


UAS与地面IMT网络干扰分析及 Interference Analysis and Interference Mitigation Between UAS and Ground IMT System 规避建议

王婷婷,周 瑶,刘吉凤,牛憶莹(中国联通研究院,北京 100048)
Wang Tingting,Zhou Yao,Liu Jifeng,Niu Yiyi(China Unicom Research Institute,Beijing 100048,China)

摘 要:

当地面基站与无人机系统(UAS)终端、普通地面用户终端采用相同频率部署时,由于UAS终端位于空中,具有接近自由空间的超视距传播环境,UAS信号将对周边大范围内地面通信网络产生干扰。对3GPP、ECC等标准化组织关于UAS与地面IMT系统干扰情况进行梳理、分析与总结,给出干扰规避与消除建议,以促进UAS与地面IMT系统的共同发展。

关键词:

无人机系统;地面网络;干扰共存;干扰规避
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2022.04.009
文章编号:1007-3043(2022)04-0047-04
中图分类号:TN929.5
文献标识码:A
开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Abstract:

When the ground base station is deployed with the same frequency as the UAV system (UAS) terminal and ordinary ground user terminal, the UAS signal will interfere with the surrounding ground communication network in a large range because the UAS terminal is located in the air and has a near free space beyond-visual-line-of-sight (BVLOS) environment. It analyzes and summarizes the research progress of 3GPP and ECC regard to interference between UAS and ground IMT system, and puts forward the interference avoidance and elimination suggestions in order to promote the common development of UAS and ground IMT system.

Keywords:

UAS; IMT network; Interference coexistence; Interference Mitigation

引用格式:王婷婷,周瑶,刘吉凤,等. UAS与地面IMT网络干扰分析及规避建议[J]. 邮电设计技术,2022(4):47-50.

1 UAS与地面IMT系统研究现状

随着无人机系统(UAS)商业需求的快速增长,需要为无人机与地面操作者、无人机之间提供通信链路,用于无人机指挥控制命令、数据流量的传输。为节省网络部署成本,并最大限度提高频率利用效率,目前通信运营商更倾向于使用现有地面通信(IMT)网络为无人机链路提供服务,通信链路预计将采用地面IMT系统中已在多个频段广泛部署的LTE技术。

由于UAS终端与基站间传输环境为超视距(BVLOS)条件,无人机终端的信号将影响周边大范围区域

内的地面基站与用户,同时也会受到大量基站的影响。目前3GPP、ECC均已开展了UAS无人机系统与地面IMT系统干扰共存研究,3GPP在TSG RAN#75次会议上,针对Release 15通过了新的研究项目:Study on Enhanced Support for Aerial Vehicles,该研究旨在调查使用LTE网络为飞行器提供服务的能力,其中LTE基站天线侧重地面覆盖,同时支持Release 14功能(例如有源天线、FD-MIMO等),并形成了输出报告3GPP TR 36.777。

ECC在2020年第52次会议上形成了会议文件ECC(20)055 Annex 11_Draft ECC Report 309,旨在研究在MFCN监管框架内,使用MFCN网络服务无人机指挥控制与数据传输链路,研究频段包括700 MHz、

收稿日期:2022-03-21

800 MHz、900 MHz、1 500 MHz、1 800 MHz、2 GHz、2.6 GHz、3.4~3.8 GHz、26 GHz共9个频段,涉及的共存业务包括MFCN、PPDR、广播(DTT)、ARNS、GSM-R、FRMCS、RMR、PMP/PAMR、METSAT、RAS、国防系统、CGC等。

2 UAS与地面IMT系统共存研究假设

现网中基站为更好覆盖地面用户,通常天线具有 $0\sim 10^\circ$ 的下倾角,而当UAS终端高于基站主瓣方向时,将会由基站旁瓣提供服务。由于旁瓣中存在零点,远处基站的信号可能会比距离最近的基站更强,此时UAS终端会选择由远处基站来提供服务。

由于UAS终端与基站间的超视距传输条件,相比地面用户终端,UAS终端会接收到来自更多基站的下行干扰,导致UAS信道质量较差,终端处于小区边缘的概率更高。

2.1 共存场景

按照干扰系统与受干扰系统工作频率是否相同,可将UAS与地面IMT系统共存干扰分为同频干扰与邻频干扰。同频干扰研究频段为700 MHz、800 MHz和2 GHz,邻频干扰的研究频段包括700 MHz、800 MHz、2.6 GHz、3.4~3.8 GHz。UAS由地面网络A提供服务,被干扰系统为网络B,共存场景如图1所示。

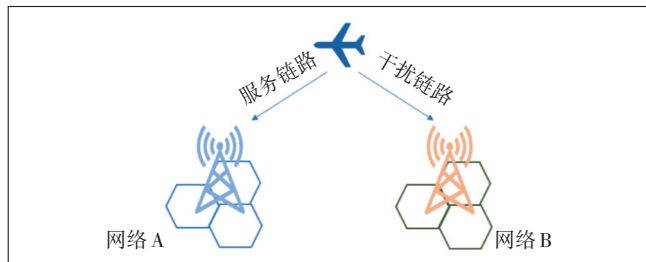


图1 共存场景

2.2 拓扑结构

在UAS与地面IMT系统共存研究中,IMT系统的拓扑结构采用19小区3扇区结构(见图2)。城区微站UMi-AV小区站间距ISD为200 m,城区宏站UMa-AV小区站间距为500 m,郊区宏站RMa-AV小区站间距为1 732 m。蜂窝小区半径 $R=ISD/3$ (ISD为站间距)。

2.3 系统参数

3GPP采用的UMi-AV、UMa-AV、RMa-AV等IMT系统参数如表1所示。按照无人机终端在扇区终端总数中的占比,分为5个研究case: case1(0%, $N_{UAS} = 0$)、case2(0.67%, $N_{UAS} = 0.1$)、case3(7.1%, $N_{UAS} = 1$)、

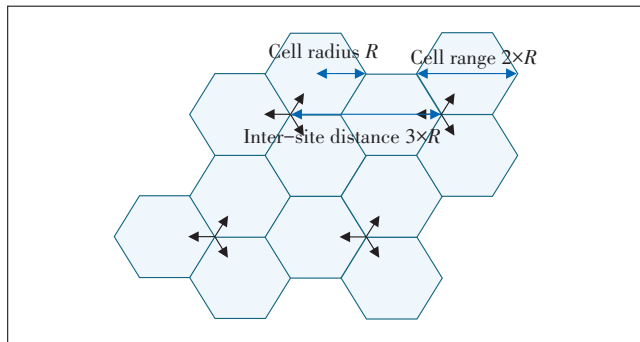


图2 共存拓扑结构

表1 IMT系统参数

	UMi-AV	UMa-AV	RMa-AV
基站高度/m	10	25	35
频率	2 GHz	2 GHz	700 MHz, 可选800 MHz
系统带宽/MHz	10	10	10
基站总发射功率/dBm	41	46	46
基站天线配置	2Tx/2Rx交叉极化	2Tx/2Rx交叉极化	2Tx/2Rx交叉极化
基站天线方向图	3GPP TR 36.873、TR 38.901		
地面UE分布	3GPP TR 38.901		
UAS UE分布	1.5~300 m高度均匀分布		
室内地面UE比例/%	80	80	50
室外地面UE比例/%	20	20	50
每扇区UE总数	15		
UE水平移动性	室外地面UE: 30 km/h; 室内地面UE: 3 km/h; UAS UE: 160 km/h		
BS-地面UE最小距离/m	10	35	35
BS-无人机UE最小距离/m	10		
UE水平分布(所有UE)	均匀分布		
终端发射功率/dBm	23		
功率控制	基线: 开环功率控制		
地面UE天线方向图	全向		
地面UE天线增益/dBi	0		
终端天线数量	发射天线: 1/2; 接收: 2, 交叉极化		
基站接收噪声系数/dB	5		
终端接收机噪声系数/dB	9	9	9

case4(25%, $N_{UAS} = 3$)、case5(50%, $N_{UAS} = 5$), UAS终端占比为 $P_{UAS} = N_{UAS} / (N_{ground})$, N_{ground} 为地面终端总数(包含室内和室外)。

ECC采用的系统参数与3GPP主要区别在于每扇区用户数,ECC每扇区只连接一个用户,通过将该用户设置为地面用户或UAS终端,对比评估UAS终端对邻频网络的干扰程度。

2.4 信道模型

当UAS终端 h_{UT} 低于高度 H_T 时,UAS-BS传输模型与地面一致,采用3GPP TR 38.901《Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz》模型计算LOS概率。当UAS终端高于高度 H_T 时,UAS终端与基站之间的传输LOS概率采用分段函数进行计算。其中,高度 H_T 与基站类型有关,Umi-AV和Uma-AV的高度 H_T 值为22.5 m,RMa-AV高度 H_T 值为10 m。当UAS终端高于高度 H_{MAX} 后,默认LOS概率为100%,其中Uma-AV的高度 H_{MAX} 值为100 m,RMa-AV高度 H_{MAX} 值为40 m(见图3)。

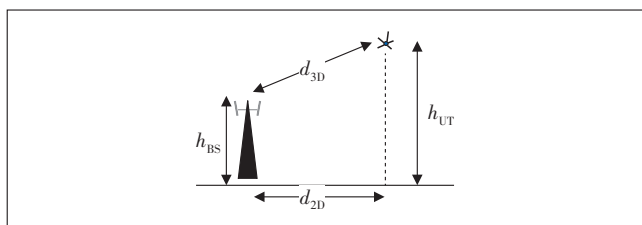


图3 信道模型

当UAS终端高度位于 H_T 与 H_{MAX} 之间时,UAS-BS传输的LOS概率与路损计算如下:

a) UMi-AV模型

$$P_{LOS} = \begin{cases} 11 & d_{2D} \leq d_1 \\ \frac{d_1}{d_{2D}} + \exp\left(\frac{-d_{2D}}{p_1}\right) \left(1 - \frac{d_1}{d_{2D}}\right) & d_{2D} > d_1 \end{cases} \quad (1)$$

其中, $p_1=233.98\lg(h_{UT})-0.95$, $d_1=\max(294.05\lg(h_{UT})-432.94, 18)$ 。

b) UMa-AV模型

$$P_{LOS} = \begin{cases} 1 & d_{2D} \leq d_1 \\ \frac{d_1}{d_{2D}} + \exp\left(\frac{-d_{2D}}{p_1}\right) \left(1 - \frac{d_1}{d_{2D}}\right) & d_{2D} > d_1 \end{cases} \quad (2)$$

其中, $p_1=4\ 300\lg(h_{UT})-3\ 800$, $d_1=\max[460\lg(h_{UT})-700, 18]$ 。

c) RMa-AV模型

$$P_{LOS} = \begin{cases} 1 & d_D \leq d \\ \frac{d}{d_D} + \exp\left(\frac{-d_D}{p}\right) \left(1 - \frac{d}{d_D}\right) & d_D > d \end{cases} \quad (3)$$

其中, $p=\max[15\ 021\lg(h_{UT})-16\ 053, 1\ 000]$, $d=\max[1\ 350.8\lg(h_{UT})-1\ 602, 18]$ 。

当UAS终端 h_{UT} 低于高度 H_T 时,UAS-BS传输模型与地面一致,采用3GPP TR 38.901模型计算路径损耗。当UAS终端高于高度 H_T 时,UAS终端与基站之间的路径损耗,根据传播环境为LOS或NLOS分别计算,

未考虑快衰落。路径损耗的计算方式为:

a) UMi-AV模型:

$$PL_{UMi-AV-LOS} = \max\{PL', 30.9 + [22.25 - 0.5\lg(h_{UT})]\lg(d_{3D}) + 20\lg(f_c)\} \quad (4)$$

$$PL_{UMi-AV-NLOS} = \max\{PL_{UMi-AV-LOS}, 32.4 + [43.2 - 7.6\lg(h_{UT})]\lg(d_{3D}) + 20\lg(f_c)\} \quad (5)$$

其中 PL' 表示自由空间路径损耗。

b) UMa-AV模型:

$$PL_{UMa-AV-LOS} = 28 + 22\lg(d_{3D}) + 20\lg(f_c) \quad (6)$$

$$PL_{UMa-AV-NLOS} = -17.5 + [46 - 7\lg(h_{UT})]\lg(d_{3D}) + 20\lg(40\pi f_c/3) \quad (7)$$

c) RMa-AV模型:

$$PL_{RMa-AV-LOS} = \max[23.9 - 1.8\lg(h_{UT}), 20]\lg(d_{3D}) + 20\lg(40\pi f_c/3) \quad (8)$$

$$PL_{RMa-AV-NLOS} = \max\{PL_{RMa-AV-LOS}, -12 + [35 - 5.3\lg(h_{UT})]\lg(d_{3D}) + 20\lg(40\pi f_c/3)\} \quad (9)$$

2.5 功率控制与评估标准

终端的功率方式采用开环功率控制,开环功控不需要接收端的反馈,发射端根据自身测量得到的信息对发射功率进行控制,控制准确度建立在上行链路与下行链路的衰落一致性上。

在评估UAS与IMT网络干扰情况时,主要系统级评估指标为数据业务的上行和下行吞吐量,在不断增加网络中UAS数量过程中,计算与统计整体终端吞吐量损失、地面终端吞吐量损失、UAS终端吞吐量损失。

3 UAS与地面IMT系统共存结论

3.1 同频共存

根据3GPP研究结论,现有地面LTE网络可以支持无人机超视距飞行,包括UAS终端的切换。从仿真数据可以看出,case1、case2、case3中地面终端、UAS终端、总体终端性能下降较少,case4和case5中终端性能下降明显。因此需对UAS终端数量进行限制,以保证UAS与地面网络的共存。当UAS终端比例较低时(每扇区共15个用户,其中UAS终端数为1),对上行和下行性能的影响较小。当每个小区UAS终端不超过总终端数量的33%时,可以避免自干扰。根据多个研究机构的仿真结果(见表2),可以看出以下共同趋势。

a) 增加UAS终端比例,将导致地面终端的上行和下行吞吐量下降。当资源利用率提高时,地面终端上行吞吐量的恶化会更加严重。

b) 增加UAS终端比例,将导致UAS终端的上行

表2 地面终端下行吞吐量仿真数据

项目	Case 1	Case 3	Case 4	Case 5	Case 1	Case 3	Case 4	Case 5
资源利用率/%	20.0	21.6	24.9	28.9	50.0	57.4	69.4	71.6
5%用户吞吐量损失/%	0.0	2.3	8.8	14.9	0.0	30.9	42.5	58.3
50%用户吞吐量损失/%	0.0	1.1	3.5	6.5	0.0	16.9	31.0	42.6
95%用户吞吐量损失/%	0.0	0.0	1.5	1.6	0.0	6.6	19.5	21.1
平均用户吞吐量损失/%	0.0	0.8	2.8	6.1	0.0	11.8	22.9	30.9

和下行吞吐量下降。当资源利用率提高时,UAS终端上行吞吐量的恶化更加严重。

c) 增加UAS终端比例,将导致基站底噪升高。当资源利用率提高时,地面终端上行吞吐量的恶化更加严重。

3.2 邻频共存

ECC对700~800 MHz、2.6 GHz、3.4~3.8 GHz等频段上UAS终端对邻频地面网络的干扰情况进行了研究,结果如图4所示。研究结果表明,在700~800 MHz、2.6 GHz频段UAS终端不会对地面邻频网络造成明显干扰,被干扰网络的上行吞吐量损失保持在可接受范围内(<0.5%)。在3.4~3.8 GHz频段,UAS终端对地面邻频网络的干扰,小于地面普通用户终端对地面邻频网络的干扰。当航空UE高度超过3 km时,对地面邻频网络的干扰可忽略不计。

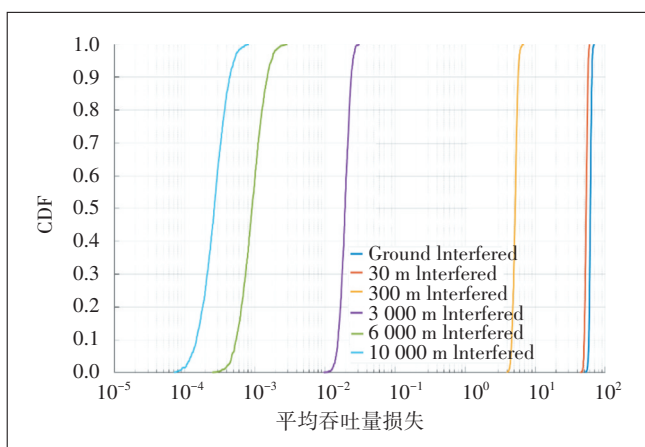


图4 3.4~3.8 GHz频段邻频干扰吞吐量损失

4 UAS与地面IMT系统干扰规避措施

为了缓解与消除UAS终端对现有IMT地面网络的干扰影响,3GPP研究了干扰规避措施,并评估了未采用干扰规避措施前与采用干扰规避措施后,地面终端与UAS终端的吞吐量性能变化。

为了缓解由UAS终端引起的下行干扰,3GPP评估了多种干扰缓解措施的性能,包括Release-13 FD-MIMO、在UAS终端使用定向天线和波束赋形技术、覆盖扩展技术、数据与指挥控制命令协同传输方案等。通过仿真评估,这些措施可以有效缓解UAS对IMT网络的下行干扰问题,降低对地面终端的吞吐量影响,提高UAS终端的吞吐量。

为了缓解由UAS终端引起的上行干扰,3GPP评估了2种干扰缓解措施的性能,包括增强功率控制机制、在UAS终端使用定向天线。通过仿真评估,增强功率控制机制中可降低干扰影响的功率参数包括UE特定部分路损补偿因子、UE特定P0参数、邻区干扰控制参数、闭环功率控制。通过采用增强功率控制机制和UAS终端定向天线,即使存在高密度的UAS终端,这些策略也有利于降低对地面终端上行吞吐量的影响。

此外,ECC建议通过设置UAS禁飞区、降低UAS终端密度等方式,以完全避免UAS对现有地面网络的干扰。

5 总结

本文对3GPP、ECC等标准化组织关于UAS与地面IMT系统干扰研究情况进行梳理、分析与总结,包括共存场景、拓扑结构、系统参数、传播模型及评估标准,并对UAS与地面IMT系统的同频与邻频干扰情况进行了分析总结。为降低UAS终端对现有网络的性能影响,本文给出多种干扰规避措施与建议,以促进UAS与地面IMT系统的共同发展。

参考文献:

- [1] Study on Enhanced LTE Support for Aerial Vehicles (Release 15): 3GPP TR 36.777[S/OL]. [2022-01-10]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [2] Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz: 3GPP TR 38.901[S/OL]. [2022-01-10]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [3] ZHAO Y. R1-1701613 Overview of Duplexing and Cross-link Interference Mitigation[C]// 3GPP TSG RAN WG1 Meeting#88, Athens, Greece, 13th - 17th February 2017. 2017.

作者简介:

王婷婷,工程师,硕士,主要从事毫米波频率研究、无人机干扰共存研究、ITU-R WRC-23议题研究工作;周瑶,高级工程师,硕士,主要从事频率干扰共存、频率申请及规划研究工作;刘吉凤,高级工程师,硕士,主要从事移动通信频率规划、干扰共存研究工作;牛憶莹,工程师,硕士,主要从事频率干扰共存研究工作。