



基于水平波瓣区间化成形分析的故障 天线定位算法及其系统实现

唐焯宜, 胡志东, 林 纲

(中国移动通信集团广东有限公司 广州 510623)

摘 要:详细分析了天线增益下降、旁瓣信号泄露、前后比不达标、覆盖异常等常见的天线问题,通过研究信号传播理论以及小区覆盖模型,提出了一种基于天线水平波瓣区间化成形分析的故障天线定位算法,把天线水平辐射波瓣按照不同方向角度区间进行划分,分别是 $\pm[0,15^\circ]$ 、 $[16^\circ,30^\circ]$ 、 $[31^\circ,60^\circ]$ 、 $[61^\circ,90^\circ]$ 、 $[91^\circ,120^\circ]$ 、 $[121^\circ,150^\circ]$ 、 $[151^\circ,180^\circ]$ 共7个区间,通过不同区间的路测数据(如 Rxqual、Rxlev Average、过覆盖指数、绝对通信距离)进行多维度关联分析,定位故障以及天线覆盖异常点。

关键词:天线故障;过覆盖分析;成形分析;区间化分析

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.10.028

An Algorithm of Faulty Antenna Location Based on Interval Analysis of Horizontal Beam-Width

Tang Zhuoyi, Hu Zhidong, Lin Gang

(China Mobile Group Guangdong Co., Ltd., Guangzhou 510623, China)

Abstract: The problems such as decrease of antenna gain, the leakage of side-lobe signal, and the degradation of front-to-back ratio, were mainly discussed, and an algorithm of faulty antenna location based on interval analysis of horizontal beam-width was proposed, by dividing the horizontal beam-width with different radiation angle: $\pm[0,15^\circ]$, $[16^\circ,30^\circ]$, $[31^\circ,60^\circ]$, $[61^\circ,90^\circ]$, $[91^\circ,120^\circ]$, $[121^\circ,150^\circ]$, $[151^\circ,180^\circ]$. At last, through relational analysis of Rxqual, Rxlev, over-coverage index, and communication distance in different radiation angle interval, the location of faulty antenna was realized.

Key words: faulty antenna, over-coverage analysis, beamforming analysis, interval analysis

1 引言

随着无线网络的逐步扩大,无线设备的性能问题逐步浮现,特别是近两年城市 2G/3G 网络基站建设的密度加大,天线性能问题引起运营商越来越大的关注。由于天线设备逐步老化、集采天线的振子或馈电线路工艺不达标,从而造成天线增益严重下降或者波束变形等故障,大大影响了网络覆盖深度及客户感知。

针对天线故障定位,目前主要有以下方法。

- 通过 site master、天馈线测试仪测试其驻波比。手段较为简单,通常只能发现天馈系统接触不良的问题,对于小区天线产品性能及对网络的影响并未有较系统的研究工具。
- 通过定点扫频方式(通过同点不同方位的天线之间的信号强弱关系进行对比)推算增益等指标是否正常。由于接近基站端,采用相对场强进行判断,准确率较高,但如果需要区域性覆盖分析或者全网覆盖分析,该方法的人力成本及时间成本将十分巨大,

时效性差。

- 通过第三方权威机构,对现网天线进行拆卸后送到实验室进行分析。该方法测试数据准确,但投入的费用较大且周期长,最大问题是天线拆卸有可能对现网的稳定性造成影响。

如何综合分析在网天线的辐射性能,快速定位各类天线故障问题,是网络优化工作的一大课题。本文提出一种区间化成形分析的故障天线分析算法,环绕天线水平波瓣360°空间范围进行区间划分,分析各区间内 Rxlev(rxlevel,下行信号接收强度)、Rxqual(rxquality,下行语音质量)、过覆盖指数、通信距离等指标,重新模拟建立天线覆盖模型,评估天线故障以及覆盖异常问题,为在网天线性能分析和故障定位提供新的分析思路。

2 天线辐射及小区覆盖原理

根据天线辐射模型(如图1所示),把天线水平波束划分为360°,涵盖主瓣区域、旁瓣区域、背瓣区域3部分,通过采样点在各区间的分布以及各采样点 Rxlev、Rxqual、TA(时间提前量)、过覆盖指数等指标的关联分析,进行天线辐射波形重建及故障定位分析,得到的结果如图2所示。

(1) 增益

增加增益可以在某个确定方向上增大网络的覆盖范围或者在确定范围内增大增益余量。任何蜂窝系统都是一

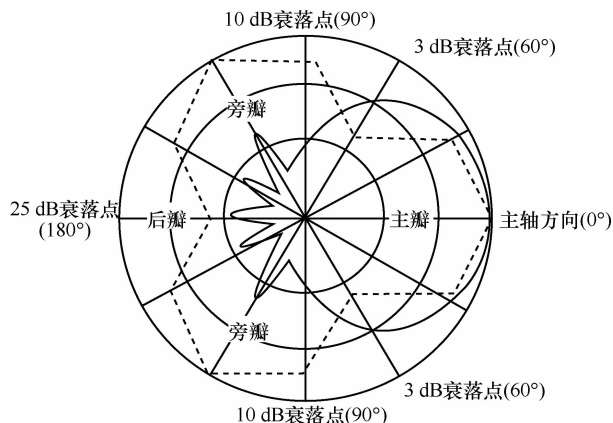


图1 天线辐射模型

个双向过程,增加天线增益的同时能减少双向系统增益预算余量。天线主方向角上的增益最大。

(2) 半功率角

方向图主瓣范围内,相对最大辐射方向功率密度下降至一半时的角域宽度为半功率角,也叫半功率角波束宽度(现网天线主要是65°和90°)。正常天线路测数据的区间成形分析中,采样点集中在±60°的主瓣范围内,且最强 Rxlev 集中在0°(主方向角)附近。

(3) 小区切换带

每个扇区天线在最大辐射方向偏离±60°时到达覆盖边缘,需要切换到相邻扇区工作。在±60°的切换角域,方向电平应该有一个合理的下降。对于±60°~±90°区域,由于切

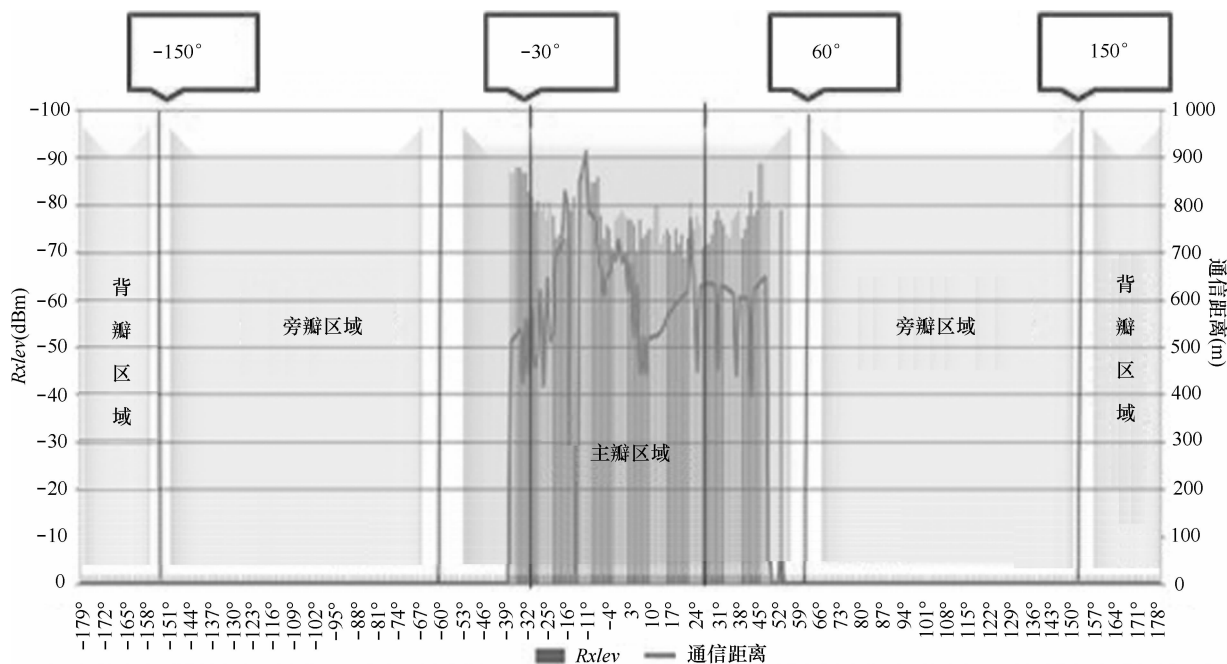


图2 区间化成形重建(系统截图)



换带的存在,天线也会吸收一部分话务。

(4) 天线背瓣

理论上,偏差主瓣方向 $\pm 90^\circ \sim \pm 180^\circ$,是没有话务吸收的。天线的后瓣有可能产生越区覆盖,导致切换关系混乱,产生掉话。天线前后比一般为 25~30 dB。

3 基于水平波瓣区间化成形分析的故障天线分析算法

3.1 增益故障定位算法

3.1.1 理论分析

对于 GSM 900 MHz 小区,采用 Okumura-Hata 模型进行传播损耗分析,具体表示如下:

$$L_{\text{b城}} = 69.55 + 26.16 \lg f - 13.82 \lg h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \lg h_b)(\lg d)^\gamma \quad (1)$$

其中, f 为通信频率, h_b 、 h_m 分别为基站天线、MS 天线的有效高度,单位为 m, d 为通信距离,单位为 km。

MS 天线修正因子表示为:

$$a(h_m) = \begin{cases} (1.1 \lg f - 0.7)h_m - (1.56 \lg f - 0.8), & \text{中小城市} \\ 8.29(\lg 1.54 h_m)^2 - 1.1, & 150 < f < 200 \text{ MHz} \\ 3.2(\lg 11.75 h_m)^2 - 4.97, & 400 < f < 1500 \text{ MHz} \\ 0, & h_m = 1.5 \text{ m} \end{cases} \quad \text{大城市} \quad (2)$$

远距离传播修正因子表示为:

$$\gamma = \begin{cases} 1, & d \leq 20 \\ 1 + (0.14 + 1.87 \times 10^{-4} f + 1.07 \times 10^{-3} h_b)(\lg \frac{d}{20})^{0.8}, & d > 20 \end{cases} \quad (3)$$

对于 DCS 1 800 MHz 小区,采用 COST-231 模型进行传播损耗分析,具体表示如下:

$$L_{\text{b城}} = 46.3 + 33.9 \lg f - 13.82 \lg h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \lg h_b)(\lg d)^\gamma \quad (4)$$

其中, f 为通信频率, h_b 、 h_m 分别为基站天线、MS 天线的有效高度,单位为 m, d 为通信距离,单位为 km。

MS 天线修正因子表示为:

$$a(h_m) = \begin{cases} (1.1 \lg f - 0.7)h_m - (1.56 \lg f - 0.8), & \text{中小城市} \\ 8.29(\lg 1.54 h_m)^2 - 1.1, & 150 < f < 200 \text{ MHz} \\ 3.2(\lg 11.75 h_m)^2 - 4.97, & 400 < f < 1500 \text{ MHz} \\ 0, & h_m = 1.5 \text{ m} \end{cases} \quad \text{大城市} \quad (5)$$

远距离传播修正因子表示为:

$$\gamma = \begin{cases} 1, & d \leq 20 \\ 1 + (0.14 + 1.87 \times 10^{-4} f + 1.07 \times 10^{-3} h_b)(\lg \frac{d}{20})^{0.8}, & d > 20 \end{cases} \quad (6)$$

基站天线信号传播原理如图 3 所示。对于基站天线高度 h_b 、机架功率 P 、天线增益 G ,可以通过工参信息读取,通过采样点位置及基站位置的经纬度信息计算出两者的水平距离(通信距离) d ,从而计算出采样点位置与天面的距离 D 。

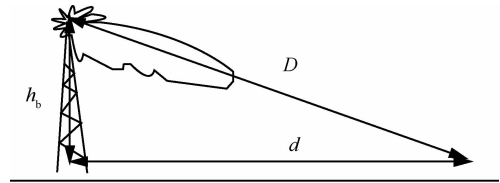


图 3 基站天线信号传播分析

根据上述计算式,计算出路损值 L ,推算出理论接收场强为:

$$Rxlev = P + G - L \quad (7)$$

假设实际测试中的接收场强为 $Rxlev'$,考虑实际无线环境的复杂性,可适当增加 n dBm 衰减余量,如果 $Rxlev' < Rxlev - n$,则说明天线增益可能出现故障。

3.1.2 算法分析流程

对 $[-60^\circ, 60^\circ]$ 覆盖方向偏差角范围内的采样点进行成形分析,对该区间采样点的测量值 $Rxlev$ 以及通信距离进行关联分析,如果 $[-60^\circ, 60^\circ]$ 区间内采样点的测量值 $Rxlev$ 低于门限值(算法设定),则判断为增益故障。算法流程如图 4

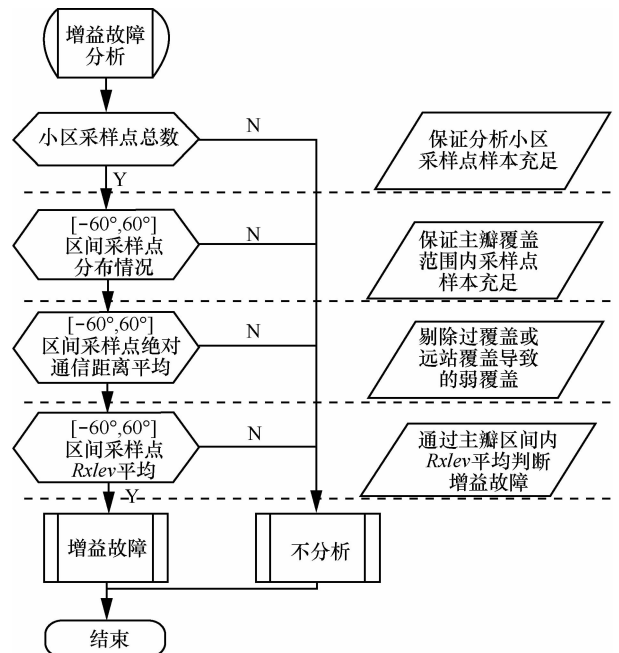


图 4 增益故障定位算法流程

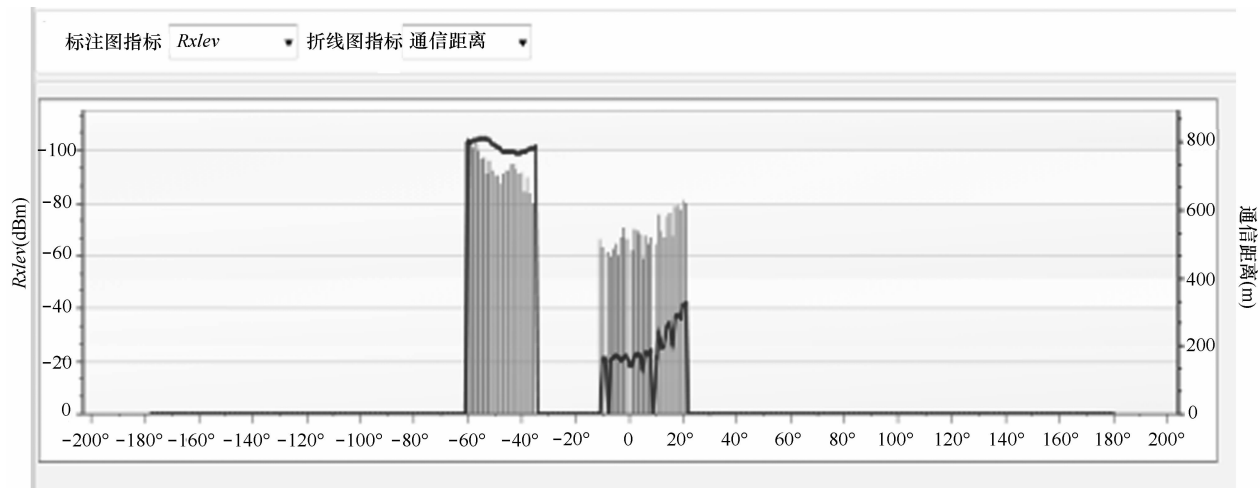


图 5 成形重建系统截图(增益故障)

所示。得到的仿真结果如图 5 所示,该小区在 $-60^{\circ}\sim-30^{\circ}$ 时,平均 $Relev<-90$ dBm 且伴随有质差采样点,平均距离约为 780 m,判断为增益故障。

3.2 旁瓣信号泄露定位算法

3.2.1 理论分析

在密集建筑的城区,由于多径反射严重,为了减小相邻扇区之间的相互干扰,在 $\pm 60^{\circ}$ 的电平下降至 -10 dB 左右为好,反推半功率宽度约为 65° ;而在空旷的郊区,由于多径反射少,为了确保覆盖良好,在 $\pm 60^{\circ}$ 的电平下降至 -6 dB 左右为好,反推半功率宽度约为 90° 。

小区覆盖模型如图 6 所示。对于 A 小区,覆盖区域主要集中在小区主波瓣角度 $\pm 60^{\circ}$ 范围内,也就是说话务应该大部分集中在主波瓣角度 $\pm 60^{\circ}$ 范围内,对于 $\pm 60^{\circ}\sim\pm 90^{\circ}$ 区域,由于切换带的存在,也会吸收一部分话务。理想情况

下,对于 A 小区,偏差主瓣方向为 $\pm 90^{\circ}\sim\pm 180^{\circ}$,是没有话务吸收的,否则就可能存在旁瓣覆盖、后波瓣覆盖或天线接反的可能。方向角偏差与 $Rxqual$ 关联分析见表 1,偏差角大于 90° 后,下行质差明显恶化。

表 1 方向角偏差与 $Rxqual$ 关联分析

方向角偏差	频段	平均 DL $Rxqual$	样点数	占比
$0^{\circ}\leq\theta\leq 15^{\circ}$	DCS 1 800 MHz	0.303	129 317	28.20%
$15^{\circ}<\theta\leq 30^{\circ}$		0.323	109 992	23.98%
$30^{\circ}<\theta\leq 60^{\circ}$		0.340	138 666	30.23%
$60^{\circ}<\theta\leq 90^{\circ}$		0.338	53 790	11.73%
$90^{\circ}<\theta\leq 120^{\circ}$		0.637	15 281	3.33%
$120^{\circ}<\theta\leq 150^{\circ}$		0.471	8 153	1.78%
$150^{\circ}<\theta\leq 180^{\circ}$	GSM 900 MHz	0.300	3 448	0.75%
$0^{\circ}\leq\theta\leq 15^{\circ}$		0.776	88 009	30.83%
$15^{\circ}<\theta\leq 30^{\circ}$		0.768	65 457	22.93%
$30^{\circ}<\theta\leq 60^{\circ}$		0.835	82 340	28.85%
$60^{\circ}<\theta\leq 90^{\circ}$		0.937	31 122	10.90%
$90^{\circ}<\theta\leq 120^{\circ}$		1.054	10 273	3.60%
$120^{\circ}\leq\theta\leq 150^{\circ}$		1.051	5 238	1.84%
$150^{\circ}<\theta\leq 180^{\circ}$		1.065	2 984	1.05%

3.2.2 算法分析流程

对 $\pm[60^{\circ},150^{\circ}]$ 覆盖方向偏差角范围内的采样点进行成形分析,对该区间内的采样点比例以及 $Rxqual$ 进行关联分析,如果 $\pm[60^{\circ},150^{\circ}]$ 区间,采样点比例及 $Rxqual$ 同时大于门限值(算法设定),则判断为旁瓣信号泄露。算法流程如图 7 所示。得到的仿真结果如图 8 所示,旁瓣覆盖方向偏差角 $70^{\circ}\sim 130^{\circ}$ 范围均有不同程度的质差采样点,判断为旁瓣信号泄露。

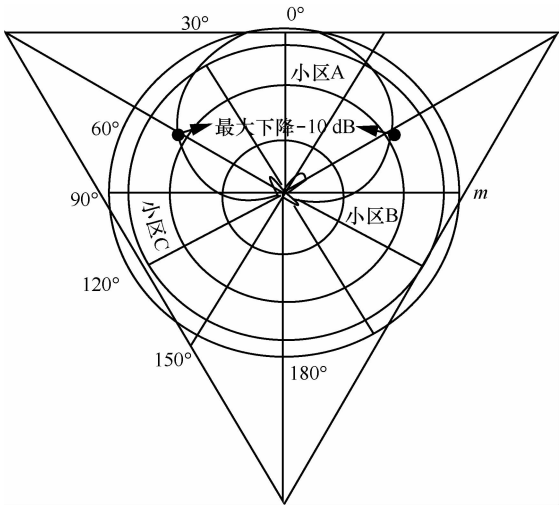


图 6 小区覆盖模型

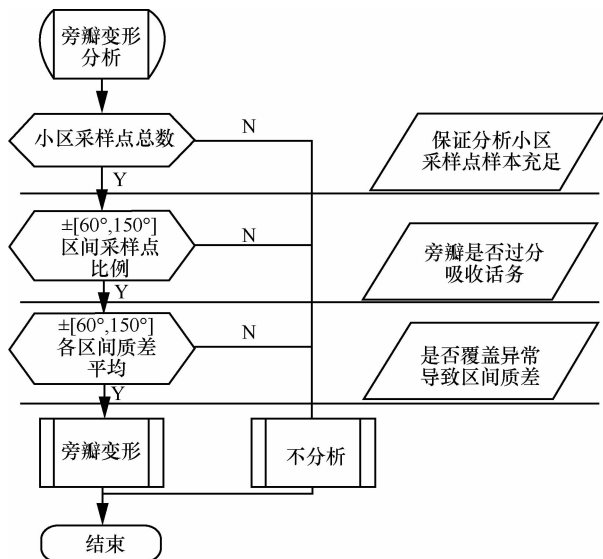


图7 旁瓣信号泄露定位算法流程

3.3 前后比故障定位算法

3.3.1 理论分析

定向天线的前后比是指主瓣的最大辐射方向(规定为 0°)的功率通量密度与相反方向附近(规定为 $180^\circ \pm 20^\circ$ 范围内)的最大功率通量密度之比值。

对于网络中定向天线前后比性能的评估,可以收集大量路测扫频数据,分别统计评估小区天线前向主波瓣特定覆盖方向偏差角度 $[-30^\circ, 30^\circ]$ 范围各采样点上的最大信号强度 $Rxlev_F$ 和天线后向特定覆盖方向偏差角度 $[-150^\circ, 150^\circ]$ 范围各采用点上的最大信号强度 $Rxlev_B$,前后比等于:

$$F/B = \max(Rxlev_F) - \max(Rxlev_B) \quad (8)$$

3.3.2 算法分析流程

对 $\pm[0^\circ, 30^\circ]$ 和 $\pm[150^\circ, 180^\circ]$ 覆盖方向偏差角范围的采

样点进行成形分析,对该区间内采样点比例、 $Rxlev$ 以及 $Rxqual$ 进行关联分析,如果 $\pm[0^\circ, 30^\circ]$ 和 $\pm[150^\circ, 180^\circ]$ 内,采样点比例及 $Rxlev$ 同时大于门限值(算法设定),则判断为前后比故障。算法流程如图9所示。得到的仿真结果如图10所示,在 $[0, 30^\circ]$ 与 $[150^\circ, 180^\circ]$ 区间采样点较密集,且后瓣的覆盖较多,区间中平均语音质量也较差,判断为前后比故障。

3.4 天线过覆盖分析算法

3.4.1 理论分析

区间过覆盖指数是指天线各角度区间内,以每个采样点与服务小区距离 L 为半径划分一个区域,此区域内的所有非服务小区站点与服务小区站点根据与该采样点的距离进行排序,距离越近,排序越高。服务小区的排序数值是该采样点的过覆盖指数,区间过覆盖指数则是该区间内全部采样点过覆盖指数的平均值,表示为 $\bar{a} = (\sum \bar{a}_n) / n$;小区过覆盖指数则是该小区内全部采样点的过覆盖指数的平均值,表示为 $\alpha = (\sum \bar{a}_n) / m, m \geq n$ 。

其中,角度区间内有 n 个采样点, $\bar{a}_n$ 是该角度区间内,全部采样点的过覆盖指数平均;小区共有 m 个采样点, α 是该小区内,全部采样点的过覆盖指数平均。过覆盖指数定义如图11所示。

某主服小区与采样点距离表示为 $D_{\pm}$,以 $D_{\pm}$ 为半径的圆形区域内,有两个其他站点(小区1和小区2),与采样点的距离分别为 D_1 和 D_2 ,且 $D_1 < D_2 < D_{\pm}$ ($D_{\pm}$ 排序第3),则该小区(或者该角度区间)内,小区过覆盖指数(区间过覆盖指数)为3。小区(或者该角度区间)的过覆盖指数越高,说明该采样点距离主服小区的距离越远,主覆盖小区过覆盖的可能性就越大。分别对GSM 900 MHz和DCS 1800 MHz进

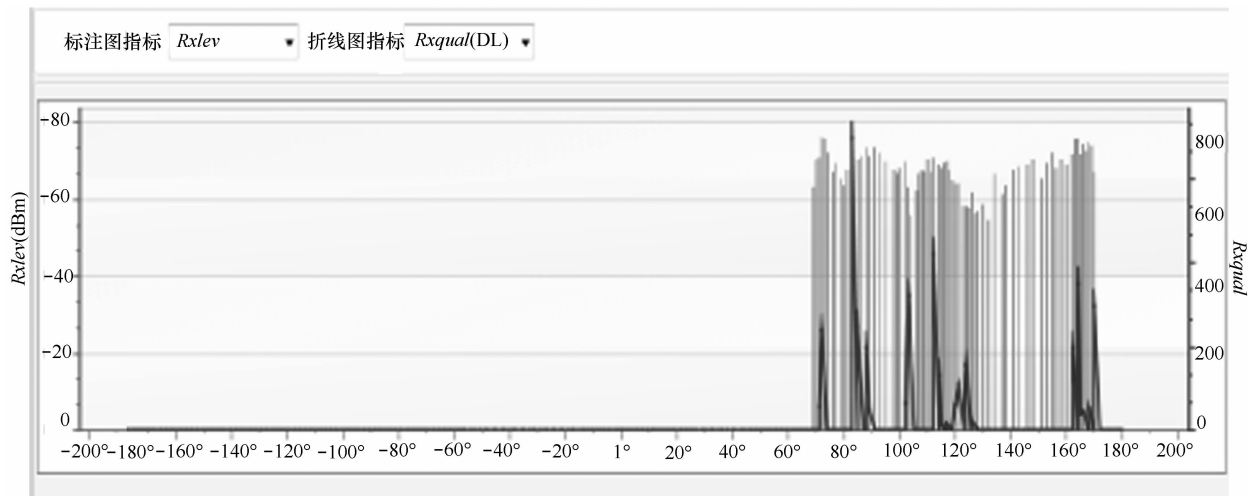


图8 成形重建系统截图(旁瓣信号泄露)

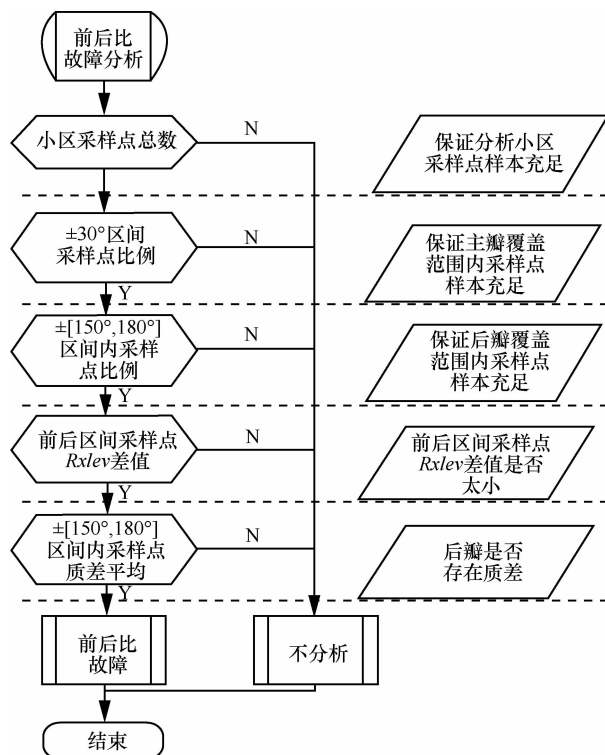


图 9 前后比故障定位算法流程

行过覆盖指数的 $Rxqual$ 和 $Rxlev$ 关联分析, 仿真结果如图 12 所示。

DCS 1 800 MHz 和 GSM 900 MHz 的下行 $Rxqual$ 随着过覆盖指数的增大, 均有上升的趋势。当过覆盖指数为 4 时, 平均下行 $Rxqual$ 为过覆盖指数 1 的 2 倍, 说明在地理上, 非最佳服务小区覆盖对于 $Rxqual$ 的影响非常大。

3.4.2 算法分析流程

对于主瓣过覆盖、旁瓣过覆盖、后瓣过覆盖, 分别对

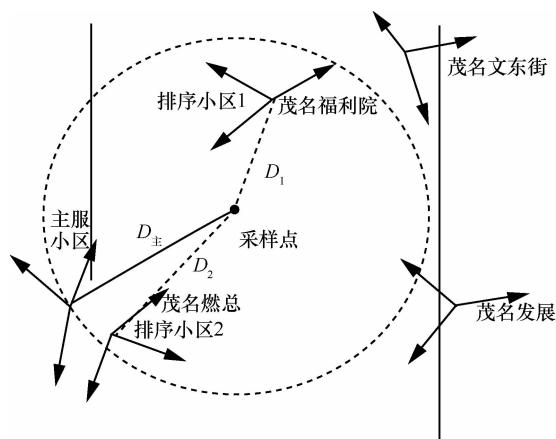
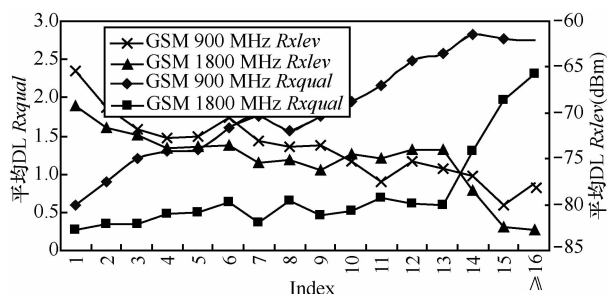


图 11 过覆盖指数定义


 图 12 过覆盖指数与 $Rxqual$ 关联分析

$[-60^\circ, 60^\circ], \pm[60^\circ, 150^\circ], \pm[150^\circ, 180^\circ]$ 覆盖方向偏差角范围的采样点进行成形分析, 对该区间内的采样点比例、过覆盖指数以及 $Rxqual$ 进行关联分析, 如果区间内的过覆盖指数以及 $Rxqual$ 同时大于门限值 (算法设定), 则判断为过覆盖。算法流程如 13 所示。得到的仿真结果如图 14 所示, 过覆盖指数较高, 在约 -20° 覆盖处平均语音质量波动较大, 且出现质差毛刺的情况, 判断为过覆盖。

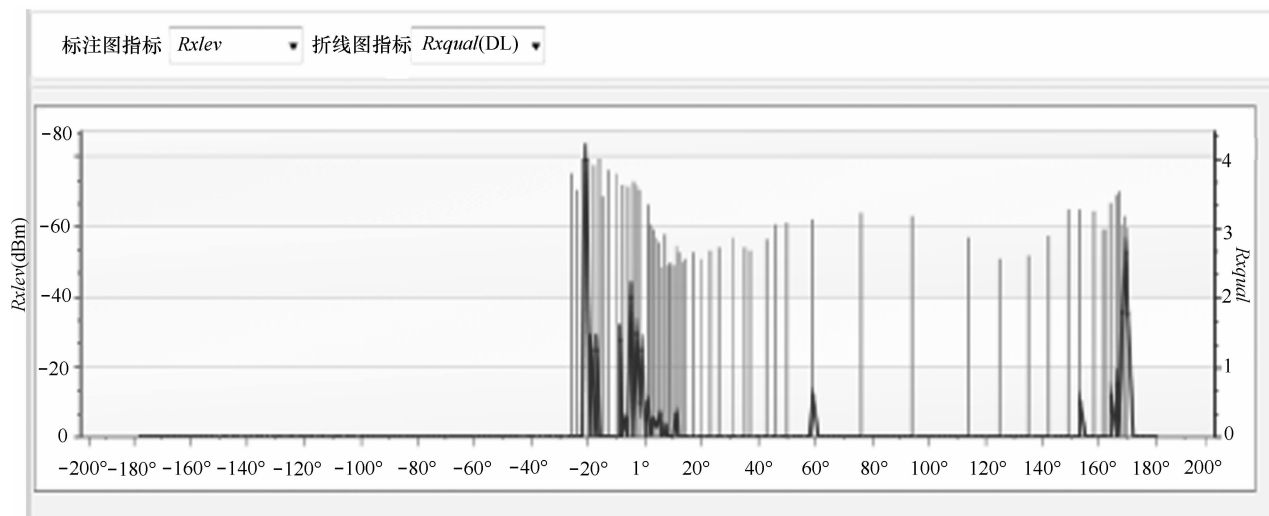


图 10 成形重建系统截图(前后比故障)



4 系统实现

基于以上算法,实现了一个故障天线分析软件。通过路测数据的导入,自动分析天线故障类型以及天线覆盖异常站点。系统结构如图 15 所示。

4.1 GSM 天线分析案例

通过软件进行分析,得到的分析结果为: $\pm[0,15^\circ]$ 区间,平均 $Rxlev=-78.76$ dBm,区间下行质差明显恶化;

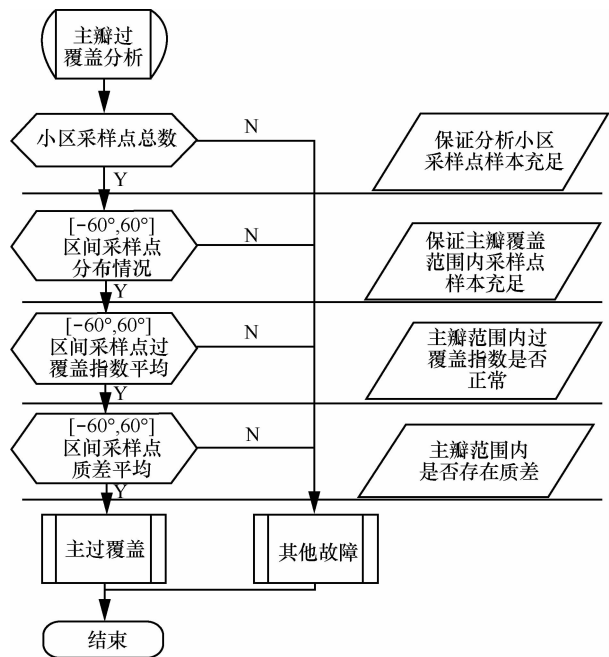


图 13 过覆盖分析算法流程

$\pm[60^\circ, 120^\circ]$ 区间,采样点比例超过 45%,见表 2。最终软件判断为增益故障/波瓣变形。

现场排查:由扫频数据分析,结合天线评估图和小区覆盖图,发现小区实际覆盖信号与规划覆盖信号不相符,旁瓣覆盖信号较强,而正瓣覆盖信号偏弱;天线更换后,旁瓣覆盖信号明显变弱,效果明显。

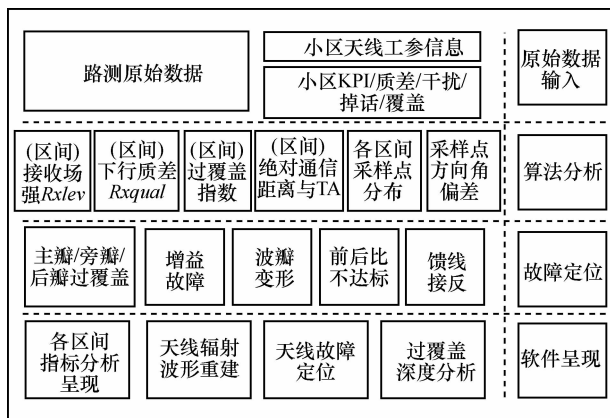


图 15 系统结构

4.2 TD 天线分析案例

通过软件进行分析,得到的分析结果为: $\pm[150^\circ, 180^\circ]$ 背瓣区间内,采样点比例是 6.69%,过覆盖指数为 6, $\pm[0, 30^\circ]$ 内与 $\pm[150^\circ, 180^\circ]$ 内 PCCPCH 采样点最强 RSCP 差值为 2 dB,判断为前后比不达标,见表 3。

现场排查:现场扫频测试,小区实际覆盖信号与规划覆盖信号不相符,天线工参存在误差,方向角有误,天线后

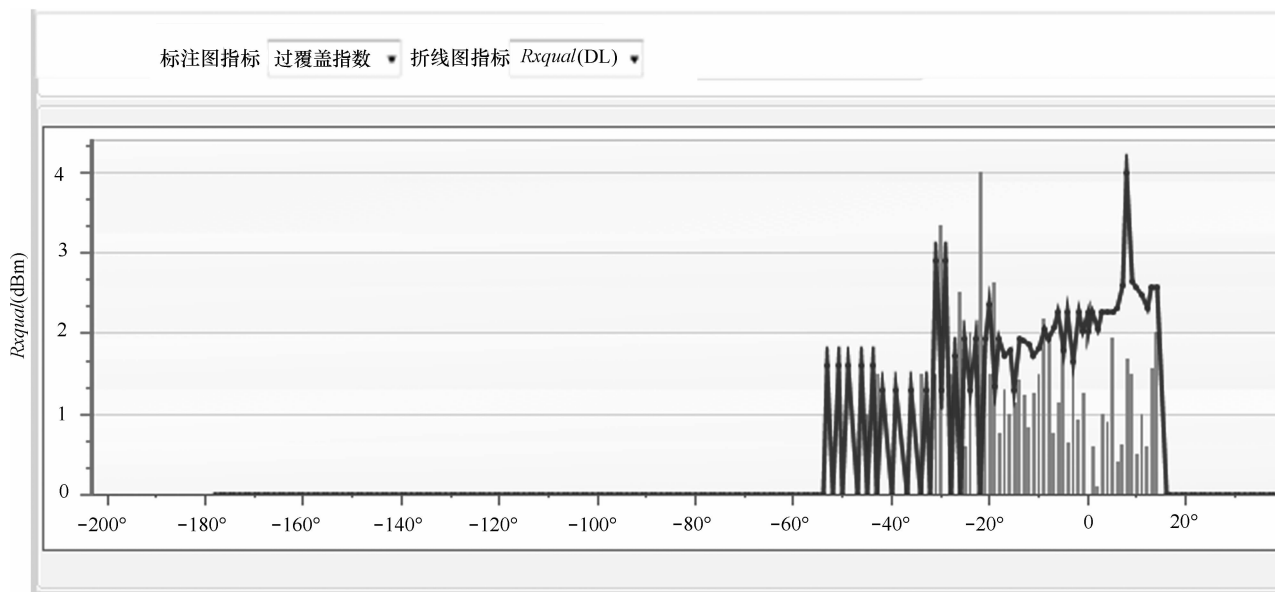


图 14 成形重建系统截图(过覆盖分析)

表 2 区间化路测数据统计

方向角偏差区间	采样点占比	平均 DL <i>Rxlev</i> (dBm)	最大 DL <i>Rxlev</i> (dBm)	<i>Rxqual</i> 下行 5~7 级占比	C/I 平台	区间平均 TA	区间平均 通信距离	区间过 覆盖指数
[0,15°]	12.26%	-78.76	-60	9.09%	15.27	0.7	101.21	6
[15,30°]	14.99%	-63.82	-47	0	16.29	0.76	118.31	6
[30,60°]	26.43%	-73.23	-62	5.49%	15.88	0.55	107.19	6
[60,90°]	10.35%	-69.63	-63	2.63%	16.05	0.45	30.53	6
[90,120°]	35.97%	-68.42	-50	0	16.31	0.39	63.25	6
[120,150°]								
[150,180°]								

表 3 区间化路测数据统计

方向角偏差区间	区间采样点数	采样点占比	平均 DL PCCPCH (dBm)	最大 DL PCCPCH (dBm)	区间 DPCH RSCP 平均	区间平均 TA	区间平均 通信距离	区间过 覆盖指数
[0,15°]	210	19.25%	-80.49	-67	-95	33.43	460.39	3.03
[15,30°]	407	37.31%	-78.65	-52	-93	31	336.99	3.58
[30,60°]	112	10.27%	-64.68	-50	-78.99	203.61	107.19	3
[60,90°]	86	7.88%	-68.14	-61	-110.41	208.32	30.53	3
[90,120°]	83	7.61%	-76.47	-67	0	0	229.81	5.2
[120,150°]	120	11%	-86.59	-72	0	0	91.1	5.2
[150,180°]	73	6.69%	-95.16	-84	0	0	88.32	6

瓣信号较强。以上与算法分析结果一致。

5 结束语

本文提出一种水平波瓣分区化成形重建的天线分析方法,重新模拟建立天线覆盖模型并且进行直观地呈现。通过路测数据区间化的统计和关联分析,准确定位天线增益、旁瓣信号泄露、前后比故障等问题,通过试点区域的验证,算法准确率达到 80%。通过天线更换,试点平均过覆盖指数下降 4.3,下行质差话务比例下降 2.27%,网络质量改善明显。通过本成果的应用,提升了集中化、信息化、精细化的自主分析能力,避免过分依托第三方检测机构进行天线性能分析的问题,实现通信行业“节能减排”的目标。

参考文献

1 王少尉. 移动通信场强传播损耗预测算法研究. 武汉大学硕士学位论文, 2004

2 刘列平. 自动路测系统在无线网络维护和优化中的应用. 电信工程技术与标准化, 2005(4)

3 吴猛. GSM 网络覆盖分析系统的研究与实现. 北京邮电大学硕士学位论文, 2011

4 杨云, 张洁. 基于 Visual C++ 的 GSM 覆盖优化系统的设计与

实现. 微电子学与计算机, 2010, 27(5)

5 孙娟娟, 吴建威. 移动通信网络路测数据的抽样与分析方法. 系统工程与电子技术, 2009, 31(1)

[作者简介]



唐焯宜,男,现就职于中国移动通信集团广东有限公司网络优化中心网优室,主要从事无线网络优化管理工作。



胡志东,男,现就职于中国移动通信集团广东有限公司网络优化中心网优室,主要从事无线网络优化管理工作。

林纲,男,现就职于中国移动通信集团广东有限公司网络优化中心网优室,主要从事无线设备维护以及网络优化管理工作。

(收稿日期:2013-09-20)