



专栏：5G 技术与组网应用

基于核心网分析和决策的 5G 网络智能调度

王庆扬, 杨智斌, 龙彪, 梁灏泉

(中国电信股份有限公司研究院, 广东 广州 510630)

摘要: 5G 系统更大的频宽和复杂的空口技术不可避免地带来总体能耗的显著增长, 因此移动网络的绿色节能引发了广泛的关注。5G 与 4G 的长期共存以及 5G 的低频广覆盖和高频大带宽特性, 使得不同类型的业务可以由 5G 的不同载波或者 4G 分别承载。基于以上考虑, 提出了基于核心网分析和决策的 5G 网络智能调度方案, 可以将不同类型的业务调度到不同的接入方式和工作频段上进行承载, 从而实现业务保障和绿色节能。仿真结果表明, 与现有的无线调度方案相比, 5G 网络智能调度在保障服务质量的同时, 节能效果更具优势。最后, 介绍了 5G 网络智能调度国际标准化工作进展。

关键词: 5G; 多接入; 多频段; 智能调度; 服务质量; 节能

中图分类号: TN91

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021216

5G network intelligent scheduling based on core network analysis and decision

WANG Qingyang, YANG Zhibin, LONG Biao, LIANG Haoquan

Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: Larger bandwidth and complex technology of the 5G networks inevitably bring a significant increase in overall energy consumption, so green energy-saving of mobile networks has attracted widespread attention. The long-term coexistence of 5G and 4G, as well as the wide coverage of low-frequency and the wide bandwidth characteristics of high-frequency of 5G, enable different types of services to be carried by different carriers of 5G or 4G respectively. Based on the above considerations, a 5G network intelligent scheduling scheme based on core network analysis and decision was proposed, which could schedule different types of services to different radio access and frequencies for carrying, so as to achieve service assurance and energy-saving. Simulation results reveal that, compared with the existing schedule scheme within radio access network, 5G network intelligent scheduling has advantages in energy saving while ensuring quality of service. Finally, the progress of international standardization of 5G network intelligent scheduling was introduced.

Key words: 5G, multi-access, multi-frequency, intelligent scheduling, QoS, energy-saving



1 引言

目前电信行业消耗了全球能源的 2%~3%^[1]。随着移动通信网络的快速发展,移动网络能耗也随之提高,其中基站能耗约占移动网络能耗的 80%^[2]。典型 5G NR 3.5 GHz 基站能耗是 4G LTE 1.8 GHz 基站的 3~4 倍,若不采取应对措施,移动网络的总体能耗将大幅上升,会带来以下的问题。

- 运营商经营压力增大。目前运营商电费支出约占运营开支的 20%,在替代能源未广泛应用前,数倍的能耗意味着数倍的电费。5G NR 基站的快速部署,使运营成本持续攀升。对运营商而言,经营压力过大不利于移动通信网络的进一步发展。
- 节能减排难以实现。人们对环境保护愈发关注,期望能节约社会各行业的能源消耗,减少温室气体和污染物排放。若移动网络能耗继续上升,则和绿色通信^[3]高能效、可持续发展的理念不匹配,难以达到社会效益和环境效益的均衡。

目前 AI 基站节能的思路还停留在无线网络层面,一般是通过小区业务量预测、多频段共覆盖区域识别等形成决策,然后由基站执行相关的操作,例如预测业务量将进入低负载时段后,共覆盖区域的基站将用户从源 RAT (radio access technology) 或者源载波调度到目标 RAT 或者目标载波上,降低源 RAT 或源载波的负载,从而触发源 RAT 或者源载波的节能功能(如通道关断、载波休眠等)^[4]。本文将无线网络层面的这种节能方案称为无线调度。

无线调度属于无线网层面的实现,对用户和业务的了解程度有限,因此不能针对用户和业务进行灵活调度。本文提出了基于核心网分析和决策的 5G 网络智能调度(下文简称智能调度),将调度决策提升到核心网层面,由核心网根据多个

维度的信息(如用户和业务属性、网络负载和功耗)进行分析和决策,对特定用户动态配置接入方式/频率选择优先级索引(RAT/frequency selection priority index, RFSP Index),基站根据核心网下发的 RFSP Index,将特定用户调度至目标 RAT 和载波上,一方面满足不同类型业务的服务质量要求,另一方面尽量降低高功耗载波的负载,触发基站的各级节能功能,从而实现移动网络的业务保障和绿色节能。

2 智能调度的标准化实现

标准化是促进智能调度实现和推广的重要手段。在 3GPP 技术规范中,智能调度的智能化以网元网络数据分析功能(network data analytics function, NWDAF)为基础。NWDAF 在 3GPP R15 阶段被引入,在 R16 阶段完善了整体框架和流程^[5],具有数据采集、智能分析、结果输出的功能,可以综合采集用户行为、网元负载、业务体验、网络性能等作为输入数据,通过基于机器学习的人工智能后台进行数据分析,进而把分析结果输出到消费者网元,使其执行相应的调整动作,实现核心网、接入网以及终端协同的智能调度,增强端到端的精细化调度能力。NWDAF 可以从 OAM、核心网各 NF、AF 乃至 DPI 等运营商现有系统按需采集有用的数据,包括历史数据和实时数据。NWDAF 的分析结果既可以是历史统计信息,也可以是带有置信概率的预测信息。

图 1 是基于 NWDAF 的智能调度网络架构。在智能调度的架构中,策略控制功能(policy control function, PCF)是主要的消费者,它通过请求或订阅的方式向 NWDAF 获取用户、业务、网络的数据信息,生成基于业务感知的调度策略,涉及的策略包括 RFSP、UE 路由选择策略(UE route selection policy, URSP)等。PCF 把策略更新消息发送给 AMF、SMF 等其他核心网网元,进而传送至基站和终端。

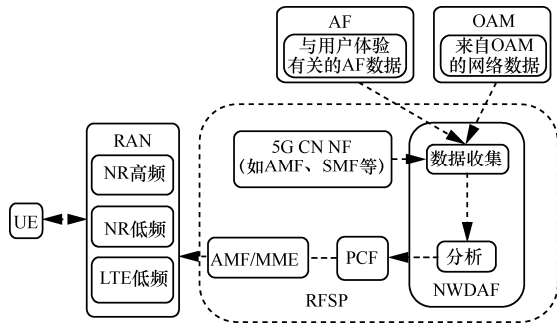


图1 基于NWDAF的智能调度网络架构

借助核心网提供的 RFSP 策略更新，基站能够无线资源进行调度。基站自身定义的 RFSP 策略包括 RFSP Index 和频点选择优先级，不同的 RFSP Index 关联不同的优选频点。当 NWDAF 发现用户正在或将要进行的业务体验不及预期时，PCF 可以根据 NWDAF 的分析结果，实时更新 RFSP Index 给基站，使基站把用户调度到核心网推荐的频点，实时完成高低频切换或者 LTE/NR 间切换，动态保障用户的业务体验。

利用 URSP 策略，NWDAF 可以帮助核心网做出根据业务选择最优切片的决策。当无线侧支持切片跟频点绑定，NWDAF 可以进一步通过 URSP 策略为用户和业务选择最优切片和载波频点，实现 NR 内高低频点间切换，达到类似的动态保障用户业务体验的作用。

智能调度可以在基站节能场景发挥作用。借助智能调度，NWDAF 根据分析出的用户等级、业务需求信息，通知 NR 把高频用户按照更新的 RFSP 策略按需调度至 NR 低频或者 LTE，使得 NR 高频频点被空出来执行载波休眠，减少闲时的基站能耗，并且用户的服务质量得到了保障，减少因基站节能导致的用户投诉。图 2 是基于智能调度的节能场景业务流程。

3 智能调度和无线调度的对比分析

主流的运营商采用多制式、多载波的网络部

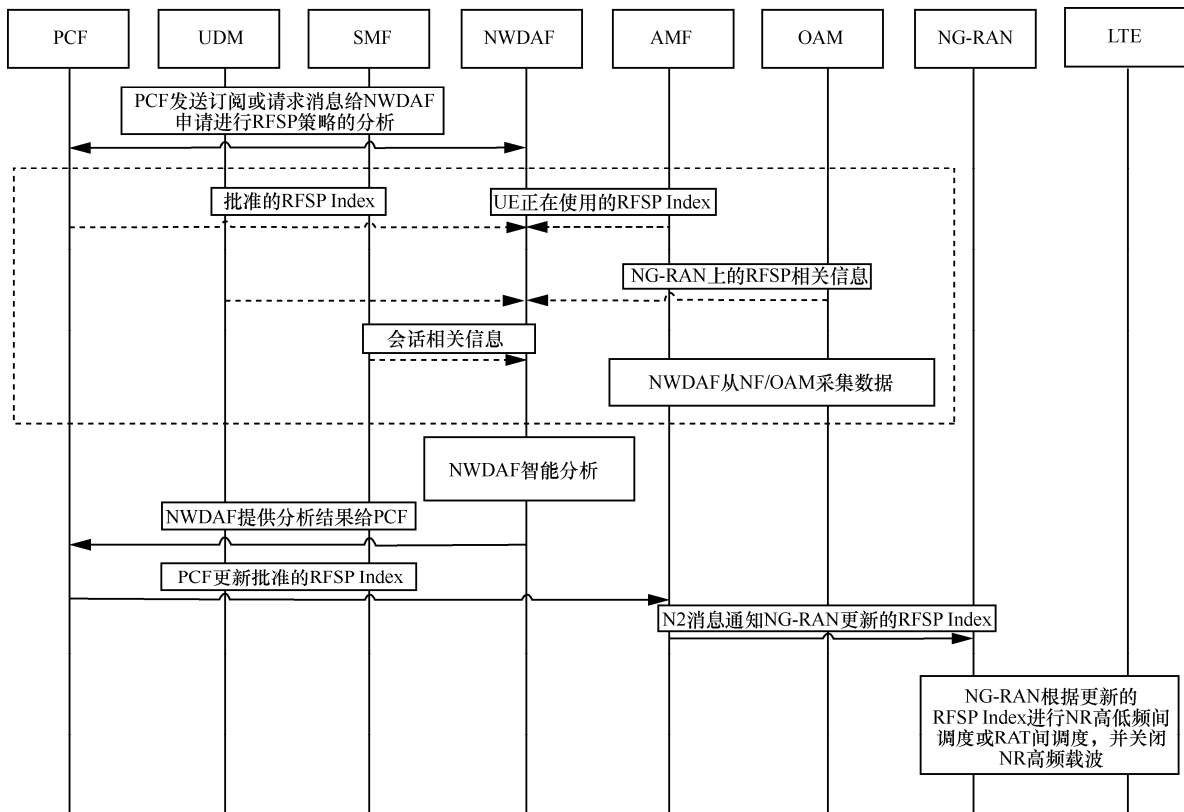


图2 基于智能调度的节能场景业务流程



署方式。在多层载波组网条件下，典型案例是充分利用潮汐效应^[6]，在业务量较低时，对一些载波实施休眠，即：将载波分为覆盖层和容量层，保留覆盖层的载波为用户持续提供服务，部分容量层的载波休眠来减少能耗^[7]。

在某个载波休眠前，需将载波上的用户调度到其他的激活载波上。应当将用户调度至哪个载波的问题在过去鲜有被讨论，这是因为 4G 不同频段之间（如 1.8 GHz LTE 和 2.1 GHz LTE）的技术差异不显著，业务承载能力相近。然而引入 5G NR 后，不同的 RAT 和频段之间存在显著的差异，例如 3.5 GHz NR 和 2.1 GHz LTE 之间的覆盖、带宽和能耗差异，这种变化带来了较高的讨论价值。本文讨论这个问题时，考虑如何在保障网络性能和用户业务体验的前提下，通过调度达到节能效果。

理想情况下 3.5 GHz NR 载波的用户应可按用户和业务属性被调度至 1.8 GHz LTE 或者 2.1 GHz NR，但是无线调度方案缺乏识别用户类型的能力，对业务仅有切片和会话层面的知识，驻留在 3.5 GHz NR 的 4G/5G 用户和纯 5G 用户无法被区分，如果通过无线调度将 3.5 GHz NR 上的用户不加区分地调度至 2.1 GHz NR，则可能出现 1.8 GHz LTE 过于空闲而 2.1 GHz NR 业务量过载的情况。此外，虽然无线网可以在基站配置特定 5QI/QCI 来实现不同接入或频率间的调度，但是

这种方案适用于全网配置策略一致且业务类型较单一的场景（如 5G 建网早期，5G NR 的覆盖不如 4G，则全网 5G 基站可通过静态配置识别 5QI=1 的语音业务流建立请求，触发 EPS 回落到 4G 进行 VoLTE 业务），不能满足不同类型用户、不同类型业务在不同区域、不同时间段的多样化灵活调度的需求。

智能调度可以弥补无线调度以上的不足，因为核心网对于用户和业务的类型是充分了解的，可以根据用户和业务属性进行差异化的调度，如当 4G/5G 双模用户使用的业务对网络性能没有严格要求时，可从 3.5 GHz NR 调度至 1.8 GHz LTE，以便充分利用 LTE 资源；纯 5G 用户可从 3.5 GHz NR 调度至 2.1 GHz NR，以保证其 5G 业务的连续性；驻留 1.8 GHz LTE 的 4G/5G 双模用户进行高带宽需求业务时，可将其调度至 3.5 GHz NR 以便业务能够顺利进行。上述的示例策略并非固定，可以按需灵活调整。表 1 对比了无线调度和智能调度的特点。

4 仿真及分析

4.1 仿真设置

考虑到多制式多载波重叠覆盖网络，通过设置差异化的用户和业务类型，考查网络在无线调度与智能调度在两种方案下的表现。

仿真场景为密集城区环境，使用 3 层载波的

表 1 智能调度和无线调度的对比

	智能调度	无线调度
用户识别和调度	充分识别用户，对不同的用户可以使用不同的策略调度	无法识别用户，对不同的用户只能使用统一的策略调度
业务识别和调度	充分识别业务，在 5GS 内，5GS/EPS 跨系统间均可调度	具有切片和会话层面信息，在 5GS 内具有一定调度能力，5GS/EPS 跨系统间调度能力弱
资源分配	能充分利用 LTE 资源，合理分配 LTE/NR 负载	不便于利用 LTE 资源
灵活性	高，调度策略可随网络的意愿及时调整	低，基站侧需配置相应的策略
信令开销	高，包括核心网内调整策略的信令、核心网与基站间用户级信令、基站与终端交互的信令	低，基站按既定的策略执行调度，主要是基站与终端交互的信令

网络结构, 共用站点并重叠覆盖, 包括 1.8 GHz LTE (FDD 载波上下行带宽 20 MHz/20 MHz)、2.1 GHz NR (FDD 载波上下行带宽 40 MHz/40 MHz) 以及 3.5 GHz NR (TDD 载波带宽 100 MHz, 2.5 ms 双周期帧结构)。

用户类型分为 3 种: 纯 4G 用户, 用户只签约 4G, 只能驻留 4G LTE 网络; 4G/5G 用户, 用户签约了 4G 和 5G, 可驻留 4G LTE 或 5G NR 网络; 纯 5G 用户, 用户只签约 5G, 只能驻留 5G NR 网络。本文中假设终端能力可支持相应的签约类型。

业务类型分为 3 类: 常规的音/视频通话、网页浏览等业务(S1), LTE 和 NR 均可承载; uRLLC、V2X 等对时延和可靠性要求较高的业务(S2) 由 2.1 GHz NR 承载, 主要考虑 2.1 GHz NR 载波的 FDD 双工机制在时延性能上优于 3.5 GHz NR 载波的 TDD 双工机制, 且 2.1 GHz NR 的覆盖能力也优于 3.5 GHz NR, 可以更好地满足可靠性要求; 高清视频等大带宽需求的业务(S3), 由 2.1 GHz NR 或 3.5 GHz NR 承载, 主要考虑 2.1 GHz NR 拥有 40 MHz×2 带宽, 3.5 GHz NR 拥有 100 MHz 带宽, 均显著优于 1.8 GHz LTE 的 20 MHz×2 带宽。

用户类型和业务类型分别见表 2、表 3。3 种用户类型的比例设定为 1:3:1, 简便起见, 仿真中通过调整用户数来改变业务量。

表 2 用户类型

用户类型	描述	驻留网络
纯 4G 用户	只签约 4G 网络	4G LTE
4G/5G 用户	签约 4G 和 5G 网络	4G LTE 或 5G NR
纯 5G 用户	只签约 5G 网络	5G NR

表 3 业务类型

业务类型	描述	承载网络
S1	常规的音视频通话、网页浏览等业务	LTE 或 NR
S2	uRLLC、V2X 等对时延和可靠性要求较高的业务	2.1 GHz NR
S3	高清视频等大带宽需求的业务	2.1 GHz NR 或 3.5 GHz NR

其中, 用户和业务存在以下关系: 纯 4G 用户只能进行 S1 业务, 4/5G 用户和纯 5G 用户可进行 S1、S2、S3 业务。

仿真中使用多种业务模型, 不同类型业务的数据包参数不同, 用户数据包到达率服从泊松分布, 数据包大小和最大传输时间见表 4。

表 4 业务类型对应的参数

业务类型	到达率/s ⁻¹	数据包大小/MB	最大传输时间/s
S1 (小包)	1/50	下行: 1/1024 上行: 1/1024	1
S1 (中包)	1/180	下行: 2 上行: 0.2	5
S1 (大包)	1/600	下行: 8 上行: 1	15
S2	1/180	下行: 3 上行: 1	2
S3	1/360	下行: 10 上行: 2	2

按照以上设置对无线调度和智能调度作仿真对比。智能调度能通过核心网识别表 5 中的用户类型和业务类型, 并按相应的规则调度。作为对照, 假设为表 4 的各类型业务配置了不同的切片, 无线调度可以利用基站判断业务所在的切片来区分业务类型。因此仿真中两者对业务类型的识别能力是对齐的。不同情形的调度规则见表 5。载波的优先级由左至右依次递减, 当前选择的载波负载超过 95% 时, 选择下一优先级载波。

在一般场景下, 忽略工作温度、供电方式等因素, 单个载波的能耗和下行负载近似成线性关系^[8-9], 负载近似为吞吐量和载波容量之比。假设 1.8 GHz LTE、2.1 GHz NR 和 3.5 GHz NR 载波下行容量取 $[5 \times 10^7, 6 \times 10^7, 7 \times 10^8]$ bit/s, 上行容量取 $[2 \times 10^7, 2.4 \times 10^7, 1.2 \times 10^8]$ bit/s。多层载波单位时间内总能耗的表达式为:

$$\begin{aligned} \text{Energy Consumption} = & C1 \times (700 + 500 \times \text{load1}) + \\ & C2 \times (600 + 550 \times \text{load2}) + \\ & C3 \times (2\,000 + 1\,200 \times \text{load3}) + (C2 \parallel C3) \times 400 \quad (1) \end{aligned}$$



表 5 不同情形的调度规则

用户类型	业务类型	无线调度+不开启载波休眠	无线调度+自适应载波休眠	智能调度+自适应载波休眠
纯 4G 用户	S1 (小包)	LTE	LTE	LTE
	S1 (中包)	LTE	LTE	LTE
	S1 (大包)	LTE	LTE	LTE
4G/5G 用户	S1 (小包)	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>LTE>2.1 GHz NR
	S1 (中包)	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>LTE>2.1 GHz NR
	S1 (大包)	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>LTE>2.1 GHz NR
	S2	2.1 GHz NR	2.1 GHz NR	2.1 GHz NR
	S3	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR
纯 5G 用户	S1 (小包)	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR
	S1 (中包)	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR
	S1 (大包)	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR
	S2 业务	2.1 GHz NR	2.1 GHz NR	2.1 GHz NR
	S3 业务	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR	3.5 GHz NR>2.1 GHz NR

其中, $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ 分别是 1.8 GHz LTE、2.1 GHz NR 和 3.5 GHz NR 载波的状态, 取 1 时为开启, 取 0 时为关断, $load1$ 、 $load2$ 、 $load3$ 分别为 3 个载波的下行负载百分比。形如“700+500 $\times load1$ ”项指出了基础能耗(空载)和满载能耗分别为 700 W 和 1 200 W。NR 载波(2.1 GHz NR 和 3.5 GHz NR)采用共 BBU 部署, 右侧表达式第 4 项为共有部分的能耗。

仿真中假设使用自适应载波休眠, 以 NR 载波的下行负载需求来判断 3.5 GHz NR 载波是否需要开启。定义 2.1 GHz NR 下行等效负载表示 NR 全部业务量流向 2.1 GHz NR 时, 2.1 GHz NR 载波的负载表达式为:

$$load2_{eq} = load2 + k_1 \times load3 \quad (2)$$

其中, $k_1=70/6$, 为 3.5 GHz NR 与 2.1 GHz NR 载波下行容量之比。为了衡量在业务量波动时 2.1 GHz NR 载波是否能满足容量上的需求, 定义等效负载需求为:

$$d = \text{mean}(load2_{eq}) + k_2 \times \text{std}(load2_{eq}) \quad (3)$$

其中, $load2_{eq}$ 每秒统计一次, $\text{mean}()$ 为取过去一分钟的均值, $\text{std}()$ 为取过去一分钟的标准差, k_2 在本文中取 1/6。3.5 GHz NR 载波开启/休眠条件设置如下:

$$C3 = \begin{cases} 1, d > 1 \\ 0, d < 0.95 \end{cases} \quad (4)$$

4.2 评价指标

为了评估不同调度方式对网络的影响, 考察了以下的节能相关指标。

- 能量消耗: 单位时间内多层载波组网的总能耗, 单位为 W。
- 能量效率: 网络完成的业务量和网络总能耗之间的比值, 单位为 bit/J。

结合以下网络状态, 对结果进行分析。

- 载波承载的业务量及其占比: 业务按调度规则分流至各个载波, 统计各载波承载的业务量, 以及占总业务量的比例。
- 载波的平均负载: 载波开启时负载的平均值。

- 3.5 GHz NR 载波开启时长占比：采取自适应载波休眠时 3.5 GHz NR 载波开启时长占总时长的比例，不采取载波休眠时值为 1。
- 业务完成率：网络完成的业务量和用户发起的业务量之间的比值。

4.3 结果分析

对 3 种情形进行了仿真，分别是①无线调度+不开启载波休眠、②无线调度+自适应载波休眠、③智能调度+自适应载波休眠。为了评估不同调度方式对网络的影响，考查了以下的节能相关指标。

图 3 描绘了不同载波承载的业务量及其占比。表 6 给出了不同载波的下行负载情况。由于情形①和②的 LTE 调度策略一致，LTE 承载的业务量相同，两者的差异主要在于业务量在 3.5 GHz NR 和 2.1 GHz NR 之间的分配。与情况①②相比，情况③使更多的业务承载在 LTE 上，LTE 负载更高。这是因为 4G/5G 用户的 S1 业务量被 LTE 吸收了，分担了 NR 的压力。

图 4 展示了 3.5 GHz NR 载波开启时长占比。在用户数较少时，自适应载波休眠的 3.5 GHz NR 载波开启时长相比不开启载波休眠大幅下降。随着用户数的增加，为了提供足够的容量，无线调度和智能调度的 3.5 GHz NR 载波开启时长占比逐渐提高。相比无线调度，智能调度进一步缩短

了开启 3.5 GHz NR 载波的时长，尤其是在用户数处于区间(500,850)时，智能调度的 3.5 GHz NR 载波开启时长缩短最为明显。结合图 3 可知这是分流 S1 业务量至 LTE 起到的作用。

表 6 载波负载

用户数	情形	LTE 下行负载	NR 2.1 GHz 下行负载	NR 3.5 GHz 下行负载
300	①	3.58%	9.74%	2.59%
	②	3.58%	38.26%	0.00%
	③	16.44%	28.17%	0.00%
450	①	6.52%	13.76%	3.71%
	②	6.52%	52.75%	2.90%
	③	24.89%	39.57%	0.00%
600	①	7.90%	19.51%	5.07%
	②	7.90%	51.06%	4.80%
	③	31.38%	50.81%	5.28%
750	①	10.04%	24.14%	6.26%
	②	10.04%	37.73%	5.72%
	③	29.49%	48.71%	5.98%
900	①	13.09%	28.69%	7.34%
	②	13.09%	30.46%	7.27%
	③	15.80%	31.26%	7.42%
1 050	①	14.40%	32.87%	8.52%
	②	14.40%	32.99%	8.53%
	③	14.53%	33.08%	8.52%

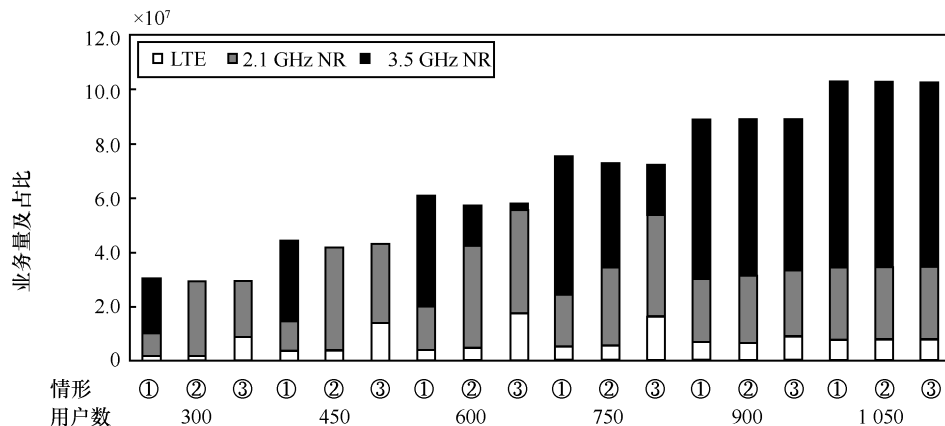


图 3 业务量及占比

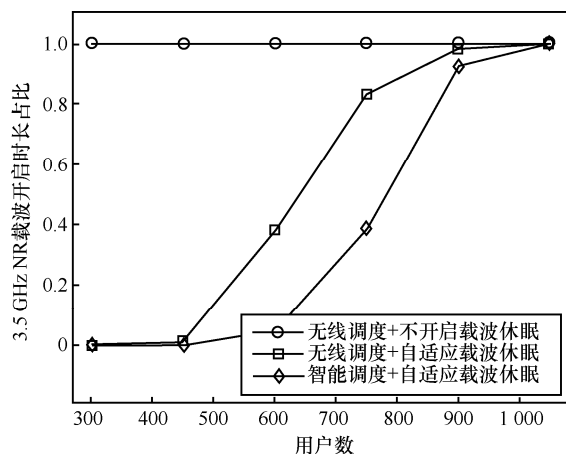


图4 3.5 GHz NR 载波开启时长占比

图5对比了不同情形的能量消耗。用户数越少，开启自适应载波休眠相比不开启载波休眠的节能效果越大。智能调度的能量消耗不高于无线调度，用户数处于区间(500,850)时智能调度的优势最为明显。结合图4，可知能量消耗与3.5 GHz NR载波开启时长关系密切。3.5 GHz NR载波开启时长更短，是智能调度能量消耗更低的主要原因。

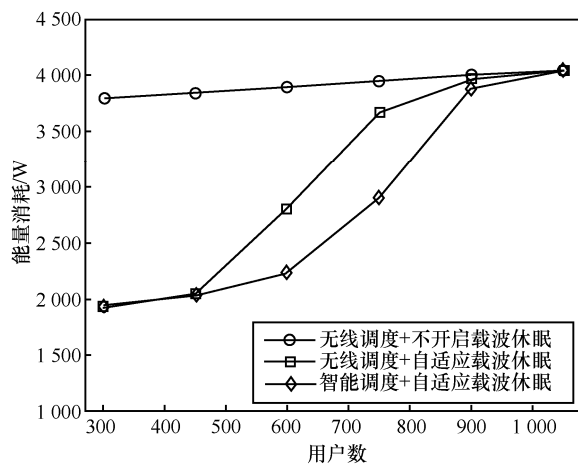


图5 能量消耗

由于开启了载波休眠，无线调度和智能调度的业务完成率均不及不开启载波休眠，但是都非常接近，如图6所示。

能量效率如图7所示，不开启载波休眠时，能量效率随用户数增大单调递增，开启自适应载波休眠时，能量效率高于不开启载波休眠，随用户数增大先递增，再递减，最后递增。第一个转

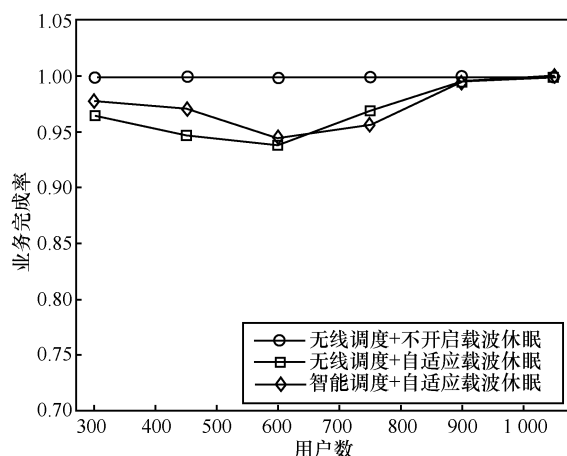


图6 业务完成率

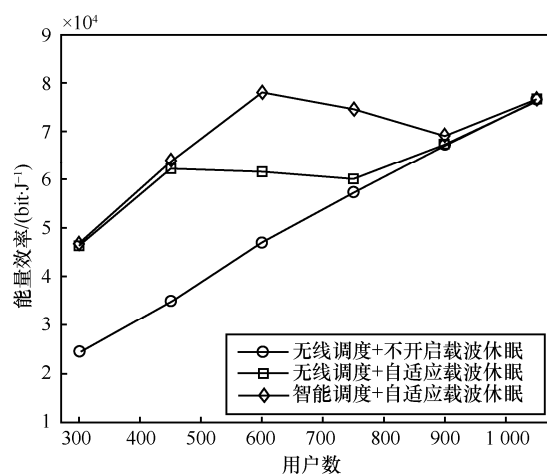


图7 能量效率

折点出现的主要原因是，业务量的增多使3.5 GHz NR载波开启时间加长，而3.5 GHz NR载波的高基础功耗使总能耗大幅上升，对能量效率产生负面影响。随着用户数继续增大，3.5 GHz NR载波承载足够业务量时，其能量效率高的优点才得以体现，能量效率由降转升，出现第二个转折点。智能调度的能量效率高于无线网调度，用户数处于区间(500,850)时智能调度的优势最为明显。结合上文的分析，优势主要来源于智能调度带来了更短的3.5 GHz NR载波开启时长。

5 智能调度的标准化进展

3GPP R16 定义了 NWDAF 的智能网络数据分析架构、可用的分析类型以及基本的输入输出

参数^[5]。3GPP R17 提出了基于 RFSP 实现无线资源调度的应用场景和利用 NWDAF 辅助实现 RFSP 智能调度的关键问题^[10]。中国电信、华为、爱立信、三星和腾讯等公司针对 RFSP 智能调度提出了各自的解决方案,经过方案分析和评估,已完成了 3GPP 研究报告的结论,目前基于研究报告结论,正在进行 3GPP TS (technical specification) 标准化工作。3GPP 研究报告结论采纳了本文作者代表中国电信提出的方案作为基于 RFSP 实现无线资源调度后续标准化工作的基准方案,即在数据采集中增加基于频率和接入方式的维度,并结合用户体验和对 UE 使用业务的数据进行统计和预测;NWDAF 把相应的分析结果发送至 PCF 用于决策是否调整 RFSP,进而完成相应的智能调度。三星公司提出的对用户数据拥塞和数据热点的分析也被纳入后续标准化的范畴。中国电信还在 CCSA 和 IMT-2020 5G AI 融合组同步推进多接入智能调度和应用感知的研究项目,与 3GPP 的相关标准化形成协同,以共同推进相关产业链的发展。

6 结束语

智能调度打通了核心网和无线网,首先利用核心网和无线网的数据进行更为全面的智能分析和预测,然后根据用户和业务的属性制定相应的策略,利用 5GS 和 EPS 系统的策略执行机制执行相关策略,实现最小颗粒度为单个用户的灵活调度,可以在保障服务质量的基础上实现绿色节能。

仿真结果表明,5G 网络智能调度可以为 LTE 分配较多的业务量,增加了 1.8 GHz LTE 与 2.1 GHz NR 的负载,从而减少了 3.5 GHz NR 载波开启的时间,在降低网络能耗的同时,提高了全网的能量效率。

考虑到智能调度将带来信令负荷的提升,后续有必要研究智能调度的信令负荷对网络的影响。另外 B5G/6G 将引入带宽更大的毫米波甚至

更高的频段,支持更为丰富的业务类型并实现智能内生,因此智能调度在 B5G/6G 系统中的实现也是后续的重要研究内容。

参考文献:

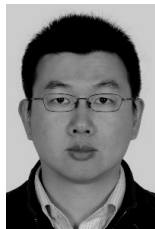
- [1] Energy Efficiency: An Overview[EB]. 2019.
- [2] Mobile Communication Networks: Energy Efficiency & Green Power[EB]. 2019.
- [3] HASAN Z, BOOSTANIMEHR H, BHARGAVA V K. Green cellular networks: a survey, some research issues and challenges[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2011, 13(4): 524-540.
- [4] 王耀祖, 蔡宗平, 张洪伟. 基于 AI 的 4/5G 基站节能解决方案应用[C]//5G 网络创新研讨会. 出版地: 出版者不详, 2020: 97-102. WANG Y Z, CAI Z P, ZHANG H W. AI-based 4/5G base station energy saving solution application[C]//5G Network Innovation Workshop. [S.l.:s.n.], 2020: 97-102.
- [5] 3GPP. 3rd Generation partnership project; technical specification group services and system aspects; Architecture enhancements for 5G system(5GS) to support network data analytics services (Release 16): TS23.288 V16.4.0[S]. 2020.
- [6] SUAREZ L, NUAYMI L, BONNIN J M. An overview and classification of research approaches in green wireless networks[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2012, 2012: 142.
- [7] CHAVARRIA-REYES E, AKYILDIZ I F, FADEL E. Energy consumption analysis and minimization in multi-layer heterogeneous wireless systems[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2015, 14(12): 2474-2487.
- [8] WU J J, ZHANG Y J, ZUKERMAN M, et al. Energy-efficient base-stations sleep-mode techniques in green cellular networks: a survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2015, 17(2): 803-826.
- [9] 帅农村, 邵泽才. 基于多元线性回归算法的 5G 基站能耗模型[J]. 移动通信, 2020, 44(5): 32-36, 41. SHUAI N C, SHAO Z C. 5G base station energy consumption model based on multiple linear regression algorithm[J]. Mobile Communications, 2020, 44(5): 32-36, 41.
- [10] 3GPP. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on enablers for network automation for 5G System(5GS); Phase2(Release 17)TR23.700-91 V0.4.0[R].2020.



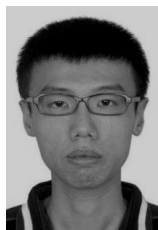
[作者简介]



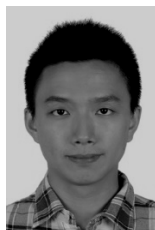
王庆扬（1973—），男，博士，中国电信股份有限公司研究院移动通信技术研究所所长、高级工程师，主要研究方向为移动通信网络架构。



龙彪（1981—），男，中国电信股份有限公司研究院移动通信技术研究所标准副总监和3GPP 移动核心网标准团队负责人，主要研究方向为移动通信网络架构。



杨智斌（1993—），男，现就职于中国电信股份有限公司研究院，主要研究方向为移动通信系统接入网。



梁灏泉（1990—），男，现就职于中国电信股份有限公司研究院，主要研究方向为移动核心网技术。