

RTX_PW:一种基于路径权值的 CMT 重传策略

刘杰民^{1,2},王兴伟¹

(1. 东北大学信息科学与工程学院, 辽宁沈阳 110819; 2. 东北大学秦皇岛分校计算机与通信工程学院, 河北秦皇岛 066004)

摘 要: 针对多路径并行传输(CMT)情况下当路径质量存在较大差异时,部分路径传输优于全部路径的问题,建立了路径的平均吞吐量与丢包率和延迟的拟合关系,提出了一种基于路径权值的 CMT 重传策略—RTX-PW,该策略可有效减缓接收缓存阻塞,提高多路径并行传输的吞吐量.最后,仿真结果表明 RTX-PW 的性能优于传统重传策略 RTX_CWND 和 RTX_SSTHRESH.

关键词: 多路径并行传输; 路径权值; 接收缓存阻塞; 吞吐量

中图分类号: TP393.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2013) 06-1108-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.06.011

RTX_PW: A Retransmission Strategy of CMT Using Path Weight

LIU Jie-min^{1,2}, WANG Xing-wei¹

(1. School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110819, China;

2. School of Computer & Communication Engineering, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract: According to the problem that partial path transmission is better than the full path when there is a big difference in the quality of the path in concurrent multipath transfer(CMT) environment, the fitting relationship of the path average throughput, packet loss rate and delay is established. A retransmission strategy named RTX_PW using path weight is proposed, and this strategy can decrease the receive buffer block and improve the throughput of concurrent multipath transfer. Finally, simulation results show the performance of RTX_PW outperforms that of the traditional retransmission strategies of RTX_CWND and RTX_SSTHRESH.

Key words: concurrent multipath transfer; path weight; receive buffer blocking; throughput

1 引言

大规模实时媒体数据传输以及云计算技术和应用对目前互联网的传输性能提出了更高的要求,业界研究人员对下一代互联网的研究诸如移动 IP、HIP、SCTP^[1]、SHIM^[2]以及多路径 TCP^[3]涵盖了现有协议的局部改动、一体化网络与普通服务的设计^[4,5]、以及一体化网络下移动性管理的关键技术^[6]、一体化网络服务层映射模型^[7]、代理移动 IPv6 认证协议^[8]等都是对现有互联网技术的重要补充,其中基于多宿和多流的 SCTP 协议是支持下一代互联网关键技术之一^[9].如何在 SCTP 协议的基础上,充分利用多路径的资源,于是多路径并行传输便成为近年来学术界的研究热点.

目前学术界已提出了多种基于 SCTP 协议的多路径并行传输方案,其中美国特拉华大学(Delaware University)协议工程实验室(Protocol Engineering Laboratory, PEL)

的 Janardhan Iyengar 等^[10]提出的多路径同时传输方案 CMT-SCTP 最为著名,该方案有效地实现了多端口的带宽聚合,同时针对路径的不同特性如丢包率、拥塞窗口和慢启动阈值提出了五种 CMT-SCTP 协议的重传策略,并分析了不同重传策略对 CMT-SCTP 协议传输性能的影响,认为“接收缓存阻塞(receive buffer blocking)不可能完全消除,但设计优良的重传策略可减轻接收缓存阻塞程度”^[11].国内北京交通大学(Beijing Jiaotong University)下一代互联网设备国家工程实验室张宏科等研究了多路径并行传输情况下接收缓存阻塞问题产生的原因及对传输性能的影响^[12],提出了一种适用于多路径并行传输吞吐量分析的建模方法^[13],同时也对基于端到端多路径的最优化流量控制进行了研究^[14],以充分实现对端到端多路径多样性的利用,及有效的带宽利用和带宽聚合.

本文研究了路径平均吞吐量和丢包率、延迟的关联

性,基于此,设计了一种基于路径权值的 CMT 重传策略——RTX_PW,并通过仿真实验验证了 RTX_PW 重传策略对减缓接收缓存阻塞及提高 CMT 吞吐量的有效性。

2 路径平均吞吐量、丢包率和延迟的关联性

文献[15]就 IETF 在 RFC4960 中“任何情况下,多路径并行传输中全部路径用于数据传输以提高 CMT-SCTP 的整体性能”的设计思想所存在的一定缺陷通过仿真实验进行了验证,提出了当路径质量存在较大差异时,部分路径传输优于全部路径传输的问题,并通过实验统计分析得出了路径平均吞吐量和丢包率、延迟的关联表达式,即 $Avg_throughput(path) = f(Lossrate) \times Delay^{-g(Lossrate)}$,这里借助文献[13]和文献[16]的思路给出其理论计算和推导,以进一步证明其合理性.表 1 为所建立的路径平均吞吐量模型需要用到的变量名及含义。

始值是 2,总和是 4.即传输开始之前 $W_0 = [4]$, $Q_0 = [1]$.传输开始后数组 W_i 和 Q_i 的变化情况如图 1 所示.为了更好的说明拥塞窗口的变化过程,这里按照轮次进行描述。

表 1 CMT-SCTP 吞吐量模型中变量名及含义

变量名	含义
q	每一个数据块成功传输的概率
sk_size	应答数据块大小
ck_size	数据块大小
R	数据包传输速率
W_i	第 i 轮后两条路径上拥塞窗口可能的大小
Q_i	第 i 轮后数据块成功传输的概率
δ	物理层的往返延迟
ck _{i}	前 i 轮中成功传输数据包总和
RTT _{i}	前 i 轮中所有往返传输时间的总和

CMT-SCTP 关联建立后,每条路径上的拥塞窗口初

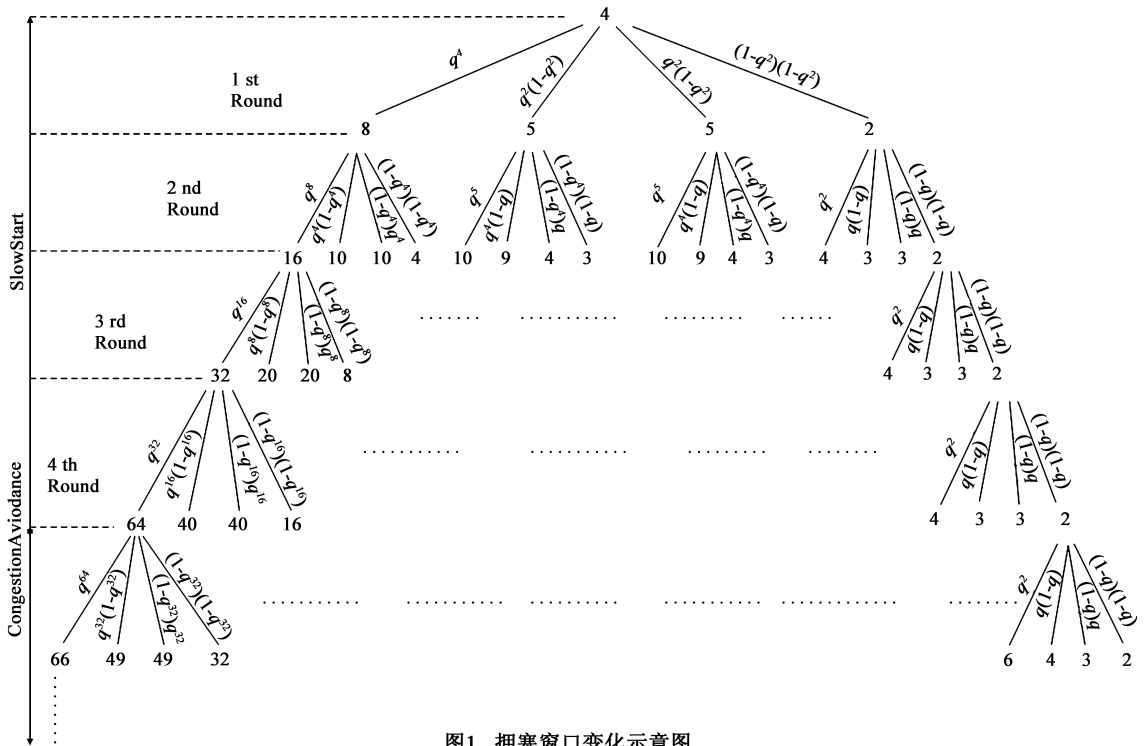


图 1 拥塞窗口变化示意图

2.1 在第一轮的传输过程中

(1)传输数据包的总数为:

$$ck_1 = W_0 \times q \times Q_0^T = 4q \quad (1)$$

(2)考虑单路径传输情况下,发送 W 个数据包需要的时间为:

$$rtt(W) = \frac{W \times ck_size + (W/b) \times sk_size}{R} \quad (2)$$

其中, b 为一个 SACK 中确认的数据块的个数,则发送

W_0 个数据包需要的时间为:

$$rtt(W_0) \times Q_0^T + \delta = rtt(4) + \delta \quad (3)$$

由此可得多路径并行传输情况下的传输时间为:

$$RTT_1 = \frac{rtt(W_0) \times Q_0}{2} + \delta = \frac{rtt(4)}{2} + \delta \quad (4)$$

(3)第一轮结束后,对于每条路径来说,如果数据全部发送成功,拥塞窗口值将变为原来的 2 倍,如果有丢包,拥塞窗口值变为原来的一半,那么,路径 A 和 B

有如下几种情况:①路径 A 和 B 全部成功;②路径 A 成功,路径 B 有丢包;③路径 A 有丢包,路径 B 成功;④路径 A 和 B 均有丢包.因此两条路径上拥塞窗口的值可能为(4,4),(4,1),(1,4),(1,1).对应的 W_i 包含四个元素,即 $W_1 = [8\ 5\ 5\ 2]$.对于每条路径来说,拥塞窗口从 2 变成 4 的概率为 q^2 ,拥塞窗口 2 变成 1 的概率为 $1 - q^2$.

从整体来看,拥塞窗口之和有四种情况,分别为 [8 5 5 2],相对应概率为

$$Q_1^T = \begin{bmatrix} Q_0(1)q^2q^2 \\ Q_0(1)q^2(1-q^2) \\ Q_0(1)(1-q^2)q^2 \\ Q_0(1)(1-q^2)(1-q^2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q^2q^2 \\ q^2(1-q^2) \\ (1-q^2)q^2 \\ (1-q^2)(1-q^2) \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中, $Q_0(1)$ 表示 Q_0 中的第一个元素.

2.2 第二轮传输过程中

(1)第二轮传输中数据包总数为 $W_1 \times q \times Q_1^T$,前两轮数据包总数可以依据式(6)计算得到:

$$\begin{aligned} ck_2 &= ck_1 + W_1 \times q \times Q_1^T \\ &= 4q + [8q\ 5q\ 5q\ 2q] \times \begin{bmatrix} q^2q^2 \\ q^2(1-q^2) \\ (1-q^2)q^2 \\ (1-q^2)(1-q^2) \end{bmatrix} \\ &= 6q(q^2 + 1) \end{aligned} \quad (6)$$

(2)第二轮的 RTT 为 $(\text{rtt}(W_1) \times Q_1^T)/2 + \delta$

因此,前两轮中总的 RTT 的值可以根据式(7)计算得到

$$\begin{aligned} \text{RTT}_2 &= \text{RTT}_1 + \frac{\text{rtt}(W_1) \times Q_1^T}{2} + \delta \\ &= 3(q^2 + 1)\text{rtt}(1) + 2\delta \end{aligned} \quad (7)$$

(3)第二轮结束后, W_1 中包含 4 个元素,每个元素会可能产生 4 个新元素,以 W_1 第二个元素为例描述变化过程,根据拥塞窗口变化规律, W_2 中的第 5 个元素到第 8 个元素如式(8)所示:

$$W_2(5:8) = [10\ 9\ 4\ 3] \quad (8)$$

对应的 Q_2 的值为(通过转秩的形式给出):

$$Q_2(5:8)^T = \begin{bmatrix} Q_1(2)q^4q \\ Q_1(2)q^4(1-q) \\ Q_1(2)(1-q^4)q \\ Q_1(2)(1-q^4)(1-q) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q^2(1-q^2)q^4q \\ q^2(1-q^2)q^4(1-q) \\ q^2(1-q^2)(1-q^4)q \\ q^2(1-q^2)(1-q^4)(1-q) \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中, $Q_1(2)$ 表示 Q_1 中的第二个元素.

2.3 在第三轮传输过程中

(1)第三轮传输中数据包总数为 $W_2 \times q \times Q_2^T$,前三轮传输数据包总数为 $ck_3 = ck_2 + W_2 \times q \times Q_2^T$.

(2)第三轮传输中 RTT 为 $(\text{rtt}(W_2) \times Q_2^T)/2 + \delta$,则前三轮总的 RTT 值为:

$$\text{RTT}_3 = \text{RTT}_2 + \frac{\text{rtt}(W_2) \times Q_2^T}{2} + \delta \quad (10)$$

(3)第三轮结束后, W_2 中的每个元素可能产生 4 个新元素,根据上述规律可以计算出相应的 W_3 和 Q_3 .

2.4 在第 r 轮传输过程中

(1)第 r 轮传输数据包总数为 $W_{r-1} \times q \times Q_{r-1}^T$,前 r 轮传输数据包总数为 $ck_r = ck_{r-1} + W_{r-1} \times q \times Q_{r-1}^T$.

(2)第 r 轮的 RTT 为 $(\text{rtt}(W_{r-1}) \times Q_{r-1}^T)/2 + \delta$,前 r 轮中总的 RTT 值为

$$\text{RTT}_r = \text{RTT}_{r-1} + \frac{\text{rtt}(W_{r-1}) \times Q_{r-1}^T}{2} + \delta \quad (11)$$

(3)第 r 轮结束后,前 r 轮总的吞吐量为:

$$\begin{aligned} \text{Throughput}_r &= ck_r / \text{RTT}_r \\ &= \frac{ck_{r-1} + W_{r-1} \times q \times Q_{r-1}^T}{\text{RTT}_{r-1} + \frac{\text{rtt}(W_{r-1}) \times Q_{r-1}^T}{2} + \delta} \end{aligned} \quad (12)$$

前 r 轮总的平均吞吐量为:

$$\text{Avg_throughput}(\text{path}) = \frac{1}{2} \cdot \frac{ck_{r-1} + W_{r-1} \times q \times Q_{r-1}^T}{\text{RTT}_{r-1} + \frac{\text{rtt}(W_{r-1}) \times Q_{r-1}^T}{2} + \delta} \quad (13)$$

则两条路径前 r 轮的吞吐量可依据式(14)得到:

$$\text{Avg_throughput}(\text{path}) = f(\text{Lossrate}) \times \text{Delay}^{-g(\text{Lossrate})} \quad (14)$$

上述推导过程证明了路径平均吞吐量和路径的丢包率与延迟关联的合理性,下面将以路径平均吞吐量为路径权值,设计新型的 CMT 重传策略.

3 RTX_PW 重传策略

这里首先给出如下定义.

定义 1

路径权值(Path Weight)为路径的平均吞吐量,每条路径均有独立的路径权值,该值是在路径丢包率与延迟基础上的一新特征值.

定义 2

路径平均吞吐量拟合函数即为路径平均吞吐量和路径的丢包率与延迟的关联函数.不同丢包率时延迟在一定范围内变化的路径平均吞吐量拟合函数不同.

文献[11]提出了五种 CMT 重传策略并验证了 RTX_CWND 和 RTX_SSTHRESH 较其它性能先进性,二者分别选择多路径中具有最大拥塞窗口值或最大慢启动阈值的路径作为重传路径.本文基于路径平均吞吐量和路径的丢包率与延迟的关联,及路径权值的定义,设计了基于路径权值的 CMT 重传策略 RTX_PW,该重

传策略选择多路径中具有最大路径权值的路径作为重传路径,以实现 CMT 吞吐量的提高.

3.1 RTX_PW 重传策略的算法

在原有 CMT 中新增如下新变量:

(1)对关联中的路径在 SctpDest_S 结构中增加路径权值变量.

- ①float weight;用于表示路径的权值.
- ②Boolean ISUsedToTrans;用于表示路径是否用于当前传输.

(2)在关联 SCTPCMTAgent 类中增加了三个变量和一个函数:

- ①float MinWeight;用于表示当前正在传输的路径中权值的最小值.
- ②int BlockTimes;用于表示在 10s 内发生接收端缓存阻塞的次数.
- ③double Block[];用于记录 10s 内发生接收缓存阻塞的具体时间.
- ④SelectPathFromUsedToDelete(),该函数用于当关联传输 10s 内发生接收缓存阻塞的次数超过 5 时,从正在数据传输的路径中选择一条加入不用于传输数据的路径队列.

RTX_PW 重传策略的算法步骤如下:

步骤 1 判断是否使用 PF 算法,如果使用 CMT-PF 算法,则当 destination addresses di, such that di.eStatus! = ACTIVE,则调用 PF 算法,从 PF 路径中选择一条并修改路径状态为 ACTIVE,并返回选择的路径.如果返回的路径为 NULL,则退出程序.

步骤 2 循环遍历路径 list,当 \exists destination addresses di, such that di.eStatus! = ACTIVE and di.ISUsedToTrans = FALSE 时,遍历下一条路径,否则,转到步骤 3.

步骤 3 记录当前遍历过的路径中 weight 最大的路径 di,如果出现多条路 weight 相同的情况则取 iCwnd 最大的一条路径,当存在多条这样的路径时,随机选择一条作为重传路径.

3.2 仿真实验及结果分析

为了验证重传策略的算法的有效性和先进性,我

们在加州大学伯克利分校研发的 NS-2.31 工具(<http://www.isi.edu/nsnam/ns>)上进行了仿真.图 2 为搭建的仿真环境拓扑结构图.边缘链路代表网络最后一跳,核心链路代表端到端共享网络.一条路径延迟为 100ms,另一条路径延迟为 45ms,该延迟代表了目前 Internet 中大部分数据流所经历的可能的端到端延迟.路径 1 的丢包率维持在 1%,路径 2 的丢包率为 1%~10%.这里设路径的延迟和丢包率均为双向,如丢包率 1% 表示向前和反向路径丢包率均为 1%,接收缓存(rbuf)设置为 64KB,并假设 CMT 中各端到端路径的瓶颈队列相互独立的.实验中的一些设定仅为实验的简单化,并不影响实验结论的一般意义.

3.2.1 吞吐量分析

图 3 表明,当 rbuf 设置为 64KB 时,传输一个 10MB 文件,CMT 使用不同重传策略如 RTX_PW、RTX_SSTHRESH 和 RTX_CWND 时的平均吞吐量,图中的每个点都是仿真实验运行至少 100 次的结果.由图 3 可知,随着路径 2 的丢包率的逐渐增大,CMT 使用不同重传策略时的平均吞吐量均呈下降趋势,这主要因为 CMT(不可避免的)接收缓存阻塞随路径 2 丢包率的增大而增大所致,接收缓存阻塞会导致平均吞吐量的下降.但图 3 同时也表明,在路径 2 具有 1%~10% 范围内的某一丢包率时,使用 RTX_PW 的 CMT 平均吞吐量均高于使用其它两种重传策略的 CMT 平均吞吐量.

3.2.2 TSN(Transfer Sequence Number)分析

图 4 表明,当 rbuf 设置为 64KB 时,传输一个 10MB 文件,CMT 使用不同重传策略如 RTX_PW、RTX_SSTHRESH 和 RTX_CWND 时的 CMT 累积 TSN,图中的每个点都是仿真实验运行至少 100 次的结果.由图 4 可知,随着路径 2 的丢包率的逐渐增大,CMT 使用不同重传策略时的累积 TSN 均呈下降趋势,这 CMT 的接收缓存阻塞随路径 2 丢包率的增大而增大所致,接收缓存阻塞会导致 CMT 累积 TSN 的下降.但图 13 同时也表明,在路径 2 具有同一丢包率时,使用 RTX_PW 的 CMT 累积 TSN 均高于使用其它两种重传策略的 CMT 累积 TSN 大约 10%.其中当路径 2 丢包率小于 4% 时,使用

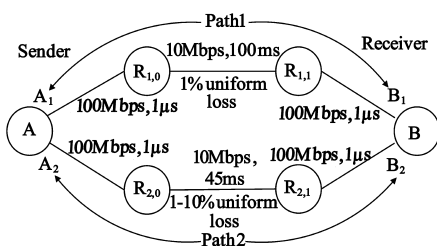


图2 仿真拓扑

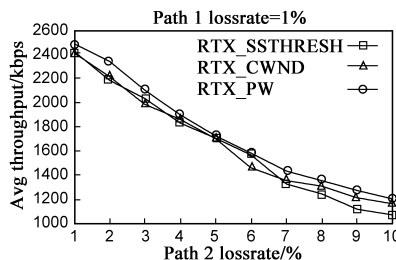


图3 不同重传策略CMT的平均吞吐量(当传输一个10MB文件且rbuf = 64KB时)

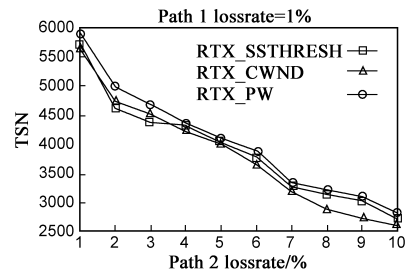


图4 不同重传策略CMT的TSN(当传输一个10MB文件且rbuf = 64KB时)

RTX_PW 的 CMT 累积 TSN 的优势较为明显,大于 4% 时 RTX_PW 略有优势,而实际 Internet 的丢包率大部分情况下均小于 4%.

3.2.3 传输时间分析

图 5 表明,当 rbuf 设置为 64KB 时,传输一个 10MB 文件,CMT 使用不同重传策略如 RTX_PW、RTX_SSTHRESH 和 RTX_CWND 时的传输时间,图中的每个点都是仿真实验运行至少 100 次的结果.由图 5 可知,随着路径 2 的丢包率的逐渐增大,CMT 使用不同重传策略时的传输时间均呈上升趋势,这主要是因为随着路径 2 丢包率的增大,重传次数必然增加,端到端传输时间必然增加.图 5 同时也表明,当路径 2 具有 1% ~ 10% 范围内的某一丢包率时,使用 RTX_PW 的 CMT 传输时间均小于使用其它两种重传策略的 CMT 传输时间.

3.2.4 重传次数分析

由图 6 可知,当 rbuf 设置为 64KB 时,传输一个 10MB 文件,CMT 使用不同重传策略如 RTX_PW、RTX_SSTHRESH 和 RTX_CWND 时的重传次数,图中的每个点都是仿真实验运行至少 100 次的结果.随着路径 2 丢包率的增大,CMT 使用不同重传策略如 RTX_PW、RTX_SSTHRESH 和 RTX_CWND 时的重传次数势必增加,但

在路径 2 具有 1% ~ 10% 范围内的某一丢包率时,使用 RTX_PW 重传策略的 CMT 重传数据的次数要少于其它两种重传策略,即表明 RTX_PW 重传成功的概率大于其它两种重传策略.

上述仿真实验说明,CMT 使用本文所设计的 RTX_PW 重传策略在吞吐量、TSN 传输时间和重传次数方面较 RTX_SSTHRESH 和 RTX_CWND 重传策略具有不同程度的优势.

下面就 CMT 在多条路径环境中使用 RTX_PW、RTX_SSTHRESH 和 RTX_CWND 三种不同的重传策略吞吐量的情况加以分析.

3.2.5 四条路径时吞吐量分析

图 7 表明,当 rbuf 设置为 64KB 时,传输一个 10GB 文件,当 CMT 关联拥有多条(这里暂设为四条)路径时,CMT 使用不同重传策略如 RTX_PW、RTX_SSTHRESH 和 RTX_CWND 时的平均吞吐量,图中的每个点都是仿真实验运行至少 100 次的结果.由图 7 可知,在传输开始不久(10 秒内)时,使用 RTX_SSTHRESH 的 CMT 吞吐量最大,使用 RTX_CWND 的 CMT 吞吐量最小,随着传输时间的增加,使用 RTX_PW 重传策略的 CMT 吞吐量均高于其它两种重传策略.

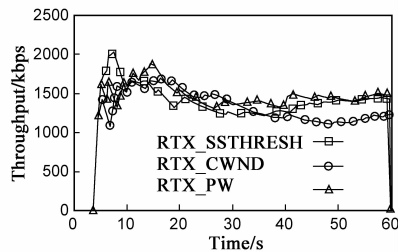
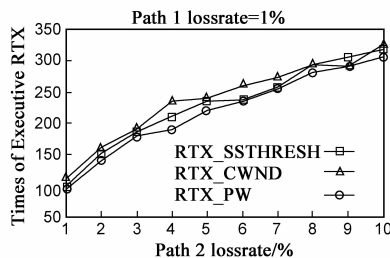
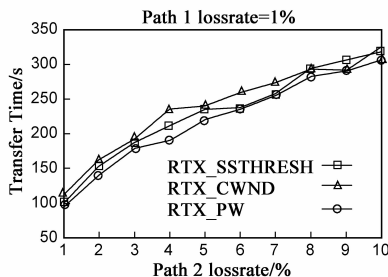


图 5 不同重传策略CMT的传输时间(当传输一个10MB文件且rbuf = 64KB时)

图 6 不同重传策略CMT的执行重传策略的次数(当传输一个10MB文件且rbuf = 64KB时)

图 7 CMT不同重传策略的吞吐量(传输一个10GB文件且rbuf = 64KB)

由以上的分析和实验可知,基于路径权值的 RTX_PW 重传策略可以从 CMT 关联中找出吞吐量最高的路径用于数据重传.由于路径权值是在发送端处理选择性确认块时进行计算,所以路径的权值能够依据该路径丢包率和延迟的变化实时计算出路径权值并动态进行重传路径的选择,提高端到端的传输性能.

4 结论

基于多宿的端到端多路径并行传输(CMT)中重传策略的优劣对有效地减缓了接收缓存阻塞,提高端到端多路径并行传输的吞吐量有着至关重要影响,本文基于丢包率和延迟网络特征值的基础上所提出的新的网络特征值即路径平均吞吐量,设计了一种基于路径权值 CMT 重传策略—RTX_PW.最后通过仿真实验可

知,本文所提出的重传策略相对 IETF 所提出的 RTX_SSTHRESH 和 RTX_CWND 重传策略更有效的减缓了接收缓存阻塞及由此导致的端到端吞吐量下降的问题.

本文的重传策略还有尚待改进之处,今后我们的研究工作将就因每个发送节点所拥有的接收窗口大小均等于接收端接收窗口大小所导致接收缓存阻塞问题展开研究.

参考文献

[1] RFC 4960, Stream Control Transmission Protocol[S]. Stewart R.
 [2] RFC 5533, Shim6: Level 3 Multihoming Shim Protocol for IPv6 [S]. Nordmark E, Bagnulo M.
 [3] IETF Internet-Draft, Draft-fordmptcpmultiaddressed-03, TCP

- Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses [S]. Ford A, Raiciu C.
- [4] 张宏科, 苏伟. 新网络体系基础研究——一体化网络与普适服务[J]. 电子学报, 2007, 35(4): 593 – 598.
Zhang Hong-ke, Su Wei. Fundamental research on the architecture of new network-universal network and pervasive services [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(4): 593 – 598. (in Chinese)
- [5] 董平, 秦雅娟, 张宏科. 支持普适服务的一体化网络研究. 电子学报, 2007, 35(4): 599 – 606.
Dong Ping, Qin Ya-juan, Zhang Hong-ke. Research on universal network supporting pervasive services [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(4): 599 – 606. (in Chinese)
- [6] 翟羽佳, 王钺, 袁坚, 山秀明, 张宏科. 一体化网络下移动性管理的索引结构模型[J]. 电子学报, 2009, 37(4): 706 – 712.
Zhai Yu-jia, Wang Yue, Yuan Jian, Shan Xiu-ming, Zhang Hong-ke. An index structure model for mobility management of universal networks [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(4): 706 – 712. (in Chinese)
- [7] 李世勇, 秦雅娟, 张宏科. 基于网络效用最大化的一体化网络服务层映射模型[J]. 电子学报, 2010, 38(2): 282 – 290.
Li Shi-yong, Qin Ya-juan, Zhang Hong-ke. Mapping model for the service layer of universal network based on network utility maximization [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(2): 282 – 290. (in Chinese)
- [8] 周华春, 张宏科, 秦雅娟. 一种代理移动 IPv6 认证协议 [J]. 电子学报, 2008, 36(10): 1873 – 1880.
Zhou Hua-chun, Zhang Hong-ke, Qin Ya-juan. Proxy mobile IPv6 authentication latency authentication cost analytic model [J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(10): 1873 – 1880. (in Chinese)
- [9] 薛淼, 高德云, 张思东, 等. 面向下一代网络的端到端多路径传输层架构[J]. 通信学报, 2010, 31(10): 26 – 35.
Xue Miao, Gao De-yun, Zhang Si-dong, et al. End-to-end multipath transport layer architecture oriented the next generation network [J]. Journal on Communications, 2010, 31(10): 26 – 35. (in Chinese)
- [10] Iyengar J, Shah K, Amer P, Stewart R. Concurrent multipath transfer using SCTP multihoming [A]. SPECTS 2004 [C]. San Jose, CA: SPECTS, 2004. 1 – 6.
- [11] Iyengar J, Amer P, Stewart R. Concurrent multipath transfer using SCTP multihoming over independent end-to-end paths [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2006, 14(5): 951 – 964.
- [12] 宋飞, 王博朱, 张宏科, 等. 多路径并行传输中接收缓存阻塞问题的研究[J]. 电子学报, 2010, 38(3): 552 – 555.
Song Fei, Wang Bo-zu, Zhang Hong-ke, et al. Research on receive buffer blocking in CMT [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(3): 552 – 555. (in Chinese)
- [13] 宋飞, 苏伟, 张宏科, 等. 多路径并行传输中吞吐量的建模与分析[J]. 电子学报, 2010, 38(4): 887 – 893.
Song Fei, Su Wei, Zhang Hong-ke, et al. Modeling and analysis of throughput in CMT [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(4): 887 – 893. (in Chinese)
- [14] 薛淼, 董平, 张思东, 张宏科. 一种基于端到端多路径的最优化流量控制算法[J]. 电子学报, 2012, 40(3): 564 – 570.
Xue Miao, Dong Ping, Zhang Si-dong, Zhang Hong-ke. An algorithm for optimal flow control based end-to-end multipath [J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(3): 564 – 570. (in Chinese)
- [15] 刘杰民, 白雪松, 王兴伟. 多路径并行传输中传输路径选择策略[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(6): 1521 – 1524.
Liu Jie-min, Bai Xue-song, Wang Xing-wei. The strategy for transmission path selection in concurrent multipath transfer [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2012, 34(6): 1521 – 1524. (in Chinese)
- [16] L Ma, F Yu, V Leung. Modeling SCTP throughput in integrated wlan/cellular networks [A]. Proc of IEEE ICC [C]. IEEE Press: Piscataway, NJ, 2005.

作者简介



刘杰民 男, 1964年5月出生, 河北昌黎人. 东北大学教授, 1985年、1988年和2008年分别在东北重型机械学院和东北大学获工学学士、工学硕士和工学博士学位. 现为东北大学秦皇岛分校计算机与通信工程学院副院长, 主要从事下一代互联网多宿端到端传输协议等方面的研究工作.

E-mail: Liujm@mail.neuq.edu.cn



王兴伟 男, 1968年1月出生, 辽宁沈阳人. 教授、博士生导师、中国通信学会会士、IEEE高级会员. 1989年、1992年和1998年在东北大学获工学学士、工学硕士和工学博士学位. 现为东北大学学科建设处处长, 主要从事IP/DWDM光Internet、移动无线Internet、分布式计算系统和分布式多媒体系统等方面的研究工作.