

引用格式:赵元,齐锋,何俊,等.干扰下岸舰通信畅通区可视化仿真研究[J].电光与控制,2019,26(7):105-109. ZHAO Y, QI F, HE J, et al. Visualization simulation research on shore-ship communication area under the condition of interference[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(7):105-109.

干扰下岸舰通信畅通区可视化仿真研究

赵元, 齐锋, 何俊, 张坤
(国防科技大学电子对抗学院, 合肥 230037)

摘要: 岸舰通信作为舰艇编队与陆基指挥所通信的重要手段,保持通信畅通是十分关键的。针对电离层随机变化影响通信畅通区仿真的问题,以战时通信使用频率最高的一跳反射为例,进行了可视化仿真。首先基于工程中常见的电离层模型建立了反射高度的计算模型,提出了有无干扰条件下岸舰通信畅通区计算模型、数据采样和可视化方法,并且基于仿真平台进行了仿真。从实现效果来看,能够满足仿真要求,并且更加直观形象地展现通信状态,为装备的部署和工作参数选择提供方法。

关键词: 岸舰通信; 通信畅通区; 可视化仿真; 电离层模型; 计算模型; 数据采样

中图分类号: E917 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2019.07.021

Visualization Simulation Research on Shore-Ship Communication Area Under the Condition of Interference

ZHAO Yuan, QI Feng, HE Jun, ZHANG Kun

(Electronic Warfare Academy, National University of Defense Technology, Hefei 230037, China)

Abstract: The shore-ship communication is an important means of communication between ship formation and land-based command posts, thus it is crucial to keep communication smooth. To solve the problem that the random variation of ionosphere affects the simulation of smooth communication zone, we took the one-hop reflection with the highest frequency of wartime communication as an example and carried out visual simulation. Firstly, based on the ionospheric model commonly used in engineering, the calculation model of reflection height was established. The calculation model, data sampling and visualization method of the smooth communication area of shore-ship communication with and without interference were proposed, and the simulation was carried out based on the simulation platform. The realization effect showed that: It can meet the simulation requirements, and display the communication status more intuitively, which provides a method for equipment deployment and work parameter selection.

Key words: shore-ship communication; smooth communication area; visualization simulation; ionospheric model; calculation model; data sampling

0 引言

在远海遂行作战任务时,舰艇编队与陆基指挥所的通信尤为重要,主要的通信手段有长波、短波和卫星等,其中,短波通信以其自身的优越性获得青睐。基于此,本文主要考虑岸舰短波通信双方距离远及干扰距离远的情况,即通信及干扰信号均依靠天波传播,提

出一种可视化方法,能够直观形象地展现通信畅通的范围,便于军事人员使用。

1 干扰下岸舰短波通信畅通区计算模型

1.1 电离层反射高度计算模型

短波远距离通信依靠天波传播,是由发射天线向高空辐射,经高空电离层反射后到达地面接收点的传播方式^[1]。天波经电离层反射后,可以传播到几千公里外的地面,但天波传播受电离层变化影响而极不稳定^[2]。电离层是指60~1000 km以上的高层大气,按照电子的分布情况,电离层主要分为D层、E层、F层

收稿日期:2018-08-13

修回日期:2018-09-07

作者简介:赵元(1994—),女,山西晋中人,硕士生,研究方向为电子对抗效能分析与辅助决策。

三层,而且各层的电子密度和高度还会随地理和时间位置的改变而改变^[3]。就短波通信来说,F 层是主要的反射层,D 层主要起吸收作用,E 层则介于两者之间,当电波由 F 层反射时,它是吸收层,条件适当时它又成为反射层^[4]。本文主要研究 E 层和 F 层一跳反射时的情况。

如图 1 所示,工程中常用的电离层剖面模型由 4 个部分构成^[5]。

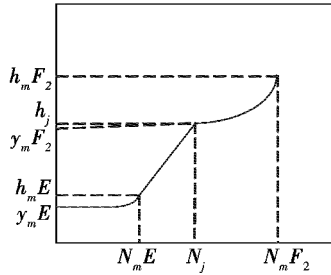


图 1 电离层剖面模型示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the ionospheric profile model

在 E 层最大电子密度 $h_m E$ 以下为 E 层抛物段,用 E 层最大电子密度 $N_m E$ 、最大电子密度高度 $h_m E$ 和半厚度 $y_m E$ 来描述;在 F2 层最大电子密度 $h_m F_2$ 以下为 F2 层抛物段,用 F2 层最大电子密度 $N_m F_2$ 、最大电子密度高度 $h_m F_2$ 和半厚度 $y_m F_2$ 来描述;F1 层状态完全由 E 层和 F2 层参数来确定,在 $h_m E$ 和 h_j 电子密度随高度线性增加。剖面模型的数学表达式^[6]为

$$N_e(h) = \begin{cases} N_m E \left(\frac{h_m E - h}{y_m E} \right)^2 & h_m E - y_m E \leq h \leq h_m E \\ \frac{N_j - N_m E}{h_j - h_m E} h + \frac{(N_m E) h_j - N_j (h_m E)}{h_j - h_m E} & h_m E < h \leq h_j \\ N_m F_2 \left(\frac{h_m F_2 - h}{y_m F_2} \right)^2 & h_j < h \leq h_m F_2 \end{cases} \quad (1)$$

根据 CCIRreport340^[7-8] 和亚大地区 F2 电离层预测方法^[9-11] 可以计算特定时间和地点以上电离层参数的数值。在已知通信发射机工作频率和发射仰角时,可由电波传播理论^[12] 计算得到反射点电子密度,由此计算得到反射高度。将式(1)转换为以电子密度为自变量、反射高度为因变量的数学表达式为

$$h(N_e) = \begin{cases} h_m E - y_m E \sqrt{1 - \frac{N_e}{N_m E}} & 0 \leq N_e \leq N_m E \\ \frac{N_e (h_j - h_m E) - (N_m E) h_j + N_j (h_m E)}{N_j - N_m E} & N_m E < N_e \leq N_j \\ h_m F_2 - y_m F_2 \sqrt{1 - \frac{N_e}{N_m F_2}} & N_j < N_e \leq N_m F_2 \end{cases} \quad (2)$$

1.2 无干扰下通信畅通区计算模型

由 1.1 节中得到的在特定通信频率和入射角时的反射高度 $h(N_e)$,根据通信发射机的位置、反射点高度,可以计算出反射点的位置以及一跳反射的传播距离及位置,其示意图见图 2^[13]。

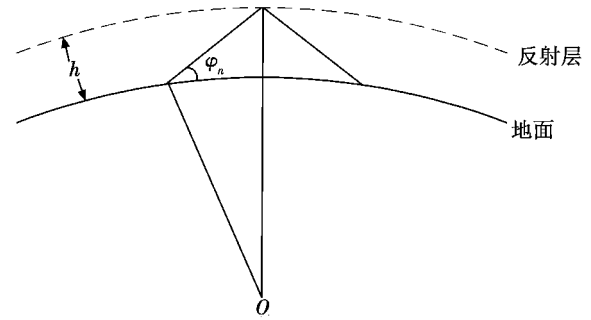


图 2 电磁波反射路径示意图

Fig. 2 Electromagnetic wave reflection path

图 2 中:O 点为地球球心位置; φ_n 为电磁波辐射仰角; h 为 $h(N_e)$,即反射层的高度。由于电磁波在电离层中折射时,向上弯曲段和向下弯曲段可看作是对称的,因此,在求解地面传播距离时,可以将分层折射过程简化为镜面反射,反射点在地面上的投影点到通信发射机的距离为 D 的二分之一。地面传播距离 D 为

$$D = 2h \cdot \tan(90 - \varphi_n) \quad (3)$$

1.3 干扰下通信畅通区计算模型

由于干扰条件下的通信畅通区不是规则图形,所以不能通过统一的计算公式得到边界数据。因此,在计算干扰下通信畅通区时,将干扰区域离散化,计算离散点的干信比与压制系数的关系来得到干扰有效点,与无干扰时的通信畅通区结合展示,即达到了获得干扰下通信畅通区的目的。

首先介绍干扰区域的计算方法。干扰区域的计算方法与无干扰下的通信畅通区计算方法相同。天波干扰通常使用全向天线(如伞状天线),能够实现在全方位进行干扰。因此利用式(3)在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 范围内计算仰角范围的通信距离可得干扰区域。

岸舰通信时,通信双方距离远,干扰距离远。考虑通信和干扰均为天波传播时,压制系数的算式为

$$K = \left(\frac{E_{ig}}{E_u} \right)^2 \quad (4)$$

式中: E_{ig} , E_u 分别为天波干扰电场强度和天波通信电场强度。

根据天波传播理论,接收点的场强可估算^[14] 为

$$E_u = 104.76 + 10 \lg P + G_t - 20 \lg D_x - L_g - L_y \quad (5)$$

式中: P 为通信发射机的发射功率,单位为 kW; G_t 为通信发射机的增益,单位为 dB; D_x 为电磁波经电离层反

射的斜距,单位为 km; L_g 为反射损耗,单位为 dB,假设电磁波均以一次而非多次反射,反射损耗认为是零; L_e 为额外系统损耗,单位为 dB,它是其他原因造成损耗的总和,中纬度地区在 15 ~ 18 dB 范围,为提高干信比计算的可靠性,通信方的额外系统损耗与本地时间有关,可按表 1^[15] 数据进行估算。

表 1 额外系统损耗与地方时的关系

Table 1 The relationship between extra system loss and local time

| 时间 | 损耗/dB | 时间 | 损耗/dB |
|---------------|-------|---------------|-------|
| 22:00 ~ 04:00 | 18 | 10:00 ~ 16:00 | 15.4 |
| 04:00 ~ 10:00 | 16.6 | 16:00 ~ 22:00 | 16.6 |

由此,天波通信接收点场强的算式简化为

$$E_u \approx 104.76 + 10\lg P + G_t - 20\lg D_s - L_e \quad (6)$$

同理,利用天波干扰时,额外损耗取 18 dB,另外考虑电离层的吸收损耗,约为 10 dB,接收点的干扰信号电场强度为

$$E_u \approx 76.76 + 10\lg P + G_t - 20\lg D_s \quad (7)$$

根据以上方法,可以对接收点的干信比进行计算,判断干扰有效与否。

图 3 所示为基于网格法计算有效干扰压制离散点示意图,其中 T 为通信发射机位置, J 为干扰机位置。在计算干扰下通信畅通区时,首先根据计算模型得到通信发射机在方位角范围和仰角范围内的通信畅通区以及干扰机的干扰区(干扰信号可到达的区域),假设图 3 中四边形为通信畅通区,环形为干扰区,交集区域则为可能干扰有效的区域,按照干扰机的方位角将交集区域分为多个网格,对网格顶点(图中 3 所示)进行干信比分析,若大于压制系数,则干扰有效,否则,仍能正常通信。将有效干扰的顶点集看作一个区域,由无干扰时的通信畅通区“减”去这个区域,则得到干扰下通信畅通区。即设通信畅通区为 Q_r , 干扰区为 Q_j , 有效干扰点组成的集合为 Q_s , 干扰下通信畅通区为 $Q_r - Q_s$, 并且 $Q_s \subseteq (Q_r \cap Q_j)$ 。

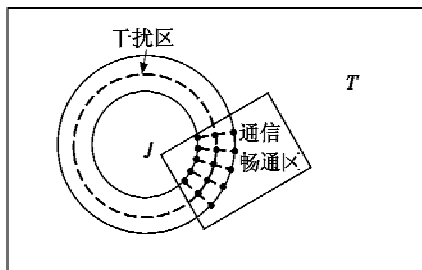


图 3 基于网格法计算有效干扰压制离散点示意图

Fig. 3 Schematic diagram of calculating effective interference suppression discrete points based on grid method

2 岸舰短波通信畅通区数据采样

2.1 无干扰下通信畅通区数据采样

定义采样过程中用来存储通信信号反射到海面点的位置的数组: $m_ReceiveData [m_TBHDataNum][m_TBVDataNum]$; $m_TBHDataNum$ 为方位角取样数量; $m_TBVDataNum$ 为俯仰角取样数量。对数组 $m_ReceiveData$ 中的数据进行采样的流程如图 4 所示。

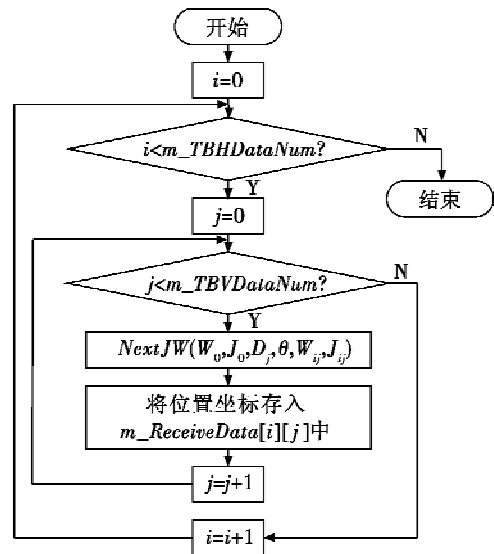


图 4 海面接收点位置采样示意图

Fig. 4 Location sampling of sea surface receiving point

图 4 中, D_j 为当前方位角和仰角时的海面通信距离。 θ 为当前方位角, $\theta = \theta_0 + \Delta\theta \times i$ 。经过采样,将方位角范围和仰角范围内反射到海面点的位置均存入数组中,该数组的数据将决定无干扰下海面通信畅通区的绘制。

2.2 干扰下通信畅通区数据采样

干扰下通信畅通区采样主要是对于干扰区域采样位置和基于网格法计算的达到压制系数的离散点位置的采样。

2.2.1 干扰区域采样点位置数据的采样

干扰区域是指干扰机发出的干扰信号可传播的区域。方位角范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$, 仰角范围为 $[\varphi_{j0}, \varphi_{jn}]$ 。设方位角的采样间隔为 $\Delta\theta_j$, 仰角的采样间隔为 $\Delta\varphi_j$,

$$\text{令: } m_TBJHDataNum = \frac{360}{\Delta\theta_j}, m_TBJVDataNum = \frac{\varphi_{jn} - \varphi_{j0}}{\Delta\varphi_j}.$$

定义二维数组 $m_ReceiveJData [m_TBJHDataNum][m_TBJVDataNum]$, 用来存储干扰信号反射到海面点的位置,其采样流程如图 5 所示。

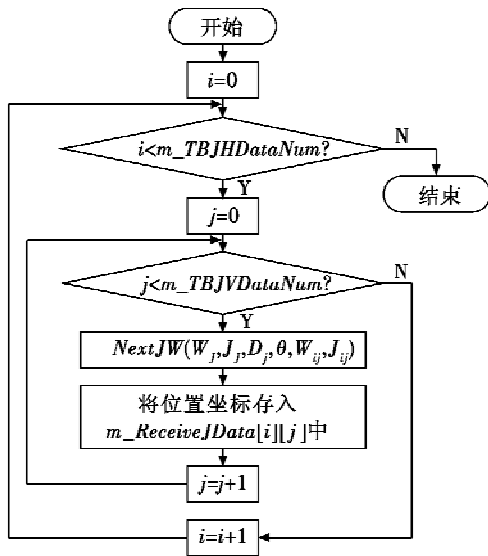


图5 干扰区域采样示意图

Fig. 5 Interference area sampling diagram

2.2.2 有效干扰离散点位置数据的采样

确定有效干扰离散点的位置,首先要确定通信区和干扰区重合的区域,然后对网格顶点进行压制系数计算,对达到压制系数的点进行采样。

1) 确定通信区和干扰区重合的区域。

以通信发射机为观察点,利用 Angle 函数计算 $m_ReceiveJData$ 和发射机连线与正北方向夹角,即两点间的方位; $m_azimuth = Angle(W_0, J_0, W_{ij}, J_{ij})$ 。 $m_azimuth$ 为方位角,判断 $m_azimuth$ 是否在通信畅通区方位角范围内。若满足条件,则该点在重合区域,否则,该点不在重合区域。

2) 对在重合区域的点进行压制系数计算。

干扰区域是以四边形为基本曲面绘制的,所以以采样点作为网格法顶点进行计算是合理的。利用 1.3 节的方法计算压制系数。

3) 对满足条件的点进行采样。

将计算结果中达到压制系数的顶点位置存入数组中。定义数组 $m_JamData$,用来存储这些点的位置。

3 岸舰短波通信畅通区三维可视化

3.1 无干扰下海面通信畅通区可视化

无干扰下海面通信畅通区可视化主要是对数组 $m_ReceiveData$ 的数据进行组织与绘制。以四边形为基本面,绘制流程如图6所示。

3.2 干扰下海面通信畅通区可视化

干扰下海面通信畅通区的可视化分为干扰区域可视化和有效压制离散点可视化。

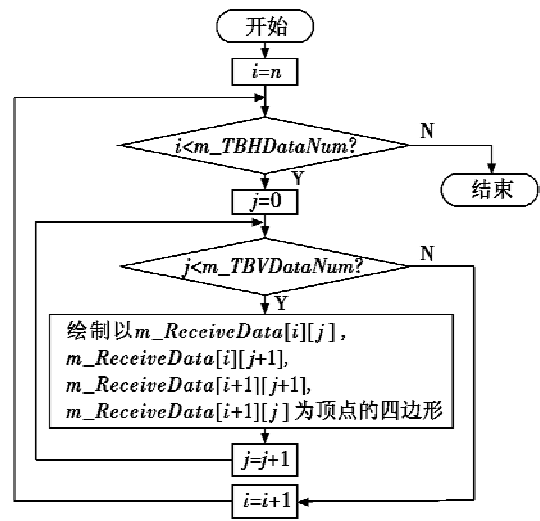


图6 无干扰海面通信畅通区绘制流程图

Fig.6 Flow chart of sea surface communication area without electronic interference

干扰区域可视化方法与无干扰时相同,以干扰机为电波辐射点, $m_ReceiveJData[i][j]$ 数据为顶点,利用四边形绘制方法将数据展现出来。绘制流程图只需将图6中 $m_ReceiveData$ 替换为 $m_ReceiveJData$ 即可。

有效压制离散点可视化是将采样得到的 $m_JamData$ 数组的数据利用点绘制的方法: $GLDrawPoint(m_ReceiveJData[j][i])$ 将 $m_ReceiveJData[j][i]$ 中的数据顺序取出,将存储的位置绘制成点并且加粗显示,效果图将在下文展示。

4 示例仿真

仿真模拟红蓝对抗时,蓝方陆基短波电台对海面舰艇实施指挥,红方干扰机对其实施干扰。为准确反映海面通信情况,仅对海面通信畅通区进行仿真,效果如图7所示。由图7可直观地看出干扰前后通信畅通区的变化情况,其中,蓝色扇面为通信畅通区,红色环形为可干扰区域,加深的红色离散点为达到干扰系数有效压制的区域。

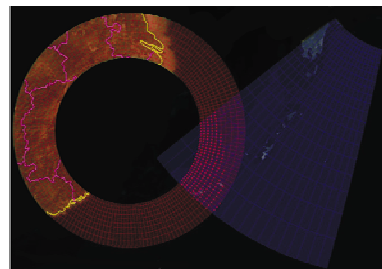


图7 干扰下海面通信畅通区仿真效果图

Fig.7 Simulation effect of sea surface communication area under electronic interference

5 结束语

本文基于电离层模型提出了有无干扰条件下岸舰通信畅通区计算模型、数据采样和可视化方法,并且进行了仿真。从实现效果来看,能够直观形象地展现通信状态,为装备的部署和工作参数选择提供方法。后续工作可对短波通信的其他情况进行拓展研究,完善可视化仿真系统。

参考文献

- [1] 黄威刚,郑红,张兵. 编队岸舰短波通信组网研究[J]. 信息通信,2014(2):13-14.
- [2] 邬昊愨. 对于远距离高频通信频率的选择与分析[J]. 科技创新导报,2011(32):51-52.
- [3] 李伟. 论电离层特性对短波传输的影响[J]. 数字传媒研究,2016,33(6):68-71.
- [4] 孙雷. 短波在无线电通信中的作用及特点[J]. 信息技术,2005(5):86-88.
- [5] 焦培南,杨龙泉,凡俊梅. 短波天波反射/地波绕射组合新传播模式及其可能应用[J]. 电波科学学报,2007,22(5):746-750.
- [6] 邹伟,候德亨,王芊,等. 高功率微波在电离层中传播的折射率研究[J]. 强激光与粒子束,2006,18(10):1673-1676.
- [7] 周文瑜,焦培南. 超视距雷达技术[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [8] 戴开良,罗发根,权坤海,等. 亚大地区 F2 电离层预测方法和 CCIR 方法的比较[J]. 空间科学学报,1992,12(2):153-156.
- [9] 李忠勤,权坤海,张雪枫,等. 对 CCIR 预测 f_0F_1 方法精度检验[J]. 电波科学学报,1993,8(3):82-87.
- [10] 孙宪儒. 亚大地区 F2 电离层预测方法[J]. 通信学报,1987,8(6):37-44.
- [11] 丁峻岭. 亚大地区 F2 电离层预测模型[J]. 信息工程学院学报,1996,15(4):28-33.
- [12] 宋铮,张建华,黄冶. 天线与电波传播[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2011:242-245.
- [13] 陈洪普,卢雷. 高频电离层传播轨迹研究[J]. 曲阜师范大学学报,2017,43(2):65-69.
- [14] 李有才,王然,陈锐龙. 基于电场强度的短波干扰压制系数估算[J]. 舰船电子对抗,2008,31(6):22-25.
- [15] 王睿,张海勇,杨曦. 远距离短波通信最低可用频率的计算[J]. 舰船科学技术,2008,30(6):83-85.
- (上接第99页)
- [6] CHANG G. Kalman filter with both adaptivity and robustness[J]. Process Control, 2014, 24(3):81-87.
- [7] MEDEIROS C B, WANDERLEY M M. Multiple-model linear Kalman filter framework for unpredictable signals[J]. IEEE Sensors Journal, 2014, 14(4):979-991.
- [8] CHANG L, HU B, LI A, et al. Transformed unscented Kalman filter[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2013, 58(1):252-257.
- [9] 岳晓奎,武媛媛,吴侃之. 基于电磁信息的航天器位姿估计迭代算法[J]. 西北工业大学学报,2011,29(4):559-563.
- [10] 毛秀华,吴健. 卡尔曼滤波算法研究[J]. 舰船电子对抗,2017,40(3):64-68.
- (上接第104页)
- [12] HARTLEY R, ZISSERMAN A. Multiple view geometry in computer vision[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [13] WU C, AGARWAL S, CURLESS B, et al. Multicore bundle adjustment[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011:3057-3064.
- [14] SNAVELY N, SEITZ S M, SZELISKI R. Photo tourism: exploring photo collections in 3D[J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2006, 25(3):835-846.
- [15] BYRÖD M, ÅSTRÖM K. Conjugate gradient bundle adjustment[C]//The 11th European Conference on Computer Vision-ECCV, 2010:114-127.
- [16] AGARWAL S, SNAVELY N, SEITZ S M, et al. Bundle adjustment in the large[C]//The 11th European Conference on Computer Vision-ECCV, 2010:29-42.
- [17] GAO X S, HOU X R, TANG J, et al. Complete solution classification for the perspective-three-point problem[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(8):930-943.
- [18] BRADSKI G. The OpenCV library[J]. Journal of Software Tools, 2000, 25(11):384-386.