

5G 专网无线能力提升技术研究

Research on Wireless Capability Enhancement Technology of 5G Private Network

张 勃,秦小飞,冯 毅,丁雨明(中国联通智网创新中心,北京 100048)

Zhang Qing, Qin XiaoFei, Feng Yi, Ding YuMing(Intelligent Network & Innovation Center of China Unicom, Beijing 100048, China)

摘 要:

随着企业数字化转型需求的不断扩大,越来越多的企业用户提出了对 5G 专网的需求,而 5G 专网则存在传输性能的不确定性和设备高能耗等无线性能问题。简述了 5G 专网无线能力提升的业务需求,提出了使用 2:3 时隙配比技术和室内分布式 MIMO 技术实现传输带宽能力提升,使用预调度、免调度技术实现传输时延能力提升,使用 QoS、资源预留技术实现传输可靠性保障能力提升以及使用资源关断和休眠技术实现节能的技术方案。

关键词:

5G 专网;分布式 MIMO;资源调度;资源预留;节能

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.10.002

文章编号:1007-3043(2021)10-0009-04

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the continuous expansion of digital transformation demands of enterprises, more and more enterprise customers have raised their demand for 5G private network. However, 5G private network has wireless performance problems such as uncertain transmission performance and high energy consumption. After a brief description of the business requirements for wireless capability of 5G private network, a technical scheme is proposed to use 2:3 time slot allocation and indoor distributed MIMO technology to improve the transmission bandwidth capacity, use pre-scheduling and grant-free scheduling technology to improve the transmission delay capacity, use QoS and resource reservation technology to improve the transmission reliability guarantee capacity, and use resource shutdown and sleep technology to achieve energy saving.

Keywords:

5G private network; Distributed MIMO; Resource scheduling; Resource reservation; Energy saving

引用格式:张勃,秦小飞,冯毅,等. 5G 专网无线能力提升技术研究[J]. 邮电设计技术,2021(10):9-12.

0 引言

在数字化转型浪潮下,垂直行业各类新型业务的开展对传统企业专网的网络性能、可靠性、灵活性等方面都提出了新的挑战。相比于传统企业专网,5G 专网支持丰富的企业定制化网络行业属性,包括高带宽、低延迟、海量接入、独享网络资源、安全性等,能够很好地满足企业专网的需求,助力企业转型升级,全面推动行业深层次数字化变革。因此,5G 专网市场发展迅速,各行业客户需求不断涌现。然而,5G 专网虽

然能够为用户提供一种不需要使用线缆即可完成数据传输的通道,从而满足终端的流动性和网络灵活部署的需求等,但是无线化的数据传输,也直接引入了与固定有线网络不同的传输问题,包括传输性能的不确定性以及设备高能耗等。

1 5G 专网无线能力提升业务需求

在 5G 专网业务服务场景中,用户对 5G 专网的业务需求分为 3 种类型:其一,通过 5G 专网替代传统固定有线网络,从而实现更灵活便捷的网络部署,或降低因使用固定网络造成的较高的生产维护成本,这种场景中,客户往往希望 5G 专网具有与固定网络可比的

收稿日期:2021-08-31

高速率低时延能力,并能够支持一定的数据隔离;其二,用5G专网替代现有的窄带专网、4G专网或Wi-Fi专网,从而获得更优质的数据传输性能。该场景中,客户往往希望5G专网具有较高的数据传输带宽和更可靠的数据传输性能保障;其三,基于数字化转型需求,希望基于5G专网大带宽、低时延的特性支撑新的信息化、智能化业务。可见,3种类型都对数据传输最本质的要素——速率、时延、可靠性保障有着比5G大众网络更高的要求。

此外,由于移动网络技术复杂度的提升,5G基站使用了更多的有源器件和大规模天线技术,同时,由于5G网络频点较高,因此需要进一步增加5G基站的发射功率来保障网络覆盖范围,这使得5G基站的能耗相比4G时代大幅提升。而与5G大众用户不同,部分购买5G专网的企业客户还需要承担网络设备的运维,然而5G基站的高能耗问题直接提升了5G专网的运维成本,因此,5G专网服务往往还需要为企业客户提供行之有效的5G无线基站节能方案。

因此,需要从传输带宽、传输时延、可靠性保障及节能方案出发提升5G专网无线能力,为企业客户提供更优质的服务。

2 5G 专网无线传输带宽提升技术及应用

在传输带宽需求上,5G专网用户与大众用户的一个突出差异点是上行和下行带宽需求的不同。对于移动互联网业务需求,大众用户往往对下行带宽有较高需求,因此,在设计5G大众网络帧结构^[1-2]时往往配置较少的上行时隙和较多的下行时隙。而5G专网用户的业务需求多是视频监控、机器视觉等,且部分业务对上行带宽要求极高,单个终端的上行速率需求高达几十兆,甚至数百兆。当多个终端并发开展大带宽上行业务时,5G大众网络的技术方案则难以支持,这就需要5G专网采用大上行带宽方案,将更多的时隙资源分配给上行,从而提升上行容量和峰值速率。

具体地,当前业界主要采用2.5 ms双周期帧结构,2种时隙结构为7:3时隙配比和8:2时隙配比,特殊子帧配比为10:2:2。为了支持更大上行时隙配比,可以采用2.5 ms单周期帧结构,时隙配比为2:3,即“DSU-UU”模式,特殊子帧配比也为10:2:2。时隙配比图样如图1所示。

基于上下行符号数进行理论估算,2:3时隙配比的容量是7:3时隙配比的1.9倍、8:2时隙配比的

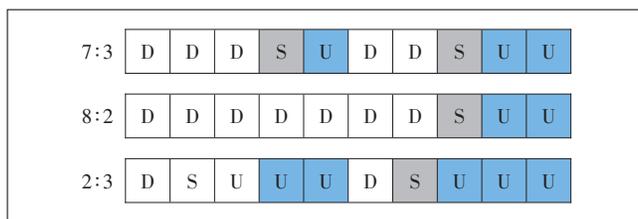


图1 时隙配比图样

2.7倍。根据现网测试,采用数字化室分基站,配置3.5 GHz频点、200 MHz带宽、2:3时隙配比、4T4R天线,终端采用2T4R,单个终端的上行峰值速率可达700 Mbit/s以上,上行容量可达1.2 Gbit/s以上。2:3时隙配比技术虽然可直接增加上行传输带宽,但在应用中也需要注意与周边7:3时隙配比或8:2时隙配比基站的干扰问题,一般应限制2:3时隙配比基站在有限的地理上与其他时隙配比基站隔离的区域覆盖,与其他时隙配比基站设置隔离带,并严格控制不同时隙配比覆盖最外圈基站的发射功率。

另一方面,智能工厂、智能矿井、智慧仓储等对5G专网的需求都主要发生在室内,室内场景中,由于需要考虑室内基站的体积、发射功率及设备供电安装问题,室内数字化基站往往不会配置为如室外基站的64TR、32TR等,为了提供较高的上下行带宽保障,传统方案是通过室内小区分裂的方式进行扩容^[3-4]。但当小区分裂到一定数量后,若没有室内建筑结构提供物理隔离支撑,在空旷的地理空间上,分裂的小区之间将产生严重的同频干扰^[5],不仅无法达到容量提升的目的,还将直接影响小区交叠覆盖区域终端的数据传输速率及时延,如图2中左图所示。这种场景下,可以在多个数字化室分的射频单元之间使用分布式Massive MIMO技术,即将工作在相同频段上的射频单元所覆盖的N个连续覆盖的4T4R小区合并为一个4NT4NR的小区,通过消除小区边界降低小区间干扰,并基于多天线能力,提升不同射频单元覆盖交叠区域终端的上下行吞吐量及整体系统容量,如图2中右图所示。

基于现网测试,采用数字化室分基站,配置3.5 GHz频点、100 MHz带宽、4T4R天线,单个小区峰值速率可到4.7 Gbit/s以上。由于参与分布式MIMO的每个射频单元与终端之间传输的数据均为独立通道,也即每个射频单元均需消耗对应于一个小区的基带处理资源,因此,该技术方案在应用中,需要特别注意射频单元前传带宽及基带板卡的配置,是否能够满足应用

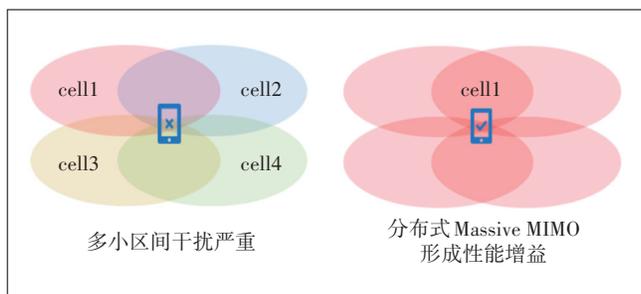


图2 室内小区干扰及分布式MIMO示意图

需求。

3 5G 专网无线传输时延提升技术及应用

随着人工智能技术的发展,机器人及机器视觉被越来越多的应用,基于5G专网实现机器人、无人机等的远程控制,以及通过5G专网传递机器视觉监测结果,并基于此执行控制性操作也被逐渐推广。这类场景对5G专网的数据传输时延和时延稳定性提出了较高的要求,如电力配网的差动保护甚至提出了15ms端到端时延的超高要求,因此需要在5G大众网络组网方案的基础上,进一步寻求降低传输时延的技术方案。

数据传输时延由2部分构成,一部分是数据在传输过程中的固有时延,这部分时延固定,难以缩减;另一部分则是实现资源调度过程中的调度及等待时延^[6],这部分时延可以通过预调度及免调度^[7-10]等技术减少。

具体地,如果终端有上行数据传输需求,需要先在PUCCH信道上发送调度请求,基站向终端上行授权后,终端根据基站上行授权指示的位置发送上行数据。由于调度请求只能根据配置周期性发送,因此,基于3GPP协议调度请求最大发送周期可达80ms,即当终端有上行数据发送需求时,最长需要等待80ms才能发送调度请求,进而实现数据传输。通过使用预调度技术,即一旦基站给终端发送下行数据之后,考虑到终端有相应回复就会有上行数传需求,基站在一段时间内对终端进行主动授权,不需要等待终端发送调度请求,实现终端资源的预先分配,从而减少了信令交互时间。采用免调度技术,对于终端在固定时间内将多次发送数据的场景,基站只给终端发送1次调度授权,后续时间内则不需要再发送调度请求,终端在激活上行资源时可采用在RRC资源分配时直接激活或通过下发DCI指令激活2种方案。

基于现网测试情况,使用预调度技术,在不同数据包长度情况下,平均时延可达8~10ms,最大时延不超过22ms。由于上行预调度技术和免调度技术,是通过预先分配上行资源实现的,因此不可避免地会造成上行网络资源的空占问题,在上行传输带宽要求极高或上行无线资源较为紧张的场景,需谨慎使用。

4 5G 专网无线可靠性保障技术及应用

固定有线传输方案天然具有较高的可靠性和成熟的数据隔离、传输性能保障方案。相应地,行业客户对5G专网也提出了可靠性保障需求。具体有2种类型的需求,一种是客户希望降低5G专网拥有成本,多个客户可以共享5G专网的无线资源,但仍需要保障不同客户数据传输的服务质量或无线传输通道相对隔离;另一种是客户希望自身不同业务之间能够实现传输隔离,并且部分业务需要有较高的可靠性保障。

根据无线资源共享程度和方式的不同,可以分为基于QoS、基于RB资源预留^[11-13]和基于频率预留3种数据隔离和可靠性保障方案。基于QoS的保障方案,是在资源有限的情况下,通过为不同客户或不同业务配置不同的业务调度权重、接纳门限、队列管理门限等,以“按需定制”的方式提供差异化服务保障,例如,高优先级的业务能够被基站优先调度,从而优先抢占无线资源,获得更可靠的速率保障,并且享受更低的调度时延;基于RB资源预留的保障方案,有静态预留和动态共享及混合共享等多种模式,一种典型的方案是将一个小区的无线资源划分为3份,一份供一般用户或业务共享使用,一份供RB预留用户或业务专享使用,一份由RB预留业务和一般业务共享使用,其中RB预留用户专享使用的资源,又可以按需分为多个切片、每个切片使用固定且独立的RB资源块组,允许多个切片共用同一个小区的RB资源,从而使得使用预留RB资源的用户或业务之间的数据逻辑传输通道隔离,且能够享受可靠的传输资源保障,同时,RB预留业务与一般业务也能通过共享方式提高资源利用率;基于频率预留的保障方案,是通过将频率资源切分为不同载波的方式,不同用户或业务使用独立的载波和小区,从而实现最大化的逻辑资源隔离和传输保障。

当前,上述方案已经逐步应用于各类5G专网业务中。在应用过程中,采用基于QoS的保障方案,需注意当无线资源利用率十分空闲和十分紧张时,都难以体现保障效果;采用基于RB资源预留的保障方案,需要

控制好业务独享的RB资源在总无线资源中的占比,占比过高将直接降低整个小区的系统容量,占比过低也将难以形成足够的传输保障效果;采用基于频率预留的保障方案,需要通过多种技术结合保障指定终端接入指定频率的载波,以避免数据隔离失效。

5 5G 专网无线基站节能技术及应用

当前,部分5G专网业务场景中,需要专门为5G专网客户提供独享的5G基站实现业务服务。这种场景下,5G基站是部署在专网客户所属的独立地理区域的,基站的电费也需要由客户分摊。5G基站的高能耗问题尤为突出,因此利用5G专网业务特点和节能技术,适当降低5G基站能耗,能够为专网客户带来直接的经济价值。

具体的节能技术包括符号关断、通道关断、载波关断、深度休眠等^[14-15]。总体而言,在网络业务负荷较低、用户数较少的情况下,对部分不需使用的基站资源进行关断,从而达到降低能耗的目的。在基站设备中,射频单元的功率放大器能耗最大,在没有信号输出时,功放也会产生静态能耗,符号关断是在小区部分符号或子帧没有数据承载时,动态关闭对应符号或子帧周期内的功放。通道关断是指在小区业务量较低的时段,基站关闭射频单元的部分通道,即降低基站收发通道数。载波关断是指通过识别和定义基础覆盖用载波和容量增强用载波,在业务量较低的时段关闭容量增强用载波,以降低能耗。深度休眠是指在无业务时段,或有覆盖用载波支撑的情况下,将射频单元深度休眠,从而最大程度降低能耗。

部分专网业务的业务量潮汐特征较大众网络业务更为突出,部分专网在部署初期业务量较低,都可以更充分地利用节能技术降低5G基站的能耗。具体地,现网中,使用符号关断可获得5%~10%的节能增益,使用通道关断技术可获得10%~15%的节能增益,使用载波关断或深度休眠技术可获得40%~60%的节能增益。

6 结束语

本文从5G专网需求的高速发展和5G专网无线网络能力存在的问题出发,分析了5G专网无线能力提升的业务需求,针对4类能力提升需求,提出了使用2:3时隙配比技术和室内分布式MIMO技术实现传输带宽能力提升,使用预调度、免调度技术实现传输时延能

力提升,使用QoS、RB预留和频率预留技术实现传输可靠性保障能力提升,以及使用资源关断和休眠技术实现节能,并详细分析了各类能力提升业务场景、技术方案、应用性能和应用方案。

参考文献:

- [1] 许光斌,赵大威,何旭初. 5G帧结构分析[J]. 信息通信,2018(9): 13-15.
- [2] 张长青. 5G系统定义的帧结构分析[J]. 邮电设计技术,2019(6): 42-46.
- [3] 刘毅,公维伟,李言兵. 基于差异化配置的室内分布系统容量提升研究及实践[J]. 电信技术,2019(3): 12-15.
- [4] 杨庭勋,陈景航. TD-LTE室分高负荷小区解决方案的研究[J]. 电信工程技术与标准化,2017,30(2): 16-21.
- [5] 周恒. FDD-LTE室内分布系统优化探讨[J]. 通讯世界,2016(1): 221-222.
- [6] 李灿. 面向5G的降低时延关键技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2018.
- [7] 赵琛. 基于PDMA的5G NR低功耗大连接免调度算法[J]. 电子设计工程,2018,26(11): 10-13.
- [8] 王飞龙. 面向5G免调度的稀疏码分多址检测算法研究[D]. 北京:北京邮电大学,2019.
- [9] 范彬,郝树良,张振风,等. 基于免调度非正交多址系统的稀疏多用户检测方法[J]. 广东通信技术,2018,38(1): 29-34.
- [10] 张诗壮,袁志锋,李卫敏. 面向5G mMTC的data-only竞争式免调度接入[J]. 电信科学,2019,35(7): 37-46.
- [11] CHANG B J, CHANG W T. Cost-reward-based carrier aggregation with differentiating network slicing for optimizing radio RB allocation in 5G new radio network×[C]//2019 IEEE 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON). IEEE,2019.
- [12] 丁焯. 面向5G网络切片的无线资源调度算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2018.
- [13] 粟欣,龚金金,曾捷. 面向5G网络切片无线资源分配[J]. 电子产品世界,2017,24(4): 30-32,40.
- [14] 张化,李鹏,鲁娜,等. 5G基站节能技术性能评估研究[J]. 电子技术应用,2020,46(10): 20-24.
- [15] 毛翊翔,陆敏,陈国军. 利用软关断功能的5G智能节能方法的研究与应用[J]. 通信世界,2020(26): 32-34.

作者简介:

张勃,高级工程师,硕士,主要从事5G网络创新产品研发及移动通信新技术研究等工作;秦小飞,学士,主要从事5G网络创新产品研发及移动通信新技术研究等工作;冯毅,教授级高级工程师,长期从事5G创新网络产品规划与研发,5G创新应用产品规划与研发,移动通信网络技术规划、研究及研发等工作;丁雨明,硕士,主要从事5G网络创新产品研发及移动通信新技术研究等工作。