

文章编号:1001-893X(2012)08-1243-04

一种基于迭代计算的短波有效压制功率估计新方法^{*}

苑小华,罗武忠,郑 辉

(盲信号处理国家重点实验室,成都 610041)

摘 要:短波压制式干扰设计中,基于链路损耗估算的有效压制功率估计误差大。针对此问题,提出了一种利用短波通信的自适应调制机制和自动重传请求机制,通过迭代干扰实现有效压制功率精确计算的方法。首先推导了有效压制功率和有效压制系数之间的线性关系,然后给出了针对自适应调整和自动重传请求的迭代干扰的算法原理,最后给出了半功率迭代计算的详细算法流程及计算机仿真结果。仿真结果表明,新算法靠有限次迭代干扰实现了有效压制功率的精确计算,相比传统的链路估算方法,能够快速地为干扰系统提供准确的发射功率值,将大大提高干扰效率和安全性。

关键词:短波干扰;有效压制功率;自适应调制;自动重传请求;半功率;迭代计算

中图分类号:TN911 **文献标志码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.08.004

A New Method for Effective Blanket Power Estimation of Shortwave Propagation Based on Iterative Computation

YUAN Xiao-hua, LUO Wu-zhong, ZHENG Hui

(National Key Laboratory of Blind Signals Processing, Chengdu 610041, China)

Abstract: Estimation of effective blanket power is an important work of shortwave sky wave jamming. In earlier works, the jamming power is obtained according to the worst loss of propagation, but the result may be much greater than what is practically needed. In this paper, an iterative jamming calculation method is present to estimate the effective blanket power in light of mechanism of adaptive modulation and automatic repeat request in shortwave communication. The relationship between effective blanket power and effective blanket coefficient is derived, then the principle of iterative jamming algorithm for adaptive adjustment and automatic repeat request is presented, finally the flowchart of half-power iterative computation algorithm and computer simulation results are given. The results show that the new algorithm realizes accurate computation of effective blanket power by using finite iteration, and can provide accurate transmitting power for jamming system rapidly compared with traditional link estimation algorithm, thus improving jamming efficiency and security greatly.

Key words: shortwave jamming; effective blanket power; adaptive modulation; automatic repeat request; half-power; iterative calculation

1 引 言

短波天波干扰具有隐蔽性好、安全性高的优点,一直是短波通信对抗的主要方式。通常对于干扰发射

功率的估算依靠经验公式,但由于其传输媒介电离层是时变参数的信道,对电波传播损耗估算与实际值存在较大偏差。为了保证干扰的可靠性,损耗常取最大值,干扰的发射功率远大于实际需要的功率。

^{*} 收稿日期:2012-03-12;修回日期:2012-05-16
基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2011AA7074117)
Foundation Item: The National High-tech R&D Program(863 Program) of China(2011AA7074117)

这种干扰功率的确定方法不但增加了干扰设备的负担,也增大了被跟踪定位的概率。

随着电离层探测技术的发展,有学者提出利用电离层探测设备探测干扰链路中点上空的电离层参数来估算传输损耗以提高估计精度。然而,电离层的不规则性使得由实测电离层参数计算的传播损耗仍有 5~10 dB 的误差,并且由于接收方通信信号场强未知,也无法准确估计有效压制所需要的功率。

本文提出的有效压制功率计算方法完全不同于链路损耗预算的方法,避免了链路预算中的不确定性。该方法利用短波通信系统的自适应调制(Adaptive Modulation, AM)和自动重传请求(Automatic repeat request, ARQ)机制,通过迭代干扰搜索有效压制功率。本文推导了算法的理论基础和迭代干扰的基本原理,并给出了半功率迭代干扰算法仿真结果。

2 有效压制功率的计算公式

在通信对抗系统中,当干扰目标位置和干扰样式确定后,干扰的有效压制系数 K_j 用场强表示为

$$K_j = \left(\frac{E_j}{E_s} \right)^2 \tag{1}$$

式中, E_s 是通信信号的强度; E_j 是干扰信号的强度,单位 $\mu\text{V/m}$ 。所需要的干扰信号场强 E'_j 为

$$E'_j \geq E_j = E_s \sqrt{K_j} \tag{2}$$

对于天波干扰,信号场强的计算公式^[4]为

$$E_j = 104.76 + 10 \lg P_j + G_j - 20 \lg D_x - L_i - L_g - L_y \tag{3}$$

式中, P_j 是发射机的发射功率,单位 kW; G_j 是天线在干扰方向上的指向性增益,单位 dB; D_x 为经电离层反射的斜射距离,单位 km; L_i 是电离层的吸收损耗,单位是 dB; L_g 是地面反射损耗,单位是 dB,天波干扰不考虑两跳(含)以上情况其值为 0; L_y 是额外损耗,单位 dB,通常由电离层造成的无法准确测量的损耗在 5~10 dB。

将式(3)代入式(2),推导有效压制功率 $\lg P_j$ (单位 dBW)的计算公式得

$$\lg P_j = E_s \sqrt{K_j} - 74.76 - G_j + 20 \lg D_x + L_i + L_y \tag{4}$$

干扰样式确定后,通信系统的解调高于规定误码率的信干比门限是确定的,即有效压制系数 K_j 可以确定, L_i 、 D_x 在确定干扰目标位置后可以估算, G_j 、 E_s 、 L_y 完全未知,为保证干扰可靠只能按照最大值估算,使得干扰功率的估计值 $\lg \hat{P}_j \gg \lg P_j$ 。

假设信号持续时间内电离层参数和通信信号接收场强是恒定不变的,则可以认为 E_s 、 L_i 、 D_x 、 G_j 、 L_y 是不变的,式(4)可简化为

$$\lg P_j = A \sqrt{K_j} + B \tag{5}$$

式中, A 、 B 是常量,如果能够找出两对 $\lg P_j$ 和 K_j 组成一个方程组,就能正确求解 A 、 B 的值。

令方差 $\sigma^2 = (\lg \hat{P}_j - \lg P_j)^2$,可采用一维搜索的方法求出 $\lg \hat{P}_j$,并代入式(5)求解 A 、 B 。

3 针对 AM 和 ARQ 的迭代干扰方式

AM 和 ARQ 技术是短波通信中为了保证不同信道条件下通信质量而制定的传输控制技术,这两种机制的存在使得干扰中获得多个压制系数的值成为可能。

自适应调制技术根据信道质量自动选择调制方式、子载波路数、调制速率、编码方式等调制参数,控制传输速率以保证传输质量和可靠性。在采用自适应调制技术的短波通信系统中往往将传输速率分成若干等级,每个速率等级对应不同的调制参数,其正确解调所需要的信噪比门限不同。通信对抗中,对不同速率等级的数据传输有效压制系数也不同。

设速率等级 S_i 对应的有效压制系数为 $K_j(S_i)$,其中 $S_i < S_{i+1}$, $i = 1, 2, \dots, N$, N 为速率等级的个数,干扰机发射功率为 P ,当

$$A \sqrt{K_j(S_{i+1})} + B < P < A \sqrt{K_j(S_i)} + B \tag{6}$$

时,通信方按照速率等级 S_i 传输。

ARQ 技术是传输控制中通信双方的协商技术。短波通信中往往将一段报文分成若干个数据包分别传输,每传送完一包,接收方对接收情况(如信噪比、误码率等)进行评估,并将继续发送下一包、重传数据包、调整速率等级等信息反馈给发送方,如图 1 所示。

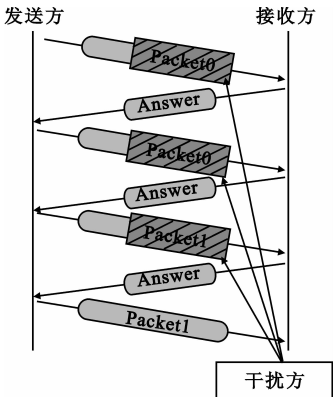


图 1 干扰方式示意图
Fig.1 Jamming process

假设数据包 0 按照速率等级 S_i 传输,选择合适的干扰功率满足

$$A\sqrt{K_j(S_{i+1})} + B < P < A\sqrt{K_j(S_i)} + B \tag{7}$$

干扰数据包 0 的接收,接收方解调误码率高于门限则反馈信息要求以速率等级 S_i 重发数据包 0,获取该信息后,干扰方降低发射功率满足 $P < A\sqrt{K_j(S_{i+1})} + B$,接收方通过反馈要求增加速率等级为 S_{i+1} ,如此反复发射功率逐步逼近该速率等级的有效压制功率 $P_j(S_i)$,得到 $\hat{P}_j(S_i)$ 。

通过有效功率搜索算法得到两组以上的 $P_j(S_i) \sim K_j(S_i)$,即可代入式(6)求得 A 、 B 的值,进而求得最低速率等级对应的有效压制功率 $P_j(S_0)$,即得到干扰的最小有效压制功率。

4 迭代计算的算法仿真

对最小有效压制功率的估计的关键是通过调整发射功率,根据目标反应,搜索干扰功率的门限值,搜索算法的性能影响了搜索的效率,本节采用半功率值迭代搜索算法,并对算法进行了仿真。

设每次发射的干扰功率为 P ,初始功率增量为 δ ,算法流程如图 2 所示。

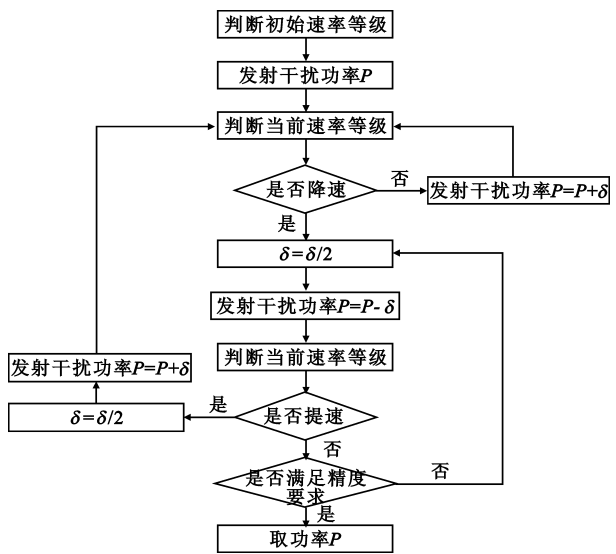


图 2 半功率迭代算法流程
Fig.2 Half-power iterative algorithm flow

下面通过计算机仿真检验半功率迭代搜索算法的估计精度和收敛速度。

假设某自适应调制通信系统有 4 个速率等级分别采用2 400 bit/s的 BPSK、QPSK、8PSK、16QAM 调制方式,干扰信号采用高斯白噪声,经实验其速率等级

和解调误码率门限对应的信干比如表 1 所示。

表 1 速率等级和解调误码率门限对应表
Table 1 Speed level parameter

速率等级	调制方式	传输速率(编码后) /(kbit/s)	信干比(误码门限) /dB
1	BPSK	2.4	6.4
2	QPSK	4.8	8.5
3	8PSK	7.2	12.8
4	16QAM	9.6	15.7

干扰信号采用高斯白噪声干扰。通信信号接收功率为 - 60 dBm,干扰信号传输损耗和增益之和为 120 dB,设干扰功率的初始值为 $P = 200$ W 和 $P = 150$ W,初始功率增量 $\delta = 50$ W,设初始状态传输速率等级为 2,精度设为1 W。功率搜索的仿真结果如图 3 所示。

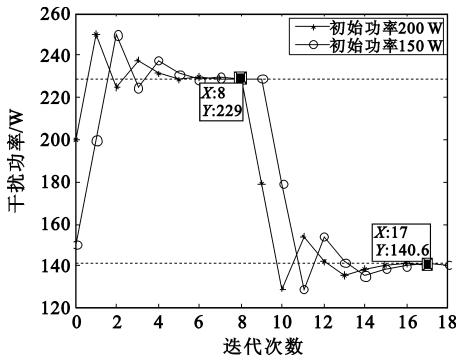


图 3 半功率迭代算法仿真结果
Fig.3 Simulation of half - power iterative algorithm

干扰功率初始值为 $P = 200$ W时,经过 8 次搜索找到速率等级 1 的有效压制功率229 W,再经过 9 次找到速率等级 2 的有效压制功率141 W; $P = 150$ W 时,经过 9 次搜索找到速率等级 1 的有效压制功率 229 W,再经过 9 次找到速率等级 2 的有效压制功率 141 W。将上述搜索结果代入式(7),计算得到干扰的最小有效压制功率值为对速率等级 1 的有效压制功率值229 W。

仿真结果表明,半功率迭代算法通过有限次迭代可以很快收敛,得到的估计值接近实际有效压制功率。实际中为保证干扰的安全性,可以选用较小的初始功率。本算法以时间为代价换取估计精度,实际中可以通过牺牲估计精度来减少迭代次数,提高搜索效率。

5 结束语

本文提出的迭代干扰算法基于自适应调制机制

中有效压制功率和压制系数间的线性对应关系,利用自动重传请求机制中的反馈信息作为迭代调整的依据,通过有限次迭代搜索获得有效压制功率的估计值。相比早期的估算方法,新算法避免了链路损耗估计中的诸多不确定因素,使得有效压制功率的估计精度大幅提高,满足了干扰系统保证干扰效果的同时合理控制发射功率的要求。同时,搜索过程不破坏链路,具有很强的隐蔽性。

参考文献:

- [1] 樊昌信,曹丽娜. 通信原理[M]. 6版. 北京:国防工业出版社,2011.
FAN Chang-xin, CAO Li-na. Communication theory[M]. 6th ed. Beijing: National Defense Industry Press, 2011. (in Chinese)
- [2] 冯小平,李鹏,杨绍全. 通信对抗原理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2009.
FENG Xiao-ping, LI Peng, YANG Shao-quan. Principles of communication countermeasure[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2009. (in Chinese)
- [3] 谢国新,李新. 短波干扰有效压制距离的计算方法[J]. 航天电子对抗,2005,21(2):53-55.
XIE Guo-xin, LI Xin. A Computing method for jamming effective blanket distance in HF[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2005, 21(2): 53-55. (in Chinese)
- [4] Yun J, Jeong W C, Kavehraqd M. Throughput performance analysis for automatic-repeat-request techniques as combined with adaptive rate transmission[C]//Proceedings of 2002 IEEE Radio and Wireless Conference. Boston, Massachusetts, USA: IEEE, 2002: 31-34.
- [5] Liu Qingwen, Zhou Shengli, Giannakis G B. Combining adaptive modulation and coding with truncated ARQ enhances

throughput[C]//Proceedings of the 4th IEEE Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications. Rome, Italy: IEEE, 2003: 110-114.

- [6] WU J L, HOU X L, YIN C C, et al. Variable packet size adaptive modulation SR-ARQ scheme for Rayleigh fading channels[C]//Proceedings of 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Barcelona, Spain: IEEE, 2004: 1283-1286.
- [7] Roongta A, Moom J W, Shea J M. Reliability-based hybrid ARQ for partial-time jamming channels[C]//Proceedings of 2004 IEEE Military Communication Conference. Monterey, CA: IEEE, 2004: 686-692.

作者简介:

苑小华(1982—),男,河北沧州人,2007年获硕士学位,现为博士研究生、工程师,主要研究方向为电离层电波传播;

YUAN Xiao-hua was born in Cangzhou, Hebei Province, in 1982. He received the M.S. degree from National Key Laboratory of Blind Signals Processing in 2007. He is now an engineer and currently working toward the Ph.D. degree. His research concerns propagation in ionosphere.

Email: y_xiaohua@163.com

罗武忠(1964—),男,四川江油人,2008年获博士学位,现为高级工程师,主要研究方向为短波通信;

LUO Wu-zhong was born in Jiangyou, Sichuan Province, in 1964. He received the Ph.D. degree from National Key Laboratory of Blind Signals Processing in 2008. He is now a senior engineer. His research concerns HF communication.

郑辉(1957—),男,重庆人,1982年于东南大学获学士学位,现为高级工程师,主要研究方向为盲信号处理。

ZHENG Hui was born in Chongqing, in 1957. He received the B.S. degree from Southeast University in 1982. He is now a senior engineer. His research concerns blind signals processing.