



专题：5G

## 5G 移动通信技术标准综述

杜滢, 朱浩, 杨红梅, 王志勤, 徐杨  
(中国信息通信研究院, 北京 100083)

**摘要:** 业界齐心协力打造能满足移动宽带业务和物联网业务的 5G 技术标准, 近期国际标准组织 3GPP 宣布冻结第一个独立组网 5G 标准。5G 具有大带宽、低时延、灵活配置的特点, 设计全新的基于服务化系统架构, 并具备网络切片、边缘计算等重要业务能力。结合 5G 系统特点, 分析了新空口、新核心网和安全机制等内容, 同时展望 5G 标准发展趋势。

**关键词:** 新空口; 服务化架构; 安全

**中图分类号:** TN929

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2018231

## Review of 5G mobile communication technology standard

DU Ying, ZHU Hao, YANG Hongmei, WANG Zhiqin, XU Yang  
China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100083, China

**Abstract:** The industry is working together to create 5G technology standard, which should meet the needs of mobile broadband and internet of things. Recently, 3GPP declares the first 5G standard which supports the standalone deployment frozen. 5G supports wider bandwidth, low latency, flexible configuration. New service-based architecture is designed for 5G, which supports important service capabilities, e.g. network slice, edge computing. 5G standards were introduced, including new radio, new core and security. In the end, the trends of 5G standard were summarized.

**Key words:** new radio, service-based architecture, security

### 1 引言

5G 是近几年通信产业的研发重点。2012 年全球主要国家和地区纷纷启动 5G 移动通信技术需求和技术研究工作。同期国际电信联盟 (ITU) 启动了一系列 5G 工作, 如 5G 愿景、需求、评估方法等, 并于 2015 年 6 月正式发布了 5G 愿景, 明确面向 2020 年及未来的移动通信市场、用户、业

务应用的发展趋势, 并提出未来移动通信系统的框架和关键能力。

5G 开启万物互联新时代。业界一般认为移动通信 10 年一代, 2G 时代提供语音和低速数据业务, 3G 时代在提供语音业务的同时, 开始提供基础的移动多媒体业务, 4G 时代提供移动宽带业务, 到了 5G 时代, 移动通信将在大幅提升以人为中心的移动互联网业务使用体验的同时, 全面支

收稿日期: 2018-07-03; 修回日期: 2018-08-10

持以物为中心的物联网业务,实现人与人、人与物和物与物的智能互联<sup>[1]</sup>。5G 满足增强移动宽带、海量机器类通信和超高可靠低时延通信三大类应用场景,在 5G 系统设计时需要充分考虑不同场景和业务的差异化需求。

新业务新需求对 5G 系统提出新挑战。ITU 定义了八大关键技术指标<sup>[2]</sup>,其中峰值速率、移动性、时延和频谱效率是传统的移动宽带关键技术指标,新定义了 4 个关键指标,即用户体验速率、连接数密度、流量密度和能效。5G 将满足 20 Gbit/s 的光纤般接入速率、毫秒级时延的业务体验、千亿设备的连接能力、超高流量密度和连接数密度及百倍网络能效提升等极致指标,一个系统如何同时满足多样业务需求,5G 系统设计面临新的挑战。

## 2 5G 标准规划

3GPP 于 2018 年 6 月发布第一个独立组网 5G 标准。3GPP 制定 R15 和 R16 标准满足 ITU IMT-2020 全部需求,其中 R15 为 5G 基础版本,重点支持增强移动宽带业务和基础的低时延高可靠业务,R16 为 5G 增强版本,将支持更多物联网业务。考虑到 5G 将与 LTE 较长时间共存,并且运营商拥有的频谱不同、部署节奏不同、5G 网络业务定位不同,3GPP 标准分阶段支持多种 5G 组网架构。具体地,R15 包含 3 个子阶段,第一个子阶段为 2017 年年底完成非独立组网的 5G 标准,第二个子阶段为 2018 年 6 月完成可独立组网的 5G 标准,第三个子阶段为 2018 年 12 月完成支持更多组网架构的版本,这些子版本将为运营商提供更多组网选择。2017 年 12 月,3GPP 发布了 R15 非独立组网的标准、5G 核心网架构和业务流程标准,重点增强支持移动宽带业务,5G 基站与 4G 基站或 4G 核心网连接,用户通过 4G 基站接入网络后,5G 新空口和 4G 空口为其提供数据服务,4G 负责移动性管理等控制功能。2018 年 6 月 3GPP

发布了第一个 5G 独立组网标准,5G 基站直接连接 5G 核心网,支持增强移动宽带和基础低时延高可靠业务,基于全服务化架构的 5G 核心网,5G 系统能提供网络切片、边缘计算等新应用。即将于 2018 年 12 月发布的 R15 第三个子阶段标准将完成更多组网架构,支持 4G 基站接入 5G 核心网,以快速提供网络切片、边缘计算等业务能力,之前两个子版本在一定程度上对性能、部署周期和成本等进行折中。此外,3GPP 将于 2019 年年底发布 R16 标准,R16 标准在 R15 的基础上,进一步增强网络支持移动宽带的能力和效率,同时扩展支持更多物联网场景。

## 3 5G 新空口技术

### 3.1 物理层和底层协议

5G 新空口(new radio, NR)具有大带宽、低时延、灵活配置的特点,满足多样业务需求,同时易于扩展支持新业务。下面分别介绍 5G 新空口的特点和关键技术<sup>[3-6]</sup>。

在波形和多址方面,NR 仍采用正交频分多址(OFDMA)作为上行和下行基础多址方案,考虑到上行覆盖问题,上行还支持单载波方案 DFT-S-OFDMA,此时,仅支持单流传输。相比于 LTE 系统 90%的频谱利用率,NR 支持更高的频谱利用、更陡的频谱模板,并通过基于实现的新波形方案避免频带之间的干扰。

NR 支持更大带宽。针对 6 GHz 以下的频谱,5G 新空口支持最大 100 MHz 的基础带宽;针对 20~50 GHz 频谱,5G 新空口支持最大 400 MHz 的基础带宽,相对于 LTE 最大 20 MHz 的基础带宽,5G 能更有效地利用频谱资源,支持增强移动宽带业务。此外,5G 新空口采用部分带宽设计,灵活支持多种终端带宽,以支持非连续载波,降低终端功耗,适应多种业务需求。

NR 支持灵活参数集,以满足多样带宽需求。NR 以 15 kHz 子载波间隔为基础,可根据  $15 \times 2^i$



灵活扩展, 其中  $u=0,1,2,3,4$ , 也就是说 NR 支持 15 kHz、30 kHz、60 kHz、120 kHz、240 kHz 5 种子载波间隔, 其中子载波 15 kHz、30 kHz、60 kHz 适用于低于 6 GHz 的频谱, 子载波 60 kHz、120 kHz、240 kHz 适用于高于 6 GHz 的频谱。新空口定义子帧长度固定为 1 ms, 每个时隙固定包含 14 个符号, 因而对于不同子载波间隔, 每个时隙长度不同, 分别为 1 ms、0.5 ms、0.25 ms、0.125 ms 和 0.0625 ms。

NR 支持灵活帧结构, 定义大量时隙格式, 满足各种时延需求。LTE 定义了 7 种帧结构、11 种特殊子帧格式, NR 定义了 56 种时隙格式, 并可以基于符号灵活定义帧结构。LTE 帧结构以准静态配置为主, 高层配置了某种帧结构后, 网络在一段时间内采用该帧结构, 帧结构周期为 5 ms 和 10 ms, 在特定场景下, 也可以支持物理层的快速帧结构调整; NR 从一开始设计就支持准静态配置和快速配置, 支持更多周期配置, 如 0.5 ms、0.625 ms、1 ms、1.25 ms、2 ms、2.5 ms、5 ms、10 ms, 此外, 时隙中的符号可以配置上行、下行或灵活符号, 其中灵活符号可以通过物理层信令配置为下行或上行符号, 以灵活支持突发业务。

NR 支持更大数据分组的有效传输和接收, 提升控制信道性能。增强移动宽带业务的大数据分组对编码方案的编译码的复杂度和处理时延提出了挑战, LPDC 在处理大数据分组和高码率方面有性能优势, 成为 NR 的数据信道编码方案。对于控制信道, 稳健性是最重要的技术指标, 极化码 Polar 在短数据分组方面有更好的表现, 成为 NR 的控制信道编码方案。

NR 支持基于波束的系统设计, 提供更灵活的网络部署手段。LTE 中同步、接入采用广播传输模式, 数据信道支持波束成形传输模式。为了实现同步、接入和数据传输 3 个阶段的匹配, NR 中同步、接入、控制信道、数据信道均基于波束传

输, 并支持基于波束的测量和移动性管理, 以同步为例, NR 支持多个同步信号块, SSB 可以指向不同的区域, 比如楼宇的高层、中层和地面, 为网络规划提供更多可调手段。

NR 支持数字和混合波束成形。低频 NR 主要采用传统的数字波束成形, 针对高频 NR, 既需要补偿路损, 又需要合理的天线成本, 因而 NR 引入模拟+数字的混合波束成形。NR 下行支持最大 32 端口的天线配置, 上行支持最大 4 端口的天线配置; 在具体 MIMO 传输能力方面, 下行单用户最大支持 8 流, 最大支持 12 个正交多用户, 上行单用户最大支持 4 流。另, 与 LTE 定义了多种传输模式不同, NR 目前定义了一种传输模式, 即基于专用导频的预编码传输模式。此外, 相比于 LTE, 5G 新空口定义更多导频格式(如 front-loaded 和支持高速移动的额外 DMRS), 以支持更多天线阵列模式和部署场景。

NR 实现传输资源和传输时间的灵活可配。支持多种资源块颗粒度, 如基于时隙、部分时隙、多个时隙的力度, 以满足不同业务需求。支持可配置的新数据分组传输和重传时序, 在满足灵活帧结构的同时, 满足低时延需求。

预计 5G 新空口预计将部署在较高频段, 考虑到基站和终端天线配置的差异, 需要重点研究如何保障 5G 上行覆盖。最直接的方案是提升终端发射功率, 此外, 考虑到 5G NR 将在较长时间和 LTE 共存, 可以利用低频 LTE 上行资源保障系统上行覆盖。主要有两类方案: 在 5G 业务信道覆盖受限的情况下, 回退到低频 LTE 业务信道来保证上行覆盖, 如双连接或切换; 在 5G 业务信道覆盖受限的情况下, 通过补充上行(SUL)保证上行覆盖, 即占用部分低频 LTE 上行资源传输 NR。

### 3.2 高层协议

NR 高层协议大量重用了 LTE 设计。下面分为控制面 and 用户面分别介绍 NR 高层协议。

控制面, NR 与 LTE 有三大主要差异。相比于 LTE, NR 新增了 RRC inactive 状态, 该状态下, 终端、基站和核心网部分保留 RRC 和 NAS 上下文, 这样可以快速进入 connected 状态, 在省电的同时, 降低连接时延、减少信令开销和功耗, 以适应未来各种物联网场景。在 LTE 和 NR 双连接架构中, 扩展了 NR 的 RRC 协议, 新增支持 RRC 分集模式, 即辅小区复制主小区的 RRC 信息, 并通过主小区和辅小区同时向终端发送 RRC 信息, 从而提升手机接收 RRC 消息的成功率和可靠性。此外, LTE 仅支持广播发送系统信息, NR 系统信息支持基于请求和广播两种方式, 以降低网络广播开销, 并提升系统前向兼容性, 扩展资源承载类型。

相比于 LTE, NR 增强协议栈功能和性能。NR 支持 6 种承载类型, 以提升接入网的组网灵活性。为了提高数据可靠性, 5G 核心网支持基于 IP 流的 QoS 控制, 实现更灵活和更精细的 QoS 控制, 为了实现端到端 QoS, NR 新增 SDAP 层, 执行 IP 流和无线承载间映射。

此外, NR 提供更灵活的接入网架构。除了支持与 LTE 相同的接入网架构, 5G 支持中心单元/分布单元 (CU/DU) 分离的接入网架构, 其中 CU 为集中控制, DU 为灵活部署。

## 4 新核心网技术

5G 核心网标准包括新的总体架构和协议模型, 针对移动宽带数据服务提供优化的用户接入、会话管理、服务质量、策略控制以及应用与网络交互能力等基础网络内容, 还标准化了端到端网络切片、靠近无线网的边缘计算应用。

### 4.1 5G 核心网架构与接口

为支持差异化的 5G 应用场景和云化部署方式, 5G 采用全新的基于服务化系统架构。系统架构中的元素被定义为一些由服务组成的网络功能, 这些功能可以被部署在任何合适的地方, 通过统一框架的接口为任何许可的网络功能提

供服务。这种架构模式采用模块化、可重用性和自包含原则来构建网络功能, 使得运营商部署网络时能充分利用最新的虚拟化和软件技术, 以细粒度的方式更新网络的任一服务组件, 或将不同的服务组件聚合起来构建服务切片。图 1 (a) 显示了服务化架构的设计原则, 同时 Stage 2 规范还提供了基于参考点的系统架构 (图 1 (b)), 其更注重描述实现系统功能时网络功能间的交互关系。

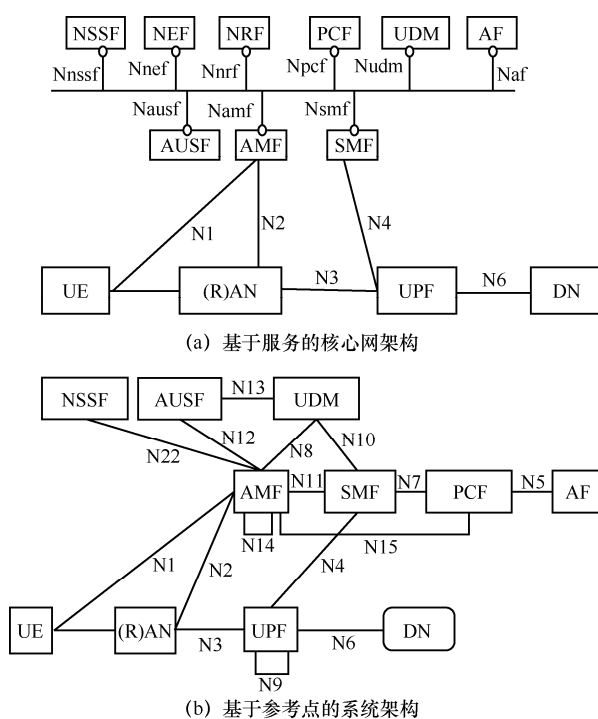


图 1 5G 核心网系统架构

### 4.2 5G 核心网功能

如图 1 所示, 5G 核心网主要的网络功能如下。

#### (1) 接入控制和移动性管理功能 (AMF)

主要提供网络接入控制、接入和移动性管理等功能, 是 NAS 信令的终节点。5G AMF 针对不同类型的用户终端提供终端能力参数、不同的移动性策略和模式, 并以此为依据提供优化的连接管理和寻呼优化。

#### (2) 会话管理功能 (SMF)

核心网使用 PDU 会话来标识终端到某个数据



网络间的数据业务连接，5G 支持的 PDU 会话类型包括 IPv4、IPv6、以太网和无结构。

### (3) 网络切片选择功能 (NSSF)

根据用户签约和 UE 上报的候选切片选择辅助信息 NSSAI 来为 UE 选择一个服务切片实例，并为 UE 指派提供服务的 AMF 集合。

### (4) 策略控制与计费功能 (PCF)

在 5G 系统进行了扩展，从 4G 单纯地针对业务数据流，扩展到覆盖用户接入移动性以及终端选路的策略控制。5G 系统架构的 QoS 模型细化到每一个五元组的粒度，且由用户面标签直接实现，无需额外信令，使不同的数据服务能够有效利用无线资源，以支持各种应用需求。

### (5) 统一数据库功能 (UDR)

5G 系统架构引入统一的结构化 (UDR) 和非结构化数据库 (UDSF) 功能，将业务逻辑处理和数据存储分离，网络切片的服务弹性更高，负载聚合和容灾机制更灵活。

### (6) 用户面功能 (UPF)

采用控制和用户面分离的模型，由 SMF 进行管理，实现灵活的业务流路径编排和有服务质量保证的转发。

### (7) 网络功能库 (NRF)

提供服务的注册、管理和查询功能。

## 4.3 5G 核心网业务

相比于 4G 网络通过“专有核心网”的特性支持网络切片，5G 网络切片是一个更强大的概念。在 3GPP 5G 系统架构的范围内，网络切片是指一组 3GPP 定义的特征和功能，它们组成向 UE 提供服务的一个完整 PLMN。网络切片使得网络运营商能够在统一的云化基础设施上部署多个独立的 PLMN，其中每个网络切片只需实例化所属签约用户所关注的特性、功能和业务。

图 2 展示了 3GPP 网络切片的更多细节。在图 2 中，网络切片#3 是直接部署，其中所有网络功能仅服务于单个网络切片。还展示了一个 UE

如何从多个网络切片 #1 和 #2 获得服务。在这样的部署中，一组切片可以共享一些网络功能，包括 AMF、相关的策略控制 (PCF) 以及网络功能库 (NRF)。用户面业务，特别是数据业务，可以通过多个独立的网络切片获得。切片 #1 向 UE 提供访问数据网络 #1 的服务，切片 #2 向 UE 提供访问数据网络 #2 的服务。除了用户所有业务共同使用的接入和移动性控制 (AMF) 的交互之外，这些切片和数据业务彼此独立。可以为每个切片定制例如不同的 QoS 数据业务或不同的应用功能，全部通过策略控制框架来确定。

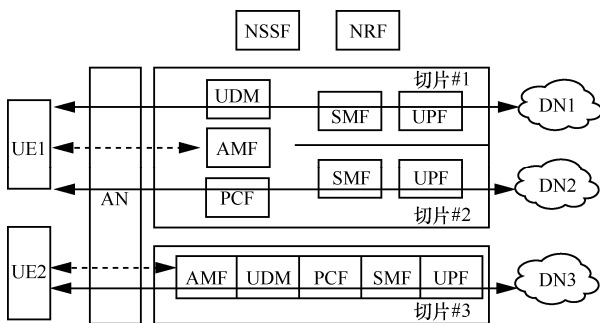


图 2 5G 核心网切片架构

3GPP 边缘计算支持应用功能在网络拓扑灵活的按需部署，以优化时延和传输网络负载。主要优化功能包括会话和业务连续性 (SSC) 模式或用户面的上行分类器、分支点。SSC 模式包括传统的模式 (SSC 1) 和新模式，SSC 1 是在 UE 位置变化时仍然维持 IP 地址矛盾稳定来持续支持应用并维护到 UE 的路径。新的模式允许 IP 地址矛盾的重置，包含两种方式：先建后断 (SSC mode 3) 和先断后建 (SSC mode 2)。这种架构使得应用可以影响合适的数据业务特性和 SSC 模式的选择。

由于 5G 网络部署预计将服务于海量的移动数据流量，因此高效的用戶面路径管理至关重要。除了 SSC 模式之外，系统架构还定义了上行链路分类器和分支点的功能，以允许在 IP 锚点之前在用户面路径上有选择性地卸载和插入数据流。而且在策略允许时，应用功能可提供优化数据流路

由相关的信息实现和网络协调,或者向 5G 系统订阅可能与应用相关的事件。

R15 版本的 5G 系统将全面采用基于 IMS 的分组语音方案,考虑到 5G 形成满足语音连续性要求的覆盖能力需要一个过程,5G 语音方案需要考虑使用户尽可能驻留 5G 网络监听语音呼叫,并根据网络质量来选择建立语音业务的路径。总的来说,5G 提供 VoNR 和 EPS fallback 两种语音机制。

#### (1) VoNR

用户驻留在 5G 小区,接入 5G 核心网完成 IMS 语音业务注册,当要发起入呼/出呼业务时,终端在 NR 基站和 UPF 间建立 QCI=1 的语音专用业务流,实现语音接续。呼叫过程中如果移出 5G 覆盖,则进行 PS 切换操作,到 LTE 网络重建语音和数据业务会话。

#### (2) EPS fallback

用户驻留在 5G 小区,接入 5G 核心网完成 IMS 语音业务注册,当要发起入呼/出呼业务时,基站侧将拒绝在 5G 系统建立语音业务流的请求,同时触发 PS 切换或重定向过程,到 4G 网络完成语音业务承载的建立。由于 PGW 与 UPF 是合设的,所以呼叫过程可以保持 IP 地址和业务连续性。

基于自组织的分布式网络管理模型如图 3 所示。

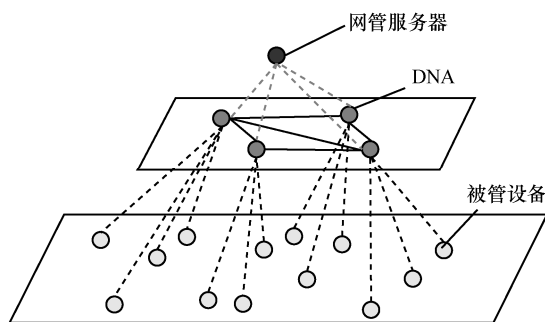


图3 基于自组织的分布式网络管理模型

## 5 5G 安全技术

5G 网络新的发展趋势,尤其是 5G 新业务、新架构、新技术,对安全和用户隐私保护都提出

了新的挑战。5G 安全机制除了要满足基本通信安全要求之外,还需要为不同业务场景提供差异化的安全服务,能够适应多种网络接入方式及新型网络架构,保护用户隐私,并能提供开放的安全能力。因而 5G 网络安全设计目标如下。

- 提供统一的认证框架,支持多种接入方式和接入凭证,从而保证所有终端设备安全地接入网络。
- 提供按需的安全保护,满足多种应用场景中的终端设备的生命周期、业务的时延要求。
- 提供隐私保护,满足用户隐私保护以及相关法规的要求。

5G 安全除了应保护多种应用场景下的通信安全以外,还应能保护 5G 网络架构本身的安全。5G 网络架构的重要特征包括 NFV/SDN、网络切片以及能力开放。因此,5G 安全应保证 NFV/SDN 引入之后移动网络的安全,NFV/SDN 技术实现了软件与硬件的解耦,NFV 技术的部署使得部分功能网元以虚拟功能网元的形式部署在云化的基础设施上,网络功能由软件实现,不再依赖于专有通信硬件平台,因此,5G 安全需要考虑 5G 基础设施的安全,从而保障 5G 业务在 NFV 环境下能够安全运行。另外,5G 网络中通过引入 SDN 技术提高数据传输效率,实现更好的资源配置,需要考虑 SDN 控制网元和转发节点的安全隔离和管理以及 SDN 流表的安全部署和正确执行;再者,5G 网络通过建立网络切片,为不同业务提供差异化的安全服务,根据业务需求针对切片定制其安全保护机制,实现客户化的安全分级服务,所以 5G 安全还应保证网络切片的安全,包括切片安全隔离、切片的安全管理、UE 接入切片的安全、切片之间通信的安全等;还有,5G 网络的能力开放功能部署于网络控制功能之上,以便网络服务和管理功能向第三方开放,能力开放不仅体现在整个网络能力的开放上,还体现在网络内部网元之间的能力开放上,与 4G 网络的点对点流程定义不

同，5G 网络的各个网元都提供了服务的开放，不同网元之间通过 API（应用程序接口）调用其开放的能力，所以 5G 安全应能保证能力开放的安全，既能保证开放的网络能力安全地提供给第三方，也应能保证网络的安全能力（如加密、认证等）可以开放给第三方使用。

5G 网络安全架构<sup>[7]</sup>需满足 5G 多样化业务场景和新技术新特征引入的新的安全需求和挑战。5G 网络安全架构的设计原则包括支持数据安全保护、体现统一认证框架和业务认证、满足能力开放以及支持切片安全和应用安全保护机制。5G 网络安全架构如图 4 所示。

图 4 中,将 5G 网络安全架构分为以下 8 个安全域:网络接入安全,保障用户接入网络的数据安全;网络域安全,保障网元之间信令 and 用户数据的安全交换;首次认证和密钥管理,包括认证和密钥管理的各种机制,体现统一的认证框架;二次认证和密钥管理,UE 与外部数据网络(如业务提供方)之间的业务认证以及相关密钥管理;安全能力开放,体现 5G 网元与外部业务提供方的安全能力开放,包括开放数字身份管理与认证能力。另外,通过安全开放能力,5G 网络也可以获取业务对于数据保护的安全需求,完成按需的用户面保护;应用安全,保证用户和业务提供方之间的安全通信;切片安全,体现切片的安全保护,

例如 UE 接入切片的授权安全、切片隔离安全等；安全可视化和可配置，体现用户可以感知安全特性是否被执行，这些安全特性是否可以保障业务的安全使用和提供。

5G 网络安全技术标准确定了 5G 系统安全架构和流程相关要求，主要包括安全框架、接入安全、用户数据的机密性和完整性保护、移动性和会话管理安全、用户身份的隐私保护以及与 EPS（演进的分组系统）的互通等相关内容。5G 安全采用可扩展认证协议（EAP）框架实现统一认证，支持用户在接入网间无缝切换，同时，通过增强的安全机制进行用户隐私保护（如身份标识等），并支持按需的用户数据保护方法。

此外，NFV/SDN 等新技术将会给 5G 网络安全带来新的影响，ETSI NFV 安全组的研究内容涉及 NFV 安全架构、隐私保护、合法监听、MANO（管理和编排）安全、证书管理、安全管理、安全部署等方面；ONF（开放网络基金会）以及 ITU-T 的研究内容涉及 SDN 安全的标准化工作。

## 6 5G 标准发展趋势

5G 标准将持续发展。5G 第二版本 (R16) 标准的预研已经启动, R16 在增强基础的移动宽带业务能力和基础网络架构能力的同时, 重点提升对垂直行业应用的支持, 特别是对低时延高可靠

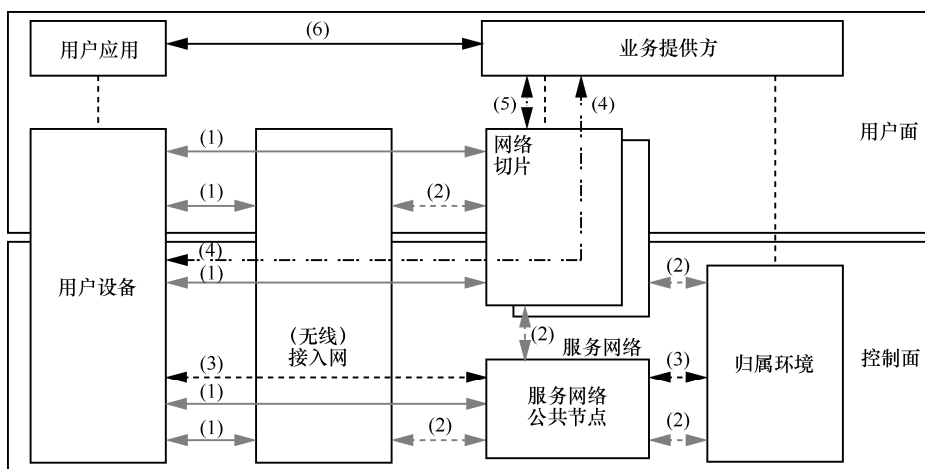


图4 5G 网络安全架构示意

类业务的支持。在移动宽带业务能力方面, R16将重点研究多天线增强、载波聚合与大带宽增强、远端干扰删除以及已经开展的非正交多址和免许可 5G 技术。在基础能力提升方面, 重点研究终端节能、定位增强、移动性增强、基于 RAN 的大数据收集与应用、服务化架构增强、智能化运营、切片增强等内容。在垂直行业应用方面, 研究 5G 车联网 (NR V2X)、低时延高可靠 (uRLLC) 增强、工业物联网增强 (NR IIoT)、NB-IoT/mMTC 增强等内容。

## 7 结束语

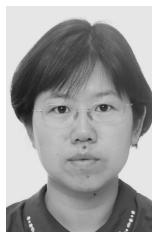
支持万物互联的 5G 标准已经发布, 端到端服务化的 5G 网络将更好地服务于人和物的需要。目前, 我国正通过技术试验促进产业发展, 运营商 5G 网络部署的策略也日益清晰, 我国已启动 5G 移动通信行业标准的制定, 5G 产业进入快行道。

## 参考文献:

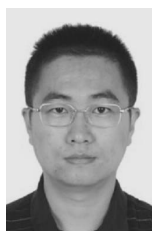
- [1] IMT-2020. 5G 愿景与需求白皮书[R]. 2014.  
IMT-2020. 5G vision and demand white paper[R]. 2014.
- [2] ITU. 2410-2017-MSW-E-Minimum requirements[S]. 2017.
- [3] 3GPP. NR; physical channels and modulation: TS38.211[S]. 2018.
- [4] 3GPP. Physical layer procedures for control: TS38.213[S]. 2018.
- [5] 3GPP. Physical layer procedures for data: TS38.214[S]. 2018.

- [6] 3GPP. Physical layer measurements: TS38.215[S]. 2018.
- [7] 3GPP. Security architecture and procedures for 5G system: TS33.501 (v15.1.0)[S]. 2018.

### [作者简介]



杜滢 (1978-), 女, 中国信息通信研究院技术与标准研究所副主任, 长期从事移动通信无线新技术研究、国际标准研制与仿真评估工作。



朱浩 (1982-), 男, 中国信息通信研究院技术与标准研究所高级工程师, 长期从事移动通信网络新技术研究、标准研制和测试工作。



杨红梅 (1974-), 女, 中国信息通信研究院技术与标准研究所主任工程师, 长期从事移动通信核心网技术研究、安全技术研究及国际国内标准研究和相关测试工作。

王志勤 (1970-), 女, 中国信息通信研究院副院长, 负责移动通信产业和发展策略研究工作。

徐杨 (1983-), 女, 现就职于中国信息通信研究院技术与标准研究所, 长期从事移动通信技术研究工作。