



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103401778 B

(45)授权公告日 2017.06.30

(21)申请号 201310375831.2

H04L 12/861(2013.01)

(22)申请日 2013.08.26

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103401778 A

CN 101515840 A,2009.08.26,
US 8369311 B1,2013.02.05,

(43)申请公布日 2013.11.20

Yoav Nebat,Moshe sidi.《Resequencing considerations in Parallel Downloads》.《IEEE conference》.2002,第1326-1335页.

(73)专利权人 西安电子科技大学
地址 710071 陕西省西安市太白南路2号西安电子科技大学

周伟,李红艳等.《基于SCTP的多路径并行传输数据乱序问题研究》.《硕士学位论文》.2012,全文.

(72)发明人 李红艳 周冬梅 李建东 马英红 刘勤 黄鹏宇 李钊

审查员 张小倩

(74)专利代理机构 北京科亿知识产权代理事务所(普通合伙) 11350

代理人 汤东风

(51)Int.Cl.

H04L 12/701(2013.01)

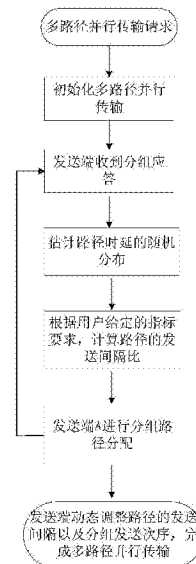
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

基于接收端缓存溢出概率保障的多路径传输分组调度方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于接收端受限缓存溢出概率保障的多路径传输的分组分配方法,其实现步骤为:发送端A根据实时的独立路径时延信息,估计路径时延的随机分布参数;按照用户需求的接收端缓存溢出概率指标要求p,计算求解得到路径的发送间隔比R;发送端A按照给定的分组分配方法,动态地调整路径的发送间隔和分组的发送次序,尽可能地降低乱序分组的个数,保证接收端受限缓存不发生溢出.本发明能够以用户所需达到的指标概率保证接收端缓存分组尽可能不发生溢出,减少了由于乱序造成接收端分组的丢弃,保证了业务数据向上提交的连续性,提高了网络的吞吐量,提升了用户的体验。



1. 基于接收端缓存溢出概率保障的多路径传输分组调度方法, 网络具有发送端A与接收端B, 当所述发送端A与所述接收端B之间需要多路径并行传输数据时按照流控制传输协议建立偶联, 建立的偶联中包含两条独立的路径, 分别为路径1与路径2, 其特征在于, 所述方法包括如下步骤:

(1) 当发送端A收到接收端B对分组 $P_{i,j+1}$ 的ACK应答信息, 发送端A从分组 $P_{i,j+1}$ 的应答分组中提取分组 $P_{i,j+1}$ 时延信息 $d_{i,j+1}$, 根据所得的实时路径时延信息, 估计路径i的平均时延 $\mu_{i,j+1}$ 和方差 $\sigma_{i,j+1}^2$, 其计算公式如下:

$$\mu_{i,j+1} = \mu_{i,j} + \frac{1}{j+1} (d_{i,j+1} - \mu_{i,j}) \quad (1)$$

$$\sigma_{i,j+1}^2 = \sigma_{i,j}^2 + \frac{1}{j+1} \left[(d_{i,j+1} - \mu_{i,j+1})^2 - \sigma_{i,j}^2 \right] \quad (2)$$

其中, $P_{i,j+1}$ 表示路径i ($i=1, 2$) 上的第j+1 ($j=0, 1, 2, 3, \dots$) 个被发送的分组; $d_{i,j+1}$ 表示路径i ($i=1, 2$) 上第j+1 ($j=0, 1, 2, 3, \dots$) 个被发送分组的实时时延; $\mu_{i,j+1}$, $\sigma_{i,j+1}^2$ 分别表示路径i上前j+1个分组的平均时延和方差, $\mu_{i,j}$, $\sigma_{i,j}^2$ 分别表示路径i上前j个分组的平均时延和方差;

(2) 接收端缓存溢出概率是指接收端缓存区中乱序分组的个数大于接收端缓存区的大小的概率, 则接收端B缓存溢出概率p的计算公式为:

$$\begin{aligned} p(rBuff > N) &= 1 - \sum_{k=0}^N p(rBuff = k) \\ &= 1 - \sum_{k=0}^N \left\{ \int_0^{\infty} \int_{(k-1)\Delta t_1 + \Delta t_2 + x_1}^{k\Delta t_1 + \Delta t_2 + x_1} p(x_2) p(x_1) dx_1 dx_2 \right\} - \sum_{k=0}^N \left\{ \int_0^{\infty} \int_{(k-1)\Delta t_2 + \Delta t_1 + x_2}^{k\Delta t_2 + \Delta t_1 + x_2} p(x_1) p(x_2) dx_1 dx_2 \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

其中, rBuff表示接收端缓存中乱序分组的个数, N表示接收端缓存区的大小, Δt_1 , Δt_2 分别表示路径1和路径2的分组发送间隔; $p(x_1)$ 和 $p(x_2)$ 分别表示路径1和路径2的随机时延的概率分布函数;

按照路径1和路径2的发送间隔比R的定义, 给出其计算公式如下:

$$R = \Delta t_1 / \Delta t_2 \quad (4)$$

按照Q函数的定义, 给出其计算公式如下:

$$Q(x_0) = \int_{x_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right\} dx \quad (5)$$

将路径i的随机时延分布概率函数、Q函数以及发送间隔比计算公式等式代入到接收端缓存溢出概率的计算公式中, 得到

$$\begin{aligned}
p &= 1 - \sum_{k=0}^N p(rBuff = k) \\
&= 1 - \sum_{k=0}^N \left\{ \int_0^{\infty} \left[Q \left[\frac{(k-1)R+1+x_1-\mu_{2j+1}}{\sigma_{2j+1}} \right] - Q \left[\frac{kR+1+x_1-\mu_{2j+1}}{\sigma_{2j+1}} \right] \right] p(x_1) dx_1 \right. \\
&\quad \left. - \sum_{k=0}^N \left\{ \int_0^{\infty} \left[Q \left[\frac{(k-1)+R+x_2-\mu_{1j+1}}{\sigma_{1j+1}} \right] - Q \left[\frac{k+R+x_2-\mu_{1j+1}}{\sigma_{1j+1}} \right] \right] p(x_2) dx_2 \right\} \right. \quad (6)
\end{aligned}$$

其中, rBuff表示接收端缓存中乱序分组的个数, N表示接收端缓存区的大小, μ_{1j+1} 表示路径1上前j+1个分组的平均时延, μ_{2j+1} 表示路径2上前j+1个分组的平均时延, σ_{1j+1} 表示路径1上前j+1个分组的标准差, σ_{2j+1} 表示路径2上前j+1个分组的标准差;

当发送端A有分组需要发送时, 根据将用户所需求的接收端缓存溢出概率的指标要求p以及路径的随机时延分布概率函数代入公式(6)中, 计算求解路径1和路径2的发送间隔比R;

(3) 根据步骤(2)计算得到的发送间隔比R, 发送端A将编号为n ($n=1, 2, 3, \dots$)的分组分配到路径i ($i=1, 2$)发送给接收端B, 其分配规则是判断下式是否成立

$$\left\lceil \frac{R}{R+1}(n+1) + \left(1 - \frac{2}{R+1}\right) \right\rceil = \left\lceil \frac{R}{R+1}n + \left(1 - \frac{2}{R+1}\right) \right\rceil \quad (7)$$

若成立, 则编号为n ($n=1, 2, 3, \dots$)的分组分配到路径1上; 否则, 分配到路径2上。

2. 根据权利要求1所述的分组调度方法, 其特征在于, 步骤(3)中当路径1和路径2的发送时刻相等时, 选择分配到路径1上进行传输。

3. 根据权利要求1所述的分组调度方法, 其特征在于, 所述路径1和路径2随机时延的概率分布函数 $p(x_1)$ 和 $p(x_2)$ 的计算过程如下:

根据得到的路径i的平均时延 μ_{ij+1} 和方差 σ_{ij+1}^2 随机分布参数, x_1 和 x_2 是独立同分布的高斯随机变量, 则其概率分布函数的计算公式为:

$$p(x_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{1j+1}} \exp \left\{ -\frac{(x_1 - \mu_{1j+1})^2}{2\sigma_{1j+1}^2} \right\} \quad (8)$$

$$p(x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{2j+1}} \exp \left\{ -\frac{(x_2 - \mu_{2j+1})^2}{2\sigma_{2j+1}^2} \right\} \quad (9)$$

其中, x_1 和 x_2 分别表示路径1和路径2的随机路径时延, μ_{ij+1} , σ_{ij+1}^2 分别表示路径i上前j+1个分组的平均时延和方差, σ_{ij+1} 表示路径上i前j+1个分组的标准差。

基于接收端缓存溢出概率保障的多路径传输分组调度方法

技术领域

[0001] 本发明涉及通信技术领域,具体涉及一种基于接收端受限缓存溢出概率保障的多路径传输的分组分配方法。

背景技术

[0002] 随着接入技术的多样化发展和设备成本的降低,使得用户的终端设备逐渐配备多种网络接口,目前的笔记本电脑,smart phones等多种移动终端大多具有两种或两种以上的网络接口。另一方面,越来越多的用户倾向于从网络下载一些媒体业务,如电影和音乐等多媒体业务。随着用户数量和业务种类的增加,以及多媒体业务本身的高带宽要求,单一的网络不能提供足够的带宽资源满足用户需求。因此,基于多种接入技术的多路径并行传输成为研究的热点。

[0003] 众所周知,传统的TCP协议并不支持多路径并行传输。一个TCP连接唯一确定了本地IP地址,本地端口号,远端IP地址和远端端口号,所以端到端的数据传输只能用单一路径。标准流传输控制协议(SCTP)虽然提出了并行传输的概念,在实际传输中仅选择其中一条可用路径作为主路径传输数据,其他可用路径作为备选路径,只有在主路径失效的情况下,才会使用备选路径传输数据。为了支持在多条路径上同时并行传输数据,需要对标准SCTP协议进行相应的扩展,目前的多路径并行传输协议主要有CMT-SCTP以及p-TCP等。

[0004] 跟单路径传输相比,多路径并行传输通过带宽聚合获得更多的可用带宽,能够更好的满足用户的需求。此外,多路径并行传输还可以提高数据传输的可靠性,对链路错误有着更高的容忍性,即使某路径发生中断,丢失的数据包可以通过其他路径进行传输,不会影响服务的连续性。但是,多路径并行传输总是存在接收端缓存溢出的问题。采用多路径进行数据传输时,由于每条路径的属性不同,网络参数(时延,带宽)的随机变化,编号大的分组可能提前到达接收端,由于编号小的分组没有到达,导致编号大的分组无法向上提交,不可避免的发生接收端数据包乱序。在接收端缓存有限的情况下,当乱序数据包的个数超过缓存大小时,缓存发生溢出,数据包被丢弃,从而导致业务性能下降。

[0005] Yoav Nebat等人在文章中分析了接收端缓存分组的占用情况,提出了一些降低接收端分组乱序的方法。该方法包括以下几个步骤:1)先将随机路径时延建模为离散的马尔科夫链;2)分析计算接收端分组占用情况的概率分布;3)根据路径时延的一阶矩,提出一种降低接收端分组乱序的方法。这种方法虽然可以降低接收端分组的乱序,其发送端分组分配方式是基于每个分组的时延等于路径的平均时延,并没有完全考虑时延的随机变化特性。另外,T.Zinner等人通过实验验证得出,在路径时延分布相同的情况下,接收端缓存分组的占用情况主要取决于路径时延的二阶矩。

发明内容

[0006] 本发明目的在于克服上述已有方法的不足,提出一种基于接收端受限缓存溢出概率保障的多路径传输的分组分配方法,解决多路径并行传输中分组发生乱序的问题,尽可

能保证接收端缓存不发生溢出,使得发送端用户的业务数据能够连续地提交给接收端。

[0007] 为达到上述目的,本发明的技术方案是这样实现的:发送端A根据实时的独立路径时延信息,估计路径时延的随机分布参数;按照用户需求的接收端缓存溢出概率指标要求 p ,计算求解得到路径的发送间隔比 R ;发送端A按照给定的分组分配方法,动态地调整路径的发送间隔和分组的发送次序,尽可能地降低乱序分组的个数,保证接收端受限缓存不发生溢出。其具体步骤包括如下:

[0008] 一种基于接收端受限缓存溢出概率的分组分配方法,网络具有发送端A与接收端B,当所述发送端A与所述接收端B之间需要多路径并行传输数据时按照流控制传输协议建立偶联,建立的偶联中包含两条独立的路径,分别为路径1与路径2,所述方法包括如下步骤:

[0009] (1)当发送端A收到接收端B对分组 P_{ij+1} 的ACK应答信息,发送端A从分组 P_{ij+1} 的应答分组中提取分组 P_{ij+1} 的时延信息 d_{ij+1} ,根据所得的实时路径时延信息,估计路径 i 的平均时延 μ_{ij+1} 和方差 σ_{ij+1}^2 ,其计算公式如下:

$$[0010] \quad \mu_{ij+1} = \mu_{ij} + \frac{1}{j+1}(d_{ij+1} - \mu_{ij})$$

$$[0011] \quad \sigma_{ij+1}^2 = \sigma_{ij}^2 + \frac{1}{j+1}[(d_{ij+1} - \mu_{ij+1})^2 - \sigma_{ij}^2]$$

[0012] 其中, P_{ij+1} 表示路径 i ($i=1,2$)上的第 $j+1$ ($j=0,1,2,3,\dots$)个被发送的分组; d_{ij+1} 表示路径 i ($i=1,2$)上第 $j+1$ ($j=0,1,2,3,\dots$)个被发送分组的实时时延; μ_{ij+1} , σ_{ij+1}^2 分别表示路径 i 上前 $j+1$ 个分组的平均时延和方差, μ_{ij} , σ_{ij}^2 分别表示路径 i 上前 j 个分组的平均时延和方差;

[0013] (2)当发送端A有分组需要发送时,根据用户所需求的接收端缓存溢出概率的指标要求 p ,计算求解路径1和路径2的发送间隔比 R ;

[0014] (3)根据步骤(2)计算得到的发送间隔比 R ,发送端A将编号为 n ($n=1,2,3,\dots$)的分组分配到路径 i ($i=1,2$)发送给接收端B,其分配规则是判断下式是否成立

$$[0015] \quad \left[\frac{R}{R+1}(n+1) + \left(1 - \frac{2}{R+1}\right) \right] = \left[\frac{R}{R+1}n + \left(1 - \frac{2}{R+1}\right) \right]$$

[0016] 若成立,则编号为 n ($n=1,2,3,\dots$)的分组分配到路径1上;否则,分配到路径2上。

[0017] 需要说明的是,所述发送间隔比 R 的计算公式如下:

$$[0018] \quad p = 1 - \sum_{k=0}^N p(rBuff = k)$$

$$[0019] \quad = 1 - \sum_{k=0}^N \left\{ \int_0^{\infty} \left\{ Q \left[\frac{(k-1)R+1+x_1 - \mu_{2j+1}}{\sigma_{2j+1}} \right] - Q \left[\frac{kR+1+x_1 - \mu_{2j+1}}{\sigma_{2j+1}} \right] \right\} p(x_1) dx_1 \right\}$$

$$[0020] \quad - \sum_{k=0}^N \left\{ \int_0^{\infty} \left\{ Q \left[\frac{(k-1)+R+x_2 - \mu_{1j+1}}{\sigma_{1j+1}} \right] - Q \left[\frac{k+R+x_2 - \mu_{1j+1}}{\sigma_{1j+1}} \right] \right\} p(x_2) dx_2 \right\}$$

[0021] 其中, $p(x_1)$ 和 $p(x_2)$ 分别表示路径1和路径2的随机时延的概率分布函数, $rBuff$ 表示接收端缓存中乱序分组的个数, N 表示接收端缓存区的大小, μ_{1j+1} 表示路径1上前 $j+1$ 个分组的平均时延, μ_{2j+1} 表示路径2上前 $j+1$ 个分组的平均时延, σ_{1j+1} 表示路径1上前 $j+1$ 个分组的标准差, σ_{2j+1} 表示路径2上前 $j+1$ 个分组的标准差

[0022] 需要说明的是, 步骤(3)中当路径1和路径2的发送时刻相等时, 选择分配到路径1上进行传输。进一步的说, 所述发送时刻表示所述路径1在第 n 秒进行分组发送, 所述路径2在第 n' 秒进行分组发送, 当 $n=n'$ 时, 将选择路径1进行传输。需要说明的是, 骤(2)所述路径1和路径2随机时延的概率分布函数 $p(x_1)$ 和 $p(x_2)$ 的计算过程如下:

[0023] 根据得到的路径 i 的平均时延 μ_{ij+1} 和方差 σ_{ij+1}^2 随机分布参数, x_1 和 x_2 是独立同分布的高斯随机变量, 则其概率分布函数的计算公式为:

$$[0024] \quad p(x_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{1j+1}} \exp\left\{-\frac{(x_1 - \mu_{1j+1})^2}{2\sigma_{1j+1}^2}\right\}$$

$$[0025] \quad p(x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{2j+1}} \exp\left\{-\frac{(x_2 - \mu_{2j+1})^2}{2\sigma_{2j+1}^2}\right\}$$

[0026] 其中, x_1 和 x_2 分别表示路径1和路径2的随机路径时延 μ_{ij+1} , σ_{ij+1}^2 分别表示路径 i 上前 $j+1$ 个分组的平均时延和方差, σ_{ij+1} 表示路径 i 上前 $j+1$ 个分组的标准差。

[0027] 需要说明的是, 步骤(2)所述接收端缓存溢出概率的计算公式如下:

$$[0028] \quad p(rBuff > N) = 1 - \sum_{k=0}^N p(rBuff = k)$$

$$[0029] \quad = 1 - \sum_{k=0}^N \left\{ \int_0^{\infty} \int_{(k-1)\Delta t_1 + \Delta t_2 + x_1}^{k\Delta t_1 + \Delta t_2 + x_1} p(x_2)p(x_1) dx_1 dx_2 \right\} - \sum_{k=0}^N \left\{ \int_0^{\infty} \int_{(k-1)\Delta t_2 + \Delta t_1 + x_2}^{k\Delta t_2 + \Delta t_1 + x_2} p(x_1)p(x_2) dx_1 dx_2 \right\}$$

[0030] 其中, $rBuff$ 表示接收端缓存中乱序分组的个数, N 表示接收端缓存区的大小, Δt_1 , Δt_2 分别表示路径1和路径2的分组发送间隔; 按照 Q 函数的定义, 给出其计算公式如下:

$$[0031] \quad Q(x_0) = \int_{x_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right\} dx$$

[0032] 按照路径1和路径2的发送间隔比 R 的定义, 给出其计算公式如下:

$$[0033] \quad R = \Delta t_1 / \Delta t_2$$

[0034] 将路径 i 的随机时延分布概率函数、 Q 函数以及发送间隔比等式代入到接收端缓存溢出概率的计算公式中, 得到步骤(2)给出的接收端缓存溢出概率的计算公式。

[0035] 需要说明的是, 所述接收端缓存溢出概率, 是指接收端缓存区中乱序分组的个数大于接收端缓存区大小的概率。

[0036] 本发明与现有技术相比具有如下优点:

[0037] 1、本发明充分考虑路径时延的随机变化特性, 将路径时延建模为连续的随机变量, 保证了时延的连续性, 与现有的将随机时延建立为离散的马尔科夫链相比, 更加符合实际时延的动态特性。

[0038] 2、影响接收端分组乱序主要的因素之一是分组的路径时延,异构网络环境下,时延的随机性和不可预测性导致很难精确的对其进行描述。本发明在没有很精确的模型描述的情况下,将路径时延建模为服从高斯分布的随机变量,基于路径时延的历史信息,估计随机时延的分布参数,能够更好更准确的描述路径时延的随机变化特性。

[0039] 3、本发明充分考虑路径时延的随机变化特性,在分析接收端缓存占用时,综合考虑了路径时延的一阶距和二阶矩,与现有的发明相比,能更好的描述接收端缓存占用的概率分布。

附图说明

[0040] 图1是本发明的分组分配总流程图;

[0041] 图2是本发明中多路径并行传输的场景图;

[0042] 图3是对本发明方法和现有技术中仅考虑平均时延的分配方法的接收端缓存溢出仿真对比图。

具体实施方式

[0043] 下面将结合附图对本发明作进一步的描述。

[0044] 如图1所示,,本发明为基于接收端受限缓存溢出概率的分组分配方法,其实现步骤如下:

[0045] 步骤1,初始化多路径并行传输;

[0046] (1a)当发送端A和接收端B之间需要多路径并行传输时,按照流控制传输协议SCTP的四次握手机制建立偶联,建立的偶联中包含两条独立的路径,分别用路径1和路径2表示;

[0047] (1b)发送端A将要发送的文件拆分为大小相同的分组,每个分组包含不同的文件内容,将每个分组按顺序进行编号,则编号为 n ($n=1,2,3,\dots$)的分组被分配到路径 i ($i=1,2$)发送给接收端B;定义初始化路径时延分布参数,路径1的平均时延为 $\mu_{10}=0$,方差 $\sigma_{10}^2=0$,路径2的平均时延为 $\mu_{20}=0$,方差 $\sigma_{20}^2=0$

[0048] 步骤2,当发送端A收到分组应答信息,估计路径时延的随机分布参数;

[0049] 当发送端A收到接收端B对分组 P_{ij+1} 的ACK应答信息,发送端A从分组 P_{ij+1} 的应答分组中提取分组 P_{ij+1} 时延信息 d_{ij+1} ,根据所得的实时路径时延信息,估计路径 i 的平均时延 μ_{ij+1} 和方差 σ_{ij+1}^2 ,其计算公式如下:

$$[0050] \quad \mu_{ij+1} = \mu_{ij} + \frac{1}{j+1} (d_{ij+1} - \mu_{ij})$$

$$[0051] \quad \sigma_{ij+1}^2 = \sigma_{ij}^2 + \frac{1}{j+1} \left[(d_{ij+1} - \mu_{ij+1})^2 - \sigma_{ij}^2 \right]$$

[0052] 其中, P_{ij+1} 表示路径 i ($i=1,2$)上的第 $j+1$ ($j=0,1,2,3,\dots$)个被发送的分组。 d_{ij+1} 表示路径 i ($i=1,2$)上第 $j+1$ ($j=0,1,2,3,\dots$)个被发送分组的实时时延。 μ_{ij+1} , σ_{ij+1}^2 分别表示路径 i 上前 $j+1$ 个分组的平均时延和方差, μ_{ij} , σ_{ij}^2 分别表示路径 i 上前 j 个分组的平均时延和方差;

[0053] 步骤3,当发送端A有分组要发送时,计算求解路径1和路径2的发送间隔比;

[0054] (3a)根据步骤2所得的路径i的平均时延和方差等随机分布参数,分别按照下式计算路径1和路径2随机时延的概率分布函数,公式如下:

$$[0055] \quad p(x_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{1j+1}} \exp\left\{-\frac{(x_1 - \mu_{1j+1})^2}{2\sigma_{1j+1}^2}\right\}$$

$$[0056] \quad p(x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{2j+1}} \exp\left\{-\frac{(x_2 - \mu_{2j+1})^2}{2\sigma_{2j+1}^2}\right\}$$

[0057] 其中, x_1 和 x_2 分别表示路径1和路径2的随机时延, $\mu_{i,j+1}$, $\sigma_{i,j+1}^2$ 分别表示路径i上前j+1个分组的平均时延和方差, $\sigma_{i,j+1}$ 表示路径i上前j+1个分组的标准差。

[0058] (3b)当发送端A有分组需要发送时,根据用户所需求的接收端缓存溢出概率的指标要求p,以及步骤(3a)计算求解路径1和路径2的发送间隔比R,其求解公式如下:

$$[0059] \quad p = 1 - \sum_{k=0}^N p(rBuff = k)$$

$$[0060] \quad = 1 - \sum_{k=0}^N \left\{ \int_0^{\infty} \left\{ Q\left[\frac{(k-1)R+1+x_1-\mu_{2j+1}}{\sigma_{2j+1}}\right] - Q\left[\frac{kR+1+x_1-\mu_{2j+1}}{\sigma_{2j+1}}\right] \right\} p(x_1) dx_1 \right\}$$

$$[0061] \quad - \sum_{k=0}^N \left\{ \int_0^{\infty} \left\{ Q\left[\frac{(k-1)+R+x_2-\mu_{1j+1}}{\sigma_{1j+1}}\right] - Q\left[\frac{k+R+x_2-\mu_{1j+1}}{\sigma_{1j+1}}\right] \right\} p(x_2) dx_2 \right\}$$

[0062] 其中, $p(x_1)$ 和 $p(x_2)$ 分别表示路径1和路径2的随机时延的概率分布函数,rBuff表示接收端缓存中乱序分组的个数,N表示接收端缓存区的大小, μ_{1j+1} 表示路径1上前j+1个分组的平均时延, μ_{2j+1} 表示路径2上前j+1个分组的平均时延, σ_{1j+1} 表示路径1上前j+1个分组的标准差, σ_{2j+1} 表示路径2上前j+1个分组的标准差;

[0063] 步骤4,发送端A进行分组路径分配;

[0064] 根据步骤3计算得到的发送间隔比R,发送端A将编号为n($n=1,2,3,\dots$)的分组分配到路径i($i=1,2$)发送给接收端B,其分配规则为:判断下式是否成立

$$[0065] \quad \left[\frac{R}{R+1}(n+1) + \left(1 - \frac{2}{R+1}\right) \right] = \left[\frac{R}{R+1}n + \left(1 - \frac{2}{R+1}\right) \right]$$

[0066] 若成立,则编号为n($n=1,2,3,\dots$)的分组分配到路径1上;否则,分配到路径2上。

[0067] 需要说明的是,在步骤4中,当路径1和路径2的发送时刻相等时,选择分配到路径1上进行传输;进一步的说,所述发送时刻表示所述路径1第n秒进行分组发送,所述路径2第n'秒进行分组发送,当 $n=n'$ 时,将选择路径1进行传输。

[0068] 需要说明的是,进行完分组路径分配后,发送端A按照得到的发送间隔比R和分配好的分组发送次序,按序将分组发送给接收端B。

[0069] 为了更好的理解本发明,可以通过仿真实验进一步说明本发明的效果。

[0070] 1、仿真场景

[0071] 如图2所示,为多路径并行传输的场景,发送端A和接收端B之间有两条独立的路径,分别是路径1和路径2。路径1的平均时延和方差分别是 $\mu_1=250$, $\sigma_1=10$,路径2的平均时延和方差分别是 $\mu_2=500$, $\sigma_2=20$,接收端受限缓存最多可以存储20个分组。在仿真过程中,设置固定路径1的分组发送间隔,统计随着路径2的分组发送间隔的递增,接收端受限缓存溢出概率的变化。

[0072] 2、仿真内容及结果

[0073] 仿真内容是当多路径并行传输时,分别采用只考虑平均时延的分组分配的现有方法和本发明提出的综合考虑平均时延和方差的分组分配方法,比较这两种方法的接收端缓存溢出概率。

[0074] 仿真结果:用本发明和现有的分配方法,对接收端缓存溢出概率进行对比,结果如图3所示。图3表明,采用本发明的综合考虑平均时延和方差的分组分配方法,接收端缓存溢出的概率明显降低,因此降低了分组发生乱序的可能和保障业务数据向上提交的连续性。

[0075] 对于本领域的技术人员来说,可根据以上描述的技术方案以及构思,做出其它各种相应的改变以及变形,而所有的这些改变以及变形都应该属于本发明权利要求的保护范围之内。

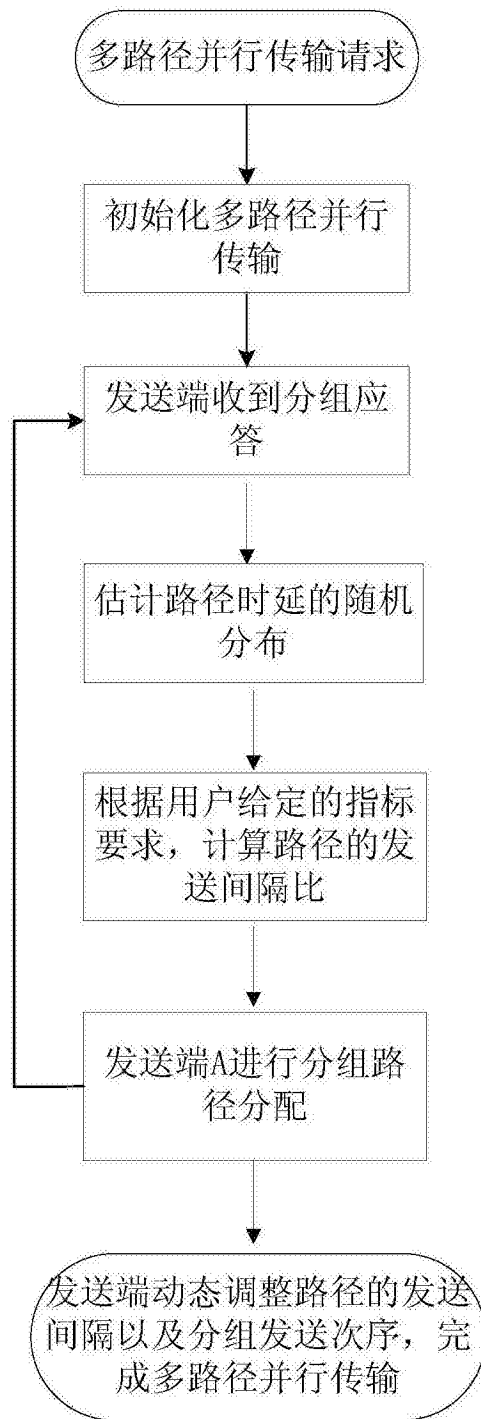


图1

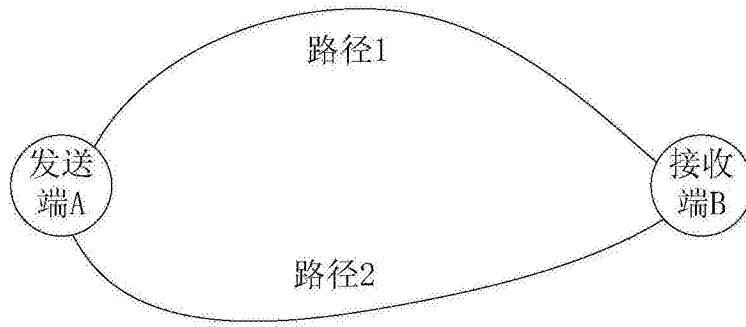


图2

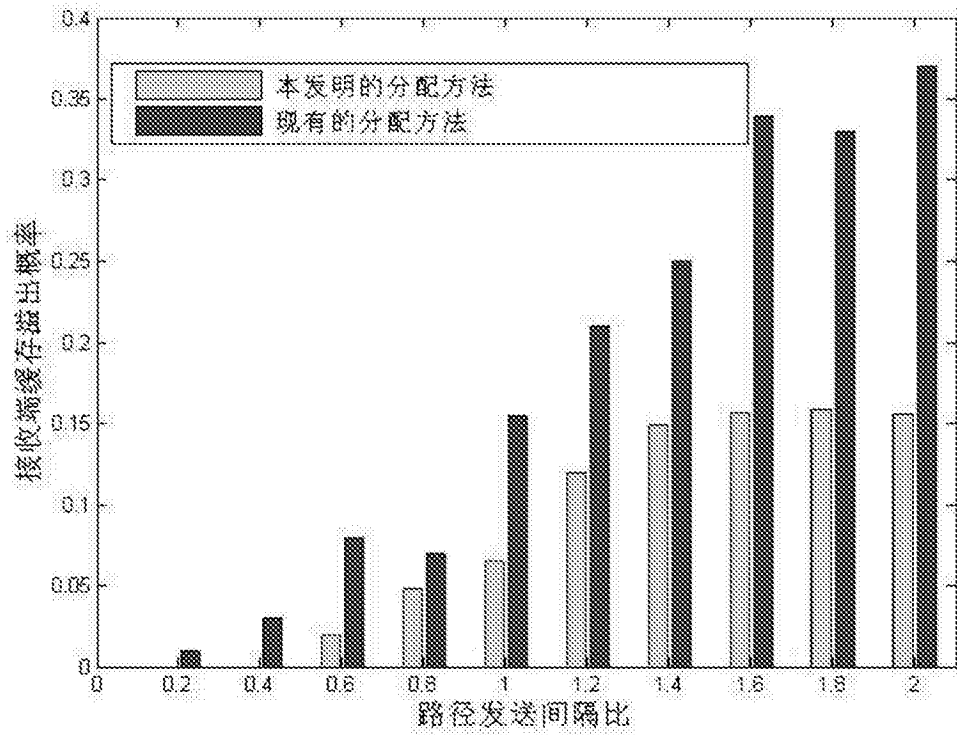


图3