

# 基于返回散射探测和干扰监测的 短波通信实时选频系统

王俊江, 柳文, 焦培南

(1. 中国电波传播研究所, 山东青岛 266071; 2. 电波环境特性及模化技术国家重点实验室, 山东青岛 266071)

**摘要:** 提出了一种基于 HF 电离层返回散射探测和干扰监测的短波通信实时选频系统. 利用返回散射快速扫频及返回散射电离图自动判读技术, 实时获取短波通信的可用频段信息, 基于实时干扰监测结果, 利用基于时间可用度的自动干扰分析技术得到干净信道信息, 两种信息融合实时选择通信频率. 文中给出了一些具体链路的通信选频试验结果, 并对某些特殊情况下的实时选频效果进行了深入分析, 试验结果表明了该系统的有效性.

**关键词:** 高频返回散射探测; 干扰监测; 短波通信; 实时选频

**中图分类号:** TN011.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2012) 04-0729-05

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>

**DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.04.017

## Real-Time Frequency Selection System in HF Communication Based on Backscatter Sounding and Interference Monitoring

WANG Jun-jiang, LIU Wen, JIAO Pei-nan

(1. China Research Institute of Radiowave Propagation, Qingdao, Shandong 266107, China;

2. National Key Laboratory of Electromagnetic Environment, Qingdao, Shandong 266107, China)

**Abstract:** A real-time frequency selection system based on backscatter sounding and interference monitoring for the short-wave communication is developed in this paper. Using fast sweeping-frequency and backscatter ionogram auto-scaling techniques, the usable frequency range is obtained, and, the clean channel is obtained simultaneously by interference automatic analysis technique based on time-availability. Then, the real-time communication frequency is selected by the fusion of the two kinds of information above. Some test results of specific communication links are given and further analysis of special cases is presented. The experimental results show the effectivity of the proposed system.

**Key words:** HF backscatter sounding; interference monitoring; shortwave communication; real-time frequency selection

## 1 引言

短波通信利用电离层对 HF 电磁波的反射来实现远距离通信,它具有抗毁能力强、灵活性高、设备简单和造价低廉等优点,在民用和军事上都得到了广泛的应用.

由于电离层具有时变特性并且短波信道频段窄、用户多,存在着干扰,国内外相继研制了短波通信实时选频系统,如美国、加拿大等国先后出现了 CURTS、CHEC、CHIRP 等专用实时选频系统<sup>[3]</sup>,这些系统主要是基于点对点的斜向电离层探测,本文提出一种基于点对面的返回散射探测的实时通信选频系统.

近年来,人们对应用于短波通信和雷达的返回

散射探测研究实践表明,要得到信道传播条件的整体评估,最有效的技术是返回散射探测<sup>[1,2]</sup>.对于某些特定任务的通信如:对海上舰船通信、国际广播等无法利用垂直探测和斜探测的区域,返回散射探测具有不可替代的作用.

## 2 基于返回散射探测和干扰监测的通信选频方法

### 2.1 返回散射电离图描述

电离层返回散射探测能够得到返回散射电离图,从返回散射电离图中可以得到电波覆盖区域信息和电波返回散射能量强度信息,如图 1 所示.

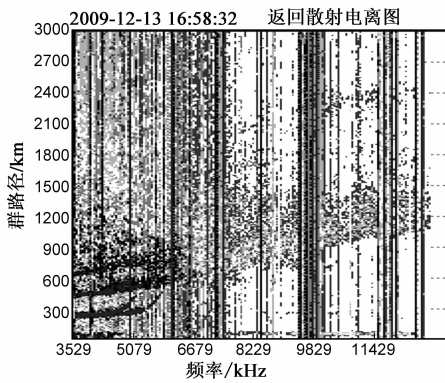


图1 原始返回散射电离图

## 2.2 基于返回散射探测的选频原则

根据返回散射电离图能够提取的信息以及短波通信的需要,这里提出了3个选频准则:

- (1) 保证发射信号对接收区的覆盖.
- (2) 频率无干扰或尽可能小的干扰.
- (3) 返回散射信噪比大.

## 2.3 返回散射电离图的自动判读<sup>[10]</sup>

返回散射电离图自动判读主要实现:判决每一个频率的类型,得到每个信号频率的噪声电平,经去噪和信号重建后得到干净的电离图.

### 2.3.1 判决每一个频率的类型

频率类型分为射频干扰(该频率上存在着干扰)、信号(该频率上无干扰,且有返回散射回波信号)和噪声(该频率上没有干扰和回波信号).

根据大量数据统计,给出同频干扰和噪声信道的识别准则:

- (1) 某信道所有距离门能量方差小于预定门限值  $M1$ ;
- (2) 某信道能量大于预定门限值  $M2$  的测量点数占该信道整个有效采样点数的百分比  $\geq N\%$ ;
- (3) 某信道所有距离门能量均值低于预定门限值  $M3$ ;

其中准则(1)、(2)判定的是同频干扰,而准则(3)包含由于同频干扰太大,致使接收机阻塞而导致电平较低和噪声信道两种情况,可以根据周围信道有无信号来区分.这里的门限值  $M1$ 、 $M2$ 、 $M3$  及数字  $N\%$  需要对大量数据的长期统计后才能确定.

### 2.3.2 得到每个信号频率的噪声电平

根据统计在每个信号信道内至少有超  $50\text{km}$  的范围没有信号,利用对所有信道进行  $50\text{km}$  信号能量进行滑动平均,然后求最小值,即可得到每个信道的噪声电平.

### 2.3.3 得到干净的电离图

干扰信道和噪声电平判定后,经过连通域去噪和

信号重建,得到干净的返回散射电离图,如图2所示.

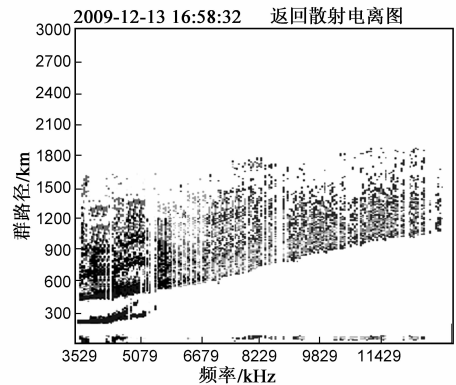


图2 干净的电离图

### 2.3.4 垂测信号的提取

(1) 高质量垂测部分电离图的获取<sup>[4]</sup>

垂测部分电离图可以只考虑  $500\text{km}$  以下部分,并且由于信号信噪比高,电离图的处理与返回散射信号的处理有所不同.干扰信道的判别采用式(1)进行判别.

$$F(i) = \frac{S(i) + A(i)}{2M(i)} - 1 \quad (1)$$

式中  $M(i)$ 、 $A(i)$ 、 $S(i)$  分别表示信号幅度的平均值、最大值和最小值.

除去干扰信道后,采用中值滤波和连通域滤波即可得到高质量的垂测部分电离图.

(2) 描述提取<sup>[4,5]</sup>

经过预处理后的电离图,采用改进的“初始局部最大值”方法提取出描述信息.描述提取后,可能会有一些点比较离散,可以通过最小二乘算法进行拟合,得到较为平滑的描述.

(3) 描述的判断

得到描述后,需要判断描述的模式,这里只判断 F 层模式和 E( $E_s$ ) 层模式,文献[6]提出了基于 IRI 模型的方法.在返回散射电离图中,由于扫频步进较大,精度要求不高,可以根据描述起始点的高度来区分.一般 E( $E_s$ ) 层在  $90 \sim 120\text{km}$ , F2 层大于  $190\text{km}$ .

垂测信号的提取结果如图3所示.

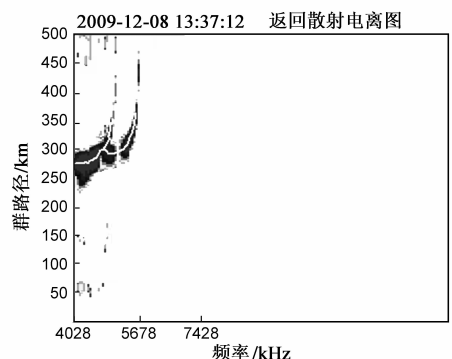


图3 垂测信号的提取

## 2.4 可用频段的选取

### 2.4.1 PD 变换

短波通信一般知道通信站的距离  $D$ , 而返回散射电离图中的坐标为  $P$ , 因此需要把探测的群时延转换为地面距离, 通常称之为 P-D 变换. 对于短波通信选频而言, PD 变换无需特别高的精度, 因此我们采用一种比较简单的方法实现 PD 变换, 利用式(2)<sup>[8]</sup>进行.

$$P = 2\sqrt{r_0^2 + (r_0 + h)^2 - 2r_0(r_0 + h)\cos(\alpha)} \quad (2)$$

其中  $r_0$  为地球半径,  $h$  为虚高,  $\alpha$  为  $D$  对应的圆心角. 虚高  $h$  可以由提取的垂测描述给出. 算出  $P$  后, 以  $P + \Delta P$  ( $\Delta P$  为一个较小的修正值) 作为计算 MUF 的群路径.

### 2.4.2 可用频段的选取

通过 PD 变换, 可以大致确定出通信线路对应的  $P$ , 然后在干净的返回散射电离图中找到对应的最高可用频率 (MUF), 并把  $0.8\text{MUF} \sim 1.0\text{MUF}$  作为通信线路的可用频段, 如图 4 所示.

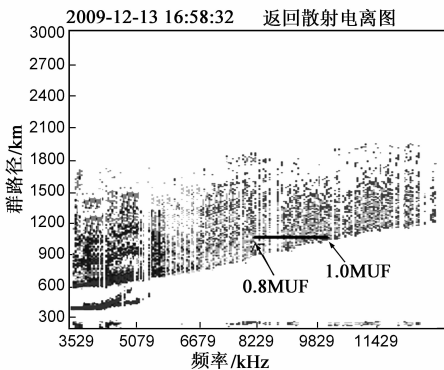


图4 MUF的选取

## 2.5 可用频率的选取

可用频率的选取一般根据干扰监测设备进行, 这里提出了一种基于时间可用度的可用频率自动选取方法.

### 2.5.1 时间可用度的定义

干扰监测从起始频率到终止频率完成一次扫频称为一次更新, 在连续的  $N$  次更新里, 若频率有  $M$  次为干净频率, 则时间可用度表示为  $100 * M/N$ . 时间可用度高的频率表示在未来的时间里可用的概率较大.

### 2.5.2 一次更新干净频率判定

判断频率是否为干净频率, 一般采用在一定分析间隔里 (一般为  $1\text{MHz}$ <sup>[9]</sup>), 该频率的电平值小于门限电平. 门限电平的确定采用噪声基底加上一固定电平值来确定, 一般为  $5\text{dB}$ . 噪声基底的确定一般采用 MM (Median of Minimum)<sup>[7]</sup> 算法得到, 并且白天和夜间的噪声基底相差比较大.

### 2.5.3 干净频率的统计量

干净频率判定后, 可以计算出每个干净频率的时

间可用度. 由于时间可用度高的频率较多, 这里引入连续频点数 (满足一定时间可用度要求的频率, 其前后均是满足该可用度频率的个数), 来表示频率远离干扰的程度, 连续频点数大的, 离干扰源较远, 反之, 较近.

### 2.5.4 选频结果示例

图 5 是某个时间  $5.9\text{MHz} \sim 6.4\text{MHz}$  的选频结果图, 其中黑色的曲线为测得的干扰电平谱分析后的数据, 灰色区域表示时间可用度, 黑色的竖线表示选频结果, 可以看出, 选出的频率可用度大, 并与干扰保持了一定的间隔. 试验结果表明, 通过该方法选出的频率在使用中效果良好.

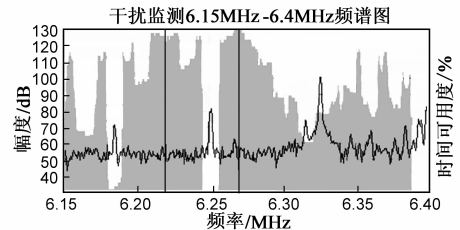


图5 干扰测量选频结果示例

## 2.6 特殊情况的处理

### 2.6.1 通信线路较远, 无明显返回散射回波

如图 6 所示, 在群路径为  $2020\text{km}$  时, 此时基本无返回散射回波信号. 由于返回散射为后向散射, 属于双程传播, 而通信为单程传播, 双程传播的能量损耗远大于单程传播, 因此, 在返回散射中无明显回波时, 并不代表通信链路的能量不能满足通信要求. 此时, 选用小于该  $P$  路径的最高可用频率作为该通信线路的最高可用频率.

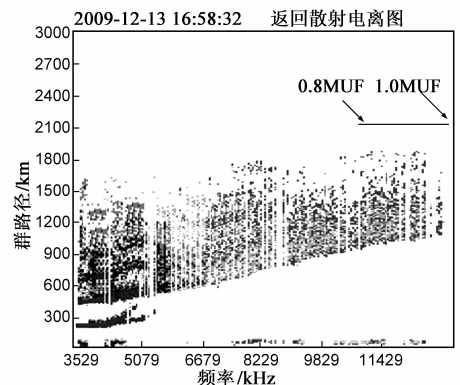


图6 MUF的选取

### 2.6.2 出现 Es 层, 远区无回波信号

在中国地区, 太阳黑子低年,  $E_s$  层出现的概率较大, 如图 7 所示.  $E_s$  的影响表现为两个方面, 一个是正面影响, 一个是负面影响.

所谓正面影响是在 F 层临界频率比较低的情况下, 利用  $E_s$  通信可以克服 F 层可用频率比较低的劣势, 选择比 F 层的 MUF 高得多的频率, 单独利用  $E_s$  通信,

可以获得比较好的通信效果。

Es的负面影响表现在由于Es和F层同时存在,造成明显多径效应,引起码间串扰,从而降低通信准确率,这种情况一般发生在无法选择合适的通信频率避开Es传播而单独利用F层进行通信或者是避开F层传播而单独利用Es进行通信的情况。在白天,如果出现Es,这种情况是很普遍的。

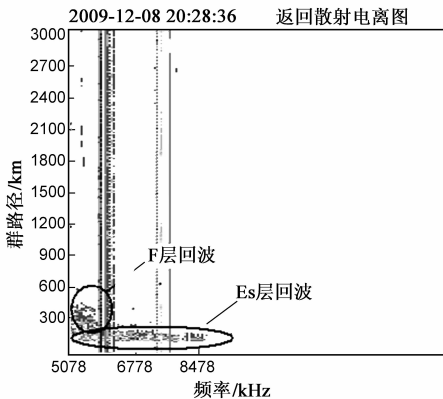


图7 典型的含Es的返回散射电离图

### 2.6.3 返回散射回波信号弱,仅能看到垂直测信号

有时返回散射信号很弱,只能看出垂直探测的结果。此时电离图不能直接提取通信链路参数,只能根据垂直测结果推导斜向传播的通信链路参数,进行选频。

## 3 选频试验结果和分析

我们建设成功了该系统,探测发射机 1kW,发射天线采用全向笼形天线,接收天线采用自动控制切换方向的鱼骨天线。2009年9月至2010年1月间对距离 500~2500km 范围内的 10 条通信链路进行了试验。利用该系统选频后,使用自动控制的短波通信设备,发送 500 组数据,记录正确传输的次数,折算出正确率。图 8 给出了一条线路综合统计累积分布曲线。图中横坐标为正确率,纵坐标为超过相应正确率的测试次数在所有测试次数中所占的百分比,如图 8 所示,横坐标“90”对应的线路纵坐标大约为“100”,由此可知该线路的正确率大于或等于 90% 的测试次数在整个测试次数中占“100%”。

试验结果表明,基于返回散射探测和干扰监测的

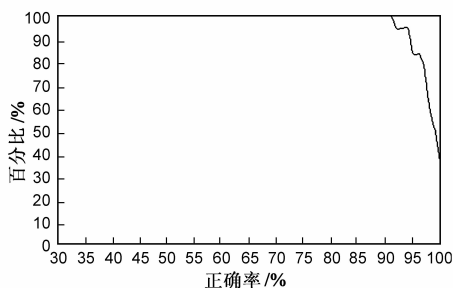


图8 综合统计累积分布曲线

短波实时选频系统,可以自动、实时地给出质量较好的通信频率,尤其在日出、日落等特殊时间,也可以得到较为满意的结果。

在试验中,对于正确率较低的情况,有些我们能够确定出原因如出现突发干扰、部分返回散射电离图自动判读精度不够高,造成可用频段的选择有所偏差,有些还不能确定出原因。因此对于特殊条件下频率的选择还有优化的空间,可以通过进行大量的通信试验,研究正确率较低的情况下返回散射电离图和影响通信正确率因素之间的关系,逐步进行改进。

## 4 结论

经过试验表明,基于返回散射探测和干扰监测的短波实时选频系统,在通信选频中效果比较理想。在实际的工作中可以周期性的进行返回散射探测,这样不仅可以实时得到通信频率,还可以积累探测资料,选出更好的通信频率。

### 参考文献

- [1] 黄德耀. 利用返回散射技术推算探测区内短波电路通信频率的方法[J]. 通讯技术与发展, 1993, 19(4): 119 - 122.
- [2] 李玉辉. 高频返回散射观测 P-F 电离层的变化规律[J]. 电波与天线, 1996, 21(1): 7 - 9.
- [3] 陈尚勤. 现代短波通信的新技术与发展[J]. 电信科学, 1995, 10(1): 2 - 7.
- Chen S Q. Advanced techniques for modern HF communication and its development[J]. Telecommunications Science, 1995, 10(1): 2 - 7. (in Chinese)
- [4] 凡俊梅, 鲁传侠, 焦培南. 电离层斜向传播模式的智能识别[J]. 电波科学学报, 2009, 24(3): 471 - 475.
- Fan J M, Lu Z X, Jiao P N. The intelligentized recognition of oblique propagation modes[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2009, 24(3): 471 - 475. (in Chinese)
- [5] Reinisch B and Huang X Q. Automatic calculation of electron density profiles from digital ionograms, Processing of bottomside ionograms[J]. Radio Science, 1983, 18(3): 477 - 492.
- [6] 柳文, 孔庆颜, 陈跃, 等. 基于 IRI 模型的垂直电离图自动判读算法[J]. 电波科学学报, 2009, 24(2): 218 - 223.
- Liu W, Kong Q Y, Chen Y, et al. Method on ionogram autoscaling based on IRI model[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2009, 24(2): 218 - 223. (in Chinese)
- [7] McNeal G D. High-frequency noise and spectrum occupancy measurements for virginia and texas with comparisons to international radio consultative committee predictions [J]. Radio Science, 1997, 32(5): 2075 - 2082.
- [8] 焦培南, 朱其光. 最小时延对应的地面距离计算的新算法[J]. 武汉大学学报, 1985, 85(4): 63 - 70.
- [9] McNeal G D. Bandwidth occupancy profile of mid-atlantic HF

band users[J]. Radio Science, 1997, 32(5): 2037 – 2045.

- [10] 李雪,冯静,邓维波,等.返回散射电离图智能判读[J].电波科学学报,2010,25(2):160 – 162.  
Li X, Feng J, Deng W B, et al. New order-select method of polynomial modeling for ionosphere phase perturbation correction[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2010, 25(2): 160 – 162. (in Chinese)

## 作者简介



**王俊江** 男,1978 出生于河南,中国电波传播研究所高级工程师,研究方向为电离层波传播及其应用、数值计算等。

E-mail: wangjj61@163.com



**柳文** 男,1973 年出生于湖南,中国电波传播研究所高级工程师,博士.研究方向为电离层物理及电离层波传播及其应用等。

- [11] 孙广俊,齐东玉,李铁成.利用返回散射系统监测海洋回波[J].电子学报,2005,44(7):1334 – 1337.  
Sun G J, Qi D Y, Li T C. Sea echo detection with the system of ionospheric backscatter sounding[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 44(7): 1334 – 1337. (in Chinese)
- [12] 于洋.实时选频技术及其在短波自适应系统中的应用[J].电子工程师,1999,25(10):17 – 18.

**焦培南** 男,1939 年出生于广东,中国电波传播研究所研究员,博士生导师,国家有突出贡献专家.1962 年毕业于武汉大学物理系.获国家科技进步二等奖两项、三等奖一项、省部科技进步奖十一项,发表论文 110 多篇.研究方向为 HF 天波超视距雷达、电离层及其电波传播、特殊介质的波传播和散射等。

(上接第 723 页)

- [13] Si-Min He, Shu-Tao Sun, Hong-Tao Guan, Qiang Zheng, You-Jian Zhao, Wen Gao. On guaranteed smooth switching for buffered crossbar switches [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2008, 16(3): 718 – 731.
- [14] D Pan, Zhenyu Yang, Kia Makki, Niki Pissinou. Providing performance guarantees for buffered crossbar switches without speedup [A]. Ozgur Akan. Proc ICST QShine [C]. Berlin: Springer, 2009. 297 – 314.
- [15] Parekh, A Gallager, R. A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: The single node case [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 1993, 1(3): 344 – 357.
- [16] Douglas Comer, Maxim Martynov. Design and analysis of hy-

brid packet schedulers [A]. Douglas Merrill. Proc IEEE INFOCOM 2008 [C]. New York: IEEE Communications Society, 2008. 1570 – 1578.

- [17] J Bennett, H Zhang. Worst-case Fair Packet Fair Queueing Algorithms [R]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 1996.
- [18] Hongchao Hu, Yunfei Guo, Peng Yi. Design and Implementation of Fair Scheduling Algorithms in Combined Input and Crosspoint Queued Switches [R]. Zhengzhou: National Digital Switching System Engineering & Technological R&D Center, 2010.
- [19] Maxim Martynov. Design and Implementation of Hybrid Packet Scheduling Algorithms for High Speed Networks [D]. West Lafayette: Purdue University, 2007.