

张小雪,张作君,郑楠. 基于 SINR 的气象卫星通信链路干扰处理方法[J]. 陕西气象,2024(6):59-62.

文章编号:1006-4354(2024)06-0059-04

基于 SINR 的气象卫星通信链路干扰处理方法

张小雪,张作君,郑楠

(佳木斯气象卫星地面站,黑龙江佳木斯 154004)

摘要:为降低气象卫星地面接收通信过程中噪声的影响,引进信干噪比(SINR),开展气象卫星地面接收通信链路干扰处理方法的设计研究。分析地面接收站通信受干扰条件下可承受的干扰余量,计算气象卫星地面接收通信链路干扰保护限值;在排除通信链路中环境噪声影响的基础上,引进 SINR,进行低延迟通信链路调度设计;引进判决反馈均衡算法,利用判决信号之前的信号,消除反向的码间干扰,实现对通信链路自适应干扰消除的均衡处理。在测试环境中搭建气象卫星地面接收通信空间,将通信链路部署在一个指定区域中,进行气象卫星地面接收通信过程的仿真与模拟。实验结果表明:设计的干扰处理方法应用效果良好,该方法可以实现对链路通信中携带噪声的处理,以此方式可排除气象卫星通信中相关因素的影响,提高链路通信质量。

关键词:信干噪比;干扰处理;通信链路;接收;地面;气象卫星

中图分类号:P406

文献标识码:A

气象卫星通信可实现世界范围内的大范围覆盖,气象卫星通信具有全球覆盖的能力 Ka(26~40 GHz)、Ku(12~18 GHz)等频段的引入,更是为气象卫星通信提供了高速、高带宽保障。气象卫星地面接收通信由于其特有的优越性,在军、民两个方面的应用都有着举足轻重的地位^[1]。在军事通信领域,气象卫星地面接收通信被广泛应用于导弹精确打击、区域一体化防空、空间攻防对抗、战略核反击等领域。在全球信息网格(global information grid,GIG)发展计划中,气象卫星地面接收通信技术被列为了核心技术^[2]。随着个人通信的全球化,气象卫星地面接收通信正逐渐成为新一代移动通信系统中不可或缺的部分。新一代移动通信系统要求具备世界范围内的无缝隙覆盖能力,但考虑到其可行性、经济性和可维护性,仅凭常规的陆地网络是不可能实现世界范围内无缝隙覆盖的。气象卫星地面接收通信网能够全面覆盖地面、空中、海洋,实现无死角的全覆盖^[3]。此外,在地震、海啸等自然灾害中,地面有线、无线

通信设备将受到严重损害,气象卫星地面接收通信能够为灾害救援提供可靠的远距离通信,提升应急救援能力^[4]。但是,天气现象如雷电、静电放电以及太阳辐射等也可能对地球站的接收产生干扰。此外,一些无人机、飞行器和热点设备等也可能干扰地球站的正常运行。并且随着无线通信和广播等领域的快速发展,不同服务提供商、行业 and 用户之间对频谱的使用需求增加。由于频谱感知、认证和调度等技术限制,动态频谱使用可能会导致干扰问题,导致各种通信系统在相邻频段上运行,可能产生交叉干扰。根据气象卫星地面接收通信站反馈的有关信息可知,大部分链路在通信过程中会受到外部环境等因素的干扰,从而出现通信过程中的异常现象。针对此方面问题,亟需采取有效的措施,进行通信链路的处理。引进信干噪比(signal to interference plus noise ratio, SINR),开展气象卫星地面接收通信链路干扰处理方法的设计研究,旨在通过此设计,发挥气象卫星地面接收通信的更高价值与效能。

收稿日期:2023-09-08

作者简介:张小雪(1986—),男,汉族,重庆涪陵人,硕士,工程师,主要从事气象卫星地面数据接收系统研究。

1 气象卫星地面接收通信链路干扰处理方法设计

1.1 保护限值计算

为实现对气象卫星地面接收通信链路干扰的处理,设计方法前,应明确通信链路干扰保护的限值。在此过程中,为掌握气象卫星地面接收站在通信时可以承受的最大干扰,以国际电信联盟无线通信部门(international telecommunication union-radiocommunication sector,ITU-R)《SA. 1810-0 地球勘探系统设计指南在 8 025-8 400 MHz 波段运行的卫星》和《SA. 1862-25.5-27.0 GHz 频带的有效使用指南》等建议书为主要依据,计算地面接收站通信受干扰条件下可承受的干扰余量,计算公式如下^[5]。

$$M=C/(N_0+1)-R+B_N-E_b/N_0。 \quad (1)$$

公式(1)中: M 表示地面接收站通信受干扰条件下可承受的干扰余量; C 表示受干扰条件下通信链路的载波功率; N_0 表示受干扰条件下通信链路的噪声谱密度; R 表示通信链路受干扰程度; B_N 表示载波带宽; E_b 表示信号能量。在上述内容的基础上,可以假设存在一个总干扰密度最大值,以此为依据,计算气象卫星地面接收通信链路干扰保护过程中的损耗因子,计算公式如下^[6]。

$$q=M(C/N_0)-[C/(N_0+I_0)]。 \quad (2)$$

公式(2)中: q 表示气象卫星地面接收通信链路干扰保护过程中的损耗因子; I_0 表示受干扰通信链路余量。完成上述内容的计算后,考虑到 M 值较大时,对应的 I_0 取值也相对较大,此时通信链路的自我抗干扰保护能力较强;反之, M 值较小时,对应的 I_0 取值也相对较小,此时通信链路的自我抗干扰保护能力较弱。在此种条件下,将 M_{\min} 表示为地面接收站通信受干扰条件下可承受的最小干扰余量,按照下述公式^[7],计算通信链路干扰保护限值。

$$X=\begin{cases} N_0(qM_{\min}-1), & M>M_{\min} \\ (qM-1), & M\leq M_{\min} \end{cases}。 \quad (3)$$

公式(3)中: X 表示通信链路干扰保护限值; M_{\min} 表示最小干扰余量。按照上述方式,完成气象卫星地面接收通信链路干扰保护限值的计算。

1.2 基于 SINR 的低延迟通信链路调度

在上述内容的基础上,引进 SINR,进行低延迟通信链路的调度设计。在此过程中,为简化计算过程,避免相关因素干扰处理结果,在排除通信链路中环境噪声影响的基础上,设定通信链路集合为 L ^[8]。以此为依据,建立气象卫星地面接收通信链路中的 SINR 模型。建模时考虑到链路通信的全覆盖需求,将 SINR 模型的通信链路按照正六边形划分并编号,编号为对应的通信链路数量,如编号数量为 1,表示 SINR 模型中存在一个可行通信集合,以此类推^[9]。按照上述方式,完成对 SINR 模型中所有通信链路的编号后,从编号为 j 的六边形中随机选择一条通信链路,将其表示为 L_j ,对 L_j 链路在通信过程中的时延风险进行分析,判断链路通信中是否存在延迟、负载等方面的问题。此过程如计算公式(4)所示^[9]。

$$K=H(L_j)^\alpha \cdot P \cdot I。 \quad (4)$$

公式(4)中: K 表示链路通信中是否存在延迟、负载等方面问题的判定依据; H 表示前馈、全馈滤波长度,通常情况下, H 的取值为无限长度; α 表示分配时槽; P 表示通信链路中断时效概率; I 表示风险值, $I=(I_1, I_2, I_3)$, I_1 、 I_2 和 I_3 分别表示电网负载压力、业务平均通信延迟、业务风险平衡度的风险值。

在此过程中,需要设定一个标准范围,将计算结果 K 与之比对。如 K 未在标准范围内,说明此条链路通信存在问题,需要采取一定的措施,进行链路的通信调度;反之,如 K 在标准范围内,说明此条链路通信不存在问题。以此为依据,实现基于 SINR 的低延迟通信链路调度设计。

1.3 通信链路自适应干扰消除均衡处理

完成气象卫星地面接收通信链路中低延迟通信的调度设计后,为进一步排除通信中噪声等因素的干扰,还应进行通信链路自适应干扰消除的均衡处理。在此过程中,引进判决反馈均衡算法,该算法利用判决信号之前的信号,消除反向的码间干扰,若判决信号之后的信号也是已知的,则在没有噪声的情况下,可以消除正反方向的码间干扰^[10]。在此过程中,使用前馈、全馈滤波器,进行消除处理系数的计算,计算公式如下。

$$P(z) = \frac{\sigma^2}{K \|H\|^2 + \sigma^2} \quad (5)$$

公式(5)中: P 表示消除处理系数; z 表示前馈、全馈滤波次数; σ 表示路径损耗指数。在上述内容的基础上,构建气象卫星地面接收通信链路传输矩阵,根据判决信号的信噪比,进行通信链路的干扰处理,处理过程如下所示。

$$\varepsilon = \frac{P(z) \|H\|^2 + \sigma^2}{\chi^2} \quad (6)$$

公式(6)中: ε 表示消除均衡处理; χ 表示判决信号的信噪比。按照上述方式,实现通信链路自适应干扰消除均衡处理,完成基于 SINR 的气象卫星地面接收通信链路干扰处理方法设计研究。

2 对比实验

为检验设计方法在实际应用中对链路干扰处理的效果,设计仿真实验,在测试环境中搭建气象卫星地面接收通信空间,将通信链路部署在一个指定区域中,进行气象卫星地面接收通信过程的仿真与模拟。实验过程中,为排除环境中其他因素对链路干扰过程的影响,保证通信过程的真实性、可靠性,设计气象卫星地面接收通信链路与通信过程中的干扰示意图,如图 1 所示。

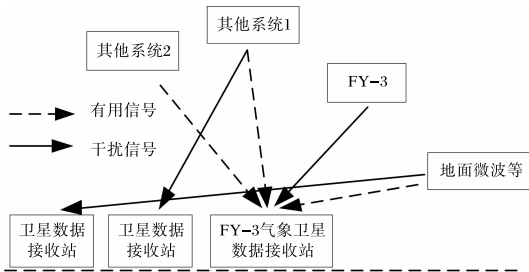


图1 气象卫星地面接收通信链路干扰示意图

掌握测试环境中气象卫星地面接收站的通信方式后,进行实验环境中相关参数的设计,如表 1 所示。

在此基础上,按照图 1 所示的方式,对气象卫星地面接收通信过程进行干扰;为排除干扰信号对通信过程的影响,使用本文设计的方法,进行通信链路干扰处理。处理过程中,先计算气象卫星地面接收通信链路干扰保护限值;以此为依据,引进 SINR,进行低延迟通信链路调度的设计;最后,通过通信链路自适应干扰消除均衡处理,完成该方法在测试环境中的应用。

表 1 实验环境中相关参数设计

参数	设置值
测试区域内节点链路数量 (m×m)/链路数量	(1 000×1 000)/1 000
路径损耗指数	5.5/5.0/4.5/4.0 /3.5/3.0/2.5
SINR 有效预制	15/9/7/3/1
传输功率/mW	90
背景噪声/dB	0.001
等效全向发射功率/dBW	20
自由空间传播损耗/dB	175
热噪声功率密度/(W/Hz)	235

为满足实验结果的比对需求,在上述内容的基础上,引进基于深度学习只看一次版本 2(you only look once 2, YOLOv2)算法的干扰处理方法、基于子载波间干扰深度估计的干扰处理方法,将其作为传统方法 1、传统方法 2,使用基于 SINR 的气象卫星地面接收通信链路干扰处理方法(简称设计方法)、传统方法,进行气象卫星地面接收通信链路干扰处理。

将气象卫星地面接收链路在通信过程中的噪声值,作为检验干扰处理方法的关键指标,调用测试环境后台计算机记录的相关 10 组实验数据,对其进行统计与整理,得到气象卫星地面接收链路通信中携带的噪声值,如表 2 所示。

表 2 气象卫星地面接收链路通信中携带的噪声值
单位: dB

序号	设计方法	传统方法 1	传统方法 2
1	0.001	1.255	12.519
2	0.001	3.455	16.369
3	0.001	6.569	18.148
4	0.001	5.472	20.294
5	0.001	4.256	14.247
6	0.001	7.025	17.157
7	0.001	9.428	13.254
8	0.001	5.409	10.364
9	0.001	4.407	10.245
10	0.001	8.205	13.154

从表 2 所示的实验结果可以看出,三种方法中,使用设计方法进行气象卫星地面接收通信链路干扰处理,处理后可以保证链路通信时携带的噪声仅为 0.001 dB,根据预设的实验参数可知,0.001 dB 为环境背景噪声,说明设计方法可以实现对链路通信中所有干扰的处理。在此基础上,对传统方法 1、传统方法 2 的干扰处理效果进行分析,发现使用传统方法进行气象卫星地面接收通信链路干扰处理,处理后链路在通信过程中仍携带噪声,即传统方法无法实现对通信链路中噪声与干扰的处理。综合上述分析可知:相比传统方法,基于 SINR 的气象卫星地面接收通信链路干扰处理方法应用效果良好,该方法可以实现对链路通信中携带噪声的处理,排除气象卫星通信中相关因素的影响,提高链路通信质量。

3 电磁环境干扰解决对策

解决电磁环境干扰问题需要综合考虑管理、监测、法律法规和技术创新等方面的因素,具体如下。

频谱管理和规划:加强频谱管理,确保不同频段的合理分配和使用。通过建立有效的频谱监测和管理机制,及时发现和处理干扰源,确保频率资源的合理和高效使用。

技术监测和反干扰技术:开发和应用先进的监测设备和技术,可以及时发现干扰源,并采取相应的反干扰措施。借鉴并应用现代化的监测设备和技术,提升监测效能。

法律法规和标准制定:建立完善的法律法规和标准,明确各类设备和系统的频谱使用规范,明确责任和处罚措施,以防止非法设备和未授权的频谱使用产生干扰。可制定相关的法律法规和标准,规范行业行为和技术应用。

技术创新与发展:持续推动技术创新,开发出更先进、更高效的干扰抑制和消除技术,鼓励技术创新,提升技术水平,推动相关问题的解决和发展。

4 结语

在气象卫星地面接收通信应用中,由于受全

国区域和单个卫星区域的影响,常规通信链路无法满足实时通信要求。为解决此方面问题,引进 SINR 进行通信链路干扰处理研究;计算气象卫星地面接收通信链路干扰保护限值;通过 SINR 进行低延迟通信链路调度设计;利用判决反馈均衡算法实现通信链路自适应干扰消除均衡处理。实验结果表明,链路通信时携带的噪声仅为 0.001 dB,可有效排除气象卫星通信中相关因素的影响,提高链路通信质量。

参考文献:

- [1] 马冬云,王景,魏正荣. 基于深度学习 YOLOv2 算法的无线网络干扰信号准确识别方法[J]. 长江信息通信,2023,36(6):37-39.
- [2] 董丹丹,孙宁. 基于改进变分模态分解的电力线宽带载波通信干扰耦合协同抑制方法[J]. 电信科学,2023,39(5):129-135.
- [3] 胡敏. 湖北“电波卫士”三地联动 高效排查一起大面积航空通信干扰[J]. 中国无线电,2023(2):61.
- [4] 王琳. C 频段广播电视卫星通信站抗 5G 基站干扰的指标分析与效能评估[J]. 电视技术,2023,47(2):120-122.
- [5] 赵毅,乔凯,白鹤峰,等. 静止轨道卫星通信系统抗干扰计算分析方法[J]. 航天器工程,2023,32(1):16-22.
- [6] 叶子豪,鄢社锋,杨斌斌. 基于子载波间干扰深度估计的 MIMO-OFDM 水声通信接收机[J]. 电子与信息学报,2023,45(7):2519-2527.
- [7] 郭恩泽,吴乐华,杨雷,等. 基于延迟自相关和双门限检测的分布式协同干扰策略研究[J]. 舰船电子对抗,2022,45(5):14-20.
- [8] 李合金,李志伟,张芳妮. 基于卫星通信链路状态分析的日凌干扰及应对措施研究[J]. 中国新通信,2022,24(20):4-8.
- [9] 孙静,张荣,王平. 基于风险均衡度的电力 5G 通信链路自动选择方法研究[J]. 电子设计工程,2023,31(22):57-60.
- [10] 冯影影,杨戟. 广义灰色关联模型的改进及在船舶通信指挥干扰识别中的应用[J]. 中阿科技论坛(中英文),2022(9):137-140.