



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104363616 A

(43) 申请公布日 2015. 02. 18

(21) 申请号 201410583520. X

(22) 申请日 2014. 10. 27

(71) 申请人 山东润谱通信工程有限公司

地址 250101 山东省济南市高新(历城)区  
新泺大街 1768 号齐鲁软件园大厦 B 座  
301 室

(72) 发明人 赖智华 夏冰 秦春霞

(74) 专利代理机构 济南金迪知识产权代理有限  
公司 37219

代理人 吕利敏

(51) Int. Cl.

H04W 24/06 (2009. 01)

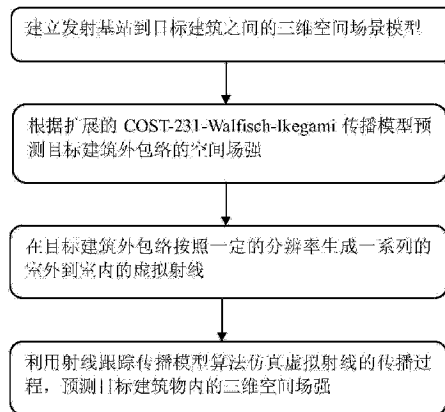
权利要求书5页 说明书11页 附图3页

(54) 发明名称

一种室外到室内传播模型预测室内三维空间场强的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种室外到室内的传播模型预测室内三维空间信号场强的方法,步骤如下:建立发射基站到目标建筑之间的三维空间场景模型;根据扩展的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型预测目标建筑外包络的空间场强;在目标建筑外包络按照一定的分辨率生成一系列的室外到室内的虚拟射线;利用射线跟踪传播模型算法仿真虚拟射线的传播过程,预测目标建筑物内的三维空间场强。本发明在发射基站与目标建筑物的室外区域采用一种扩展的 COST231-Walfisch-Ikegami 传播模型,目标建筑物的室内采用射线跟踪传播模型算法,有效结合了室外经验传播模型与室内确定性传播模型,在计算效率与计算准确度之间做到了很好的均衡,算法的工程适用性强。



1. 一种室外到室内的传播模型预测室内三维空间信号场强的方法,其特征在于,该方法包括具体步骤如下:

步骤(1):建立发射基站到目标建筑之间的三维空间场景模型,三维空间场景模型建模包括:室外建筑街道三维场景模型和目标建筑物的室内三维场景模型,建立步骤如(1-1)-(1-4):

步骤(1-1)根据给定的GIS地图信息,利用现有建模技术,导入GIS地图信息,建立发射基站到预测区域空间的三维场景模型,三维场景模型包括建筑矢量信息、地形和地貌信息,所述建筑矢量信息为建筑物外包络模型;

步骤(1-2)根据给定的目标建筑物的CAD格式的建筑图纸,利用现有建模技术,导入CAD格式图纸,建立目标建筑物的室内三维场景模型,包括目标建筑物的大小、位置、结构及目标建筑物内的建筑物材质,建筑物材质的无线传播损耗参数数据;

步骤(1-3)根据目标建筑物的具体位置信息,将步骤(1-1)中的室外三维场景模型中的目标建筑物的外包络模型与室内建筑物的详细模型对齐,对齐的具体步骤包括平移和旋转室内建筑模型,使得同一建筑在室内建筑模型坐标系和室外建筑模型坐标系的位置一致;

步骤(1-4)从步骤(1-1)所述室外建筑模型中,过滤出无效建筑和街道模型信息,得到发射基站与目标建筑范围内的有效建筑物的三维建筑模型及街道信息,所述有效建筑为包含在发射基站与目标建筑室外1米高接收点的第一菲涅尔圈以内的所有建筑;

所述第一菲涅尔圈的半径  $r$  的计算方法为  $r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d}}$ , 其中,  $\lambda$  为电磁波的波长、 $d$  表示发射基站到接收点之间的距离,  $S$  表示垂直于发射点和接收点之间连线的一个无限大的平面,  $d_1$  和  $d_2$  分别表示发射基站和接收点与平面  $S$  的距离;所述三维建筑模型信息包括建筑物外包络信息,建筑物高度信息  $h_{\text{roof}}$ ,建筑物地理位置信息;所述街道信息包括街道的宽度信息  $w$ 、街道的地理位置信息;

步骤(2):根据扩展的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型预测目标建筑物外包络的空间场强,包括步骤(2-1)-(2-6):

步骤(2-1)在目标建筑物外围按照固定的分辨率进行现场测量并记录发射基站天线信号到达所述目标建筑物外围离地1米高度的外包络的测量数据,所述目标建筑物的外包络只包含目标建筑物靠近发射基站的一侧,不包含目标建筑物背向发射基站的一侧;其中一个接收点的测量数据包括了该接收点的位置信息及无线信号强度信息,表示为  $(x, y, z, M_{\text{rx}})$ , 其中  $x$  为接收点的经度信息,  $y$  为接收点的纬度信息,  $z$  为接收点的高度信息,  $M_{\text{rx}}$  为接收点的接收信号强度信息;

步骤(2-2)获取发射基站到步骤(2-1)所述目标建筑物外包络离地1米高度的某一接收点之间的垂直截面,并从中获取 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型的关键参数,所述关键参数包括平均楼顶高度  $h_{\text{roof}}$ 、平均街道宽度  $w$ 、平均楼宇间距  $b$ 、基站高度  $h_{\text{tx}}$ 、接收点高度  $h_{\text{rx}}$ 、基站发射功率  $W$ 、基站发射信号频率  $f$ 、基站至接收点之间的距离  $d$ 、基站直射波入射方向与测试点所属街道方向的夹角  $\Phi$ ;

根据 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算公式,计算出所述接收点的接收信号强度  $T_{\text{rx}}$ ;所述 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算接收点信号强度的方法包括如下

步骤 (2-2-1)-(2-2-4) :

步骤 (2-2-1), 分别计算基站与接收点间视线传播和非视线传播的传播损耗, 依据步骤 (2-2-2) 计算视线传播的传播损耗  $L_{blos}$ , 依据步骤 (2-2-3) 计算非视线传播的传播损耗  $L_{bnlos}$ , 因此传播损耗  $L_b$  表示为如下公式:

$$L_b = \begin{cases} L_{blos}, & \text{发射点与接收点为视线传播时} \\ L_{bnlos}, & \text{发射点与接收点为非视线传播时} \end{cases};$$

步骤 (2-2-2), 基站与接收点为视线传播时, 传播损耗根据公式  $L_{blos} = 42.6 + 26 \lg d + 20 \lg f$  计算, 其中  $L_{blos}$  为视线传播的传播损耗;

步骤 (2-2-3), 基站与接收点为非视线传播时, 传播损耗根据公式  $L_{bnlos} = L_{bs} + L_{rts} + L_{msd}$  计算, 其中  $L_{bs}$  为自由空间传播损耗,  $L_{rts}$  为屋顶至街道的绕射及散射损耗,  $L_{msd}$  为多重屏障的绕射损耗,  $L_{bs}$ 、 $L_{rts}$ 、 $L_{msd}$  的具体计算方法包括步骤 (2-2-3-1)-(2-2-3-3) :

步骤 (2-2-3-1), 所述步骤 (2-2-3) 中,  $L_{bs}$  的计算公式为  $L_{bs} = 32.45 + 20 \lg d + 20 \lg f$  ;

步骤 (2-2-3-2), 所述步骤 (2-2-3) 中,  $L_{rts}$  的计算公式为

$$L_{rts} = \begin{cases} -16.9 - 10 \lg w + 10 \lg f + 20 \lg (h_{roof} - h_{rx}) + L_{ori}, & h_{roof} > h_{rx} \text{ 时} \\ 0, & \text{当 } L_{rts} < 0 \text{ 时} \end{cases}$$

$$\text{其中, } L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\phi, & 0 \leq \phi < 35 \\ 2.5 + 0.075 \times (\phi - 35), & 35^\circ \leq \phi < 55; \\ 4.0 - 0.114 \times (\phi - 35), & 55^\circ \leq \phi < 90 \end{cases}$$

步骤 (2-2-3-3), 所述步骤 (2-2-3) 中,  $L_{msd}$  的计算公式为

$$L_{msd} = \begin{cases} L_{bsh} + K_a + K_d \lg d + K_f \lg f - 9 \lg b \\ 0, & \text{当 } L_{msd} < 0 \text{ 时} \end{cases}$$

其中,

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \lg (1 + h_{tx} - h_{roof}), & h_{tx} > h_{roof} \\ 0, & \text{当 } h_{tx} \leq h_{roof} \text{ 时} \end{cases}$$

$$K_a = \begin{cases} 54, & h_{tx} > h_{roof} \\ 54 - 0.8 \times (h_{tx} - h_{roof}), & d \geq 0.5 \text{ km 且 } h_{tx} \leq h_{roof} \\ 54 - 0.8 \times (h_{tx} - h_{roof}) \times \left(\frac{d}{0.5}\right), & d < 0.5 \text{ km 且 } h_{tx} \leq h_{roof} \end{cases}$$

$$K_d = \begin{cases} 18, & h_{tx} > h_{roof} \\ 18 - 15 \left(\frac{h_{tx} - h_{roof}}{h_{roof} - h_{rx}}\right), & h_{tx} \leq h_{roof} \end{cases}$$

$$K_f = -4 + \begin{cases} 0.7 \times \left(\frac{f}{925} - 1\right), & \text{用于中等城及具有中等密度的树的郊区中心} \\ 1.5 \times \left(\frac{f}{925} - 1\right), & \text{用于大城市中心} \end{cases}$$

步骤 (2-2-4), 当发射点与接收点为视线传播时的接收信号场强  $T_{los} = W - L_{blos}$ , 当发射点与接收点为非视线传播时的接收信号场强  $T_{Nlos} = W - L_{bNlos}$ , 因此接收点信号场强表示为:

$$T_{rx} = \begin{cases} W - L_{blos} = T_{los}, & \text{发射点与接收点为视线传播时} \\ W - L_{bNlos} = T_{Nlos}, & \text{发射点与接收点为非视线传播时} \end{cases}$$

步骤 (2-3): 根据所述测试点的实际测量场强  $M_{rx}$  和预测场强  $T_{rx}$ , 计算实测值和预测值的误差  $\Delta = M_{rx} - T_{rx}$ , 校正所述测量点的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算公式:

其中, 实际测量场强  $M_{rx}$  和预测场强  $T_{rx}$  之间的矫正值包括视线传播的矫正值  $\Delta_{los}$  和非视线传播的矫正值  $\Delta_{Nlos}$ :

$$\Delta = M_{rx} - T_{rx} = \begin{cases} \Delta_{los} = M_{rx} - T_{los}, & \text{发射点与接收点为视线传播时} \\ \Delta_{Nlos} = M_{rx} - T_{Nlos}, & \text{发射点与接收点为非视线传播时} \end{cases}$$

步骤 (2-4): 获取发射基站到所述测量点的扩展高度  $h_{rx}'$  的接收点的垂直截面, 所述扩展高度  $h_{rx}'$  与目标建筑物预测楼层高度一致, 并从中过滤出发射点到接收点之间第一菲涅尔圈以外的建筑, 重新获取 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型的关键参数, 根据校正后的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算所述测量点的扩展高度  $h_{rx}'$  的接收信号强度; 计算测量点的扩展高度  $h_{rx}'$  的接收信号强度的具体包括如下步骤 (2-4-1)-(2-4-2):

步骤 (2-4-1), 获取发射基站到所述测量点的扩展高度  $h_{rx}'$  间的垂直截面, 从中过滤出发射点到接收点之间第一菲涅尔圈以外的建筑物, 所述第一菲涅尔圈的半径  $r$  的计算方法与步骤 (1-4) 中的计算方法相同,  $r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d}}$ , 其中,  $d$  表示发射基站到接收点之间的距离,  $S$  表示垂直于发射点和接收点之间连线的一个无限大的平面,  $d_1$  和  $d_2$  分别表示发射基站和接收点与平面  $S$  的距离, 第一菲涅尔半径是平面  $S$  与菲涅尔椭球相交成圆的半径;

步骤 (2-4-2), 根据过滤出第一菲涅尔圈后的三维建筑与街道信息, 重新获取 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型的关键参数, 利用步骤 (2-2) 所述公式计算接收点的场强  $T_{rx}'$ , 并利用步骤 (2-3) 计算出的校正参数  $\Delta$ , 校正接收点信号场强, 校正后的接收点场强可以表示为  $T_{rx}'' = T_{rx}' + \Delta$ ;

步骤 (2-5): 在预测楼层的高度范围内改变  $h_{rx}'$  的高度, 重复步骤 (2-4), 利用校正的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算该接收点在目标楼层的接收信号强度:

当预测楼层所在的高度  $h_{rx}' > h_{tx}$  时, 且为非视线传播时, 运用镜像原理扩展模型算法, 在应用 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型公式时, 用镜像高度  $h_{rx}''$  代替实际高度

$$h_{rx}', \text{ 镜像高度符合公式 } h_{rx}'' = \begin{cases} 2h_{tx} - h_{rx}', & \text{当 } h_{rx}' > h_{tx} \text{ 时} \\ h_{rx}', & \text{当 } h_{rx}' \leq h_{tx} \text{ 时} \end{cases}$$

步骤 (2-6): 改变接收点的位置, 重复步骤 (2-2)-(2-5), 计算所有预测点在目标楼层外侧的接收信号强度, 从而获得目标建筑目标楼层外包络上的预测信号场强;

步骤 (3): 在目标建筑外包络按照固定的分辨率生成一系列的室外到室内的虚拟射线:

步骤 (4) 利用射线跟踪传播模型算法跟踪虚拟射线的传播过程, 预测目标建筑物内的三维空间场强:

利用射线跟踪传播模型算法预测出目标建筑物内一个接收点  $i$  接收到的室外发射天线的信号强度,具体步骤如 (4-1)-(4-6):

(4-1) 根据步骤 (3) 中生成的虚拟射线的传播方向和室外接收点的位置,确定虚拟射线到达室内接收点  $i$  的所有传播路径: $N$  为虚拟射线到达接收点  $i$  的传播路径的总数,根据步骤 (2) 中的计算结果, $N$  条虚拟射线的初始场强分别记为  $T_{rx}^k (1 \leq k \leq N)$ ,室外基站的发射功率记为  $W$ , $N$  条虚拟射线从基站在到达目标建筑物外包络的室外传播损耗分别记为  $L_{out}^k = W - T_{rx}^k (1 \leq k \leq N)$ ;

(4-2) 计算每条传播路径在室内自由空间的传播损耗,其中第  $k$  条路径在自由空间传播的损耗值为  $L_p(f, d_k) (1 \leq k \leq N)$ , $f$  是信号频率 (MHz), $d_k$  是第  $k$  条路径在自由空间传输的距离 (km);则第  $k$  条路径在自由空间的损耗值 (dB) 在不考虑透射、反射和衍射现象的情况下,其计算公式表示如下:

$$L_p(f, d_k) = 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d_k) + 32.45;$$

(4-3) 计算每条传播路径受建筑物材质影响的损耗,其中  $L_{MAT}(f)$  是第  $k$  条路径上由建筑材质引起的透射、反射和衍射的衰落总和; $T$  为目标建筑物内所有建筑材质的总数,第  $j$  种材质表示为  $M_j (1 \leq j \leq T)$ , $\delta_t, \delta_d, \delta_r$  分别为第  $k$  条路径上的无线信号与建筑材质是否存在透射、衍射、反射的关系系数,

$$\delta_t = \begin{cases} 0, & \text{材质 } M_j \text{ 的透射不存在时} \\ 1, & \text{材质 } M_j \text{ 的透射存在时} \end{cases} \quad \delta_d = \begin{cases} 0, & \text{材质 } M_j \text{ 的衍射不存在时} \\ 1, & \text{材质 } M_j \text{ 的衍射存在时} \end{cases},$$

$$\delta_r = \begin{cases} 0, & \text{材质 } M_j \text{ 的反射不存在时} \\ 1, & \text{材质 } M_j \text{ 的反射存在时} \end{cases}, \quad L_t(f, M_j), L_d(f, M_j), L_r(f, M_j) \text{ 分别是在建筑材质无线传}$$

播损耗参数数据库中:无线信号频率为  $f$  时,在数据库中查找出的材质  $M_j$  所对应频率的透射、衍射和反射损耗参数;则第  $k$  条路径上由建筑材质引起的透射、反射和衍射的衰落总和  $L_{MAT}(f)$  的计算公式表示如下:

$$L_{MAT}(f) = \sum_{j=1}^T (\delta_t * L_t(f, M_j) + \delta_d * L_d(f, M_j) + \delta_r * L_r(f, M_j));$$

(4-4) 计算每条虚拟射线在传播路径上的传播损耗  $L(f, d_k)$ ,计算公式表示如下:

$$L(f, d_k) = L_{out}^k + L_p(f, d_k) + L_{MAT}(f);$$

(4-5) 计算到达第  $i$  点的  $N$  条射线传播路径的损耗总和为  $PL$  (dB);由于每条射线传播路径的能量是线性关系,计算多条传播路径的损耗通过先叠加每条射线能量 (mW),然后取平均,再将能量值转化为路损值;所述  $PL$  的计算公式表示如下:

$$PL = 10 \lg \left( \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left( 10^{\frac{L(f, d_k)}{10}} \right) \right);$$

(4-6) 计算接收点  $i$  的无线信号强度,假设  $P_i$  是第  $i$  个接收点的信号强度 (dBm); $W$  是无

线信号发射天线的发射功率 (dBm) ;则第  $i$  个接收点的信号强度  $P_i$  的计算公式表示如下 :

$$P_i = W - P_L ;$$

(4-7) 选择建筑物内其它接收点,重复步骤 (4-1) 到 (4-6),计算接收点的信号场强,即可完成目标建筑物目标楼层室内三维空间的信号场强。

## 一种室外到室内传播模型预测室内三维空间场强的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种室外到室内传播模型预测室内三维空间场强的方法,属于移动通信的电磁波传播预测的技术领域。

### 背景技术

[0002] 无线传播模型是一组用于预测给定环境中无线电传播特性的数学表达式、图表或算法。传播模型可以是经验模型(又称统计模型),也可以是理论模型(也称确定模型),或是二者的组合。经验模型的计算效率比较高,计算准确度较低,常用于室外大场景的无线信号预测。理论模型计算准确度较高,但是计算效率比较低,常用于室内场景的无线信号预测。

[0003] 随着移动互联网业务的广泛应用,移动数据流量呈爆炸式增长,据日本 DoCoMo 公司的调查,80%的移动数据业务发生在室内,建设室内无线网络已经成为移动运营商满足移动数据业务需求,提高用户满意度的关键,一大批室内分布式系统、直放站、基站拉远、小基站等多种形式的室内覆盖网络应运而生,这些室内覆盖网络与室外宏基站共同组成一个无缝的移动通信网络。然而,室内覆盖网络的建设在满足室内业务需求的同时,也带来了一系列的问题,最突出的是室内与室外网络间的干扰日益严重,包括室内信号对室外的泄漏,室外基站信号对室内的干扰。为解决室内室外网络间的干扰,室内外联合网络规划优化已经成为未来移动运营商网络规划和建设的重点,室内外联合仿真是室内外联合规划的前提,室内外联合的传播模型算法是进行室内外联合仿真的前提。然而,当前业内的无线传播模型,主要有两大类,一类适用于室内小场景的精确仿真,一类适用于室外大场景的粗略仿真。文献[1]中提出了一种室外到室内传播模型,该模型室外采用射线跟踪传播模型算法,室内采用时域有限差分传播模型,室内室外均采用确定性传播模型,计算量偏大,工程可用性较低。缺少高效的能同时应用于室内外联合场景的传播模型。

[0004] 总而言之,目前需要本领域技术人员迫切解决的一个技术问题是:寻找一个快速有效的室外到室内传播模型算法,快速准确的预测室外到室内三维空间产生的信号场强。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明提供一种室外到室内传播模型预测室内三维空间场强的方法。

[0006] 发明概述

[0007] 一种室外到室内的传播模型预测室内三维空间信号场强的方法,步骤如下:建立发射基站到目标建筑之间的三维空间场景模型;根据扩展的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型预测目标建筑外包络的空间场强;在目标建筑外包络按照一定的分辨率生成一系列的室外到室内的虚拟射线;利用射线跟踪传播模型算法仿真虚拟射线的传播过程,预测目标建筑物内的三维空间场强。

[0008] 发明详述

[0009] 一种室外到室内的传播模型预测室内三维空间信号场强的方法,包括具体步骤如下:

[0010] 步骤(1):建立发射基站到目标建筑之间的三维空间场景模型,三维空间场景模型建模包括:室外建筑街道三维场景模型和目标建筑物的室内三维场景模型,建立步骤如(1-1)-(1-4):

[0011] 步骤(1-1)根据给定的GIS地图信息,利用现有建模技术,导入GIS地图信息,建立发射基站到预测区域空间的三维场景模型,三维场景模型包括建筑矢量信息、地形和地貌信息,所述建筑矢量信息为建筑物外包络模型;

[0012] 步骤(1-2)根据给定的目标建筑物的CAD格式的建筑图纸,利用现有建模技术,导入CAD格式图纸,建立目标建筑物的室内三维场景模型,包括目标建筑物的大小、位置、结构及目标建筑物内的建筑物材质,建筑物材质的无线传播损耗参数数据;

[0013] 步骤(1-3)根据目标建筑物的具体位置信息,将步骤(1-1)中的室外三维场景模型中的目标建筑物的外包络模型与室内建筑物的详细模型对齐,对齐的具体步骤包括平移和旋转室内建筑模型,使得同一建筑在室内建筑模型坐标系和室外建筑模型坐标系的位置一致;

[0014] 步骤(1-4)从步骤(1-1)所述室外建筑模型中,过滤出无效建筑和街道模型信息,得到发射基站与目标建筑范围内的有效建筑物的三维建筑模型及街道信息,所述有效建筑为包含在发射基站与目标建筑室外1米高接收点的第一菲涅尔圈以内的所有建筑;

[0015] 所述第一菲涅尔圈的半径  $r$  的计算方法为  $r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d}}$ , 其中,  $\lambda$  为电磁波的波长、 $d$  表示发射基站到接收点之间的距离,  $S$  表示垂直于发射点和接收点之间连线的一个无限大的平面,  $d_1$  和  $d_2$  分别表示发射基站和接收点与平面  $S$  的距离;所述三维建筑模型信息包括建筑物外包络信息,建筑物高度信息  $h_{\text{roof}}$ ,建筑物地理位置信息;所述街道信息包括街道的宽度信息  $w$ 、街道的地理位置信息;

[0016] 步骤(2):根据扩展的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型预测目标建筑物外包络的空间场强,包括步骤(2-1)-(2-6):

[0017] 步骤(2-1)在目标建筑物外围按照固定的分辨率进行现场测量并记录发射基站天线信号到达所述目标建筑物外围离地1米高度的外包络的测量数据,所述目标建筑物的外包络只包含目标建筑物靠近发射基站的一侧,不包含目标建筑物背向发射基站的一侧;其中一个接收点的测量数据包括了该接收点的位置信息及无线信号强度信息,表示为  $(x, y, z, M_{\text{rx}})$ , 其中  $x$  为接收点的经度信息,  $y$  为接收点的纬度信息,  $z$  为接收点的高度信息,  $M_{\text{rx}}$  为接收点的接收信号强度信息;

[0018] 步骤(2-2)获取发射基站到步骤(2-1)所述目标建筑物外包络离地1米高度的某一接收点之间的垂直截面,并从中获取 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型的关键参数,所述关键参数包括平均楼顶高度  $h_{\text{roof}}$ 、平均街道宽度  $w$ 、平均楼宇间距  $b$ 、基站高度  $h_{\text{tx}}$ 、接收点高度  $h_{\text{rx}}$ 、基站发射功率  $W$ 、基站发射信号频率  $f$ 、基站至接收点之间的距离  $d$ 、基站直射波入射方向与测试点所属街道方向的夹角  $\phi$ ;

[0019] 根据 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算公式,计算出所述接收点的接收信号强度  $Trx$ ;所述 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算接收点信号强度的方法包括

如下步骤 (2-2-1)-(2-2-4) :

[0020] 步骤 (2-2-1), 分别计算基站与接收点间视线传播和非视线传播的传播损耗, 依据步骤 (2-2-2) 计算视线传播的传播损耗  $L_{blos}$ , 依据步骤 (2-2-3) 计算非视线传播的传播损耗  $L_{bnlos}$ , 因此传播损耗  $L_b$  表示为如下公式:

[0021]

$$L_b = \begin{cases} L_{blos}, & \text{发射点与接收点为视线传播时} \\ L_{bnlos}, & \text{发射点与接收点为非视线传播时} \end{cases};$$

[0022] 步骤 (2-2-2), 基站与接收点为视线传播时, 传播损耗根据公式  $L_{blos} = 42.6 + 26 \lg d + 20 \lg f$  计算, 其中  $L_{blos}$  为视线传播的传播损耗;

[0023] 步骤 (2-2-3), 基站与接收点为非视线传播时, 传播损耗根据公式  $L_{bnlos} = L_{bs} + L_{rts} + L_{msd}$  计算, 其中  $L_{bs}$  为自由空间传播损耗,  $L_{rts}$  为屋顶至街道的绕射及散射损耗,  $L_{msd}$  为多重屏障的绕射损耗,  $L_{bs}$ ,  $L_{rts}$ ,  $L_{msd}$  的具体计算方法包括步骤 (2-2-3-1)-(2-2-3-3):

[0024] 步骤 (2-2-3-1), 所述步骤 (2-2-3) 中,  $L_{bs}$  的计算公式为  $L_{bs} = 32.45 + 20 \lg d + 20 \lg f$ ;

[0025] 步骤 (2-2-3-2), 所述步骤 (2-2-3) 中,  $L_{rts}$  的计算公式为

[0026]

$$L_{rts} = \begin{cases} -16.9 - 10 \lg w + 10 \lg f + 20 \lg (h_{roof} - h_{rx}) + L_{ori}, & h_{roof} > h_{rx} \text{ 时} \\ 0, & \text{当 } L_{rts} < 0 \text{ 时} \end{cases}$$

$$[0027] \quad \text{其中, } L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\phi, & 0 \leq \phi < 35 \\ 2.5 + 0.075 \times (\phi - 35), & 35^\circ \leq \phi < 55; \\ 4.0 - 0.114 \times (\phi - 35), & 55^\circ \leq \phi < 90 \end{cases}$$

[0028] 步骤 (2-2-3-3), 所述步骤 (2-2-3) 中,  $L_{msd}$  的计算公式为

[0029]

$$L_{msd} = \begin{cases} L_{bsh} + K_a + K_d \lg d + K_f \lg f - 9 \lg b \\ 0, & \text{当 } L_{msd} < 0 \text{ 时} \end{cases}$$

[0030] 其中,

[0031]

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \lg (1 + h_{tx} - h_{roof}), & h_{tx} > h_{roof} \\ 0, & \text{当 } h_{tx} \leq h_{roof} \text{ 时} \end{cases}$$

[0032]

$$K_a = \begin{cases} 54, & h_{tx} > h_{roof} \\ 54 - 0.8 \times (h_{tx} - h_{roof}), & d \geq 0.5 \text{ km} \text{ 且 } h_{tx} \leq h_{roof} \\ 54 - 0.8 \times (h_{tx} - h_{roof}) \times \left(\frac{d}{0.5}\right), & d < 0.5 \text{ km} \text{ 且 } h_{tx} \leq h_{roof} \end{cases}$$

$$[0033] \quad K_d = \begin{cases} 18, & h_{tx} > h_{roof} \\ 18 - 15 \left( \frac{h_{tx} - h_{roof}}{h_{roof} - h_{rx}} \right), & h_{tx} \leq h_{roof} \end{cases}$$

[0034]

$$K_f = -4 + \begin{cases} 0.7 \times \left( \frac{f}{925} - 1 \right), & \text{用于中等城及具有中等密度的树的郊区中心} \\ 1.5 \times \left( \frac{f}{925} - 1 \right), & \text{用于大城市中心} \end{cases}$$

[0035] 步骤 (2-2-4), 当发射点与接收点为视线传播时的接收信号场强  $T_{los} = W - L_{blos}$ , 当发射点与接收点为非视线传播时的接收信号场强  $T_{Nlos} = W - L_{bNlos}$ , 因此接收点信号场强表示为:

[0036]

$$T_{rx} = \begin{cases} W - L_{blos} = T_{los}, & \text{发射点与接收点为视线传播时} \\ W - L_{bNlos} = T_{Nlos}, & \text{发射点与接收点为非视线传播时} \end{cases};$$

[0037] 步骤 (2-3): 根据所述测试点的实际测量场强  $M_{rx}$  和预测场强  $T_{rx}$ , 计算实测值和预测值的误差  $\Delta = M_{rx} - T_{rx}$ , 校正所述测量点的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算公式:

[0038] 其中, 实际测量场强  $M_{rx}$  和预测场强  $T_{rx}$  之间的矫正值包括视线传播的矫正值  $\Delta_{los}$  和非视线传播的矫正值  $\Delta_{Nlos}$ :

[0039]

$$\Delta = M_{rx} - T_{rx} = \begin{cases} \Delta_{los} = M_{rx} - T_{los}, & \text{发射点与接收点为视线传播时} \\ \Delta_{Nlos} = M_{rx} - T_{Nlos}, & \text{发射点与接收点为非视线传播时} \end{cases};$$

[0040] 步骤 (2-4): 获取发射基站到所述测量点的扩展高度  $h_{rx}'$  的接收点的垂直截面, 所述扩展高度  $h_{rx}'$  与目标建筑物预测楼层高度一致, 并从中过滤出发射点到接收点之间第一菲涅尔圈以外的建筑, 重新获取 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型的关键参数, 根据校正后的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算所述测量点的扩展高度  $h_{rx}'$  的接收信号强度; 计算测量点的扩展高度  $h_{rx}'$  的接收信号强度的具体包括如下步骤 (2-4-1)-(2-4-2):

[0041] 步骤 (2-4-1), 获取发射基站到所述测量点的扩展高度  $h_{rx}'$  间的垂直截面, 从中过滤出发射点到接收点之间第一菲涅尔圈以外的建筑物, 所述第一菲涅尔圈的半径  $r$  的计算方法与步骤 (1-4) 中的计算方法相同,  $r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d}}$ , 其中,  $d$  表示发射基站到接收点之间的

距离,  $S$  表示垂直于发射点和接收点之间连线的一个无限大的平面,  $d_1$  和  $d_2$  分别表示发射基站和接收点与平面  $S$  的距离, 第一菲涅耳半径是平面  $S$  与菲涅尔椭球相交成圆的半径;

[0042] 步骤 (2-4-2), 根据过滤出第一菲涅尔圈后的三维建筑与街道信息, 重新获取 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型的关键参数, 利用步骤 (2-2) 所述公式计算接收点的场强  $T_{rx}'$ , 并利用步骤 (2-3) 计算出的校正参数  $\Delta$ , 校正接收点信号场强, 校正后的接收点场强可以表示为  $T_{rx}'' = T_{rx}' + \Delta$ ;

[0043] 步骤 (2-5):在预测楼层的高度范围内改变  $h_{rx}'$  的高度,重复步骤 (2-4),利用校正的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算该接收点在目标楼层的接收信号强度:

[0044] 当预测楼层所在的高度  $h_{rx}' > h_{tx}$  时,且为非视线传播时,运用镜像原理扩展模型算法,在应用 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型公式时,用镜像高度  $h_{rx}''$  代替实际高度  $h_{rx}'$ ,镜像高度符合公式  $h_{rx}'' = \begin{cases} 2h_{tx} - h_{rx}', & \text{当 } h_{rx}' > h_{tx} \text{ 时;} \\ h_{rx}', & \text{当 } h_{rx}' \leq h_{tx} \text{ 时} \end{cases}$ ;

[0045] 步骤 (2-6):改变接收点的位置,重复步骤 (2-2)-(2-5),计算所有预测点在目标楼层楼外侧的接收信号强度,从而获得目标建筑目标楼层外包络上的预测信号场强;

[0046] 步骤 (3):在目标建筑外包络按照固定的分辨率生成一系列的室外到室内的虚拟射线:

[0047] 所述虚拟射线的分辨率与 (2-1) 中所述测试点的分辨率相同,为提高室内计算的精确度和射线的分辨率,可以按照线性插值的原则生成更多的虚拟射线,因为在实际工程应用中,室外计算的分辨率与室内计算的分辨率有时并不相同,比如室外计算分辨率普遍小于 5 米,而室内计算分辨率有大于 0.5 米的需求。所述虚拟射线的信号强度与接收点的信号强度相同;所述虚拟射线的方向与发射基站到虚拟射线生成点的连线方向一致;所述生成虚拟射线的目标建筑物的外包络只包含目标建筑物靠近发射基站的一侧,因为此处的虚拟射线穿过目标建筑物外墙壁到目标建筑物内继续传播,不包含目标建筑物的背向发射基站的一侧,因为此处的虚拟射线方向为背离目标建筑物,建筑物背面收到的虚拟射线为对面建筑物反射过来的虚拟射线,其强度相对于正面射线的强度通常小的多,因为这部分射线除了克服距离发射基站更远产生的距离损耗,还要克服对面建筑物的反射损耗。

[0048] 步骤 (4) 利用射线跟踪传播模型算法跟踪虚拟射线的传播过程,预测目标建筑物内的三维空间场强:

[0049] 利用射线跟踪传播模型算法预测出目标建筑物内一个接收点  $i$  接收到的室外发射天线的信号强度,具体步骤如 (4-1)-(4-6):

[0050] (4-1) 根据步骤 (3) 中生成的虚拟射线的传播方向和室外接收点的位置,确定虚拟射线到达室内接收点  $i$  的所有传播路径: $N$  为虚拟射线到达接收点  $i$  的传播路径的总数,根据步骤 (2) 中的计算结果, $N$  条虚拟射线的初始场强分别记为  $T_{rx}^k (1 \leq k \leq N)$ ,室外基站的发射功率记为  $W$ , $N$  条虚拟射线从基站在到达目标建筑物外包络的室外传播损耗分别记为  $L_{out}^k = W - T_{rx}^k (1 \leq k \leq N)$ ;

[0051] (4-2) 计算每条传播路径在室内自由空间的传播损耗,其中第  $k$  条路径在自由空间传播的损耗值为  $L_p(f, d_k) (1 \leq k \leq N)$ , $f$  是信号频率 (MHz), $d_k$  是第  $k$  条路径在自由空间传输的距离 (km);则第  $k$  条路径在自由空间的损耗值 (dB) 在不考虑透射、反射和衍射现象的情况下,其计算公式表示如下:

[0052]  $L_p(f, d_k) = 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d_k) + 32.45$ ;

[0053] (4-3) 计算每条传播路径受建筑物材质影响的损耗,其中  $L_{MAT}(f)$  是第  $k$  条路径上由建筑材质引起的透射、反射和衍射的衰落总和; $T$  为目标建筑物内所有建筑材质的总数,第  $j$  种材质表示为  $M_j (1 \leq j \leq T)$ , $\delta t, \delta d, \delta r$  分别为第  $k$  条路径上的无线信号与建筑材质是否存在透射、衍射、反射的关系系数,

$$\delta t = \begin{cases} 0, & \text{材质 } M_j \text{ 的透射不存在时} \\ 1, & \text{材质 } M_j \text{ 的透射存在时} \end{cases} \quad \delta d = \begin{cases} 0, & \text{材质 } M_j \text{ 的衍射不存在时} \\ 1, & \text{材质 } M_j \text{ 的衍射存在时} \end{cases},$$

$$\delta r = \begin{cases} 0, & \text{材质 } M_j \text{ 的反射不存在时} \\ 1, & \text{材质 } M_j \text{ 的反射存在时} \end{cases},$$

$L_t(f, M_j), L_d(f, M_j), L_r(f, M_j)$  分别是在建筑材料无线传播损耗参数数据库中;无线信号频率为  $f$  时,在数据库中查找出的材质  $M_j$  所对应频率的透射、衍射和反射损耗参数;则第  $k$  条路径上由建筑材料引起的透射、反射和衍射的衰落总和  $L_{MAT}(f)$  的计算公式表示如下:

$$[0054] \quad L_{MAT}(f) = \sum_{j=1}^T (\delta t * L_t(f, M_j) + \delta d * L_d(f, M_j) + \delta r * L_r(f, M_j));$$

[0055] (4-4) 计算每条虚拟射线在传播路径上的传播损耗  $L(f, d_k)$ , 计算公式表示如下:

$$[0056] \quad L(f, d_k) = L_{out}^k + L_p(f, d_k) + L_{MAT}(f);$$

[0057] (4-5) 计算到达第  $i$  点的  $N$  条射线传播路径的损耗总和为  $PL$  (dB);由于每条射线传播路径的能量是线性关系,计算多条传播路径的损耗通过先叠加每条射线能量 (mW),然后取平均,再将能量值转化为路损值;所述  $PL$  的计算公式表示如下:

$$[0058] \quad PL = 10 \lg \left( \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (10^{\frac{L(f, d_k)}{10}}) \right);$$

[0059] (4-6) 计算接收点  $i$  的无线信号强度,假设  $P_i$  是第  $i$  个接收点的信号强度 (dBm); $W$  是无线信号发射天线的发射功率 (dBm);则第  $i$  个接收点的信号强度  $P_i$  的计算公式表示如下:

$$[0060] \quad P_i = W - PL;$$

[0061] (4-7) 选择建筑物内其它接收点,重复步骤 (4-1) 到 (4-6),计算接收点的信号场强,即可完成目标建筑物目标楼层室内三维空间的信号场强。

[0062] 本发明的有益效果:

[0063] 1、本发明在发射基站与目标建筑物的室外区域采用一种扩展的 COST231-Walfisch-Ikegami 传播模型,目标建筑物的室内采用射线跟踪传播模型算法,有效结合了室外经验传播模型与室内确定性传播模型,在计算效率与计算准确度之间做到了很好的均衡,算法的工程适用性强。

[0064] 2、由于本发明的室外区域采用经验型的 COST231-Walfisch-Ikegami 传播模型,室内采用确定性的射线跟踪传播模型,室外传播模型计算依赖于室外三维建筑和街道信息,不需要建筑内部的详细结构信息,因此,室外三维建模只需导入 GIS 格式的电子地图,室内传播模型计算依赖于建筑物内部详细的结构信息,因此仅需要对目标建筑物进行导入 CAD 格式的建筑图纸操作,完成目标建筑物的建模。三维建模操作有效性高。

[0065] 3、本发明在虚拟射线生成的时候,可以根据室内仿真精细度的要求,对室外传播模型的计算分辨率进行线性差值,灵活控制室内室外仿真的分辨率。

**附图说明：**

[0066] 图 1 是本发明所述一种室外到室内的传播模型预测室内三维空间信号场强的方法流程图；

[0067] 图 2 是本发明所述室外三维建模效果图；

[0068] 图 3 是本发明所述目标建筑三维建模效果图；

[0069] 图 4 是本发明所述发射基站与目标建筑之间有效建筑和街道模型信息；

[0070] 图 5 是本发明所述虚拟射线生成图；

[0071] 图 6 本发明所述室内虚拟射线跟踪计算过程。

**具体实施方式**

[0072] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明,但不限于此。

[0073] 实施例、

[0074] 如图 1-6 所示,

[0075] 利用本发明所述的一种室外到室内的传播模型预测室内三维空间信号场强的方法,对一个大城市中心区域的一个室外基站天线在某一栋建筑 10 楼内部产生的场强进行预测,其中该建筑物的高度为 30 米。

[0076] 步骤 (1) 根据给定的包含目标预测建筑的某一城市某一地区的 GIS 地图和目标建筑物的 CAD 格式建筑图纸,建立发射基站到目标建筑之间的三维空间场景模型,包括如下三步:

[0077] 步骤 (1-1) 根据给定的 5 米精度的 GIS 地图信息,利用现有建模技术,导入 GIS 地图信息,建立发射基站到预测区域空间的三维场景模型,三维场景模型包括建筑矢量信息、地形和地貌信息,所述建筑矢量信息为建筑物外包络模型;如图 2 所示。

[0078] 步骤 (1-2) 步骤 (1-2):根据给给定的目标建筑物的 CAD 格式的建筑图纸,利用现有建模技术,导入 CAD 格式图纸,建立目标建筑物的室内三维场景模型,包括目标建筑物的大小、位置、结构及目标建筑物内的建筑物材质,建筑物材质的无线传播损耗参数数据,如图 3 所示。

[0079] 步骤 (1-3):根据目标建筑物的具体位置信息,将图 1 中的目标建筑物的外包络模型与图 2 中的室内建筑物的详细模型对齐,对齐的具体步骤包括平移和旋转室内建筑模型,使得同一建筑在室内建筑模型坐标系和室外建筑模型坐标系的位置一致。

[0080] 步骤 (1-4) 从图 1 所示室外建筑模型中,过滤出无效建筑和街道模型信息,得到发射基站与目标建筑范围内的有效建筑物的三维建筑模型及街道信息,所述有效建筑为包含在发射基站与目标建筑室外接收点的第一菲涅尔圈以内的所有建筑。所述第一菲涅尔圈的

半径  $r$  的计算方法为  $r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d}}$ , 其中,  $d$  表示发射基站到接收点之间的距离  $d = 600\text{m}$ ,  $S$  表

示垂直于发射点和接收点之间连线的一个无限大的平面,  $d_1$  和  $d_2$  分别表示发射基站和接收点与平面  $S$  的距离,  $d_1 + d_2 = 600\text{m}$ ,  $\lambda$  为电磁波的波长,电磁波的频率  $f$  为  $2600\text{MHz}$ ,电磁波的传播速度为光速  $c$ ,  $\lambda = c/f = 3/26\text{m}$ ,第一菲涅耳半径是平面  $S$  与菲涅尔椭圆相交成圆

的半径,因此椭球中心的菲涅耳半径为  $r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{a}} = \sqrt{\frac{3 \times 300 \times 300}{26 \times 600}} = 4.16\text{m}$ 。三维建筑模型

信息包括建筑物外包络信息,建筑物高度信息,建筑物地理位置信息,如图 4 所示。

[0081] 步骤 (2) 根据扩展的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型预测目标建筑物 10 楼外包络的空间场强。具体内容包括如下:

[0082] 步骤 (2-1) 在目标建筑物外围按照 0.5m 的分辨率进行现场测量并记录发射基站天线信号到达所述目标建筑物外围离地 1m 高度的外包络的测量数据,所述目标建筑物的外包络只包含目标建筑物靠近发射基站的一侧,不包含目标建筑物的背向发射基站的一侧。其中每一个接收点的测量数据包括了该接收点的位置信息及无线信号强度信息,表示为  $(x, y, z, M_{rx})$ ,  $x$  为经度信息,  $y$  为纬度信息,  $z$  为高度信息,  $M_{rx}$  为接收信号强度信息  $M_{rx} = -98.5\text{dBm}$ 。

[0083] 步骤 (2-2): 获取发射基站到步骤 (2-1) 所述目标建筑物外包络离地 1 米高度的某一接收点之间的垂直截面,并从中获取 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型的关键参数,所述关键参数包括平均楼顶高度  $h_{\text{roof}} = 30\text{m}$ 、平均街道宽度  $w = 14\text{m}$ 、平均楼宇间距  $b = 100\text{m}$ ,以及基站高度  $h_{\text{tx}} = 39\text{m}$ 、接收点高度  $h_{\text{rx}} = 1\text{m}$ 、以及基站发射功率  $W = 49.63\text{dBm}$ 、基站发射信号频率  $f = 2600\text{MHz}$ 、基站距离接收点之间的距离  $d = 0.6\text{km}$ 、基站直射波入射方向与测试点所属街道方向的夹角  $\phi = 37.5^\circ$ 。根据 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算公式,预测出所述接收点的接收信号强度  $T_{rx}$ 。

[0084] (2-2-1) 分别计算基站与接收点间视线传播和非视线传播的传播损耗,依据步骤 (2-2-2) 计算视线传播的传播损耗  $L_{\text{blos}}$ ,依据步骤 (2-2-3) 计算非视线传播的传播损耗  $L_{\text{bnlos}}$ ,因此传播损耗  $L_b$  可以表示为如下公式:

[0085] (2-2-2) 若 P 为视线传播,传播损耗公式为  $L_{\text{blos}} = 42.6 + 26 \lg d + 20 \lg f = 42.6 + 26 * \lg 0.6 + 20 * \lg 2600 = 105.13\text{dB}$ 。

[0086] (2-2-3) 若 P 为非视线传播,传播损耗根据公式  $L_{\text{bnlos}} = L_{\text{bs}} + L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}}$  计算,其中  $L_{\text{bs}}$  为自由空间传播损耗,  $L_{\text{rts}}$  为屋顶至街道的绕射及散射损耗,  $L_{\text{msd}}$  为多重屏障的绕射损耗,  $L_{\text{bs}}$ ,  $L_{\text{rts}}$ ,  $L_{\text{msd}}$  的具体计算方法依据步骤 (2-2-3-1)-(2-2-3-3)。

[0087] (2-2-3-1)  $L_{\text{bs}}$  的计算公式为

[0088]  $L_{\text{bs}} = 32.45 + 20 \lg d + 20 \lg f = 32.45 + 20 \lg 0.6 + 20 \lg 2600 = 96.3$ 。

[0089] (2-2-3-2)  $L_{\text{rts}}$  的计算公式为

[0090]  $L_{\text{rts}} = -16.9 - 10 \lg w + 10 \lg f + 20 \lg (h_{\text{roof}} - h_{\text{rx}}) + L_{\text{ori}}$

[0091]  $= -16.9 - 10 \lg 14 + 10 \lg 2600 + 20 \lg (30 - 1) + L_{\text{ori}}$

[0092] 其中,  $L_{\text{ori}} = 2.5 + 0.075 \times (\phi - 35) = 2.5 + 0.075 \times (37.5 - 35) = 2.64$

[0093] 因此  $L_{\text{rts}} = 37.7$ 。

[0094] (2-2-3-3)  $L_{\text{msd}}$  的计算公式为

[0095]  $L_{\text{msd}} = L_{\text{bsh}} + K_a + K_d \lg d + K_f \lg f - 9 \lg b$

[0096]  $= L_{\text{bsh}} + K_a + K_d \lg 0.6 + K_f \lg 2600 - 9 \lg 100$

[0097] 其中

[0098]  $L_{\text{bsh}} = -18 \lg (1 + h_{\text{tx}} - h_{\text{roof}}) = -18 \lg (1 + 9) = -18$

[0099]  $K_a = 54$

[0100]  $K_d = 18$

$$[0101] \quad K_f = -4 + 1.5 \times \left( \frac{f}{925} - 1 \right) = -4 + 1.5 \times \left( \frac{2600}{925} - 1 \right) = -1.28$$

[0102] 因此  $L_{msd} = -18 + 54 + 18 \times \lg 0.6 - 1.28 \times \lg 2600 - 9 \times \lg 100 = 9.62$

$$[0103] \quad L_{bNlos} = L_{bs} + L_{rts} + L_{msd} = 96.3 + 37.7 + 9.62 = 143.66$$

[0104] (2-2-4) 依据如下公式计算接收点信号场强。

[0105]

$$T_{rx} = \begin{cases} T_{los} = W - L_{blos} = -55.5 \text{dBm}, & \text{发射点与接收点为视线传播时} \\ T_{Nlos} = W - L_{bNlos} = -94.03 \text{dBm}, & \text{发射点与接收点为非视线传播时} \end{cases}$$

[0106] 步骤 (2-3): 根据所述测试点的实际测量场强  $M_{rx}$  和预测场强  $T_{rx}$ , 计算实测值和预测值的误差  $\Delta = M_{rx} - T_{rx}$ , 校正所述测量点的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算公式。

[0107]

$$\Delta = \begin{cases} \Delta_{los} = M_{rx} - T_{los} = -43 \text{dBm}, & \text{发射点与接收点为视线传播时} \\ \Delta_{Nlos} = M_{rx} - T_{Nlos} = -4.47 \text{dBm}, & \text{发射点与接收点为非视线传播时} \end{cases}$$

[0108] 步骤 (2-4): 获取发射基站到所述测量点的扩展高度  $h_{rx}' = 30$  米的接收点的垂直截面, 所述扩展高度  $h_{rx}'$  与目标建筑物楼预测楼层高度一致, 并从中过滤出发射点到接收点之间第一菲涅尔圈以外的建筑, 经判断发射点与接收点依然为非视线传播, 重新获取 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型的关键参数, 所述关键参数包括平均楼顶高度  $h'_{roof} = 38\text{m}$ 、平均街道宽度  $w' = 21\text{m}$ 、平均楼宇间距  $b' = 150\text{m}$ , 以及基站高度  $h'_{tx} = 39\text{m}$ 、以及基站发射功率  $W' = 49.63\text{dBm}$ 、基站发射信号频率  $f' = 2600\text{MHz}$ 、基站距离接收点之间的距离  $d' = 0.599\text{km}$ 、基站直射波入射方向与测试点所属街道方向的夹角  $\phi' = 37.5^\circ$  根据校正后的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型计算所述测量点的扩展高度  $h_{rx}'$  的接收信号强度  $-96.52\text{dBm}$ 。

[0109] 步骤 (2-5): 在预测楼层的高度范围内 (30m-33m) 改变  $h_{rx}'$  的高度分别为 (30.5m, 31m, 31.5m, 32m, 32.5m, 33m), 重复步骤 (2-4), 利用校正的 COST-231-Walfisch-Ikegami 传播模型算法计算该接收点在 10 楼层高度上的接收信号强度分别为 (-95.96, -95.36, -94.72, -94.02, -93.27, -92.44) dBm。

[0110] 步骤 (2-6): 改变接收点的位置, 重复步骤 (2-2)-(2-5), 计算所有预测点在 10 层楼外侧 (离地 30 米高度到离地 33 米高度) 的接收信号强度, 从而获得目标建筑第 10 层外包络上的预测信号场强。

[0111] 步骤 (3): 在目标建筑外包络按照 0.5m 的分辨率生成一系列的室外到室内的虚拟射线, 此处室内分辨率与室外分辨率相同, 不考虑线性差值。所述虚拟射线的信号强度与接收点的信号强度相同; 所述虚拟射线的方向与发射基站到虚拟射线生成点的连线方向一致; 所述生成虚拟射线的目标建筑物的外包络只包含目标建筑物靠近发射基站的一侧, 因为此处的虚拟射线可以穿过目标建筑物外墙壁到目标建筑物内继续传播, 不包含目标建筑物的背向发射基站的一侧, 因为此处的虚拟射线方向为背离目标建筑物。虚拟射线生成过程如图 5 所示。

[0112] 步骤(4)利用射线跟踪传播模型算法跟踪虚拟射线的传播过程,预测目标建筑物内的三维空间场强。利用射线跟踪传播模型算法预测出目标建筑物内一个接收点*i*接收到的室外发射天线的信号强度,具体步骤如(4-1)-(4-6):

[0113] (4-1)根据步骤(3)中生成的虚拟射线的传播方向和室外接收点的位置,确定虚拟射线到达室内接收点*i*的共有*a*,*b*两条传播路径 $N = 2$ , ( $1 \leq k \leq 2$ );根据步骤(2)中的计算结果,2条虚拟射线的初始场强分别记为 $T_{rx}^1 = -80.38\text{dBm}$ ,  $T_{rx}^2 = -85.26\text{dBm}$ 。已知室外基站的发射功率 $W = 49.63\text{dBm}$ ,*a*,*b*两条虚拟射线从基站到达目标建筑物外包络的室外传播损耗 $L_{out}^k = W - T_{rx}^k$ ,分别 $L_{out}^1 = 130.01\text{dB}$ ,  $L_{out}^2 = 134.89\text{dB}$ 。

[0114] (4-2)计算每条传播路径在室内自由空间的传播损耗,其中第*k*条路径在自由空间传播的损耗值为 $L_p(f, d_k)$  ( $1 \leq k \leq 2$ ),信号频率 $f = 2600\text{MHz}$ , $d_k$ 是第*k*条路径在自由空间传输的距离(km),其中射线*a*的距离 $d_1 = 6 \times 10^{-3}\text{km}$ ,射线*b*的距离 $d_2 = 7.5 \times 10^{-2}\text{km}$ ,则两条路径在自由空间的损耗值(dB)在不考虑透射、反射和衍射现象的情况下,根据公式 $L_p(f, d_k) = 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d_k) + 32.45$ 计算可得。

[0115]  $L_p(f, d_1) = 56.31\text{dB}$ ,  $L_p(f, d_2) = 58.25\text{dB}$ 。

[0116] (4-3)计算每条传播路径受建筑物材质影响的损耗,其中 $L_{MAT}(f)$ 是第*k*条路径上由建筑材质引起的透射、反射和衍射的衰落总和;*T*为目标建筑物内所有建筑材质的总数,第*j*种材质表示为 $M_j$  ( $1 \leq j \leq T$ ), $\delta t$ ,  $\delta d$ ,  $\delta r$ 分别为第*k*条路径上的无线信号与建筑材质是否存在透射、衍射、反射的关系系数,

$$\delta t = \begin{cases} 0, & \text{材质 } M_j \text{ 的透射不存在时} \\ 1, & \text{材质 } M_j \text{ 的透射存在时} \end{cases} \quad \delta d = \begin{cases} 0, & \text{材质 } M_j \text{ 的衍射不存在时} \\ 1, & \text{材质 } M_j \text{ 的衍射存在时} \end{cases}$$

$$\delta r = \begin{cases} 0, & \text{材质 } M_j \text{ 的反射不存在时} \\ 1, & \text{材质 } M_j \text{ 的反射存在时} \end{cases}, \quad L_t(f, M_j), L_d(f, M_j), L_r(f, M_j) \text{ 分别是在建筑材质无线传}$$

播损耗参数数据库中:无线信号频率为*f*时,在数据库中查找出的材质 $M_j$ 所对应频率的透射、衍射和反射损耗参数;则第*k*条路径上由建筑材质引起的透射、反射和衍射的衰落总和 $L_{MAT}(f)$ 的计算公式表示如下:

$$[0117] \quad L_{MAT}(f) = \sum_{j=1}^T (\delta t * L_t(f, M_j) + \delta d * L_d(f, M_j) + \delta r * L_r(f, M_j))$$

[0118] 根据图6可知,射线*a*经过1次水泥墙的穿透损耗,1次砖墙的穿透损耗,射线*b*经过1次水泥墙的穿透,1次砖墙的反射,其中水泥墙的穿透损耗参数为20.25dB,砖墙的穿透损耗为6.77dB,砖墙反射损耗为9.55dB。因此建筑材质引起的损耗分别为27.02dB, 29.8dB。

[0119] (4-4)计算每条虚拟射线在传播路径上的传播损耗 $L(f, d_k)$ ,计算公式表示如下:

$$L(f, d_k) = L_{out}^k + L_p(f, d_k) + L_{MAT}(f)$$

[0120]  $L(f, d_1) = 130.01 + 56.31 + 27.02 = 213.34\text{dB}$ ,

[0121]  $L(f, d_2) = 134.89 + 58.25 + 29.8 = 222.94\text{dB}$ 。

[0122] (4-5) 计算到达第  $i$  点的  $N$  条射线传播路径的损耗总和为  $PL$  (dB) ; 由于每条射线传播路径的能量是线性关系, 计算多条传播路径的损耗可以通过先叠加每条射线能量 (mW), 然后取平均, 再将能量值转化为路损值 ; 所述  $PL$  的计算公式表示如下 :

$$[0123] \quad PL = 10 \lg \left( \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (10^{\frac{L(f, d_k)}{10}}) \right)$$

[0124] 计算结果  $PL = 220.38$  dB。

[0125] (4-6) 计算接收点  $i$  的无线信号强度, 假设  $P_i$  是第  $i$  个接收点的信号强度 (dBm) ;  $W$  是无线信号发射天线的发射功率 (dBm) ; 则第  $i$  个接收点的信号强度  $P_i$  的计算公式表示如下 :

$$[0126] \quad P_i = W - PL$$

[0127] 计算结果  $P_i = 49.63 - 220.38 = -170.75$  dBm。

[0128] (4-7) 选择建筑物内其它接收点, 重复步骤 (4-1) 到 (4-6), 计算接收点的信号场强, 即可完成目标建筑物目标楼层室内三维空间的信号场强。

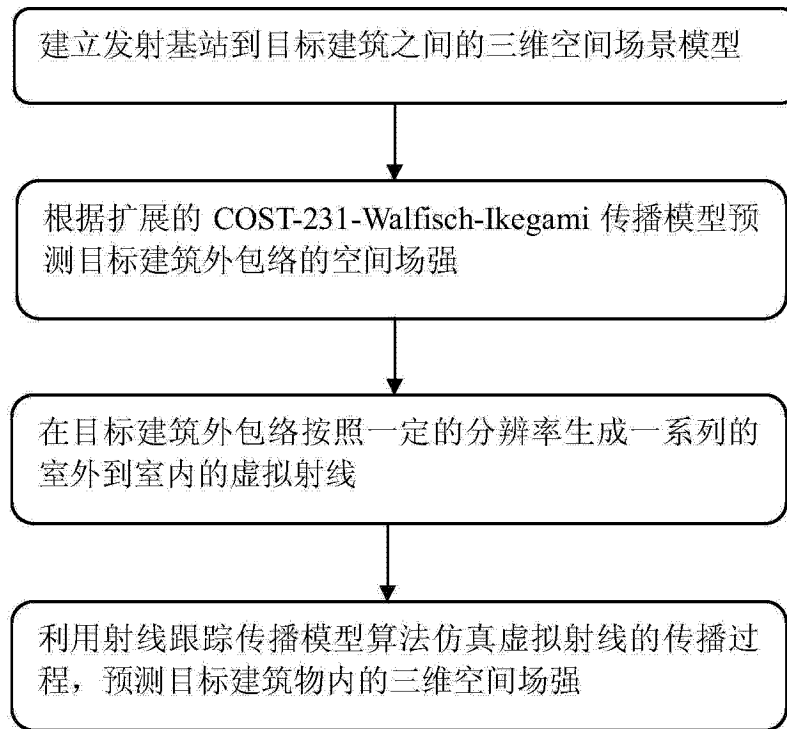


图 1

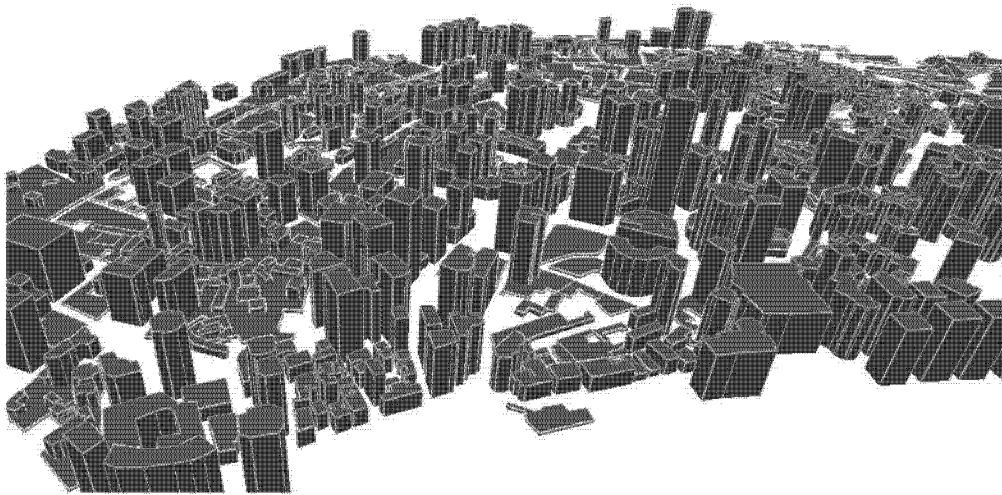


图 2

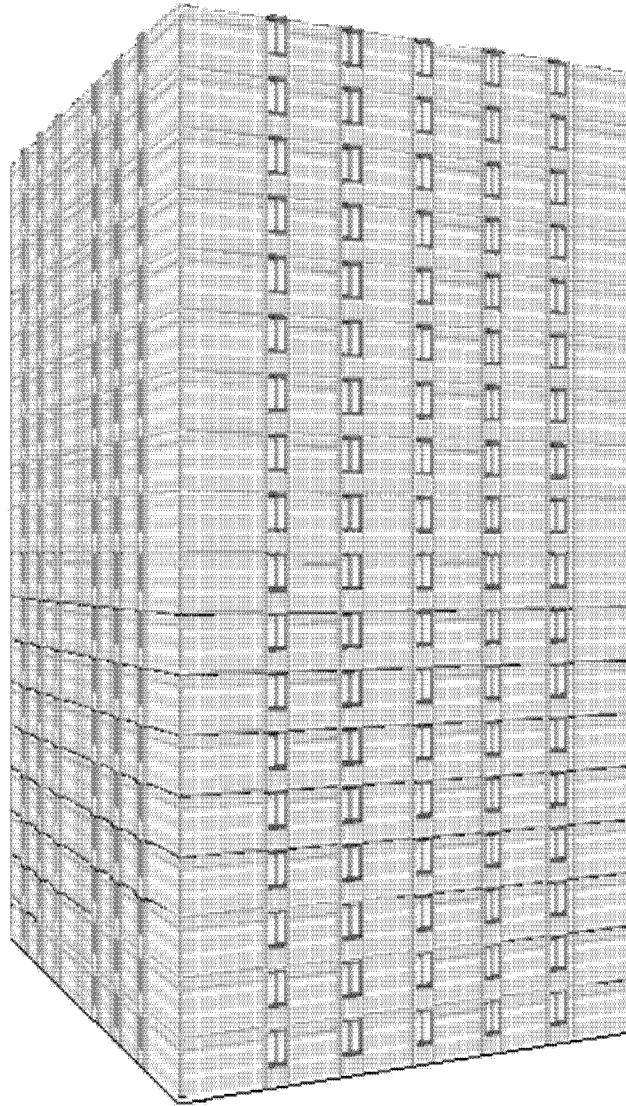


图 3

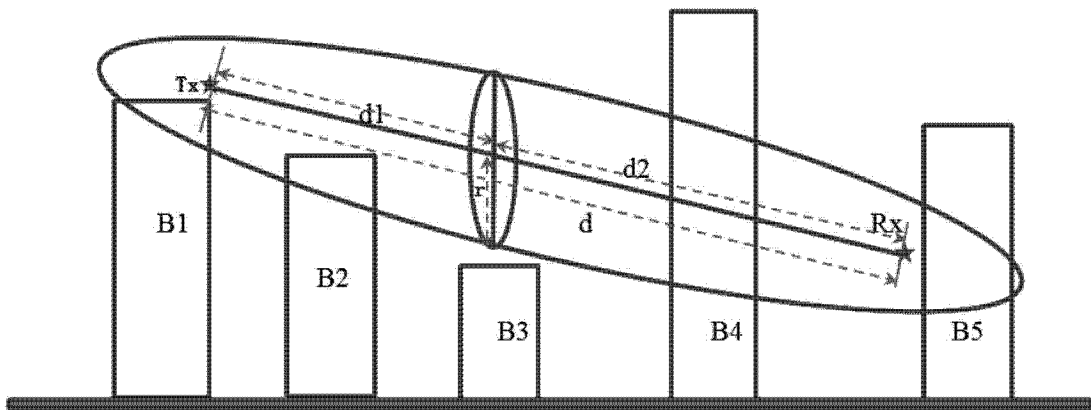


图 4

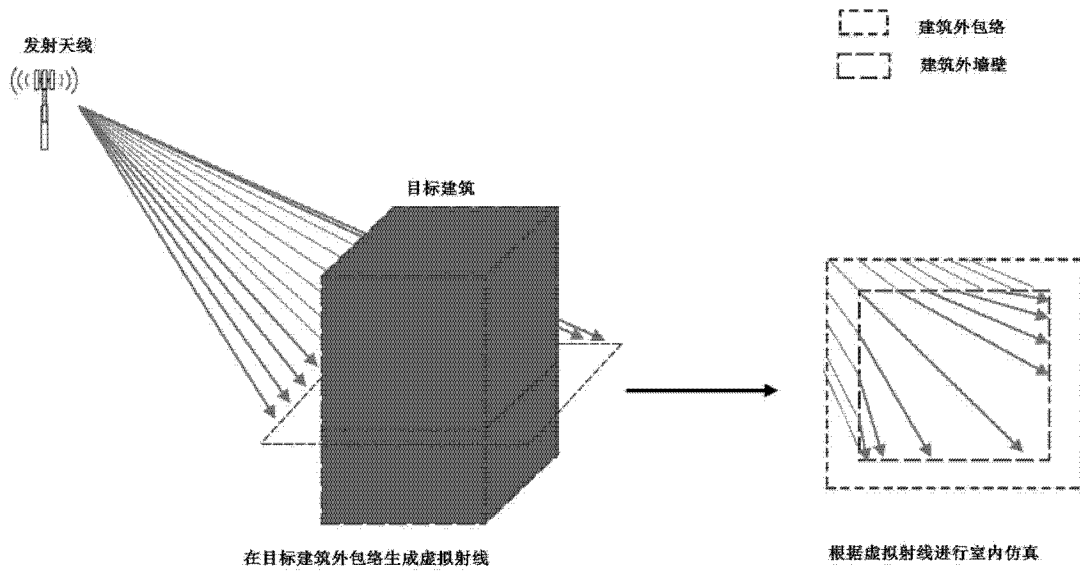


图 5

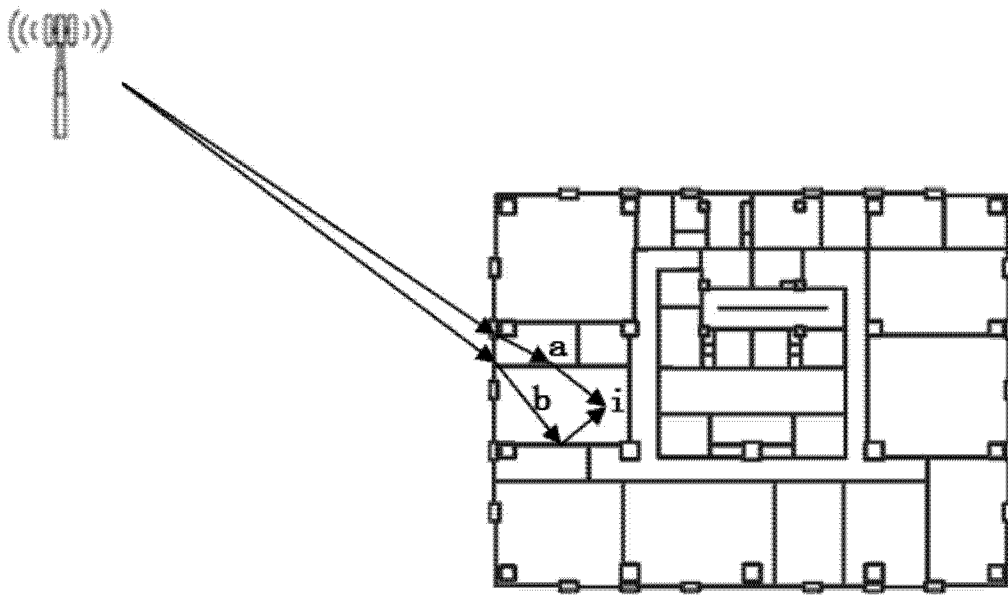


图 6