



区域空间应急通信系统研究^{*}

何 维¹, 谢人超^{2,3}, 黄 韬², 刘人锋¹

(1. 国网湖南省电力公司信息通信公司 长沙 410004;

2. 北京邮电大学网络与交换国家重点实验室 北京 100876;

3. 中国联合网络通信集团有限公司博士后工作站 北京 100033)

摘 要: 区域空间应急通信系统具有时延小、容量大、建设快、易于维护等优势, 有广泛的应用前景, 可以将区域空间应急通信系统应用于电力通信网中, 实现电力应急通信。探讨了区域空间应急通信系统的可行性组网方案, 从实际应用角度出发对该系统架构与组网方案进行了详细设计, 并对所提系统的可行性进行了验证。同时, 基于该系统架构, 探讨了区域空间应急通信系统面临的关键技术问题, 为后续开展研究提供了思路。

关键词: 应急通信; 区域空间通信; 高空平台通信

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.05.009

Research on Regional Spatial Emergency Communication System

He Wei¹, Xie Renchao^{2,3}, Huang Tao², Liu Renfeng¹

(1. Information and Communication Company, State Grid Hunan Electric Power Company, Changsha 410004, China; 2. State Key Laboratory of Networking and Switching, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

3. Postdoctoral Working Station, China United Network Communications Co., Ltd., Beijing 100033, China)

Abstract: Regional spatial emergency communication system not only has a low delay, large capacity advantages, but also has fast system construction and easy maintenance properties, which has a broad application prospects. The feasibility of regional space emergency communication system was discussed, then the architecture of regional spatial emergency communication system was designed, and the application scenario of regional spatial emergency communication used in power emergency communication was discussed. Finally, the key technical issues based on this system architecture were discussed, which could provide a guideline to study the regional spatial power emergency communication.

Key words: emergency communication, regional spatial communication, high altitude platform station

1 引言

我国地质灾害种类多、分布广、频次高、强度大、灾情严重, 是世界上地质灾害最严重的国家之一, 诸如洪涝灾害、地震灾害、地质灾害以及森林草原火灾等灾害事件时

有发生。2010年4月在青海玉树发生的7.1级强烈地震, 直接造成了重大人员伤亡和财产损失, 据估计, 此次地震中的死亡人数超过2 000人, 上万人在地震中受伤, 造成的林业经济损失超过25亿元, 同时波及四川地区, 造成其经济损失近3亿元。2013年10月, 发生在华东地区的强台

^{*} 中国工程院“我国抗灾救灾能力建设和灾后重建”课题基金资助项目, 中国通信标准化协会“区域空间应急通信系统”系列标准, 国家电网“区域空间电力应急通信系统可行性研究”项目

风“菲特”致使杭州、宁波、温州及上海等地普降暴雨,城市内涝严重,市区不少道路瘫痪,据估计,此次台风直接造成浙江省11个市75个县914个乡的707.3万人受灾,因洪涝灾害造成的直接经济损失达到124.05亿元。为了防止和减少自然灾害对社会的影响及最大程度地减少国民经济损失,需要加强应急通信网络的抗灾能力建设,确保在自然灾害面前能第一时间实现应急抢险救援。

当前,应急通信系统的建设大多采用卫星通信系统、地面移动通信系统或短波通信系统等。在特大自然灾害面前,地面通信系统在短时间内恢复的可能性极小,同时地面应急通信系统如微波通信、程控交换车、卫星通信车等,都会因为交通瘫痪、地理和气象条件恶劣等因素无法进入现场,而无法提供应急通信支援;短波通信系统的带宽有限、容量小,同时支持的业务类型有限;而卫星移动通信系统因国内资源缺乏、终端受限、容量和能力有限等,也难以承担有大规模应急通信需求的应急保障任务。

针对当前应急通信系统暴露的缺点与不足,需要加强应急通信网络抗灾能力的建设,充分利用空间资源,结合地面网络建立能够适应复杂环境的应急通信系统。因此,基于区域空间的应急通信系统受到广泛关注。

2 基于区域空间的应急通信系统

2.1 系统概述

基于区域空间的应急通信系统主要指在公共事件发生区域上空建立一套空、地一体化的新型无线应急通信系统,保障大型自然灾害发生时能提供及时的应急通信,实现第一时间的抢险救援。当前区域空间应急通信系统所采用的技术主要是基于浮空平台的通信技术。浮空平台通信技术并不是一个最新的技术,早在20世纪60年代,研究学者就提出了高空平台通信(high altitude platform station, HAPS)的概念,又称为平流层通信、同温层通信、飞艇通信或临近空间通信、近太空通信等。其主要思想是在距地面高度20~30 km的平流层中安放气球或飞艇,设置空中无线电台,使其电波覆盖地面上一定范围的区域,为该覆盖范围内的用户提供固定与移动通信、移动视频电话、高速数据通信、互联网等多种业务。

利用浮空平台通信技术构成的区域空间应急通信系统,与卫星通信、地面通信相比具有许多明显的优势。与卫星通信系统相比,区域空间应急通信系统不仅系统时延小、容量大而且仰角大,受建筑物等的影响较小,同时该系

统建设快、易于回收并能进行设备维修与更换,费用低廉,利用浮空平台通信技术构成的区域空间应急通信系统位于国境之内,主权、所有权、管理权归属本国。

与地面通信相比,区域空间应急通信系统的多径衰落小、覆盖面积大,在发生地震等灾害时所受的影响较小,且部署更加简单,对恶劣环境具有良好的适用性。因此,当地面应急通信网络因自然灾害受损而无法工作时,区域空间应急通信系统能够充分利用空间维度资源,从受灾区域的上空提供及时、可靠、有效的应急通信手段。

2.2 系统架构

基于区域空间的应急通信系统组网架构如图1所示。在该系统中,空中载体主要以浮空平台为基础,并在载体中搭载移动通信基站系统。基于此从空中向下发送移动通信信号,实现对受灾区域的覆盖,同时多个浮空平台之间可以组成区域无线宽带网络,实现通信数据的高速转发和传输,最后空中移动通信基站系统通过地面网关与地面通信网络相连,从而实现自然灾害恶劣环境下的应急通信抢险指挥与调度。

为了保证该基于区域空间的应急通信系统的可靠性和安全性,在与地面通信网络相连的过程中采用双网关互为备份,并采用中继卫星链路实现多链路备份保证。在该网络架构中建立地面测控、调度、决策指挥中心,实现应急通信救灾部门通过地面通信网络进行现场与远程的抢险救灾指挥以及对浮空平台的实时飞行监测与控制,从而实现对灾情的实时监控和决策部署。同时,浮空平台还搭载航拍设备,实现对地面的数据采集,并实时回传给应急救灾部门的视频网络及地面指挥中心,实现实时灾情监控,为应急救灾部门的远程救灾指挥调度提供保障手段。

基于区域空间的应急通信系统总体架构如图2所示。该系统架构由平台与测控分系统、空间数据通信与网络分系统、空中移动通信分系统、航拍分系统、系统管理与控制中心分系统以及应用平台分系统等模块组成。各分系统的具体功能描述如下。

(1) 平台与测控分系统

负责为整个系统提供基础平台(包括浮空平台、稳定平台),同时还负责各种测控信令和消息的传送,测控网络除要求可以直接对浮空平台进行控制外,还要求能够通过中继方式实现高可靠性、远距离、大纵深的测控信令传输。

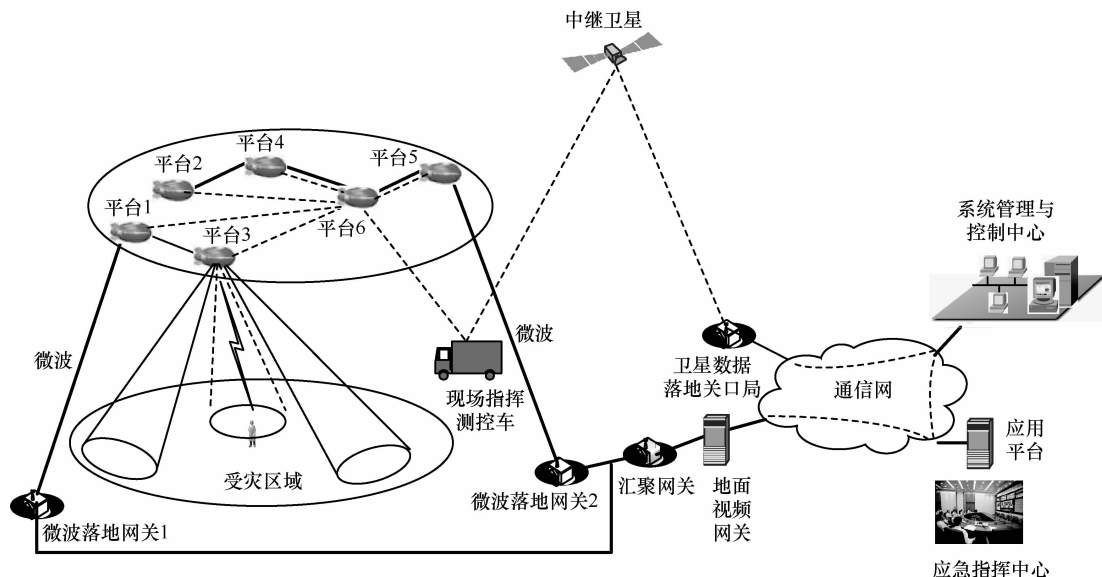


图1 基于区域空间的应急通信系统网络架构

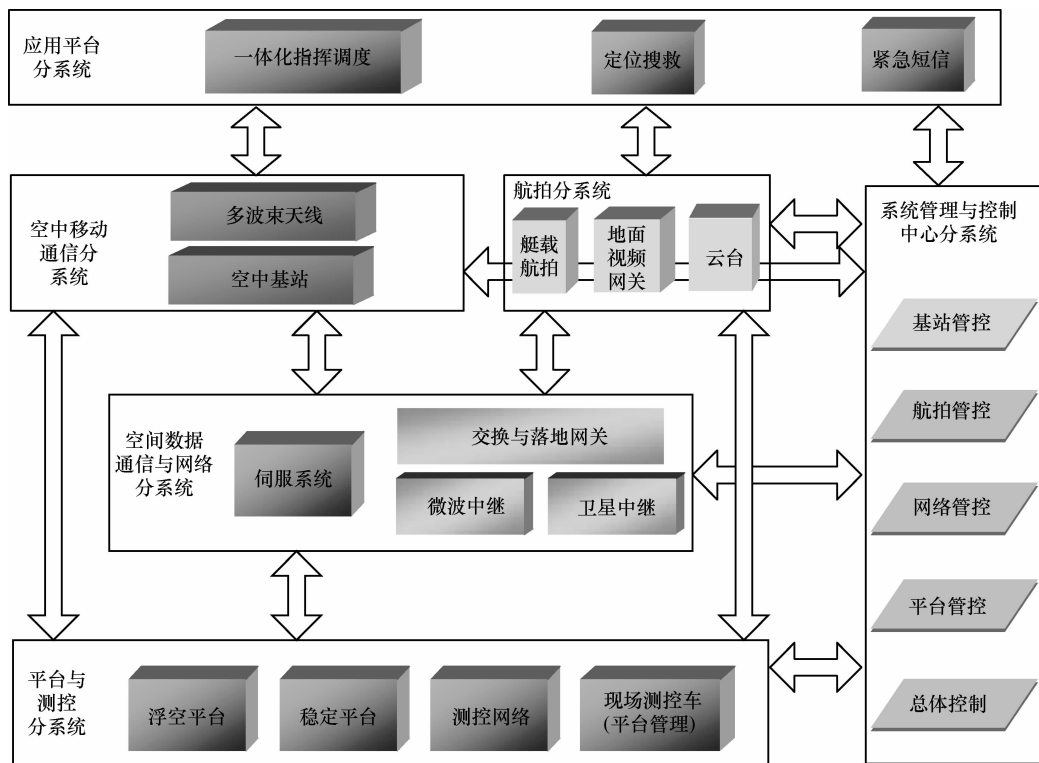


图2 基于区域空间的应急通信系统架构示意

(2)空间数据通信与网络分系统

主要负责高速数据的传输,支持微波中继和卫星中继两种数据传输方式,实现平台数据的落地。

(3)空中移动通信分系统

负责地面终端设备的接入,实现与电力通信专用网络的互连互通。同时应用多波束天线技术及多种容量增强技

术,提升单基站用户容量。

(4)航拍分系统

主要在浮空平台上搭载航拍采集设备,利用该设备实现对自然灾害发生区域的探测与监视,从而对实时图像信息进行获取,在高效视频压缩编码模块压缩、加密后,通过空间数据通信与网络分系统回传至地面视频网关,最后接

入应急通信指挥部门的视频会议系统。

(5) 系统管理与控制中心分系统

主要提供一些容器,用来承载各相关子系统的管理程序,为相关子系统的运行提供合适的环境,维护整个系统的运行及应用,保障系统的正常运转。整个管理与控制的相关信息由测控网络负责传递。

(6) 应用平台分系统

负责整体系统应用平台的研发,主要是软件研发,需要实现包括鉴权、加密、指挥调度、数据采集、数据查询、数据广播、定位在内的多种应用。

2.3 系统可行性验证

为了验证区域空间应急通信系统方案的可行性,针对该组网方案进行了放飞试验。在试验过程中,所有分系统都尽量采用最基本、最可靠的方案,如空中移动通信分系统采用单载频 WCDMA 基站;飞艇测控采用最基本的一对一测控方案;数据落地传输采用基于全向天线的微波中继传输方案等。在试验过程中,重点在于验证系统是否能够正常工作,因此测试内容尽量集中在对基本功能的验证,包括:能否进行正常的语音业务与短信业务,业务质量是否满足应急救灾通信的要求;能否进行正常的数据业务,业务传输速率能达到多少;验证航拍视频实时下传、接入地面视频网、进行异地协同调度的可行性等。

本次试验网络的组网结构如图3所示。微波传输设备提供的基本接口为 E1 接口(2 Mbit/s)。移动基站本身可以提供 E1 接口,也可以提供以太网接口。考虑到未来的实施方案会统一使用以太网接口的微波传输设备以及调测的便利性,要求为所有微波 E1 接口配备“E1 $\leftrightarrow$ 以太网转换

器”,从而将 E1 接口转换成以太网接口。由此,系留气球上的两套微波设备通过转换器共提供 3 个以太网接口,这些接口与移动基站的以太网接口都连接到一台支持网管的以太网交换机上。同时,系留气球通过缆绳内的光纤提供了一个可以传输到地面的以太网接口,此接口也连接在交换机上。微波落地站放置在中国联通的某个基站机房中,从而实现与公众通信网的数据接入。基站机房提供的传输资源也是 E1 接口,可以与微波落地站的两个 E1 接口直接相连,但这两个 E1 传输通道最终也要转换为以太网接口。对于移动通信语音数据来说,这种转换可以在 RNC 机房内进行;对于航拍数据,转换可以在任何合适的地点进行,只要能够在转换器和航拍视频输出 PC 机之间实现 IP 分组传输即可。航拍视频输出 PC 机用于观看航拍设备送出的视频流,并帮助将视频接入中国联通视频会议网中。

通过此次放飞试验测试,可以得到如下结论。

微波链路网络测试包括地面分段测试、空中分段测试、空中部分集成测试以及控制全集成测试四大部分。测试结果显示,对于空—空微波链路,无线链路接收电平在视通条件较好时优于 -80 dBm,无误码,但在飞艇转弯时天线波束会有一些遮挡,视通条件会受到一定的影响,接收电平有较大降低,从而造成链路短时中断。通常情况下,链路时延平均为 5 ms,传输带宽大于 2 Mbit/s。对于空—地微波链路,测试时无线链路通畅,接收电平范围为 -72~-60 dBm,无误码,链路时延为 3~6 ms;传输 2 路 E1 基站业务信息及 1 路图像信号条件满足系统要求。

移动通信测试结果与分析如下:对于 AMR 12.2 kbit/s

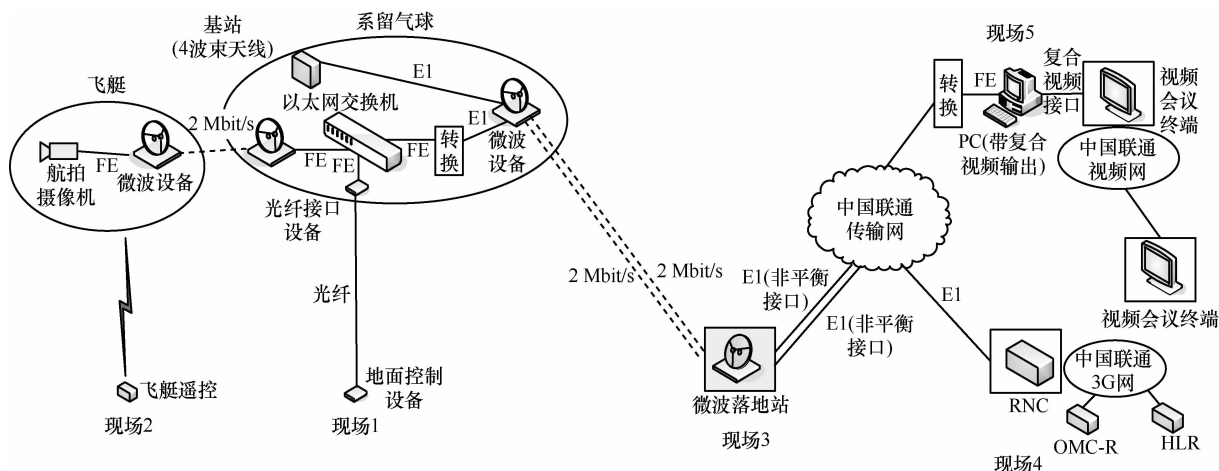


图3 区域空间应急通信系统试验网络结构



业务测试,远、中、近及正下方 4 个点的呼叫保持(3 min),语音质量清晰连续,未出现掉话,远、中、近及正下方 4 个点的平均时延(50 次短呼)测试结果见表 1;对于 CS 64 kbit/s 业务测试,远、中、近及正下方 4 个点的 CS 64 kbit/s 视频电话业务(持续 3 min),业务质量良好,无断线,均无马赛克出现;对于 PS 64 kbit/s 业务测试,远、中、近及正下方 4 个点的 PS 64 kbit/s 业务信道的平均上传和下载速率见表 2。

表 1 AMR 12.2 kbit/s 业务测试结果

项目	测试地点	平均时延/s
被叫为本小区用户	正下方	4.71
	近距离点	4.67
	中距离点	4.82
	远距离点	4.65
被叫为其他 3G 小区用户	正下方	3.54
	近距离点	3.55
	中距离点	3.57
	远距离点	3.52

表 2 PS 64 kbit/s 业务测试结果

测试地点	平均上传速率/平均下载速率/(kbit·s ⁻¹)
正下方	61.9/65.4
近距离点	54.8/60.5
中距离点	58.1/61.8
远距离点	60.8/59.4

如图 4 所示,航拍摄像机对地面进行实时航拍的功能测试具体步骤和测试结果介绍如下。

- 开启摄像机,保持拍摄状态。等待起飞,检查网络状况,网络状况良好,用 ping 命令测试 100 个分组,没有分组丢失现象,平均时延为 5 ms。
 - 飞艇飞行过程中,网络链路并不是很稳定,特别是当飞艇转向时有时会出现分组丢失(当接收电平低于 -80 dBm 时就会造成分组丢失),造成图像传输并不流畅。在飞行过程中,用 ping 命令测试网络的状态,分组丢失率为 10%,平均时延为 17 ms。
 - 测试飞艇在 500 m 高空飞行时,摄像机拍摄地面的清晰程度。在网络接通的状态下,可以看到视频图像,但由于测试当天有很厚的云层和浓密的雾气,摄像机拍摄地面的清晰程度并不是很好。
- 此次试验证明了该系统能够满足正常的语音数据通信需求,业务质量能够满足应急救援通信的要求,且此次试验获得了宝贵的实际测试数据,为后续试验和设备研制积累了重要经验。同时通过此次试验也发现了后续依然值得进一步探讨和有待解决的难题,主要包括以下两个方面。
- 基于频率自适应感知及基站自配置技术的研究:在空中基站中引入自测量、自感知的无线环境测量机制,以实现频率、功率、扰码及邻小区列表等参数的自动调整,完成基站相关参数的自配置与自优化,进而实现自动网络规划与优化,彻底解决空中基站与地面基站之间的干扰问题,最终实现空中基站与地面基站的无缝互联与切换。

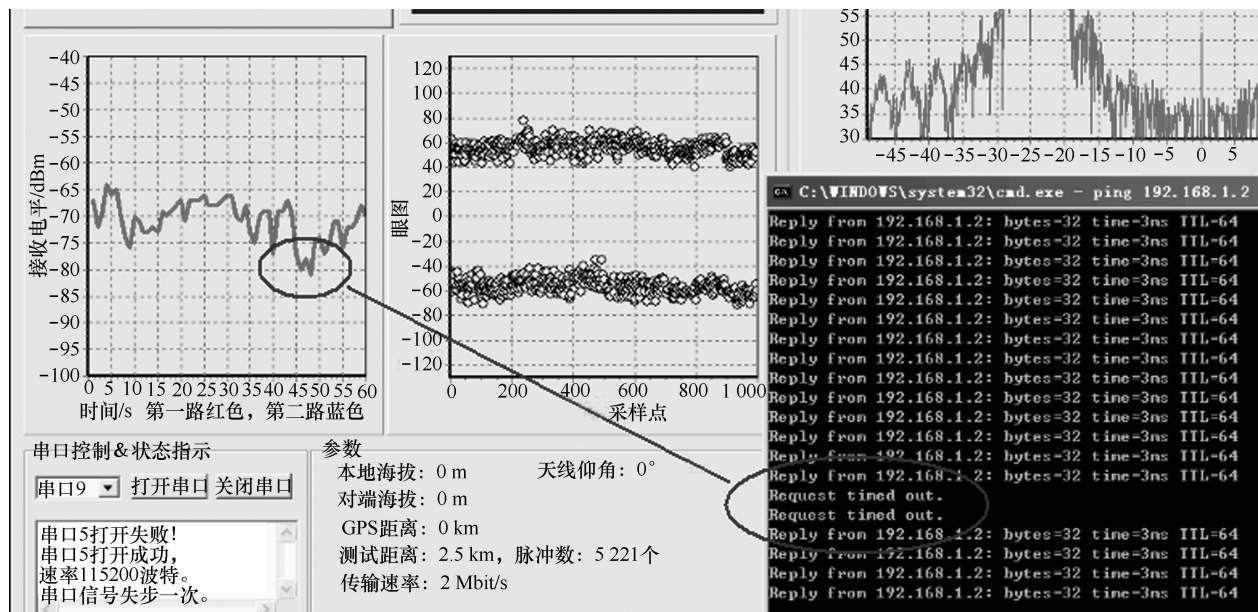


图 4 航拍功能测试截屏

- 远距离无线自组织测控组网技术的研究:理想的测控信令网应该设计为一种具有高度自治性、可靠性、安全性的网络。受距离、能量、时延、信道利用率、吞吐量以及顽健性等方面的限制,区域空间应急通信系统测控信令网不能直接使用现有的自组织网络技术,必须针对其应用特点设计新型协议,如采用远距离的空分复用 TDMA 信道接入策略、基于拓扑重构的能量优化策略、基于拓扑发现和链路状态感知的路由优化方法、支持跨层设计的协议体系等。

3 区域空间应急通信系统关键技术问题

3.1 无线传输技术研究

为了实现与电力通信专用网络的互联互通,地面终端设备的接入主要由区域空间电力应急通信系统的空中移动通信分系统负责完成。当前可以用于实现无线通信接入的技术包括 3G 技术(WCDMA、cdma2000、TD-SCDMA)、4G 技术(TD-LTE、LTE FDD、WiMAX)、SCDMA 技术以及点对点微波通信技术等。因此要研究适合电力应急通信系统的无线传输技术,不仅需要考虑无线传输技术的传输特性以及未来的可演进性与可扩展性,而且需要考虑其终端的普及性。

3.2 无线频率规划

区域空间电力应急通信系统的空中载体主要以浮空平台作为基础,并在该载体上搭载移动基站系统,从空中向下实现移动通信信号对受灾区域的覆盖,最后通过地面网关与地面电力通信专用网络相连。因此,在数据的转发与传输过程中,需要为空中移动通信系统划分工作频率。考虑到在应急救援时,可能存在地面通信系统基站部分瘫痪、部分继续工作的情形,在进行频率规划时需要考虑避免与传统地面蜂窝系统之间采用同频所带来的干扰问题。

3.3 空中移动通信分系统设计原则

空中移动通信分系统主要负责地面终端用户的接入,实现与电力通信专用网络的互连互通,并向被覆盖区域提供可靠的移动通信服务,是区域空间电力应急通信系统的重要分系统之一。空中移动通信分系统由空中基站子系统、多波束天线子系统、移动基站设备管理子系统组成。在具体设计实现时,该分系统需要重点解决移动通信基站(含天线)在浮空平台上的小型化设计、集成、安装、供电等问题,而基站远程控制、用户信息管理、跨域通信等功能则均依托于地面电力通信核心网络。

3.4 平台与测控分系统设计原则

作为区域空间应急通信系统的基础和核心,该分系统主要采用飞艇和系留气球作为区域空间电力应急通信网络系统的载体平台,负责载荷设备的集成与搭载。该分系统包括浮空平台子系统、稳定平台子系统与测控网络子系统。浮空平台子系统负责搭载飞艇上整个系统的所有载荷设备,完成符合航空标准的集成与安装,同时为各艇载设备提供能源供给;稳定平台子系统的设计应尽量考虑对总体重量的节省,同时要保证在各种场景下微波链路及卫星链路不被其他设备遮挡,以保障数据链路传输的可靠性;测控网络子系统负责保障浮空平台的测控链路,其设计要求保证测控信令的高可靠性和低时延性。

3.5 空间数据通信与网络分系统设计原则

该分系统主要负责高速数据的传输,支持微波中继和卫星中继两种数据传输方式,实现平台数据的落地,包括微波中继子系统、卫星中继子系统、高速传输网络子系统和网络管理子系统。在系统设计时应考虑使系统具有如下功能:实现移动基站、航拍等载荷设备与地面网络的双向微波高速数据通信;具备提供备用卫星通信接口的能力;基于空间位置、三维地理环境信息等多种因素组建链式网络拓扑,并在飞艇动态轮换/受控运动、故障及干扰等情形下进行拓扑重构;提供可靠性与服务质量保证;运行 IP (网络协议),避免载荷设备的协议改造;当飞艇发生中继切换时保持 IP 地址恒定;由地面控制中心进行集中控制与管理。

3.6 接入控制设计原则

在发生自然灾害时,整个系统的业务量通常会急剧增加,从而可能导致网络发生严重拥塞。为保证应急通信系统的正常工作,保障抢险抗灾指挥员等重要紧急用户通信通畅,有必要采用相关的用户接入等级控制解决方案。针对这一方案,电力应急通信指挥部门需要建立一套应急保障预案作为储备,以便在紧急关头可以立刻实施,从而保证抢险救灾指挥策略的快速传达并准确执行。

4 结束语

由于卫星通信应急系统与地面应急通信系统存在许多缺点与不足,为了克服这些缺点,本文研究了基于区域空间的应急通信系统,并对该系统架构及关键技术问题进行了深入探讨,该系统利用空域维度资源采用浮空平台通信技术,可以实现对受灾区域高效、实时的大面积覆盖,同



时该系统具有快速灵活、低成本部署等特点,对多种复杂环境及重大灾情具有良好的适应性,在电力应急通信领域具有很好的应用前景。

下一步工作将着重考虑基于电子可调多波束天线的设计与研制,利用对下倾角进行远程调整与控制,实现空中基站对地面区域覆盖范围的动态控制,实现受灾地区的最优覆盖性能。未来将考虑在空中基站中引入自测量、自感知的无线环境测量机制,以实现频率、功率、扰码及邻小区列表等参数的自动调整,完成基站相关参数的自配置与自优化,进而实现自动网络规划与优化,优化空中基站与地面基站的无缝切换。

参考文献

- 1 付重,肖行诤. 电力应急通信系统应用研究. 电力系统通信, 2011, 32(233):111~115
- 2 崔燕明,刘孝先. 电力应急通信指挥系统的建设方案. 电力系统通信, 2009, 30(6):33~36
- 3 高强,刘献伟,邱丽君. 电力系统应急通信网络及其抗毁性分析. 电网技术, 2009, 33(11):104~108
- 4 李兆伟. 卫星通信在东莞电力应急通信中的应用. 广东电力, 2011, 24(12): 100~104
- 5 谷坊祝. 卫星通信技术在电力应急通信中的应用. 电力系统通信, 2009, 30(200): 29~32
- 6 张海亮,路民辉. 区域空间电力应急通信体系的探讨. 电信科学, 2010(S2)
- 7 黄涛,黄韬. 区域空间应急通信系统研究与实践进展. 通信技术与标准, 2011(1):58~61
- 8 黄涛,黄韬. 区域空间应急通信系统研究. 中国通信标准化协会, 2010

[作者简介]



何维,男,国网湖南省电力公司信息通信公司中级工程师,主要从事电力通信系统运行维护工作。



谢人超,男,博士,中国联合网络通信有限公司中级工程师,主要研究方向为软件定义网络、应急通信、未来移动通信关键技术等。



黄韬,男,博士,北京邮电大学副教授,主要研究方向为新型网络架构、软件定义网络、信息中心网络等。



刘人锋,男,国网湖南省电力公司信息通信公司助理工程师、通信管理系统专责兼调度员,主要研究方向为无线通信。

(收稿日期:2014-03-26)



· 简讯 ·

2014 年第一季度通信业主要通信能力

指标名称	单位	本季末到达	比上年末新增
光缆线路长度	km	18 175 336	724 156
其中:长途光缆线路长度	km	908 617	10 845
固定长途电话交换机容量	万路端	1 207	-63.4
局用交换机容量	万门	40 328.5	-723.7
其中:接入网设备容量	万门	22 403.4	-120.3
移动电话交换机容量	万户	199 047.3	2 502.0
互联网宽带接入端口	万个	36 923.4	951.0

(来源:工业和信息化部运行监测协调局)