



基于高斯分布的基站天线最佳方向角定位算法

梁松柏¹, 陈锋², 宋海平³, 李文生¹

(1. 中国联合网络通信有限公司河南省分公司, 河南 郑州 450008;

2. 中兴通讯股份有限公司河南分公司, 河南 郑州 450003;

3. 华为技术有限公司郑州咨询与系统集成部, 河南 郑州 450018)

摘要: 为提高天馈问题被发现的准确性和维护效率, 提出了基于高斯分布的最佳方向角解决方案来诊断运营商天馈覆盖问题。首先计算 UE 上报的具有定位信息的每个 MR 采样点与基站之间的位置方向信息, 然后按照位置方向的一定角度间隔逐个统计各区间的 MR 采样点占比, 取 MR 采样点占比最大的角度区间为该扇区的、基于用户热点分布的最佳天线方向角, 最后将该最佳方向角与后台天线基础数据库中基站方向角进行比对, 发现天馈系统接反、天线覆盖方向不合理、后台天线数据库错误等一系列天馈相关问题。经验证, 采用该算法发现天馈问题的成本、准确率和效率较现有方法有明显改善。

关键词: 高斯分布; MR; 天线; 方向角; 定位算法

中图分类号: TN914

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018212

Optimal azimuth positioning algorithm for base station antenna based on Gaussian distribution

LIANG Songbai¹, CHEN Feng², SONG Haiping³, LI Wensheng¹

1. Henan Branch of China United Network Communications Co., Ltd., Zhengzhou 450008, China

2. Henan Branch of ZTE Corporation, Zhengzhou 450003, China

3. Zhengzhou C&SI, Huawei Technologies Co., Ltd., Zhengzhou 450018, China

Abstract: In order to improve the accuracy and efficiency of the discovery of the antenna-feeder problem, an optimal direction angle solution based on Gaussian distribution was proposed to diagnose the antenna-feeder coverage problems of operators. First of all, the location direction information between each MR sampling point reported by the UE and the base station was calculated, and then the proportion of MR sampling points in each interval was calculated. Based on the Gaussian distribution feature, the angle range with the largest proportion of MR sampling points was the appropriate azimuth, which was based on the user hotspot distribution of the sector. Finally, the date of optimal azimuth was compared with the base station azimuth in the background antenna database to detect antenna feeder problems, such as cross feeder, improper antenna coverage direction and incorrect background antenna database, and so on. The field verification shows that, the cost, accuracy and efficiency of the antenna-feeder problems are obviously improved compared with the existing methods.

Key words: Gaussian distribution, MR, antenna, azimuth, positioning algorithm

1 引言

移动基站天馈系统的方向角、下倾角、经纬度等工程参数是影响移动网络覆盖和质量的关键数据。天线方向角准确与否，更是网络覆盖和质量的基础保障。因此，各大运营商均投入了大量人力物力来解决基站天线覆盖方向合理性和后台工程参数方向角准确性等问题。主要实现方式有3种：

- 采取塔工现场逐站核查方式，耗时耗力、成本高昂、效率低下；
- 在天线平台加装天馈测试仪表^[1-5]（测量单元、传感器、GPS 模块等），或测试终端加装传感器^[6-7]或终端的硬件安装和平台搭建；
- 采用普通软件定位算法或现场测试定位法，比如采用基于源小区和邻区电平分布、载干比和距离关系，判断源小区的基站天线方位角^[8]及方位角准确性^[9-10]；基于OMC中大量手机实测电平分布、干扰分类等数据，计算天线方位角及偏差^[11-12]；根据MR与传播模型和RSSI无线网络距离修正算法相结合的三角定位算法^[13]，利用随机N个采样点的直线距离，确定天线方位角^[14]等，但都存在定位不准、效率低的问题^[15-16]。

本文采用大数据工具对海量高精度位置的MR数据分析建模，发现并提出了一种基于高斯分布的基站天线方向角定位算法，并利用该算法发现现网基站天线方向角错误、天馈接反及运营商天线数据库工程参数错误等一系列问题。通过大量外场验证，该算法判断天线方向角及问题的可靠性和准确性达到90%以上，可节省大量现场排查成本，提高问题发现率。

2 算法解析

移动网络基站的天线在规划设计初期，有明确的目标覆盖用户，而用户使用业务的集中度与人口密集

度相关，因此用户越密集，手机终端上报的精准MR采样点也就越集中，这种集中分布呈现高斯分布特点，为以下算法的实现提供了可靠的理论基础。

首先计算每个含有定位信息的MR采样点与基站之间的位置方向，然后依据用户业务分布密度与MR采样点数量之间的正相关性特点，按照一定角度间隔逐个统计该区间的MR采样点数量和占比，通过高斯分布拟合算法确定天线最佳方向角，即取MR采样点数量最多或占比最大的角度区间为该基站（扇区）基于用户热点分布的、最佳的天线方向角，并以该最佳方向角与现网基站实际方向角进行对比，得出天线方向角偏差过大、天线方向角不合理、天线接反、现网天线方向角与后台数据库不一致等多种问题，从而节约大量的现场天线核查资源。

基于MR的天线最佳方向角算法流程如图1所示。

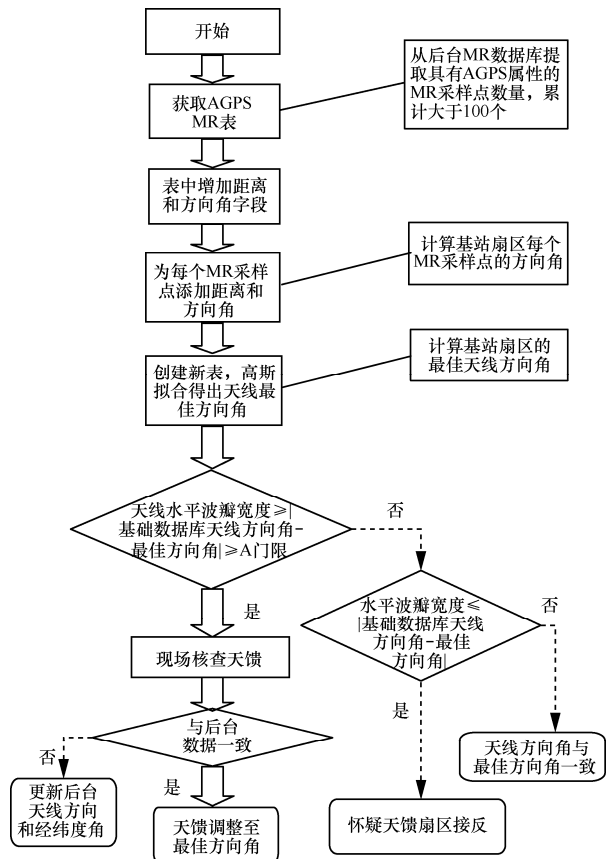


图1 基于MR的天线最佳方向角算法流程



步骤 1 从 MR 采集平台通过 ODBC 提取基于位置信息的 MR 采样点数据库见表 1，是现网中提取到的原始的 MR 数据，包含小区标识、电平值、载干比和经纬度，其中经纬度是本算法实现的关键输入参数。单小区的 MR 采样点数量累计不小于 100 个，以确保采样点具备统计样本特性，如果采样点偏少，则取样周期可延长。

表 1 具有经纬度的 MR 样本号举例

MR 样本号	小区标识	电平值 /dBm	载干比 /dB	经度	纬度
1	303998	-78	-8.5	112.601 6°	35.091 82°
2	303998	-104	-8.5	112.603 7°	35.091 27°

步骤 2 通过 ADD 语句在表 1 中增加方向角和距离字段，形成表 2。与表 1 相比，表 2 新增了距离和方向角字段，其中距离字段用于存储基站（天线）到该 MR 采样点的距离，距离字段存储的值用于计算该 MR 采样点相对于基站天线的方向；方向角字段用于存储基站（天线）到该 MR 采样点的角度。

表 2 具有距离和方向角字段的 MR 样本号举例

MR 样本号	小区标识	电平值 /dBm	载干比 /dB	经度	纬度
1	303998	-78	-8.5	112.601 6°	35.091 82°
2	303998	-104	-8.5	112.603 7°	35.091 27°

步骤 3 计算每一个 MR 采样点与该基站（天线）的距离（distance）和方向角（azimuth），并追加至 MR 采样点表 2 中。

以基站（天线）位置为中心的四象限 MR 分布如图 2 所示，一旦每个 MR 采样点经纬度确定，则每个 MR 采样点在二维地图上呈现，如 MR1、MR2、MR3、MR4，并围绕在该基站的周围。此处四象限中心圆圈处为基站（天线）的位置，单个 MR 采样点到该基站的距离和夹角 α 遵循两点一线距离公式及勾股定理。

步骤 4 依据两点之间的距离计算式为：

$$|AB| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

得出式 (2)：

$$|MR_{Distance}| = \sqrt{(SITE_{longitude} - MR_{longitude})^2 + (SITE_{latitude} - MR_{latitude})^2} \quad (2)$$

通过式 (2) 得到每个 MR 采样点到基站天线的距离，即勾股定理中的“勾三股四弦五”的“弦五”。

$$|MR_{Map_x}| = \sqrt{(SITE_{longitude} - MR_{longitude})^2} \quad (3)$$

通过式 (3) 得出每个 MR 采样点映射到 X 横轴的点与基站天线的距离，即勾股定理中的“勾三股四弦五”的“勾三”。

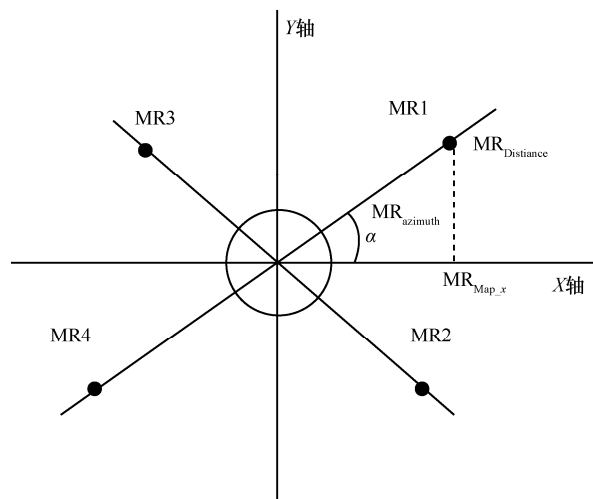


图 2 以基站（天线）位置为中心的四象限 MR 分布

步骤 5 根据勾股定理计算每个 MR 采样点相对于该基站的角度：

```

if (MR_longitude=SITE_longitude) and (MR_latitude>
SITE_latitude) then MR_azimuth=90
else if (MR_longitude=SITE_longitude) and (MR_latitude<
SITE_latitude) then MR_azimuth=270
else if (MR_latitude=SITE_latitude) and (MR_longitude>
SITE_longitude) then MR_azimuth=0
else if (MR_latitude=SITE_latitude) and (MR_longitude<
SITE_longitude) then MR_azimuth=180
else if (MR_longitude>SITE_longitude) and (MR_latitude>
SITE_latitude) then MR_Azimuth=90-acos ( |MR_Map_x|/

```

```

|MRDistance|)
    else if (MRlongitude < SITElongitude) and (MRlatitude
< SITElatitude) then MRazimuth=270-acos (|MRMap_x|/
|MRDistance|)
    else if (MRlatitude < SITElatitude) and (MRlongitude >
SITElongitude) then MRAzimuth=90+acos (|MRMap_x|/
|MRDistance|)
    else if (MRlatitude=SITElatitude) and (MRlongitude
< SITElongitude) then MRazimuth=270+acos (|MRMap_x|/
|MRDistance|)
    
```

步骤 6 采用高斯分布拟合方法统计 MR 采样点，确定基站（天线）最佳方向角。

假设以天线水平波瓣宽度 60° 为区间，以基站（天线）的单个扇区为目标，从 0° 开始，0°~60° 为范围统计夹角位于该范围的 MR 采样点数，并以角度 10° 为步长，分别统计 10°~70°、20°~80°、30°~90°、…、350°~50° 各区间 60° 角内 MR 采样点数及占比，占比最大者为该基站（天线）扇区的最佳方位角。创建形成数据库，见表 3。

表 3 汇总了运营商现有的基础数据库中该基站每个小区天线方向角，以及以天线主波瓣宽度为区间逐步迭代后的每个区间 MR 采样点占比，这些区间的 MR 采样点占比服从高斯分布，由此得出的、最大 MR 采样点占比区间即该天线的最佳方向角。将数据库表 3 表征为二维图形，服从高斯分布，如图 3 所示，高斯分布中心角度区间（该图示例为 150°~210°）的 MR 采样点占比最大，则该角度区间为该天线的最佳方向角。

步骤 7 通过最佳方位角与现网天线的方向角对比，发现天馈问题。设置误差偏离门限 A（依据定位精度要求，可设置为 20° 以上），以 30° 为门限判断如下。

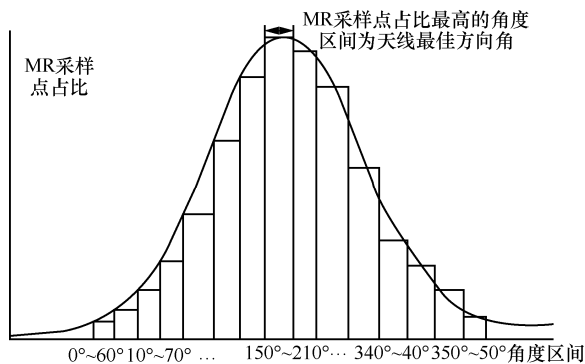


图 3 MR 采样点高斯分布图（确定最佳方向角）

- 天线水平波瓣宽度 ≥ |基础数据库天线方向角 - 最佳方向角| ≥ 30°，则天线方向角偏移过大，原因有两点：基础数据库工程参数信息有误，需要核准后重新计算；基础数据库信息正确，则需调整天馈方向角至最佳方向角；以上情况均需要现场核查处理。
- 基础数据库天线方向角 - 最佳方向角 ≤ 30° 为正常误差范围，无须进行任何操作。
- 基础数据库天线方向角 - 最佳方向角 ≥ 天线水平波瓣宽度，则天馈接反，属于工程施工接线错误，须优先处理。

以上 3 种判断方式有特殊情况：如果得出的最佳方向角与现网基站或小区的方向角分别在第四象限和第一象限时，判断式需调整为：

$$\text{方向角数值小的（第一象限方向角）} + 360^\circ - \text{方向角数值大的（第四象限方向角）} \quad (4)$$

步骤 8 问题基站的天线方向角再次确认。结合 Google Earth 三维地图，进一步核查确认最佳方位角计算无误且符合实际情况。

图 4 (a) 中，后台基础数据库中记录的专探于庄 W（该图标深色箭头）基站第 2 小区天线覆盖方向角 110°（即右下角扇区），地图显示天线覆盖一片空旷地，无明显覆盖目标，而

表 3 具有天线参数、MR 采样点区间占比和最佳方向角字段的结果

基站名称	扇区名称	MR 采样点总数	基础数据库天线方向角	最佳方向角	0°~60° 内 MR 占比	10°~70° 内 MR 占比	20°~80° 内 MR 占比	...	350°~50° 内 MR 占比
...



基于 MR 的高斯分布统计得出该小区的天线最佳方向角应为 70° ，如图 4 (b) 中三叶图的右边第 2 扇区。经该步骤验证该小区天线覆盖方向确实不合理，其覆盖目标区域（用户及业务热点区域）应为 70° 左右，为用户及建筑物密集区域。因此，通过该步骤可再次确认该小区天线最佳方向角是否与业务热点区域和用户的覆盖要求相符。

图 4 (b) 中，确认后，通过天馈调整，将专探于庄 W 二扇区天线调整为该算法计算得出的天线最佳方向角 70° ，确保天线主波瓣最强信号覆盖密集人群区域，提升用户感知。

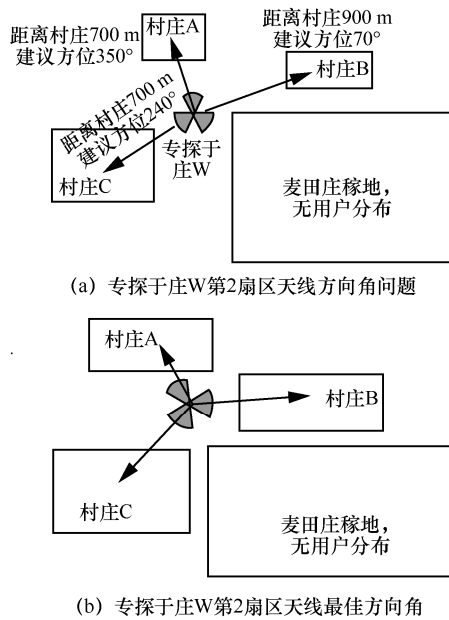


图 4 Google Earth 确认并整改的扇区天线问题实例

3 应用实例

3.1 天馈接反

使用该算法对某地市基础数据进行核查，发现黔川路新建街 W-1 扇区方向角（11 351 小区）

为 123° ，输出结果见表 4，后台数据库中该小区的方向角为 40° ，二者偏离 83° 左右；因二者偏离过大，依据判断规则怀疑基站 3 个扇区之间天馈线接错。

通过 MAPINFO 工具对该站点 1、3 扇区的通过 MAPINFO 工具对该站点 1、3 扇区的 MR 采样点分布进行对比分析，如图 5 所示。

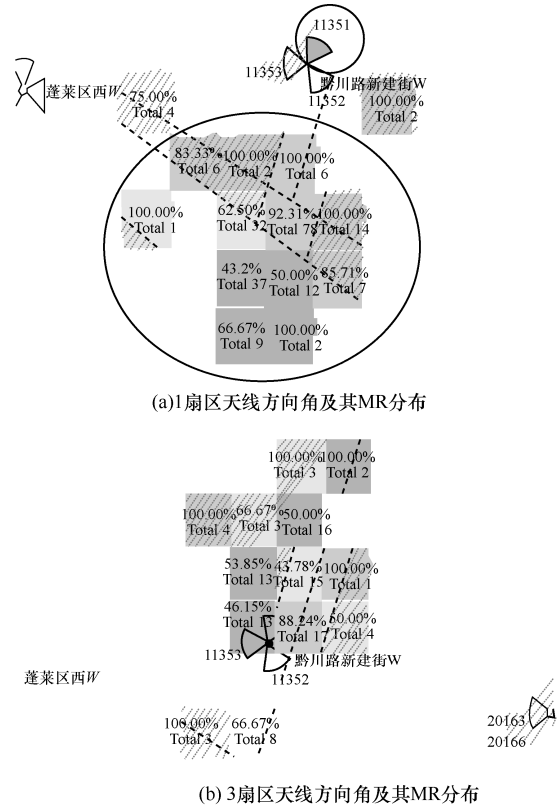


图 5 1135 基站 1 扇区天线方向角 270° 方向 和 3 扇区 10° 方向 MR 分布

图 5(a)显示，三叶图实色扇区为第一扇区，基础数据库中的天线方向角指向为 40° ，其 MR 采样点理应位于该扇区的上方（北） 40° 位置，而统计得出的该扇区 MR 采样点的地理化呈现，实际位于该基站下方偏西区域，用户主要分布在 270°

表 4 黔川路新建街 W_1 小区基于 MR 计算的方向角

基站名称	扇区标识	小区标识	小区名称	小区经度	小区纬度	最佳方向角	数据库方向角
黔川路新建街 W	1	11351	'LYWZ06ED_0'	112.372 16°	34.655 538°	123°	40°

方向。图 5(b)显示刚好相反，三叶图深色扇区为第三扇区，其 MR 采样点理应位于该扇区的左边（西）位置，而统计得出的该扇区 MR 采样点的地理化呈现，用户实际位于该基站上方（北）区域。说明该站点的第一扇区、第三扇区存在明显覆盖相反的情况，经该方法判断为天线方向角接反。经过现场工程师上站核查，发现该站点的第一扇区、第三扇区确实接反。核查结果见表 5。

表 5 黔川路新建街 W 天线方位角上站核查结果

后台基站 天线方向角	算法输出结论	最佳方向角	现场核查 结果
30°/150°/270°	怀疑第一扇区、第三扇区接反	270°/150°/30°	该站点第一、第三扇区接反

表 5 显示，黔川路新建街 W 基站因基站机房连接 RRU 的光纤与 BBU 接口板插错，导致该基站第一和第三扇区的天线方向角接反。

3.2 方向角不合理

图 6 中，汝阳七里南 F 站点位于山区，后台数据库显示其第一扇区（深色扇叶标注）天线方向角为 30°，根据 MR 采样分析计算和地图确认，其第一扇区用户主要分布在 80° 方向，与计算得出的最佳天线方向角相符。因此建议将第一扇区方位角由 30° 调整到 80°。天线方位角不合理现场天馈调整后观察总体指标正常见表 6：该站点 1 扇区

业务量日均增加 1.5 GB，忙时最大用户数增加 1 倍，达到预期效果。

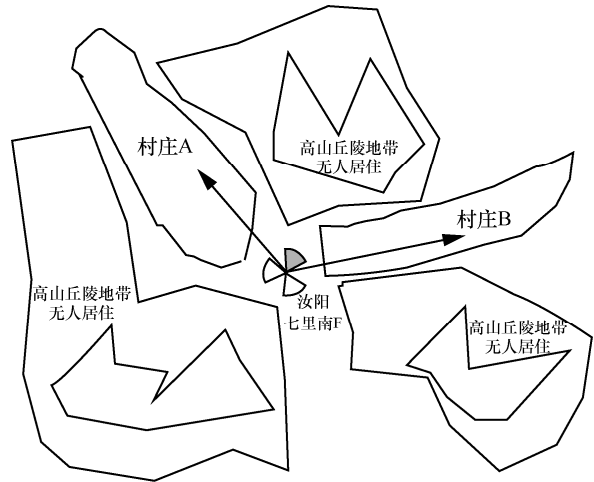


图 6 汝阳七里南 F 站点一扇区方向角调整示意

4 结束语

利用并处理一定周期的、海量的、精准定位的 MR 采样点数据，并计算与基站（天线）的距离和方向角，利用高斯分布统计拟合方法，确定 MR 采样点最多的区域为用户密集区域和业务密集区域，即该区域方向为基站天线覆盖的最佳方向角，发现并解决基站规划设计天线方向角不合理、天线接反、现网天线方向角与后台数据库不一致等多种问题。经过实际应用，能快速发现问题并定位问题，节省现场天馈核查所需的大量人

表 6 汝阳七里南 F 第一扇区天线方向角调整前后的网络性能指标

日期	小区名称	LTE 业务 掉话率	业务量/GB	执行 CSFB 的 次数/次	平均用户数	最大用户数	备注
2017/6/15	LYFHO16B8_0	0.24%	0.29	51	0.33	5	调整前
2017/6/16	LYFHO16B8_0	0.17%	0.15	70	0.34	5	调整前
2017/6/17	LYFHO16B8_0	0.00%	0.34	59	0.56	8	调整前
2017/6/18	LYFHO16B8_0	0.09%	0.5	93	0.49	6	调整前
2017/6/19	LYFHO16B8_0	0.06%	0.5	92	0.59	6	调整前
2017/6/20	LYFHO16B8_0	0.37%	0.61	104	0.43	4	调整前
2017/6/21	LYFHO16B8_0	0.03%	1.41	80	1.13	9	调整后
2017/6/22	LYFHO16B8_0	0.09%	2.09	138	1.66	10	调整后
2017/6/23	LYFHO16B8_0	0.05%	2.1	234	2.11	11	调整后
2017/6/24	LYFHO16B8_0	0.19%	2.07	172	2	10	调整后
2017/6/25	LYFHO16B8_0	0.12%	2.78	121	2.8	10	调整后



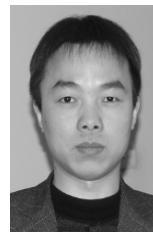
财力资源。下一步将适时对多天线^[15]和MIMO^[16]技术开展此方向的研究。

参考文献:

- [1] 李军. 移动通信天线方位角、倾角偏离的自动检测方法和实现[J]. 电信工程技术与标准化, 2009, 22(10): 78-81.
LI J. Automatic detection method and realization of azimuth angle deviation of mobile communication antenna[J]. Telecom Engineering Technology and Standardization, 2009, 22(10): 78-81.
- [2] 李英祥. 一种基站天线参数监测仪及自动监测方法: 201110099776.X[P]. 2014-03-12.
LI Y X. A method of base station antenna parameter monitor and automatic monitoring: 201110099776.X[P]. 2014-03-12.
- [3] 赵虎, 吴立昌. 一种基站天线信息的获取方法、装置及基站天线: 201110370910.5[P]. 2014-05-17.
ZHAO H, WU L C. A method and system for acquiring the antenna information of a base station: 201110370910.5[P]. 2014-05-17.
- [4] 顾建国, 刘之浩. 测试点定位、测试点与测试数据的对应方法及装置: 200810112228.4[P]. 2008-05-22.
GU J G, LIU Z H. Test point location and test point corresponding to test data method and device: 200810112228.4[P]. 2008-05-22.
- [5] 白中泽. 基于双基站的定位方法及系统: 200910174734.0[P]. 2009-09-13.
BAI Z Z. A location method and system based on dual base station: 200910174734.0[P]. 2009-09-13.
- [6] 李华山. 一种基站工程信息采集方法和系统: 201210336389.8[P]. 2014-12-10.
LI H S. A base station engineering information acquisition method and system: 201210336389.8[P]. 2014-12-10.
- [7] 马建民, 郑军. 基站天线工程参数测量方法: 20140237183.9[P]. 2016-05-18.
MA J M, ZHENG J. A measurement method of antenna engineering parameters of base station: 20140237183.9[P]. 2016-05-18.
- [8] 王栩楠, 兰丽娜, 于翠波, 等. 一种基于手机实测数据的移动基站天线方位角偏差识别方法[C]//中国通信学会第六届学术年会, 2009年11月1日, 深圳, 中国. [出版地不详: 出版者不详], 2009.
WANG X N, LAN L N, YU C B, et al. A method of azimuth deviation identification based on mobile phone measured data[C]//the 6th Annual Conference of the Chinese Society Of Communication, Nov 1, 2009, Shenzhen, China. [S.l.:s.n.], 2009.
- [9] 隋延峰, 姚柒零, 权笑, 等. 基于测量报告的海量小区方位角验证方法[C]//中国移动通信集团设计院有限公司第19届新技术论坛, 2013年11月1日, 北京, 中国. [出版地不详: 出版者不详], 2013.
SUI Y F, YAO Q L, QUAN X, et al. An antenna azimuth verification methods of large number of cells based on the measurement report[C]//The 19th New Technology Forum of China Mobile Communications Group Design Institute, Nov 1, 2013, Beijing, China. [S.l.:s.n.], 2013.
- [10] 陈明钰. 智能判断天线方位角的准确性提升优化效率[J]. 中国新通信, 2013(4): 51.

- CHEN M Y. Judgment intelligently antenna azimuth accuracy to improving optimization efficiency[J]. China New Communication, 2013(4): 51.
- [11] 兰丽娜, 勾学荣, 王栩楠, 等. 一种新的智能性天线方位角计算及小区覆盖分析方法[J]. 电信科学, 2010, 26(8): 82-85.
LAN L N, GOU X R, WANG X N, et al. A new method for the calculation of the azimuth angle of intelligent antenna and cell coverage analysis [J]. 电信科学, 2010, 26(8): 82-85.
- [12] 陈平, 潘荣伟, 耿扬. 一种测算移动通信基站天线方位角的方法: 201510354962.1[P]. 2015-06-23.
CHEN P, PAN R W, GENG Y. A method for calculating the azimuth angle of a mobile communication base station antenna: 201510354962.1[P]. 2015-06-23.
- [13] 吴静. 3G 定位业务的网络结构分析[J]. 移动通信, 2006, 30(5): 54-56.
WU J. Network structure analysis of 3G positioning business[J]. ZTE Technology Journal, 2006, 30(5): 54-56.
- [14] 陈西强. 基于移动MR数据的基站天线方位研究及其在网络优化中的应用[D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
CHEN X Q. Research on base station antenna orientation based on mobile MR data and its application in network optimization[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2014.
- [15] 毕奇, 谢伟良, 陈鹏, 等. LTE多天线技术发展趋势[J]. 电信科学, 2014, 30(10): 1-7.
BI Q, XIE W L, CHEN P, et al. Progress and Trends of multiple antennas technology in LTE network [J]. Telecommunications Science, 2014, 30(10): 1-7.
- [16] 阳析, 金石. 大规模MIMO系统传输关键技术研究进展[J]. 电信科学, 2015, 31(5): 28-35.
YANG X, JIN S. Overview of key technologies of transmission in massive MIMO system [J]. Telecommunications Science, 2015, 31(5): 28-35.

[作者简介]



梁松柏(1975-), 男, 现就职于中国联合网络通信有限公司河南省分公司, 主要从事移动通信网络优化及网络质量方面的研究工作。

陈锋(1975-), 男, 现就职于中兴通讯股份有限公司郑州办事处, 主要从事无线产品技术支持和网络优化技术方面的工作。

宋海平(1983-), 男, 现就职于华为技术有限公司郑州咨询与系统集成部, 主要从事无线网络新技术研究和项目应用工作。

李文生(1982-), 男, 中国联合网络通信有限公司河南省分公司工程师, 主要从事无线网络优化及网络质量方面的研究工作。