

5G 独立组网通信技术在物联网场景的部署实践

叶海斌

中国电信股份有限公司宁波镇海分公司 315206

DOI:10.32629/ems.v8i6.20610

[摘要] 5G 独立组网模式相比非独立模式, 依托其扁平化网络、超低时延、海量连接、原生网络切片等技术特性充分满足了物联网多终端异构通信要求, 将成为未来支撑智能物联网规模发展的关键通信基础设施。文章基于 5G SA 底层技术架构分析并阐述其与 NSA 组网区别, 从硬件实施、网络构成和资源分配上对物联网展开部署对比, 并选取 3 个具有代表性的物联网应用领域即工业互联网、民生服务类物联网、物流管理物联网项目展开实践研究, 剖析现阶段面临的信号覆盖弱、终端成本高、切片调度等问题, 提出对应优化改进方法。研究表明, 5G SA 可有效缓解传统物联网在通信领域的短板, 并助力垂直行业的数字化转型及后续为新一代信息通信技术发展下融合物联网打下基础。

[关键词] 5G 独立组网; 通信技术; 物联网; 网络切片; 部署实践

引言

物联网作为新一代信息通信技术的重要组成部分, 已经广泛应用于工业、城市管理及民生等众多领域。5G SA 技术脱离原有的 4G 网络而采用全新的服务化架构的核心网, 在时延较低的情况下实现大量连接与可靠的通信, 能够采用网络切片的方式定制相应的隔离业务, 并且完全符合 IoT 的差异化应用需求。当前情况下, 5G SA 的技术已经逐步商业化实施, 但在行业中对于物联网应用来说仍存在一些适用性、部署开销较大和运维体系不健全等问题。基于以上, 深入探讨了 5G 独立组网的相关技术特点并结合具体行业的实际情况来分析具体的部署流程和技术要点, 进一步指出了相关的痛点问题并给出改善策略, 从而针对在 5G IoT 垂直领域的规模化的 SA 部署提供一个参考。

1 5G独立组网关键技术简介

1.1 5G 独立组网架构构成

5G 独立组网是端到端的全新网络架构, 主要可以分为终端、接入网 (gNB)、核心网 (5GC) 和业务应用四层结构, 没有 4G 基站以及 4G 核心网的拖累, 结构简单而且可扩展性很好。5G 无线接入网络以 5G 宏基站、微基站为中心, 完成与终端之间的无线信号接收、发送, 微基站主要用于补室内或小型区域的盲区; 5G 核心网采用基于服务的架构即 Service-based Architecture (SBA), 把原来的某些传统网络元素功能分割成一个个的微服务模块单元供有需要的时候调用, 方便进行弹性扩容, 也极大地简化了数据转发过程。与此同时, 其核心网中引入移动边缘计算 (MEC) 节点, 将数据计算能力下移部署于网络边缘处, 使相关的数据转发过程变短, 实现从网络层次角度减少传输时延的目的。相对 NSA

网络来说 SA 省去了双连接模式, 大大地缩短了信令的传送过程, 使整体网络稳定性和稳定性大幅提高, 尤其对长时间大量持续不断的物联网数据转发特别适用^[1]。

1.2 支持物联网的关键技术特性

一是超低的时延, 5G SA 空口可实现 1ms 以下, 端到端可小于 5ms 能够满足如工业自动化控制、远程操控等要求严格的物联网业务; 二是超级大容量: 每平方公里最多可以支持 100 万设备, 满足智慧园区和智慧城市的高密度物联网终端的集群应用; 三是原生网络切片, 可将物理上的网络分割成若干独立的逻辑切片网络用于承载各种各样的业务, 例如控制指令、感知信息以及视频信息等等, 并实现业务隔离、带宽定义、优先级别配置。四是可靠性非常高可达 99.999% 的链路传输, 避免物联网中的丢包及断链问题保障关键任务运行稳定可靠。

2 5G独立组网在物联网场景的部署特点

2.1 网络硬件布局设计

设备硬件部署应根据具体物联网场景的空间特点、终端密度和业务类型进行差异性设计。工业场景中的生产设备多采用“宏基站+室微基”的混合覆盖形式, 通过在车间拐角处和设备较多区域加装小型微基站, 以降低金属设备等物体带来的信号阻挡和衰减, 在智慧城市、智慧园区等户外环境场景下, 利用宏基站为主, 并且结合路灯杆及监控杆的形式加设小型基站以达到更佳的信号覆盖率并减少基站重复使用率^[2]。此外还需配合相应的硬件设备部署 MEC 边缘节点, 在工业场景下将 MEC 节点放置到厂区内部的机房内, 在智慧社区、城市惠民工程中则放在对应地区的通讯机房中实现本地数据处理, 避免不必要的云端转发。同时, 所使用的物联网终端

硬件也需采用 5G SA 制式并删去不需要的通信部件、采用轻便设计以便于终端侧降低其功耗以及接入费用^[3]。

2.2 网络切片资源配置

网络切片技术是 5G SA 实现 IoT 的核心技术, 根据业务类型划分不同的网络切片。①超高可靠低时延的网络切片, 提供独占带宽、信道资源给该切片使用用于工业协同作业和远程控制等重要控制业务, 保证没有指令延迟情况发生。②海量大连接数的网络切片对单个终端设备限制放宽, 优先满足设备的连接数需要, 适用于各种温湿度采集器、压力感应器等低速感知型终端。③高上行带宽的网络切片针对高清传输的上行带宽进行参数优化, 满足高清监控、无人机巡查图像传输等需求。在部署网络切片的时候需要配置相关的隔离防护措施, 避免不同的网络切片的相互干扰, 在部署的同时还需对每个切片进行动态调度资源算法的设置, 能够在业务高峰时间自动扩展带宽资源, 在业务空闲期间能够适当缩减占用, 提高资源利用率^[4]。

2.3 安全防护体系构建

针对物联网终端节点数量多、分布广, 容易出现数据泄露和恶意攻击等问题的现状, 在 5G SA 部署中构建包括多个层次的安全保障机制。在接入层面, 实施基于身份的认证和鉴密技术确保授权设备可以接入网络中以避免受到非法设备的入侵; 在传输层面, 业务数据实现加密编码, 并且对业务传输数据进行不同安全级别的加密, 关键控制数据应用高强度加密算法加以保护; 在核心网中建立防火墙以及入侵检测等系统及时监控网络中的流量情况, 防范异常访问和遭受恶意性攻击, 同时考虑到 IoT 节点算力不足的问题而采用简化 IoT 侧验证的安全方式将部分安全检验运算转移到边缘处完成, 保证 IoT 安全性能和运行效率^[5]。

3 5G独立组网在物联网典型场景的部署实践

3.1 工业物联网场景部署

工业物联网是 5G SA 落地最成功的行业应用场景, 本文以 A 工厂的智能制造数字化改造为例进行分析。该工厂之前通过有线以太网+4G 网络进行通信存在走线烦琐、控制延时大、排查故障慢等弊端。改造过程中采用的是独立的 5G 专网模式, 在厂区内部署宏站设备 2 个和微站设备 8 个覆盖整个厂区厂房仓库。部署 MEC 边缘云对数据实现本地化处理。在 5G 专网上创建两种切片类型低延时切片用于数控机床、机器人控制联动等使用情况, 切片延时小于 3ms; 通用性网络切片用于采集生产线数据、设备监测等功能, 连接终端 600 多部。改造后基本实现了无传统工业有线的布置, 运维成本减

少近 30%, 生产调度指令提速达到 65%, 故障误判率降到 0.3%。

基于 SA 5G 网络超低延迟特性建立远程维护中心, 专家可以远程控制和维护生产设备解决区域限制问题。

3.2 智慧民生物联网的场景应用

智慧民生包含智能安防、智慧水利及智慧燃气等城市基础设施服务业务, 具有终端设备点散面广、多种业务服务和传输频率不一的特性。在对某市的民生物联网进行升级改造过程中, 采用公网 5G SA+切片技术模式, 通过优化改造已有基站的方式, 并新建了 120 座 5G SA 站点, 在全市城区居民小区、市政道路和公共建筑场所覆盖。针对不同的民生物务进行了不同切片设置, 将监控摄像机采用了带宽较高的切片技术以保障 4K 超清摄像数据实时传回; 而压力传感器和流控探测器采用了连接数量多且数据量少但传输周期长的智慧水利工程与智慧气化工程采用切片方式, 保证其定时上报压强值与流量值; 最后针对紧急警报按钮装置则采取高可靠切片方式以防止出现延迟或包丢失现象。该项目实施后, 该城区居民小区物联网终端的接入稳定性高达 99.98%, 摄像头监控卡顿率小于 0.5%, 智慧水利和智慧气体工程故障报警时间缩短至 10s 以内。

3.3 智能物流物联网的场景部署

智能物流主要包含仓储分拣、货物运输和无人配送 3 个部分。5G SA 的部署可以有效提升网络的移动性与连续性, 所以某大型园区选择 5G SA 组网, 并对内部网络进行优化, 布置室外宏站与仓储室站, 建立专门的物流 MEC 节点, 在仓储中 AGV 搬运机器人与智能分拣等装置采用低延时切片, 保证其间的良好配合, 分拣差错率<0.1%; 在运输中, 货运汽车采用 5G SA 车载终端来实时上传车辆的定位、油耗及车况等数据, 在使用网络移动性算法后可以实现汽车行驶中的无缝切换; 最后, 在配送环节无人配送端配备较轻量的 SA 模块, 在降低耗能的同时延长续航能力。从实践来看, 大型物流园在部署了 5G SA 网络之后货物分拣效率提高了 40%, 同时车辆定位也达到了 2ms 以下, 并且物流园内人力运维降低了 32%, 做到了物流过程中包括仓储在内的全程管控与智能化操作。

4 5G独立组网物联网部署现存问题

4.1 信号覆盖有范围限制

由于 5GSA 采用高频频段, 其穿透能力弱, 容易受工业车间的金属墙壁、城区高层楼宇和地下仓库的影响形成信号死角; 同时, 在偏远的郊区和山区等地域, 基站部署较少导致信号较弱不利于农业物联网设备和野外监测节点的布设。部

分区域的密集部署存在基站重叠干扰的问题, 容易造成网络的局部抖动及时延的变化影响终端的运行。

4.2 终端设备适配性差成本高

目前 SA 的物联网终端芯片成本高, 与 4G 设备相比, SA 设备采购费用高 30%—50%, 中小企业物联网改造投入压力大。并且大量的老旧物联网终端仅支持 2G/4G, 不兼容 SA 网络, 设备替换周期长、改造投入高。SA 终端功耗较高, 在野外无供电条件下, 终端续航时长受限制了在野外监测等物联网业务的大规模推广。

4.3 网络运维不健全

5G SA 网络结构比较复杂, 包括基站、边缘节点、切片管理和网络保护等很多部件。对维护人员的要求比较高, 当前缺乏专业运维人员, 大部分公司缺少 SA 网络运维流程, 故障排查和优化效率较低。网络切片的动态调度算法还不成熟, 在业务高峰时期会有很多资源不平均的现象发生, 低速感知终端占据了很大的带宽资源, 并影响到了控制核心业务的时延变化, 导致对业务的运行稳定性造成了很大的影响。

5 5G独立组网物联网的部署优化策略

5.1 优化基站分布与信号优化

为了解决信号覆盖问题, 采用不同的基站部署方案, 在存在室内的阻挡区增加微基站布置, 减少穿透损耗; 在偏远地区采用一体化的简易基站, 降低部署成本, 并扩大了基本区域覆盖范围。应用波束赋形技术以及超密集组网技术改善了信号传输方向, 并降低了信号干扰; 通过搭建监测信号平台实时采集各区域段内的信号强弱和延时情况, 调节各个基站的发射功率来消除盲区以及抖动现象。此外, 根据需要对基站在不同频段之间进行合理的分布, 使用高低频段来结合, 保证速率同时兼顾覆盖能力。

5.2 减少终端的接入和部署代价

鼓励通信芯片厂商开发出 5G SA 物联网应用轻量级、低成本的专用芯片, 去除多余功能, 降低通信芯片成本, 缩减终端购买成本。研发 4G/5G 双模适应的老终端模组无需更换整机, 实现 SA 网络改造低投入。优化终端电源控制算法, 在不传输数据的时间段内采用休眠唤醒策略, 使低速感知终端在非使用阶段进入休眠模式, 降低能耗, 延长了终端续航寿命(尤其对于野外终端)。同时针对中小型企业提供了专属流量包和租用专网服务来降低企业网络使用开销。

5.3 完善运维系统及切片调度

搭建智能运维管理平台, 集成基站监测、切片管理、故障预警和数据统计等功能实现自动化的网络故障识别以及智能的网络故障排查和降低运维的难度。培养相关的人才进行技术培训, 提升人员的 SA 网络调试优化能力。采用更优化的网络切片动态调度机制, 按照一定的优先级划分相应的资源权重优先保证工业控制业务及告警业务的资源供应并限制低速终端带宽占用比例。引入切片隔离保护机制加强对各个切片之间的隔离以及对边界的管制减少各切片之间由于数据干扰而影响到正常业务, 增强网络运行的稳定性。

6 结论

依托网络架构简单、时延小及可提供大规模连接和切片的特征, 独立组网方式解决了物联网应用在传统通信网络中的局限性, 可以较好地满足生产工业、智能民生、智能物流等不同物联网业务的通信需求。实践发现 5G SA 专网在物联网部署中能够实现简化布线操作, 降低运维负担的同时提升智能化管理水平为垂直行业的数字化进程保驾护航, 但目前其还存在着覆盖不完善以及终端昂贵等问题限制了大规模普及使用。在未来应该通过提高基站布局设计, 减少终端成本, 完善运维体系, 进一步完善 5G SA 网络部署模式, 同时要结合边缘计算技术和人工智能以及大数据技术, 实现 5G SA 与物联网的高度融合, 促进智慧农业以及智能医疗和航空监测等方面的高质量物联网产业建设与发展。

[参考文献]

- [1] 梅超然. 物联网中 5G 通信技术的应用认识与实践[J]. 中国宽带, 2026, 22(03): 40-42.
- [2] 吴寅. 基于物联网 5G 通信技术的移动网络信息安全传输方法研究[J]. 信息系统工程, 2026, (01): 91-93.
- [3] 李静. 5G 技术支撑下的物联网产业链协同创新机制研究[J]. 信息与电脑, 2025, 37(21): 84-86.
- [4] 赖名廉. 智能交通物联网中 5G 移动通信技术的应用研究[J]. 数字通信世界, 2025, (10): 131-133.
- [5] 刘虎, 彭放, 赵赫奇, 张文雅, 陈屹婷. 5G 环境下微服务架构的自组网通信网关设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2023, 23(11): 21-24.

作者简介: 叶海斌(1975.11—), 男, 汉族, 浙江慈溪, 本科, 助理工程师, 研究方向: 5G 独立组网架构、海量物联网技术, 智慧城市感知及算力网络。