doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.06.027

引用格式:马子健. 陆基链式超短波监测网布站仿真测算[J]. 电讯技术,2014,54(6):840-844. [MA Zi-jian. Simulation Calculation of Station Distance for Ground-based UHF/VHF Chain Monitoring Network[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(6):840-844.]

陆基链式超短波监测网布站仿真测算*

马子健**

(国家无线电监测中心,北京100037)

摘 要:无线电用户移动性的增加对低干扰的电磁环境提出了更高的要求。陆基链式超短波监测网 可以为高速移动的无线电用户提供这种保障。该网络在用户移动路线周边布站,及时发现判定路径 周边的干扰隐患,可以提升保障覆盖范围。通过设计仿真测算方法和计算公式,在设定的仿真条件 下计算出直线线路条件下陆基链式监测站的理论布站距离为10~25 km,为今后该网的设计提供了 参考依据。

关键词:陆基链式监测网;移动用户;电磁干扰;超短波;理论布站距离 中图分类号:TN92 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2014)06-0840-05

Simulation Calculation of Station Distance for Ground-based UHF/VHF Chain Monitoring Network

MA Zi-jian

(The State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China)

Abstract: The increasing of mobility of radio users requires more strict electromagnetic environment in low interference situation. The ground-based UHF/VHF chain monitoring network can provide the protection for high speed mobile radio users. The network should discover potential interference around surrounding path, and improve coverage. According to simulation calculation method and calculation formula, the theoretical station distance is 10 ~25 km under the condition of straight line of ground-based chain monitoring stations, which provides reference for design of the network in the future.

Key words: ground - based chain monitoring network; mobile user; electromagnetic interference; UHF/ VHF; theoretical station distance

1 引 言

随着国民经济的不断发展和无线电技术应用领 域的扩充,各类无线电应用对无线电频谱资源的需 求不断扩大^[1-3]。无线电用户(含无线电设备,以下 统称用户)活动范围的增加使得其在运动的过程中 可能大量地使用和依赖频谱资源。部分用户甚至将 无线电通信系统作为关键甚至唯一的通信控制单 元^[4-5]。目前,一些突发无线电干扰,轻则造成高速 运动中的用户无线电通信中断,系统运行效率下降, 重则威胁用户的安全运行。但是,目前建设的超短 波无线电监测网主要面向城域覆盖,城市覆盖率仅 有15%,难以完全覆盖这些移动线路区域^[6]。近年 来,为解决这一问题,国家无线电管理机构先后颁布 了建立民航和铁路专用无线电频率保护机制的政 策,专用无线电监测系统也在研究当中。因此,无线 电管理技术部门可以针对用户的活动特征,设计一 套能够快速发现和定位沿线干扰源的监测系统,以 实现干扰排查,并及时通知沿线的移动用户。

^{*} 收稿日期:2014-05-07;修回日期:2014-06-16 Received date:2014-05-07;Revised date:2014-06-16

^{**} 通讯作者:mazijian@ srrc. org. cn Corresponding author: mazijian@ srrc. org. cn

针对这一考虑,在用户运动路径沿线布置的链 式无线电监测网是一个可供选择的方案。目前,用 户使用的频段以超短波频段为主。因此,链式超短 波无线电监测网的设计就具有了一定的普遍性,可 以通过布站距离的仿真测算,为这种新型网络提供 设计依据。本文将探讨这一监测网的特点,并确定 理想条件下的仿真传播模型,结合目前实际线路的 典型值确定仿真参数,从而计算监测站的理论布站 距离。

2 陆基链式超短波监测网的概念及特点

2.1 概念

陆基链式超短波监测网(以下简称链式监测 网)是一种基于用户运动沿线周围布置的,以监测 用户使用的无线电信号、评估线路周边相关电磁环 境、有效判定干扰为目标的 VHF/UHF 频段地面无 线电监测网络。这一网络由若干布置在地面的固 定、移动或其他形式的监测站(设施)和信息处理中 心组成,并经过有线或无线方式实时传输监测信息, 将原始信息反馈至用户(设备)和无线电管理部门, 以保障其安全使用。

2.2 特点

链式监测网在信息监测传输时体现了3个特 点:实时性、全覆盖和智能性。

(1)实时性。链式监测网的首要目标是实时反 映其运动沿线的电磁环境状况。一些用户(设备) 在运动过程中需要依赖无线电频谱资源实现数据交 换、定位和动态控制,如果出现同频等干扰^[7],可能 会立即引起通信中断。因此,必须在极短时间内通 知在线路上运动的用户,避免出现安全事故。同时, 无线电管理部门要启动排查程序,尽快消除干扰。

(2)全覆盖。用户在沿线运动的过程中,沿线 地貌变化很大,既有的无线电监测站往往不能覆盖 偏远地区,一些距离线路近但是距离监测站较远的 干扰源往往不容易被发现。高速移动中的无线电用 户(设备)对电磁环境的要求较高,在这些地区发生 干扰后用户必须能够及时收到前方的干扰信息,以 便采取保护措施,而监测站也应将干扰信息判定及 时发送给沿线的用户。当用户以较高的速度在线路 上运动时,这种需求就变得更为迫切。

(3)智能性。链式监测网应在区间内单站或多 站发现电磁环境参数发生异常或有突发干扰时,及 时联通区域内的其他无线电监测网络和设施,共同 定位干扰源区域。这将极大地提高干扰排查效率。

3 链式监测网的布站仿真测算方法

为使监测站的布置更加具有可操作性,我们建 立了模型和理论公式,并设置了仿真条件,对链式监 测网的布站距离进行测算。通过计算电波传播损 耗,结合监测接收机灵敏度要求,可以得出在符合一 定灵敏度要求下的布站距离。为此,本文选取了日 常监测工作中最常用的传播模型进行仿真,设置不 同的传播距离,按照自由空间、城市、郊区、开阔地的 不同条件计算出不同的接收灵敏度值,以此得出理 想状态下直线线路监测站布站距离的结论。

3.1 仿真测算模型示意

用户在线路上运动的过程中,会利用沿线布置 的专用通信基站完成无线电信息传输。这些无线电 波可能受到来自周边相近频段的已知类型的干扰, 也可能受到其他不可预知的干扰。监测站布置在线 路周围,可以最大限度地获悉线路周边的电磁环境 参数,以判定干扰源。链式监测网布站示意图如图 1 所示。



图 1 链式监测站仿真模型示意图

Fig. 1 Simulation model diagram of chain monitoring stations

3.2 仿真测算模型

为尽可能合理地仿真链式监测网的布站,我们 采用直射波公式和 ITU-R P. 1546 建议书的模型计 算监测基站覆盖范围,通过电波传播半径、接收机最 小灵敏度计算来确定布站距离范围。在实际工作 中,这些模型也作为理论计算的典型参考模型。需 要指出的是,该模型是理想状态的,因此算出的布站 距离是该系统布站距离的最大值。由于真实线路周 边会有遮挡物等,实际布站距离会因线路条件不同 而比该值小。

3.2.1 直射波计算公式

直射波传播距离公式[8]为

$$R = 4.12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \tag{1}$$

其中,*R*为直射波最大传输半径(单位 km),*h*₁、*h*₂分别为发射、接收天线高度(单位 m)。该公式用以 计算单个监测站覆盖的最大理论范围。

3.2.2 损耗模型

本模型用以计算监测系统的最小接收电平(平

均功率)值。

根据 ITU R. 1546 建议书^[9],电波传播的损耗与 发射功率、发射频率、传播距离、接收端系统增益有直 接关系。为此,我们采用了典型自由空间损耗公式和 Okumura-Hata 模型对传输的理论距离进行测算。

自由空间损耗[10]公式:

$$P_r = P_t - 32.4 - 20 \lg f - 20 \lg d + G_r$$
 (2)

$$P_{i} = 10 \lg(P_{i}(W) \times 1000)$$
 (3)

Okumura-Hata 模型损耗^[9-11]公式:

$$E = 69.82 - 6.16 \lg f + 13.82 \lg h_2 + a(h_1) -$$

$$(44.9-6.55 \lg h_2) (\lg d)^b$$
 (4)

$$a(h_1) = (1.1 \text{lgf}-0.7)h_1 - (1.56 \text{lgf}-0.8)$$
 (5)

$$P_r = E - k_e - 107 \tag{6}$$

$$k_e = -29.77 - G_r + 20 \lg(f) \tag{7}$$

式中, P_r 为接收端功率(dBm), P_r 为发射点全向等效 辐射功率(dBm),f为发射频率(MHz),d为发射与接 收点距离(km), G_r 为接收端系统增益(dBi),E为 1 kW等效辐射功率的接收点场强值(dB μ V/m), h_r 为 用户天线高度(m), h_2 为监测站天线有效高度(m),a为移动台天线高度因子(dB),b为距离 d 折算系数, k_e 为天线因子(dBm⁻¹)。需要指明的是,公式(4)是 在城市环境(市区)下折算的场强值,如在郊区和开阔 地,需折算与市区的损耗差值,得出郊区和开阔地的 接收点场强值,具体计算公式^[10-11]如下:

$$P_{r(\text{suburbs})} = E - k_e - 107 + 2 \left[\lg \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 + 5.4 \quad (8)$$

$$P_{r(\text{open})} = E - k_e - 107 + 4.78 \ (\lg f)^2 - 18.33 \lg f + 40.94 \quad (9)$$

3.3 仿真条件的选取

用户在地面线路上运动,其依赖的通信基站高 度一般距离线路较近。根据实际情况,用户设置的 基站高度一般在距地面35 m以下^[12]。而监测站天 线的高度要综合考虑接收高度、布站半径等多个因 素,其天线高度通常也设置在这一范围内。因此,在 本仿真中,我们将专用基站的天线高度设置为线路 高30 m,用户的天线高度设置为距线路高5 m,监测 天线距离地面高度设置为10 m、20 m、30 m 3 类。

在监测天线增益值的选取上,实际的监测站既 有高增益天线,也有无增益天线。高增益天线会提 高监测系统的灵敏度,增加布站距离。考虑到比较 恶劣的情况,我们将天线增益值设为0。

在频段的选取上,目前高速移动用户的主要应 用频段在900 MHz,而干扰源频段一般分布在150~ ·842· 1 000 MHz 之 间。在本 仿 真 中, 取 200 MHz 和 900 MHz作为典型计算值。根据实际监测情况,这 类用户所使用的单频带宽一般不会超过200 kHz,故 选取200 kHz作为典型单频带宽。由此给出仿真条 件设置,具体如表 1 所列。

表1 仿真条件参数表

Table 1 Simulation parameters			
参数	数值条件		
仿真频段/MHz	200/900		
P_t /W	2/20		
专用基站天线高度 h ₁ /m	30		
用户天线高度 h'1/m	5		
监测站接收天线高度 h ₂ /m	10,20,30,50		
监测站距发射点 距离(离散点) <i>d</i> /km	3.5~150		
监测频率 f/MHz	200 ~ 900		
接收天线增益 G/dB	0		
单频带宽 B_W/kH_z	200		

4 仿真测算

4.1 仿真线路条件

在线路上运动的用户,当其运动设定速度越高 时,线路区段的曲线半径越大。一些专用基站的布 站距离较小,与线路曲线半径相比可近似认为是直 线,故在本仿真中线路条件按照直线区段进行仿真。

4.2 仿真结论

4.2.1 自由空间损耗仿真值

根据上述仿真条件设置,将各项仿真数据代入 入式(1),可得链式监测站的自由空间损耗理论布 站(覆盖)半径为18~45 km,取条件最恶劣的情况, 可得监测站自由空间损耗理论布站半径为 18~31 km,具体结果见表2。

表 2 链式监测站单站理论布站自由空间损耗半径仿真结果 Table 2 Simulation radius of single chain monitoring station by theory of free space loss model

设备 发射天线 高度/m 监测站接收 天线高度/m 布站半径 /km 30 50 51.70 专用基站 30 30 45.13 30 20 40.99 30 10 35.59 5 50 38.35 5 30 31.78 5 20 27.64 5 5 10 5 5 18.43					
表用基站305051.70表用基站303045.13302040.99301035.5955038.3553031.78月户天线52027.64551022.245518.43	设备	发射天线 高度/m	监测站接收 天线高度/m	布站半径 /km	
专用基站303045.13302040.99301035.5955038.3553031.78月户天线52027.64551022.245518.43	专用基站	30	50	51.70	
30 20 40.99 30 10 35.59 5 50 38.35 5 30 31.78 月户天线 5 20 27.64 5 10 22.24 5 5 18.43		30	30	45.13	
301035.5955038.3553031.78月户天线52027.6451022.245518.43		30	20	40.99	
55038.3553031.7852027.6451022.245518.43		30	10	35.59	
53031.78用户天线52027.6451022.245518.43	用户天线	5	50	38.35	
用户天线 5 20 27.64 5 10 22.24 5 5 18.43		5	30	31.78	
5 10 22.24 5 5 18.43		5	20	27.64	
5 5 18.43		5	10	22.24	
		5	5	18.43	

根据上述仿真条件,将各项仿真数据代入式 (2)和式(3),可得链式监测站距发射点的理论距离 与监测站接收机灵敏度的测算距离关系,具体数据如表3所列。

	Table 3 Simulation receiver sensitivity of chain monitoring station by free space loss model				
监测站间距					
∕ km	200 MHz/2 W	900 MHz/2 W	200 MHz/20 W	900 MHz/20 W	
3	-54.953	-68.017	-44.953	-58.017	
10	-65.410	-78.475	-55.410	-68.475	
30	-74.953	-88.017	-64.953	-78.017	
70	-82.312	-95.377	-72.312	-85.377	
140	-88.333	-101.397	-78.333	-91.397	
210	-91.855	-104.919	-81.855	-94.919	

表 3 链式监测站接收机灵敏度自由空间模型仿真结果

4.2.2 Okumura-Hata 模型损耗仿真值

根据上述仿真条件设置,将各项仿真数据代入 式(4)~(6),可得链式监测站距发射点的理论距离 与监测站接收机灵敏度的测算距离关系。因该模型 的基站天线最低高度为30 m,故仿真结果只计算了 基站高度30 m条件下的情况。另外,发射功率取移 动端的最小值2 W,以计算最严格的布站情形,具体 数据如表4 所列。

Table 4 Simulation receiver sensitivity of chain monitoring station by Okumura–Hata model					el	
监测站间距	城区条件最低灵敏度/dBm		郊区条件最低灵敏度/dBm		开阔条件最低灵敏度/dBm	
/km	$200~\mathrm{MHz}/2~\mathrm{W}$	900 MHz/2 W	$200~\mathrm{MHz}/2~\mathrm{W}$	900 MHz/2 W	200 MHz/2 W	900 MHz/2 W
3	-84.621	-99.136	-77.763	-89.193	-60.550	-70.629
5	-92.436	-106.950	-85.578	-97.008	-68.365	-78.444
10	-103.040	-117.554	-96.181	-107.611	-78.969	-89.048
15	-109.242	-123.757	-102.384	-113.814	-85.171	-95.250
25	-117.588	-132.441	-110.730	-122.498	-93.517	-103.934
35	-123.806	-139.357	-116.948	-129.414	-99.735	-110.850

仿真结果表明,在 Okumura-Hata 模型条件下 计算出的最低灵敏度值较高。根据实际工作经验, 一般监测接收机灵敏度值应不低于-107 dBm,故可 推算出在市区条件下,链式监测站单站理论布站距 离为5~15 km;在郊区条件下,布站距离为10~ 25 km;开阔地条件下布站距离为25 km以上。综合 考虑,平均每100 km直线线路布置4~10 个监测站 可满足监测基本要求。鉴于线路周边环境的复杂 性,监测站实际布站数量要根据线路周边环境的复杂 性,监测站实际布站数量要根据线路周边环境的实 际测试结果进行确定。在曲线路段,监测站的布站 应满足无缝覆盖要求,故其布站距离可能会小于理 论计算距离。

5 结 语

链式监测网的设计和布局是一个较为复杂的过

程,通过借鉴以往在固定区域监测布站的工作经验 开展仿真计算,可为今后设计该类线路型监测网提 供了参考。随着无线电用户对移动性的增加、移动 速度的提高和运动距离的延长,会使其对无线电通 信系统的依赖性更强,进而显示出链式监测网的重 要性。在今后实际线路设计中,仍应通过线路现场 测试与仿真模型相结合的方法来确定具体的布站条 件,并校正理论计算模型。

参考文献:

- [1] 李元忠. 射频识别技术及其在交通领域的应用[J]. 电 讯技术,2002,42(5):5-9.
 LI Yuan-zhong. The RFID Technology and its Application in Transportation Field[J]. Telecommunication Engineering,2002,42(5):5-9. (in Chinese)
- [2] 高青,马煦,瞿稳科,等."北斗"卫星导航系统在智能

铁路运输系统中的应用[J].电讯技术,2006,46(4): 128-131.

GAO Qing, MA Xu,QU Wen-ke, et al. Application of China's BD-1 Satellite Navigation Systemin IntelligentRailway Transport System[J]. Telecommunication Engineering,2006, 46(4):128-131. (in Chinese)

- [3] 王志明,曾孝平,黄杰民,等. 民用航空通信技术现状 与发展[J]. 电讯技术,2013,53(11):1537-1544.
 WANG Zhi-ming,ZENG Xiao-ping,HUANG Jie-min, et al. Situations and Developments of Mobile CommunicationTechnologies for Civil Aviation[J]. Telecommunication Engineering,2013,53(11):1537-1544. (in Chinese)
- [4] 朱刚,钟章队. GSM-R 技术浅析[J]. 移动通信,2007
 (7):62-65.
 ZHU Gang, ZHONG Zhang-dui. GSM-R technical analy-

sis [J]. Mobile Communications, 2007 (7): 62 – 65. (in Chinese)

[5] 钟章队.我国 GSM-R 系统关键技术创新及应用[J].
 中国铁路,2007(11):24-27.
 ZHONG Zhama dai Kan taalam imamiin and anali

ZHONG Zhang-dui. Key technology innovation and application of GSM-R system in China[J]. Chinese Railways, 2007(11):24-27. (in Chinese)

[6] 朱仁洁,施继红,陈德章,等.空中无线电监测平台最佳工作高度探究[J].计算机应用,2012,32(S1):8-10.
ZHU Ren-jie, SHI Ji-hong, CHEN De-zhang, et al. Analysis of best working platform height for aerial radio monitoring[J]. Journal of Computer Applications, 2012, 32 (S1):8-10. (in Chinese)

[7] 杨静,张祖凡. 移动通信无线覆盖均匀性分析[J]. 电讯技术,2004,44(6):97-100.
YANG Jing,ZHANG Zu-fan. Performance Analysis of Radio Coverage Uniformity for Mobile Communications systems[J]. Telecommunication Engineering,2004,44(6):97-100. (in Chinese)

[8] 马子健. 超短波无线电监测网监测能力评估方法研究 及实现[D]. 北京:北京邮电大学,2010:71-72.

MA Zi-jian. Research and realization of monitoring capability evaluation of VHF & UHF radio monitoring network [D]. Beijing:Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010:71-72. (in Chinese)

- [9] ITU. Recommendation ITU R P. 1546 5, Method for point-to-area predictions forterrestrial services in the frequency range 30MHz to 3000MHz[S].
- [10] 朱庆厚. 无线电监测与通信侦察[M]. 北京:人民邮电出版社,2005:92-100.
 ZHU Qing-hou. Radio Monitoring and Communication Detection[M]. Beijing:Posts & Telecom Press,2005:92-100. (in Chinese)
- [11] Anon.频谱监测手册[M].周洪顺,译.北京:人民邮 电出版社,2006:358-360.
 Spectrum Monitoring Handbook [M]. Translated by ZHOU Hong - shun. Beijing: Posts & Telecom Press, 2006:358-360. (in Chinese)
- [12] 赵旭. 基于单网交织网络的 GSM-R 基站间距分析
 [J]. 铁路通信信号工程技术,2011,8(1):38.
 ZHAO Xu. Distances analysis of GSM-R base stationsbased on single interleaved networks [J]. Railway Signalling & Communication Engineering,2011,8(1):38.
 (in Chinese)

作者简介:



马子健(1982—),男,北京人,2010年于 北京邮电大学获硕士学位,视为国家无线电 监测中心工程师,主要研究方向为无线电管 理政策、交通无线电管理。

MA Zi-jian was born in Beijing, in 1982. He received the M. S. degree from Beijing University of Posts and Telecommunications in

2010. He is now an engineer. His research interests include radio regulatory policy and radio management of transportation.

Email:mazijian@srrc.org.cn