

气象宽带网络自动化天地互备系统设计与实现

刘 然,王 涛,何恒宏
(国家气象信息中心,北京 100081)

摘 要:全国地面通信网络是气象部门不可或缺的关键通信基础设施,因此保障该线路的高可用至关重要。介绍了中国气象局地面宽带网络自动化天地互备系统的设计与实现。该系统采用了服务类型识别技术,可根据特定的服务类型标记触发卫星链路的自动建立及释放。同时,在对地面线路状态自动检测的基础上,实现了全网路由的动态更新和智能选择,解决了传统备份方案需要人工判断和手工干预的问题,还兼顾了气象部门卫星应急通信业务的需要。通过在实际业务中的检验,当地面线路因灾全部中断时,该系统的自动备份效果相较于气象部门传统的备份方式,在切换的及时性和自动化程度方面都有着十分明显的提高。同时卫星线路只有卫星转发器这一个中间节点,其安全性和可靠性也更高,能够很好地满足业务要求,对提升国省气象部门间通信网络的可靠性具有重要意义。

关键词:天地互备;服务类型;自动化;卫星通信;高可靠性

中图分类号:TP399

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2022)11-0088-07

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2022.11.013

Design and Implementation of CMANet Automatic Satellite-earth Mutual Backup System Based on Service Type Identification

LIU Ran, WANG Tao, HE Heng-hong
(National Meteorological Information Center, Beijing 100081, China)

Abstract: CMANet is a key communication infrastructure for the meteorological department, so it is crucial to ensure the high availability of the line. We introduce the design and implementation of CMANet automatic satellite-earth mutual backup system of China Meteorological Administration. The system adopts service type identification technology, which can trigger the automatic establishment and release of satellite link according to specific service type marks. At the same time, based on the automatic detection of the terrestrial link state, the dynamic update and intelligent selection of the whole network route are realized, which solves the problems that the traditional backup scheme needs manual judgment and manual intervention, and also takes into account the needs of satellite emergency communication service of meteorological department. Through the test in the actual service, when all the terrestrial link are interrupted due to disasters, the automatic backup effect of the system is significantly improved in the switching timeliness and automation compared with the traditional backup mode of the meteorological department. At the same time, the satellite link only has the intermediate node of satellite transponder, which can meet the service requirements with higher security and reliability. It also improves the reliability of the communication network between national and provincial meteorological departments significantly.

Key words: satellite-earth mutual backup; service type; automation; satellite communication; high availability

0 引言

中国是气象灾害多发、频发的国家,每年都会不同程度地发生暴雨洪涝、台风、冰雹、雷电等灾害性天气^[1]。

为此,中国气象局在国家级至31个省级气象部门间建设了高速地面气象网络,开展灾害性天气的预报、预警和防灾减灾工作,所以确保国省气象网络的全天候可靠运行对气象部门的业务工作意义重大。

1 中国气象局网络系统概况

中国气象局网络系统CMANet由地面网络和卫星通信网共同组成。地面网络系统也被称为气象宽带网,该网络建成于2005年,到2011年逐步形成了星状结构的全国MSTP(Multi-Service Transport Platform,多业务传送平台)主干网与网状结构的MPLS VPN(Multi-Protocol Label Switching Virtual Private Network,多协议标签交换虚拟专用网)主干网双线路

收稿日期:2021-11-14

修回日期:2022-03-16

基金项目:国家突发事件预警信息发布系统建设项目(中气函[2011]406)

作者简介:刘 然(1981-),男,硕士,高级工程师,通讯作者,研究方向为气象信息系统设计及建设。

互备的格局。国家级和 31 个省作为网络中的核心节点,在省以下由各省自行建设作为 CMANet 的延伸。

气象宽带网的组成结构如图 1 所示^[2-3]。

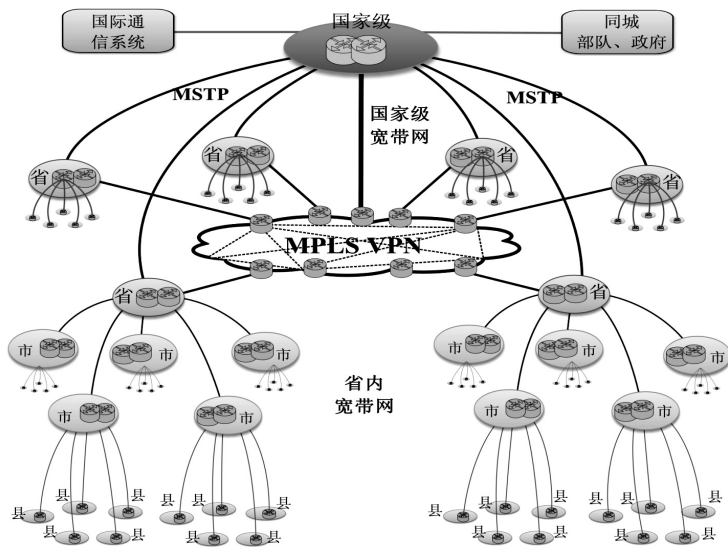


图 1 中国气象局地面气象宽带网组成结构

MSTP 线路采用星状网络结构,主要承担国省视频会议等业务,国省间带宽为 12 Mbps。MPLS VPN 是网状结构网络,其作为国省数据传输主要线路,在建成后经历了多次升速,至 2019 年区域中心接入带宽达到 800 Mbps,普通省带宽 400 Mbps。为提升气象宽带网的可靠性,MSTP 与 MPLS VPN 线路之间具备互备的能力^[4-5]。

中国气象局的卫星通信网络发展的更早,起始于 1999 年建成的 9210 工程卫星通信网开展国省通信^[6]。它在北京建设了 1 个国家级卫星主站和 31 个省级卫星双向站。随着气象宽带网的建成,卫星通信网不再承担国省数据传输任务,省级双向站全部关停,仅保留了国家级卫星主站。2008 年前后,在国内卫星应急通信业务发展的背景下,卫星通信网经过改造开始支撑各省气象部门卫星应急车的通信,并在汶川大地震等灾害应急和北京奥运会等重大活动气象服务工作中大显身手^[7-8]。此后,卫星通信网作为支撑国省应急通信的重要线路持续发挥着作用,但由于缺少有效的技术手段,卫星网的应用场景仍主要集中在应急通信领域,无法为地面线路提供有效的空中备份。

2 气象宽带网天地互备系统设计

2.1 业务需求

“国家突发事件预警信息发布系统”(简称“国突系统”)是《“十一五”期间国家突发公共事件应急体系建设规划》提出的十个重点建设项目之一,是国务院应急平台唯一的突发事件预警信息权威发布系统。该系统于 2015 年 5 月 1 日正式上线运行,需要在国省之间传输来自中国气象局及多个国家级部委办局的预警

信息,这对气象部门国省网络线路可靠性无疑提出了更高的要求^[9-10]。为此,中国气象局需要建立一套气象宽带网天地互备系统,将地面网络与卫星通信网进行有机整合,发挥卫星通信手段的独有优势,使其既为地面气象网络的空中备份,又兼顾省级应急通信车的服务需求^[11-14]。

其业务需求包括:

(1)在国家级至省级地面线路中断的情况下,特定的业务(如国突系统、观测数据上传等)只要有数据传输,无论其方向是上行或下行,均自动触发卫星信道建立,并实现卫星与地面线路间的自动倒换,无需人工介入。

(2)在地面线路恢复后,业务数据传输自动回切至地面线路,并释放卫星信道资源。

(3)在国省间地面线路正常时,自动选择地面为最优传输路径,并能继续支撑省级应急车的卫星通信。

2.2 系统构成

根据 CMANet 的设计,气象宽带网已采用了 MSTP 和 MPLS VPN 双线路互备方设计。因此天地互备系统的主要建设内容是其卫星通信部分及天地链路自动化调度能力,并实现卫星通信网与气象宽带网的融合,使卫星网可自主备份地面网络。其系统整体结构如图 2 所示。

2.2.1 卫星通信部分构成

卫星通信部分包括 1 个国家级卫星主站和 31 个省级小站。其中主站位于北京国家气象信息中心,包括网管分系统、Modem(调制解调器)分系统和射频分系统和网络分系统,其组成如图 3 所示。

网管分系统主要包括网管平台及链路预订平台,

实现基于服务类型识别的卫星链路调度和管理。Modem 分系统则主要完成卫星信道的控制、调制、解调等功能。其中 Modem 采用 Comtech EFDATA 的

CDM570L 设备,共配置 6 台,其中 2 台用于 1:1 热备份的出向信令发射,剩余 4 台用于点对点通信,最大可同时与 4 个省建立点对点卫星信道。

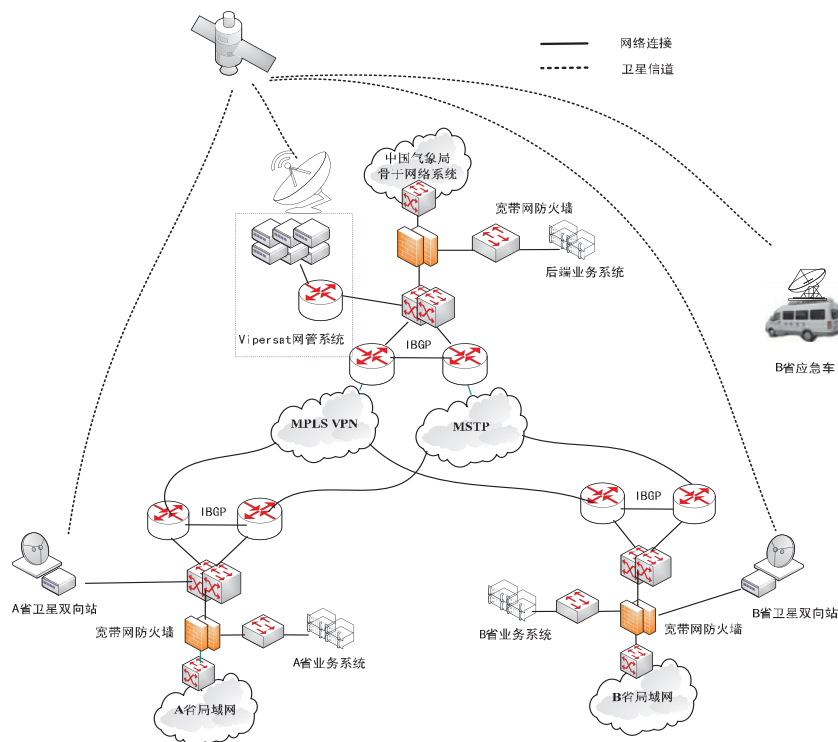


图 2 地面宽带网络天地互备系统组成结构

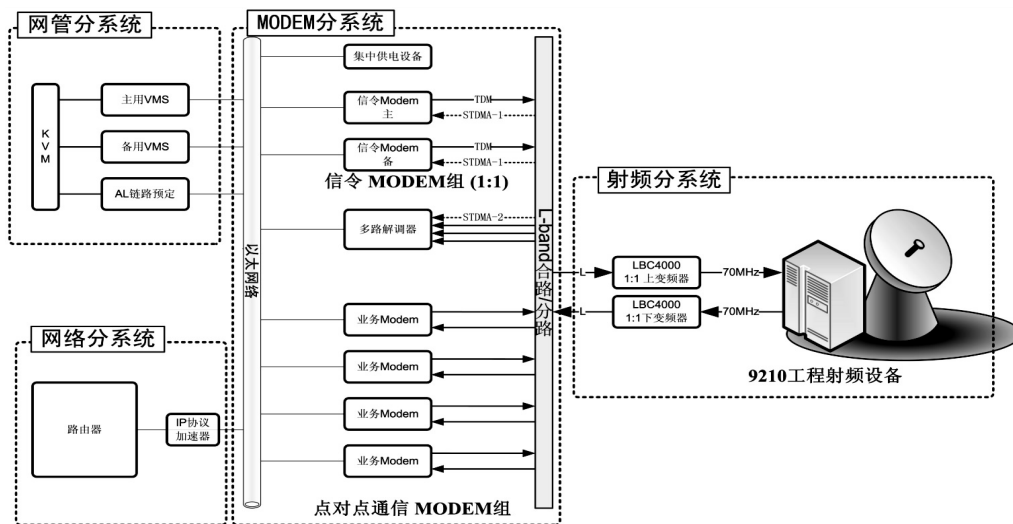


图 3 天地互备系统卫星主站组成

射频分系统复用原有 9210 工程卫星主站的天线、功放等射频设备,同时根据 9210 卫星主站所使用的 70 MHz 中频信号,采用上下变频器设备实现中频信号的频率变换。网络分系统则包括一台路由器和 IP 协议加速器,实现卫星链路数据的路由选择,并提高在卫星链路这种高延迟信道中的 TCP 传输效率。

省级小站则包括一套 2.4 米双向天线及功放、LNB 设备,也配备一台 Modem 与主站进行信令交互及点对点通信并连接到省局 CMANet 核心路由器。

小站组成结构如图 4 所示。

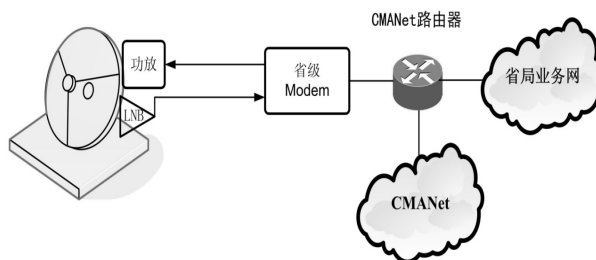


图 4 天地互备系统卫星小站组成

2.2.2 网络部分构成

网络部分包含多个路由器及统一的网络地址空间。如图 5 所示,全网包括国家级 CMANet 核心路由器(Router1)、卫星主站路由器(Router2)、各省级核心路由器(Router3)等多个路由设备。在配置静态路由的同时,Router1、Router2 和 Router3 之间通过 IBGP (Interior Border Gateway Protocol, 内部边界网关协议) 相互宣告和学习各自路由。同时,卫星主站和省级站 Modem 也具备路由能力,除静态路由,天地互备系统也可以对卫星主站 Modem 动态写入路由,并可通过 RIP (路由信息协议) 向全网宣告,以便实现全网链路

的自动选路。

卫星主站和省级双向站分别接入国家级和省级 CMANet,并分配 128 个 C 类地址空间用于卫星通信网,与 CMANet 地面网络构成一张大网。原有气象部门应急通信车也调整到此地址空间中。其中卫星通信主站使用一个 C 类地址空间,剩余 127 个 C 类地址空间用于省级卫星通信站网段,并按各省台站数量,每省分配 1~4 个 C 类地址空间。在省级地址空间中,每个省级预留 4 个 IP 地址用于卫星双向固定站,8 个地址用于省级卫星应急车,同时为地市级应急车也预留了足够数量 IP 地址。

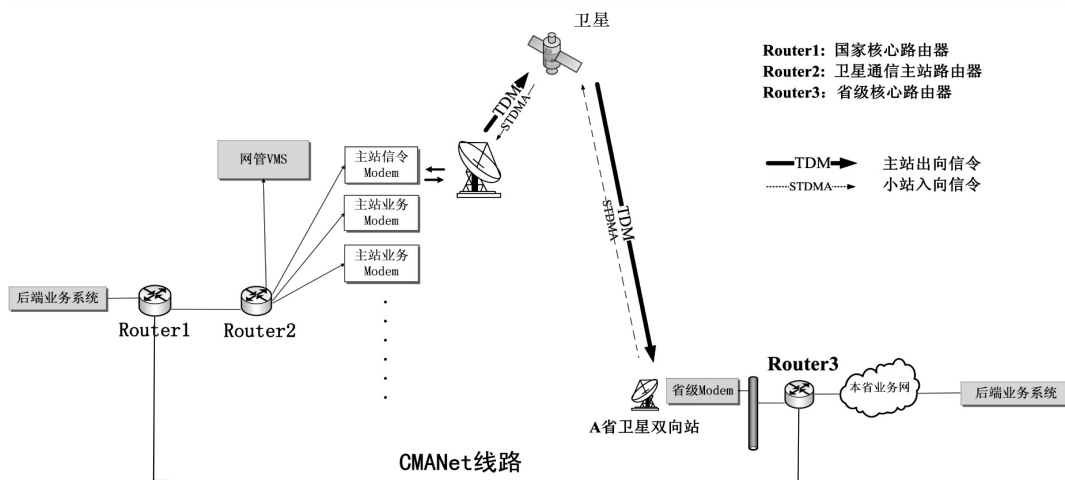


图 5 天地互备系统全网路由设计

2.3 关键技术

2.3.1 基于服务类型识别的卫星信道自动建立和释放

天地互备系统通过对 IP 数据包中的 TOS (Terms of Service, 服务类型) 标签进行识别,进而自动触发卫星信道链路。TOS 标签是 IP 数据包中一个 8 bit 的字段,国家级和省级核心路由器会对国省间特定业务系统发送的 IP 数据包中的 TOS 标签赋值。省级 Modem 具有检测转发给它的数据包中 TOS 标签的能力,并被设定为当出现特定 TOS 标签时就自动向主站发出卫星链路建链请求。

在国省卫星链路未建链时,国家级卫星主站与省级双向站之间会始终保持一条低速率的双向信令通道。主站出向信令采用 TDM (Time - Division Multiplexing, 时分复用) 方式,带宽为 256 kbps。其接收频点作为默认参数初始化到各省级站的 Modem 设备中,只要开机即可接收。同时,省级站设备也内置了主站入向信令通道频点,信道带宽 128 kbps,全网小站通过 STDMA 自组织时分多址方式依次向主站回传信令^[15-16]。因此,省级 Modem 的建链请求会通过这条双向信令通道发送到主站。

收到请求后,主站就会自动分配一台业务 Modem

用于与省级建立点对点卫星信道,并按服务类型分配信道带宽,计算通信频点。这些参数会通过信令通道下发给发起请求的省级 Modem。省级 Modem 收到参数后,自动调整通信参数以便建立点对点信道。信道建立后,该省级站与主站间的双向信令也迁移到新的信道中,而其余未触发卫星信道的省级 Modem 则继续维持原有信令通道。此时主站与省级站通信方式如图 6 所示。

当地面线路恢复后,带有 TOS 标签的数据包不再转发到省级 Modem。Modem 在超过一定时间未检测到带有 TOS 标签数据后,就将向主站发出链路拆除请求,并释放卫星链路。此后该小站与主站间的双向信令也将恢复至原有信令通道。

2.3.2 地面与卫星线路间的自动化倒换

天地互备系统通过对地面线路通断进行判断来动态调整全网路由表,从而实现地面与卫星线路间的自动倒换与回切^[17]。其中路由表的动态调整基于动态路由由协议来实现。以国家级核心路由器为例,在国省地面线路正常时,它与各省核心路由器建立 IBGP 邻居关系,并学习到到达省级的地面线路路由。当某个省地面线路异常时,IBGP 邻居关系消失,国家级核心路由器无法学习到到达该省的地面线路路由,此时全网路

由表就会动态发生变化^[18-21]。

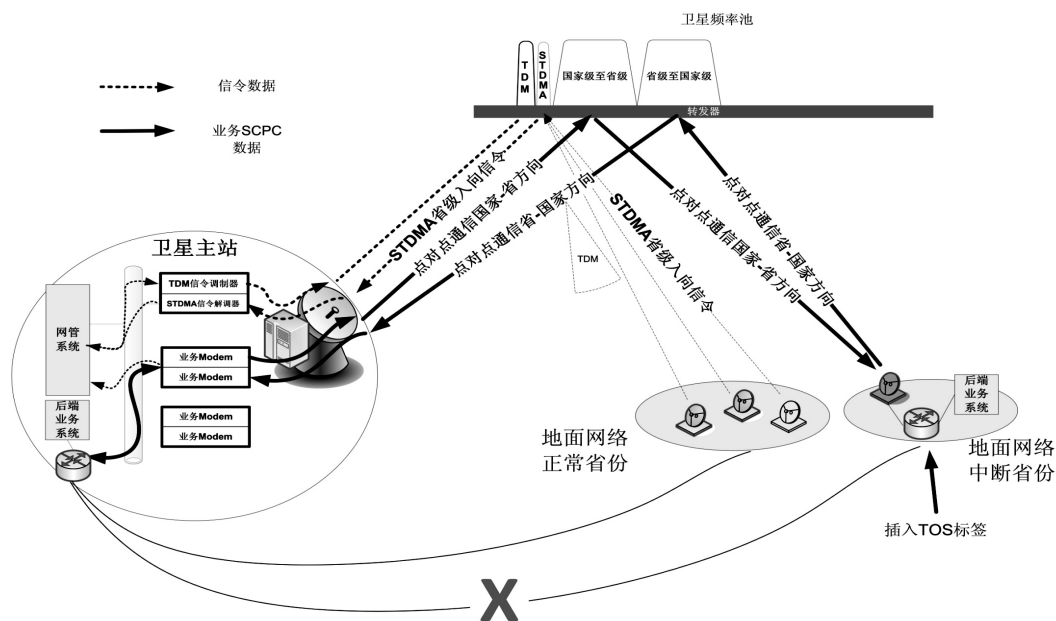


图6 卫星信道自动触发建立工作示意图

但为了实现卫星线路的自动倒换,在动态路由之外还需要在路由器上设置静态路由。路由寻址遵循的是掩码最长原则,即当路由器上存在去往某一个地址的多条路由时,路由器会优先选择掩码最长的那条路由。掩码越长,其描述的目的IP地址范围就越小,匹配就越精细。因此可以将卫星线路路由设置为掩码较短的静态路由,与掩码较长的动态路由配合实现卫星对地面线路的自动备份。各应用场景的具体切换过程将在后文进行更详细的论述。

3 不同应用场景下的线路切换过程分析

3.1 国省地面线路中断时地面与卫星线路切换过程

图7所示为A省至国家级的地面线路中断后国省间数据传输的线路切换过程。

• 阶段1:IBGP路由变化。

此时国家与A省核心路由器之间的IBGP邻居关系消失,Router1、Router2和Router3上的部分BGP动态路由失效(图7中用删除线标记)。

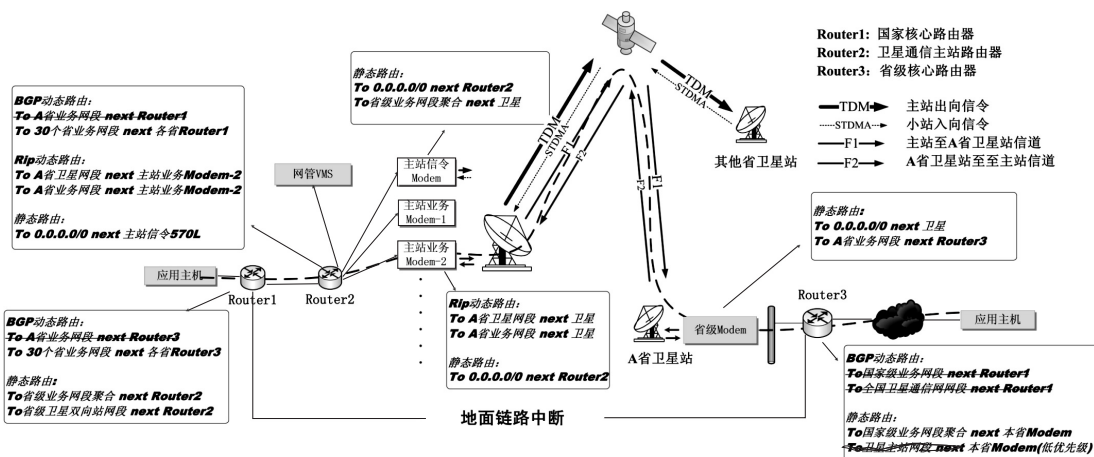


图7 地面线路中断时卫星线路切换示意图

• 阶段2:数据包发送。

当国家级业务系统主动向A省发送数据时,数据包首先到达Router1。其路由表已没有通过地面线路到达A省的路由,数据包将转发到Router2。根据Router2的静态路由,数据包会通过主站的信令Modem经信令通道到达A省,并被A省Router3转发给省级业务系统。

• 阶段3:触发卫星链路自动建立。

省级业务系统生成的应答数据包,在到达Router3后首先被插入特定的TOS标签。之后由于Router3缺少了通往国家级地面线路的IBGP路由,数据包将只能由本省Modem发往国家级。如2.3.1节所述内容,此时带有TOS标签的数据包将触发A省Modem与主站一台业务Modem(图7中为主站业务Modem-2)建

立双向卫星链路。

- 阶段 4:卫星链路路由自动添加。

A 省数据包经卫星链路到达主站业务 Modem 后,经过 Router2 和 Router1 的转发,最终到达国家级业务系统。同时,主站业务 Modem 会自动添加到达 A 省的精细路由,并通过 RIP 协议向 Router2 进行宣告(如图 7 中 Rip 动态路由所示),以保证此后国家级发往 A 省的数据包可沿以上线路原路返回。

至此国省之间基于卫星链路的双向通信就自动建立了,其路由如图 7 中虚线所示。上述过程为地面线路中断后国家级主动向 A 省发送数据,同理当 A 省有数据主动发给国家级时,卫星链路自动触发过程类似,只是跳过阶段 2 的内容。

3.2 国省地面线路正常时省级应急车通信过程

除用于地面线路的空中备份,在线路正常情况下,

该系统也能支撑省级应急车的通信。由于地面线路正常,此时 Router1、Router2 和 Router3 上的 IBGP 路由均有效。当 A 省应急车外出执行保障任务时,只需在车内应用主机上持续发出带有特定 TOS 值的 IP 包(例如使用 ping - v 命令),就可触发车内 Modem 与主站一台业务 Modem(图 8 中为主站业务 Modem-2)建立双向卫星链路。

应急车发出的数据包经卫星链路到达主站业务 Modem 后,根据路由最终会通过地面线路转发到本省核心路由器 Router3,并到达要访问的省级业务系统。同时,主站业务 Modem 会自动添加到达 A 省应急车的精细路由,并通过 RIP 协议向 Router2 进行宣告(如图 8Rip 动态路由所示),以保证此后 A 省业务系统发往 A 省应急车的数据包可沿以上线路原路返回。此时路由如下图中虚线所示。

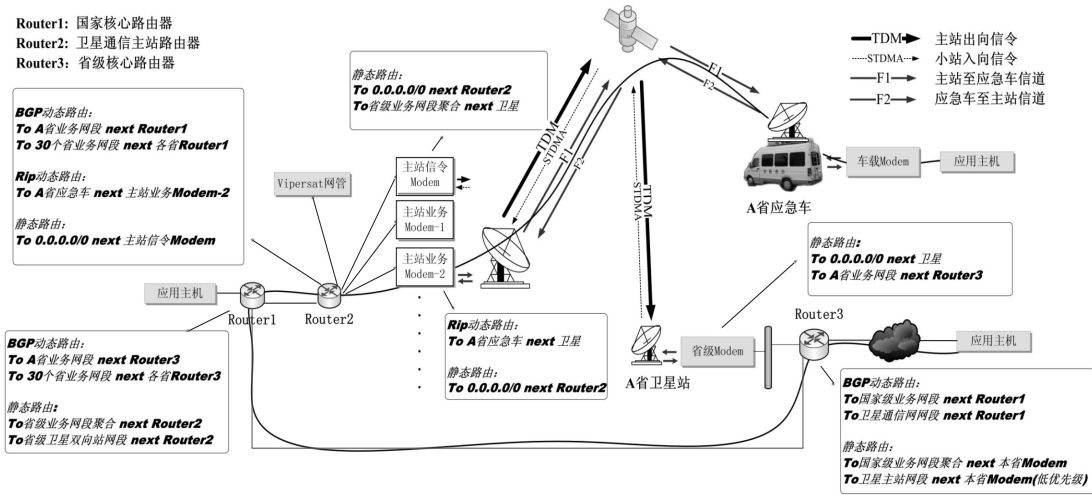


图 8 地面线路正常时省级应急车工作示意图

4 应用情况

中国气象局地面气象宽带网络自动化天地互备系统解决了国省地面线路自动备份的需要,也同时提升对各省应急车的统一管控能力,在气象部门的业务工作中发挥了重要作用。当国省气象宽带网两条线路因地震、道路塌方、施工等突发情况均发生中断时,过去省级气象部门往往只能手工尝试借助互联网线路进行数据传输。但该方案需要进行大量手工配置调整,切换时间长,在连通性及安全性方面也存在很大问题。天地互备系统则可以自动感知地面线路状态的异常,当有业务数据发送时立即自动触发卫星链路建立,在

切换的及时性和自动化程度方面有显著提高,且卫星链路无论在线路质量和安全性方面也都更有保障。

笔者作为全国气象部门通信及网络业务的维护人员,在实际工作中经历了多次省级地面线路故障的处理过程。经过在实际业务环境中的检验,当地面线路中断后,卫星链路可在 1 分钟内完成自动建立并保证双向数据通信。其不足之处在于,由于卫星链路自身特性,ICMP 响应延迟将由地面线路情况下的小于 1 ms 增加到约 550 ms。这会使国家突发事件预警信息发布系统国省间数据传输增加约 5 秒的延迟,但仍在业务可接受范围之内^[22]。表 1 为传统国省线路备份方式与采用天地互备系统的对比分析。

表 1 不同备份方式技术特点对比分析

| 主要指标 | 备份途径 | 安全性 | 触发方式 | 路由调整 | 切换时间 | 传输带宽 | 传输延迟 |
|--------|------|-----|------|------|--------|-------------|----------|
| 传统备份方式 | 互联网 | 低 | 人工监测 | 手工配置 | ≥15 分钟 | 视网络情况 | 视网络情况 |
| 天地互备方式 | 卫星专网 | 很高 | 自动监测 | 自动 | ≤1 分钟 | 固定最大 5 Mbps | 约 550 ms |

同时,各省应急车也可以利用该系统接入中国气象局卫星通信网。以前省级应急车使用之前,随车技术人员需要与卫星主站技术人员电话沟通,并手工分配和设置车内卫星 Modem 的工作频率,工作效率较低。在该系统建设完成后,车内人员只需在车内电脑执行“ping -t -v TOS 值 目标地址”命令,即可自动触发卫星线路建立,车内卫星 Modem 将自动获取点对点卫星信道的频率等参数,大大提升了工作效率,也避免了人为分配可能造成的参数错误问题。

利用天地互备系统对服务类型的识别能力,将其与信道带宽进行匹配,还可以做到针对不同业务系统的个性化链路备份。举例来说,国省间“国突”平台和气象通信系统对通信带宽的需求不同,在省级核心路由器上可对这两个业务的 IP 数据包设置不同的 TOS 标签值。当某一个业务发出的数据包触发卫星链路时,天地互备系统会根据为该服务类型设定的保障带宽分配卫星信道,如果同时有多个业务的数据包存在,卫星信道带宽会自动叠加。这样就可以做到按需分配卫星信道资源,业务空闲时资源自动释放,避免资源浪费。

5 结束语

鉴于气象部门国省网络的重要性,建立天地互备的线路多重保障机制是十分必要的。本系统的建立,解决了线路切换自动化的难点,显著提升了线路备份的及时性和有效性。同时,通过对全网路由方案的巧妙设计,使其适应多种不同的应用场景,对气象部门省级应急车的通信保障业务也进行了有力支撑。其所采用的系统架构及关键技术对相关行业也具有较好的借鉴和参考价值。

参考文献:

- [1] XIE N M, XIN J H, LIU S F. China's regional meteorological disaster loss analysis and evaluation based on grey cluster model[J]. *Natural Hazards*, 2014, 71(2): 1067-1089
- [2] 朗洪亮. 全国气象宽带网络系统体系结构研究[J]. *气象科技*, 2006, 34(z1): 1-4.
- [3] 燕东渭, 杨 艳, 王 垒, 等. 面向业务保障的省级气象广域网络优化升级[J]. *气象科技*, 2015, 43(2): 211-215.
- [4] 许 玮, 王迎迎, 秦运龙, 等. 省级气象广域网络优化的设计与应用[J]. *气象科技*, 2016, 44(3): 358-362.
- [5] 钟 磊, 张斌武, 何恒宏. 终端安全管理系统在气象网络中的研究与应用[J]. *计算机技术与发展*, 2020, 30(1): 206-210.
- [6] 陈宏尧, 张传样, 吴贤伟. 气象部门信息网络系统的骨干工程[J]. *应用气象学报*, 1995(S1): 123-128.
- [7] 马渝勇, 方国强, 刘一谦, 等. 从汶川大地震谈应急气象通信技术[J]. *气象*, 2009, 35(11): 123-130.
- [8] 王 令, 丁青兰, 卞素芬, 等. 奥运气象服务中的短时预报及预警[J]. *气象*, 2008, 34(S1): 263-268.
- [9] 矫梅燕. 建设国家突发事件预警信息发布系统提升应急管理服务能力[J]. *中国应急管理*, 2012(7): 11-13.
- [10] 裴顺强, 孙 健, 缪旭明, 等. 国家突发事件预警信息发布系统设计[J]. *中国应急管理*, 2012(8): 32-35.
- [11] MANOLACHE R. Backup management on a large network [C]//6th ROEDUNET international conference. Romania: Romanian Educ Network RoEduNet, 2007: 70-73.
- [12] 杨 洋. 电信网络灾难备份及恢复研究[J]. *电信科学*, 2007, 23(2): 44-47.
- [13] 祝龙双, 施永新. 卫星宽带在应急通信和灾害备份中的应用[J]. *卫星与网络*, 2008(7): 28-33.
- [14] 杜宇玲. 基于卫星的移动基站地面链路自动备份系统[J]. *邮电设计技术*, 2013(7): 42-47.
- [15] 李 杰, 宫二玲, 孙志强, 等. 航空自组网 STDMA 时隙分配算法的设计与实现[J]. *航空学报*, 2014, 35(12): 3371-3383.
- [16] QUINTAS D, FRIDERIKOS V. Energy efficient spatial TDMA scheduling in wireless networks[J]. *Computers & Operations Research*, 2012, 39(9): 2091-2099.
- [17] 张莉敏, 陈晓纯. 基于多路由配置的 IP 快速恢复流量均衡方法[J]. *计算机技术与发展*, 2019, 29(6): 90-94.
- [18] LAIW K, HSIAO S Y, LIN Y C. Adaptive backup routing for ad-hoc networks[J]. *Computer Communications*, 2007, 30(2): 453-464.
- [19] LIANG Yun, WANG Yao, HUANG Li, et al. Design and verification of a satellite-terrestrial integrated IP network model for the global energy interconnection[J]. *Global Energy Interconnection*, 2019, 2(6): 496-503.
- [20] 周 星, 刘 军, 董春冻, 等. 卫星网络安全路由目标研究[J]. *计算机技术与发展*, 2013, 23(7): 163-166.
- [21] 周 前. 一种新型的应急卫星通信 VPN 技术研究[J]. *计算机技术与发展*, 2018, 28(2): 163-166.
- [22] 孙 健, 白静玉. 国家突发事件预警信息发布系统的建设与应用[J]. *中国应急管理*, 2016(6): 77-79.