

航空无线信道建模与仿真

曹博, 刘文评, 沈笑云

(中国民航大学智能信号和图像处理天津市重点实验室, 天津 300300)

摘要: 结合航空信道特点, 对 Egli, Okumura-Hata, Longley-Rice 模型产生的背景和适用范围进行了分析, 提出了使用 Longley-Rice 模型对航空无线信道建模, 并推导了 Longley-Rice 模型的实现算法。利用仿真分析了该模型在不同频率、气候类型、地形下的衰落情况。实测数据验证了 Longley-Rice 模型的准确性和有效性, 为航空通信工程的建模提供参考。

关键词: 航空; 无线信道; Longley-Rice; 建模

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)05-0093-04

Modeling and Simulation of Aviation Wireless Channel

CAO Bo, LIU Wen-ping, SHEN Xiao-yun

(Tianjin Key Lab for Advanced Signal Processing, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: Based on the aviation channel characteristics, analysis was made to the background and applicable conditions of Egli, Okumura-Hata, and Longley-Rice models. A method for modeling the aviation wireless channel by using Longley-Rice model was proposed, and the simulation algorithm of the Longley-Rice model was deduced out. Simulation was made to analyze the attenuation of the model under different frequencies, different types of climate, and different terrains. Experimental data verify the accuracy and effectiveness of the model, which can provide a reference for aviation communication engineering modeling.

Key words: aviation; wireless channel; Longley-Rice; modeling

0 引言

近年来,航空事业的迅猛发展,对航空通信系统、通信质量、信号覆盖范围的稳定性和可靠性提出了严格的要求。为了满足需求,最根本的是对航空信道进行研究,建立有效的模型对真实环境中的航空信道进行准确的模拟。航空通信的性能在很大程度上取决于航空信道,由于航空信道具有不可预知的传输规律且呈现极大的随机性,分析难度较大^[1]。在航空通信系统中,高速运动的飞行器与高频载波将会使接收信号产生巨大的多普勒扩展,由于多径效应的原因,通信质量受到严重影响并使系统具有很高的误码率。不同频率的信号在传播中也受大气不均匀介质、对流层、大气气候现象以及信号的传输带宽等因素的影响。因此,建立准

确、高效、合理的航空信道模型具有重要意义^[2-3]。

1 信道模型分析及建模

航空信道的特殊性体现在:1)飞机从起飞到巡航可能会途经平原、山地、海面、丘陵等多种不规则地形;2)信号在传播过程中受大气折射的影响呈现为一条曲线,在预测信道传播损耗时要计算折射率,对实际传播距离加以修正;3)随着频率的增高,信号在大气中传播受对流层和大气气象影响越来越大;4)天线有多种极化方式、工作频率跨度大。因此,需要深入研究航空信道特点,并据此建立相应的、合理的航空信道模型。

1.1 信道模型分析

目前,常用的无线信道模型有^[4-7]Egli, Okumura-Hata 以及 Longley-Rice 模型等,适用范围见表1。

表1 模型适用范围

Table 1 Applicable scope of the models

模型名称	适用频率/MHz	适用距离/km	收/发天线高度/m
Egli	90 ~ 1 000	视距	30/3
Okumura-Hata	150 ~ 1 920	1 ~ 100	1 ~ 10/30 ~ 200
Longley-Rice	20 ~ 40 000	1 ~ 2 000	0.5 ~ 10 000

收稿日期:2014-06-12

修回日期:2014-07-21

基金项目:天津市应用基础与前沿技术研究计划(14JCYBJC16000);
中央高校基本科研业务费项目(3122013C016,3122013Z001)

作者简介:曹博(1990—),男,江西萍乡人,硕士生,研究方向为导航台信号覆盖分析及三维可视化。

Egli 模型是在不规则地形的基础上通过大量实测数据、经过综合分析得出,加上修正因子修正,适用于视距范围内。

Okumura 模型是基于日本东京附近大量场强实测数据绘制出来的曲线,在实际工程中多用于地形起伏不大的区域,如城市地区、郊区和开阔地区。Hata 对 Okumura 数据进行公式化,引入了移动天台修正因子,使得该模型具有通用性。其中,文献[8]采用该模型预测城市地区 ADS-B 地面站信号覆盖,而 ADS-B 数据链用于飞行高度 18000 ft (5486 m) 以上的飞机,不满足该模型使用范围。

Longley-Rice^[9-11] 模型以电磁波传播理论为基础,结合数千组源自世界各地的实测数据推导总结而来,因此也称半经验预测模型。该模型主要参数有:1) 两种天线极化方式,即水平和垂直极化,收发天线极化方式必须相同;2) 地形不规则度,结合反映介质特性的参数,即地面电导率和相对介电常数;3) 地表折射率,决定电波的“弯曲”程度;4) 考虑 7 种气候类型对信号传输损耗的影响,如中纬度沿海地区,空气较湿润、折射较大,主要是温带海洋性气候。

基于以上分析,Longley-Rice 模型考虑的参数、适用范围相比于 Egli, Okumura-Hata 模型更加适合对航空信道建模。

1.2 Longley-Rice 模型建模

Longley-Rice 模型预测传输损耗基于不同传播距离:视距内,用双线模型计算,主要是反射传播;超视距,主要是衍射传播,损耗是由两种理论模型加权表示;对于更远距离主要是前向散射传播。计算超出自由空间的传输衰落参考中值 A_{ref} 为

$$A_{ref} = \begin{cases} \max(0, A_{el} + K_1 d + K_2 \lg d) & d_{min} \leq d \leq d_{L_s} \\ A_{ed} + m_d d & d_{L_s} \leq d \leq d_x \\ A_{es} + m_s d & d_x \leq d \end{cases} \quad (1)$$

式中: d 为传播距离; $d_{min} \leq d \leq d_{L_s}$, 为视距传播范围; $d_{L_s} \leq d \leq d_x$, 为衍射传播范围; $d_x \leq d$, 为散射传播范围; A_{el}, A_{ed}, A_{es} 分别表示自由空间下视距、衍射和散射的传播衰落值; K_1, K_2 为传播衰落系数; m_d, m_s 分别为衍射和散射衰落系数。以下推导中用到的经验值或者近似拟合数据等来自文献[12-14]。

1) 衍射传播损耗。

不规则地形中的衍射传播损耗通过结合 Fresnel-Kirchoff 双刃型模型和适用于光滑地面的 Vogler 修正模型来计算,即

$$k = f/47.7, \quad \gamma_e = \gamma_a (1 - 0.04665 e^{N_s/N_1}) \quad (2)$$

$$X_{ae} = (k\gamma_e^2)^{1/3}, \quad d_{LSj} = \sqrt{2h_{ej}/\gamma_e} \quad j=1,2 \quad (3)$$

$$d_{LS} = d_{LS1} + d_{LS2}, \quad d_L = d_{L1} + d_{L2} \quad (4)$$

式中: f 为频率; k 为波数; r_e 为地球有效曲率; X_{ae} 为地球有效曲率; d_L 为收、发天线到有效反射面的距离和; d_{LS} 为收、发天线到无线电地平线的距离和; N_s 为地表折射率; h_{ej} 为收、发天线有效高度。

假设

$$A_{diff}(s) = (1-w)A_k + wA_r + A_{f_s} \quad (5)$$

式中: w 为双刃峰衰落 A_k 和圆形地球衰落 A_r 在衰落中的比重; A_{f_s} 为杂波干扰。可知

$$A_{ed} = A_{diff}(\max(d_{LS}, d_L + 1.38X_{ae})) - m_d \max(d_{LS}, d_L + 1.38X_{ae}) \quad (6)$$

$$m_d = \{A_{diff}[\max(d_{LS}, d_L + 1.38X_{ae}) + 2.76X_{ae}] - A_{diff}[\max(d_{LS}, d_L + 1.38X_{ae})]\} / (2.76X_{ae}) \quad (7)$$

2) 视距传播损耗计算。

在视距内,采用二径反射模型用于模拟地平线以内的传输场强,为了更为准确地预测衰落,加入了平滑系统。假设

$$d_1 = \frac{3}{4}d_0 + \frac{1}{4}d_L, \quad d_2 = d_{LS} \quad (8)$$

$$d_0 = \min\{\frac{1}{2}d_L, 1.908kh_{e1}h_{e2}\} \quad (9)$$

$$A_0 = A_{Los}(d_0), \quad A_1 = A_{Los}(d_1), \quad A_2 = A_{ed} + m_d d_2 \quad (10)$$

式中: d_0, d_1, d_2 为视距传播距离; A_0, A_1, A_2 为对应衰落;系数 K_1, K_2 通过视距传播距离和对应衰落确定。可以得到

$$w = \frac{1}{1 + \frac{47.7 k \cdot \Delta h}{\max(10000, d_{LS})}} \quad (11)$$

式中, Δh 表示地形不规则度,平地(水面)0 m,平原 30 m,丘陵 90 m,山区 200 m,崎岖山区 500 m,可以得到

$$A_{ed} = A_2 - K_1 d \quad (12)$$

式中,根据参数 w 确定衍射 A_d 损耗和双径损耗 A_r 比重。

3) 散射传播损耗计算。

$$A_{scat}(d) = 10 \lg(kH_s \theta^4) + F(\theta d, N_s) + R_0 \quad (13)$$

假设 $D_s = 200$ km, $d_5 = d_L + D_s$, $d_6 = d_L + 2D_s$, $d_x = \max(X_1, X_2)$, $X_1 = \max(d_{LS}, X_{ae} \lg(kH_s))$, $X_2 = (A_{scat}(d_5) - A_{ed} - m_s d_5) / (m_d - m_s)$ 。

$$\theta = \theta_{e1} + \theta_{e2} + \gamma_e d \quad (14)$$

$$m_s = (A_{scat}(d_5) - A_{scat}(d_6)) / D_s \quad (15)$$

可推导出

$$A_{es} = A_{ed} + (m_d + m_s) d_x \quad (16)$$

式中: $F(\theta d, N_s)$ 为衰落函数; R_0 分别为频率增益因子; θ_{e1}, θ_{e2} 表示收发天线到有效反射面的高度角。

2 仿真分析

计算中各参数设定为:基站天线高度为 20 m,飞行器天线高度为 10 km,通信距离为 1 ~ 500 km;采用

全向天线,垂直极化;相对介电常数 15,电导率 0.005 s/m,地面折射率 320 N,亚热带季风性湿润气候;接收信号的强度在一定范围内波动,需要从统计角度考虑仿真结果的置信度。时间、位置、情景参量分别为 80%,80%,80%。时间参量表示单位时间内由空气折射率、空气振动等造成的衰落中值的变化程度;位置参量表示地面或者环境造成的不同路径之间差异的统计特性;情景参量包括在相同的系统和环境参数情况下,由其他因素造成的差异。

2.1 频率对衰落的影响

为了考察频率对衰落的影响,地形选为平地,仿真频率分别为 20 MHz,1000 MHz,10000 MHz,20000 MHz,40000 MHz 下的衰落情况,如图 1 所示。

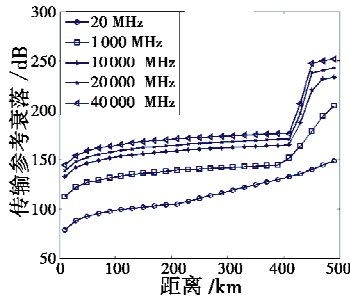


图 1 不同频率的衰落分析

Fig. 1 Different frequency attenuation analysis

由图 1 可知,频率越大衰落越明显,通信距离在视距范围内,衰落相对比较平缓;受地球曲率影响,通信距离达到 400 km 附近时,超出视距范围,衰落加剧;通信距离更远则衰落进一步增大。20 MHz 属于超短波,可以通过电离层反射实现天波通信,因此超出视距时衰落曲线变化比较平滑。

2.2 地形对衰落的影响

Longley-Rice 模型主要考虑了平地(水面)、平原、山区、丘陵以及崎岖山区 5 种地形对传播损耗的影响。频率为 1000 MHz,仿真结果如图 2 所示。

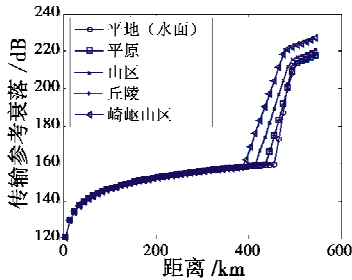


图 2 5 种地形的衰落分析

Fig. 2 Attenuation of five kinds of terrain

由图 2 可知,在视距范围内,由于飞行高度较高,5 种地形衰落相差不大;通信距离进一步加大超出视距时,地形对衰落的影响变得明显,地形越不规则衰落越

明显。

2.3 气候对衰落的影响

Longley-Rice 模型加入了 7 种气候类型,分别是近赤道气候、沙漠气候、温带大陆性气候、温带海洋性气候(海上)、温带海洋性气候(陆地)、亚热带大陆性气候、亚热带海洋性气候。假设频率为 1000 MHz,仿真结果如图 3 所示。

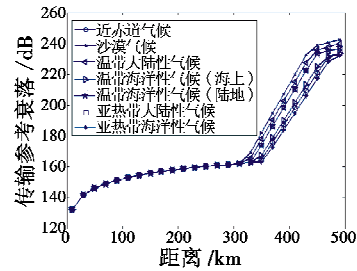


图 3 7 种气候类型对衰落的影响

Fig. 3 Effects of seven types of climate on attenuation

由图 3 可知,在视距时,7 种气候类型衰落非常接近,当通信距离超出视距,不同气候类型衰落开始有所差异。

2.4 与实测数据比较

通航为海上石油船(平)台、安保、搜寻、救援提供快捷、高效的航空运输服务。因此,在海面建立准确的航空信道模型可以避免潜在的飞行隐患。采用文献 [15] 在某地进行的海面信号衰落测试数据与模型预测进行对比来检验模型的准确性。具体参数有:频率为 1800 MHz,收、发天线高度分别为 10 m 和 200 m,通信距离为 50 ~ 90 km。Longley-Rice 模型在此基础上还考虑气候为亚热带海洋性气候,地形为水面,相对介电常数(海水)81,电导率(海水)5 s/m,折射率为 320 N。Longley-Rice 模型、Okumura-Hata 模型(开阔区域)预测衰落与实测数据对比如图 4 所示。

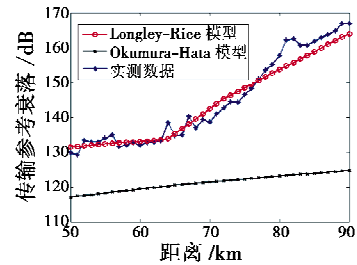


图 4 仿真结果与实测数据对比

Fig. 4 Comparison simulation results model and the measured data

由图 4 可知:1) 利用 Longley-Rice 模型预测海面信号传输衰落与实测信号更吻合;2) 在 66 km 附近衰落突然加剧并出现一个拐点,是由于视距分量消失,过渡到衍射传播导致,而 Okumura-Hata 模型却不能体现出这种变化;3) Longley-Rice 模型、Okumura-Hata 模型与实测

数据的均方根误差分别为 4.512 dB, 150.350 dB, Longley-Rice 模型满足高精度电波传播模型要求^[4], 即均方根误差小于 6 dB。

3 结 论

针对航空无线信道模型特点进行研究, 可知航空信道建模宜采用 Longley-Rice 模型。通过仿真分析得出如下结论: 1) Longley-Rice 模型考虑因素比较全面, 更符合用于航空信道的特点; 2) 比较实际数据与仿真结果, Longley-Rice 模型更准确。

Longley-Rice 模型为航空通信工程的设计、仿真和规划提供理论参考。但是该模型也有局限性: 1) 不能预测 1 km 内的场强; 2) 接收天线需低于 10 km。下一步研究的重点为该模型的改进。

参 考 文 献

- [1] 邬正义, 范瑜, 徐惠钢, 等. 现代无线通信技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. (WU Z Y, FAN Y, XU H G, et al. Modern wireless communication technology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.)
- [2] 谭征, 张晓林. 无人直升机多天线通信信道建模及性能分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(10): 1171-1175. (TAN Z, ZHANG X L. Modeling and performance analysis of multiple-antennae communication channel for pibless helicopter[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2010, 36(10): 1171-1175.)
- [3] 陈强, 杨霄鹏, 杨栋, 等. 低空无线信道建模及其均衡技术研究进展[J]. 电讯技术, 2012, 52(1): 117-124. (CHEN Q, YANG X P, YANG D, et al. Research progress of low-altitude wireless channel modeling and equalization techniques [J]. Telecommunication Engineering, 2012, 52(1): 117-124.)
- [4] 杨大成. 移动传播环境[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003. (YANG D C. Mobile communication environment [M]. Beijing: China Machine Press, 2003.)
- [5] 林珠, 刘勃, 归琳. C 频段空地链路无线信道大尺度衰落模型[J]. 电讯技术, 2010, 50(12): 112-115. (LIN Z, LIU B, GUI L. Large-scale fading model of air-to-ground channel at C-band[J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(12): 112-115.)
- [6] 刘勇, 周新力, 金慧琴. 电波传播预测模型分析与研究[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(7): 84-86. (LIU Y, ZHOU X L, JIN H Q. Analysis and research of radio wave propagation model [J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(7): 84-86.)
- [7] FARHOUD M, EL-KEYI A, SULTAN A. Empirical correction of the Okumura-Hata model for the 900 MHz band in Egypt [C]//The 3rd International Conference on Communications and Information Technology (ICIT), IEEE, 2013: 386-390.
- [8] 张智强. ADS-B 地面站的规划与建设[J]. 指挥信息系统与技术, 2011, 2(4): 27-30. (ZHANG Z Q. Planning and construction of ADS-B ground station[J]. Command Information System and Technology, 2011, 2(4): 27-30.)
- [9] 张银涛, 郑林华, 王祖良. 高超声速巡航导弹信道建模与仿真分析[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(29): 7160-7164. (ZHANG Y T, ZHENG L H, WANG Z L. Building channel model and simulation analysis on hypersonic cruise missiles [J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(29): 7160-7164.)
- [10] 王祖良, 彭茜, 郑林华. 移动通信信道损耗模型研究及仿真分析[J]. 电波科学学报, 2009, 24(1): 111-114. (WANG Z L, PENG Q, ZHENG L H. Research and simulation analysis on missile-borne mobile propagation loss model [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2009, 24(1): 111-114.)
- [11] 徐红艳, 尉明明, 冯玉珉. 海上移动通信预测模型的选择[J]. 北京交通大学学报, 2005, 29(2): 65-68. (XU H Y, WEI M M, FENG Y M. Selecting prediction model for sea mobile communication [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2005, 29(2): 65-68.)
- [12] 李威, 王涛, 夏斌, 等. 路径损耗模型研究及大气折射修正算法仿真[J]. 计算机仿真, 2010, 27(7): 335-337, 349. (LI W, WANG T, XIA B, et al. Research on large scale channel model and improved algorithm of atmospheric refraction error[J]. Computer Simulation, 2010, 27(7): 335-337, 349.)
- [13] WEINER M M. Use of the Longley-Rice and Johnson-Gierhart tropospheric radio propagation programs: 0.02 ~ 20 GHz [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1986, 4(2): 297-307.
- [14] KASAMPALIS S, LAZARIDIS P I, ZAHARIS Z D, et al. Comparison of Longley-Rice, ITM and ITWOM propagation models for DTV and FM broadcasting [C]//The 16th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), IEEE, 2013: 1-6.
- [15] 何群, 黄云鹏. 关于海面无线传播模型的探讨[J]. 邮电设计技术, 2004(2): 36-39. (HE Q, HUANG Y P. Discussion on radio propagation model over sea level [J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2004(2): 36-39.)