

IP 环境下 ATN 网间互联模型的设计与实现

徐志燕¹,董淑福¹,姜飞^{2,3}

XU Zhi-yan¹,DONG Shu-fu¹,JIANG Fei^{2,3}

1.空军工程大学 电讯工程学院 网络工程系,西安 710077

2.解放军西安通信学院 通信指挥系,西安 710106

3.西北工业大学 电子信息学院,西安 710072

1.Institute of Telecommunication Engineering,Air Force Engineering University,Xi'an 710077,China

2.Department of Communication & Comand,Xi'an Communication College of the PLA,Xi'an 710106,China

3.Department of Electronic & Information,Northwestern Polytechnic University,Xi'an 710072,China

E-mail:wolfjiangfei@gmail.com

XU Zhi-yan,DONG Shu-fu,JIANG Fei.Design and implementation of ATN interconnection model in IP environment. Computer Engineering and Applications,2010,46(7):99-103.

Abstract: This paper proposes an Aeronautical Telecommunication Network(ATN) interconnection model implemented by using the dedicated IP network to solve the problem of that the traditional ATN is unable to use the IP network to interconnect each ATN domain.Through revising the ATN network layer protocols,this model uses the IP Subnetwork Dependent Convergence Function(IP SND CF) to enable that the encapsulated ATN packet(CLNP packet) can be transfered between ATN domains and the dedicated IP network.At last,through transmitting data packets in a established experimental ATN network,it demonstrates the model possesses feasibility and effectiveness.

Key words: Aeronautical Telecommunication Network(ATN);IP network;IP Subnetwork Dependent Convergence Function(IP SND CF); Connectionless Network Protocol(CLNP)

摘 要:为了解决传统的航空电信网(ATN)无法通过 IP 网络进行互联的问题,提出了一种通过 IP 专网实现各 ATN 域之间互联的 ATN 网间互联模型。该模型通过修改 ATN 网络层协议,使用 IP 子网相关汇聚功能(IP SND CF)实现了封装后的 ATN 数据包(CLNP 包)在各 ATN 域与 IP 专网间的传输。最后,通过在一个已建立的 ATN 试验网上传输数据,验证了该模型的可行性和有效性。

关键词:航空电信网;IP 网络;IP 子网相关汇聚功能;无连接网络层协议

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2010.07.030 **文章编号:**1002-8331(2010)07-0099-05 **文献标识码:**A **中图分类号:**TN91;TP393.03

航空电信网(Aeronautical Telecommunication Network,ATN)是国际民航组织(International Civil Aviation Organization,ICAO)提出的面向新一代航行系统应用的专用网络通信平台。根据 ATN 的协议标准,ATN 各域网若进行互联,所采用的网络互连技术为:使用分组交换网络(X.25)和帧中继网络(Frame Relay,FR)等地-地子网将空管、航空公司、航空行政管理部的地面系统有机连接为一个整体;应用甚高频数据链(VHF)、卫星(AMSS)、高频数据链(HF)、二次监视雷达 S 模式、及舱门通信(GATELINK)等技术将地-空数据通信网络整合进 ATN,在航空地面系统与机载系统之间提供透明的移动通信业务,实现地空一体化通信。

ATN 网络具有相当高的安全性,但随着网络规模及服务模式的不断拓展,ATN 各域所采取的网络互联模式将会带来

诸如成本高、推广与实施困难等问题。与此同时,作为计算机网络标准的 TCP/IP 协议却发展迅速,其技术越来越成熟,应用越来越广泛,产品价格越来越低廉。IP 网已经成为网络互联的首选,TCP/IP 协议也已经成为网络互联技术事实上的工业标准。特别是 IPv6 协议的出现,使 IP 技术具备了用于航空电信网络的性能,IP 技术已经成为航空电信网络的发展方向,并开始应用在航空电信网络中。因此,将成熟的 IP 网络引入 ATN,通过 IP 专网将各 ATN 域互联起来,将会极大地推动 ATN 的发展。

通过对 ATN 网络层数据在 IP 网中传输的分析研究,提出了一种基于 IP 协议的 ATN 网间互联模型。通过实验可以证明,模型采用 IP 子网相关汇聚功能(IP Subnetwork Dependent Convergence Function,IP SND CF)^[1],可以将 ATN 通过 IP 子网有效的互联起来。

基金项目:陕西省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Shaanxi Province of China under Grant No.2006F06)。

作者简介:徐志燕(1981-),女,助理工程师,主要研究领域为宽带通信网络;董淑福(1971-),男,博士,副教授,主要研究领域为光通信与激光技术,通信网络;姜飞(1979-),男,博士研究生,讲师,主要研究领域为网络管理,传感器网络中的移动 Agent。

收稿日期:2008-09-08 **修回日期:**2008-12-03

1 ATN 协议分析

ATN 是一个集成多种数据子网的航空专用网络,为航空公司、航空企业及空管等航空用户提供专门、高效、安全的数据通信服务。ATN 网络遵照 OSI 参考模型对设备命名,主机称为终端系统(End System,ES),路由器称为中间系统(Intermediate System,IS)。ATN 由终端系统(ES)、中间系统(IS)、地-空子网及地-地子网共同构成。

ATN 采用 ISO/OSI 七层参考模型层,协议栈如图 1 所示的。其中数据链路层和物理层指各种 ATN 地面网络和移动网络。网络层采用无连接的网络层协议(Connectionless Network Protocol,CLNP)、端系统-中间系统协议(ES-IS)、中间系统-中间系统协议(IS-IS)、域间路由协议(Inter-Domain Routing Protocol,IDRP)等为主要协议,并使用子网相关汇聚功能(Subnetwork Dependent Convergence Function,SNDCF)实现开放式的互联^[2]。传输层采用传输控制协议 TP4,为上层服务提供一个透明的可靠的数据传输路径。会话层使用面向连接的会话层协议(Connection Oriented Session Protocol,COSP),表示层使用面向连接的表示层协议(Connection Oriented Presentation Protocol,COPP),分别在 ISO/IEC8327^[3]和 ISO/IEC8823^[4]详细说明。

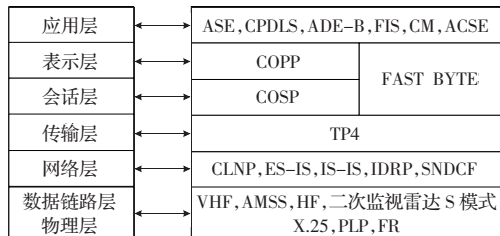


图 1 ATN 协议栈

为了实现多种物理网络的支持,ISO/OSI 协议定义了 SNDCF。SNDCF 作为 ISO/IEC8208^[5]的上层协议,负责选择发送方与接收方的压缩算法,建立与维护报头压缩目录表,以及错误纠正等。SNDCF 工作在网络层和数据链路层之间,通常归属为网络层范畴。SNDCF 的目的是在物理网络之上为互联网络的网络层提供无连接的子网传输服务(SN-Service)。为了使各种子网对于网络层来说不可见,SNDCF 给网络层协议及路由协议提供一个“传输隧道”。针对每一种物理子网所采用的传输协议,SNDCF 设置一种与之对应的 SNDCF,为不同的网络接口提供服务,用于向不同子网发送数据和接收数据。例如:ATN 技术规范所定义的 ISO/IEC 8802-2^[6] Subnetworks SNDCF,Common ICAO Data Interchange Network(CIDIN) SNDCF,ISO/IEC 8208 General Topology Subnetworks SNDCF,ISO/IEC 8208 Mobile Subnetworks SNDCF 等多种 SNDCF,分别支持以太网、X.25 和 CIDIN 等网络。正因为 SNDCF 的存在,才使网络层及其以上的各层可以完全不考虑具体物理网络之间存在的差异,实现开放式互联。

2 ATN 中 IP 子网的实现

2.1 IP 子网的引入

随着 ATN 覆盖的范围越来越广,OSI 通信协议逐渐表现出它的不足。它不仅限制了 ATN 的容量及其进一步扩展,而且也不能支持通信的安全性、保密性和组播技术,ATN 要想获得更加快速的发展就必须选用一种高效、快速、大容量、低成本的网络互联方案。目前,IP 技术不断发展,设备成本越来越低,网

络应用越来越广泛。其中,IPv6 协议支持移动路由、采用密性强的 IPsec 协议,具有大规模的地址空间、自动配置功能和高效的报头。这些优点都使 IP 技术具备了用于航空电信网络的性能。

当 IP 网络作为 ATN 的封装子网使用时,由于 ATN 所采用的 OSI/ISO 协议族与 IP 网络所采用的 TCP/IP 协议族是两套具体技术规范完全不同的系统,因此要想将 IP 网络作为 ATN 的地-地子网或地-空子网实现 ATN 数据在 IP 网络上的可靠传输。就必须实现 ATN(ISO/OSI)协议与 TCP/IP 协议间的转换。

ATN (ISO/OSI) 协议与 TCP/IP 协议间的转换可以采用 IP SNDCF 方式,即在网络层(含)以上使用 ATN(ISO/OSI)协议,网络层加入一个 IP SNDCF 功能,将 ATN 网络层数据包封装为 IP 数据包后再在 IP 网络上传输,如图 2 示。图 2 使用 IP 网络进行 ATN 区域内(Intra-Domain)通信和区域间(Inter-Domain)通信,在 ATN 端系统(ES)和 ATN Router 的网络层加入 IP SNDCF,为网络层数据提供一个传输隧道(Tunnel)。

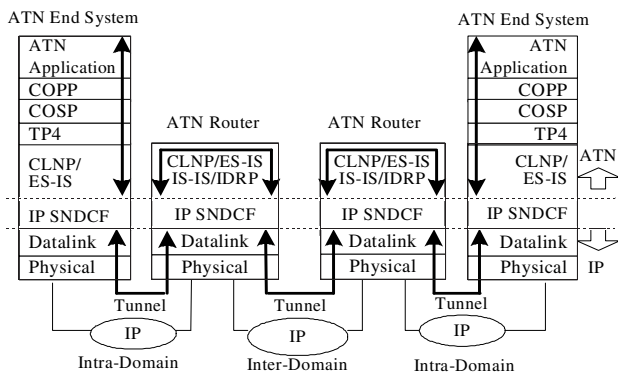


图 2 IP 作为 ATN 子网

当使用 IP 网络作为 ATN 地面数据通信网时,使用地-地 IP 子网连接地面 BIS-BIS(Boundary Intermediate System,BIS),进行地地数据通信。当使用 IP 网络作为 ATN 地-空数据通信网时,IP 子网作为广域网而将空/空路由器(G/G BIS routers)和空/地路由器(A/G BIS routers)连接,进行地空数据通信。考虑到安全问题,ATN 现阶段不使用公共的 Internet 网络,只使用 IP 专用网络。

2.2 IP SNDCF 的功能

2.2.1 IP SNDCF 提供的服务

当 IP 网络作为 ATN 的传输子网时,利用 IP SNDCF 就可以实现 ATN 网络数据在 IP 网络中的封装传输。IP SNDCF 工作模型如图 3 所示:

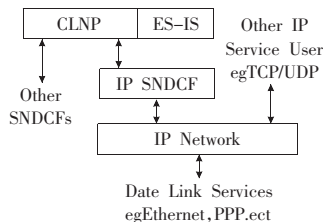


图 3 IP SNDCF 的操作模型图

IP SNDCF 以无需软件接口的方式为 CLNP、ES-IS 协议和下层 IP 网提供 SN-UNITDATA Request 和 SN-UNITDATA Indication 两种子网服务(SN-Services)。SN-UNITDATA Request 用于从 IP 子网接收数据,SN-UNITDATA Indication 用于向 IP 子网发送数据。这两种服务参数相同,分别为 SN-Source-Ad-

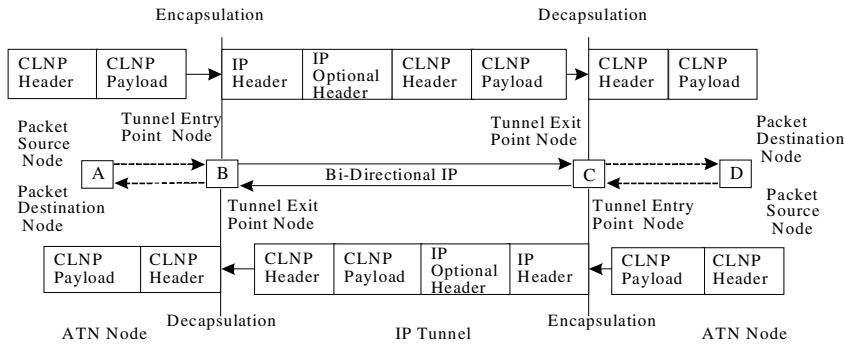


图4 端对端 Tunneling 过程图

dress、SN-Destination-Address、SN-Priority、SN-Quality-of-Service 和 SNS-Userdata。其中 SN-Source-Address、SN-Destination-Address 和 SNS-Userdata 参数为必选项(Mandatory),SN-Priority 和 SN-Quality-of-Service 参数为可选项(Optional)。

SN-Source-Address 和 SN-Destination-Address 分别用于传输子网源地址和子网目的地址。SNS-Userdata 用于传输 SN-Source-Address 和 SN-Destination-Address 间的用户数据。SN-Priority 用于指明 SNS-Userdata 参数的相对重要性。SN-Quality-of-Service(SNqoS)的使用取决于 SN-Service-User 的需求。对于 IPV4 或 IPV6 协议,参数格式有所差异。

2.2.2 IP SNDCF 对数据的封装/解封装

IP SNDCF 通过封装/解封装(Encapsulation/Decapsulation),实现 CLNP 数据与 IP 数据间的格式转换。如图 4 示,节点 B 的 IP SNDCF 为 CLNP 数据添加 IP 包头,封装 CLNP 数据为 IP 数据包,经 IP 隧道(Tunnel)传输到节点 C。节点 C 的 IP SNDCF 将接收到的 IP 数据包通过解封装恢复为原 CLNP 数据。ES-IS 数据的封装/解封装与 CLNP 数据封装/解封装过程相同,只是参数设定上存在差异。

(1)数据发送

IP SNDCF 提供 SN-UNITDATA Request 服务,用于向 IP 网发送数据。发送过程中,调用 SN-UNITDATA Request 服务参数,将 SNS-Userdata 的 CLNP 数据和 ES-IS 数据组成 IP 数据包的数据区,其他四种(SN-Source-Address,SN-Destination-Address,SN-Priority,SN-Quality-of-Service)参数映射为同等意义的 IP 数据赋给 IP 包头。NPDU(Network Protocol Data Unit) Header 中的发送者地址(SN-Source-Address)和接受者地址(SN-Destination-Address)映射为源 IP 地址(Source-IP-Address)和目的 IP 地址(Destination-IP-Address)。SN-Quality-of-Service,对于 IPV4 映射为 IPV4 TOS(Type Of Service),对于 Ipv6 映射为 Traffic-class。源 IP 地址和目的 IP 地址对于 IPV4 是 32 bit,对于 IPV6 是 128 bit。

对于 IPV4,图 4 中的 IP Header 对应为图 5 所示的 Delivery Header,IP Optional Header 对应为 GER Header。当 IPV4 SNDCF 的 SN-UNITDATD Request 服务元素(参数)被调用时,下层 IP 服务使用 IP SNDCF 所提供的参数构造 IP 数据包。SN-Userdata 被置入图 5 的 CLNP PDU,Delivery Header 的 Protocol 设为 80,TOS(Type of Service)前 3 bit 即 DSCF(Differentiated Service Code Point)的值参考表 1 中 CLNP SN-Quality-of-Service 子参数 priority 取值。将 TOS 的最后 2 bit 设为“00”,以表示不支持 ECN(Engineering Change Notice)。剩下的 TOS 区域按照系统要求设为默认值。

表 1 CLNP Priority 到 IP Precedence 映射表

DSCF	IP Precedence	CLNP Priority
000	Routine	0,1,2,3,4,5
001	Priority	6,7
010	Immediate	8,9
011	Flash	10,11,12,13
100	Flash Override	14
101	CRITIC/ECP	N/A
110	Internetwork Control	N/A

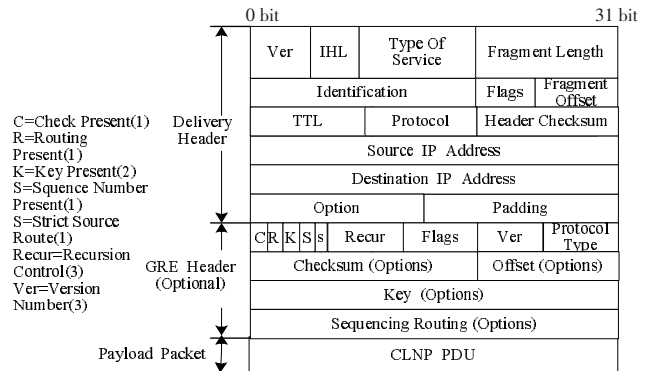


图5 IPv4 SNDCF 对 CLNP PDU 的封装

对于 IPV6,图 4 中的 IP Header 对应为图 6 所示 Header,IP Optional Header 对应为 IPv6 扩展包头(Extension Header)。IPV6 SNDCF 将 SN-Userdata 置入图 6 的 CLNP PDU,IPV6 的 Next Header 设置为 80,Flow Label 字段值设置为 0。Traffic Class 共 8 bit,前 6 bit 即 DSCP 的值设为“xxx000”,最后 2 bit 设为“00”,“xxx”值的设定参照表 1,取决于 CLNP SN-Quality-of-Service 子参数 priority 的值。

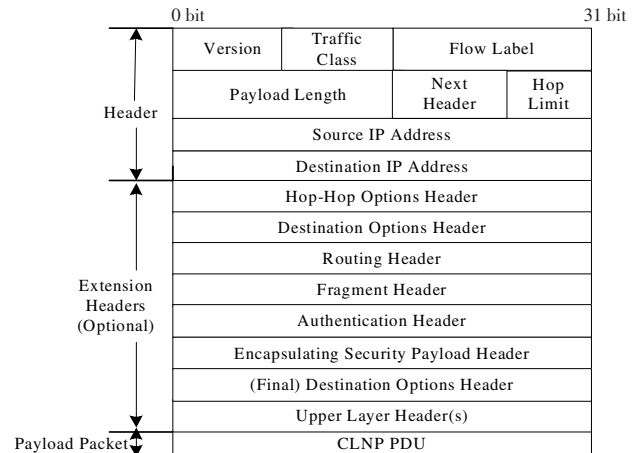


图6 IPv6 SNDCF 对 CLNP PDU 的封装

扩展包头(Extension Header)在IPv6中为可选项。如果存在,扩展包头则紧随包头字段。IPv6包头的Next Header字段识别扩展包头(Extension Header)。IPv6扩展包头按64位排列,其系统开销远远低于IPv4选项;其长度不像IPv4那样有大小限制,唯一的限制就是IPv6数据包的大小。

(2)数据接收

IP SNDCEF 提供 SN-UNITDATA Indication 服务,用于从IP子网中接收IP数据包。接收过程中,调用SN-UNITDATA Indication 服务元素,将IP包头的数据分别赋给相应的参数,交给上层协议处理;将IP数据包数据区数据赋给 SNS-Userdata,向上级传递。

对于IPv4子网,系统应该将Protocol标识设置为80的IPv4数据包发送给IP SNDCEF。将IP Header中的Source-IP-Address的值赋给SN-Source-Address,将IP Header中Destination-IP-Address的值赋给SN-Destination-Address,将IP数据包数据区的数据赋给SN-Userdata。

对于IPv6子网,系统应该将IPv6 Header或IPv6 Extension Header中Next Header设置为80的IPv6数据包发送给IP SNDCEF。将IP Header中的Source-IP-Address的值赋给SN-Source-Address, Destination-IP-Address的值赋给SN-Destination-Address。将IP数据包数据区数据赋给SN-Unitdata。

当SNDCEF被不止一个网络层协议(例如:CLNP和ES-IS)使用时,SN-Userdata第一个字节的值即Protocol标识参照ISO TR9577^[7]设定,以决定这是一个CLNP数据包还是一个ES-IS数据包。随后,所收到的数据包再由合适的协议处理。

(3)错误报告ICMP

Internet控制消息协议(Internet Control Message Protocol, ICMP)定义了Destination Unreachable、Packet Too Big、Time Exceeded和Parameter Problem等ICMP错误信息。当IP SNDCEF收到Destination Unreachable或Time Exceeded ICMP信息时,IP SNDCEF向CLNP管理功能报告问题发生的地址,以便采取合适的行动(例如:有利的邻接替代等)。当IP SNDCEF收到Parameter Problem ICMP消息时,IP SNDCEF向CLNP管理功能报告这一消息所指示出的软件或结构错误,随后网络管理修正这一错误。但是,由于ATN管理系统并不支持ICMP,这一消息将可能被丢弃或不被ATN端系统识别。

3 试验网测试

3.1 建立试验网

图7是Electronic Navigation Research Institute(ENRI)根据French IP SNDCEF Validation Initiative^[8]和ProATN TAR-TTS IP SNDCEF Validation Report^[9],使用IP子网连接边界中间系统(BIS)的结构图,这里BIS为ATN Router。试验网由三个ATN路由域(RD, Routing Domain)和一个IP网络组成,路由域分别标号为RD#1、RD#2、RD#3。每个ATN路由域内都含有一个ATN端系统(ES)和一个ATN Router,路由域内使用ISO/IEC 8802^[10] Local Area Network(LAN)连接ES和BIS,路由域间使用IP网络连接BIS。所有的LAN连接都使用10/100BASE-TX的以太网(Ethernet),LAN的通信限定为10 Mb/s,将装有数据包嗅探软件(packet sniffer)的笔记本电脑连接到以太网LAN网络进行包捕获和分析。

试验网设备采用如表2所示配置。

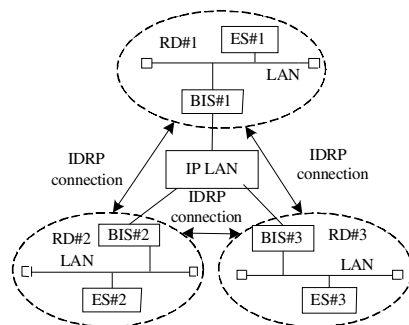


图7 IP子网连接ATN BIS试验网

表2 试验网设备配置

ATN Router	End System	IP router
Okie Electric Industry Ground-Ground ATN Router for Linux, version 1.20	Okie Electric Industry ATN end systems(CM, D-FIS, CPDLC, ADS)	Linux PC

3.2 测试

第一步:建立BIS路由器之间的IDRP连接。

(1)BIS#1发送OPEN PDU(OPEN Protocol Data Unit)建立BIS#1和BIS#2间的IDRP邻接。确认RD#2的NLRI(Network Layer Reachability Information)已经在BIS#1中注册, RD#1的NLRI已经在BIS#2中注册。确认KEEPALIVE PDUs在一分钟内交换。

(2)BIS#2发送OPEN PDU,建立BIS#3和BIS#2间的IDRP邻接。确认RD#2的NLRI已经在BIS#3中注册, RD#3的NLRI已经在BIS#2中注册。确认KEEPALIVE PDUs在一分钟内交换。通过BIS#2到BIS#3的UPDATE PDU确认RD#1的NLRI和BIS#3建立通信,通过BIS#2到BIS#1的UPDATE PDU确认RD#3的NLRI和BIS#1建立通信。

(3)BIS#1发送OPEN PDU,建立BIS#1和BIS#3间的IDRP邻接。确认通过BIS#1和BIS#3间的邻接,UPDATE PDU为每个RD正确的发送了NLRI信息。

第二步:进行域间数据传输测试。

(1)相邻路由域(Adjacent RD)间的数据传送。

初始条件:每个BIS路由器同其他两个邻接BIS建立了IDRP连接。每个RD内建立ES-IS连接。

数据传输:

①使用CLNP ECHO功能,ES#1向ES#2发送ERQ-NPDU(Echo ReQuest-Network Protocol Data Unit)。确认ERQ-NPDU通过BIS#1 and BIS#2传输。确认相应的ERP-NPDU通过BIS#2和BIS#1从ES#2向ES#1传输。

②使用CLNP ECHO功能,ES#2向ES#1发送ERQ-NPDU。确认ERQ-NPDU通过BIS#2和BIS#1传输。确认相应的ERP-NPDU通过BIS#1和BIS#2从ES#1向ES#2传输。

③使用CLNP ECHO功能,ES#1向ES#3发送ERQ-NPDU。确认ERQ-NPDU通过BIS#1和BIS#3传输。确认相应的ERP-NPDU通过BIS#3和BIS#1从ES#3向ES#1传输。

④使用CLNP ECHO功能,ES#3向ES#1发送ERQ-NPDU。确认ERQ-NPDU通过BIS#3和BIS#1传输。确认相应的ERP-NPDU通过BIS#1和BIS#3从ES#1向ES#3传输。

(2)TRD(intermediate Transit Routing Domain)的数据传输。

初始条件:BIS#1和BIS#3,BIS#2和BIS#3已经建立起了

IDRP邻接,但BIS#1和BIS#2不邻接。RD内建立了ES-IS连接。

数据传输:

①使用CLNP ECHO功能,ES#1向ES#2发送ERQ-NPDU。确认ERQ-NPDU通过BIS#1、BIS#3和BIS#2传输。确认相应的ERP-NPDU通过BIS#2、BIS#3和BIS#1从ES#2向ES#1传输。

②使用CLNP ECHO功能,ES#2向ES#1发送ERQ-NPDU。确认ERQ-NPDU通过BIS#2、BIS#3和BIS#1传输。确认相应的ERP-NPDU通过BIS#1、BIS#3和BIS#2从ES#1向ES#2传输。

第三步:进行路由测试。

初始条件:BIS#1和BIS#3,BIS#2和BIS#3已经建立起了IDRP邻接,但BIS#1和BIS#2不邻接。每个RD内都建立了ES-IS连接。

数据传输:

(1)使用CLNP ECHO功能,ES#1向RD#2内一个不存在的NSAP(Network Service Access Point)发送一个ERQ-NPDU。确认通过BIS#3,BIS#2向ES#1发送了一个ER-NPDU。

(2)使用CLNP ECHO功能,ES#2向RD#1内一个不存在的NSAP发送一个ERQ-NPDU。确认通过BIS#3和BIS#1向ES#2发送了一个ER-NPDU。

3.3 测试结果及分析

测试所使用的试验性路由器实现了IP SNDCEF模型,并实现了使用IP子网连接不同ATN路由域边界中间系统(BIS)进行通信的评估实验,建立了IDRP通信。测试结果表明,虽然在ENRI路由器中还存在一些微小的不足,但IP SNDCEF的技术规定及应用不存在任何问题,测试过程没有出现不兼容或反常行为。在ATN中,使用IPv4或IPv6网作为ATN传输子网也不存在问题。

4 结语

该文阐述的IP SNDCEF功能在ATN试验网中得到了应

用,IP SNDCEF的有效性以及在IP子网上进行ATN通信的可行性也通过试验网得到了验证,以此为基础解决了IP网络作为ATN子网的数据传输问题。但是对于复杂网络,在多种应用的QoS需求、现实操作(包括效率和协议花费)、子网安全和管理等方面仍存在一些问題。目前,ICAO通过数据加密和VPS通道鉴权提供数据链路安全防护,但仍无法解决使用IP子网时ATN端系统的安全防护问题。安全问题是使用IP网络在航空通信中的关键问题,下一步工作重点是研究ATN中IP子网的安全问题。

参考文献:

- [1] Whyman T. Proposed SARPs for the IP SNDCEF, Issue 2.0. DIS/COM/ProATN_Sup/DCI/AW_116[R]. 2004-10.
- [2] ICAO. Manual of Technical Provisions for the Aeronautical Telecommunication Network(ATN)(Doc9705) 4th edition[S]. 2005-06.
- [3] ISO/IEC 8327: Information technology-open systems interconnection-connection-oriented Session protocol[S]. 1996.
- [4] ISO/IEC 8823: Information technology-open systems interconnection-connection-oriented presentation protocol[S]. 1994.
- [5] ISO/IEC 8208: Information technology-Data communications-X.25 Packet Layer Protocol for Data Terminal Equipment[S]. 2000.
- [6] ISO/IEC 8802-2: Information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements-Part 2: Logical link control[S]. 1998.
- [7] ISO/IEC TR9577: Information technology-telecommunications and information exchange between systems-protocol identification in the network layer[S]. 1990.
- [8] Vabre P. French IP SNDCEF Validation Initiative, ACP WGN04-WP11[R]. 2004-11.
- [9] Herail L. ProATN TAR-TTS IP SNDCEF Validation Report, Issue 1.2, ATN/EEC/DOC/IH0407[R]. 2004-05.
- [10] ISO/IEC 8802: Information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks[S]. 2005.

(上接71页)

面均获得显著的效果,同时结构规整,有利于物理设计的开展。将部分原属于派发的逻辑前移到取指站,使得取指的延时、面积和功耗均有所增大,但由于取指部分增加后的最长路径仅为1.04 ns,取指部分直接采用综合的方式就可以满足设计要求,系统各站的延时得到了有效平衡。

6 结束语

通过跨取指包边界派发和流水线多级控制来提高流水线性能。模拟结果显示,跨边界派发使得YHFT-DX整个代码体积压缩10%~20%,而指令预取可以获得5%~10%左右的性能提高。针对高频VLIW处理器提出了体系结构上的改进方案,通过尽可能早地对取指包进行预处理,减轻流水线关键部件DP站的压力。综合结果显示,通过结构优化使得DP站关键路径长度下降了40%。未来将进一步通过变长指令集技术提升代码密度。

参考文献:

- [1] 章立生,韩承德. VLIW DSP体系结构及其性能优化的软件方法[J]. 计算机工程与应用, 2001, 37(5): 25-28.
- [2] 沈戈,高德远,樊晓樾. 数字信号处理器(DSP)结构设计及发展趋势[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(7): 4-6.
- [3] 陈书明,李振涛,万江华,等. “银河飞腾”高性能数字信号处理器研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(6): 993-1000.
- [4] Anjum S, CHEN Jie, HAN Liang, et al. A scalable and low power VLIW DSP core for embedded system design[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008, 15(2): 172-175.
- [5] Xie Yuan, Wolf W, Lekatsas H. Code compression for embedded VLIW processors using variable-to-fixed coding[J]. IEEE Transactions on Very Large Integration(VLSI) System, 2006, 14(5): 525-536.
- [6] Agarwala S, Anderson T, Hill A, et al. A 600-MHz VLIW DSP[J]. IEEE Solid-State Circuits, 2002, 37(11): 1532-1544.
- [7] 万江华,陈书明. 一种提高同时多线程VLIW处理器中取值单元吞吐率的方法[J]. 计算机工程与科学, 2007, 29(6): 97-101.