



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110635988 B

(45) 授权公告日 2020.10.27

(21) 申请号 201911015891.7

(22) 申请日 2019.10.24

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110635988 A

(43) 申请公布日 2019.12.31

(73) 专利权人 北京大学  
地址 100871 北京市海淀区颐和园路5号

(72) 发明人 许辰人 倪蕴哲 钱凤

(74) 专利代理机构 北京海虹嘉诚知识产权代理  
有限公司 11129  
代理人 何志欣

(51) Int. Cl.  
H04L 12/46 (2006.01)  
H04L 29/06 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 109586973 A, 2019.04.05
- CN 109716818 A, 2019.05.03
- CN 101895466 A, 2010.11.24
- CN 101931590 A, 2010.12.29
- CN 102333028 A, 2012.01.25
- CN 101820395 A, 2010.09.01
- US 2019036811 A1, 2019.01.31

审查员 刘云星

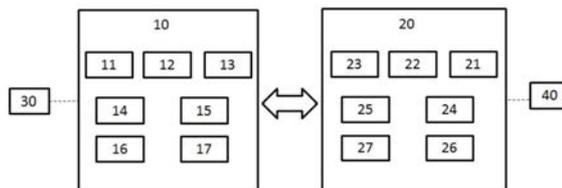
权利要求书2页 说明书13页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于多路径传输的数据转发方法及设备

(57) 摘要

本发明涉及一种用于多路径传输的数据转发方法及设备,方法包括:第一通信模块和第二通信模块之间设置有相对第一通信模块和第二通信模块以信息不可知的方式存在的数据转发操作模块,数据转发操作模块中的第一操作模块和/或第二操作模块将第一通信模块和第二通信模块之间的数据信息以不干预原数据流的方式收听数据信息并按照预设的信息重组规则将选取的部分信息进行重新组合后以至少两个传输路径进行彼此传输。本发明是重用/复用了Linux TCP (BBR) 数据路径作为单路径传输基板,以实现中间件兼容。将分组调度逻辑提升到应用层,以便于集成前述所提到的专用于短流量的数据驱动调度的所有上下文数据,在高动态网络条件和信息不可知的情况下提高聚合QoE。



1. 一种用于多路径传输的数据转发方法,该方法维护端到端的因特网协议的语义和兼容性,并实现端到端的并发多路径传输,其特征在于,所述方法包括:

至少一个第一通信模块(30)和至少一个第二通信模块(40)之间设置有相对所述第一通信模块(30)和所述第二通信模块(40)以信息不可知的方式存在的数据转发操作模块,所述数据转发操作模块包括以静态多路径的方式彼此传输数据的第一操作模块(10)和第二操作模块(20),其中,所述第一操作模块(10)和/或第二操作模块(20)将所述第一通信模块(30)和所述第二通信模块(40)之间的数据信息以不干预原数据流的方式收听数据信息并按照预设的信息重组规则将选取的部分信息进行重新组合后以至少两个传输路径发送至对应的所述第二操作模块(20)和/或所述第一操作模块(10),其中,

所述预设的信息重组规则为:基于长期历史数据和短期历史数据将不同源的数据包信息进行融合评估,并且将符合融合阈值范围的数据包信息进行信息融合,其中,

所述长期历史数据为存储位置感知的至少一日的历史网络性能数据;

所述短期历史数据为短期时间阈值内监测到的第一通信模块(30)和/或第二通信模块(40)的吞吐量计算。

2. 如权利要求1所述的用于多路径传输的数据转发方法,其特征在于,所述第一操作模块(10)与所述第一通信模块(30)建立数据连接,所述第二操作模块(20)与所述第二通信模块(40)建立数据连接,其中,所述第一操作模块(10)与所述第二操作模块(20)之间建立的至少两条静态多路径中,每条静态路径能够自行选择所用的数据传输协议。

3. 如权利要求2所述的用于多路径传输的数据转发方法,其特征在于,所述第一操作模块(10)至少包括能够设置若干第一虚拟收发器的第一分流模块(14),所述第二操作模块(20)至少包括能够设置若干第二虚拟收发器的第二分流模块(24),

所述第一分流模块(14)和所述第二分流模块(24)之间设置有由若干第一虚拟收发器和若干第二虚拟收发器以彼此非唯一对应连接的方式建立来进行彼此交换资源和信息的若干数据传输路径网络,

所述第一操作模块(10)中的第一调度模块(15)基于若干数据传输路径的实时流量分析数据以及拆分后的数据包特征来确定所述数据包的数据传输路径,

所述第二操作模块(20)中的第二调度模块(25)将若干所述第二虚拟收发器通过数据传输路径接收的所述数据包按照预设的信息重组规则重新组合反向复用的数据流,并且以多路径方式输出至所述第二通信模块(40)。

4. 如权利要求3所述的用于多路径传输的数据转发方法,其特征在于,所述信息不可知的方式为:所述第一虚拟收发器和所述第二虚拟收发器之间通过原始套接字在用户空间中接收和发送任何源IP的数据包,并且在单独的网络命名空间中提取所述数据包以避免与第三方程序使用的运行内核配置冲突。

5. 如权利要求4所述的用于多路径传输的数据转发方法,其特征在于,所述第一操作模块(10)包括第一多路复用及解复用模块(16),所述第二操作模块(20)包括第二多路复用及解复用模块(26),

第一多路复用及解复用模块(16)或所述第二多路复用及解复用模块(26)以将TCP有效载荷和控制数据封装至传输层的方式执行所述第一通信模块和/或所述第二通信模块的用户空间反向复用。

6. 如权利要求5所述的用于多路径传输的数据转发方法,其特征在于,所述第一调度模块(15)和所述第二调度模块(25)基于多个维度协调上下文数据以进行上下文的调度,从而提高多个传输路径对于第一虚拟收发器或第二虚拟收发器的共享率。

7. 如权利要求6所述的用于多路径传输的数据转发方法,其特征在于,所述预设的信息重组规则的融合评估方式为:

$$E = \frac{\sum_i \frac{v_i}{\sigma_i^2}}{\sum_i \sigma_i^{-2}},$$

其中E是估计TCP的性能指标, $v_i$ 是信息源i的值, $\sigma_i^2$ 是信息源i的方差。

8. 如权利要求7所述的用于多路径传输的数据转发方法,其特征在于,所述第一调度模块(15)和所述第二调度模块(25)协调上下文数据以进行上下文的调度的上下文维度包括:

管道上下文,涉及所述第一操作模块(10)和所述第二操作模块(20)之间的数据流的端到端聚合性能;

连接上下文,涉及在连接级别上影响QoE优化的因素的枚举,

第三方上下文,来自内部、外部库或应用程序模块的排除所述管道上下文和所述连接上下文的任何上下文。

9. 一种用于多路径传输的数据转发设备,该设备维护端到端的因特网协议的语义和兼容性,并实现端到端的并发多路径传输,其特征在于,所述设备包括至少一个第一通信模块(30)和至少一个第二通信模块(40):

所述第一通信模块(30)和所述第二通信模块(40)之间设置有相对所述第一通信模块(30)和所述第二通信模块(40)以信息不可知的方式存在的数据转发操作模块,所述数据转发操作模块包括以静态多路径的方式彼此传输数据的第一操作模块(10)和第二操作模块(20),其中,

所述第一操作模块(10)和/或第二操作模块(20)将所述第一通信模块(30)和所述第二通信模块(40)之间的数据信息以不干预原数据流的方式收听数据信息并按照预设的信息重组规则将选取的部分信息进行重新组合后以至少两个传输路径发送至对应的所述第二操作模块(20)和/或所述第一操作模块(10),并且,所述第一操作模块(10)和/或第二操作模块(20)在操作过程中抛弃不必要的数据信息,其中,

所述预设的信息重组规则为:基于长期历史数据和短期历史数据将不同源的数据包信息进行融合评估,并且将符合融合阈值范围的数据包信息进行信息融合,其中,

所述长期历史数据为存储位置感知的至少一日的历史网络性能数据;

所述短期历史数据为短期时间阈值内监测到的第一通信模块(30)和/或第二通信模块(40)的吞吐量计算。

## 一种用于多路径传输的数据转发方法及设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及通信技术领域,尤其涉及一种用于多路径传输的数据转发方法及设备。

### 背景技术

[0002] 常规虚拟专用网络 (VPN) 使用隧道发送、加密和认证来提供两个或更多个设备之间的安全通信。例如,客户端计算设备可以连接到VPN服务器,并且客户端计算设备可以经由VPN服务器通过公网网络(诸如公共互联网)与专用网络上的设备安全的通信。尽管VPN技术相对安全,任由可能会危及VPN安全。例如,“中间人”攻击可能会导致危及数据安全。在这种攻击中,恶意行为者可能能够不会跨VPN连接传送的数据,攻击者可能能够将数据引入连接。

[0003] 移动设备通常具有多个无线和其他网络接口,并且许多设备具有同时连接到多个网络的能力。客户端设备使用优选网络(诸如WiFi网络)而非更昂贵的移动数据连接,可以建立到VPN服务器的VPN网络。

[0004] 当前互联网发展迅速,由互联网使用人群的高速增长,带来了无限尤其是无限宽带技术的大规模使用,以及引发的移动用户和移动终端数量快速增长,多宿主技术的广泛使用,使得一对(源,目的)之间往往有多条可达路径,由此可以检出整个互联网规模日益庞大,互联网拖布也日益呈现高复杂度、高冗余度的特征。而且,数据中心从传统的树形结构到FatTree、Bcube等体系结构的提出,使得服务器之间的通信存在多条路径,这些都表明互联网之间的多路径通信结构的客观存在。

[0005] 许多移动终端存在多个信号,如3G、LTE、WiFi等。移动终端可以通过不同的信号进行网络传输,当从一种信号切换到另一种信号时,传输会终端,需要建立新的连接,导致鲁棒性很差。

[0006] 例如智能手机、手表和平板电脑这类移动设备具有不断增加的数据传输要求。它们通常还支持多技术多频带网络,并且通常配备有可在多个许可和未许可频带中运行的多LTE、HSPA、WiFi收发器。另外,在将来必然还会分配新的(共享的)频带。通过在并行的无线路径上实现多路径数据传递,可以利用通过多个无线电接口进行通信的能力。与传统的单路径范例相比,使用多个路径来传递数据可以让数据吞吐量和路径可靠性得到显著提高,并且能够降低延迟。

[0007] 目前,多路径通信所面临的巨大问题是需要修改用户设备的网络堆栈。在这方面,虽然从理论上讲,现代诸如智能电话和平板电脑的移动设备能够支持例如LTE、HSPA、WiFi收发器的多技术多频带网络。但是,在实际上,目前的用户设备如果直接更改其通信协议而形成多路径通信都需要修改网络堆栈。更具体地,需要UE解锁和/或超级用户访问其操作系统。例如,LWIP(与IPSec隧道的LTE WLAN无线电级别集成)和LWA(LTE WLAN聚合)等网络层解决方案需要修改路由表和IPSec隧道的管理。又例如,公告号为CN103004167B的中国专利文献公开了一种无线通信的方法包括:使用第一IP地址通过第一MPTP路径与服务器进行通

信;使用第二IP地址通过第二MPTP路径与该服务器进行通信,其中通过第二MPTP路径与该服务器的通信经由第二IP地址的无线节点;以及通过对等通信与该无线节点进行通信。但是,这种基于MPTCP(多路径传输控制协议)的传输层解决方案必须要替换网络堆栈的整个传输层。即,如果要支撑MPTCP,需要客户端和服务器都要支持MPTCP。而升级网络堆栈,涉及到对现在使用的设备的内核改造,其涉及面广,对一些设备进行内核改造后还可能面临着保修失效的问题,导致作为现行标准的MPTCP协议难以部署。再例如,SCTP流控制传输协议甚至与当前的应用程序编程接口不兼容,使得其更难于被实施。综上,导致目前的多路径通信实际上并未得到很好地推广和应用。因此,有必要对现有技术进行改进。

[0008] 不仅如此,高速铁路(HSR)系统正在积极改变人们通勤中长途旅行的方式。然而,它们在为车上乘客提供无缝互联网服务方面也带来了前所未有的挑战。最近的研究表明,在高速公路350公里/小时的情况下,切换(和TCP中断)每8.6秒发生一次,与列车静止时相比,TCP吞吐量下降超过80%。多载波移动中继提出了用于带宽聚合和/或链路故障缓解的网络架构元素和解决方案。虽然它展示了其在低移动性(例如,公交车)场景中的功效,但HSR上极其频繁的网络中断使得最先进的多路径传输解决方案(即MPTCP)无法充分利用网络资源,由于其对切换的适应性差—一个子流中的突发丢包和长时间的RTT会使连接级别的乱序延迟比单路径TCP长。除此之外,作为所有有机载乘客的代理,移动中继应该优化聚合用户体验而不是任何单个用户,而目前没有实现这一目标的实际解决方案,尤其是从应用程序无关的角度来看。

[0009] VPN在通过MPTCP建立连接时,如果VPN客户端与VPN服务器端之间的连接采取MPTCP协议,那么存在两个问题:1,MPTCP依赖于内核改造,涉及面广,部署难度大,软件编程难度高;2,在根据MPTCP的多路径连接中,由MPTCP协议自身决定路径选择,对网络健康状况响应迟钝;倘若强行采用MPTCP,则存在其他困难,比如因MPTCP存在于内核之中,故将网络健康状况数据发送至内核时需要大量时钟开销,造成性能损失,而且会造成内核的潜在数据攻击点和系统软件安全漏洞。

[0010] 例如,中国专利CN105873096B公开了一种多路径并行传输系统有效吞吐量的优化方法,属于通信技术领域。该方法包括以下步骤:步骤1)在多路径并行传输系统中,利用卡尔曼滤波算法对各条并发链路上的传播时延进行估计;步骤2)推导出多路径并行传输系统中数据包有序传输约束条件;步骤3)根据推导出的传播时延估计结果和数据包有序传播的约束条件,对发送端的拥塞窗口进行调整。该方法虽然能够根据传播时延估计和数据包有序传播约束条件,自适应地调整各子流的拥塞窗口大小,从而均衡各链路上的负载,减小并发链路间的最大时延差,减少数据包乱序,提高多路径并行传输系统有效吞吐量。但是,该方法依然是为运行商独自为高铁乘客单独进行数据传输,而不是优化聚合用户体验,网络覆盖率较低,带宽也较小。该专利提供的是一种拥塞控制算法,难以支持异构的多路径连接,如一条连接是TCP连接,而另外一条连接是SCTP连接。因为并非所有传输协议都能提供其所需的SACK信息。并且,该专利需要对多路径连接中每一个连接所用的传输层协议作出较大的修改,以支持调整拥塞窗口等功能,编程复杂度大,故难以部署与进一步优化。

[0011] 此外,一方面由于对本领域技术人员的理解存在差异;另一方面由于发明人做出本发明时研究了大量文献和专利,但篇幅所限并未详细罗列所有的细节与内容,然而这绝非本发明不具备这些现有技术的特征,相反本发明已经具备现有技术的所有特征,而且申

请人保留在背景技术中增加相关现有技术之权利。

## 发明内容

[0012] 针对现有技术之不足,本发明提供1、一种用于多路径传输的数据转发方法,该方法维护端到端的因特网协议的语义和兼容性,并实现端到端的并发多路径传输,其特征在于,所述方法包括:

[0013] 至少一个第一通信模块和至少一个第二通信模块之间设置有相对所述第一通信模块和所述第二通信模块以信息不可知的方式存在的数据转发操作模块,所述数据转发操作模块包括以静态多路径的方式彼此传输数据的第一操作模块和第二操作模块,其中,所述第一操作模块和/或第二操作模块将所述第一通信模块和所述第二通信模块之间的数据信息以不干预原数据流的方式收听数据信息并按照预设的信息重组规则将选取的部分信息进行重新组合后以至少两个传输路径发送至对应的所述第二操作模块和/或所述第一操作模块,并且,所述第一操作模块和/或第二操作模块在操作过程中抛弃不必要的信息。

[0014] 根据一个优选实施方式,所述第一操作模块与所述第一通信模块建立数据连接,所述第二操作模块与所述第二通信模块建立数据连接,其中,所述第一操作模块与所述第二操作模块之间建立的至少两条静态多路径中,每条静态路径能够自行选择所用的数据传输协议。

[0015] 根据一个优选实施方式,所述第一操作模块至少包括能够设置若干第一虚拟收发器的第一分流模块,所述第二操作模块至少包括能够设置若干第二虚拟收发器的第二分流模块,所述第一分流模块和所述第二分流模块之间设置有由若干第一虚拟收发器和若干第二虚拟收发器以彼此非唯一对应连接的方式建立来进行彼此交换资源和信息的若干数据传输路径网络,所述第一操作模块中的第一调度模块基于若干数据传输路径的实时流量分析数据以及拆分后的数据包特征来确定所述数据包的数据传输路径,所述第二操作模块中的第二调度模块将若干所述第二虚拟收发器通过数据传输路径接收的所述数据包按照预设的信息重组规则重新组合反向复用的数据流,并且以多路径方式输出至所述第二通信模块。

[0016] 根据一个优选实施方式,所述信息不可知的方式为:所述第一虚拟收发器和所述第二虚拟收发器之间通过原始套接字在用户空间中接收和发送任何源IP的数据包,并且在单独的网络命名空间中提取所述数据包以避免与第三方程序使用的运行内核配置冲突。

[0017] 根据一个优选实施方式,所述第一操作模块包括第一多路复用及解复用模块,所述第二操作模块包括第二多路复用及解复用模块,第一多路复用及解复用模块或所述第二多路复用及解复用模块以将TCP有效载荷和控制数据封装至传输层的方式执行所述第一通信模块和/或所述第二通信模块的用户空间反向复用。

[0018] 根据一个优选实施方式,所述第一调度模块和所述第二调度模块基于多个维度协调上下文数据以进行上下文的调度,从而提高多个传输路径对于第一虚拟收发器或第二虚拟收发器的共享率。

[0019] 根据一个优选实施方式,所述预设的信息重组规则为:基于长期历史数据和短期历史数据将不同源的数据包信息进行融合评估,并且将符合融合阈值范围的数据包信息进

行信息融合,其中,所述长期历史数据为存储位置感知的至少一日的历史网络性能数据;所述短期历史数据为短期时间阈值内监测到的第一通信模块和/或第二通信模块的吞吐量计算。

[0020] 根据一个优选实施方式,所述预设的信息重组规则的融合评估方式为:

$$[0021] \quad E = \frac{\sum_i \frac{v_i}{\sigma_i^2}}{\sum_i \sigma_i^{-2}},$$

其中E是估计TCP的性能指标, $v_i$ 是信息源i的值, $\sigma_i^2$ 是信息源i的方差。

差。

[0022] 根据一个优选实施方式,所述第一调度模块和所述第二调度模块协调上下文数据以进行上下文的调度的上下文维度包括:

[0023] 管道上下文,涉及所述第一操作模块和所述第二操作模块之间的数据流的端到端聚合性能;

[0024] 连接上下文,涉及在连接级别上影响QoE优化的因素的枚举,

[0025] 第三方上下文,来自内部、外部库或应用程序模块的排除所述管道上下文和所述连接上下文的任何上下文。

[0026] 本发明还提供了一种用于多路径传输的数据转发设备,该设备维护端到端的因特网协议的语义和兼容性,并实现端到端的并发多路径传输,其特征在于,所述设备包括至少一个第一通信模块和至少一个第二通信模块。所述第一通信模块和所述第二通信模块之间设置有相对所述第一通信模块和所述第二通信模块以信息不可知的方式存在的数据转发操作模块,所述数据转发操作模块包括以静态多路径的方式彼此传输数据的第一操作模块和第二操作模块,其中,所述第一操作模块和/或第二操作模块将所述第一通信模块和所述第二通信模块之间的数据信息以不干预原数据流的方式收听数据信息并按照预设的信息重组规则将选取的部分信息进行重新组合后以至少两个传输路径发送至对应的所述第二操作模块和/或所述第一操作模块,并且,所述第一操作模块和/或第二操作模块在操作过程中抛弃不必要的信息。

[0027] 本发明的有益技术效果:虽然一个运营商平均只能提供82%的网络覆盖率,但通过多载波多路径传输的数据转发,使得三个运营商(如果合作良好)不仅可以将网络信号覆盖率提高到99%以上,而且还可以聚合,从而具有巨大潜力的带宽。

## 附图说明

[0028] 图1是本发明的多路径传输的数据转发设备的框架示意图;

[0029] 图2是本发明的第一操作模块的结构示意图;和

[0030] 图3是本发明的第二操作模块的结构示意图。

- |        |                  |                |
|--------|------------------|----------------|
| [0031] | 10: 第一操作模块       | 11: 第一APP资源模块  |
| [0032] | 12: 第一网络性能数据库    | 13: 第一实时分析模块   |
| [0033] | 14: 第一分流模块       | 15: 第一调度模块     |
| [0034] | 16: 第一多路复用及解复用模块 | 17: 第一TCP套接字模块 |
| [0035] | 20: 第二操作模块       | 21: 第二APP资源模块  |
| [0036] | 22: 第二网络性能数据库    | 23: 第二实时分析模块   |

- |        |                 |               |
|--------|-----------------|---------------|
| [0037] | 24:第二分流模块       | 25:第二调度模块     |
| [0038] | 26:第二多路复用及解复用模块 | 27:第二TCP套接字模块 |
| [0039] | 30:第一通信模块       | 40:第二通信模块     |

### 具体实施方式

[0040] 下面结合附图进行详细说明。

[0041] TCP (Transmission Control Protocol): 传输控制协议, 是一种面向连接的、可靠的、基于字节流的传输层通信协议, 由IETF的RFC793定义。

[0042] TCP BBR (Bottleneck Bandwidth and RTT): 由谷歌提供的新的TCP拥塞控制算法, 其目的就是要尽量跑满带宽, 并且尽量不要有排队的情况。

[0043] QoE (Quality of Experience): 指用户感受到的完成整个过程的难易程度。

[0044] 反向多路复用: 是将多个数字网络或长途通信线路的带宽合并到一个虚拟通路以进行高速通信的方法。

[0045] 首先, 考虑到高铁的挑战性和高度波动的网络条件, 数据传输路径的设置和传输方法应该提供良好的性能。其次, 应尽量减少客户移动设备上所需的更改, 或者理想情况下不应更改。第三, 本发明的多路径数据传输应为其他组件提供强大的基础设施支持, 例如位置感知组件和跨层分析组件。

[0046] 本发明的数据路径对于用户端的应用程序或服务器是不可知的。本发明的多路径传输的数据转发方法, 通过从全局视图合并蜂窝网络动态和应用程序规范来调度数据包, 以实现聚合的QoE优化。

[0047] 本发明提供一种用于多路径传输的数据转发方法及设备, 用以维护端到端的因特网协议的语义和兼容性, 并实现端到端的并发多路径传输。

[0048] 如图1所示, 本发明的用于多路径传输的数据转发设备包括第一通信模块30和第二通信模块40。

[0049] 第一通信模块30可以是客户端, 例如, 手机、电脑、智能设备等等。

[0050] 第二通信模块40可以是服务器端或服务器组群。例如, 协同定位服务器组。至少一个第一通信模块30和至少一个第二通信模块40之间设置有数据转发操作模块。数据转发操作模块相对第一通信模块和第二通信模块以信息不可知的方式存在。数据转发操作模块包括以静态多路径的方式彼此传输数据的第一操作模块10和第二操作模块20。第一操作模块10与第一通信模块30建立数据连接。第二操作模块20与第二通信模块40建立数据连接。其中, 第一操作模块与第二操作模块之间通过TCP数据连接形成数据流通道, 即数据流管道。优选的, TCP有效载荷和控制数据都被封装到传输层中。优选的, 对于高铁的应用环境, 第一操作模块10部署在第一通信模块的数据传输的必经途径上, 以获取若干客户端的数据。优选的, 第一操作模块部署在高速列车上。例如, 第一操作模块10部署能够通过多个运营商的基站, 例如BTS、NodeB、eNodeB来与核心网络连接。第二操作模块部署在相应核心网的网关上, 例如, 3G核心网元SGSN (Serving GPRS Support Node) 以及GGSN (Gateway GPRS Support Node) 上。优选地, 还可以部署在4G核心网络中, 例如, 部署在LTE (Long Term Evolution) 的全IP分组核心网EPC (Evolved Packet Core) 的网元上, 比如SGW (Serving Gateway) 和PGW (PDN Gateway)。通过以上设置方式, 可以利用多个运营商的基站, 带来更大

的覆盖范围。事实上,如果把网络中断定义为吞吐量小于100Kbps的时段,单个运营商的中断的时间分别为12%、17%和26%。如果能够复用三个运营商,那么中断时间减少至1%,从而可以大幅度减少网络中断的时间。

[0051] 选择TCP数据连接形成数据流管道的优势在于,TCP具有持久的长寿命。在传输路径上选择TCP BBR实现拥塞控制,以便本质上减少端到端延迟和数据包丢失。第一操作模块和第二操作模块是近似对称设置的,具有相同的多径数据平面、调度程序以及网络性能数据库。优选的,第一操作模块设置有用户空间蜂窝消息日志记录模块,例如,实时分析模块,用于运行时分析(例如,信号强度跟踪,切换指示和MAC层丢失检测)和分组调度—直接指示发送方的上行调度程序,或间接指导下行链路调度器通过上行链路发送蜂窝信息(具有位置感知调度)—信号强度用于离线网络性能查找,其他蜂窝信息用于在线互补优化。优选的,第一操作模块和第二操作模块之间的数据传输协议的高层协议是执行用户空间反向复用。

[0052] 如图1所示,第一操作模块10包括以下模块。

[0053] 第一APP资源模块(client APP Data) 11,用于获取第一通信模块的用户资源信息,以及将来自第一分流模块14的数据转发给用户。

[0054] 第一网络性能数据库12,可以是位置感知网络性能数据库,仅依赖蜂窝信号提供包括TCP性能指标和切换信息在内的预测性网络条件,并且对连接异常具有鲁棒性。

[0055] 第一实时分析模块13,用于从运营蜂窝网络的3G/4G或5G芯片组收集运行时蜂窝消息/报文。

[0056] 第一分流模块14,用于将第一通信模块发送的数据流进行分流,分为若干不同特征的数据包,同时将来自第一复用与解复用模块16的数据通过第一APP资源模块11转发给用户。优选的,第一分流模块14设置或能够生成若干第一虚拟收发器。虚拟收发器用于接收或发送对路径传输网络的数据包。优选的,每一个虚拟收发器都具有一个数据接收或发出端口,若干个虚拟收发器就具有若干个数据接收或发出端口。即,第一分流模块14具有若干个数据接收或发出端口。设置虚拟收发器的优势在于,在不干预原数据流的方式收听数据信息时,将TCP数据发送至虚拟收发器,并合理配置虚拟收发器使其中的IT系统的内核协议栈丢弃所有输入数据;同时虚拟收发器捕获数据包以达到在不干预原数据流的方式收听数据信息的目的。在发送数据时,虚拟收发器发包,通过合理配置路径将数据发送至第二操作模块并传输给用户。通过这样的配置方式,本发明能在不对程序进行修改的情况下兼容各种制式的实体接口控制器。

[0057] 第一调度模块15:能够提供抽象来统一异构的上下文数据,通过接口绑定和激进的重组来缓解乱序延迟,并在高动态网络条件和信息不可知的情况下提高聚合QoE。即以多阶段分组调度的方式对数据包信息流进行信息重组。

[0058] 第一多路复用及解复用模块16:用于把多个信号组合起来在一条物理信道上进行传输,或者反向将在一条物理信道上的信号解复用为多个信号。

[0059] 第一TCP套接字模块17:用于从信息中读取或提取套接字信息。

[0060] 第一操作模块10包括以下模块。

[0061] 第二APP资源模块21:用于获取第二通信模块的资源信息,以及将来自第二分流模块24的数据转发给用户。

[0062] 第二网络性能数据库22,可以是位置感知网络性能数据库,仅依赖蜂窝信号提供包括TCP性能指标和切换信息在内的预测性网络条件,并且对连接异常具有鲁棒性。

[0063] 第二实时分析模块23,用于从运营蜂窝网络的3G/4G或5G芯片组收集运行时蜂窝消息/报文。

[0064] 第二分流模块24,用于将第二通信模块发送的数据流进行分流,分为若干不同特征的数据包,以及将来自第二多路复用及解复用模块26的数据转发给用户。优选的,第二分流模块24设置或能够生成若干第二虚拟收发器。

[0065] 第二调度模块25:能够提供抽象来统一异构的上下文数据,通过接口绑定和激进的重组来缓解乱序延迟,并在高动态网络条件和信息不可知的情况下提高聚合QoE。即以多阶段分组调度的方式对数据包信息流进行信息重组。

[0066] 第二多路复用及解复用模块26:用于把多个信号组合起来在一条物理信道上进行传输,或者反向将在一条物理信道上的信号解复用为多个信号。

[0067] 第二TCP套接字模块27:用于从信息中读取或提取套接字信息。

[0068] 本发明中第一操作模块、第二操作模块及其内部的所有模块,均可以是集成芯片、处理器、服务器及其集成芯片、处理器与服务器的集合。例如,第一操作模块10、第二操作模块20可以是具有相应计算机指令执行功能的处理器或者芯片。优选的,第一APP资源模块、第二APP资源模块为具有以不干预原数据流的方式收听数据信息功能和数据转发功能的集成芯片、处理器、服务器及其集合。第一网络性能数据库12和第二网络性能数据库22可以是基于蜂窝信号提供包括TCP性能指标和切换信息在内的预测性网络条件的集成芯片、处理器、服务器及其集合。第一实时分析模块13和第二实时分析模块23可以是用于从运营蜂窝网络的3G/4G或5G芯片组收集运行时蜂窝消息/报文的集成芯片、处理器、服务器及其集合。第一分流模块14和第二分流模块24可以是用于将数据流进行分流以及将来自多路复用及解复用模块的数据转发给用户的集成芯片、处理器、服务器、网卡及其集合。第一调度模块15和第二调度模块25可以是以多阶段分组调度的方式对数据包信息流进行信息重组的集成芯片、处理器、服务器及其集合。第一多路复用及解复用模块16和第二多路复用及解复用模块26可以是用来执行多路复用及解复用指令的集成芯片、处理器、服务器及其集合。第一TCP套接字模块17和第二TCP套接字模块可以是用于从信息中读取或提取套接字信息的TCP套接字模块27。

[0069] 具体地,如图2所示,第一操作模块10内,第一APP资源模块11分别与第一分流模块14和第一通信模块30进行数据连接,将交互的资源信息发送至第一分流模块14。第一调度模块15分别与第一网络性能数据库12、实时分析模块13、第一分流模块14、第一多路复用及解复用模块16和第一TCP套接字模块17建立数据连接。第一分流模块14还与第一多路复用及解复用模块16和第一TCP套接字模块17分别建立数据连接。

[0070] 具体地,如图3所示,第二操作模块20内,第二APP资源模块21分别与第二分流模块24和第二通信模块40进行数据连接,将交互的资源信息发送至第二分流模块24。第二调度模块25分别与第二网络性能数据库22、第二实时分析模块23、第二分流模块24、第二多路复用及解复用模块26和第二TCP套接字模块27建立数据连接。第二分流模块24还与第二多路复用及解复用模块26和第二TCP套接字模块27分别建立数据连接。

[0071] 数据传输是双向的,可以由第一通信模块30发送至第二通信模块40,也可以由第

二通信模块40发送至第一通信模块30。其中,由第一通信模块30发送至第二通信模块40的数据传输方式与由第二通信模块40发送至第一通信模块30的数据传输方式是近似的,原理相同。本发明以第一通信模块30发送至第二通信模块40的数据传输分析为例,对用于多路径传输的数据转发方法进行举例说明。

[0072] 本发明的用于多路径传输的数据转发方法为,第一操作模块10和/或第二操作模块20将第一通信模块30和第二通信模块40之间的数据信息以不干预原数据流的方式收听数据信息并按照预设的信息重组规则将选取的部分信息进行重新组合后以至少两个传输路径发送至对应的第二操作模块20和/或第一操作模块10,并且,第一操作模块10和/或第二操作模块20在操作过程中抛弃不必要的的数据信息。

[0073] 优选的,第一操作模块10与第一通信模块30建立数据连接。第二操作模块20与第二通信模块40建立数据连接。其中,第一操作模块10与第二操作模块20之间建立的至少两条静态多路径中,每条静态路径能够自行选择所用的数据传输协议。

[0074] 优选的,第一分流模块14能够设置若干第一虚拟收发器。第二分流模块24至少包括能够设置若干第二虚拟收发器。优选的,第一虚拟收发器、第二虚拟收发器可以是虚拟网卡。第一分流模块将来自第一通信模块的数据进行分类。例如,依据是否为TCP/IP协议而进行分类。第一分流模块将分类数据转发至虚拟收发器,使得转发到虚拟收发器的数据均为特定类型的数据帧。这样设置的优势在于,第一分流模块在转发数据到内核所支持的虚拟收发器时,由内核自动完成协议转换,而无需额外模块,提高了兼容性,且大幅度减少了编程工作难度;这就意味着,虚拟收发器始终得到相同格式的数据,而不需要对各种协议进行识别并应对各类复杂数据格式;同时,不属于第一通信模块的数据仍然由虚拟收发器按既定方式处理,例如该虚拟收发器仍然可以具备其他功能如发送结算用控制信息,所以本发明的产品部署方便,不会干预第一操作模块的既有功能。

[0075] 优选的,若干第一虚拟收发器和若干第二虚拟收发器以彼此非唯一对应连接的方式建立来进行彼此交换资源和信息的静态多路径数据传输网络。优选的,虚拟收发器以抓包方式获取数据帧,例如获取以太网帧。虚拟收发器处理并转发数据帧内所包含的用户数据包,同时阻止该数据帧所包含的用户数据包进入虚拟收发器的相应协议栈。优选的,虚拟收发器将将从数据帧内获得的用户数据包通过静态多路径数据连接发送至另一端的虚拟收发器的接口。

[0076] 优选的,静态多路径数据传输网络包括若干静态传输路径。各个静态传输路径能够灵活配置,例如采用不同协议或堵塞控制算法。优选的,数据传输路径网络是第一虚拟收发器和第二虚拟收发器按照握手方式建立连接的。每条静态多路径数据连接仅由一个第一虚拟收发器和一个第二虚拟收发器构成。并且,每个第一虚拟收发器与若干第二虚拟收发器分别建立静态多路径数据连接。反向同理,每个第二虚拟收发器与若干第一虚拟收发器分别建立静态多路径数据连接。建立静态多路径数据传输网络的优势在于,每个数据包都能够以最灵活的方式,以最快的速度到达目的端,而不会由于路径堵塞而形成数据延迟。

[0077] 优选的,第一操作模块与第二操作模块之间的数据传输通道称为静态传输路径。TCP有效载荷和控制数据都被封装到传输路径中。路径的形式多种。例如,在第一操作模块中,来自应用程序的上行TCP数据被分段并封装成报文,然后将报文分发到路径上。例如,具有持久的长寿命TCP连接视为路径。每条报文都有一个小报头,其中包含其应用程序连接

ID,长度和序列号。在接收到消息时,第二操作模块通过提取数据来重新组合反向复用的数据流,并基于连接ID将其转发到第二通信模块。下行链路流量的处理方式类似,但方向相反。本发明中,控制数据(例如,TCP SYN,FIN和RST)也被封装到控制报文中以实现应用程序连接管理。本发明利用反向多路复用和长寿命路径的优势在于,可以通过消除连接的建立开销(例如,慢启动)立即使短流受益,特别是在高损耗环境中。通过这种方式,每个路径上的流量变得更加“密集”,从而带来更好的带宽利用率。

[0078] 优选的,本发明的信息不可知的方式为:第一虚拟收发器和第二虚拟收发器之间通过原始套接字接口在用户空间中接收和发送任何源IP的数据包,并且在单独的网络命名空间中提取数据包以避免与第三方程序使用的运行内核配置冲突。现有技术中,MPTCP涉及内核改造与中间件不兼容,因此中间件承载的IT操作系统,例如Linux,需要内核改造才能支持MPTCP本发明设置信息不可知的优势在于,能够实现内核绕过,很容易地部署在操作IT系统上,而无需进行任何更改。优选的,本发明还可以在第二操作模块中禁用反向路径过滤的操作,让用于将数据包转发到第一通信端或第二通信端的真实网卡的虚拟以太网设备接受本发明生成的任何源IP的数据包,由此产生的安全风险将与正常运行的程序隔离开来。不仅如此,本发明的多路径传输的数据转发设备能够在自己的命名空间中进行管理。

[0079] 第一操作模块10包括第一多路复用及解复用模块16。第二操作模块20包括第二多路复用及解复用模块26。第一多路复用及解复用模块16或第二多路复用及解复用模块26以将TCP有效载荷和控制数据封装至传输层的方式执行第一通信模块和/或第二通信模块的用户空间反向复用。

[0080] 本发明通过在每个LTE接口上建立一个路径,自然地在多径场景中采用多路复用。具体地,本发明允许用户和路径之间的灵活映射——不同用户的数据流可以在同一个路径上多路复用,同一用户的流量也可以分布在多个路径上。每个路径的流量分配策略性地由两个调度模块执行。第一调度模块设置在第一操作模块中,用于上行链路流量调度。第二调度模块设置在第二操作模块中,用于下行链路流量调度。第一调度模块和第二调度模块分别在数据包和流量层上共同考虑多径和多用户调度的多个因素或上下文。例如,一个连接的重注数据包可以分发到多个接口以改善无序延迟,或者在总体流量负载较轻时,多个连接可以尽可能多地共享最佳接口。即,第一调度模块和第二调度模块基于多个维度协调上下文数据以进行上下文的调度,从而提高多个传输路径对于第一虚拟收发器或第二虚拟收发器的共享率。

[0081] 优选的,第一调度模块和第二调度模块协调上下文数据以进行上下文的调度的上下文维度包括以下几种。

[0082] 管道上下文,涉及第一操作模块和第二操作模块之间的路径内的数据流的端到端聚合性能。例如,每秒吞吐量和路径往返延迟等参数。优选的,还可以在每个路径上设置收集数据的跟踪数据包,并根据需要自定义计算统计数据的方法,来获得管道上下文。

[0083] 连接上下文,涉及在连接级别上影响QoE优化的因素的枚举,例如,流量/流量类型和完成百分比。优选的,本发明的第一调度模块、第二调度模块依据连接上下文对HTML文件进行优先级排序,以减轻关键路径中的HoL。优选的,第一调度模块、第二调度模块依据连接上下文分别监视在流量和用户级别传输的活动时间和字节,以进行共流调度和基于优先级/公平性考虑的带宽保证。

[0084] 第三方上下文,来自内部、外部库或应用程序模块的排除管道上下文和连接上下文的任何上下文。例如,实时切换信号和PHY层带宽,小区识别码和信号强度。第一网络性能模块基于小区识别码和信号强度以进行位置感知的预期网络性能预测。优选的,第一调度模块、第二调度模块依据来自每个路径的套接字获取拥塞窗口进行拥塞感知接口调度。

[0085] 优选的,本发明的第一调度模块,第二调度模块采用微服务式架构来组织和协调所有独立开发的上下文生成器,以将丰富的上下文数据合并到数据驱动的分组调度中。优选的,第二调度模块内设置有上下文数据管理器,上下文数据管理器允许上下文生成器注册其上下文类型,并提供数据包调度程序或其他上下文生成器使用的实例。

[0086] 优选的,第一操作模块10中的第一调度模块15基于若干数据传输路径的实时流量分析数据以及拆分后的数据包特征来确定数据包的数据传输路径。本发明在连接和接口级别上发送数据包,并通过无序/乱序延迟缓解和coflow平衡完成优化将单个会话的QoE要求映射到网络资源池。优选的,coflow为一组具有共同性能目标的协同数据流量的集合。

[0087] 第二操作模块20中的第二调度模块25将若干第二虚拟收发器通过数据传输路径接收的数据包按照预设的信息重组规则重新组合反向复用的数据流,并且以多路径方式输出至第二通信模块40。优选的,预设的信息重组规则为:基于长期历史数据和短期历史数据将不同源的网络性能数据信息进行融合评估,并且将符合融合阈值范围的数据信息进行信息融合。其中,长期历史数据为存储基于位置感知的至少一日的历史网络性能数据库内的数据。短期历史数据为短期时间阈值内监测到的第一通信模块和/或第二通信模块的网络性能数据,例如,吞吐量、路径往返延迟等。长期历史数据表明了数据传输过程中的确定性连通模式,但由于TCP拥塞状态、信号强度和蜂窝负载等因素,不同日期获取的数据可能会出现较大的动态变化。这种变化能够通过短期历史数据来缓解。因为短期历史数据反映了当前TCP拥塞状态、无线传输条件和CELL负载的影响,从而提供了良好的校准基础。

[0088] 优选的,预设的信息重组规则的融合评估方式为:

$$[0089] \quad E = \frac{\sum_i \frac{v_i}{\sigma_i^2}}{\sum_i \sigma_i^{-2}},$$

[0090] 其中E是估计TCP的性能指标, $v_i$ 是信息源i的值, $\sigma_i^2$ 是信息源i的方差。本发明的信息重组规则的融合评估方式,是来自多个来源的加权平均值的最小方差无偏估计计算。权重是与方差成反比的归一化指标,或权重与置信度成线性关系。优选的,本发明使用长期经验数据的置信度值作为 $\sigma_i^2$ 的倒数,并将吞吐量样本的方差作为 $\sigma_i^2$ 用作短期历史数据。

[0091] 优选地,基于位置感知的历史网络性能数据库采用“Key-Value”键值分布式存储数据库,根据关键字(Key)取值(Value),具有极高的并发读写能力。优选地,历史网络性能数据库的关键字问题是如何根据蜂窝信息设计有效的网络性能查找的关键字。优选地,现有技术一般采用稻草人解决方案。稻草人解决方案是直接将瞬时的蜂窝信息(小区识别和RSRP值)映射至TCP性能。这种解决方案可能会导致关键字部分出现两个问题。首先,由于无线信道不断地经历快速衰落,因此在不同日期的相同位置处产生的RSRP跟踪可能显著不同。其次,由于不仅移动设备可以日常切换到同一物理位置的不同蜂窝小区,而且还有路由上的重复小区识别码,因此小区识别码和列车的物理位置之间的映射是不确定的。优选地,可以按照如下步骤构建历史网络性能数据库:基于获取的信号数据进行处理以构建信号参

数数据;基于信号参数数据构建用于网络性能预测的性能数据;基于多个网络之间的断开连接模式构建切换数据。通过该设置方式,在关键字设置部分小区识别码基于对应的数据类型取不同的值(Value),从而避免上述所提到的关键字与值对应不匹配的问题。

[0092] 优选地,性能数据和切换数据构建基于位置感知预测多个网络性能的长期历史数据。优选地,数据库向第一APP资源模块11递性能数据和切换数据。优选地,数据库至少包括信号参数数据、性能数据以及切换数据。其中,信号参数数据以及切换数据的关键字设置为小区识别码。切换数据对应的值为对应预测的切换失败或中断相关的数据。信号参数数据的值为相关RSRP识别码。优选地,性能数据的关键字为RSRP识别码。优选地,性能数据对应的值为网络性能参数,例如吞吐量、RTT、丢包率等。优选地,信号数据指的是实时获取的蜂窝信号数据,例如LTE数据。信号数据可以通过中间设备内部或者外部提供实时信号数据,例如MobileInsight不仅能够提供实时切换信号和PHY层的带宽,还可以提供小区识别码和信号强度。

[0093] 优选地,切换数据为第一APP资源模块11提供相关网络切换的信息。优选地,可以按照如下步骤构建切换数据:基于断开连接时间的判断而将多个网络之间的切换判定为表示成功的第一切换数据、表示失败的第二切换数据、表示中断的第三切换数据。优选地,在移动场景下,移动通信网络的切换会出现三种情况:

[0094] 1、成功:通过该过程成功接收到所有切换控制信号,并且网络断开连接时间通常小于100ms,TCP无法感知。

[0095] 2、失败:发送(并记录)从UE到基站的切换请求,但是在另一个方向上,即基站到UE的切换命令丢失。断开连接时间的中位数为1秒,断开连接时间的95%分位数可达5秒。

[0096] 3、中断:一般发生在UE突然失去蜂窝覆盖范围的情况下,例如进入隧道,或没有基站部署的区域。断开连接时间的中位数为3秒,断开连接时间的90%分位数为10秒。与切换失败不同,UE将无法在中断中看到任何切换请求日志。

[0097] 优选地,切换数据至少可以将表示预测切换失败的第三切换数据以及预测切换中断的第三切换数据反馈至第一路径管理模块12。通过该设置方式,除了要预测高度动态变化的网络性能之外,由切换失败和中断导致的断开连接是降低网络性能的另一个关键因素。通过在高速移动的场景下向第一APP资源模块11提供相关的切换信息,能够避免第一APP资源模块11将数据包分发到需要长时间断开连接的通信路径上。

[0098] 根据一种优选实施方式,第一APP资源模块11按照如下步骤对获取的信号数据进行处理以构建信号参数数据:基于获取的信号数据将不同制式的信号参数跟踪独立,从而分离物理位置和网络位置的依赖关系。通过该设置方式带来的有益效果是:由于在同一条路由上,每个运营商的信号切换策略和结果在不同的时间可能会有很大的差异,因此通过在历史网络性能数据库的查询过程设计为以每个运营商独立匹配为基础,分离物理位置和网络位置的依赖关系,能够提高数据库分析和查询效率。

[0099] 优选地,将获取的信号数据中对应的每个小区识别码的信号参数跟踪按照第一时间和重叠窗口的方式分割为若干跟踪条目。优选地,信号参数跟踪可以是RSRP跟踪。将RSRP跟踪以第一时间为单位分割成若干小段。重叠窗口是指每两个小段之间的重叠部分。通过该设置方式,在短时间内使用信号跟踪作为搜索历史网络性能的关键的一部分。尽管每个蜂窝小区的整个RSRP追踪不太可能完全重复,但局部趋势可能仍然遵循物理规则因此,我

们将所有RSRP跟踪分成若干跟踪条目,然后按小区识别码对它们进行分组。通过收集多天的数据跟踪,以枚举的方式来获取大多数情况。

[0100] 根据一种优选实施方式,可以按照如下步骤基于信号参数数据构建用于网络性能预测的性能数据:基于信号参数数据中存储的与小区识别码关联的至少一天内的跟踪条目与该小区识别码关联的新输入的跟踪条目之间的距离度量进行最佳匹配以生成性能数据。优选地,距离度量可以是欧几里德距离。通过该设置方式,能够通过欧几里德距离度量两个跟踪条目的相似性,而两个跟踪条目相似的网络也应具有相似的性能。

[0101] 优选地,在跟踪条目进行匹配的情况下,第一APP资源模块11返回自跟踪条目匹配之前的位于第二时间内的性能数据。优选地,由于蜂窝数据收到TCP性能预测存在时间延迟,因此需要采用前瞻性查询的方式来提高网络性能预测的可靠性。时间延迟至少包括高达200ms的蜂窝芯片延迟、上行链路延迟以及预测匹配算法的执行时间。优选地,第二时间可以是以上延迟的总时间,例如5秒。

[0102] 根据一种优选实施方式,在至少一个关于小区识别码的距离度量的最小值大于第一阈值的情况下,数据库通过向第一路径管理模块12反馈置信值以作为参考,从而量化性能数据的可靠性。优选地,置信值被计算为 $N_1/K$ ,其中 $N_1$ 是小于经验阈值的顶部 $K$ 最小距离的计数。优选地,由于RSRP段的输入可能与通过上述匹配得到的性能参数差异较大,或者欧几里德距离的值较大,导致相似性较低,预测的网络性能不可靠。因此除了预测的网络性能之外,通过返回置信值作为第一APP资源模块11的参考,能够量化查询结果的可靠性。

[0103] 现有技术中,对于HSR网络,由于意外的切换失败和终端,可能会发生几秒钟的断开连接,这是反应式调度算法的杀手。

[0104] 优选的,本发明的第一调度模块和第二调度模块还通过机会重新注入评估的调度行为来为每个数据包匹配接口,特别是最佳连接的接口,以最大化目标函数并为任何连接提供最佳服务质量。

[0105] 机会重新注入是利用不平衡多路径来使用剩余可用带宽的最佳方式之一。优选的,机会重新注入评估的方法为:

$$[0106] \quad \text{Max } N_{iface}^{-1} \sum_{i=1}^N Q_i (\tilde{u}_i + \beta c_i + v) \quad (1)$$

$$[0107] \quad \text{s. t. } Q_i(Q_i - 1) = 0, \forall 1 \leq i \leq N \quad (2)$$

[0108] 其中, $f = RTT^{-1} + \alpha \cdot BW$ 表示接口质量, $RTT$ 表示路径往返延迟。 $RTT$ 和带宽( $BW$ )是融合结果 $E$ 中所获取的性能参数; $\alpha$ 是将 $RTT$ 和带宽归一化为相同单位的比例因子。 $u_i = (1 - L_i) f_i$ 是接口实用程序的期望值。 $L_i$ 表示接口 $i$ 上的丢失率,并且 $\mathcal{L} = \prod_{i \in S} L_i$ 表示该数据包的丢失率,其中 $S$ 是选择的一组接口集。 $c_i = \left( \frac{\mathcal{L}}{L_i} - \mathcal{L} \right)$ 可以表示为接口 $i$ 的丢包率的贡献率。

$\tilde{u}_i = u_i \cdot BW_i / buf_i$ ,其中 $buf_i$ 是TCP缓冲区总数据包的大小。 $buf_i$ 计算为从调度中计算的注入数据大小减去捕获数据包的最大输出序列号。 $v = (1 - \mathcal{L})F$ , $F$ 为量化的特定数据包的无损需求的重要性,或调度程序愿意支付的额外带宽成本。 $Q_i$ 表示表示是否选择接口 $i$ 。

$N_{iface}^{-1} \sum_{i=1}^N Q_i$ 表示此数据包分配的接口数量。 $\beta$ 表示一个可调整的线性系数,可以通过调节该系数使得本发明更加注重或轻视丢包率,从而适应不同的网络性能优化需求。

[0109] 本发明的机会重新注入评估中,如果 $F=0$ ,则只选择一个具有最大 $\tilde{u}_i$ 的接口;当 $\mathcal{L}F$ 与 $u$ 的层级相同或更高时,调度程序可能会选择多个接口。因此,通过将正常数据包的 $F$ 设置为0,将重注数据包的 $F$ 设置为较大值,可以统一两个数据包的调度行为。优选的, $F$ 允许灵活的重注,在带宽充足的情况下以避免丢失敏感消息或具有高优先级的正常数据包。

[0110] 本发明采用机会重新注入评估来进行调度的优势在于,第一,利用路径分集来改善多路复用增益;第二,执行机会性交叉流重传以平衡减少的数据包丢失和乱序延迟以及本身造成的开销。优选的,机会性交叉流重传为跨路径重传。

[0111] 需要注意的是,上述具体实施例是示例性的,本领域技术人员可以在本发明公开内容的启发下想出各种解决方案,而这些解决方案也都属于本发明的公开范围并落入本发明的保护范围之内。本领域技术人员应该明白,本发明说明书及其附图均为说明性而并非构成对权利要求的限制。本发明的保护范围由权利要求及其等同物限定。

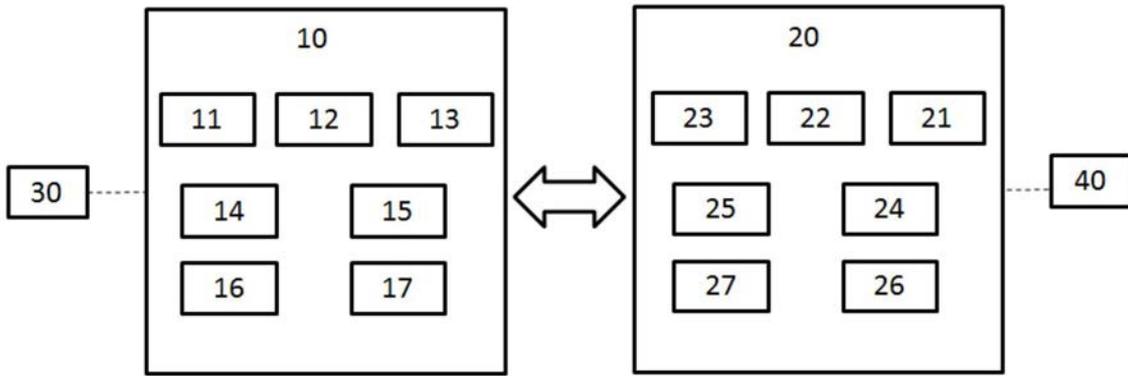


图1

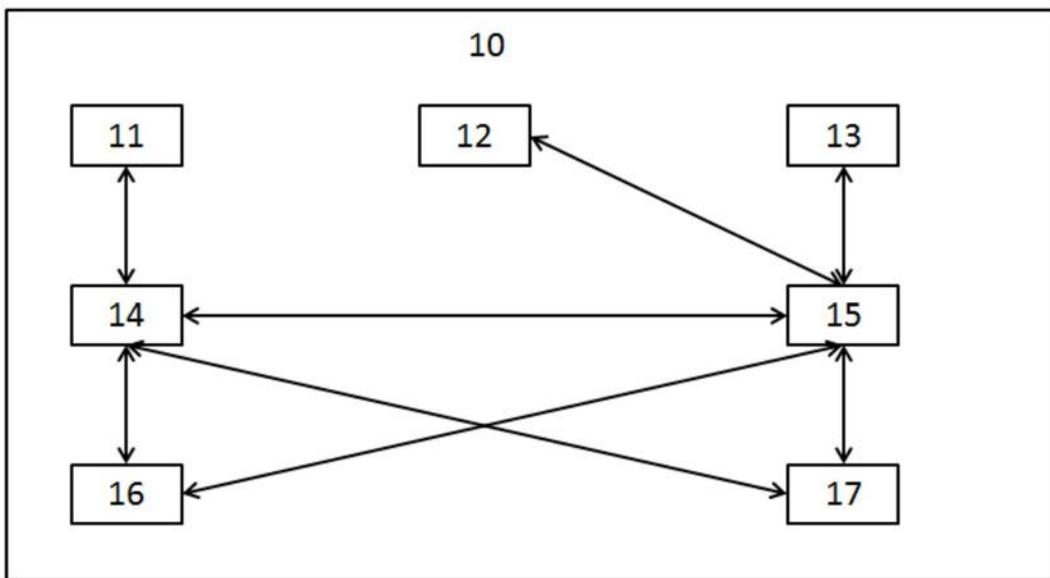


图2

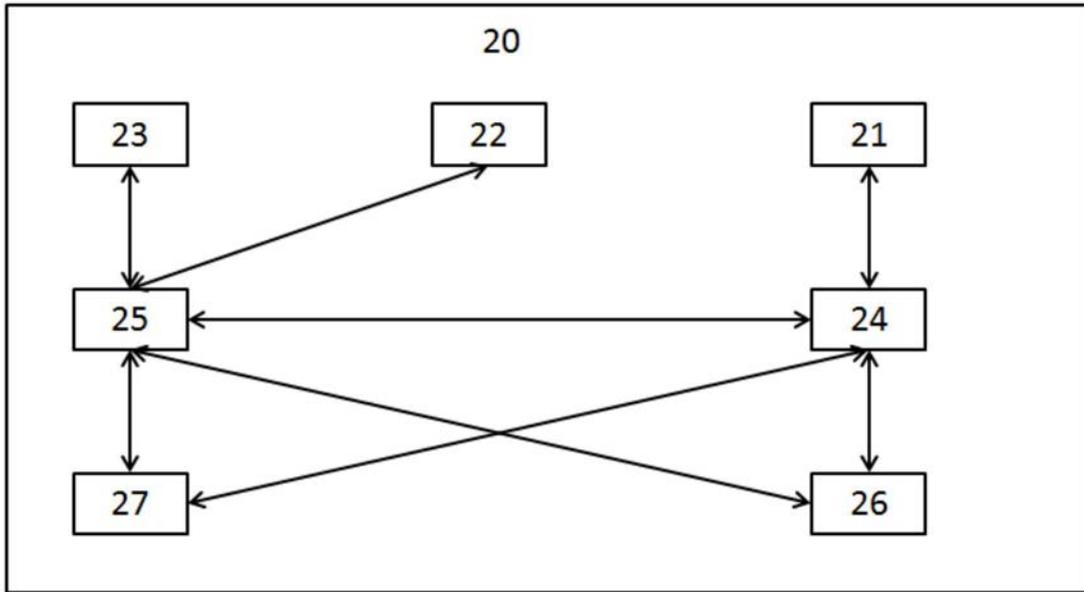


图3