

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2023.0315

窄带卫星通信系统地面通用多模网桥设计与实现

左云鹏¹, 边东明², 顾陆欢¹, 苟亮¹, 万扬洋¹

(1.南京融星智联信息技术有限公司, 江苏 南京 210007; 2.中国人民解放军陆军工程大学, 江苏 南京 210001)

摘要: 现有卫星通信地面网桥在进行 IP 数据星地传输时多采用私有协议和定制化结构, 增加了前期系统联试和后期设备扩展的工作量. 同时, 窄带相较于宽带通信, 占用频谱资源更少, 不需要高信噪比的通信环境, 可在复杂电磁环境等特殊场景应用. 因此本文针对现有不足, 并根据应用场景需求, 为具有透明转发功能的卫星设计地面通用网桥设备, 并对其协议、软件设计进行详细描述. 最后通过两设备基带中频互通实验模拟设备与透明转发卫星组网, 对其功能和性能进行测试, 测试结果证明了方案的有效性.

关键词: 卫星通信系统地面网桥; 卫星通信系统; 窄带通信; LIBPCAP; Linux 多线程

中图分类号: TN927+.21

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2023) 05-0076-07

随着商业航天的快速发展, 卫星通信的应用场景不断扩大^[1-2]. 卫星通信网络具备覆盖范围大、可靠性高、灵活性强等特点, 近年来多作为地面通信网的补充^[3-4]. 为了更好地发挥卫星通信网络特点, 天地一体化通信网络成为必然的发展方向^[5-6], 越来越多的卫星网络采用地面网络中成熟的 IP 协议, 通过 IP 统一承载来实现网络融合^[7]. 但卫星网络和地面网络在底层链路上存在差异, 地面的链路层协议无法直接传输^[8], 需要由地面网关将 IP 数据与 CCSDS 协议帧进行转换后才可在星地链路中通信^[9-11]. 同时, 虽然现在全世界范围内都在大力研究高通量宽带通信卫星, 但对于有限的频谱资源, 高速率的数据传输会带来频谱资源的过大开销, 且宽带通信需要在高信噪比的条件下才可发挥其优势, 因此, 窄带通信在复杂电磁环境的情况下仍有必要^[12-14]. 现有卫星通信系统中, 网关、卫星和终端设备间通常采用固定的私有协议进行通信, 需要通过各节点进行协议转换最终才可实现卫星通信网络和地面网络通信, 给前期开发调试和后期设备扩展都带来很大麻烦.

本文针对现有设备的功能不足和局限性设计

一种窄带卫星通信系统地面通用多模网桥设备, 该设备集成基带、网关、网桥功能, 其中网关和网桥功能以嵌入式 Linux 作为操作系统, 利用 LIBPCAP^[15-17]的高效抓包机制, 使得用户只需将局域网中的设备与本文所述的多模网桥通过网口连接, 即可利用卫星透明转发功能进行两地多设备通信, 无须关注卫星通信系统中各节点的协议, 只要是符合标准 TCP/IP 协议的设备都可使用. 同时本设备还针对卫星透明转发的空口协议进行设计, 兼容了 TDMA、FDMA 两种不同的多址接入方式, 增加了设备的易用性和可扩展性.

1 系统总体设计

1.1 系统应用场景说明

图 1 所示为通用多模网桥在卫星通信系统中的应用场景, 主站网桥与从站网桥间通过卫星进行通信, 并经交换机与终端组成地面局域网. 图中多模网桥 A 为主站网桥, 拥有鉴权、决策、时隙分配等功能; 多模网桥 B 为从站网桥, 需要进行入网、位置上报、资源申请等操作后才可正常运行. 多模网桥属于基带设备, 在实际使用中需配合上

收稿日期: 2023-03-15.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(61971440).

第一作者: 左云鹏(1992-), 男, 江苏南京人, 工程师, 主要研究方向: 卫星通信、嵌入式系统、智能计算. E-mail: zuoyunpeng@rxzl.onexmail.com

变频器、下变频器、地面站天线等外围设备一起使用。

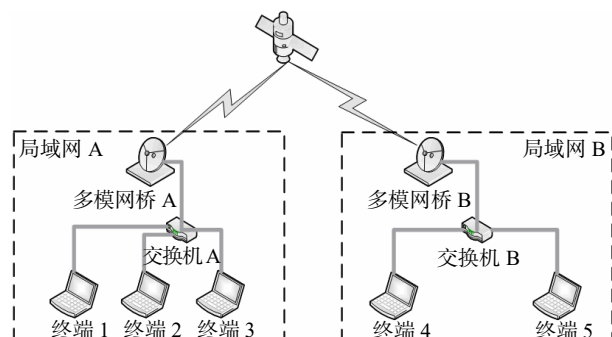


图1 通用多模网桥在卫星通信系统中的应用场景

1.2 工作流程及空中接口协议设计

步骤1 主站网桥与从站网桥通过访问配置网页对接入方式、符号速率、调制编码集等信息进行网络工作模式配置, 接入方式包括 TDMA、FDMA。

步骤2 主站网桥与从站网桥捕捉各自地面局域网中所有发出的 ARP 包, 接收由卫星透明转发的空中接口协议 ARP 包, 当 ARP 包为发送端 ARP 包时, 通过 ARP 包获取本局域网内通信终端的 IP 地址和 MAC 地址, 并将 ARP 包转换为空中接口协议包, 由卫星网络进行透明转发, 空中接口协议包格式见表 1。

帧头	长度	帧类型	目标地址	信息内容	Byte
4	2	1	3	可变长度	2

当接收端收到符合空中接口协议的 ARP 包时, 将空中接口协议 ARP 包转换为 ARP 协议类型的数据包, 经由交换机发送到本局域网所属终端, 同时捕捉地面局域网内 ARP 响应包并转换为空中接口协议包, 由卫星网络进行透明转发。

步骤3 主站网桥与从站网桥根据步骤2所获取的 MAC 地址、协议类型、发送端 IP 地址和接收端 IP 地址等过滤条件在地面局域网内进行抓包, 将捕获到的 IP 包转换为空中接口协议包, 由卫星网络进行透明转发; 接收端网桥在收到空口包后将其转换为 IP 包, 再判断该 IP 包目的地址是否属于本局域网, 若是则直接通过交换机发送到所属地面局域网内。

此外, 由于 TDMA 有严格的时隙要求, 因此针对 TDMA 设计终端工作流程, 如图2所示。

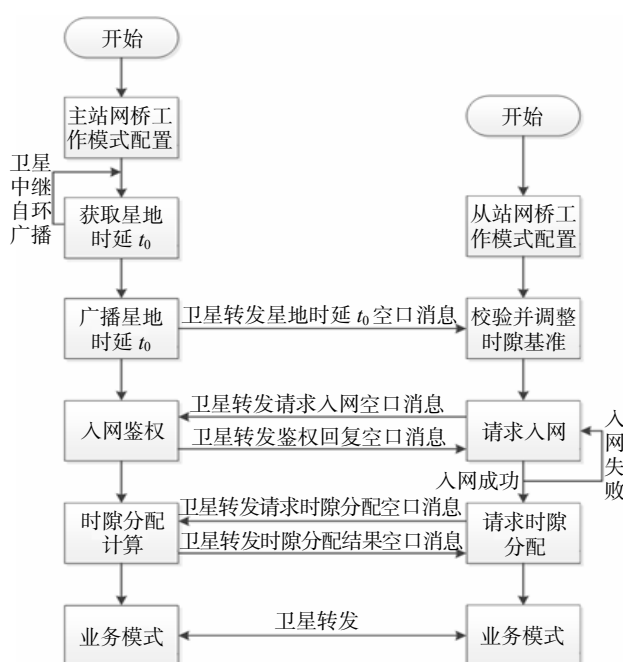


图2 TDMA 终端工作流程

相较于 FDMA, TDMA 流程在步骤1和步骤2之间增加了如下步骤:

步骤1.1 主站网桥通过卫星中继自环广播得到星地时延 t_0 , 并将该时延通过卫星转发;

步骤1.2 从站网桥接收到星地时延 t_0 并调整自身时隙基准, 使从站与主站通信时隙基准同步;

步骤1.3 从站网桥通过卫星通信方式向主站网桥发送入网请求空口消息;

步骤1.4 主站网桥接收到从站网桥入网申请后进行鉴权并发送鉴权回复空口信息, 若鉴权成功, 则从站网桥入网成功, 否则入网失败;

步骤1.5 入网成功后, 从站网桥向主站网桥发送时隙资源申请空口消息;

步骤1.6 主站网桥收到时隙资源申请后进行鉴权并发送时隙分配结果空口信息, 若鉴权成功, 则对从站网桥进行时隙资源分配, 否则时隙资源申请失败。

采用文献[18]中提出的时隙分配算法, 此算法计算量小、复杂度较低, 适合应用于嵌入式系统。本文结合设备使用场景进一步精简原有算法的流程, 精简后的步骤如下:

步骤1 提取有需求的用户。

根据协议设计, 主站在本地维护已成功入网用户的信息表。主站从该用户信息表中遍历出有

资源需求的用户,并记录他们申请业务的速率.

步骤2 计算各用户需要的时隙个数.

根据选择的调制编码方式可以得到信道每个时隙最大传输速率 v_{ch} , 以及步骤1中筛选出来有业务需求用户的申请速率 v_i , 得到各用户所需时隙数 C_i :

$$C_i = v_{ch} / v_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (1)$$

式中: i 为用户编号.

步骤3 分配用户时隙.

在得到各用户所需时隙数 C_i 后, 还需得到一个时隙周期包含的时隙个数 C_{slot} .

$$C_{slot} = T / T_{slot}, \quad \text{s.t. } T < T_{slot}, \quad (2)$$

式中: T 为时隙周期; T_{slot} 为时隙长度.

用户的时隙资源分配实质就是将 C_i 合理分布在 C_{slot} 里. 同时, 考虑到用户体验感, 每个用户的时隙资源应尽量均匀地分布在每个时隙周期中, 避免出现堆积在时隙周期的头或尾. 为此, 需要计算每个用户的时隙间隔 I_i .

$$I_i = \text{ceil}(C_{slot} / C_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (3)$$

$$C_{slot} = C_{slot} - I_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (4)$$

$$\text{s.t. } \begin{cases} C_{slot} \geq I_i, \\ I_i \geq 1. \end{cases}$$

将公式(3)和公式(4)进行迭代运算, 当 $I_i < 1$ 或 $C_{slot} < I_i$ 时, 当前时隙周期内所剩下的时隙无法满足当前用户需求, 此时结束迭代, 并通过信令通知无法满足当前用户需求. 最终可生成一个时隙与用户 ID 映射关联的表, 并将此表通过空口广播下发给各站网桥.

2 窄带卫星通信系统地面通用多模网桥软件设计

2.1 架构分析

窄带卫星通信系统地面通用多模网桥软件采用嵌入式 Linux 作为操作系统, 主要有 4 层架构, 分别为板级驱动包(BSP)层、系统内核层、系统公共函数层和应用层^[19]. 层级之间关系如图 3 所示. BSP 为系统提供驱动. 内核则参与线程及进程调度、切换以及系统资源管理. 系统公共函数提供 API 接口供用户调用, 为应用层和内核搭起桥梁. 应用层为用户具体实现进程的处理逻辑以及进程间的通信功能. 本文程序设计主要针对应用层.

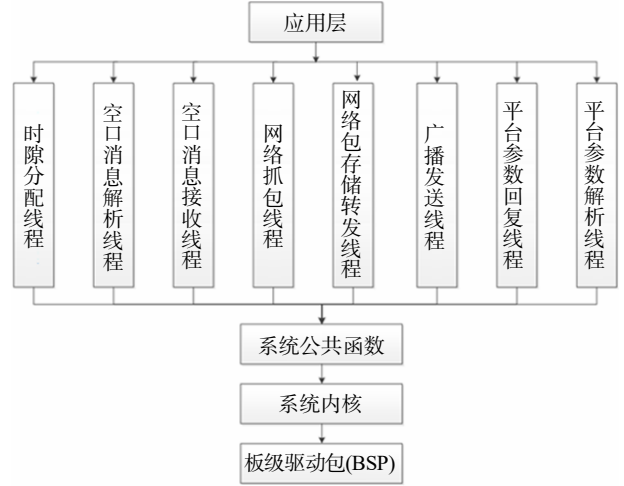


图3 系统架构层间关系

2.2 多线程分析

窄带卫星通信系统地面通用多模网桥软件采用多线程设计, 一定程度上可提高数据交互效率, 减少程序响应时间^[20], 其主要包括 9 个线程, 按优先级从高到低排列依次为初始化线程、平台参数解析线程、平台参数回复线程、时隙分配线程、空口消息接收线程、空口消息解析线程、网络抓包线程、网络包存储转发线程、广播发送线程. 其中平台参数解析线程和平台参数回复线程优先级相同, 空口消息接收线程和空口消息解析线程优先级相同, 优先级相同的线程采用时间片轮转的调度策略. 各线程之间运行关系如图 4 所示.

初始化线程优先级最高, 主要完成系统参数初始化以及默认参数配置. 初始化线程成功完成后, 会通过子线程分别创建平台参数解析线程、平台参数回复线程、时隙分配线程、空口消息接收线程、空口消息解析线程、网络抓包线程、网络包存储转发线程、广播发送线程.

平台参数解析线程和平台参数回复线程主要为用户提供可配置工作参数, 包括调制方式、编码方式、符号速率、时隙总数. 配置完后通过信号量驱动平台参数回复线程进行肯定或否定回答. 与平台的通信采用管道方式.

广播发送线程用于主站向终端发送广播消息, 包括用于各终端时间同步的时间信息表、用于 TDMA 模式各终端的时隙分配表.

网络抓包线程和网络包存储转发线程主要通过 LIBPCAP 抓取网络上的 IP 通信包, 并通过过滤

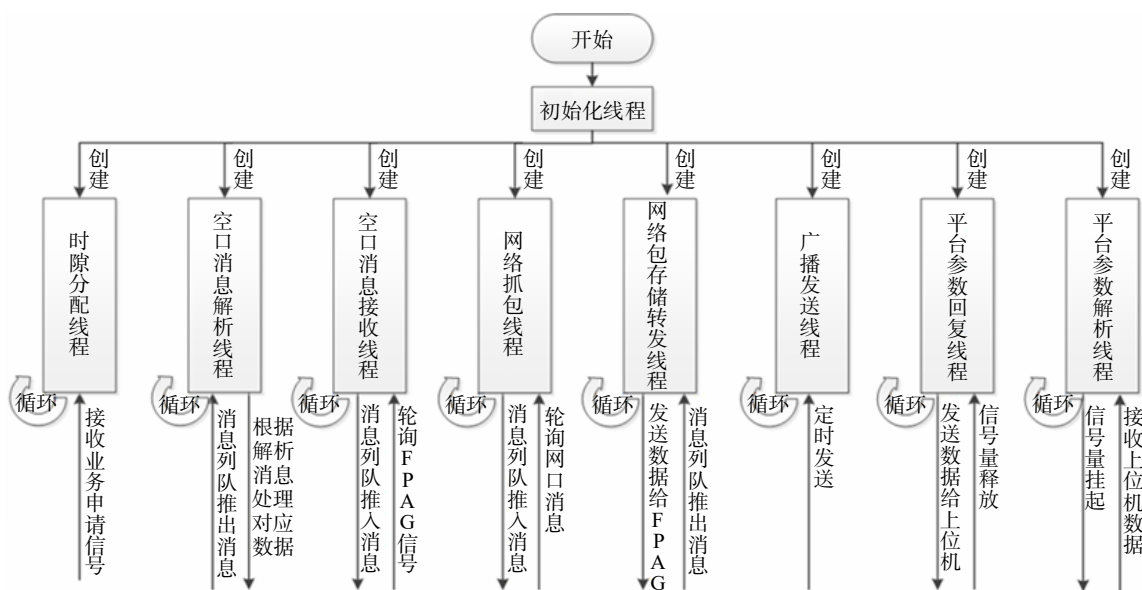


图4 线程运行关系

筛选出有用的包, 将这些包封装为空口帧, 通过FPGA由射频发送给卫星, 并通过卫星转发给对端。由于抓包和FPGA发送出现了速度不匹配的情况, 为了保证不丢包, 本文采用消息队列进行缓冲。

空口消息接收线程和空口消息解析线程用于接收卫星转发到终端的消息并解析。空口消息包含两种类型, 分别为信令消息和业务数据。信令消息包括广播消息、入网申请消息、入网回复消息、TDMA模式下的资源申请消息。业务数据是由卫星转发并被封装为空口协议的IP包, 在收到后将数据通过网卡发送给所连接设备。

时隙分配线程由业务申请信令通过信号量触发, 该线程通过业务申请参数, 由时隙分配算法计算出所分配的时隙个数, 再将结果通过广播发送给各终端。

2.3 线程间通信方式

Linux操作系统为线程间和进程间通信提供了多种方式, 窄带卫星通信系统地面通用多模网桥软件根据程序功能和需求, 在线程间采用了信号量和消息队列的通信方式, 进程间采用了管道的通信方式。

2.3.1 信号量

Linux中利用信号量来实现不同线程之间的同步和互斥, 本文采用二进制信号量实现线程同步。图5、图6表示通过信号量驱动线程运行的流程。

如图5所示, 当主站的空口消息接收线程收到

空口消息后, 若判断消息为资源申请信令, 则会释放相应信号量, 驱动时隙分配线程进行时隙分配计算, 时隙分配线程此时由挂起态切换为就绪态, 并由操作系统进行线程调度, 直至时隙分配完成, 时隙分配线程恢复挂起态。

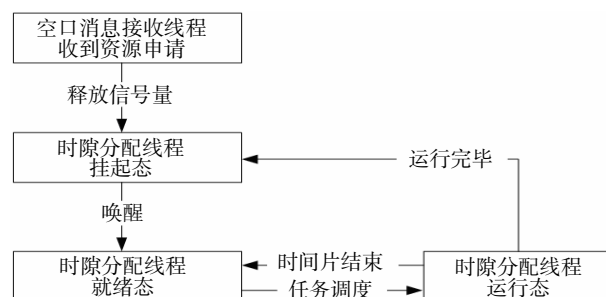


图5 空口消息接收线程驱动时隙分配线程流程

如图6所示, 平台参数解析线程在收到参数配置消息后对相应参数进行设置, 并将配置结果返回给平台软件用于在用户界面显示。其大致的驱动流程和图5一致, 此处不重复描述。

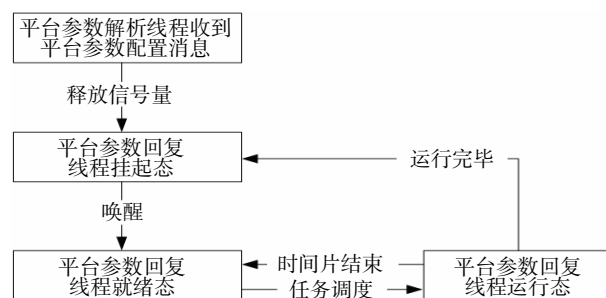


图6 平台参数解析线程驱动平台参数回复线程流程

2.3.2 消息队列

信号量虽然可以实现不同线程之间的同步或互斥,但是无法实现线程间传输不同长度的数据.此时,消息队列可以达到这一目的.图7所示为线程间消息队列通信流程.

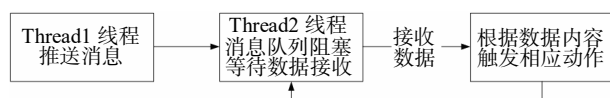


图7 线程间消息队列通信流程

本文中串口消息和网络包的处理分别通过两个队列进行不同线程间的传输通信.串口消息解析线程监听消息队列是否有数据,当串口消息接收线程收到数据后向队列里推入数据,此时串口消息解析线程会从队列中收取数据并进行解析,根据解析内容触发相应动作.网络包数据处理同理,网络抓包线程通过LIBPCAP进行网口抓包,并利用抓包过滤条件筛选出有用的数据包进行串口协议组帧后推入队列,此时,一直监听队列的网络包存储转发线程从队列中获取数据,并将数据通过DMA方式传给FPGA进行射频传输.

2.3.3 管道

管道可以实现不同进程间的通信需求.本文所提及的平台参数配置由同在一个系统里的Web服务进行参数下发,该Web服务可由用户通过网页登录,对设备参数进行配置.由于Web服务与本文程序为两个进程,且两进程之间数据传输速率要求低,传输数据单帧数据量不高,因此采用简单的管道进行通信.

3 测试结果

窄带卫星通信系统地面通用多模网桥构建完成后,分别对其做了功能和性能的有线测试来模拟系统连接卫星后的状态.设备测试中基带和基带通过射频线连接,具体连接关系如图8所示.

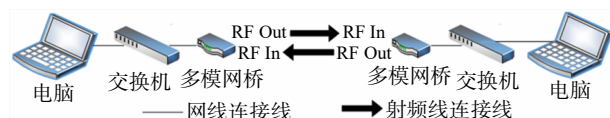


图8 通信测试设备连接

功能测试包括对主要功能项的测试,性能测试包括对各接入方式与调制编码集下数据传输速率和丢帧率的测试.主要功能项测试结果见表2.

表2 主要功能项测试结果

序号	测试项	有线测试	无线测试
1	初始化	正常	正常
2	用户入网	正常	正常
3	用户资源申请(TDMA 特有)	正常	正常
4	时隙分配数量(TDMA 特有)	正常	正常
5	自环通信	正常	正常
6	主站小站通信	正常	正常

在保证功能正常后分别进行TDMA和FDMA在不同调制编码集下数据传输速率和丢包率的测试,测试结果见表3和表4.

表3 TDMA模式传输性能测试结果

序号	发送调制方式_编码 方式 符号速率	支持最大速 率/(Mb·s ⁻¹)	实测速率/ (Mb·s ⁻¹)	丢帧率/ %
0	BPSK_1/2_20Mbps	4.40	4.20	0
1	BPSK_3/4_20Mbps	6.60	6.50	0
2	BPSK_7/8_20Mbps	7.70	7.62	0
3	QPSK_1/2_20Mbps	8.80	8.50	0
4	QPSK_3/4_20Mbps	13.2	13.0	0
5	QPSK_7/8_20Mbps	15.4	15.0	0
6	8PSK_1/2_20Mbps	13.2	13.0	0
7	8PSK_3/4_20Mbps	19.8	19.0	0
8	8PSK_7/8_20Mbps	23.1	22.0	0.005 5
9	BPSK_1/2_10Mbps	2.20	2.10	0
10	BPSK_3/4_10Mbps	3.30	3.25	0
11	BPSK_7/8_10Mbps	3.85	3.80	0
12	QPSK_1/2_10Mbps	4.40	4.30	0
13	QPSK_3/4_10Mbps	6.60	6.50	0
14	QPSK_7/8_10Mbps	7.70	7.50	0
15	8PSK_1/2_10Mbps	6.60	6.46	0
16	8PSK_3/4_10Mbps	9.90	9.77	0
17	8PSK_7/8_10Mbps	11.5	11.0	0
18	BPSK_1/2_5Mbps	1.10	1.00	0
19	BPSK_3/4_5Mbps	1.65	1.63	0
20	BPSK_7/8_5Mbps	1.93	1.92	0.02
21	QPSK_1/2_5Mbps	2.20	2.16	0
22	QPSK_3/4_5Mbps	3.30	3.00	0
23	QPSK_7/8_5Mbps	3.85	3.82	0
24	8PSK_1/2_5Mbps	3.30	3.23	0
25	8PSK_3/4_5Mbps	4.95	4.88	0
26	8PSK_7/8_5Mbps	5.75	5.54	0
27	BPSK_1/2_2Mbps	0.44	0.43	0
28	BPSK_3/4_2Mbps	0.66	0.65	0

续表				
序号	发送调制方式_编码 方式_符号速率	支持最大速 率/(Mb·s ⁻¹)	实测速率/ (Mb·s ⁻¹)	丢帧率/ %
29	BPSK_7/8_2Mbps	0.77	0.75	0
30	QPSK_1/2_2Mbps	0.88	0.86	0
31	QPSK_3/4_2Mbps	1.32	1.30	0
32	QPSK_7/8_2Mbps	1.54	1.50	0
33	8PSK_1/2_2Mbps	1.32	1.21	0
34	8PSK_3/4_2Mbps	1.98	1.92	0
35	8PSK_7/8_2Mbps	2.30	2.28	0
36	BPSK_1/2_1Mbps	0.22	0.21	0
37	BPSK_3/4_1Mbps	0.33	0.31	0
38	BPSK_7/8_1Mbps	0.39	0.38	0
39	QPSK_1/2_1Mbps	0.44	0.43	0
40	QPSK_3/4_1Mbps	0.66	0.62	0
41	QPSK_7/8_1Mbps	0.77	0.74	0
42	8PSK_1/2_1Mbps	0.66	0.63	0
43	8PSK_3/4_1Mbps	0.99	0.97	0
44	8PSK_7/8_1Mbps	1.15	1.00	0

表 4 FDMA 模式传输性能测试结果

序号	发送调制方式_编码 方式_符号速率	支持最大速 率/(Mb·s ⁻¹)	实测速率/ (Mb·s ⁻¹)	丢帧率/ %
0	BPSK_1/2_20Mbps	9.08	8.93	0
1	BPSK_3/4_20Mbps	13.6	13.0	0
2	BPSK_7/8_20Mbps	15.9	15.8	0
3	QPSK_1/2_20Mbps	18.2	17.8	0.002 2
4	QPSK_3/4_20Mbps	27.3	27.0	0
5	QPSK_7/8_20Mbps	31.8	30.0	0
6	8PSK_1/2_20Mbps	27.3	26.0	0
7	8PSK_3/4_20Mbps	40.9	40.0	0.001
8	8PSK_7/8_20Mbps	47.7	47.5	0.000 6
9	BPSK_1/2_10Mbps	4.54	4.47	0
10	BPSK_3/4_10Mbps	6.81	6.50	0
11	BPSK_7/8_10Mbps	7.95	7.91	0
12	QPSK_1/2_10Mbps	9.08	8.50	0
13	QPSK_3/4_10Mbps	13.6	13.0	0
14	QPSK_7/8_10Mbps	15.9	15.8	0
15	8PSK_1/2_10Mbps	13.6	13.0	0
16	8PSK_3/4_10Mbps	20.4	20.0	0
17	8PSK_7/8_10Mbps	23.7	23.0	0
18	BPSK_1/2_5Mbps	2.27	2.24	0
19	BPSK_3/4_5Mbps	3.41	3.37	0
20	BPSK_7/8_5Mbps	3.98	3.95	0

续表				
序号	发送调制方式_编码 方式_符号速率	支持最大速 率/(Mb·s ⁻¹)	实测速率/ (Mb·s ⁻¹)	丢帧率/ %
21	QPSK_1/2_5Mbps	4.54	4.46	0
22	QPSK_3/4_5Mbps	6.81	6.50	0
23	QPSK_7/8_5Mbps	7.95	7.91	0
24	8PSK_1/2_5Mbps	6.81	6.50	0
25	8PSK_3/4_5Mbps	10.2	10.0	0
26	8PSK_7/8_5Mbps	11.9	11.9	0
27	BPSK_1/2_2Mbps	0.91	0.89	0
28	BPSK_3/4_2Mbps	1.36	1.35	0
29	BPSK_7/8_2Mbps	1.59	1.58	0
30	QPSK_1/2_2Mbps	1.82	1.79	0
31	QPSK_3/4_2Mbps	2.73	2.70	0
32	QPSK_7/8_2Mbps	3.18	3.14	0
33	8PSK_1/2_2Mbps	2.73	2.68	0
34	8PSK_3/4_2Mbps	4.09	4.00	0
35	8PSK_7/8_2Mbps	4.75	4.74	0
36	BPSK_1/2_1Mbps	0.45	0.42	0
37	BPSK_3/4_1Mbps	0.68	0.67	0
38	BPSK_7/8_1Mbps	0.81	0.79	0
39	QPSK_1/2_1Mbps	0.91	0.89	0
40	QPSK_3/4_1Mbps	1.36	1.35	0
41	QPSK_7/8_1Mbps	1.59	1.58	0
42	8PSK_1/2_1Mbps	1.36	1.34	0
43	8PSK_3/4_1Mbps	2.04	1.99	0
44	8PSK_7/8_1Mbps	2.37	2.37	0

可以看出, 实测速率接近设计最大速率, TDMA 实测速率最高能达到理论速率的 96%以上, FDMA 能达到 97%以上, 平均丢帧率不超过 0.1%.

4 结束语

本文针对现有设备在进行地面网络 IP 数据和卫星网络数据融合时, 需要通过各节点进行协议转换, 不具备通用性这一问题, 提出一种针对透明转发模式卫星且支持 TDMA 和 FDMA 的窄带卫星通信通用网桥设备, 并设计了空口协议, 针对 TDMA 模式规划了时隙分配方法, 软件方面根据需求划分为多个功能模块, 对应用层进行了设计, 最后对设备功能和性能分别进行了测试. 经测试, 通信速率满足方案设计的速度, 且通信质量表现较好. 通过此设备, 用户无须再关注空口协议, 只

需将电脑与本设备通过网口连接,即可在卫星覆盖区域进行设备间双向通信.该设备可应用于复杂电磁环境窄带通信的场景.此外,本文所描述的软件设计方案也可为后续工程提供参考.

参考文献:

- [1] 马良,何建伟,王浩铭.全球商业航天发展新趋势及思考[J].国际太空,2021(8):25-30.
- [2] 韦鹏宽.卫星通信与5G融合系统发展探究[J].无线互联科技,2021,18(1):1-2.
- [3] 肖龙龙,梁晓娟,李信.卫星移动通信系统发展及应用[J].通信技术,2017,50(6):1093-1100.
- [4] 马越.卫星导航与5G移动通信融合架构与关键技术研究[J].电脑知识与技术,2019,15(24):38-39.
- [5] 朱斌,何建伟,王光全,等.星地融合网络架构及关键技术研究[J].邮电设计技术,2022(7):56-60.
- [6] 张亚生,彭华,谷聚娟,等.IP over CCSDS网关TCP增强关键技术研究[J].载人航天,2012,18(4):85-89.
- [7] 张亚生,孙晨华,谷聚娟.天地一体化网络协议研究[J].无线电工程,2018,48(3):178-182.
- [8] 李少宾,张亚生,宋春晓.IP over CCSDS协议转换技术研究[J].载人航天,2012,18(6):13-19.
- [9] CCSDS 701.0-B-3. Advanced orbiting systems, networks and data links: Architectural specification[S]. 2001:68-80.
- [10] CCSDS 701.0-B-2. AOS space data link protocol[S]. 2006:35-54.
- [11] 闫前进,钟卫强,徐琪,等.CCSDS与TCP/IP协议转换的研究与实现[J].电信快报,2021(2):21-26.
- [12] 徐鸣,张世杰.基于高通量卫星的天地融合宽带通信现状与应用展望[J].中国航天,2020(1):54-59.
- [13] 滑海.窄带多通道卫星通信技术研究[EB/OL].石家庄:河北科技大学,2016.
- [14] 曾碧玥.低轨道小卫星窄带通信系统设计与实现[D].成都:西南交通大学,2019.
- [15] Lawrence Berkeley National Labs Network Research Group. Tcpdump/libpcap project[EB/OL]. [2022-09-12]. <http://www.TCPDUMP.org/>.
- [16] Deri L. Improving passive packet capture: Beyond device polling[EB/OL]. [2022-11-10]. <http://luca.ntop.org/Ring.pdf>.
- [17] Papadogiannakis A, Vasiliadis G, Antoniadis D, et al. Improving the performance of passive network monitoring applications with memory locality enhancements[J]. Computer Communications, 2012, 35(1):129-140.
- [18] 左云鹏,万扬洋,苟亮,等.低轨卫星网络资源动态分配策略设计[J].信息化研究,2022,48(3):18-22.
- [19] 马后权.基于STM32MP157的Linux技术研究和相关子系统驱动开发[D].北京:中国电子科技集团公司电子科学研究院,2022.
- [20] 盛传中.基于Linux多线程溯源系统的设计与实现[D].武汉:武汉理工大学,2014.

Design and implementation of terrestrial general-purpose multi-mode bridge for narrowband satellite communication systems

ZUO Yunpeng¹, BIAN Dongming², GU Luhuan¹, GOU Liang¹, WAN Yangyang¹

(1.Nanjing Smart Constellation Information Technology Co., Ltd., Nanjing 210007, China;

2.PLA Army Engineering University, Nanjing 210001, China)

Abstract: Existing terrestrial bridges in satellite communication systems adopt in most cases private protocols and customized structure for IP data transmitting from satellite to ground, which requires the extra efforts on pre-system joint testing and later equipment expansion. Meanwhile, compared with broadband communications, narrowband occupies less spectrum resources, which skips a high signal-to-noise communication environment, and can thus be applied in complex electromagnetic environments and other special scenarios. To tackle the existing shortcomings, a terrestrial universal bridge device is designed in this paper for enabling satellite as transparent forwarding with the protocol and software design described in detail. Finally, the function and performance are tested by interoperable communication experiment through the baseband of two devices simulating the equipment and transparent forwarding satellite networking. The test results prove the effectiveness of the presented scheme.

Key words: satellite communication system terrestrial bridge; satellite communication system; narrowband communication; LIBPCAP; Linux multi-thread

(责任编辑 韩超)