

T/CAICI

中国通信企业协会团体标准

T/CAICI XXXX—XXXX

无线网传播模型校正规程

Specification of Propagation Models Calibration for Wireless Network

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国通信企业协会 发布

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 校正总体要求	2
5 校正流程要求	2
6 校正操作要求	15
7 校正验证要求	16
附录 A.....	18
附录 B.....	19

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国通信企业协会团体标准管理委员会提出并归口。

本文件主要起草单位：中国移动通信集团设计院有限公司

本文件参加起草单位：辽宁邮电规划设计院有限公司、上海邮电设计咨询研究院有限公司、广东省电信规划设计院有限公司。

本文件主要起草人：于一鸣、王翔、姜日敏、常鹤、马威、金浩、盛小君、许锐、蓝俊锋。

本文件为首次发布。

无线网传播模型校正规程

1 范围

本文件规定了无线网传播模型校正的准备步骤与操作方法。

本文件适用于测试与校正无线网特定规划频率下的无线信号传播模型参数，并应用于无线网络工程中的规划、设计和优化流程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 8702-2014 电磁环境控制限值

3GPP TR 38.901 V16.1.0 第三代合作伙伴计划；无线接入网技术规范；0.5至100GHz信道模型研究（R16）

3GPP TR 36.873 V12.0.0 第三代合作伙伴计划；无线接入网技术规范；LTE 3D信道模型研究（R12）

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

下列缩略语适用于本文件。

3GPP	The 3rd Generation Partnership Project	第三代伙伴计划
5G	5th Generation Mobile Communication Technology	第五代移动通信
COST	Co-operative for Scientific and Technical research	协作科技研究
CW	Continuous Wave	连续波
DCHP	Dense City High Penetration	密集城区高穿损
DCLP	Dense City Low Penetration	密集城区低穿损
FSM	Free Space propagation Model	自由空间传播模型
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
ISD	Intersite Distance	基站间距
LOS	Line-of-Sight	视距传输

NLOS	Non-LOS	非视距传输
UMa	Urban Macro	城市宏蜂窝小区
UMi	Urban Micro	城市微蜂窝小区

4 校正总体要求

4.1.1 无线网传播模型校正应在国家授权无线电频率范围内，遵循当地运营商频谱规划方案，满足通信发展规划要求下合理进行业务实施。

4.1.2 无线网传播模型校正应根据当地运营商的近、远期发展规划，根据无线网络部署区域选择典型地形地貌场景开展模型校正工作。结果应按照“一次操作，多处适用”的原则，保持合理的相关频率传播模型参数的准确性与普遍适用性。

4.1.3 无线网传播模型校正应满足无线覆盖预测、站址规划等需求。

4.1.4 无线网传播模型校正的测试范围应覆盖我国主要城市典型场景与区域，依照目前已有站址位置进行规划频率的传播模型校正工作，应避免选用频率干扰较为严重的区域进行测试。

4.1.5 无线网传播模型校正应采用通用的地图文件进行校正，执行规程人员应明确并熟悉所属地区行政区规划与信号覆盖情况。

4.1.6 无线网传播模型校正区域规模应根据建筑物比例、植被密度、穿透损耗等进行分类。无线网传播模型校正区域通常可分为密集城区高穿损、密集城区低穿损、一般城区、郊区、农村、水域、林区等。

4.1.7 无线网传播模型校正测试前应进行预备方案研究与比选，针对站址、测试路线等方案指标进行评估。

5 校正流程要求

5.1 校正流程一般要求

5.1.1 无线网传播模型校正应在无线网工程设计框架下，满足移动通信网服务区的覆盖要求。

5.1.2 无线网传播模型校正应做到站点选择合理、测试数据充足、设备操作规范、结果输出准确。

5.1.3 无线网传播模型校正应至少包括站点选择、测试准备、数据收集、数据处理、模型校正、结果验证等流程。

5.1.4 无线网传播模型校正应采用由国家分配、指配、许可各通信运营商的频率，模型校正后可进行实际场景空间分布、频率传播特性等分析研究。

5.2 传播环境描述

5.2.1 无线网传播环境的定义为：信号从发射端发送到接收端接收的过程中所经历的地理信息集合，可根据信号从发射端到接收端的传播过程中是否存在非直射的环境，将无线网传播环境分为：

- a) 无障碍物阻挡：视距传输（LOS）情形；
- b) 有障碍物阻挡：非视距传输（NLOS）情形。

5.2.2 无线网传播环境按照规划区属性定义也可分为：

- a) 密集城区高穿损（DCHP）与低穿损（DCLP）：一般为城市中心城区；
- b) 一般城区（Urban Area）：一般为城市周边城区或产业园区；
- c) 郊区（Suburban）、县城（County Town）：一般为城市周边县级及以下城区；
- d) 农村（Rural Area）：一般为区域面积较广、人口分布较城镇更为分散、人口密度较低的城区，主要聚集点是集镇和村落；
- e) 水域（Water）：一般是指江河、湖泊、运河、渠道、水库、水塘及其管理范围和水工设施。
- f) 林区（Forest）：一般是指以林业生产为主，有成片原始林和人工林覆盖的地区。

5.2.3 无线网传播模型校正规程所涉及的主要场景以密集城区高穿损、密集城区低穿损、一般城区、郊区、县城与农村为主，水域和林区暂不涉及。

5.3 传播模型选择

5.3.1 自由空间传播模型

自由空间传播模型（Free space propagation Model, FSM）用于预测接收机和发射机之间为完全无阻挡的视距路径时接收信号的场强，属于大尺度路径损耗的无线电波传播的模型。自由空间模型预测接收功率的衰减为发射机与接收机之间距离的函数。自由空间中距发射机 d 处天线的接收功率为：

$$P_R(d) = (P_T G_T G_R \lambda^2) / ((4\pi)^2 d^2 L) \quad (1)$$

式中：

P_T ——天线辐射功率，单位为瓦特（W）；

G_T ——发射天线的增益，单位为 dBi；

G_R ——接收天线的增益，单位为 dBi；

L ——与传播无关的系统损耗因子；

λ ——波长，单位为米（m）。

由以上公式可知，在距离天线 d 处的接收功率是相关发射机到接收机之间距离的函数，接收机接收

到的功率随距离的平方衰减。

发射机发射信号后，经过距离为 d 的传播后，功率因为辐射而受到损耗，这种现象称为路径损耗。路径损耗定义为有效发射功率与接收功率之间的差值。

同时，在没有增益时，即 G_T 与 G_R 均为 1 时，其路径损耗为：

$$PL(\text{dB}) = 10\lg(P_T/P_R) = -10\lg[\lambda^2/((4\pi)^2 d^2)] \quad \#(2)$$

在实际计算视距时，通常可采用：

$$PL(\text{dB}) = 32.45 + 20\lg(d) + 20\lg(f) \quad \#(3)$$

式中：

f ——工作频率，单位为兆赫兹（MHz）；

d ——传输距离，单位为千米（Km）。

自由空间传播模型作为一种在理想环境下的传播模型，可作为现有常见频段模型校正的比较标准。使用时应注意计算公式的单位换算。

5.3.2 3GPP 路径损耗模型

本文件引用了第三代合作伙伴计划（3GPP）在 TR 38.901 V16.1.0 中对无线通信行业中典型场景的描述和对应的路径损耗模型，其中包含了室内热点办公区（InH-office）、城市微蜂窝街道（UMi-street canyon）、城市宏蜂窝小区（UMa）、农村宏蜂窝小区（RMa）与工厂（InF）。针对于每个不同的场景，协议中规定了相应的路径损耗模型，每个场景的定义均可应用于模型校正中。在本文件中主要测试场景可参照 TR 38.901 中 UMa、UMi-street canyon、RMa 场景定义，每个场景定义如下：

- a) 城市微蜂窝街道（UMi-street canyon）与城市宏蜂窝小区（UMa）：

表 1 城市微蜂窝街道与城市宏蜂窝小区定义

参数		城市微基站小区-街道	城市宏基站小区
小区布局		六边形栅格，19 个微蜂窝基站， 每个基站 3 片扇区 (ISD = 200m)	六边形栅格，19 个微蜂窝基站，每个基站 3 片扇区 (ISD = 500m)
基站天线高度		10 米	25 米
用户位置	室内/室外	室内与室外	室内与室外
	视距/非视距	视距与非视距	视距与非视距
	终端天线高度	与表 2 中 3D-UMi 定义相同	与表 2 中 3D-UMa 定义相同
室内用户比例		80%	80%
终端移动速度		3km/h	3km/h
基站和用户间最小距离		10 米	35 米
用户水平层面分布		均匀分布	均匀分布

表 2 用户高度定义

		城市微基站小区-街道	城市宏蜂窝小区
用户高度	通用公式	$h_{UT} = 3(n_{fl} - 1) + 1.5$	$h_{UT} = 3(n_{fl} - 1) + 1.5$
	室外用户 n_{fl}	1	1
	室内用户 n_{fl}	在 N_{fl} 服从均匀分布 (4, 8) 时， n_{fl} 服从均匀分布 (1, N_{fl})	在 N_{fl} 服从均匀分布 (4, 8) 时， n_{fl} 服从均匀分布 (1, N_{fl})

b) 农村宏蜂窝小区 (RMa):

农村宏蜂窝小区具有广阔覆盖区域，支持高速移动性的车辆。聚焦于更大面积的连续覆盖。

表 3 农村宏蜂窝小区定义

参数	农村宏蜂窝小区
载波频率	最大 7GHz
基站天线高度	35 米
小区布局	六边形栅格，19 个宏基站，每个基站 3 片扇区，ISD=1732 米或 5000 米
终端用户高度	1.5 米
用户分布	均匀分布

室内/室外	50%几率在室内，50%几率在车辆内
视距/非视距	视距和非视距
基站和用户最小水平距离	35 米

各场景路径损耗模型如表 4、表 5：

表 4 各场景 LOS/NLOS 路径损耗模型

场景	视距/非视距	PL 单位为 dB, f_c 单位为 GHz, d 单位为米, 详情请见注 6	阴影衰落标准差 (dB)	应用范围, 天线高度初始值
城市宏基站小区	视距	$PL_{UMa-LOS} = \begin{cases} PL_1 & 10m \leq d_{2D} \leq d'_{BP} \\ PL_2 & d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km, \text{ 请见注 1;} \end{cases}$ $PL_1 = 28.0 + 22\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c)$ $PL_2 = 28.0 + 40\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) - 9\log_{10}((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2)$	$\sigma_{SF} = 4$	$1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$ $h_{BS} = 25m$
	非视距	$PL_{UMa-NLOS} = \max(PL_{UMa-LOS}, PL'_{UMa-NLOS})$ for $10m \leq d_{2D} \leq 5km$ $PL'_{UMa-NLOS} = 13.54 + 39.08\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) - 0.6(h_{UT} - 1.5)$	$\sigma_{SF} = 6$	$1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$ $h_{BS} = 25m$ 解释请见注 3
		(额外) $PL = 32.4 + 20\log_{10}(f_c) + 30\log_{10}(d_{3D})$	$\sigma_{SF} = 7.8$	
城市微基站小区-街道	视距	$PL_{UMi-LOS} = \begin{cases} PL_1 & 10m \leq d_{2D} \leq d'_{BP} \\ PL_2 & d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km, \text{ 请见注 1;} \end{cases}$ $PL_1 = 32.4 + 21\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c)$ $PL_2 = 32.4 + 40\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) - 9.5\log_{10}((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2)$	$\sigma_{SF} = 4$	$1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$ $h_{BS} = 10m$
	非视距	$PL_{UMi-NLOS} = \max(PL_{UMi-LOS}, PL'_{UMi-NLOS})$ for $10m \leq d_{2D} \leq 5km$ $PL'_{UMi-NLOS} = 35.3\log_{10}(d_{3D}) + 22.4 + 21.3\log_{10}(f_c) - 0.3(h_{UT} - 1.5)$	$\sigma_{SF} = 7.82$	$1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$ $h_{BS} = 10m$ 解释请见注 4

表 4 (续)

场景	视距/非视距	PL 单位为 dB, f_c 单位为 GHz, d 单位为米, 详情请见注 6	阴影衰落标准差 (dB)	应用范围, 天线高度初始值
农村宏蜂窝小区	视距	$PL_{\text{RMa-LOS}} = \begin{cases} PL_1 & 10\text{m} \leq d_{2D} \leq d_{\text{BP}} \\ PL_2 & d_{\text{BP}} \leq d_{2D} \leq 10\text{km} \end{cases} \quad (\text{请见注 5})$ $PL_1 = 20\log_{10}(40\pi d_{3D} f_c / 3) + \min(0.03h^{1.72}, 10)\log_{10}(d_{3D}) - \min(0.044h^{1.72}, 14.77) + 0.002\log_{10}(h)d_{3D}$ $PL_2 = PL_1(d_{\text{BP}}) + 40\log_{10}(d_{3D}/d_{\text{BP}})$	$\sigma_{\text{SF}} = 4$ $\sigma_{\text{SF}} = 6$	$h_{\text{BS}} = 35\text{m}$ $h_{\text{UT}} = 1.5\text{m}$ $W = 20\text{m}$ $h = 5\text{m}$ h 为平均建筑物高度 W 为平均街道宽度 场景应用范围:
	非视距	$PL_{\text{RMa-NLOS}} = \max(PL_{\text{RMa-LOS}}, PL'_{\text{RMa-NLOS}})$ 对应 $10\text{m} \leq d_{2D} \leq 5\text{km}$ $PL'_{\text{RMa-NLOS}} = 161.04 - 7.1\log_{10}(W) + 7.5\log_{10}(h) - (24.37 - 3.7(h/h_{\text{BS}})^2)\log_{10}(h_{\text{BS}}) + (43.42 - 3.1\log_{10}(h_{\text{BS}}))(\log_{10}(d_{3D}) - 3) + 20\log_{10}(f_c) - (3.2(\log_{10}(11.75h_{\text{UT}}))^2 - 4.97)$	$\sigma_{\text{SF}} = 8$	$5\text{m} \leq h \leq 50\text{m}$ $5\text{m} \leq W \leq 50\text{m}$ $10\text{m} \leq h_{\text{BS}} \leq 150\text{m}$ $1\text{m} \leq h_{\text{UT}} \leq 10\text{m}$

表 5 补充说明

注 1:	<p>断点距离 $d_{\text{BP}} = 4 h'_{\text{BS}} h'_{\text{UT}} f_c / c$, 其中 f_c 为中心载频, 单位为 Hz, $c = 3.0 \times 10^8$ m/s 为在自由空间内信号传输速度, h'_{BS} 和 h'_{UT} 分别为基站侧和用户侧的有效天线高度. 有效天线高度计算方法为: $h'_{\text{BS}} = h_{\text{BS}} - h_e$, $h'_{\text{UT}} = h_{\text{UT}} - h_e$, 其中 h_{BS} 和 h_{UT} 为实际天线高度, h_e 为有效海拔高度. 对于 Umi $h_e = 1.0\text{m}$. 对于 UMa $h_e = 1\text{m}$, 发生概率为 $1/(1+C(d_{2D}, h_{\text{UT}}))$. $C(d_{2D}, h_{\text{UT}})$ 计算公式为</p> $C(d_{2D}, h_{\text{UT}}) = \begin{cases} 0 & , h_{\text{UT}} < 13\text{m} \\ \left(\frac{h_{\text{UT}}-13}{10}\right)^{1.5} g(d_{2D}) & , 13\text{m} \leq h_{\text{UT}} \leq 23\text{m} \end{cases}$ <p>其中</p> $g(d_{2D}) = \begin{cases} 0 & , d_{2D} \leq 18\text{m} \\ 1.25(d_{2D}/100)^3 \exp\left(\frac{-d_{2D}}{150}\right) & , 18\text{m} < d_{2D} \end{cases}$ <p>注意: h_e 取决于 d_{2D} 和 h_{UT}. 因此需要在信道建模时对每条基站与用户连接的链路进行独立分析.</p>
注 2:	<p>针对于使用的频率范围, 各个场景不尽相同: RMa: $0.5 < f_c < 30$ GHz; UMa & UMi-street canyon: $0.5 < f_c < 100$ GHz. 值得注意的是, RMa 路径损耗模型要大于 7 GHz 的标准是根据 24GHz 的外场测试结果得来.</p>
注 3:	<p>城市宏蜂窝小区的非视距路径损耗模型简化于 TR 36.873, 并且 $PL_{\text{UMa-LOS}}$ 为城市宏蜂窝小区室外非视距场景的路径损耗</p>
注 4:	<p>$PL_{\text{UMi-LOS}}$ 为城市微蜂窝街道 (UMi-Street Canyon) 在室外视距场景下的传播损耗</p>
注 5:	<p>断点距离 $d_{\text{BP}} = 2\pi h_{\text{BS}} h_{\text{UT}} f_c / c$, 其中 f_c 为中心载频, 单位为 Hz. $c = 3.0 \times 10^8$ m/s, 为自由空间内信号传输速度, h_{BS} 和 h_{UT} 分别为基站端和接收端的天线高度</p>
注 6:	<p>若无特殊说明, f_c 代表中心载波频率标准化为 1GHz, 所有距离相对值标准化为 1 米.</p>

5.3.3 SPM 模型

SPM（标准传播模型）模型是建立在对于 Cost231-Hata 经验模型修改的基础上，应用于 150MHz 至 2000MHz 频段的无线电波传播损耗预测，其代表公式为：

$$L_{model} = K_1 + K_2 * \log(d) + K_3 * \log(H_{Texff}) + K_4 * DiffractionLoss + K_5 * \log(d) * \log(H_{Texff}) + K_6 * H_{Rexff} + K_{clutter} * f(clutter) \quad (4)$$

式中：

K_1 ——常数项系数，用于描述地理位置上的任意位置的固定损耗，包括地物的平均损耗以及频率损耗系数；

K_2 ——距离损耗系数，用于描述传播距离引起的损耗；

d ——传播距离，即发射机到接收位置的距离，单位为米（m）；

K_3 ——用于描述发射天线高度引起的损耗系数；

H_{Texff} ——发射机与接收机之间的等效高度，单位为米（m）；

K_4 ——用于描述当发射机与接收机之间存在山脉等高耸障碍物时引起的损耗系数；

$DiffractionLoss$ ——地势的绕射因子；

K_5 ——用于描述发射天线高度与距离对于远场点的增益；

K_6 ——用于描述发射机高度带来的增益；

H_{Rexff} ——接收机高度，单位为米（m）；

$K_{clutter}$ ——用于描述地图中地物类型的损耗。

在本文件应用中，SPM 模型需要校正的参数有 K_1 、 K_2 、 K_4 、 $K_{clutter}$ 。

5.3.4 Okumura-Hata 模型

Okumura-Hata 模型是最常用的宏蜂窝系统区域经验传播预测模型，发展于 Okumura 在日本东京附近特定城市和郊区所做的大量系列测量结果。适用范围为 150~1500MHz。Okumura 模型的参数如下表所示。

表 6 Okumura 方法参数

频率 (MHz)	距离 (Km)	基站有效天线高度 (m)	接收天线高度 (m)	修正因子
200, 453, 922, 1310, 1430 和 1920	1~100	30~100	典型陆地移动应用	郊区, 山脉, 斜坡地形和陆海混合路径

预测基于一系列地图和一组公式。模型以准光滑地形作为参考, 其他类型地形则通过增加修正因子完成。

Okumura-Hata 模型将调查区域划分为一系列杂波和地形类型, 即开放区域、郊区和市区。这些区域的定义描述如下:

- a) 开放区域: 开放空间, 例如农场、稻田、开放场地;
- b) 郊区: 农村或存在树木和房屋散射的高速公路, 例如居住区和小城镇;
- c) 市区: 包括大型建筑和房屋的城市和大商业中心。

Okumura-Hata 模型的中值路径损耗预测公式为:

$$L(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 * \log_{10} f_{\text{MHz}} - 13.83 * \log_{10} h_1 - \alpha(h_2) + (44.9 - 6.55 * \log_{10} h_1) \log_{10} d_{\text{Km}} - K \quad (5)$$

式中:

- h_1 —— 基站天线高度, 单位为米 (m), 范围为 30~200 米;
- h_2 —— 移动天线高度, 单位为米 (m), 范围为 1~10 米;
- d_{Km} —— 链路传播距离, 单位为千米 (Km), 范围为 1~20Km;
- f_{MHz} —— 载波频率, 单位为兆赫兹 (MHz), 范围为 150~1500 MHz;
- $\alpha(h_2)$ —— 移动天线高度增益修正因子, 由校正环境决定;
- K —— 郊区和开放区域的小城市公式修正因子。

根据以下应用场景的不同, 预测公式的参数会有变化, 可结合测试站点环境与城市规模选取合适的模型损耗预测公式。

5.3.4.1 市区

在市区, Okumura-Hata 模型的中值路径损耗预测公式将简化成为:

$$L(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 * \log_{10} f_{\text{MHz}} - 13.83 * \log_{10} h_1 - \alpha(h_2) + (44.9 - 6.55 * \log_{10} h_1) \log_{10} d_{\text{Km}} \quad (6)$$

应用范围与公式 (5) 相同, $K = 0$ 。

对于小型或中等城市:

$$\alpha(h_2) = (1.1 * \log_{10} f_{MHz} - 0.7) * h_2 - (1.56 * \log_{10} f_{MHz} - 0.8) \quad \#(7)$$

对于大型城市:

$$\alpha(h_2) = \begin{cases} 8.29 * (\log_{10} 1.54h_2)^2 - 1.1, & f \leq 300MHz \\ 3.2 * (\log_{10} 11.75h_2)^2 - 4.97, & f \geq 300MHz \end{cases} \quad \#(8)$$

5.3.4.2 郊区

在郊区, Okumura-Hata 模型的中值路径损耗预测公式将简化成为:

$$L(\text{dB}) = L(\text{市区}) - 2 * [\log_{10}(f_{MHz}/28)]^2 - 5.4 \quad \#(9)$$

式中:

$L(\text{市区})$ ——公式 (6);

$$K = 4.78 * (\log_{10} f_{MHz})^2 - 18.33 * \log_{10} f_{MHz} + 40.9 \quad \#(10)$$

$$\alpha(h_2) = (1.1 * \log_{10} f_{MHz} - 0.7) * h_2 - 1.56 * \log_{10} f_{MHz} - 0.8 \quad \#(11)$$

5.3.4.3 开放区域

在开放区域, Okumura-Hata 模型的中值路径损耗预测公式将简化成为:

$$L(\text{dB}) = L(\text{市区}) - 4.78 * (\log_{10} f_{MHz})^2 + 18.33 * \log_{10} f_{MHz} - 40.94 \quad \#(12)$$

式中:

$L(\text{市区})$ ——公式 (6);

$$K = 2[\log_{10}(f_{MHz}/28)]^2 + 5.4 \quad \#(13)$$

$$\alpha(h_2) = (1.1 * \log_{10} f_{MHz} - 0.7) * h_2 - 1.56 * \log_{10} f_{MHz} - 0.8 \quad \#(14)$$

5.3.5 COST 231 Hata 模型

COST 231 Hata 模型是 COST 231 工作委员会提出的将频率扩展到 2 GHz 的 Hata 模型扩展版本。COST 231 模型的中值路径损耗预测公式为:

$$L(\text{dB}) = 46.3 + 33.9 * \log_{10} f_{MHz} - 13.82 * \log_{10} h_1 - \alpha(h_2) + (44.9 - 6.55 * \log_{10} h_1) \log_{10} d_{Km} + C \quad \#(15)$$

式中:

h_1 ——基站天线高度, 单位为米 (m);

h_2 ——移动天线高度, 单位为米 (m);

f_{MHz} ——载波频率, 单位为兆赫兹 (MHz), 范围为 1500~2000 MHz;

$\alpha(h_2)$ ——移动天线高度增益修正因子, 由校正环境决定;

d_{km} ——链路传播距离，单位为千米（Km），范围为1~20Km；

C ——对于中等城市或中等树木密度的郊区中心，C=0dB；对于大都市中心，C=3dB。

该模型应用限于城市宏蜂窝小区，其基站天线高于附近建筑的屋顶高度；

5.4 站点选择要求

- 5.4.1 无线网传播模型校正站点场景选择应符合各个地区的上站测试规定。
- 5.4.2 无线网传播模型校正站点场景选择应选在环境安全、交通便捷、易于取电的场所。
- 5.4.3 无线网传播模型校正备选站点周边不应存在明显阻挡电磁波传播的高大建筑、山峰等障碍物。
- 5.4.4 无线网传播模型校正备选站点应根据场景属性进行分类，场景定义应具有代表性和普遍适用性。
- 5.4.5 无线网传播模型校正站点应优先选择与场景片区内平均站高相近的站点作为无线网传播模型校正备选站点。
- 5.4.6 无线网传播模型校正应根据场景划分准则，各场景下的无线网传播模型校正参考站点不少于3个。
- 5.4.7 无线网传播模型校正站点选择时应挑选符合测试城市相应层级普遍适用的场景，应避免挑选建筑物过密或过疏等不符合规划区域属性的站点。

5.5 测试路线规划要求

- 5.5.1 无线网传播模型校正测试路线应严格遵守交通规则，确保道路人身安全。
- 5.5.2 无线网传播模型校正测试路线规模应保证能够获得足够大的测试数据量，单次单站点测试时间应不少于2小时。
- 5.5.3 无线网传播模型校正测试应避开河流、湖泊和山脉。
- 5.5.4 无线网传播模型校正测试应包含主要的地物类型，所占的地物类型比例应与该地区地物类型比例相近。
- 5.5.5 无线网传播模型校正测试路线规划应围绕着站点进行“8”字形测试，应依照事先规划的路线进行数据收集，保证数据完整性。测试路线应包含网络覆盖区的主要路线，纵向和横向的路径要保持均衡，同一条道路不宜重复测试。
- 5.5.6 无线网传播模型校正测试应由通信专业人员负责，小组人员分工如下：
 - a) 测试车辆驾驶员应熟悉测试站点场景周围道路及地理环境，可对路径规划提出合理意见；
 - b) 测试路线规划员应负责规划测试路径并指导驾驶员按照规定路线行驶；
 - c) 测试数据观察员应全程观察测试设备采集的数据是否有异常；

d) 测试组组长应负责沟通、协调测试站点及全程把控测试流程。

5.5.7 无线网传播模型校正测试须先对规划路径上测试频率进行底噪测试，挑选无干扰的测试频点进行数据收集。

5.6 测试设备要求

5.6.1 无线网传播模型校正所需测试设备应包括以下内容：

- a) 硬件设备及软件：无线信号发射机、无线信号接收机、发射机全向天线、车载接收天线、GPS接收天线、校正仿真软件；
- b) 辅助设备：天线支架、电源线、发射机电池、接收机或扫频仪电池、车载电源转换器、数据连接线、风扇。

5.6.2 无线信号发射机天线应选用全向天线，应能够提供较好的方向图。

5.6.3 无线信号发射机高度应较高于测试站点建筑物高度。

5.6.4 无线信号发射机应持续稳定的发射特定频率的连续波（CW）信号。

5.6.5 无线信号发射机 EIRP 应高于 43dBm。

5.6.6 无线信号接收机天线应选用车载全向天线并放置于测试车辆的车顶。

5.6.7 无线信号接收机应持续稳定的接收连续波（CW）信号与 GPS 定位信号。

5.6.8 无线信号发射机与接收机在正式开始测试前应充分预热。

5.6.9 测试设备放置应符合以下要求：

- a) 无线信号发射机全向天线应放置于天线支架并固定，置于平稳处；
- b) 无线信号接收机应放置于车辆平稳处，保证数据采集与数据传输稳定性；
- c) 无线信号发射机和接收机使用时应符合设备使用要求。

5.7 数据采集要求

5.7.1 无线网传播模型校正数据采集的车速和采样数据要求应满足李氏定理，即在测试中保证 40 个波长间隔内采集 36 至 50 个采样数据点。车速及采样数据点数量公式如下：

$$36 \leq \frac{40\lambda}{V} * N \leq 50 \quad \#(16)$$

式中：

V ——车速，单位为米每秒（m/s）；

N ——采样点个数，单位为个；

λ ——电磁波波长，单位为米（m）。

5.8 地图精度选择要求

5.8.1 无线网传播模型校正测试应选用最新版地图，该地图应准确反映该城市测试环境。

5.8.2 无线网传播模型校正测试应采用统一地图精度的地图文件进行测试、校正、仿真等操作。

5.9 配套电源要求

5.9.1 无线网传播模型校正设备电源应符合下列规定：

- a) 无线信号发射机电源的最大可使用量应支持单一站点测试工作；
- b) 无线信号接收机应具备在测试车辆上取电的能力；
- c) 测试站点天面、机房应具备快捷方便的取电条件；

5.10 绿色节能、环保

5.10.1 无线网传播模型校正测试应符合国家标准 GB 8702 《电磁环境控制限值》中对电磁辐射保护及处理等规定。

5.10.2 无线网传播模型校正测试应在满足技术要求和后续工作计划的前提下，优先选用集成化程度高、功耗低、能效比高、具有智能节电的测试设备。

5.10.3 无线网传播模型校正测试在未收集数据时应关闭发射机与接收机电源。

5.11 安全操作须知

5.11.1 无线网传播模型校正道路测试应符合《中华人民共和国道路交通安全法》相关条例规定，在保证行人与测试人员道路安全的前提下进行测试。

5.11.2 无线网传播模型校正应选择天气状况良好的情况下进行测试，应避免雨、雪、沙尘暴等天气。

5.11.3 无线网传播模型校正应保持设备附近环境干燥凉爽，可用风扇使测试设备冷却，避免测试温度过高导致的设备元器件损坏。

5.11.4 无线网传播模型校正设备如需从基站机房引电时应注意用电安全，避免触电。

5.11.5 无线网传播模型校正测试中须确保发射机全向天线固定稳固，避免高空坠物。

5.11.6 无线网传播模型校正测试应满足人防、消防等要求，宜综合考虑网络性能要求、区域发展规划等多方面因素。

6 校正操作要求

6.1 道路测试前检查

6.1.1 无线网传播模型校正操作应符合规划设计的要求，测试前检查应包括下列内容：

- a) 发射端硬件设备检查；
- b) 接收端硬件设备检查；
- c) 线缆检查；
- d) 用电安全检查。

6.2 道路测试数据收集要求

6.2.1 无线网传播模型校正数据收集应遵循上述李氏定理要求，根据测试频率和预计车速进行道路测试，测试车速尽量保持恒定。

6.2.2 无线网传播模型校正数据收集应符合客观规律，即在非视距场景下，距离无线信号发射机越远，接收电平值越低。测量车上人员应时刻关注无线信号接收机上面显示的接收电平值。

6.2.3 无线网传播模型校正数据应在无线信号发射机发射信号无抖动、接收机接收电平稳定后再进行采集，避免信号波动影响数据采集。

6.3 道路测试数据处理要求

6.3.1 无线网传播模型校正数据处理应在保证数据量充足的前提下对总体数据中有明显的异常或不符常理的点进行筛选。异常或不符常理的定义包括但不限于：

- a) 信号采集点距离发射机很近但接收电平较小；
- b) 信号采集点距离发射机很远但接收电平较大；
- c) 信号采集点和发射机中间有明显的建筑物阻挡但接收电平较大；
- d) 接收机接收电平一段时间内无明显变化。

6.3.2 无线网传播模型校正数据应保证在时间上离散、电平值上连续。

6.3.3 无线网传播模型校正数据收集完毕后应对于每个栅格进行地理平均。

6.4 校正平台操作要求

- 6.4.1 无线网传播模型校正需要结合传播模型拟合仿真算法平台（以下简称“平台”）对道路测试数据进行处理、拟合、仿真验证等操作。
- 6.4.2 应准备站点工程参数、天线参数、测试数据等供仿真校正软件进行测试场景下的传播模型校正。
- 6.4.3 无线网传播模型校正调整参数时应符合实际情况进行调整，以求得到校正后与实际测试电平值相近的结果。
- 6.4.4 平台操作应流程规范、步骤清晰。
- 6.4.5 平台操作应记录每一步骤中的参数改动记录、校正模型参数、对比验证参数等，步骤应准确、完整。
- 6.4.6 平台操作应保证参数改动合理性与准确性，不宜人为调整真实道路测试数据大小。
- 6.4.7 平台操作结果可参考相似测试场景环境下已经校正验证的传播模型参数结果，已有的结果可为该地区传播模型提供校正数值参考。

7 校正验证要求

7.1 校正结果验证前检查

- 7.1.1 在提交无线网传播模型校正结果前，校正结果文件内应包含但不限于下列内容：
- a) 校正说明；
 - b) 测试站点选择表；
 - c) 测试路线图；
 - d) 测试硬件设备清单；
 - e) 测试计划说明书；
 - f) 测试站点四周照片；
 - g) 硬件设备摆放照片；
 - h) 道路测试数据；
 - i) 传播模型校正参数表；
 - j) 仿真路测对比参数与散点图；
 - k) 模型参数损耗对比图；
 - l) 传播模型覆盖仿真图；
- 7.1.2 校正结果文件应符合下列规定：

- a) 验收需要的文件应齐全、无缺页、漏项现象；
- b) 测试数据应准确真实反映在真实情况下发射特定频率信号时接收机接收电平值情况；
- c) 校正结果文件应准确真实地应用于后期网络规划的步骤中，与实际工程相结合；
- d) 校正文件应字迹清楚、版面整洁，装订应符合归档要求；

7.2 校正结果验证准备

7.2.1 校正结果验证应在完成全部测试工作量，包括设备整理、道路测试、结果报告生成。提交校正结果文件之后，由规划负责人员组织结果验证工作。

7.2.2 校正结果验证前所有测试设备应齐全保管，符合验证条件。

7.2.3 校正结果验证发现重要指标和校正结果达不到要求时，应及时处理并寻找问题出现点。

7.2.4 校正结果初验应符合下列规定：

- a) 初验测试的操作方法和手段可按照相关技术文件规定的进行；
- b) 根据校正结果的预期操作范围，应对校正结果适合的场景进行覆盖仿真测试验证。

7.3 校正结果验证标准

7.3.1 无线网传播模型校正结果参数值应与已有相似场景的相同频率下的传播模型校正结果相近。

7.3.2 无线网传播模型校正结果参数值应能正确反映该测试频率在实际应用中的损耗值、偏移常量、地形地物损耗等数值。

7.3.3 不同测试场景的传播模型校正结果参数应有明显的符合相应场景的区分度，随障碍物的密集程度提升，在相同的距离下接收电平值越低，信号传播损耗越高。

7.3.4 无线网传播模型校正结果的模型应随着距离越远而损耗值越大，且损耗值应较大于自由空间模型计算出的路径损耗值。

7.3.5 无线网传播模型校正结果可用于验证无线信号规划覆盖指标要求，根据相应频率传播能力的异同布局站点。

7.3.6 无线网传播模型校正结果应同时满足以下量化指标：

- a) 校正模型仿真预计电平值与实际道路测试值的标准差应小于 8dB，标准差越小，结果越好；
- b) 校正模型仿真预计电平值与实际道路测试数据平均误差的绝对值小于 3dB，平均误差越小，结果越好。

附录 A

(规范性附录)

本文件用词说明

在本文件条文中执行有关严格程度的用词，采用以下写法：

A.0.1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“须”；

反面词采用“严禁”。

A.0.2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

A.0.3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

A.0.4 表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

附录 B

（规范性附录）

本文件条文说明

随着 5G 网络的大规模建设，对于无线信号传播模型与传播信道的研究越来越广泛，无线网络的组网方式和规划方法也在逐步演进中。传播模型校正的目的是根据实际道路测试中收集的数据，拟合传播模型中未知参数，以准确的反应在当前实际传播环境下电波的传播特性，并为无线网规划提供传播模型校正参数与传播损耗依据。

本文件主要针对无线网络规划设计中无线网传播模型校正环节的步骤提出规范性要求。

为方便广大设计、规划、运营企业等单位有关人员在使用本文件时能正确理解和执行条文规定，编写组按章、节、条顺序编制了《无线网传播模型校正规程》的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行说明。但本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。