

文章编号 1005-0388(2008)06-1095-05

# 海面电波传播损耗模型研究与仿真

王祖良<sup>1\*</sup> 樊文生<sup>2</sup> 郑林华<sup>1</sup>

(1. 国防科学技术大学电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073; 2. 海军司令部, 北京 100036)

**摘要** 研究了海面电波传播损耗预测模型, 指出对该类传播损耗预测的仿真模型宜采用 Longley-Rice 模型, 并对模型作了适应性修正和补充以适应海上编队通信链路的仿真。还推导了 Okumura-Hata 模型和 Longley-Rice 模型电波传输损耗预测的具体算法, 数值仿真结果显示本文提出的方法预测结果与实测数据相符, 最后给出对 1 km 以内和飞机飞行高度在 10 km 以上时的修正和补充方法。

**关键词** 电波传播; 场强预测; Longley-Rice 模型; 仿真

**中图分类号** TN92 **文献标志码** A

## Study and simulation on sea-surface propagation prediction model

WANG Zu-liang<sup>1</sup> FAN Wen-sheng<sup>2</sup> ZHENG Lin-hua<sup>1</sup>

(1. College of Electrical Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha Hunan 410073, China; 2. Navy Headquarters, Beijing 100036, China)

**Abstract** For the simulation of ship formation communication channel, a improved Longley-Rice model is presented to predicte the loss of radio wave propagation along the sea surface. The computational procedure of the Okumura-Hata model and the Longley-Rice model is discussed. By comparing with the test data, the simulation results show the validity of the prediction model.

**Key words** radio propagation; prediction; Longley-Rice model; simulation

## 引言

海上编队内舰船之间以及舰船与飞机之间一般采用无线电台通信方式, 通信距离变化范围较大, 电磁传播环境复杂。对这类通信场强预测的仿真模型应用 Longley-Rice 模型比较适合, 但 Longley-Rice 模型不能够预测短距离(1 km 以内)场强, 以及高于 10 km 以上的情况, 所以需要对该模型进行适应性修正和补充, 以适应海上编队移动通信场强预测仿真建模的需要。本文以海上编队通信链路仿真为背景, 在选择 Longley-Rice 信道模型作为主要预测模型的基础上, 对 1 km 以内和飞机飞行高度在 10 km 以上的情况进行修正和补充。数值仿真证明了本文提出的预测模型的有效性。

## 1 海上电波场强预测模型选择

场强预测模型的研究主要有两种基本方法: 一类是在各种典型传播环境中进行发射和接收试验, 现场记录下接收信号的各种数据。实测后, 用计算机对大量数据进行统计分析, 寻找出反映传输特性的各种参数的统计特性。再根据数据分析的结果, 建立传播信道的统计模型。另一类是基于无线电磁波传播机理的分析方法, 根据反射、绕射、散射等现象直接找出可能的主要传播路线, 并计算出路径损耗及其他反映信道特性的参数, 忽略次要因素, 突出主要因素, 建立简化的确定性模型。

海上编队通信环境较为复杂, 地形多样、气候类型复杂、地面粗糙度不同(反应海浪的汹涌度)、飞机

飞行高度差别较大、通信距离变化范围大、接收信号动态范围大等,这些特点决定了海上编队通信系统的设计对通信信道模型依赖性较大,只有对特定通信信道进行有效的建模才能设计出可靠实用的通信系统。适合于这种应用背景的信道模型有 Longley-Rice 模型、Okumura 模型、Hata 模型以及 Carey 模型等。在几千米到几百千米范围内 Okumura-Hata 被广泛用来预测接收信号的场强,但对包含飞机在内的海上编队场强预测利用 Longley-Rice 模型更合适,Longley-Rice 模型考虑了更多的与地形有关的因素,包括海面折射率、海面导电率、介电常数以及海浪汹涌度等,还考虑了不同的气候类型和天线的位置标准等。下面通过对两种模型的仿真分析,并利用文献提供的特定环境下的实测数据与两种模型的仿真结果对比,得出在对海上编队接收信号场强进行预测时利用 Longley-Rice 模型更为确切。

1.1 Okumura-Hata 模型衰落预测仿真分析

Okumura 模型以日本东京附近大量详细的场强实测数据为基础,由 Okumura 等总结出了完整的准平坦地形市区的传播曲线,同时给出了一系列修正因子。其测试环境包括市区、郊区和开阔区<sup>[1]</sup>。由于使用 Okumura 模型需要查找其给出的各种曲线,不利于计算机预测,Hata 根据 Okumura 模型的基本中值场强预测曲线,通过曲线拟合,提出了传播损耗的经验公式,即 Okumura-Hata 模型,式(1)~(4)为传播损耗预测计算公式组<sup>[1]</sup>。

$$L_b = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_t - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \lg h_t)(\lg d)^2 + K \quad (1)$$

$$K = \begin{cases} -(2 \log(f/28))^2 + 54 & \text{郊区} \\ -(4.78(\log f)^2 - 18.33 \log f + 40.94) & \text{开阔地} \\ -(4.78(\log f)^2 - 18.33 \log f + 40.94) + 5.5 & \text{准开阔地} \\ -(\log f/28)^2 - 2.39(\log f)^2 + 9.17 \log f - 23.17 & \text{农村} \\ -(-5.7 + 0.024 \Delta h + 6.96 \log \Delta h) - (9.5 \log h_1 - 7.2) & \text{丘陵, } \Delta h \geq 15, h > 1 \\ -(-5.7 + 0.024 \Delta h + 6.96 \log \Delta h) + 7.2 & \text{丘陵, } \Delta h \geq 15, h_1 < 1 \\ 0 & \text{丘陵, } \Delta h \leq 15 \end{cases} \quad (2)$$

$$a(h_r) = \begin{cases} (1.1 \log f - 0.7) h_r - (1.56 \log f - 0.8) & \text{中小城市} \\ 8.29(\log 1.54 h_r)^2 - 1.1 & \text{大城市, } 150 < f < 400 \text{ MHz} \\ 3.2(\log 11.75 h_r)^2 - 4.79 & \text{大城市, } 400 < f < 1500 \text{ MHz} \\ 0 & h_r = 1.5 \text{ m} \end{cases} \quad (3)$$

$$\gamma = \begin{cases} 1 & d \leq 20 \\ 1 + (0.14 + 1.87 \times 10^{-4} f + 1.07 \times 10^{-3} h_t)(\log(\frac{d}{20}))^{0.8} & d > 20 \end{cases} \quad (4)$$

以上公式组中  $d$  为通信距离,单位为 km,  $f$  为工作频率,单位 MHz,  $L_b$  为传播损耗中值,以 dB 表示,  $h_t, h_r$  为收发天线有效高度,单位 m,  $K$  为地形修正因子,  $\Delta h$  为地形起伏度,  $h_1 = h_{mg} - \Delta h/8 - h_{min}$ ,  $h_{mg}$  为地面海拔高度,  $h_{min}$  为最小的地形起伏度,  $a(h_r)$  为接收天线高度修正因子,  $\gamma$  为距离修正因子。

利用 Okumura-Hata 模型预测电波传输损耗仿真结果如图 1 所示,仿真通信距离为 1~30 km,发射天线高度 20 m,接收天线高度 3 km,工作频率 10 MHz。由图 1 知郊区的衰减最小,其次是开阔地,再其次是准开阔地,衰减最大的是农村。Okumura-Hata 模型具有一般通用性,但依然受到地形特征、周围环境等的限制,而且没有涉及诸如介电常数、导电率这些与介质有关的物理量,也不能反映气候类型、地面折射率等对传输特性有比较重要影响的参数,而后面将要分析的 Longley-Rice 模型能体现这些参数对传输衰减的影响。

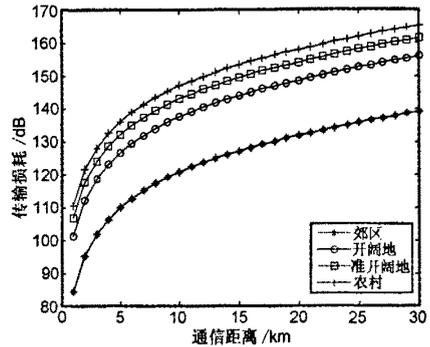


图 1 Okumura-Hata 预测模型仿真结果

1.2 Longley-Rice 模型衰落预测仿真分析

Longley-Rice 模型以传播理论为依据,同时结合了数千组实测数据,因此称其为半经验预测模型。该模型预测损耗值的计算基于不同传播范围<sup>[3]</sup>:(1)在视距内,以反射传播机制为主,用双线模型计算;(2)在超视距,以衍射传播机制为主,但对于不规则地形,有两种理论用于计算衍射损耗,它们分别适用于非球形但光滑的地面和非常不规则的地面,用刀刃模型计算,超视距衍射损耗计算结果是以上两种理论计算结果的加权(3)对于更远距离(大大超出地平线),以前向散射传播机制为主。Longley-Rice 模

型给出了参考衰减值的计算公式及不同环境下相关修正因子,公式中所使用的参数包括:频率、不规则地形参数、收发天线高度、收发天线位置标准(Random、Careful、Very Careful 三种)、收发信机之间的距离、地面折射率、气候类型(7 种)、极化方式等。Longley-Rice 模型适用于频段 20~40 GHz、路径长度 1~2000 km。该模型利用下式计算超出自由空间的传输损耗参考中值。

$$A_{ref} = \begin{cases} \max(0, A_d + K_1 d + K_2 \ln(d/d_{LS})) & d_{min} \leq d \leq d_{LS} \\ A_d + m_d d & d_{LS} \leq d \leq d_x \\ A_d + m_d d & d_x \leq d \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $d_{min} \leq d \leq d_{LS}$  为视距传播距离;  $d_{LS} \leq d \leq d_x$  为衍射传播距离;  $d_x \leq d$  为散射传播距离。

下面公式组推导中用到的经验值或近似拟合数据等均来自文献<sup>[3]</sup>。

$$\text{设 } X_{ra} = (kg_e^2)^{-1/3} \text{ 则}$$

$$d_3 = \max(d_L, d_L + 1.3787 X_{ra}),$$

$$w = \frac{1}{1 + 0.1 \sqrt{Q}}$$

$$d_4 = d_3 + 2.7574 X_{ra}, \quad A_3 = A_{diff}(d_3),$$

$$A_4 = A_{diff}(d_4), \quad m_d = (A_4 - A_3)/(d_4 - d_3),$$

$$A_d = A_3 - m_d d_3, \quad A_{diff}(s) = (1 - w)A_K + wA_r + A_{j0},$$

$$Q = \min\left(\frac{k}{2p} Dh(s), 1000\right) \left(\frac{h_{e1} h_{e2}}{h_{g1} h_{g2}}\right)^{1/2} + \frac{d_L + q_e/g_e}{s}$$

从而得:

$$A_{j0} = \min[15, 5 \log(1 + akh_{g1} h_{g2} s_h(d_L))] \\ a = 4.77 * 10^{-4} m^{-2} \quad (6)$$

$$A_k = F_n(v_1) + F_n(v_2)$$

$$\text{其中 } F_n(v) = 20 \log \left| \frac{1}{\sqrt{2i}} \int_0^\infty e^{-iu^2/2} du \right|。 \text{ 以上是}$$

衍射范围的传输衰落参考中值的计算。下面推导视距范围内传输衰落参考中值的计算式:

$$\text{设 } A_2 = A_d + m_d d_2, \quad d_2 = d_L,$$

$$A_1 = A_{ra}(d_1), \quad A_0 = A_{ra}(d_0), \quad d_1 = \frac{3}{4} d_0 +$$

$$\frac{1}{4} d_L, \quad d_0 = \min\left(\frac{1}{2} d_L, 1.908 kh_{e1} h_{e2}\right), \text{ 由此得:}$$

$$K'_2 = \max\left[0, \frac{(d_2 - d_0)(A_1 - A_0) - (d_1 - d_0)(A_2 - A_0)}{(d_2 - d_0) \ln(d_1/d_0) - (d_1 - d_0) \ln(d_2/d_0)}\right],$$

$K'_1 = (A_2 - A_0 - K'_2 \ln(d_2/d_0))/(d_2 - d_0)$ , 如果  $K'_1 \geq 0$ , 则  $K_1 = K'_1, K_2 = K'_2$ , 如果  $K'_1 < 0$ , 则  $K_1 = 0, K_2 = K'_2, K''_2 = (A_2 - A_1)/\ln(d_2/d_1)$ , 由此得视距范围传输衰落参考中值的计算式:

万方数据

$$A_{los} = (1 - w)/A_d + wA_r, \quad A_d = A_{d1} + m_d s \quad (7)$$

其中  $A_r = -20 \log |1 + R_e e^{i\theta}|$ 。

下面推导散射范围内衰落参考中值计算公式:

设  $A_{ra} = A_d + (m_d + m_s) d_x$ , 则

$$d_x = \max[d_{LS}, d_L X_{ra} \log(kH_s)], (A_5 - A_{d1} - m_s d_s)/(m_d - m_s),$$

$$m_s = (A_6 - A_5)/D_s, \quad A_6 = A_{ra}(d_6),$$

$$A_5 = A_{ra}(d_5),$$

$$d_6 = d_5 + D_s, \quad D_s = 200 \text{ km}, \quad d_5 = d_L + D_s,$$

$$H_s = 47.7,$$

从而得散射范围衰落参考中值计算公式:

$$A_{ra}(s) = 10 \log(kHq^4) + F(q, N_s) + H_0 \quad (8)$$

$$\theta = \theta_e + \gamma_e s, \quad \theta' = \theta_{e1} + \theta_{e2} + \gamma_e \quad (9)$$

函数  $F(\theta, N_s)$  为参考文献<sup>[3]</sup>所定义的函数,  $H_0$  为频率增益因子。

图 2 为发射天线高度固定为 10 m, 接收天线高度分别为 10 m、100 m、1000 m、3000 m 四种情况下传输损耗随地面起伏度变化的仿真结果。

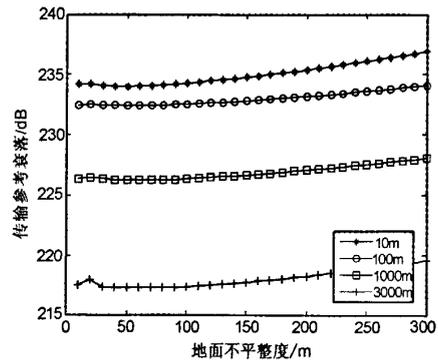


图 2 不同移动台高度传输损耗与地面不平整度(海浪汹涌度)之间的关系

通信距离为 500 km, 工作频率 1000 MHz, 相对介电常数为 15(一般地面); 导电率为 0.005 s/m(一般地面), 气候类型为亚热带海洋性气候, 其地面折射率为 300 N 单位, 天线极化方式为水平极化; 时间参量分位数为 0.5, 位置参量分位数为 0.5, 情景参量分位数 0.5。天线位置标准为 Careful, 地面起伏度变化范围为 0~300 m, 传输损耗随地面起伏度增加而增加, 这反映了遮挡引起的阴影衰落与地面情况的关系; 接收天线高度降低会导致传输损耗增大。

图 3 给出了地面不平整度对传输路径衰减的影响曲线, 图例中前面为发射天线位置标准, 后面为接收天线位置标准。左边图为收发天线高度相等, 均

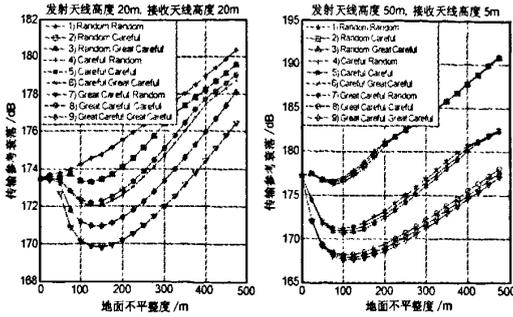


图3 两种天线高度假设下地面不平度(海浪汹涌度)对传输衰落的影响

为 20 m 的仿真结果,右边为发射天线 50 m,接收天线 5 m 的仿真结果。地面不平度为横坐标,0~500 m;频率为 400 MHz;其余参数与图 2 中的仿真参数相同。当把天线设置在高处,并且努力寻找最好的位置,以使接收信号达到最强,则认为这种标准为 Very Careful,该种情况下天线有效高度等于结构高度加上一个小于 10m 的值;当天线设置在高处,但没有试图选择在山顶或使接收信号最强,则认为这种标准为 Careful,该种情况下天线有效高度等于结构高度加上一个小于 5 m 的值;最后,如果天线位置选择受制于无线电接收信号以外的因素,也即,位置设置对信号接收可能是好的也可能是差的,这种情况则认为是 Random,该种情况下,天线有效高度等于天线结构高度。根据不同的组合分别仿真了 9 种天线位置标准,即 1)发射天线 Random,接收 Random;2)发射 Random、接收 Careful;3)发射 Random,接收 Great Careful;4)发射 Careful,接收 Random;5)发射 Careful,接收 Careful;6)发射 Careful、接收 Great Careful;7)发射 Great Careful、接收 Random;8)发射 Great Careful、接收 Careful;9)发射 Great Careful、接收 Great Careful。

从图 3 左边图可以看出,当收发天线高度相等时两天线的地位是相同的,即收发天线位置标准具有互易性,亦即情况 2)与情况 4)曲线重合,情况 3、7 曲线重合,情况 6、8 曲线重合。从右图可以看出接收端(天线较低为 5 m)天线位置标准对传输路径损耗影响较为明显,而发射端(天线较高为 50 m)天线位置标准对传输路径损耗影响很小,这是由于天线位置很高时,在这个很高的标准上增加 5 m (Careful)或 10 m (Great Careful)对整个有效天线高度的贡献并不明显。从图中还可看出地面起伏度为 0 m 时左右图中 9 种情况下路径损耗完全相等,

万方数据

随着起伏度的增加天线位置标准对传输损耗的影响增加,这是由于地面为平地或平静水面时不论何种天线位置标准都无法找到比别的位置更高的地方,而地面起伏度越大越有可能找到高地,所以随着地面起伏度的增加位置标准的作用越明显。

## 2 数值仿真结果与实测数据比较分析

将 Longley-Rice 模型、Okumura-Hata 模型预测结果与文献[6]给出的实测数据比较,结果如图 4 所示。文献[6]在福建漳州东海进行了海面信号衰落测试,基站高度为 200 m,频率 1800 MHz,移动台高度 10 m,通信距离为 50 km 至 90 km,每间隔 1 km 测试一个点。仿真模型主要参数为:发射天线高度 10 m,接收天线高度 200m,Longley-Rice 模型气候类型为亚热带海洋性气候,地形为平地或水面,地面介电常数为海水(81),地面电导率为海水(5),地表折射率为 320N 单位,Okumura-Hata 模型仿真了开阔地、准开阔地和农村等三种地形。为了对比,同时还给出了自由空间和地面反射双径模型的数值结果[6]。

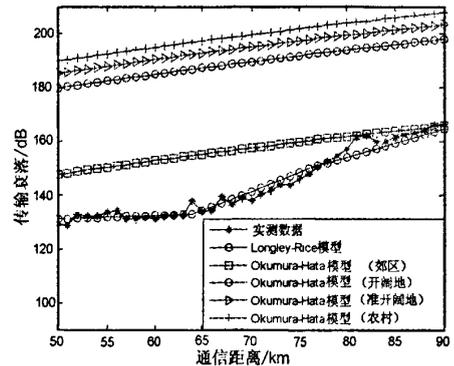


图4 仿真结果与实测数据的比较

由图 4 可知:(1)Longley-Rice 模型仿真结果与实测数据吻合较好,差别最大在 80 km 左右的位置,仿真结果与实测值相差小于 5 dB。(2)Okumura-Hata 模型预测结果四种地形中准开阔地与实测数据相差最小,80 km 至 90 km 范围吻合较好,50 km 至 80 km 范围相差较大,在 50 km 至 70 km 范围相差大于 18 dB,其他两种地形相差更大。(3)实测数据和 Longley-Rice 模型预测结果曲线均在 68 km 左右突然变陡产生一个拐点,这是由于地球弧度的影响在这个位置直达路径消失,产生视距传播向衍射传播过渡的拐点,但 Okumura-Hata 模型没有体现这个变化。(4)仿真结果与实测数据误差均

值和方差如表1所示,由表1可知 Longley-Rice 模型预测结果与实测数据之间的误差均值和方差均优于 Okumura-Hata 模型。综上,对于导弹制导指令链路通信场强预测,Longley-Rice 模型比 Okumura-Hata 模型更适合。

表1 仿真结果与实测数据之间的误差均值和方差比较

	Longley-Rice 仿真与实测值误差	Okumura-Hata 仿真与实测值误差		
		开阔地	准开阔地	农村
均值	-0.4626	111.359	116.8596	121.3684
方差	5.8829	60.871	60.8719	60.8719

### 3 场强预测算法的修正和补充

由上面分析得出 Longley-Rice 模型适用于海上编队通信场强的预测,但该模型不能预测通信距离小于 1 km 和天线高度大于 10 km 的情况。对于海上编队移动通信这种特殊情况,在 1 km 以内时一般是舰船之间的通信或者舰船与飞机刚起飞阶段的通信,这两种情况下天线高度都比较低,地面反射信号较强,适合采用双径模型预测场强。用分贝表示的地面反射双径模型路径传播损耗为

$$L_{Two-Ray} = 20 \log \left( \frac{d^2}{h_T h_R} \right) \quad (10)$$

式中  $h_T$ 、 $h_R$  为发射天线和接收天线高度,  $d$  为通信距离。

当飞机飞行高度超过 10 km 以后进入平流层,可以采用分段预测相加的方法实现,即 10 km 以下采用 Longley-Rice 模型预测,10 km 以上采用自由空间计算,再把两段预测结果相加(以 dB 形式相加)得到总衰减。以分贝表示的自由空间传播损耗为

$$L_{FreeSpace} = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (11)$$

式中  $d$  为通信距离,  $\lambda$  为所用电磁波长。

### 4 结论

本文针对海面电波传播损耗预测模型进行了分析研究,得出海上编队信道损耗模型宜采用 Longley-Rice 模型。推导了 Okumura-Hata 模型和 Longley-Rice 模型仿真算法,并将这两种模型的数值仿

真结果和实测数据比较,结果显示 Longley-Rice 模型具有以下优点:(1)Longley-Rice 模型预测值与实测数据误差比 Okumura-Hata 模型预测值与实测数据误差小;(2)Okumura-Hata 模型不能体现视距传播向衍射传播过渡的拐点,Longley-Rice 模型预测曲线的拐点与实测值吻合较好。

### 参考文献

- [1] Tony Ambrosini. Okumura Propagation Modeling [R]. Wireless Communication, 1999.
- [2] Melvin M. Use of the longley-ricce and johnson-gierhart tropospheric radio propagation programs: 0.02 ~ 20 GHz[J]. IEEE Communications, 1986, 4(2): 297-307.
- [3] National Bureau of standards Technical Note 101(1967-1), Transmission Loss Predictions for Tropospheric Communication Circuits[S], 1967.
- [4] Yunliang Long and Ming Huang. Prediction of Propagation Path Loss of The Building with Finite Conductivity Uniform Geometrical Theory of Diffraction[A]. In Asia-pacific Radio Science Conference[C]. Tokyo, Japan, Aug, 2001.
- [5] Yoshikazu Asano. Proposal of Method for Estimating Received Signal Characteristics in Mobile Communication Environments[J]. IEEE Trans. On Antennas and Propagation, 2000, 48(4): 539-546.
- [6] 曾艳军. 移动通信中电波传播特性研究及传播模型校正与应用[D]. 浙江: 浙江工业大学硕士学位论文, 2003年1月.
- [7] 顾晓龙等. 利用可见性概念改进基于镜像原理的射线追踪法[J]. 电波科学学报, 2001, 16(4): 464-467.  
Gu X L, et al.. Improved ray tracing technique with image approach based on visibility between objects[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2001, 16(4): 464-467.



王祖良 (1974—), 男, 云南人, 博士生, 主要从事无线电波传播模型、Ad hoc 无线通信等方面的研究。

# 海面电波传播损耗模型研究与仿真

作者: [王祖良](#), [樊文生](#), [郑林华](#), [WANG Zu-liang](#), [FAN Wen-sheng](#), [ZHENG Lin-hua](#)  
 作者单位: [王祖良, 郑林华, WANG Zu-liang, ZHENG Lin-hua \(国防科学技术大学电子科学与工程学院, 湖南, 长沙, 410073\)](#), [樊文生, FAN Wen-sheng \(海军司令部, 北京, 100036\)](#)  
 刊名: [电波科学学报](#) **ISTIC EI PKU**  
 英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF RADIO SCIENCE](#)  
 年, 卷(期): 2008, 23(6)  
 引用次数: 0次

## 参考文献(7条)

1. [Tony Ambrosini](#) [Okumura Propagation Modeling](#) 1999
2. [Melvin M](#) [Use of the longley-ricc and johnson-gierhart tropospheric radio propagation programs:0.02~20 GHz](#) 1986(2)
3. [National Bureau of standards Technical Note101\(1967-1\)](#), [Transmission Loss Predictions for Tropospheric Communication Circuits](#) 1967
4. [Yunliang Long, Ming Huang](#) [Prediction of Propagation Path Loss of The Building with Finite Conductivity Uniform Geometrical Theory of Diffraction](#) 2001
5. [Yoshikazu Asano](#) [Proposal of Method for Estimating Received Signal Characteristics in Mobile Communication Environments](#) 2000(4)
6. [曾艳军](#) [移动通信中电波传播特性研究及传播模型校正与应用](#)[学位论文] 2003
7. [顾晓龙, 章文勋, 云正清, 金祯荣](#) [利用可见性概念改进基于镜像原理的射线追踪法](#)[期刊论文]-[电波科学学报](#) 2001(4)

## 相似文献(10条)

### 1. 学位论文 [刘海涛](#) [无线通信中电波传播和场强预测的研究](#) 2005

无线通信中电波传播和场强预测问题是整个无线网络规划的基础性问题, 随着移动通信用户数量的增多, 原先的蜂窝大区制逐渐被微蜂窝甚至微微蜂窝小区制所取代, 在这些无线环境中, 建筑物的数量增多, 地形的几何尺寸各异, 建筑物的平均高度往往高于基站天线的高度, 传统的适用于大区制的电波预测经验模型难以得到足够精度的预测结果, 给无线网络规划中的场强预测带来困难。因此, 以射线跟踪算法为基础的新型的、基于特定环境的电波预测模型正逐渐显示出优势。

射线跟踪模型是以几何光学理论和几何绕射理论为基础, 通过电磁波的高频射线近似特性来实现电波传播路径跟踪的数值计算方法, 具有很高的精度。但是长期以来, 技术发展存在两方面的问题:

第一, 难以工程实用化。作为特定环境的预测模型, 射线跟踪算法的高预测精度, 需要准确的建筑物几何信息, 而传统的射线跟踪算法是建立在理想化的地形数据库模型基础上。在实际预测环境中, 建筑物数量众多, 几何形状复杂, 因此, 按照传统的地形数据库模型来录入地形信息, 往往成为繁重而繁杂的工作, 这严重影响算法的工程应用。

第二, 计算速度太慢。作为一种数值计算手段, 射线跟踪算法的计算量太大, 难以适应实际应用的需求。

本文的研发目标就是要在上述两个方面取得突破, 力求建立一个快速精确的、准自动的、适用于真实环境的城市电波传播预测模型, 编制高效的应用软件。并且在加速算法方面取得较大的突破。

为了实现这一目标, 本文的工作和创新点主要包括以下几个方面的内容: 第二章全面详细地阐述了射线跟踪算法的原理, 几何绕射理论的原理, 和本文采用的射线跟踪算法中计算场强的理论。

第三章是地形数据库模型的描述。首次细致分析了现今国家标准GIS地图的特点, 传统的地形数据库模型的局限, 并提出一种新型的、可实现数字地图信息自动入库的地形数据库模型。

第四章针对新型的地形数据库模型, 提出了一种新型的射线跟踪算法, 该算法包括新型的左儿子右兄弟二叉树存储结构, 区域划分算法和绕射线减少算法等。新算法大大提高了计算效率, 通过对上海浦东地区的实际仿真和测量, 新算法的有效性得到了证实。

第五章集中研究了并行射线跟踪算法原理, 首次提出了适用于城市电波预测的、基于SBR算法的并行算法模型, 并且通过大量的仿真实例, 计算了模型的并行加速增益, 从而证明并行加速算法和传统加速算法相比具有更高的加速效果。由于本文的并行射线跟踪算法是在普通的实验室计算机簇中验证实现的, 因此, 它是一种低成本、高效率的并行加速模型。

第六章从软件工程的角度分析了电波预测软件的结构, 该软件分dos和windows两个版本, 其中dos版本便于集成, 而windows版本采用MFC的编程结构, 易于使用。

第七章对论文成果做了总结, 并对以后的工作进行了展望。

### 2. 会议论文 [任克宁, 姚光圻](#) [建筑物内场强预测模型探讨](#) 1999

该文提出了一个建筑物走廊内电波传播预测模型。该模型基于几何光学理论, 将电波传播抽象为电波射线在建筑物内发生透射、反射、绕射的累积结果。将辐射源发出的电波抽象为一系列电波射线, 分别计算每一条电波射线经过墙壁、天花板和地板的透射或反射到达接收点后的电波信号场强, 再矢量叠加起来。并进行了两次实测来检验所提出的理论模型。发现该模型预测电波传播路径衰耗规律为  $L(d) \propto d < 2.5$ , 而实测得到的电波传播路径衰耗规律为  $L(d) \propto d < 4.5$ 。

### 3. 期刊论文 [刘芫健, 陈泓, 张业荣, 曹伟, LIU Yuan-jian, CHEN Hong, ZHANG Ye-rong, CAO Wei](#) [室内微蜂窝的场强预](#)

在修正的入射及反弹射线法/镜像法(SBR/IM)基础上提出一种改进方法,能准确地确定射线管与室内墙面的交点坐标.利用MATLAB语言设计了一个具有友好图形用户界面(GUI)的室内场强预测软件,同时给出程序中详尽的核心子模块.对室内微蜂窝电波传播的路径损耗进行了仿真,和已知文献测量结果对比,一致性良好.

#### 4. 学位论文 徐清强 存在曲面的环境中电波传播预测方法的研究 2006

随着移动通信的发展,对电波有效覆盖日趋严格,在移动通信规划与优化时,需要知道在每一个接收点处接收到的信号强度.对无线信道特性的研究主要可以分为两大类:统计方法和确定性方法.统计的方法进行电波预测时,忽略了实际的传播环境因素,很难适应预测精度要求高、情况多变的微蜂窝小区的覆盖;确定性的方法进行电波预测时,为了简单起见,仍然忽略了实际环境的不规则性.在预测的过程中,把周围的建筑物看作是有一系列的长方体等组成,而忽略了在实际上许多建筑物是有曲面和平面共同组成的情况.例如弯曲的隧道,弯曲的街道等.

为了能够对拥有曲面的环境进行场强预测,本文提出了一种新的射线跟踪接收判断技术,它是已有的两类射线跟踪技术—SBR和射线管的结合,能够解决曲面反射的问题.这种新技术能够在任意形状建筑物组成的复杂环境中进行场强预测.而且此种方法可以自由的改变接收球的半径,以满足精度的需要.

#### 5. 会议论文 金鹰兵,许立勤 室内无线通讯的电波传播特性的研究 1997

他们应用射线跟踪技术来研究室内无线通讯的场强预测.根据镜像法的原理,他们编制出自动生成发射单元相对所有墙壁的镜像位置的程序.再根据接收天线的理论,求得接收功率与发射功率之比.

#### 6. 会议论文 刘芫健,张业荣,曹伟 三维射线跟踪模型的极化特性研究 2007

极化方式是电波传播的一个重要特性.基于射线跟踪方法研究了微蜂窝的无线电波传播特性,考虑了多次反射的极化特征,建立起三维的射线跟踪模型.通过仿真计算,和已知文献结果对比,一致性良好.

#### 7. 学位论文 钱钊 基于GIS的信号场强预测算法研究 2007

电波传播预测在现代无线通信及广播电视系统中扮演着极其重要的角色,准确的电波强度预测对于城市小区的建立与维护有着重要的意义.传统的预测方法是基于测量数据的统计方法,这要求不同小区之间具有统计相似性.随着系统容量的要求不断提高,使得小区的划分越来越小,甚至出现了更小的微小区.这直接导致了这种统计相似关系的丢失,从而使传统的统计方法失效.现在需要一种确定的方法进行电波覆盖范围预测及传播特性分析.本文主要是研究了基于GIS用射线跟踪技术结合几何绕射的信号预测算法.

本文首先阐述了城市小区概念及传播预测的必要性、传播预测的各种算法及最新进展,并简要概述了本文研究的主要内容.

随后,对多种模型进行了研究和分析.由于城市电波传播环境的复杂性,在对电波传播预测的长期研究发展中产生了适应不同环境不同区制的预测模型.本文对构建方式不同的DPM和SPM模型进行了研究和分析.

此后着重研究了射线跟踪模型.目前大多数模型是适用于大区制的电波传播预测,而现代无线通信的趋势是小区制,本文对适于小区制的射线跟踪模型进行了深入的研究.通常意义上的射线跟踪计算量极大,因此需要建立合适的射线跟踪模型.在参照了镜像法、射线管法等射线跟踪思想的基础上,改进了准三维射线跟踪模型.该模型基于虚拟源方法,通过确定反射源、绕射源的有效区域,依次找出有效区域内对射线传播可能有贡献的反射面和绕射点,并以此建立数据源树结构.本文所采用的方法借鉴并延伸了辐射源树的概念,将接收点也加入到由发射源、反射源和绕射源组成的树结构中,这样的树结构已经代表了整个传播路径,运算快捷且效率高.

在本文的最后,针对如何解决GIS电子地图与电波传播模型数据库的数据存储格式兼容等问题进行了研究.

#### 8. 期刊论文 申东娅,袁勇 微小区场强预测 -云南大学学报(自然科学版) 2001, 23(2)

提出用分块处理的方法,对复杂的地形地物进行处理,并用C++Builder建立了地形地物数据库.依据Cost231模型进行微小区场强预测,与成熟的网络规划软件"WinProp"的预测值比较,得到了满意的结果.

#### 9. 期刊论文 刘建宇,胡晓红, Liu Jianyu, Hu Xiaohong GSM-R系统的场强覆盖预测 -铁道通信信号 2005, 41(3)

将工程设计中的场强测试结果与电波传播场强预测模型相结合,通过数学分析,根据铁路现场实际情况对相关预测模型进行修正,对GSM-R系统的场强覆盖进行预测.

#### 10. 学位论文 祝贵凡 战场环境下电磁频谱管理中的传播预测技术研究 2006

随着现代军事移动通信的发展,无线通信业务需求的增长和频谱资源的有限性形成一对尖锐的矛盾.在这种情况下,如何加强频谱规划和电磁兼容性分析,提高频谱利用率,避免相互干扰,保障战场环境下军事通信的需要,成为了军事通信部门迫切需要解决的问题.

无线电波传播损耗计算是一个基本而又重要的问题,是实现干扰分析和频率指配的基础.本文针对这一问题展开研究,所做主要工作和取得的研究成果如下:

1、论文对应用在地面移动通信系统中的场强预测方法进行了研究与设计实现.实现了Okumura模型、Okumura-Hata、Cost231-Hata模型,并对预测结果进行了验证测试.

2、对地面波传播预测方法进行了研究.论文研究了不同频段的电波的传播特性和地面波场强的计算方法,以及地面不均匀性对地面波传播的影响.并采用软件进行了设计实现.

3、对天波传播的信号场强预测进行了深入的研究,研究并设计实现了短波天波传播频率的选择方法和计算传输损耗的方法,并对计算结果进行了验证.

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_dbkxb200806015.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dbkxb200806015.aspx)

下载时间: 2010年5月13日