

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.03.011

引用格式:林习良,周锦标,赵乾宏.帧中继业务互扰问题的分析与解决措施[J].电讯技术,2015,55(3):291-297. [LIN Xiliang,ZHOU Jinbiao,ZHAO Qianhong. Analysis of and Solution to Mutual Interference among Traffic over Frame Relay Networks[J]. Telecommunication Engineering,2015,55(3):291-297.]

帧中继业务互扰问题的分析与解决措施*

林习良**,周锦标,赵乾宏

(中国卫星海上测控部,江苏 江阴 214431)

摘 要:帧中继网络采用比特透明数据业务部件传输同步数据,采用虚拟路由器部件传输 IP 数据,针对网络运行过程中出现的不同传输链路的 IP 数据相互影响和 IP 数据影响同步数据现象,测试发现与带宽利用率有关。分析了优先级相同时用户数据报协议(UDP)数据比传输控制协议(TCP)数据更易受数据流量影响和入口数据流量过大的原因,以及帧中继不同类型业务发送优先级的对应关系,通过接入限速控制数据流量,并根据不同用户数据特点与传输要求设置相应优先级,问题得到有效解决。实际应用表明,基于限速策略和区分发送优先级的解决措施能够有效防止不同业务相互间的影响,确保重要数据稳定可靠地传输,可为解决其他类似问题提供参考。

关键词:数据传输网;同步数据;帧中继;虚拟路由器;优先级设置

中图分类号:TN919.22 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2015)03-0291-07

Analysis of and Solution to Mutual Interference among Traffic over Frame Relay Networks

LIN Xiliang,ZHOU Jinbiao,ZHAO Qianhong

(China Satellite Maritime Tracking and Control Department,Jiangyin 214431,China)

Abstract: Synchronous data is transmitted over frame relay networks by bit transparent data service component while IP data is transmitted by virtual router component. It's found that IP data of different transmission links influences each other or IP data influences synchronous data in network running. Test shows that the problem is related to the utilization of network bandwidth. The reason why user data gram protocol (UDP) data is more likely to be affected by traffic flow rate than traffic control protocol (TCP) data in same priority and why traffic flow incoming from the remote node is too heavy is analyzed. The corresponding relationship of transfer priority of different traffic types over frame relay networks is also analyzed. As rate limitation is employed to control the traffic flow rate and transfer priority is set properly according to the characteristics and transmission requirements for different traffic types, problems are solved. Application results demonstrate that solutions based on rate limitation and transfer priority can effectively prevent mutual interference among different traffics and ensure reliable transmission of important data. It provides a reference for solving other similar problems.

Key words: data transmission network; synchronous data; frame relay; virtual router; priority set

1 引 言

在应用某型多业务交换机(Multiservice Switch, MSS)作为节点设备组建的帧中继数据传输网中,某节点需同时与不同方向传输多路同步数据和 IP 数

据,业务运行期间,在设备连接正常的情况下,先后发现了通过不同广域网链路传输的 IP 数据相互影响和 IP 数据影响同步数据两种异常现象,主要表现为 IP 数据有明显丢包、传输时延和时延抖动大幅增加、同步数据瞬间失步。

针对数据传输方面的问题,已有一些论文进行过分析介绍,但大多着眼于单个业务本身传输出现异常,很少涉及不同种类业务间干扰引起的问题。文献[1]对同步数据传输中接口信号时序关系异常引起的问题进行了分析,文献[2-4]对 IP 数据传输中存在的问题进行了分析,相应方法均无法解决本文发现的问题。

本文通过对先后出现的两种异常现象工作状态的比对,对故障触发条件进行了分析与仿真,确定所发现的问题与 IP 数据流量过大导致网络拥塞有关,通过采取限速和区分发送优先级等措施,实现了各业务稳定可靠传输,实际使用效果在多次大型任务的数据传输中得到了检验。

2 存在问题

2.1 业务连接关系

该型 MSS 支持面向连接和无连接两类业务。比特透明数据业务 (Bit Transparent Data Service, BTDS)属于面向连接类型,采用面向路径路由系统,它通过建立并保持的端到端路径进行传输,业务链路一旦建立,传输路径也相对固定,但受板卡时钟限制,只能支持 9.6 ~ 3840 kbit/s 范围内部分特定的

速率。虚拟路由器 (Virtual Router, VR) 业务属于无连接类型,采用动态分组路由系统 (Dynamic Packet Routing System, DPRS), IP 数据通过帧中继的永久虚电路 (Permanent Virtual Circuit, PVC) 传输,所经路由根据数据包中的地址信息和各节点路由表确定,并随网络拓扑和数据流量的状态变化而自动调整,能够支持 50 Mbit/s 以下任意速率。

在该数据传输网方案设计时,综合考虑业务流量统计、板卡支持速率和带宽利用率等因素, MSS 采用 BTDS 部件传输同步数据,通过同步串行接口相连,为数据终端互联提供传输通道;采用 VR 部件传输 IP 数据,通过以太网口相连,为两地局域网 LAN11 与 LAN21、LAN12 与 LAN32 互联提供广域网链路,并实现两网隔离。在卫星电路带宽受限情况下,业务连接关系和相应传输速率如图 1 所示。在图 1 中,节点 1 以发送速率 3648 kbit/s、接收速率 384 kbit/s (简称为 3648/384 kbit/s, 其他速率表示方法类同) 的双向不对称卫星电路作为 Trunk 与节点 2 相连,并通过节点 2 与传输网其他节点互联,开通业务包括两路同步数据和两路 IP 数据,其中 LAN11 与 LAN21 通过 VR1 广域网链路互联,传输重要的实时任务数据,数据流量比较平稳,对链路传输时延和丢包率有一定要求; LAN12 与 LAN32 通过 VR2 广域网链路互联,传输日常办公信息和提供 FTP 文件传送服务,数据流量具有较大的突发性,要求链路提供尽可能高的吞吐量。同步数据 1 与同步数据 2 均为数字话音业务,对传输实时性要求较高。

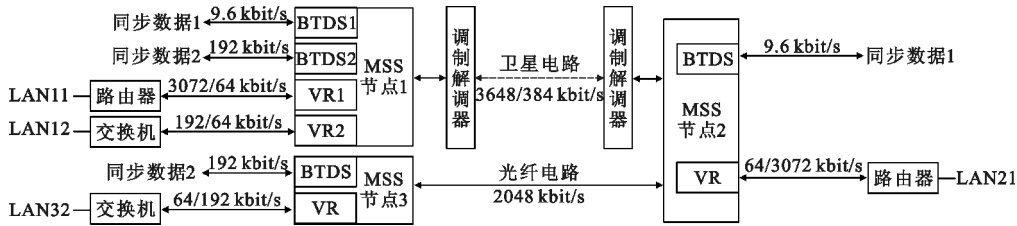


图 1 业务连接关系
Fig. 1 Connection relationship of the service

2.2 存在问题

各业务单独调试正常后,当节点 1 所有业务同时运行时, LAN11 网内终端接收的广域网数据出现了丢包、时延和时延抖动大幅增加等现象,而同步数据 1、同步数据 2 及 LAN12 网内终端接收的广域网数据均正常。检查节点 1 与节点 2 间的卫星电路质

量,误码率优于 1×10^{-7} , 满足指标要求;在 LAN11 网内终端上 Ping 远端 LAN21 路由器广域网口,发现已存在丢包;根据故障现象,考虑到节点 1 入口带宽较小,初步判断广域网链路出现拥塞的可能性较大,试关闭 VR2 业务, LAN11 网内终端接收数据正常, Ping LAN21 路由器广域网口无丢包,恢复 VR2 业务

后故障复现。由此可见,节点 1 开通的两个 VR 业务数据在传输过程中存在相互影响。

根据技术资料,MSS 开通 VR 业务除了需配置传输路由、网络地址和协议部件等基本参数外,如需提供差别化的业务传输性能和服务质量,还要根据业务特点配置 PVC 路由策略、传输速率和发送优先级等参数。针对上述问题,对通信各方状态设置进行比对梳理,发现各节点 VR 业务传输速率、路由策略等符合方案要求,发送优先级为默认的最低级 0,将 VR1 业务发送优先级设置为最高级 15 后,先前的问题得到解决。

系统稳定运行很长一段时间后,在一次业务联试过程中,在 VR2 业务关闭的情况下,节点 1 运行的业务又多次出现闪断现象,具体表现为同步数据 1 和同步数据 2 出现瞬间失步,同时 LAN11 网内终端接收的广域网数据有丢包。闪断现象出现时同步查看卫星电路质量良好,帧中继 Trunk 状态和业务连接均正常;查看同步数据终端上记录的告警信息,存在本地失步,接收数据误码率大于 1×10^{-3} ,而远端对应终端接收数据正常、无失步。随后了解到,在第一次出现闪断现象时间点附近,LAN11 网内一业务终端按照远端用户要求进行了重启,并接收了 LAN21 中相应终端远程下发的策略。而关闭 LAN11 内各业务终端,保持 VR1 业务开通但 LAN11 与 LAN21 间无业务数据经广域网链路传输,同步数

据业务工作正常。

3 机理分析

根据上述现象和图 1 所示设备连接关系,可确定节点 1 与节点 2 间全程链路物理连接正常,传输异常可能由 MSS 参数设置或广域网数据流量等方面的原因引起。下面首先从参数设置入手在节点 1 进行分析排查。

3.1 参数说明

在 MSS 开通业务链路需配置的参数中,与链路服务等级相关的高级设置见表 1。其中,业务传输优先级包括发送优先级和丢弃优先级两个参数,发送优先级(Transfer Priority 或 Emission Priority)表示业务的紧急程度,代表数据队列等待发送时输出的先后顺序;丢弃优先级(Discard Priority)表示业务的重要程度,代表网络拥塞时队列中数据被丢弃的先后顺序。最初状态下节点 1 相关参数均采用默认值,虽然发送优先级通常在发送端设置,但根据 VR 业务 PVC 连接双方商定的主/从属性,节点 1 呼叫类型设为永久主叫端(PermanentMaster),节点 2 设为永久被叫端(PermanentSlave),由于越过发送优先级(TransferPriorityOverRide)参数有效,主叫端设置的发送优先级也在被叫端生效,即节点 2 VR 业务的发送优先级也由节点 1 相应参数决定。

表 1 MSS 相关参数设置
Fig. 1 Parameters of MSS

类型	参数	名称	取值范围	默认值	备注
VR 业务 PVC	TransferPriority	发送优先级	0 ~ 15	0	最低
	DiscardPriority	丢弃优先级	Normal, High	Normal	Normal 先丢弃
	TransferPriority OverRide	越过发送优先级	Yes, No	Yes	主端优先级在从端同时生效
	Dc type	直接呼叫类型	Permanent Master, PermanentSlave, 等	Permanent Master	本地为主端,远端为从端 PermanentSlave
BTDS	EmissionPriority	发送优先级	0 ~ 2	0	最高
	DiscardPriority	丢弃优先级	1 ~ 3	1	1 最后丢弃
Trunk	FramingType	成帧类型	Hdlc, Interrupting	Interrupting	支持 Interrupting 队列

对于发送优先级,帧中继不同类型业务或路由系统采用不同的表示方式,BTDS 分 0、1、2 共 3 级,VR 业务分 0 ~ 15 共 16 级,DPRS 路由等级分 Multi-

media、Delay 和 Throughput 3 级,与 Trunk 传输队列的发送优先级对应关系见表 2^[5]。

表 2 帧中继发送优先级定义
Fig. 2 Frame relay transfer priority definitions

BTDS Emission Priority	VR Transfer Priority	DPRS 业务 路由等级	Hdlc 模式 Trunk 发送优先级	Interrupting 模式 Trunk 发送优先级
0	11 ~ 15	Multimedia	High	Interrupting
1	6 ~ 10	Delay		High
2	0 ~ 5	Throughput	Normal	Normal

当 Trunk 成帧类型为 Interrupting 时,其优先级分 Interrupting、High 和 Normal 3 级,这意味着支持 Interrupting 队列为最高传输优先级,它能够随时中断优先级为 Normal 或 High 的正在传输的数据帧而先行传输,待其完成后其他数据再恢复传输,而优先级为 High 的数据只能等待位于其队列前面的优先级为 Normal 或 High 的数据传输完成后才能进行传输。Trunk 上不同优先级队列传输关系如图 2 所示,图中数字表示按时间先后生成的待发送数据队列序号。

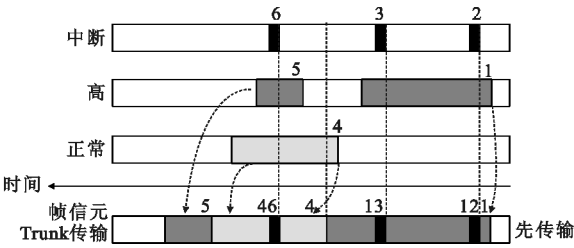


图 2 帧信元中继传输队列

Fig. 2 Frame-cell trunk transmission queues

3.2 VR 业务相互影响

针对节点 1 最初发现异常时两个 VR 业务受影响的不同现象,先对通过 VR1 和 VR2 传输的数据特性进行分析。在 TCP/IP 模型中,传输层主要有两种协议,即传输控制协议 (Transfer Control Protocol, TCP) 和用户数据报协议 (User Datagram Protocol, UDP)。TCP 具有差错检测、重发控制和流量控制等功能,能够提供有连接的、可靠的数据流传输服务,但卫星通信的大时延会严重影响 TCP 的性能,应用于卫星链路时存在一个传输速率瓶颈,最大吞吐量不会超过 1 Mbit/s^[6];UDP 传输效率较高,它为应用层提供的是一个不可靠的、无连接的传输服务,由应用层自行完成数据的差错控制等功能^[7]。根据前面提到的不同业务特点和各自传输要求,LAN11 与 LAN21 间传输的数据采用 UDP 协议,

LAN12 和 LAN32 间传输的数据采用 TCP 协议。当网络出现拥塞或传输链路质量下降时,在不同的差错控制机制作用下,UDP 数据被直接丢弃,LAN11 网内终端便会发现丢包现象,而 TCP 数据丢弃后被要求重传,LAN12 网内终端显示的是传输速率有所下降,难以发现丢包现象。因此,在相同条件下,UDP 数据比 TCP 数据更易受链路质量的影响,要保证其传输可靠性,需进一步改善其传输链路条件。

最初状态下两个 VR 业务的发送优先级均为默认值 0,根据表 2 中定义,帧中继路由系统将以吞吐量 (Throughput) 最大为准则,尽可能利用可用带宽,这正好适应了 LAN12 与 LAN32 间传输的信息特点和需要。前面已指出,LAN12 与 LAN32 间的业务包含 FTP 文件传送服务,极易出现持续的大流量数据,当该数据流与通过 VR1 传输的其他业务数据一起进入 Trunk 队列时,Trunk 处于重负荷状态 (尤其是入口电路),而帧中继具有丢包率随吞吐量或带宽利用率提高而增大的特点^[5],此时等效于链路传输质量下降,对优先级同为 Normal 的 VR1 中的 UDP 数据产生影响。

由于节点 1 入口电路带宽较小且受卫星电路限制,VR 业务可用的带宽难以进一步提高,提高传输优先级成为改善链路条件的重要选择。当将 VR1 业务发送优先级提高为 15 后,路由系统将其按照对时延敏感的多媒体数据 (Multimedia) 来处理,LAN11 与 LAN21 间的 UDP 数据能够中断 VR2 中的业务数据优先传输,从而避免了低优先级业务的影响。

3.3 VR 业务影响 BTDS

通常情况下,同步数据的传输要求要高于 IP 数据,因此,帧中继网中面向连接业务默认传输优先级为最高,无连接业务默认传输优先级为最低。前面为解决 VR 业务相互影响问题将 VR1 业务发送优先级设置为 15 后,它在 Trunk 传输队列中的优先级与 BTDS 相同,两种不同类型业务数据将按进入

Trunk 队列的时间先后顺序传输。当数据流量未超过可用带宽时,不管何种优先级的业务、是否超出预期流量,帧中继网都会尽力传输,数据包不会被丢弃;若数据流量超出可用带宽,Trunk 出现拥塞,在数据包被丢弃的同时,可用带宽在优先级相同的 BTDS 与 VR 业务之间公平分配,而数据包则按照各自的丢弃优先级丢弃而不考虑业务类型等方面的限制,因 VR 业务丢弃优先级(Normal)比 BTDS 低,发生拥塞时 VR 业务数据包首先被丢弃,所以先出现 IP 数据丢包,后出现同步数据失步,严重时就会出现两种业务同时闪断。因同步数据终端产生的数据码速率固定,在 VR2 业务已经关闭的情况下,只有 VR1 数据流量可能超出可用带宽,而节点 1 接收数据异常表明问题原因可能在入口方向。

为验证 LAN11 与 LAN21 间的广域网数据流量的影响,分别在 LAN11 与 LAN21 网内交换机上连接 Fluke Metroscope 网络测试仪进行广域网数据模拟收发试验,LAN21 端测试仪设置为远端模式,由 LAN11 端测试仪主动发起测试,数据包长 64 byte,发送速率保持 3072 kbit/s 不变,通过改变 LAN11 端测试仪下行速率(即接收速率)模拟接收数据流量变化,发现下行速率低于 160 kbit/s 时,各业务传输正常,当下行速率大于 160 kbit/s 时,节点 1 业务出现闪断,故障复现,且下行速率越高,闪断现象越频繁,而增大发送数据包长,出现闪断时的临界速率则有所下降。由于广域网链路单个流向的传输速率由数据发送方设置,由此可见节点 1 业务闪断与节点 2 LAN21 广域网出口数据流量过大有关。

节点 1 卫通电路接收速率为 384 kbit/s,除去固定分配给 BTDS1、BTDS2 业务的带宽和数据复接所需的开销,传输可用的剩余速率不足 170 kbit/s,在 VR2 业务关闭的情况下,VR1 业务下行速率大于 160 kbit/s 时,网络带宽利用率超过 94% 趋于拥塞,远超出正常使用时广域网平均带宽利用率不超过 80% 的要求,出现丢包属合理现象。

根据了解到的情况,节点 2 为减少设备端口的使用,期间曾对设备状态进行过调整:路由器对节点 1 与另外两个节点的 IP 数据业务共用一个物理端口与 MSS 以太网口连接,路由器广域网口对 3 个方向共同限速为 192 kbit/s,而调整前状态按方案要求设置,单个节点方向路由器广域网口限速 64 kbit/s,状态变化如图 3 所示。

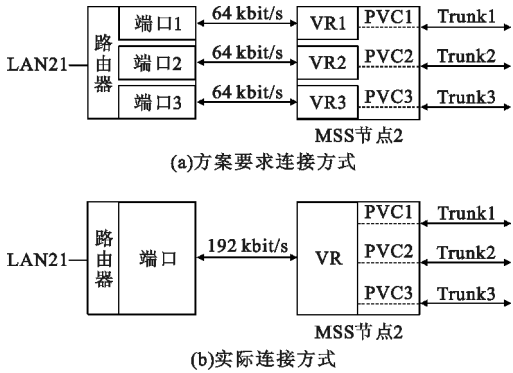


图 3 节点 2 路由器与 MSS 连接关系
Fig.3 Connection relationship between router and MSS in node 2

MSS VR 业务的速率可通过用户网络端口 FrUni 或协议端口 FrDte 两个子部件来配置,两者同时配置时实际速率以数值较小者为准,节点 2 对图 3 所示各方向 PVC 的设置:FrUni 限速 384 kbit/s,相应限速开关采用默认值“开启”,FrDte 限速 64 kbit/s,相应限速开关采用默认值“关闭”。由此可见,即使通过帧中继 FrUni、FrDte 和路由器端口三重限速级联,节点 2 对节点 1 的 VR 业务实际发送速率仍可达到 192 kbit/s,远超出方案规定的限速 64 kbit/s 要求,与网络测试仪测试结果相符,只要 LAN21 网内终端产生较大的突发流量,就很可能出现广域网出口流量超出分配带宽或接近可用带宽的情况,从而引起拥塞^[8]。

使用专用软件在节点 1 路由器镜像端口进行抓包,对 LAN11 网内某业务终端重启后接收 LAN21 远程下发策略时的数据流量进行过滤统计,发现该系统业务接收数据会出现较大的突发流量,如图 4 所示,并可同步观察到业务闪断现象,而该业务为临时增加且未分配传输带宽。虽然加上其他已分配传输带宽的数据总流量还未达到 160 kbit/s,分析认为这与实际业务数据包长远大于 64 byte 有关。

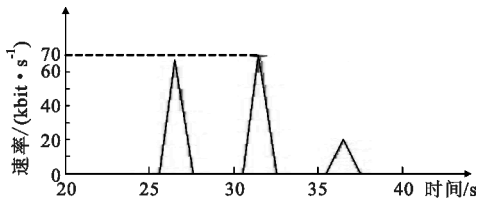


图 4 业务终端重启产生的数据流量
Fig.4 Traffic of the terminal in restarting

从图 2 可以看出,当 Trunk 传输队列中优先级为 Interrupting 的数据包较大时,会对位于其后的其

他所有数据产生影响,因 BTDS 分配的速率固定,数据长度和占用 Trunk 传输队列的时间也相对固定,能够保证相互间在时隙上不重叠,而 IP 数据包长(64 ~ 1518 byte)可变,突发流量中出现大数据包时,就会占用 Trunk 传输队列较长时间,如果网络负荷较重,就会对等间隔传输的 BTDS 产生影响。因此,《帧中继业务配置管理手册》建议:持续的 Multimedia 级业务超流量会降低服务质量,引起丢包率上升,如要确保传输链路的可靠性,通常应将 Multimedia 级 VR 业务的比例控制在无连接业务可用带宽的 30% 以内,最高不超过 60%^[9],对于本文案例为不超过 105 kbit/s。

因此,VR 业务影响 BTDS 的原因由三方面因素引起:一是使用未经许可的终端增加了 VR 业务数据流量,二是节点 2 未对 VR 业务实施有效的限速,三是节点 1 设置的 VR 业务发送优先级过高,从而导致节点 2 发送的最高优先级的突发流量超出可用带宽,传输带宽不足引起帧中继 Trunk 出现拥塞,数据被丢弃出现业务闪断。

4 解决措施

通过以上分析可以看出,发送优先级设置过低,VR1 业务易受 VR2 业务数据流量的影响;设置过高,则会出现 VR1 业务数据流量影响 BTDS 的现象。为进一步确定 VR1 业务的发送优先级,随后进行了参数修改试验,以初始状态为基础,当 VR1 业务发送优先级设置为 0 ~ 5 时,VR2 业务传输大流量数据仍会对 VR1 业务产生影响;当 VR1 业务发送优先级设置为 11 ~ 15,节点 2 未修改限速情况下,VR1 业务传输大流量数据也会引起 BTDS 瞬间失步,而将其发送优先级设置为 6 ~ 10 时,上述两个问题得到有效解决。

综合以上分析和测试结果,为达到最初的设计要求,防止网络拥塞和业务间相互影响,最终采取了以下措施:

(1) 关闭未分配传输带宽的联网终端以免产生额外流量,防止通过 VR1 互联的网络内部各业务因传输带宽不足出现丢包等问题;

(2) 节点 2 将 VR 业务 PVC 的 FrUni 限速设为 64 kbit/s,同时开启相应限速开关;

(3) 节点 1 将 VR1 业务发送优先级设置为 10,VR2 业务发送优先级保持为 0,所有 BDTs 发送优先

级保持为 0。

据此设置参数后,在图 1 所示业务全部运行的情况下多次进行数据传输试验,各业务传输正常,相应技术状态在“嫦娥”三号等任务的数据传输中通过了检验,并在多个节点得到应用。

5 结束语

本文分析了帧中继业务运行中出现相互干扰的原因,得出了该现象与 IP 数据流量变化引起网络带宽利用率过高导致数据丢包有关的结论,研究了帧中继不同类型业务发送优先级的对应关系和工作机制,提出通过有效限速控制流量和设置差别化的发送优先级提高业务服务质量的解决方案,在不改变原有方案的情况下,顺利解决了工程应用中出现的问题。实际应用效果表明,在高带宽利用率条件下,基于限速策略和区分优先级的解决措施能够有效防止不同传输链路间业务相互影响,确保重要数据稳定可靠地传输。如何进一步提高帧中继业务间的隔离性能是需要继续研究的方向。

参考文献:

- [1] 林习良,蒋宝琴. 768kbps 高速数据传输异常分析[J]. 无线电通信技术,2007,33(1):42-45.
LIN Xiliang, JIANG Baoqin. Analysis of Abnormality in 768kbps High Speed Data Transmission[J]. Radio Communications Technology,2007,33(1):42-45. (in Chinese)
- [2] 李康,陈雪军,赵乾宏. 航天通信 IP 网组播常见故障解决方法[J]. 遥测遥控,2012,33(2):58-61.
LI Kang, CHEN Xuejun, ZHAO Qianhong. Methods to Solve Familiar Multicast Faults of Spaceflight Communication IP Network[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command,2012,33(2):58-61. (in Chinese)
- [3] 段惠芬,王华,刘焕敏. 试验 IP 网故障分析策略及方法应用[J]. 飞行器测控学报,2012,31(4):71-74.
DUAN Huifen, WANG Hua, LIU Huanmin. Strategy and Methods for Fault Analysis for Experiment Mission IP Networks[J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2012,31(4):71-74. (in Chinese)
- [4] 刘喜作,周晶,梁德清. 基于 UDP 的大数据包可靠传输[J]. 电讯技术,2012,52(1):96-99.
LIU Xizuo, ZHOU Jing, LIANG Deqing. Huge Data Blocks Transmission Based on UDP[J]. Telecommunication Engineering,2012,52(1):96-99. (in Chinese)
- [5] Nortel Networks. Multiservice Switch 7400/15000 / 20000 Operations: Trunking [M]. Providence, Canada:

Nortel Networks,2004.

- [6] 李立. TCP 协议在卫星通信系统中性能改进研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2008:8-9.
- LI Li. Performance Improving Research of TCP in Satellite Communication Systems[D]. Changsha:National University of Defense Technology,2008:8-9. (in Chinese)
- [7] 顾尚杰,薛质. 计算机通信网基础[M]. 北京:电子工业出版社,2000:22-23.
- GU Shangjie,XUE Zhi. Fundamentals of Computer Communication Networks[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2000:22-23. (in Chinese)
- [8] 代玉梅,马黎. 帧中继网络拥塞控制方法探讨[J]. 电子测试,2013(9):66-68.
- DAI Yumei,MA Li. Research on Congestion Control of Frame Relay Network[J]. Electronic Test,2013(9):66-68. (in Chinese)
- [9] Nortel Networks. Multiservice Switch 7400/15000 / 20000 Frame Relay Technology Fundamentals[M]. Providence,Canada:Nortel Networks,2004.

作者简介:



林习良(1972—),男,江苏丹阳人,2004 年获硕士学位,现为高级工程师,主要研究方向为通信工程;

LIN Xiliang was born in Danyang, Jiangsu Province, in 1972. He received the M. S. degree in 2004. He is now a senior engineer. His research direction is communication engineering.

Email:dylxl9123@sina.com

周锦标(1966—),男,江苏江阴人,1991 年获硕士学位,现为高级工程师,主要研究方向为海上航天测控;

ZHOU Jinbiao was born in Jiangyin, Jiangsu Province, in 1966. He received the M. S. degree in 1991. He is now a senior engineer. His research concerns spaceflight maritime TT&C.

赵乾宏(1976—),男,山西昔阳人,2006 年获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为卫星通信。

ZHAO Qianhong was born in Xiyang, Shanxi Province, in 1976. He received the M. S. degree in 2006. He is now an engineer. His research direction is satellite communications.