doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.04.019

大区域网络化应急短波通信中的频率管理方法*

杨青彬**,余毅敏,郭马坤,余 奇,张 涛

(国防信息学院,武汉 430010)

摘 要:频率选择问题一直是制约短波通信效能提升的瓶颈问题,网络化短波通信对优质频率选择的适用性和时效性提出了更高的要求。针对大区域网络化短波通信的频率管理和使用需求,提出融合利用损耗模型、Chirp 探测数据、Modem 探测数据进行区域覆盖计算的方法,并基于计算结果实现对区域中心站导频和业务频率的指配和动态调整功能,实现了优质频率统管共用目的,提升了大区域网络化应急短波通信的质量和效能。

关键词:大区域网络;应急短波通信;频率管理;损耗模型;Chirp 探测;Modem 探测

中图分类号:TN925 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-893X(2013)04-0470-06

Frequency Management Methods for Large Regional Network of Emergency HF Communication

YANG Qing-bin, YU Yi-min, GUO Ma-kun, YU Qi, ZHANG Tao

(Academy of National Defense Information, Wuhan 430010, China)

Abstract: The frequency choosing is always the bottleneck for upgrading the HF communication capability, and the networking HF communication has put forward higher requirements of suitability and time-effectiveness when choosing the high quality frequencies. According to the frequency management and using requirements of the large regional network of HF communication, the strategy is proposed that combines the loss model, the Chirp detection data and the Modem detection data to calculate the area coverage of the frequency. Based on the calculation results of the regional center station, the assignment and dynamic adjustment of the pilot frequency and operational frequency is realized, the purpose that high-quality frequency is unifiedly managed and shared is achieved, and the performance of the large regional network of emergency HF communication is improved.

Key words: large regional network; emergency HF communication; frequency management; loss model; Chirp detection; Modem detection

1 引 言

在应急处置和应急指挥过程中,如何在第一时间快速准确地获取第一事发地点、第一事发事件成为党和政府指挥决策的关键,这就对应急通信提出了很高的要求。应急通信系统作为突发事件应急指挥平台的重要组成部分,在抢险救援、应急指挥过程中发挥了重要作用。同时,应急通信作为处理各类突发公共事件所必备的通信手段,是整个国家应急保障体系的重要组成部分[1],而短波通信具有天然的应急应用特性,是重大突发事件发生后“黄金救援 72 小时”内的重要应急通信手段,是国家应急通信网系的重要组成部分。

随着数字信号处理、自适应、跳频、高速数据传输等新技术的广泛应用,以及宽带天线技术的持续发展,短波的通信质量和数据传输速率得以不断提高,其应用范围逐步拓展,对此,文献[1-3]中均有短波通信在重大突发事件中的应用描述。当前,国

* 收稿日期:2012-11-05;修回日期:2013-01-24 Received date:2012-11-05;Revised date:2013-01-24
** 通讯作者:gefsse@sina.com **Corresponding author**: gefsse@sina.com

内短波通信在军队、人防、武警、气象和防汛等行业部门均有使用,但不同行业部门短波通信系统的技术体制不一,有传统点对点组网通信、还有同步体制和异步体制等,造成不同短波通信系统之间难以互联互通,给应急指挥和应急救援的实施带来了极大不便。对此,国内外近年来加强对网络化短波通信的研究,以实现网系互通和业务互通等。但网络化短波通信对频率选择的适用性和时效性提出了更高的要求。传统的人工经验式选频,或者单一的基于预测的选频和单独的探测选频,均不能满足网络化短波通信对频率的使用需求,频率选择问题成为制约短波通信质量提升的短板和瓶颈问题,因此,科学合理的频率管理和使用对网络化短波通信具有十分重要的意义[4]。基于此种考虑,本文主要探讨如何基于大区域网络化应急短波通信,融合利用中长期预测数据和各种探测数据相结合的方法实现对短波频率资源的优化、分发和动态调整等管理功能[5]。

2　短波在应急通信中的应用分析

一是能满足应急通信的远距离保障需求。短波通信既可以利用地波传播,也利用天波传播。地波传播的衰耗随工作频率的升高而递增,在同样的地面条件下,频率越高,衰耗越大。因此,地波主要用于近距离通信,其工作频率一般在5 MHz以下。但地波传播受天气影响小,比较稳定,信道参数基本不随时间变化,在应对重大自然灾害时,可以作为一种有效、稳定的通信手段。天波是电波经由地球表面60~1 000 km电离层反射进行传播的一种工作模式。天波的传播损耗比地波小得多,经电离层一次反射最远通信距离可达几千公里,经电离层多次反射可以实现环球通信。在一些地形复杂、短波地波或视距超短波、微波传播受阻挡而无法到达的地区,短波天波利用近垂直反射传播技术可达成有效的应急通信保障,因此,短波通信具有不需要建立中继而实现应急通信远程全域覆盖的保障需求[6]。

二是能满足不同部门的应急通信需求。短波通信元器件要求低、技术成熟、制造简单、设备体积小、价格便宜、容易隐蔽,可以根据使用要求固定参数设置,进行定点固定通信;也可以背负或装入车辆、舰船、飞行器进行移动通信或运动通信;便于改变工作频率以躲避干扰和窃听,破坏后容易恢复。因此,在军队、武警、公安、人防、气象、防汛、交通等部门得到了广泛的应用。

三是能满足应急通信快速布设应用的需求。短波通信电路调度容易、临时组网方便、迅速,设备目标小、机动性强;既可实现用户间远端无线电直接通信,也可通过接入其他无线或有线通信网通信或转信,具有很大的使用灵活性;由于其造价相对较低,可以大量装备,遭到损坏也容易修理,因而系统顽存性强。同时,短波通信建设和维护费用低,建设周期短,且其不需要支付话费,运行成本低。特别是短波频率自适应技术能保证系统总是工作在最佳信道上,极大地提高了短波通信的可靠性和有效性,因此短波通信能满足应急通信的多种应用需求。

四是对自然灾害或战争的抗毁能力强。美国国防部核武局曾在一份报告中指出,“一个国家,在遭受原子弹袭击后,恢复通信联络最有希望的解决办法是采用价格不高、能够自动寻找信道的高频通信系统”[7]。所以,我们有理由相信,由于短波通信不需要依托其他地面设施即可实现远程通信和组网通信,无论哪种通信方式,当因战争或非战争因素造成可资利用的地面通信资源和手段被毁或处于瘫痪状态时,其抗毁能力和自主通信能力都无法与短波通信相比。因此,短波通信是实现应急组织指挥通信的重要选择。

3　网络化应急短波通信的频率管理需求

大区域网络化应急短波通信高质量通信的最重要前提是实时、完备、准确、可靠地挑选出无干扰的最佳工作频率并及时分发给网内不同的区域中心站,而短波信道是典型的时变信道,随着电离层的变化而变化,因此,选择最佳工作频率是保证通信质量的关键因素。对于网络化短波通信网来说,其非地域的多重覆盖和资源的网络化归属等属性对频率管理提出了更高的要求,因为离开了有效的频率管理就谈不上网络的组织和运用。

(1)非地域化的多重覆盖要求对频率资源进行统管统控。大区域网络化应急短通信网利用一定数量的区域中心站,为各机动用户提供网络化的报文交换服务,不同于微波频段工作的蜂窝基站系统,大区域网络化应急短波通信网中各区域中心站的信号呈广域覆盖特性,即单个区域中心站的信号即可覆盖到大面积的地域。因此,对于确定的保障区域,通常是由多个区域中心站来重叠保障,且区域中心站与保障区域通常不属于同一地域或者说同一管辖范围,这就要求对频率资源进行统管统控,统一协调和

使用。

(2)频率资源的网络化归属要求对频率资源进行动态调整。大区域网络化应急短波通信网的构建思路是将优选的频率资源分配给区域中心站,由区域中心站通过导频广播,来引导各机动用户共享使用属于该区域中心站的频率资源,而机动用户并不拥有确定的频率资源,只是在有通信需求时才与某区域中心站形成动态的绑定关系,因此原则上说,一个机动用户可以使用全网任意区域中心站的任意频率资源。这种由网络来拥有频率资源的方式,必然需要一个稳定可靠的频率管理系统作支持,以使网络可根据电磁条件的变化,灵活动态地调整频率资源的使用。

(3)导频的规模化效应要求对频率资源进行预先规划。导频机制是牵引用户选择最佳工作频率的主导依据,由于采用时效性较低的异步建链握手机制,这要求投入使用的导频应是工作时段内的优质频率,但由于时变信道的特性和干扰等实时复杂电磁环境的影响,可工作频率的选择需要经过实际的握手验证,在多个导频中选择出可用频率。因此,服务于特定用户组的导频数量必须达到一定的规模,方能保证接入的成功率。这就要求在选择和确定导频频率和工作频率时必须对频率资源进行预先规划和性能预测。

4 具体的频率管理方法研究

大区域网络化应急短波通信的核心思想是通过对频率资源的科学规划和动态分配,将稀缺优质的资源分配给若干有线互联的区域中心站,构建一个公共化的网络接入与交换平台,为各机动短波电台用户提供随遇接入、具有多路由迂回和重叠覆盖的大区域网络化短波通信环境,因此,科学合理的频率管理与规划是保证短波通信质量和效果的关键[8]。在大区域网络化应急短波通信中,频率管理与规划主要有区域中心站覆盖范围计算、导频分配和工作频率分配 3 个部分。

4.1 区域中心站覆盖范围计算

区域中心站覆盖范围计算的具体思路是:对整个国土范围按一定的粒度(比如经纬度各一度的区域),将全网的保障范围划分为一个一个的小区域,每个区域中心站在全网保障范围的覆盖情况用一个数组表示,数组的元素为信噪比,每个区域中心站的覆盖范围由信噪比大于一定门限的小区域构成。

考虑到电离层的时变性,在计算时采用短波传播模型预报、探测监测数据、业务频率质量数据相结合的方法,计算区域中心站在导频上的覆盖范围。首先利用短波传播模型预报各区域中心站导频的覆盖范围,然后利用探测监测数据和业务频率质量数据对预报的覆盖范围进行修正。

4.1.1 利用损耗模型计算

利用传播模型计算区域中心站覆盖情况的步骤如图 1 所示。其中传播损耗采用 ITU 建议标准(ITU-R P533),覆盖范围计算考虑了地波、D 层、E 层 F 层天波的综合影响。

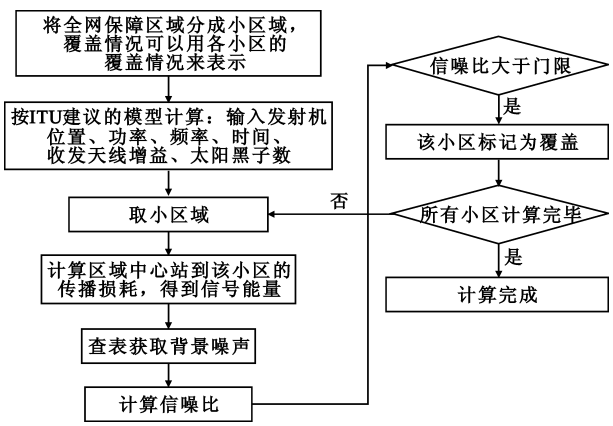

图 1 利用传播损耗模型计算覆盖区域

Fig.1 Using the transmission loss model to calculate the coverage area

(1)将全网的保障区域按一定的粒度(比如经纬度各一度的区域)划分成一个一个的小区域;

(2)对每个小区域,计算区域中心站到小区的传播损耗,得到信号能量;

(3)查表得到背景噪声,把计算得出的信噪比作为小区信噪比;

(4)比较小区信噪比与门限值的大小,若大于门限值,则该小区被覆盖,否则不能被覆盖;

(5)重复第 2~4 步,计算所有小区的覆盖情况,得到区域中心站的覆盖情况。

4.1.2 利用 Chirp 探测数据计算

Chirp 探测系统在预报通信链路的信道质量方面能取得非常好的效果,用于修正传播损耗模型法计算的覆盖范围。采用空间外推法和伪太阳黑子数法两种方法综合分析采集到的 Chirp 探测数据[2]。

空间外推法是已知若干条链路上探测到的最高可用频率、信号强度、多径时延等探测数据,利用空间距离与这些参数的关系,插值得到对网络中的其他链路的最高可用频率、信号强度和多径时延进行

外推,用外推的结果来修正覆盖区域的计算结果。

伪太阳黑子数预报法是通过一条 Chirp 探测链路某时刻的最高可用频率(Maximum Usable Frequency,MUF),推算出该时刻的伪太阳黑子数(PSSN)。得到伪太阳黑子数后,就可以实时更新短波传播预报模型中所用的太阳黑子数,同时通过伪太阳黑子数结合长期预报求得任意链路的 MUF 和 LUF(Lowest Usable Frequency),从而可以实时修正覆盖区域。

利用 Chirp 探测数据计算区域中心站覆盖情况的步骤如图 2 所示。

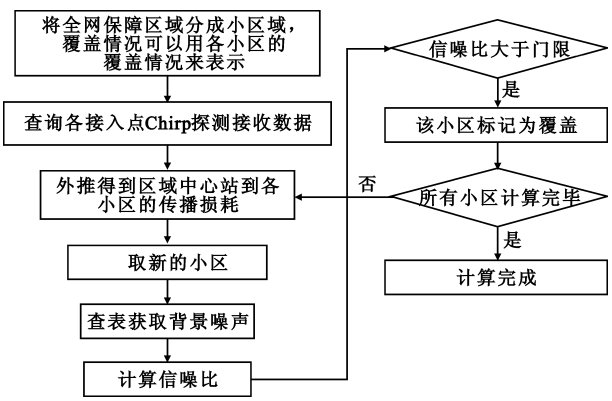

图 2　利用 Chirp 探测数据计算覆盖区域

Fig.2 Using the Chirp detection data to calculate the coverage area

4.1.3　利用 Modem 探测数据计算

Modem 探测数据代表了某频率某链路上的通信质量,可以将其转换为局部的覆盖区域分析结果,用于后续的数据融合处理。利用 Modem 探测数据计算区域中心站覆盖情况的步骤如图 3 所示。

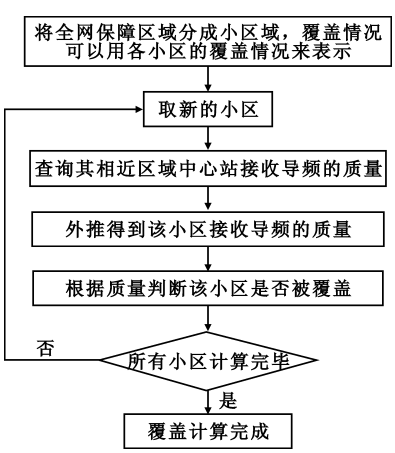

图 3　利用 Modem 探测数据计算覆盖区域

Fig.3 Using the Modem detection data to calculate the coverage area

4.1.4　监测数据和业务频率质量数据分析

短波 Chirp 探测设备具有监测本地噪声干扰功能。利用监测结果更新计算过程中使用的背景噪声,可以提高覆盖区域计算的准确度,同时可以长期统计区域中心站各信道干扰占有率、分布特征,为各区域中心站的导频指配提供参考数据,减少指配时间并提高指配质量。

业务频率质量数据代表了某频率某链路上的通信质量,可以将其转换为局部的覆盖区域分析结果,用于数据融合处理。也可以将其作为历史数据,用于分析区域中心站各信道的可通情况。

4.1.5　数据融合

通过融合长期预报结果、Chirp 探测结果、Modem 探测结果、垂测网数据,以及业务频率质量数据,可以提高覆盖区预报计算的精度。

数据融合的基本思路是:建立神经网络模型,首先利用长期预报数据对神经网络进行初始化训练[9],然后利用 Chirp 探测结果、Modem 探测结果、垂测网数据以及业务频率质量数据对网络进行实时训练,利用修正后的模型来计算区域中心站未来一段时间的覆盖区,为导频指配提供支撑[8]。

4.2　导频的指配和区域中心站的选择

电离层的不断变化是影响短波网络覆盖和通信质量的主要因素。业务频率通常在导频附近选取,其电离层传播特性相近,因而如何根据电离层的变化优化选择全网使用的导频和工作的区域中心站,以满足网络覆盖需求,是需要重点解决的问题。

导频指配和区域中心站选择的准则如下:

(1)全网保障区域内各点有多个区域中心站提供服务,常态化保障为 2 ~ 3 个,重点任务保障为 5 ~ 6 个;

(2)提供服务的区域中心站在空间和频率上保持适当的间隔,减少区域中心站的相关性;

(3)导频间相互不干扰(主要考虑同邻频干扰)。

由于运算的组合数巨大,用穷举法寻找最优解不可行,需采用数值分析的方法寻求可行解或近似最优解。初步思路是采用多目标遗传算法(NSGA - 2)进行计算[10],以选择和确定指配方案。根据常态化或重点任务保障要求,以网络覆盖区域最大、重叠覆盖区最多、相互干扰最小、区域中心站间距离最远作为优化指标,采用整数编码方完成指配方案到遗传算法中个体的映射,通过种群的不断交叉繁衍完成近似最优解的搜索。选取近似最优的区域中心站与导频的组合。如果该近似最优解可以满足要求则停止搜索,否则继续迭代运算。

4.3 业务频率优选指配

4.3.1 监测数据分析

利用监测数据可以长期统计区域中心站导频附近各信道干扰占有率、分布特征,得到安静频率集合,作为业务频率的选择依据。监测数据统计分析流程如图 4 所示。

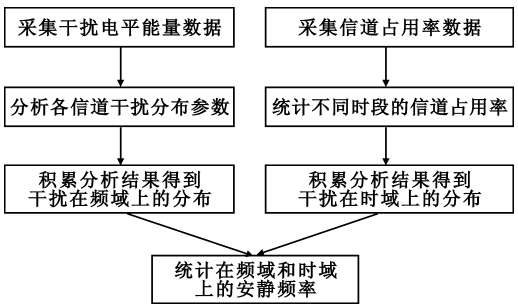

图 4 监测数据分析流程

Fig.4 The monitoring data analysis process

4.3.2 业务频率质量数据分析

区域中心站保存历次接入通信中快速建链 LQA (Links Quality Analysis)结果和通信时间、链路位置等信息,通过统计分析,得到业务频率质量的分布特性,为业务频率调整提供依据。业务频率质量数据分析流程如图 5 所示。

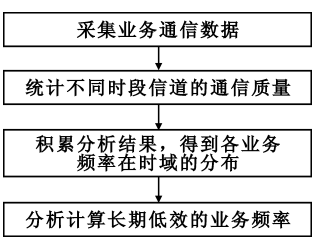

图 5 业务频率质量数据分析流程

Fig.5 The working frequencies' quality data analysis process

4.3.3 业务频率指配与协调

业务频率的生成以基本均匀、日疏夜密、高疏低密为原则在导频附近选取。其中,区域中心站选取的业务频率数量应该多于区域中心站需求的业务频率数量,以便于动态调整和控制;业务频率的协调以保证全网的业务频率无冲突为原则,按照先来者先服务的原则,对后来的业务频率申请进行筛选,筛选的依据为同邻频冲突影响分析结果;业务频率的调整依据是业务频率质量数据分析结果,业务频率调整方案的依据是干扰监测数据分析结果。

5 结束语

本文通过分析短波通信的应急应用价值,研究了大区域网络化应急短波通信的频率管理和使用需求,并针对大区域网络化应急短波通信中频率管理与规划中区域中心站覆盖范围计算、导频分配和工作频率分配 3 个方面的需要,提出了融合利用损耗模型、Chirp 探测和 Modem 探测进行区域覆盖范围计算的方法,并基于计算结果实现对区域中心站导频和业务频率的指配和动态调整功能,能实现优质频率的统管共用,对提升大区域网络化应急短波通信的性能具有重要意义。

参考文献:

[1] 张雪丽.应急通信新技术与系统应用[M].北京:机械工业出版社,2010.
ZHANG Xue-li. New Technology and System Application of Emergency Communication [M]. Beijing: China Machine Press,2010. (in Chinese)

[2] 林卫民.信息化条件下短波通信运用[M].北京:解放军出版社,2009.
LIN Wei-min. The HF Communication Application Under the Informatization Condition [M]. Beijing: The PLA Press, 2009. (in Chinese)

[3] 姚国章.应急管理信息化建设[M].北京:北京大学出版社,2009.
YAO Guo-zhang. Emergency Management Informatization Constration [M]. Beijing: Beijing University Press, 2009. (in Chinese)

[4] 杨青彬,余毅敏,余奇,等.基于 ITS 软件的短波频率管理系统设计[J].电讯技术,2013,53(3):249-253.
YANG Qing-bin, YU Yi-min, YU Qi, et al. Design of an HF frequency management system based on ITS software [J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53 (3): 249 - 253. (in Chinese)

[5] 胡中豫,宫润胜,张宏珉.大区域短波通信的动态选频策略[J].舰船电子工程,2008,163(1):4-8.
HU Zhong-yu, GONG Run-sheng, ZHANG Hong-min. Dynamic Frequency Selection Strategy for Wide Area HF Communications[J]. Ship Electronic Engineering,2008,163(1): 4-8.(in Chinese)

[6] 王坦.短波通信系统[M].北京:电子工业出版社,2012.
WANG Tan. HF Communication System[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012. (in Chinese)

[7] 尤增录.短波通信网[M].北京:解放军出版社,2010.
YOU Zeng-lu. HF Communication Network[M]. Beijing: The PLA Press,2010. (in Chinese)

[8] LI Wei, ZUO Jian-guo, HAN Yang. Research on Techniques of HF Isomerous Network Frequency Management[C]//Proceedings of 2011 Asia-Pacific Youth Conference on Communication. Hangzhou: IEEE,2011:1-5.

[9] 陈兆海.应急通信系统[M].北京:电子工业出版社,2012.

CHEN Zhao-hai. Emergency Communication Systems[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012. (in Chinese)

[10] 梁旭,黄明.现代智能优化混合算法及其应用[M].北京:电子工业出版社,2011.
LIANG Xu, HUANG Ming. Modern Intelligence Optimized Mixed Algorithm and the Application[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)

作者简介:

杨青彬(1982—),男,河南南阳人,博士研究生,主要研究方向为短波通信和网络工程;

YANG Qing-bin was born in Nanyang, Henan Province, in 1982. He is currently working toward the Ph.D. degree. His research concerns HF communication and network engineering.

Email: gefsse@sina.com

余毅敏(1971—),男,湖北武汉人,副教授,主要研究方向为通信系统与工程;

YU Yi-min was born in Wuhan, Hubei Province, in 1971. He is now an associate professor. His research concerns communication system and engineering.

郭马坤(1977—),男,湖北襄阳人,讲师,主要研究方向为通信系统与工程;

GUO Ma-kun was born in Xiangyang, Hubei Province, in 1977. He is now a lecturer. His research concerns communication system and engineering.

余　奇(1978—),男,湖北黄梅人,讲师,博士研究生,主要研究方向为通信系统与工程;

YU Qi was born in Huangmei, Hubei Province, in 1978. He is now a lecturer and currently working toward the Ph.D. degree. His research concerns communication system and engineering.

张　涛(1971—),男,重庆人,副教授,主要研究方向为通信系统与工程。

ZAHNG Tao was born in Chongqing, in 1971. He is now an associate professor. His research concerns communication system and engineering.