NB-IoT网络可能面临的安全问题

越迫切。

4 结束语

工业 4.0 时代,各行业对智能化及产业转型升级的需求越来越迫切。NB-IoT 技术应运而生,它是基于蜂窝网络的通信技术,具备广域覆盖、海量接入、低功耗等特征。随着 NB-IoT 对行业的不断渗透,生态体系的不断完善,会给社会带来深远的影响。此外,随着社会的不断发展,IoT 设备的速率需求会由以低速率为主转向低、中、高速率共存。低速率的 NB-IoT 技术将主要应用于对通信时延低敏感的市政应用,而智能停车网络等大规模应用则需要相对较高的数据速率及较低的容错率以避免事故的发生。同时,更多的 IoT 应用在不同的时间和地点也都有着不同的速率要求。因此对于多速率 IoT 设备的研究将会是 NB-IoT 发展的重点方

向之一。

参考文献

- [1] 佟鑫. 物联网的定义和应用[J]. RFID 射频世界, 2010, 5(4): 20-20
- [2] 宋俊德. 浅谈物联网的现状和未来[J]. 移动通信, 2010, 34(15): 7-10. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1010.2010.15.001
- [3] 邱小明. 物联网体系结构及关键技术研究[J]. 电脑知识与技术, 2011, 7(28): 6847-6849. DOI: 10.3969/j.issn.1009-3044.2011.28.022
- [4] 秦敏, 刘宁, 赵飞. 浅析物联网发展对通信的影响[J]. 通信设计与应用, 2016, 23(4): 102-102. DOI:10.3969/j.issn.1006-4222.2016.04.076
- [5] 叶钟灵. 迎接 4.0 第四次工业革命[J]. 电子产品世界, 2015, 23(1): 3-6
- [6] 曹钟慧. 运营商角度的物联网技术发展应用浅析[J]. 移动通信, 2016, 40(15): 30-35. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1010.2016.15.006
- [7] 戴国华, 余骏华. NB-IoT 产生背景、标准发展以及特性和业务研究[J]. 移动通信, 2016, 40(7): 31-36. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1010.2016.07.007
- [8] TR 23.720: Study on architecture enhancements for Cellular Internet of Things (Release 13)[S]. 3GPP, 2016
- [9] 3GPP. RP-151621: Revised Work Item: Narrowband IoT (NB-IoT)[EB/OL]. (2015-09-17) [2016-11-20]. [ftp://ftp.3gpp.org/tsg_ran/TSGR_69/Docs/RP-151621.zip](http://ftp.3gpp.org/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_69/Docs/RP-151621.zip).

上接第 28 页

相关研究的开展深入和企业资源的大力投入, NB-IoT 会进一步完善, 在不同的垂直行业得到更广泛的应用, 开启万物互联的新领域、新时代。

参考文献

- [1] 纪伟. NB-IOT 的发展现状与运营商发展策略[J]. 通讯世界, 2016(21): 71-72
- [2] 戴国华, 余骏华. NB-IoT 的产生背景、标准发展以及特性和业务研究[J]. 移动通信, 2016, 40(7): 31-36. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1010.2016.07.007
- [3] CARLOS A, TRASVINA M, RUBEN B, et al. A Network Performance Analysis of LoRa Modulation for LPWAN Sensor Devices[M]// BICK M, KUMMER T F. Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence. Germany: Springer, 2016: 174-181. DOI: 10.1007/978-3-319-48799-1_21
- [4] 赵静. 低速率物联网蜂窝通信技术现状及发展趋势[J]. 移动通信, 2016, 40(7): 27-30. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1010.2016.07.006
- [5] 陈博, 甘志辉. NB-IoT 网络商业价值及组网方案研究[J]. 移动通信, 2016, 40(13): 42-46. DOI:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.13.009
- [6] MANGALVEDHE N, RATASUK R, GHOSH A, et al. NB-IoT Deployment Study for Low Power Wide Area Cellular IoT[C]// IEEE Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications. USA: IEEE, 2016: 1-6. DOI: 10.1109/PIMRC.2016.7794567
- [7] RATASUK R, VEJLGAARD B, MANGALVEDHE N, et al. NB-IoT System for

M2M Communication[C]// IEEE Wireless Communications and NETWORKING Conference Workshops. USA: IEEE, 2016: 428-432. DOI: 10.1109/WCNCW.2016.7552737

- [8] FU S, LI J, LI R, et al. A Game Theory Based Vertical Handoff Scheme for Wireless Heterogeneous Networks[C]// International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks. USA: IEEE, 2014: 220-227. DOI: 10.1109/MSN.2014.37
- [9] WANG S, FAN C, HSU C H, et al. A Vertical Handoff Method via Self-Selection Decision Tree for Internet of Vehicles [J]. IEEE Systems Journal, 2014(99): 1-10. DOI: 10.1109/JSYST.2014.2306210
- [10] 方飞, 李云. 无线异构网络的垂直切换判决算法[J]. 通信技术, 2010, 43(6): 137-139. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0802.2010.06.046
- [11] 张志飞, 刘崇春. 一种新的等效带宽估计方法[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(5): 616-619
- [12] STEYNSNAVARRO E, WONG V W S, LIN Y. A Vertical Handoff Decision Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 57(2): 3199-3204. DOI: 10.1109/TVT.2007.907072
- [13] 魏欢. 浅谈基于 TD-LTE 的移动流媒体业务[C]// 2012 年全国无线及移动通信学术大会论文集(下). 内蒙古: 呼和浩特, 2012: 486-489
- [14] STEYNSNAVARRO E, Wong V W S. Comparison between Vertical Handoff Decision Algorithms for Heterogeneous Wireless Networks[C]// IEEE Vehicular Technology Conference. USA: IEEE, 2006: 947-951. DOI: 10.1109/VETECs.2006.1682964

- [15] 徐晓丽, 刘翠平, 梅素平. 异构网络垂直切换判决策略研究[J]. 网络安全技术与应用, 2009(7): 89-92. DOI:10.3969/j.issn.1009-6833.2009.07.040

作者简介



邹玉龙, 南京邮电大学教授、博士生导师; 长期从事认知无线电、中继协作通信、无线网络安全以及卫星通信等无线通信前沿理论研究, 取得了一系列具有国际影响的创新性研究成果。



丁晓进, 东南大学在读博士; 研究方向为认知无线电、协作通信、无线物理层安全等。

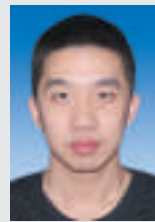


王全全, 南京邮电大学在读硕士; 研究方向为认知无线电、异构网络功率分配等。

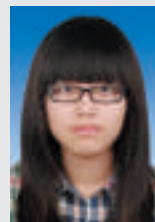
作者简介



潘甦, 南京邮电大学教授; 主要研究领域为无线通信; 目前主持国家自然科学基金项目 2 项, 省部级项目 2 项, 参与国家级省部级项目多项; 发表论文数 10 篇, 出版译著 2 本。



陶帅, 南京邮电大学通信与信息工程学院通信与信息专业硕士研究生; 主要研究方向为无线通信。



陈宇青, 南京邮电大学通信与信息工程学院通信与信息专业硕士研究生; 主要研究方向为无线通信。

NB-IoT 中安全问题的若干思考

Security Issues of NB-IoT

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0047-004

摘要: 分析了窄带物联网(NB-IoT)感知层、传输层和处理层的安全需求和相关安全技术,认为安全性是确保NB-IoT商用推广的前提。同时提出了一种基于NB-IoT的安全架构,并详细阐述了该架构中各层次实现的功能和关键技术。最后指出中国应协调、整合相关资源,促进产业交流合作,力争在世界范围内掌握NB-IoT发展的主动权。

关键词: NB-IoT; 安全技术; 架构

Abstract: In this paper, security requirements and techniques in sensing layer, transport layer and transaction layer of narrowband Internet of things (NB-IoT) are analyzed. Security is considered as the precondition for NB-IoT commercial use. A security architecture based on NB-IoT is proposed, the functions and key techniques of each module are also illustrated. We suggest that by coordinating and integrating related resources, promoting exchanges and cooperation, China will have the initiative in NB-IoT development.

Key words: NB-IoT; security technology; architecture

孙知信/SUN Zhixin
洪汉舒/HONG Hanshu

(南京邮电大学, 江苏 南京 210000)
(Nanjing University of Posts and
Telecommunications, Nanjing 210000, China)

- NB-IoT 已经成为万物互联网络的重要分支,是可在全球范围内广泛应用的新兴技术
- 信息安全不仅关系着NB-IoT技术的发展,更关系到网络运营商和每个用户的隐私和利益
- 随着NB-IoT系统技术和生态链的逐步成熟,海量物联网应用必将呈现爆发性增长

1 NB-IoT的背景及发展现状

基于蜂窝的窄带物联网(NB-IoT)近期引起了广泛关注^[1-2]。NB-IoT构建于蜂窝网络,只消耗大约180 KHz的频段,可直接部署于全球移动通信系统(GSM)网络、通用移动通信系统(UMTS)网络或长期演进(LTE)网络,以降低部署成本,实现平滑升级。NB-IoT支持待机时间短,对网络连接要求较高设备的高效连接,同时能提供非常全面的室内蜂窝数据连接覆盖,已成为万物互联网络的一个重要分支,是一种可在全球范围内广泛应用的新兴技术。NB-IoT

具有广覆盖、多连接、低速率、低成本、少功耗、优架构等特点^[3],可以广泛应用于多种垂直行业,如远程抄表、资产跟踪、智能停车、智慧农业等。在NB-IoT系统逐步成熟的同时,中国也非常重视整个NB-IoT生态链的打造。2016年4月,工业和信息化部召开NB-IoT工作推进会,大力推进和培育NB-IoT整个产业链,并要求年底建成基于标准NB-IoT的规模外场试验环境。中国电信积极响应产业政策,采取实验室验证、外场测试、商用开通的“三步走”策略,中兴通讯^[4-5]也紧跟NB-IoT发展建设规划,启动了基于NB-IoT标准的POC验证和实验室验证。随着NB-IoT芯片和终端在2017年上半年的成熟和规模出货,预计2017年下半年将会实现真正的规模性商用部署。然而,

NB-IoT也面临着诸如接入鉴权、隐私保护、无线传感器节点防伪等安全威胁。因此,如何在NB-IoT系统中保证业务信息、物理空间资源使用的安全性,已成为NB-IoT商用部署进程中重要而迫切的问题。

2 NB-IoT的安全需求

NB-IoT的安全需求与传统的物联网有很多相似之处^[6-7],同时也存在着若干区别。针对感知层、传输层和处理层这3层架构,对NB-IoT的安全需求提出了如下分析和思考。

(1) 感知层

感知层位于NB-IoT的最底层,是所有上层架构及服务的基础。类似于一般的物联网感知层,NB-IoT的感知层容易遭受被动攻击和主动攻击这两种性质的攻击。

收稿时间: 2016-11-19
网络出版时间: 2017-01-03
基金项目: 国家自然科学基金资助项目
(61373135, 61672299)

被动攻击指攻击者只对信息进行窃取而不做任何修改,其主要手段包括窃听、流量分析等。由于NB-IoT的传输媒介依赖于开放的无线网络,攻击者可以通过窃取链路数据,分析流量特征等各种手法获取NB-IoT终端的信息,从而展开后续的一系列的攻击。

不同于被动攻击,主动攻击包括对信息进行的完整性破坏、伪造,因此对NB-IoT网络带来的危害程度远远大于被动攻击。目前主要的主动攻击手段包括节点复制攻击、节点俘获攻击、消息篡改攻击等。例如在NB-IoT的典型应用“智能电表”中,若攻击者俘获了某个用户的NB-IoT终端,则可以任意修改和伪造该电表的读数,从而直接影响到用户的切身利益。

以上攻击方式可以通过数据加密、身份认证、完整性校验等密码算法加以防范^[8-9],常用的密码学机制有随机密钥预分配机制、确定性密钥预分配机制、基于身份的密码机制等。NB-IoT设备电池寿命理论上可以达到10年,由于单个NB-IoT节点感知数据的吞吐率较小,在保证安全的情况下,感知层应当尽可能部署轻量级的密码,例如流密码、分组密码等,以减少终端的运算负荷,延长电池的使用寿命。

与传统物联网感知层不同的是,NB-IoT的组网结构更加明确,感知层节点可以直接与小区内的基站进行数据通信,从而避免了组网过程中潜在的路由安全问题。而另一方面,NB-IoT感知层节点与小区内基站的身份认证应是“双向的”,即基站应对某个NB-IoT感知节点进行接入鉴权,NB-IoT节点也应当对当前小区的基站进行身份认证,防止“伪基站”带来的安全威胁。

(2) 传输层

与传统的物联网传输层相比^[10],NB-IoT改变了通过中继网关收集信息再反馈给基站的复杂网络部署,解

决了多网络组网、高成本、大容量电池等诸多问题,具有整个城市一张网,便于维护管理,与物业分离更易寻址安装等优势^[11-12],然而也带来了如下所述新的安全威胁。

- 大容量的NB-IoT终端接入。NB-IoT的一个扇区能够支持大约10万个终端连接,如何对这些实时的、海量的大容量连接进行高效身份认证和接入控制,从而避免恶意节点注入虚假信息,这是一个很值得研究的问题。

- 开放的网络环境。NB-IoT的感知层与传输层的通信功能完全借助于无线信道,无线网络固有的脆弱性会给系统带来潜在的风险,攻击者可以通过发射干扰信号造成通信的中断。此外,由于单个扇区的节点数目庞大,攻击者可以利用控制的节点发起拒绝服务攻击,进而影响网络的性能。

解决上述问题的办法是引入高效的端到端身份认证机制、密钥协商机制,为NB-IoT的数据传输提供机密性和完整性保护,同时也能够有效认证消息的合法性。目前计算机网络与LTE移动通信都有相关的传输安全标准,例如IPSEC、SSL、AKA等,但如何通过效率优化,将其部署在NB-IoT系统中还是一个值得研究的问题。

另一方面,应建立完善的入侵检测防护机制,检测恶意节点注入的非法信息。具体来说,首先为某类NB-IoT节点建立和维护一系列的行为轮廓配置,这些配置描述了该类节点正常运转时的行为特征。当一个NB-IoT节点的当前活动与以往活动的差别超出了轮廓配置各项的阈值时,这个当前活动就被认为是异常或一次入侵行为,系统应当及时进行拦截和纠正,避免各类入侵攻击对网络性能造成的负面影响。

(3) 处理层

NB-IoT处理层的核心目标是有

效地存储、分析和管理数据。经过感知层、传输层后,大量的数据汇聚在处理层,形成海量的资源,为各类应用提供数据支持。相比于传统的物联网处理层,NB-IoT处理层将承载更大规模的数据量,主要的安全需求集中在以下几个方面:

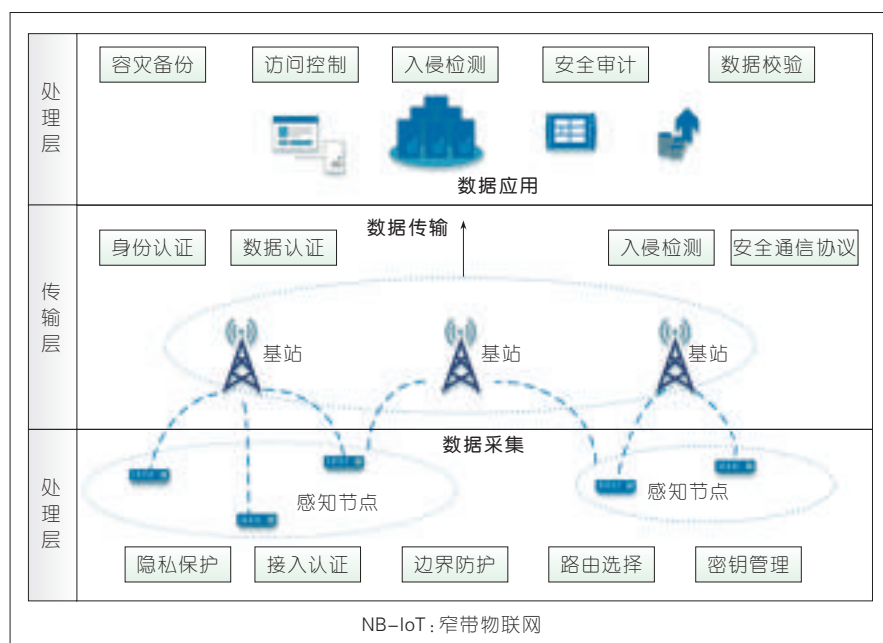
- 海量异构数据的识别和处理。由于NB-IoT应用的多样性,汇聚在处理层的数据也具备了异构性的特点,从而导致了处理数据的复杂性增加。如何利用已有计算资源高效地识别和管理这些数据成为NB-IoT处理层的核心问题。此外,应当对应用中包含的海量数据进行实时容灾、容错与备份,在各类极端情况下尽可能的保障NB-IoT业务能够有效开展。

- 数据的完整性和认证性。处理层的数据由NB-IoT的感知层和传输层而来,在采集和传输中一旦某一环节出现异常,都会给数据带来不同程度上的完整性破坏。此外,内部人员对数据的非法操作也会造成数据完整性的缺失,从而影响处理层对数据的应用。解决这类安全问题的关键在于建立高效的数据完整性校验和同步机制,并辅以重复数据删除技术、数据自毁技术、数据流程审计技术等,全方位保证数据在存储和传输过程中的安全性。

- 数据的访问控制。NB-IoT具有大量的用户群,不同的用户对数据的访问及操作权限也不同。需要根据用户的级别设定对应的权限,让用户可以受控的进行信息共享。目前数据的访问控制机制主要有强制访问控制机制、自主访问控制机制、基于角色的访问控制机制、基于属性的访问控制机制等,针对应用场景私密度的区别应当采取不同类型的访问控制措施。

3 NB-IoT的安全架构

基于上述的思考与分析,提出了一个基于NB-IoT的安全架构,如图1所示。



▲图1 一种NB-IoT的安全架构

该安全架构分为感知层、传输层和处理层3个层次。

第1层为NB-IoT感知层的安全体系,目标是实现数据从物理世界的安全采集,以及数据和传输层的安全交换。包括以下几个方面的安全特性:感知节点的隐私保护和边界防护、感知节点对于扇区内基站的身份认证、移动节点越区切换时的安全路由选择、密码系统的建立与管理。所牵涉到的关键技术主要有:接入控制技术、终端边界防护与隐私保护技术、蜂窝通信技术,以及轻量级密码技术等。

第2层为NB-IoT传输层的安全体系,目标是实现数据在感知层和处理层之间的安全可靠传输,具体包括以下几个方面的安全特性:海量节点接入的身份认证,海量数据在传输过程中的认证,传输系统的入侵检测,以及与感知层、处理层的安全通信协议的建立。所牵涉到的关键技术主要有:身份认证技术、数据认证与鉴权技术、入侵检测技术,以及安全通信协议等。

第3层为NB-IoT处理层的安全体系,目标是实现数据安全、有效的

管理及应用,包括以下几个方面的安全特性:对海量数据的容灾备份、各类应用的用户访问控制、系统防护入侵检测、用户行为的安全审计以及对海量数据交互过程中的校验。所牵涉的关键技术主要有:海量数据实时容灾容错技术、访问控制技术、入侵检测技术、针对数据库的安全审计和数据校验技术。

4 展望

NB-IoT是当下全球范围内最值得期待的技术革命之一,而信息安全不仅关系着NB-IoT技术的发展,更关系到网络运营商和每个用户的隐私和利益。本文从感知层、传输层和应用层3个层面出发,研究了NB-IoT的安全技术需求,并提出了一个NB-IoT的安全架构。如下所述,未来针对NB-IoT的安全工作仍然有很多问题需要解决。

(1)进一步增强NB-IoT系统的可用性和可靠性。

NB-IoT的数据通信依赖于运营商的网络基础设施,一方面,在某些特殊的应用环境中,网络并不能完全覆盖到所有的区域,可能会造成NB-

IoT的数据通信中断;另外一个方面,这些网络基础设施所提供的无线信道具有公开性,攻击者可以在一定区域内使用干扰设备对NB-IoT通信进行干扰。上述情况发生时,应当有完备的预案已确保NB-IoT系统的可用性。此外,NB-IoT的普及在为用户带来极大便利的同时,其自身也可能遭受诸如失窃、破坏之类的物理攻击。当NB-IoT终端遭到损坏时,设备中数据和信息的价值可能远大于设备本身的价值,因此如何保护这些数据不丢失、不被窃,也是一个值得研究的问题。

(2)针对NB-IoT应用的多样性制订适合的安全策略。

研究NB-IoT技术的最终目的是为了实现各类行业应用,而安全技术则是确保这些应用能稳定开展的基础。不同的应用场景具有不同的安全需求,例如在“智慧交通”,“智能停车”等隐私级别较低的场景中,对数据的实时性及认证性要求较高,对加密算法的强度要求则可以适当地降低;而在“智能抄表”,“移动医疗”等应用场景中,对于数据的机密性、认证性都有着较高的要求。随着NB-IoT系统技术和生态链的逐步成熟,海量的物联网应用必将呈现爆发性增长,在此过程中各个应用开发商都需要针对应用本身的特点制订透明、健全的安全策略,从而为用户提供更加便捷,更加安全的物联网应用服务。

(3)运营商制订完善的安全接入标准。

由于NB-IoT应用依赖于运营商的网络,因此,想要建立NB-IoT安全体系,运营商必须制订一系列安全接入标准,重点对移动网络的接入许可、实名制登记、NB-IoT终端鉴权与追责机制、设备定位等安全需求做出完善规定。

(4)突破NB-IoT安全的核心技术,力争发展主动权。

目前,国际上NB-IoT生产厂商主

要有高通、英特尔、锐迪科、Sequans 等,而中国的生产商主要包括中兴通讯等。在 NB-IoT 的技术与市场的争夺战中,中国应当协调、整合相关资源,在充分吸收发达国家先进技术的同时,加快研发和突破轻量级密码、入侵检测、高性能数据认证与容灾容错等一系列 NB-IoT 核心安全技术。此外,还要促进与国际同行开放交流、合作互赢,积极参与国际标准提案工作,力争在世界范围内主导制订 NB-IoT 的安全标准,掌握产业发展的主动权。

参考文献

- [1] 戴国华, 余骏华. NB-IoT 的产生背景、标准发展以及特性和业务研究[J]. 移动通信, 2016, 40(7): 31-36. DOI:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.07.007
- [2] RATASUK R, VEJLGAARD B, MANGALVEDHE N. NB-IoT System for M2M Communication [C]// 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. USA: IEEE, 2016:1-5. DOI: 10.1109/WCNC.2016.7564708
- [3] 陈博, 甘志辉. NB-IoT 网络商业价值及组网方案研究[J]. 移动通信, 2016, 40(13): 42-46. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1010.2016.13.009
- [4] 中兴通讯. 万物互联——中兴通讯 NB-IoT 解决方案[J]. 通信世界, 2016, 17(17): 32. DOI: 10.3969/j.issn.1009-1564.2016.17.021
- [5] 中兴通讯. 中兴通讯携手产业链引领 NB-IoT 标准制定[J]. 通信世界, 2016, 17(14): 37. DOI: 10.3969/j.issn.1009-1564.2016.14.025
- [6] 沈苏彬, 林闯. 专家前言: 物联网研究的机遇与挑战[J]. 软件学报, 2014, 25(8): 1621-1624. DOI: 10.13328/j.cnki.jos.004668
- [7] KRAIJAK S, TUWANUT P. A Survey on IoT Architectures, Protocols, Applications, Security, Privacy, Real-world Implementation and Future Trends[C]// 11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, USA: IEEE, 2015:1-6. DOI: 10.1049/cp.2015.0714
- [8] 武传坤. 物联网安全架构初探[J]. 中国科学院院刊, 2010, 25(4): 411-419. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2010.04.007
- [9] 武传坤. 物联网安全关键技术与挑战[J]. 密码学报, 2015, 2(1): 40-53. DOI: 10.13686/j.cnki.jcr.000059
- [10] 吴振强, 周彦伟, 马建峰. 物联网安全传输模型[J]. 计算机学报, 2011, 34(8): 1351-1364. DOI: 10.3724/SP.J.1016.2011.01351
- [11] BARDYN J, MELLY T, SELLER O. IoT: The Era of LPWAN is Starting Now[C]// ESSCIRC Conference 2016: 42nd European Solid-State Circuits Conference, USA: IEEE, 2016:25-30. DOI:10.1109/ESSCIRC.2016.7598235
- [12] LIN X Q, ADHIKARY A, WANG E. Random Access Preamble Design and Detection for 3GPP Narrowband IoT Systems[J]. IEEE Wireless Communications Letters, 2016, 5(6): 640-643. DOI:10.1109/LWC.2016.2609914

作者简介



孙知信, 南京邮电大学教授、博士生导师、现代邮政学院及现代邮政研究院院长; 主要研究方向为计算机网络与安全技术、多媒体物联网、大数据及云计算技术; 获评为江苏省“333 新世纪科学技术带头人培养工程”培养对象, 江苏省“青蓝工程”学术带头人培养对象; 已发表论文 100 余篇。



洪汉舒, 南京邮电大学博士; 主要研究方向为信息安全与密码学。

云计算驱动了雾计算的发展

Fog Computing Development Driven by Cloud Computing

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0051-002

摘要: 认为雾计算/边缘计算(MEC)是云计算的延伸,其发展源自物联网(IoT)实时反馈型应用需求的驱动,通过雾计算/MEC将数据采集、数据处理和应用分析程序集中在网络边缘设备中,使云端计算、网络、存储能力得以向边缘扩展。提出在IoT中采用中枢智能与边缘智能的两级架构,实现雾计算与云计算的协作,提高IoT处理效率。

关键词: IoT; 云计算; 雾计算; IoT云平台; IoT网关

Abstract: Fog computing/multi-access edge computing(MEC) driven by the real-time feedback application requirements of Internet of things(IoT) is the extension of cloud computing. Fog computing/ MEC centralizes data acquisition, data processing and application analysis on the edge of the network equipments, and extends cloud computing, networking, and storage capacity to the edge. The two layers architecture of IoT which contains central intelligence and edge intelligence is proposed in this paper. By this way, cloud computing and fog computing/MEC can be carried out in collaboration, and the processing efficiency will be improved.

Key words: IoT; cloud computing; fog computing; IoT platform; IoT gateway

薛育红/XUE Yuhong

(中兴通讯股份有限公司,广东 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

- IoT已经从简单的物与物连接向智能化方向转型
- 无论是雾计算还是MEC,本质上都是“就近提供服务”和“分布式智能”
- 通过IoT网关与IoT云平台的协作真正实现了云雾结合

云计算、大数据、人工智能等技术不断发展和成熟,推动了传统行业的转型升级和增效,改善着人们的生活,物联网(IoT)也从简单的物与物连接向智能化方向转型。随着智能化的深入,开发者可以在智能分析的基础上为各行业提供特色的应用与服务,从而真正改变人们的工作生活方式。据Gartner报告预测,2020年全球智能连接数将达到1 000亿,市场规模达到3 000多亿美元,涵盖家居安防、环境监测、能源、车联网、等领域,IoT规模应用时机已经成熟。

1 雾计算的发展来自于IoT的需求

IoT应用可分为两种:一种是事

后分析型,即通过IoT终端采集数据,并通过IoT专用网络或公网传送到云端,与大数据结合进行数据采集和分析,这种应用往往是单向的,即以采集为主,不需要反向的数据传输;还有一种是实时反馈型,即不仅通过IoT终端进行数据采集和分析,还要在反向进行实时反馈,这类应用对时延和可靠性有更高的要求。目前的IoT架构仍然是以云为中心,主要特征是终端到云的通信,并在云端进行数据分析,即以事后分析型应用为主。随着IoT的发展,实时反馈型应用需求会更多,目前以云为中心的架构显然不能满足此类应用的需求。

雾计算和边缘计算(MEC)应运而生,或者说雾计算的发展本质上是由于IoT的驱动。雾计算的提出使得整个架构从中枢智能向边缘智能转

变,把数据采集、数据处理和应用分析集中到网络边缘的设备上,即雾计算将云端的计算、网络、存储能力向边缘延伸和扩展。云计算和雾计算在各方面的不同点如表1所示。

2 雾计算的本质是“就近提供服务”和“分布式智能”

与雾计算异曲同工的另一种技术是MEC。根据IMT 2020(5G)的描述,移动边缘内容与计算技术是在靠近移动用户的位置上提供信息技术服务环境和云计算能力,将内容分发推送到靠近用户侧,应用、服务和内容都部署在高度分布的环境中,从而更好地支持5G网络中低时延和高带宽的业务要求,主要就是IoT的场景。无论是雾计算还是MEC,本质都是“就近提供服务”和“分布式智

收稿时间: 2016-11-14
网络出版时间: 2017-01-03

▼表 1 云计算和雾计算的比较

需求	云计算	雾计算
时延	高	低
时延抖动	高	非常低
业务定位	在互联网中	在本地网络边缘
客户和服务器的距离	多跳	单跳
安全性	未定义	能够被定义
在线数据攻击	可能性很高	可能性非常低
位置感知	无	有
地理分布	集中式	分布式
服务器节点的数量	少量	大量
移动性支持	有限	能够
实时互动性	支持	支持

能”，他们包括如下所述的一些主要特征。

- (1)本地在线分析,更好的实时计算能力,满足高时延应用(如IoT);
- (2)更低时延和提高可靠性;
- (3)最大化安全和私密性;
- (4)更低的带宽需求,解决海量连接云端带宽拥塞;
- (5)数据的分布式处理,降低海量数据的储存需求;
- (6)位置感知:由于是近距离分布,可以较为精确地获取设备的位置信息;
- (7)更好地实现网络上下文信息的解析。

从雾计算和MEC的特点,我们可以看到雾计算/MEC更适用于需要快速反馈的IoT场景:首先,能够在本地进行数据和应用的处理,对业务的计算时间更短;其次,数据在本地进行处理,需要的带宽更少,降低了对网络的需求;此外,由于部署在本地,响

应时间和可调节性也就更好。

3 雾计算与IoT架构的结合

在IoT中,很多垂直行业应用都需要及时反馈对终端的控制下达,也就是前面提到的实时反馈型应用,其对于时延、可靠性、安全的要求更高。特别是在工业互联网和车联网场景下,云端处理的方式不能满足延时与可靠性要求,还存在更多的安全漏洞。建议在这种场景下,采用分级处理的方式,第一级处理靠近场景的边缘,及时处理本地数据并实时反馈,处理结果分析和汇总可以在云端进行,本地节点同样具备存储能力,不需要将所有数据都传送到云端。云端处理结果可以根据策略反馈给第一级的边缘处理节点。为满足两级处理的架构,在边缘节点上需要引入雾计算/MEC,要求边缘节点能够解决时延问题,满足时延敏感的应用需求,并且边缘节点需要考虑应用的

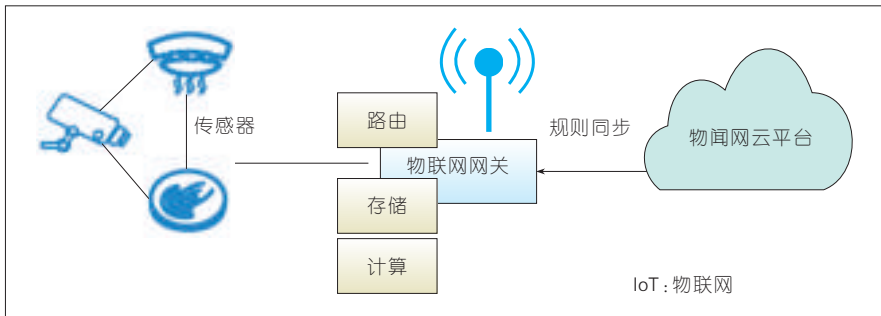
存储容量、数据流量、计算分布。

传统的IoT采用3级架构,即感知层、网络层和平台层。如图1所示,在IoT网关处引入具备存储、计算、路由能力的雾计算平台,并与IoT架构的融合,使IoT网关不仅具备路由器的功能,还可根据实际应用场景拥有存储、计算的能力。本省即成为一个智能节点,实现了边缘智能化。

4 云雾协同计算平台

通过部署智能IoT网关,在IoT边缘形成一个雾计算的平台。该平台具备一定的数据分析及逻辑处理能力,边缘节点具备初步分析能力,有效减少了数据传输量。部署IoT网关就相当于在网络的边缘部署了微数据中心,集中计算、存储、感知和处理逻辑。这里引入云雾协同的概念,即边缘的微数据中心可以通过云端的集中管理中心进行管理,简化本地节点的运维复杂度。另外,IoT网关与云端的IoT云平台实现了对接,将本地处理的通用性数据上传给IoT云平台进行处理,形成更高级别的分析结果,为上层应用开发提供数据支撑。

IoT网关与IoT云平台的协作真正实现了云雾结合,中枢智能与边缘智能的两级架构实现了数据的分层处理。各智能化节点处理所属范围的数据,形成分析结果和策略,既能在边缘达到实时快速智能的目标,又能在中心对系统统筹。云雾协同的IoT架构为行业客户提供了更高效的解决方案,推动了IoT的快速发展。



▲图 1 雾计算与IoT架构

作者简介



薛育红,中兴通讯股份有限公司IoT首席架构师;拥有近20年通信行业背景,先后从事2G、3G、4G、SDN/NFV等领域的工作,目前主要负责中兴通讯IoT发展策略规划,推进IoT生态建设与合作;曾任中国标准化协会TG5WG3工作组副主席,负责开发中国自主知识产权的GOTA集群系统设计和标准化工作,独白或者牵头申请了30余项专利。

M-ICT 2.0 战略——探索数字化转型之道

M-ICT 2.0: Exploring the Way of Digitalized Transformation

苏永钦/SU Yongqin

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳
518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0053-005

摘要: 结合中兴通讯的 M-ICT 战略, 指出了数字化浪潮的 3 个关键特征, 分析了信息通信(ICT)行业面临的机遇和挑战。从宏观和微观两大视角对数字化转型之道进行了探讨, 提出了 ICT 行业需要关注的五大创新方向。认为企业要实现数字化转型, 必须围绕用户体验升级, 关注预先体验、自助及自主、个性化及定制化、可视化等四大需求, 此外还需要完成组织、文化、机制等领域的一系列转变。

关键词: ICT; 数字化转型; M-ICT 2.0 战略

Abstract: In this paper, according to the M-ICT strategy of ZTE, three key features of digitalized wave are pointed out, the challenges, opportunities of information and communication technology(ICT) industry are analyzed. The methods of digitalized transformation are discussed, and five major innovation directions of ICT are proposed. Enterprises should focus on user experience improving, including pre-experience, self-help and autonomy, personalization, visualization in the way of digitalized transformation. Moreover, changes of organizations, cultures and mechanisms are also essential assets.

Keywords: ICT; digitalized transformation; M-ICT 2.0 strategy

1 数字化转型浪潮来临

人类文明的发展在加速, 刀耕火种的农业文明持续了数千年, 蒸汽时代持续了 200 余年, 电气时代持续了 100 余年, 而互联网才发展了 20 余年, 就已经让我们感觉到翻天覆地的变化。信息通信技术(ICT)仍在高速发展中, “数字化浪潮”将席卷各行业, 驱动企业加快创新和数字化转型, 同时也为人们带来全新的产品及服务体验。

1.1 数字化转型将带来颠覆性改变

数字化转型和以往各行业的科技产品升级大不相同, 数字化带来更加全面、复杂, 甚至颠覆性的影响。跨界融合、模式创新、快速迭代是数字化转型区别于以往各行业升级的关键特点。

跨界融合方面, 不同产业正在逐渐融合, 行业边界正在消失。无论是 ICT 巨头, 还是传统企业, 都在面临着既有阵营之外新入侵者的威胁。新对手可能以一种完全不同的业务模式闯入自己的行业, 也带来了新的不

确定性, 包括更难预测的新竞争格局。这种情况并非偶发于个别行业, 而是成为了各行业的新常态。IBM 对全球 70 多个国家、21 个行业超过 5 200 位企业高管进行了采访调研, 大多数人预计行业融合将成为未来 3~5 年影响其业务的主要力量。

伴随着跨界融合而来的是模式创新。产业间融合为商业模式创新打开了更大的空间, 或者说产业融合必须重点关注模式创新。数字化转型中, 竞争不仅仅是自己所在行业内各玩家的重新洗牌, 还包括采用完全不同业务模式的新进入者。新进入者通常瞄准价值链关键环节, 采取非对称打击方式, 避开已有玩家或者直击其软肋, 进行颠覆式洗牌, 比如采取生态圈、平台、开源共享等手段。

快速迭代是数字化转型的另一

个关键特点, 往往也是传统企业的薄弱点。传统企业习惯了在既有技术路线图和产品框架下, 瞄准已有竞争对手按部就班跟踪、赶超, 但是这些技术路线经过多年的滚动, 用户需求失真往往会越积越多, 导致传统企业偏离用户价值进行无谓创新。相反, 新进入者往往能更敏锐、更直接地把握用户痛点和需求, 致力于用户体验和价值提升, 通过快速迭代的方式更敏捷和快速地响应, 从而把握引爆需求, 获取市场主导权。

跨界融合、模式创新、快速迭代是各企业, 尤其是传统企业需要重点关注的数字化转型特点。

1.2 ICT 行业迎接数字化转型挑战和机遇

数字化转型, 是各行业对 ICT 技

收稿时间: 2016-11-18
网络出版时间: 2016-12-30

术的深化运用。ICT行业是其它各行业数字化转型的使能者,这为ICT行业带来了巨大的发展机遇;但同时ICT行业自身也要进行数字化转型,也面临着巨大的转型挑战。

以运营商为例,移动互联网、云计算、大数据、人工智能(AI)、工业4.0、万物互联、虚拟现实(VR)/增强现实(AR)等ICT新技术和应用,为运营商打开了巨大的新增长空间。运营商在数字化浪潮中,要把握机遇,加快步伐,构建数字生态系统,深入到其它各行业使能数字化转型,而不宜固守传统通信为主的服务上。另一方面,数字化浪潮已对运营商造成了巨大冲击和影响。运营商传统业务不断受到互联网应用服务(OTT)的侵蚀,语音、消息等主营业务收入不断下降,而宽带业务增量不增收。运营商原有商业模式和生态系统也被逐步颠覆,传统内容提供商(CP)和服务提供商(SP)合作伙伴价值在下降,运营商逐步脱离产业链核心位置,对产业链掌控能力被削弱。咨询公司OVUM指出,运营商未来成功关键要素包括:转型、规模化、以客户为中心、敏捷、创新、合作伙伴^[1]。

ICT传统企业,如电信及信息技术(IT)设备制造企业、IT服务企业等,也面临类似机遇与挑战。软定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)的发展,让IT厂家可以逐步跨界到电信设备制造领域。互联网巨头引领推动云服务,对传统IT软、硬件企业也形成了巨大冲击。如何快速适应数字化浪潮,有效转型和把握机遇,是摆在众多ICT传统企业面前的共同课题。

2 数字化转型的宏观视角

作为ICT行业的领先企业,中兴通讯也在探求ICT如何使能各行业数字化转型,让信息创造价值。中兴通讯认为数字化转型是一个涵盖各行业的巨大的系统性工程,数字化转型可以从宏观和微观的不同视角进

行思考。宏观视角从全局角度,探讨数字化转型为各行业带来哪些变革和为ICT行业带来哪些战略增长机会。微观视角从企业角度,探讨企业如何数字化转型。这里先从宏观视角探究数字化转型。

中兴通讯在2014年布了M-ICT战略,提出万物互联的M-ICT时代理念。这里M代表了Man to Man、Man to Machine、Machine to Machine、Mobile等涵义。回顾过去,ICT产业中“新技术、新业务、新模式”加速涌现,产业发展日新月异。展望2020年,ICT产业在创新驱动下充满巨大想象空间,一个崭新的数字化世界初现端倪:万物互联无处不在,从人与人连接到人与物、物与物联接,一切被数字化和联接;泛在智能如影随行,从人与人到万物之间的智慧互动与智能升级;虚拟世界包罗万象,通过增强视频以及VR/AR等技术的广泛应用,使得虚拟与现实世界完美结合,呈现精彩无限的新世界,丰富人类对世界的想象和认知;云计算日益普及,业务普遍云化,云端提供一切,云端支撑一切;共享经济成为潮流,成为新数字经济时代商业模式创新主旋律,设施、资源、能力、软件等皆可开放共享。在不久的将来,这些趋势将推动社会生产和生活方式的巨大变革。洞察趋势之下,中兴通讯于2016年8月份提出了M-ICT 2.0战略,如图1所示,具体界定了数字化浪潮中五大创新方向,包括虚拟(Virtuality)、开放

(Openness)、智能(Intelligence)、云化(Cloudification)和万物互联(IoE),取字母组合为“VOICE”^[2]。

我们认为,未来5年是数字化转型的关键发展阶段,而VOICE则是转型的五大创新方向。

在数字化转型过程中,各行业的企业内部和企业之间的人、物、流程、数据等要素将结合更加紧密,协同更加高效,企业边界乃至行业边界将更加模糊,开放共享成为主流,推动商业模式深刻变革。

从用户体验看,万物互联实现联结个体之间的信息传递与共享,让人类得以更加便捷地感知和驾驭物理世界。物理世界之外,人类还正在创造更为自由和精彩无限的虚拟世界,把体验推向新的高度;虚实结合,让人类又可以借助虚拟技术加强对物理世界的认知和改造。面对日益广阔且复杂的物理与虚拟世界,还需要更简单、轻松的驾驭方式,智能化逐渐凸显为必不可少的关键手段。万物数字化和虚实结合,产生大数据,让机器学习具备施展的环境和基础,万物互联则让AI有了操控对象和用武之地。“万物皆互联,万物皆感知,万物皆智慧”,让人类大幅提高生产效率,提升生活品质。

从技术使能看,万物互联、虚实结合、泛在智能,都需要对数据实现高效的采集、传送、存储、加工,快速发展的云计算为此提供了支撑,数字化的资源及其计算都将逐渐迁移到

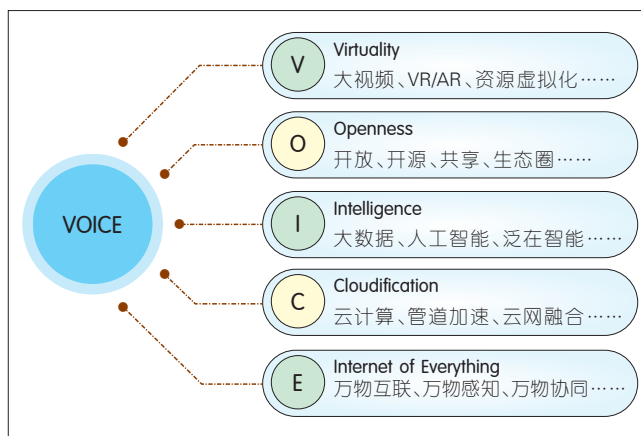


图1
“VOICE”五大趋势

云端,业务将普遍云化。

概言之,VOICE 五大趋势将互相协同和相互激发,带来商业范式的深刻变革,推动形成从技术创新驱动到以“用户需求为核心,技术变革为基础,商业模式为驱动”的三位一体型商业范式,如图 2 所示。在 VOICE 架构中,商业将聚焦于“万物互联(E)、智能(I)和虚拟(V)的需求”为核心,构建在云化(C)的技术基础之上,运行于开放(O)共享的商业模式中。作为数字化转型的使能者,ICT 行业需要洞察 VOICE 趋势,在此五大方向上,ICT 企业要结合自身优势,把握创新和发展机遇。

中兴通讯面向 2020 年的 M-ICT 2.0 战略,已明确了 VOICE 的五大方向作为落地路径,并制订了相应发展策略。

在 V(virtuality)方向上,聚焦大视频和 VR/AR 两大机会点。机遇来自用户极致体验的升级需求。首先是体验的精细化升级,从抽象的文字向具体感性的图片、视频升级,从标清视频向 2K、4K、8K 超清视频升级,这就是大视频的需求。其次是体验的交互性跃升。从按键到触屏,从语音、手势控制到更自然的 VR/AR 互动。从体验的范围看,人类体验从物理世界扩展到更自由、无垠的虚拟世界,虚拟技术打破空间和位置的限制,极大地丰富人类的感官体验,提

高人类的认知能力,实现数字体验和现实世界体验融合。

在 O(openness)方向上,中兴通讯洞察到开放已经成为商业模式创新的主要内涵,重点关注开源、生态圈、共享经济这三大领域的挑战和机会。开源重构研发模式,各参与者从架构、代码层面就可以实现协同合作,实现产品快速升级迭代。生态圈重构产业结构,让企业边界模糊,协同增强,产业中各参与者形成网状联结的竞合关系,促进端到端价值创造和传递,协同发展。共享经济重构价值网络,让价值创造形成网络,让分散闲置资源得以有效整合利用,从而达到更高的协作和效率水平。

在 I(intelligence)方向上,中兴通讯将智能划分为 4 个层面:基础智能、计算智能、感知智能和认知智能。基础智能支撑各种硬件或终端实现不同程度的感知及智能,基础智能正在快速普及,让智能泛在化。计算智能通过数据挖掘价值,构筑数字经济的基础,计算智能正广泛应用,主要表现为大数据应用。感知智能辅助增强甚至替代人类视听觉能力,感知智能正在成熟化,让机器围绕人并融入人的感知系统。认知智能辅助人类实现各种业务决策,认知智能正在兴起,机器通过深度学习逐步具备推理和决策能力。作为使能者,要恰当地结合自身基础和智能运用的

发展节奏,选择合适的产业化落脚点和培育独特的竞争力。

在 C(cloudification)方向上,云计算对企业 IT 系统以及运营商网络都带来巨大的挑战和机会。企业 IT 技术架构从传统模式逐步演变到云架构。企业 IT 使用模式,从自建和自维护 IT 系统逐步转向购买公有云、混合云服务。在运营商网络方面,云计算逐步推动电信网络向软件定义、灵活性、能力开放的目标架构演进。

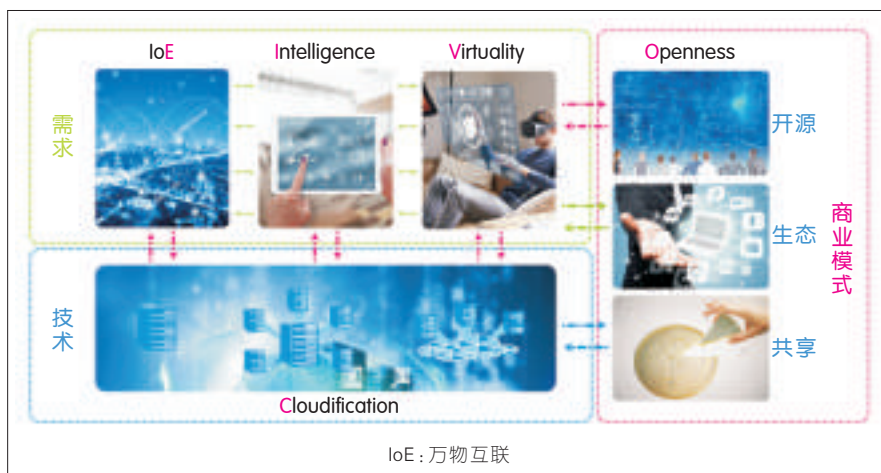
在 E(IoE)方向上,IoE 带来连接的数量级增长,并让 ICT 应用从管理支撑延展到生产领域,为 ICT 行业创造了巨大增长空间。但必须清醒认识到,物联网应用虽然在蓬勃发展,但是应用碎片化较明显,需要加强行业协同,并且与云计算相结合。加强开放合作,加强商业模式创新,加强培育生态圈。中兴通讯拥有宽带网络、云计算、物联网、终端、软件、芯片等宽广产品线,能更好地满足物联网的综合性需求,从而把握物联网发展机遇。

3 数字化转型的微观视角

数字化转型的主体是企业。我们可以从微观视角,从使能者角度看各行业企业该如何数字化转型。

OVUM 提出数字转型的主要特征是通过更具性价比的联接,由云计算提供更强计算能力,再通过大数据和 AI 进一步增强,优化商业过程中的更多环节,使其变得自动化及可分析^[9]。从这里可以看出,数字化转型的主要活动是企业经营的各环节自动化和分析优化,而数字化转型的技术支撑包括宽带化、云计算、大数据和 AI 等。

咨询公司 IDC 调查了 2 000 多位跨国企业首席执行官(CEO),有 67% 的 CEO 认为,到 2017 年底时,全数字化转型将成为其公司战略的核心。通过全数字化创新,企业可以变革流程和业务模式,提高员工的效率和创新能力,并改善客户的体验。企业数



▲ 图 2 未来商业范式

数字化转型,未来要正视十大趋势,其中包括了如下部分:开发新的数字服务并从数据中获取持续的收入,开发新的面向用户和生态的服务,专注于交付可扩展、可预测和快速的IT系统支撑,开发平台化以及通过DEVOPS来提高开发速度和敏捷性,实现开源和社区化等。

不同咨询公司对企业该如何数字化转型有不同的视角和看法。实际商业环境中,各行业之间跨度太大,不同行业的技术、产品、服务有自己的独特性,数字化转型的关键路径在各行业应该是多样性的。从数字化的程度看,企业可以分成原生数字化企业和传统企业两大类。原生数字化企业多数是互联网企业,而传统企业包括大量的设备制造及服务型企业,传统企业的数字化转型很迫切,是ICT行业(作为使能者)要重点关注研究的客户群体。

3.1 以极致客户体验作为数字化转型方向

不同行业之间差异度很大,在数字化转型方面,简单直接的借鉴可能不一定适用。如何更好地实施数字化转型,避免走弯路呢?

首先,数字化转型不是为了数字化而数字化,也不是为了流程自动化而自动化。回归初心,聚焦和围绕客户价值是比较好的一个导向,即数字化转型的方向是要给客户或者用户提供极致的体验。如果是企业对企业(B2B)模式,除了要了解企业客户的需求之外,还必须关注最终用户的体验需求。最终用户的体验升级需求,是源头和终极的拉动力,所有企业必须及时洞察体验的升级方向和节奏,否则迟早被时代抛弃。

什么是用户体验升级?例如,从2000年开始,移动电话和短信需求爆发,其背后是从固定座机通话到随时随地沟通的体验升级,当这个体验需求得到基本满足后,就逐步退化为了基本需求,人们的体验又逐步往社

交、购物、娱乐等方面升级,从而带动了移动互联网及各类OTT业务的繁荣。体验升级的趋势,就是价值转移的趋势。

在数字化浪潮中,未来的用户体验还有那些重要的升级呢?由于各行业之间差异性太大,只能从使能者角度出发,尽量洞察和归纳出一些跨行业的共性的体验升级趋势。表1中列出了不同行业最终用户体验升级的四大共性需求:预先体验、自主自助、个性化及定制化、可视化。“预先体验”指用户在购买商品/服务之前,能对效果/结果有个预先的直观体验;“自主及自助”指用户能自主、便捷地选择所需的功能及服务组合;“个性化”指用户可以得到定制的、凸显个性的产品及服务;“可视化”指用户能够对购买的产品和服务,从下单、制造、发货、使用、维护等各环节,随时检视查看。

企业数字化转型,首先要洞察该行业特定的产品/服务方面的体验升级需求,争取开辟新市场、新产品及服务。但是,在竞争日益激烈的商业环境下,由于新市场、新产品及服务很容易被快速跟随模仿,所以企业还必须关注上述四大共性体验升级需求,从而更贴近用户,逐步构筑看似微不足道但实际上力量强大的差异化竞争优势。企业实施数字化转型,要围绕用户体验提升,优化、改造相应流程和业务环节,完善相应的支撑系统,顺应最终用户的体验升级拉动

力,从而航向成功彼岸。

3.2 企业数字化转型稳步推进

任何企业的数字化转型都不可能一蹴而就,数字化道路必然长期、曲折。当洞察用户体验升级趋势,并把极致客户体验作为数字化转型的方向后,企业数字化转型就可以保证总体路径不出现大的偏差,可以持续地稳步推进。

文献[4]概括提出了企业数字化转型的几个阶段,可供企业参考,制订数字化转型推进计划。第1阶段,单点实验,数字化入门者。业务和IT部门的数字化计划与企业战略脱节,未关注客户体验。第2阶段,局部推广,数字化探索者。企业已发现需要制订以数字化为助力、以客户为中心的业务战略,但执行仍局限于项目层面。进展不可预测,也不具备可重复性。第3阶段,扩展复制,数字化组织。在企业层面围绕数字化产品和体验的开发协调统一了业务与IT目标,但未关注数字化的颠覆性潜力。第4阶段,运行管理,数字化转型者。依靠协同整合的业务及IT管理规范,持续提供经过数字化优化的产品/服务体验。第5阶段,优化创新,数字化颠覆者。企业有力颠覆新型数字技术和业务模式的应用,进而影响市场。业务创新持续反映生态系统意识和反馈。企业可以结合自身情况,按阶段稳步推进数字化转型。

企业在进行数字化转型时,可以

▼表1 用户体验升级需求

体验/需求层次	体验	拉动的技术、产品创新
社会化需求	环保及节能	清洁能源、新能源
	集约型	共享经济/模式
	分享	社交、点评
体验升级	预先体验	VR/AR、仿真、模拟、3D打印
	自助及自主	On Demand支持、用户DIY支持
	个性化及定制化	大数据、AI、智能/柔性制造、智能客服
	可视化	实时可查状态,连接在线
基础性需求	产品/服务特定的相关需求	功能、性能、安全、可靠、性价比等
AI:人工智能 AR:增强现实 DIY:自助的 VR:虚拟现实		

学习和借鉴领先运营商 AT&T 的举措。2013 年 9 月, AT&T 启动了 Supplier Domain Program 2.0^[5], 通过 SDN/NFV 技术将网络基础设施从以硬件为中心向以软件为中心转变, 实现基于云架构的开放网络。2014 年 9 月试商用 Network On Demand 业务, 企业客户虚拟私人网络 (VPN) 专线可以按需连接到 IBM 云服务公司 SoftLayer。Domain2.0 不仅是单纯基础网络架构变革, 更是一个宏大的转型行动, 转型愿景是到 2020 年彻底完成网络转型, 届时整个网络的 75% 都由软件组成, AT&T 也将成为一家软件公司。

不仅在网络连接服务方面提升用户极致体验, AT&T 还大力开展模式创新和生态系统建设。通过对自身能力整合和外部资源的引入, AT&T 已经构建了以应用程序接口 (API) 开放为核心的生态圈。通过计费、话音、消息、终端、物联网等能力的开放, 为开发者提供了丰富的网络通信和行业应用能力, 为用户提供丰富的业务应用, 月 API 调用次数从 2008 年的数百万次增加到数十亿次的规模。

3.3 需要组织、文化、机制等多方面改造

企业数字化转型不仅要进行业务环节和 IT 系统的优化升级, 还要同时开展组织、文化、机制等多方面的转变, 才能适应前面所述的跨界融合、模式创新、快速迭代的数字化转型要求。数字化转型中, 创新文化是

重要基础, 咨询公司埃森哲提出, 托起企业数字文化的有四大基石: 灵变组织、数据驱动、主动颠覆以及数字化风险^[6]。

中兴通讯是一家大型企业, 也在积极践行数字化转型, 积累经验和方法。2014 年提出 M-ICT 战略, 同时提出了更酷, 更绿色, 更开放 (CGO) 的理念, 解放思想, 转变观念。中兴通讯以开放的心态, 与行业内及跨行业的大量合作伙伴一起, 围绕客户极致体验, 大力开展创新, 推动了诸如创客大赛、创客空间等常态化工作。2016 年, 随着 M-ICT 2.0 战略的提出, 中兴通讯确定了“技术创新+模式创新”的双轮驱动方针, 系统地推进和加强商业模式创新工作。在快速迭代方面, 进一步推进敏捷开发, 优化了流程和开发模式, 从专注写代码到更关注开发过程以及与客户及时沟通互动。面对开源的浪潮, 中兴通讯加强开发社区化并打通内外部, 推进实践共同体 (COP) 模式。通过转变观念, 创新文化培育, 优化组织和机制等一系列举措, 中兴通讯稳步推进和实施数字化转型。

4 结束语

展望 2020 年, 未来将是一个开放共享的数字经济新时代, 万物互联、泛在智能、虚实结合将无处不在, 业务普遍云化。在 M-ICT 时代, ICT 行业要关注 VOICE 五大趋势, 它们将构筑未来商业新范式, 万物互联、智能、虚拟及云化将相互激发, 促进 ICT 领域跨越式产业创新, 开放共享将驱动

“研发模式、产业结构、价值网络”商业重构。

企业的数字化转型, 需要围绕极致体验和价值创新, 洞察最终用户的体验升级趋势, 才能避免走弯路。数字化转型不仅要开展业务流程和 IT 系统优化升级, 还同时需要在组织、文化、机制等多方面转变。

面向未来, 中兴通讯提出了 M-ICT 2.0 战略, “VOICE of future, 聆听未来声音”, 期待与广大合作伙伴共同探索数字化转型之道, 迎接数字化浪潮的机遇和挑战!

参考文献

- [1] OVUM. Digital Economy 2025: Telecoms Core Scenario[R/OL]. (2016-03-10) [2016-11-20]. <https://www.ovum.com/research/digital-economy-2025-telecoms-core-scenario/>
- [2] M-ICT 2.0 战略白皮书[R]. 深圳: 中兴通讯股份有限公司, 2016
- [3] OVUM. Digital Economy 2025: Core Scenario[R/OL]. (2015-10-02) [2016-11-20]. <https://www.ovum.com/research/digital-economy-2025-core-scenario/>
- [4] 十三五与数字化转型: 中国 IT 市场趋势与商机[R]. 北京: IDC 中国, 2016
- [5] AT&T Domain 2.0 Vision White Paper[R]. USA: AT&T, 2013
- [6] 埃森哲技术展望 2016[R]. 美国: 埃森哲, 2016

作者简介



苏永钦, 中兴通讯股份有限公司战略规划部规划总监; 主要从事战略分析、规划和管理等相关工作; 曾牵头制订过中兴通讯的中长期规划、M-ICT 战略规划、M-ICT 战略白皮书等。

一种基于安全标记的多租户访问控制方法

A Multi-Tenant Access Control Method Based on Security Mark

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0058-005

摘要: 设计了一种安全标记机制,提出了一种支持多租户的安全访问控制方法,满足租户对于多域安全访问控制的需求。实验结果证明,这种基于安全标记的多租户安全访问控制方法兼具基于角色的访问控制模型(RBAC)和强制访问控制方法的优点,在易于管理的基础上,也使租户的访问控制系统达到了更高的访问控制安全级别。

关键词: 云计算;数据中心;多租户;访问控制;安全标记

Abstract: In this paper, a security mark method and a multi-tenant secure access control model are proposed to meet the demand from tenants in multi-domain secure access control. The results show that the multi-tenant access control method based on security mark has advantages of both role-based policies access control (RBAC) and mandatory access control, and helps tenants access control system reach higher security level on the basis of easy management.

Keywords: cloud computing; data center; multi-tenant; access control; security mark

彭勇/PENG Yong¹
侯超平/HOU Chaoping¹
童遥/TONG Yao²
申光/SHEN Guang²

(1. 广西科技大学, 广西 柳州 545006;

2. 中兴通讯股份有限公司, 江苏 南京

210012)

(1. Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, China;

2. ZTE Corporation, Nanjing 210012, China)

在云计算领域,软件即服务(SaaS)是一种新的软件应用模式,极大地减少了企业在信息基础设施上的投入,其数据模型有3种^[1]:独立数据库模型、共享数据库单独模型和共享数据库共享模型。独立数据库模型中,每个客户在物理上都有自己的一整套数据,单独存放,其最大问题在于部署和维护的成本非常高,硬件资源消耗明显高于其它两种方案,单台服务器只能支持有限数量的客户;共享数据库单独模型下,客户使用独立模式,在数据共享和隔离之间获得了一定的平衡,不足之处是当系统出现异常,需要将历史备份数据重新恢复时,流程将变得相对复杂;

共享数据库共享模型具有最低的硬件成本和维护成本,且每台服务器可以支持最大数量的客户,但由于所有客户使用同一套数据表,为保证数据安全,需要花费更多的开发成本,以确保不会因系统异常而产生错误的数据库访问。

1 SaaS 安全访问研究现状

目前对于SaaS模式下安全访问方法的研究大体可以分为以下3个方面:

- (1)对应用权限控制^[2-6];
- (2)对应用访问许可^[7-11];
- (3)对系统数据访问控制^[11-15]。

传统的多租户访问控制方式一般采用共享数据库共享模型,将各租户的控制策略整合在全局访问控制策略下,实现租户间的安全性互操

作,其安全问题一般包括网络安全访问、系统权限模型等。在网络安全访问方面,通常对交互信息进行加密,防止用户信息被窃取^[16],而对于系统权限模型,大多是通过租户间角色转换达到安全访问控制的目的。

但是使用共享数据库共享模型时,租户数据的共享数据库特性使得租户间的数据隔离性很差。鉴于此,文章提出了基于安全标记的多租户访问控制方法,采用强访问控制特性,利用安全标记互相授权实现租户间的数据共享,提高租户间数据共享的效率。

2 基于安全标记的访问控制方法

基于安全标记的多租户访问控制方法制定和维护了相应的角色森林和安全标记森林,并根据角色的职责赋予其相应的安全标记。用户访问数据时,通过比对角色所具有的安全标记以及访问该数据所需的安全

标记,来决定该用户是否具有访问权限,从而达到访问控制的效果。

(1) 客体安全标记

如图1所示,用层次化的标记模型对客体进行标识,在使用服务前,由租户内部的管理人员根据需求,按照一定准则对公司进行划分,根据这些信息构造由很多安全标记树(SMT)组成的安全标记森林, SMT上的每个节点即代表该公司内部一个可控的安全标记,客体标记定义为 $O:(tenant, \text{安全标记集(SMS)})$ 或 $(tenant, \text{mark } 1, \text{mark } 2, \dots, \text{mark } n)$ 。

(2) 主体安全标记

主体安全标记是指主体通过其具有的角色获取的安全标记,定义为 $R:(tenant, \text{SMS})$ 或 $(tenant, \text{mark } 1, \text{mark } 2, \dots, \text{mark } n)$ 。如图2所示,租户企业均以角色森林的方式表示,为满足安全需求,每个公司在使用服务前都需要各自建立角色森林,主体标记定义为 $S:(tenant, RS)$ 或 $(tenant, \text{role } 1, \text{role } 2, \dots, \text{role } n)$,其中 $RS(\text{RoleSet})$ 表示该用户所具有的角色集。每个角色都会有相应的安全标记进行标注,表示其在系统中的职责。

(3) SMS

以 $SMS(x)$ 表示对象所具有的安全标记集合,当 x 为客体关系或属性时,表示该客体所具有的安全标记集合;当 x 为主体时,表示该主体所具有的安全标记;当 x 为租户时,表示该租户授予当前租户的安全标记及其子标记的集合。此外,为区分租户授权的传递标记与非传递标记,将租户授予的非传递安全标记表示为 $SMS(t)$ 。

(4) 属性安全标记集(ASMS)

用 $ASMS(x)$ 表示对属性进行标注的标记集合。

(5) 扩展安全标记集(ESMS)

用户所具有的所有安全标记集合,包括本租户的,以及其它租户授权的,用 $ESMS(U) = SMS(U) \cup \bigcup_{i=1}^m SMS(t_i) \cup \overline{SMS}(t_i)$ 来表示,其中, m

表示授权租户的个数。 $ESMS(U)$ 由3个并集组成, $SMS(u)$ 表示用户 U 所属租户分配给他的安全标记及其子标记, $SMS(t)$ 表示其它租户授权给他的传递安全标记及其子标记, $\overline{SMS}(t)$ 表示其他租户授权给他的非传递安全标记。

3 多域之间的安全访问控制方法

在SaaS应用中,当同一应用实例的两个租户需要实现相互之间的数据访问时,访问可以绕过角色转换过程,租户管理员通过给租户分配另一租户具有的安全标记,使该租户获得对另一租户资源的访问权限。

如图3所示,假设SaaS系统中有

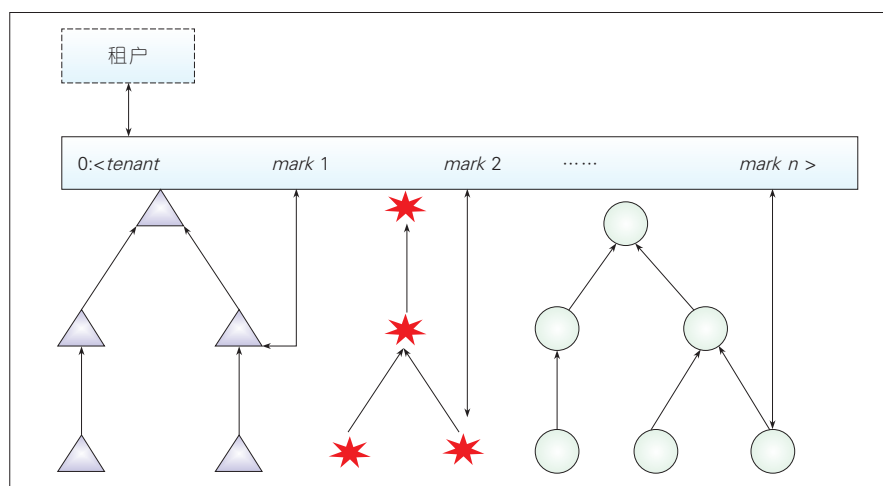
A, B 两个租户,租户 A 和 B 的安全标记层次都只有一个,当租户 A 的 G 标记与租户 B 的 G 标记进行绑定时,租户 B 中具有标记 G 的用户同样可以访问 A 中具有 G 标记标注的数据。

3.1 基本定义

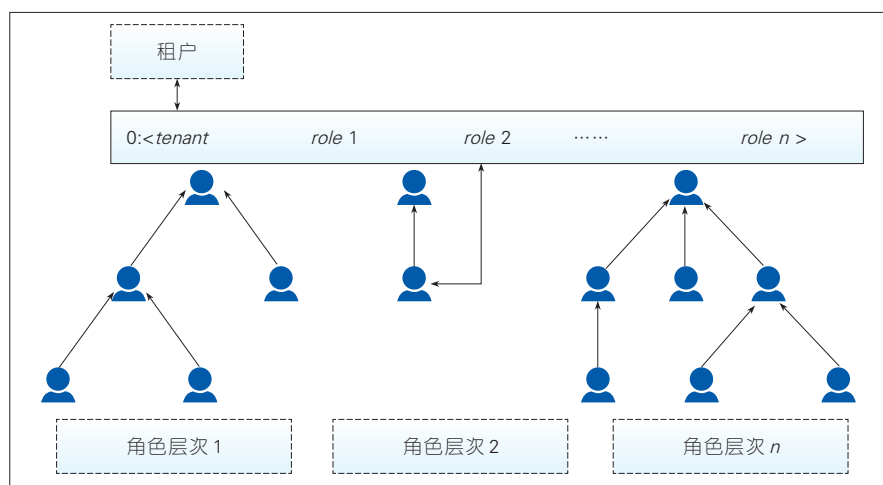
(1) $X > Y$, 表示 X 在安全标记树中层次比 Y 高,或者 X 是 Y 的祖先, X_a 表示安全标记 X 来自租户 A 。

(2) $X_a \rightarrow Y_b$, 也可写成 $(X_a, Y_b) \in T_{ab}$, 表示安全标记关联, $T_{ab} \subseteq T_a * T_b$ 。如附图3中,有从 G_a 到 G_b 的关联,表示来自租户 A 将自己的 G 标记授予租户 B 中具有标记 G 的用户,可用 $(G_a, G_b) \in T_{ab}$ 表示这种关联。

(3) 传递关联: 假设存在关联



▲ 图1 安全标记森林示意



▲ 图2 角色森林示意

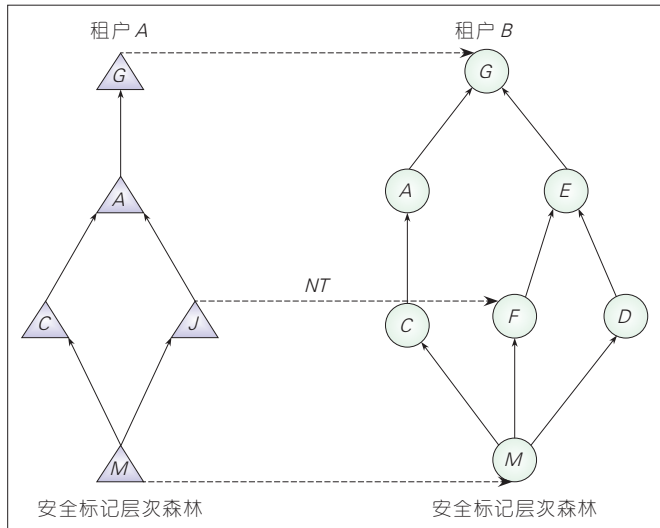


图3
多租户间标记绑定
授予示意

$X_A \rightarrow a_B$, $\forall Y \in B$, 如果 $Y_B > a_B$, 则 $Y_B > X_A$, 因为 Y_B 包含了对 a_B 的映射, 所以 Y_B 也是 X_A 的祖先。从图3中可以看出 $M_A \rightarrow M_B$ 的关联, 因此租户B中具有M标记的用户将可以访问A中具有M标记的资源, 这也意味着所有 M_B 的祖先都可以访问租户A中具有M标记的资源。

(4) 非传递关联: 安全管理员可能想把本租户的安全标记与其它租户的安全标记相关联, 而不想另一租户的标记的祖先继承这种传递关联, 为此引入了非传递关联的概念, 用 $X_A \xrightarrow{NT} Y_B$ 来表示。例如, 图3中租户A的安全管理员想把 J_A 标记与租户B的 F_B 标记进行绑定, 并否定 E_B 和 F_B 关联的继承, 因此该映射为 $J_A \xrightarrow{NT} F_B$ 。

(5) 标记关联策略

• 缺省策略

当租户B的用户需要对租户A进行访问时, 租户A可以提供默认的安全访问标记, 如标记所标定的数据都是不敏感的, 任何人都可以访问的, 使得域间访问很安全且管理方便。

• 直接策略

与缺省策略比, 直接策略就是对租户B可能要访问该系统而需要使用的标记都一一绑定, 充分满足了用户的安全访问需求, 但这种指派不能

满足不同用户的不同访问需求, 标记的指派及管理将是棘手问题, 并且在某些情况下, 安全标记并不希望与其绑定标记的父标记拥有相同的权限, 在这种情况下, 租户管理员就需要建立非传递安全标记绑定, 此时可以将标记绑定有序对表示为 $(X_A, Y_B)NT$ 。

• 部分策略

为了安全, 租户间的安全标记绑定需要系统管理员一一指派, 使用非传递关联。但在某些情况下, 既有继承关系的标记可以指派到同样的标记集, 此时可使用传递关联来减少系统中指派关系的复杂程度, 使标记绑定更加容易管理。例如, 租户 T_b 具有安全标记 a_b , a_b 是安全标记 b_b 的父标记, 且租户 T_a 已有相应的标记绑定 (c_a, b_b) , 则租户 T_b 中拥有标记 a_b 的用户可以直接得到A租户中具有安全标记 c_a 的数据, 而无需A租户再次指定标记绑定 (c_a, b_b) 。

(6) 安全标记分类

• 行级安全标记

通过给关系 R 绑定安全标记集, 来控制用户对 R 的访问, 由于是对 R 的整体标注, 则用户只有可以访问或不可以访问两种情况, 可以用 $((A_1, A_2, \dots, A_n), (SM_1, SM_2, \dots, SM_m))$ 来标注, 其中 SM_1, SM_2, \dots, SM_m 各属不同的安全标记树。则行级安全标记的控制规则可以表示如下: (T, SMS, R, Q) ,

T 表示该规则所属的租户, SMS 表示标记集合, R 表示 SMS 作用的关系对象, 而 Q 则表示先期访问控制的约束条件。

• 列级安全标记

为达到更细粒度的访问控制, 可以对关系属性进行安全标记, 即关系 R 的每个属性都通过安全标记标注的方式实现安全访问, 用 $((A_1, SM_{a_1}), \dots, (A_n, SM_{a_n}), (SM_1, \dots, SM_m))$ 表示。列级安全标记的控制规则可以表示为 (T, AMS, SMS, R, Q) , 其中 T 表示该规则所属的租户, AMS 表示 (A, SM) 二元组的集合, SMS 是行级安全标记集合, 用来对没有被 AMS 中所包含的属性做出标记标注, R 表示 AMS, SMS 作用的关系对象, Q 代表先期访问控制约束条件。

3.2 安全访问控制方法

租户对客体进行安全标记并制定数据访问控制规则后, 用户访问数据库时, 访问控制模块对用户的请求进行检查, 根据已经存于系统中的规则信息确定用户的访问结果。文章提出的安全访问控制方法根据规则信息对访问语句进行转换。请求处理过程可以分为以下两个步骤:

(1) 检查用户安全标记以及系统安全规则数据;

(2) 根据已有的信息产生用户访问语句, 并提交数据库进行访问。

假设此时租户 T 有用户 U , 其提交的访问语句为: $Select a_{q_1}, a_{q_2}, \dots, a_{q_n} from R_{q_1}, R_{q_2}, \dots, R_{q_n} where Q_q$ 。当 T 对 R_{q_i} 所进行的安全标记为行级, 即 R_{q_i} 客体安全标记为 $(T, AMS_{q_i}, SMS_{q_i}, R_{q_i}, Q_{q_i})$, 则当 $SMS(R_{q_i}) \subseteq SMS(U)$ 时, 只要条件 Q_i 为真, 则该用户可以对 a_{q_i} 进行此次访问。当 T 对 R_{q_i} 所进行的安全标记为列级, 即 R_{q_i} 的客体安全标记为 $(T, AMS_{q_i}, SMS_{q_i}, R_{q_i}, Q_{q_i})$, 则当 $AMS(a_{q_i}) \subseteq SMS(U)$ 时, 该用户可以对 a_{q_i} 进行此次访问。

需要利用系统中已制定好的规则, 对访问语句进行转换, 假设租户

T 有规则 $r_i = (T, ASMS, SMS, R, Q)$, 那么当且仅当该规则满足如下条件时才会采用:

(1) 关系 R 的属性集的子集 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ 是 $A_q = (a_{q1}, a_{q2}, \dots, a_{qm})$ 的子集;

$$(2) \bigcup_i^m ASMS(a_i) \subseteq SMS(U).$$

处理该语句时, 涉及租户 T 的相关规则为 $r_i = (T, ASMS, SMS, R, Q)$ ($1 \leq i \leq k$), 其中 k 为该语句涉及到的 k 条规则, 可用 $Rule(T, query)$ 表示, 其意义为 i 租户在查询语句中涉及到的规则集, 此处有如下表示:

(1) 记 $R_q = (R_{q1}, R_{q2}, \dots, R_{qn})$, $R_r = \bigcup_i^k R(r_i)$, 其中 $R(r_i)$ 表示规则 r_i 中涉及到的关系;

(2) 记 $Q_r = \bigcup_i^k Q(r_i)$, 其中 $Q(r_i)$ 表示规则 r_i 中涉及到的约束条件。

访问语句可变为 $Query(t): Select a_{q1}, a_{q2}, \dots, a_{qn} from R_q \cap R_r where Q_q \cap Q_r$ 。则对租户 T , 其访问语句转换就完成了, 对于要访问的其他租户的数据的语句转换同理, 对于某一查询语句, 转换后的结果为语句集, 可表示为: $Q(U) = Query(T) \cup \bigcup_i^n Query(t_i)$, 其中, $Query(T)$ 表示该语句相对该用户所属租户的转换语句, $\bigcup_i^n Query(t_i)$ 表示该语句相对其它租户的语句转换集合, 语句在转换完成后, 就可以提交数据库处理。

4 基于安全标记的多域访问控制系统

4.1 系统架构

基于安全标记的多域访问控制系统中, 有两个主要模块: 安全信息定义模块和访问控制模块, 系统架构如图4所示。

安全信息定义模块: 该模块负责完成安全标记森林的定义及系统中

访问主体与访问客体的安全标记标注, 同时负责主客体安全标记的完整性与一致性检查。

访问控制模块: 该模块负责对用户的访问进行控制, 其根据访问主客体所具有的安全标记, 并结合已有的访问控制规则信息, 做出最后的访问控制结果。

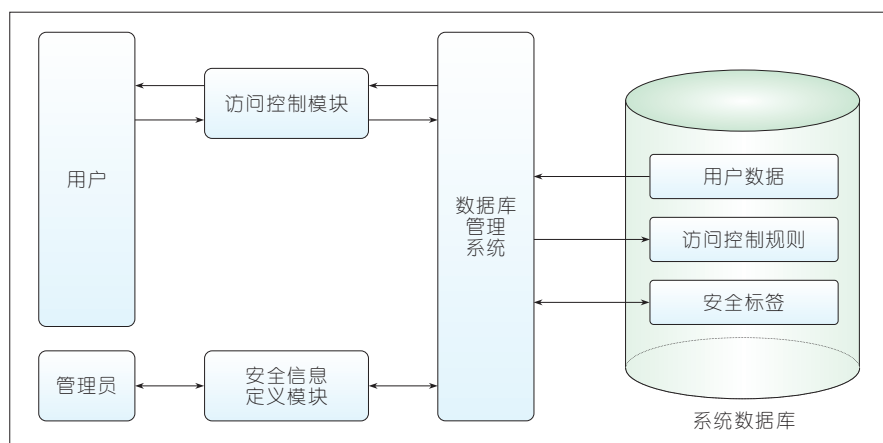
4.2 访问控制流程

在制定好系统角色森林、标记森林及相应的访问控制规则后, 系统的访问控制模块才会根据已经制定好

的规则来进行。图5是系统访问控制流程。

5 实验结果及分析

我们实现了一个基于安全标记的多租户访问控制方法的原型系统, 并部署在模拟数据中心。从该数据中心选取2台安装、运行 Redhat Linux RHEL6.3 操作系统和 Oracle 数据库的虚拟机, 分别部署基于安全标记的多租户访问控制方法的原型系统和基于角色的访问控制模型 (RBAC) 系统, 两个系统使用同一组



▲图4 基于安全标记的多域访问控制系统架构

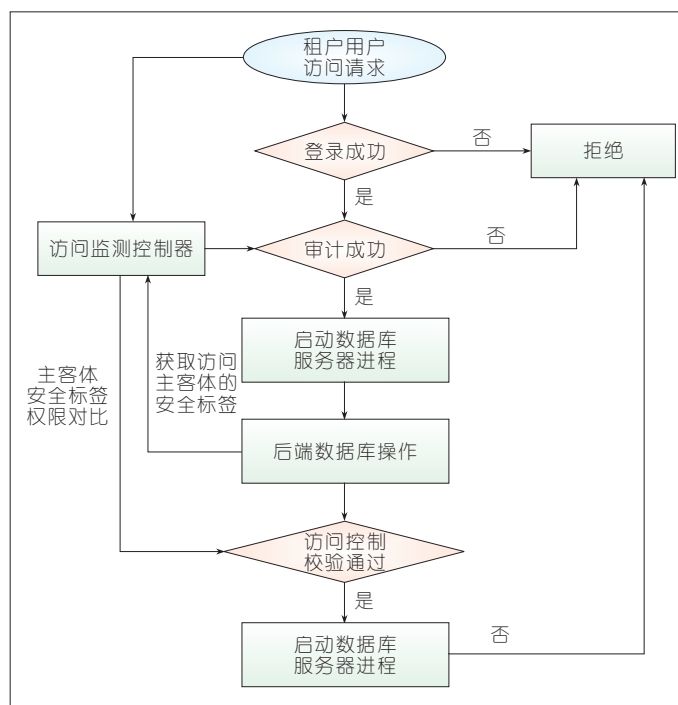


图5 访问控制流程

结构化查询语言(SQL)语句进行对比测试。

通过对实验结果的分析可以发现,基于安全标记的多租户访问控制方法在访问效率上没有降低,甚至优于基于RBAC的系统,且从原型系统的设计上看,也优于基于RBAC的系统,主要体现在了如下几点。

(1) 租户之间数据的强隔离性

由于每次访问都需要比较主客体的安全标签是否属于同一租户,杜绝了用户对其他租户数据非法访问的可能性。

(2) 灵活的租户内部数据隔离

每个租户都可以自由定义层次化的主体角色和客体标签森林,对主客体进行自由的标签标注,满足租户不同的访问控制需求。

(3) 租户之间数据的受控、高效共享

租户间通过安全标签的互相授予来达到共享的目的,使得有授权的租户可以方便、高效地访问共享的数据,同时屏蔽非法访问。

6 结束语

利用租户数据共享模式的特点,我们结合RBAC和强制访问控制模型的特性,创新性地提出基于安全标记的多域安全访问控制方法,并通过原型系统的实现,证明了该方法的有效性。然而,有关安全标记的使用规则还有待进一步研究,力求在保障数据安全的同时,进一步提高访问效率。

参考文献

[1] JU J, WANG Y, FU J, et al. Research on Key

- Technology in SaaS[C]//2010 International Conference on Intelligent Computing and Cognitive Informatics. USA:IEEE, 2010:384-387. DOI:10.1109/ICICCI.2010.120
- [2] 马立林,李红. 基于RBAC的SaaS系统的权限模型[J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(4):42-44. DOI:10.3969/j.issn.1000-386X.2010.04.014
- [3] 朱养鹏,张璟. SaaS平台访问控制研究[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(24):12-16. DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2011.24.004
- [4] 佟彤. RBAC扩展模型在SaaS系统中的研究与应用[D]. 郑州:郑州大学, 2011
- [5] 王丰锦,张群芳. SaaS工作流访问控制模型设计[J]. 计算机时代, 2012, 30(3):12-14. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8228.2012.03.005
- [6] 王家忙. 面向SaaS的工作流管理系统设计与实现[D]. 杭州:浙江大学, 2010
- [7] 韩秋君,丁岳伟. SaaS模式下新型认证方案的设计与分析[J]. 计算机工程, 2011, 37(7):133-135. DOI:10.3969/j.issn.1000-3428.2011.07.044
- [8] DEMCHENKO Y, NGO C, LAAT C. Access Control Infrastructure for On-Demand Provisioned Virtualized Infrastructure Services [C]//2011 International Conference on Collaboration Technologies and Systems. USA:IEEE, 2011:466-475. DOI:10.1109/CTS.2011.5928725
- [9] 曾巧文,陈新度,吴磊. 基于SOAP消息SaaS平台应用访问控制模型[J]. 机电工程技术, 2010, 39(10):27-29. DOI:10.3969/j.issn.1009-9492.2010.10.007
- [10] 申利民,刘波,邢元昌,等. SaaS模式下可插拔访问控制框架的设计[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(6):1107-1111
- [11] LI J, ZHAO G, CHEN X, et al. Fine-Grained Data Access Control Systems with User Accountability in Cloud Computing[C]//2010 IEEE Second International Conference on Cloud Computing Technology and Science, USA:IEEE, 2010:89-96. DOI:10.1109/CloudCom.2010.44
- [12] JENSEN M, SCHAGE S, SCHWENK J. Towards an Anonymous Access Control and Accountability Scheme for Cloud Computing [C]//2010 IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing, USA:IEEE, 2010:540-541. DOI:10.1109/CLOUD.2010.61
- [13] LUO S X, LIU F M, REN C L. A Hierarchy Attribute-Based Access Control Model for Cloud Storage[C]//2011 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, USA:IEEE, 2011(3):1146-1150. DOI:10.1109/ICMLC.2011.6016897
- [14] TANG Y, LEE P, LIU J, et al. Secure Overlay Cloud Storage with Access Control and Assured Deletion[J]. IEEE Transaction on

Dependable and Secure Computing, 2012, 9 (6):903-916. DOI: 10.1109/TDSC.2012.49

- [15] 张坤,李庆忠,史玉良. 面向SaaS应用的数据组合隐私保护机制研究[J]. 计算机学报, 2010, 33(11):2044-2054. DOI: 10.3724/SP. J.1016.2010.02044
- [16] 孟健,曹立明,王小平,等. XML文档的加密访问控制与传输[J]. 计算机应用, 2006, 26(5): 1061-1063

作者简介



彭勇,广西科技大学网络与现代教育技术中心工程师;研究方向为云计算、信息安全等。



侯超平,广西科技大学网络与现代教育技术中心工程师;研究方向为云计算、分布式系统、高可用技术等。



童遥,中兴通讯股份有限公司工程师;研究方向为云计算、统一通信等。



申光,中兴通讯股份有限公司工程师;研究方向为云计算、统一通信等。

《中兴通讯技术》杂志(双月刊)投稿须知

一、杂志定位

《中兴通讯技术》杂志为通信技术类学术期刊。通过介绍、探讨通信热点技术,以展现通信技术最新发展动态,并促进产学研合作,发掘和培养优秀人才,为振兴民族通信产业做贡献。

二、稿件基本要求

1. 投稿约定

- (1)作者需登录《中兴通讯技术》投稿平台: tech.zte.com.cn/submission,并上传稿件。第一次投稿需完成新用户注册。
- (2)编辑部将按照审稿流程聘请专家审稿,并根据审稿意见,公平、公正地录用稿件。审稿过程需要1个月左右。

2. 内容和格式要求

- (1)稿件须具有创新性、学术性、规范性和可读性。
- (2)稿件需采用WORD文档格式。
- (3)稿件篇幅一般不超过6000字(包括文、图),内容包括:中、英文题名,作者姓名及汉语拼音,作者中、英文单位,中文摘要、关键词(3~8个),英文摘要、关键词,正文,参考文献,作者简介。
- (4)中文题名一般不超过20个汉字,中、英文题名含义应一致。
- (5)摘要尽量写成报道性摘要,包括研究的目的、方法、结果/结论,150~200字为宜。摘要应具有独立性和自明性。中英文摘要应一致。
- (6)文稿中的量和单位应符合国家标准。外文字母的正斜体、大小写等须写清楚,上下角的字母、数据和符号的位置皆应明显区别。
- (7)图、表力求少而精(以8幅为上限),应随文出现,切忌与文字重复。图、表应保持自明性,图中缩略词和英文均要在图中加中文解释。表应采用三线表,表中缩略词和英文均要在表内加中文解释。
- (8)参考文献以20条左右为宜,不允许公开发表的资料不应列入。所有文献必须在正文中引用,文献序号按其在文中出现的先后次序编排。常用参考文献的书写格式为:
 - 期刊[序号]作者. 题名[J]. 刊名, 出版年, 卷号(期号): 引文页码. 数字对象唯一标识符
 - 书籍[序号]作者. 书名[M]. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码. 数字对象唯一标识符
 - 论文集中析出文献[序号]作者. 题名[C]/论文集编者. 论文集名(会议名). 出版地: 出版者, 出版年(开会年): 引文页码. 数字对象唯一标识符
 - 学位论文[序号]作者. 题名[D]. 保存地点: 保存单位, 授予年. 数字对象唯一标识符
 - 专利[序号]专利所有者. 专利题名: 专利号[P]. 出版日期. 数字对象唯一标识符
 - 国际、国家标准[序号] 标准名称: 标准编号[S]. 出版地: 出版者, 出版年. 数字对象唯一标识符
- (9)作者超过3人时,可以感谢形式在文中提及。作者简介包括:姓名、工作单位、职务或职称、学历、毕业于何校、现从事的工作、专业特长、科研成果、已发表的论文数量等。
- (10)提供正面、免冠、彩色标准照片一张,最好采用JPG格式(文件大小超过100kB)。
- (11)应标注出研究课题的资助基金或资助项目名称及编号。
- (12)提供联系方式,如:通信地址、电话(含手机)、Email等。

3. 其他事项

- (1)请勿一稿两投。凡在2个月(自来稿之日算起)以内未接到录用通知者,可致电编辑部询问。
- (2)为了促进信息传播,加强学术交流,在论文发表后,本刊享有文章的转摘权(包括英文版、电子版、网络版)。作者获得的稿费包括转摘酬金。如作者不同意转摘,请在投稿时说明。

编辑部地址:安徽省合肥市金寨路329号国轩凯旋大厦1201室,邮政编码:230061

联系电话:0551-65533356,联系邮箱: magazine@zte.com.cn

本刊只接受在线投稿,欢迎访问本刊投稿平台: tech.zte.com.cn/submission

办刊宗旨

以人为本,荟萃通信技术领域精英;
迎接挑战,把握世界通信技术动态;
立即行动,求解通信发展疑难课题;
励精图治,促进民族信息产业崛起。

双月刊 1995年创刊 总第132期
2017年2月 第23卷1期

主管:安徽省科学技术厅
主办:安徽省科学技术情报研究所
中兴通讯股份有限公司
编辑:《中兴通讯技术》编辑部

总编:陈杰
常务副总编:黄新明
责任编辑:徐烨
编辑:卢丹,朱莉,赵陆
排版制作:余刚
发行:王萍萍
编务:王坤

《中兴通讯技术》编辑部
地址:合肥市金寨路329号凯旋大厦12楼
邮编:230061
网址:tech.zte.com.cn
投稿平台:tech.zte.com.cn/submission
电子信箱:magazine@zte.com.cn
电话:(0551)65533356
传真:(0551)65850139

出版、发行:中兴通讯技术杂志社
发行范围:全球发行
印刷:合肥添彩包装有限公司
出版日期:2017年2月10日
中国标准连续出版物号:ISSN 1009-6868
CN 34-1228/TN
广告经营许可证:皖合工商广字0058
定价:每册20.00元,全年120.00元