

文章编号: 2095-4980(2018)06-0997-06

数字集群与便携式卫星站异构组网应用

楼 兰

(广东省公安消防总队, 广东 广州 510640)

摘要: 随着城市建设和经济的不断发展, 政府应急部门如公安系统承担的社会维稳、大型警卫及安保工作日益艰巨复杂, 新的形势和任务对无线通信保障工作提出了更高要求, 要求在应急指挥、调度上能做到全天候、全地域、无缝隙连接。这就需要借助数字集群与卫星异构组网系统来扩大应急指挥网络的覆盖范围, 使其能延伸到单一系统无法覆盖的区域。而目前基于卫星链路的应急通信系统通常面临终端体积过大、无法实现单兵便携的问题, 且部分系统由于未充分考虑通信卫星的实际覆盖能力而不足以解决应急集群通信系统中的所有盲区问题, 这严重制约了相应装备的推广应用。基于此, 设计了基于便携式卫星站的数字集群异构组网系统, 极大降低了传统车载地面站的成本, 充分解决了车辆无法到达区域的盲点区问题。随后在多种典型的应急通信应用场景下进行系统的外场测试, 充分验证了该异构组网系统方案的可行性和可靠性。

关键词: 数字集群; 异构组网; 便携式卫星站; 便携化

中图分类号: TN919.2

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201806.0997

Applied research on heterogeneous networking system of digital trunking and portable satellite station

LOU Lan

(Public Security Fire Brigade of Guangdong Province, Guangzhou Guangdong 510640, China)

Abstract: With the development of city construction and economy, emergency departments of the government like the public security system are bearing heavier burdens of large-scale security service and social stability maintenance. The new situations and mission put forward higher requirements that wireless telecommunication should work well in spite of weather and regions in emergency commanding and scheduling. Heterogeneous networking system of digital trunking and satellite communications is needed to expand the coverage of emergency commanding network into areas which can't be covered by simple systems, such as remote mountains and forest, earthquake-stricken area and so on. Now, emergency communication systems based on satellite link are faced with oversized terminal and portable problems. Furthermore, because the actual coverage capacity of communication satellites are not taken into enough consideration for some systems, the problem of the all blind areas of emergency communication systems still can't be solved which seriously limits the popularization and application of relevant devices. A digital trunking heterogeneous networking system based on portable satellite station is designed, which greatly reduces costs of the traditional vehicle-borne satellite communication earth station and also solves the blind problem of inaccessible areas for vehicle. Then field tests of this system are carried out under various typical emergency communication application scenarios, which fully proved the feasibility and reliability of the system.

Keywords: digital trunking; heterogeneous networking; portable satellite station; portable

无线集群通信源于专网无线调度通信。与专网调度相比, 集群调度具有共用载频、共用设施(机房、移动交换机、基站、天线、电源等)、共享覆盖区、共享通信业务、分担费用等优点。

无线集群通信技术在正常情况下, 用于公安、交通、大型企业等的通信联络; 在抗震救灾工作中, 无线集群

通信可用于指挥、调度灾区的救援、医护、安置、公安、物质供应、后勤等各部门的工作，从而使灾区的抢救工作得以有序进行^[1]。

目前，世界通信业已将集群的开发重点从模拟转向数字化，常见的数字集群技术体制主要有基于 GSM 技术的华为 GT800, GSM-R；基于 CDMA 技术的中兴 GoTa、摩托罗拉的 Tetra 等。特别是 Tetra 系统，它强大的网络管理功能，能将高性能与系统的管理融为一体，并且具有移动资源管理功能。Tetra 标准在指挥调度方面考虑较多，定义了不同的网络工作方式，规定了语音、电路数据、短数据消息、分组数据等业务以及多种附加业务。Tetra 系统在调度功能上比较完善，非常适合做专网，尤其是军队、武警、公检法等单位。然而由于我国数字集群无线网络覆盖并不完全，某些特殊场景，如高楼、城中村等，数字集群卫星通信保障车(奔驰凌特系列，使用 1.2 m 静中通天线，配置 40 W 功放)又无法进入，这便需要借助地面数字集群与具有全球、全天候覆盖能力的便携式卫星通信系统联合组网的方式，来实现数字集群网络全覆盖系统的便携化^[2]。

1 数字集群与卫星异构组网系统介绍

为加强公安消防部门的信息采集、传输及保障能力，提升其应急现场指挥调度能力，本文提出了数字集群与便携式卫星站异构组网系统。该系统采用非常轻便的便携式卫星站和数字集群通信专网系统相结合的通信方式，发挥了卫星通信系统覆盖区域大，通信距离远，通信频段宽、容量大，通信质量好，可靠性高等特点^[3]，同时发挥了集群通信系统频率资源共享、频率集中共用，服务范围共享、各个基站或系统之间互连，基础设施共享、控制中心和基地台等设施集中管理，智能化网络管理、信息资源可以与其他系统共享，实现灵活调度等优势。其系统结构如图 1 所示，主要由便携式卫星站、数字集群基站、数字集群终端

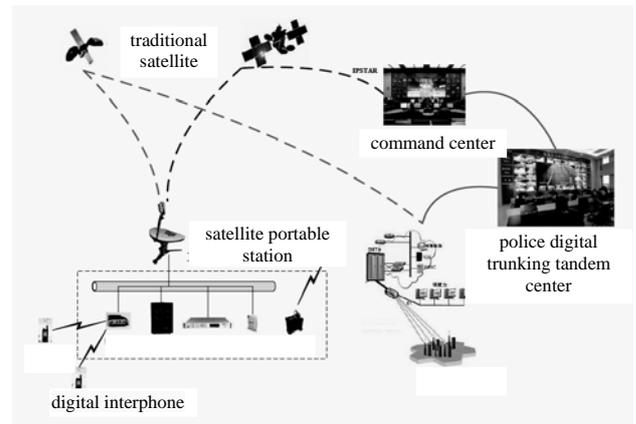


Fig.1 Structure of digital trunking and portable satellite heterogeneous networking system

图 1 数字集群与卫星异构组网系统结构图

设备、通信卫星、数字集群汇接中心和数字集群指挥中心等构成。其中，便携式卫星站是在现有警用数字集群通信系统和通信卫星的基础上为此异构组网系统精心设计的。该便携式卫星站中不仅集成了稳定可靠的电源管理系统，同时也集成了数字对讲机基站、350 M 转信台、传统卫星调制解调器、卫星调制解调器等接口。

1.1 数字集群与卫星异构组网系统概述

相比传统的数字集群通信系统，该异构组网系统增加了一个轻便的便携式卫星站，由此增加了便携式卫星站到通信卫星和通信卫星到指挥调度中心或汇接中心 2 条通信链路。系统工作时，先将便携式数字集群基站通过网线连接到便携式卫星站，然后再通过通信卫星与指挥调度中心、汇接中心进行通信，从而实现整个数字集群应急通信。整个系统中便携式卫星站是其中的关键，是实现通信卫星和地面数字集群基站之间“星-地”连接的核心设备。因此整个系统对于便携式卫星站的可靠性、稳定性以及通信接口的兼容性都有较高要求。

1.2 特点与优势

该系统主要有如下特点与优势：

- 1) 覆盖范围广、通信距离远：能有效实现偏远地区或信号覆盖差的区域与集群指挥调度中心之间的通信，完成应急通信任务；
- 2) 小型化、便携化：系统中采用了便携式设备，如便携式卫星站、便携式数字集群基站，可以很方便地携带到偏远或交通不便利的区域执行应急通信任务；
- 3) 支持多种通信卫星：既能支持与传统卫星进行的通信，也能支持与 IPSTAR 进行通信，可以根据具体需求进行选择 and 切换，同时有利于该系统的跨地域推广。

2 便携式卫星站关键技术及特点

便携式卫星站(如图 2 所示)是一种背包式卫星通信地球站，通过与地球同步轨道通信卫星的链路构成卫星通

信网络，支持语音、数据、音视频和广域网接入等多媒体通信业务，是实现远程数据传输、救灾现场应急通信、现场视频转播等业务的良好手段。

在设计卫星通信链路时，通常需先选定通信卫星和工作频道，根据卫星转发器的性能参数和用户需求，选择系统所用的天线口径、调制和编码方式，然后通过链路计算，验证所设计线路的可行性与合理性。合理的设计应保证系统略有冗余量，同时使系统所占用的转发器功率资源与带宽资源相平衡。如果链路预算结果表明，在功率与带宽相平衡时所得的系统冗余量过大或不足，可以改变天线口径，或调制、编码参数，对系统进行优化。图 3 为典型的卫星通信链路模型。

2.1 关键链路计算

2.1.1 相关重要参数概述^[4]

1) 载波(功率)与噪声(功率)密度比 $[C/(kT)]$

在 $[C/(kT)]$ 中， C 是进入接收系统的射频载波功率， k 是玻尔兹曼常数，约为 $1.38 \times 10^{-23} \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{Hz})$ ，用分贝表示则为 $[k]=-228.6 \text{ dBW}/(\text{K}\cdot\text{Hz})$ ， T 是以绝对温度(K)为单位的接收系统的等效噪声温度。通常接收系统在匹配情况下，噪声功率 $N=kTB$ ，由此可见， kT 是 1 Hz 带宽的噪声功率，即噪声(功率)密度(N_0)。

2) 有效全向辐射功率(Effective Isotropic Radiated Power, EIRP)

EIRP 也称等效全向辐射功率，是一个表征地球站或卫星转发器发射能力的重要指标，它等于发射功率与发射天线增益的乘积，常用分贝表示为 $[EIRP]=[P_T]+[G_T]$ ，单位为 dBW。

3) 自由空间损耗(Free Space Loss, LFS)

LFS 是频率为 $f(\text{GHz})$ 的电磁波在相距 $d(\text{km})$ 的两副各向同性天线之间的自由空间传播时，信号能量所受到的损耗，其定义式为：

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi df}{c}\right)^2 \tag{1}$$

式中： f 为电磁波的频率； c 为光速(约为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$)。

实际的链路计算中 LFS 通常用分贝表示，相应的计算公式如下：

$$[L_{FS}] = 92.45 + 20\lg d + 20\lg f \tag{2}$$

4) 大气损耗

不同频率的信号在大气中传播所产生的损耗不一样，通常情况下，对于 0.1 GHz 以下的信号，其损耗主要由电离层中的自由电子或离子的吸收作用造成，且频率越低，其损耗就越严重，0.01 GHz 时损耗达 100 dB，而当信号频率高于 0.3 GHz 时，则可以忽略。卫星通信中工作频率大都高于 0.3 GHz，故可不考虑其影响。

当信号在 15~35 GHz 频段时，水蒸气分子的吸收作用将在大气损耗中占主导地位，并在 22.2 GHz 处因发生谐振吸收而出现一个损耗峰。当信号处于 15 GHz 以下和 35~80 GHz 频段时，损耗则主要由氧分子的吸收作用造成，并在 60 GHz 附近因发生谐振吸收而出现一个较大的损耗峰。

阴雨雪天气时，电磁波在传播过程中需穿过对流层的雨、雾、云、雪，有一部分能量将被吸收或散射，因而产生损耗。损耗的大小与电磁波的极化方式，工作频率、穿过的距离长短以及雨雪的大小和云雾的浓度等因素有关。就降雨而言，各地区的降雨分布、大雨或暴雨出现的概率是不同的。

2.2.2 链路预算

1) 基本链路方程

基本链路方程是表示收、发(单程)传输参数之间的关系，是完整的卫星通信双程(上、下行)链路分析计算的基础。其分贝形式表示如下：

$$\left[\frac{C}{kT}\right] = [EIRP] - [L_{FS}] + \left[\frac{G}{T}\right]_{\text{R}} - [k] - [L_0] \tag{3}$$

式中： G/T 是接收系统的品质因数； L_0 是其他损耗。



Fig.2 Portable satellite antenna
图 2 便携式卫星天线

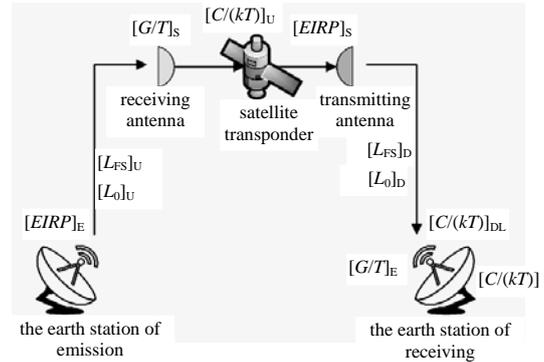


Fig.3 Typical satellite communication link model
图 3 典型的卫星通信链路模型

2) 链路计算

对 Ku 频段的卫星通信链路进行分析计算, 分别对便携式卫星站到卫星(上行链路)和卫星到接收地球站(下行链路)进行分析, 如表 1 所示。其中假设便携式卫星站采用 0.84 m 的小口径天线, 卫星地球站采用 4.5 m 的天线。

表 1 链路预算

Table 1 Link budget

link	parameter	value	link	parameter	value
	global station transmitter saturation output power/dBW	3		satellite $[EIRP]_{SAT}/dBW$	55.8
	output compensation and feeder loss/dB	-1		output backoff/carr and other losses/dB	-0.6
	Tx gain(0.84 m, 14 GHz)/dB	39.6		path loss($[L_{FS}]_{DL}$, 12.25 GHz)/dB	-206.3
	earth station $[EIRP]/dBW$	41.6		atmospheric loss(12.25 GHz, clear sky)/dB	-0.4
	path loss($[L_{FS}]_{UL}$, 14 GHz)/dB	-207.4		Rx Pwr/dBW	-151.5
	atmospheric loss(14 GHz, clear sky)/dB	-0.6		Rx gain(4.5 m, 12.25 GHz)/dB	53
uplink	$[G/T]_S/(dB/k)$	9	downlink	noise temp in receiving system(clear sky)270 K/dBK	-24.3
	transponder input $[C/T]/(dB/k)$	-157.4		earth station $[G/T]_E/(dB/k)$	28.7
	$[k]/(dBW/(K \cdot Hz))$	-228.6		receiver $[C/T]/(dBW/k)$	-122.8
	carrier to noise ratio $[C/kT]/dBHz$	71.2		$[k]/(dBW/(K \cdot Hz))$	-228.6
	bit rate($R_b=128$ kb/s)/dBHz	51		carrier to noise ratio $[C/kT]/dBHz$	105.8
	transponder input $[E_p/kT]/dB$	20.2		bit rate($R_b=128$ kb/s)/dBHz	51
				receiver input $[E_p/kT]/dB$	54.8

从表中数据可知, $[C/(kT)]_{UL}=71.2$ dBHz, $[C/(kT)]_{DL}=105.8$ dBHz, 根据整个链路载噪比计算公式^[5]

$$\left(\frac{C}{kT}\right)^{-1} = \left(\frac{C}{kT}\right)_{UL}^{-1} + \left(\frac{C}{kT}\right)_{DL}^{-1} \quad (4)$$

可计算得, 总的接收信号载噪比 $[C/(kT)]=71.2$ dBHz。由此可得接收信噪比为 20.2 dB。

通过表 1 可知, 便携式卫星站使用 0.84 m 的小口径(配备 2 W 功放)与天线口径为 4.5 m 的卫星地球站(配备 2 W 功放)可建立有效的通信链路, 可实现便携式卫星站替换通信保障车(配备 1.2 m 静中通天线、40 W 功放)。

2.2 特点

便携式卫星站具有如下特点:

- 1) 体积小、重量轻, 便于携带^[1], 能很方便地将其装进普通的行李箱中;
- 2) 支持“一键对星”: 在设备安装完成后, 操作人员可以通过有线或无线控制模式完成设备自动对星操作;
- 3) 操作快捷方便: 操作人员能在 5 min 内将设备快速展开, 并完成自动对星, 建立“星-地”通信链路;
- 4) 可提供双向宽带传输信道, 支持高质量语音、数据及实时图像等综合业务;
- 5) 高度集成, 控制、伺服、跟踪系统均采用小型化集成设计, 内置于天线底仓;
- 6) 反装式天线: 天馈系统采用反装式结构设计, 减轻了整体质量、减小了机械旋转角度, 大大提高了其工作的可靠性和天馈系统的定位精确度; 同时还采用了碳纤维偏馈天线, 反射面质量轻、强度高、拆卸方便;
- 7) 统一的供电系统: 使用统一的电源管理系统供电, 保证了系统的稳定性和可靠性。

3 应用场景测试与分析

为进一步验证本系统方案的可行性, 本文选择了一些常见的应用场景进行外场测试。所测试的场景可归类为以下几种: 郊区、城中村、地下建筑物等。

3.1 郊区场景

3.1.1 郊区村庄测试

测试目标: 测试数字集群与卫星异构组网系统在偏远郊区中的使用情况。测试地点: 广州市从化太平镇某村; 测试设备: 卫星便携站、便携式 800 M 数字集群基站(TP3p)、全向天线; 测试方法: 在该村中心附近搭建 800 M 数字集群通信平台, 然后使用小型基站配以全向天线测试村中各处的信号连接情况, 同时用手持设备测试平均信号强度并做好记录。实际的测试场景如图 4 所示。

测试结果: 未使用异构组网系统时, 测得村中的平均信号强度为 -112 dBm; 使用异构组网系统进行信号覆盖后, 测得村中的平均信号强度为 -48 dBm。



Fig.4 Test site in a village in Guangzhou suburbs
图 4 广州郊区某村测试场景

通过以上测试结果可知,在 800 M 大基站基本无法覆盖、信号极差的郊区小村中,使用便携式数字集群基站配以便携式卫星站能满足基本的通信要求。

3.2.2 郊区丛林测试

测试目标:测试数字集群与卫星异构组网系统在丛林中的使用情况;测试地点:广州市从化良口镇某水库附近;测试设备:卫星便携站、便携式 800 M 数字集群基站(TP3p)、定向天线;测试方法:在水库旁边搭建 800 M 数字集群通信平台,然后用小型基站配以定向天线测试在林区中的有效通信距离,同时记录手持测试设备中显示的信号强度。实际的测试场景如图 5 所示。

测试结果:未使用异构组网系统时,手持测试设备显示不在服务区;使用异构组网系统进行信号覆盖后,测得附近区域的平均信号强度为 -22 dBm,同时能覆盖周边 1.5 km 左右的区域。

通过以上测试结果可知,在完全没有信号覆盖的郊区丛林中,在有山阻挡的情况下,使用该异构组网系统依然能达到 1.5 km 左右的有效通信距离。

3.2 城中村场景

测试目标:测试数字集群与卫星异构组网系统在城中村的使用情况;测试地点:广州某城中村;测试设备:卫星便携站、IP 和 EI 转换器、COFDM 设备、便携式 800 M 数字集群基站、定向天线;测试方法:先在高楼层建筑物上搭建 800 M 数字集群通信平台,然后找处空旷平地搭建卫星便携站,再使用 COFDM 设备配以定向天线与高楼层处的数字集群通信平台进行通信,测试过程中天线始终指向一个方向,测试城中村中各处信号覆盖情况,以测出系统的有效通信距离。实际的测试场景如图 6 所示。

测试结果:使用手持测试设备进行信号强度测试。在未使用异构组网系统时,测得平均信号强度为 -110 dBm;而使用异构组网系统进行信号覆盖后,测得村中的平均信号强度为 -54 dBm。

通过以上测试结果可知,即使是在由于受到高楼、高架桥以及建筑密度高等各种因素的影响,很多低层高密度区域均无 800 M 网络信号或者信号极弱,很难利用 800 M 网络进行指挥通信^[6]的城中村中,使用此异构组网系统进行组网后,在有楼层阻挡的信号极弱的内巷中也能达到 600 m 左右的有效直线通信距离,这有效提升了数字集群通信系统在城中村中的覆盖能力。

3.3 地下建筑物场景

测试目标:测试数字集群与卫星异构组网系统在地下建筑物中的覆盖情况;测试地点:广州某地铁站附近大型地下商场;测试设备:卫星便携站、光纤网络、IP 转 EI 设备、便携式 800 M 数字集群基站、全向天线;测试方法:在地铁站出口处搭建好卫星便携站,并将便携式 800 M 数字集群基站放置在地下商场负三层中心位置,然后将两者分别通过光纤和 IP 转 EI 设备接入到地铁公安专网,再分别测试负一层、负二层和负三层的信号覆盖情况。实际的测试场景如图 7 所示。

测试结果:通常情况下,城市中的大型地下商场以及规模较大的地铁站中基本没有覆盖 800 M 网络信号^[6]。但使用本数字集群与卫星异构组网系统进行组网后,在地下商场复杂的信道环境中能实现比较好的信号覆盖。具体覆盖情况如下:负三层基本能完全覆盖,负二层能覆盖 60% 的范围,负一层大概覆盖 40% 的范围。由此可见,本系统有效提升了 800 M 数字集群信号的覆盖能力。

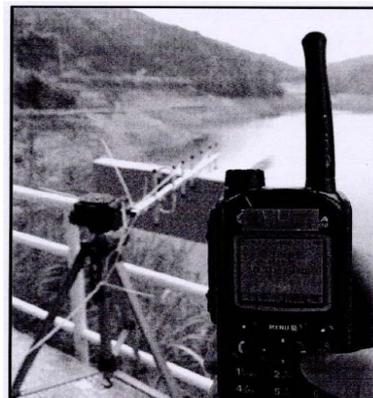


Fig.5 Test site in a reservoir near Guangzhou
图 5 广州郊区某水库附近的测试场景



Fig.6 Test site in a village in Guangzhou
图 6 广州某城中村测试场景

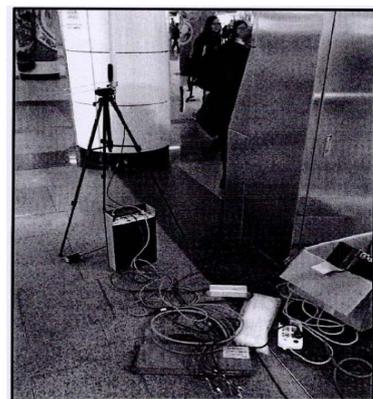


Fig.7 Test site in a below-ground shopping mall in Guangzhou
图 7 广州某大型地下商场测试场景

4 结论

通过对数字集群与便携式卫星站异构组网的研究分析及对实际系统的测试,充分验证了数字集群与便携式卫星站异构组网应用系统的可行性和可靠性。该异构组网方式有效解决了用户开展应急通信业务时,因地域偏远或区域封闭(如地下停车场、地铁站、高楼内部),而无数字集群信号覆盖且通信保障车也无法进入,从而无法进行正常通信的问题,实现了数字集群网络的区域性全覆盖。有效提升了应急救援队伍的灵活性、机动性、便携性,极大提升了应急指挥中心的指挥调度能力,减少了因无可靠通信手段而造成应急现场指挥混乱等问题。后续还有很多工作有待继续完善,后期可以推广到多套设备联合组网,以实现更大范围区域性全覆盖。

参考文献:

- [1] 苏渊. 便携式卫星通信地球站在应急救援中的应用[J]. 电子科技, 2011,24(11):135-137. (SU Yuan. Application of portable satellite communications earth station in emergency disaster relief[J]. Electronic Technology, 2011,24(11):135-137.)
- [2] 孙文明. 基于数字信标接收机的便携式卫星通信地球站的研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2011. (SUN Wenming. Research on portable satellite communication earth station based on digital beacon receiver[D]. Nanjing,China:Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2011.)
- [3] PRATT T,BOSTIAN C W,ALLNUTT J. Satellite communications[M]. [S.l.]:John Wiley & Sons, 2003.
- [4] 曹志刚. 通信原理与应用—系统案例部分: 卫星通信[M]. 北京:高等教育出版社, 2015. (CAO Zhigang. Principle and application of communication—system case section:satellite communications[M]. Beijing:Higher Education Press, 2015.)
- [5] 李几超. 某 Ku 频段卫星通信系统的设计[J]. 电讯技术, 2012,52(5):649-653. (LI Jichao. Design of a satellite communication system in Ku-band[J]. Telecommunications Technology, 2012,52(5):649-653.)
- [6] 贺自斌. 一种便携式数字集群快速部署系统的研究[J]. 移动通信, 2015,39(16):60-66. (HE Zibin. Research on a portable digital cluster rapid deployment system[J]. Mobile Communications, 2015,39(16):60-66.)

作者简介:



楼 兰(1970-), 女, 江苏省无锡市人, 硕士, 高级工程师, 主要从事消防信息化的规划建设工
作.email:xfloulan@163.com.