



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104579812 B

(45)授权公告日 2018.07.03

(21)申请号 201310520927.3

(56)对比文件

(22)申请日 2013.10.29

CN 101958811 A, 2011.01.26,

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 101026509 A, 2007.08.29,

申请公布号 CN 104579812 A

US 2006029037 A1, 2006.02.09,

(43)申请公布日 2015.04.29

曾彬 等. Pathload: 一种改进的可用带宽测量方法.《计算机研究与发展》.2009, 第898-904页.

(73)专利权人 中国科学院声学研究所

审查员 李奇

地址 100190 北京市海淀区北四环西路21号

(72)发明人 王劲林 吕阳 尤佳莉

(74)专利代理机构 北京法思腾知识产权代理有限公司 11318

代理人 杨小蓉 杨林

(51)Int.Cl.

H04L 12/26(2006.01)

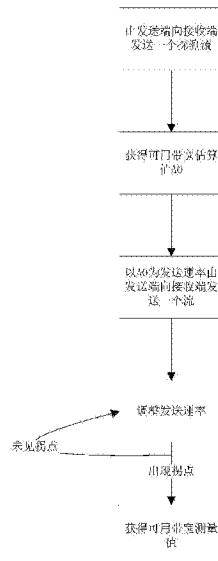
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种计算机网络可用带宽测量方法

(57)摘要

本发明涉及一种计算机网络可用带宽测量方法,包括:从发送端向接收端发送一个探测流,该探测流在传输过程中所生成的探测数据形成探测数据集;根据探测数据集以及发送端到接收端的结点间总容量估算出从发送端到接收端的可用带宽大小;以可用带宽的估算值为发送速率由发送端向接收端再次发送一个探测流,并由该探测流在传输过程中所生成的探测数据形成另一探测数据集;根据探测数据集判断当前发送速率与当前时刻可用带宽的大小关系并调整发送速率;重复执行前一步骤,直至探测数据集表明当前发送速率等于当前时刻的可用带宽;根据发送速率获得可用带宽测量值。



B

CN 104579812

1. 一种计算机网络可用带宽测量方法,包括:

步骤1)、从发送端向接收端发送一个探测流,该探测流在传输过程中所生成的探测数据形成探测数据集;

步骤2)、根据步骤1)所得到的探测数据集以及发送端到接收端的结点间总容量估算出从发送端到接收端的可用带宽大小;其中,所述结点间总容量反映了发送端与接收端间的数据链路能给传送于其上的流所提供的最大传输速率;

步骤3)、以步骤2)得到的可用带宽的估算值为发送速率由发送端向接收端再次发送一个探测流,并由该探测流在传输过程中所生成的探测数据形成另一探测数据集;

步骤4)、根据步骤3)所得到的探测数据集判断当前发送速率与当前时刻可用带宽的大小关系并调整发送速率;

步骤5)、重复执行步骤4),直至探测数据集表明当前发送速率等于当前时刻的可用带宽;

步骤6)、根据步骤5)所得到的发送速率获得可用带宽测量值;

所述步骤2)包括:

步骤2-1)、根据探测数据集中所包含的数据计算出竞争流产生速率;

其中,数据包P1与数据包P2的输出时间间隔 t_s 、这两个数据包的输入时间间隔 t_R 之间满足:

$$t_R = t_p + \frac{v_c \cdot t_s}{C}$$

其中, t_p 为数据包P1所需传输时间, v_c 为竞争流产生速率, t_s 为发送包输出时间间隔;

进而得到竞争流产生速率 v_c :

$$v_c = \frac{C \sum_{i=1}^K (t_R^+ - t_p)}{\sum_{i=1}^L t_S^+ + \sum_{i=1}^M t_S^- + \sum_{i=1}^N t_S^+}$$

K 为该探测流总发送探测包的数目;探测流在传输过程中所形成的探测数据集至少包括:相邻数据包之间的输出时间间隔 t_s 、相邻数据包之间的输入时间间隔 t_R ;数据包所需传输时间 t_p ;传输后包间隔增加的包的初始间隔 t_s^+ 、传输后包间隔不变的包的初始间隔 t_s^0 、传输后包间隔减少的包的初始间隔 t_s^- ;传输后包间隔增加的包的数目 L 、传输后包间隔不变的包的数目 M 、传输后包间隔减少的包的数目 N ;输入时间间隔 t_R 中比输出时间间隔 t_s 大的值 t_R^+ ;

步骤2-2)、由已知的发送端到接收端的结点间总容量 C 与步骤2-1)计算得到的竞争流产生速率 v_c 计算对可用带宽的估测值A:

$$A = C - v_c$$

2. 根据权利要求1所述的计算机网络可用带宽测量方法,其特征在于,在所述的步骤1)中,所述探测流的发送速率需符合JQR状态,即:

当数据包P2产生并处于准备发送状态下时,满足 $Q/C + t_p + v_c \cdot t_s / C < t_s$;

其中,C为发送端S到接收端R的结点间总容量;Q为在数据包P1准备发送时的等待队列

大小,所述数据包P1为在数据包P2之前的相邻数据包;Q/C为传送等待队列中已有数据包所需的最短时间; t_p 为理论上数据包在数据链路中传输所需时间; v_c 为竞争流产生速率; t_s 为探测流中数据包P1与数据包P2的输出时间间隔,所述输出时间间隔为探测流中的各个数据包在发送端生成并传输出去时的原始时间间隔; $v_c \cdot t_s / C$ 表示了在数据包P1与数据包P2输出时间间隔内所产生的竞争流传送时所需时间。

3. 根据权利要求1所述的计算机网络可用带宽测量方法,其特征在于,所述的步骤4)包括:

步骤4-1)、计算下列两个指标:

$$S_{PCT} = \frac{\sum_{k=2}^{\Omega} I(\hat{t}_k > \hat{t}_{k+1})}{\Omega - 1}$$

$$S_{PDT} = \frac{\hat{t}_{\Omega} - \hat{t}_1}{\sum_{k=2}^{\Omega} |\hat{t}_k - \hat{t}_{k-1}|}$$

其中, $I(x)$ 表示当 x 成立时函数值为1,反之为0; Ω 为从总共 K 个数据包中抽取出具有代表性的值的个数; t_k 为探测流中第 k 个数据包的单向延迟, $t_k = t_{Rk} - t_{Sk}$, 其中的 t_{Rk} 和 t_{Sk} 分别对应接收端与发送端打在该数据包上的时间戳;其中,参数 t_k 、 t_{k+1} 、 t_1 、 t_{Ω} 、 t_{k-1} 上加 $\hat{\cdot}$ 表示实验中对应的实际的测量值;

步骤4-2)、根据步骤4-1) 计算得到的指标判断单向延迟的增长趋势:

当 S_{PCT} 大于第一阈值时判定单向延迟为增长趋势, 小于第二阈值时单向延迟为不增;

当 S_{PDT} 大于第三阈值时判定单向延迟为增长趋势, 小于第四阈值时单向延迟为不增;

通过上述两个指标共同确定单向延迟是否为增长趋势;

步骤4-3)、若步骤4-2) 的判断结果为单向延迟为增长,表明第 n 个探测流的发送速率 $R(n)$ 大于可用带宽 A ,则第 $n+1$ 个流的发送速率 $R(n+1)$ 取小于 $R(n)$ 的值;反之,若单向延迟为不增,表明发送速率 $R(n)$ 不大于可用带宽 A ,则第 $n+1$ 个流的发送速率 $R(n+1)$ 取大于 $R(n)$ 的值;

步骤4-4)、根据步骤4-3) 的结果改变数据包输出间隔时间 t_s 以调节发送速率 R 。

4. 根据权利要求3所述的计算机网络可用带宽测量方法,其特征在于,采用自适应的逼近方法调节发送速率 R ,包括:发送端到接收端的结点间总容量 C ,设定值速率调整值 $R_{gap} = C/100$,若单向延迟为增长,则使 $R(n+1) = R(n) - R_{gap}$;反之,若单向延迟不增,则使 $R(n+1) = R(n) + R_{gap}$ 。

5. 根据权利要求3所述的计算机网络可用带宽测量方法,其特征在于,采用自适应的逼近方法调节发送速率 R ,包括:对于给出的可用带宽可能值范围 (R_{min}, R_{max}) ,若 $R(n) < A$,则取: $R(n+1) = (R(n) + R_{max}) / 2$, $R_{min} = R(n)$;反之,若 $R(n) \geq A$,则取: $R(n+1) = (R(n) + R_{min}) / 2$, $R_{max} = R(n)$ 。

6. 根据权利要求4所述的计算机网络可用带宽测量方法,其特征在于,在所述步骤6) 中,在根据发送速率 R 获得可用带宽测量值时,首先找到单向延迟变化拐点的前后两次发送速率分别为 $R(Y-1)$ 与 $R(Y)$,然后由此确定可用带宽 A 的值落在 $(R(Y-1), R(Y))$ 或 $(R(Y), R(Y-1))$ 中;其中,所述单向延迟变化拐点包括:对于相邻两次探测流所得数据集,若前一次表示单向延迟OWD为不增后一次表示单向延迟OWD增,或者前一次表示单向延迟OWD增而最后一次

表示单向延迟OWD不增，则存在所述单向延迟变化拐点。

7. 根据权利要求5所述的计算机网络可用带宽测量方法，其特征在于，在所述步骤6)中，在根据发送速率R获得可用带宽测量值时，每次测试后会得到更新的Rmin和Rmax，当Rmin和Rmax之差小于某个设定值时测量停止，此时取最后一次测量结束后的Rmax与Rmin值作为可用带宽可能值范围。

一种计算机网络可用带宽测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及网络性能测量领域,特别涉及一种计算机网络可用带宽测量方法。

背景技术

[0002] 计算机网络中端对端可用带宽是评估网络状态的一个非常重要的指标,许多网络功能(如拥塞控制,负载均衡,路径选择等)都需要用到它;同时,许多领域(如传输协议设计,网络监控,覆盖路由设备等)也包括了可用带宽测量。

[0003] 用于衡量可用带宽测量方法性能的标准主要包括:

[0004] 1) 测量准确度;

[0005] 2) 探测所产生的网络负担大小;

[0006] 3) 汇聚产生探测结果所需时间。

[0007] 现有技术中的可用带宽测量方法有多种,如Pathload,PTR/IGI,Spruce等,这些方法都在以上一点或多点上存在不足,亟待提高与改进。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于克服现有技术中的可用带宽测量方法所存在的不足,从而提供一种测量精度高、用时短的可用带宽测量方法。

[0009] 为了实现上述目的,本发明提供了一种计算机网络可用带宽测量方法,包括:

[0010] 步骤1)、从发送端向接收端发送一个探测流,该探测流在传输过程中所生成的探测数据形成探测数据集;

[0011] 步骤2)、根据步骤1)所得到的探测数据集以及发送端到接收端的结点间总容量估算出从发送端到接收端的可用带宽大小;其中,所述结点间总容量反映了发送端与接收端间的数据链路能给传送于其上的流所提供的最大传输速率;

[0012] 步骤3)、以步骤2)得到的可用带宽的估算值为发送速率由发送端向接收端再次发送一个探测流,并由该探测流在传输过程中所生成的探测数据形成另一探测数据集;

[0013] 步骤4)、根据步骤3)所得到的探测数据集判断当前发送速率与当前时刻可用带宽的大小关系并调整发送速率;

[0014] 步骤5)、重复执行步骤4),直至探测数据集表明当前发送速率等于当前时刻的可用带宽;

[0015] 步骤6)、根据步骤5)所得到的发送速率获得可用带宽测量值。

[0016] 上述技术方案中,在所述的步骤1)中,所述探测流的发送速率需符合JQR状态,即:

[0017] 当数据包P2产生并处于准备发送状态下时,满足 $Q/C + t_p + v_c \cdot t_s / C < t_s$;

[0018] 其中,C为发送端S到接收端R的结点间总容量;Q为在数据包P1准备发送时的等待队列大小,所述数据包P1为在数据包P2之前的相邻数据包;Q/C为传送等待队列中已有数据包所需的最短时间; t_p 为理论上数据包在数据链路中传输所需时间; v_c 为竞争流产生速率; t_s 为探测流中数据包P1与数据包P2的输出时间间隔,所述输出时间间隔为探测流中的各个

数据包在发送端生成并传输出去时的原始时间间隔; $v_C \cdot t_S/C$ 表示了在数据包P1与数据包P2输出时间间隔内所产生的竞争流传送时所需时间。

[0019] 上述技术方案中,探测流在传输过程中所形成的探测数据集至少包括:相邻数据包之间的输出时间间隔 t_S 、相邻数据包之间的输入时间间隔 t_R ;数据包所需传输时间 t_P ;传输后包间隔增加的包的初始间隔 t_S^+ 、传输后包间隔不变的包的初始间隔 t_S^0 、传输后包间隔减少的包的初始间隔 t_S^- ;传输后包间隔增加的包的数目L、传输后包间隔不变的包的数目M、传输后包间隔减少的包的数目N;输入时间间隔 t_R 中比输出时间间隔 t_S 大的值 t_R^+ 。

[0020] 上述技术方案中,所述步骤2)包括:

[0021] 步骤2-1)、根据探测数据集中所包含的数据计算出竞争流产生速率;

[0022] 其中,数据包P1与数据包P2的输出时间间隔 t_S 、这两个数据包的输入时间间隔 t_R 之间满足:

$$[0023] t_R = t_P + \frac{v_C \cdot t_S}{C}$$

[0024] 其中, t_P 为数据包P1所需传输时间, v_C 为竞争流产生速率, t_S 为发送包输出时间间隔;

[0025] 进而得到竞争流产生速率 v_C :

$$[0026] v_C = \frac{C \sum_{i=1}^K (t_R^+ - t_P)}{\sum_{i=1}^L t_S^+ + \sum_{i=1}^M t_S^0 + \sum_{i=1}^N t_S^-}$$

[0027] K 为该探测流总发送探测包的数目;

[0028] 步骤2-2)、由已知的发送端到接收端的结点间总容量C与步骤2-1)计算得到的竞争~流产生速率 v_C 计算对可用带宽的估测值A:

$$[0029] A = C - v_C$$

[0030] 上述技术方案中,所述的步骤4)包括:

[0031] 步骤4-1)、计算下列两个指标:

$$[0032] S_{PCT} = \frac{\sum_{k=2}^{\Omega} I(\hat{t}_k > \hat{t}_{k+1})}{\Omega - 1}$$

$$[0033] S_{PDT} = \frac{\hat{t}_\Omega - \hat{t}_1}{\sum_{k=2}^{\Omega} |\hat{t}_k - \hat{t}_{k-1}|}$$

[0034] 其中, $I(x)$ 表示当x成立时函数值为1,反之为0; Ω 为从总共K个数据包中抽取出具有代表性的值的个数; t_k 为探测流中第k个数据包的单向延迟, $t_k = t_{RK} - t_{SK}$, 其中的 t_{RK} 和 t_{SK} 分别对应接收端与发送端打在该数据包上的时间戳;

[0035] 步骤4-2)、根据步骤4-1)计算得到的指标判断单向延迟的增长趋势:

[0036] 当 S_{PCT} 大于第一阈值时判定单向延迟为增长趋势, 小于第二阈值时单向延迟为不增;

- [0037] 当 S_{PDT} 大于第三阈值时判定单向延迟为增长趋势, 小于第四阈值时单向延迟为不增;
- [0038] 通过上述两个指标共同确定单向延迟是否为增长趋势;
- [0039] 步骤4-3)、若步骤4-2)的判断结果为单向延迟为增长, 表明第n个探测流的发送速率 $R(n)$ 大于可用带宽A, 则第n+1个流的发送速率 $R(n+1)$ 取小于 $R(n)$ 的值; 反之, 若单向延迟为不增, 表明发送速率 $R(n)$ 不大于可用带宽A, 则第n+1个流的发送速率 $R(n+1)$ 取大于 $R(n)$ 的值;
- [0040] 步骤4-4)、根据步骤4-3)的结果改变数据包输出间隔时间 t_s 以调节发送速率R。
- [0041] 上述技术方案中, 采用自适应的逼近方法调节发送速率R, 包括: 发送端到接收端的结点间总容量C, 设定值速率调整值 $R_{gap}=C/100$, 若单向延迟为增长, 则使 $R(n+1)=R(n)-R_{gap}$; 反之, 若单向延迟不增, 则使 $R(n+1)=R(n)+R_{gap}$ 。
- [0042] 上述技术方案中, 采用自适应的逼近方法调节发送速率R, 包括: 对于给出的可用带宽可能值范围 (R_{min}, R_{max}) , 若 $R(n) < A$, 则取: $R(n+1) = (R(n) + R_{max}) / 2$, $R_{min} = R(n)$; 反之, 若 $R(n) \geq A$, 则取: $R(n+1) = (R(n) + R_{min}) / 2$, $R_{max} = R(n)$ 。
- [0043] 上述技术方案中, 在所述步骤6)中, 在根据发送速率R获得可用带宽测量值时, 首先找到单向延迟变化拐点的前后两次发送速率分别为 $R(Y-1)$ 与 $R(Y)$, 然后由此确定可用带宽A的值落在 $(R(Y-1), R(Y))$ 或 $(R(Y), R(Y-1))$ 中; 其中, 所述单向延迟变化拐点包括: 对于相邻两次探测流所得数据集, 若前一次表示OWD为不增后一次表示OWD增, 或者前一次表示OWD增而最后一次表示OWD不增, 则存在所述单向延迟变化拐点。
- [0044] 上述技术方案中, 在所述步骤6)中, 在根据发送速率R获得可用带宽测量值时, 每次测试后会得到更新的 R_{min} 和 R_{max} , 当 R_{min} 和 R_{max} 之差小于某个设定值时测量停止, 此时取最后一次测量结束后的 R_{max} 与 R_{min} 值作为可用带宽可能值范围。
- [0045] 本发明的优点在于:
- [0046] 1、本发明的测量方法通过估测可用带宽值, 可达到快速收敛, 缩短网络测量所用时间的目的。
- [0047] 2、本发明的方法以估测可用带宽值为基础的测量方式, 避免了网络负载在逼近过程中大范围的迭代所产生的波动, 提高了可用数据集的使用率, 提高测量精度。
- [0048] 3、本发明的方法采用自适应逼近方法来调整发送速率, 排除了端到端容量C(Capacity)值测量误差对结果产生的干扰, 提高了测量的精度。

附图说明

- [0049] 图1是本发明的可用带宽测量方法的流程图;
- [0050] 图2是包的发送接收示意图;
- [0051] 图3是本发明方法的一个应用实例的场景示意图。

具体实施方式

- [0052] 现结合附图对本发明作进一步的描述。
- [0053] 在本发明中, 将网络中的两个结点按照数据的传输方向分为发送端S和接收端R, 由多个数据包组成的探测流由所述发送端S发送到接收端R, 在这一探测流的发送过程中,

可实现从发送端S到接收端R之间可用带宽的测量。

[0054] 参考图1,本发明的计算机网络可用带宽测量方法包括:

[0055] 步骤1)、从发送端S向接收端R发送一个由K个大小为W字节的数据包组成的探测流,该探测流在传输过程中可生成一系列探测数据,形成探测数据集;

[0056] 图2为所述探测流的示意图,从图中可以看出,探测流中的相邻数据包之间存在一定的发送时间间隔,将探测流中产生时间在前的数据包记为P1,将产生时间在后的数据包记为P2;探测流的发送速率应当符合JQR(joint queuing region)状态,其中JQR的定义为:

[0057] 当数据包P2产生并处于准备发送状态下时,满足 $Q/C + t_p + v_c \cdot ts / C < ts$ 。

[0058] 其中,C为发送端S到接收端R的结点间总容量,也就是发送端S与接收端R间的数据链路能给传送于其上的流所提供的最大传输速率,或者说从发送端S到接收端R所涉及的中间链路都没有竞争流时所能达到的最大传输速率;Q为在数据包P1准备发送时的等待队列大小;Q/C为传送等待队列中已有数据包所需的最短时间;t_p为数据包在数据链路中传输所需时间;v_c为竞争流产生速率;ts为探测流中数据包P1与数据包P2的输出时间间隔,所述输出时间间隔为探测流中的各个数据包在发送端生成并传输出去时的原始时间间隔;v_c • ts/C表示了在数据包P1与数据包P2输出时间间隔内所产生的竞争流传送时所需时间。

[0059] 探测流在传输过程中所形成的探测数据集至少包括:数据包P1与数据包P2的输出时间间隔ts(指相邻两个数据包在发送端发送的时间间隔)、数据包P1与数据包P2的输入时间间隔t_R(指相邻两个数据包在接收端接收的时间间隔);数据包所需理论传输时间t_p(即单个数据包的大小除以链路最大容量C的所得值);传输后包间隔增加的包的初始间隔t_s⁺、传输后包间隔不变的包的初始间隔t_s⁻、传输后包间隔减少的包的初始间隔t_s;传输后包间隔增加的包的数目L、传输后包间隔不变的包的数目M、传输后包间隔减少的包的数目N;输入时间间隔t_R中比输出时间间隔ts大的值t_R⁺。上述探测数据中,ts、t_p可根据发送端的设置直接计算获得,t_s⁺、t_s⁻、t_s在数值上都等同于ts。

[0060] 已知探测流中包含有K个数据包,各个相邻数据包的输出时间间隔值都相同,即都为ts,但由于等待队列的存在,相邻数据包在接收端的输入时间间隔t_R可能会有多个不同的值,如某两个相邻数据包的输入时间间隔t_R可能大于ts,另两个相邻数据包的输入时间间隔t_R可能等于ts,t_R⁺就是指那些比ts值大的t_R。

[0061] 步骤2)、根据步骤1)探测所得数据集以及从发送端S到接收端R的结点间总容量C,估算出从发送端S到接收端R的可用带宽大小。

[0062] C值的测量可通过现有技术中的相关方法获得,如bprobe,nettimer,pathrate等,在本申请中C值视为一已知值。

[0063] 步骤3)、以步骤2)得到的可用带宽的估算值为发送速率由发送端S向接收端R发送一个探测流,并由该探测流在传输过程中生成一系列探测数据,形成另一探测数据集。

[0064] 本步骤中所得到的探测数据集的内容与步骤1)中所得到探测数据集的内容类似,此处不再重复说明。

[0065] 步骤4)、根据步骤3)所得到的探测所得数据集判断当前发送速率与当前时刻可用带宽的大小关系并调整发送速率。

[0066] 步骤5)、重复执行步骤4),直至探测所得数据集表明当前发送速率等于当前时刻的可用带宽。

[0067] 步骤6)、根据步骤5)所得到的发送速率获得可用带宽测量值。

[0068] 在所述步骤2)中,测量流中数据包P1与数据包P2的输出时间间隔 t_s 、这两个数据包的输入时间间隔 t_R 满足:

$$[0069] t_R = t_p + \frac{v_c \cdot t_s}{C}$$

[0070] 其中, t_p 为数据包P1所需传输时间, v_c 为竞争流产生速率, t_s 为发送包输出时间间隔。

[0071] 因此,可以得到:

$$[0072] v_c = \frac{C \sum_{i=1}^K (t_R^+ - t_p)}{\sum_{i=1}^L t_S^+ + \sum_{i=1}^M t_S^- + \sum_{i=1}^N t_S^-}$$

[0073] 其中, t_S^+ , t_S^- , t_S 分别表示传输后包间隔增加,不变和减少的包初始间隔(即数据包的输出时间间隔), t_S^+ , t_S^- , t_S 在数值上都等同于 t_s , t_R^+ 表示输入时间间隔 t_R 中较输出时间间隔 t_s 大的值。 L,M,N 分别表示传输后包间隔增加,不变和减少的包的数目。 K 为该探测流总发送探测包的数目。上述值都包含在探测数据集中,因此都为已知值。

[0074] 由此可得到对可用带宽的估测值: $\tilde{A} = C - v_c$ 。

[0075] 在所述步骤4)中,对于单个流中第k个包的单向延迟 t_k ,满足:

[0076] $t_k = t_{Rk} - t_{Sk}$, t_{Rk} 和 t_{Sk} 分别对应接收端与发送端打在该包上的时间戳。由于这里只关心单向延迟OWD(one way delay,即接收到包的时间与发送包的时间之差)的变化趋势,故无需发送端与接收端在时间上进行同步操作。

[0077] 整个探测流的行为,可通过以下两个指标进行判断:

$$[0078] S_{PCT} = \frac{\sum_{k=2}^{\Omega} I(\hat{t}_k > \hat{t}_{k+1})}{\Omega - 1}$$

$$[0079] S_{PDT} = \frac{\hat{t}_{\Omega} - \hat{t}_1}{\sum_{k=2}^{\Omega} |\hat{t}_k - \hat{t}_{k-1}|}$$

[0080] 其中的 $I(x)$ 表示当x成立时函数值为1,反之为0, Ω 为从总共K个数据中抽取出具有代表性的值的个数。

[0081] 当 S_{PCT} 大于某个值时判定OWD为增长趋势,小于某个值为不增(如0.66与0.54)。

[0082] 当 S_{PDT} 大于某个值时判定OWD为增长趋势,小于某个值为不增(如0.55与0.45)。

[0083] 通过上述两个指标可共同确定单向延迟OWD是否为增长趋势(若其中一个指标显示为增长趋势,另一个指标显示为不增,则对应的探测流会被舍去)。

[0084] 若判断结果为OWD为增长,表明第n个探测流的发送速率 $R(n)$ 大于可用带宽A,则第n+1个流的发送速率 $R(n+1)$ 应取小于 $R(n)$ 的值;反之,若OWD为不增,表明发送速率 $R(n)$ 不大

于可用带宽A，则 $R(n+1)$ 应取大于 $R(n)$ 的值。

[0085] 在确定需要对发送速率R进行调整后，本发明通过改变包间隔时间 t_s 的方式来调节发送速率R，对于探测流中单个包大小为W的情形，两者之间的关系为：

[0086] $R = W/t_s$ 。

[0087] 对发送速率R的调整可采用自适应的逼近方法，在本实施例中，可采用下面两种逼近方法中的任意一种，在其他实施例中，也可采用其他类型的逼近方法。

[0088] 逼近方法1：

[0089] 对于端到端容量C，设定值速率调整值 $R_{gap} = C/100$ ，若OWD为增长，则使 $R(n+1) = R(n) - R_{gap}$ ；反之，若OWD不增，则使 $R(n+1) = R(n) + R_{gap}$ 。

[0090] 逼近方法2：

[0091] 对于给出的可用带宽可能值范围 (R_{min}, R_{max}) ，若 $R(n) < A$ ，则取： $R(n+1) = (R(n) + R_{max})/2$ ， $R_{min} = R(n)$ ；

[0092] 反之，若 $R(n) \geq A$ ，则取： $R(n+1) = (R(n) + R_{min})/2$ ， $R_{max} = R(n)$ 。

[0093] 在所述步骤6)中，在根据发送速率R获得可用带宽测量值时，会根据步骤4)中所采用的逼近方法的不同存在不同的操作。所述在步骤4)中，在对发送速率R进行调整时若采用前述的逼近方法1，在根据发送速率R获得可用带宽测量值时，首先找到单向延迟OWD变化拐点的前后两次发送速率分别为 $R(Y-1)$ 与 $R(Y)$ ，然后由此确定A的值落在 $(R(Y-1), R(Y))$ 或 $(R(Y), R(Y-1))$ 中；其中的单向延迟OWD变化拐点是指：对于相邻两次探测流所得数据集，若前一次表示OWD为不增后一次表示OWD增，或者前一次表示OWD增而后一次表示OWD不增，则存在所述变化拐点。在步骤4)中，在对发送速率R进行调整时若采用前述的逼近方法2，每次测试后会得到更新的 R_{min} 和 R_{max} ，当 R_{min} 和 R_{max} 之差小于某个设定值(μ)时测量停止，此时取最后一次测量结束后的 R_{max} 与 R_{min} 值作为可用带宽可能值范围。

[0094] 如图3所示，在一个实例中，要完成端到端的文件传输(如将文件从Client1传送至Client2)，而中间需经过运营商所部署的若干个中转服务器(Server1, Server2, Server3, ……, Server N)，为获得最大文件上传速度，Client1需要选取与之可用带宽最大的三个中转服务器作为文件上传的终点。为达到这一目的，Client1需要测出其与这N个中转服务器间由Client1→Server k(k=1, 2, 3, …, N)的可用带宽大小。

[0095] 以发送端Client1测量其与中转服务器Server i(1≤i≤N)间的可用带宽为例说明使用本方法的测量过程：

[0096] 1、使用现有的可靠方法(如bprobe, nettimer, pathrate)测量Client1到Server i间的端到端容量C。

[0097] 2、Client1向Server i发送第一个探测流，包括端对端最大容量C等控制信息。

[0098] 3、Server i根据接收所得的数据集及接收到的控制信息，计算出可用带宽估测值 \tilde{A} 并返回给Client1。

[0099] 4、Client1以此估测值 \tilde{A} 为发送速率向Server i发送探测流。

[0100] 5、Server i根据接收到的探测流及所测得数据集计算出当前探测流速率与可用带宽A值的关系并反馈至发送端Client1。

[0101] 6、Client1根据反馈信息对发送速率进行调整使其逼近可用带宽A值，并以调整后的速率发送新的探测流至Server i。

[0102] 7、重复进行步骤5,6直至找到单向延迟OWD的拐点。根据OWD出现拐点处的发送流速率及出现拐点前一个发送流速率确定可用带宽A的值。

[0103] 使用本方法遍历的对Server1——Server N进行测量,通过选取拥有最大可用带宽测量值的3个服务器即可获得最大文件上传速度。

[0104] 需要说明的是,对于发送端需要在不同时刻多次测量其与接收端间可用带宽的情形,发送端与接收端间传输容量C的测量往往只需要在第一次进行,而以后的测量可直接使用第一次C值的测量结果,这是因为最大容量值是相对稳定的。

[0105] 最后所应说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制。尽管参照实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,都不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

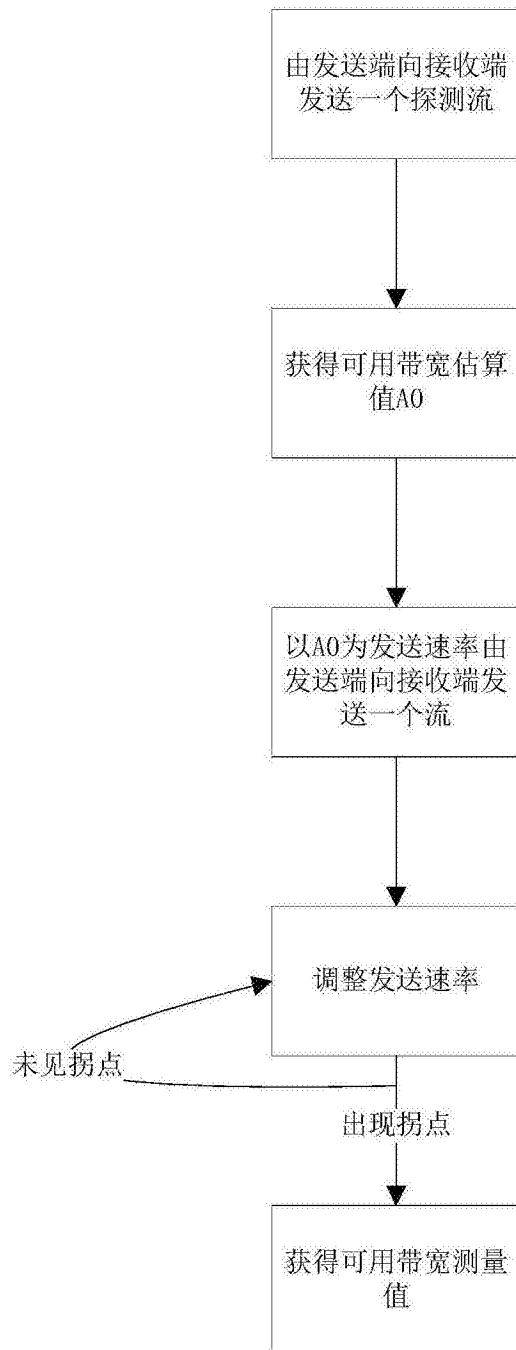


图1

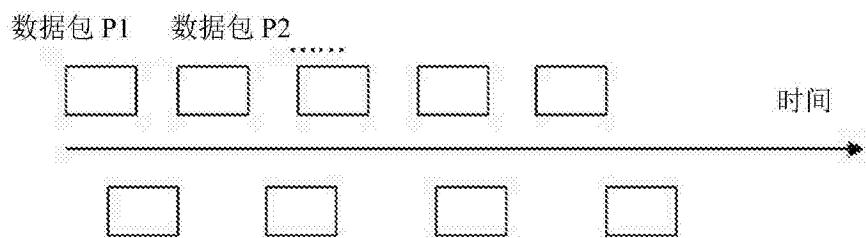


图2

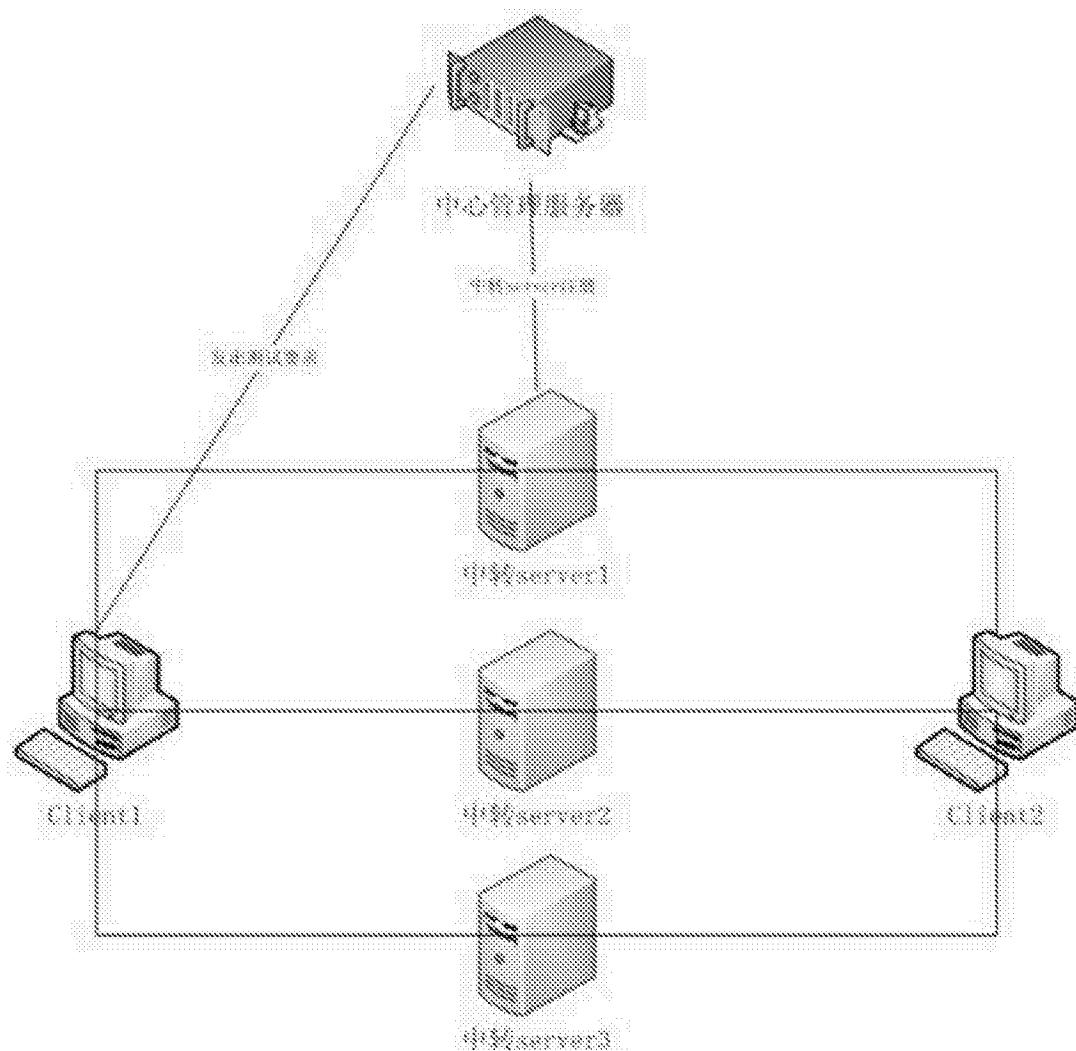


图3