

# 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<sup>[1]</sup>, 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。

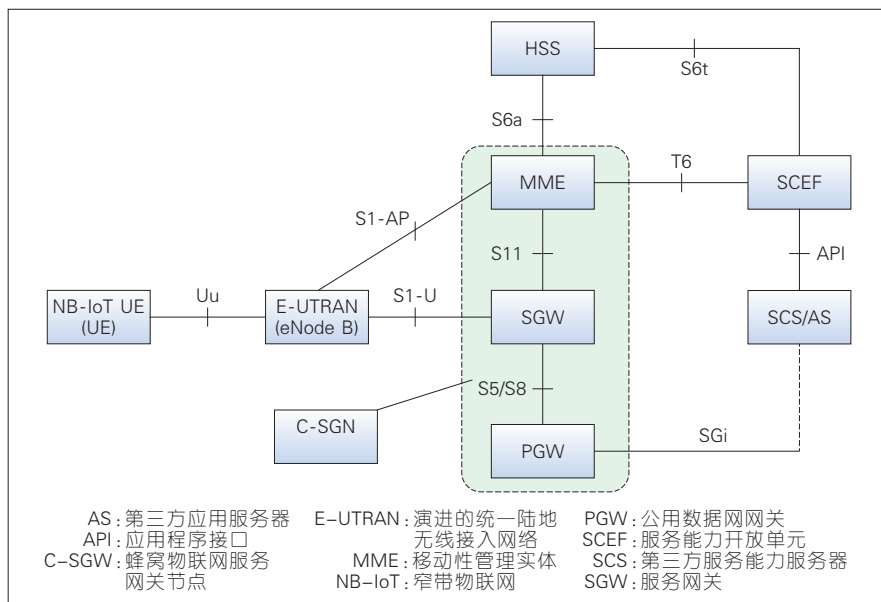
NB-IoT 系统预期能够满足在 180 kHz 的传输带宽下支持覆盖增强 (提升 20 dB 的覆盖能力)、超低功耗 (5 Wh 电池可供终端使用 10 年)、巨量终端接入 (单扇区可支持 50 000 个连接) 的非时延敏感 (上行时延可放宽到 10 s 以上) 的低速业务 (支持单用户上下行至少 160 bit/s) 需求。NB-IoT 基于现有 4G LTE 系统对空口物理层和高层、接入网以及核心网进

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)<sup>[2]</sup>。

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,支持两种优化的小数据传输方案,包括控制面优化传输方案和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<sup>[3]</sup>。

- 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<sup>[4]</sup>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)和窄带辅主同步信号(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<sup>[5]</sup>)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<sup>[5]</sup>);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<sup>[4]</sup>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。

上行链路支持单载波和多子载波传输,对于单载波传输,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<sup>[6]</sup>。

## 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)<sup>[7]</sup>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<sup>[8]</sup>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<sup>[9]</sup>。

### (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<sup>[8]</sup>,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<sup>[9]</sup>;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<sup>[8]</sup>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<sup>[9]</sup>,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<sup>[10-12]</sup>。

### 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<sup>[13]</sup>和 S1 接口<sup>[14]</sup>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-TURAN 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<sup>[15]</sup>必须支持的功能包括:支持控制面优化传输方案和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和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<sup>[16]</sup>,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。