

城市非规则排列小区场强预测及 可视区域电波传播特性的研究*

周永军¹, 牛中奇², 张 辉¹, 侯建强², 王西明¹

(1. 咸阳师范学院 物理与电子工程学院, 陕西 咸阳 712000; 2. 西安电子科技大学 电子工程学院, 陕西 西安 710071)

摘要:以建筑物非规则排列城市小区电磁环境及电波传播特性为研究对象,应用射线追踪技术并以西安电子科技大学西南角为例数值研究非规则排列的城市小区中不同天线高度、建筑物的材料对可视区域电波传播路径损耗的影响,并预测该小区离地 1.5 m 处平面的电磁功率分布. 研究表明:不同建筑物材料对电波传播路径损耗的影响大体一致,但电波传播路径损耗随天线高度的差异有所不同,离地 1.5 m 平面上各接收点电磁功率随离源点距离不同而不同.

关键词:电波传播特性;射线追踪;城市环境;非规则排列传播模型;功率分布

中图分类号: TN 011 **文献标志码:** A **文章编号:** 0258 - 7971(2013)04 - 0457 - 06

随着城市移动通信用户的快速增长,已建成的移动通信系统容量已无法满足用户的需求,为了有效利用频率资源并提升覆盖区内的系统容量,目前在设计移动通信系统时,规划设计者普遍采用将一个大面积划分为若干小区,并在每个小区中设立移动基站的微蜂窝式无线电覆盖方法,在微蜂窝系统何处架设基站才能保证系统容量最大且具有高效的通信质量? 则需在基站架设前进行精确电磁环境(无线电波传播路径损耗、场强和干扰等)预测及网络设计等相关工作. 对于不同环境条件的微蜂窝系统而言,早期电磁环境预测采用大区制方法已呈现出不足之处(如系统设备受限,覆盖范围有限、系统容量有限等).

为了克服大区制预测方法本身不足之处进而合理规划微蜂窝小区无线网络并精确预测电磁环境,20世纪80年代射线追踪算法被学者应用于微蜂窝小区电磁波传播特性的研究^[1-2],该方法较好克服了传统、纯经验电磁预测方法的缺点,因而得到了广泛关注^[3-5],其中多数研究针对建筑物规则排列的城市环境的电波传播特性进行预测,建筑物非规则排列城市环境电波传播的预测论文则较少,而现实城市环境中建筑物非规则排列情况则更为普遍. 故本文以非规则排列的城市微蜂窝小区(西安电子科技大学西南角)为研究对象,应用射线追踪法数值研究微蜂窝小区内可视区域的电波传播特性并预测离地 1.5 m 处的场强分布.

1 射线追踪算法^[6]

电波传播特性以及场强的预测对移动通信系统设计至关重要,人们很早就开展这方面的研究工作,并逐渐形成了两种基于特定位置的电磁环境预测方法:一是冲激响应法(根据实验、统计所得数据建立经验性传播预测模型进行分析);二是射线跟踪方法(依据理论分析来建立确定性的传播预测模型进行预测). 两者相比,射线追踪法比冲激响应法能更加精确预测电磁环境.

在一致性绕射理论^[7](UTD)和几何绕射理论^[8](GTD)基础上发展起来的射线追踪法综合考虑射线传播过程中的直射、反射、透射、绕射和漫散射现象,搜索收发源间所有可能的射线路径并根据电波传播理

* 收稿日期:2012 - 09 - 24

基金项目:国家自然科学基金(30870577);咸阳师范学院科研基金(11XSYK102);陕西省教育厅项目(2010JK892).

作者简介:周永军(1976 -),男,山东人,博士,讲师,研究方向:电磁场与微波技术. E-mail: hoozyj@tom.com.

论求得收发源间每一条射线的极化、幅度、延迟、相位并结合系统的带宽及天线方向图函数得出抵达接收点的所有射线场强的合成结果. 最常见的射线追踪算法有 SBR(发射反弹射线算法)^[9]、Imaging Method(镜像法)^[10-13]和 Hybrid Method(混合算法)等, 为了提高运算效率, 运算中常采用如可视区域有效射线找寻法^[14]、角度 Z-缓冲区算法^[6]和射线路径搜索算法^[15]等的射线追踪加速技术也受到广泛的关注.

鉴于 SBR 法和 Imaging Method 法在预测中计算量较大、复杂繁琐, 这里我们采用“混合预测算法”^[16]: 接收功率 $P_r = P_t + G_t + G_r - L_t$, 式中 P_t 为发射功率, P_r 为接收功率, G_t 为发射天线增益, G_r 为接收天线增益, L_t 为总的损耗(包括中间损耗功率 L_M 、路径损耗 L_P 、绕射损耗 L_D 、发射损耗 L_R).

其中

$$L_M = L_{en} + \frac{S_d}{\sqrt{2}} \left[\operatorname{erf}^{-1} \left(1 - 2 \frac{E_1}{100} \right) + 10 \log \left(\frac{E_2}{\ln 0.5} \right) \right], \quad (1)$$

式中, L_{en} 为环境损耗, S_d 代表对数正态标准差, E_1 和 E_2 项相当于统计的无线功率覆盖期望值.

$$L_D = -20 \log_{10} |D_{s,h}^l| + 10 \log_{10} D_2(m) + 10 \log_{10} \left[\frac{D_1(D_1 + D_2)}{D_2} \right], \quad (2)$$

式中, $D_{s,h}^l$ 是天线发出的球面场的 UTD 绕射系数, D_1 为天线到阻挡建筑物顶的距离, D_2 为阻挡建筑物顶到接收点的距离, s, h 分别为软边界和硬边界标记.

$$L_R = -20 \log_{10} \left| 1 + R_{H,V} \sqrt{\frac{D_2(D_1 + D_2)}{r_2(D_1 + r_2)}} \frac{D_{s,h}^c}{D_{s,h}^l} e^{-jk(r_2 - D_2)} \right|, \quad (3)$$

式中, $D_{s,h}^c$ 是从天线发出的球面场的 UTD 绕射系数, r_2 为直射路径的长度, k 是波数, $R_{H,V}$ 是反射系数.

2 实例仿真建模

依据电波在收发天线及建筑物间的传播途径, 可将其分为视距(LOS)和非视距(NLOS)2种情况, 对于微蜂窝小区(覆盖半径为 0.1~1 km)而言, 由于不同微蜂窝小区建筑物排列位置和形状差异较大, 因而在进行电磁环境场强预测和网络设计时应依据各自小区建筑物排列情况分析研究. 在应用射线追踪法预测电波传播特性时大体分为建模、射线追踪、场的计算及传播信道分析4个步骤^[17-18], 其中建模包括2部分: ①建立小区建筑物数据库(即城市小区建筑物三维模型); ②是给建筑物附上相应的材料电特性. 表1给出频率 1.8 MHz 时常用3种建筑材料外表面的典型电气特性^[19].

将西安电子科技大学西南角作为研究对象, 研究区域二维分布如图1所示, 其中 T_x 为发射天线位置, R_o, R_n 表示场点. 依此我们构建仿真模型, 并应用射线追踪算法数值研究建筑物非规则排列微蜂窝小区天线高度及建筑物材料特性改变时对视距区域电波传播路径损耗影响, 并预测该小区离地 1.5 m 处电磁场强分布.

表1 频率 1.8 MHz 时的公共建筑物外表面的典型电特性

Tab.1 The typical electrical characteristic to the outer surface of the public buildings at 1.8 MHz frequency

材料	ε_r'	ε_r''	μ_r'	μ_r''	$\sigma/(S \cdot m^{-1})$
石灰石	7.68	0.21	0.96	0.006	0.03
砖	4.28	0.09	1.03	0.03	0.01
混凝土	6.05	1.64	0.95	-0.05	0.01

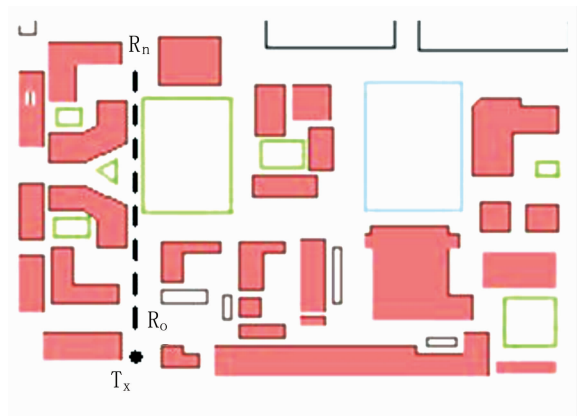


图1 研究区域的二维分布图

Fig.1 The two-dimensional maps of the study area

1 天线高度对 LOS 区域电波传播路径损耗影响 在建模型过程中,发射天线位于图 1 中 T_x 位置,发射功率为 10 W,发射频率为 900 MHz,电磁波为垂直极化波,接收场点距离地面接收高度为 1.5 m,依据表 1 中给出的建筑物外表面典型的电参数值,我们将墙面的电参数设为 $\sigma = 0.02 \text{ S/m}$, $\epsilon_r = 5.5$,地面电参数设为 $\sigma = 0.01 \text{ S/m}$, $\epsilon_r = 15$,仿真计算步长 2 m. 图 2 给出不同天线高度(4、8、12、16 m)时,天线发射的电波传播达到 LOS 区域接收点的路径损耗曲线图.

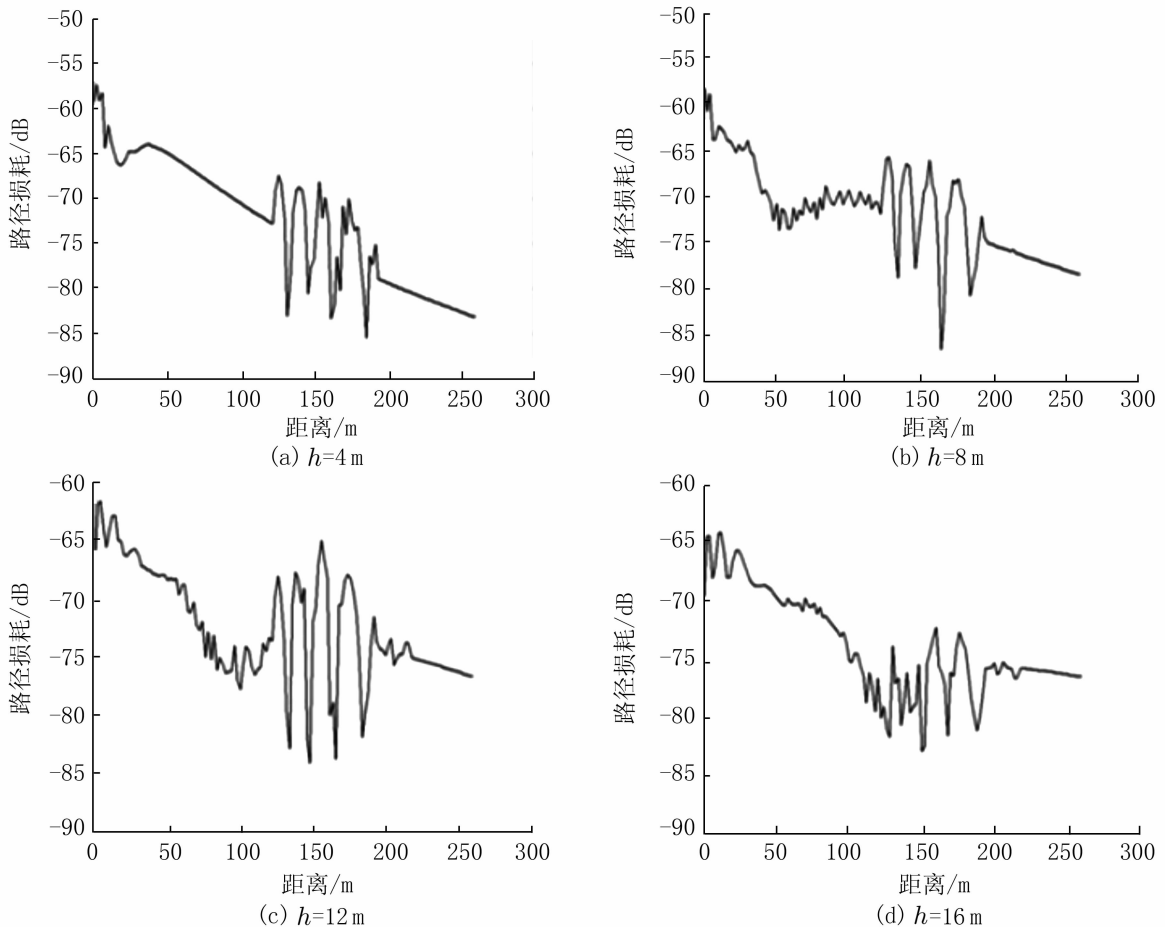


图 2 不同天线高度对 LOS 区域接收点路径损耗的影响

Fig. 2 The influence of different antenna height impose on receiving point path loss in LOS area

从图 2 可以看出,天线高度 4 m 时 LOS(0 ~ 120 m) 区域电波传播路径损耗不振荡, LOS(120 ~ 180 m) 产生较大振荡,随着天线增高至 8、12 m LOS(0 ~ 120 m) 区域电波传播路径损耗产生振荡,且 LOS(120 ~ 180 m) 路径损耗峰值与谷值间的差值相比天线高度为 4 m 时增加,这是因为高度为 8、12 m 时发射源(天线)发出可到达远处建筑物表面的射线数量与天线高度 4 m 相比要多,会有更多射线被远处建筑物反射回来;而天线高度 16 m 时 LOS(0 ~ 120 m) 区域电波传播路径损耗振荡趋势减小, LOS(120 ~ 180 m) 路径损耗峰值与谷值间的差值不增反而减小,这是因为此种情况下发射源(天线)发出的可到达较低建筑物表面的射线数量与天线高度为 8、12 m 相比要少. 通过上述分析可知天线高度的变化对 LOS 区域接收点路径损耗是有影响,故在电磁环境预测和网络设计中应考虑天线高度因素.

2.2 建筑物材料的特性对 LOS 区域电波传播路径损耗影响 建筑物材料特性的改变会影响墙面反射系数进而会对 LOS 区域电波传播路径损耗产生怎样的影响? 为此我们分别采用相同电导率($\sigma = 0$),不同相对介电常数下(ϵ_r 分别为 1.5, 2.0, 5.5, 15)和相同介电常数 $\epsilon_r = 5.5$,不同电导率($\sigma = 1.5, 2.0, 5.5$)的不同建筑材料研究建筑材料特性变化对 LOS 区域电波传播路径损耗的影响. 仿真结果分别如图 3、图 4 所示.

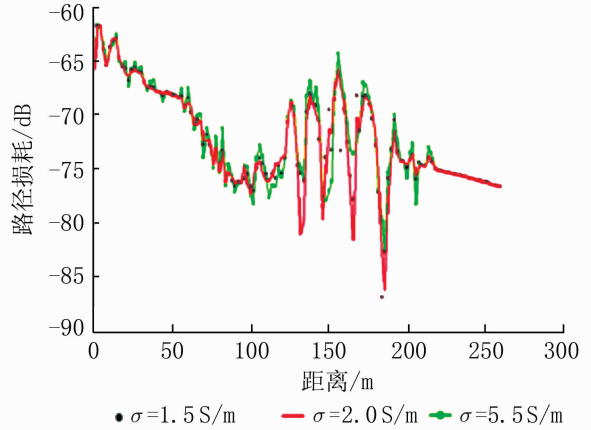
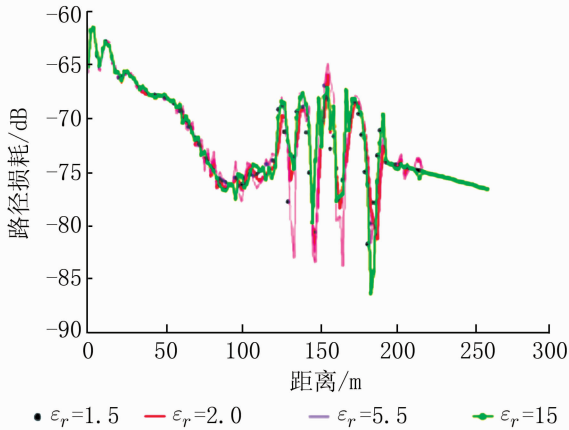


图3 不同 ϵ_r 对 LOS 区域传播路径损耗的影响

Fig.3 The influence of different ϵ_r impose on the LOS area propagation path loss

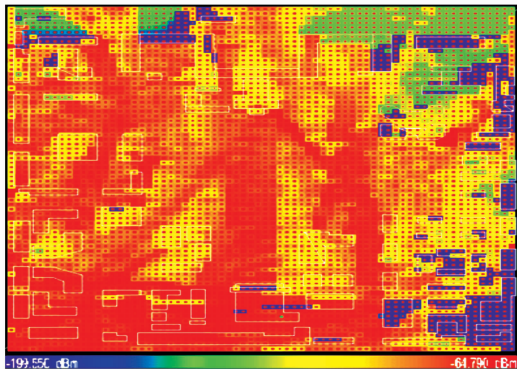
图4 不同 σ 对 LOS 区域传播路径损耗的影响

Fig.4 The influence of different σ impose on the LOS area propagation path loss

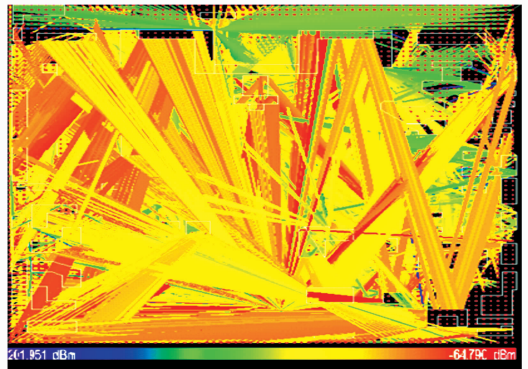
图3为不同 ϵ_r 对LOS区域电波传播路径损耗的影响,由图可知具有不同介电常数的建筑材料对LOS区域电波传播路径损耗产生的影响相似;图4为不同 σ 对LOS区域传播路径损耗的影响,从图中传播路径损耗曲线来看,具有不同电导率的建筑材料对LOS区域电波传播路径损耗的影响大体一致;由此可知具有不同特性的建筑物材料对电波传播路径损耗的影响大体一致,因此将普通建筑材料的电特性参数作为计算参数应用于电磁环境预测及网络设计是可行的。

2.3 实例区域场强预测 研究区域各点场强如何分布,这对设计并保证高效通信质量至关重要,因此在建立移动通信基站前,人们往往对关心区域进行场强预测.对于场强的预测即可采用实地测量也可仿真研究,实地测量不仅费时费力且有以下不足之处(测试精确度和范围有限:由于设备及人力物力的限制,不可能对范围大的区域进行细致的测量;不利于分析评估单个辐射源的影响),通过仿真计算可获知空间中任一接收点处的场强,且不受环境和测试条件约束。

对于通信系统而言,由于人们使用手机平均高度为1.5 m,所以这一高度平面上的场强如何分布是研究者最为关心的区域.这里我们也将这一高度的场强作为研究对象,在给定天线位置,频率、功率的前提下,仿真计算这一高度平面上的覆盖场强分布.图5a给出了墙面电参数为 $\sigma = 0.001 \text{ S/m}$, $\epsilon_r = 5.5$,地面电参数为 $\sigma = 0.01 \text{ S/m}$, $\epsilon_r = 1.5$,天线发射频率是1800 MHz,高度为13.3 m,功率10 W,接收点间隔10 m,高度为1.5 m的场强分布.图5b给出了发射源发出的射线经过不同路径到达地面1.5 m处的情况,由图可见,一个功率接收点有几百条来自同一发射源经不同路径到达的射线。



(a) 接收点的功率场图



(b) 射线路径

图5 研究区域功率分布和射线路径

Fig.5 The power distribution and the ray path of the study area

3 讨论

本文基于射线追踪算法并以西安电子科技大学西南角为例数值研究了建筑物非规则排列微蜂窝小区天线高度变化对可视区域(LOS)电波传播路径损耗的影响、建筑物材料电特性改变对LOS电波传播路径损耗的影响并预测该区域1.5 m高度平面上场强分布。从仿真结果中可知天线高度变化对LOS电波传播路径损耗有影响,所以电磁环境预测和网络设计应考虑天线高度因素;建筑材料特性改变对LOS电波传播路径损耗的总体影响不大,所以将普遍建筑材料的电特性参数作为计算参数应用于电磁环境预测及网络设计是可行的;离地1.5 m的电磁功率随离源点距离的变化强弱也发生变化,这是由于电波传播过程中产生路径损耗以及建筑物对传播射线的遮挡、吸收所造成的。

参考文献:

- [1] IKEGAMI F, YOSHIDA S. Feasibility of predicting mean field strength for urban mobile radio by aid of building data [C]// Conf Rec IEEE Int Conf Commun Boston, MA, 1983:68-71.
- [2] IKEGAMI F, YOSHIDA S, TALEUCHI T, et al. Umehira. Propagation factors controlling mean fields strength on urban streets [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1984, AP-32:822-829.
- [3] 孔繁俊, 李荣. 基于射线追踪法的室内覆盖预测[J]. 电信快报, 2009(11):21-23.
KONG Fan-jun, LI Rong. The interior coverage prediction based on ray tracing method [J]. Telecommunications Information, 2009(11):21-23.
- [4] 申东娅, 袁勇. 微小区场强预测[J]. 云南大学学报:自然科学版, 2001, 23(2):126-129.
SHEN Dong-ya, YUAN Yong. The field strength of microcell predicting system [J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2001, 23(2):126-129.
- [5] 彭川, 卢春兰, 周锋. 基于区域路径选择的电波传播损耗预测研究[J]. 军事通信技术, 2010, 31(3):20-24.
PENG Chuan, LU Chun-lan, ZHOU Feng. Prediction of loss for radio propagation based on area path selecting [J]. Journal of Military Communication Technology, 2010, 31(3):20-24.
- [6] CATEDRA M F, PEREZ J, ADANA F S, et al. Efficient ray - tracing technique for three - dimensional analyzes of propagation in mobile communication; Application to picocell and microcell scenarios [J]. IEEE Antennas and Propagation Mag, 1998, 40(2):15-28.
- [7] ANDERSEN J B. UTD multiple - edge transition zone diffraction [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1997, 45(7):1 093-1 097.
- [8] 汪茂光. 几何绕射理论[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1994.
WANG Mao-guang. The geometrical theory of diffraction [M]. Xi'an: Xidian University Press, 1994.
- [9] SON H W, MYUNG N H. A deterministic ray tube method for microcellular wave propagation prediction model [J]. IEEE Trans on Antennas and Propagat, 1999, 47(8):1 344-1 350.
- [10] TAN S Y, TAN H S. UTD propagation model in an urban street scene for microcellular communications [J]. IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility, 1993, 35(4):423-428.
- [11] HERNING K T, HOLLOWAY J W, STAELIN D H, et al. Path - Loss characteristics of urban wireless channels [J]. IEEE Trans on Antennas and Propagat, 2010, 58(1):171-174.
- [12] TAN S Y, TAN H S. Propagation model for microcellular communications applied to path loss measurements in ottawa city Streets [J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 1995, 44(2):313-317.
- [13] TAN S Y, TAN H S. A microcellular communication propagation model based on the uniform theory of diffraction and multiple image theory [J]. IEEE Trans on Antennas Propagat, 1996, 44:1 317-1 326.
- [14] KATULSKI R, KIEDROWSKI A. Empirical formula for determination of the propagation loss in urban radio access links [C]//Proc IEEE Veh Technol Conf, USA, 2005:1 742-1 746.
- [15] AGELET F A, FONTAN F P, FORMELLA A. Fast ray - tracing for microcellular and indoor environments [J]. IEEE Tran Magn Mar, 1997, 33:1 484-1 487.
- [16] STAVRULAKIS P. Third generation mobile telecommunication system UMTS and IMT - 2000 [M]. Springer, 2001.

- [17] 魏庆新,龚克,高葆新. 由于城市环境覆盖预测的射线跟踪模型与技术[C]//全国微波毫米波会议论文集,上海:中国电子学会微波分会,1999:364-367.
WEI Qing-xin,GONG Ke,GAO Bao-xin. The ray tracing model and technology for city environmental coverage prediction [C]//The National Conference of Microwave and Millimeter Wave,Shanghai;Microwave Branch of Chinese Institute of Electronics,1999:364-367.
- [18] 毛钧杰,周立. 一种用于预测城市小区中电磁环境的计算模块[C]//全国电磁兼容学术会议论文集,张家界:中国通信学会,2000:12-15.
MAO Jun-jie,ZHOU Li. A kind of calculation module for the prediction of electromagnetic environment in city community [C]//The National Conference of the Electromagnetic Compatibility,Zhangjiajie;China Institute of Communications,2000:12-15.
- [19] SOU C K, LANDRON O, FEUERSTEIN M J. Characterization of electromagnetic properties of building material for use in site - specific propagation prediction[R]. Technical Report MPRG - TR - 92 - 12, Virginia - Tech,1992.

A reserch on the field strength prediction and radio propagation characters of viewing area in irregularly arranged of city district

ZHOU Yong-jun¹, NIU Zhong-qi², ZHANG Hui¹, HOU Jian-qiang², WANG Xi-ming¹

(1. School of Physics and Electronic Engineering, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China;

2. School of Electric Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: The electromagnetic environment and electromagnetic wave propagation of city district which buildings arranged in irregular as the object of study, we numerical studied the influence of different antenna height, different building material imposed on the path loss of electromagnetic wave propagation in viewing area and predicted the electromagnetic power distribution in the area of 1.5 meters from the ground through the application of ray tracing technique and based on the example of Xidian University southwest corner in this paper. the result showed that the influence of different building material to the path loss of electromagnetic wave propagation was similar, but the path loss of electromagnetic wave propagation was different with different antenna height and the electromagnetic power of the each reception point varied with the distance from the source point in the area of 1.5 meters from the ground.

Key words: radio wave propagation characteristics; ray tracing; urban environment; irregularly arranged propagation model; power distribution