

单位代码： 10293 密 级： 公开

南京邮电大学

专 业 学 位 硕 士 论 文



论文题目： 基于 GSM 替换的 NB-IoT 规划建设方案研究

| | |
|-------------|-------------------|
| 学 号 | <u>1316080436</u> |
| 姓 名 | <u>王坦</u> |
| 导 师 | <u>刘蕾蕾</u> |
| 专 业 学 位 类 别 | <u>工程硕士</u> |
| 类 型 | <u>在 职</u> |
| 专 业 （ 领 域 ） | <u>电子与通信工程</u> |
| 论 文 提 交 日 期 | <u>2018.5</u> |

Research on NB-IoT Planning and Construction Scheme Based on GSM Replacement

↑

Thesis Submitted to Nanjing University of Posts and
Telecommunications for the Degree of
Master of Engineering



By

Wang Tan

Supervisor: Prof. Liu Lei Lei

May 2018

南京邮电大学学位论文原创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得南京邮电大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

本人学位论文及涉及相关资料若有不实，愿意承担一切相关的法律责任。

研究生学号：_____ 研究生签名：_____ 日期：_____

南京邮电大学学位论文使用授权声明

本人承诺所呈交的学位论文不涉及任何国家秘密，本人及导师为本论文的涉密责任并列第一责任人。

本人授权南京邮电大学可以保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子文档；允许论文被查阅和借阅；可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索；可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编本学位论文。本文电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。论文的公布（包括刊登）授权南京邮电大学研究生院办理。

非国家秘密类涉密学位论文在解密后适用本授权书。

研究生签名：_____ 导师签名：_____ 日期：_____

摘要

本文首先介绍了物联网的定义以及国内外物联网的发展状况，通过对物联网的各种技术综合比较，尤其是从覆盖、连接、成本、功耗等多维度进行分析，得出 NB-IoT（窄带物联网，Narrow Band Internet of Things）是海量连接的窄带物联网的最佳选择。然后通过对 NB-IoT 的关键技术进行研究，可以获得 20dB 覆盖增强，窄带技术提升上行频谱效率 50~100 倍。通过物理层、协议栈和硬件的重新设计，芯片成本降低到 1 美元。通过一系列端到端流程优化(CP)和空口协议优化(PSM/eDRX)来降低功耗。进一步论证了 NB-IoT 技术的优势。接着对 NB-IoT 网络结构规划、组网规划以及 GSM(全球移动通信系统，Global System for Mobile Communication)网络重耕进行研究，其中包括根据合理设置站址的网络结构规划、1:N 的组网方案规划、FDD 联合组网规划、GSM 网络重耕退频测算方法等。并通过对比 GSM 站点替换与利旧 TDD 站点这两种方案的优劣势，得出基于 GSM 站点替换的方案为某市移动 NB-IoT 工程的最优选择，并对四大场景下的七种方案进行了详细介绍，并指出了工程建设中设计原则、勘察绘图存在的困难及解决方案。

本文接下来主要论述了物联网在智慧城市中的应用，比如车联网、智能家居、智慧城市、重型机械、工业设备和智能医疗等六大领域，以及在 5G 时代来临之际，5G 技术将如何促进物联网的飞速发展，以及物联网将面临的挑战。最后是对物联网大好前景的无限憧憬和展望。

关键词： 物联网，NB-IoT（窄带物联网，Narrow Band Internet of Things），关键技术，组网规划，GSM 替换，建设方案

Abstract

This paper first introduces the definition of the Internet of things and the development of the Internet of things at home and abroad. Through the comprehensive comparison of various technologies of the Internet of things, especially from the multi dimensions of coverage, connection, cost and power consumption, it is concluded that NB-IoT is the best choice for the network of narrow band of mass connection. Then, by studying the key technologies of NB-IoT, we further demonstrate the advantages of NB-IoT technology. Then, the NB-IoT network structure planning, network planning and GSM network heavy ploughing are studied, including network structure planning based on reasonable site location, network planning of 1:N, FDD joint network planning, GSM network heavy ploughing and regression calculation method, etc. And by comparing the advantages and disadvantages of the two schemes of the old GSM site and the old TDD site, we get the main selection of the project, based on the best choice of the old GSM site, and introduce the seven schemes under the four scenes, and point out the design principles, the difficulties in the investigation and drawing, and the solutions.

The last chapter of this paper mainly discusses the application of the Internet of things in the intelligent city, such as six major fields, such as car networking, smart home, smart city, heavy machinery, industrial equipment and intelligent medical treatment, and how the 5G technology will promote the rapid development of the Internet of things and the challenges that the Internet of things will face in the 5G era. Finally, there is an unlimited vision and prospect for the good prospects of the Internet of things.

Key words: Internet of Things, NB-IoT (Narrow Band Internet of Things, Narrow Band Internet of Things), Key Technologies, Network Planning, GSM Replacement, Construction Solutions

目录

| | |
|-----------------------------------|----|
| 第一章 绪论 | 1 |
| 1.1 物联网建设的目的及意义 | 1 |
| 1.2 本文主要研究内容 | 2 |
| 第二章 相关背景知识介绍 | 3 |
| 2.1 物联网的定义 | 3 |
| 2.2 物联网国内外发展状况 | 3 |
| 2.2.1 发达国家的物联网战略布局 | 5 |
| 2.2.2 中国物联网发展环境及政策支撑 | 6 |
| 2.3 多种物联网技术指标对比及演进路径 | 6 |
| 2.3.1 多种物联网技术对比 | 8 |
| 2.3.2 NB-IoT 演进路径 | 10 |
| 2.4 本章小结 | 10 |
| 第三章 NB-IoT 关键技术及组网规划 | 14 |
| 3.1 NB-IoT 关键技术 | 16 |
| 3.1.1 NB-IoT 关键技术：强覆盖 | 16 |
| 3.1.2 NB-IoT 关键技术：大连接 | 19 |
| 3.1.3 NB-IoT 关键技术：低成本 | 19 |
| 3.1.4 NB-IoT 关键技术：低功耗 | 20 |
| 3.2 NB-IoT 组网规划 | 21 |
| 3.2.1 NB-IoT 网络结构规划 | 21 |
| 3.2.2 NB-IoT 组网规划 | 22 |
| 3.2.3 GSM 重耕策略 | 24 |
| 3.3 本章小结 | 25 |
| 第四章 NB-IoT 建设解决方案 | 27 |
| 4.1 利旧 GSM 与利旧 TDD 对比分析 | 27 |
| 4.1.1 基于 GSM 站点部署 NB-IoT | 28 |
| 4.1.2 基于 TDD 站点部署 NB-IoT | 29 |
| 4.1.3 本期工程主选方案 | 30 |
| 4.2 某地市移动 NB-IoT 建设方案 | 30 |
| 4.2.1 规划设计原则 | 30 |
| 4.2.2 NB-IoT 核心网建设方案 | 31 |
| 4.2.3 NB-IoT 无线网建设方案 | 32 |
| 4.3 工程建设难点及勘察绘图注意事项 | 42 |
| 4.3.1 工程建设难点 | 42 |
| 4.3.2 勘察绘图注意事项 | 43 |
| 第五章 智慧城市中的应用及 5G 时代来临的机遇与挑战 | 50 |
| 5.1 NB-IoT 在智慧城市中的典型应用 | 50 |
| 5.2 移动互联网与物联网的过渡之争 | 56 |
| 5.3 5G 技术将促进物联网的飞速发展 | 57 |
| 第六章 总结与展望 | 59 |
| 参考文献 | 60 |
| 附录 4 攻读硕士学位期间参加的科研项目 | 61 |
| 致谢 | 62 |

第一章 绪论

1.1 物联网建设的目的及意义

物联网是在互联网技术上的延展，通过射频识别技术（RFID）、红外感应器等信息传感手段，按照既定的协议，可以把任何有形物品与互联网连接起来，进行信息的交换和通信，以实现智能化的管理。物联网应用场景，是多种新兴技术融合的生态，有感知、网络、应用、也有大数据与认知技术的融合。物联网会在电力、水利、煤炭、化工等各个行业都会有广泛发展，同样在包含有大量机器设备的应用的智慧城市，物联网更加会有广泛的应用。

物联网被称为信息世界的“第三次浪潮”。专家预测：如果物联网网络布局全部形成，其产业规模要比互联网大 30 倍，物联网将会成为下一个万亿元级的通信业务。2010 年之前是概念宣传阶段；2010 年到 2015 年，是物联网的初始形成状态阶段；2015 年到 2020 年，逐渐进入半智能化传感网阶段，例如，智能医疗网络将会越来越全面综合，由点及面，从一个医院到一个地区，从一个地区再到一个省，甚至最终到全国，整个智能医疗系统就会逐步成熟起来，从而极大方便了人们生活；预计 2020 年全球物联网的安全市场将从 2015 年的 68.9 亿美元增长至 289 亿美元，即 2015 年至 2020 年的复合年增长率为 33.2%；第四阶段是 2020 年以后，物联网产业的整合和融合进入新时期，物联网将实现和生活各个方面上的充分融合。

NB-IoT 属于低功耗广域网(LPWAN)协议的一种，主要面向低功耗、低速率的无线物联网应用技术。NB-IoT 属于授权频谱，故在覆盖全国的运营商级广域网络部署时，授权频谱可有效避免因为长距离、广覆盖场景下的无线电干扰问题。是我国主导参与的国际标准，亦是全球共识的物联网技术，是实现万物互联、“互联网+”的关键技术和产业，产业集群和规模效应非常显著。

为抢占 NB-IoT 标准刚刚发布的窗口期，同时考虑到物联网在某地市信息惠民、城市管理、产业转型升级等方面具有良好的应用基础且需求旺盛，某地市移动决定以 NB-IoT 建设为信息惠民及智慧城市建设的落脚点和创新点，在全省领先开展 NB-IoT 业务试点，与 2017 年开通 1000 个 NB-IoT 站点，为本地市乃至全省提供在物联网产业链抢占新优势带来新的机遇。

同时考虑建设方案的评估对比，选择更加经济可行的建设方案作为 NB/FDD/TD-LTE 后续的建设，都应面向 5G 演进，最大化网络融合。

1.2 本文主要研究内容

本文主要通过对 NB-IoT 的关键技术进行分析，并通过对其规划、组网策略的研究，以及对工程建设中采取的解决方案的优劣势对比分析，给出移动公司建设的最优建议。并跟踪研究 NB-IoT 在智慧城市等众多智慧应用的情况。

- （1） 物联网各种技术对比分析，论证为何选择 NB-IoT；
- （2） NB-IoT 关键技术研究；
- （3） NB-IoT 规划组网方案；
- （4） 基于 GSM 利旧的建设方案；
- （5） 在智慧城市、智慧农业、智慧路灯等场景下的经典物联网应用案例；
- （6） 5G 时代来临之际，物联网的后续发展所面临的机遇与挑战、以及对未来的展望。

第二章 相关背景知识介绍

物联网是互联网的应用拓展,与其说物联网是网络,不如说物联网是业务和应用。因此,应用创新是物联网发展的核心,以用户体验为核心的创新 2.0 是物联网发展的灵魂。^[1]

2.1 物联网的定义

1999 年,美国的麻省理工学院(MIT) 创办的“自动识别中心(Auto-ID)”,首次提出物联网的概念: 即把所有物品都可以通过射频识别等信息传感手段,与互联网进行连接,以实现智能化的识别和管理功能。

2005 年,国际电信联盟(ITU)发布了《ITU 互联网报告 2005: 物联网》,文中提及: 物联网主要解决物品与物品(Thing to Thing,T2T),人与物品 (Human to Thing,H2T),人与人 (Human to Human,H2H)之间的互连。物联网是通过射频识别 RFID、智能计算等技术实现全世界设备或者物品之间互连的网络。

2008 年,欧委会的 CERP-IOT 工程,为物联网重新进行了定义: 物联网是物理实体和数字世界融合的网络,从此每个物理实体都有了一个数字的身份; 物体具有上下文感知能力——他们可以感知、沟通与互动。他们对待物理事件进行即时反映,对物理实体的信息进行即时通信,使得实时给出决定成为可能。Wikipedia(网络维基百科全书): 所谓“物联网”(Internet of Things),指的就是将各种信息传感装置,如射频识别 (RFID)、红外感应器设备、全球定位系统、激光扫描器等各种装置与互联网结合起来而形成的一个巨大网络。

“感知中国”中心: 2009 年 8 月 7 日,温家宝总理到无锡视察,在中科院高新微纳传感网工程技术研发中心考察,提出建设“感知中国”中心; 2009 年 11 月 13 日,国务院正式批准,同意支持无锡建设国家传感网创新示范区(国家传感信息中心)。

2010 年政府工作报告中对物联网的定义: 通过信息传感设备,按照约定的协议; 把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和通讯; 以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。^[1-4]

2.2 物联网国内外发展状况

如图 2-1 所示, 2030 年, 全球物联网设备连接数将接近千亿, 中国即将超过 200 亿。未

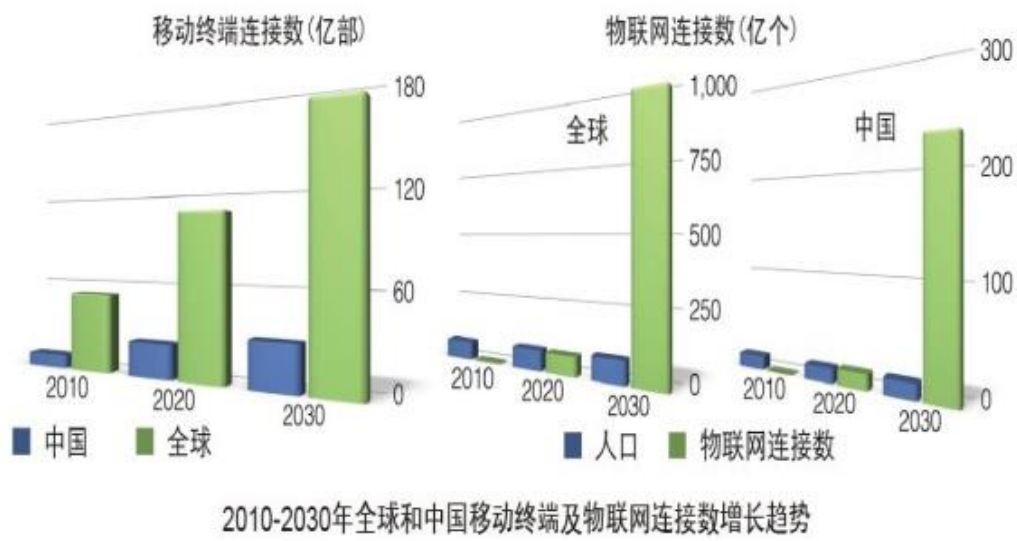


图 2.1 未来移动终端及物联网连接数发展趋势

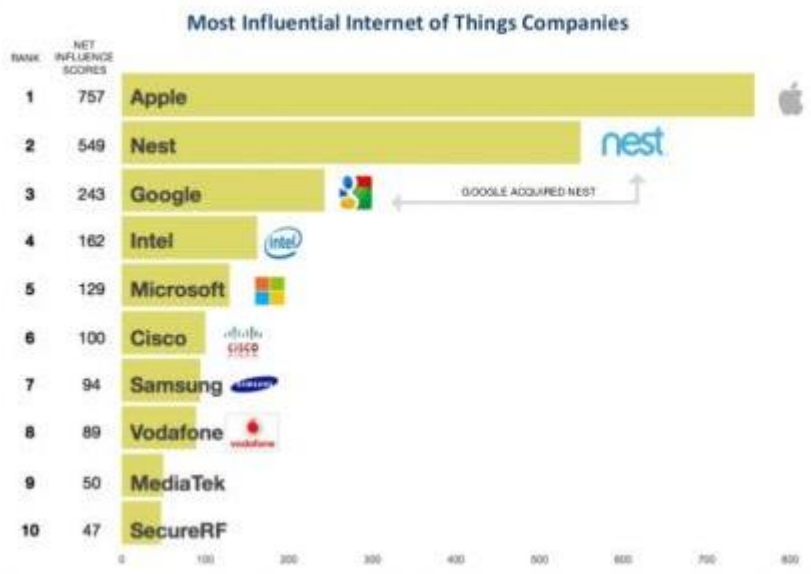


图 2.2 十大最有影响力的物联网公司

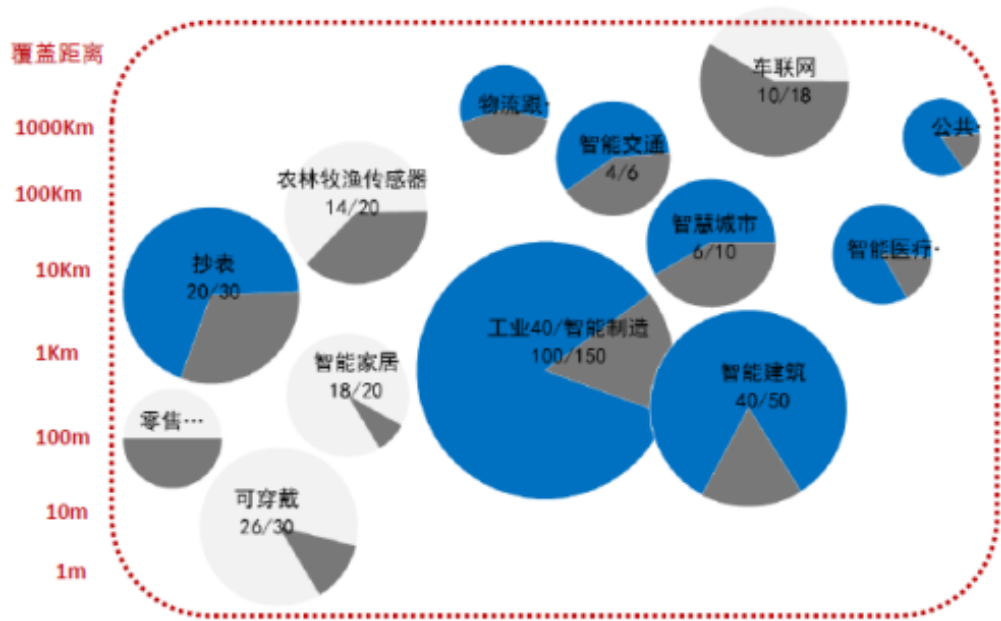


图 2.3 物联网应用场景分布

由图 2-2、图 2-3 可以看出，从全球物联网发展来看，物联网主要集中在交通运输、物流快递、智能家居和智慧医疗。这四个方面，应该说已经占到了整个市场份额 80%以上。

尽管物联网终端出货量每年有 30%复合增长率，但物联网产业规模最具影响力的是 IT 制造业，电信运营商只占据很少份额

2015 年到 2020 年进半智能化传感网阶段；2020 年后，产业整合进入新阶段，物联网实现和生活的充分融合。

可以预见，未来物联网将成为运营商收入的主要来源。语音收入见顶，由于 4G 的大力建设，数据业务支撑运营商收入进入新的巅峰；未来新业务收入将成为第三个波峰，而物联网将是重要的载体。

2.2.1 发达国家的物联网战略布局

(1) 美国、欧盟：重塑制造业优势：

美国：陆续提出了先进制造的伙伴计划、以及先进制造强国的战略计划；CPS 被收入美国总统创新计划之中；GE 等 10 家企业与 NIST 合作参与工业互联网标准框架的制定之中。

欧盟：设立“地平线 2020”科技计划，投入近 2 万亿欧元。2015 年欧盟重构物联网创新联盟，在量子传感器、智能交通、下一代处理器出台系列政策。特别是德国，推出了工业 4.0。

（2）日本、韩国：政府布局技术研发：

为了再造经济社会新功能，日本决定整合物联网技术与其他新兴技术进行突破。日本发布 AIP 项目，整合人工智能、物联网、大数据等相关技术。实施日本再兴战略，在发展智能交通、购物、养老等行业进行再造。

韩国：“ICTWAVE”将物联网列入 10 大关键技术之一；2014 年 5 月科技部和 MSIP 设立 IoT 创新中心。2016 年将智慧城市列入国家战略项目，韩国大邱市与三星、运营商提出打造物联网城市。

2.2.2 中国物联网发展环境及政策支撑

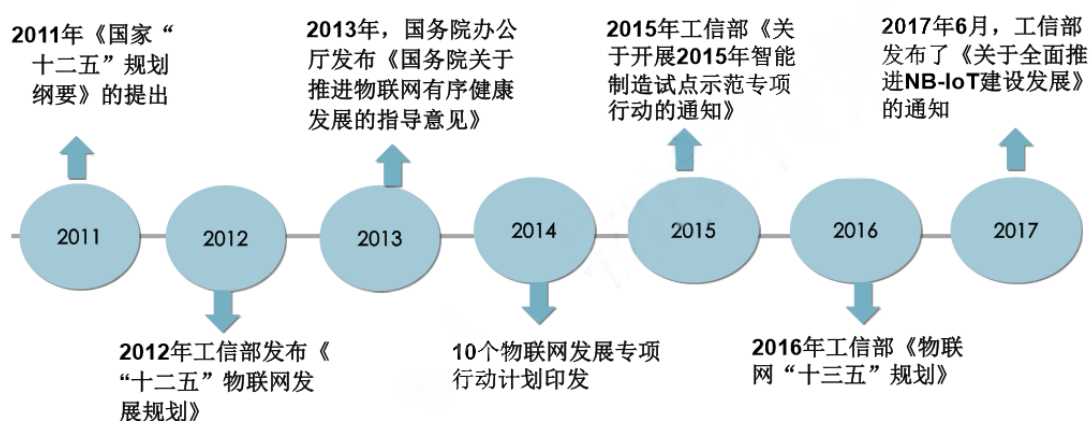


图 2.4 中国物联网政策演进

2016 年工信部发布了《物联网“十三五”规划》，2017 年 6 月，工信部发布了《关于全面推进 NB-IoT 建设发展的通知》，可以看到，中国物联网健康发展的政策环境日趋完善。

2.3 多种物联网技术指标对比及演进路径

目前的物联网应用主要由 2/4G 网络承载，但是现有的接入方式的无法满足物联超强覆盖、超低功耗、超低成本及超大连接的核心要求，随着物联网业务的发展这一问题将越发凸显。当前的物联网存在以下痛点：终端功耗过高、终端成本高、无法满足海量终端应用需求、部分场景可能存在网络覆盖不足，例如：室内的无线抄表、边远地区的环境监控等；目前通过 2/4G 网络在技术能力及成本方面不能高效率的承载物联网业务，同时也严重限制了物联网业务进一步的发展。故需要向低速率物联网方向探索。

低速率物联网无线通讯技术按照传输距离可以分为两类：一类是短距离的无线通讯技术，如 Zigbee、Wi-Fi、蓝牙、Z-Wave 等；另一类是覆盖范围相对较广的 LPWA 技术。其中，LPWA

又可以分为两类：一类工作在非授权频谱，如 LoRa、SigFox 等； 另一类工作在授权频谱，如 NB-IoT、eMTC(Cat.M)、 EC-GSM、 Cat.1、 Cat.0 等。各 LPWA 技术的覆盖范围及速率等特性如图 2.5 所示； [5]

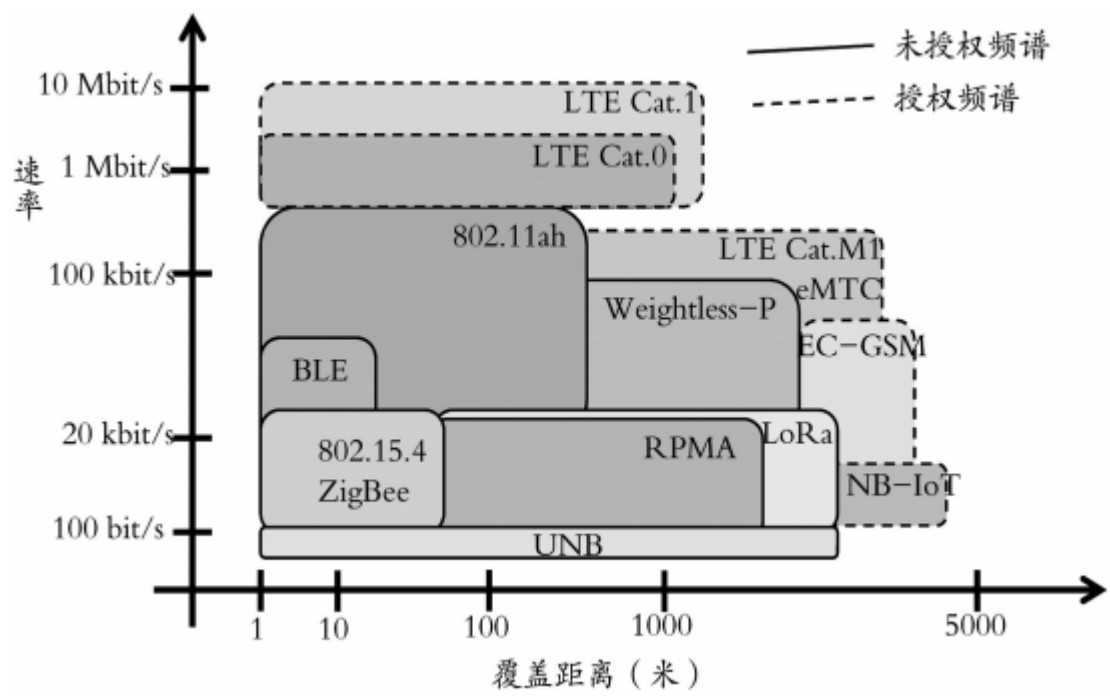


图 2.5 各 LPWA 技术的覆盖范围及速率等特性对比

不同技术适合不同业务，其网络性能及覆盖能力也有优较大差别。如表 2.1 所示：

表 2.1 短距离无线技术和广覆盖无线网技术业务分类

| 按覆盖举例分类 | 按速率分类 | 技术名称 | 典型业务 |
|----------|-------|-------------|-----------------------|
| 短距离无线网技术 | 低速率 | Zigbee | 工业应用，智能抄表 |
| | | Z-Wave | 智能家居 |
| | 中高速率 | WiFi | 智能家居 |
| | | 蓝牙 | 可穿戴 |
| | | UWB | 无绳电话、位置测定 |
| 广覆盖无线网技术 | 低速率 | LoRa | 智能抄表，资产追踪，环境监测，工业物联网等 |
| | | Sigfox | |
| | | NB-IoT | |
| | | 2G | |
| | 中高速率 | e-MTC | 电梯卫士 |
| | | 4G, 4G+, 5G | 视频监控，VR 等 |

短距离无线网技术存在以下缺点，覆盖能力弱，一般在几十米到百米范围；自组织网络，一般需采用多级组网方案，网络配置负责，维护/使用门槛高；使用非授权频段，存在干扰及

安全问题；不是切入物联网的最佳选择。由于 GSM 需要进行频率的重耕，而 Cat.1 和 Cat.0 模组成本相对偏高，因此，基于成本考虑，后续仅考虑 NB-IoT 的技术指标。

2.3.1 多种物联网技术对比

表 2.2 多种物联网技术产业链对比

| | LTE-M(Cat1/Cat0/eMTC) | NB IoT | LoRa | Sigfox |
|------|--|---|--------------------------------------|---|
| 标准组织 | 3GPP R11/R12/R13 | 3GPP R13 | LoRa 联盟 | SNO (SIGFOX Network Operator) 战略合作计划 |
| 运营商 | 国际 Vodafone 等主要运营商 国内三家运营商 | 国际 Vodafone 等主要运营商 国内三家运营商 | 最初法国小运营商部署 | 西班牙 Telefonica、法国 GDF Suez、日本电信运营商 NTT Docomo、韩国电信运营商 SK Telecom 法国的 Air Liguid |
| 设备商 | 大型设备商，如中兴/华为/爱立信/诺基亚等 | 大型设备商，如中兴/华为/爱立信/诺基亚等 | 中兴/中小厂商 | 中小厂商 |
| 芯片商 | 高通、华为、中兴微等 | 高通、Intel、中兴微、海思等 | Semtech、TI 等 | 德州仪器、Atmelcorp、Siliconlaboratories 和 TelitCommunications Plc 等公司 |
| 典型业务 | 智能电网、车辆管理、地震检测等 | 无线抄表、工农业设备状态监控、物流监控等 | 无线抄表、停车场应用等 | 无线抄表、可穿戴设备等 |
| 频谱 | 授权频谱，同 LTE | 授权频谱，如 Band1/3/5/8/12/13/17/19/20/26/28 | 非授权频谱 (<1GHz)，如 433MHz 和 900M 非授权频谱 | 非授权频谱 (<1GHz) |
| 商用进程 | R11 Cat1 已商用 R12 Cat0 暂未商用 R13 CatM 标准 16Q2 冻结 | 在 2016 年 Q2 标准化冻结；Q3 性能部分冻结；Q4 开始商用测试 | 目前已经开始规模商用，包括 Orange 在法国建网、韩国 SKT 建网 | 目前已经在法国全部部署 Sigfox 的网络覆盖法国、西班牙、荷兰和英国的 10 个大城市 |

LTE-M 在覆盖和电池容量等方面，比不了 LoRa 和 sigfox 技术，因为 LTE-M 的速率还是比较高的，相对的芯片就复杂，终端成本就比较贵，电池耐用度也达不到要求；

而 NB-IoT 是可以和 Lora、sigfox 来进行竞争的，NB-IoT 和 LoRa 技术相对，覆盖上来讲差别不大，MCL 最大值可以到 164dB（也有说法 LoRa 的 MCL 只能到 160dB），这里 MCL=发射机功率-接收机灵敏度；

表 2.3 多种技术性能和组网对比

| | LTE-M (Cat1/Cat0/eMTC) | NB IoT | LoRa | Sigfox |
|-------|--|--|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 信道带宽 | Cat1 和 Cat0 全带宽 CatM 1.4MHz | 200KHz | 7.8KHz-500KHz 多种 带宽 | 100KHz |
| 调制方式 | 下行: OFDMA 上行: SC-FDMA | 下行: OFDMA 上行: SC-FDMA | LoRa(线性扩频调制) | 上行: DBPSK 下行: GFSK |
| 峰值速率 | Cat1 最大 10Mbps Cat0 最大 1Mbps CatM 最大 1Mbps | 下行 (SA 和 GB) 226.6kbps/(IB) 250kbps 上行 Multi-tone 250kbps 上行 single-tone 261.6kbps | 37.5kbps | 上行: 100bps 下行: 600bps |
| 典型容量 | - | 50K | 2K-50K | 11.7K |
| 覆盖距离 | Cat1/Cat0 与 LTE 相同 Cat-M 覆盖增强 | 城区: 1-8km 郊区: 最大 25km | 城区: 2-5km 郊区: 最大到 15km | 城区: 3-10km 郊区: 30-50km |
| 电池寿命 | >10 年 | >10 年 | >10 年 | 8-20 年 |
| 模块成本 | - | <5\$/Node | 2\$-5\$/Node | 2\$-5\$/Node |
| 发射功率 | 23dBm | 23dBm | 20dBm | 20dBm |
| 频谱安全性 | 授权频谱, 具备成熟的核 心网认证鉴权, 安全性很 高 | 授权频谱, 具备成熟的核 心网认证鉴权, 安全性很 高 | 非授权频谱, 用户认 证鉴权由应用层完 成, 安全性低 | 国内无可用频谱, 用 户认证鉴权由应用层 完成, 安全性低 |
| 建网成本 | LTE 频谱和共址站点, 成 本低 | 可复用 LTE 频谱和共址站 点, 成本低 | 独立新建网络 | 独立新建网络, 成本 较大 |
| 运营模式 | 运营商经营完全管控, 广 域物联 | 运营商经营完全管控, 广 域物联 | 运营商不能安全管 控, 多个局域网运营 | Sigfox 建网, 与运营 商等合作运营 |
| 干扰可控性 | 有网络规划, 干扰可控 | 有网络规划, 干扰可控 | 大规模商用时, 干扰 不可控 | 大规模商用时, 干扰 不可控 |

由表 2.2 的对标分析可知, 使用授权频谱的 NB-IoT 的覆盖能力最强, 且使用授权频谱的网络安全性更强, 蜂窝式部署更便于网络管理和大范围覆盖, 从网络覆盖、容量、功耗、成本等角度来看, NB-IoT 可以抗衡 LoRa, 因此, NB-IoT 是海量物联网无线通讯的最佳选择。

2.3.2 NB-IoT 演进路径

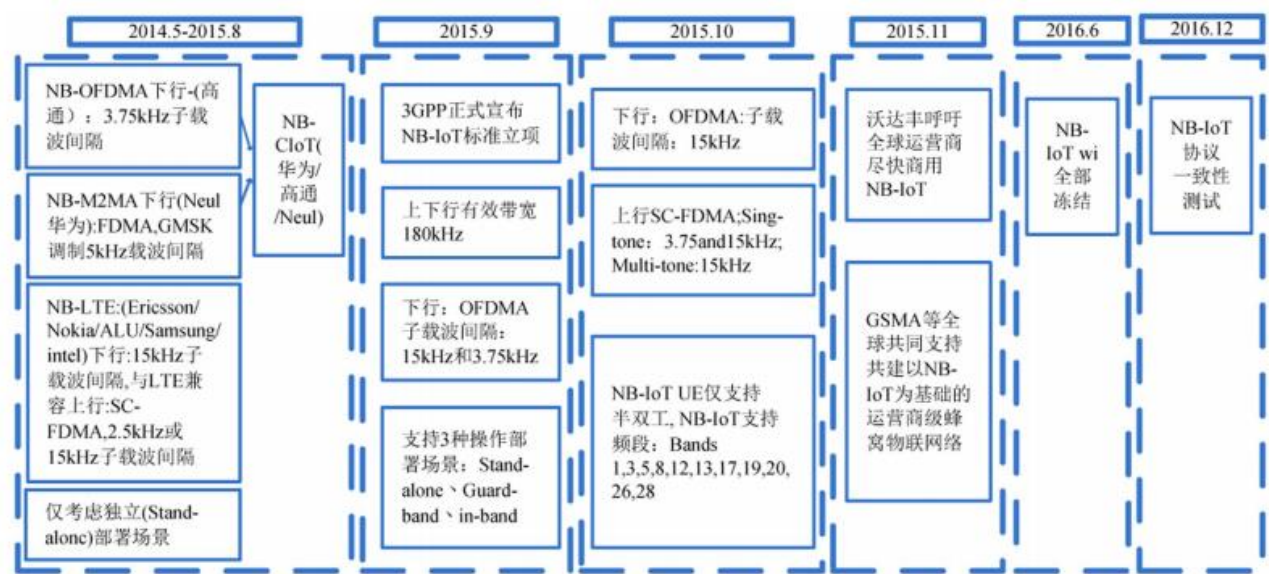


图 2.6 NB-IoT 演进路径

由标准组织 3GPP (第三代合作伙伴计划, 3rd Generation Partnership Project)制定。2014 年 5 月,华为提出 NB-M2M 技术,并于 2015 年 5 月 与 NB-OFDMA 融合形成 NB-CIoT; 同年 9 月, NB-CIoT 与 NB-LTE 融合形成 NB-IoT; 2016 年 3 月, NB-IoT Wi 核心冻结; 2016 年 6 月 16 日, NB-IoT 规范全部冻结,标 准化工作完成。NB-IoT 标准被称为史上建立最快的 3GPP 标准之一, 其从立项到协议冻结仅用时不到 8 个月的时间。 在 2016 年 12 月完成一致性测试后, NB-IoT 即可实现商用。具体技术演进路径详情如图 2.6 所示。[6]

2.4 本章小结

通过对物联网发展的形势分析, 物联网的发展已经进入了风口期, 运营商都在考虑如何提前布局, 如何更好的培育市场, 都在努力寻找新的收入增长点。三大运营商的策略布局如下:



图 2.7 中国电信物联网建设策略

中国电信：2017 年完成全国覆盖，具备 NB 商用能力；成立天翼物联产业联盟，积极探索新业务。

部署策略：L800、NB800 同步到位，NB-IoT 于 L800M 全网升级，快速部署 2017 年实现商用；2018 年考虑 1.8G 或 2.1G 引入 eMTC。

部署规模：2017 年 6 月完成 31 万 L800（2T4R）新建，要求设备支持 NB-IoT。现网厂家 L800 基站通过升级支持 NB，不需增加新硬件。全国对标 36 城市 L800 共 76900 站完成升级，2017 年收展 2800 万连接数。



图 2.8 中国联通物联网建设策略

中国联通：利用 FDD 网络储备 NB-IoT 能力， 2016 年 9 个城市试点，2017 年完成商业部署，积极探索业务和商业模式。

部署策略：打造统一运营的多频多制式中低速物联网络，采用 900MHz、1800MHz 混合组网，以 1800M 升级为主的策略优先部署 NB-IoT，适时引入 eMTC。

部署规模：“NB1800 为主 + NB900 为辅”，规划建设 4.6 万 NB 站；

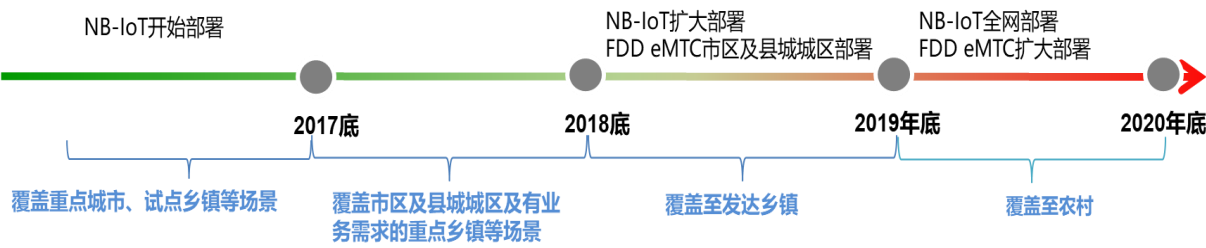


图 2.9 中国移动物联网建设策略

中国移动：假设 2018 年初拿到 FDD 牌照，规划前中期针对低性能 LPWA 业务，分阶段部署 NB-IoT 网络，后期针对中高速业务需求，并结合 FDD 牌照发放，在重点区域小范围部署 FDD eMTC，与 FDD LTE 协同建设。

建设方案：前期无 FDD 牌照时，物联网建设同步为 FDD 做好储备；中后期建设与 FDD 协同考虑，FDD 建设完成后软件开通 NB-IoT。

而通过对多种物联网技术的关键指标对比分析，从网络覆盖、容量、功耗、成本等角度来看，NB-IoT 是 3GPP 专为运营商定制的 LPWA 蜂窝解决方案；

NB-IoT 采用超窄带技术、重复传输和精简的网络协议等设计，以牺牲稳定的速率、时间延迟、移动性能，来获得面向 LPWA 物联网的承载能力。

NB-IoT 仅仅占用 200kHz 带宽，易于 2G 网络退频清退和网络升级支持，同时单载波的带宽采用 15/3.75kHz(与 LTE 子载波相同或 1/4)，可以独立部署，或可以与 LTE 共载部署；NB-IoT 首先要满足连接性的要求，远期还可以进一步升级满足 5G 未来需求，成为 5G 的一部分。

由此得出结论，NB-IoT 是窄带蜂窝物联网的最佳选择。

第三章 NB-IoT 关键技术及组网规划

本章主要介绍 NB-IoT 在强覆盖、大连接、低成本、低功耗等方面的关键技术指标分析，并针对网络架构规划、1：N 组网规划给出解决方案。

(1) NB-IoT 主要技术特点

NB-IoT 是在 LTE 网络架构的基础上发展起来的，主要采用了 LTE 的相关核心技术手段，并根据 NB-IoT 的特点做出相应调整和修改。

NB-IoT 的物理层，射频带宽为 200 kHz，采用正交相移键控（QPSK）调制解调器作为下行链路主要技术，同时使用正交频分多址（OFDMA）技术，两个子载波间隔 15 kHz；上行链路采用二进制相移键控（BPSK）或采用 QPSK 调制解调器，且采用单载波频分多址（SC-FDMA）技术，其中包含单子载波和多子载波两种。单子载波技术的子载波间隔为 3.75 kHz 和 15 kHz 两种，可以适应超低速率和超低功耗的 IoT 终端。多子载波技术的子载波间隔为 15 kHz，可以提供更高的速率需求。

NB-IoT 的高层协议（物理层以上）是基于 LTE 标准制订的，对多连接、低功耗和少数据的特性进行了部分修改。

NB-IoT 的核心网基于 S1 接口进行连接。

(2) NB-IoT 的频谱资源

IoT 是未来通信服务市场的核心增量用户群，中国三大电信运营商对 NB-IoT 的发展都很支持，各自都划分了 NB-IoT 的频谱资源，具体如下表所示。其中联通已经开通了 NB-IoT 的商用网络。

表 3.1 三大运营商 NB-IoT 频谱资源

| 运营商 | 上行频率（MHz） | 下行频率（MHz） | 频宽（MHz） |
|------|-----------|-----------|---------|
| 中国联通 | 909-915 | 954-960 | 6 |
| | 1745-1765 | 1840-1860 | 20 |
| 中国移动 | 890-900 | 934-944 | 10 |
| | 1725-1735 | 1820-1830 | 10 |
| 中国电信 | 825-840 | 870-885 | 15 |

(3) NB-IoT 的部署

根据 NB-IoT 立项中 RP-151621 的规定，NB-IoT 支持 3 种部署场景如下图所示。

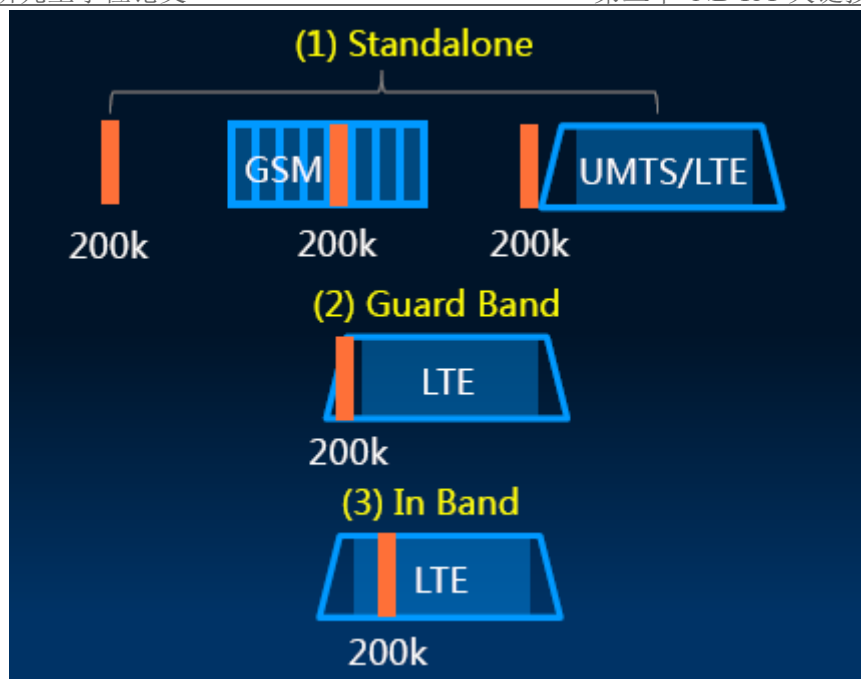


图 3.1 NB-IoT 所支持的 3 种部署场景

NB-IoT 所支持的 3 种部署场景分别是

独立部署，即 stand-alone 模式，利用独立的频带，与 LTE 中的频带不重叠；

保护带部署，即 Guard-band 模式，利用 LTE 频带中边缘频带；

带内部署，即 In-band 模式，利用 LTE 频带进行部署。

(4) NB-IoT 的组网

NB-IoT 组网，主要分成了如下所述的 5 个部分。

NB-IoT 终端：支持各行业的 IoT 设备接入，只需要安装相应的 SIM 卡就可以接入到 NB-IoT 的网络中；

NB-IoT 基站：主要是指运营商已开通的 LTE 基站，从部署方式来讲，主要有上面介绍的 3 种方式；

NB-IoT 核心网：NB-IoT 基站、NB-IoT 云直接通过 NB-IoT 核心网进行连接；

NB-IoT 云平台：在 NB-IoT 云平台可以完成各类业务的处理，并将处理后的结果转发到垂直行业中心或 NB-IoT 终端；

垂直行业中心：垂直行业中心既可以获取到本中心的 NB-IoT 业务数据，也可以完成对 NB-IoT 终端的控制。

3.1 NB-IoT 关键技术

3.1.1 NB-IoT 关键技术：强覆盖

如图 3.1 所示，F-OFDM 一方面保留了 OFDM(正交频分复用技术，Orthogonal Frequency Division Multiplexing)灵活分配资源的优点，另一方面再借助 AMC 技术以及多用户的调度机制，边缘速率可以获得较大提升。

F-OFDM 使用滤波技术可以有效平抑带外泄露，降低邻道之间的干扰，同时也更轻易的实现窄带 PSD 提升。

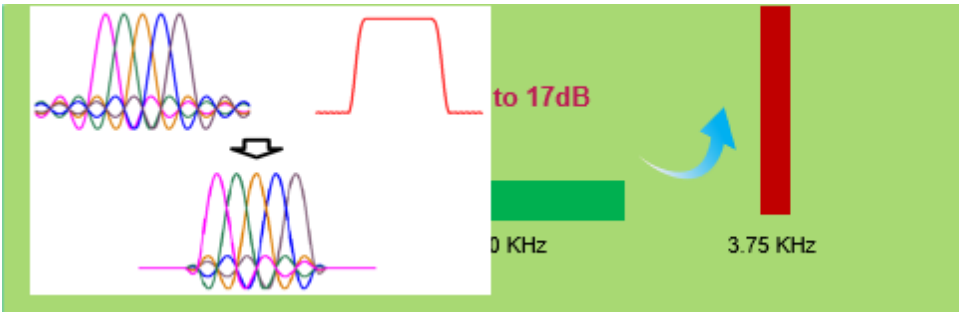


图 3.2 Filter OFDM 窄带技术，更容易获得 PSD 增益

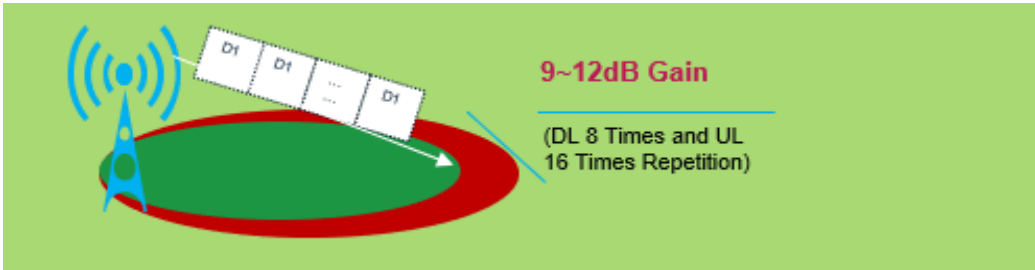


图 3.3 重复与时间分集技术

Repetition Gain=10log Repetition Times

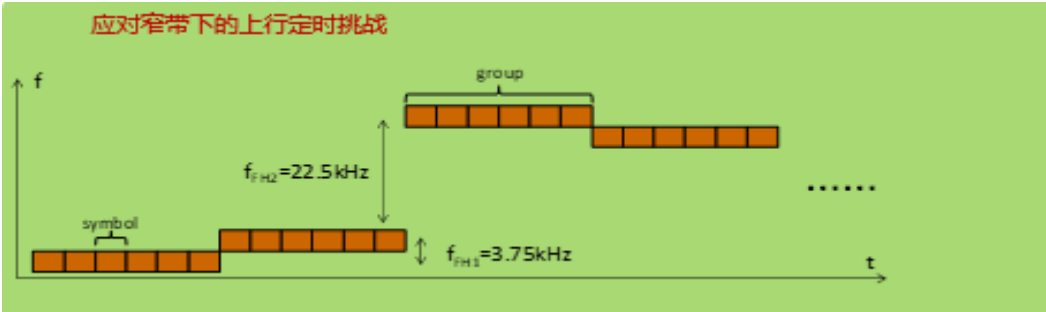


图 3.4 窄带跳频技术（PRACH）

如图 3.3 所示，使用 PRACH 跳频技术，应对窄带下定时精度的挑战（TA 测不准，带宽越窄，误差影响越大），解决窄带上行同步问题；

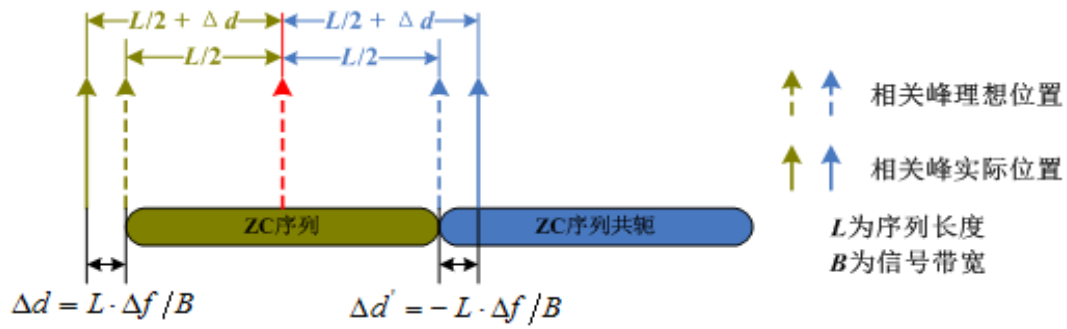


图 3.5 共轭双序列同步信号，对抗窄带频偏（PSCH）

如图 3.4 所示，应对窄带下的下行频偏挑战，使用共轭双序列同步技术，通过两个相关峰偏移量估计，得到载波频偏，解决窄带下行同步精度问题。

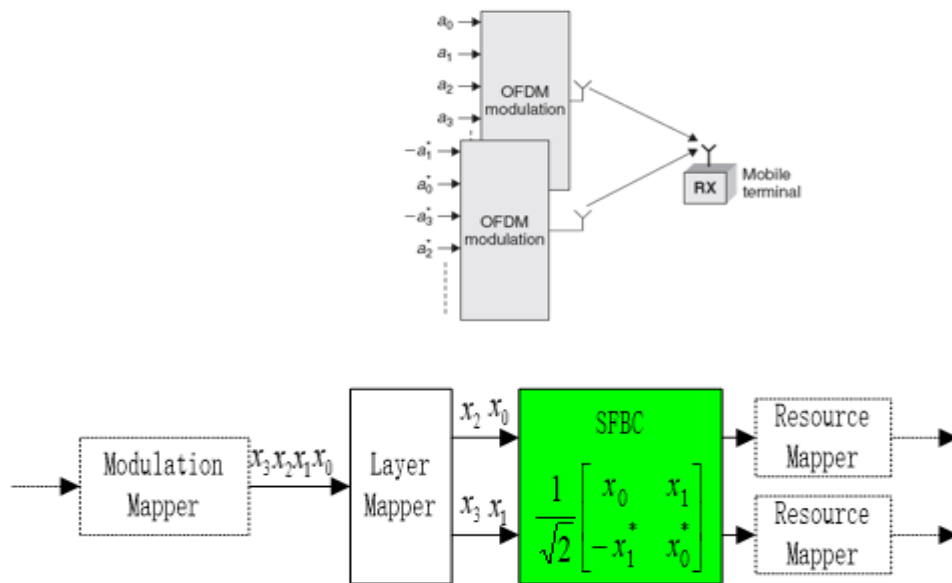


图 3.6 4T SFBC/FSTD

如图 3.5 所示，4T 的情况下，所有 RRU 均发射 NB-IoT 信号，并通过端口映射、SFBC 与 FSTD 技术，获得阵列增益与发射分集增益，通过不同发射天线的错峰处理降低小尺度衰落影响，改善覆盖性能。

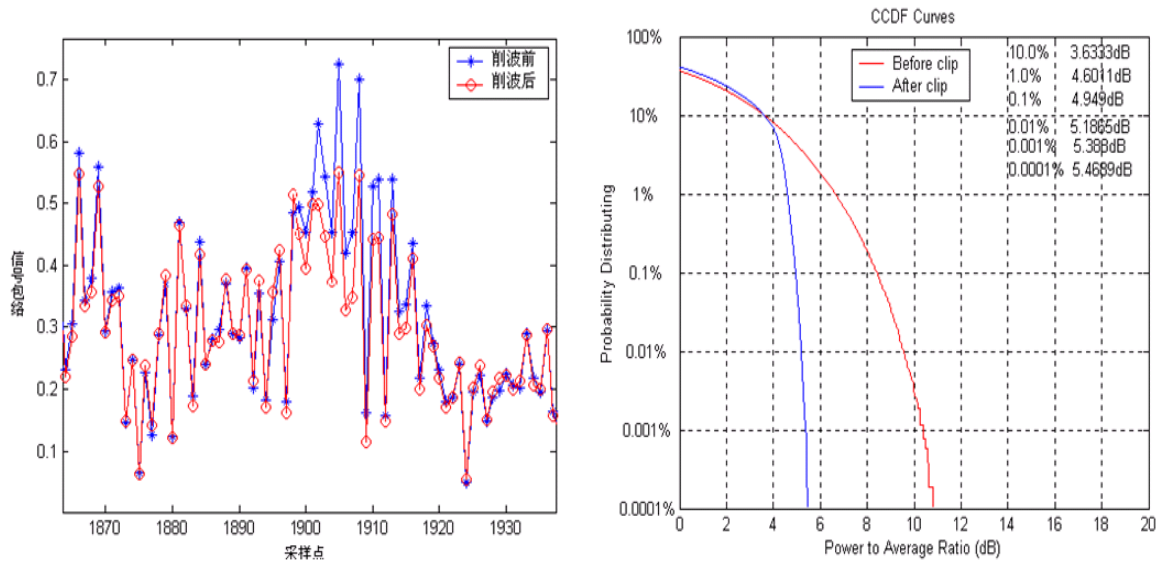


图 3.7 Turbo Power

如图 3.6 所示，通过 AWPC 数字削波算法，结合 LTE 调度算法，降低 EVM 影响，相同 EVM 情况下输出更多的功率，提升下行覆盖；



图 3.8 UL 4R Receive

如图 3.7 所示，4R 情况下通过上行干扰抑制接收机进一步提升覆盖；

| 服务信号和协作信号的接收功率差异(dB) | 合并增益(dB) |
|----------------------|----------|
| 0 | 3.01 |
| 3 | 1.76 |
| 6 | 0.97 |
| 7 | 0.79 |
| 8 | 0.64 |
| 20 | 0.04 |

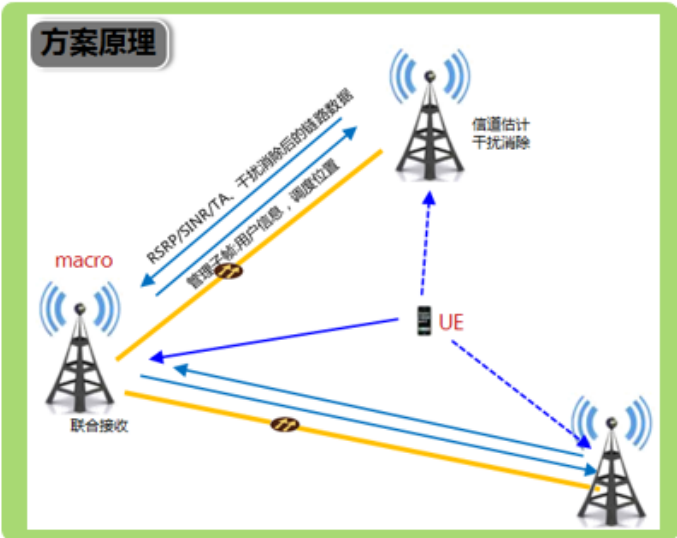


图 3.9 UL 联合接收

如图 3.8 所示，M2M 业务的低时延特征，更容易获得联合接收增益；

3.1.2 NB-IoT 关键技术：大连接

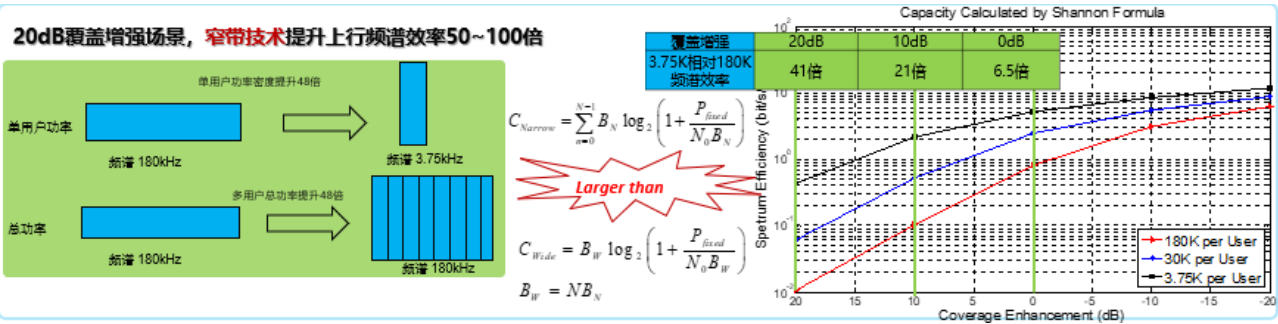


图 3.10 20dB 覆盖增强，频谱效率提升

无用户面连接接入(CP 方案)：引入一种新的全部网络的承载架构，业务流程重新设计，显著降低空口信令开销 40%+,小包物联网业务容量倍增。

窄带物联网基于物联网业务特征，在空口实现无 TA 传输的业务保持；上行控制信道不会成为瓶颈，连用户数显著增加。

组接入 (FFS)：引入组组接入技术，降低 RACH 拥塞，组内用户时分复用随机接入资源，从而减小海量用户接入对于随机接入资源的需求，以及降低网络拥塞，可以保证更多 UE 的接入，实现海量用户同时在线。

3.1.3 NB-IoT 关键技术：低成本

NB-IoT 通过新物理层方案，降低器件复杂度，低数据速率：芯片缓存小、电路与 DSP 配置复杂度降低；低带宽：不需要复杂均衡算法，芯片复杂度低。如表 3.1 所示：

表 3.2 NB-IoT 新物理层方案

| 物理层设计 | 下行 | 上行 |
|----------|-------|---------------|
| 多址技术 | OFDMA | SC-FDMA |
| 子载波带宽 | 15KHz | 3.75KHz/15KHz |
| 发射功率 | 43dBm | 23dBm |
| 帧长度 | 1ms | 1ms |
| TTI 长度 | 1ms | 1ms/8ms |
| SCH 低阶调制 | QPSK | BPSK |
| SCH 高阶调制 | QPSK | QPSK |
| 符号重复最大次数 | 32 | 32 |

通过新空口协议，降低芯片运算开销，物理层信道重新设计：降低基本信道的运算开销

优化协议栈：通过减少芯片协议栈所处理流程的开销，来优化协议栈。如图 3.10 所示；

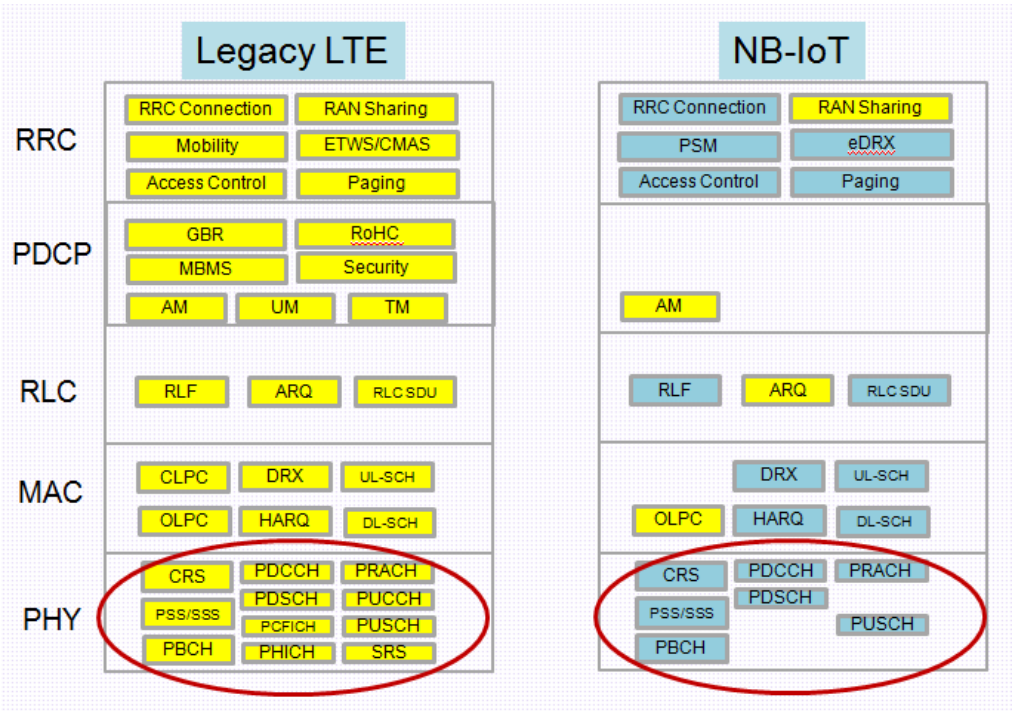


图 3.11 新空口协议

新硬件结构，裁剪不必要的硬件，单天线，半双工：RF 成本低低；低采样率：缓存 Flash/RAM 要求小（28 kByte）；低功率（23dBm）：RF 设计要求低，PA 可以与基带集成 SOC。如图 3.11 所示；

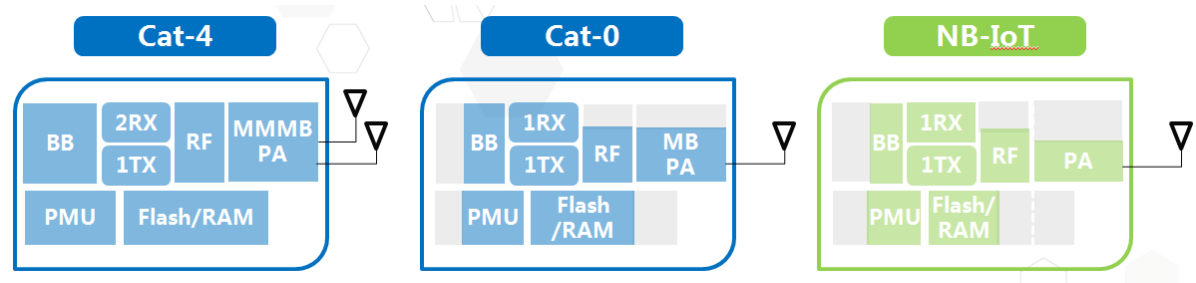


图 3.12 新硬件结构

通过物理层、协议栈和硬件的重新设计，芯片成本降低到 1 美元。

3.1.4 NB-IoT 关键技术：低功耗

如表 3.3 及图 3.13 所示，终端芯片低功耗关键技术包含以下几个方面：

表 3.3 低功耗关键技术说明

| 关键技术 | 说明 |
|-------|--|
| 关键技术1 | PSM（节能模式），终端功耗仅15uW（UE和MME）； |
| 关键技术2 | eDRX（扩展周期不连续接收），减少终端监听网络的频度（UE、基站、和MME）； |
| 关键技术3 | 芯片复杂度降低，工作电流小（UE）； |
| 关键技术4 | 空口信令简化（CP小数据优化传输），减小单次数传功耗（UE、MME和SGW）； |
| 关键技术5 | 减少数据传输开销（ROHC头压缩、Non-IP），减少数传功耗，（ROHC：UE和MME，Non-IP：UE、MME、SGW、PGW）； |
| 关键技术6 | 面向覆盖等级的控制及接入，减少单次的数传时间（UE、基站、和MME）； |
| 关键技术7 | 长周期TAU/RAU，减少终端发送位置更新的次数（UE和MME）； |
| 关键技术8 | 只支持小区选择和重选的移动性管理，减少测量开销（UE） |

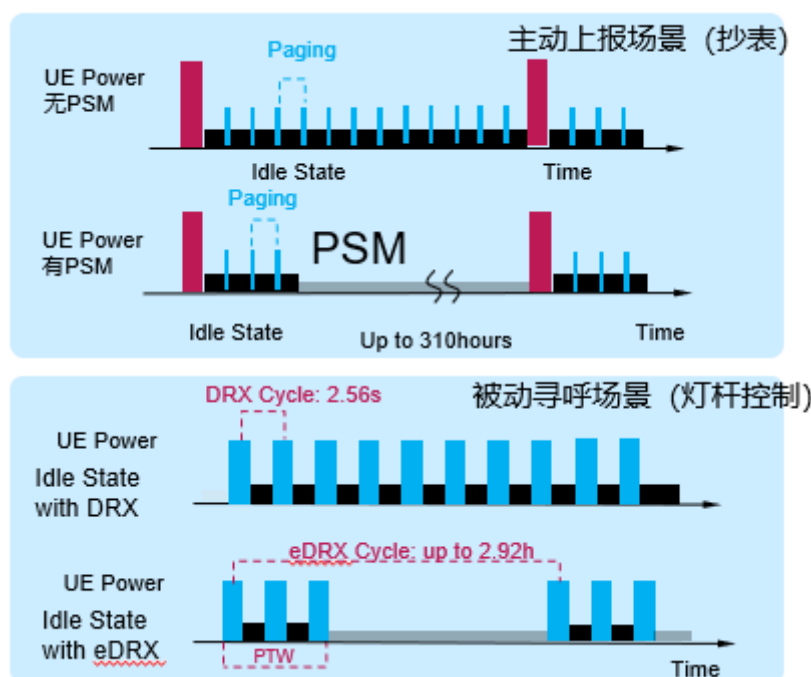


图 3.13 低功耗关键技术

3.2 NB-IoT 组网规划

3.2.1 NB-IoT 网络结构规划

现网规划建设 NB-IoT 原则上不单独新建站点，以 GSM 升级、GSM/TD-LTE 共站新建为主，具体站址的规划以 GSM 900M/GSM 1800M+TD-LTE 全量站址作为 NB-IoT 的站点备选库。GSM 900M/GSM 1800M/TD-LTE 共站址场景，在满足规划目标需求前提下，优选 GSM 900M，次选 GSM 1800M，再次选 TD-LTE（要求同厂家），最后考虑 TD-LTE 共站新建（异厂商）[7]。室分系统建设根据物联网业务发展的实际需求部署，原则上不允许在无业务的场景中部署[8]。

通过合理的站间距来设置站点，既减少弱覆盖，又不至于过覆盖。站址选择尽量平均分布，符合蜂窝结构要求。避免出现过近、过远站。NB-IoT 所采用的的天线不做特殊要求，双

通道天线即可，对于方向角、下倾角，一般应以原 GSM、TD-LTE 为准。特殊情况，可以单独设置电调天线。

3.2.2 NB-IoT 组网规划

NB-IoT 在物理层发送方式、网络结构、信令流程等方面做了简化，在覆盖上提出了在 GSM 基础上增强 23dB 的覆盖目标，即 MCL (MaximumCouplingLoss, 最大耦合路损) 要达到 164dB，主要通过提高功率谱密度、重复发送、低阶调制编制等方式实现。NB-IoT 基于 GSM 站址 1:1 的方式建设，可提供较 GSM 增强 23dB 的深度覆盖能力；基于 1:2 的方式建设，可提供较 GSM 增强 17dB 的深度覆盖能力；基于 LTEFDD 目标网规划站址 1:4 的方式建设，可提供较 GSM 增强 11dB 的深度覆盖能力[5-6]。1:N 组网，1 代表规划 NB-IoT 站点，N 代表现网 GSM 站点，如图 3.13 所示，黄色为 NB-IoT 站点，白色为 GSM 站点，红色虚线框内按照 1:3 配置成一簇。NB-IoT 站间距为 GSM 站点的 1.73 倍，如图 3.14 所示，NB-IoT 站间距为 GSM 站点的 2 倍。^[9]

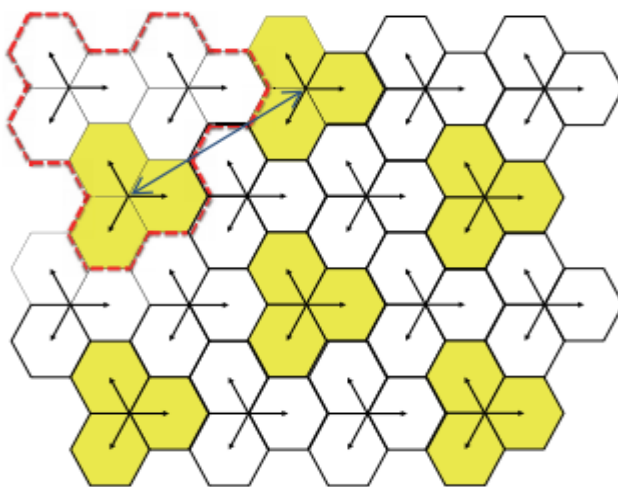


图 3.14 NB-IoT 与 GSM 按照 1:3 组网

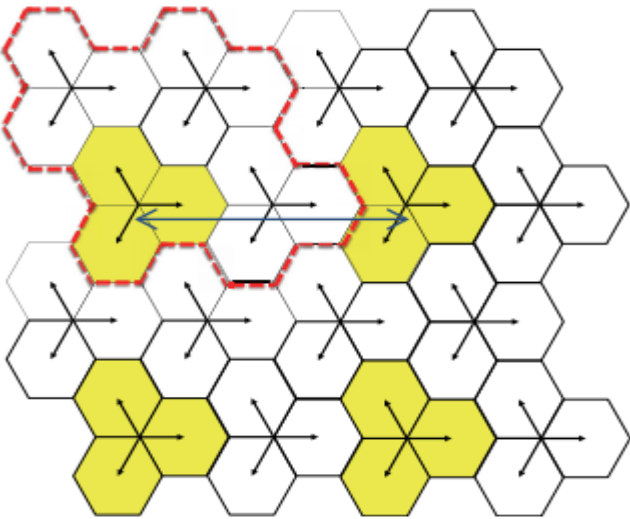


图 3.15 NB-IoT 与 GSM 按照 1:4 组网

表 3.4 1:N/1:1 选择及应用场景探讨

| 场景 | | 1:1 | 1:4 | 1:8 |
|---------|----------------------------------|--------|--------|------|
| | 理论覆盖增益 相对原网 GSM | 20 dB | 10 dB | 3 dB |
| 覆盖率 95% | 室外 RSRP | -87 | -97 | -104 |
| | 室内 RSRP(考虑 20dB 穿损) | -107 | -117 | -124 |
| | 上行边缘速率 (Kbps) | 17 | 1.39 | 0.22 |
| 覆盖率 99% | 室外 RSRP | -95.0 | -105 | / |
| | 室内 RSRP(考虑 20dB 穿损) | -115.0 | -125.0 | |
| | 上行边缘速率 (Kbps) | 2.6 | 0.16 | |
| 覆盖率 99% | 室外 RSRP | -95.0 | / | |
| | 室内 RSRP(考虑 20dB 穿损+10dB 额外损耗) | -125.0 | | |
| | 上行边缘速率 (Kbps) | 0.16 | | |

除了水表等固定的深度覆盖业务，还有宠物跟踪，心率监测等等浅层室内覆盖和移动性的业务，所以一张连续覆盖的网络是开展业务的基础；

(1) 1: N 的模式建网，需要针对不同的业务需求，给出不同的选择建议：

- a) 对于水表抄表等对覆盖率要求高，且同时穿透损耗大的业务，建议 1:1 组网
- b) 对于物流运输、宠物跟踪等主要针对浅层室内覆盖，并且没有额外深度覆盖要

求的业务，覆盖率要大于 99%，建议 1:4 组网

- c) 对于室外路灯杆，宠物室外运动等室外业务，对比 GSM 系统的覆盖率已经大于 99%，可以采用 1:8 或更高 1: N 的组网方式

(2) 1: N 建网面临的主要挑战

- a) 深度覆盖/覆盖率损失，无法达到部分 USECASE 深度覆盖/覆盖率要求。
- b) 存在远近效应干扰影响，需要更多的频谱保护带来规避。
- c) 耗电更高^[10]

3.2.3 GSM 重耕策略

通过对主城区 GSM900 网络退频能力进行细化评估，精确到城区每个网格最大退频带宽，为 NB 部署及 FDD 扩大建设可行性提供决策依据。

(1) 评估原则：

- (a) 为避免网络质量明显劣化，区域频率复用度不低于 18.4；
- (b) 为避免语音感知较大波动，语音利用率不超过 60%；
- (c) 为避免 TBF 拥塞率明显抬升，PDCH 承载效率不超过 17kbps。

(2) 提取 GSM900 单小区数据：

- (a) 提取最近一月 TOP3 语音自忙时业务量，计算其平均值 A；并计算对应该时段的数据业务量平均值 B，单位（MB）；
- (b) 当前配置载频数；
- (c) 当前配置 SDCCH 信道数。

(3) 退频能力测算方法

- (a) 按照 60%语音利用率和语音业务 K 值计算【理论话务量】=A/0.6/1.05；
- (b) 若该小区已充分实施 1800 分流，可直接进入步骤（3）；若该小区未进行 1800 分流，【理论话务量】需减去 1800 可分流的业务量，分流占比自行评估；
- (c) 根据【理论话务量】查询爱尔兰 B 表，按照 1.2%呼损率得到语音业务所需信道数 a；
- (d) 按照 PDCH 承载效率 17kbps 计算数据业务所需信道数 b= B*1024*8/3600/17；
- (e) 单小区所需载频数：

(f) $N = \text{MIN}(\text{配置载频数}, \text{MAX}(2, \text{ROUNDUP}((a+b+\text{配置 SDCCH 信道数}+2)/8, 0)))$ 。

(g) 按照频率复用度门限 18.4 计算网格内最大可退频带宽

(h) $W = [\text{现网可用频点数} - (\text{网格所需载频总数} / \text{小区数}) \times 18.4] \times 0.2$

LTE FDD 900MHz: 应成为 4G 主力底层覆盖网络, 实现连续覆盖, 目前来看, 5G 全新空口将优先会在高频上部署, 低频 LTE FDD 空口会在一定时间内长期存在;

未来 LTE FDD 900MHz 网络宏站覆盖要达到或超过 2G 网络宏站覆盖水平, 具备全面承载 2G 语音业务的能力, 弥补 TD-LTE 在广覆盖和深度覆盖的短板;

LTE FDD 1800MHz: 频率资源丰富, 作为热点区域的容量补充手段, 按需建设; 提升上行能力: 大型集会、演唱会、体育赛事等热点场景, 弥补 TD-LTE 上行网络容量不足的问题。

热点地区容量补充: 在高铁、地铁、高校等高流量场景, TD-LTE 网络容量不足, LTE FDD 1800MHz 的终端成熟, 可部署 LTE FDD 1800MHz 用于容量补充;

室内覆盖: 以 TD-LTE E 频段为主, LTE FDD 1800MHz 作为补充; 在室内分布系统建设到位的情况下, LTE FDD 低频的优势并不明显

E 频段为室内专用频段, 其频谱有 50MHz 频率资源丰富, 室内外异频组网易于干扰控制, 在室内外隔离较好、TD-LTE 容量不足场景和存在室分改造简单合路造成室内 TD-LTE 弱覆盖的场景, 可采用 LTE FDD 1800MHz 作为补充覆盖手段;

3.3 本章小结

通过对 NB-IoT 四大关键技术进行分析研究, 可以得出 NB-IoT 是针对移动物联网特征, 以强覆盖、低功耗、大连接、低成本为出发点, 全新设计空口和核心网技术。NB-IoT 是运营商进入 LPWA 市场的第一技术选择。

- (1) 强覆盖: NB-IoT 通过 F-OFDM, Single-Tone 跳频接入、共轭双序列同步以及有限的重复等技术手段实现窄带物联网接入系统, 有效提升空口覆盖。
- (2) 低功耗: NB-IoT 通过一系列端到端流程优化 (CP) 和空口协议优化 (PSM/eDRX) 来降低功耗。
- (3) 大连接: 通过窄带功率谱密度提升, 空口与全流程协议优化等手段提供海量终端的接入能力。
- (4) 低成本: 通过新的物理层方案, 空口协议, 硬件资源优化, 将芯片成本降低。^[11]

NB-IoT 的规划需要与 FDD 联合组网规划, 整体策略如下: LTE FDD 是同频网络, 不能简单继承 GSM 网络结构, 必须进行重新规划; 蜂窝物联网与 LTE FDD 900MHz 本质上是同

一张网络，需要联合规划；蜂窝物联网必须以 LTE FDD 900MHz 目标网络架构进行规划，实现以终为始，整体规划，分步实施；

- (1) 联合规划：FDD 网络定标，明确 FDD 站间距和站点数量，然后为 NB-IoT 定标，按照 1:N 组网确定其网络目标，确定 NB-IoT 的站间距、站点数量、部署节奏；
- (2) 分步实施：明确 FDD 站点数量，以 FDD 站点库为基础按需选择 NB 站点；整体采用 1:N 建设物联网，满足室外 NB-IoT 业务需求，部分密集城区采用 1:1 建设，优先满足开通 NB-IoT 业务体验；FDD 硬件资源一步到位，作为储备站；已部署 NB 的区域，软件升级快速开通 NF 双模；以 FDD 站点库建设 FDD，同时 1:1 开通 NB-IoT 业务，满足大多数物联网业务的连续覆盖；针对个别弱覆盖区域，采用室内覆盖进行补盲。

NB-IoT 组网规划需考虑覆盖率、覆盖深度、业务速率、容量、功耗等因素，根据目标业务速率，进行网络规划；初期建议（按需建设）：业务孵化区 1:N 连片建设 + 业务确定区 1:1 深度建设，兼顾物联网业务的基础打底需求和深度覆盖需求；

第四章 NB-IoT 建设解决方案

本章通过利旧 GSM 站点、利旧 TDD 站点两种形式的对比分析，得出较优的解决方案，并在此基础上，给出综合全面的建设解决方案。

4.1 利旧 GSM 与利旧 TDD 对比分析

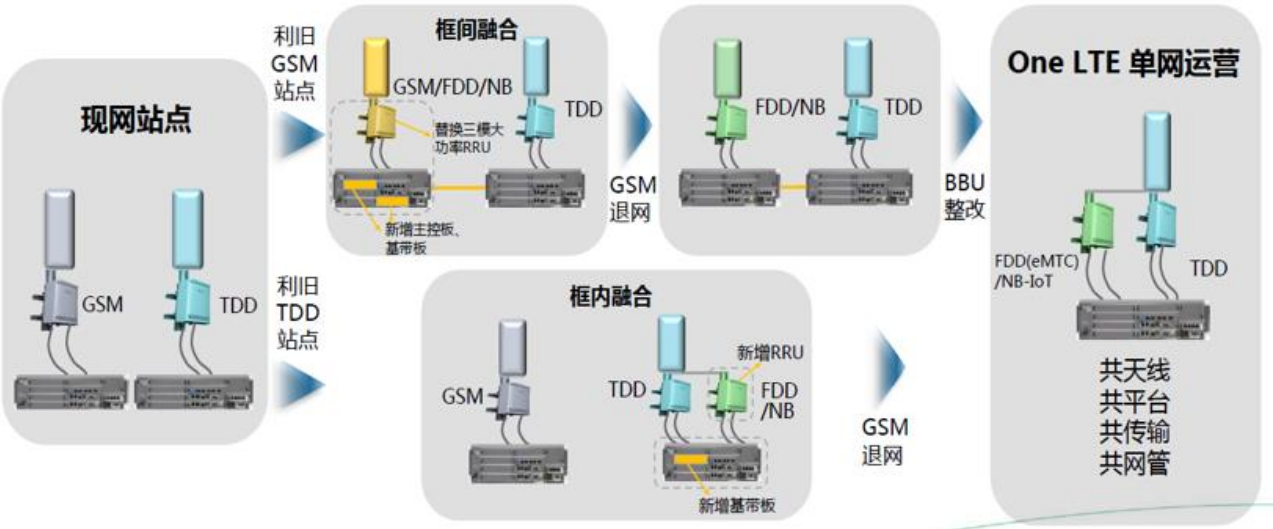


图 4.1 one LTE 演进能力

利旧 GSM 站点，通过框间融合，需要新增主控板、基带板，而 RRU 则需要替换成三模大功率 RRU，而基于 TDD 利旧站点，共 TDD 站点主控板，仅需新增基带板，新增 RRU 即可。不管是基于利旧 GSM 站点，还是利旧 TDD 站点，网络最终的演进方向，终究是为了 5G 切片网络做准备。最终具备共天线、共平台、共传输、共网管的条件。

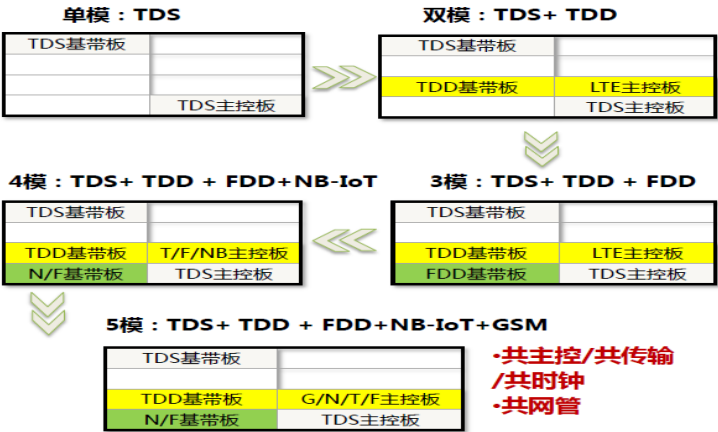


图 4.2 五模 BBU 演进方向

4.1.1 基于 GSM 站点部署 NB-IoT

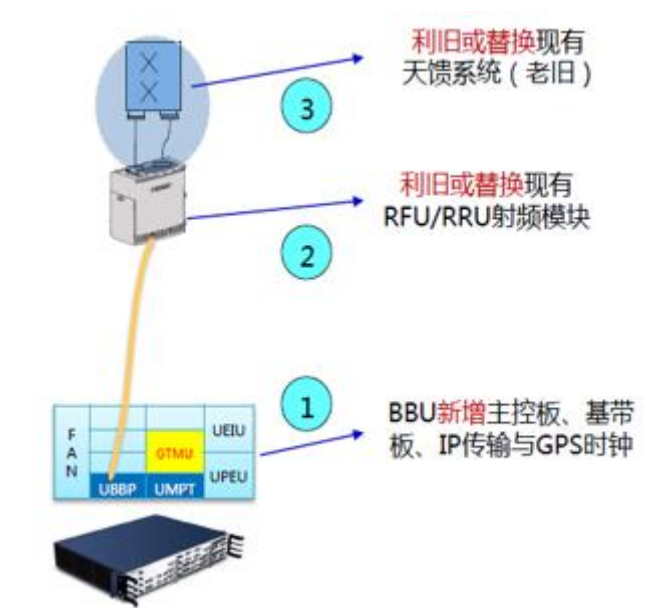


图 4.3 基于 GSM 站点部署 NB-IoT

基于 GSM 站点部署 NB-IoT，射频单元软件升级/替换，BBU 新增主控板、基带板，天馈系统可利旧或替换(天馈系统老旧)。

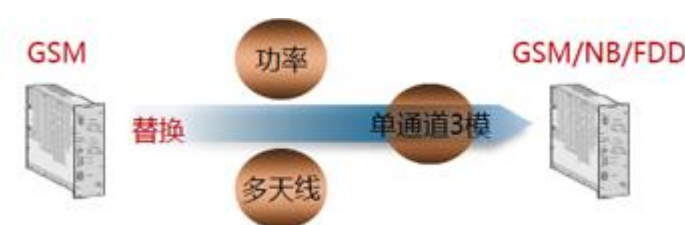


图 4.4 GSM 需替换多模 RRU

考虑后续 FDD 演进，现代化射频模块增加，势必增加 GSM 投资。N/F2 模，功率需求低，一步到位部署 NB 和 FDD；G/N/F 三模，现网模块支持三模演进比例低，未来需要替换 RRU；



图 4.5 1T1R 模块 2*2MIMO 改造

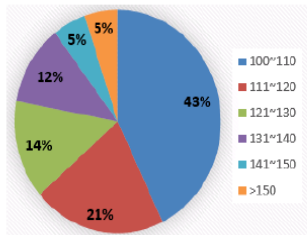
RRU 需要新增 1T2R 模块，或者替换模块，CPRI 接口，增加一个模块场景，需要增加 3 对光纤；现网可直接升级 NB 的模块占比低，考虑未来 FDD 演进，现网模块替换比例高，评估会增加后续 FDD 演进复杂度。

G900和NB互调干扰计算：

| | 起始 (MHz) | 终止 (MHz) |
|--------|------------|------------|
| 上行频率范围 | 890 | 909 |
| 下行频率范围 | 935 | 954 |
| 3阶互调范围 | 916 | 973 |
| 5阶互调范围 | 897 | 992 |
| 7阶互调范围 | 878 | 1011 |

理论计算存在5阶及以上的互调干扰。

杭州调研，移动有超过50%的天馈 互调抑制制度不足120dBc，从GL共天馈测试结果看近33%的小区LTE底噪因为互调干扰恶化5dB以上，GSM和NB共天馈面临同样的问题



| 互调指标 (分贝) | 3阶互调 | |
|---------------|------|-----|
| | 小区值 | 百分比 |
| 互调指标<110 | 32 | 43% |
| 110<=互调指标<120 | 16 | 21% |
| 120<=互调指标<130 | 11 | 14% |
| 130<=互调指标<140 | 10 | 12% |
| 140<=互调指标 | 8 | 10% |

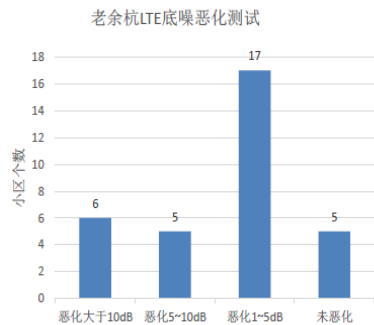


图 4.6 GSM 与 NB 共天馈面临的问题

独立天馈建设，相比共天馈会极大减少互调干扰（独立天馈，天馈间隔离度增加 30dB），GSM 和 NB 共天馈，可能会带来 5~25dB 的干扰抬升。

4.1.2 基于 TDD 站点部署 NB-IoT

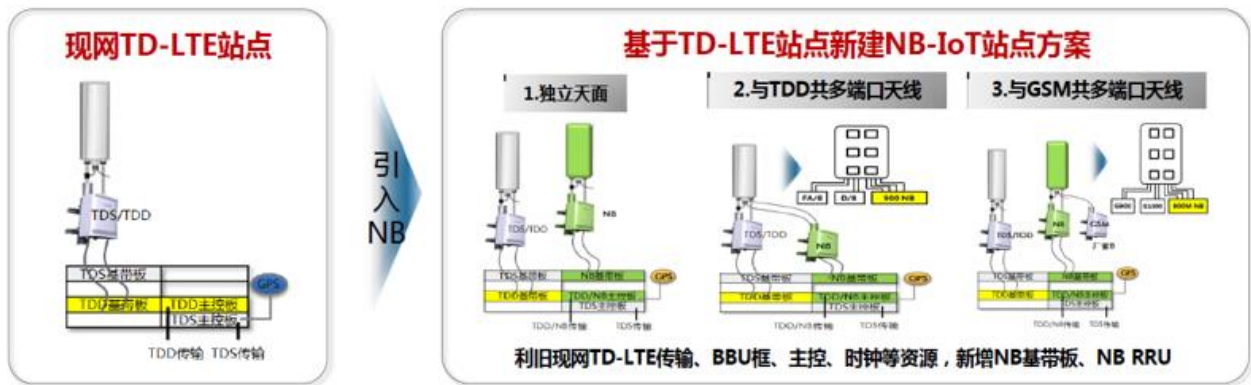


图 4.7 基于 TDD 站点部署 NB-IoT

基于 TDD 站点部署 NB-IoT，可以利旧现网 TD-LTE 传输、BBU 机框、主控板、时钟资源等，新增 NB 基带板、NB RRU；



图 4.8 FDD、NB-IoT(eMTC)共模方案

NB-IoT 网络部署可以提前储备 FDD 硬件能力，支持网络快速部署。天线、RRU、CPRI 接口、基带板、主控板、BBU、传输、网管、核心网可全部共用。

4.1.3 本期工程主选方案

表 4.1 两种建设方案优劣势对比分析

| 建设类型 | 优势 | 劣势 |
|-----------|---|--|
| 基于 TDD 建设 | 可利旧现网传输、核心网、主控等资源，节约投资； 便于快速部署 FDD 网络； | 目前现网 TDD 不支持 NB，而移动暂无 FDD 牌照，故只能选择在 GSM 900M 重耕 NB-IoT； |
| 基于 GSM 建设 | 通过 900M 翻频，建设 NB，有利于后期快速部署 FDD，并且为 1800M 升级 FDD 提前做好硬件部署； | 会增加替换模块的比例，造成投资的增加； 若 GSM 与 NB 共天馈则比独立天馈可能引起 5~25dB 的干扰抬升 |

综合考虑后续 FDD 演进、多网独立优化性能最优和 NB 部署成本，故实施 GSM 替换，并对现网 900M 进行翻频，同期建设 NB-IoT 的建设方案，为后期 FDD 演进提前做好部署。

4.2 某地市移动 NB-IoT 建设方案

4.2.1 规划设计原则

- (1) 替换场景：第一阶段完成主城区和一般城区的设备替换，NB 同步开通；
- (2) GSM 替换原则：考虑到 1800M 网络的利用率情况，对部分双层网站点改为单 900M 站点。对部分单 1800M 站点，考虑到后续对 NB 的支持，替换后改为单 900M 站点；
- (3) NB-IoT 规划原则：根据投资、应用及仿真规划，确定与现网 2G 站点按 1:3 比例新建 NB 系统；
- (4) 设计原则：天线全部利旧，现网 2G 替换，部分 1800M 改 900M 站点需要更换天线；
- (5) 信源设计原则：
 - (a) 华为区域无 4G 共址的站点及全量中兴区域站点，新增 BBU 机框开通 2G/FDD/NB（拉远除外）；
 - (b) 华为区域 24G 共址的站点，若 4GBBU 机框板卡槽位剩余量可满足 2G/FDD/NB 板卡槽位需求（2G 主控板占 2 个，FDD/NB 基带板按需配置，宏站一般 1 个），利旧 4GBBU 机框开通 2G/FDD/NB；否则，新增 BBU 机框开通 2G/FDD/NB；

- (c) 24G 共址的站点, 替换后 2G BBU-RRU 拓扑需与共址的 4G BBU-RRU 拓扑保持一致;
- (d) 江宁前期建设的 FDD 试验网, 共模利旧 FDD RRU 反向升级开通 2G; 因部分 FDD 方向角与原 2G 方向角不一致, 替换后的天线方向角以网优实际需求为准(设计会审确认);
- (e) 考虑到 FDD 演进后的容量需求, 高校室分 2G RRU 数量及合路点需与 4G 保持一致; 非高校室分 2G RRU 数量及合路点与替换前 2G 保持一致;
- (f) 2G 前期采用地面外打 4G 新建高层外打的居民小区室分项目, 2G 替换后优先合路 4G 高层外打。
- (6) RRU 按照就近天馈的原则进行布放;
- (7) 后续演进: CRAN 区域与 4G 同拓扑, 便于改造系统共框, 为后期演进 FDD 及 5G 提供预留。
- (8) 本期替换同步 GSM900M 翻频, 为后续 GSM900M 设备 G/N/L 共模演进;

4.2.2 NB-IoT 核心网建设方案

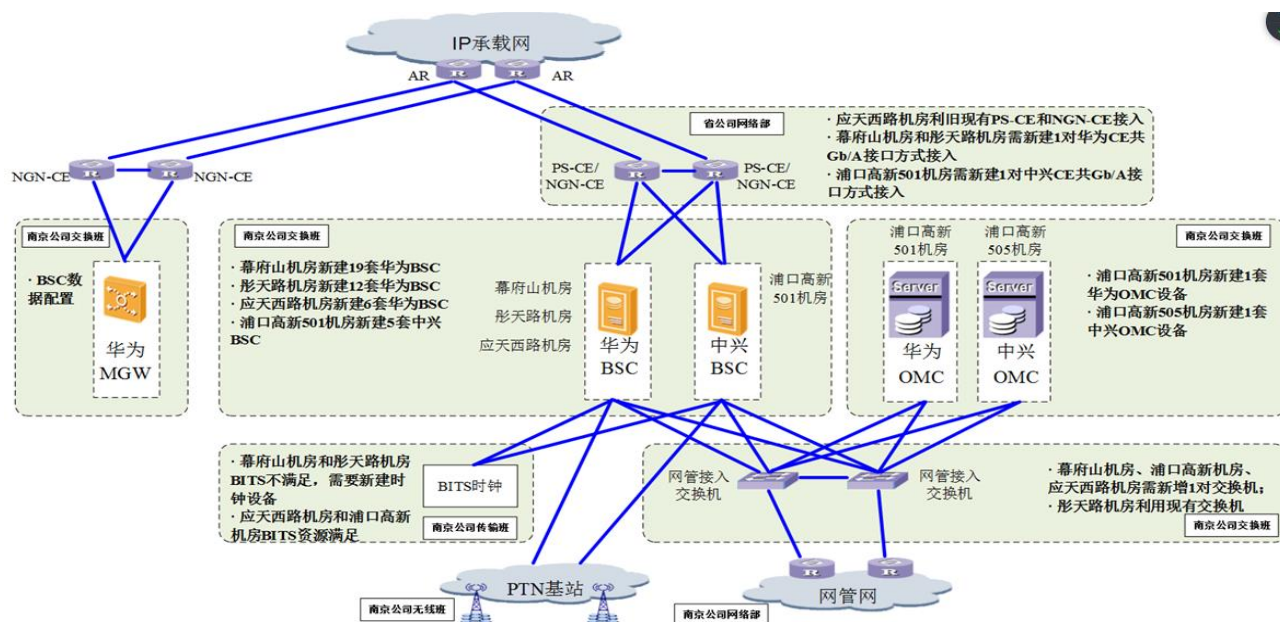


图 4.9 核心网建设方案

本期工程需新增 37 套华为 BSC, 5 套中兴 BSC。新建 1 套华为 OMC 设备, 1 套 OMC 设备。先开通新 BSC, 再进行割接, 确保 2G 语音质量。

4.2.3 NB-IoT 无线网建设方案

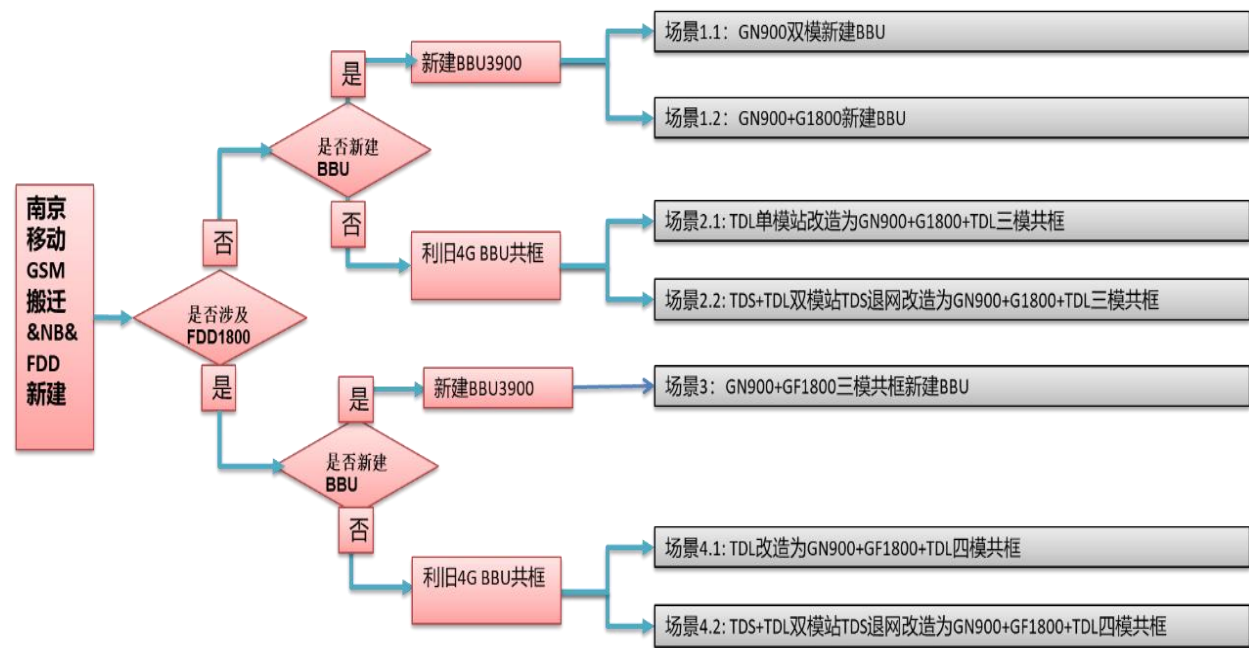


图 4.10 NB-IoT 无线网建设方案

NB-IoT 无线网建设方案，根据是否涉及 FDD1800 建设、是否涉及新增 BBU，共分为 4 种场景，7 种方案介绍；

(1) 场景 1.1：GN900 双模新建 BBU

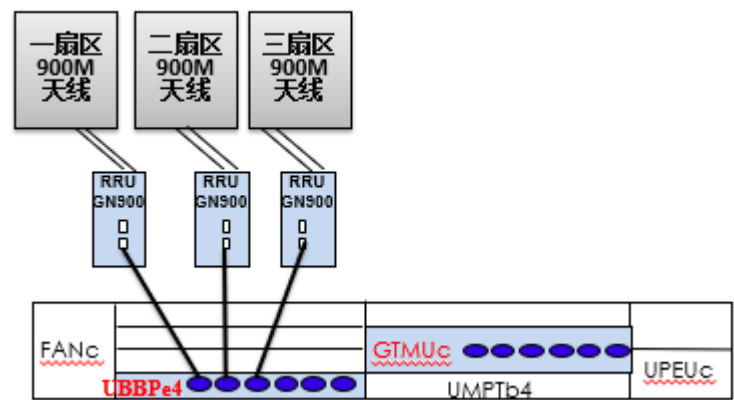


图 4.11 GN900 双模新建 BBU

若站点 RRU 数超过 6 个，RRU 级联。新增 BBU3900，2G、NB 均新增主控板 GTMUc、UMPTb4，新增双模 RRU，新增传输/时钟，天面利旧。

表 4.2 GN900 双模新建 BBU 解决方案说明

| 分类 | 解决方案说明 |
|------|-----------------------|
| 版本配套 | eRAN12.1/GBSS19.1 及以上 |
| BBU | 新建 BBU3900 |

| | |
|-----------|---|
| BBU 风扇、电源 | BBU3900 插框配置 FANc 和 UPEUc |
| 主控板 | 1、2G 主控板 GTMUc 2、NB 主控板 UMPTb4 |
| 传输/时钟 | 1、NB-IoT 需要新建传输 GE 光口传输;新建 NB 的 GPS 时钟源，时钟同步模式配置频率同步; 2、GSM 新建传输 Abis over IP，FE 光口；GSM 配置 PEER 时钟，时钟同步模式配置频率同步； |
| 基带板 | NB 使用 UBBPe4 放在 Slot3 |
| 射频模块 | RRU 模块：宏站 RRU3959、室分 RRU3936 |
| 天馈 | 利旧现网 GSM 天面 |
| CPRI 组网方案 | GN900M 的 RRU CPRI 通过 CPRI MUX 从 UBBP 单板上出纤 |
| 光模块/光纤 | 1、宏站 RRU3959 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 2、室分 RRU3936 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 |
| 射频跳线 | 推荐使用新发货的定长 1/2 跳线辅料包 |
| RRU 电源线 | 直流 RRU3959 电源线 100 米内采用 5.3 方，100-150 米采用 8.2 方 直流 RRU3936 电源线 100 米内采用 3.3 方，100-150 米采用 8.2 方+1OCB |
| BBU 供电 | 默认发货直流-48V |
| DCDU-12B | 3 个 RRU3959 内采用 1 路*63A 空开输入,4~6 个 RRU3959 采用采用 2 路*63A 空开输入； 6 个 RRU3936 采用 1 路*63A 空开输入 |

(2) 场景 1.2：GN900+G1800 新建 BBU

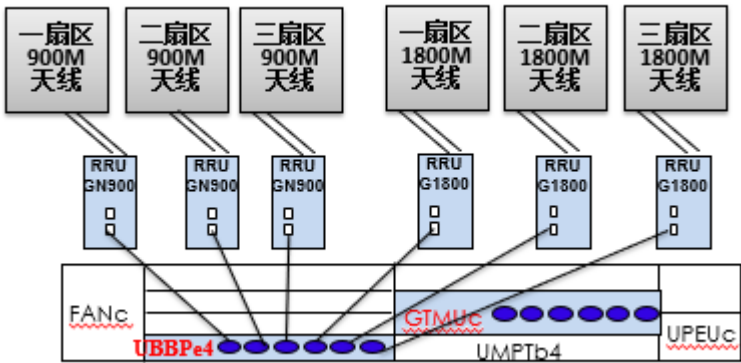


图 4.12 GN900+G1800 新建 BBU

需新增 2G 主控板 GTMUc，NB 主控板 UMPTb4，NB-IoT 需要新建传输 GE 光口传输;新建 NB 的 GPS 时钟源，时钟同步模式配置频率同步。GSM 新建传输 Abis over IP，FE 光口；GSM 配

置 PEER 时钟，时钟同步模式配置频率同步；NB 使用 UBBPe4 放在 Slot3，利旧现网 GSM 天面。

表 4.3 GN900+G1800 新建 BBU 解决方案说明

| 分类 | 解决方案说明 |
|-----------|---|
| 版本配套 | eRAN12.1/GBSS19.1 及以上 |
| BBU | 新建 BBU3900 |
| BBU 风扇、电源 | BBU3900 插框配置 FANc 和 UPEUc |
| 主控板 | 1、2G 主控板 GTMUc 2、NB 主控板 UMPTb4 |
| 传输/时钟 | 1、NB-IoT 需要新建传输 GE 光口传输;新建 NB 的 GPS 时钟源，时钟同步模式配置频率同步； 2、GSM 新建传输 Abis over IP，FE 光口；GSM 配置 PEER 时钟，时钟同步模式配置频率同步； |
| 基带板 | NB 使用 UBBPe4 放在 Slot3 |
| 射频模块 | RRU 模块：宏站 RRU3959、室分 RRU3936 |
| 天馈 | 利旧现网 GSM 天面 |
| CPRI 组网方案 | GSM 通过 CPRI MUX 从 UBBP 单板上出纤（0/1/2 用于 900M，3/4/5 用于 1800M） |
| 光模块/光纤 | 1、宏站 RRU3959 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 2、室分 RRU3936 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 |
| 射频跳线 | 推荐使用新发货的定长 1/2 跳线辅料包 |
| RRU 电源线 | 直流 RRU3959 电源线 100 米内采用 5.3 方，100-150 米采用 8.2 方 直流 RRU3936 电源线 100 米内采用 3.3 方，100-150 米采用 8.2 方+1OCB |
| BBU 供电 | 默认发货直流-48V |
| DCDU-12B | 3 个 RRU3959 内采用 1 路*63A 空开输入,4~6 个 RRU3959 采用采用 2 路*63A 空开输入； 6 个 RRU3936 采用 1 路*63A 空开输入 |

(3) 场景 2.1：TDL 单模站改造为 GN900+G1800+TDL 三模共框

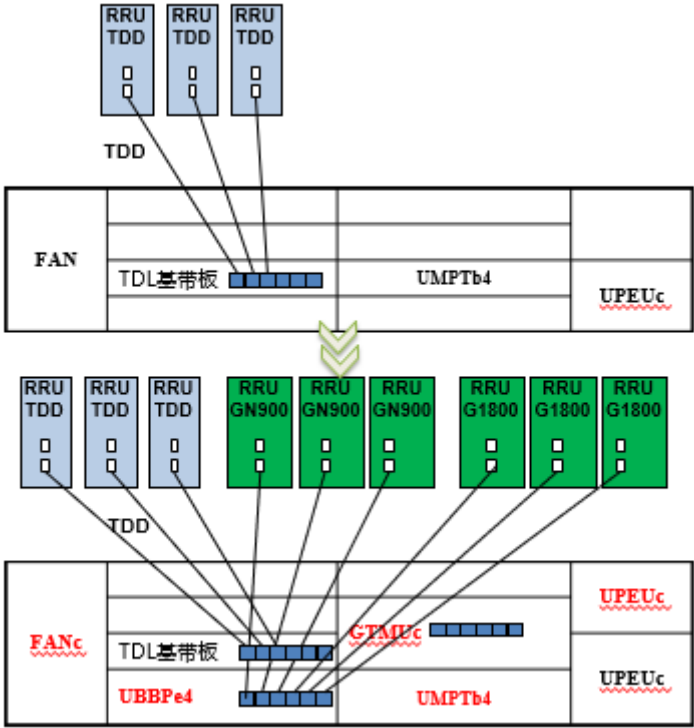


图 4.13 TDL 单模站改造为 GN900+G1800+TDL 三模共框

利旧现网 4G BBU，DD 原主控板 UMPTb4 带星卡，需要将 TDD 主控板从 6 槽调整到 7 槽；NB-IoT 与现网 TDD 共主控、共时钟(GPS，时钟同步模式配置时间同步)、共 GE 光传输 GSM GTMU 主控板占用 5/6 两个槽位，独立主控、独立 FE 光口传输，GSM 配置 peer 时钟，时钟同步模式配置时间同步，GSM 需关闭帧同步开关。新增基带板 UBBPe4。

表 4.4 TDL 单模站改造为 GN900+G1800+TDL 三模共框

| 分类 | 方案说明 |
|----------|--|
| 版本配套 | eRAN12.1/GBSS19.1 及以上 |
| BBU | 利旧现网 4G BBU |
| BBU 风扇 | 若现网为 BBU3900，且风扇为为 FANa、需要更换为 FANc； |
| BBU 电源板 | 1) 若现网为 BBU3900，且只有一块 UPEUc，需要再增加一块 UPEUc 2) 若现网为 BBU3910，原有为 UPEUd 则不需要增加电源板 |
| 主控/时钟/传输 | TDD 原主控板 UMPTb4 带星卡，需要将 TDD 主控板从 6 槽调整到 7 槽； NB-IoT 与现网 TDD 共主控、共时钟(GPS，时钟同步模式配置时间同步)、共 GE 光传输 GSM GTMU 主控板占用 5/6 两个槽位，独立主控、独立 FE 光口传输 GSM 配置 peer 时钟，时钟同步模式配置时间同步，GSM 需关闭帧同步开关 |
| 基带板 | 新增基带板 UBBPe4 1) 若现网为 BBU3900，UBBPc4 部署在 3 槽位； 2) 若现网为 BBU3910，UBBPc4 建议部署在 3 槽位或 0~1 槽； |

| | |
|-----------|---|
| 射频模块 | 新增支持 GN900 双模的射频模块 |
| CPRI 组网方案 | GSM 通过 CPRI MUX 从 UBBP 单板上出纤（0/1/2 用于 900M，3/4/5 用于 1800M） |
| 光模块/光纤 | 1、宏站 RRU3959 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 2、室分 RRU3936 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 |
| 射频跳线 | 推荐使用新发货的定长 1/2 跳线辅料包 |
| RRU 电源线 | 直流 RRU3959 电源线 100 米内采用 5.3 方，100-150 米采用 8.2 方 直流 RRU3936 电源线 100 米内采用 3.3 方，100-150 米采用 8.2 方+1OCB |
| DCDU-12B | 现网如果是 DCDU-03B 需要更换为 DCDU-12B，每个 DCDU-12B 可以带 6 个 RRU，建议采用 2 路*63A 输入电源 |

(4) 场景 2.2: TDS+TDL 双模站 TDS 退网改造为 GN900+G1800+TDL 三模共框

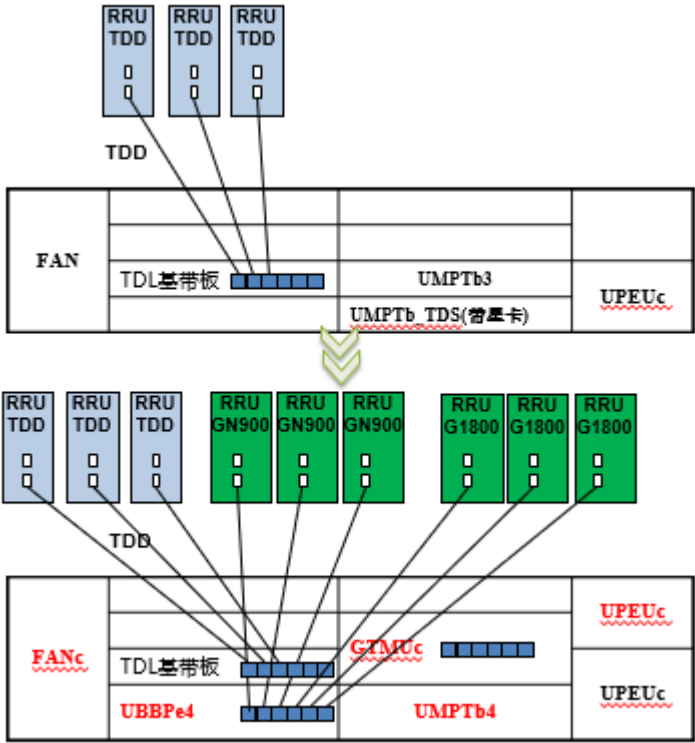


图 4.14 TDS+TDL 双模站 TDS 退网改造为 GN900+G1800+TDL 三模共框

原来 TDSL 双模站复用 TDS 主控星卡，TDD 原主控板 UMPTb3 不带星卡，需要对 TDD 主控板进行星卡加固（增加星卡），拆除 7 槽 TDS 主控板，再将 TDD 主控板从 6 槽调整到 7 槽；NB-IoT 与现网 TDD 共主控、共时钟(GPS，时钟同步模式配置时间同步)、共 GE 光口传输，GSM GTMU 主控板占用 5/6 两个槽位，独立主控、独立 FE 光口传输，GSM 配置 peer 时钟，时钟同步模式配置时间同步，GSM 需关闭帧同步开关；

新增基带板 UBBPe4

1) 若现网为 BBU3900，UBBPe4 部署在 3 槽位；

2) 若现网为 BBU3910, UBBPe4 建议部署在 3 槽位或 0~1 槽;

表 4.5 TDS+TDL 双模站 TDS 退网改造为 GN900+G1800+TDL 三模共框方案说明

| 分类 | 方案说明 |
|-----------|--|
| 版本配套 | eRAN12.1/GBSS19.1 及以上 |
| BBU | 利旧现网 4G BBU |
| BBU 风扇 | 若现网为 BBU3900, 且风扇为 FANa、需要更换为 FANc; |
| BBU 电源板 | 1) 若现网为 BBU3900, 且只有一块 UPEUc, 需要再增加一块 UPEUc 2) 若现网为 BBU3910, 原有为 UPEUd 则不需要增加电源板 |
| 主控/时钟/传输 | 原来 TDSL 双模站复用 TDS 主控星卡, TDD 原主控板 UMPTb3 不带星卡, 需要对 TDD 主控板进行星卡加固 (增加星卡), 拆除 7 槽 TDS 主控板, 再将 TDD 主控板从 6 槽调整到 7 槽; NB-IoT 与现网 TDD 共主控、共时钟(GPS, 时钟同步模式配置时间同步)、共 GE 光口传输 GSM GTMU 主控板占用 5/6 两个槽位, 独立主控、独立 FE 光口传输 GSM 配置 peer 时钟, 时钟同步模式配置时间同步, GSM 需关闭帧同步开关 |
| 基带板 | 新增基带板 UBBPe4 1) 若现网为 BBU3900, UBBPe4 部署在 3 槽位; 2) 若现网为 BBU3910, UBBPe4 建议部署在 3 槽位或 0~1 槽; |
| 射频模块 | 新增支持 GN900 双模的射频模块 |
| CPRI 组网方案 | GSM 通过 CPRI MUX 从 UBBP 单板上出纤 (0/1/2 用于 900M, 3/4/5 用于 1800M) |
| 光模块/光纤 | 1、宏站 RRU3959 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 2、室分 RRU3936 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 |
| 射频跳线 | 推荐使用新发货的定长 1/2 跳线辅料包 |
| RRU 电源线 | 直流 RRU3959 电源线 100 米内采用 5.3 方, 100-150 米采用 8.2 方 直流 RRU3936 电源线 100 米内采用 3.3 方, 100-150 米采用 8.2 方+10CB |
| DCDU-12B | 现网如果是 DCDU-03B 需要更换为 DCDU-12B, 每个 DCDU-12B 可以带 6 个 RRU, 建议采用 2 路*63A 输入电源 |

(5) 场景 3: GN900+GF1800 三模共框新建 BBU

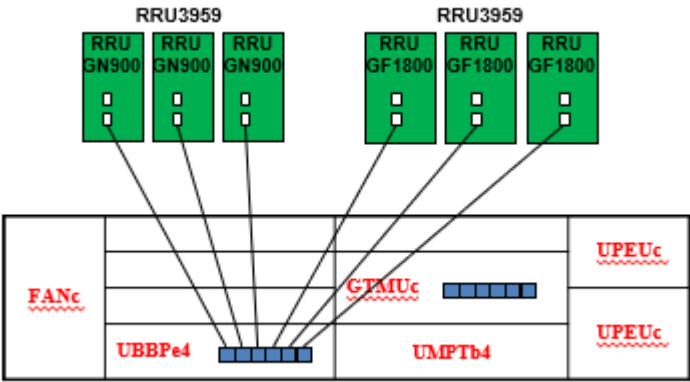


图 4.15 GN900+GF1800 三模共框新建 BBU

FDD/NB 共主控、共时钟(GPS，时钟同步模式配置频率同步)，GTMU 主控板占用 5/6 两个槽位，独立主控、独立 FE 光口传输，GSM 配置 peer 时钟，时钟同步模式配置频率同步，GSM 需关闭帧同步开关；若现网为 BBU3900，UBBP_e4 部署在 3 槽位；若现网为 BBU3910，UBBP_e4 建议部署在 3 槽位或 0~1 槽；

表 4. 6 GN900+GF1800 三模共框新建 BBU 方案说明

| 分类 | 方案说明（2G 卡特，无 4G） |
|-----------|---|
| 版本配套 | eRAN12.1/GBSS19.1 及以上 |
| BBU | 新增 BBU |
| BBU 风扇 | 使用 FANc； |
| BBU 电源板 | 1）若使用 BBU3900，则需要 2 块 UPEUc 2）若使用 BBU3910，则需要 1 块 UPEUd |
| 主控/时钟/传输 | FDD/NB 共主控、共时钟(GPS，时钟同步模式配置频率同步) GTMU 主控板占用 5/6 两个槽位，独立主控、独立 FE 光口传输 GSM 配置 peer 时钟，时钟同步模式配置频率同步，GSM 需关闭帧同步开关 |
| 基带板 | 1）若现网为 BBU3900，UBBP _e 4 部署在 3 槽位； 2）若现网为 BBU3910，UBBP _e 4 建议部署在 3 槽位或 0~1 槽； |
| 射频模块 | 新增支持 GN900 双模的射频模块，新增支持 GF1800 双模的射频模块 |
| CPRI 组网方案 | GSM 通过 CPRI MUX 从 UBBP _e 4 单板上出纤（0/1/2 用于 900M，3/4/5 用于 1800M） |
| 光模块/光纤 | 1、宏站 RRU3959 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 2、室分 RRU3936 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 |
| 射频跳线 | 推荐使用新发货的定长 1/2 跳线辅料包 |

| | |
|----------|---|
| RRU 电源线 | 直流 RRU3959 电源线 100 米内采用 5.3 方，100-150 米采用 8.2 方 直流 RRU3936 电源线 100 米内采用 3.3 方，100-150 米采用 8.2 方+1OCB |
| DCDU-12B | 现网如果是 DCDU-03B 需要更换为 DCDU-12B，每个 DCDU-12B 可以带 6 个 RRU，建议采用 2 路*63A 输入电源 |

(6) 场景 4.1: TDL 改造为 GN900+GF1800+TDL 四模共框

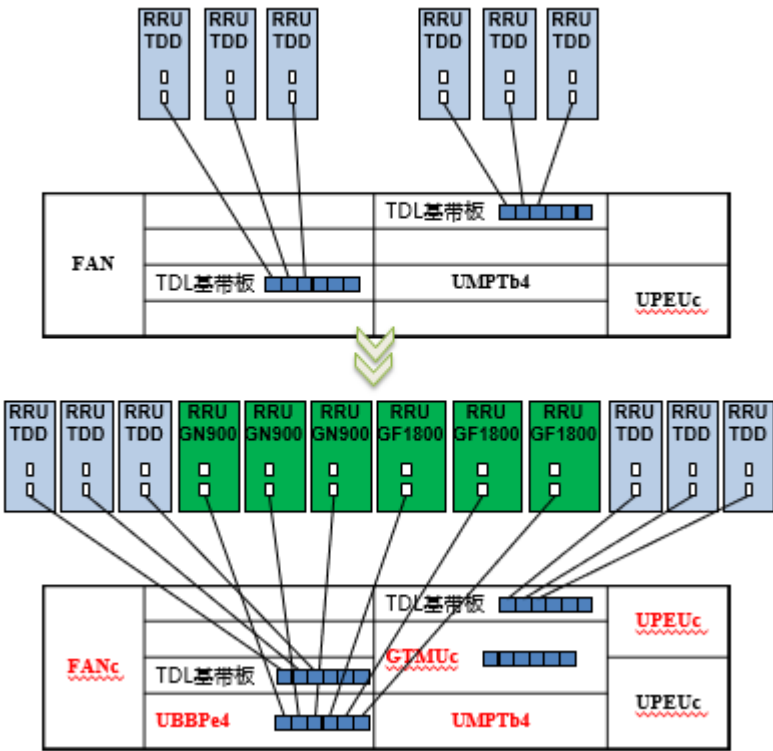


图 4.16 TDL 改造为 GN900+GF1800+TDL 四模共框

利旧现网 4G BBU，UMPTb4 调整到 7 槽位，TDD/FDD/NB 共主控、共时钟(GPS，时钟同步模式配置时间同步，新增 GTMUc 主控板占用 5/6 两个槽位，独立主控、独立 FE 光口传输，GSM 配置 peer 时钟，时钟同步模式配置时间同步，GSM 需关闭帧同步开关；

新增基带板 UBBPe4

- 1) 若现网为 BBU3900，UBBPe4 部署在 3 槽位；
- 2) 若现网为 BBU3910，UBBPe4 建议部署在 3 槽位或 0~1 槽；

表 4.7 TDL 改造为 GN900+GF1800+TDL 四模共框

| | |
|------|-----------------------|
| 分类 | 方案说明（2G 卡特，4G 华为） |
| 版本配套 | eRAN12.1/GBSS19.1 及以上 |
| BBU | 利旧现网 4G BBU |

| | |
|--------------|---|
| BBU 风扇 | 若现网为 BBU3900，且风扇为 FANa、需要更换为 FANc； |
| BBU 电源板 | 1) 若现网为 BBU3900，且只有一块 UPEUc，需要再增加一块 UPEUc 2) 若现网为 BBU3910，原有为 UPEUd 则不需要增加电源板 |
| 主控/时钟/ 传输 | UMPTb4 调整到 7 槽位，TDD/FDD/NB 共主控、共时钟(GPS，时钟同步模式配置时间同步) 新增 GTMUc 主控板占用 5/6 两个槽位，独立主控、独立 FE 光口传输 GSM 配置 peer 时钟，时钟同步模式配置时间同步，GSM 需关闭帧同步开关 |
| 基带板 | 新增基带板 UBBPe4 1) 若现网为 BBU3900，UBBPc4 部署在 3 槽位； 2) 若现网为 BBU3910，UBBPc4 建议部署在 3 槽位或 0~1 槽； |
| 射频模块 | 新增支持 GN900 双模的射频模块，新增支持 GF1800 双模的射频模块 |
| CPRI 组网方案 | GSM 通过 CPRI MUX 从 UBBP 单板上出纤（0/1/2 用于 900M，3/4/5 用于 1800M） |
| 光模块/光纤 | 1、宏站 RRU3959 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 2、室分 RRU3936 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 |
| 射频跳线 | 推荐使用新发货的定长 1/2 跳线辅料包 |
| RRU 电源线 | 直流 RRU3959 电源线 100 米内采用 5.3 方，100-150 米采用 8.2 方 直流 RRU3936 电源线 100 米内采用 3.3 方，100-150 米采用 8.2 方+1OCB |
| DCDU-12B | 现网如果是 DCDU-03B 需要更换为 DCDU-12B，每个 DCDU-12B 可以带 6 个 RRU，建议采用 2 路*63A 输入电源 |

(7) 场景 4.2: TDS+TDL 双模站 TDS 退网改造为 GN900+GF1800+TDL 四模共框

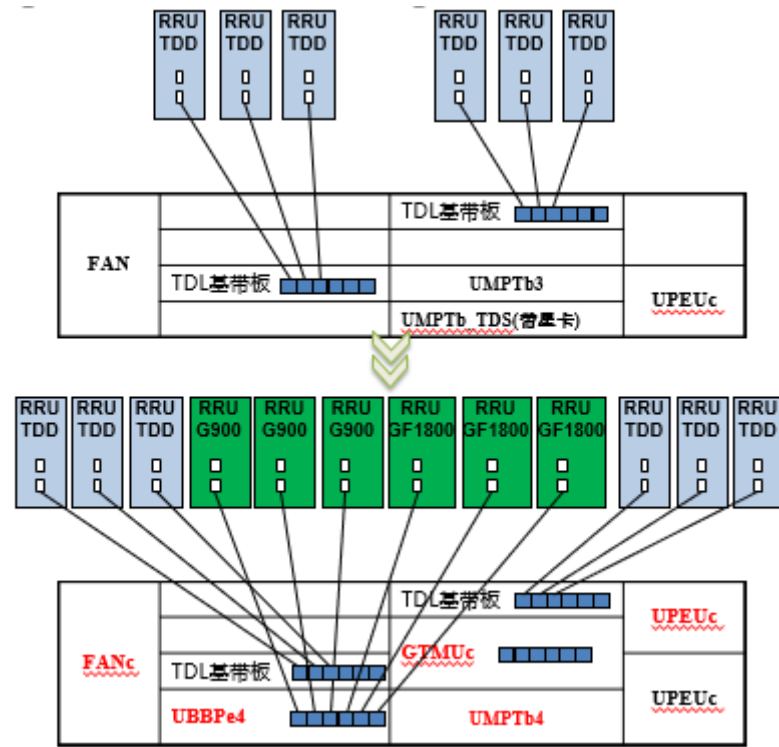


图 4. 17 TDS+TDL 双模站 TDS 退网改造为 GN900+GF1800+TDL 四模共框

利旧现网 4G BBU，原双模站复用 TDS 主控星卡，TDD 原主控板 UMPTb3 不带星卡。拆除原 6、7 槽 UMPT 主控板，7 槽位新增 UMPTb4 用于 TDD/FDD；TDD/FDD 共主控、共时钟(GPS，时钟同步模式配置时间同步)，GTMU 主控板占用 5/6 两个槽位，独立主控、独立 FE 光口传输，GSM 配置 peer 时钟，时钟同步模式配置时间同步，GSM 需关闭帧同步开关；新增基带板 UBBPe4

- 1) 若现网为 BBU3900，UBBPe4 部署在 3 槽位；
- 2) 若现网为 BBU3910，UBBPe4 建议部署在 3 槽位或 0~1 槽；

表 4. 8 TDS+TDL 双模站 TDS 退网改造为 GN900+GF1800+TDL 四模共框

| 分类 | 方案说明（2G 卡特，4G 华为） |
|---------|--|
| 版本配套 | eRAN12.1/GBSS19.1 及以上 |
| BBU | 利旧现网 4G BBU |
| BBU 风扇 | 若现网为 BBU3900，且风扇为为 FANa、需要更换为 FANc； |
| BBU 电源板 | 1) 若现网为 BBU3900，且只有一块 UPEUc，需要再增加一块 UPEUc 2) 若现网为 BBU3910，原有为 UPEUd 则不需要增加电源板 |

| | |
|-----------|---|
| 主控/时钟/传输 | 原双模站复用 TDS 主控星卡, TDD 原主控板 UMPTb3 不带星卡。拆除原 6、7 槽 UMPT 主控板, 7 槽位新增 UMPTb4 用于 TDD/FDD; TDD/FDD 共主控、共时钟(GPS, 时钟同步模式配置时间同步) GTMU 主控板占用 5/6 两个槽位, 独立主控、独立 FE 光口传输 GSM 配置 peer 时钟, 时钟同步模式配置时间同步, GSM 需关闭帧同步开关 |
| 基带板 | 新增基带板 UBBPe4 1) 若现网为 BBU3900, UBBPe4 部署在 3 槽位; 2) 若现网为 BBU3910, UBBPe4 建议部署在 3 槽位或 0~1 槽; |
| 射频模块 | 新增支持 G900 单模的射频模块, 新增支持 GF1800 双模的射频模块 |
| CPRI 组网方案 | GSM 通过 CPRI MUX 从 UBBP 单板上出纤 (0/1/2 用于 900M, 3/4/5 用于 1800M) |
| 光模块/光纤 | 1、宏站 RRU3959 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 2、室分 RRU3936 配置 2.5G 光模块以及单模光纤 |
| 射频跳线 | 推荐使用新发货的定长 1/2 跳线辅料包 |
| RRU 电源线 | 直流 RRU3959 电源线 100 米内采用 5.3 方, 100-150 米采用 8.2 方 直流 RRU3936 电源线 100 米内采用 3.3 方, 100-150 米采用 8.2 方+1OCB |
| DCDU-12B | 现网如果是 DCDU-03B 需要更换为 DCDU-12B, 每个 DCDU-12B 可以带 6 个 RRU, 建议采用 2 路*63A 输入电源 |

4.3 工程建设难点及勘察绘图注意事项

4.3.1 工程建设难点

直放站/室分耦合宏站信号: 本期替换原则是拆除原有卡特设备, 在天线附近新增 RRU 射频单元, 但是若遇到直放站、耦合器从已有 2G 卡特机架耦合信号对室内进行覆盖, 故本期新增 RRU, 只能移动到室内安装, 保证已有室内覆盖不断网;

CRAN 机房: CRAN 区域 4G 站点 LTE BBU 已经集中放置到 CRAN 中心机房, 为了实现 ONE LTE 演进, 本期替换站点新增 2G BBU 需要设计到同一宿主机房, 方便后期 ONE LTE 共机框建设;

拉远站: 本期工程可能存在多个宏站拉远到同一个宿主机房, 新增的 2G BBU 数量较多, 需要分清空余端子数量, 如果没有端子, 可以共用 DCDU (双路接电);

本期工程路灯站和街道站较多, 存在多个站点拉远利旧同一台 2G BBU 情况, 需综合考虑微区域及 CRAN 区, 提前和传输专业沟通好宿主机房, 分配好相应的空余光口;

4.3.2 勘察绘图注意事项

本期工程由于现场设备比较复杂、代维、物业等多变因素导致勘察难度极大，所以需要提前做好勘察准备，在确保勘察成功的同时要为后期出方案记录详细数据。

- (1) 严格按照勘察数据表格现场记录经纬度、地址、2G 配置数据、2G 天馈情况，其他配套及 LTE 相关信息同时详细拍照，本期暂不记录。
- (2) 勘察人员现场区分天馈中“移动”2G 天线类型，天线馈线口、标签尽量拍清楚，以便区分。排气管天线类比板状天线。

单频天线：只能工作在固定频率上，属于同一频段的天线叫单频天线，GSM900MHZ 或者 DCS1800MHZ 都只是一个频率的规划段；



图 4.18 单频天线

双频天线：天线有的及可以工作在一个或多个频率上，它的工作频段包含了 GSM900MHZ (890——960MHZ) 或 DCS1800MHZ (1710——1880MHZ) 那么该天线就可以工作于这两个频率上。就称为双频天线。一般天线下方有 4 个通道；

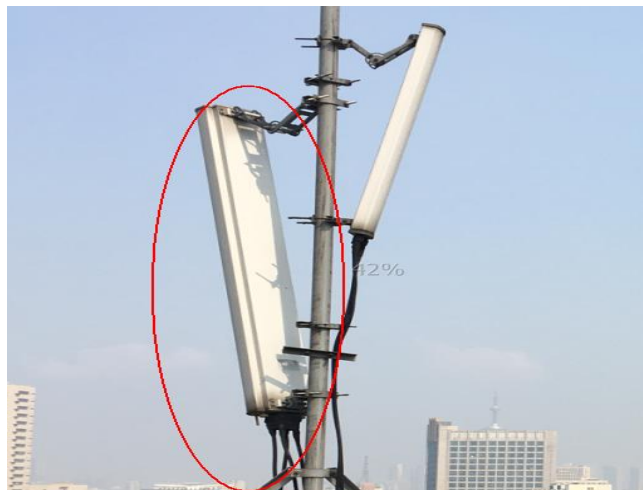


图 4.19 双频天线

三频天线：主要为支持 GSM900MHZ、DCS1800MHZ、TD-LTE 的天线，2G 频段共有 4 个通道，4G 天线一般为集束天线接口；



图 4.20 三频天线



图 4.21 四频天线

四频天线：主要为支持 GSM900MHZ、DCS1800MHZ、TD-LTE 的 F 和 D 频段的天线，2G 频段共有 4 个通道，4G 天线一般为集束天线接口；

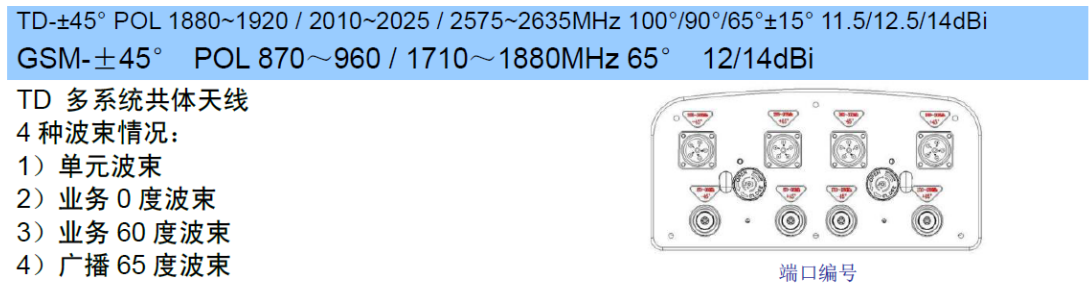


图 4.22 四频天线参数

(3) 鉴于本期替换站点中有许多三家运营商、多制式共存的天馈系统，需要勘察人员学会初步辨析移动设备及天线。

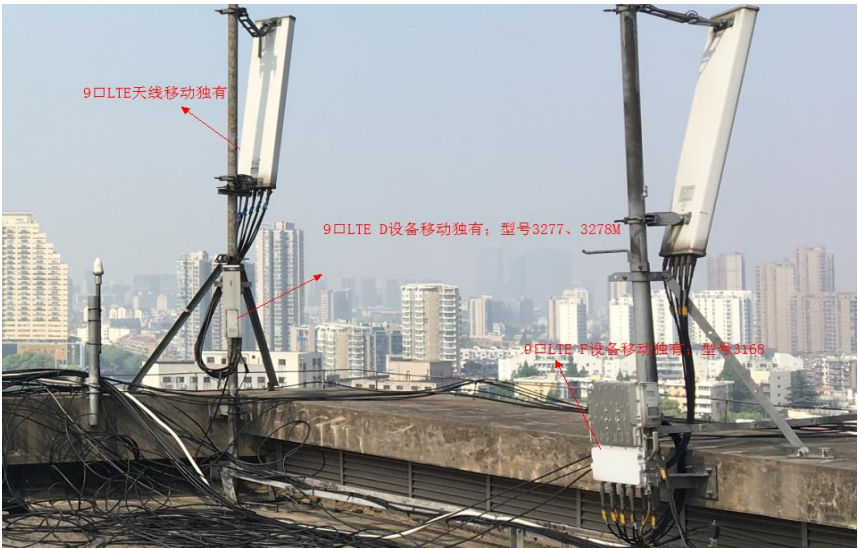


图 4.23 辨析天线

现场勘查，可以根据 9 端口 TD-LTE 设备为移动所独有来判断，比如 RRU3277,3278M，RRU3168 等；可以判断天线为移动 4G 所有。



图 4.24 辨析天线

现场勘查，可以根据电信 FDD 射频拉远单元设备的标签来判断，可以判断天线为移电信

FDD 所有；



图 4.25 辨析天线

(4) 本期无线勘察除了对无线侧设备记录外，还要拍传输的设备、成端及路由标签，方便传输确定方案。尤其是路灯站、街道站等拉远站点。

(a) 几种传输设备

| | |
|---------|---------|
| PTN960 | PTN6150 |
| | |
| PTN6200 | PTN6300 |
| | |

图 4.26 传输设备

PTN 设备是用在接入层和汇聚层代替 SDH 的光传输设备，其作用就是在固网和

移动回传中用来传输语音业务和数据业务，最大的特点是通过实现统计复用功能弥补了 SDH 时隙电路刚性缺陷，学习辨识传输设备，分为 PTN960、PTN6150、PTN6200、PTN6300 等；

(b) 传输路由标签



图 4.27 传输路由标签

可以根据传输光缆标签，判断传输光缆的跳点及工作路径等；

(c) 传输成端盒



图 4.28 传输成端

光缆线路到局站后需与光端机相连，这种连接称为光缆成端，应根据规定或设计要求留足预留光缆，在设备机房的光缆终端接头安装位置应稳定安全，远离热源，成端光缆和自光缆终端接头引出的单芯软光纤应按照 ODF 的说明书进行，走线并按设计要求进行保护和绑扎。

(d) 传输光纤盒



图 4.29 传输光纤盒

光纤盒其实就是光纤配线架，应用于利用光纤技术传输数字和类似语音，视频和数据信号。可进行直接安装或桌面安装，别适合进行高速的光纤传输。

光纤盒主要是在光纤末端进行分线时用到的，一般一条光缆到企业机房后就接入光纤盒，然后从中分离出很多细小的光纤，一对一对的分开盘在光纤盒中分离出来接上尾纤到具体的设备端。

- (5) 本期勘察机房的 MBI-3、MBI-5 等类型设备时现场核实是否存在直放站从 ANC 耦合信号，需要记录下，这个涉及到 RRU 是否放在机房。
- (6) 街道站、路灯站的勘察确保现场找到 2G 设备及天线，以便确定站点方案。
- (7) 照片拍摄清晰的设备标签、机柜标签。现场勘察一定要拍环境照 12 张，回来需要 0—330 度命名。拍照原则是先整体后局部特写，从上到下依次拍摄。
- (8) 本期 2G 替换勘察尽量现场确定方案：是否有空位新增 BBU、RRU 以及 RRU 的是否能上塔在天线下方安装
- (9) 现场配套的尺寸测量：楼顶抱杆基础、落地抱杆基础、抱杆是否有空位加 RRU，现场天面新增 RRU 是否需要土建兄弟核实塔桅负荷
- (10) 现场环境照的拍摄要尽量把天线 RRU 整体拍到，让出图人员知晓每个扇区天线位置；机房机柜拍照顺序先整体后特写，从左到右、从上到下。
- (11) 勘察人员现场确定 2G 设备和天线类型，核实 RRU 安装位置，同时预估跳纤、电源线、光纤长度。在草图上标记天线位置，线缆长度等。
- (12) 环境照；整体照；GPS 照片；天面（从上往下，特写天线馈线口，多角度拍摄）；机房（机房门标签、整体、从左到右、馈线孔照片）；DC 端子配电到蓄电池（DC 电压电流读数），现场区分无线 DC 设备；2G 主设备（整体、特写）；4G 主设备（整体、特写、

标签 SN 码)；传输设备(整体、特写)、ODF 架；直放站(现场根据馈线走线找到连接的腔体)；墙面照片、底图照片。

- (13) 记录机架、SUM 板、腔体、载频、Y 板数量，预估 RRU 电源线光纤长度，底图标出天线位置及类型数量，初步判断 RRU 安装位置(上塔利旧抱杆、上塔新增抱杆、女儿墙附墙、楼顶新增抱杆、机房挂墙)；BBU 安装位置(室外机柜是否有空间，机房机架是否有空间)；天面走线路由机房位置；美化天线、排气管基础、楼顶独杆基础、机柜基础尺寸。

- (14) 出图注意点

- (a) 新增 2GBBU 的接电问题，根据从 DCDU 接电的 RRU 数量确定，3 个 RRU3959 内采用 1 路*63A 空开输入，4~6 个 RRU3959 采用采用 2 路*63A 空开输入；
- (b) 新增 NB 的站点 BBU 需要新增 GPS，如果无法新增 GPS 可以功分利旧原有 LTE 的华为 GPS；
- (c) 新方案的天线参数(方位角、下倾角)按照原 2G 参数表填写，本期主要利旧天线不改变天线参数；
- (d) 拉远站点天面新增 RRU，需要考虑现场电表箱中接电端子的数量(现场勘察注意拍摄照片)；
- (e) 本期站点可能存在多个宏站拉远到同一个宿主机房，新增的 2GBBU 数量较多，需要分清空余端子数量，如果没有端子，可以共用 DCDU(双路接电)；
- (f) 本期路灯站和街道站较多，存在多个站点拉远利旧同一台 2GBBU 情况，需提前和传输沟通好宿主机房，分配好相应的空余光口；
- (g) 本期会在原有 2G 天线下方新增 RRU，需要土建核实塔桅承重。

第五章 智慧城市中的应用及 5G 时代来临的机遇与挑战

5.1 NB-IoT 在智慧城市中的典型应用

物联网典型应用场景分类：

表 5.1 物联网典型应用

| | 应用场景 | 细分应用 |
|------|-------|-------------------|
| 城市管理 | 智能计量 | 燃气表、水表、电表等 |
| | 智能停车 | |
| | 智能垃圾桶 | |
| | 智能灯杆 | |
| | 环境监测 | 空气、水质、土壤等 |
| | 安全监控 | 盗窃、火警等 |
| 企业应用 | 智慧医疗 | |
| | 资产跟踪 | 自行车租赁等 |
| | 智慧工业 | |
| | 智慧农业 | 环境监测（水、温度、湿度、化肥等） |
| | 智慧牧业 | 环境监测、饲料监控、家畜追踪等 |
| 个人应用 | 定位跟踪 | 老人/儿童，宠物等 |
| | 健康监控 | 可穿戴设备等 |
| | 智能家居 | |

物联网技术已经广泛应用于各个行业，物联网行业的各种智慧化、智能化应用发展迅速，物联网已经渗透到我们的方方面面。

(1) 智慧停车

NB-IoT 智慧停车解决方案融合物联网、云计算、移动互联网、共享经济领域的最新技术和理念，致力于实现停车管理模式的彻底革新，方便停车场用户快速定位寻找车位，并从降本增效的角度为客户创造更高更好的价值。

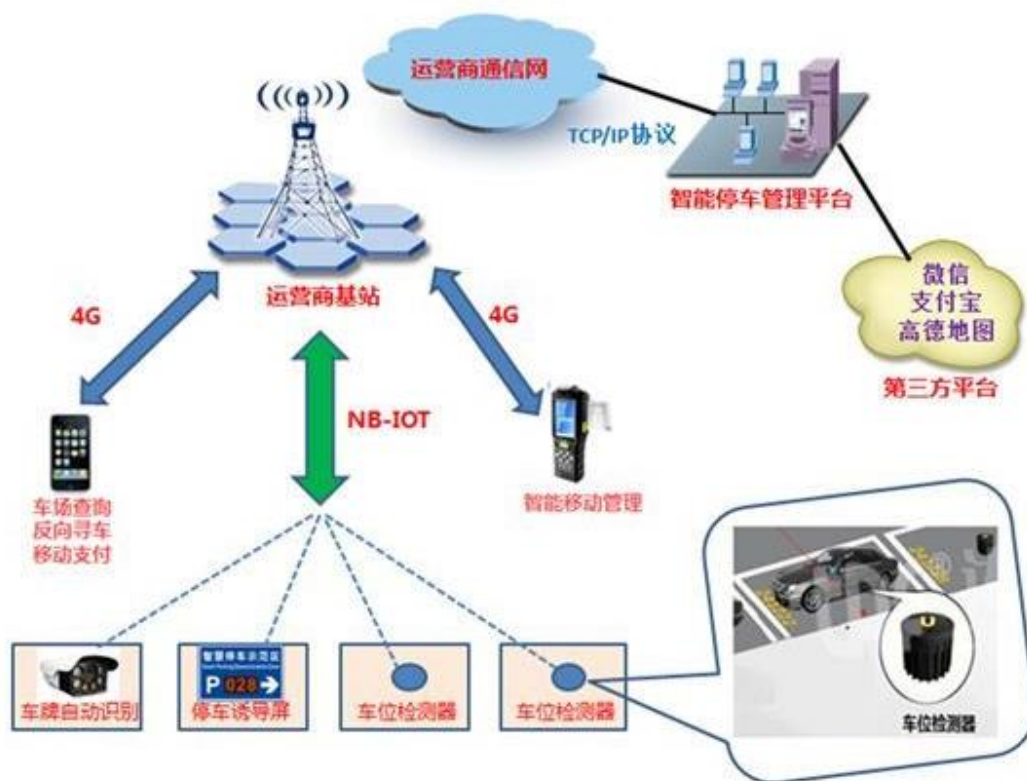


图 5.1 智能停车系统

智慧停车解决方案采用 NB-IoT 技术，有以下显著看点：

首先，车辆检测器可直接上报给无线网络，省去上传至汇聚环节的要求，整体成本降至原来的 70% 左右。

其次，安装方便，简单易学易用，界面亲民。无需过多技术指导，无需考虑兼容问题，支持远期扩容。同时，采用 APP 管理停车数据平台，便捷快速的智慧停车服务，可以节省繁复冗杂的管理成本。

智慧停车解决方案由两块内容组成，分别是路侧开放停车场系统以及反向寻车方案。

其中，路侧停车系统包含以下几部分内容：内置 **NB-IoT** 通信装置的地磁模块、信息显示屏、管理员使用的手持终端 **APP**、车位计收费管理系统等子系统。利用安装的地磁车位检测器来收集车位占用信息，停车管理平台则根据规则自动生成计费数据，并推送到收费员的手持终端上。系统的各种状态信息均及时上传至停车管理平台，室外信息屏可以实时获取数据信息，清楚掌握各区域的剩余车位状态，进行区域车位引导。

反向寻车方案，并不需要为每个车位重复安装车位检测器，只需要在每个车进出区域的过道安装一对摄像头。司机自行根据指引找到停车位。各个路口的摄像头会记录拍摄车牌号，并实时上传数据至管理系统平台，车辆离开时，基于同样的原理，摄像头记录来方便各区域的车位管理。

智慧停车系统由车位检测、车牌自动识别、停车诱导、车场查询、移动支付、反向寻车、智能移动管理、运营商通信网数据传输以及智能停车管理等多个功能模块组成。该系统以地磁作为车位占用和空闲的检测手段，NB-IoT 为回传通道，PDA/手机 APP 为管理工具，从而完成停车场的管理工作。

用户如果通过 APP 预存一定数目的金额，停车完毕，输入车位号码，可以方便实现自动计费，还可以实现车辆离场后，再进行自动结算和支付。

当停车场很大时，用户返回时可能会找不到自己的爱车，启动微信的反向寻车功能，可以找到停车区域。

- (a) 智能移动管理：可以在手持终端中安装一款 APP，用于实现应收款信息在管理平台统一管理，将车位占用状态和收费数据等纳入智能停车管理平台。车位检测器首先检测用户的停车所在车位以及自身信息，然后将收集到的信息上报给停车管理平台，同时管理平台根据计费规则开始计算停车金额，用户可以通过现金，也可以方便的通过电子支付手段进行结算。
- (b) 运营商通信网：该系统是基于运营商的移动无线通信网络实现数据回传的，比如车位、车牌号码、计费等信息。
- (c) 智能停车管理平台：该平台目前运行在阿里云上，是基于 Linux+Apache+Mysql 组成的系统，其可以对车牌、车位、计费、管理等信息进行收集分析，形成报表，并进行大数据分析。
- (d) 第三方平台：一是移动支付。二是通过路线导引功能，目前此功能是通过高德地图实现的。^[12]

(2) 智能锁

NB-IoT 不仅具备低功耗、广覆盖、大连接的特点，而且可大幅缩短系统响应时延，这些与共享单车的应用场景十分契合。与 2G 智能车锁相比，NB-IoT 智能锁不仅大幅度缩短结单

响应时延，速度快了 20 秒以上，从而极大提升了用户体验。而且在功耗方面，过去共享单车中的电池之多只能坚持使用 3 个月，这就需要定期频繁更换电池或者在单车中装载发电装备，影响用户使用，而新款小黄车可在无需充电的情况下持续工作 2 年以上，既节省了成本又减轻了运维负担。覆盖性能的提升则可以使单车在相对偏远或以往信号覆盖不好的地区仍然能够顺利连网。另外，由于 2G 网络容量有限，信道容易拥塞。比如在地铁口、公交站等人员密集区域，高峰时段开锁成功率大幅度降低，而 NB-IoT 将妥善解决这一问题。NB-IoT 的优势特性将会更广泛地应用于智慧城市的方方面面。

(3) 智能水务

2016 年，深圳水务集团联合深圳电信、华为公司一起共同推进“互联网+水务行业”的深度融合，并以 NB-IoT 智慧水表的研发应用为出发点，创新举措，大力开拓“智慧水务”业务新蓝图，改善民生。

NB-IoT 智慧水表可以实现电子计量，从而将刻度表更新转换为电子度数，同时通过设备盒里安装的电子芯片，实时传输用户用水量向水务集团客户服务中心的数据。目前传输的频率为每半小时统计一次的方式，每天提交一次全天共计 48 个点位的用水量。这项用水量的智能统计工作，不仅能实现大数据的频繁更新更替，还能大幅降低管理成本。

芯片功耗非常低，配置的电池可以使用十年左右，其优点是覆盖广泛，只要有基站的地方，就能实现较好的深度覆盖，即基本可以辐射到 2 层高楼的位置。尤其值得一提的是，通过 NB-IoT 智慧水表提供的住户用水数据做到真正的高精度、大规模，且能通过全天数据的比对，实现动态监测。



图 5.2 智能水务

(4) 智慧城市监控路灯

城市照明行业正尝试借助“物联网+”的东风，布局智慧照明。未来几年，城市智慧照明以其低碳、绿色、节能、环保为核心的创新特点，将逐步取代传统照明技术，成为城市照明行业新的业务增长点。



图 5.3 智慧路灯

南京移动联手南京市路灯管理处，共同打造了国内首批基于 NB-IoT 技术的“智能路灯”，不仅灵活方便的提高了南京市民的公共服务能力，并为企业联合创新、节能减排、信息化工作落实找到新的出路。

(5) 穿戴式应用

在可穿戴设备中，根据 NB-IoT 的特性，适用于长期的慢病监测、老人小孩和宠物的跟踪管理等不依赖智能手机的设备。对于具有即时通信类的手环产品还说，目前来看暂时还没有 NB-IoT 技术的施展空间。下面我们主要介绍适合几种 NB-IoT 的应用场景。

三星公司近期推出的 SamsungConnectTag 防丢配件，是一款基于 NB-IoT 网络的消费级移动产品，可以通过 NB-IoT 上传 GPS 数据来实时确定老人孩子的行踪，也可以用于宠物的项圈上，在大型停车场找不到自己的车时可根据手机提示位置寻找。



图 5.4 智能穿戴应用

此类应用还有很多，例如基于 NB-IoT 技术的智能自行车。配置了 NB-IoT 技术的智能自行车将具备定位的防盗功能，以及其他的数据上报和位置跟踪功能。

(6) 智能垃圾桶

智能垃圾桶便于垃圾的分类处理，能提高环卫部门的清运效率。智能垃圾桶桶盖采用太阳能清洁能源蓄电，轻松实现垃圾箱盖的感应开合，内置 GPS 定位芯片，配合传感器能监测到垃圾桶垃圾装载程度以及垃圾桶内温度测量等信息，并通过 NB-IoT 发送到云端，系统可根据回传的数据计算出垃圾回收车路线，及时清理已装满的垃圾桶。



图 5.5 智能垃圾桶

(7) NB-IoT 农业应用

NB-IoT 技术和传感器结合，可通过采集 PH 值、降水量、空气温湿度、土壤水分、土壤湿度、土壤盐分、植物营养指标以及植物生理生态指标等数据实现对农作物的实时监控，采集数据可通过 NB-IoT 网络上传云平台 and 手机 APP，具有环境超限报警功能。只要网络覆盖完善，对农业生产、监测、生产、物流运输等具有强有力的助力推动作用。



图 5.6 智慧农业

(8) 智能电网监测

鹰潭供电公司已经与银蕨电力科技有限公司合作建设了基于 NB-IoT 智能温度传感器的电缆温度实时在线监测系统，传输所监测的地下电缆温度数据，并可根据客户要求设置定值越限告警，辅以 GIS 地理信息系统及时准确定位故障点。

可以升级拓展为城市地下电缆隧道综合监测系统，实现包括使用 NB-IoT 对电缆接地电流泄露和局部放电监测，实现对电缆隧道内的温度、湿度、有害气体浓度以及水位监测、电缆隧道安防还包括隧道井盖、门禁的实时状态监测；

5.2 移动互联网与物联网的过渡之争

移动互联网整体快速发展，从技术、应用到模式和产业都实现了完整链条布局，而移动互

联网时代是否已经结束？物联网的深度发展及应用，将促发各个行业领域的创新，带来深刻而重大的变革，但目前集中存在的发展困境和难题有：

- (1) 产业链碎片化，集中度低，且产业边界模糊，物联网的发展脉络不清晰，难以把握；
第一，物联网产业链条长且分散；
第二，物联网产业边界模糊；
- (2) 物联网应用的规模化、产业化水平的问题突出，大规模应用的临界点尚未发现；
一方面，初期的物联网产品，功能简单单一、终端的价格偏高，精度和可靠性无法保障要求，难以推动形成规模效应；另一方面，因为缺乏规模化的应用，所以难以带动产业化水平真正的提升，部分技术依然停留在实验室层面，难以形成产量的产品。
- (3) 行业定制性强，标准化难度大，实现颠覆式发展难度大；

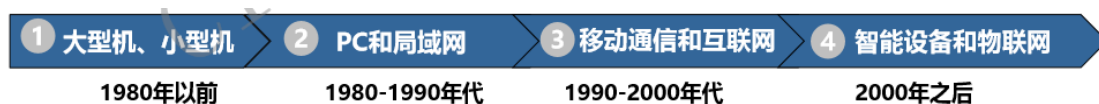


图 5.7 互联网行业发展趋势

所以物联网发展面临以下机遇：

- (1) 物联网传感及芯片技术变革持续加剧

物联网当前的爆点“硬件与平台”，其中硬件方面，全球传感器市场规模超过一万亿元，出货量超过五百亿颗，信息通信、汽车电子、医疗电子和工业电子是传感应用最广泛的四大领域。^[13]

- (2) 物联网平台已成为产业发展制高攀登点

平台汇聚数据，数据是商业价值变现的核心，平台之争正演变为生态之争。

生态整合跨越三大壁垒：

行业壁垒：物联网平台的竞争，已经从功能战升级为生态战。

技术壁垒：系统集成商在平台生态中的地位愈发重要。

需求壁垒：物联网平台、企业、协会之间正在加速合纵连横。

5.3 5G 技术将促进物联网的飞速发展

无线移动通讯发展至今，历经四代变革，5G 是实现物联网的关键技术，将真正帮助整个社会构建‘万物互联’时代。当前智能万物互联正处于连接数快速增长的阶段，预计到 2020 年全球互联终端数量有望达到 290 亿，其中 180 亿与物联网相关，而这将极大地提高工业、农业和服务业的效率。

5G 即将在 2020 年步入商业化,将真正实现的“万物互联”的梦想。目前包括 ITU、IEEE、3GPP 国际组织积极推进 5G 标准落地。5G 已经成为通信领域里的重点研究对象,5G 标准引爆全球群英战。在 5G 标准制定中谁掌握话语权,将会在新一代移动通信技术革命中占据先机。按计划,中国将力争在 2020 年实现 5G 网络商用。

5G 和物联网是通信行业未来 10 年重要的发展方向,这两者又有着密不可分的关系:要想充分实现物联网的落地,需要 5G 提供网络支撑;与此同时,还需要考虑 5G 建网的完备性以及对接入的充分性要求,物联网或许将成为 5G 最重要的应用场景。

各设备厂商也在积极介入各个垂直行业。运营商的投入加大也在推动着物联网的持续爆发。除了中国移动宣布计划在 2018 年划拨 20 亿元专项补贴,推动物联网基础设施建设,降低各行各业引入物联网技术的门槛和成本外,电信和联通也在全国加快进行移动物联网的网络铺设。

除此之外,任何一个垂直行业都有可能成为 5G 爆发的最大受益者,而最关键的就是,提前布局,形成合力,找到风口。

5G 是实现物联网的关键技术。从移动互联网和物联网主要应用场景、业务需求及挑战出发,连续广域覆盖、热点高容量场景主要满足 2020 年及未来的移动互联网业务需求。

低功耗大连接及低时延高可靠场景,主要面向物联网业务,是 5G 新拓展的场景,重点是为了解决传统移动通信系统无法克服的问题,比如如何更好支持地物联网及垂直行业应用等。^[14-16]

第六章 总结与展望

从全球来看,到 2021 年,全球联网设备数量将达到 280 亿,其中近 160 亿与物联网相关,物联网市场规模将以 23%的符合年增长率(CAGR)增长(Ericsson 2016);从国内来看,到 2020 年,物联网总体产业规模将突破 1.5 万亿元,物联网连接数突破 17 亿(工信部《物联网分册》2016)。物联网发展将带来巨大产业价值,将成为下一个万亿元级别的信息产业业务

随着五项共识的达成和大规模 NB-IoT 网络的建设,未来物联网连接数将爆发增长。美国物联网市场的运营商巨头 AT&T 持续做好网络连接基础能力,从智能家居入手,延展丰富物联网场景至六大领域。目前其物联网业务布局主要分为六大模块,分别是车联网、智能家居、智慧城市、重型机械、工业设备和智能医疗。截至 2016 年底,AT&T 规模为 3900 万,市场份额约为 45%;Verizon 物联网业务近两年来快速增长,2016 年 Verizon 物联网收入 8.5 亿美元,同比增长超过 23%,物联网增长持续强劲,2017 年 Verizon 物联网收入目标定在 10 亿美元以上。

2017 世界移动通信大会-上海”物联网专场峰会上,中国移动副总裁沙跃家表示,大幅提升车卫士、车联网、抄表等六类成熟应用规模,到 2020 年连接总量达 10 亿左右;8 月,中国移动启动 NB-IoT 大规模建设项目,计划 2017 年内实现 NB-IoT 全国范围的全面商用。预计规划期江苏公司 NB-IOT 将爆发性增长,从体量来看,到 2020 年用户规模达预计 9000 万左右,占集团目标 9.1%左右。做强连接应用,重点发展智能抄表、智能家居、智慧建筑、市政物联、智能穿戴、交通物流、广域物联和工业物联等八大物联网应用领域。

可以预见,NB-IoT 前途无量,在 5G 的浪潮来临之际,以 NB-IoT 为代表的物联网技术,将面临更广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 113070023-王冬萍 王冬萍 - 《学术论文联合比对库》 - 2014-05-04
- [2] 物联网技术的发展趋势--孙利民 - 豆丁网 - 《互联网文档 资源 (<http://www.docin.com>)》 - 2013-2-19 2:43:18
- [3] 01_王朝炜_物联网无线传输技术与应用_通信_王朝炜 王朝 炜 - 《学术论文联合比对库》 - 2012-06-11
- [4] 物联网综述(1) 吴德本; - 《有线电视技术》 - 2011-01- 20
- [5] 王晓周, 蔺琳, 肖子玉等. NB-IoT技术标准化及发展趋势研究[J].现代电信科技,2016,46 (6): 5-12.
- [6] 王旭,魏文勇. 基于窄带物联网技术的发展及典型应用研究《电信网技术》2017年11月第11期,2000:30-50.
- [7] 张超,高有军,丁海煜. NB-IoT性能浅析[J]. 移动通信,2017,41(21): 47-52.
- [8] 冯传奋. 窄带物联网部署策略探讨[J]. 移动通信,2017,41(20): 64-68.
- [9] 余莎,黄嘉铭. 基于理论和实测的NB-IOT覆盖分析[J]. 移动信息, 2016(12): 72-74.
- [10] 田敬波. NB-IoT网络覆盖能力分析 田敬波; 《电信技术》 - 2017-09-25.
- [11] NB-IoT技术及部署方案 孙凯; - 《2017年7月建筑科技与管 理学术交流会论文集》 - 2017-07-01.
- [12] 大唐移动力推NB-IoT智慧停车方案 大唐移动 - 《通信产业 报》 - 2017-06-26.
- [13] 我国MEMS传感器技术产业升级策略研究 硕天鸾;黄伟; - 《 电信网技术》 - 2017-05-15.
- [14] 5G通信技术推动物联网产业链发展 魏军; - 《集成电路应用 》 - 2017-01-12.
- [15] 2017年中国通信行业市场前景及发展趋势预测 - 《互联网 文档资源 (<http://wenku.baidu.c>)》 - 2016/11/10.
- [16] 如何读懂5G - 《人民邮电》 - 2015-03-05.

附录 4 攻读硕士学位期间参加的科研项目

（1）广东省电信规划设计院有限公司科技项目，基于 NB-IOT 物联网的智慧城市关键技术研究(RD2017008)；

（2）广东省电信规划设计院有限公司科技项目，基于 5G 试验网的典型场景建设方案与关键指标研究（YF-2018-003）

（3）广东省电信规划设计院有限公司科技项目，面向 5G 的 C-RAN 网络架构演进（YF-2017-019）

致谢

在硕士论文完成、准备答辩之际，谨向三年来一路给我莫大支持和帮助的各位老师、同学、领导、同事及家人、朋友表示最衷心的感谢，感谢三年来家人的理解和支持。

首先，我要衷心地感谢我的导师刘蕾蕾教授，在我的硕士论文阶段，从论文的开题、研究过程中每一个细节到论文的撰写都是在刘教授直接指导和悉心关怀下完成的。

感谢广东省电信规划设计院有限公司南京分院总工程师、高级工程师殷涛，感谢他给予了我大量技术方面的支持，在日常的工作中也对我关怀有加，严加指导。对论文编纂过程中的各个环节都给予了细致耐心的指导，引导我逐步增强工作和科研能力，最终顺利完成了这篇硕士论文的撰写工作。

在此，我衷心感谢南京邮电大学电子与光学工程学院的老师，老师们不辞辛苦，周末加班加点为我们传授知识，孜孜不倦的教导不仅使我们学到了知识，更完善了我们的人生观和价值观，让我们站在一个更高的平台上面对待工作和生活。

最后，还要感谢在百忙中对我的论文进行评审的各位专家和参加答辩的各位老师。