

基于ATOLL的 无线传播模型校正及其验证研究

Calibration and Verification of Wireless
Propagation Model Based on ATOLL

王宏星,董冰,孙地,袁鹏(中讯邮电咨询设计院有限公司广东分公司,广东广州510627)

Wang Hongxing, Dong Bing, Sun Di, Yuan Peng (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Guangdong Branch, Guangzhou 510627, China)

摘要:

准确的无线传播模型不仅有利于网络规划、评估网络性能,更有利于后期网络调优、提高网络质量。通过南方某地(市)的模型校正案例说明传播模型的校正过程,主要包括测试准备、数据采集、数据处理和模型校正4个阶段,并通过同城同场景和异城同场景交叉验证模型的有效性和可靠性,为网络规划和建设提供重要依据和支撑。

关键词:

传播模型校正;Aster模型;SPM模型

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.06.008

文章编号:1007-3043(2024)06-0038-05

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

An accurate wireless propagation model is not only beneficial to network planning and network performance evaluation, but also to network tuning and network quality improvement. A model calibration case of a southern city is used to illustrate the calibration process of the communication model, which mainly includes four stages: test preparation, data acquisition, data processing and model calibration. The validity and reliability of the model is verified through cross-verification of the same scene in the same city and the same scene in the different city, which provides important basis and support for network planning and construction.

Keywords:

Propagation model corrects; Aster model; SPM model

引用格式:王宏星,董冰,孙地,等. 基于ATOLL的无线传播模型校正及其验证研究[J]. 邮电设计技术, 2024(6): 38-42.

1 概述

随着的5G大规模部署和城市的快速发展,无线传播环境越来越复杂,对无线网络规划和建设提出了更高的要求,而无线传播模型校正无线网络规划设计中重要的一环,站间距是否合理与无线传播模型的准确性有着密切的联系。因此,需对无线环境的传播特性做深入研究,准确的无线传播模型不仅有利于网络规划、评估网络性能,更有利于后期网络调优、提高网络质量^[1-2]。

2 无线传播模型基本理论

2.1 无线传播

在实际的移动通信中,发射机发射的电磁波通常不能直线到达接收机,传播路径可能被树木、建筑物等物体阻挡,因此,无线环境中电磁波不仅包括直射波、反射波,还包括绕射波、透射波和散射波。通常,预测发射机与接收机之间理想情况下接收信号的强度,可使用自由空间传播模型。根据Frii自由空间等式,若基站以球面波辐射,则接收处的接收功率为:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

收稿日期:2024-04-17

进一步得到路径损耗(单位: dB)为:

$$P_{\text{loss}} = 10 \lg \frac{P_t}{P_r} = -10 \lg \left[\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \right] = -10 \lg \left[\frac{G_t G_r c^2}{(4\pi)^2 d^2 L f^2} \right] \quad (2)$$

式中:

P_t ——发射点处的发射功率

G_t ——发射天线增益

G_r ——接收天线增益

λ ——波长

f ——发射天线与接收天线的距离

L ——与传播无关的系统损耗因子,通常大于1

从式(2)可以得出, $P_r(d)$ 与 $G_t G_r$ 成正比, 与 d^2 和 f^2 成反比。

电磁传播过程中的传播损耗由路径损耗、阴影效应和多径衰落共同决定,其中阴影衰落是由树木、建筑物及其他障碍物对电磁波遮挡所引起的慢衰落,其衰落特性符合对数正态分布,而多径衰落则是由多径传播引起的快衰落,其衰落特性符合瑞利分布。传播损耗可表示为:

$$P[d(t)] = [d(t)]^{-n} \times S[d(t)] \times K[d(t)] \quad (3)$$

式中:

$P[d(t)]$ ——接收信号功率,它是发射机和接收机之间距离的函数

$[d(t)]^{-n}$ ——路径损耗, $n \approx 2 \sim 5.5$

$S[d(t)]$ ——阴影效应

$K[d(t)]$ ——多径衰落

2.2 传播模型

传播模型给出了收发端距离与路径损耗之间的关系,其路径损耗受无线环境、电磁频率、气候、收发端距离、工作场景(室内/室外)的影响^[3-4]。准确的无线网络规划必须有精确的传播模型做支撑,因为精确的传播模型能更好地预测电磁波在无线环境传播过程中的损耗,进而预测基站的覆盖距离和业务情况,为无线网络规划提供重要依据,因此,拥有符合本地无线网络环境特征的传播模型非常必要的。

传播模型主要分为确定模型、统计模型和半经验半确定型模型。确定模型是基于对无线电波在各种不同传播环境下的理论分析和大量实测数据计算得出,如5G仿真常用到的Aster。由于确定模型的算法

非常复杂,故其计算效率偏低,耗时较长,通常需要消耗大量计算机资源。统计模型是基于实测数据统计得到,各种环境因素都会被考虑到,实测数据和环境的匹配度对统计模型的准确性都有一定的影响。典型的统计模型有SPM、COST231-Hata等。统计模型的特点是计算效率高、耗时少、占用系统资源少。

由于Aster模型对于各种无线应用场景,都能更客观、真实地反映路径损耗,另外,SPM模型是以Okumura-Hata和COST231-Hata模型为基础的传播模型,非常适用于150~3 000 MHz频段的长距离预测,可用于CDMA2000和LTE等无线技术。故本文选用Aster模型和SPM模型来进行传播模型的校正工作。

3 传播模型校正及验证

采用未经校正的传播模型预测路径损耗可能不够准确,为了更加准确得到规划区域内网络覆盖情况必须对传统的传播模型进行修正。目前,ATOLL是国内电信运营商和设计单位进行网络规划的常用工具之一,且ATOLL支持CW测试数据和路测数据的导入、过滤和基于CW测试数据校正的功能,故本文采用ATOLL进行模型校正^[5-9]。

3.1 校正流程

传播模型校正过程的实质就是曲线拟合的过程,即通过CW测试得到原始测试数据,然后经过数据预处理、再在校正软件中进行曲线拟合,最后使利用修正后的传播模型计算得到的路径损耗与实测路径损耗控制在某一范围的过程。传播模型校正主要包括:

a) 测试准备。测试设备、站点选择等准备工作。

b) 数据采集。测试设备架设、清频测试、CW信号发射和路测数据采集等。

c) 数据处理。路测数据的预处理,得到本地路径损耗数据。

d) 模型校正。主要在ATOLL上操作,实际就是使用实测的采样点位置的电平值和它达到基站的直线距离进行统计及拟合的过程,当平均误差、标准方差、均方差满足要求即完成校正,输出结果。

3.1.1 测试准备

发射端采用4台上海创远T3919A发射机(发射900 MHz、1 800 MHz、2 100 MHz、2 600 MHz信号)和1台上海瀛洲WHT43室外宽频发射机(发射3 500 MHz信号),接收端采用支持多个频段的Pctel IBFLEX扫描仪,设备连接拓扑示意图如图1所示。

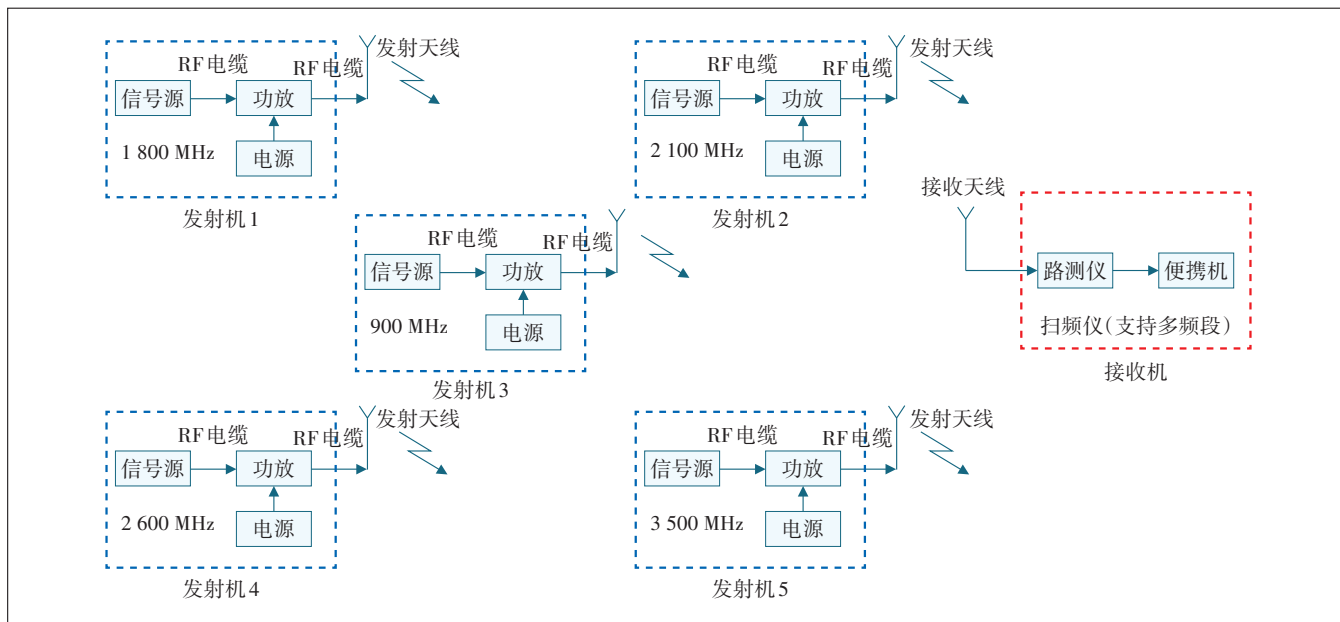


图1 设备连接拓扑示意

通常,在人口密集的大城市^[10-13],测试站址应不少于5个,中等规模的城市可以选取3个测试站址,小城市则选择1个站址测试即可。这主要取决于测试基站天线的高度及其EIRP大小。近场不能存在遮挡,如存在有明显的阻挡,则要在数据处理过程中进行过滤。本次校正选择南方某地(市)密集城区站点1和站点2,其环境照如图2所示。

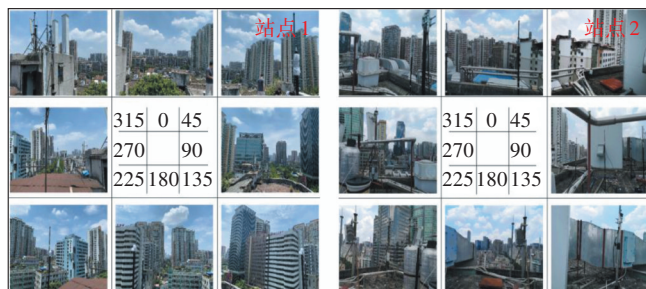


图2 测试站点环境照

3.1.2 数据采集

在CW测试之前,需要对待测区域进行清频测试。清频测试的目的是检查所使用的频段在测试区域是否有干扰或者被占用。只有确保所使用的频段没有干扰,才能保障测试结果的可信性和准确性。具体来说,清频测试是在信号源关闭的情况下,利用扫频仪对测试区域的主要路段进行测试。

在设定的站点架设CW发射机,并根据清频测试设定干净的频点及带宽(30 kHz或10 kHz),记录发射

相关参数(见表1)。

表1 测试站点相关参数

站点	频段/ MHz	发射频 点/MHz	发射功 率/dBm	天线架设 高度/m	馈线长 度/m	天线增 益/dBi	发射EIRP/ dBm
站点1	3 500	3 400.20	43	33.66	5	5	45.92
	2 600	2 648.90	43	33.62	5	6	47.14
	2 100	2 160.70	43	33.96	5	5	46.28
	1 800	1 876.10	43	33.92	5	5	46.37
	900	931.60	43	34.03	5	5	46.62
站点2	3 500	3 499.50	43	46.83	5	5	45.92
	2 600	2 513.78	43	47.10	5	6	47.14
	2 100	2 140.06	43	46.70	5	5	46.28
	1 800	1 879.62	43	47.04	5	5	46.37
	900	929.63	43	46.87	5	5	46.62

测试路线涵盖测试站点3 km内(结合接收电平再行确定)所有可选道路,尽量重合,测试路线规划如图3所示。

3.1.3 数据处理

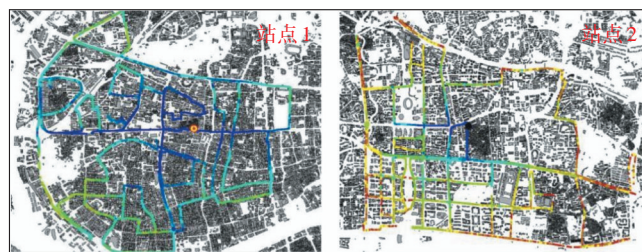


图3 测试路线

测试数据处理通常在规划软件中执行,一般包含数据过滤、数据离散、数据均化、数据偏移修正等步骤。

数据过滤的目的是剔除异常的测试数据,最大程度地保留能反映无线环境的数据,如剔除绿地、屋内的测试点,剔除距离发射机过近、过远的测试点等。

数据离散处理通常在扫频接收机内部处理,可以和数据均化进行合并处理^[14-15]。数据均化在消除快衰落影响的同时保留慢衰落的影响,通常将测试路线进行等间距分段,具体间距可根据测试路线长度确定,间距越短,计算量就越大,然后将每段内的数据(接收机接收的电平值)进行算术平均,最后选取某点作为平均值的位置点,这样做既可以保证测试点的数量足够,又能保证一定的定位精度。数据均化可在扫频接收机测试时进行或在仿真软件中进行。

3.1.4 模型校正

模型校正常见的评估指标有平均误差(ME)、标准方差(STD)、均方差(RMS)^[14-15]。对于校正指标,优先考虑其校正结果指标,应满足以下条件。

- a) Aster:均值接近于0 dB,标准方差和均方差小于6.5 dB。
- b) SPM:均值接近于0 dB,标准方差和均方差小于8 dB。

测试站点模型校正结果如表2所示。从表2可以看出,Aster模型和SPM模型均满足或优于相关要求,Aster模型相关指标明显优于SPM模型。

3.2 校正效果评定

预测值(蓝色)与实测值(红色)的对比分析如图4和图5所示。从图4和图5可以看出,中高频的预测值

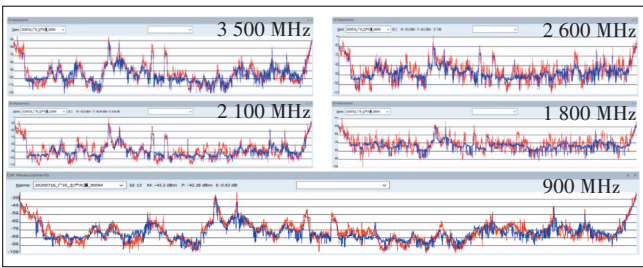


图4 站点1实测数据与预测数据对比

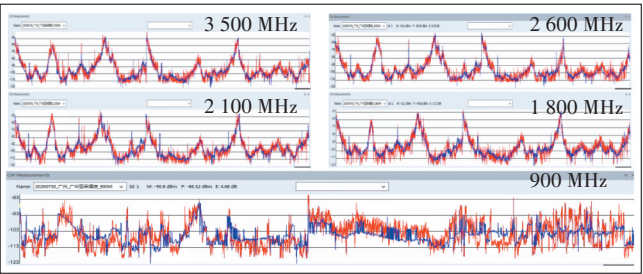


图5 站点2实测数据与预测数据对比

与实测值的拟合度比低频的高一些,但总的来说,使用校正后的传播模型的预测值与实测值保持总体趋势一致。

如图6所示,使用校正后的传播模型,分别对测试站点进行单站仿真,其接收电平预测结果显示近、中、远场预测结果无异常。

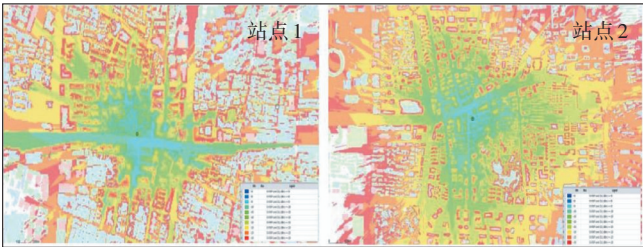


图6 3 500 MHz单站仿真预测示意

表2 测试站点模型校正结果

站 点 名 称	频段/ MHz	Aster模型					SPM模型				
		测点 数	ME /dB	STD /dB	RMS /dB	相关 系数	测点 数	ME/ dB	STD/ dB	RMS/ dB	相关 系数
站 点 1	3 500	8 534	0	6.3	6.3	0.9	8 929	0.0	7.9	7.9	0.8
	2 600	7 895	0	6.4	6.4	0.8	7 898	0.5	7.7	7.7	0.7
	2 100	7 791	0	6.2	6.2	0.9	7 905	0.0	7.1	7.1	0.8
	1 800	8 098	0	6.2	6.2	0.7	8 438	-0.1	7.9	7.9	0.5
	900	8 803	0	6.2	6.2	0.9	8 965	0.0	7.4	7.4	0.8
站 点 2	3 500	10 660	0	5.6	5.6	0.9	10 097	0.1	7.8	7.8	0.8
	2 600	9 460	0	5.3	5.3	0.9	9 670	-0.1	7.6	7.6	0.8
	2 100	11 500	0	5.9	5.9	0.9	11 319	0.0	7.6	7.6	0.9
	1 800	10 542	0	5.7	5.7	0.9	10 354	0.0	7.8	7.8	0.8
	900	4 718	0	5.9	5.9	0.6	5 323	1.8	7.8	8.0	0.4

3.3 校正结果验证

为进一步验证传播模型的有效性,可使用实际路测数据与采用同种场景校正的传播模型后预测的数据进行对比分析,需满足以下要求:均值趋于0 dB,标准方差和均方差均小于7.5 dB(SPM可小于10 dB)。

采用原始未经过校正 Aster模型来验证测试数据,其平均误差较大,为6.23 dB(见图7)。采用原始未经过校正的 SPM 模型来验证测试数据,其平均误差更大,为-62.65 dB(见图8)。

按照“测8验1”的原则和方法,此次模型校正结果需分别针对同城同场景和异城同场景进行效果验证,为便于比较和分析,选取的站址是南方A市密集城区

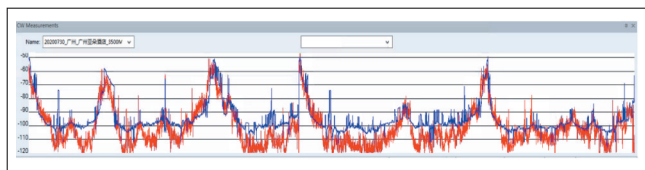


图7 站点2未经过校正Aster模型与实测数据对比

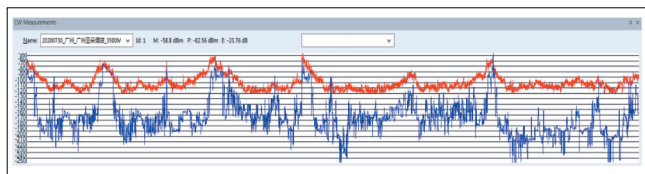


图8 站点2未经过校正SPM模型与实测数据对比

站点1、站点2以及B市密集城区站址3。

3.3.1 同城同场景模型预测验证

基于3 500 MHz、2 100 MHz 2个频点,采用密集城区站点1的模型去验证站点2的测试数据,具体情况如表3所示。

表3 站点1模型验证站点2的测试数据

频段/ MHz	Aster模型				SPM模型			
	ME/ dB	STD/ dB	RMS/ dB	相关 系数	ME/ dB	STD/ dB	RMS/ dB	相关 系数
3 500	1.06	7.16	7.29	0.86	-1.06	9.28	9.77	0.80
2 100	-0.88	7.23	7.28	0.86	-0.74	7.42	7.46	0.86

3.3.2 异城同场景模型预测验证

基于3 500 MHz、1 800 MHz 2个频点进行验证,采用B市密集城区站点3的模型去验证A市密集城区站点2的测试数据,具体情况如表4所示。

表4 站点3模型验证站点2的测试数据

频段/ MHz	Aster模型				SPM模型			
	ME/ dB	STD/ dB	RMS/ dB	相关 系数	ME/ dB	STD/ dB	RMS/ dB	相关 系数
3 500	1.06	7.29	7.37	0.87	-2.76	8.04	8.5	0.80
1 800	2.61	7.03	7.50	0.85	-1.89	9.51	9.7	0.74

通过同城同场景和异城同场景模型预测交叉验证结果可以看出,此次训练数据库和模型库均已达到相关量化指标要求,可用于后续5G、4G网络主用频段网络方案的建模和仿真预测,方案的可信度、参照度均达到相关标准要求。

4 结束语

本研究通过选取南方某地(市)典型场景进行Aster模型和SPM模型校正。通过同城同场景和异城同

场景模型预测交叉验证试验,校正后的模型满足相关量化指标要求,可应用于后期的规划仿真,指导网络建设和网络后评估,为网络的精准建设提供重要参考。但本研究仍存在如下不足。

a) 时间仓促、人手不足,测试城市和站点数量有限。

b) 每个城市无线电磁传播环境随着建筑物变化、区域规划等也在不断变化,通常3年内可以参照使用,时间越长,其相关性越低。建议后续每隔3年左右,就进行一次修正与调整。

参考文献:

- [1] 韩清娜. 试析5G网络技术特点及其无线网络规划设计[J]. 中国新通信, 2022, 24(21): 26-28.
- [2] 糟小兵. 5G网络技术特点和无线网络规划要点研究[J]. 无线互联科技, 2022, 19(15): 4-6.
- [3] 李延峰, 王建, 张国栋, 等. 700 MHz传播模型校正的分析与研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2022, 35(2): 11-15.
- [4] 吴凯. 典型移动通信基站电磁环境影响模型化研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [5] 王广华, 李勇, 李懋, 等. 基于ATOLL仿真的无线传播模型校正浅析[J]. 通讯世界, 2017(24): 334-335.
- [6] 杨常清, 李扬, 张怡, 等. 基于CW数据的传播模型校正[J]. 电子技术与软件工程, 2018(1): 160-161.
- [7] 吴昊. 基于射线跟踪模型的3.5GHz无线传播特性研究[J]. 通讯世界, 2019, 26(10): 14-15.
- [8] 李扬. 基于数据挖掘的无线信号传播模型预测研究与应用[D]. 扬州: 扬州大学, 2021: 001643.
- [9] 杨宁康, 熊飞. 1.8G LTE FDD无线传播模型校正研究[J]. 信息通信, 2014(1): 184-185.
- [10] 任佳敏. 城市环境无线传播损耗预测研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
- [11] 赵静, 张中华, 吴威. 基于3D射线跟踪模型的5G高精度仿真研究[J]. 信息通信, 2020(3): 241-242.
- [12] 芦伟东. 无线传播模型优选方法研究[J]. 中国无线电, 2022(8): 50-52.
- [13] 于仰源, 孙宜军, 王磊, 等. 一种基于MR数据修正无线传播模型的方法[J]. 移动通信, 2019, 43(3): 93-96.
- [14] 胡文龙. LTE网络的无线传播模型校正和覆盖区域预测[D]. 武汉: 华中科技大学, 2018.
- [15] 王蕾, 廖鑫, 姚锐, 等. LTE复杂场景下的无线传播模型校正研究[J]. 电视技术, 2014, 38(23): 72-78.

作者简介:

王宏星, 工程师, 硕士, 主要从事无线网规划和设计工作; 董冰, 高级工程师, 硕士, 主要从事无线网规划和设计工作; 孙地, 高级工程师, 硕士, 主要从事无线网规划和设计工作; 袁鹏, 教授级高级工程师, 学士, 主要从事网络规划和设计工作。