

# Study on Performance of Sea Level Wireless Communication under High Frequency Signal

Ran Zhu, Kaixiang Hou

College of Electrical Engineering and Automation, Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong

Email: 598229656@qq.com, 1013448558@qq.com

Received: Jul. 2<sup>nd</sup>, 2018; accepted: Aug. 8<sup>th</sup>, 2018; published: Aug. 15<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

This thesis mainly studies the multi hop propagation mode of high frequency radio electromagnetic wave, and establishes a mathematical model of the reflection of high frequency electromagnetic wave signals in ionosphere and sea surface. By analyzing the dynamic characteristics of sea water, the reflection process of the signal in calm sea and rough sea is simulated, and the transmission loss is quantitatively and qualitatively studied. On the premise of reasonable hypothesis, the calculation formula of maximum propagation hops in multi hop mode is obtained, the influence of related variables on jumping number is analyzed and the changed curve is drawn.

## Keywords

High Frequency Electromagnetic Wave Signal, Reflection, Multi Hop Mode

---

# 高频信号下海平面无线通信性能研究

朱 然, 侯凯祥

山东科技大学, 电气与自动化工程学院, 山东 青岛

Email: 598229656@qq.com, 1013448558@qq.com

收稿日期: 2018年7月2日; 录用日期: 2018年8月8日; 发布日期: 2018年8月15日

---

## 摘 要

本论文主要研究高频无线电波的多跳传播模式, 建立高频电磁波信号在电离层和海面发生反射的数学

模型, 通过分析海水的动态特性模拟了信号在平静海面和汹涌海面的反射过程, 对其传播损耗进行了定量和定性的分析, 在合理假设的前提下得到了多跳模式最大传播跳数的计算公式, 并分析了相关变量对跳数的影响, 绘制了变化曲线。

## 关键词

高频电磁波信号, 反射, 多跳模式

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

3~30 MHz 的高频电磁波信号也称为短波或天波, 主要依靠电离层对短波的一次或多次反射进行长距离无线电通信传输[1], 可以在电离层和地面之间连续跳跃式前进, 由于电离层是不稳定的, 它的厚度、高度和密度随时都在变化, 白天更加明显, 因此电离层的反射面特性决定了反射强度和信号在保持有用信号完整性的情况下, 最终能传输多远, MUF 之上的频率穿过电离层进入太空[2] [3]。

高频电磁波信号的传输理论在地面环境下较为成熟, 但在海平面环境下由于海水波动的特殊性, 高频电磁波信号反射到海平面时诸多因素直接影响到反射的效果。如海洋湍流将影响海水的电磁梯度, 改变海洋的局部渗透系数和渗透性, 改变反射面的高度和角度。海浪的高度、形状和频率都在迅速变化, 波动的方向也可能改变[4] [5] [6]。

为便于系统的分析, 本文假设大气电离层是一种平面形式, 而不是球形, 电离层是一种各向同性的介质; 高频电磁波信号是一种圆偏振波[7]。本文给出一种高频电磁波信号在海平面的信号反射数学模型建立方法, 使得能够计算 100 瓦高频恒定载波信号从汹涌海面和平静海面反射的第一次反射强度及最大跳数。

## 2. 多跳模式传播损耗模型

多跳传播是高频电磁波信号通过空气在电离层和地面之间的传播, 高频电磁波信号可以通过多次跳跃在电离层和地球表面之间来回反射。多跳传播模式如图 1 所示, 使用这种传输方式, 可以接收来自远程发射机的信号。

高频电磁波信号的多跳传播损耗主要由四部分组成, 即大气传播损耗、电离层反射损耗、海平面反射损耗和额外系统损耗。因此高频电磁波信号在电离层和海平面之间发生反射的多跳传播损耗模型如图 2 所示。

在图 2 中,  $LossA$  为高频信号在大气间的传播损耗;  $LossB$  为高频信号在电离层发生反射的损耗;  $LossC$  为信号在海面发生反射的损耗。

因此高频电磁波信号在电离层和海平面之间发生反射的多跳传播损耗可表示为:

$$L_{dB} = m \cdot LossA + n \cdot LossB + v \cdot LossC \quad (1)$$

其中  $m$  为高频信号在大气间传播损耗产生的次数,  $n$  为高频信号在电离层发生反射损耗产生的次数,  $v$  为信号在海面发生反射损耗产生的次数。

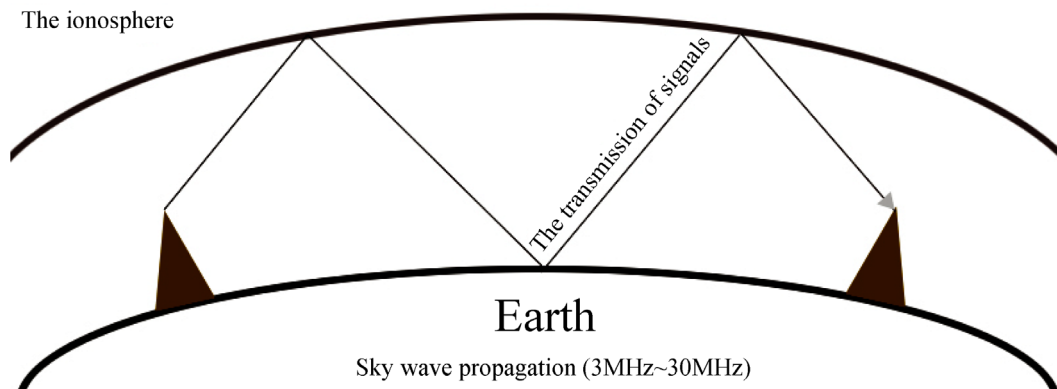


Figure 1. Multi hop transmission mode  
图 1. 多跳传播模式

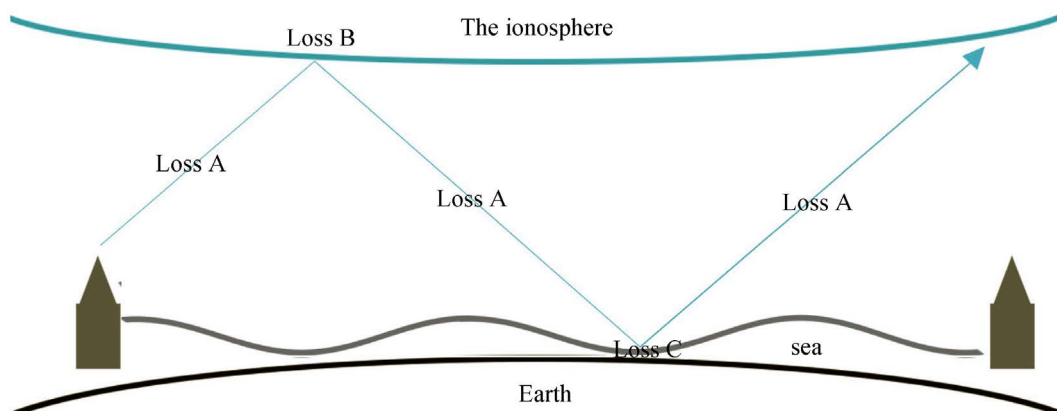


Figure 2. Multi hop propagation loss model of high frequency electromagnetic wave between ionosphere and sea level  
图 2. 高频电磁波信号在电离层和海平面间多跳传播损耗模型

为便于进行系统的分析, 针对图 2 所示的高频电磁波信号在电离层和海平面间多跳传播损耗模型, 由于传输线路较远, 本文假设大气电离层为平面形式, 而不是球面形式, 这样将图 2 进行简化, 图 3 给出简化后的平静海平面环境下的多跳传播损耗模型。图 3 中  $P_t$  为载波信号发射功率,  $P_r$  为接收端信号功率,  $h$  为大气电离层高度,  $\alpha$  为载波信号的入射角度。高频电磁波信号完成一跳的大气间传播损耗可以表示为:

$$LossA = L_{dB1} + L_{dB2}$$

其中  $L_{dB1} = L_{dB2}$ , 且公式(1)中有  $m = 2, n = 1, v = 1$ 。

故得高频电磁波信号在电离层和海平面之间发生反射完成一跳传播损耗为:

$$L_{dB} = 2 \cdot (L_{dB1} + L_{dB2}) + LossB + LossC$$

### 2.1. 高频电波在大气间传播损耗模型

为了简化模型, 本文假设地面和大气之间高频电磁波信号传播为自由空间中进行, 自由空间是指无任何衰减、无任何阻挡、无任何多径的传播空间。理想的无线传播条件是不存在的, 一般认为只要地面上空的大气层是各向同性的均匀媒质, 其相对介电常数  $\epsilon$  和相对导磁率  $\mu$  都等于 1, 传播路径上没有障碍物阻挡, 到达接收天线的地面反射信号场强也可以忽略不计, 在这样的情况下, 电波的传播方式就被认

为是在自由空间传播。通常卫星通信和微波通信都被认为是在理想信道中的通信。对于自由空间损耗有:

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = \frac{(4\pi f d)^2}{c^2} \tag{2}$$

则有:

$$L_{dB1} = 10 \lg \frac{P_t}{P_r} = 20 \lg \frac{4\pi f d}{c} = 20 \lg f + 20 \lg d + 32.44 \text{ dB} \tag{3}$$

其中入射角设为  $\alpha$ , 则  $d = h/\sin \theta$ 。

公式(3)可表示为

$$L_{dB1} = 20 \lg f + 20 \lg h - 20 \lg \sin \alpha + 32.44 \text{ dB}$$

我们对高频信号在自由空间中传播的损耗进行仿真, 得到了自由空间损耗与入射角和频率的关系, 结果如图 4 所示。

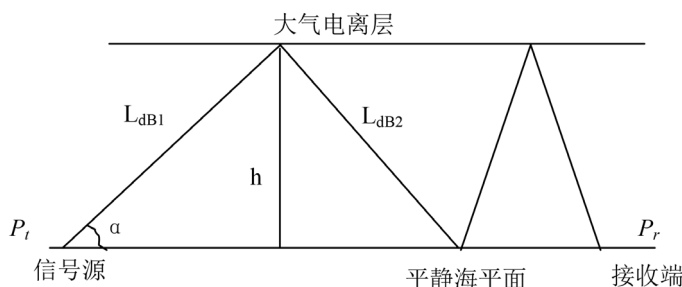


Figure 3. Multi hop propagation loss model under the calm sea level environment

图 3. 平静海平面环境下的多跳传播损耗模型

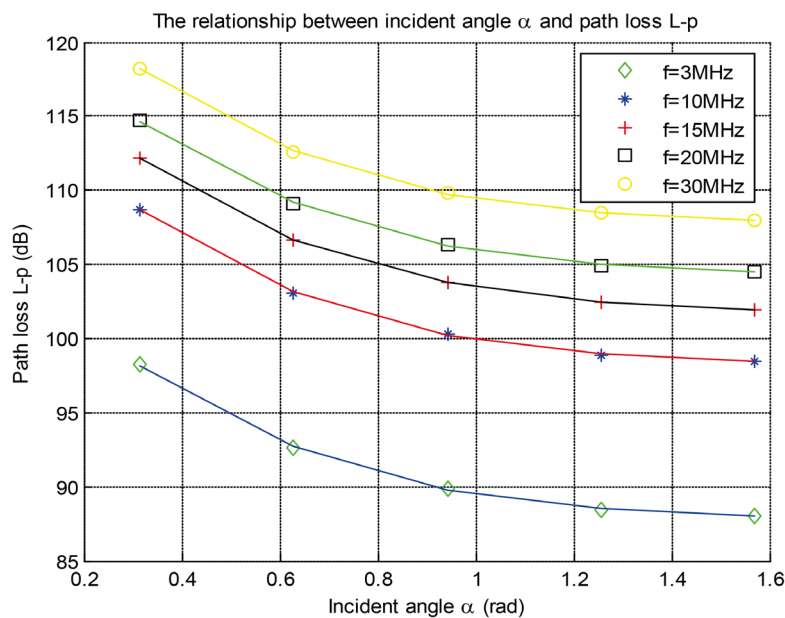


Figure 4. The relationship between free space loss and incidence angle and frequency

图 4. 自由空间损耗与入射角和频率的关系

从图 4 中可以看出, 当入射角  $\alpha$  确定时, 载波信号频率越高其路径损耗越大。当载波信号频率  $f$  确定时, 入射角  $\alpha$  越大其路径损耗越小。

## 2.2. 高频信号在电离层发生反射的损耗模型

通常认为中、短波波段的无线电波在正常情况下的电离层中的传播是满足几何光学近似条件的, 因而可以用射线理论来分析。为使讨论简化并能建立起明确的物理概念, 在讨论中暂不考虑地磁场的影响, 而把电离层看成是各向同性的媒质。此时, 电波传播的理论计算比较简单, 而且计算误差不大。在以下的讨论中都是以此假设为前提的[8]。

当  $f < f_{MUF}E(d)$  时, 电离层吸收的修正项为:

$$A_{Ec} = 1.359 + 8.617 \ln \frac{f}{f_{MUF}E(d)} \quad (4)$$

$$f_{MUF}E(d) = f_c(E) \cdot \sin i_{100}$$

(4)式中,  $f_{MUF}E(d)$  为地面距离为  $d$  的  $E$  层传播模式的最高可用频率;  $f_c(E)$  为  $E$  层的临界频率。

当  $A_{Ec} > 0$  dB 或  $f \geq f_{MUF}E(d)$  时,  $A_{Ec}$  取 0; 当  $A_{Ec} < -9$  dB 时,  $A_{Ec}$  取  $-9$  dB。

则为方便计算近似取  $\beta_{\text{白天}} = 0.10$ ;  $\beta_{\text{晚上}} = 0.25$ 。

由于海水是动态流动的, 所以同一信号在不同时间到达海面时, 其反射信号的方向和大小都是会发生改变的, 故在一定时间内总的信号的强度的衰减量要比在平静海面的衰减量大。本文假设高频电磁波信号在平静海面反射系数为  $K$ , 因此无线电波第一次到达海面经海面反射后总的传播路径损耗可简化表示为:

$$L_{dB} = 2L_{dB1} + \beta L_{dB1} + \kappa(2L_{dB1} + \beta L_{dB1}) = (2 + \beta + 2\kappa + \kappa\beta)L_{dB1} = (2 + \beta)(1 + \kappa)L_{dB1} \quad (5)$$

## 3. 性能分析

因为电离层反射主要发生在电离层的 F 层, 离地约为 200 km, 故我们假设  $h = 200$  km。本文取接收机灵敏度为  $-100$  dBm, 同时按照信号在强度低于可用信噪比(SNR)阈值 10 dB 的要求, 对系统性能进行相应的定量分析。

当设定入射角  $\alpha$  为  $45^\circ$ , 频率为 10 MHz, 高频信号在海面上的反射系数取合理的数值时, 可求解出高频电磁波信号在电离层和海平面之间发生反射的多跳传播损耗。当信号发射功率  $P_t = 100$  W 时, 通过与传播时允许的最大损耗相比较, 无线高频电磁波信号在电离层和海平面之间发生的反射不能完成 1 跳。

## 参考文献

- [1] Stallings, W. 无线通信与网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] 杨家玮. 移动通信基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [3] 潘威炎. 利用罗兰-C 讯号获取低电离层等效反射高度和反射系数的一种方法[J]. 电波科学学报, 1998, 1(1): 28-40.
- [4] 攸阳. 基于计算机仿真的短波通信网覆盖分析[J]. 无线电通信技术, 2012, 38(5): 19-25.
- [5] Park, S. and Oh, Y. (2016) Accuracies of Theoretical and Communication Models for Estimating Reflection Coefficients of Rough Sea Surfaces. 2016 *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Beijing, 10-15 July 2016, 3699-3701. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7729958>
- [6] 李志强, 等. 短波无线信道特性的计算方法及其仿真[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(4): 55-58.
- [7] 黄芳. 白频谱下考虑船体晃动的电波传播特性研究[J]. 2015, 39(13): 140-144.
- [8] 张瑜. 电磁波空间传播[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2010.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3983，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjwc@hanspub.org](mailto:hjwc@hanspub.org)