

远程实验系统中实时视频传输技术的研究^①

Research on Real-time Video Transmission Technique in Remote Experiment System

李红艳 桂超 王虹 (湖北经济学院 计算机科学与技术学院 湖北武汉 430205)

摘要:为了解决远程实验系统中视频传输的可靠性和实时性问题,提出了远程实验系统视频传输的网络结构。基于 UDP 协议的实时性优势,采用队列、窗口机制和优先级调度策略实现视频传输控制机制。并介绍了视频传输实验系统的传输控制机制、应用层的程序实现。对传输控制机制的性能进行实验测试,结果表明与单纯的 TCP 和 UDP 协议相比,在 UDP 协议上采用提出的视频传输控制机制有更高的视频传输效率。

关键词:远程实验系统 视频传输 窗口机制 调度策略 实时性

随着互联网技术的发展,互联网在远程教育领域表现出巨大的应用潜力。然而,对于工程和自然科学类实践性较强的课程,仅仅理论知识教育是不够的,培养学生动手实践能力显得尤为重要。因此,远程实验在远程教育系统中扮演着至关重要的角色。远程实验系统设计的主要挑战是互联网视频传输技术,当前对视频传输技术研究主要体现在以下几个方面:1)采用 IP/TV 技术传输 MPEG-1 格式视频图像^[1];2)采用 RTP/RTCP 协议传输视频^[2];3)采用自适应视频流动态调整算法;4)采用多缓冲机制调节视频质量。以上主流的视频传输技术重点都放在提高视频流媒体播放画面的质量上,往往以牺牲一些实验数据的实时性为代价。这些视频传输技术的研究成果并不完全兼顾远程实验系统对视频质量可靠性和通信的实时性需求。因此,需要寻求一种新的途径解决远程实验系统视频传输的实时性与可靠性问题。

目前,最流行的传输层协议是 TCP 协议和 UDP 协议。TCP 是基于流的传输协议,有十分复杂的保证可靠传输的机制,应用于通信中时都将不可避免地增加系统的开销并降低通信效率。而 UDP 虽然开销小、速率高,但它是基于消息的不可靠传递协议。虽然视频传输允许一定的丢包率,但是远程实验系统对视频传

输却要求具备一定的可靠性。为此,就自然地考虑到在 UDP 的基础上增加一些为保证可靠数据传递所必需的功能,使其成为一个基于消息的可靠传输协议。

1 视频传输网络结构

图 1 给出了远程实验系统视频传输网络结构的逻辑实现。网络传输结构平台采用客户/服务器模型,面向多客户端,采用多线程机制,可利用 Java Socket 编程实现网络通信。其中视频传输、实时控制指令以及性能曲线数据传输均基于 UDP 通信实现,UDP 协议上层实现传输控制机制保证 UDP 数据包传输的可靠性;由于实验操作指令的传输对通信的实时性要求不高,但传输的可靠性要求较高,故采用 TCP 协议进行通信传输。

远程实验系统视频传输的目的是为远程教育学生提供真实的在线实验环境,视频信号是单向传输的,只有服务器向客户端传输实验环境视频,客户端只需要通过基于 Web 页面实验系统进行实验操作。基于图 1 视频传输网络结构,下文重点介绍了视频传输的实时、可靠控制机制。

① 基金项目:湖北省教育厅重点科研项目(B200719001)

2 视频传输控制机制

实时可靠控制机制主要解决网络通信两个问题：可靠性和实时性问题。它通过提供类似 TCP 协议的机制保证数据无丢失、按序、无重复的传输，进而解决可靠性问题；它提供基于优先级的传输调度策略和预测传输时间机制保证实时数据及时到达目的地，以此解决实时性问题。

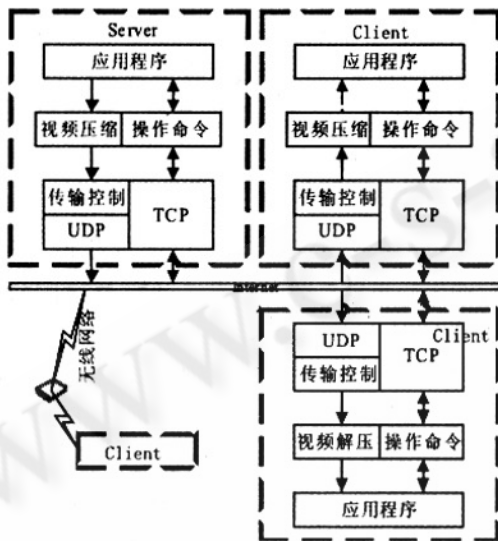


图 1 视频传输网络结构图

2.1 可靠传输

为了获得可靠传输，该控制机制采用队列、窗口机制来保证数据无丢失、按序和无重复传送。每个数据包在包头嵌入传送的序列号和确认号，接收方收到数据包后，应答该接收数据包，同时响应期望接收数据包序号，发送方只有收到对方确认信息后，包序号才增加。通信双方分别有一个发送窗口和一个接受窗口，发送方的滑动窗口定义为重传队列、发送窗口和发送队列组成，如图 2 所示；接收方的滑动窗口定义为发送窗口和发送队列两部分组成，如图 3 所示。在发送方，发送窗口在发送队列上滑动，只有落在发送窗口内的包才可以被发送，发送完的数据包送入重传队列，同时启动重传定时器，如果设定时期内接收到对方应答确认包则从重传队列中移除该发送数据包、否则执行超时重传操作。需要记录重传队列里每个数据包的重传

次数，当某数据包的重传次数超过设定重传次数时，丢弃该数据包不再执行重传操作。当重传队列满时，发送窗口停止滑动，等待收到确认包或者重传超时来改变重传队列^[3]。

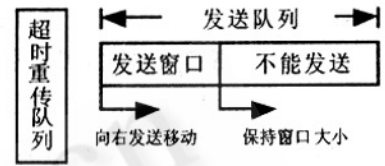


图 2 发送滑动窗口

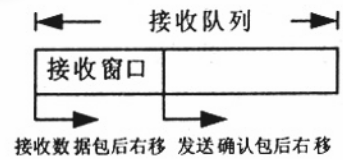


图 3 接收滑动窗口

在接收方，期望的接收数据包序号被用来与实际接收数据包的序号比较来判定是否发生丢包或重复接收数据包。如果期望接收数据包的序号大于实际接收包的序号，则说明刚接收到的数据包是重复的数据包，丢弃它，发送应答期望接收数据包序号，等待接收下一个正确的包；如果期望接收数据包的序号小于实际接收包的序号，则说明有包丢失，则将刚接收数据包先放在接收窗口中，然后发送应答信息要求对方传送已丢失的数据包。在接收方数据包装满接收窗口时，需要用队列来存放接收的数据包。

2.2 实时传输

在实时性方面，主要考虑实时信息传输调度、识别发送/接收超时以及基于数据包的优先级发送与接收数据包。为了解决这些问题，在实时传输机制设计中引入了定时器和多线程连接处理操作。使用定时器的主要目的是识别发送、接收数据包超时以及对超时数据包的异常处理等。每一个连接都有它自己定时器和连接线程，每一个连接定时器通过定时控制该线程数据包的重传时间。具体地在数据发送时根据该数据包实时性设定发送超时时间，如果在超时时间到仍没有接收到对方应答信息，则通过定时中断服务函数重发该数据包。引入定时器一个优点是当发生接收或发送

超时事件时,通过定时器中断服务函数能够唤醒异常处理函数进行合理通信处理。另外,定时时钟为接收方比较接收数据包的时戳提供了时间基准,并利用时钟同步协议解决网络时钟同步问题。

由于每一个发送、接收窗口在不同的连接线程里面运行,可以通过设置不同的优先级处理发送和接收数据包,实时性要求较高的数据设定高的优先级,确保数据包有序进行传输。通过使用多线程管理机制,在系统中不同的应用使用不同的线程,通过对不同的线程设定不同的优先级,较高优先级的应用将有更多的机会传输信息。

3 视频传输实验系统设计

3.1 通信传输控制机制的实现

通信传输控制机制是系统的核心环节,为实验系统视频传输应用提供可靠的实时互联网通信。我们将通信传输控制机制与 UDP 协议复合,实现了可靠的 UDP 协议层,并定义统一对外标准通信函数接口提供给应用调用。Java 是一种面向对象的编程语言,与平台独立,可移植性比较高,具有一次编写到处执行的优点。可靠 UDP 协议层采用 Java 实现了 RUDP 包,在 RUDP 包内定义了信息格式、包结构,并实现了根据优先级控制数据包发送实时性的管理机制。应用层通过调用 RUDP 包的接口函数(Connect、Accept、Send、Receive 等)并通过可靠的 UDP 连接同时传递视频和实验控制数据。

RUDP 包利用 Java 线程优先级调度多线程运行。程序支持简单的固定优先级确定性调度算法,该算法根据多线程相对于其他可运行线程的优先级来调度线程的运行。在程序包中定义了线程优先级的范围,应用程序可以调用 setPriority 方法来设置线程优先级。在任何时候多线程就绪状态等待执行时,系统总是执行最高优先级的线程,只有当高优先级的线程停止运行,低优先级的线程才有机会被执行。

概略地,RUDP 包实现了以下主要功能:类似与 Java socket 应用接口类库,RUDP 包为实验应用定义了一系列标准应用程序接口,诸如 Accept()、Connect() 等等;RUDP 包使用简单网络时间协议 SNTP 实现时钟同步操作;它利用 Java 多线程管理机制调度接收、发送数据包;它为每一个应用端提供多重合理的实时连接

通道;RUDP 包确保 UDP 协议与 TCP 协议可以共存通信,保证实验应用中实时性要求较低,可靠性要求较高的操作指令能够正常执行。

3.2 应用层实现

远程实验视频传输系统应用层主要分为服务器端和客户端两个应用程序,如上图(1)所示,分别在主机和远程客户机上运行。

远程实验视频传输服务器端程序模块主要包括视频采集模块、视频压缩模块、视频传输模块三部分^[4]。视频采集模块根据架设在服务器端实验状态的摄像机获得视频数据;再由视频压缩模块对视频数据进行压缩,减少数据的容量;而后,通过视频传输模块将服务器端实验环境状态视频传输到客户端。其中视频传输模块采用可靠的 UDP 通信满足视频传输的需要。服务器端应用实现的主要子模块类为:(1)视频图像的实时捕获;(2)图像数据包压缩;(3)图像数据包发送;(4)实验输出结果信息数据包发送;(5)反馈控制信息数据包接收。

客户端功能模块主要包括:视频接收模块和视频解压缩模块。视频接收模块负责接收服务器端传送过来的实验视频图像,同时判断传输链路中当前状态,并发送回服务器端。视频解压缩模块负责解压缩接收到的打包视频图像,进行图像显示。客户端应用程序实现的主要子模块类为:(1)视频图像数据包接收;(2)实验结果信息数据包接收;(3)实验操作控制信息数据包的发送。

4 实验测试

采用教育网环境分别对用 UDP、TCP 协议以及增加传输控制机制得到的可靠的 UDP 协议视频传输性能进行比较,验证引入传输控制机制后通信可靠性和实时性。实验中服务器端程序位于教育网网络环境,客户端程序采用宽带网络进行通信测试。

在与 UDP 协议进行比较测试中,服务器端固定发送 200 帧图像,进行 50 次实验测试,实验测得采用 UDP 协议的客户端正确接收的图像帧数集中在 130 - 160 帧范围内变化;而采用可靠的 UDP 协议后,正确接收图像帧数集中在 180 - 200 帧范围之内。

在与 TCP 协议比较测试中,服务器端按序定时固

(下转第 52 页)

(上接第 48 页)

定发送 5 秒钟视频图象,同样进行 50 次测试试验,实验测得采用 TCP 协议通信,客户端在 5 秒钟内能够正确接受图像帧数在 26 - 42 帧范围内波动;而采用在 UDP 协议上增加了提出的通信传输控制机制后,客户端 5 秒钟内能够正确接受图像帧数范围达到 72 - 87 帧。

通过比较测试数据可知,在 UDP 协议上增加了传输控制机制大大提高了 UDP 协议的可靠性,而且视频实时数据传输效率仍然远远优越于 TCP 协议。

5 结束语

远程实验系统网络传输中,由于不确定性的互联网时延影响客户端获取的视频质量。为了解决远程实验系统中视频通信的可靠性和实时性问题,采用客户端/服务器端模型,提出了远程实验系统视频传输的网络结构。基于 TCP/IP 协议,在传输层之上实现了视频

传输控制机制,以降低视频传输丢包率和减少网络传输时延。最后通过校园网络比较测试,实验验证在 UDP 协议上采用视频传输控制机制后传输效率优于 TCP 协议,可靠性高于纯 UDP 协议通信。

参考文献

- 1 马凤霞、赵勇, IP/TV 技术在远程教育系统中的应用, 华北电力技术, 2006, (2): 30 - 32.
- 2 李燕灵, 基于 RTP/RTCP 的实时视频数据传输模型及实现, 微电子学与计算机, 2005, 22(8).
- 3 李国栋、张琳琳、柳长安, 基于 RUDP 的视频传输技术研究, 计算机工程, 2006, 32(24): 226 - 228.
- 4 贡智敏、陈一民, 多媒体远程教育系统中实时视频传输的研究, 计算机工程, 2006, 32(3): 233 - 235.