

基于 DVB/IP 的气象应急卫星通信系统的设计与应用

孙娟¹ 杨礼敏¹ 黄云峰¹ 胡平¹ 尹春光¹ 孙晓俊¹

摘要

为配合移动多普勒气象雷达车的数据传输,实现应急通讯的会商以及重大天气过程的直播和保障,利用卫星通信、计算机网络、无线通信、图像传输、多媒体制作等多种技术集成设计了 DVB/IP 气象应急卫星通信系统.该系统从数据收集和通信层面上立足于气象防灾减灾的需求,为气象应急保障服务和决策指挥提供了强有力的技术支撑,将对上海市气象局应急处置能力的提高起到一定推动作用.

关键词

DVB/IP; C 波段; 卫星通信; 气象应急

中图分类号 TN927⁺.23; P412

文献标志码 A

0 引言

如何及时快速地应对气象及衍生灾害是气象部门亟需解决的问题.随着网络技术、软件技术以及通信技术的飞速发展,特别是 3G 和卫星网络信号覆盖范围的加大,利用卫星通信、计算机网络、无线通信、图像传输、多媒体制作等多种高科技技术手段以应对不断发生的突发性天气现象和重大天气的保障,建立能处置各类突发性事件的气象应急通信指挥系统是当前非常迫切的工作任务.

上海市气象局在引进具有国际先进技术的移动多普勒气象雷达车(以下简称气象雷达车)的基础上,建设卫星链路,开展气象信息节目的卫星电视直播,并通过 DVB/IP 气象应急卫星通信系统,使气象雷达车与气象局联网,形成一个跨地区的 DVB 电视直播覆盖网及气象数据信息网络.

1 概述

相对于传统的通讯方式,卫星通信具有通信范围大、组网灵活、通信链路可靠、不易受陆地灾害影响且易于实现广播和多址通信等特点^[1-2],在应对突发灾害天气方面具有独特的优势.

基于 DVB/IP 的气象应急卫星通信系统,主要完成以下 3 个功能:

- 1) 气象雷达车通过 DVB/IP 气象应急卫星通信系统与上海市气象局建立数据通信;
- 2) 应急通讯的会商;
- 3) 重大天气现象的直播和保障.

系统结构示意图如图 1 所示.

DVB/IP 气象应急卫星通信系统的业务类型以混合传输音视频及数据为主,采用星状网的拓扑结构,可以进行点与面之间的视频通信(DVB-S),也可实现点与点之间的数据通信(IP).图 1 中,卫星和各地面站之间的单向箭头为 DVB-S 转播信号走向,将卫星通信车制作的音视频通过卫星广播的方式传送给上海市气象局、电视台以及北京的华风影视等单位.而卫星通信车、卫星及上海市气象局三者之间的双向箭头为 IP 数据走向,主要实现气象雷达车观测数据的传送.

收稿日期 2010-07-10

资助项目 中国气象局灾害性天气现场直播气象应急服务系统

作者简介

孙娟,女,博士生,工程师,主要从事气象仪器自动化及信号处理等方面的研究工作.
shortlane_cn@hotmail.com

¹ 上海市气象信息与技术支持中心,上海,200030

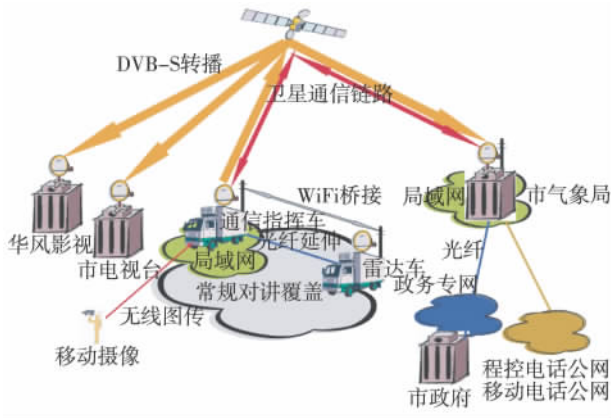


图 1 系统结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of satellite communication

2 卫星通信系统

整个系统是由卫星传输系统、通信网络系统、视音频系统、保障系统和卫星固定站组成, 主要实现实时通信、现场指挥、音视频编辑、辅助决策及高清视频会议等基本功能. 车载卫星通信系统示意如图 2 所示.

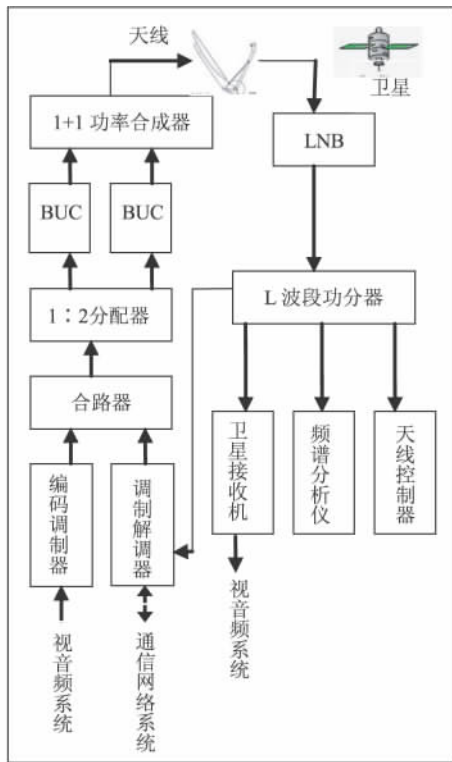


图 2 车载卫星通信系统示意

Fig. 2 The diagram of vehicle-bone satellite communications system

车载卫星通信系统由编码调制器、调制解调器、BUC(Block Up-Converter)、LNB(Low Noise Block)、1:4功率分配器、卫星接收机、频谱分析仪以及天线(含天线控制器和伺服系统)等组成.

上行链路流程: 来自视音频系统的数字、模拟视音频信号进入编码调制器, 视频信号采用 MPEG-2 的 4:2:2MP@ ML 和 4:2:0MP@ ML 编码, 音频信号采用 Musicam MPEG-2 层标准编码. 编码压缩后的信号被调制为 L 波段的中频信号; 通信网络系统的业务信号流也进入调制解调器解调为 L 波段的中频信号; 2 路中频信号合路后送入上变频单元(BUC) 变为 C 波段的射频信号. 经大功率放大器、天线发射至卫星转发器.

下行链路流程: 天线接收的卫星射频信号经低噪声下变频器(LNB-Low Noise Block) 放大并变频为 L 波段信号. 经 1:4 功率分配器分为 4 路信号. 其中, 1 路送至天线控制器, 作信号强度指示; 1 路送至频谱分析仪, 检测卫星链路信号的电平和频率; 1 路送至卫星接收机, 自环接收信号送至视音频信号, 对接收图像进行监视; 1 路送至调制解调器, 恢复出数字信号送至通信网络系统. 下面对系统的几个重要方面作详细阐述.

2.1 选择 C 波段载波抵御恶劣气象条件

气象雷达车的目标是跟踪预测复杂气象状况, 作为数据传输配套的 DVB/IP 气象应急卫星通信系统需承担在复杂气象条件下将气象雷达车的观测数据实时传送至卫星固定站的任务, 因此, 卫星信号的传输质量尤为重要. 对流层对卫星传输最常见和最显著的影响是雨衰, 衰耗的程度因信号频率、雨的大小及信号穿过雨区的路程长短而不同^[3]. 针对 C 波段和 Ku 波段在大雨及暴雨下的雨衰进行比较, 结果如表 1 所示(假设卫星站点的仰角同为 40°时).

表 1 C 波段和 Ku 波段的雨衰比较

Table 1 Rain attenuation comparison between C-band and Ku-band

雨量	雨衰	
	C-Band	Ku-Band
大雨 (雨区高度 ≤ 10 km)	R/T 0.3 dB/1.2 dB	R/T 7.5 dB/11 dB
暴雨 (雨区高度 ≤ 2 km)	R/T 0.3 dB/1.5 dB	R/T 10 dB/16 dB

由表 1 中可知: 在大雨及暴雨的情况下, C 波段

的卫星传输受雨衰影响不明显,最大不超过几个 dB,体现了传输可靠,受气候影响程度较小的特点.因此,系统选择了 C 波段作为卫星载波,以便在特大暴雨等极端恶劣气象条件下也可通过将上行功率提高(2~5 dB)来有效地减少 C 波段卫星传输的雨衰影响,从而保证最大的发射成功率.但实际应用中,气象雷达车与卫星通信车之间的无线干扰将影响 C 波段卫星广播的效果.因此除了系统集成时加装特种滤波器、馈源屏蔽、通信线路屏蔽等措施之外,在操作时遵循两车天线角度和距离的差异化也可以降低干扰,保障在气象雷达车正常的工作状况下,不影响 DVB/IP 气象应急卫星通信系统的正常运行.

2.2 射频系统 1+1 热备份

卫星固定站和卫星通信车均采用变频上行及 L 波段回路射频系统.射频系统由频率上下行变换及功率放大系统组成并在波导等辅助系统的配合下完成全部工作.

系统使用的是亚洲 5 号卫星 C 波段转发器,选用的 1.8 m C 波段车载天线,其发射增益为 39.43 dB. DVB 通信链路的实际租用转发器的带宽为 9 MHz,而 IP 通信链路为 6 MHz.假设将卫星转发器推至饱和,卫星通信车单一链路上行天线发射端口有效全向辐射功率(Effective Isotropic Radiated Power, EIRP 记其量值为 d_{eik} ,单位为 dBW)为:

$$P_{eik} = d_{sf} + L_u - 10 \lg(4 \times 3.14 / \lambda^2). \quad (1)$$

式(1)中: d_{sf} 表示饱和通量密度; L_u 为上行传输损耗; λ 为波长.

由公式(1)计算出 DVB 通信链路上行天线发射端口功率为 64.24 dBW. IP 通信链路为 62.24 dBW.在保证比特误码率为 10^{-7} 的情况下,固定站的每比特能量与噪声功率密度之比为 5.2 dB.由于降雨对下行线路影响显著,为确保系统接收性能,系统的门限余量取值为 6 dB.因此推导出固定站天线接收增益为 35 dBW.考虑到减少卫星通信车(发射方)有效全向辐射功率要求,配置固定站天线直径为 5.36 m,接收增益为 45 dB,可将卫星车有效全向辐射功率减少 7 dBW.所以卫星车 DVB 通信链路上行天线发射端口功率为 57.24 dBW.由此可换算出发电机实际需要发射功率为 60 W.同理,IP 通信链路发射机实际需要发射功率为 38 W.车载功放所需功率为 DVB 链路和 IP 链路之和,因此卫星车发射机发射总功率为 98 W.

考虑到 3 dB 的功率回退,卫星车发射机的总输

出功率需要达到 196 W,因此,系统采用了 $200 \text{ W} \times 2$ 的 1+1 功率合成热备份系统.在故障告警和自动切换设备的配合保护下,一方面保证了系统的稳定,确保在任何工作情况下必有 1 台功放处于连线发射状态;其次,高功放 1+1 热备份可在需要的情况下发挥功率叠加功能,取得单台功放双倍的功率输出.

对于固定站的 IP 链路而言,将卫星转发器推至饱和时,根据式(1)计算出固定站上行天线发射端口功率为 62.24 dBW,从而换算出发射机实际需要发射功率为 22 W.考虑到恶劣天气的影响以及对前方卫星车的补偿,并留有余量以备将来扩容需要,固定站选用了 80 W 功率放大器.固定站卫星通信系统示意如图 3 所示.

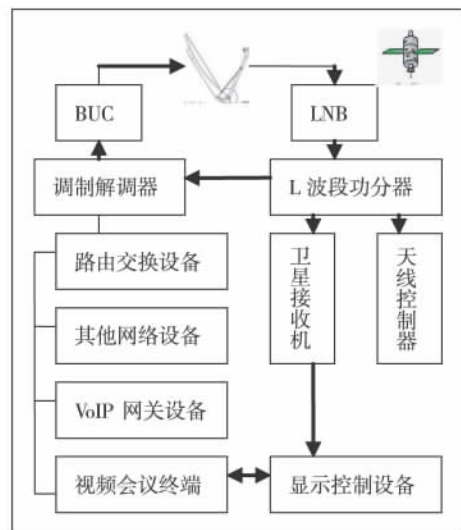


图 3 固定站卫星通信系统示意

Fig.3 The diagram of fixed station satellite communications system

2.3 天线及车载电源

天线的选择不仅要比较各项技术参数,更着重于实际使用反馈.本系统选用了美国 Vertex RSI C180M 1.8 m C 波段天线,具有精度高、尺寸小、重量轻、抗风能力强以及使用耐久性好等特点.系统配备有新型伺服系统,在车厢内就能实现天线自动展开、回收以及寻星,在应急状况下可手动调整.

导致固定站天线不能正常工作的原因通常是因为恶劣的气象条件,譬如季风和降雨等^[4].固定站天线采用了华信雷达工程有限责任公司的 5.36 m C 波段天线,其旁瓣特性好, G/T 值高,可以减少恶劣天气对天线接收功率的影响.天线座架采用热浸锌工艺,其水泥基础与所在大楼主梁完全结合,抗风力

超过 12 级. 天线方位可 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 连续转动, 配有限位开关以及步进跟踪, 具有较好的使用灵活性.

车体选择德国梅塞德斯-奔驰 VARIO 815D 厢式车. 为确保通信卫星车在任何情况下都能保证基本的业务通信能力, 系统设计了多重备份的电源模式: 车载发电机 (德国熊猫 PVMV-N12000NE 12.0 (10.2) KVA 超静音发电机)、市电和不间断电源. 整车电源不仅保障系统在野外条件下可以进行连续的长时间传输工作, 同时足够的冗余可使得富余能源向系统外设备提供.

3 数据处理系统

3.1 网络架构

DVB/IP 气象应急卫星通信系统的网络系统由网络交换机、无线 AP 网桥、光纤收发器、路由器、VoIP 接入设备和视频会议终端等组成, 在上海市气象局、卫星通信车以及气象雷达车之间建立起一个完整的企业内部网. 网络系统主要实现以下功能.

1) 现场话音通信. 通过在卫星固定站、卫星通信车两端分别配置 VoIP 网关接入设备, 可实现车载电话接入公用交换电话网, 建立电信级质量的电话通信.

2) 雷达数据传输. 来自气象雷达车的各种数据信息, 通过光纤延伸和 WiFi 桥接 2 种模式汇集到卫星通信车并经卫星链路传到上海市气象局.

3) 远程技术支持. 基于网络连接和卫星链路可以实现卫星通信车与上海市气象局之间的实时通信以获取远程专家及预案的技术支持.

系统通信网络框架示意如图 4 所示.

DVB/IP 气象应急卫星通信系统在网络层采用交换机将上、下行数据拼接, 形成完整连续的数据流, 并在本地网络上流通. 在形成的 IP 网络基础上, 可开展各种网络层的应用, 如 VoIP、数据/传真和视频传输的访问.

由于整个系统是基于 IP 的, 因此网络管理人员可以方便地将各种基于 IP 的应用集成到卫星网络中, 而不用担心太多的接口与兼容性问题; 另外, 系统中配有常规对讲设备和无线图传单兵电台, 解决了网络通信中的“最后 1 km”问题. 系统预留了 3G 的通信接口, 可增加 3G 无线图像通信系统以增强卫星通信车的现场调度通信能力和多业务传输能力.

3.2 通信模式

DVB-S 数字卫星直播系统标准是以卫星作为传

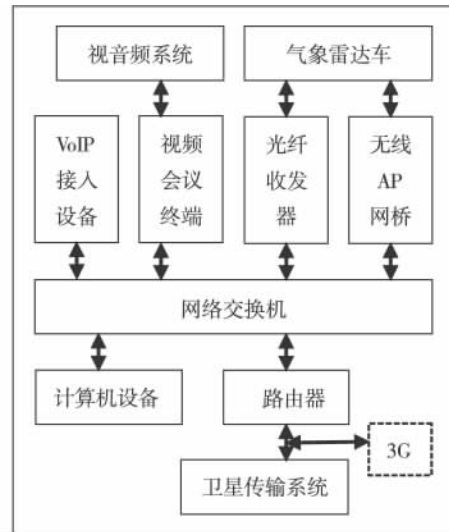


图 4 通信网络框架示意图

Fig. 4 The diagram of communication network

输介质, 将视音频以及资料放入固定长度打包的 MPEG-2 传输流中, 信号在传输过程中有很强的抗干扰能力^[5].

DVB/IP 气象应急卫星通信系统在卫星通信车与卫星固定站之间, 通过卫星各自以单路单载波 (SCPC, Single Channel Per Carrier) 通信体制建立 DVB 广播通道, 即将卫星通信频带预先分配 2 个相互通信站点之间占用卫星转发器的一对固定频率载波作为发射和接收. 预分配方式构成专线可以避免信息组之间的碰撞, 该方式不受其他通道干扰, 保持数据实时通信.

系统采用多协议封装方式 (Multi-Protocol Encapsulation), 支持在 DVB 信道上传输符合其他通信协议的数据以及对数据包的加密、优化和动态变换 MAC 地址以确保传送数据的安全. 多协议封装方式提供了 MPEG-2 TS (Transport Stream) 流之上传送 IP 协议数据的 IP OVER DVB^[6-8] 传输模式, 融合了 DVB 和 IP 2 种技术的优势, 前端各种信源服务器与 DVB 网关通过局域网的方式相连, DVB 网关的源既可以是磁盘中的文件, 也可以是动态的 IP 数据包.

系统传输容量为 1 路视频、2 路音频及 2 Mbps 速率之内的辅助数据. 不过, 传输速率仍取决于实际传输时的气象条件, 系统可保证实现在恶劣气象条件下点到点 2 Mbps 速率以上的 IP 卫星数据通信, 基带系统可实现 1.3 ~ 160 Mbps 数据速率之内的卫星数据通信 (受制于上行功率限制), 具备后期扩展能力.

3.3 编解码实现

系统的基带处理是在高可靠性的 DVB 媒体前端平台上展开的. DVB 媒体前端平台首先将比特流、字节流和 IP 数据封装成为 MPEG-2 数据包,然后将这些数据包封装成 DVB 包. 卫星上行调制器采用 4 相相移键控调制(QPSK-Quadrature Phase Shift Keying)方式,将从媒体前端平台出来的 MPEG 流调制在 IF 载波上,上变频后送入卫星天线的高功放上行. DVB 媒体前端平台通过在无效空包中安全填入有效数据,可靠还原成 IP 数据,真正做到卫星带宽度的 100% 利用.

系统的数据接收采用的是边缘媒体路由器类型的卫星数据接收机. 边缘媒体路由器从 LNB 接收经过 QPSK 调制的高速 DVB 流,按 DVB-MPE 解封包,还原成 IP 数据流,送入本地网络服务器的大容量缓存中,最终由网络交换机将上、下行数据进行拼接. 边缘媒体路由器位于本地网络与卫星网络的边缘,它解析并路由来自于 DVB-MPEG2 的传输流,并通过 10/100 快速以太网将它们送到宽带网络上以便进行多点传送.

在系统中,IP 通信链路采用点对点的模式建立通信,主要配合气象雷达车开展数据传输以及应急通讯的会商. 通过卫星通信车与卫星固定站之间的视频会议,上海市气象局能与卫星通信车及气象雷达车开展面对面的交流,直接指挥、参与气象雷达车的操作和控制,起到现场指挥和监控作用.

DVB 通信是通过 MPEG-2/DVB 卫星链路实时直播卫星气象节目,进行天气过程的电视直播和现场气象保障. 基于 DVB 的广播特性,卫星通信车可根据要求与各地固定站进行单向通信. 系统配置了基于广播级的电视采访系统和快速编辑系统,可以提供高质量的视音频信源,使有关单位可以及时获得现场广播级的声音和图像.

4 结论

基于 DVB/IP 的气象应急卫星通信系统自从通过验收投入使用至今,先后承担了 2010 年上海世博会的开/闭幕式现场气象保障、宝山灾害性天气过程跟踪观测等服务. 在历次保障服务中,各项设备工作正常,视讯传输质量清晰,图像切换控制稳定,实际使用效果良好. 不过,在运行和使用的过程中也发现一些存在的问题. 例如:在有限的车厢内,安置了较多数量的通信设备,稳定性是一个巨大的考验. 对于

一些重要的仪器设备,还需要考虑备份以保证整个系统的正常运行.

DVB/IP 气象应急卫星通信系统的建设,是纵深推进《中国气象局业务技术体制改革方案》的重要举措,更可从实质上推动上海区域气象事业实现从现代化装备建设驱动型发展向科技创新驱动发展的重大跨越.

参考文献

References

- [1] 张更新. 现代小卫星及其应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2009
ZHANG Gengxin. Modern small satellites and application [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2009
- [2] 甘仲民,张更新. 卫星通信技术的新发展[J]. 通信学报,2006,27(8):2-9
GAN Zhongmin, ZHANG Gengxin. Current development of satellite communications technology [J]. Journal on Communications, 2006(8):2-9
- [3] 韩光. 雨衰对卫星信号传播的影响及解决办法[J]. 广播与电视技术,2008,35(4):96-98
HAN Guang. The influence and solution for rain attenuation on the satellite signals [J]. Radio & TV Broadcast Engineering, 2008, 35(4):96-98
- [4] 甘良才,杨桂文,茹国宝. 卫星通信系统[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002
GAN Liangcai, YANG Guiwen, RU Guobao. Satellite communications system [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2002
- [5] 姜秀华,张永辉. 数字电视广播原理与应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2007
JIANG Xiuhua, ZHANG Yonghui. Principle and application of digital TV & broadcasting [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2007
- [6] 马卫东,李幼平,袁宏春. IP over DVB 技术及其应用[J]. 微电子学与计算机,2001,18(5):53-55
MA Weidong, LI Youping, YUAN Hongchun. The technology and application of IP over DVB [J]. Microelectronics & Computer, 2001, 18(5):53-55
- [7] 李军,蒋海,叶新铭,等. 支持双协议栈的 IP over DVB-S 网关系统[J]. 计算机工程,2007,33(9):111-113
LI Jun, JIANG Hai, YE Xinming, et al. IP over DVB-S gateway system supporting dual-protocol stacks [J]. Computer Engineering, 2007, 33(9):111-113
- [8] 栗志意,赵建国,晏坚. IP over DVB 封装技术效率分析[J]. 清华大学学报:自然科学版,2009,49(8):1126-1130
LI Zhiyi, ZHAO Jianguo, YAN Jian. Efficiency analysis of IP over DVB encapsulation protocol [J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2009, 49(8):1126-1130

The design and application of meteorological emergency satellite communications system based on DVB/IP

SUN Juan¹ YANG Limin¹ HUANG Yunfeng¹ HU Ping¹ YIN Chunguang¹ SUN Xiaojun¹

¹ Shanghai Meteorological Information and Technological Support Center, Shanghai 200030

Abstract For data transmission of mobile Doppler weather radar, the consultation for emergency communication, and the broadcast of major weather process, a meteorological satellite communication system based on DVB/IP was designed, which integrates several high technologies including satellite communications, computer network, wireless communication, multimedia production, image transmission and so on. Considering the requirements of meteorological disaster prevention and mitigation, the data collection and communication function of the system can provide technical support for meteorological emergency management and decision-making process. The application of this system will improve the emergency response capability of Shanghai Meteorological Bureau.

Key words DVB/IP; C-band; satellite communications; meteorological emergency response