

实现地球空间极地短波通信设计与仿真研究

邹国良,叶建成

(上海海洋大学信息学院,上海 201306)

摘要:在地球空间极地通信优化设计的研究中,由于极地的地理位置特殊,实现极地到中国大陆的通信较为不便。传统的极地通信方法为租用卫星,而租用卫星的价格昂贵,且带宽不会很高,存在安全隐患,在太阳耀斑活跃期的信号干扰很严重,也无法实现极地全范围的覆盖。针对上述问题提出了一种空间极地短波通信的方法作为一种备用的通信手段,通过计算短波一次跳跃的极限距离结合发射地和目的地的路程算出所需跳跃次数和发射角度,设计了一个五次跳跃的模型,根据电离层电子密度选取发射频率,计算信号传播中的损耗再结合收音机的最低灵敏度算出最低发射功率,解决了传统的通信方法存在的缺陷。最后通过 VOACAP 在线仿真软件对路径连通性进行了仿真,验证了提出模型的可信性。

关键词:极地通信;电离层反射;多跳路径;最低发射频率

中图分类号: TN391.9 **文献标识码:** B

A Design and Simulation Implementation the Earth's Spatial Polar Communication by Short Wave

ZOU Guo-liang, YE Jian-cheng

(College of Information, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: Because of the special geographic position of polar, the implementation of communication from polar to mainland is inconvenience. In this paper, we proposed a spatial polar short wave communication method as a backup communication method. Through calculating the limit distance of one hop of short wave and the distance from launching point to destination, we obtained the hop times and emission angle, and designed a five-hops model. According to the ionosphere electron density, we selected the transmission frequency. Then we calculated the loss in transmission, obtained the minimum emission power based on the minimum sensitivity of receiver, and solved the defects of traditional communication method. Finally, through VOACAP online simulation software, we simulated the connectedness of the path and proved the credibility of the model.

KEYWORDS: Polar communication; Ionosphere reflection; Multi-hop path; Minimum emission power

1 引言

上世纪八十年代以来,国家对南极洲的研究不断深入,目前我国在南极已经建成了四个科学考察站,南极泰山站,是继长城站、中山站、昆仑站之后中国的第四个南极科学考察站。要实现极地到我国大陆的通信则很不方便,目前传统的通信方式是通过租用别国的卫星,而使用卫星通信价格昂贵,带宽受限制,且卫星信号也不能覆盖整个南极,更为重要的是获取的科研信息是极其宝贵的,租用别国的卫星并不是绝对安全的。考虑到短波通信不仅价格低廉,是卫星通信的几十分之一,在太阳风暴爆发期间,或者太阳耀斑活跃期也能工作,且由自主开发设计的系统,也会更加的安全可靠,因

此提出了一种依靠短波经电离层与海面多次反射而实现通信的方法。

设计先是通过计算短波一次传播的极限距离,再以南极泰山站为目的地,上海市为基站,期间 12000km 的路程为传输距离来设计了一个五跳的模型;再根据电离层的分布特性和电子密度选取短波的最佳发射频率;然后结合传输中的损耗以及接收机的最低接收灵敏度来计算最低发射功率;最后再经过仿真分析验证了模型设计的可信性。

2 短波电离层反射原理

短波一般是指频率在 3 ~ 30MHz 的无线电波,短波以天波形式传播时,在电离层中所受到的吸收作用小,有利于电离层的反射。短波经过一次反射可以得到 100 ~ 4000km 的跳跃距离。经过电离层和大地的几次连续反射,传播的距离

更远,而超短波或其它波段的波的传输距离比短波逊色很多,故不作考虑。

电离层是地球大气的一个电离区域。距地表 60 千米以上的整个地球大气层都处于部分电离或完全电离的状态,电离层是部分电离的大气区域。其中存在相当多的自由电子和离子,能使无线电波改变传播速度,发生折射、反射和散射,产生极化面的旋转并受到不同程度的吸收。电离层一共有三层,分别是 D 层、E 层、F 层,其中 F 层又可分为 F1 和 F2 层。F 层距离地球表面的距离约为 130 ~ 400km,系统主要依靠 F 层的反射实现数据的传输。由于光照的影响,电离层浓度在白天和夜晚差距很大,白天存在的 D 层和 E 层在夜晚基本消失,而夜晚 F1 和 F2 层会重叠在一起,在白天的 10 点 ~ 16 点和夜晚的 22 点 ~ 4 点是电离层浓度最稳定的时刻,这时对电波的反射效果最好,地理层昼夜分布情况如图 1 所示。

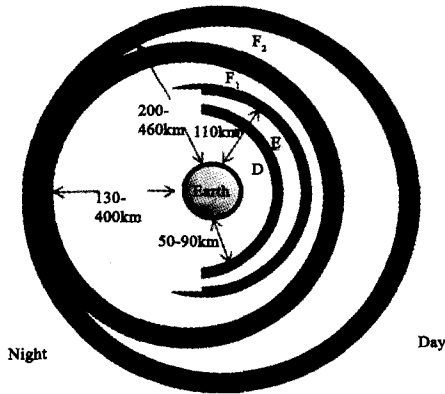


图 1 电离层昼夜分布图

该文主要通过计算短波通信的最大一次最大传输路径,再改变角度,实现了在跳数最少的模型来实现从南极洲泰山站到上海市基站的短波通信,综合分析了发射频率选取,最低发射功率设计,通过仿真分析,这种模型的精度能够达到 70%。主要利用 F 层来进行短波信号的反射,因为 F 层的电离层浓度基本稳定,受昼夜的影响较小,当短波信号以一定的人射角度发射,到达 F 层以后经过电离层的反射可实现远距离的传播,通过调节发射的角度,可以改变传输的距离。由于模型是按南极洲泰山站至上海市的超远距离设计的,所以经过一次反射无法实现,需要多次的反射,因为路程中的区域基本上都是平静的海域,而海水是导体,平静的海水可以对电波起到很好的反射作用,这样一来,进过从发射站到电离层,再到海面,再到电离层的多次跳跃,信号最终传输到上海市建立的接收站。

3 短波多跳路径设计

3.1 短波一次跳跃的极限距离

当发射角度与地面平行时所能达到的距离最远,取电离层 F 层距地面的平均距离为 300km 计算,如图 2 所示的模

型,其它各参数在图中标出,x 是一跳距离的一半,y 是地球表面到一跳直线距离的垂线距离, θ_1 是跳跃的直线距离和地球半径的夹角, θ_2 是电离层反射点与地球表面切线与一跳直线距离所成的夹角。

设一跳传输的极限距离为 $2x$,由图 2 中参数列如下方程

$$\cos \theta_1 = \frac{x}{6370} \quad (1)$$

$$\theta_2 = 90^\circ - \theta_1 \quad (2)$$

$$\tan \theta_2 = \frac{y + 300}{x} \quad (3)$$

$$\sqrt{6370^2 - x^2} = 6370 - y \quad (4)$$

根据方程(1) ~ (4) 解得 $x \approx 1900\text{km}$,
既短波一跳的最远距离约为 3800km。

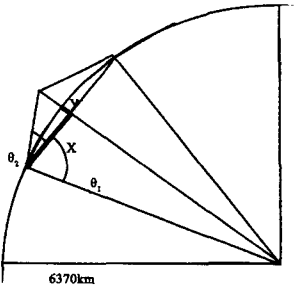


图 2 短波一跳模型

3.2 多跳路径设计

由 3.1 节的分析可知,短波一跳的极限距离约为 3800km,而泰山站至上海市的距离约为 12000km,所以要实现传输,则至少需要进行 4 次跳跃,由于障碍物的存在,发射的角度不能是 0 度,当发射角度设为 5 度时,利用式(1) ~ (4) 计算得出一次跳跃的距离为 2860km,而此时 4 跳的距离约为 11440km,而且传输的路线为折线,所以无法实现泰山站至上海基站的传输,跳数至少是 5 跳,根据假设,来构建跳数为 5 次时的模型。如图 3 所示,其中, θ_3 是一次反射所对应弧度的一半, θ_4 是反射点与入射点的连线与传输的直线距离所成的夹角,五次反射对应的总的弧度数记为 θ_{total} 。

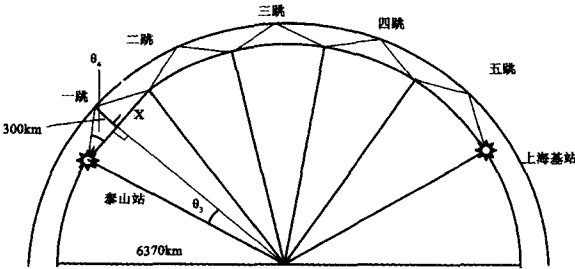


图 3 短波五次跳跃模型

根据传输的距离是 12000km 计算,可以得到传输线路跨越的弧度大小为

$$\theta_{total} = \frac{12000}{6370 \times 2} \times \frac{\pi}{2} = 169.5^\circ$$

所以每次跳跃跨越的角度为 $\theta_{total}/5 = 33.9^\circ$, 所以 $\theta_3 = \theta_{total}/2 = 16.95^\circ$, 利用方程 $\sin\theta_3 = x/6370 = 0.2915$, 得出一次跳跃距离的一半 $x = 1857\text{km}$, $y = 277\text{km}$, 再利用3.1节中的式(3)算得 $\theta_4 = 17.55^\circ$, 由此可得出发射的角度 $\theta = 90^\circ - 16.95^\circ + 17.55^\circ - 90^\circ = 0.6^\circ$, 即当发射的角度为 0.6° 时, 经过电离层五次反射, 可实现短波信号从南极泰山站到上海市基站的传播, 虽然发射角度较小, 但只要发射天线的高度足够, 且传输路径基本是海面, 无障碍物存在, 设计可以实现。

4 发射功率设计

为了使发射功率经过电离层和空间以及海面传播损耗后能够达到接收机的最低接收灵敏度范围内, 需要综合考虑发信机的发射频率以及传播损耗, 通过计算得到最低的发射功率。

4.1 电离层的临界频率和最大反射频率计算

当反射点电子密度 $N_n = N_{max}$ 时, 建立如下公式

$$f_c = \sqrt{80.8 N_{max}} \quad (5)$$

$$f_{max\varphi} = f_c \sec\varphi \quad (6)$$

式中 f_c 称为临界频率, 它是当电波垂直入射时所能反射回来的最高频率 $f_{max\varphi}$ 表示对应于一定的 φ , 从 N_{max} 处反射的最大频率。 f_c 不仅说明了电离层 N_{max} 的情况, 且反映了电离层对不同频率电波的反射情况。若 $f \leq f_c$, 则电波以任意入射角发射时都能从电离层反射下来; 若 $f > f_c$, 则应根据入射角的大小, 由式(6)得到 $f_{max\varphi}$; 如果 $f < f_{max\varphi}$, 则能从电离层反射回地面^[7]。

设电波的最大入射角为 φ_{0max} , 即电波沿地表面的切线方向发射时的入射角, 如图4所示。则根据式(6)可得电离层的最大反射功率

$$\begin{aligned} f_{max} &= \sqrt{80.8 N_{max} * \sec\varphi_{0max}} \\ &= \sqrt{\frac{80.8 N_{max}}{\cos^2\varphi_{0max}}} \quad (7) \end{aligned}$$

地表面的切线方向往电离层投射电波, 会引起地面对地波很大的吸收损耗, 所以一般总是以一定的仰角 Δ 来投射电波, 如图4所示。设地球半径为 R_0 , 电离层高度为 h , 由正弦定律得

$$\frac{\sin\varphi^0}{R_0} = \frac{\sin(90^\circ + \Delta)}{R_0 + h} = \frac{\cos\Delta}{R_0 + h} \quad (8)$$

$$\cos^2\varphi^0 \approx \frac{\sin^2\Delta + 2h/R_0}{1 + 2h/R_0} \quad (9)$$

则考虑仰角 Δ 的情况下, 电离层的最大反射频率为

$$f_{max} = \sqrt{\frac{80.8 N_{max} (1 + 2h/R_0)}{\sin^2\Delta + 2h/R_0}} \quad (10)$$

查阅文献知在距离地面约300km处的电离层平均浓度约为 $1.2e12/m^3$, 带入式(5)可算得临界频率约为9.

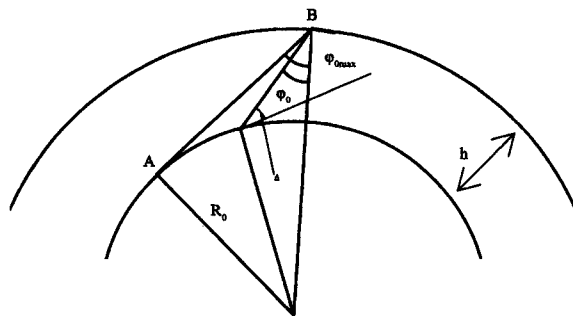


图4 临界频率与最大反射频率

85MHz。根据前面设计的5跳路径, 对应的 φ° 大小为 72.45° , 利用式(6)可算得最大反射频率为32.66MHz, 则当以 0.6° 角发射时, 发射频率小于32.66MHz时可实现反射。

4.2 最佳发射频率选择

由于短波远距离传输主要依靠的是F层的反射, 而D层和E层对信号的吸收和发射频率的大小有关, 较小时, 吸收较大, 较大时又会穿透F层而进入太空, 而且由于电离层的浓度是随着昼夜交替而时刻变化着的, 所以应根据电离层浓度的变化在不同时段选择不同的发射频率, 借助MUF和M因子算法^[6], 发射频率范围定在14MHz ~ 20MHz之间。

4.2.1 不同时间、不同月份临界频率变化

不同时间、不同季节临界频率的变化, 如图5所示,

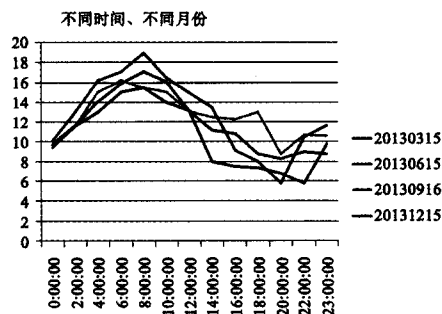


图5 不同时间、月份临界频率变化图

如上四个时次频高图可看出白天的临界频率比晚上的临界频率高, 夏天的临界频率比冬天的高。一般来说: 日频高于夜频(相差约一半); 夏季频率高于冬季。

4.3 传播损耗

4.3.1 经电离层的损耗

短波经电离层反射的主要损耗为电离层的吸收损耗。它是指短波信号经电离层反射到达接收点时, 由于D层和E层的穿透吸收使得天线辐射的能量受到了一定程度的损耗。它与太阳黑子的活跃程度, 月份以及工作频率等有关。当发射功率选取的恰当时, 电离层的吸收损耗是很小的, 约为几分贝, 通常在10dB以下。

4.3.2 经海面发射损耗

海面情况具有复杂性,海水具有良好的导电性:①当海面平静时可近似看成镜面,此时信号经过海面反射强度基本上无损耗;②当海面有较高的波浪时对信号的反射影响较大,传播损耗可记为 L_g :

$$L_g = 10\lg\left[\frac{|R_v^2| + |R_H^2|}{2}\right] \quad (dB) \quad (11)$$

由于发射角度非常小,此时的 $R_H = R_V \approx -1$,经计算,此时的损耗 L_g 不是很大,但由于实际海面波浪的复杂性,初步把海面总损耗定为 $10dB$ 。

4.3.3 空间损耗

短波信号经过自由空间时的扩散损耗记为自由空间空间损耗。假设发射、接收天线均为自由空间各向同性辐射体,发射天线的功率记为 $P(w)$,则距发射天线有效距离为 d 处的功率通量密度为 $P/(4\pi \times d^2)$,接收总面积为 $\lambda^2/4\pi$,在 d 处天线接收的总功率为 $P\lambda^2/(4\pi \times d^2)$,因此自由空间损耗可根据以下经验公式计算:

$$\begin{aligned} L_{bf} &= 10\lg\left[\frac{P}{P\lambda^2/(4\pi \times d^2)}\right] \\ &= 20\lg(4\pi \times \frac{d}{\lambda}) \\ &= 32.44 + 20\lg f + 20\lg d \\ &\approx 83.5dB \end{aligned} \quad (12)$$

由(5)式可以看出,自由空间的损耗是随着频率 f 的提高而增大的,也随着距离 d 的增大而增大,计算时选择的发射频率为 $18MHz$,尤其值得注意的是,自由空间的损耗随这两个参量变化的幅度是相同的。

4.4 最低发射功率设计

由于受电离层的不稳定性和衰落以及海面存在较高的波浪的影响,短波信号在实际传播时的路径问题实际上比较复杂,要计算最低发射功率,就必须结合信号在传播过程中的损耗。本文主要考虑信号经电离层的损耗、空间损耗以及经海面反射的损耗,在根据损耗和接收机的最低灵敏度估算出发信机的最低发射功率。

假设所采用的收音机的接收灵敏度为 $-80.5dBm$,则根据前面算得的损耗 $L_{lost} = 83.5 + 40 + 10 = 133.5dB$,计算发射功率 W_E :

$$\begin{aligned} W_E - L_{lost} &= -80.5dBm \\ W_E &= L_{lost} - 80.5dBm \\ &= 53dBm \\ &= 30dBm + 10dBm + 10dBm + 3dBm \\ &= 1W \times 10 \times 10 \times 2 \\ &= 200W \end{aligned}$$

即要实现南极泰山站到上海市基站的短波超远距离传输,发信机的最低发射功率不得低于 $200W$ 。如果考虑天线增益,发射功率还可以适当的降低 20% 。

5 信道连通率仿真

利用美国哈里斯公司的在线仿真软件 VOACAP 进行了在特定月份的不同时段信道的连通性预测,把预测坐标点设置为上海,经纬度分别是 $31^\circ 52'$, $121^\circ 43'$,把月份设置为 6 月,时间为上午 10 点,发射天线的类型为 Dipole @ 10M (33ft),发射功率定为 $100W$,发射带宽为 $20MHz$,接收天线同样为 Dipole @ 10M (33ft),具体参数如图 6 所示,经仿真后的结果如图 7 所示。

Date	
Year: 2014	SSN:
Month: June	
Time UTC: 10	<input type="checkbox"/> Remember these values
Transmitter Site	
QTH: BY Shanghai	
Name: Shanghai	<input type="button" value="Locate"/>
Latitude: 31.2	[-90..90]
Longitude: 121.43	[-180..180]
TX antenna: Dipole @ 10M (33ft)	
TX power: 100 W	
TX mode: CW	<input type="button" value="No Es"/>
Band: 20M (14.1 MHz)	
Great-circle path: Short-path	
Current point: Set as default	<input type="button" value="Reset"/>
Receiver Sites	
RX antenna: Dipole @ 10M (33ft)	

图 6 仿真参数设置

在图 7 的仿真结果图中,红色信道的连通性由红色向蓝色递减,可以看到目标通路上海到南极泰山站在这个时间点的连通性基本上能达到 70% 以上,经测试,在每日的 10:00—16:00,以及 22:00—04:00 这两个时段是每天的最佳通信时段。通过仿真结果进一步证明了系统模型设计的可信性。

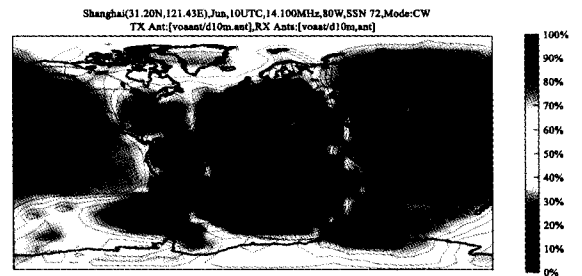


图 7 传输通道连通性仿真结果

6 结束语

本文提出了一种基于短波电离层反射的空间极地通信方法,设计了短波信号由南极洲泰山站发射,经过电离层多次反射后到达上海基站的一个 5 跳的传播模型,解决了传统的卫星通信价格昂贵,安全系数不高等缺点,不失为一种可靠的极地通信方案。经过仿真分析了信号在特定时间的连通性,验证了设计的可信性。

(下转第 269 页)

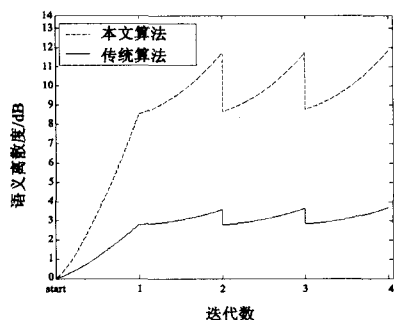


图2 语义离散度增强仿真结果

基于本文提出的语义离散度增强算法基础上,测试对语义兴趣点文本检测性能,在不同阈值下的到海量兴趣点的检测结果如图3所示,从图可见,采用本文方法训练数据集较小的情况下,RTIM的分类准确率值较低,随着训练集的增加,检测准确率达到96%以上,这得益于本文方法中基于集中度和离散度的特征选取方法对类别特征的良好发现能力,而传统方法可能无法发现词汇之间的语义相似性,从而造成其对很多同一类别的但用词不同的文档判断错误。

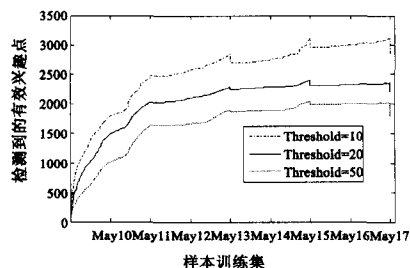


图3 检测准确率

5 结论

本文研究基于语义网的信息提取和数据抽取技术,针对海量兴趣点中,不同的文本间重叠用词严重,信息抽取和文本检测困难的问题,进行语义离散度增强研究,提高对文本信息特征的挖掘和分类性能。进行随机词汇迭代模型设计,构建海量兴趣点文本特征空间,给予特征空间互信息区域划分实现语义离散度增强算法改进。实验结果证明,采用本文方法能有效增强语义文本之间的离散度,区别发现词汇之间的语义相似性,提高对文本抽取性能。

参考文献:

- [1] 张玲. POI 的分类标准研究[J]. 测绘通报, 2012-0:82-84.
- [2] 朱剑锋,陈珉. 语义异构环境下基于本体的供应链知识协同研究[J]. 汉大学学报. 信息科学版, 2014,39(1):123-126.
- [3] 欧石燕,胡珊,张帅. 本体与关联数据驱动的图书馆信息资源语义整合方法及其测评[J]. 图书情报工作, 2013,58(2):5-13.
- [4] 朱珍. 基于神经网络集成分类器预处理的支持向量机分类算法[J]. 科技通报, 2013,29(4):26-30.
- [5] Xu Zhixiang, Chen Minmin, K Q Weinberger. An alternative text representation to TF-IDF and Bag-of-Words[C]. The 21nd ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM 2012), Maui, HI, USA, 2012:58-63.
- [6] 王昌晶,薛锦云,左正康. SRLtoRadl 生成系统及其范畴论语义[J]. 电子学报, 2014,42(1):137-142.

[作者简介]



王哲(1981-),女(汉族),河南临颖人,博士研究生,讲师,主要研究方向:语义信息检索、数据库与数据挖掘。

(下转第229页)

参考文献:

- [1] 王亚军,张玉,解明祥. 短波电离层反射信道模型的建立与仿真[J]. 电波科学学报, 2004,19(3):357-361.
- [2] 赵鹏飞. 电离层对短波广播天波传输的影响[J]. 西部广播电视, 2013,(11).
- [3] 刘德江,攸阳. 基于 Matlab 仿真的短波无线信道研究[J]. 微机计算机信息, 2006,(2):5-8.
- [4] 刘琨,林乐科,朱庆林. 基于地基单站 GPS 电离层电子密度实时重构[J]. 电波科学学报, 2011,19(3).
- [5] 王成,王解先. 国际参考电离层在电离层电子密度特征分析中的应用[J]. 大地测量与地球动力学, 2012,32(2):55-59.
- [6] 黄翠仙. 电离层临频产品在短波通信中的应用探索[J]. 《S14

空间天气地基监测与数值模拟》会议论文, 2012.

- [7] 李莉. 天线与电波传播[M]. 北京:科学出版社, 2009-8:104-113.
- [8] Stanislav P Tarnavskii. Propagation of HF radio waves over sloping coastal land[J]. Antennas and Propagation, 2001,49(4):621-629.

[作者简介]



邹国良(1961-),男(汉族),江苏无锡人,博士,教授,硕士研究生导师,主要研究领域为计算机应用、海洋信息工程、通信信号处理;

叶建成(1989-),男(汉族),安徽芜湖人,硕士研究生,主要研究领域为海洋监测传感器组网方案、短波通信。