

山区环境电波传播路径损耗的预测^{*}

黄 明, 龙云亮

(中山大学无线电电子学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 几何绕射理论是用于高频近似解电磁场散射和绕射问题的一种新的渐近计算的方法, 用于计算高山或建筑物后阴影区的场强分布和路径损耗, 并计算了不同山区环境中无线电电波的路径损耗。

关键词: 几何绕射; GTD; 路径损耗

中图分类号: TN925 **文献标识码:** A

50 年代初期凯勒^[1,2] 提出了在几何光学中引入绕射射线来描述绕射现象, 形成了几何绕射理论 (GTD). 凯勒最初导出的几何绕射系数在光学边界附近的过渡区不适用, 1974 年柯泳坚和帕萨克提出了一致性绕射理论 (UTD) 解决了这一问题^[3]. 但几何绕射理论不能用来计算焦散区的场, 密勒提出的等效边沿电流法^[4] 或尤费姆采夫的物理绕射理论 (PTD) 解决了这一问题。

随着通信技术的发展, 电波传播路径损耗的预测越来越引起重视. 特别是在高山或建筑物阴影区的路径损耗, 这对于基站的选址和基站的发射功率的确定以及选取发射天线的类型都有实际意义. 以往解决阴影区的路径损耗主要是应用经验模型法, 不足之处在于对实际环境的因素考虑不足, 尽管使用了修正因子进行了修正, 与实际测试数据相比, 误差仍较大; 同时它主要适用于较为开阔的区域. 随着基站降低发射功率以减少电波相互干扰, 这种方法的预测准确性大大降低; 并且不利于计算机进行处理, 计算时间过长. 在最近十几年来, 提出了许多基于 GTD 的理论模型, 用于预测高山或建筑物后阴影部分的场强分布和传输路径损耗. 近年来应用计算机模拟仿真不同环境下的电波传播, 并给出在各种障碍物后阴影部分的场强分布和传播路径损耗的直观仿真分布图. 随着计算机技术的发展和 GTD 理论的进一步应用, GTD 理论和基于 GTD 理论的模型成为解决山区或建筑物阴影区场强分布和传播路径损耗的强有力的工具. 本文主要利用几何绕射理论对山区环境进行了模拟, 并计算了不同条件下的传播路径损耗。

1 几何绕射理论

几何绕射理论 (GTD) 基于高频绕射问题的局部性原理: 在高频绕射时, 绕射现象和反射现象一样, 只取决于绕射点附近的几何形状、物理性质和入射场性质, 而和距绕射点较远的物体的性质无关, 在一般情况下反射点周围的第一菲涅尔区的性质对反射场的结构

基金项目: 教育部“千百十工程”优秀人才培养基金资助项目; 高等学校骨干教师资助计划资助项目

收稿日期: 2000-04-20; 作者简介: 黄明 (1971~), 男, 硕士.

起主要作用。对一山区环境, 几何绕射理论的典型模型如图 1。

对于图 1 所示的模型的几何绕射的公式^[5]为

$$E_{\text{GTD}}=E_0D\frac{e^{-jks}}{\sqrt{s}}\tag{1}$$

其中, E_0 为绕射点的场强, D 为绕射系数。对 UTD, 其绕射系数为

$$D=-\frac{\exp(-j\pi/4)}{2n\sqrt{2\pi k}}\left\{\begin{aligned}&\cot[(\pi+(\Phi-\Phi'))/2n]F(ksa^+(\Phi-\Phi'))+\\&\cot[(\pi-(\Phi-\Phi'))/2n]F(ksa^-(\Phi-\Phi'))+\\&R_0\cot[(\pi-(\Phi+\Phi'))/2n]F(ksa^-(\Phi+\Phi'))+\\&R_0\cot[(\pi+(\Phi+\Phi'))/2n]F(ksa^+(\Phi+\Phi'))\end{aligned}\right\}\tag{2}$$

其中, Φ 和 Φ' 是入射角和绕射角, $n\ast\pi$ 是外楔角, s 是绕射点到场点的距离, k 是自由空间的波数。

$$F(x)=2j\sqrt{x}e^{jx}\int_{\sqrt{x}}^{\infty}\exp(-j\tau^2)d\tau\tag{3}$$

是菲涅尔积分, 运用公式

$$\int_{-\infty}^{+\infty}\exp(-au^2+2bu)du=\sqrt{\frac{\pi}{a}}\exp\left(\frac{b^2}{a}\right)\tag{4}$$

可得
$$F(x)=\frac{1+j}{2}\sqrt{2\pi x}e^{jx}-2j\sqrt{x}e^{jx}\int_0^{\sqrt{x}}\exp(-j\tau^2)d\tau$$

其中,
$$x=kL\alpha^{\pm}(\beta),\alpha^{\pm}(\beta)=2\cos^2\left(\frac{2\pi N^{\pm}-\beta}{2}\right),\beta=\Phi\pm\Phi'.$$

$$L=\begin{cases} s\sin^2\beta_0 & \text{平面波入射} \\ \frac{\rho\rho'}{\rho+\rho'} & \text{柱面波入射} \\ \frac{ss'}{s+s'}\sin^2\beta_0 & \text{球面波和锥面波入射} \end{cases}\tag{5}$$

L 为距离因子, ρ' 为垂直入射在边缘上的柱面波半径, ρ 为自边沿至场点的垂直距离, $\alpha^{\pm}(\Phi\pm\Phi')$ 是表明场点偏离阴影或反射边界角度大小的因子; $N^{\pm}$ 是最接近下面 2 个表达式的整数

$$2\pi nN^{+-}(\beta)=\pi,\quad 2\pi nN^{-}(\beta)=-\pi\tag{6}$$

$$R_0,R_n\text{ 分别是 }0\text{ 面的反射系数和 }n\text{ 面的反射系数}^{[6]},R(\theta)=\frac{\sin(\theta)-X}{\sin(\theta)+X}$$

其中对于垂直极化
$$X_v=\frac{\sqrt{\epsilon_g-\cos^2\theta}}{\epsilon_g}$$

对于水平极化
$$X_h=\sqrt{\epsilon_g-\cos^2\theta},\epsilon_g=\epsilon_r-j\frac{\sigma}{\epsilon_02\pi f}$$

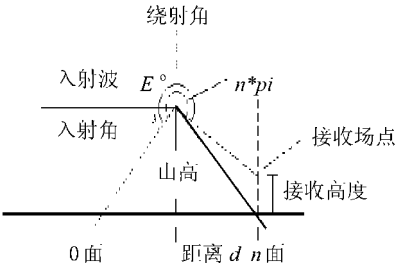


图 1 几何绕射模型
Fig.1 The model of GTD

2 数值计算

假设基站（发射天线）离山的距离很远，因此到达山顶的入射波可以看作是平面波，并且是平行于水平面垂直极化的入射波。接收天线位于山的阴影面，且低于山的高度。因此接收天线主要是通过绕射方式来接收信号。对于图 1 所示的山区模型，我们计算了在不同的条件下经过山顶的绕射到达接收天线的传播路径损耗，结果如图 2~5 所示，从图中可以看到，当入射波的场点的高度和山基本一样高时，例如掠入射时，路径损耗大约为-6dB。

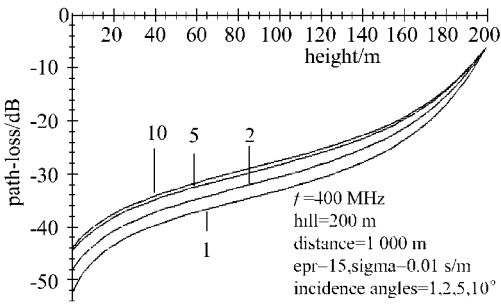


图 2 随入射波角度变化时的路径衰减

Fig. 2 The path loss varies with incidence angle

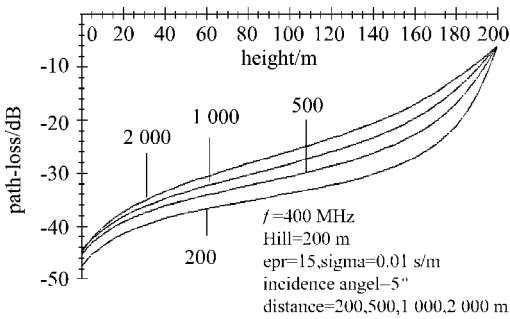


图 3 随距离变化时的路径衰减

Fig. 3 The path loss varies with distance

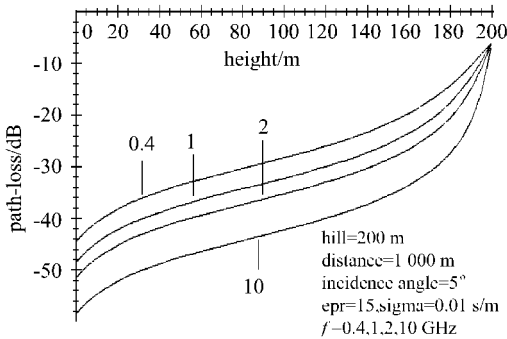


图 4 随频率变化时的距径衰减

Fig. 4 The path loss varies with frequency

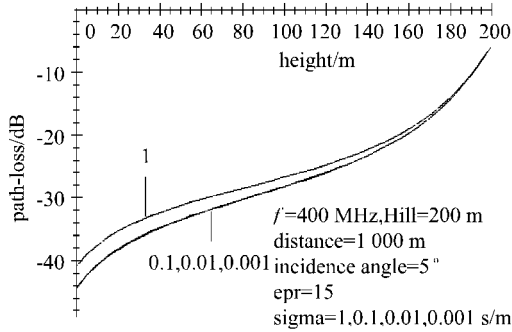


图 5 随导电率变化时的路径衰减

Fig. 5 The path loss varies with conductivity

3 结 论

从图 2~5 可以看出，在地形环境相同，其它参数不变的情况下，接收天线的高度越高，则路径损耗越小，但到一定高度后，路径损耗就变化缓慢。当天线的高度高于山高时，此时计算路径损耗时就必须把直射场和反射场考虑进去。同时，山越低，越平坦，则路径损耗越小，在其它条件不变的情况下，随着频率的升高，则路径损耗开始变大，而且

随着介质的导电率变大时, 路径损耗变小. 以上的测试数据表明, 几何绕射理论模型 (GTD) 在预测路径损耗方面能够很好地和实际数据稳合, 测试的数据及趋势和理论计算是一致的. 这也说明 GTD 是预测路径损耗的一种有效的方法. 当然, 在预测路径损耗时还有其它的模型, 如 Longley-Rice 模型^[8], 对于山势地形比较复杂, 且地形轮廓的数据不是很准确时, 这种模型也能很好地进行损耗预测, 而用 GTD 模型来预测这种环境下的路径损耗时, 则会产生较大的误差. 主要是因为 GTD 模型对地形轮廓的数据要求相对准确. 因此根据实际情况, 灵活运用各种方法能对路径损耗的预测能得到很好的结果.

在实际的环境中, 地势比以上楔形的山要复杂的多: 可能包括许多高低起伏不平的小山; 树木对电磁波的衰减的影响, 而不同的树木对衰减的影响是不一样的; 还有一些其它的环境因素对衰减的影响. 对于这种情况, 可以将它们分成许多楔形进行计算, 然后综合. 有关的研究正在进行中.

参考文献:

- [1] KELLER J B. The geometrical theory of diffraction[M] . Montreal: McGill University 1953.
- [2] KELLER J B. Geometrical theory of diffraction[J] . J Opt Soc Amer, 1962 52: 116~130.
- [3] KOUYOUJIAN R G, PATHAK P H. A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface[J] . Proc IEEE, 1974 62(11): 1448~1461.
- [4] RYAN C E Jr, PRTERS L Jr. Evaluation of edge diffraction fields including equivalent current for the caustic regions[J] . IEEE Trans Ant and Prop, 1969 17: 292~299.
- [5] LUEBBER R J. Finite conductivity uniform GTD versus knife edge diffraction in prediction of propagation path loss [J] . IEEE Trans, 1984 32(1): 70~76.
- [6] SIWIAK K. Radiowave propagation and antennas for personal communications[M] . Boston: Artech House, 1998.
- [7] LONG Y, REMBOLD B. Prediction of propagation path loss with finite conductivity uniform geometrical theory of diffraction(GTD)[M] . IHF, RWTH—Aachen, Geman, 1999.
- [8] CHAMBERLIN K A, LUEBBERS R J. An evaluation of long-ricc and GTD propagation models[J] . IEEE Trans Ant and Prop, 1982, 30(6): 80~89.

Prediction of Radio Propagation Path Loss in Mountain Areas

HUANG Ming^{*}, LONG Yun-liang

Abstract: The Geometry Theory of Diffraction is an approximate method to calculate electromagnetic scattering and diffraction at high frequency, which is used to calculate the distribution of the fields and the path loss in the shadow of hill or buildings. In this paper the Geometry Theory of Diffraction is introduced, and the path loss of radio propagation in various mountains is calculated.

Keywords: geometry diffraction; GTD; path loss

^{*} Department of Radio and Electronics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China.