doi:10.11887/j.cn.201903016 http://journal.nudt.edu.cn

空间应用载荷的天地端到端IP隧道协议通信架构设计*

邱爱华,张 涛,乔旷怡,顾逸东
(中国科学院 空间应用工程与技术中心 太空应用重点实验室,北京 100094)

摘 要:在地面运控子网和载荷信息网中设计IPsec、GRE或RFC2003三种IP隧道协议,通过平台信息网和天地测控网,封装的用户数据包能在天地通信链路中路由,以支持在轨载荷和地面运控终端之间端到端的灵活通信。设计支持IP隧道协议通信的天地一体化信息网络架构,给出各级路由器的设置和网段IP地址分配,计算和分析出三种IP隧道协议的通信效率与实时性。分析结果表明,采用IP隧道协议对改变传统地面运控模式、提高运控效率具有重要意义。

关键词:网际隧道协议;天地一体化;载荷运控;网际协议;端到端;空间数据系统咨询委员会
中图分类号:V19 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-2486(2019)03-099-07

Design of communication architecture for end-to-end IP tunnel protocol oriented space utilization payload

QIU Aihua, *ZHANG Tao*, *QIAO Kuangyi*, *GU Yidong*
(Key Laboratory of Space Utilization, Technology and Engineering Center for Space Utilization, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: In ground operation and control subnet and payload information network using IPsec, GRE or RFC2003 three IP tunnel protocol, through the platform information network and the telemetry, tracking, and command network, the user data encapsulated into IP tunnel protocol can be routed in communication link between the spacecraft and the ground so as to support the payload and the ground transport flexible end-to-end communication between two control terminals. The information management architecture of world integration was designed to support IP communication, the setting of router and IP address allocation were given, and the communication efficiency and timeliness of three IP tunnel protocols were calculated and analyzed. The analysis result shows that the IP tunnel protocol is of revolutionary significance to change the traditional ground operation and control mode and improve the efficiency of operation and control.

Keywords: internet protocol tunneling; world integration; payload operation and control; internet protocol; end-to-end; consultative committee for space data systems

国内外以往的航天系统中,通过天地信息传输支持载荷数据上下行的主要方式为统一S波段(Unified S Band, USB)测控体制。随着通信技术的发展,IP协议成为我国支持航天器与地面运控系统之间通信的主选方式[1]。在空间数据系统咨询委员会(Consultative Committee for Space Data Systems, CCSDS)建立的框架下,国际国内的航天器均开始实施IP over CCSDS[2]的天地测控体制。航天器内部支持平台设备和载荷通信的网络从以往的MIL-STD-1553B总线、RS422、LVDS、1394总线,逐步发展到普通以太网、时间触发以太网[3]或者FC-AE-1553高速总线[4]。我国已经在后续载人航天飞行器中建设了IP over CCSDS通信体制,通过与航天器内部以太网和地面以太网的链接,有望实现天地一体化的IP通信。因此,无论载荷通信采用哪种网络形式,航天器与地面系统之间支持全链路IP通信的需求已经日益显现。

美国航空航天局(National Aeronautics and Space-Administration, NASA)曾提出太空扩展因特网技术的计划[5],并于2009年发射携带Cisco公司的IRIS Internet Router的卫星。同样在2009年,NASA开始实施研究和制定空间以太网标准,目的是用于部署未来的空间网络[6]。

无论是国际上还是国内,将地面运控子网、天地测控网、航天器内部网,以及载荷信息网或载荷内部,或是多个飞行器之间,支持全链路的IP协议,实施灵活的在轨运控和IP路由通信,是当前

* **收稿日期**:2018-03-10
作者简介:邱爱华(1976—),男,湖北洪湖人,副研究员,博士,E-mail:qpaihua@aoe.ac.cn

在轨载荷通信和地面运控的发展趋势。

然而,由于载荷信息网、地面运控子网与航天器平台信息网、天地测控网的网络体系不一致,并不是一个直接互联互通的网络。他们之间既要相互通信,又要相互隔离以提高可靠性和安全性。航天器平台信息网络也不具备直接将IP数据包路由至地面运控子网或载荷信息网的网络终端节点的条件。因此,为了支持地面运控子网和在轨载荷信息网络之间全链路的端到端IP协议通信,采用IP隧道协议的通信方式应运而生。

1 IP隧道协议

1.1 IPsec

IPsec是一种开放标准的框架结构,通过使用加密的安全服务以确保在IP网络上进行保密且安全的通信。IPsec提供了两种安全机制:认证和加密。认证机制使IP通信的数据接收方能够确认数据发送方的真实身份以及数据在传输过程中是否遭篡改。加密机制通过对数据进行编码来保证数据的机密性,以防数据在传输过程中被窃听。IPsec协议组包含AH协议、ESP协议和IKE协议[7]。其中AH协议定义了认证的应用方法,提供数据源认证和完整性保证;ESP协议定义了加密和可选认证的应用方法,提供可靠性保证。这两种IP隧道数据包的帧格式如下:

1)AH隧道通信模式。AH模式下,通信数据帧格式如图1所示,AH头的最小长度为16 B。

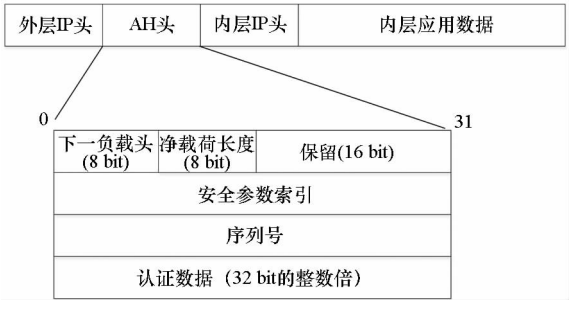


图1 AH隧道通信数据帧

Fig. 1 Communication data frame of AH tunnel

2)ESP隧道通信模式。ESP通信数据帧格式如图2所示。由于ESP包支持的长度不固定,且通常较长,并不太适合作为天地IP隧道协议被采用。

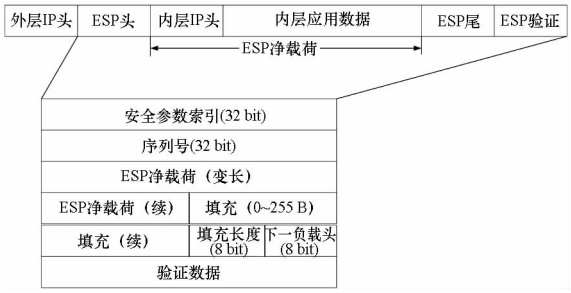


图2 ESP隧道通信数据帧

Fig. 2 Communication data frame of ESP tunnel

1.2 GRE

GRE可以对某些网络层协议的数据报文进行封装,使这些被封装的数据报文能够在IPv4网络中传输。需要封装和传输的数据报文,称之为净荷,系统收到一个净荷后,首先使用封装协议对这个净荷进行GRE封装,加上了一个GRE头部成为GRE报文;然后把封装好的原始报文和GRE头部封装在IP报文中,这样就可完全由IP层负责此报文的前向转发[8]。GRE协议可作天地之间IP隧道协议,具体数据帧格式如图3所示。

GRE头最小只占4 B,图3中C表示校验和标志位,R表示路由标志位,K表示密钥标志位,S表示序列号同步标志位,s表示严格源路由标志位。协议类型一般采用IP协议0800H。

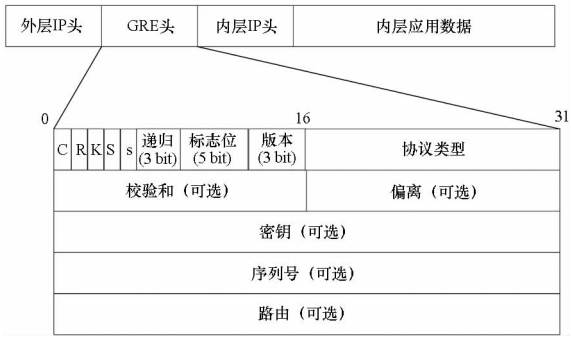


图3 GRE隧道通信数据帧

Fig. 3 Communication data frame of GRE tunnel

1.3 在IP内封装IP

在IP内封装IP协议就是RFC2003标准规定的IP封装协议,可在IP数据报文中封装另一个IP数据包(作为净负载)的方法[9],封装通过把路由信息送往某个目的地,把正常的IP路由变为数据报文。其封装IP数据包的数据格式如图4所示,不需要多余的封装头尾信息。



图 4　RFC2003 隧道通信数据帧

Fig. 4　Communication data frame of RFC2003 tunnel

2　端到端通信需求

以单个航天器为例,图 5 为典型的航天器天地网络通信架构,支持航天器中载荷通信的架构分为三个部分,每部分的介绍如下。

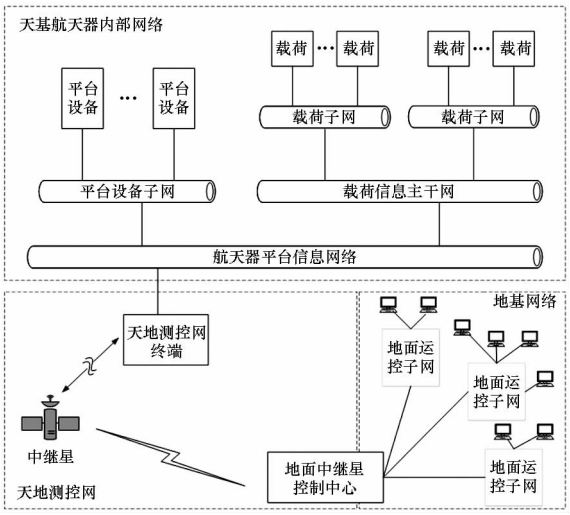


图 5　支持 IP 通信的天地一体化信息网络架构

Fig. 5　World integration information network architecture that supports IP communication

1)天基航天器内部网络:包含航天器平台信息网络,航天器平台网络连接多个平台设备子网和载荷信息主干网,载荷信息主干网又连接多个载荷子网,载荷子网连接多个载荷终端。航天器平台信息网络与天地测控网终端相连。平台网络采用 IEEE 802.3 – 2005TM 中的 IPV4 协议[10],选用 B 类 IP 私有地址号段 172.16.x.x ~ 172.31.x.x,而载荷信息网络选用的是 C 类 IP 私有地址号段 192.168.x.x ~ 192.168.255.255。

2)天地测控网:包含航天器上的测控网终端、中继卫星和地面中继卫星控制中心,采用 IP over CCSDS 的测控体制,具体传输时将航天器平台信息网络的外层 IP 数据包直接封装到 IP over CCSDS 的测控数据包中传输。其中天地测控网终端同时具有航天器平台信息网络的 IP 地址,也具有 IP over CCSDS 体制的测控网地址分配。而地面中继卫星控制中心,则同时具有天地测控网地址分配,也具有地基网络部分的 IP 地址分配。

3)地基网络:包括地面中继卫星控制中心的部分设备,地面运控子网和终端,地面运控子网的 IP 地址号段为 C 类私有地址:192.168.x.x ~ 192.168.255.255,与航天器上载荷子网的网络 IP 号段不重复。

为了支持地面运控子网中的终端直接访问载荷子网中的载荷,即地面 C 类地址号段 IP 数据包直接路由至在轨载荷子网,需要穿越天地测控网和航天器平台信息网络。由于 B 类地址网络和 C 类地址网络所处的层级不同,C 类地址的 IP 数据包在 B 类地址的网络中并不可见,B 类地址网络不具备路由载荷终端或运控子网终端 IP 数据包的条件,C 类地址的 IP 数据包会被平台信息网络路由器或交换机识别后丢弃,因而 C 类地址 IP 数据包的转发需要采用 IP 隧道封装技术,嵌入 B 类地址的外层 IP 数据包中才能实现端到端的通信。具体在执行地面运控子网 IP 数据包上行运控时,需将地面运控子网的源 IP 数据包经地面中继星控制中心封装,填入天地测控网识别的航天器平台信息网络 B 类地址的外层 IP 数据包内部。再由航天器平台信息网络将外层 IP 数据包剥离后将内层 IP 数据包送至载荷子网内部,后由载荷子网通过以太网的 ARP 协议寻址到载荷。反之,在执行载荷子网中的载荷直接访问地面运控子网的终端,也需采用 IP 隧道协议,将载荷子网的 C 类地址号段的 IP 数据包封装至航天器平台的外层 IP 数据包中,然后经天地测控网传送至地面中继星控制中心,由地面中继星控制中心将外层 IP 数据包剥离后,将内层 IP 数据包送至地面运控子网终端。如此则可进行载荷和地面运控终端的天地一体化端到端的灵活通信,大大提高运控效率。

3　IP 封装流程

3.1　IP 通信数据流

地面运控子网终端与在轨载荷子网载荷进行的 IP 隧道通信过程如图 6 所示。地面运控计算机向有效载荷计算机发起 IP 通信,经过地面运控局域网、天地测控网、航天器平台 B 类地址信息网、载荷信息骨干网,最后送达载荷子网的载荷终端。通过 IP 隧道协议,在地面运控子网将内网 IP 数据包封装在外层 IP 数据包中,经天地测控网和平台信息网,IP 隧道数据包路由至载荷信息骨干网,然后由载荷信息骨干网路由器解封 IP 隧道协议,将内层 IP 数据包路由至目的载荷子网,由载荷子网路由器寻址后将内层 IP 数据包发往载荷终端。

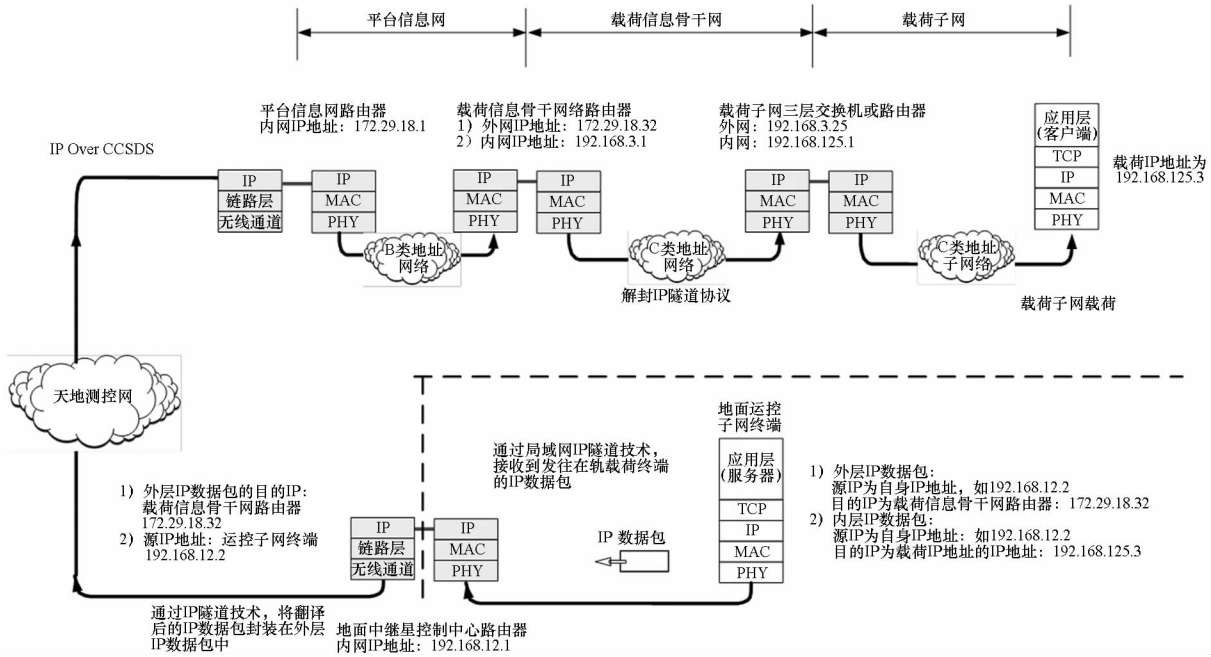


图 6 地面运控子网终端和载荷终端之间的 IP 隧道协议数据流

Fig. 6 IP tunnel protocol data flow between the ground control subnet terminal and the payload terminal

3.2 封装与解封

地面运控子网终端和在轨载荷终端之间的 IP 隧道协议传送的 IP 数据包的封装与解封流程如图 7 所示。内层 IP 经过外层 IP 封装后，再经过天地 IP over CCSDS 协议封装，在轨时，平台信息网解封 IP over CCSDS 协议，载荷信息骨干网解封外层 IP 协议，然后将内层 IP 数据包转发给载荷子网。

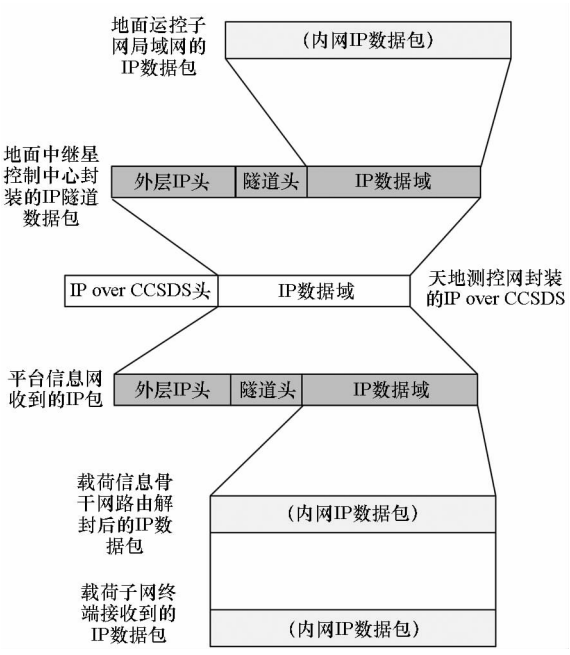


图 7 IP 隧道协议的封装与解封流程

Fig. 7 Encapsulation and unsealing process of IP tunnel protocol

4 路由器配置

4.1 路由器设置

根据上述分析，由于需将地面运控子网终端的内层 IP 数据包送至在轨载荷终端，需经过多个路由转发设备，因而在整个天地通信架构中需设置多个路由器。各个路由器的设置和网络 IP 地址号段的分配见表 1。

4.2 路由表项

天地测控网采用 IP over CCSDS 专有协议。平台信息网由于采用 B 类地址，其网络只有一个网段。载荷信息骨干网也是一个网段，路由器表项需记录各个终端的 IP 地址。由于载荷子网和地面运控子网都是多个网段共存，针对载荷子网和地面运控子网的路由表项设计，可以采用无类域间路由选择方式（Classless Inter-Domain Routing，CIDR），减少路由器的表项设计。具体设计时，例如载荷子网 192.168.125.x 的网段，CIDR 计法为 192.168.125.0/24，地面运控子网只需按网络号记录路由表项。

5 计算与分析

5.1 数据包定义

现有天地测控网的网络延时依赖于测控网和中继星的通信条件，而无线通信的延迟性能通常较宽。若天地之间的 IP 数据包中的传输层采用

表 1　路由器设置和网络 IP 地址段分配

Tab. 1　Router settings and network IP address allocation

路由器名称	连接的网络	相关 IP 地址分配
地面中继星控制中心路由器	地面运控子网	网关 IP 地址:192. 168. 12. 1 终端 IP 地址:192. 168. 12. 2 ~ 192. 168. 12. 255
	天地测控网	IP over CCSDS 专有地址
平台信息网路由器	天地测控网	IP over CCSDS 专有地址
	平台信息网	网关 IP 地址:172. 29. 18. 1 终端 IP 地址:172. 29. 18. 2 ~ 172. 29. 18. 255
载荷信息骨干网路由器	平台信息网	终端 IP 地址:172. 29. 18. 32
	载荷信息骨干网	网关:192. 168. 3. 1 终端 IP 地址:192. 168. 3. 2 ~ 192. 168. 3. 255
载荷子网路由器	载荷信息骨干网	终端 IP 地址:192. 168. 3. 25
	载荷子网	网关:192. 168. 125. 1 终端 IP 地址:192. 168. 125. 2 ~ 192. 168. 125. 255

TCP 协议,可能会涉及重传失败,TCP 协议的开销和拥塞控制也会占用较大的网络带宽,因此天地之间的内、外层 IP 协议数据包传输采用 TCP 协议通信具有很大的不确定性。而 UDP 协议相对较为灵活,涉及可靠性设计的部分可交给 UDP 的上层应用协议来实现,因此航天器载荷子网中的载荷和地面运控子网终端的 IP 隧道通信只在传输层采用 UDP 协议。

天地测控网传送的有效数据整包数据长度为 1024 B,除去测控网的附加信息和编码信息,实际外层 IP 数据包允许的标准包长为 860 B。在 IP 隧道模式中,支持地面运控子网直接向在轨应用载荷发送内层 IP 数据包,在轨载荷对地面运控子网终端发送下行内层 IP 数据包。内、外层 IP 数据包格式定义如下:

1)内、外层 IP 数据包统一采用 IEEE 802. 3TM - 2005 中的 IPv4 协议,执行标准为 RFC791,不支持自动分片[11],格式如图 8 所示。

2)上行数据,内层 IP 数据包有效数据区一般为飞行控制指令和上行的载荷实验控制数据;下行数据,内层 IP 数据包一般为载荷的科学数据和状态数据。当外层 IP 数据包长度为 860 B 时,实际有效数据区长度允许为 840 B。内层 IP 的数据长度根据所选的 IP 隧道协议而定,采用 IPsec-AH 隧道协议的内层 IP 数据长度最长为 824 B,采用 GRE 隧道协议的内层 IP 数据长度最长为 836 B,采用 RFC2003 隧道协议的内层 IP 数据长度为 840 B。

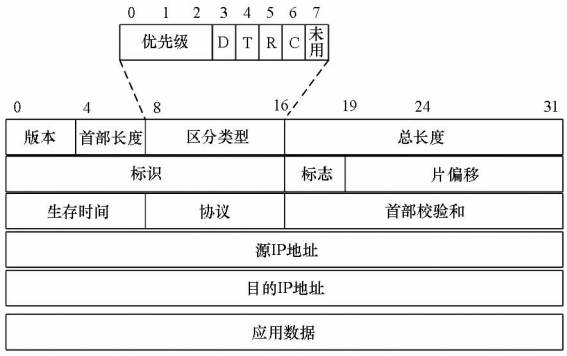


图 8　内、外层 IP 数据包格式

Fig. 8　IP data packet format inside and outside

由于天地测控网的数据包长度为固定长度,为了保证传输格式,地面中继星控制中心路由器和平台信息网路由器会对天地之间传送的外层 IP 数据区中的有效数据进行定长判断和处理。当单个内层 IP 数据包长度超过隧道协议允许的有效数据区长度时,会被平台信息网路由器或地面中继星控制中心路由器拆分成两个内层 IP 数据包,不足字节被填充,然后到目的端后由路由器对内层 IP 数据包做拼包处理,恢复内层完整的源 IP 数据包;当单个内层 IP 数据包长度小于隧道协议允许的长度时,平台信息网路由器或地面中继星控制中心路由器会对该内层 IP 数据包后面数据进行填充,以满足外层 IP 数据包允许的有效数据区长度 840 B。

5.2　通信效率计算

天地测控网提供的外层 IP 数据包的传输带

宽为 600 Mbit/s，以此作为计算依据，可计算 IPsec-AH、GRE 和 RFC2003 等三种方式的通信效率。设定：

1）L_{SH}为隧道协议的导头字节长度，IPsec-AH 为 16 B，GRE 为 4 B 和 RFC2003 为 0 B。

2）内层 IP 数据包的长度为 L_{ip-i}，外层 IP 数据包的长度为 L_{ip-e}，天地测控网通信速率为 V_{link}，载荷实际有效通信速率为 V_u。

3）当内层 IP 数据包等于隧道协议允许的定长时，载荷有效通信速率按式（1）计算。

$$V_u = \frac{L_{ip-i}}{L_{ip-e}} \times V_{link} \tag{1}$$

当内层 IP 数据包超过隧道协议允许的定长，且≤（1500 − L_{SH}）时，有效通信速率按式（2）计算。

$$V_u = \frac{840 - L_{SH}}{L_{ip-e}} \times \frac{V_{link}}{2} + \frac{L_{ip-i} + L_{SH} - 840}{L_{ip-e}} \times \frac{V_{link}}{2} \tag{2}$$

当内层 IP 数据包小于隧道协议允许的定长时，有效通信速率按式（3）计算。

$$V_u = \frac{L_{ip-i}}{L_{ip-e}} \times V_{link} \tag{3}$$

三种隧道协议的通信有效带宽计算结果见表 2。

表 2 中，当内层 IP 数据包小于隧道协议允许的长度时，采用三种隧道协议的有效数据通信效率相当；在外层 IP 数据包固定长度的约束下，当采用隧道协议规定的内层 IP 数据包大于或等于定长时，RFC 隧道协议通信效率最高，定长包（840 B）实际有效通信速率为 586 Mbit/s，长包（1500 B）实际有效通信速率为 523.2 Mbit/s。因此，在进行天地 IP 隧道协议时，若内层 IP 数据包中采用 UDP 协议，如期望高传输带宽，建议采用 RFC2003 隧道协议，数据的可靠传输可交给用户，用户可在 UDP 之上另行定义其他提高可靠传输的应用层协议；若传输带宽并不是瓶颈，需保证天地之间 IP 隧道通信的可靠性和数据安全，则优先采用 IPsec-AH 隧道协议，通过认证机制保证数据的安全和可靠传输。

5.3 实时性分析

在分段网络设计中，载荷信息骨干网和载荷子网采用千兆以太网，载荷下行应用层数据通常采用 2048 B 的有效数据包下行。以千兆以太网典型传输效率 80% 计算，IPsec、GRE、RFC2003 的三种 IP 隧道协议头开销折算后的传输效率分别为 78.5%、79.6%、80%，有效数据速率分别为 785 Mbit/s、796 Mbit/s、800 Mbit/s。三种 IP 隧道协议下的单个网络传输实时性分别为 20.9 μs、20.6 μs、20 μs，在载荷信息骨干网和载荷子网两级网络传输下延迟分别为 41.8 μs、41.2 μs 和 40 μs。

平台信息网采用万兆以太网，以传输效率 80% 计算，IPsec、GRE、RFC2003 的三种 IP 隧道协议头开销折算后的传输效率分别为 78.5%、79.6%、80%，有效数据速率分别为 7.85 Gbit/s、7.96 Gbit/s、8 Gbit/s。传输实时性分别为 2.09 μs、2.06 μs、2 μs。天地测控网的实时性单向在 700 ~ 800 ms 延迟，传输 2048 B 会增加传输延迟 27.3 μs。地面运控子网采用千兆以太网，以传输效率 80% 计算，同比在轨分析，有效数据速率分别为 785 Mbit/s、796Mbit/s、800 Mbit/s，传输实时性分别为 20.9 μs、20.6 μs、20 μs。

表 2 三种隧道协议通信的有效带宽

Tab. 2 Effective communication bandwidth of three tunnel protocols

隧道协议	内层 IP 数据包	外层 IP 数据包	天地通信速率/（Mbit/s）	实际载荷有效通信速率/（Mbit/s）
IPsec-AH	824 B 定长包	单包 860 B	600	574.9
	1484 B 长包	两包 860 B，第二包填充 164 B	600	517.7
	512 B 短包	单包 860 B，填充 312 B	600	357.2
GRE	836 B 定长包	单包 860 B	600	583.3
	1496 B 长包	两包 860 B，第二包填充 176 B	600	521.9
	512 B 短包	单包 860 B，填充 324 B	600	357.2
RFC2003	840 B 定长包	单包 860 B	600	586
	1500 B 长包	两包 860 B，第二包填充 180 B	600	523.2
	512 B 短包	单包 860 B，填充 328 B	600	357.2

载荷下行数据采用 UDP 协议时,三种 IP 隧道协议中传输 2048 B 的有效数据包,下行全链路的最大延迟为 IPsec 协议 800.092 ms,最小延迟为 RFC2003 协议 800.089 ms,相差并不大。同比分析,载荷数据上行采用 1024 B 有效数据包,全链路的最大延迟为 IPsec 协议 800.046 ms,最小延迟为 RFC2003 协议 800.045 ms,亦相差不大。因此,在实时性的对比分析中,三种隧道协议的通信差异甚微。天地一体化的 IP 隧道协议通信为天地遥科学通信和遥操作提供了良好的通信条件。

6　结论

航天器支持天地一体化 IP 协议通信是目前航天技术发展的一种趋势,采用 IP 隧道协议能实现子网 IP 数据包跨平台网络的传输,保证在轨载荷和地面运控子网终端之间灵活的端到端通信,地面运控用户能够透明且可控地直接访问在轨载荷,提高了载荷运控的效率,传统地面运控逐级转发、逐级审核的模式将发生重大变化。三种 IP 隧道协议中 RFC2003 协议的传输带宽最高,而 IPsec-AH 协议的数据传输可靠性和安全性最高,各 IP 隧道协议在通信实时性分析上并无明显差异。IP 隧道协议不仅能实现单个航天器中的载荷与地面运控系统之间的内层 IP 数据包的路由;当多个航天器组合后,各个航天器的载荷终端之间也可以通过 IP 隧道协议完成不同航天器载荷子网的互联互通。

参考文献(References)

[1] 陈洪, 李勇文. 基于 CCSDS 标准的载人航天通信[J]. 载人航天, 2003(3): 57 – 59.
CHEN Hong, LI Yongwen. Manned space communication based on CCSDS standard [J]. Manned Spaceflight, 2003(3): 57 – 59. (in Chinese)

[2] 胡行毅. IP over CCSDS 解析[J]. 卫星与应用, 2010(9): 34 – 40.
HU Xingyi. IP over CCSDS resolution [J]. Application of Satellite, 2010(9): 34 – 40. (in Chinese)

[3] 邱爱华, 张涛, 顾逸东. 面向空间应用的时间触发以太网[J]. 国防科技大学学报, 2014, 36(5): 117 – 123.
QIU Aihua, ZHANG Tao, GU Yidong. Time-triggered ethernet for space utilization [J]. Journal of National University of Defense Technology, 2014, 36(5): 117 – 123. (in Chinese)

[4] 曹素芝, 张善从. 基于无源光网络的高速光纤总线技术研究[J]. 宇航学报, 2011, 32(5): 1156 – 1162.
CAO Suzhi, ZHANG Shancong. Research on high-speed fiber-optic bus based on passive optical network [J]. Journal of Astronautics, 2011, 32(5): 1156 – 1162. (in Chinese)

[5] 周源. 美航天局拟将以太网深入太空[DB/OL]. (2009 – 04 – 11)[2018 – 01 – 20]. http://news.cnw.com.cn/news-international/htm2009/20090416_172038.shtml.
ZHOU Yuan. NASA is going to get Ethernet into space [DB/OL]. (2009 – 04 – 11)[2018 – 01 – 20]. http://news.cnw.com.cn/news-international/htm2009/20090416_172038.shtml.

[6] 邱爱华, 张涛, 顾逸东. 航天器可应用实时以太网分析[J]. 空间科学学报, 2015, 35(3): 360 – 380.
QIU Aihua, ZHANG Tao, GU Yidong. Analysis on application of real-time Ethernet in spacecraft [J]. Chinese Journal of Space Science, 2015, 35(3): 360 – 380. (in Chinese)

[7] The IP security architecture: RFC4301 [S]. USA: Network Working Group, 2005.

[8] 王丽娜, 刘炎, 何军. 基于 IPsec 和 GRE 的 VPN 实验仿真[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(9): 70 – 75.
WANG Lina, LIU Yan, HE Jun. Simulation of the VPN experiment based on IPsec and GRE [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2013, 32(9): 70 – 75. (in Chinese)

[9] IP encapsulation within IP: RFC2003 [S]. USA: Network Working Group, 2003.

[10] Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications: IEEE Std802.3TM[S]. USA: Ethernet Working Group, 2005.

[11] Internet protocol: RFC791 [S]. USA: Information Sciences Institute University of Southern California, 1981.