

多天线通信系统共址干扰分析与抑制

谢尹政¹ 张书玮² 张刚^{2*}

1.北京宇航系统工程研究所, 北京 100071

2.北京航天万源科技有限公司, 北京 100176

[摘要]多天线通信系统常常集中部署了多种通信天线及收发信机设备, 在有限空间内各设备之间部署距离较近, 易造成共址干扰。对此, 通过对通信系统共址干扰源及其传导途径进行的梳理与分析, 采用通信系统共址电磁干扰矩阵表的表征方法, 并从优化天线布局、收发信机抗干扰技术、系统布线、电磁频谱使用策略等方面, 提出了一些共址干扰抑制措施与建议, 具有一定的工程运用参考价值。

[关键词]通信系统; 天线共址; 干扰抑制; 电磁干扰矩阵表

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18287

中图分类号: TN626

文献标识码: A

Analysis and Suppression of Common Site Interference in Multi antenna Communication Systems

XIE Yinzhen¹, ZHANG Shuwei², ZHANG Gang^{2*}

1. Beijing Institute of Aerospace Systems Engineering, Beijing, 100071, China

2. Beijing Aerospace Wanyuan Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

Abstract: Multi antenna communication systems often deploy multiple communication antennas and transceiver devices in a centralized manner, and the close deployment distance between devices in a limited space can easily cause common site interference. In response to this, by sorting and analyzing the sources and transmission pathways of common address interference in communication systems, the characterization method of communication system common address electromagnetic interference matrix table is adopted, and some common address interference suppression measures and suggestions are proposed from the aspects of optimizing antenna layout, anti-interference technology of transceivers, system wiring, electromagnetic spectrum utilization strategy, etc., which have certain engineering application reference value.

Keywords: communication systems; antenna common site; interference suppression; electromagnetic interference matrix table

引言

得益于电子元器件的发展与各类设备小型化、集成化技术的成熟应用, 现代通信系统为实现通信、抗干扰、侦察等多种功能效能, 在较小的空间集成了多种通信设备及天线装置。其集中部署各种形态各异的发信机、接收机和天线装置, 其信号辐射功率、辐射方向、工作频段、接收灵敏度等工作性能各不相同。复杂的多功能通信系统在紧凑甚至狭小的空间内高度集成, 各类天线共址工作, 天线间耦合强度高, 各类馈线电缆相互交叉部署, 空间内电磁环境恶劣, 各设备间的电磁干扰程度高, 易导致侦察能力效降、各电台通信距离缩短、语音通信质量恶化、信噪比降低、误码率提高等后果^[1-2]。若未开展合理的通信系统的多天线共址设计工作, 严重时甚至会导致整个通信系统

由于电磁兼容性问题不能正常使用。

复杂通信系统中多种天线之间相互干扰造成系统功能效能下降的问题就是多天线共址干扰问题^[3-5]。多天线共址干扰问题已经成为通信系统需要解决的系统主要电磁兼容性问题之一, 准确的多天线共址干扰问题源头和传输路径识别、有效的共址干扰技术手段运用, 以及合理的系统化电磁用频方案设计, 不但可以最大程度降低多天线共址干扰造成的影响, 同时可以大大提高系统的电磁兼容性设计能力。

1 多天线共址干扰分析

多天线共址是指在一个有限的空间或上装平台上加装布局多种多个无线设备天线。各类天线部署在同一个空间内, 造成干扰源同敏感设备之间距离较近, 且多个设备

同时工作时,发信机相互间的互调与谐波情况恶化,电磁干扰问题将非常严重,这个就是多天线近距离部署时带来的共址干扰问题。下面将从干扰源不同的传导方式对多天线共址干扰进行分类分析。

1.1 空间辐射干扰

多天线的通信系统在工作过程中,通过发射天线不断对外辐射电磁波,大功率发射信号对敏感度很高的接收天线/接收机、同频带发射天线对接收天线等都会产生非常强烈的干扰。造成接收设备功能下降甚至损坏,多天线共址空间辐射干扰示意图如下图所示。

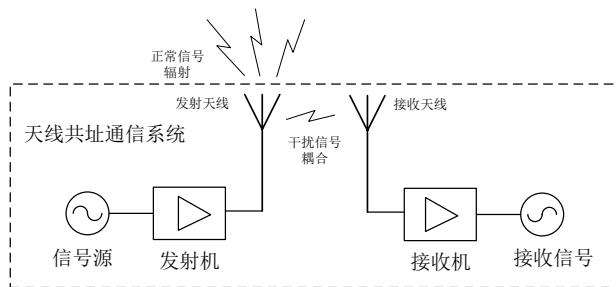


图 1 辐射干扰示意图

在单一设备对外发射时,在发射天线附近将出现在其工作频率及谐波频率下的高功率电磁信号,工作在同频段或相邻频段的接收设备,将通过与发射天线共址的接收天线,将发射信号通过空间辐射方式耦合进入收信机中,将干扰信号和有用信号一起进行检波、解调等操作,造成接收机信噪比下降,灵敏度降低,在耦合的发射信号足够大时将会造成接收设备信道阻塞。

在二个或二个以上的发信机同时工作时,因合路单元的信道间隔不够等原因,使某一发信机的信号通过天线耦合进入其他发信机,并在其他发信机的输出端与其他发射信号混频形成互调干扰,造成其他设备通信效能下降。

空间辐射干扰还会产生在接收机调谐频率邻近频道区中的强信号可能产生大的交调干扰和在接收机调谐频率相邻信道上存在非期望信号的邻道干扰等干扰情况。

1.2 空间遮挡及天线间耦合干扰

当多种天线安装到上装平台上时,某一天线由于存在物理金属物的遮挡,可能对其天线辐射方向产生干扰,造成全向天线定向化或天线增益下降。另一方面,由于多个天线共址时,天线间部署距离较近,距离小于天线工作频率的半个波长,甚至四分之一个波长,工作在相近工作频率的天线间易产生天线间的耦合现象,其方向图就会发生明显的畸变,带来天线性能的恶化。

1.3 线缆传导干扰

多天线共址通信系统集中部署于同一空间,相关设备电源线、控制线、信号馈线等数量众多,按照设备上装位置,常常会存在交叉走线,上下走线的情况,电磁干扰信号能量在相关电缆中以电压高次谐波分量或电流的形式进行传导,造成高灵敏度接收机等易受干扰设备性能下降。

1.4 无线电电磁噪声干扰

无线通信设备工作时引起辐射电磁噪声,使某些频段的环境背景噪声电平抬高。虽然由于工作频段相差较远,不会通过空间耦合辐射进入接收机造成同频干扰,但由于部分发信机输出功率较大,会造成某些频段环境噪声变大,对某些信噪比要求较高的通信设备造成干扰。

2 多天线共址干扰抑制措施

在多天线共址通信系统电磁兼容性设计中,为最大限度发挥有限空间下多种通信设备效能,确保多天线之间相互不产生干扰,设备之间不相互产生影响,可以从干扰源不同的传导路径入手,针对性采取干扰抑制措施实现多天线共址通信系统良好电磁兼容性的设计实现。

为全面、系统性考虑通信系统多天线之间的共址干扰问题,第一步需要对通信系统整体的电磁环境开展估计与分析,梳理系统内所有通信设备,包括通信天线、发信机、接收机、控制单元、电源单元等设备设施,通过对天线的工作频率、天线增益、极化方向、带外抑制能力、耦合系数等,发信机工作带宽、输出功率、谐杂波抑制等,接收机接收灵敏度、动态范围、接收增益等主要技术指标分析计算,建立其系统定性分析的电磁干扰矩阵,如下表所示。分析发射天线和其他接收天线的工作频率,耦合性能,发信机谐杂波等性能指标,可以估算出系统内是否存在同频率干扰、谐波干扰以及宽带噪声等干扰等情况。

表 1 电磁干扰矩阵表 (定性分析示例)

发射设备 (干扰源)	接收设备 (敏感设备)			
	设备 1	设备 2	设备 3
设备 1	/	同频干扰、谐波干扰	无干扰	-
设备 2	同频干扰	/	宽带噪声干扰	-
设备 3	无干扰	无干扰	/	-
.....	-	-	-	/

通过系统电磁干扰矩阵表可以看出通信天线间的相互干扰情况、干扰类型及干扰程度,可针对性开展优化天线布局设计、提高收发信机抗干扰性能、系统布线、规划系统电磁频谱使用策略等方式提高系统共址干扰抑制能力。

2.1 优化天线布局设计

依据天线间的耦合性能、方向图等指标情况，在不改变原有天线发射和接收性能的前提下，优化天线的物理部署位置和天线空口辐射朝向等布局设计，通过增加各天线间的隔离度，减小辐射空间耦合干扰量，降低共址多天线的空间辐射干扰。

多天线系统的初步布局应采用正交布局方式，并充分利用上装平台等载体的物理遮挡等原则进行初步布局定位。同时工作频率接近的天线进行尽可能远距离间隔部署，并可以在不影响天线方向图或方向图恶化不影响系统使用的情况下，将工作频率间隔较大的两个或多个天线近距离部署。

通过不同极化方向的天线布局减弱共址干扰，即可将极化方向不同的两根天线在相对较近的空间位置进行放置，利用天线的极化隔离能力，减小天线间的耦合干扰。

2.2 系统布线电磁兼容性实施优化

良好的系统布线设计是多天线共址通信设备完成电磁兼容性设计的重点之一^[6]。通信系统集成后各设备间的互联线缆布线，包括电源线、信号线、地线以及射频馈线需考虑线缆的长短、线缆间距、粗细、线缆屏蔽及双绞等问题需按照以下原则开展设计工作。

(1) 需考虑互联线缆走线的最短路径，线缆相互尽量不交叉，布局应遵循高频与低频分开，电源与信号线分开的原则。

(2) 对于高辐射能量的线缆需采用屏蔽线，射频电缆采用双重屏蔽线，必要时通过金属屏蔽走线盒按类对电缆进行分类走线。

(3) 线缆的屏蔽层需可靠接地，敏感电缆的屏蔽层间相互隔离。

(4) 接入天线的高频馈线在穿舱设计时通过屏蔽穿舱式插座进行转接，并确保在穿舱处保持屏蔽层连续，避免大功率发信机信号泄漏。

(5) 有条件的情况下，可采用光纤线缆进行信号传输，避免干扰信号通过电缆进行传导与辐射。

2.3 提高收发信机抗干扰性能

由于多天线通信系统部署空间有限，通过对天线布局优化的方式，并不能完全消除掉多天线共址干扰带来的影响，这时可以通过提高收发信机抗干扰性能来提高系统天线共址时的电磁兼容性能力^[7-9]。

一方面对发信机发射频率误差、最大允许发射带宽、谐杂波抑制等指标进行严格要求，并在满足通信效能的基础上对发射天线波束宽度进行限制，并对天线副瓣、旁瓣

抑制指标依据敏感接收设备部署方位情况做出明确约束。另一方面，可采用主动共址干扰抑制方法提升接收设备抗干扰能力。主要可利用波束成形、预编码等技术，通过对天线接收或发送的信号进行幅度和相位调整，在接收机处形成零陷区域进行干扰抑制^[10]，或利用辅助阵列、多级预编码等干扰抵消技术提升干扰抑制性能。

2.4 电磁频谱使用策略

当通信系统集成中存在多个多种无线设备，且无线设备间存在工作频段重叠，或者某设备的固有谐波频率和另一设备工作频率重叠，不能通过布局优化和波束控制避开干扰，也不能提高收发信机抗干扰能力进行改善时，就需要对多天线通信系统进行电磁频谱使用策略的合理规划。

目前频谱使用的方式主要有分频管理和分时管理两种。分频管理就是合理选择不同工作频率的通信设备，使各设备工作频率尽量保持安全频率距离，在系统工作时开展系统级频点规划统一规划与调配，避免工作在相同频点。分时管理即让存在相互干扰无线设备进行分时工作，必须时可利用天线倒伏机构对不工作的干扰天线进行收藏，避免对工作天线造成的耦合与干扰。

2.5 干扰抑制措施验算

通过以上天线布局优化、收发信机抗干扰性能、系统布线设计、电磁频谱使用策略方法的运用，最后通过利用仿真分析、模拟测试等方式完成整个通信系统间天线之间的耦合干扰，并结合天线的正常通信覆盖范围和接收机信噪比等容量指标，完成电磁干扰矩阵表的干扰数值定量分析，最终实现电磁干扰矩阵表无严重干扰情况出现为止，或无法再优化时，最终确定出最优的多天线通信系统共址干扰抑制设计，如下表所示。

下表中干扰余量数值单位为 dB，当干扰余量大于 10dB 时，两通信系统可以同时工作，相互间干扰可接收^[10]。当干扰余量小于 10dB 时，还需要通过布局优化、收发信机优化进行调整，当不能保证干扰余量满足要求时，需要通过分时使用等系统用频策略进行系统合理运用。

表 2 电磁干扰矩阵表（干扰余量数值示例）

发射设备 (干扰源)	接收设备（敏感设备）			
	设备 1	设备 2	设备 3
设备 1	/	15	18	-
设备 2	18	/	20	-
设备 3	40	40	/	-
.....	-	-	-	/

3 结语

由于干扰设备与敏感设备相距较近,多天线通信系统集成的各设备及天线在狭小空间内存在共址干扰。为最大限度提高通信系统上装平台的空间利用率和设备使用效率,提高通信系统的适应性,本文通过对多天线通信系统中干扰源不同的传导方式对多天线共址干扰进行梳理,并基于电磁干扰矩阵表的系统共址干扰分析方法,提出了一些共址干扰抑制措施与建议,具有一定的工程运用参考价值。

[参考文献]

- [1] 王战永.通信系统共址干扰的仿真与分析[J].电子技术与软件工程,2015(10):35-37.
- [2] 范朝元,黄金,唐先建,等.通信系统集成电磁兼容分析与设计[J].电声技术,2021,45(11):105-107.
- [3] 魏邦友,张晶.车载共址通信系统安全带宽的计算方法[J].电子质量,2010(5):84-86.
- [4] 赵波,全厚德,崔佩璋.同址干扰对车载通信系统的影响

- 分析[J].系统仿真学报,2012,24(5):957-961.
- [5] 马谢,赵治国,周万宁,等.“动中通”卫星通信系统与同址电台干扰问题研究[J].通信技术,2019,52(12):2938-2943.
- [6] 赵炜铭,王添文,彭光宇.基于辐射发射的互连电缆屏蔽效能测试研究[J].新技术新工艺,2022(11):77-84.
- [7] 李彤,潘文生,邵士海,等.集成平台空域辅助阵列共址干扰抑制技术[J].国防科技大学学报,2023,45(6):71-77.
- [8] 徐以涛,刘继鹏,王海超,等.通信约束下的干扰波束成形和功率分配方法[J].陆军工程大学学报,2022,1(4):1-7.
- [9] 吴飞,邵士海,唐友喜.一种基于多天线波束成形的全双工自干扰抵消算法[J].电子学报,2017,45(1):8-15.
- [10] 万健鹏,路宏敏,刘国华,等.车载通信系统电磁干扰余量评估[J].电子科技,2022,35(4):1-7.

作者简介: 谢尹政 (1990.1—), 男, 四川自贡, 硕士研究生, 工程师, 北京宇航系统工程研究所, 主要研究方向为: 无线通信与指挥控制专业。