

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1801868

# 船舶超短波对空电台信道分析与使用策略研究

陈永锋 吴波涛 赵孟轩 张昌穹

(中国卫星海上测控部 江阴 214431)

**摘要:** 针对船舶在某海域航行中出现的通信距离无法提前判定的问题,在分析超短波传播特性的基础上,建立不同场景下的超短波无线信道模型,包括大尺度衰落的自由空间路径损耗模型、对数距离路径损耗模型和对数正态阴影路径损耗模型,该模型考虑到小尺度衰落的多普勒效应影响,并利用 MATLAB 软件仿真计算了各模型场景下对电台功率路径损耗的影响。在此基础上,提出计算链路预算方法,依此测算船舶超短波对空电台与飞机进行通信距离的方法以及优化通信链路预算的策略。

**关键词:** 超短波电台;信道模型;多普勒效应;衰落

**中图分类号:** TN92    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.1015

## Channel analysis and operation strategy of ship's ultra short wave radio to air radio

Chen Yongfeng Wu Botao Zhao Mengxuan Zhang Changqiong

(China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin 214331, China)

**Abstract:** In order to solve the difficulty in predicting the communication distance of ships that traveling in certain sea areas and based upon the analyzed results of Ultrashort Wave's features, different types of ultrashort waves' wireless communication models were established corresponding to different situations, including large-scale fading free space path loss model, log-distance path loss model, log-normal shadowing path loss model, as well as small-scale fading model's Doppler principle effect. MATLAB was used to stimulate different situations and calculate different models' effect on radio station's power path loss. Building on this base, methods of calculating link budget were brought up and methods of calculating the communication distances between ships' ultrashort waves and airplanes' radio stations were created. Strategies of deciding link budget were improved.

**Keywords:** ultrashort wave radio; channel model; Doppler effect; fading

## 0 引言

超短波电台,又称甚高频电台,工作频率为兆赫兹<sup>[1]</sup>,是飞机进行通信的重要无线通信设备之一,为飞机抢险救灾等各项任务中起着重要的保障作用。近期某船舶在某海域航行中发现当标校机飞行高度为 1 000 m 时,该机载超短波电台无线电波发射距离可达到 120 km 左右,但接收距离只有 100 km 左右,且出现近距离通信信号不畅、信号干扰明显的现象,直接影响飞行员的正常操作以及飞机与外部的无线电通信联系。无线通信系统的性能主要由无线信道环境决定。无线信道是动态且不可预测的,这增加了对无线通信系统进行精确分析的难度<sup>[2-3]</sup>。吕军<sup>[4]</sup>通过仿真软件 Simulink 和 Wireless InSite 构建信道仿真模型和电磁环境仿真模型,求得物理层信号传输的路径损耗,但是没有

提出应对不同信道情况下改善链路质量的方法。李照帅<sup>[5]</sup>通过在超短波通信硬件平台上设计静噪系统,实现了语言信号的抑噪功能,但该硬件平台不设计数据抑噪。

通过分析船舶与飞机之间的超短波电台无线信道路径特点,建立无线信道模型,计算功率损耗情况,得到通信链路预算,为船舶与飞机的无线通信方式提供优化策略。在此基础上,提出了一种基于船舶与飞机实时距离的超短波电台功率自适应调整策略,进一步优化建立通信链路功率的调整手段。

## 1 对空通信超短波通视距离分析

超短波由于频率很高,其表面波衰减很快,传播距离很近,通信距离限制在视线距离内<sup>[6]</sup>,也就是通常所说的通视距离。其通视距离如图 1 所示,其中,  $h_1$  为飞机飞行高度;

$h_2$  为塔台天线高度;  $d$  为通视距离;  $R$  为地球半径(约 6 370 km), 通视距离  $d$  推导如下。

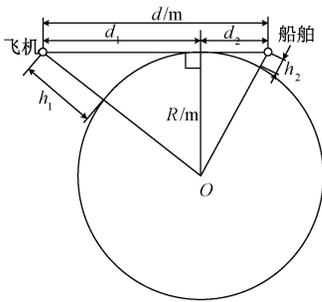


图 1 通视距离示意图

$$d_1 = \sqrt{(R+h_1)^2 - R^2} \tag{1}$$

$$d_2 = \sqrt{(R+h_2)^2 - R^2} \tag{2}$$

$$d = d_1 + d_2 \tag{3}$$

$$d = \sqrt{(R+h_1)^2 - R^2} + \sqrt{(R+h_2)^2 - R^2} \tag{4}$$

$$d \geq 3.57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \tag{5}$$

船舶塔台天线高度  $h_1$  一般为 15 m, 由此计算出飞机与船舶通视距离  $d$  随飞机飞行高度  $h_2$  变化情况, 如图 2 所示。从计算结果可知, 飞机飞行高度  $h_2=1\ 000$  m 时, 通视距离  $d$  理论上超过 120 km, 而实际上船在某海域航行时所配载超短波电台发射距离满足 120 km 的要求, 但是接收距离只有 100 km 左右, 因此采用上述几何通视距离的测算方法不能满足实际测算需求, 需建立更精确的模型进行测算。

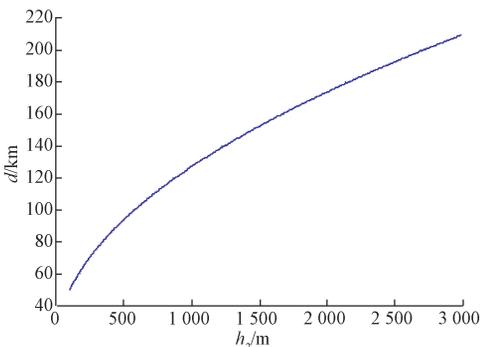


图 2 通视距离  $d$  与飞机飞行高度  $h_2$  关系

## 2 对空电台无线信道分析

根据船舶超短波对空电台与飞机进行通信的场景, 电磁波信号无线信道属于视距环境, 即一般情况下发射机与接收机之间没有障碍或障碍较小, 此通信场景可通过建立自由空间传播模型进行分析。无线信道的一个典型特征是“衰落”现象, 即信号幅度在时间和频率上的波动<sup>[7]</sup>。衰落现象大致可以分为大尺度衰落和小尺度衰落两种类型<sup>[8]</sup>。

### 2.1 大尺度衰落

#### 1) 自由空间路径损耗模型

首先考虑发射机与接收机之间没有任何障碍物的情形, 即自由空间传播模型, 令  $d$  表示发射机和接收机之间的距离(单位为 m), 发射天线增益  $G_t$ , 接收天线增益  $G_r$ , 则距离为  $d$  的接收信号功率  $P_r(d)$  可以由著名的 Friis 公式<sup>[9]</sup>表示为:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \tag{6}$$

式中:  $P_t$  为发射功率, 单位为 W;  $\lambda$  为发射波长, 单位为 m;  $L$  为与传播环境无关的系统损耗系数, 总的来说  $L > 1$ , 但是如果假设系统硬件没有损耗, 则  $L = 1$ 。将式(6)简化得到:

$$PL_F(d) = 10 \lg\left(\frac{P_t}{P_r}\right) = 20 \lg\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \tag{7}$$

#### 2) 对数距离路径损耗模型

考虑船舶与飞机通信位置有时并不在海上, 而是位于城市边缘, 为适应对空电台无线信道随环境变化情况, 引入随环境改变的路径损耗指数  $n$ , 对上述自由空间路径损耗模型进行修正, 可构造出一个更为普遍的路径衰落模型, 即对数距离路径损耗模型, 如式(8)所示。

$$PL_{CD}(d) = PL_F(d_0) + 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) \tag{8}$$

式中:  $d_0$  是一个参考距离。根据路径损耗式(7)中描述的特点, 不同工作环境下的路径损耗指数如表 1 所示<sup>[10-11]</sup>。

表 1 路径损耗指数

环境	路径损耗指数 $n$
自由空间	2
市区蜂窝	2.7~3.5
建筑物内视距传输	1.6~1.8
建筑物内障碍物阻挡	4~6
工厂内障碍物阻挡	2~3

假设对空超短波电台载波频率  $f_c = 300$  MHz, 在 MATLAB 中计算不同环境下路径损耗随距离的关系如图 3 所示<sup>[12]</sup>, 分析的飞机与船舶距离为 1~100 km。

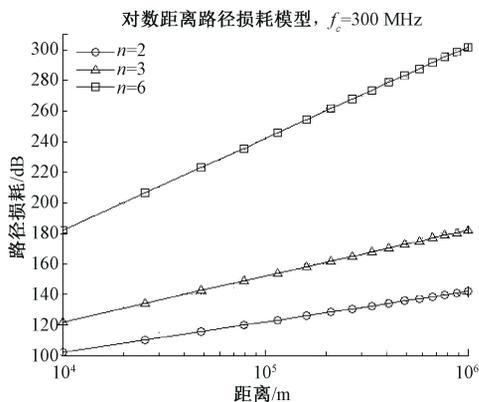


图 3 对空超短波电台对数路径损耗与距离关系

参数  $n$  对衰减的影响为比例关系,对数路径下影响衰减的曲线的斜率。

### 3) 对数正态阴影路径损耗模型

为了考虑周围变化环境因素对传输路径的影响,在式(8)中加入高斯随机变量以便模拟更加真实的环境,得到对数正态阴影衰落模型<sup>[13]</sup>。

$$PL(d) = \overline{PL}(d_0) + X_\sigma =$$

$$PL_F(d_0) + 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (9)$$

式中:  $X_\sigma$  表示均值为 0; 标准差为  $\sigma$  的高斯随机变量。式(9)表示在相同距离  $d$  处的接收机具有不同的路径损耗,并且随着随机阴影变量  $X_\sigma$  而变化,此模型与实际情况更加相符。在 MATLAB 中计算对空超短波电台载波频率  $f_c = 300$  MHz 时的路径损耗,结果如图 4 所示。图中仿真了三次对数正态阴影路径情况下的损耗(随机变量的引入使相同的  $d$  具有了不同的路径损耗)。

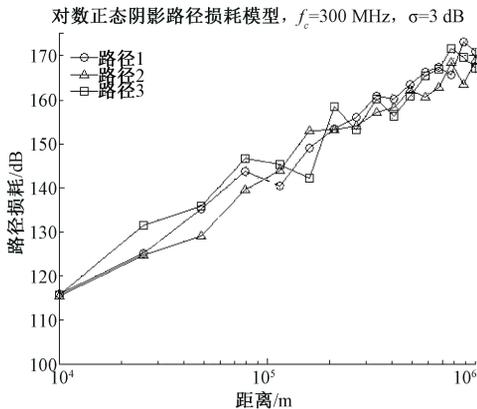


图 4 对空超短波电台对数正态阴影路径损耗模型

从仿真结果可以看出,对空情况下从 10~100 km 路径损耗从 115 dB 增加到 170 dB 左右,考虑到环境的变化,衰减出现一定波动。

## 2.2 小尺度衰落

小尺度衰落指当电台载体移动时接收信号在短期内快速波动。基于船舶对空超短波电台与飞机通信时的环境考虑,多径衰落较为次要,因此本文主要分析多普勒效应(频率色散效应)引起的衰落。由于小尺度衰落较为复杂,本文尝试初步分析其衰落信道的统计特性和生成情况,以加深对船舶对空电台信道传输特性的理解,为设备的使用和掌握打下坚实基础。

对于有一部分散射分量明显强于其他分量的情形,即船舶对空通信的情形,接收信号的幅度服从莱斯分布,相应的衰落过程称为莱斯衰落。通常最强的散射分量对应于 LOS 分量(也称镜像分量)。除了镜像分量外,其他分量都称散射分量<sup>[14]</sup>,其中莱斯因子  $K$  描述了镜像分量功率  $c^2$  和散射分量功率  $2\sigma^2$  之比。

$$K = \frac{c^2}{2\sigma^2} \quad (10)$$

船舶对空通信的场景,存在强路径的 LOS,强路径不会因反射、绕射和散射引起任何损耗,因此接收信号  $x$  的幅度可以表示为  $X = c + W_1 + jW_2$ 。其中,  $c$  表示 LOS 分量;  $W_1$  和  $W_2$  是两个 i.i.d 高斯随机变量,其均值为 0,方差为  $\sigma^2$ 。  $X$  服从莱斯分布,其概率密度函数(PDF)为:

$$f_X(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-(x^2+c^2)/2\sigma^2} I_0\left(\frac{xc}{\sigma^2}\right) \quad (11)$$

式中:  $I_0(\cdot)$  为第一类修正的零阶贝塞尔函数。在 MATLAB 中仿真计算莱斯因子  $K = -40$  和 15 dB 时的接收信号概率密度分布如图 5 所示。其中,  $K = -40$  dB 趋近于散射分量(NLOS)均匀的情况,而  $K = 15$  dB 则代表传播环境服从 LOS(存在镜像分量)。

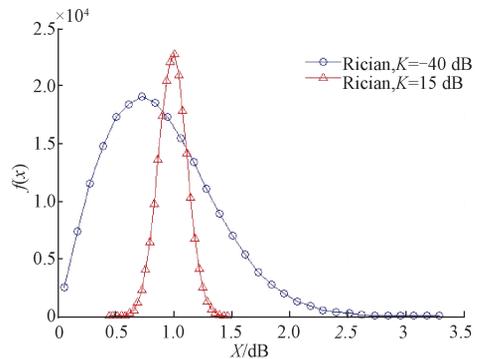


图 5 莱斯信号概率分布

## 3 对空电台使用策略

### 3.1 链路预算计算方法

船舶通过对空电台与飞机进行通信时,可依据上述大、小尺度衰落信道分析,在观察通信双方场景的情况下,选择相应的模型计算信道衰减,计算出通信双方的功率损耗,为沟通和维持通信提供数据支持。

### 3.2 发射功率自适应调整方法

对空电台工作时为保持通信链路的畅通,往往开机时即让机器发出最大功率,依据上述分析,可建立通信双方的发射功率自适应调整方法。在得知船舶与飞机距离的基础上,根据上述信道衰减模型,计算出通信双方合适的发射功率,并视情进行自适应调整<sup>[15]</sup>,在保持链路畅通的同时,可进一步延长设备使用寿命。

### 3.3 机载电台天线安装部位分析

飞机超短波电台天线的安装位置对电台通信的方向性有很大的影响,某型飞机上超短波电台天线安装在发动机整流罩与主旋翼之间主减速器后,经领航员确认,在飞机机首以及机尾方向接收的信号弱于其他方向接收的信号。由于飞机旋翼安装有防雷击导流条,在旋翼旋转时相当于一个很大金属屏蔽体,对入射的电磁波影响很大,尤其对从垂

直旋翼表面入射的电磁波影响更大。因此,优化飞机超短波电台天线安装位置至关重要,应选择接收信号好的位置。

## 4 结 论

针对船舶与飞机通过超短波电台通信链路不稳定的问题,本文在分析超短波传播特性的基础上,建立不同场景下的超短波无线信道模型,并利用 MATLAB 软件仿真计算了各模型场景下对电台功率路径损耗的影响。在此基础上,提出计算链路预算方法、电台发射功率自适应调整方法和机载电台天线安装注意事项,本研究对于改善船舶与飞机超短波电台通信方式具有较大指导意义。

## 参考文献

- [1] 赵文华.海上测控技术名词术语[M].北京:国防工业出版社,2013.
- [2] 简仕龙,费加兵,刘冰.航天测量船海上测控技术概论[M].北京:国防工业出版社,2009.
- [3] 杜思深,甘忠辉,郭建新,等.无线数据通信技术[M].北京:电子工业出版社,2011.
- [4] 吕军.超短波通信联合仿真平台的设计与实现[D].长沙:国防科学技术大学,2012.
- [5] 李照帅.超短波通信静噪关键技术研究及验证[D].成都:电子科技大学,2012.
- [6] 陈艳杰.OFDM 协作通信系统信道估计技术研究[D].洛阳:河南科技大学,2015.
- [7] CHO Y S, KIM J, YANG W Y, et al. MIMO-OFDM 无线通信技术及 MATLAB 实现[M].北京:电子工业出版社,2014.
- [8] 江浩.基于空间统计信道建模及其 MIMO 性能研究分析[D].南京:南京信息工程大学,2015.
- [9] FRIIS H T. A note on a simple transmission formula[C]. IRE, 1964, 34(5):254-256.
- [10] RAPPAPORT T S. Wireless Communications: Principles and Practice 2/E [C]. Prentice Hall, 2001.
- [11] ERCEG V, GREENSTEIN L J, TJANDRA S Y, et al. An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(7): 1205-1211.
- [12] 刘正君. MATLAB 科学计算与可视化仿真[M].北京:电子工业出版社,2009.
- [13] HATA M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services [J]. IEEE Trans. Veh. Technol., 1980, 29(3):317-325.
- [14] 张梦莹.基于 CS 的大规模 MIMO 信道估计技术研究[D].南京:南京邮电大学,2017.
- [15] 左振平.通信设备接口技术及其应用[M].北京:人民邮电出版社,2009.

## 作者简介

**陈永锋**,本科,主要从事卫星通信方面的研究工作。

E-mail:270635370@qq.com

**吴波涛**,硕士,主要研究方向为自动化控制。

E-mail:270635370@qq.com

**赵孟轩**,本科,主要研究方向为通信短波。

E-mail:270635370@qq.com

**张昌穹**,本科,主要研究方向为精密机械。

E-mail:772554527@qq.com