

4G 电力无线专网双层冗余覆盖方案研究

Research on the Scheme of Double Layer Redundant Coverage for 4G Power Wireless Private Network

彭 艳¹,彭雄根²(1. 绿地集团江苏事业部,江苏 南京 210012;2. 中通服咨询设计研究院有限公司,江苏 南京 210019)
Peng Yan¹,Peng Xionggen²(1. Jiangsu Business Department of Greenland Group, Nanjing 210012, China; 2. China Information Consulting & Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210019, China)

摘 要:

随着电力行业智能电网的推进和建设,电力4G无线专网作为支撑智能电网的主要手段之一,被提升到了很高的层面。基于电力无线接入控制类业务的高可靠性和低带宽要求,提出了4G无线专网的双层冗余覆盖方案。首先介绍了双层冗余覆盖方案的原理及特点,分析了双层冗余覆盖方案在面覆盖和线覆盖场景中的干扰性能。然后通过仿真验证了双层冗余覆盖方案的应用效果。最后针对双层冗余覆盖方案的不足之处,提出了相应的保障方案和建议。

关键词:

RSRP;RS-SINR;双层冗余覆盖;控制业务;干扰
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2019.10.012
中图分类号:TN929.5
文献标识码:A
文章编号:1007-3043(2019)10-0051-06

Abstract:

With the development and construction of smart grid, as one of the main means to support smart grid, power 4G wireless private network has been promoted to a high level. It proposes a dual redundancy coverage scheme for 4G wireless private network based on the features of high reliability and low bandwidth requirements of control service. Firstly, the principle and characteristics of the scheme are introduced, and the interference performance is analyzed. Secondly, the application effect of the scheme is verified by simulation. Finally, aiming at the shortcomings of the scheme, the corresponding safeguard plan and suggestions are given.

Keywords:

RSRP;RS-SINR;Dual redundancy coverage scheme;Control service;Interference

引用格式:彭艳,彭雄根. 4G电力无线专网双层冗余覆盖方案研究[J]. 邮电设计技术,2019(10):51-56.

0 引言

近年来,我国从国家层面积极推动“互联网+”在电力行业的落地,支撑智能电网的全面建设。2015年7月,国务院颁布了《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》,明确提出要通过互联网促进能源系统扁平化,推进能源生产与消费模式革命;国家发改委、国家能源局相继联合颁布了《关于促进智能电网发展的指导意见》,明确指出发展智能电网是实现我国能源生产、消费、技术和体制革命的重要手段,是发展能源

互联网的重要基础。

从电力行业自身业务来看,国家电网运检[2017]6号文中规定,配电自动化三遥终端原则上以电力光纤通信为主,对于不具备电力光纤通信条件的末梢配电终端,采用无线专网通信方式,禁止使用无线公网承载控制功能;精准负荷控制业务要求毫秒级控制,采用专用通道,下行无线通道时延小于50ms,禁止使用无线公网承载控制功能。因此,随着智能电网建设项目的推进,配电自动化、负荷控制等控制类业务迫切需求解决“最后一公里”的通信接入问题,实现多业务“安全、智能、泛在、柔性”接入。

从技术、经济、工程等多个角度综合分析,光纤网

收稿日期:2019-08-01

络稳定可靠、带宽高,是电力通信接入网不可或缺的重要组成部分,但其具有建设难度大、投资高、维护困难等特点,难以实现全覆盖,也不能支持移动应用。4G 作为新一代无线通信的演进技术,它采用了 OFDM、MIMO、64QAM 等关键技术和扁平化的网络结构,可以显著提高数据传输速率和降低数据传输时延;4G 也是一种安全性很高的技术,北京、南京已经全面建成 4G 无线政务专网,充分验证了 4G 专网的安全性和可靠性。因此 4G 高带宽、低时延、高安全性等性能可有效满足智能电网各环节业务及控制类业务的安全接入需求。

但是,4G 专网本质上是属于无线网络,无线网络的覆盖和接入等指标均为概率指标,其可靠接入的程度还是无法真正和光纤接入相比。尤其是在基站出现故障的时候,需要考虑采用一些辅助的方式来保证系统接入的可靠性。配电自动化、精准负荷控制等主体控制类业务虽然对可靠性要求较高,但对接入业务速率要求很低,而双层冗余覆盖方案能够在基站出现故障的时候,在可靠性和接入带宽之间进行折中,基本满足控制类业务的需求。

1 双层冗余覆盖概述

1.1 需求分析

由于应用的针对性和特殊性,多数行业的 4G 无线专网一般只考虑室外薄覆盖,不需要考虑深度覆盖问题,如南京 4G 无线政务专网只考虑城市道路的覆盖,江苏海事 4G 无线专网只考虑长江航道的覆盖。电力 4G 无线专网与其他无线专网相比有其相同点,也有其特殊性。相同点为电力 4G 无线专网也只需要考虑室外覆盖,即使有很多终端位于封闭或半封闭的室内环境中,但因为其终端位置的固定性,一般通过 CPE 将室外信号引入室内进行覆盖;特殊性在于:电力业务中的配电自动化、精准负荷控制等控制类业务对可靠性和安全性要求高,控制类业务可能受系统检修、故障影响,薄覆盖网络一般无法满足其业务需求。

1.2 基本原理

双层冗余覆盖的思路是确保控制类无线终端可被 2 层信号覆盖,当某个基站故障或检修时,终端可以快速切换到邻近基站,业务将不受影响(见图 1)。

根据国家电网《电力无线专网规划设计技术导则》(Q/GDW 11664-2017),电力 4G 无线专网一般是按 $RSRP > -115$ dBm, $RS-SINR > -3$ dB 进行规划。在控制

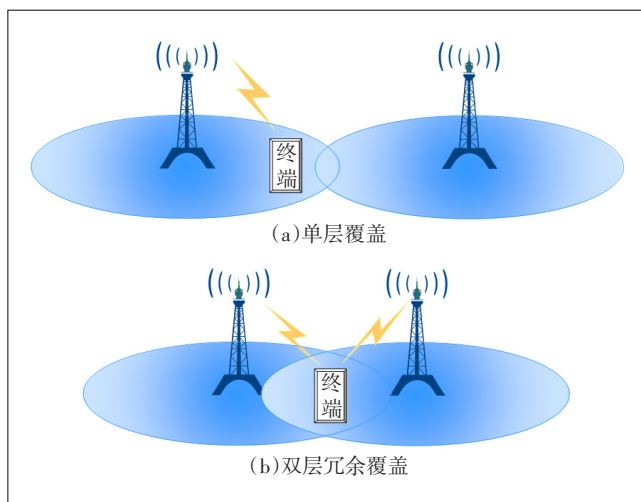


图 1 双层冗余覆盖示意图

类业务较集中的区域采用双层冗余覆盖方案,意味着区域内的控制类业务终端至少能收到 2 个 $RSRP > -115$ dBm 的基站信号,覆盖标准更高。由于 RSRP 信号的重叠覆盖,对同频组网的 4G 系统而言,是否有严重的同频干扰? 下面主要从 2 个方面来分析。

a) 所有基站正常工作,即网络结构没有被破坏。电信运营商在规模部署 4G 网络时,一般是按 $RSRP > -105$ dBm 或 $RSRP > -100$ dBm 进行规划,城区基站覆盖半径一般为 200~500 m。从组网的实际性能看,并不存在严重的同频干扰问题。而电力 4G 无线专网覆盖标准比公网低,城区基站覆盖半径在 900 m 及以上,同频干扰程度不会比运营商大。而且,双层冗余覆盖方案中,如果覆盖标准是 $RSRP > -115$ dBm,重叠覆盖比例很高;但如果覆盖标准是 $RSRP > -105$ dBm,重叠覆盖比例会下降很多,这种相对性也决定了采用双层冗余覆盖方案的电力 4G 无线专网和运营商公网一样,一般不存在严重的同频干扰问题。

b) 当某个基站因故障或检修导致服务中断,即网络结构被破坏。由于蜂窝结构遭到了破坏,覆盖的部分区域将可能会出现诸如无主导频的问题,下面将基于该问题,进行定量分析和仿真验证。

1.3 方案特点

1.3.1 方案应用的针对性

因电力行业智能电网的推进和建设,国家电网等公司将配电自动化、精准负荷控制等控制类业务的可靠性和安全性提到很高的水平。双层冗余覆盖方案虽然在网络侧没有革新,但在业务的保障上是一种切实可行的针对性方案,基本能够保证当某个基站因故

障或检修导致服务中断时,控制类终端能够快速接入到其他基站,满足其基本的接入需求。

1.3.2 覆盖范围的区域性

从某地(市)配电自动化、精准负荷控制等控制类业务的分布情况看,固定的业务终端主要分布在城区和郊区(供电负荷在C类及以上地区),具有分布的大区域性,其中,精准负荷控制业务主要分布在主城区,配电自动化业务主要分布在主城区、开发区、工业园等。因此双层冗余覆盖方案的应用范围主要是在主城区和郊区。

1.3.3 保障网络可靠性的应急预案

个别基站服务中断后,故障的恢复或其他基站工参的调整往往需要较长时间。双层冗余覆盖方案旨在解决控制类终端在基站服务中断过程中的可靠接入问题,是一种针对基站故障问题的有效应急预案。

2 双层冗余覆盖干扰分析

2.1 总体说明

评估网络覆盖效果,需要同时考虑 RSRP、RS-SINR 等指标。

RSRP:在 3GPP 协议中,RSRP 定义为在考虑测量频带上,承载小区专属参考信号的资源粒子(RE)的功率贡献的线性平均值,可以认为 RSRP 代表了每个子载波的功率大小,它是作为小区选择的判据。但它是 RE 级别的功率,一般为-70~-120 dBm。

RS-SINR:RS-SINR 在终端定义为 RS 有用信号与干扰的比值,它没有在 3GPP 进行标准化。SINR 代表业务信道的质量,直接决定了业务速率。因 RS-SINR 与 SINR 之间有极强的联动性,可以作为 CQI 反馈的依据,在业务调度中发挥作用。不同的 CQI 对应不同的 MCS 和 SINR 门限,最低阶的 CQI(=1)等效 SNR 阈值(BLER=10% 条件下)为-6~-7 dB,低于该值,接收机无法解调的概率很大,或者即使能解调,但业务接入的稳定性也得不到保障。

虽然电力无线专网以 RS-SINR>-3 dB 进行规划,但控制类业务带宽要求低,根据 CQI 与 MCS 的对应关系,最低阶 CQI 也能实现单 RB 超过 20 kbit/s 的速率。因此,在评估双层冗余覆盖方案是否能满足低带宽控制类业务需求时,可以将 RS-SINR 的评估标准下降到-6 dB 左右。

实际网络拓扑结构并非标准的蜂窝结构,任何一个基站的断开都是一个特例,并不具备代表性。下面

将用标准蜂窝结构替代实际网络进行分析。

相关网络结构参数如下。

站间距:1 500 m(小区覆盖半径 1 000 m,参考某地(市)电力公司无线专网链路预算(见表 1))。

表 1 某地(市)电力公司无线专网链路预算

参数		取值(上行边缘速率 128 kbit/s)
系统参数	频段/MHz	1 795
	需 RB 数	4
	MCS 效率	0.41
发射设备参数	最大发射功率/dBm	23
	发射天线增益/dB	0
	发射分集增益/dB	0
	EIRP(不含馈损)/dBm	23.0
接收设备参数	接收天线增益/dB	17
	噪声系数	2.3
	热噪声	-174.00
	接收机灵敏度/dBm	-113.90
	分集接收增益/dB	3
附加增益	干扰余量/dB	3
	切换增益/dB	0
场景参数-密集市区	发射天线高度/m	30
	阴影衰落/dB	10.4
	馈线接头损耗/dB	2
	穿透损耗/dB	0
MAPL	密集市区/dB	141.54
传播模型	移动台高度/m	1.50
	密集市区:Cm	3.00
覆盖半径	密集市区/km	1.02

传播模型:Cost231-HATA 模型(城区)。

系统频率:1 790~1 800 MHz。

时隙配置:UL:DL=3:1。

上行边缘速率:128 kbit/s。

其他参数与某地(市)电力公司规划参数一致。

2.2 面覆盖场景

如图 2 所示,某一基站断开前:标准蜂窝结构面覆盖场景中,干扰严重的区域一般位于 3 个小区的交界处,如 A、B。A 处:较强信号为 1、3、5,次强信号主要为 2、4、6,其他信号相对更弱。B 处:较强信号为 3、4、5,次强信号主要为 1、7,其他信号相对更弱。

某一基站断开后:干扰最严重的区域转移至断开基站所在的位置 C 处。该位置较强信号为 5、9、12,次强信号主要为 1、2、7、8、10、11,次强信号个数相对断开前有增加,其他信号相对更弱。

因此,某一基站断开前后,根据较强信号和次强

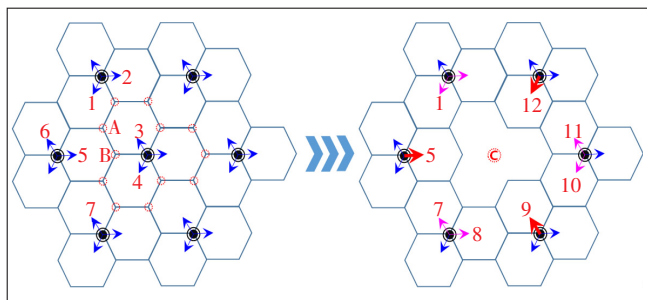


图2 标准蜂窝结构面覆盖场景干扰的分析

信号的个数,可以定性认为:该基站所在区域(C处)的干扰比原网络干扰严重的区域(A、B等处)还要强。

2.3 线覆盖场景

如图3所示,某一基站断开前:标准蜂窝结构线覆盖场景中,干扰严重的区域一般位于3个小区的交界处。如A、B处:A处较强信号为1、2、3,B处较强信号为4、5、6,次强信号主要为2、4、6,其他信号相对更弱。

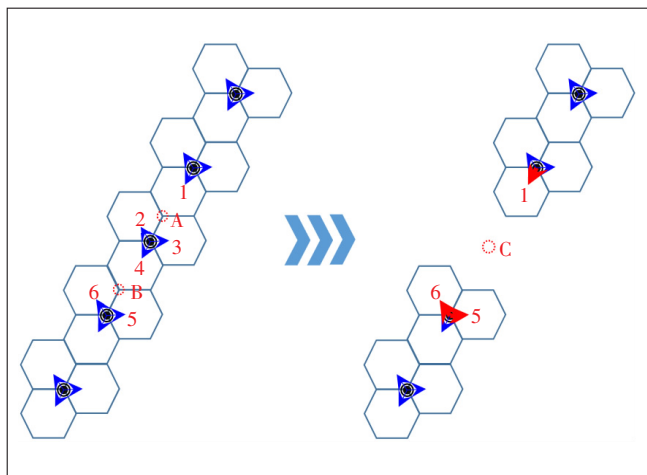


图3 标准蜂窝结构线覆盖场景干扰的分析

某一基站断开后:原来A、B两处干扰严重的区域转移至断开基站附近的位置C处。该位置C处较强信号为1、5、6,其他信号相对更弱。

3 双层冗余覆盖仿真验证

3.1 面覆盖场景

根据各基站服务小区范围的预测,某一基站断开后,3个强信号和6个次强信号汇聚于断开基站的所在区域,如图4所示。

根据仿真结果,某一基站断开后,原该基站覆盖区域内,满足 $RSRP \geq -115$ dBm 的重叠覆盖小区个数不低于4个的面积覆盖率为100%,满足 $RSRP \geq -115$ dBm 的重叠覆盖小区个数不低于1个的面积覆盖率的要

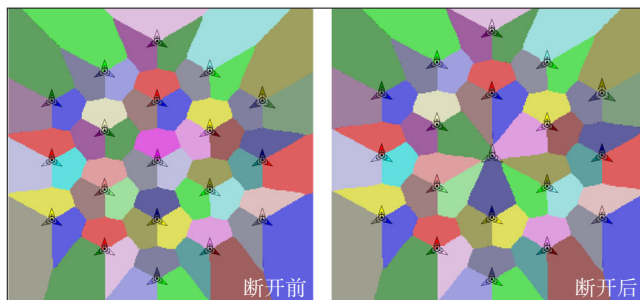


图4 标准蜂窝结构的面覆盖场景服务小区分布图

求。因此,面覆盖网络中,通常 $RSRP$ 属于过覆盖,某一基站断开后,一般会有其他基站的 $RSRP$ 在该基站处能满足 $RSRP \geq -115$ dBm 的要求。

如图5所示,某一基站断开后,原该基站覆盖区域内, $RS-SINR \geq -6$ dB 的覆盖率降低不到20个百分点,但该基站与周边一圈基站原有的小区交汇处, $RS-SINR$ 有所改善。

因此,面覆盖网络中,某一基站断开后,区域的 $RS-SINR$ 分布发生变化,有部分区域会降低到接收机解调门限以下,双层冗余覆盖效果还需要附加其他措施来保证。

3.2 线覆盖场景

根据各基站服务小区范围的预测,某一基站断开后,3个强信号汇聚于断开基站所在区域,如图6所示。

根据仿真结果,某一基站断开后,原该基站覆盖区域内,满足 $RSRP \geq -115$ dBm 的重叠覆盖小区个数不低于1个的面积覆盖率为100%,满足 $RSRP \geq -105$ dBm 的重叠小区个数不低于1个的面积覆盖率下降32.6个百分点。

线覆盖网络中,某一基站断开后,一般会有其他基站的 $RSRP$ 在该基站处能满足 $RSRP \geq -115$ dBm 的要求。

如图7所示,某一基站断开后,原该基站覆盖区域内, $RS-SINR \geq -6$ dB 的覆盖率基本维持不变,和前述理论分析结果一致。线覆盖网络中,某一基站断开后,区域内 $RS-SINR$ 的覆盖率能够满足网络覆盖的要求,双层冗余覆盖有效。

4 双层冗余覆盖效果及保障方案

4.1 覆盖效果

综上所述,应用于4G电力无线专网中的双层冗余覆盖方案,因场景不同,覆盖效果也不同。对于面覆盖场景,某一基站断开后,断开基站附近区域主要干

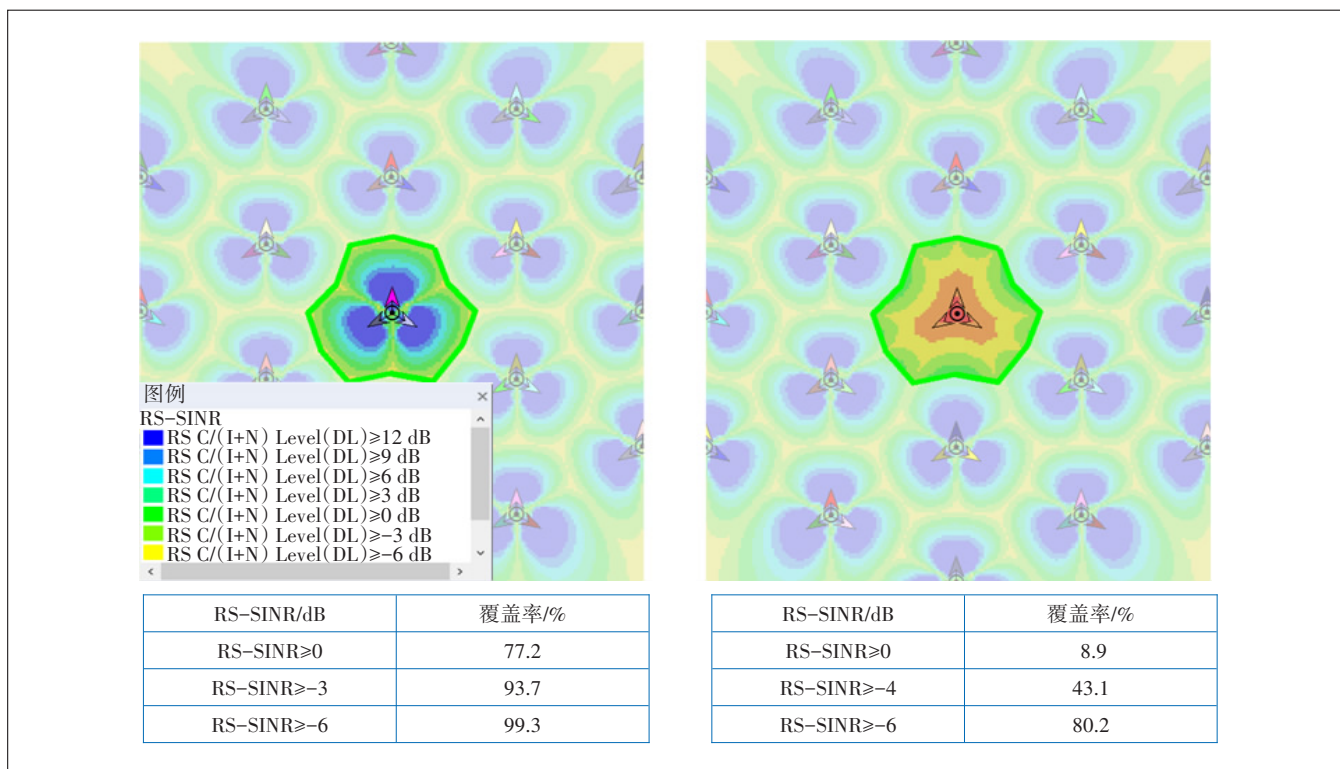


图5 标准蜂窝结构的面覆盖场景RS-SINR分布

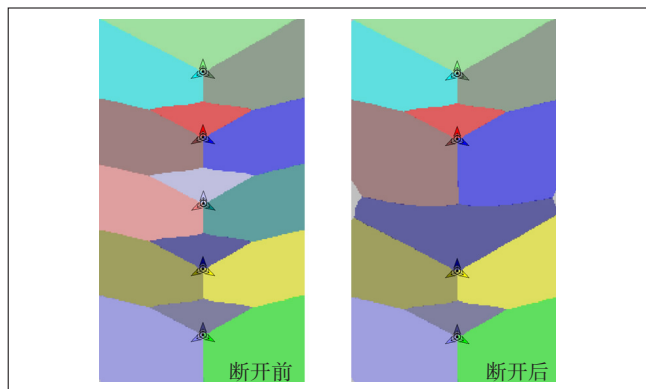


图6 标准蜂窝结构的线覆盖场景服务小区分布图

扰信号数量发生改变,该基站部分覆盖区域内的RS-SINR下降较为明显,并集中在该基站附近,双层冗余覆盖效果还需要附加其他措施来保证;对于线覆盖场景,某一基站断开后,断开基站附近区域内主要干扰信号数量并未发生明显改变,RS-SINR的覆盖率能够满足网络覆盖的要求,双层冗余覆盖有效。

但是,由于控制类终端业务带宽要求较低,可靠性要求较高,只需要解决终端接入的可靠性问题,就基本能满足控制类业务的要求。

4.2 保障方案

4.2.1 控制类终端采用定向天线

基站断开后,定向接收天线可以降低落入接收机的干扰信号强度,在性能严重恶化的区域RS-SINR将有2~3 dB的增益,有超过10%面积的RS-SINR提升到解调门限值以上,意味着有90%以上的区域RS-SINR将超过最低解调门限,控制类业务基本能够成功接入。但是,采用定向天线是以降低基站断开前终端接收信号信噪比为代价的。

4.2.2 加强设备级的可靠性

主设备可靠性。为了提高基站主设备的可靠性,可对基站主设备的关键部件按1+1主备配置。

电源设备可靠性。电力无线专网基站主要选址于自有变电站、办公楼或营业部等自有物业,位于变电站的基站,电源供应一般具有较高的可靠性,可根据变电站机房现有电源的条件,增加DC/DC变换器和AC/DC变换器等;位于办公楼与营业部的基站,供电方式可参考运营商的建设标准,在上述基础上,配置蓄电池,避免因市电的突发性中断带来的影响。

传输可靠性。不管是突发性的光缆线路阻断还是光纤链路阻断,或是进行光缆割接,都可能会造成明显的通信中断,造成不同严重程度的影响。为了提高传输的可靠性,对重要传输光缆线路建议采用双路由的方案。

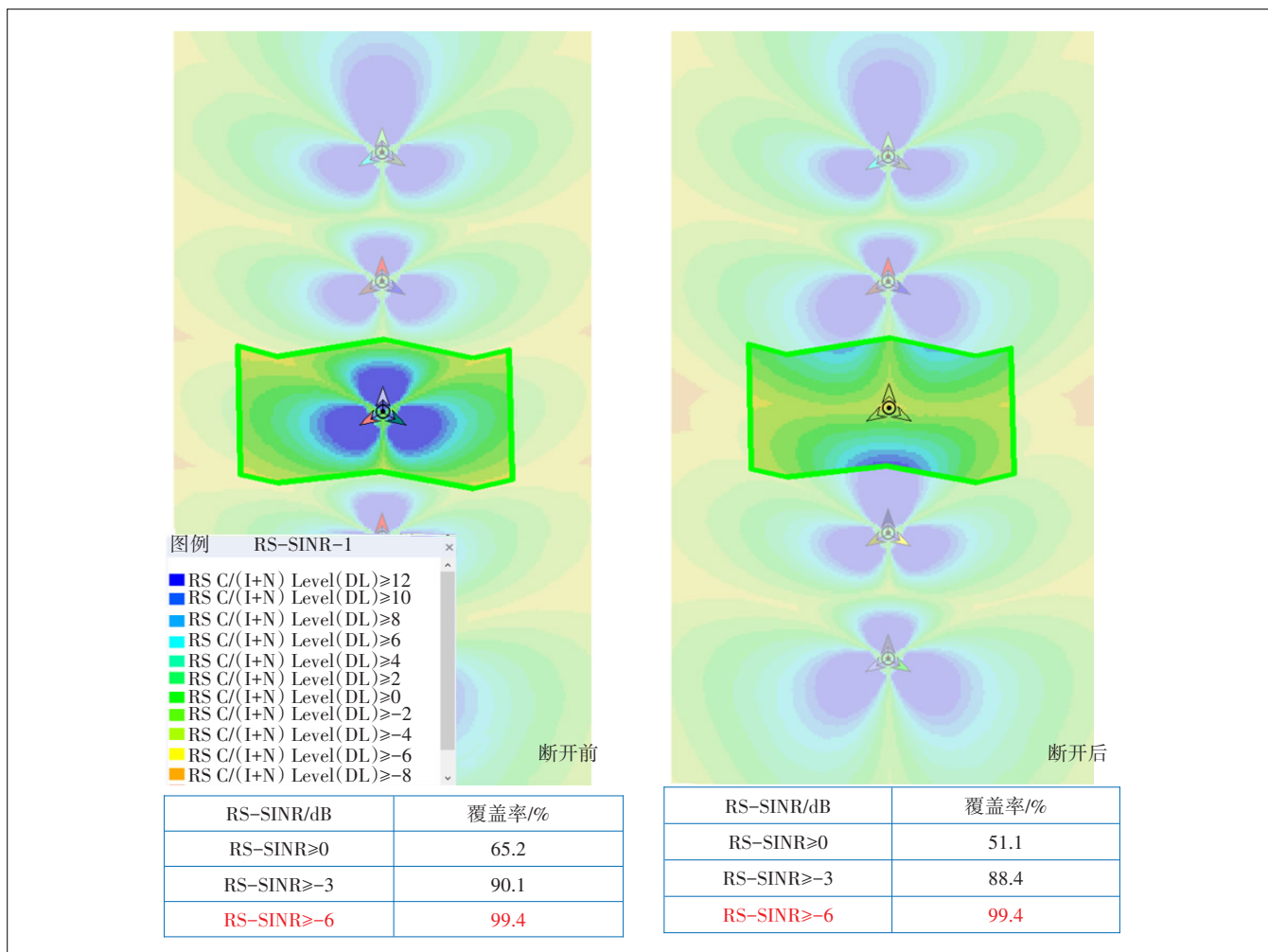


图7 标准蜂窝结构的线覆盖场景RS-SINR分布

4.2.3 应急响应机制

基站断开后, 双层冗余覆盖方案只能解决控制类终端的基本接入问题, 若要对控制类终端提供更可靠的保障, 还需要参考运营商的保障措施, 加大基站断开后的应急保障力量的投入: 成立网络维护部门, 完善应急响应机制, 加强对无线专网的维护, 遇到火灾、自然灾害、意外情况等造成无线网络中断的紧急事件时, 应急响应机制能够迅速启动, 缩短抢修时间, 尽可能降低对业务的影响。

5 结束语

由于薄覆盖的4G无线专网无法满足配电自动化、精准负荷控制等控制类业务的可靠性要求, 在网络规划时, 可考虑采用双层冗余覆盖方案, 解决因单个基站故障或检修时控制类业务终端无法接入的问题。但双层冗余覆盖方案因场景不同, 覆盖效果也不同。

本文基于面覆盖和线覆盖场景, 研究和验证了针对控制类业务的双层冗余覆盖方案的效果, 并针对双层冗余覆盖方案的不足, 提出了相应的保障方案和建议。

参考文献:

- [1] 彭雄根, 何浩. LTE 规划指标体系及其统计关系研究[J]. 电信快报, 2015(1): 13-17.
- [2] 彭雄根, 何浩, 李新, 等. 站址及天面高度偏离对4G网络覆盖的影响[J]. 移动通信, 2016(16): 5-9.

作者简介:

彭艳, 工程师, 学士, 主要从事电气工程及无线技术研究工作; 彭雄根, 工程师, 硕士, 主要从事移动通信网络规划与设计及4G关键技术研究工作。

