

# 移动通信的路径损耗的研究

龙云亮 黄明 刘桂

(中山大学无线电电子学系 广东 广州 510275 hm\_zsuee@21cn.com)

**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, 并用来计算建筑物后阴影区的场强分布和路径损耗。本文主要介绍了几何绕射理论, 并用 MATLAB 软件绘制了在高层建筑物后阴影区的电波传播的路径损耗图。

**关键词:** 几何绕射、路径损耗、通信

## 1. 概述

近十年来, 随着通信技术和计算机技术的不断完善和成熟, 微波通信、卫星通信、移动通信等得到了高速的发展, 无线通信在 21 世纪将占据越来越重要的位置。路径损耗是无线通信中的一个很基本的问题, 对传输路径损耗的研究是无线通信研究中的一个重要课题。

在大中城市, 随着蜂窝移动技术和其它无线通信技术在 UHF 波段 (300MHz—3GHz) 的发展, 移动通信的基站的发射功率越变越小, 数目越变越多, 迫切需要预测基站与地面移动接收机之间的路径损耗, 并给出无线电传播信号在不规则地形下, 特别是在大的高层建筑物内部和高层建筑物后的路径损耗及场强的分布, 以此来确定基站的位置。在科技发达的国家有的已经开始用计算机软件来模拟仿真不同环境下的高层建筑物的分布, 并计算在建筑物后阴影部分的移动信号分布及损耗情况来提高预测的准确性。因此研究建筑物阴影区移动信号的分布对于移动基站的建设是很有实际意义的。

几何绕射理论是由凯勒提出的一种新的渐近计算和数值计算方法, 可以较好地应用在一些复杂的散射和绕射系统中。凯勒最初导出的几何绕射公式中的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解决了这一问题。

## 2. 几何绕射理论

几何绕射理论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。由于电波直线传播到达不了阴影区的接收点, 只能通过绕射, 因此只能通过几何绕射理论来计算接收点的场强, 几何绕射理论的典型模型如下:

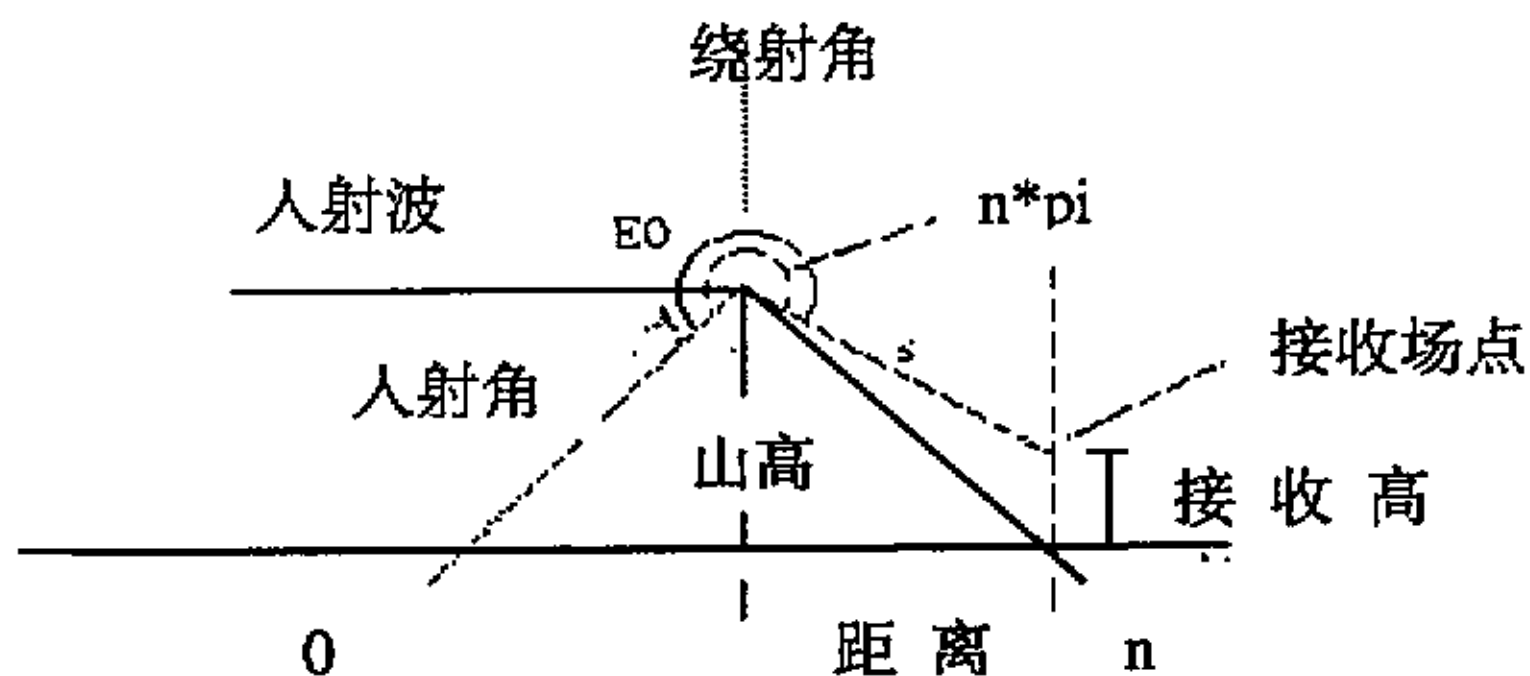


图 1 几何绕射理论模型

对于图 1 所示模型中接收点的场强, 可用几何绕射的公式<sup>[1][2]</sup> 表示为:

$$E_{GTD} = E_0 * D * \frac{e^{-jks}}{\sqrt{s}} \quad (1)$$

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:

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

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

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

是非涅尔积分, 运用公式

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

可得:

$$F(x) = \frac{1+j}{2} \sqrt{2\pi x} e^{jx} - 2j\sqrt{x} e^{jx} \int_0^{\sqrt{x}} \exp(-j\tau^2) d\tau \quad (5)$$

其中

$$x = kLa^\pm(\beta) \quad (6)$$

$$\alpha^\pm(\beta) = 2 \cos^2 \left( \frac{2n\pi N^\pm - \beta}{2} \right) \quad (7)$$

$$\beta = \Phi \pm \Phi' \quad (8)$$

$$L = \begin{cases} s \sin^2 \beta_0 & \text{平面波入射} \\ \frac{\rho \rho'}{\rho + \rho'} & \text{柱面波入射} \\ \frac{ss'}{s + s'} \sin^2 \beta_0 & \text{球面波和锥面波入射} \end{cases} \quad (9)$$

$L$  为距离因子,  $\rho'$  为垂直入射在边缘上的柱面波半径,  $\rho$  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;  $N^\pm$  是最接近下面两个表达式的整数:

$$2\pi n N^+ - (\beta) = \pi \quad (10)$$

$$2\pi n N^- - (\beta) = -\pi \quad (11)$$

$R_0$ ,  $R_n$  分别是 0 面的反射系数和  $n$  面的反射系数<sup>[3]</sup>,

$$R(\theta) = \frac{\sin \theta - X}{\sin \theta + X} \quad (12)$$

其中对于垂直极化

$$X_v = \frac{\sqrt{\epsilon_s - \cos^2 \theta}}{\epsilon_s} \quad (13)$$

对于水平极化:

$$X_h = \sqrt{\epsilon_s - \cos^2 \theta} \quad (14)$$

$$\epsilon_s = \epsilon_r - j \frac{\sigma}{\epsilon_0 2\pi f} \quad (15)$$

### 3. 测试模型及仿真图形

#### 3.1 基于 GTD 的建筑物模型

城市环境一般是指大厦和两层以上建筑物稠密的地区, 包括大的商业街区以及居民生活小区。城市环境下的电波传播由于受到地理条件的限制, 因此电波传播的特性有别于开阔地区的电波传播。对于城市环境的研究有助于电波传播路径损耗的分析; 有助于移动通信基站的选址和优化。

比较有规划的建筑群, 如居民小区, 可以比拟为如图 2 所示的水平地形下的等高, 等间

距的建筑物模型。图中  $H_T$  是发射天线的高度、 $H_B$  是建筑物的高度、 $H_R$  是接收机的高度、 $D_T$  是发射天线距建筑物的距离、 $d$  是建筑物的间距。

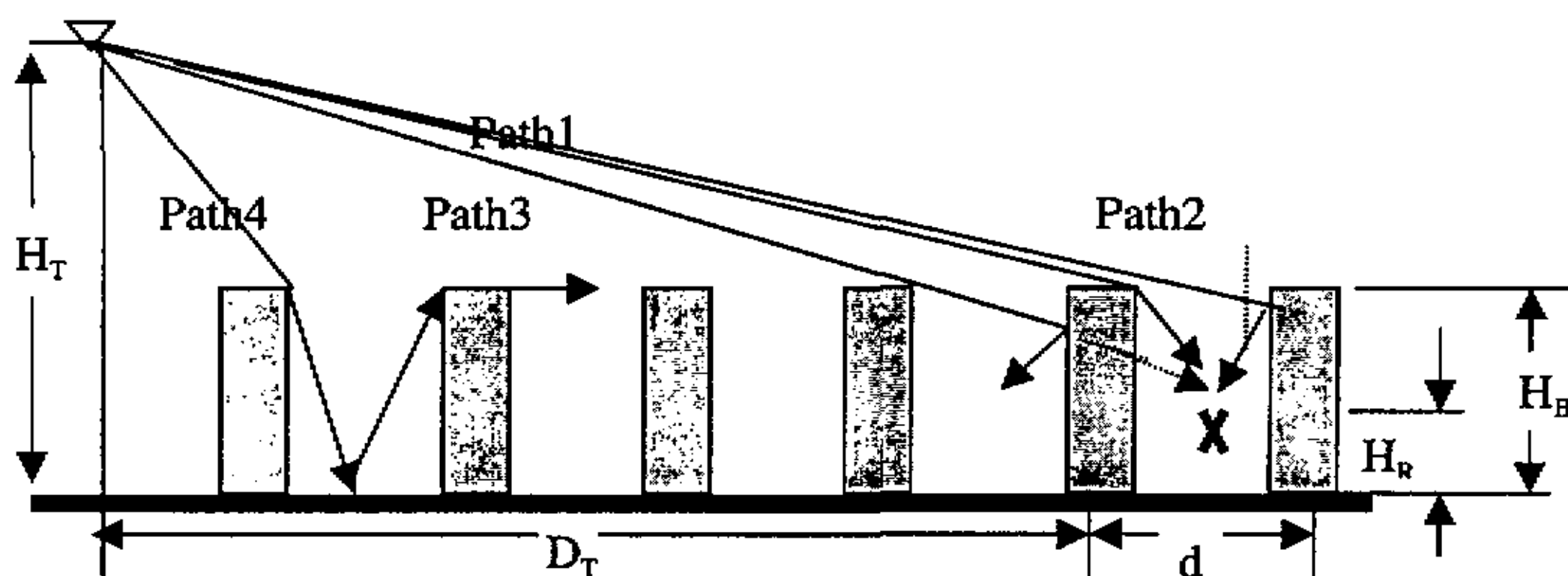


图2 基于 GTD 的建筑物模型

### 3.2 仿真结果

对于图 2 所示的建筑物模型，用 MATLAB 仿真软件<sup>[4]</sup>可以建立一个仿真系统，用于仿真出建筑物后的阴影区的路径损耗的分布，由于我们主要是考虑手机接收的路径损耗，因此接收的高度一般设为 0 到 2 米之间。图 3 至图 6 中的颜色表示路径损耗的大小，如用黑白图片来看，则看不出效果。

图 3 和图 4 参数设置如下：发射场强是 100v/m、发射高度为 200m、介电常数是 10、导电率是 0.1S/m、发射距离为 10km、建筑物高度为 60m、建筑物宽度为 5m、接收高度在 0—2m、距离在 0—2m 范围变化；此处的距离是接收机在阴影区离建筑物的距离。

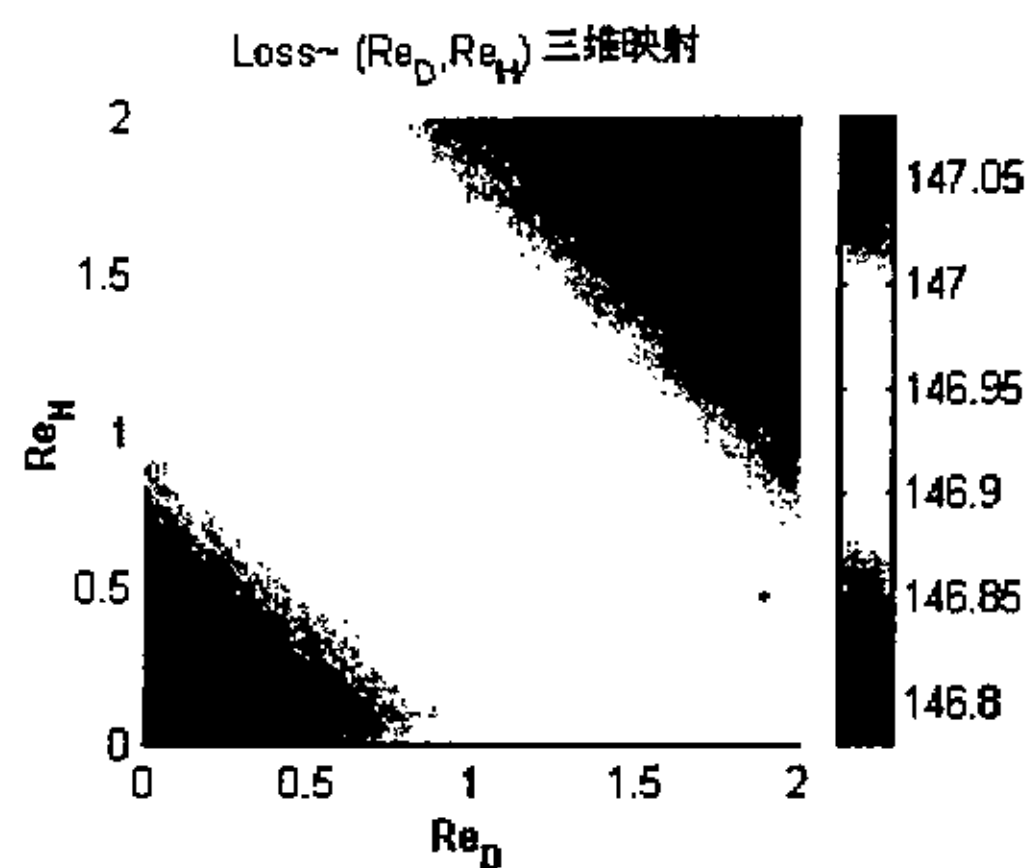


图3 发射频率为 900MHz

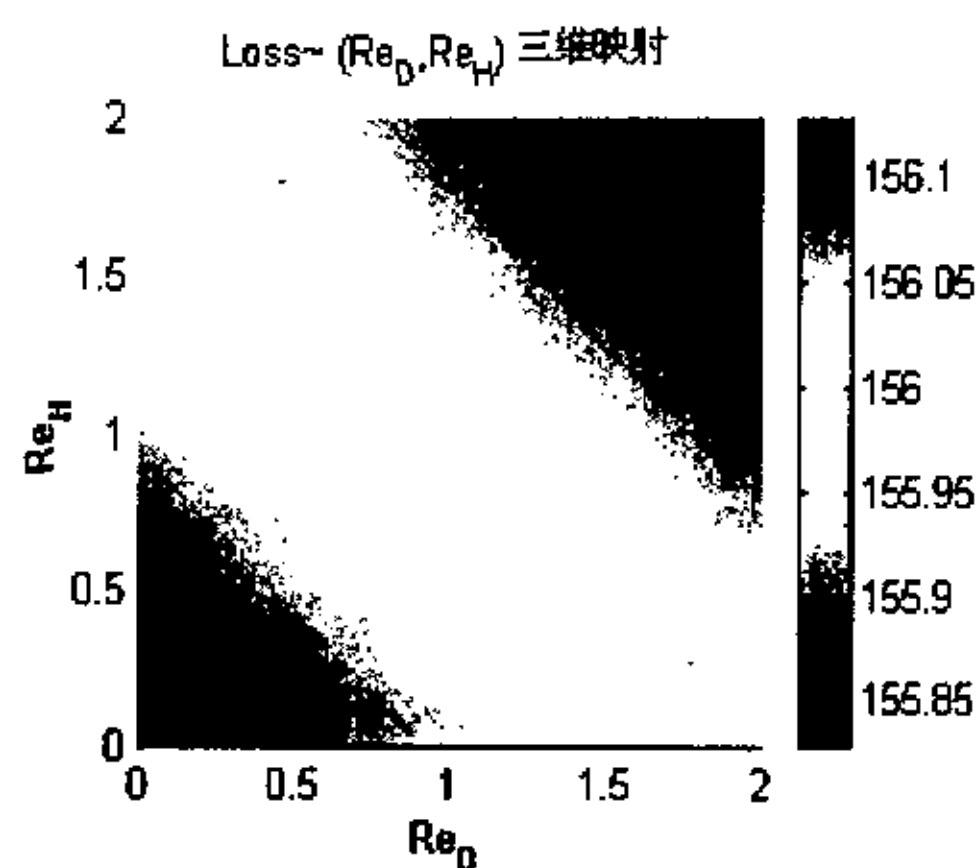


图4 发射频率为 1800MHz

图 5 和图 6 参数设置如下：发射场强是 100v/m、发射高度为 200m、介电常数是 10、导电率是 0.1S/m、发射距离为 10km、建筑物高度为 60m、建筑物宽度为 5m、接收高度 100-300m、距离在 0-2m 范围变化

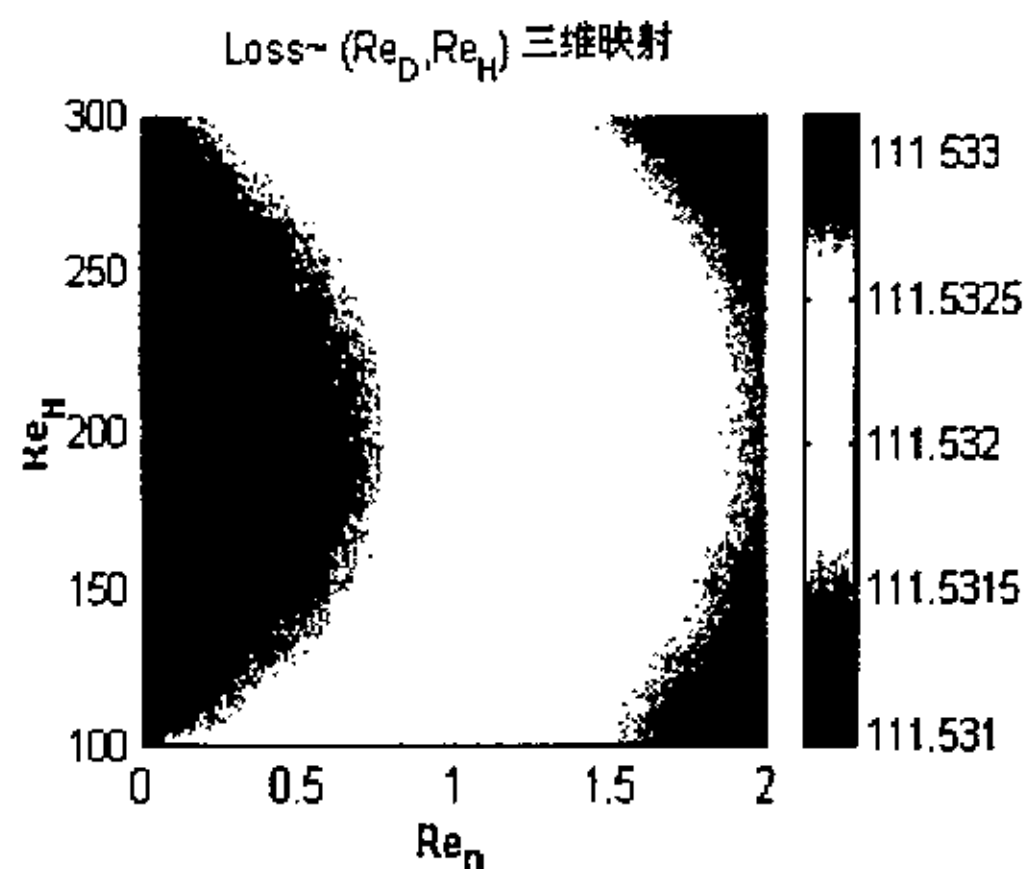


图 5 发射频率为 900MHz

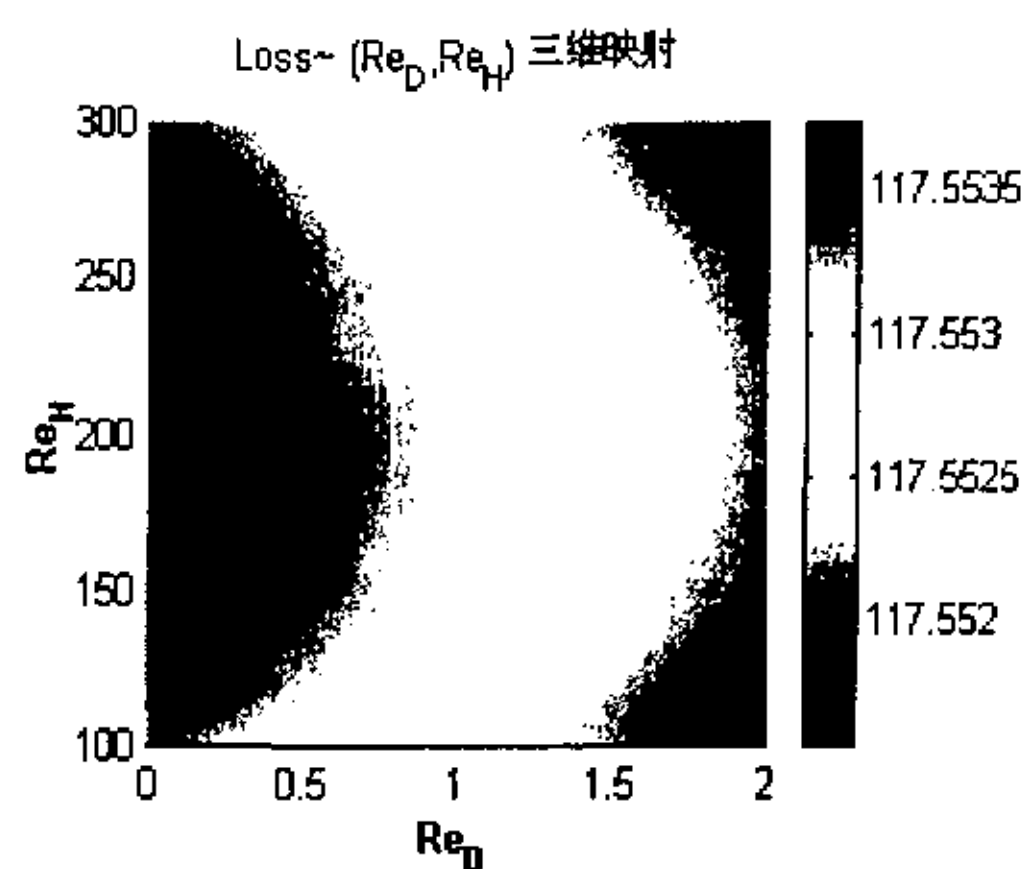


图 6 发射频率为 1800MHz

从图 3 到图 6 可以看出，越靠近阴影区，路径损耗越大；频率越高，则路径损耗越大；接收天线越高，路径损耗越小，当接收天线高于建筑物时，路径损耗就是自由空间的路径损耗了，这和理论是相符的。

#### 4. 与 OM 模型的比较<sup>[5]</sup>

OM 模型是由奥村等人，在日本东京，使用不同的频率，不同的天线高度，不同的距离进行一系列测试，采用数理统计分析方法，最后绘成经验曲线而构成的模型。这个曲线图的值是在基站天线有效高度为 200m，移动台天线高度为 3m，以自由空间传播损耗为基准的情况下求得的损耗的修正值。如果当基地站和移动台的天线高度不是此标准时，则必须天线高度增益因子加以修正。对于效区和开阔地区的场强中值，则以城市中值为基础进行修正；对于“不规则地形”也给出了相应的修正因子。由于这种模型给出的修正因子比较多，可以在掌握地形、地物的情况下，得到更加准确的预测结果。是一个比较全面的模型，因此模型被广泛应用移动通信场强预测。

我们可以多测几个数据画出曲线来验证仿真模型，以下是参数设置：

发射场强是 100v/m、发射频率为 900 MHz、发射高度为 100m、介电常数是 15、导电率是 0.01S/m、发射距离为 10km、建筑物高度为 60m、建筑物宽度为 10m、接收高度在 3m、距离在 4m。

其中：圆圈线表示的是 OM 模型的路径损耗；

叉号线表示的是当建筑物高度为 30 米时的路径损耗；

下三角形线表示的是当建筑物高度为 50 米时的路径损耗；

上三角形线表示的是当建筑物高度为 100 米时的路径损耗；

正方形线表示的是当建筑物高度为 150 米时的路径损耗;

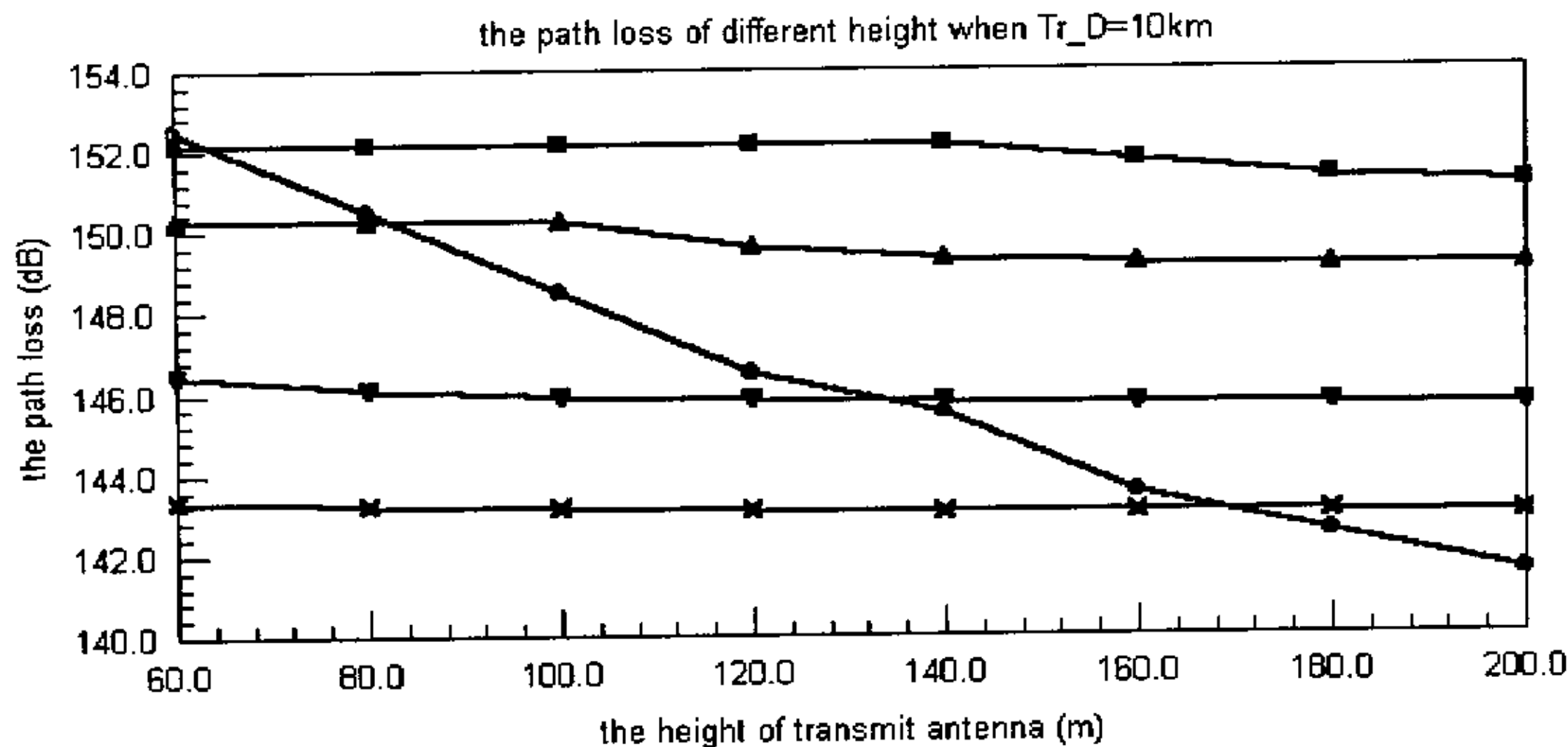


图 7 发射高度与路径损耗的关系

从图 7 可以看到, 即不同高度的建筑物的曲线和 OM 模型在一定发射天线的高度变化范围内很接近, 而在发射天线高度变化时就偏离; 同时在 OM 模型中, 当发射天线的高度发生变化时, 传播路径损耗将有所增大, 一般在 9-10dB 左右, 而在仿真模型中, 传播路径的损耗随发射天线高度的变化不是很明显。变化在 1dB 左右。这是为什么呢?

原因在于:

- 1) 在 OM 模型中, 传播路径损耗的数据是在东京城市环境下平滑地形下考虑了实际的环境, 通过实测后, 经过统计分析得出的。在实际环境中, 各种不同高度和形状的建筑物是随意分布的。由于电波以在传播路径途中不同高度的建筑物的阻挡, 因此天线越高, 到达接收机前的建筑物时, 基本上是直射传播, 阻挡就小, 因此路径损耗很小; 当天线低于或和建筑物的高度相差不是很大时, 由于不同建筑物的高度、材料和形状结构不同, 则电波在传播途中, 就不再是视距直线传播, 会受到其它建筑物的绕射、反射和散射, 因此路径损耗比发射天线高时的要大, 因此发射天线高度的影响很大。
- 2) 在仿真模型中, 从发射天线到要发生绕射的建筑物之间的这一段传播路径没有考虑其它的建筑物的阻挡, 这是在理想状态下的情况。由于对周围的其它的环境没有考虑, 只是考虑电波传播到建筑物时发生的绕射, 因此相对于传播距离 10-20 公里来说, 电波在建筑物转折点发生绕射的入射角和绕射角变化不是很大, 因此天线高度的变化对于传播路径的损耗的影响很小, 没有象 OM 模型那样对路径损耗的作用明显, 但遵循同样的规律。在仿真模型中, 传播路径的远近和发射频率的高低对路径损耗的影响和 OM 模型是一样的, 变化的趋势和幅度都基本上是一致的。

## 5. 天线系统

从图 3 到图 6 可以看出, 发射天线越高, 则在传播过程中受到的阻碍就越小, 因此传播



损耗就越小；同时，发射频率越高，则路径损耗越高。一般来说，发射天线都架设的比较高，通常都架设在山上。在城市环境下，有时把天线架设在建筑物的楼顶上。随着蜂窝小区的不断减小，基站的发射功率也在不断的减小。发射天线架设的太高，容易引起干扰，如同频干扰，邻道干扰以及三阶干扰。因此，为了减小这些干扰，天线的高度不应架设的太高，同时应该使天线有一个倾角，使发射天线的方向图有一个比较适合的范围。基站的能量覆盖区有时是全向性的，有时是一个扇形的，有时是一个长条形的，因此应该选择不同的天线来满足不同的需要。对于基站来说最好使用智能天线。

智能天线技术基于自适应天线阵列原理：天线阵收到信号后，通过由处理器和权值调整算法组成的反馈控制系统，根据一定的算法分析信号，判断信号及干扰到达的方位角度，将计算分析所得的信号作为天线阵元的激励信号，调整天线阵单元的辐射方向图，频率响应及其它参数。利用天线阵列的波束合成和指向，产生多个独立的波束，自适应地调整其方向图，跟踪信号变化，对于干扰方向调零，减弱甚至抵消干扰，从而提高信号的载干比。主要用途为抗衰落、抗干扰、增加系统容量。

我国早已将研究智能天线技术列入了国家 863-317 通信技术主题研究中的个人通信技术分项，许多专家及大学正在进行相关的研究。

## 6. 总结

从图 3 到图 6 的仿真图可以看出，该仿真图可以很方便地模拟出电波在空间及建筑物后的场强分布，而且仿真结果反映的趋势和实际电波传播的趋势是一致的，成为城市中无线电基站进行选址定位的有力工具。本模型对于实际环境中的一些因素没有考虑进去（如雨衰，散射，树木和建筑物的不同构造），这些对电波的传播和分布都有影响，将以上因素考虑进去，将为今后的系统提供更加完美的仿真环境。

## 参考文献

- [1] J.B.Keller, " Geometrical Theory of Diffraction", J.Opt.Soc.Amer.,vol.52, pp.116-130. 1962.
- [2] 谢处方, "近代天线理论", 成都电讯工程学院出版社, 1987, pp90-116
- [3] R.G.Kouyoumjian and P.H.Pathak, " A Uniform Geometrical Theory of Diffraction for an Edge in a Perfectly Condictions Surface", Proc.IEEE,vol.62,No.11,pp.1448-1461, Nov. 1974.
- [4] 程卫国, 冯峰等 "MATLAB 5.3 应用指南" 人民邮电出版社 1999.11
- [5] 王世顺, "移动通信原理与应用", 人民邮电出版社, 1995. pp.21-41

## 作者简介

龙云亮 1963~ , 中山大学电子与通信工程系 教授

黄明 1971~ , 中山大学电子与通信工程系 98 级研究生 硕士

刘桂 1975~ , 中山大学电子与通信工程系 2000 级研究生 硕士

作者: 龙云亮, 黄明, 刘桂  
作者单位: 中山大学无线电电子学系 (广东广州)

本文读者也读过(8条)

1. 王仁德, 徐道立, 沈金泉 低副瓣精密测量雷达天线[会议论文]-2001
2. 李芊 采用频率抖动技术减小EMI[会议论文]-2001
3. 熊皓 人为高频波电离层变态及其通信应用[会议论文]-2001
4. 陈萍, 宋自林, 冒俊峰 Linux进程间通信机制的安全性研究[会议论文]-2001
5. 王喜芹 GSM移动电话的辐射电场分析[学位论文]2007
6. 岳炳良 电子战技术的发展及其对电子技术的需求[会议论文]-2001
7. 陈军 驻留时间可变跳频电台抗干扰性能技术分析[会议论文]-2001
8. 攸阳, 李书杰, 姜志勇, YOU Yang, LI Shu-jie, JIANG Zhi-yong 短波天波传播损耗预测的计算机仿真[期刊论文]-无线电工程2010, 40(1)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Conference\\_3213040.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Conference_3213040.aspx)