

基于通信网络的地质调查视频会议系统研究

高志新^{1,2}, 吴晓红², 尹兆峰², 郭磊², 王琳³

(1. 中国地质大学(武汉)国家地理信息系统工程技术研究中心, 湖北武汉 430074;
2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 3. 国土资源实物地质资料中心, 河北燕郊 065201)

摘 要: 在计算机技术高速发展的背景下, 视频会议系统已经成为促进信息共享、提高工作效率、提升管理水平的重要手段, 具有不可估量的社会效益和经济效益。本文结合地质调查行业实际情况, 分析比较了当前主流的视频会议软、硬件技术, 提出了构建于三种通信网络之上的地质调查视频会议系统技术架构, 针对在系统部署和使用过程中出现的关键技术问题提出了具体的解决方案。

关键词: 视频会议; 通信网络; 音视频矩阵

中图分类号: TN919 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4051(2016)S2-0340-07

Study on the geological survey video conference system overcommunication network

GAO Zhi-xin^{1,2}, WU Xiao-hong², YIN Zhao-feng², GUO Lei², WANG Lin³

(1. National Engineering Research Center for Geographic Information System, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China; 2. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China; 3. Geological Sample Center of Land and Resources, Yanjiao 065201, China)

Abstract: In the context of the rapid development of computer technology, video conference system has become an important means to facilitate information sharing, improve work efficiency and the management level, with inestimable social and economic benefits. Combining the actual situation of the geological survey industry, this paper analyzed and compared the current mainstream video conferencing hardware and software technology, put forward the technical architecture of the geological survey video conference system over three kinds of communication network. The specific solutions were proposed to solve key technical problems in the system deployment and use.

Key words: video conference system; communication network; audio and video matrix

随着计算机网络技术及多媒体信息处理技术的快速发展, 基于通信网络构建高清视频会议系统的技术日臻成熟, 逐渐渗透到各行各业。高清视频会议系统广泛应用于部队、公安、事业单位、大型企业、教育系统、医疗系统等领域, 极大地提高了工作效率, 节约了办公成本, 已经成为人类社会经济生活中不可缺少的一部分。

基于通信网络的地质调查视频会议系统充分利用现有的网络资源, 采用 H. 323/SIP 协议, 构建

于地质调查骨干专用网络之上, 实现突发事件应急处理、远程会议、教育培训、协同办公、生产调度、学术交流及信息共享等功能。该系统将局机关以及分散于全国各地的局属单位、地质调查项目承担单位整合在一起, 节约了时间、经费等成本, 增强了中央与地方、地方之间的沟通与协作, 能够更快、更好、更方便地完成中国地质调查局的统一部署, 提升了地质调查队伍的核心竞争力。

1 系统需求分析

1.1 现状分析

中国地质调查局作为地质调查、科学研究和信息服务机构, 拥有专业化地质调查队伍, 是国家地质基础信息资料等公益性产品的生产者和提供者, 是国家基础性、公益性地质调查和战略性矿产勘查工作的统一部署和组织实施者。

收稿日期: 2016-09-28

基金项目: 中国地质调查局数据传输与网络体系建设项目资助(编号: 总[2014]04-029-006)

作者简介: 高志新(1981—), 男, 高级工程师, 从事地质调查信息化研究。E-mail: gzhixin@mail.cgs.gov.cn。

目前,全局下辖 29 个直属单位,机构多、部门多、人员多、工作流程复杂。系统内部监督管理和沟通难度大,从而造成时间、物力和财力的浪费,而且反馈的信息得不到及时沟通,影响了办事效率。急需打造一个沟通高效顺畅的平台。

1.2 功能分析

地质调查视频会议系统应充分利用现有的网络资源,提高地质调查自动化管理水平。系统构建于地质调查骨干网络之上,融合了因特网和 PSTN 网络,能够根据实际需求,召开日常行政会议,实现地质调查项目的生产调度、应急指挥,能够举办工作研讨、学术交流等活动。

1.3 技术分析

1.3.1 计算机网络的技术要求

视频会议系统是基于网络的实时性要求比较高的音视频系统(表 1),计算机网络技术参数的高低直接影响了视频会议的正常运行。为了使地质调查视频会议系统具备良好的实际应用效果,要求传输网络从技术上满足端到端或者端到 MCU 的延迟 $< 30\text{ms}$ 、跳数 < 10 跳、丢包率 $< 5\%$ 。为此,需要预留足够的网络带宽。

表 1 视频网络带宽与视频会议音视频效果之间的对应关系

视频模式	带宽需求/(Mbps)
标清视频会议	≥ 4
720P@25 帧高清视频会议	≥ 6
720P@50 帧高清视频会议	≥ 8
1080P 高清视频会议	≥ 10
视频电话	≥ 3

可见,高清视频会议系统至少需要预留 6 Mbps 带宽。如果在召开会议的同时,还允许 n 条视频电话链路同时在线,那么整个高清视频会议系统至少需要 $6+n \times 3$ Mbps 带宽。

1.3.2 MCU 的技术要求

MCU 是视频会议系统中心控制设备的简称,其全称为 Multipoint Control Unit——多点控制单元,是多点视频会议系统的关键设备。MCU 负责来自各自终端的音频,视频,数据等信息和信令,进行同步分离、抽取,再送入同一种处理模块,完成相应的音视频混合切换、数据广播、路由选择、定时和会议控制等过程,最后将各终端所需的信息重新组合,送往相应的终端系统设备。在 MCU 技术要求方面,除了最基本的会场轮巡功能、会场预监功能、分屏显示功能、会议预约、会议群呼、主席控制等,

需要同时支持 H.323 和 SIP 协议,还需要 MCU 支持 T.120 协议,以实现电子白板、文件传输、应用共享等应用。考虑到地质灾害应急指挥等特殊情况,需要具备 $7 \times 24\text{h}$ 的电信级运营设备。

1.3.3 数据编解码算法

系统需要采用高压缩比的压缩算法,以有效降低数据量,使视频、音频数据在 IP 网上传输成为可能。在图像编码方面,标清图像编码采用 H.263 标准,支持 CIF、QCIF 的分辨率;高清图像编码采用 H.264 标准,可节约 50% 的编码率,对网络传输具有更好的支持,可获得 HDTV、DVD 的图像质量。在音频编码方面,大部分情况下采用 G.719 音频协议标准,可支持 22kHz 高保真原声传送,既保证了较好的语音质量,带宽需求又比较容易满足。

1.3.4 音视频设备及矩阵参数技术要求

对于大型复杂视频会议系统来说,单纯的视频会议终端摄像机镜头无法满足会议的需要。根据会场的大小,一般的摄像机机位要在三个以上,同时要有一套完善的视频切换设备。调音设备、传声系统要求比较严格,要考虑会场的灯光效果,会场的吸声、扩声效果,会场的各种参数要求尽量达到演播室的技术指标要求。系统的附属设备较多,应配合调音台、视频切换台、扩声系统一起使用,对摄像机的要求比较高,尽可能地选用广播级或专业级摄像机。考虑到复合视频具备良好的稳定性、兼容性和通用性,而且传输带宽小,传输距离长,采用复合视频矩阵进行音视频信号切换^[3]。

2 总体技术架构

地质调查视频会议系统主要构建在地质调查骨干专网之上,并且能够与因特网、PSTN 通信网络连通。我们主要采用了星形的网络结构,即以中国地质调查局计算机机房作为中心结点,连接局机关主会场和各局属单位分会场,实现会场之间音频、视频和数据的交互。

如图 1 所示,地质调查视频会议系统主要由视频会议控制中心、视频会议终端设备、视频会议优化管理设备以及通信网络四大部分组成。分别部署在局中心机房、局机关主会场、25 个局属单位分会场以及若干个通过其他方式接入的分会场。

图 1 地质调查视频会议系统部署图视频会议控制中心主要是多点控制单元(MCU),实现对各视频会议分会场的呼叫和连接、视频广播、视频选择、音频混合及数据广播等功能,完成各视频会议终端信号的汇接与切换。

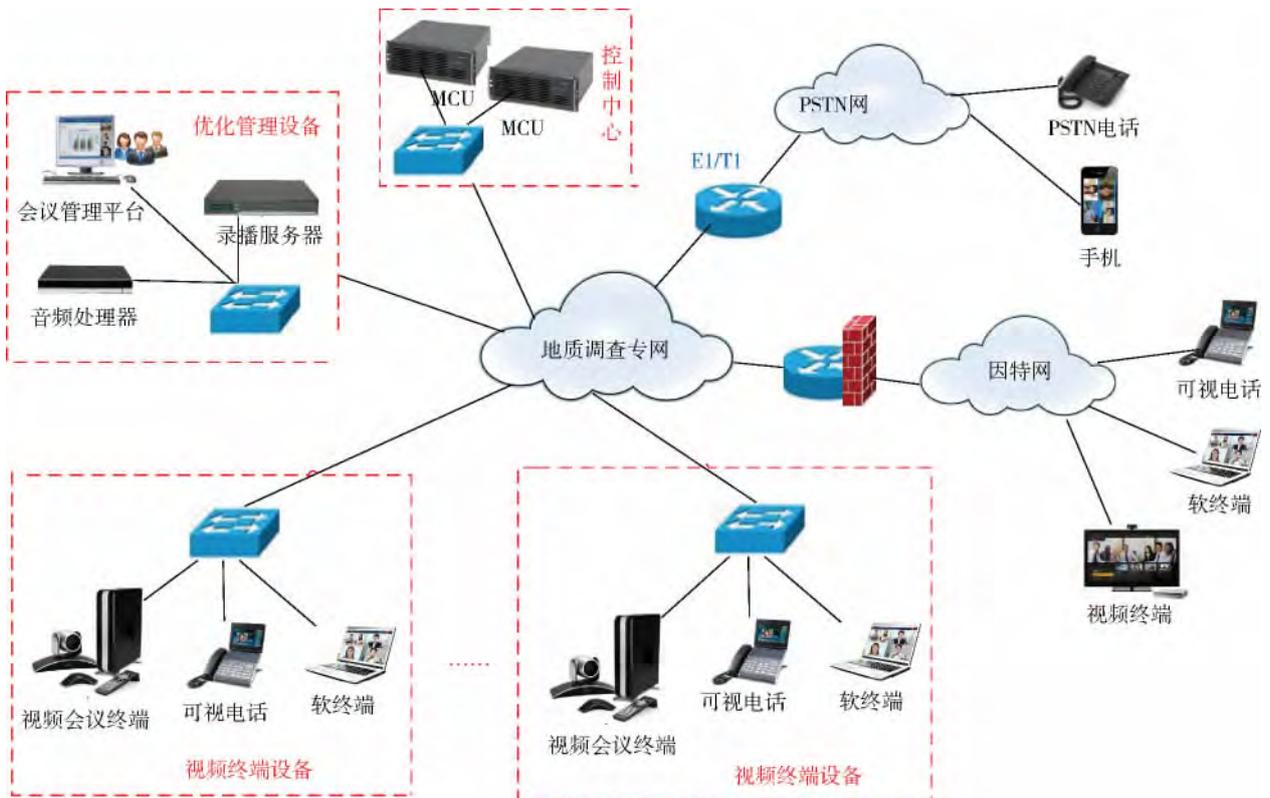


图 1 地质调查视频会议系统部署图

地质调查视频会议系统根据应用的场景不同,部署了三种不同类型的终端设备,分别是用于会议室的高清视频会议设备、用于个人桌面的专业可视电话和用于个人 PC 的视频会议软终端。这三类终端设备在音视频质量、稳定性和扩展性上有所不同,主要功能都是将本地的视频、音频、数据和控制信息进行编码打包并发送,并对收到的数据包解码还原为视频、音频、数据和控制信息。

视频会议优化管理设备主要有录播服务器、音频处理器和会议管理平台。录播服务器负责会议录像,各个会场的终端可以通过网络进行点播,可以实现组播,也可以提供下载,以便对会议视频进行二次加工;音频处理器可以对视频会议过程中产生的多声道回音和噪声进行消除;会议管理平台是一套用来规范化管理和自动化运行视频会议系统的专业管理软件,它通过 MCU 设备的 API (Application Programming Interface, 应用程序编程接口)进行自动化的会议管理,可实现会议预约、会议审批、资源查询、会议控制、会议调查、统计分析、帮助中心和数据字典等功能。

地质调查视频会议系统的通信网络包括地质调查专网、因特网和 PSTN 网络等三种网络,采用专业的协议转换设备,将三种网络融合在一起,实

现了地质调查视频会议相关数据在整个通信网络中的传输、接收与共享。

3 关键技术解决方案

3.1 多媒体设备的智能集中控制

一般情况下,大型视频会议系统中部署了大量的音频、视频、数据传输和信号切换等相关设备,每一次召开视频会议都要对这些设备进行重新选择、组合、切换和控制,实际操作的复杂度很高,容易出错且不易排查。为此,地质调查视频会议系统专门开发了一套智能中央控制系统,该系统实现对地质调查视频会议系统中的所有声、光、电等设备的集中控制。

我们以 AMX 中控系统为平台,根据地质调查工作特点以及地质调查视频会议系统实际情况,采用模块化设计与开发,将投影显示系统,音频扩声系统,视频播放系统,信号切换系统,会议系统,摄像系统,灯光系统等进行整合,实现了对视频会议系统相关设备的全面、自动化、智能化的控制。为了便于操作,我们还选用了可编程触摸屏,通过无线局域网实现对智能中央控制系统的远程调用。

智能中央控制系统的系统结构设计如图 2 所示,主要包括系统电源控制、摄像机控制、显示设备控制、音频控制、视频终端控制、拼接屏控制、灯光系

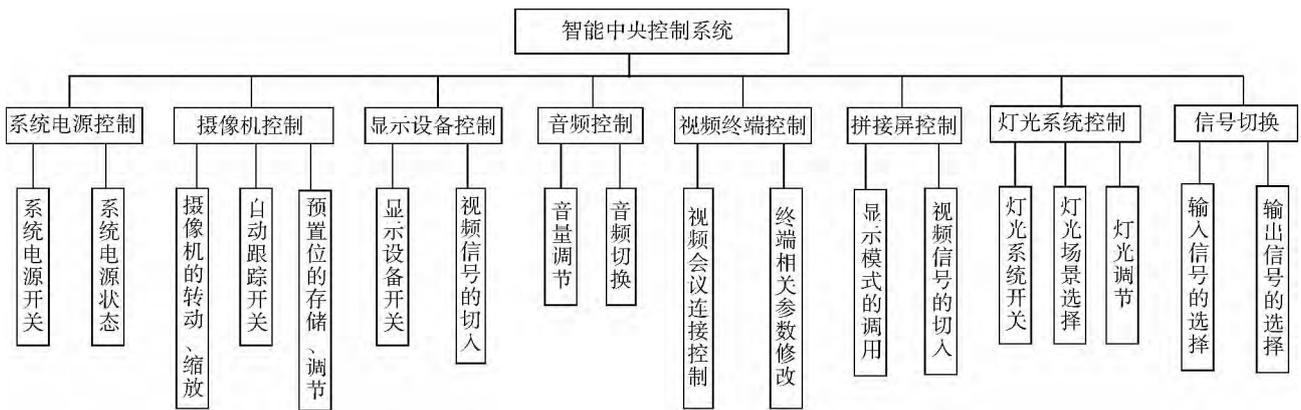


图 2 智能中央控制系统的系统结构设计图

统控制和信号切换等八个模块，各个模块分工协作，共同完成视频会议现场的声、光、电设备以及视频会议终端设备的控制与调节。

1) 电源控制模块管理视频会议会场的总电源，包括打开和关闭系统电源、查询当前系统电源状态等。

2) 摄像机控制模块主要实现对视频会议现场摄像机配置和实时操控，包括转动和缩放摄像机镜头、打开和关闭自动跟踪以及预先调节和存储自动跟踪位置等。

3) 显示设备控制可以对视频会议现场的等离子显示屏、投影机、桌面显示器等显示设备进行管理，包括打开和关闭显示设备、将切入并显示相应的视频信号等。

4) 音频控制模块实现对视频会议声音的全方位控制与切换，例如话筒声音、服务器声音、桌插声音、视频会议终端声音、电视机顶盒声音和音箱声音等。

5) 视频终端控制模块负责控制视频会议终端设备的连接、断开以及修改视频会议终端网络、视频、音频的相关参数。

6) 拼接屏控制模块主要负责拼接显示模式的调用和视频信号的切入显示。

7) 灯光系统控制将视频会议现场的各种灯光控制集成到一起，可实现灯光亮度、位置的调节以及灯光场景的选择。

8) 信号切换控制模块是智能中央控制系统的关键模块，它不仅可以实现不同视频会场之间视频信号的切换，也可以实现不同类型视频信号之间的切换。

以上八个控制模块是在 NetLinx 程序环境下，采用面向对象的模块化编程方式实现。在本系统中，对象是指所有需要控制的设备，包括系统电源、摄像机、等离子、投影机、显示器、话筒、音箱、视频终端、灯光系统、视频矩阵、音频矩阵等。我们为每一个设备对象都定义了属性 (Properties) 和方法 (Methods)。其中，属性用来描述某一特定的设备，我们通过设定变量、常量和结构来实现；方法是指设备需要执行的动作，我们通过编写相应的子程序源代码来实现。

在实际应用中，当某一设备的特定事件 (例如 ON(开)、OFF(关)、Push(按压)、Release(释放)、Hold(按住)、Pulse(发送脉冲)、Send_String(发送字符串)等) 被激活时，会触发对应的事件处理器，其定义的动作将被评估和执行。

3.2 通信协议 H. 323 与 SIP 的比较、选择与互通

目前国际上 IP 网络通信的主要标准有 H. 323^[1] 和 SIP^[2]，两者都对基于通信网络的视频通信系统提出了完整的解决方案，初衷都是作为多媒体通信的应用层控制 (信令) 协议，都利用 RTP (Real-Time Protocol) 作为媒体传输协议。但两者的设计风格及实现原理截然不同，基本情况如表 2 所示。

表 2 H. 323 与 sip 通信协议比较

通信协议	标准化机构	体系结构	消息编码格式	连接建立需要消息数 / 个	可靠性	可扩展性
H. 323	ITU-T	集中式	纯文本	2~8	较高	一般
SIP	IETF	分布式	ASN.1	2~4	一般	较好

由此可见, H. 323 协议与传统电信网络互通性较好, 更容易与传统电信网相连, 对呼叫进行集中、层次控制, 应用广泛, 技术较为成熟, 具有完备的呼叫和资源管理能力, 具有较强的流媒体协商和兼容能力; 而 SIP 与 IP 网络结合得更好, 继承了 Internet 的一贯风格, 信令简单, 设计灵活, 具有更好的功能扩展性和网络扩展性。

考虑到多媒体通信对两种协议优点的依赖, 且两种协议各自的优劣势, 地质调查视频会议系统兼容了 H. 323 和 SIP 两种协议, 实现了两种协议的互通。

H. 323 和 SIP 的互通关键就是两类信令的转换以及媒体流的协商。针对地质调查视频会议的特点, 我们采用了如图 3 所示的结构。信令网关负责视频会议控制过程中的 SIP 协议与 H. 323 协议的信令转换, 以及呼叫建立过程中媒体流相关参数的协商一致。呼叫建立之后, 视频会议召开过程中的媒体数据流不需经过信令网关, 直接通过视频网络进行传输。

信令网关包括 H. 323 协议栈、SIP 协议栈和控制与转换单元。H. 323 协议栈负责呼叫信令及控制消息与 H. 323 网络之间的收发; SIP 协议栈负责 SIP 消息与 SIP 网络之间的收发; 控制与转换单元现 H. 323 的各控制信令和 SIP 消息的翻译与映射, 主要包括地址转换与映射、消息转换与映射、媒体能力协商等三个模块。

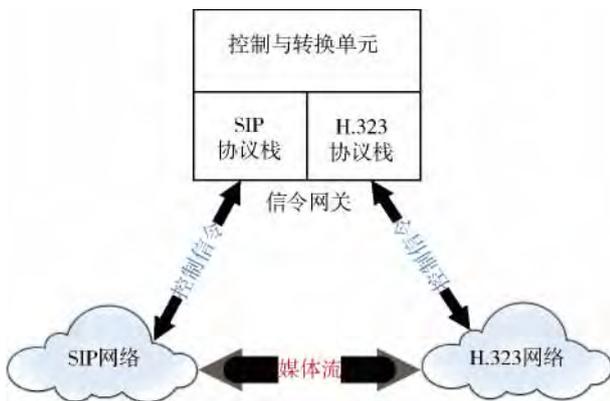


图 3 H. 323 与 SIP 互通

3.2.1 地址转换与映射

H. 323 和 SIP 所支持的地址格式是不同的, 在两个网络之间交互必须首先对地址进行转换, 这就要求信令网关不但能够自动识别消息中的地址类型, 而且还要根据地址映射的规则将其变换为对端的地址类型。例如, 将 SIPURL 中的电话号码格式映射为 H. 323 的 E. 164 格式; 将 H. 323 中的 IP 地

址或者传输端口标识映射为 SIPURL 中的主机 (Host) 字段等。

3.2.2 消息转换与映射

消息转换与映射主要包括消息格式的转换和消息内容的映射两个方面。首先, H. 323 协议采用 ASN. 1 编码方式, 而 SIP 消息是基于文本的 UTF-8 编码方式, 二者消息格式的转换主要是 ASN. 1 编码和 UTF-8 编码间的转换。其次, H. 323 与 SIP 之间的消息映射是基于通信流程规则对不同协议的消息内容进行一对一的转换, 例如将 SIP 的“INVITE”邀请消息映射为 H. 323 的呼叫建立或接入请求消息; 将 H. 323 的建立连接消息映射为 SIP 的“200OK”成功响应消息。同时, 消息映射有时也存在一到多映射的情况, 例如释放呼叫的消息转换, 即是把 SIP 的“BYE”消息映射为 H. 323 的多个消息 (包括 H. 245 会话结束、H. 225 释放结束、RAS 呼叫退出请求等)。

3.2.3 媒体能力协商

不同类型网络的双方连接建立前需要相互协商对方的媒体能力, 才能打开 RTP 通道发送双方均支持的编解码媒体数据流。H. 323 和 SIP 分别采用 H. 245 和 SDP 进行媒体能力协商。媒体能力协商的主要内容包括音视频的编解码方式、IP 地址和端口号、回声抑制的使用等。所以, 信令网关在进行呼叫信令转换的同时, 还需具备 H. 323 和 SIP 的媒体协商能力。当信令网关接收到 SIP 发出的呼叫请求时, 从其 SDP 字段获得媒体能力的相关数据, 并转换为对应的 H. 245 格式的媒体能力数据; 同样它也能将 H. 245 格式数据转换为对应的 SDP 能力交换信息。

在实际使用过程中, 我们根据当前会议的实际需求情况选取。例如, 日常行政会议可选用可靠性高的 H. 323 协议; 工作研讨或学术交流可选用更为灵活的 SIP 协议; 特殊情况下, 允许分会场自行选择 H. 323 或 SIP 协议, 由控制中心进行协议转换。

3.3 三网互联互通

地质调查视频会议系统涵盖了地质调查专网、PSTN 网络和因特网等三种网络, 如何实现这三种网络之间音频、视频和其他数据的传输、接收和共享是地质调查视频会议系统运行的基础。

如图 1 所示, 地质调查视频会议系统的主控设备主要部署在地质调查专网上, 实现三网之间数据共享交换就是解决实现地质调查专网和因特网之间以及地质调查专网和 PSTN 网络之间的互联互通问题。

地质调查专网和因特网都是基于 TCP/IP 协议的计算机网络，二者的差别主要是在网络层，即因特网协议 (IP, Internet Protocol) 层^[4]。我们采用“路由器+防火墙”的方式实现两种网络的连通。首先，利用路由器的路由功能，实现了地质调查专网和因特网的互通。其次，考虑到因特网的网络安全问题，我们利用防火墙的隔离技术，配置相应的访问控制策略，确保只有符合安全策略的数据流才能通过防火墙，这样可以有效地阻止了来自因特网的攻击，保证了地质调查专网的安全。

PSTN 网络是一种用于全球语音通信的电路交换网络，完全不同于地质调查专网的传输技术^[5]。

根据实际情况，针对 PSTN 网络和地质调查专网的互通问题，我们提出了两种解决方案。一种方案是通过信令网关和中继网关直接实现两种网络的互通，信令网关完成 PSTN 网络与地质调查专网之间的 SS7 信令转换功能，中继网关完成语音等媒体流数据转换功能。另一种方案是通过音频矩阵和电话耦合器间接实现两种网络的互通，如图 4 所示，电话耦合器实现 PSTN 网络的模拟音频数据与地质调查专网的数字音频数据相互转换，音频矩阵负责将数字音频数据切换分配给指定的视频会议终端，再由视频终端将数字音频数据发送到地质调查专网中。



图 4 PSTN 网络与地调专网互通

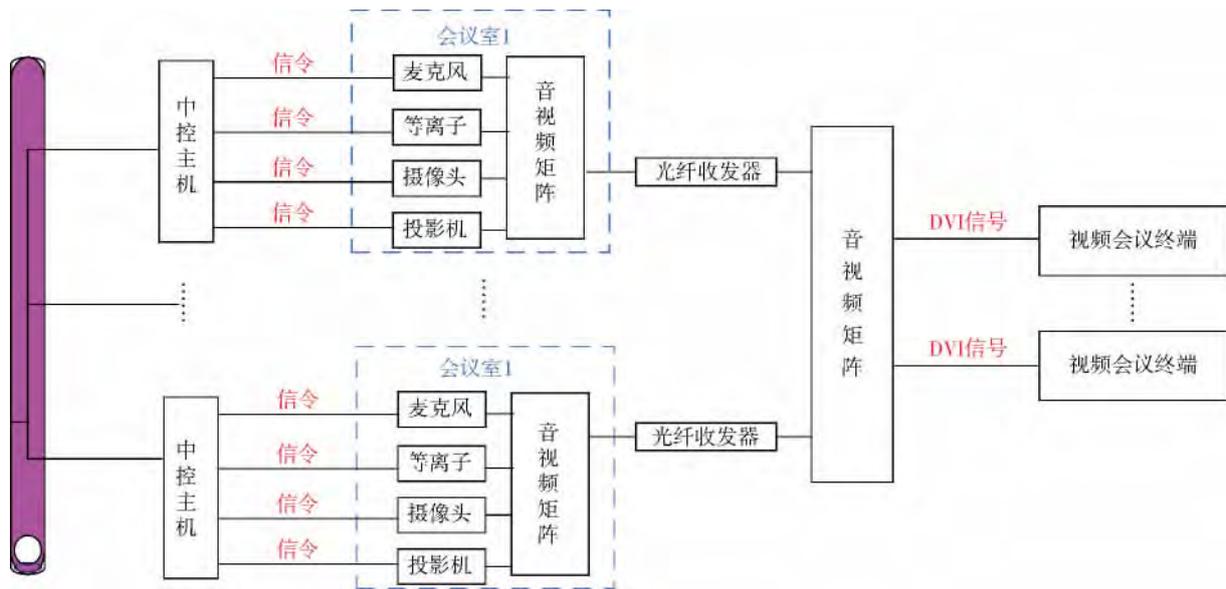


图 5 音视频控制系统结构图

3.2 防火墙误断视频链路

在地质调查视频会议系统的使用过程中，部分分会场出现视频会议连接超过 2 小时被自动断开的现象。经过情景模拟和抓包分析，我们发现问题主要出在防火墙上。这些分会场出于安全考虑都将视频会议终端设备部署在本地防火墙里面，即视频会议音视频数据和控制数

据的发送、接收都要经过本地防火墙，视频会议终端之所以被断开，是由于防火墙对链路状态的误判。

在视频会议链路建立后，防火墙会自动检查视频会议终端的网络连接状态，如果它错误地判断该连接已经没有数据通讯或者对方已经不在线了，就自动断开视频会议终端的链路。为此，我们的解决

办法是在基于策略的防火墙上专门针对视频会议设备的网段新建了两个策略和关闭了两项检查。首先,我们将 MCU 至某终端或网段方向以及某终端或网段至 MCU 方向,分别建立 TCP 长连接策略,该策略是双向的,而且要具备最高优先级,即配置在防火墙所有策略(包括“ipanyany”策略)的顶部。其次,关闭防火墙对该网段的 TCP 数据包中 Sequencenumber 的检查和 tcp-syn-check 参数的检查。

4.3 视频会议主会场的智能切换

在局机关办公大楼内,分布着 6 间视频会议室,部署了 4 台视频会议终端,无法实现一对一的绑定。为此,地质调查视频会议系统专门设计了一套适合本单位的音视频控制系统,不仅实现了视频会议主会场的机动选择,还实现了视频会议终端设备的冗余。

如图 5 所示,在每次视频会议召开之前,根据本次会议的规格、形式和用途,选出一间最符合当前需求的视频会议室,通过中控主机发送信令,切换该会议室音视频矩阵和位于中心机房的核心理音视频矩阵的数据信号,在视频会议室和视频会议终端之间建立一条专门的音视频数据传输和共享通道,

(上接第 333 页)

湖滨的沙丘上,在世界范围内的分布是十分广泛的。对比大洋洲地区、亚洲地区、非洲地区、美洲地区以及海滨、湖滨鸣沙和中国其他著名响沙区,敦煌鸣沙山具有颜色奇、声响大等特征。

鸣沙山的科学意义在于“沙山千年不移,清泉万年不涸,沙山清泉相依”。鸣沙山沙粒呈现五色,组成成分复杂,这对于分析其物质组成和物质来源具有重要意义。鸣沙山经风吹蚀后,复又还原如初,游人攀登过的痕迹荡然无存,体现了沙山的变化之奇。月牙泉处于鸣沙山的环抱之中,在极端干旱气候条件下,月牙泉不干涸,不消失,实为世界之神奇。

4 结论

敦煌因灿烂悠久的历史而名垂千古,因博大精深的文化而闻名于世。特殊的地质背景和极端干旱的气候条件形成的地貌景观,与特殊的地理位置和古丝绸之路形成的文化遗址在这里浑然成为一体。类型多样的雅丹体构成的魔鬼城,规模庞大的鸣沙山及被其包围而不干涸的月牙泉等等,这些地质遗迹组合在一起成为研究第四纪气候变化特征和极端干旱区地貌组合类型的天然教科书,这成为进行相关地质科

使其成为本次视频会议的主会场。

4 结语

本文根据地质调查工作实际需求,综合运用智能控制技术、计算机网络技术和多媒体技术,提出了地质调查视频会议系统的解决方案。基于通信网络的地质调查视频会议系统为地质调查行业打造了一个沟通高效顺畅的平台,实现了各地间,各局属单位间,各地质调查机构间的实时交流及信息共享,大幅提升了地质调查协同办公的效率,有助于地调工作部署迅速实时传达。

参考文献

[1] TELECOMMUNICATIONSTANDARDIZATION SECTOR/ITU. H. 323; Packet-based multimedia communications systems[EB]. ITU,2006.

[2] J.Rosenberg, H.Schulzrinne, G.Camarillo, et al. RFC3261; SIP: SessionInitiationProtocol[EB]. IETF, June 2002.

[3] 王刚,孙水发. 智能大厦主控机音视频矩阵设计[J]. 现代建筑电气,2010(12):5-7.

[4] 谢希仁. 计算机网络[M]. 北京:电子工业出版社,2008.

[5] 叶敏. 程控数字交换与现代通信网[M]. 北京:北京邮电大学出版社,1998.

学知识普及和深入科学研究的绝佳基地。

参考文献

[1] Cooke R U, Warren A, Andrew S G. Desert Geomorphology [M]. UCL Press, 1993.

[2] 林中凯,蔡利飘,罗婷婷,等. 敦煌盆地地层发育特征分析[J]. 内江科技,2012(3):149-149.

[3] 任收表,孟婧瑶,林源贤,等. 敦煌盆地早更新世沉积物粒度分析、³⁶Cl 定年及其构造隆升意义[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2011,41(5):1380-1388.

[4] Dong Z B, Wei Z H. “Raked” linear dunes in the Kumtagh Desert China[J]. Geomorphology, 2010,123(1-2):122-128.

[5] 中国地质大学地质公园(地质遗迹)调查评价研究中心. 拟建中国甘肃敦煌雅丹世界地质公园综合考察报告[R]. 2014.

[6] 董颖,曹晓娟. 中国地质遗迹资源保护研究[C]// 地质环境管理发展战略高层研讨会. 2010.

[7] 董季. 罗布泊雅丹地貌沉积物特征及成因分析[D]. 乌鲁木齐:新疆师范大学,2013.

[8] 范娟娟. 麦积山和鸣沙山-月牙泉风景名胜区旅游资源及客源比较研究[D]. 兰州:兰州大学,2005.

[9] 杨善龙,王旭东,郭青林,等. 敦煌莫高窟崖体中水分分布初步分析[J]. 水文地质工程地质,2009,36(5):94-97.