

doi: 10.7690/bgzdh.2013.03.005

## 一种无线电频段占用质量评估算法

丁浩, 任雁军, 秦爱祥

(中国人民解放军 73691 部队, 南京 210014)

**摘要:** 为更全面、合理地描述频段占用情况, 在分析现有频段占用参数应用局限性的基础上, 提出一种无线电频段占用质量评估算法。提出频段占用散度概念, 构建频段占用散度计算模型, 并利用仿真方法及工作实践对其进行验证。仿真结果表明: 该评估算法能较好地反映出监测频段频谱占用情况以及信号分布状况, 可用于寻找频段空闲窗口, 辅助用频筹划及频率分配。

**关键词:** 无线电监测; 频段占用度; 频段占用散度; 质量因子

**中图分类号:** TJ03 **文献标志码:** A

## An Algorithm for Radio Frequency Band Occupancy Quality Evaluation

Ding Hao, Ren Yanjun, Qin Aixiang

(No. 73691 Unit of PLA, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In order to describe the occupancy status of frequency band more comprehensive and reasonable, an algorithm for radio frequency band occupancy quality evaluation is put forwards on the basis of analyzing the applying limit of the existing frequency band occupancy parameter. The paper gives a concept of frequency band occupancy divergence, and constructs the computing model for it. Simulation method and monitoring practice are used to validate the algorithm. The result shows that the new algorithm is able to evaluate frequency band occupancy quality and signal distributing status. It can help find the window without spectrum occurring, and provide service to frequency assignment and plan.

**Key words:** radio monitoring; frequency band occupancy; frequency band occupancy divergence; quality factor

### 0 引言

随着无线电应用技术的飞速发展, 无线电频率资源的需求越来越大。超短波频段因其良好的传播特性而倍受青睐, 目前多数无线电设备使用的频率都集中在超短波频段, 导致 30 MHz~3 GHz 成为最为繁忙和拥挤的频段, 特别是中间的一些优质频段, 几乎到了无频可用的境地。在 3 G 用频规划时, 受到频谱资源利用形势的影响, 部分频率已经往高频段迁移。而作为应用热点的物联网, 以及 4 G 均对频谱资源的大量需求, 就只能向更高频段(甚至 3 GHz 以外)寻求进一步的频谱规划支持。也有研究人员提出, 随着有线电视的普及, 可考虑将过去由无线电视频道占用的“白色频谱”回收, 再加以利用。情况表明, 随着频谱供需矛盾的加剧, 必然要求无线电监测工作进一步提高监测效率, 对频段占用质量情况有较为全面、准备的评估和掌握。现有频段占用质量评估方法要么过于简单, 反映出的占用信息不够全面、准确; 要么过于复杂, 在可操作性等方面比较欠缺; 因此, 笔者在分析现有频段占用参数应用局限性的基础上, 提出一种无线电频段占用质

量评估算法。

### 1 频段占用质量评估现状

目前, 针对频段占用质量评估方法基本可分为频段占用度直接评估、日频段占用度评估和电磁复杂度评估等。

#### 1.1 频段占用度直接评估法

频段占用度指标是基本的无线电测量参数, 指的是在测量时间内, 用监测接收机或频谱分析仪对某一频段用固定的步长(信道)进行顺序测量, 大于某一门限电平值的信道数与总信道数的百分比<sup>[1]</sup>。设总信道数为 $F_A$ , 超过设定门限电平值的信道数为 $F_C$ , 则频段占用度 $\eta$ 的计算公式如下:

$$\eta = F_C / F_A \times 100\% \quad (1)$$

在日常无线电频谱监测工作中, 常常直接将频段占用度作为评估指标, 通过判断该值的大小, 评价所监测频段的电磁辐射质量。如果频段占用度值大, 则认为该频段比较拥挤, 频率资源供应量偏小, 分指配存在困难; 反之, 则认为该频段比较空闲, 适合分指配。频段占用度直接评估法未能反映频段辐射的动态性、无序性; 往往占用度相同, 而频段

收稿日期: 2012-09-25; 修回日期: 2012-10-19

作者简介: 丁浩(1977—), 男, 安徽人, 硕士, 高级工程师, 从事信息通信技术研究。

内频谱辐射情况截然不同。因此该方法评估结果不够全面和准确。

### 1.2 日频段占用度评估

日频段占用度指的是以天为统计单位的频段占用度最大值<sup>[1]</sup>。国家无线电管理局从 2007 年开始要求对 108~137 MHz、137~167 MHz、450~470 MHz、806~866 MHz 频段进行监测，每个频段每月测量不少于 2 次，每次测量时间不小于 24 h。以等时间间隔划分每天的监测时间段(通常为 1 h)，处理计算每个时间段内频段占用度，取各时间频段占用度最大值作为日频段占用度(注明具体时间)。通过日频段占用度监测频估，可掌握关注频段在一天内的频段占用度情况，以及最大占用度发生的时间段。不过，该方法仍然无法反映频段占用的细节信息，以“点”代“面”的方式，本质上与直接评估法类似。

### 1.3 电磁复杂度评估法<sup>[2-9]</sup>

电磁复杂度评估方法，是将频段占用参数(主要是频段占用度)作为重要指标，结合其他评价指标，对电磁环境的复杂情况进行评判，定性或定量描述关注频段无线电波在频率、功率和时间上的分布、变化情况。该类方法的基本思想是首先寻求评估所需的电磁频谱参数，如频谱占用度、信号辐射强度、背景信号强度、电磁信号密度、电磁信号类型与样式等；通过分析这些参数的特点及对电磁环境复杂性的贡献量确立评价指标、权重分配；根据无线电设备受电磁环境影响的情况，明确电磁复杂度评估等级。在上述工作的基础上，基于模糊数学理论，构建电磁复杂度评估计算模型，给出判别矩阵，进行复杂度评估。

在电磁复杂度评估中，频段占用度作为重要的评估参数，是核心指标之一，复杂度评估结果可在一定程度上反映出关注频段的频段占用质量。该评估方法，以成熟、复杂的数学理论作为基础，通过构建评估模型，设计综合权重、判别矩阵、量化指标，进行分析判断，科学性、合理性较强。但由于涉及复杂的数学运算，加之部分参数计算繁杂，量化难度大，因此在适用性、可操作性上存在较大改进空间。

## 2 基于频段占用散度的频段占用质量评估

### 2.1 频段占用散度的概念

频段占用散度指的是在观测频段内，信号出现的频谱分布情况。在频段扫描监测时，可用于描述、

判断观测频段内信号出现的零散、疏密、无序情况。此处，设频段占用散度为  $\delta$ ，如果  $\delta$  偏小，说明所观测频段中信号出现得比较集中，反之则观测频段中信号出现得比较无序、零散。该参数可以反映出频段内信号是否密集，是否无序的特征，是对频段占用度参数的有力补充，两者相结合，有助于更为准确、全面地表征频段占用质量状况。

### 2.2 频段占用散度计算模型

#### 2.2.1 基本变量说明

通过预先监测<sup>[10]</sup>，获取监测频段的背景噪声，测定值为  $E_{bn}$ ，按照文献[1]的建议，在  $E_{bn}$  的基础上加上 5 dB，作为门限电平( $E_t$ )，凡采集的信号电平超过门限，即视该信道被占用。图 1 显示的是某观测频段一个扫描周期内信号频谱辐射情况，横坐标是观测频段频率变量，纵坐标是信号发射电平。频段占用散度计算模型拟结合该图进行阐释说明。

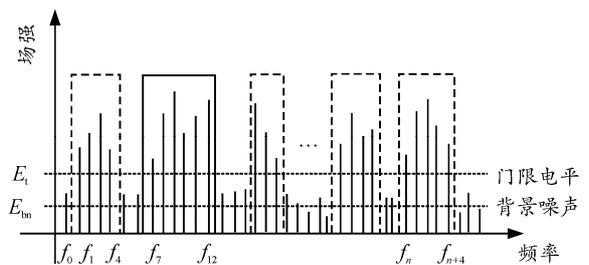


图 1 观测频段内信号频谱发射情况示意图

#### 2.2.2 算法描述

以观测频段一个扫描周期为例，观测频点从最低频率值到最高频率值，包括频段内所有监测频点。频段中信道占用数目用变量  $C_0$ (初始值为 0)表示，信道连续占用数目用变量  $C_c$ (初始值为 0)表示。按照设定步进对频段进行扫描，监测采集到的信道电平，如果发现信道被占用则将  $C_0$  进行加 1 累计( $C_0=C_0+1$ )；继续观测，如果信道仍然被观测到在占用则  $C_0$  继续累计，一旦不被占用，则将  $C_c$  进行加 1 累计( $C_c=C_c+1$ )。

图 1 中从  $f_1$  频点到  $f_4$  频点，信道占用数目  $C_0$  累计了 4 个，而该频段内，由于 4 个被占用数目是连续发生的，所以记为 1 个连续占用统计数，即  $C_c$  增加 1。到了  $f_7$  频点，信道再次出现被占用情况，则继续对  $C_0$  进行累计，到  $f_{12}$  频点， $C_0$  新连续增加 6 个计数，而信道上信号占用消失，此时，从  $f_7$  到  $f_{12}$ ，视为 1 个连续占用计数，即  $C_c$  累加 1。按照上述计算思想，一直统计到整个频段扫描监测结束。

### 2.2.3 公式描述

在一个扫描周期内, 经过连续监测和记录统计, 可以得出: 整个观测频段内, 扫描采样频点个数是  $C$ , 其中信道被占用数目累计为  $C_0$ , 连续占用统计数目为  $C_c$ 。根据上文给出的频段占用度、频段占用散度的概念及算法, 可以定义如下公式:

$$\eta = C_0 / C \times 100\% \quad (2)$$

$$\delta = C_c / C \times 100\% \quad (3)$$

公式 (2) 是对频段占用度的实际计算, 公式 (3) 对频段占用散度计算。如果  $\delta$  偏小, 说明整个频段在该扫描周期中信号出现的时机比较集中, 反之则信号出现时机比较无序、零散。

### 2.3 频段占用质量评估修正算法

笔者提出一种在频段占用度直接评估法的基础上, 进行改进的频段占用质量评估方法。设  $\varepsilon$  为超短波频段占用质量因子, 评估模型为

$$\varepsilon = (1 - \eta) \times (1 - \delta) \quad (4)$$

公式 (4) 通过频段占用散度参数的引入, 对单一的频段占用度评估方法进行修正, 因子  $\varepsilon$  的范围在 0 与 1 之间, 为 1 时, 表明频段内无信号出现, 占用质量最好; 为 0 时, 则频段被信号占满, 质量最差。由此计算出来的超短波频段占用质量因子, 能综合考虑到频段占用因素, 以及频段内信号分布的密集、无序、零乱等因素; 能在考量频段占用质量, 寻找空闲频段, 进行频率指配方面, 提供支持。

## 3 试验验证

### 3.1 仿真验证

在 0~100 范围内随机产生 1 000 个值, 作为频段扫描一个周期采集获取的一组监测数据, 总共产生 4 组, 门限电平设为 20, 其频谱效果图如图 2 所示。根据上述算法, 计算出频段占用度、占用散度及占用质量因子, 结果如表 1 所示。

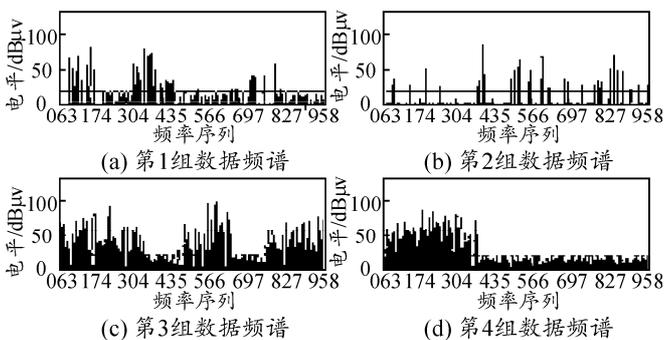


图 2 频段扫描仿真数据频谱

表 1 频段占用质量参数计算结果

测试周期	门限电平/dBμV	频段占用度/%	频段占用散度/%	频段占用质量因子	质量排序
组 1	20	4.90	4.30	0.910 1	2
组 2	20	3.60	3.40	0.931 2	1
组 3	20	22.10	14.90	0.662 9	4
组 4	20	22.80	7.20	0.716 4	3

从图 2 和表 1 可以看出, 计算结果和图形反映的情况基本一致, 即通过笔者给出的方法, 定量计算出的结果和定性观测情况基本相符。

### 3.2 实测验证

利用移动监测站在某地域进行了持续的频段扫描监测, 然后对采集的监测数据按照笔者给出的算法进行计算处理, 以验证其准确性、适用性。使用 ESMB 监测接收机, 选配 HL033 无源监测天线, 对 9~19 MHz 频段进行扫描, 扫描步进设为 10 kHz。根据预先监测, 占用门限电平设置为 23.2 dBμV。

以一个频段扫描周期为 1 组, 共采集 216 组数据, 表 2 是对采集数据进行处理计算后的部分结果。

表 2 频段占用质量参数计算部分结果

序号	频段占用度/%	频段占用散度/%	频段占用质量因子	序号	频段占用度/%	频段占用散度/%	频段占用质量因子
1	58.74	12.29	0.361 9	161	22.98	8.19	0.707 1
2	39.06	13.79	0.525 4	162	23.68	8.29	0.700 0
3	28.37	13.09	0.622 5	163	24.98	8.29	0.688 0
4	22.18	11.29	0.690 4	164	22.68	7.79	0.713 0
5	24.28	11.49	0.670 2	165	21.08	8.39	0.723 0
6	20.08	10.59	0.714 6	166	22.18	7.79	0.717 6
7	20.58	10.39	0.711 7	167	22.08	7.89	0.717 7
8	19.98	9.09	0.727 5	168	22.78	8.29	0.708 2
9	19.78	8.79	0.731 7	169	22.98	8.39	0.705 6
10	22.58	10.09	0.696 1	170	23.68	7.89	0.703 0
...	...	...	...	...	...	...	...
101	34.67	13.39	0.565 9	207	23.08	8.69	0.702 4
102	36.16	12.09	0.561 2	208	19.98	7.09	0.743 4
103	34.17	12.49	0.576 1	209	19.48	7.19	0.747 3
104	36.96	12.59	0.551 0	210	19.38	7.49	0.745 8
105	40.46	13.29	0.516 3	211	18.58	7.09	0.756 4
106	40.76	13.89	0.510 1	212	20.18	8.19	0.732 8
107	43.66	15.58	0.475 6	213	22.58	9.09	0.703 8
108	42.46	14.69	0.490 9	214	19.58	6.49	0.752 0
109	45.25	14.09	0.470 3	215	19.98	7.89	0.737 0
110	40.66	14.29	0.508 6	216	19.78	7.59	0.741 3

为跟踪观测频段占用质量因子变化情况, 将所采集的各组占用参数计算结果以时间为序在坐标系中进行绘制, 绘制结果截图如图 3 所示。

从图 3 中可以直观获知, 在整个观测时间内, 频段占用质量、频段占用度、频段占用散度变化趋势及相互之间的走势关系。A 区和 B 区频段占用度基本相同, 仅从占用度计算结果无法进一步区分 2 个区域(时间段)内频段占用质量情况, 引入频段占用散度后, 可以发现 B 区散度值低于 A 区散度值, 据此可以判断 A 区内频段信号出现更加无序、杂乱,

计算出的频段占用质量因子 B 区高于 A 区。原始数据频谱再现的结果，支持了上述判断。

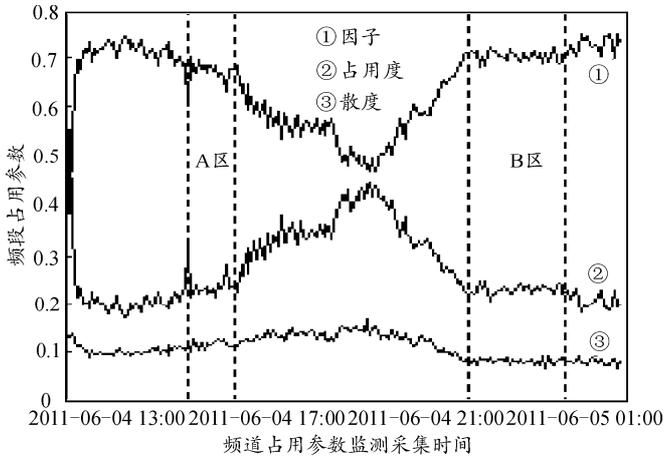


图 3 频段占用质量持续监测与评估

### 4 结束语

综上所述，提出频段占用散度的概念，是对频谱监测数据进行深度挖掘的有益尝试，为频谱数据处理、分析提供了新的思路。而频段占用质量评估算法，则提高了频段占用质量评估的全面性、合理性和准确性。需要说明的是，在实际工作中，为简化操作，一般将应用设定为频段背景噪声比较平稳的环境下；如果频段背景噪声起伏较大，无法直接设定门限，可考虑采用动态门限设定方法，进行计算<sup>[11]</sup>。另外，在实际工作中，如果扫描步进设置较小，相近占用信道之间间隔不大，则可忽略不计，

仍然将频段占用视为持续的。

### 参考文献:

[1] 国家无线电管理局. 超短波频段占用度测试技术规范(试行), 信无函〔2007〕79号[S]. 北京, 2007: 1-2.

[2] 吴三元, 侯志楠. 复杂电磁环境评估方法研究[J]. 信息化研究, 2010, 36(5): 52-54.

[3] 邵涛, 胡以华. 战场电磁环境复杂度定量评估方法研讨[J]. 电光与控制, 2010, 17(1): 81-84.

[4] 何祥, 许斌. 基于模糊数学的电磁环境复杂程度评估[J]. 舰船电子工程, 2009, 29(3): 157-159.

[5] 徐金华, 刘光斌. 基于灰色层次分析法的战场电磁环境效应评估[J]. 电光与控制, 2010, 17(4): 15-20.

[6] 王国民, 刘万洪. 复杂电磁环境及其判断方法探讨[J]. 舰船电子工程, 2008, 28(5): 180-185.

[7] 江胜文. 电磁环境自动监测和评估分析[J]. 中国无线电, 2008(1): 37-39.

[8] 董志勇, 栗强. 基于层次分析法的人为电磁环境复杂程度评估[J]. 指挥控制与仿真, 2008, 30(5): 106-112.

[9] 罗小明. 基于突变理论的战场电磁环境复杂性评价方法研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2009, 20(1): 7-11.

[10] ITU-R. Rec. ITU-R SM. 1753, Method for Measurements of Radio Noise[S]. Geneva: ITU Sales and Marketing Division, 2006: 1-10.

[11] 丁浩, 沈文静. 基于动态门限电平的短波段频谱占用度测量[C]//中国通信学会无线及移动通信委员会. 2011年度全国无线及移动通信学术会议论文集. 北京: 人民邮电出版社, 2011: 408-411.

[20] Potvin J, Papke J, et al. Glide Performance Study of Standard and Hybrid Cruciform Parachutes[R]. AIAA-2003-2160. Monterey, CA, U.S.: AIAA, 2003.

[21] 刘正平, 王俊萍. 带MK31-1型稳定器的MK46鱼雷空中弹道分析[J]. 舰船科学技术, 1997(6): 46-50.

[22] 陶玉土. 250\_2 航炸弹改造[J]. 航空兵器, 1989(2): 17-21.

[23] 杨贤文, 廖翼兵, 等. 阻力伞及气囊气动特性风洞试验技术研究[J]. 实验流体力学, 2007, 21(42): 49-52.

[24] 郑建光, 任海洋, 聂年晓. 回流式低速风洞流动特性的研究[J]. 中国计量学院学报, 2006, 17(3): 212-216.

[25] 刘兴渭, 董兴德. 我国气动测试技术的发展[J]. 气动实验与流量控制, 1993, 7(2): 10-17.

[26] 范洁川, 等. 近代流动显示技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.

[27] 阮彩群, 刘丽孺, 等. 直接投入固体粒子示踪显示气流的研究[J]. 力学与实践, 2009, 31(6): 75-76.

[28] 陈政清, 牛华伟. 桥梁抗风的气动测力测压复合节段模型试验研究. 中国科技论文在线 <http://www.paper.edu.cn>.

(上接第 8 页)

[14] Ludtke W P. Effects of Canopy Geometry on the Spinning Characteristics of a Cross Parachute with a W/L Ratio of 0.264[R]. Naval Ordnance Laboratory, 1972.

[15] Braun J F, Walcott W B. Wind Tunnel Study of Parachute Clustering[R]. Technical Report, AST-TDR-63-159.

[16] Potvin J, Esteve L, et al. Wind Tunnel Study of Cruciform Parachute Folded in Various Configurations[R]. AIAA-99-1739. Toulouse France: AIAA, 1999.

[17] Brocato B, Esteve L, et al. Experimental Study of Fluid-Structure Interaction on a Cross Parachute: Comparison of Wind Tunnel Data and Drop Data with CFD Predictions[R]. AIAA-99-1737. Toulouse France: AIAA, 1999.

[18] Potvin J, Peek G, et al. Deceleration Dynamics of Unreefed Cruciform and Flat Circular Parachutes during and after Inflation[R]. AIAA-2001-2028. Anaheim, CA, U.S.: AIAA, 2001.

[19] Potvin J, Peek G, et al. Inflation and Glide Studies of Slider-Reefered Cruciform Parachute[R]. AIAA-2001-2021. Anaheim, CA, U.S.: AIAA, 2001.