

doi:10.11959/j.issn.2096-3750.2017.00031

面向物联网的 GSM900 网络频率重耕方法研究及应用

许伟东¹, 周俊², 宫晓强¹, 武科¹, 邓也¹

(1. 中国移动通信集团设计院有限公司安徽分公司, 安徽 合肥 230041;
2. 中国移动通信集团设计院有限公司网络研究与优化事业部, 北京 100080)

摘要: 随着现阶段 GSM900 网络无线利用率的降低、LTE 业务的迅猛发展和物联网技术的日趋成熟, 为最大化资源承载效率, GSM900 网络将清退部分频段用于物联网等其他网络建设。主要研究在满足物联网频率资源需求的情况下, 基于智能自动频率优化系统 (AFOS) 开展 GSM900 网络频率重耕的方法及在实际中的应用。

关键词: 频率重耕; AFOS; 物联网; 分频

中图分类号: TN915

文献标识码: A

Research and application of spectrum re-farming method for GSM900 network oriented to IoT

XU Wei-dong¹, ZHOU Jun², GONG Xiao-qiang¹, WU Ke¹, DENG Ye¹

(1. China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Anhui Branch Institute, Hefei 230041, China;
2. Network Research and Optimization Division, China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China)

Abstract: With the decrease of the wireless utilization rate of GSM900 network at present, the rapid development of LTE services and the growing maturity of the IoT (Internet of Things) technology, in order to optimize the spectrum resources carrying efficiency, the GSM900 network will be used for other networks such as the IoT. How to carry out spectrum re-farming of GSM900 network based on intelligent automatic frequency optimization system (AFOS) and its practical application is studied.

Key words: spectrum re-farming, AFOS, IoT, frequency planning

1 引言

移动通信从 4G 走向 5G, 工业革命向万物互联迈进。据预测, 2018 年全球物联网设备数量将超过个人计算机 (PC)、平板与智能手机存量的总和, 2020 年物联网将实现数百亿的连接量和万亿美元的产业规模。物联网市场逐步打开, 未来物联网业务将成为运营商收入的重要载体, 物联网市场将成为运营商新的角力场^[1~5]。

中国移动蜂窝物联网 (FDD) 考虑采用 900 MHz 频段进行组网, 综合考虑 900 MHz 频段上 2G、LTE-FDD 与 NB-IoT 的频点安排 (如图 1 所示)。NB-IoT 预留 900 MHz 的 3 个高端频点, 建网初期先使用 1 个, 力争 2017 年实现 NB-IoT 商用, 满足低速率物联网业务需求, 蜂窝物联网业务增长后,

再考虑多载波方式; 适时引入 eMTC 技术, eMTC-FDD (900 MHz) 将 948.3 MHz 作为中心频点, 采用 945.8~950.8 MHz 的 5 MHz 带宽进行部署, 满足中高速物联网业务需求, 后期逐步升级为 10 MHz 和 15 MHz 组网。

本文基于中国移动物联网的发展策略, 研究在满足物联网频率资源需求情况下, 基于自动频率优化系统 (AFOS) 开展 GSM900 网络频率重耕的方法及在实际中的应用。

2 AFOS 分频思路及流程

基于测量报告 (MR, measurement report) 数据的 AFOS 频率重耕优化基本思路如下。

1) 重耕准备: 做好基础数据的核查, 确定分频区域及保护带, 制定分频计划, 完成现网频率使用

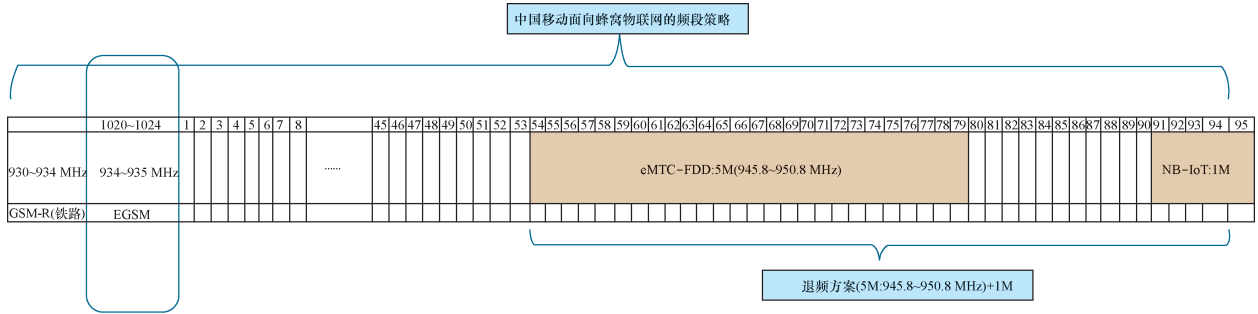


图 1 中国移动面向蜂窝物联网的频率策略

情况评估，确定频率模型。

2) 前期优化：完成减容降配、主 B 压缩、同频同色核查及邻区优化，为缩短 MR 采集周期、提高采集的完整度和准确度做准备。

3) MR 采集：制定 MR 测量计划，制作 BALIST 虚拟频点添加调度命令，要求对现网中的所有 BCCH 频点都进行测量，收集 MR。

4) 分频：生成干扰矩阵，AFOS 依据干扰值进行分频运算，输出全局最优解方案，但因为网络结构及场景的复杂性，需要对频率方案进行核查和微调。

5) 割接、优化：割接脚本制作，割接前需要评估割接中的风险，做好备份和应急预案，割接完成后进行所有 BSC 拨打测试及主要道路 DT 测试，同时监控指标情况，对劣化小区及时进行分析与调整。

频率重耕流程如图 2 所示。

3 重耕准备

3.1 分频区域和保护带设置

如果地市规模较大，可以规划多个分频区域和割接批次，可以参考地理区域特点、工程施工量、网络区域（如 MSC POOL）等方面进行综合确定。工程施工量方面需要考虑割接当晚割接脚本的执行时间、工作量与资源匹配情况等。

保护带一般设置为分频区域边界外 2 层(农村)或 3 层邻区（城区）。全网需分批割接时，如果按照 BSC 割接，需要注意 BSC 内小区插花情况，在设置保护带时，如果全网规模不大，可以考虑将本次分频区域外的其他区域均设为保护带；如果规模较大，建议剔除插花小区，采用手工规划。

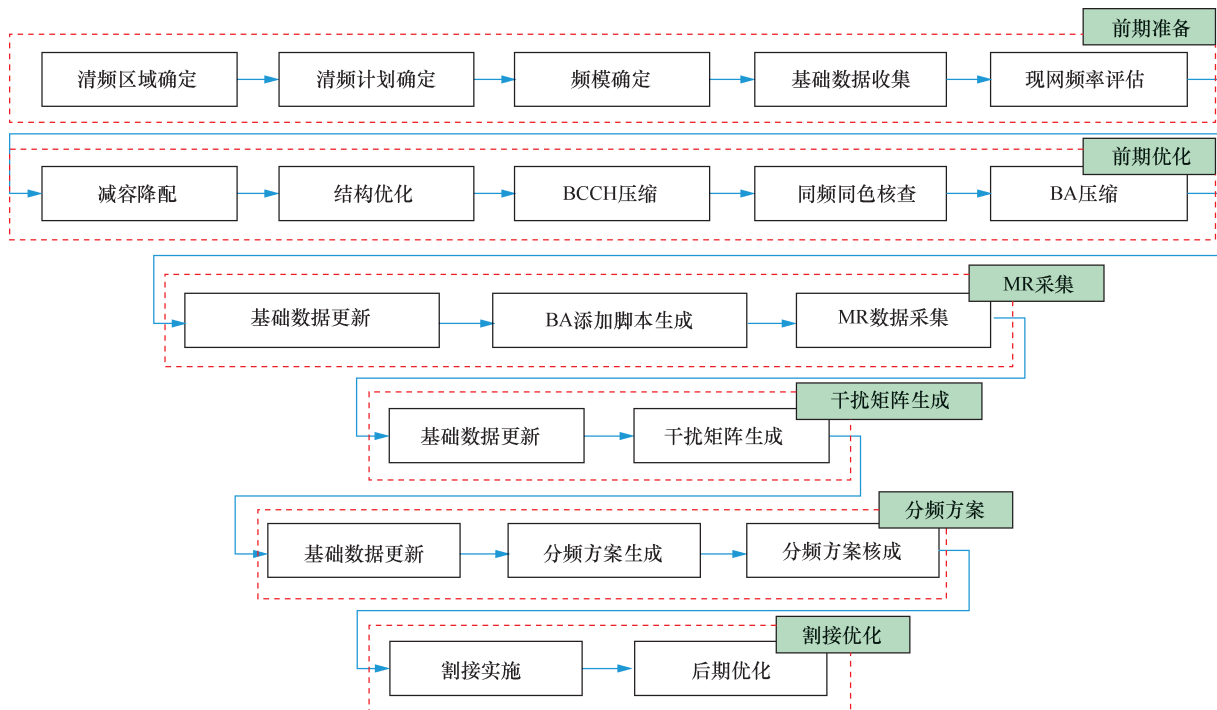


图 2 AFOS 频率重耕流程

3.2 频率模型的确定

根据中国移动物联网的部署策略，GSM900 网络要腾退 945.8~950.8 MHz 的 5 MHz 带宽和 953.2~954 MHz 的 1 MHz 带宽的频率资源用于物联网，剩余频率资源用于 2G 业务。

如图 3 所示，针对满足 2G 业务的频率使用策略，建议宏站 BCCH 预留 21 个频点，采用 7×3 复用方式；室分 BCCH 预留 4~6 个，建议使用 1、3、5、7、9、11；TCH 频点建议采用 4×3 复用，优先使用 BCCH 之外的 43 个频点；高铁 BCCH 可使用除宏站、室分主 B 之外的频点，如 20~43 的偶数频点。

如果配置过高，可考虑有条件地使用 EGSM 频点，如宏站 5 载频以上使用，室分 4 载频以上使用，E 频点的使用需要考虑设备支持情况。对高铁周边大网进行分频时，考虑与 GSM-R 的干扰，高铁周边 2 km 内限制使用 EGSM 频点，高铁周边一定距离内限制使用 1~10 号小频点；同时为了保障高铁专网的质量，限制大网在一定距离内与高铁专网小区同邻频，距离一般设置在 500 m 左右，距离过大将增加大网的分频难度。

4 前期优化

基于 MR 的频率重耕的关键在于取得尽可能详

尽的 MR，从而全面地反映服务小区与周围小区的关系。MR 采集采用修改 BA 调度的方式，遍历测量全网所有正在使用的 BCCH 频点，即测量服务小区周围所有可能存在干扰的频点，因此，MR 的采集周期与完整度受全网 BCCH 频点个数和 BA 空位影响。

如图 4 所示，由于前期未进行 BCCH 压缩，软件评估 MR 采集周期过长，测量轮数 15 天之后趋于稳定，表明少量小区影响了整理测量周期。图 4 显示，完成 16 轮采集之后 MR 完整的小区比例达 98%。为保证 MR 采集的效果，前期需要对现网进行相应的优化。

前期优化建议如表 1 所示。

5 MR 采集

前期优化完成后，进行 MR 数据的采集，MR 采集的流程如图 5 所示。

在生成 BA 脚本时，诺基亚 BA 可用长度为 30，华为、中兴、卡特 BA 可用长度为 31，每轮 BA 脚本执行，只进行固定虚拟添加频点的测量；爱立信不需要生成 BA 脚本，只需要在 OMC 中把所有需要测量的频点添加进去，系统会根据 BA 空位周期性地自动轮询虚拟频点进行测量，一般默认周期为 10 min。

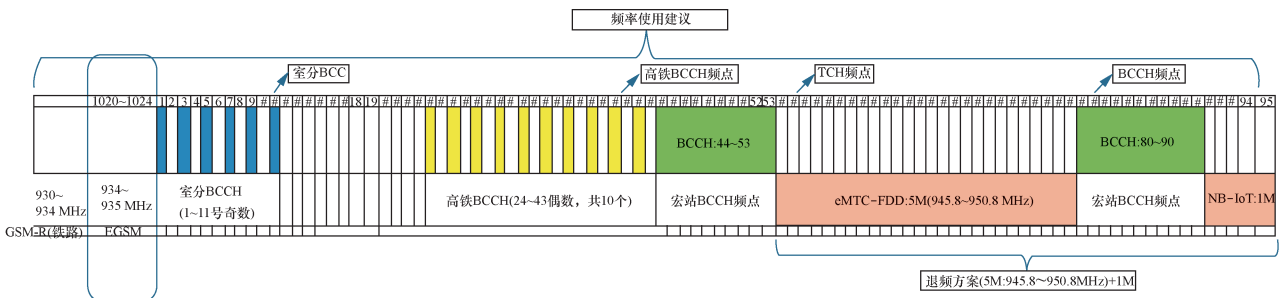


图 3 某省 GSM900 频率重耕频率使用建议

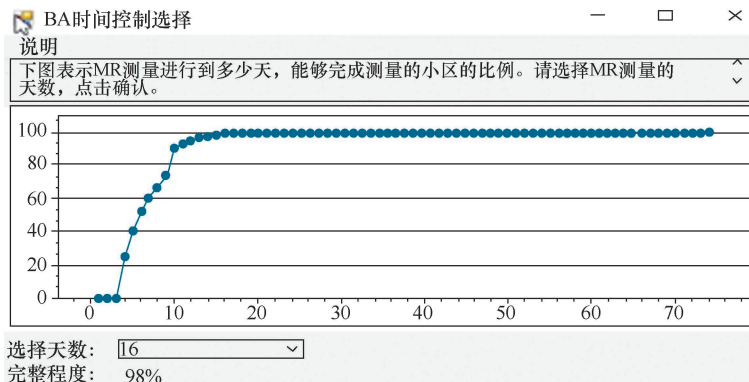


图 4 MR 采集周期评估

表 1 前期优化建议

主要优化内容	优化思路
减容降配	设定目标复用度，参考退频后的频率复用度大于 18.4
BCCH 压缩	视现网主 B 使用情况确定，有些网络频率使用混乱，在保证现在质量的前提下，优化后主 B 使用数量越少越好，优先调整主 B 频次较少的小区；实际优化中，可考虑 BCCH 与 TCH 互换的方法
BSIC 优化	一般进行 5 km 范围内同频同色的核查，优先优化宏站对宏站，宏站对室分同频同色小区对，室分对室分可以适当降低距离标准
邻区删除	首先依据压缩后的 BCCH 个数和现网邻区数，评估需要控制的邻区数； 优先删除有邻区无切换邻区（故障小区除外）；按站间距和切换次数删除，删除距离较远切换较少的邻区；小区涉及高铁专网小区、超级基站等，不删除；有切换，目标小区为室分的，尽量不删除

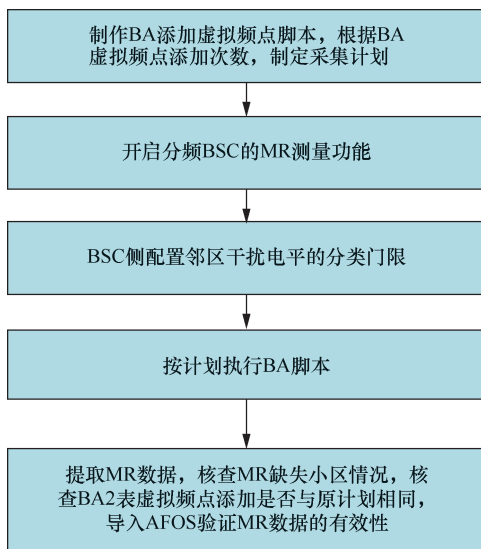


图 5 MR 数据采集流程

开启 MR 测量后，会根据 BSC 侧设置邻区干扰电平分类门限，将 BTS 上报的测量数据分类统计到相应的门限区间内，进而计算同频、邻频干扰概率。由于每个厂家 MR 测量机理不同，MR 数据格式也不同，门限设置有区别。

1) 诺基亚邻区干扰电平门限设置

ZTPM:MEASUR,CHAN_FIN:ALL,6-00-22-00,4:DB1=-12,DB2=0;

ZTPM:MEASUR,DAC:ALL,6-00-22-00,4:DB1=-12,DB2=0。

2) 华为邻区干扰电平门限设置

对应 NCELLINTERFLEVELTHRES0 = 0~NCELLINTERFLEVELTHRES7, BSC 邻区电平干扰门限设置 0、46、52、58、64、70、73、79。

3) 中兴邻区干扰电平门限设置

中兴原始 MR 按电平值-10~21，以 1 递增划分 32 个区间，无需设置分类门限。

4) 卡特邻区干扰电平门限设置

对应的 Radio C/I Bands 的参数 MEAS_STAT_C_I_1 到 MEAS_STAT_C_I_9 设置为-12、-9、-6、-3、0、3、6、9、12。

5) 爱立信邻区干扰电平门限设置

RABDC:RID=BARID00,RELSSN=9,RELSS2P=9。

6 方案输出

6.1 基于干扰矩阵输出全局最优频率方案

AFOS 分频的基础是基于 MR 数据构建的干扰矩阵，干扰矩阵是用干扰概率表示的服务小区和干扰小区的同邻频数学关系。MR 将采样点分为 HIGH/MID/LOW，表示干扰强度，分别进行采样点数量统计，2 个小区间的邻频干扰概率可以用 HIGH 采样点数量与总采样点数据的比表示，同频干扰概率可以用 HIGH+MID 采样点数量与总采样点数量的比表示。

AFOS 分频通过干扰矩阵结合切换、话务量等数据加权，以求得全网干扰值最低为目标，通过遗传算法实现数据计算中高性能以及较好的算法收敛，以获取全局最优解，实现频率分频的最优方案。分频前后干扰值的变化趋势如图 6 所示。

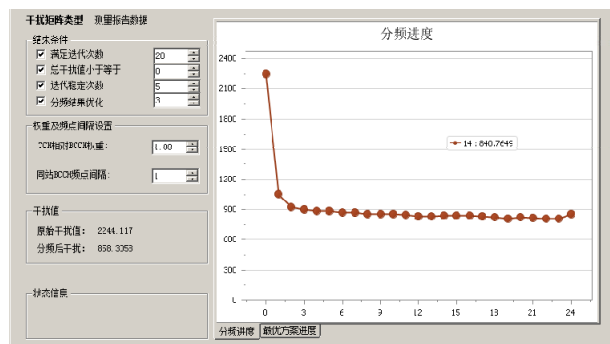


图 6 AFOS 分频效果

从图 6 可以看出，分频后全网整体干扰值比现网降低 62%左右。在迭代的最后，干扰值有一点上升，是因为最后对分频区域内 10%左右的带宽限制小区进行频点调整所致。

6.2 分频效果评估

同频小区对数量可在一定程度上反映区域内频点规划的合理程度，通过 3 个维度，即距离、切换次数和 MR 同频干扰概率构建同频小区对，进行统计和对比评估。对某密集城区 4 000 多个小区 12 400 多载频频分后，按照 1 km 距离内、切换 TOP3（高切换）、同频干扰概率 TOP3（高干扰）构建同频小区对，共梳理出小区对 43.6 万条，其中，1 km 范围内小区对 43.37 万条，高切换小区对 1.16 万条，高干扰小区对 1.17 万条。

通过对小区对的统计分析可以看出，同一距离范围的同频小区对数量分频后比现网明显增加（如表 2 所示），这是由退频后可用频点数量变少造成的；高干扰和高切换可以认为是与本小区关系最紧密的小区簇，对服务小区的整体干扰贡献最大，统计看出 1 km 范围内的高切换、高干扰小区对，分频方案比现网方案有所减少，即相互干扰降低，如图 7 所示。

表 2 不同距离范围内分频方案和现网同频小区对分析

站间距/m	现网同频小区对数	分频方案中同频小区对数	变化
0	12	46	↑
(0,50]	24	204	↑
(50,100]	110	474	↑
(100,200]	680	1 742	↑
(200,300]	1 516	3 164	↑
(300,500]	5 692	9 890	↑
(500,1 000]	29 613	45 402	↑

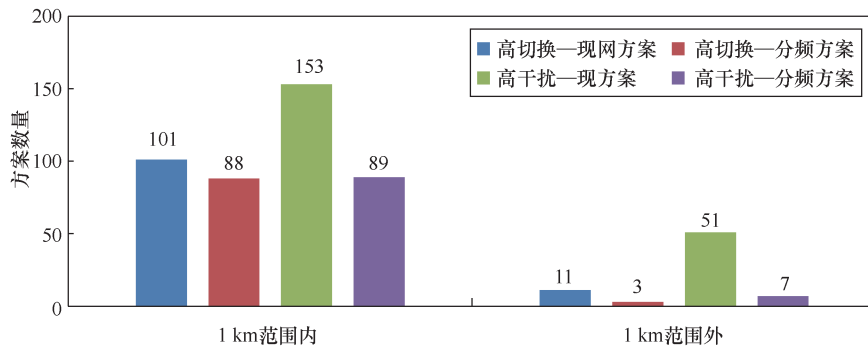


图 7 高切换和高干扰同频小区对分析

6.3 分频方案验证

6.3.1 邻站同频问题验证

如图 8 所示，7291 与 22791 小区相距 580 m，22791 与 11671 小区相距 520 m，3 个相邻的小区分频后均分配了 12 号频点，存在邻站同频情况。

核查这 3 个小区的工作状态，均为 WO 状态，干扰矩阵中也存在这 3 个小区。

核查现网一周的切换统计数据，发现 7291 与 22791、22791 与 11671 这 2 对小区之间未发生切换。

核查现网邻区关系，发现 7291 与 22791、22791 与 11671 虽为邻站，但是未做邻区关系。

核查干扰矩阵，发现不存在 7291 与 22791、22791 与 11671 这 2 对小区的干扰关系；如果 2 个小区的同频干扰非常小，在干扰矩阵中被忽略。

尽管从图 8 中看，这 3 个小区存在同频干扰情况，但这 2 对小区关系其实并不紧密，因此，在分频运算中，系统会将这 3 个小区分成同频。

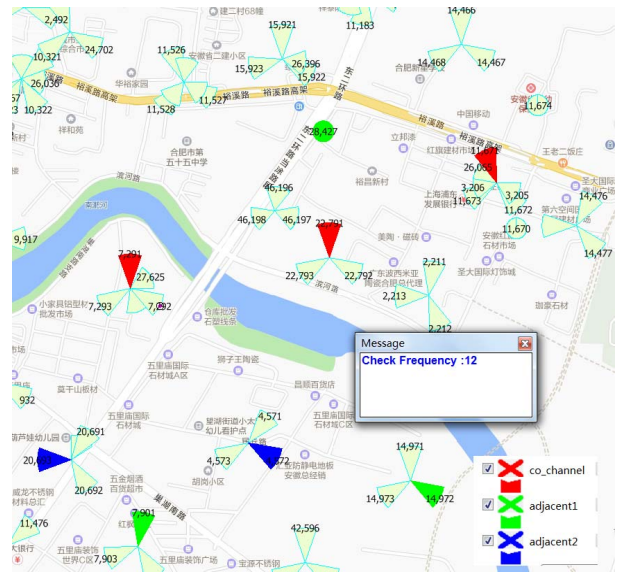


图 8 邻站同频问题

6.3.2 邻站同频对打验证

如图 9 所示, 933 小区 TCH1 使用 12 号频点, 20693 小区 TCH1 使用 13 号频点, 两个小区相距 300 m, 存在邻站邻频对打的情况。

如图 10 所示, 核查 933 与 20693 及 20691、20692 的邻区关系和切换统计, 发现 933 与 20691 的切换次数比 20693 多几倍。如图 11 所示, 核查干扰矩阵中 933 与 20693 及 20691、20692 的干扰情况, 933 与 20693 这个站的 3 个小区的邻频干扰中, 只有 20693 最小, 因此软件在分配频点的时候, 将 20693 分成邻频, 而不是把另外 2 个小区分成邻频。

如图 12 所示, 如果将 933 小区的 12 号频点修改为 40 号频点, 看起来干扰情况得到改善。但是从干扰小区频点干扰值列表可以分析, 该小区使用

40 号频点将比使用 12 号频点, 整体干扰值将变大。因此, 对单小区而言, 在生成 MR 干扰矩阵后, 系统会依据干扰小区各频点的干扰值, 优先选择干扰值最小的频点。

6.4 频率方案核查方法

由于网络结构的复杂性和场景的多样性, 需要对频率方案进行核查, 目的是避免出现同站同邻频、近站同频、高干扰、高切换小区同频等情况, 核查思路如下。

- 1) 构建小区对: 通过站间距 (1 km)、切换 (TOP3)、干扰 (TOP5) 生成关联小区对列表。
- 2) 针对同站同/邻频、近站、高切换、高干扰同频输出 3 个级别 5 条原则的核查问题点。
优先级 1: 50 m 宏站 (包括高铁宏站) 对其他

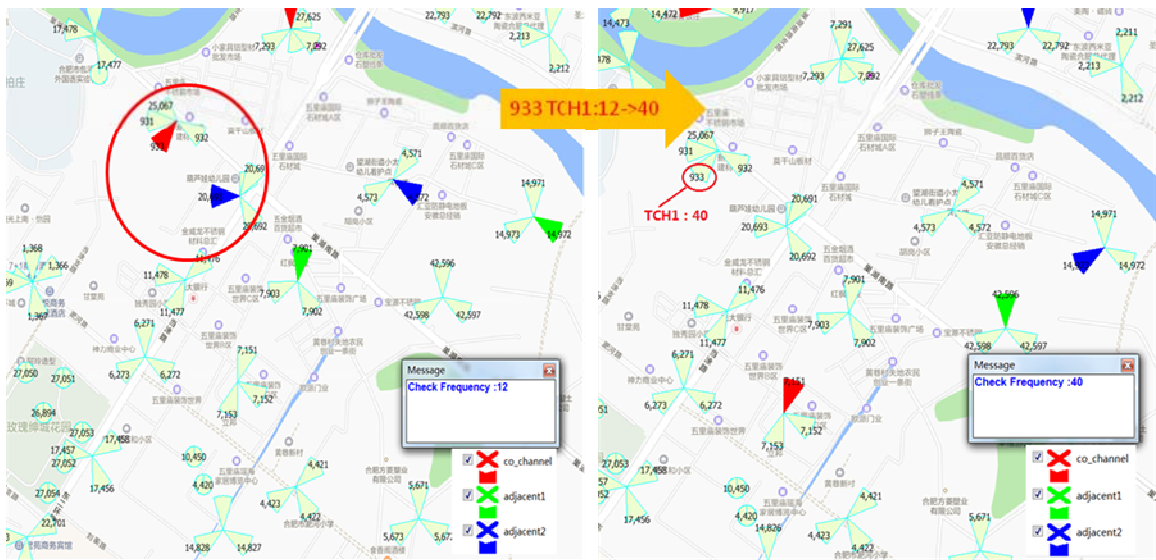


图 9 邻站邻频对打问题

A	B	C	D	E
CellId	NeighborCellId	是否存在邻区关系	HandOverReq	HandOverSuccess
460-00-22025-933	460-00-22025-20693	是	272	266
460-00-22025-20693	460-00-22025-933	是	140	137
460-00-22025-933	460-00-22025-20692	否		
460-00-22025-20692	460-00-22025-933	否		
460-00-22025-933	460-00-22025-20691	是	1714	1703
460-00-22025-20691	460-00-22025-933	是	1149	1147

图 10 933 与 20693 及 20691、20692 的邻区关系和切换统计

A	B	C	D
MCellId	NCellId	AccordNoise	AdjcentNoise
460-00-22025-933	460-00-22025-20691	0.14432	0.021761
460-00-22025-933	460-00-22025-20692	0.084774	0.017004
460-00-22025-933	460-00-22025-20693	0.022793	0.0035349

图 11 933 与 20693 及 20691、20692 的干扰矩阵

A	B	C	D	E	F	G	H
小区ID	频点	小区场景	主动干扰	被动干扰	干扰值	是否已使用	状态
460-00-22025-933	53	1	0.030026636	0	0.030026636		
460-00-22025-933	52	1	0.266532851	0.459225507	0.725758358		
460-00-22025-933	87	1	0.66145631	0.189674378	0.851130689		
460-00-22025-933	50	1	0.700080699	0.60135819	1.301438888		
460-00-22025-933	88	1	0.707782862	0.703876349	1.411659211		
460-00-22025-933	51	1	0.891866786	2.021276417	2.913143203		
460-00-22025-933	89	1	0.851721003	2.172700429	3.024421432		
460-00-22025-933	49	1	1.752255693	1.730245941	3.482501634		
460-00-22025-933	25	1	3.439578971	1.779163177	5.218742148	是	同频
460-00-22025-933	12	1	8.200762824	2.910837848	11.11160067	是	同频
460-00-22025-933	45	1	16.05484735	4.830246222	20.88509357		
460-00-22025-933	24	1	13.33622497	8.518076648	21.85430162	是	邻频
460-00-22025-933	40	1	3.611721365	32.11243217	35.72415353		
460-00-22025-933	7	1	18.61339496	18.75385738	37.36725235	是	同频
460-00-22025-933	26	1	13.96907087	27.91192424	41.88099512	是	邻频
460-00-22025-933	41	1	16.58770647	27.47392606	44.06163253		
460-00-22025-933	11	1	32.40557239	17.79353679	50.19910917	是	邻频
460-00-22025-933	42	1	20.53080378	30.82712036	51.35792413		
460-00-22025-933	22	1	9.6455750309	41.75059271	51.39634302		
460-00-22025-933	6	1	32.02321299	20.71601285	52.73922584	是	邻频
460-00-22025-933	80	1	24.68506846	32.11385156	56.79892003	是	邻频
460-00-22025-933	39	1	28.13918326	33.91141715	62.05060041		
460-00-22025-933	23	1	24.86810301	38.87678878	63.74489178		
460-00-22025-933	48	1	28.39488075	37.5250436	65.91992435		
460-00-22025-933	17	1	37.33413174	38.10554147	75.4396732		

图 12 干扰小区频点干扰值

站点类型，同/邻频，必须修改。

优先级 2：1 km 干扰 TOP5，同频，结合覆盖方向和距离修改。

优先级 2：1 km 切换 TOP3，同频，集合覆盖方向和距离修改。

优先级 2：150 m 范围内宏站（包括高铁宏站）对其他站点类型，同频，结合覆盖方向修改。

优先级 3：50 m 室分对室分，且有切换或干扰 TOP5，同频，建议修改。

3) 由于高铁周边大网小区限制条件较多，MR 缺失小区及保护带周围小区干扰关系不完整，需要重点核查。

4) 高铁小区核查原则：相邻小区不能同邻频，隔站不能同频。

需要说明的是，系统输出的方案是基于全网最优解，而同站同邻频、近站同频、高干扰、高切换小区同频等问题的修改，仅着眼于特定的小区，因此一般会造成全网干扰值的上升。如图 13 所示，方案 1 为核查修改后的方案，方案 2 为系统分频运算后的原始方案。尽管如此，这几类问题会使小区质量影响比较严重，仍建议修改。

7 其他问题

华为、中兴部分基站设备存在带宽限制，如华为 BTS3012 基站，如果使用空腔合路器，要求小区内频点间隔大于 3，BTS3012 基站如果使用 6 密度载频 QTRU，有 12.5 MHz 带宽限制，即小区内使用频点的跨度不能超过 61；BTS3900 基站部分 MRFU、GRFU 型号射频频模块和 DBS3900 基站部分 MRRU、GRRU 型号射频频模块有 12.5 MHz 和 15 MHz 带宽限制，即小区内频点跨度不能超过 61 和 75。如果原来有的小区为提高单载波发射功率，一个小区配置了 2 个模块，则不再受带宽限制约束。分频前需要确认这些限制信息，否则将影响分频效果和割接。由于每个分频区域内，带宽限制小区的比例和分布不同，需要根据实际情况调整频率的使用规则。

另外，有的分频区域存在 2 个厂商设备，分频时需要进行干扰矩阵的融合。

8 结束语

本文基于中国移动蜂窝物联网技术和频率策略，结合某省的分频经验，介绍了 GSM900 网络频

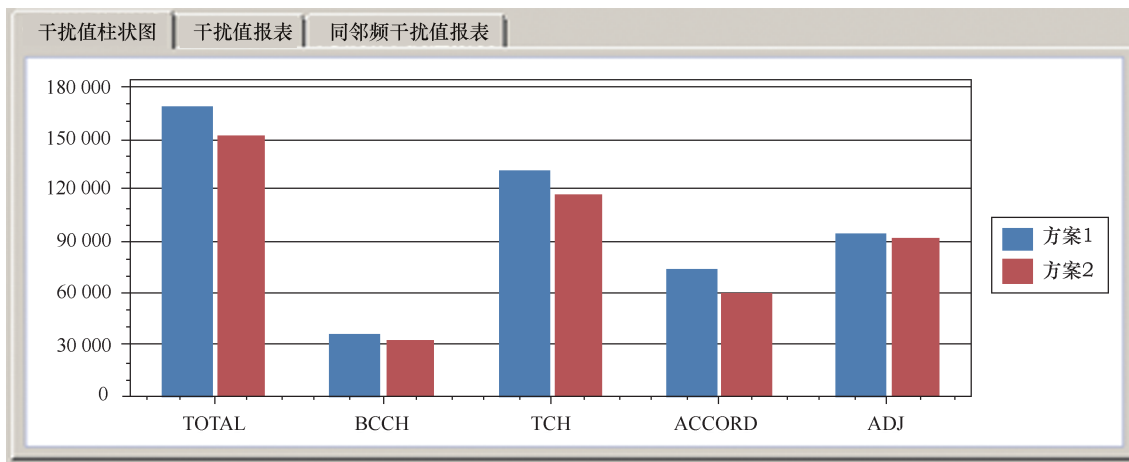


图 13 方案核查前后全网干扰值变化情况

率重耕的方法及其应用，希望能为后期的频率优化工作提供一定的参考价值。

参考文献：

[1] 张冬晨, 王首峰. 2G 频率重耕关键问题研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2015(6): 12-18.
ZHANG D C, WANG S F. Study on the key issue of 2G spectrum re-farming[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2015(6):12-18.

[2] 吕弢华. NB-IoT 在物联网中部署重要性的探讨[J]. 中国新通信, 2017, 19(8): 78.
LYU T H. Study on the importance of NB-IoT in IoT deployment[J]. China New Telecommunications, 2017,19(8):78.

[3] 吴杰, 程伟, 梁月. 运营商蜂窝物联网 NB-IoT 及 eMTC 的部署策略探讨[J]. 中国新通信, 2016, 18(23): 64-65.
WU J, CHENG W, LIANG Y. Study on deployment strategy of NB-IoT and eMTC for operator[J]. China New Telecommunications, 2016,18(23): 64-65.

[4] 胡建飞, 苗滢. 中国移动 GSM 网络退频及频率重耕策略研究[J]. 电子世界, 2016(22): 189-190.
HU J F, MIAO Y. Research on China Mobile GSM network frequency termination and re-farming strategy[J]. Electronic World, 2016(22):189-190.

[5] 吕弢华. GSM 网络退频计划在工程实践中的方案实施建议[J]. 通讯世界, 2017(6): 71-72.
LYU T H. Scheme implementation for GSM network frequency termination in practical program[J]. Telecom World, 2017(6):71-72.

作者简介：



许伟东（1982-），男，中国移动通信集团设计院有限公司安徽分公司工程师，主要研究方向为移动通信网络优化。



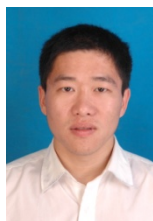
周俊（1970-），男，中国移动通信集团设计院有限公司教授级高级工程师，主要研究方向为移动通信网络的规划、设计和优化。



武科（1978-），男，中国移动通信集团设计院有限公司安徽分公司工程师，主要研究方向为移动通信网络的规划、设计和优化。



宫晓强（1979-），男，中国移动通信集团设计院有限公司安徽分公司工程师，主要研究方向为规划设计和网络优化。



邓也（1982-），男，中国移动通信集团设计院有限公司安徽分公司高级工程师，主要研究方向为 LTE 信令优化。