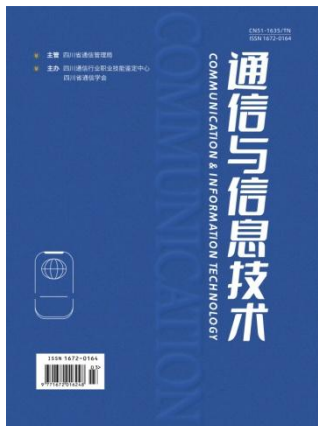




通信与信息技术

Communication & Information Technology

国内统一连续出版物号：CN 51-1635/TN

国际标准出版物号：ISSN 1672-0164

邮发代号：62-166

题目：实时视频安全传输卫星通信系统设计

作者：王毅，高誉阁

优先出版日期：2024年8月29日

万方网站：<https://w.wanfangdata.com.cn/>

优先出版：优先出版是指编辑部录用并定稿的文章，通过具备网络出版资质的数字出版平台，先于印刷版杂志出版日期出版，文章内容、排版已定稿，视作正式出版。为确保录用定稿优先出版文章的严肃性，文章一经发布，不得修改题目、作者、作者排序、工作单位，只可基于编辑规范进行少量文字修改。

《通信与信息技术》为双月刊，逢单月底出刊，是国内外公开出版的自然科学学术期刊，设置了运营一线、热点技术、行业观察、解决方案、专网通信等栏目。

办刊宗旨：面向行业，沟通社会；宣传政策，促进发展；为通信发展服务，为通信企业服务，为通信科技人员和职工服务，为广大通信消费者服务，集信息性、行业性、技术性为一体的综合类通信刊物。

实时视频安全传输卫星通信系统设计

王毅，高誉阁

中国空间技术研究院航天恒星科技有限公司，北京 100086

摘要：卫星通信解决了没有地面网络覆盖的通信问题，如沙漠、大海、森林中的通信。随着通信业务的发展，用于军方、政府及保密单位的通信越来越普遍。在特殊时期具有简单、快速部署、高安全通信特点的卫星通信系统得到大量应用，对数据传输的安全性、实时性和可靠性提出了更高要求。设计的实时视频安全传输系统是在卫星通信系统基础上植入加解密、编解码等技术实现安全视频实时传输要求，提升了偏远及极端环境地区数据传输的可靠性和便利性。方案从系统组成、工作机制、系统规格及实物部署方面进行设计，对通信卫星系统数据安全、加密通信的研制和发展有较强指导意义。

关键词：卫星通信；单路单载波；实时传输；数据安全；加解密

中图分类号：TN927.2

文献标识码：A

1 引言

各个国家对卫星技术的发展给予高度关注，不断增加相关投入，强化开展有关的研究和创新工作^[1,2]。卫星通信的应用范围非常广泛，与其自身的优势密不可分。卫星通信的覆盖面积大、通信距离远，不受地理环境的影响。卫星通信组网方式灵活，具有多址连接能力，支持复杂的网络构成，可以实现点对点、一点对多点、多点对一点和多点对多点等通信方式^[3,4]。地面站可建在偏远地区、海岛、大山、沙漠、丛林等地形地貌复杂的区域，也可以装载于汽车、飞机和舰艇上，既可以在静止时通信，也可以在移动中通信。

随着卫星通信的普及及长期应用，用户对通信卫星的数据安全越来越关注，尤其在特殊时期（如疫情等）中断了人们面对面的交流，但是业务不能停、项目不能断的情况下，简单的卫星通信系统得到军方、政府等用户单位的青睐，需求也越发旺盛^[5]。

调研国内外情况，在视频实时传输系统中虽采用的通信方式和监控模式均有不同，但未涉及利用通信卫星、地球站（主站、小站）、多视频流加密设备、认证设备等协同提供安全视频实时传输的工作模式研究^[6]。

文中提出的实时视频安全传输卫星通信系统既能解决远距离临时通信，又能保障通信保密和安全。该系统在传统

卫星通信链路上引入加解密、编解码技术实现安全视频实时传输服务，同时提升了偏远及极端环境地区数据传输的可靠性和便利性。该系统具有较强的创新性和适用性。

2 概述

为满足安全视频实时传输需求，基于自主可控的通信卫星转发器资源引入卫星通信，采用点到点单路单载波（SCPC, Single Channel Per Carrier）卫星通信系统，提供一套基于卫星通信地面应用系统的SCPC实时视频编码加密解决方案^[7]。方案包括3.7m固定站分系统，1.8m船载站分系统以及编解码加密分系统。系统在实时视频采集点与实时视频播出点间建立点对点专用卫星通信链路以及编解码、加解密设备实现多路实时视频安全传输。通过空间传输专用频点以及数据加密设计，不仅能做到基带设备物理隔离，保证传输数据内容的安全，同时也利用加密算法和密钥保证数据不会被泄露和破解。

该系统克服了实时视频数据传输安全性低，偏远地区实时数据传输不确定性等困难，解决了远距离点到点安全通信链路及视频实时传输的通信问题。本系统不受地理条件限制，切实提升了偏远地区、国际地区实时视频传输的可靠性和便利性，利用卫星链路传输避免了实时视频由互联网传输的不确定性问题，同时还极大地提升了数据传输的安全性。

3 系统设计

3.1 系统需求

搭建一套点到点安全卫星通信链路,提供视频实时传输服务。在实时视频采集点建设1套3.7m固定站系统,实时视频播放点建设1套1.8m车载站系统。从采集点传输4路视频(每路2Mbps)数据至播放点,并且所有传输信息做加密处理,且需要满足偏远、极端地区安装环境,如高温、极寒和风沙^[8]。

3.2 设计分析

(1) 卫星通信链路预算

通过卫星通信链路软件Satmaster仿真,在链路可用度99.99%条件下,实时视频播放点侧雨衰小于0.1dB,实时视频播放点侧小于0.5dB,可忽略不计^[9]。

前向链路(采集点→播放点)晴天传输速率在8.7Mbps以上,可以发送4路视频(每路2Mbps)。返回链路(播放点→采集点)晴天传输速率1.2Mbps,可以发送加密信令数据,后续可根据用户具体需求传输通话、数据等信息,链路数据速率计算表见表1。

表1 链路数据速率计算表

序号	链路	链路性能			
		晴天			
		比特率 (Mbps)	带宽 (MHz)	链路余量 (dB)	调制编码 方式
1	采集点→播放点	8.7	5.625	1.36	8PSK 2/3
2	播放点→采集点	1.2	0.625	2.96	8PSK 5/6

(2) 卫星带宽占用分析

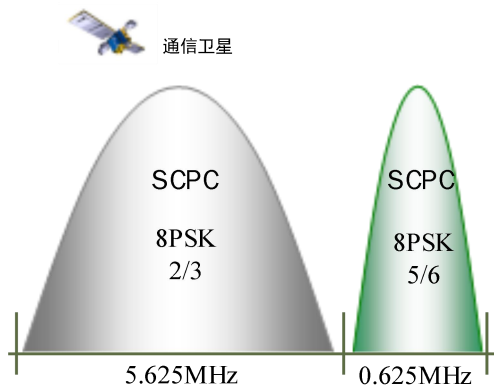


图1 卫星转发器带宽占用

如图1所示,前向链路1个SCPC载波,数据速率可达8.7Mbps,采用8PSK调制,2/3 LDPC (Low Density Parity Check, 低密度奇偶校验码)编码,滚降系数0.2,占有带宽5.625MHz;返回链路1个SCPC载波,数据速率可达1.2Mbps,采用8PSK调制,5/6 Turbo编码,滚降系数0.2,占有带宽0.625MHz;总计共需要卫星带宽约6.3MHz。

(3) 设备配置分析

通过链路计算,在实时视频采集点配置3.7m天线和100W BUC (Block Up-Converter)可满足项目速率需求,实时视频播放点配置1.8m天线+40W BUC可满足项目速率需求,考虑了后期系统扩容需求。

(4) 电平估算分析

由于系统要求视频的传输方向是从实时视频采集点至实时视频播放点,因此链路电平计算只需要计算3.7m固定站侧的上行链路和1.8m车载站的下行链路。

① 上行链路估算,上行链路电平估算表如表2所示。

表2 上行链路电平估算表

序号	参数	单位	数值	备注
1	100W BUC 输出电平	dBm	30	
2	100W BUC 增益	dB	60	75 dB max
3	100W BUC 输入电平	dBm	-30	
4	L 频段线缆损耗(100m)	dB	-25	-0.25dB/m
5	线性放大器输出电平	dBm	0	
6	线性放大器增益	dB	20	30dB max
7	线性放大器输入电平	dBm	-25	
8	L 频段线缆损耗(2m)	dB	-0.5	-0.3dB/m
9	调制解调器输出电平	dBm	-24.5	-40dBm~10dBm

② 下行链路估算,下行链路电平估算表如表3所示。

表3 下行链路电平估算表

序号	参数	单位	数值	备注
1	卫星 EIRP	dBm	69.9	39.9dBW
2	空间传输损耗	dB	-206.07	
3	大气吸收+雨衰	dB	-0.514	
4	天线增益	dB	34	
5	波导损耗	dB	-0.5	
6	LNB 输入电平	dBm	-103.184	
7	LNB 增益	dB	60	
8	LNB 输出电平	dBm	-43.184	
9	L 频段线缆损耗(100m)	dB	-25	-0.25dB/m
10	线性放大器输入电平	dBm	-68.184	
11	线性放大器增益	dB	25	30dB max
12	线性放大器输出电平	dBm	-43.184	
13	L 频段线缆损耗(2m)	dB	-0.5	-0.25dB/m
14	调制解调器输出电平输入电平	dBm	-43.684	-60dBm~5dBm

3.3 系统优势技术和先进性

(1) 专有基带设计

该系统基于卫星通信,采用SCPC点对点通信链路实现多路视频数据传输。系统在实时视频采集点和实时视频播出点分别部署1台专用SCPC调制解调器,该基带设备专门为用户实现实时视频采集点和实时视频播出点之间实时视频数据的传输,不与空间段中其他项目信号传输共用。该措施可以很好地做到基带设备物理隔离,保证传输数据内容的安全。

(2) 专用频点设计

系统安全传输实时加密视频数据采用卫星专用频点,频点使用期间,不与其他空间段中信号共同使用^[10]。

(3) 数据加密设计

系统在实时视频采集点配备加密机、CA/RA证书管理设

备,在实时视频播出点配备微型密码机。数据安全传输原理如图2,在数据传输过程中,使用这三类安全加密设备可完成数据加密、数据破碎、多通路并行传输、身份认证等技术保证文字、图像、声音、视频等形式数据的安全。

设备采用的对称密码算法为国家商密算法,且算法已纳入国际算法标准,数据的安全一方面由算法保证,一方面由密钥保证。密钥是由两台网关设备协商生成,密钥更新的周期可配置,并且密钥在设备内是加密存储的,即使设备落入不安全环境中,密钥也不会被解密,从而保证数据的安全性。设备的安全性由对称密码算法SM4的密钥长度决定,密钥长度支持128bits,达到国内外的先进水平。以目前的计算机计算能力,破解该算法至少需要50年^[11]。

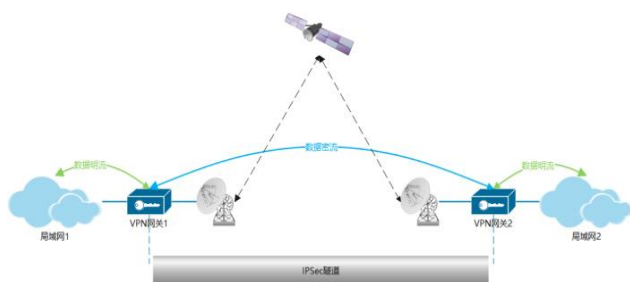


图2 数据安全传输原理网络拓扑

3.4 系统设计

3.4.1 系统架构

实时视频安全传输卫星通信系统是基于卫星通信地面应用系统的SCPC实时视频编码加密的解决方案,包括3.7m固定站分系统(实时视频采集点,A站),1.8m船载站分系统(实时视频播出点,B站)以及编解码加密分系统。实时视频安全传输卫星通信系统架构如图3所示。

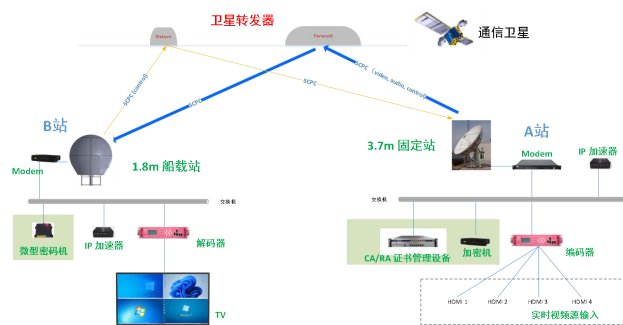


图3 实时视频安全传输卫星通信系统架构

3.4.2 工作机制

实时视频安全传输卫星通信系统基于传统卫星通信技术,通过集成视频编码、数据加解密等技术,确保了实时视频数据在传输过程中的保密性和完整性。工作机制主要包括视频流的编码、数据加解密,以及卫星链路传输的过程。

(1) 视频流的编码

采集到的HDMI视频流首先将经过编码器的处理。编码过程涉及多个主要阶段,包括帧内编码、帧间编码、运动补偿、变换编码、量化和熵编码。利用编码技术,实时视频数据将被压缩,以确保可基于更小的传输带宽,同时尽可能保留视频质量进行传输^[12]。例如,通过这些标准的编码器,单路HDMI输入视频可以被压缩至约2Mbps的码流,这样在确保视频质量的同时,大幅度降低了传输数据量。常见的视频编码标准如H.264和H.265。

(2) 数据加密传输

通过在传输的数据链中建立一个虚拟的加密IP隧道,以保护数据的机密性及完整性。在视频流的传输过程中,会在视频数据包外再添加加密层,以便穿越不可信的网络环境。本系统卫星通信采用IP层视频加密认证的加密传输设备(微型密码机和密码机),进行安全通信。密码机传输速率达200Mbps,微型密码机传输速率达10Mbps,满足系统传输要求。采用了CA证书管理设备完成加解密设备身份认证,确保各节点设备相互之间的合法有效性认证。

算法采用的是对称密码算法,密钥是由两台网关设备协商生成,密钥更新的周期可配置,并且密钥在设备内是加密存储的,即使设备落入不安全环境中,密钥也不会被解密,从而保证数据的安全性。

(3) 卫星链路传输

系统的卫星链路传输是基于高轨卫星和SCPC技术实现的。实时视频数据在一个3.7m的固定地面站分系统中进行编码和加密处理,并被调制到单一载波频率上,SCPC技术确保了信号传输的高效性和稳定性。目标地点的1.8m船载站作为实时视频播出点,接收来自卫星的信号,经过解调恢复为数据格式,并进行解密处理,最终恢复为原始编码的视频流。这些解码后的视频数据被输出到显示设备,实现实时播放。

3.4.3 系统规格及突出特点

该卫星通信系统实现卫星覆盖范围内从A站到B站4路点到点视频数据同时传输,每路数据通信速率2Mbps,支持数据加密传输。采用标准C频段、线极化,最大通信速率8.7Mbps。系统突出特点有:

①设备成熟可靠。选用的卫通设备(天线射频、Modem、加解密设备、编解码设备等)均为成熟可靠的产品。自主可控的Anovo卫通系统产品在国内、国外多个卫通项目中得到应用,运行稳定。

②数据传输安全。卫星通信系统采用IP层视频加密认证的加密传输设备(微型密码机和密码机),进行安全通信;密码机传输速率达200Mbps,微型密码机传输速率达10Mbps;采用CA证书管理设备完成加解密设备身份认证,确保各节点设备相互之间的合法有效性认证。

3.4.4 分系统设计

(1) 3.7m卫星通信固定站分系统



图 4 3.7m 卫星通信固定站分系统组成图

如图4所示，3.7m固定站由3.7m天线、100W BUC、LNB (Low Noise Block)、SCPC Modem、加密机、CA/RA证书管理设备、编码器和IP加速器等组成。天线、射频设备保障信号的收发、变频放大；Modem处理信号的调制和解调；加密机则对数据进行加密处理，保障数据的安全性；编码器将视频数据压缩，以减少所需的带宽，同时保持较高的视频质量，如H.264或H.265等编码标准；IP加速器则优化数据包处理，提高整体网络效率，减少延迟。通过链路预算，3.7m固定站配置3.7m抛物面天线+100W BUC，晴天发送速率可以达到8.7Mbps，接收回传速率1.2Mbps，满足系统传输需求。

(2) 1.8m卫星通信船载站分系统



图 5 1.8m 卫星通信船载站分系统组成图

1.8m卫星通信船载站旨在接收来自3.7m卫星通信固定站传输的实时视频数据，由1.8m船载站天线、天线罩、40W BUC、LNB、调制解调器、微型密码机、解码器、IP加速器及电视等组件构成，如图5所示。与3.7m站形成双向通信，

设备功能与其相同。该系统充分考虑了高效性、可靠性和环境适应性。

(3) 编解码加密分系统

编解码加密分系统的设计集成了先进的编解码技术和国家标准的加密功能，以满足高质量视频传输的需求，并确保数据的安全性和保密性。

编解码器支持高刷新率和适应不同码流需求，可处理高达每秒60帧的刷新率，保证视频画面的流畅度。此外，设备支持多种码流设置，以适应不同的网络带宽和视频质量需求。对于组播应用，编解码器能够有效地支持组播协议，实现多个接收端的同步视频传输^[13]。

加解密系统支持国家密码算法的IP层视频加密，并具备无线安全网关的前后端加密能力。加密系统支持主机模式和隧道模式，以适应不同的应用场景。为了确保数据在复杂网络环境中的传输安全，加密系统还支持NAT-T（网络地址转换穿越）功能，确保在网络地址转换环境下的稳定加密传输。无线视频的加密带宽高达10Mbps，且能够处理多个并发视频隧道，每个隧道支持10Mbps的带宽，保证了高效且安全的视频数据传输。证书授权（CA）系统采用了标准x.509v3的证书格式，支持单证书和双证书的签发。CA系统不仅可以签发文件证书，还可以签发硬件证书，其中硬件证书的签发支持微软CSP接口和国密SKF接口。系统还允许自定义证书项和证书模板策略，并具备密钥管理功能，以满足不同用户的安全需求。整体而言，这些设计确保了编解码加密分系统在高性能视频传输和数据安全方面的卓越能力，适用于各种安全和高效的视频通信场景。

(4) 环境适应性设计

针对使用环境中的风沙、高温问题，系统采取了多项防护措施^[14]。天线罩配备了防风沙功能，以防止风沙对射频设备造成损害。同时，天线底座周围装配了防沙透气网，空调进风口安装了过滤网，以保护空调系统不受风沙影响。系统具备一键对星功能，能够在启动时自动完成卫星对接，减少了人工调试的复杂性。自跟踪功能在天线偏离卫星方向时能够自动校正天线指向，确保稳定的信号接收。系统考虑到外界高温（通常超过35℃）及天线罩内射频设备（如BUC）的散热问题，配备了高效的降温方案。天线罩内安装了空调系统，有效降低了内部温度，保证了设备在高温环境下的正常运行。

综上，系统确保了1.8m卫星通信船载站在复杂使用环境中的优异性能，能够稳定、高效地接收并处理来自3.7m卫星通信固定站传输的实时视频信号。

3.4.5 部署及系统实物

(1) 3.7m卫星通信固定站

固定站采用活动基础设计,安装便捷,专业人员进行基础选址、勘察、固定和加固作业。在天线座架下方布设一个方形钢结构作为天线基础,活动基础钢梁上方增加负载(如石块、石板等)即可。天线基础稳定后,安装反射面、座架和后端射频设备,然后完成对星测试。卫星通信固定站实物图如图6所示。



图 6 3.7m 卫星通信固定站实物图

(2) 1.8m 卫星通信船载站

系统安装过程简便,室外部分天线可在地面上完成安装,并通过膨胀螺丝固定于船体结构或地面上,如图7所示。安装流程包括天线底座的稳定、座架、反射面、天线罩、空调以及后端射频设备的逐步装配,最后进行对星测试以确保系统的精准对接。这种模块化的安装方式有效简化了现场调试过程,提高了部署效率。



图 7 1.8m 卫星通信船载站实物图及天线罩

3.4.6 系统抗毁性设计

从硬件设备和安全通信方面进行设计以提高系统抗毁性,确保在极端天气条件和恶劣环境下提供实时视频等通信安全和稳定可靠的传输服务。

选择能适应恶劣环境(如高温、高海拔、高湿热等),经过数个工程项目验证的室外设备,关键设备采用热、冷备机制设计,提高系统可靠性。

安全通信方面,使用隧道加密技术,数据通过IP层加密,在传输过程中可有效防止被窃取或被篡改,保障视频内容的机密性和完整性。即使在通信链路受到干扰或攻击的情况下,视频数据仍能保持高安全传输状态。基于卫星通信的传输信道也配置了多种抗干扰和抗信号衰减的策略,如自动功率控制,自适应编码调制等。

3.4.7 系统应用

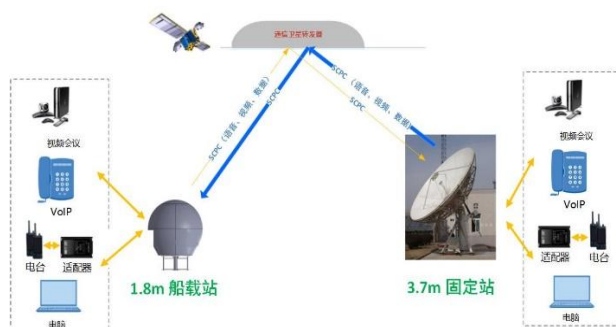


图 8 系统应用示意图

实时视频安全传输卫星通信系统通信应用很广泛,如图8所示。1.8m和3.7m卫星通信站均配有以太网口,可直接接入VoIP电话、音视频会议终端、无线电通信设备(如电台等)以及电脑等设备,实现两站之间的卫星数字语音通信业务,音视频会议和数据传输,包括邮件、FTP传输、网页浏览、数据下载等,也可进行卫星专网和互联网业务通信传输。

4 结束语

基于卫星通信的实时视频安全传输解决方案综合考虑了系统的可靠性、安全性和便捷性。在设计过程中,通过引入先进的编解码技术和符合国家标准的加密机制,有效解决了安全通信链路及实时视频传输中的关键问题。系统不仅显著提升了实时视频传输的安全性,还增强了在偏远及极端环境下的数据传输可靠性和便利性。

该系统已完成建设部署并通过链路测试,满足系统使用要求,为未来在复杂环境中进行高效、安全的视频通信提供了有力支持,具有重要的应用价值和实际意义,为相关领域的技术进步和应用发展做出积极贡献。

参考文献

- [1] 廖德山,邓凌越,孙建成,徐晖. 6G 星地融合无线网络及关键技术[J].中兴通讯技术,2024(07):11.
- [2] 罗绍琴,张伟.高通量通信卫星技术发展及其典型产业应用研究[J].数据,2021(07):56-60.
- [3] 孙晨华,章劲松,赵伟,等.高低轨宽带卫星通信系统特点对比分析[J].无线电通信技术,2020,46(05):505-510.
- [4] 侯依林. VSAT 卫星通信系统的应用研究[J].通讯世界, 2024,31(06):19-21.
- [5] 张世,陈扬.浅析 VSAT 卫星宽带互联网通信系统的发展[J].中国新通信, 2018, 20 (14):14-15.
- [6] 吴振.卫星通信应用系统一体化网控中心的实现[J]. 数字技术与应用, 2024,42 (03):77-79.

- [7] 魏承,田浩,赵阳,等.卫星点波束可移动天线地面应用软件设计[J].系统仿真学报,2007(11):2440-2443.
- [8] 清越.中星 26 号卫星[J].卫星应用,2023(03):70.
- [9] 雒明世,赵彦博.卫星通信链路的计算机仿真设计[J].长江信息通信,2023,36 (11):8-11.
- [10] 龙清清. 基于 SCPC/DAMA 的 VSAT 网络带宽调度算法研究[J].西安科技大学, 2014(04):56-56.
- [11] 许济宁. 数据加密技术在计算机网络安全中的应用研究[J].数字通信世界, 2020(05):216-216.
- [12] 李凡.高清视频编码标准及其在广播电视工程中的应用探讨[J].中国传媒科技,2024(06):129-132.
- [13] 袁哲.面向多模态业务的高效码流传输关键技术研究[J]. 南京邮电大学,2024(05):126-126.
- [14] 蔡芬,王涛,徐静,刘强.舰船环境适应性设计方法探索与实践[J].装备环境工程,2024,21 (05):57-65.

作者简介

王 毅（1981—），男，硕士，高级工程师，主要研究方向：同步轨道和低轨道军民用通信卫星地面系统设计。

高誉阁（1998—），男，硕士，工程师，主要研究方向：高通量卫星通信地面应用系统设计。

Design of a satellite communication system for real-time video secure transmission

WANG Yi, GAO Yuge

Space Star Technology Co., Ltd., China Academy of Space Technology, Beijing 100086, China

Abstract: Satellite communication is an effective measure to solve the need to establish communication without ground network coverage such as desert, sea, forest, etc. With the development of communication services, the communication used for military, government and secret units is becoming more and more common. In the special period, the satellite communication system with the characteristics of simple, rapid deployment and high security communication has been widely used, which puts forward higher requirements for the security, real-time and reliability of data transmission. The designed real-time video secure transmission system is based on the satellite communication system implanted encryption and decryption, codec and other technologies to achieve the requirements of secure video real-time transmission, improve the reliability and convenience of data transmission in remote and extreme environment areas. The scheme is designed from the aspects of system composition, working mechanism, system specification and physical deployment, which has a strong guiding significance for the research and development of data security and encrypted communication of communication satellite system.

Keywords: Satellite communication , Single channel per carrier , Real-time transmission , Data security , Encryption and decryption