

# 基于UDP的可靠数据传输协议仿真研究

新建平<sup>1</sup>,杨红雨<sup>2</sup>

(1. 四川大学 计算机学院, 四川 成都 610064;  
2. 四川大学 图形图像研究所, 四川 成都 610064)

**摘要:**传统TCP协议在现代高速网络中的数据传输变的低效,具有不同往返时延的TCP数据流在竞争瓶颈带宽时将引发带宽不公平分配问题。基于UDP的可靠数据传输协议(UDP-based Data Transfer Protocol, UDT)是在UDP之上增加了可靠性和拥塞控制机制,适合于高速网络下的大量数据传输,具有很高的公平性。通过NS2仿真平台,改变瓶颈带宽、时延等形成不同的网络环境,在效率、公平、稳定等UDT目标性能上同传统TCP进行比较研究,结果显示UDT在高速网络环境下具有比传统TCP更优的传输性能。

**关键词:**UDT;TCP;效率;公平性;稳定性;仿真;NS2

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)05-0001-04

## Simulation and Research on UDP-Based Data Transfer Protocol

JIN Jian-ping<sup>1</sup>, YANG Hong-yu<sup>2</sup>

(1. College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610064, China;  
2. Institute of Image and Graphics, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract:** The data transmission will be inefficient while using the traditional TCP protocol in the modern high-speed network. TCP flows with different Round Trip Time(RTT) will trigger unfairness of distribution on bottleneck capacity. UDP-based Data Transfer Protocol(UDT) is built on top of UDP with reliability control and congestion control, which is suitable for large amounts of data transmission in high-speed networks and has high performance on fairness. In NS2 simulation system, various network conditions are designed to compare UDT performance on the aspects of efficiency, fairness and stability with traditional TCP protocol by changing the bottleneck bandwidth and RTT. The simulation results show UDT has better performance than traditional TCP protocol in high-speed networks.

**Key words:** UDT; TCP; efficiency; fairness; stability; simulation; NS2

## 0 引言

TCP和UDP是TCP/IP协议族中两个最重要的传输层协议,它们使用IP路由功能把数据包发送到目的地,从而为应用程序及应用层协议提供网络服务。TCP和UDP的主要区别是在于可靠性,TCP包含了专门的传递保证机制,植入安全和排序等功能,使之具有高度的可靠性,而UDP是一个简单的、尽力使用数据报转发的协议,这个基本的区别决定了TCP更复杂,需要庞大的功能开销,而UDP则是简单和高效的。

高速网络不仅应用于高能物理、地球科学、天文观测及其一些高性能计算领域的研究,随着科学技术的

日新月异,现代先进科技不断应用于互联网,使得高速、大容量广域光网络迅速崛起,连接全球的互联网络更新换代步伐加快,城镇局域网已经开始铜退光进的下一代互联网建设工作,这种高速网络离人们的生活越来越进,甚至已经开始直达桌面<sup>[1]</sup>。在这种高网络带宽延迟积(Bandwidth Delay Product, BDP)情况下,传统的TCP协议开始变的低效,这是因为TCP加性增加乘性减小(additive increase multiplicative decrease, AIMD)的拥塞控制机制使得它不能快速地恢复可用带宽,从而导致在吞吐率方面的瓶颈。同时,在分布式数据密集程序中,TCP回路响应时间(Round Trip Time, RTT)的不公平性将导致严重的问题,不同RTT的TCP流将不公平地分享带宽<sup>[2,3]</sup>,虽然在低BDP网络中这个问题不明显,但在高BDP网络中使用TCP的应用不得不承受严重的不公平性。相对TCP,UDP是一种非面向连接的传输协议,这就使它在效率、速度和系统资源占用方面具有TCP无可比拟的优势,但是

收稿日期:2009-08-23;修回日期:2009-11-28

基金资助:国家“863”项目(2009AA01Z332)

作者简介:新建平(1984-),男,硕士研究生,研究方向为图形图像处理,计算机网络;杨红雨,教授,博士生导师,研究方向为计算机图像处理,计算机仿真,实时软件工程。

不可靠性导致它不能广泛使用于现代网络应用<sup>[4]</sup>。

基于以上考虑,研究人员提出了一种在高 BDP 网络支持高性能数据传输的传输协议,叫做基于 UDP 的可靠数据传输协议,即 UDT<sup>[5,6]</sup>。它是一个应用层级别的协议,建立在 UDP 之上,拥有拥塞控制和可靠性控制机制,从而保证它的可靠性,而且这种方式使得它很容易安装,便于改进并且能提高开发和应用效率。

笔者针对 UDT 协议,采用 NS2 仿真实验平台,通过对对比实验的方法,把它与传统的 TCP 协议在不同带宽、时延等方面进行性能分析和研究,尤其在效率、公平和稳定上考察 UDT 的性能。

## 1 UDT 协议

UDT 主要目标是效率、公平、稳定。效率要求单个的或少量的 UDT 流应该利用所有高速连接提供的可用带宽。公平是指所有并发的流必须公平地共享带宽,不依赖于不同的带宽瓶颈、起始时间、RTT。稳定性指的是包发送速率应该一直会聚可用带宽非常快。

UDT 在网络协议栈中的位置如图 1 所示,应用程序使用 UDT 套接口(Socket)来传送数据,而 UDT 通过操作系统(Operating Systems, OS)提供的 Socket 接口调用 UDP。UDT 提供默认的拥塞控制(Congestion Control, CC)算法,这个算法是为在大范围高速网络中的高性能数据传输而设计的,同时,UDT 的拥塞控制算法是可配置的,即应用程序可以提供自己的拥塞控制算法,如果采用自定义的控制算法的话,一旦控制事件发生,UDT 将检查拥塞控制的功能以确保正确性。

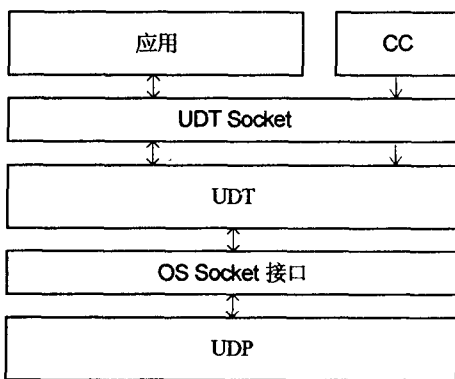


图 1 UDT 在网络协议栈中的位置

UDT 具有与 TCP 类似的工作方式,但采用不同的算法。由于需要保证数据传输的可靠性,它同样有建立连接的握手过程<sup>[7]</sup>。UDT 支持两种建立连接的方式,一种是传统的服务器/客户端模式,一种是预约模式。在服务器/客户端模式下,客户端在确定的时间间隔持续发送握手请求包,直到收到一个回复包,当服务器收到以后将发回一个回复包,从而建立连接。在

预约模式下,两对等端都发送握手请求包,无论谁收到请求,将发回一个回复包,建立起两者间的连接。

确认包(Acknowledgment, ACK)被 UDT 用作拥塞控制和保证数据传输的可靠性,UDT 在确定的时间间隔(0.01s)生成确认包,这就说明数据传输速度越快,这种控制信息占用更小的带宽比率。UDT 使用一个 ACK 附属队列来避免发送重复的 ACK,并计算 RTT 用于拥塞控制。

UDT 使用基于速率的拥塞控制机制和基于窗口的流控制机制来保证数据友好、稳定的传输。速率控制算法将在每个确定的时间间隔更新数据包的发送速率,当收到一个确认包后流控制算法更新流窗口的大小。

UDT 的拥塞控制采用叫做 DAIMD(AIMD with decreasing increases)的算法,即减性增加 AIMD 算法。当发送端收到 ACK 包时,包发送速率  $x$  以函数  $\alpha(x)$  增加:

$$x \leftarrow x + \alpha(x) \quad (1)$$

其中  $x$  满足  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \alpha(x) = 0$ 。当因包丢失、延迟等原因收到否定包(Negative Acknowledgments, NAK)时,  $x$  以不变因子  $\beta(0 < \beta < 1)$  减小:

$$x \leftarrow (1 - \beta)x \quad (2)$$

考虑到稳定性和公平性,UDT 速率控制使用的函数  $\alpha(x)$  为:

$$\alpha(x) = 10^{\lceil \lg(L - C(x)) \rceil - \tau} \times \frac{1500}{S} \cdot \frac{1}{\text{SYN}} \quad (3)$$

其中  $L$  表示连接容量,  $S$  代表 UDT 包大小,  $C(x)$  将包速率  $x$  (packets/s) 转换为比特速率 bits/s, 即  $C(x) = x * S * 8$ ,  $\tau$  是协议参数,典型值为 9。这样在启动时  $x$  能够有效增加,当网络震荡时又能快速减小。

## 2 基于 NS2 的 UDT 仿真

### 2.1 仿真场景

实验在 Linux 环境下,采用著名的网络仿真软件 NS2(版本为 NS2.31)<sup>[8,9]</sup>,针对 UDT 的设计目标,进行了一系列仿真实验。仿真网络拓扑为经典的单瓶颈主干链路、多接入终端的哑铃型拓扑结构,如图 2 所示。实验采用尾部丢弃(Drop Tail)的队列管理策略,队列大小为 100% BDP,通过改变瓶颈带宽值和 RTT 值,每次在单影响因素(即一次实验只有一个因素改变,其他一定)下,仿真分析 UDT 的性能。

### 2.2 仿真参数

对瓶颈链路不同的影响因素,设置不同的值,可得到一系列仿真场景。根据评价指标的情况,取合适的仿真场景加以测试,比较考察 UDT 设计指标的性能。

文中在瓶颈链路的影响因素上,主要考虑以下方面<sup>[10,11]</sup>:

- (1)带宽:在 2Mb/s 和 1Gb/s 之间变化;
- (2)时延:在 1ms~300ms 之间变化。

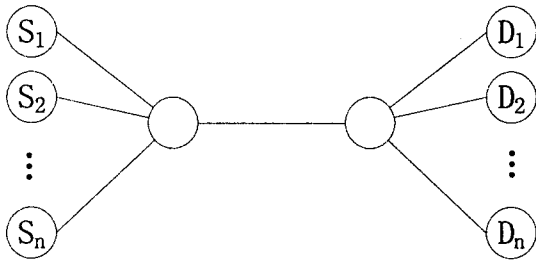


图 2 网络拓扑结构

由于这些因素的每一次变化都将影响仿真结果,这里只在各因素的变化范围内,选取一些典型值进行测试,这对分析网络协议的性能已经足够。其中,带宽选取实际网络中的典型值:2Mb/s(xDSL), 10Mb/s(Ethernet), 100Mb/s(FE), 155Mb/s(OC-3 WAN), 622Mb/s(OC-12), 1Gb/s(GE); 时延选取:1ms(LAN), 10ms(城域), 50ms(跨省), 100ms(国际), 300ms(洲际)。

### 2.3 评价指标

基于 UDT 的目标,主要从不同条件下的效率、公平性、稳定性方面评价 UDT 的性能。效率指的是多个并行的协议流所聚集的吞吐量:

$$E = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \quad (4)$$

其中,  $n$  是并行数据流数目,  $\bar{x}_i$  为第  $i$  个数据流平均吞吐量。本实验考虑多个并行 UDT 流的带宽利用率,即实际吞吐量占瓶颈带宽的百分比,带宽利用率越大则效率越高。公平性采用经典的 Jain 公平性指数<sup>[2,12]</sup>作为评价指标:

$$F = \left( \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \right)^2 / n \cdot \sum_{i=1}^n \bar{x}_i^2 \quad (5)$$

其中,  $n$  是竞争瓶颈链路带宽的数据流数目,  $\bar{x}_i$  为第  $i$  个数据流平均吞吐量。 $F$  的取值范围为 0~1,  $F$  越大,则代表更高的公平性。对稳定性,设  $\bar{x}$  为数据流的平均吞吐量,  $d$  代表标准差,则按下式衡量稳定性<sup>[3]</sup>:

$$S = d / \bar{x} \quad (6)$$

$S$  值越小,稳定性越好。

## 3 实验结果和分析

通过分别改变瓶颈链路的带宽和时延,测试分析各项评价指标的值。由于实验主要针对在高 BDP 网络下各网络协议的性能,因此在单影响因素下,带宽、时延的不变值依次取值为 1Gb/s, 100ms。对实验结果数据,比较 UDT 和标准 TCP 协议在同种条件下的情况。

### 3.1 效率

对图 2 所示的网络拓扑,取  $n = 6$ , 即有 6 个并行的数据流分别从源端  $S_i$  传输至目的端  $D_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ), 按式(4) 计算聚合吞吐量。在不同瓶颈带宽、时延情况下,带宽利用率的仿真结果如图 3 所示。

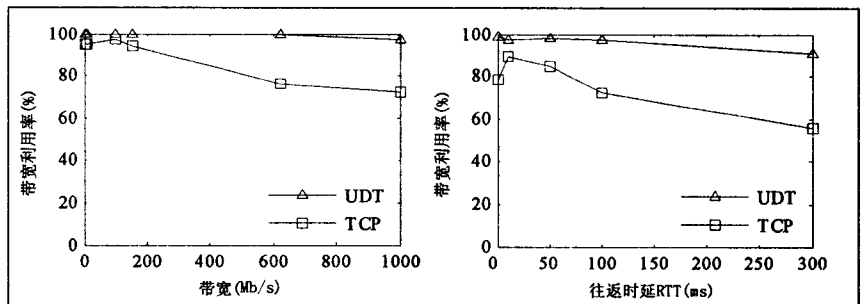


图 3 多种网络环境下的带宽利用率

由实验结果图中可以看出,带宽的变化对 UDT 带宽利用率影响很小,一直接近 100%, 在时延增大时 UDT 的带宽利用率有所下降,但仍然在 90% 以上,这说明不管在什么网络环境下,UDT 都能保持相当高的带宽利用率,即高效率。而传统 TCP 协议随网络环境不同变化比较大,在很小时延时(1ms)并不是最高的带宽利用率,而在 10ms 时延时达到最大值,这是由于小时延导致了丢包率有所上升,时延在大于 10ms 时 TCP 的带宽利用率开始下降,当带宽大于 100Mb/s 时也开始下降,到 300ms 时已经小于 50%,总的来看, TCP 协议在小带宽和低时延情况下有较高的带宽利用率,而当带宽和时延增加时呈下降趋势。

### 3.2 公平性

图 4 是在不同的网络环境下 UDT 和传统 TCP 协议的公平性指数。采用与 3.1 节相同的网络拓扑,同

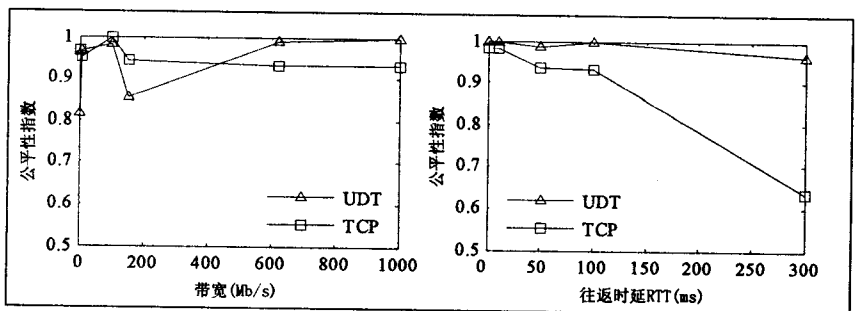


图 4 多种网络环境下的公平性

时运行多个数据流,按式(5)计算协议内的 Jain 公平性指数。

从图 4 可见,在低带宽时,UDT 的公平性指数与 TCP 相当,但并未保持在高水平,并且有很大的跳动,带宽为 2M 和 155M 时公平性指数很低,说明此时网络很不公平,但是在高速网络情况下,UDT 公平性迅速提升,公平性指数已经接近 1,而 TCP 的公平性开始下降。当处于高带宽(1Gb/s)时,时延对 UDT 的公平性影响不大,仍然保持了高度的公平性,随着时延的增加,TCP 的公平性指数明显下降,到 300ms 时已经到了 0.64,此时网络已经处于很不公平的状态。

### 3.3 稳定性

图 5 给出了随着网络环境条件的变化各个协议稳定性指数的仿真实验结果。网络拓扑与 3.1、3.2 节相同,用式(6)计算稳定性指数。

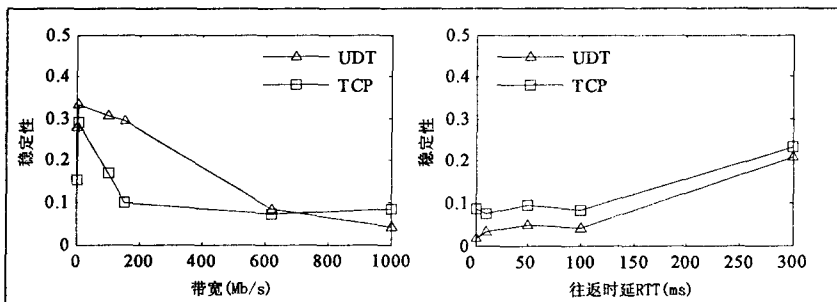


图 5 多种网络环境下稳定性

如图 5 的实验结果,当处于低带宽时,UDT 的稳定性不是很好,TCP 协议的稳定性强于 UDT,随着带宽的增加,UDT 和 TCP 的稳定性都开始增强,但是 UDT 稳定性增强的速率要比 TCP 快,在 622M 时 UDT 和 TCP 的稳定性相当,带宽的继续增加时,UDT 的稳定性超过了 TCP 协议的稳定性,这说明在高速网络时 UDT 的稳定性强于 TCP,此时,随着时延的增大,UDT 和 TCP 的稳定性几乎同时增大和减小,在高速时延情况下 UDT 和 TCP 的稳定性都开始下降。

### 4 结束语

文中在 NS2 上进行的大量仿真实验表明,网络环境不同,各种协议在多种影响因素下具有不同的性能表现。针对 UDT 的设计目标即效率、公平性和稳定性,在不同瓶颈链路带宽、时延等方面进行了仿真实验考察,发现网络环境对 UDT 的效率影响很小,都能保持高效率,而在高速网络中 UDT 公平性和稳定性性能表现相当好,与传统的 TCP 协议在相同环境下的性能相比,各项表现都占优,但是在低带宽情况时表现并不比传统 TCP 高,随着时延增大时它的稳定性有所下降。

由此可见,UDT 在高速网络中表现出很大的性能优势,完全实现了它的设计目标,同 TCP 的比较可以看出,UDT 并非在瓶颈带宽相对较小的情况下用来取代 TCP 的,它们是共存且相互补充的关系,而且 UDT 常用于高 BDP 的网络环境中。另外,文中仅从 UDT 的设计目标在多方面做了评价,要全面考察一个协议还需从多方面加以研究,如友好性等。文中的工作有助于全面评价 UDT 的各项性能,并有益于后续 UDT 版本的改进和开发。

### 参考文献:

- [1] Bullot H, Cottrell R L, Hughes - Jones R. Evaluation of Advanced TCP Stacks on Fast Long - Distance Production Networks[C]//Proc. of the 2nd International Workshop on Protocols for Fast Long - distance Networks. Argonne, Canada: [s. n.],2004.
- [2] Chiu D, Jain R. Analysis of the increase and decrease algorithms for congestion avoidance in computer networks [J]. Computer Networks and ISDN Systems, 1989, 17(1): 1 - 14.
- [3] Floyd S. Connections with Multiple Congested Gateways in Packet - Switched Networks Part 1: One - way Traffic[J]. Computer Communication Review, 1991, 21(5): 30 - 47.
- [4] 赵 飞,叶 震. UDP 协议与 TCP 协议的对比分析与可靠性改进[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(9): 219 - 221.
- [5] Gu Yunhong, Grossman R L. UDT: UDP - based Data Transfer for High - speed Wide Area Networks[J]. Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 2007, 51(7): 1777 - 1799.
- [6] Gu Yunhong, Grossman R L. Optimizing UDP - Based Protocol Implementations [C]//Proc. of the 3rd International Workshop on Protocols for Fast Long - distance Networks. Lyon, France: [s. n. ],2005.
- [7] Wright G R, Stevens W R. TCP/IP 详解卷 2: 实现[M]. 陆雪莹, 蒋 慧, 等译. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [8] UCN/ LBL/ VINT. Network Simulator - NS2[EB/OL]. 2007. http://www.isi.edu/nsnam/ns.
- [9] 徐雷鸣. NS2 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [10] 任勇毛, 唐海娜, 李 俊, 等. 高速网络 TCP 改进协议 NS2 仿真性能比较[J]. 计算机工程, 2009, 35(2): 6 - 9.
- [11] 王尧功, 潘 理, 李建华. 高速 TCP 变种协议与 DCCP 协议的公平性研究[J]. 计算机工程, 2009, 35(4): 91 - 93.
- [12] Jain R, Chiu D, Hawe W. A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation in Shared Computer Systems[R]. Hudson, MA: DEC, 1984.