

分布式频谱监测系统中间件技术研究

姜美雷¹ 丁丽丽² 柏永斌¹ 郭永康¹ 孔祥源¹

(中国卫星海上测控部远望 2 号船 江阴 214431)¹ (西北民族大学 兰州 730030)²

摘要 目前电磁环境日趋复杂、对抗异常激烈,如何实现区域无线电信号实时监测与分析及区域电磁态势的实时呈现显得尤为重要。首先对现有的频谱监测系统相关技术进行了研究,分析了其各自特点;其次,针对实际的需求提出了基于中间件的分布式频谱监测系统的设计思想,在执行多测试任务时,利用中间件实现测试任务的分发及结果数据的回传;最后,对中间件进行了设计与实现并对其性能和可靠性进行了测试。

关键词 频谱监测,分布式,中间件,多线程

中图分类号 TP3 **文献标识码** A

Research on the Technology of Middleware of Distribution Spectrum Monitoring System

JIANG Mei-lei¹ DING Li-li² BAI Yong-bin¹ GUO Yong-kang¹ KONG Xiang-yuan¹

(Yuanwang2 Survey Ship of China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin 214431, China)¹

(Northwest University for Nationalities, Lanzhou 730030, China)²

Abstract In allusion to the question that electromagnetic environment has become more and more complicated, the related technologies of the spectrum of existing monitoring systems was in-depth studied, and its own characteristics was analyzed, and on this basis, the reasons of using a distributed spectrum monitoring system was discussed. Secondly, for the demand of the issue, this paper put forward a design concept of distributed spectrum monitoring system which is based on middleware, using the middleware to achieve the distribution of tasks and transmission of the results when coping with multiple testing tasks. Finally, designed and implemented the middleware, and the reliability and performance of middleware were tested.

Keywords Spectrum monitoring, Distribution, Middleware, Multithreading

1 引言

随着通信、雷达、电子对抗设备和制导武器的广泛应用,电磁对抗异常激烈。在复杂的电磁环境下,如果没有有效的无线电频谱监测手段,各种无线设备必然产生互扰,不能正常工作^[1]。此外,在电磁空间这条无形的战线上,对战场电磁环境的描述一直是制约指挥员实施准确、高效指挥的关键环节。科学、直观地描述战场电磁环境,不但有助于指挥员对战场电磁情势准确判断、科学决策、合理部署和调配战场电子对抗力量,而且对于联合作战指挥员准确把握战场态势也至关重要^[2]。因此,为了有效地监测电磁频谱、科学直观地描述战场电磁环境,对区域无线电信号的实时监测与分析及区域电磁态势的实时呈现的研究越发显得重要。

现有的频谱监测系统大多是基于客户机/服务器(C/S)的单站或多站模式。单站模式其监测范围有限,无法实现对较大区域无线电信号的监测;基于 C/S 多站模式从物理角度来看,实现了分布式布站,在中心控制站的控制下,各个站点可完成对所在区域的无线电信号的监测等工作,但由于采用了 C/S 模式,各个站点只能实现异步监测,无法实现同步、实

时的监测,进而系统无法在同一时刻实时了解整个区域的无线电信号的情况。为此,本文提出了一种基于中间件的分布式频谱监测系统,利用中间件实现测试任务的分发与结果数据的传输,实现各个站点的协调工作,并利用中间件的协议转换功能实现控制多类型、多台接收机同时工作的目的。

2 基于中间件的分布式电磁环境监测系统

基于中间件的分布式频谱监测系统主要完成对某一特定区域无线电信号的搜索、截获、采集、传输、存储、分析、信号源的测向定位以及区域电磁态势呈现等功能。系统的总体结构图如图 1 所示。整个系统包括主控站、操作站、侦测站,系统在运行时各站点相互协作,共同完成无线电信号监测任务。

主控站主要用于测试任务的定制、结果数据的接收、分析及显示等,本地带有中心数据库,是整个系统的数据中心;操作站与主控站功能相同,但其未配有数据库;侦测站连接有接收机,是整个分布式系统的远程终端,主要根据相应的操作指令进行运作,并将相应的结果返回到指定目标机或存入数据库,其带有本地数据库,可独立操作。

姜美雷(1981—),男,硕士,工程师,主要研究方向为计算机网络与应用,E-mail:jdlijxy@163.com;丁丽丽(1985—),女,硕士生,主要研究方向为知识管理系统;柏永斌(1976—),男,硕士,工程师,主要研究方向为计算机网络;郭永康(1980—),男,工程师,主要研究方向为计算机与数学;孔祥源(1985—),男,工程师,主要研究方向为计算机与控制理论。

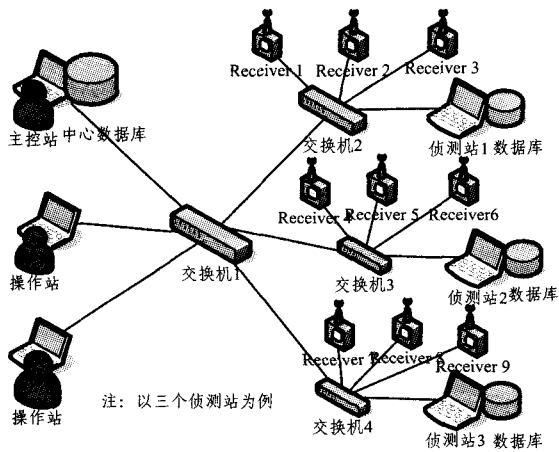


图1 分布式电磁环境监测系统结构示意图

本系统具有较强的灵活性,各个站点可灵活设置,可以固定在某一位置,也可以通过车载式灵活变动。站点之间的组网连接方式亦可根据监测站点性质灵活配置,可采用光纤、双绞线或无线方式。

系统的工作流程:系统启动完成后由任务管理子系统定制各种测试任务并下发给中间件子系统,由中间件子系统负责测试任务的分发及结果数据的回传。中间件子系统根据返回数据的具体要求进行实时显示(如:频谱显示、声音信号的监听等)或存储等处理。系统的软件组成如图2所示。

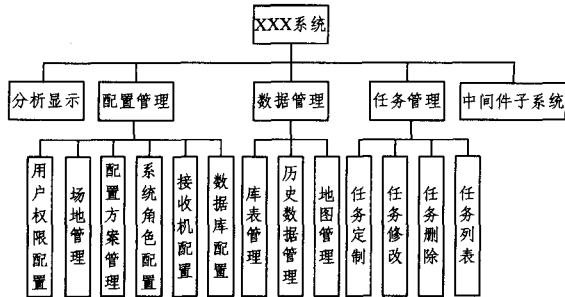


图2 系统软件组成

3 中间件设计

为实现多测试任务时系统各个站点及站点下各个接收机协调工作的目的,本文设计了基于中间件的分布式频谱监测系统,中间件的总体结构示意图如图3所示。

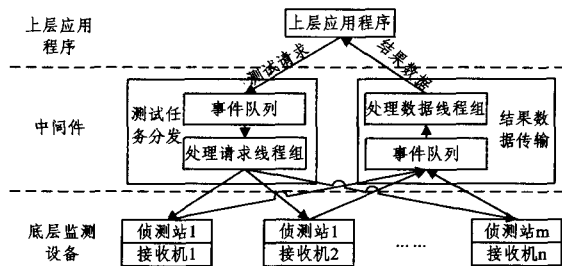


图3 中间件结构示意图

上层应用程序:提供人机交互界面,用于测试任务的定制与下发、接收机返回数据的接收、结果数据的分析显示等;

中间件子系统:负责将上层应用程序下发的测试任务分发到不同站点下的具体接收机,及将底层接收机采集到的数据按要求返回到上层应用界面;

底层监测设备:根据上层应用程序下发的不同测试任务,进行相应的操作并返回监测数据。

由图3所示,中间件主要完成两大部分功能:测试任务的分发及结果数据的回传。

(1)测试任务的分发

上层应用程序定制测试任务并下发给中间件,由中间件负责分发。中间件根据测试任务执行所需的侦测站、接收机的不同将其分发到各个侦测站下的具体接收机。如图4所示。

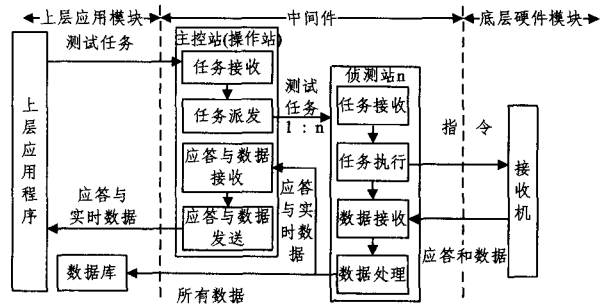


图4 中间件的功能设计

(2)结果数据的回传

中间件负责接收各个接收机返回的数据并进行处理;实时数据根据要求进行传输,直接发送到测试任务提出者的用户界面;非实时数据按要求存入数据库。如图4所示。

利用中间件,主控站(操作站)下发测试请求时,无需与具体的侦测站建立一对一的连接,只需将测试任务下发给中间件,由中间件将测试任务分发到相应的侦测站,并经过协议转换后分发到具体执行任务的接收机(此过程为一对多的关系,可同时向多个侦测站发送测试任务)。用户可以根据具体的测试任务选择站点下合适的接收机完成工作,充分发挥各个接收机的优势,提高频谱监测的效率。

根据以上的分析,本文采用多线程的设计方式。中间件设计的线程如下:

- 测试任务接收线程:接收上层用户界面下发的测试任务及由主控站(操作站)分发到侦测站的测试任务。线程工作于主控站、操作站和侦测站。

- 测试任务分发线程:将接收到的测试任务按目的地址的不同分发到相应的侦测站。为实现测试任务的实时分发,本线程有多个类似的线程,每个线程负责与一侦测站的通信。线程工作于主控站和操作站。

- 任务执行线程:将侦测站接收到的测试任务经协议转换后下发到具体接收机,本线程根据接收机的不同而不同,侦测站下每个接收机都有一个类似线程,负责与其通信,实现控制接收机进行工作的目的。线程工作于侦测站。

- 返回数据接收线程:接收接收机返回的结果数据,每个接收机都有一线程负责其数据的接收。线程工作于侦测站。

- 数据处理线程:对接收机返回的数据进行格式化,统一数据格式,并按照要求对数据进行相应处理。此线程的数量与站点下接收机的数量相同,每一个接收机都有一数据处理线程。线程工作于侦测站。

- 应答与数据接收线程:接收侦测站数据处理线程返回的应答和实时数据,为实现各个站点数据的实时回传,本线程

的数量与侦测站数量相同,每一线程负责与一个侦测站的通信,接收其返回数据与应答。线程工作于主控站和操作站。

• 应答与数据发送线程:用于将应答与数据接收线程收到的数据或应答发送到用户界面,本线程和应答与数据接收线程一一对应,两线程相互协作,完成数据的接收与发送。线程工作于主控站和操作站。

4 中间件的实现

4.1 中间件线程的实现

中间件程序在 Windows 平台 VC++6.0 编程环境下采用基于 Socket 的网络编程技术实现。根据上一节对中间件的分析与设计,中间件不同的功能使用不同的线程来完成,它只需根据不同的站点角色,开启相应的线程,各线程相互协作,完成其功能。

(1) 主控站(操作站)

主控站主要开启的线程及各线程的协作关系如图 5 所示。

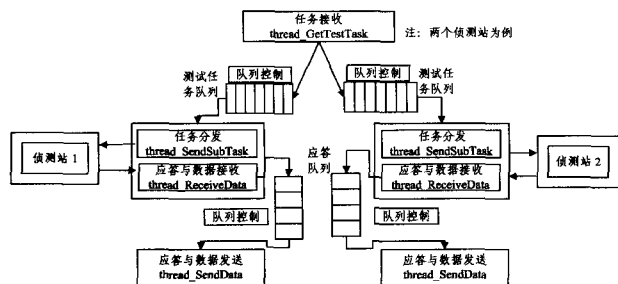


图 5 主控站各线程及其协作关系

测试任务接收线程从本站的上层用户界面接收测试任务,通过内存传递(测试任务分发线程任务队列)的方式转交给相应的测试任务分发线程(每个测试任务分发线程都有一个任务队列,测试任务接收线程把测试任务按执行任务的侦测站的不同分发到相应的任务队列)。测试任务分发线程与相应站点进行连接,将测试任务分发到各个站点。

应答与数据接收线程负责接收侦测站返回的应答和数据,通过应答队列转交给应答与数据发送线程,由其负责将应答或数据发送到用户界面。

(2) 侦测站

侦测站主要开启的线程及协作关系如图 6 所示。其中测试任务执行线程、接收机返回数据接收线程及数据处理线程根据接收机的不同而不同。

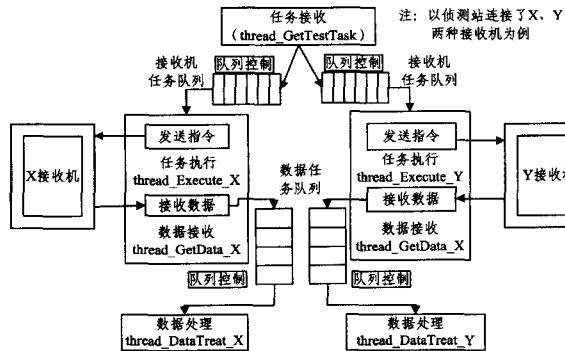


图 6 侦测站各线程及其协作关系

测试任务接收线程从网络(由主控站或操作站分发的测试任务)或者本站上层用户界面接收测试任务,通过内存中的

共享区域(测试任务执行线程任务队列)转交给测试任务执行线程(测试任务接收线程把测试任务按接收机的不同分发到相应的任务队列)。测试任务执行线程从任务队列中取得测试任务经过协议转换后下发给接收机,由数据接收线程负责接收其返回数据,返回数据按照接收机的不同存入相应的数据处理线程的任务队列。数据处理线程负责将接收机返回的数据进行处理:非实时数据直接存入数据库,实时数据则发送到用户界面。

4.2 中间件线程间的通信

中间件各线程间需进行通信,线程间的通信由队列来实现。队列是临界资源,为保持数据的一致性及防止多个线程同时访问临界资源造成不必要的冲突,各个线程需互斥地访问临界资源,为此,本文为每一个队列都设有访问控制机制。中间件各线程除测试任务接收线程、应答与数据接收线程外,均设有任务队列,各线程的任务队列在线程初始化时完成创建。

(1) 任务队列

本文设计任务队列有以下几类,分别用于不同线程间的通信。

① 测试任务队列(TASK_QUEUE)

测试任务队列用于测试任务接收线程(工作于主控站,操作站)与测试任务分发线程间的通信。测试任务接收线程将要发送的测试任务存储在其控制区内的一缓冲区内(Rec-eTask_Buff),并按照执行任务的侦测站的不同将其链入相应的测试任务队列中。每个测试任务分发线程都有一测试任务队列。

② 子测试任务队列(RECEIVERTASK_QUEUE)

子测试任务队列用于测试任务接收线程(工作于侦测站)与测试任务执行线程间的通信。测试任务接收线程将收到的测试任务按照执行任务的接收机的不同进行分解并存入控制区内的内存缓冲区中(SubTask_Buff),然后将其链入相应的子测试任务队列。每一测试任务执行线程都有一子测试任务队列。

③ 数据队列(RECEDATA_QUEUE)

数据队列用于返回数据接收线程与数据处理线程间的通信。返回数据接收线程将接收机返回的数据存于数据缓冲区内(ReceData_Buff),并将其链入相应的数据队列。每一数据处理线程都有一数据队列。

④ 应答队列(RESPONDER_QUEUE)

应答队列用于应答与数据接收线程和应答与数据发送线程间的通信,应答与数据接收线程将数据处理线程发送来的数据(或应答)存储于其控制区内的缓冲区内(Responder_Buff),并将其链入应答队列,由应答与数据发送线程负责发送。每一应答与数据发送线程都有一应答队列。

(2) 同步机制

信号量机制是用于相互合作线程间的互斥和同步。本文定义两个信号量:互斥信号量 locked 及等待信号量 Swait。互斥信号量用于实现线程间互斥地访问临界资源(队列);等待信号量用于当队列为空时阻塞接收者线程。信号量被定义为整数,locked 信号量初始值为 1,Swait 信号量初始值为 0。

4.3 中间件接口实现

中间件在运行过程中需要和上层应用程序及底层不同类

型的接收机进行通信。为此,本文设计的中间件的对外接口主要有两类:与上层应用程序的接口及与底层接收机通信的接口。

• 中间件与上层应用程序的接口

中间件只有与上层应用程序及底层接收机统一通信协议,上层应用程序下发的测试任务才能被正确读取、分发,测试任务才能正确执行。为实现测试任务的分发,实现同时控制多台接收工作的目的,本文设计了如下多层次、嵌套式的测试任务数据结构(见图7)。从任务的定制到测试任务下发到具体接收机的全过程,测试任务按照定义的数据结构进行组织、传输。

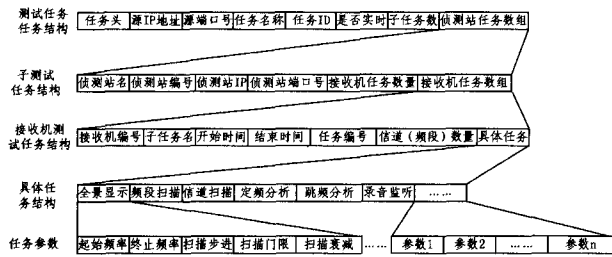


图7 多层次测试任务数据结构

• 中间件与底层接收机通信的接口

本文为每个类型接收机建立了一个控制指令格式及返回数据格式的类,对接收机的各种控制指令及返回数据的数据结构进行定义。此外,对每种类型的接收机定义了一个协议转换函数,负责将接收机收到的某一测试任务(如上文的频段扫描),根据该接收机控制指令格式进行协议的转换,即将其转换成接收机能识别的控制指令,同时根据所定义的返回数据的数据结构接收其返回数据并进行格式化处理。不同类型接收机的控制指令及返回数据的数据结构不尽相同。

5 中间件测试与分析

本文设计的中间件是否能稳定、可靠运行至关重要,为此,对中间件可靠性测试尤为必要。此外,中间件性能也直接影响了系统的性能。因此,本文主要对中间件的可靠性及性能进行测试,并针对测试结果给出分析。本文测试时采用一个主控站、一个操作站和3个侦测站的组网方式,100M全双工以太网。

表1给出了中间件按任务类型下发一系列的测试任务,中间件的接受测试任务及结果数据的回传的出错率,以此来验证中间件功能的可靠性。表2、表3给出了中间件完成其各项功能的时间延迟,综合反映了中间件的性能和实时性。

表1 中间件可靠性及协作能力测试

测试任务	中间件							
	序号	测试任务类型	测试任务分发				数据传输结果显示	
			接收次数	成功率	分发次数	成功率	成功次数	成功率
1	频段扫描	20	20	100%	80	100%	80	100%
2	信道扫描	20	20	100%	80	100%	80	100%
3	定频分析	20	20	100%	80	100%	80	100%
4	录音监听	20	20	100%	80	100%	80	100%
5	随机	20	20	100%	80	100%	80	100%
6	随机	20	20	100%	80	100%	80	100%

表2 中间件测试任务分发延迟(单位:ms)

试验次数	1	2	3	4	5	6	7	8
处理延迟	186	179	191	183	206	199	185	179
网络传输延迟	296	306	311	309	298	307	312	320
总延迟	482	485	502	492	504	506	497	499
平均延迟	1027							

表3 中间件结果数据回传延迟(单位:ms)

试验次数	1	2	3	4	5	6	7	8
处理延迟	253	301	265	273	289	264	257	244
网络传输延迟	761	711	774	799	756	769	763	771
总延迟	1014	1012	1009	1072	1045	1033	1020	1015
平均延迟	1027							
处理延迟	212	221	209	216	230	224	211	201
网络传输延迟	309	306	313	316	297	309	312	324
总延迟	512	527	522	532	527	533	523	525
平均延迟	525							
处理延迟	289	279	304	311	299	313	286	298
网络传输延迟	759	761	785	763	739	748	753	783
总延迟	1048	1040	1089	1074	1038	1061	1039	1081
平均延迟	1058							

本部分主要通过操作站或主控站上层应用程序的任务定制模块下发一系列的测试任务,利用 Sniffer 监测软件分别从主控站(操作站)、侦测站及接收机处截获下发的测试任务及返回的结果数据的内容。通过比较各处截获的内容确定出全程传输的内容是否正确、是否发生丢包及丢包率等。从表中可以看出,在网络负荷较为严重的情况下(所有站点都处于工作状态且为实时任务),中间件对测试任务的分发及数据的传输功能均能较好实现,各个站点协调工作状态良好。

本部分同样利用监测软件(sniffer)分别从主控站(或操作站)、侦测站及接收机处取得下发的测试任务及返回的结果数据的时间戳。通过比较每个节点之间发送与接收的起止时间,确定出中间件完成各项功能的时间延迟。从表中可以看出,由于涉及到网络传输,中间件完成各项功能均有一定的延迟,测试任务的分发延迟大约为0.5秒,实时数据的返回延迟根据不同的任务类型而不同,全景、频段扫描的延迟约为1秒;定频分析延迟约为0.5秒;录音监听延迟约为1.5秒。其中处理延迟主要表现为对数据的接收、格式化处理和队列内存传递延迟等。

以上测试都是在所有站点下所有接收机都工作的情况下进行的,在其它状态下中间件的可靠性及性能将优于本次测试结果。

结束语 本文针对大区域无线电信号的实时监测与分析及电磁态势的实时呈现的需求,提出了基于中间件的分布式频谱监测系统的设计思想并设计实现了其中的中间件模块。利用中间件实现测试任务的分发及数据的传输,实现分布式频谱监测系统中各个站点协调工作,同时利用中间件的协议转换功能,实现控制多类型、多台接收机同时工作的目的,提高了系统监测的准确性及实时性。

参考文献

- [1] 张清理,李兵兵. 无线电频谱监测与分析系统设计与实现[J]. 电子科技, 2005, (5): 17-20
- [2] 刘海岩,梁建龙. 基于中间件的分布式系统开发过程的研究[J]. 计算机应用研究, 2004(1): 85-87
- [3] 耿晓飞. 基于软件无线电的无线电监测技术研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2006
- [4] 吴卿. 面向谱适计算的自适应中间件模型与方法研究[D]. 杭

- 州: 浙江大学, 2006
- [5] 刘玉军,姜美雷. 基于 UDP 协议的应用层实时中间件[J]. 计算机工程与设计, 2009(12): 92-95
- [6] 张慧慧. 基于中间件技术应用控制平台的设计与实现[D]. 西安: 电子科技大学, 2006
- [7] 李琪林. 面向分布对象环境的可信中间件关键技术研究[D]. 西安: 电子科技大学, 2006
- [8] 陶然. 地市级无线电监测与测向系统的设计与应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2007

(上接第 272 页)

(NewReno)在不同误码率条件下的平均吞吐量和链路利用率,仿真结果如图 2、图 3 所示。

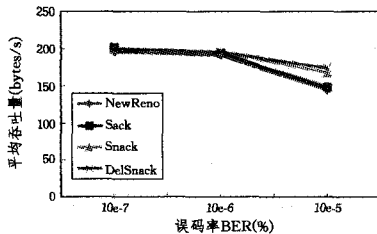


图 2 不同误码率下的平均吞吐量比较

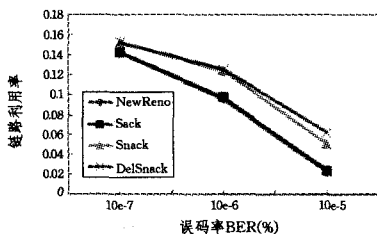


图 3 不同误码率下的链路利用率比较

图 2 是不同误码率下实现不同 ACK 机制的平均吞吐量比较。从图中可以看出,在误码率低于 10^{-6} 时,4 种协议的平均吞吐量随误码率的增加差别不大;在误码率高于 10^{-6} 时,卫星信道随误码率(BER)的增加,吞吐量随之减弱;当 BER 达到 10^{-5} 时,表现得更为突出。在高误码率情况下,SNACK 机制和 Delay SNACK 机制相比其他 ACK 机制能取得更好的吞吐量性能。

图 3 是不同误码率下实现不同 ACK 机制的链路利用率的比较。从图中可以看出,SNACK 机制和 Delay SNACK 机制相比其他 ACK 机制取得更好的链路利用率。其中,SNACK-Del 可以将多个错误信息放在一个 SNACK 中,这样有利于提高传输效率,同时有助于等待即将到达的被延迟的和顺序错误的数据包,减免不必要的重传,相比常规 SNACK,可提高更多的带宽利用率。

结束语 SCPS-TP 协议提出的 SNACK 机制,在中低

轨、前/返向信道的带宽容量的不对称性较低(小于 100:1)时,相比于 TCP 表现出了较好的空间通信适应性。本文实验结果表明,在高误码率情况下,SNACK 机制相比其他 ACK 机制能取得更好的吞吐量性能;在 SNACK 的两个版本中,SNACK-Del 可以将多个错误信息放在一个 SNACK 中,更有利于提高传输效率。

SCPS-TP 作为基于 TCP 扩展的传输层协议,是所有 CCSDS SCPS 中最为成熟并得到实际应用的协议。虽然 CCSDS 正按照既定的目标在演进,但 SCPS 标准的开发与存进并非如此。SCPS 的标准化不再是 CCSDS 的活跃领域,未来需要做的工作是参考 SCPS-TP 协议的多项改进策略,在拥塞控制和流量控制等机制适应于空间特别是长距离链路方面提出更好的协议算法。

参考文献

- [1] Durst R C, Miller G J, Travis E J. TCP Extensions for Space Communications[J]. Wireless Networks, 1997, 3(5): 389-403
- [2] 陈明玉,程子敬. SCPS-TP 协议在卫星通信系统中的应用研究[J]. 电子设计工程, 2010, 18(8): 1-3
- [3] 梁义,拱长青. 空间数据通信协议 SCPS-TP 应用研究[J]. 沈阳航空工业学院学报, 2010, 27(1): 68-71
- [4] 叶建设,万鹏,宋世杰. 地月通信链路传输协议的研究与性能分析[J]. 计算机工程, 2010, 36(15): 15
- [5] Consultative Committee for Space Data Systems. Space Communications Protocol Specification-Transport Protocol (SCPS-TP) [S]. CCSDS 714. 0-B-2, October 2006
- [6] 王平,顾学迈. LEO 卫星网络中 TCP 协议性能及路由策略研究[J]. 南京理工大学学报, 2007, 31(1): 85-88
- [7] 顾明,张军. SCPS-TP 协议用于 LEO 卫星网的性能分析与改进[J]. 遥测遥控, 2007, 28(1): 30-33
- [8] Stevens W R. TCP/IP Illustrated, Volume I [M]. MA: Addison-Wesley Reading, 1994: 236-237
- [9] The Network Simulator NS-2, Web site[OL]. <http://www.isi.edu/nsname/ns/>