

# 5G-A时代物联网应用及策略研究

## Research on Application and Strategy of Internet of Things in 5G-A Era

蒋振伟,姚赛彬,潘婷(中国联通上海分公司,上海 200080)  
Jiang Zhenwei, Yao Saibin, Pan Ting (China Unicom Shanghai Branch, Shanghai 200080, China)

### 摘要:

海量物联网通信是5G典型应用场景之一,为了实现蜂窝网的全场景物联能力,需要更多的场景化技术,5G-A引入了RedCap和Passive IoT。其中,RedCap降低了设备复杂性及成本,补充了5G中、高速率物联能力;Passive IoT实现了低成本无源物联。结合对物联产业的综合分析,重点论述基于RedCap和Passive IoT的物联网构建方案、运营及优化。

### 关键词:

5G-A; mMTC; RedCap; Passive IoT; 物联网  
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.07.006  
文章编号: 1007-3043(2024)07-0030-06  
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:

Massive IoT communication is one of the typical application scenarios of 5G. To implement the full-field IoT capability of cellular networks, more scenario-specific technologies are required, so 5G-A introduces RedCap and Passive IoT. RedCap reduces device complexity and costs, it supplements 5G medium and high speed IoT capabilities. Passive IoT enables low-cost passive Internet of Things. Based on the comprehensive analysis of the IoT industry, it focuses on the construction, operation, and optimization of the IoT based on RedCap and Passive IoT.

### Keywords:

5G-A; mMTC; RedCap; Passive IoT; Internet of things

引用格式: 蒋振伟,姚赛彬,潘婷. 5G-A时代物联网应用及策略研究[J]. 邮电设计技术, 2024(7): 30-35.

## 1 概述

5G-A 全称 5G-Advanced (5.5G), 是对 5G 的演进和扩展, 具有下行万兆、上行千兆、千亿连接、内生智能四大特征, 使能万物智联<sup>[1-3]</sup>。2024年, 5G-A 已进入产业实际构建阶段。

mMTC 是 5G 三大典型应用场景之一, 当前正在加速发展为千亿物联<sup>[4]</sup>。为了更好地支撑 5G-A 时代的全场景海量物联需求, 3GPP Rel-17 引入 RedCap<sup>[5]</sup>, 补充中、高速物联能力, 实现成本和性能的最佳平衡,

Rel-18 将其简化为 eRedCap, 使其更容易部署到中速物联网。Rel-19 完善无源物联技术 (Passive IoT) 后, 将首次构建出蜂窝网的全场景物联能力 (见图 1)<sup>[6]</sup>。

本文分析了 5G-A 的 RedCap 和 Passive IoT 物联技术优势, 洞察了物联产业的需求及市场<sup>[7]</sup>。结合网络先行, 以网促业的国家策略, 论述基于 RedCap 和 Passive IoT 构建物联网络的方案, 并给出网络运营及优化建议。

## 2 现有物联网分析

### 2.1 NB-IoT 分析

窄带物联网 (Narrow Band Internet of Things, NB-

收稿日期: 2024-05-10

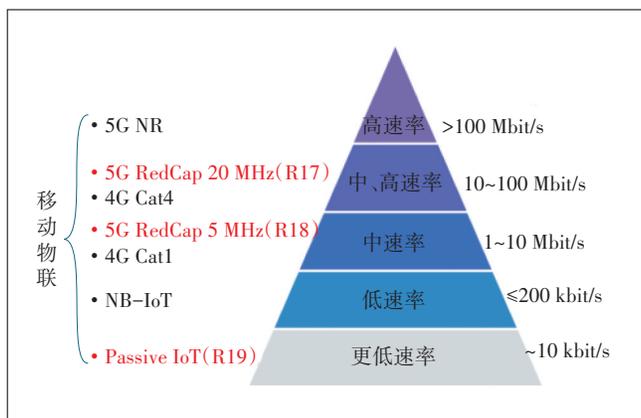


图1 移动物联技术

IoT), 聚焦于低功耗、广覆盖 (Low Power Wide Area, LPWA) 物联应用场景, 具有覆盖广、连接多、功耗低、成本低等特点<sup>[8]</sup>。

2016年6月, NB-IoT协议首次被冻结。2020年, 3GPP将其接受为ITU IMT-2020 5G技术标准, 继续服务于5G LPWA用例, 即mMTC场景。随着2G、3G退网, NB-IoT、4G和5G物联网技术将共同承担万物互联需求。

NB-IoT工作带宽为200 kHz, 实际有效带宽为180 kHz。支持独立部署、LTE保护带部署、LTE带内部署方案, 可充分利用运营商已有频谱资源, 部署成本低, 但需独立载波。NB-IoT仅适用于低速物联场景, 无法满足更高速率要求。

## 2.2 LTE Cat分析

3GPP使用Cat划分终端, 表明终端支持的上、下行数据传输能力。不同业务可以使用不同Cat等级的终端, 便于网络提供对应的带宽和速率<sup>[9]</sup>。

3GPP在Rel-8中引入LTE网络协议, 并在首个版本(3GPP TS 34.306)定义了终端能力集Cat1~Cat5。协议最初基于双天线考虑灵敏度和覆盖, 随着物联网对终端小型化要求的提高, 高通在Rel-14中提出Cat1 bis (RF-171149)。相对Cat1而言, Cat1 bis上、下行速率都无变化, 仅将双天线变为单天线。随着终端尺寸变小, 双天线间隔也较小, 导致分集增益不大<sup>[10]</sup>。

Cat1 bis上行FDD理论速率仅为5 Mbit/s, 无法满足对上行数据量要求高的场景的需求, 主要用于中速物联场景。但是, 它对终端芯片要求低, 且仅需单根天线, 可降低终端成本。

Cat4上行FDD理论速率可达150 Mbit/s, 在双天线场景下, 下行灵敏度有3 dB增益, 有助于提升小区

边缘覆盖用户体验。与Cat1 bis相比, Cat4速率更高, 且下行频谱效率更高(见表1)。

表1 Cat1 bis与Cat4能力对比

| 维度                       | Cat1 bis           | Cat4              |
|--------------------------|--------------------|-------------------|
| 协议遵从版本                   | R14                | R8                |
| 协议冻结时间                   | 2017-06            | 2008-12           |
| 天线数                      | 单天线(1T1R)          | 双天线(1T2R)         |
| 下行理论峰值(FDD)/(Mbit/s)     | 10                 | 150               |
| 上行理论峰值(FDD)/(Mbit/s)     | 5                  | 50                |
| 下行理论峰值(TDD 4:1)/(Mbit/s) | 8                  | 110               |
| 上行理论峰值(TDD 4:1)/(Mbit/s) | 1                  | 10                |
| 频谱效率/(bit/s/Hz)          | UL:2.55<br>DL:3.75 | UL:2.55<br>DL:7.5 |
| 时延/s                     | <1                 | <1                |

LTE Cat1 bis和Cat4物联网技术部署于4G网络, 能够用于中、高速物联场景。但是, 无法满足更高速率场景的需求, 并且时延偏长。随着4G投资减少, 后续应用规模受限。

## 3 5G-A 物联技术分析

### 3.1 物联网协议进展

2022年6月, 3GPP冻结Rel-17, Rel-17已包含RedCap标准。2024年H1 Rel-18被冻结, 该版本作为5G-A首个版本, 会包含evolved RedCap, 并已启动Passive IoT研究。预计2025年H2, Rel-19被冻结, 将会发布Passive IoT协议标准(见图2)。

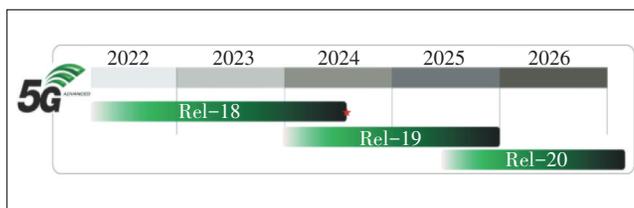


图2 3GPP版本计划

在Rel-17标准中, RedCap内容包括降低终端复杂度、驻留与接入控制、移动性、终端识别、BWP配置以及功耗等。Rel-18标准中, RedCap面向更轻量化演进, 包含缩减终端带宽到5 MHz、降低峰值速率等。

### 3.2 RedCap分析

5G终端芯片及模组的价格较高, 导致产业未实现海量连接<sup>[11]</sup>。为了满足物联网对5G部署更低成本、更低功耗、更低复杂度的要求, 5G RedCap(5G Reduced Capability)通过缩减终端带宽、裁剪收发天线数量、降

低最大调制阶数等手段,降低了设备复杂度、成本和功耗,能够更好地满足可穿戴设备、工业无线传感器和视频监控等中、高速场景的规模应用需求。

RedCap Rel-17面向中、高速物联场景,对标4G Cat4; RedCap Rel-18面向中低速物联场景,对标4G Cat1/1bis。RedCap是功能精简的5G原生物联网技

术,继承了5G低时延、高可靠、切片、定位等能力,实现成本和性能的最佳平衡。相对于5G NR,它价格便宜;相对于4G Cat4,它的峰值速率、时延可靠性和定位精度明显提升,功耗降低20%。但是,当前RedCap模组成本偏高,随着规模应用,成本会有所下降(见表2)。

### 3.3 Passive IoT分析

表2 RedCap能力对比

| 能力            | Cat1 bis                             | Cat4                                  | RedCap  | NR   |
|---------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| 模组成本/元        | ~30                                  | ~60                                   | 2023年:~200;2024—2025年:60~120                            | 2023年:~400;2025年:~300                                      |
| 带宽/MHz        | 20                                   | 20                                    | 20  | 100  |
| 天线数           | 1T1R                                 | 1T2R                                  | 1T2R/1T1R   | 2T4R   |
| 调制            | DL 64QAM<br>UL 16QAM                 | DL 64QAM<br>UL 16QAM                  | DL/UL 64QAM必选<br>DL/UL 256QAM可选                         | 256QAM   |
| 峰值速率<br>(单用户) | UL:5 Mbit/s<br>DL:10 Mbit/s          | UL:50 Mbit/s<br>DL:150 Mbit/s         | TDD:UL 22/DL 162 Mbit/s@8:2<br>FDD:UL 120/DL 226 Mbit/s | TDD:UL 250/DL 1 700 Mbit/s@8:2<br>FDD:UL 175/DL 350 Mbit/s |
| 峰值容量<br>(单小区) | UL:50 Mbit/s<br>DL:75 Mbit/s@1.8 GHz | UL:50 Mbit/s<br>DL:150 Mbit/s@1.8 GHz | TDD:UL 400/DL 2 800 Mbit/s@8:2                          | TDD:UL 1 000/DL 5 800 Mbit/s@8:2                           |
| 切片            | 不支持                                  | 不支持                                   | 支持  | 支持   |
| 功耗            | -                                    | 工作:120~160 mA;待机:12~22 mA             | 对标Cat4降低20%   | -  |
| 时延/可靠         | >100 ms                              | >100 ms                               | 20~100 ms@99.99%  | ~20 ms@99.99%  |
| 定位精度          | >100 m@90%                           | >100 m@90%                            | 1~3 m@90%   | 1~3 m@90%  |

Passive IoT是5G-A首次引入的蜂窝无源物联技术,网络终端设备不需要电池供电或接入外部电源。根据终端设备能否储电及能否生成射频信号,3GPP RAN定义了3类设备类型:A类、B类和C类。A类是纯无源标签,不支持储能,不支持生成上行载波,覆盖距离在10 m左右,适合室内场景。B类是半无源标签,支持电容储能,不支持生成上行载波,直视径覆盖距离达200 m,适合室内场景。C类是有源标签,支持环境或电池供电,支持生成上行载波,支持上、下行频分,覆盖距离最远达500 m,适合室内外广域场景(见表3)。

表3 Passive IoT标签类型

|         | A类设备                    | B类设备           | C类设备                |
|---------|-------------------------|----------------|---------------------|
| 能力      | 反向反射                    | 反向反射,信号放大,传感集成 | 反向反射,信号放大,传感集成,主动发送 |
| 功耗      | ≤10 μW                  | 介于A类和C类        | 1 mW~10 mW          |
| 灵敏度/dBm | -20                     | -40~-30        | -50                 |
| 复杂度     | 类似UHF RFID ISO 18000-6C | 介于A类和C类        | 比NB-IoT低1个数量级       |

传统无源物联技术是RFID,使用扫码枪扫描RFID标签。Passive IoT下行覆盖时,授权频段发射功率更高;上行覆盖时,标签反向放大,并且上、下行都

能利用空口技术提升接收机的灵敏度,可以充分发挥蜂窝网络的空口技术优势,提升无源物联的上、下行覆盖。例如,室外实测B类标签,P-IoT覆盖能力比RFID提高10倍以上。

与NB-IoT相比,Passive IoT成本更低、功耗更小。但是,仅适用于更低速率的物联网场景(见表4)。

表4 Passive IoT对比NB-IoT

| 对比          | 功耗      | 成本/\$ |
|-------------|---------|-------|
| NB-IoT      | >10 mW  | >1    |
| Passive IoT | ~100 μW | <0.1  |

综上所述,传统无源物联RFID技术难以实现大范围连续覆盖组网;NB-IoT难以满足终端超低成本和功耗要求。在低速物联场景下,Passive IoT技术不仅降低成本和功耗,也能基于蜂窝网络连续组网。

## 4 物联产业综合分析

### 4.1 性能需求分析

不同物联网应用场景对速率、时延、可靠性的要求各不相同。工业控制、电力能源业务对速率要求不高,但对时延和可靠性要求较高。大部分视频监控业务,不需要超高清分辨率,对速率、时延和可靠性要求

都不高。可穿戴设备主要以中低速业务为主,下行速率为5~50 Mbit/s,上行为2~5 Mbit/s,对时延和可靠性要求都不高,但要求网络连续覆盖性好。具体见表5、表6和表7。

表5 工业控制业务需求<sup>[1]</sup>

| 典型场景      | 上行速率/(Mbit/s) | 时延/ms | 可靠性/% |
|-----------|---------------|-------|-------|
| 工业AGV控制   | ≤2            | <20   | 99.99 |
| 工业产线PLC控制 | ≤5            | <15   | 99.99 |
| 工业设备远程运维  | ≤5            | <100  | 99.9  |
| 采煤机远程操控   | ≤7            | <50   | 99.99 |
| 港口远程龙门吊控制 | ≤2            | <50   | 99.99 |
| 港口无人集卡控制  | ≤2            | <18   | 99.99 |

表6 电力能源业务需求<sup>[1]</sup>

| 业务类别 | 典型场景      | 带宽                 | 时延      | 可靠性/% |
|------|-----------|--------------------|---------|-------|
| 控制类  | 智能分布式能源调控 | ≥2 Mbit/s          | ≤1 s    | 99.99 |
| 控制类  | 用电负荷需求响应  | 10 kbit/s~2 Mbit/s | ≤50 ms  | 99.99 |
| 控制类  | 配电自动化     | ≥2 Mbit/s          | ≤15 ms  | 99.99 |
| 采集类  | 高级计量      | 1~2 Mbit/s         | ≤3 s    | 99.9  |
| 采集类  | 变电站巡检     | 4~10 Mbit/s        | ≤200 ms | 99.9  |
| 采集类  | 输电线路无人机巡检 | 7.5~25 Mbit/s      | ≤200 ms | 99.9  |
| 采集类  | 配电房视频综合监控 | 7.5~25 Mbit/s      | ≤200 ms | 99.9  |

#### 4.2 节能需求分析

可穿戴设备通常需要续航1~2周。工业无线传感器要求电池寿命至少为几年。这些场景对终端功耗要求高,需降低终端复杂度,引入功耗优化手段,使终端更节电。

表7 视频业务需求

| 典型场景  | 分辨率     | 上行速率/(Mbit/s) | 时延/ms | 可靠性/%   |
|-------|---------|---------------|-------|---------|
| 固定监控  | 100万像素  | 2             | 400   | 99~99.9 |
| 移动执法仪 | 200万像素  | 4             | 400   | 99~99.9 |
| 普通巡防  | 400万像素  | 8             | 400   | 99~99.9 |
| 车路协同  | 800万像素  | 16            | 10    | 99~99.9 |
| 高点监控  | 1600万像素 | 32            | 400   | 99~99.9 |
| 无人机巡检 | 2000万像素 | 40            | 400   | 99~99.9 |

#### 4.3 成本需求分析

垂直行业有大量的物联网连接需求,例如视频监控、电力能源行业。这些行业规模大,最大的问题就是较高的行业模组成本,企业对成本更加敏感。为了促进规模化部署,需要降低物联网技术应用成本,以更低成本实现5G数智化转型。

对于大部分行业场景,5G常规终端价格高且性能过剩。通过裁剪功能,RedCap降低了终端复杂度,从而节约成本,但依旧满足应用场景的性能要求。在低速物联场景,Passive IoT成本也比NB-IoT低得多,适合大规模无源物联网。

#### 4.4 物联市场洞察

2022年8月,中国移动物联网终端数已超过移动电话用户数,正式进入“物超人”时代。当前,千万级应用领域有智慧工业、智慧农业和智慧物流,上亿级应用领域有零售服务、公共服务、智慧家居和车联网。

随着大数据、AI、通信、感知技术融合,智能物联网产业启动了新一轮强势增长,将带来巨大经济和社会效益。图3所示为中国2018—2026年AIoT产业市

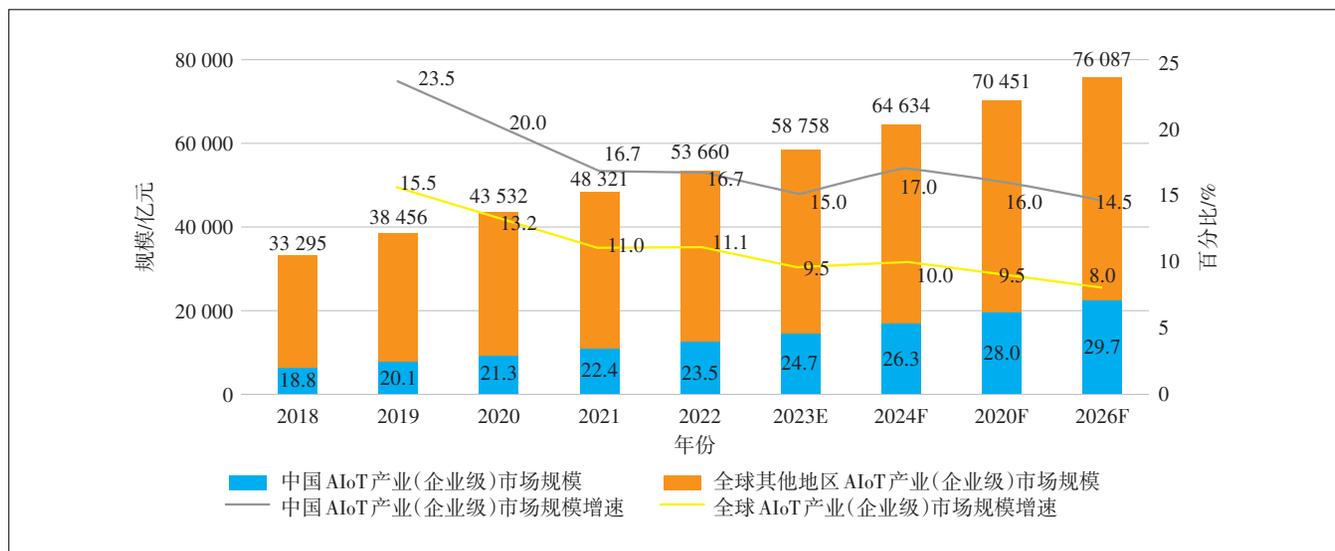


图3 中国2018—2026年AIoT产业市场规模及增速

场规模及增速。

2023年, RedCap已具备商用基础, 中国联通、中国电信和中国移动都已规模化建设RedCap试验网; 华为等系统厂商协同运营商已完成功能及组网性能验证; 芯片、模组和终端产业链也初具规模。预计2024年, RedCap将迎来爆发式增长, 模组成本逐渐降低。图4所示为中国RedCap连接数及模组单价走势预测。

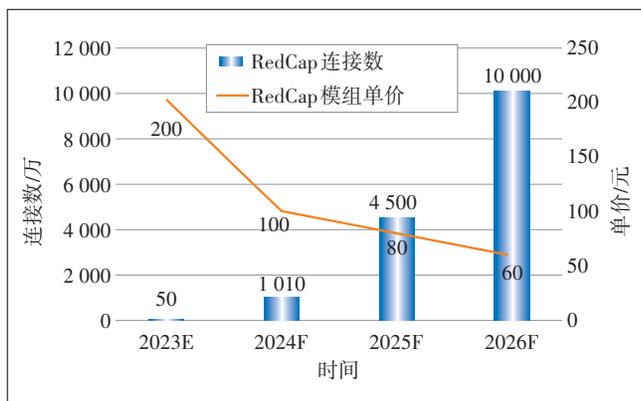


图4 中国RedCap连接数及模组单价走势预测

物联网海量终端受限于成本, 难以实现有源物联; 同时终端分布广泛, 也难以更换电池或无法供电。因此, 无源物联技术具有很大的市场空间。2024年, 随着5G-A正式商用, 无源物联Passive IoT迎来发展机遇, 将被用于仓储盘点、物流跟踪、工业生产等应用场景。

#### 4.5 国家战略政策

2021年11月, 工信部印发《“十四五”信息通信行业发展规划》, 提出要在2025年基本建成新型数字基础设施。在《5G应用“扬帆”行动计划》中, 提出推进5G+工业互联网、智慧城市等15个垂直行业发展, 在广覆盖、低成本场景普及5G技术, 例如智能安防、穿戴设备、远程操控、视频监控等。国家部委持续发布政策支持移动物联网发展, 明确5G RedCap是蜂窝物联未来发展的重要方向。

2023年10月, 工信部印发《关于推进5G轻量化(RedCap)技术演进和应用创新发展的通知》, 推动5G RedCap技术产业化及规模化应用。2024年2月工信部发布《关于开展2024年度5G轻量化(RedCap)贯通行动的通知(征求意见稿)》, 指出到2024年底实现5G RedCap的商用落地, 5G RedCap网络连续覆盖百个以上城市, 推进重点领域小规模示范应用, 助力5G应用规模化发展。

## 5 5G-A物联网网络构建

### 5.1 构建5G-A物联网先发优势

依托RedCap和Passive IoT物联技术, 能够筑起5G-A物联网先发优势。

RedCap对标4G Cat4, 补齐了5G中、高速物联短板, 同时平衡了部署成本。在即将冻结的3GPP Rel-18中, RedCap对标4G Cat1, 支撑5G中速物联场景, 进一步降低部署成本。从技术上看, 针对中、高速物联场景, 已具备从4G转向5G的条件; 从产业上看, RedCap芯片、模组、终端越发成熟, 成本呈下降趋势, 具备大规模部署条件; 从时间上看, 2024年将开启RedCap商用元年, RedCap将迎来爆发式增长, Rel-18在2024年H1被冻结, 当前介入eRedCap, 会为后续网络部署抢占先机。

Passive IoT是5G-A蜂窝无源物联技术, 3GPP已在Rel-18中对其启动研究, 预计在2025年H2的Rel-19中, 发布协议标准。该技术与NB-IoT相比在成本及功耗方面更具优势, 适用于低速物联网, 同时其能力远胜于传统无源RFID, 当前已在室内场景试点应用, 有待拓展到广域场景。从技术准备及时间上看, 当前已能介入室内场景试点, 提前研究广域场景。

综上可知, 当前大规模商用部署RedCap、试点eRedCap、试点Passive IoT室内场景、布局研究Passive IoT广域场景, 会为5G-A物联网带来先发优势<sup>[12]</sup>。

### 5.2 RedCap网络构建

如果网络要适配RedCap终端, 就要升级到支持RedCap的软件版本。针对toC应用场景, 5G网络需逐步升级; 针对toB应用场景, 可以按需升级。

网络开启RedCap后, 可根据网络情况、业务需求等, 按需部署多个专用BWP等功能, 提升网络承载RedCap终端的能力, 并保障5G用户体验。对于toB业务, 可考虑结合网络切片、低时延可靠增强、终端节能等5G技术。

3.5 GHz频段如果按照下行边缘速率大于等于100 Mbit/s, 上行边缘速率大于等于5 Mbit/s的部署要求, 则小区边缘上行受限, 无法满足RedCap视频监控及穿戴设备上行速率大于2 Mbit/s的要求。2.1 GHz频段如果按照下行边缘速率大于等于30 Mbit/s, 上行边缘速率大于等于3 Mbit/s的部署要求, 则小区边缘速率满足RedCap三大典型业务的速率需求。因此, 在3.5 GHz频段RedCap终端覆盖较弱的区域, 可引入覆

盖增强技术,进一步提升覆盖能力。

### 5.3 Passive IoT 网络构建

Passive IoT可分为3类市场:消费盘存型、生产流转型和广域泛在型。

消费盘存型是以零售商超为代表的海量消费品盘点<sup>[13]</sup>,此类场景可使用A类标签。生产流转型以制造为代表的高值生产要素流动,此类场景主要使用A/B类标签。广域泛在型以贵重资产跟踪类为代表,点位随机且分散,此类场景可使用C类标签。

对于室内场景,可以采用收发分离双工,该方式需适当调整室外宏站,减少系统干扰;或者采用Helper辅助减少干扰,但需新增Helper部署点位。

对于卡口场景,RFID投资门槛低,比Passive IoT更有优势<sup>[14]</sup>。对于盘点场景,高频次盘存时,RFID正确率会下降,使用Passive IoT自动化盘存更有优势。对于广域场景,RFID无法连续组网,Passive IoT的价值初现。

## 6 物联网运营优化

### 6.1 网络运营

选择物联技术,需要考虑业务频度、业务速率、成本、移动性、续航等方面的问题。行业客户的技术选择还受物联战略、政府项目、模组集采等因素影响。

RedCap支持中、高速物联,平衡了成本和性能,并且支持5G切片、低时延、定位等原生能力,可用于拓展中、高速物联场景。如利用RedCap CPE加速WTTx存量用户迁移,抢占光纤高端用户。

无源物联适用于标识类连接,支持高精度定位、微型传感等连接能力,在物流、电力、汽车制造、畜牧行业有广泛应用场景。可以在典型行业实现标杆应用落地,如物流、仓储、能源等。根据市场反馈情况,推动厂家迭代优化产品方案。在Passive IoT的商业模式上,可基于业务调研孵化方案,并进行创新设计,在商业成功后,进行合作分成。

### 6.2 网络优化

随着RedCap用户数量及业务量的增长,网络需要给RedCap用户配置更多资源,如多个专用BWP,并且优化5G参数配置,降低对普通5G终端的影响。

Passive IoT标签采用全双工、收发同一频点,从而导致较大干扰,需采用干扰抑制手段。对于广域Passive IoT,C类标签也难以满足500 m左右的站间距要求,若使用大网覆盖,需先解决上行覆盖问题。

## 7 结束语

随着5G-A、数据大模型、人工智能等新兴技术的应用,物联网产业将升级成为通信、感知、智能、价值一体化的架构<sup>[15]</sup>。5G-A引入RedCap、Passive IoT等技术,拓展了5G物联能力边界。2024年将迎来RedCap爆发式增长,终端单价随之持续降低,电力、工业、视频监控等领域将产生千万级连接规模。随着5G-A的正式商用,Passive IoT也将迎来加速发展机遇,有望使能千亿连接。

### 参考文献:

- [1] 杨超斌,高全中,陈传飞,等. 5G-Advanced技术及应用展望[J]. 信息通信技术,2024,18(1):25-31.
- [2] 孙万飞,段小嫣,刘莹莹,等. 5G-Advanced网络智能化标准进展及6G网络智能研究挑战[J]. 移动通信,2023,47(1):18-23.
- [3] 闫志宇,李明豫. 5G-Advanced发展趋势分析[J]. 邮电设计技术,2022(8):12-16.
- [4] 柴芳芳,陈富光,汪芳君,等. 探讨5G+物联网特点及其应用[J]. 现代信息科技,2022,6(6):175-177.
- [5] 黄雯君,邹东伯,张晨曦. 5G RedCap技术浅析及性能验证[J]. 电信工程技术与标准化,2024,37(3):7-12+30.
- [6] 师瑜,朱子园,孙会芳,等. 5G RedCap轻量化关键技术研究及组网实践[J]. 信息通信技术,2024,18(1):44-51+78.
- [7] 钱泓宇,李源,王晴,等. 无源物联网定位技术发展现状及演进趋势[J/OL]. [2024-05-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2103.TN.20240508.1350.004.html>.
- [8] 刘晓勇,吕玉琦,朱林. 物联网频率研究现状与展望[J]. 通信企业管理,2023(6):38-41.
- [9] 李哈阳,翁玮文,李男,等. 5G NR RedCap关键技术研究[J]. 电信科学,2022,38(3):93-101.
- [10] 毕君平,孙大鹏,黄永明,等. 窄带物联网(NB-IoT)研究与应用[J]. 山东通信技术,2017,37(4):1-5.
- [11] 康守信,王贤辉,李铮,等. 面向电力物联网的轻量化5G通信关键技术研究[J]. 电力科学与工程,2024,40(4):12-20.
- [12] 闫飞. 基于5G网络的RedCap部署方案研究[J]. 电子技术应用,2024,50(3):1-5.
- [13] 刘欣. 快递爆仓频发背景下物联网技术的应用对策研究[J]. 中国航务周刊,2023,(50):87-89.
- [14] 喜崇彬. RFID技术在智能物流中的最新应用与发展[J]. 物流技术与应用,2024,29(4):66-69.
- [15] 佚名. 物联网产业视点(2024年4月)[J]. 物联网技术,2024,14(5):1.

### 作者简介:

蒋振伟,高级工程师,硕士,主要从事无线网络优化及5G-A相关技术研究工作;姚赛彬,高级工程师,硕士,主要从事无线网前沿技术研究及管理工作;潘婷,工程师,学士,主要从事无线网优化及频率技术研究工作。