

基于无比率限制纠错编码的内容分布网络的设计与实现

王 峰^{1,2}, 钱华林²

(1. 中国科学院 研究生院, 北京 100080; 2. 中国科学院 计算机网络信息中心, 北京 100080)

摘要: 结合 CDN 和 P2P 两种不同网络结构的优点, 改善传统内容分布网络的拓扑结构, 给出了一种基于无比率限制纠错编码实现的 P2P 内容分布网络设计。介绍了该内容分布网络的系统结构及相关关键技术等方面内容, 以及这种新内容分布网络的特性。

关键词: P2P; CDN; FEC(Forward Error Correction); Rateless Erasure Codes; Multicast

中图法分类号: TP393.03 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2005)11-0214-05

Design and Implementation of Content Distribution Network Based on Rateless Erasure Codes

WANG Feng^{1,2}, QIAN Hua-lin²

(1. School of Graduate, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 2. Computer Network Information Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Combined with merits of CDN and P2P, two kinds of network architectures, and addresses a design of P2P content distribution network based on rateless erasure codes, to improve the network topology of traditional content distribution networks, and introduces the architecture of this new content distribution network, some relative key technologies of implements and merits of this new distribution network.

Key words: P2P; CDN; FEC(Forward Error Correction); Rateless Erasure Codes; Multicast

CDN(Content Distribution Network) 和 P2P(Peer-to-Peer) 是发布数据内容时常用的两种技术。然而, 这两种技术都有其不可避免的缺陷^[1,2]。传统的 CDN 网络可扩展性差, 边缘服务器较多的情况下并不能真正降低源内容服务器的负载; 内容分布效率低下, 易受网络拥塞状况的影响。尽管 P2P 内容分布网络可以缓解源内容服务器的负载, 但是由于对等点的处理能力、网络带宽条件都远不如服务器, 并且更为致命的是 P2P 网络无法保证对等点在数据传输过程中通路的连通性, 致使内容分布效率非常低, 传输可靠性得不到有效保证。

基于重传(Retransmission) 机制实现拥塞控制的 TCP 传输协议^[3], 如 FTP, HTTP。在网络性能差的环境下, 传输大数据量内容的传输效率非常低。FEC 编码传输技术通过增加一定量冗余数据包来恢复传输中丢失信息的方法, 使解决这个问题成为可能。无比率限制纠错编码(Rateless Erasure Codes) 在 FEC 的基础上更进一步, 它使得内容分布数据信息具有可加性(Additivity)^[4]。接收者无须考虑接收编码数据的先后顺序, 只需收集到一定数量的编码包, 就可以重构出源内容, 从而避免了丢包重传导致传输效率低下的问题。

Doug Kaye 以前人的研究成果为基础, 最早提出了将 FEC 与 P2P 相结合, 构建基于信息可加性编码(Information Additive Codes) 实现的 P2P 内容分布网络。这种结合充分发挥了 P2P

和 FEC 技术的优点, 大大增强了内容分布网络的传输效率、可靠性、可扩展性, 并且使用对等点代替传统 CDN 内容分布网络中的边缘服务器, 降低了成本代价。但是基于这种方式的内容分布网络, 其对等点的处理性能参差不齐, 网络连通性变化频繁, 无法保证内容分布的效率, 更不适合流媒体等需要占用大量处理资源的内容分布。本文以无比率限制纠错编码为基础, 结合 CDN 和 P2P 两种不同网络结构的优点, 改善传统内容分布网络的拓扑结构, 提出一种能够实现高速、可靠、可扩展的新的内容分布网络架构。

1 相关技术

1.1 CDN

通过引入边缘服务器的概念, CDN 网络解决了源内容服务器高负载的问题。边缘服务器是比源内容服务器在拓扑结构上更接近于客户端的服务器, 它减少了网络传输的时间开销, 并可在一定程度上缓解源内容服务器的负载, 如图 1 所示。尽管 CDN 可以有效地减少成本开销、增强服务性能和可靠性, 但是却不支持良好的可扩展性。边缘服务器数目的增加同样会增加源内容服务器的负载, 在内容分布过程中, 现有 CDN 网络并不能完全实现最优选择^[5]。传统的 CDN 技术只是解决了内容分布中的部分问题。

使用 P2P 技术实现内容分布是目前内容分布技术的主要发展趋势。但所有的 P2P 网络都存在一个共同的问题: 在

内容分发的整个过程中, 无法保证提供下载的对等点是否始终保持在线状态。对等点间传输路径连通性不稳定, 传输效率低。

为了弥补这个缺陷, P2P 网络支持多源同时下载功能。多源同时下载有两种方式: 完全下载方式, 允许客户端从多个对等点同时下载目标对象, 如传输中一个对等点失效, 则继续从其他对等点继续下载该目标对象。部分下载方式, 允许客户端同时从多个对等点分别下载目标对象的不同组成部分, 一定程度上加快了内容下载的效率。然而, 从根本上讲, 这两种方式的传输信息都不具有可加性, 内容分布的效率都会因为个别对等点的处理性能及连通性能变化而受到显著影响。

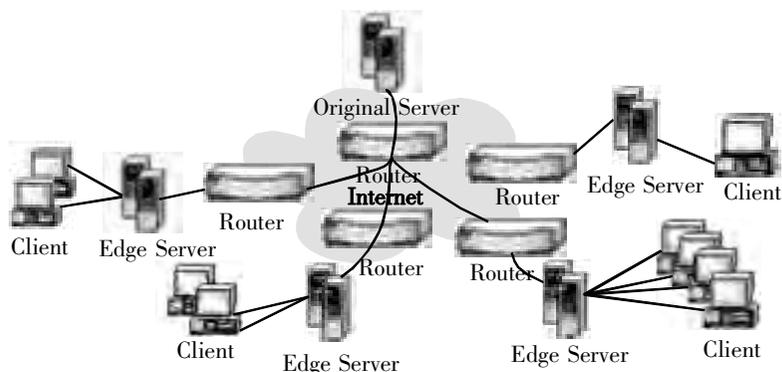


图 1 CDN 网络概念结构图

1.2 FEC

在可能发生丢包的通路上, FEC 技术是一种非常健壮的解决方法, 它可以很好地缓解拥塞发生时带来的不利影响, 并能充分利用网络可用带宽资源。FEC 是一种单轮(无需反馈)的协议, 发送者对源内容消息按照一定算法进行编码, 并且通过这个通路发送给接收者。接收者接收到足够的编码消息后, 可以重构出源内容消息。

假设有一个大数据文件 F , 划分成 n 个大小相同的消息块 (Message Blocks) B_1, B_2, \dots, B_n 。FEC 编码机制使用对消息块进行位异或 (\oplus) 运算的方法, 生成相应的校验块 (Check Blocks)。例如, 一个校验块 C_1 可能定义为 $C_1 = B_2 \oplus B_0$ (校验块的度数是由组成它的消息块的数量来决定的。此例中, C 的度数就是 2。因此, 消息块也可以被认为是度数为 1 的校验块。)。那么编码后的文件 F 就变成由一连串校验块组成。

接收者通过进行反复迭代运算得到消息块的方式来解码编码文件。如接收者已接收到上面定义的校验块 C_1 , 并且接收到 $C_2 = B_2$, 那么就可以恢复出 B_0 ($B_0 = C_1 \oplus B_2$)。

纠错编码的特性可以确保接收者能够在接收到 $(1 + \epsilon)n$ 个校验块后重构源文件 F , 的大小取决于具体纠错编码。 $1/(1 + \epsilon)$ 则代表了 FEC 编码的有效性。FEC 编码技术在传输中引入了一定数量的冗余数据包, 所以如何实现编码有效性及快速编码、解码, 就成了 FEC 发展的主要方向。目前, 已先后有 Reed-Solomon, Tornado, LT, Raptor, On-line 等多种无比率限制纠错编码技术相继出现^[7,8]。这些编码技术大大提高了编码、解码的速度, 并且已经应用到诸多的应用服务中。

无比率限制纠错编码的核心特征是不管接收者什么时候开始接收请求, 客户收到的每一个数据包都是有用的。接收者可以不必考虑接收数据包的顺序, 并且不受网络带宽条件限制而导致部分数据包丢失情况的影响。无比率限制纠错编码技

术为在不可靠的网络上实现可靠的内容传输提供了必要的技术基础。其原理图如图 2 所示。

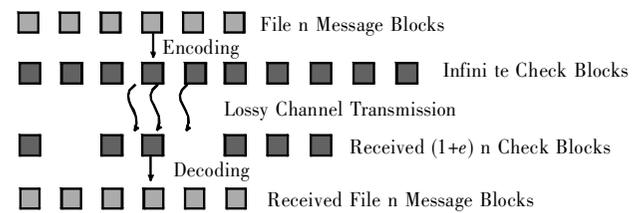


图 2 无比率限制纠错编码原理图

2 系统结构

按照服务系统内容分布过程不同阶段来分, 服务系统架构分为边缘服务器内容分发组件和客户端内容共享组件两大部分(正式的服务系统中还包含有相应的内容分布管理组件、审计组件、计费管理组件等其他辅助组件, 这些不是本文重点内容, 故不作详细介绍)。

内容分布网络采用单播、组播两种传输协议传输编码数据信息, 图 3 中虚线箭头代表了组播传输, 实线箭头则代表了单播传输。服务系统的内容分布工作流程分为边缘服务器内容分布和客户端内容共享两个步骤完成。

边缘服务器内容分发组件由源内容服务器 (Original Server)、服务代理 (Service Agent)、边缘服务器 (Edge Server) 等组成(如图 3 中大圈内部分)。边缘服务器内容分发组件负责完成源内容服务器将亟待分发的数据内容快速分布到各个边缘服务器的过程。源内容服务器可以通过组播的方式直接向边缘服务器发送经编码处理后的内容, 也可以在边缘服务器网络不支持组播传输的情况下, 由服务代理将编码信息复制给多个边缘服务器。该组件优先选择处理性能、网络传输条件好的边缘服务器作为初始目标, 使用 P2P 多源同时分布的方法, 尽快地将待分布内容分布到各个边缘服务器。客户端内容共享组件由边缘服务器、客户代理、客户端等组成(如图 3 中小圈内部分)。该部分负责完成大数量客户端用户并发下载、共享边缘服务器内容的过程。客户端网络状况要比服务器差很多, 传输延迟、丢包率高, 在传输大数据对象时, 传统传输技术的弊端暴露无遗。无比率限制纠错编码传输方法可以极大地改善传输的容错性, P2P 的多源分布结构提高了客户端获得服务器数据内容的效率, 同时也减缓了边缘服务器的负载。

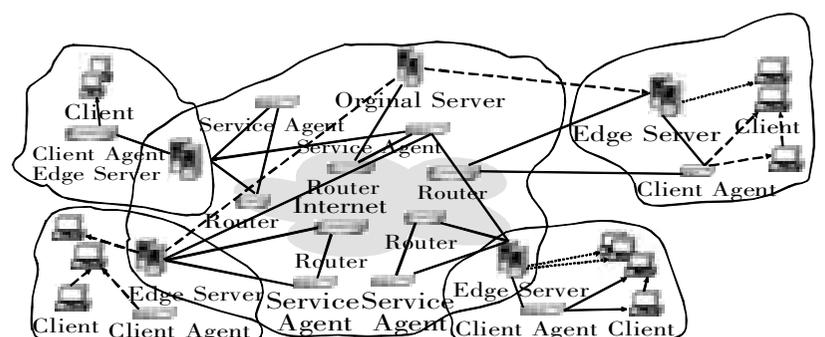


图 3 服务系统网络结构图

3 内容分布工作流程

3.1 边缘服务器内容分布

源内容服务器向边缘服务器分布相应内容的过程, 是由源内容服务器发起的主动性分布过程。

在有新内容等待分布时,源内容服务器向所有边缘服务器发送“请求内容发送”通知。接收到内容发送通知后,边缘服务器向源内容服务器发送“准备接收”的响应信息。源内容服务器则按照边缘服务器是否支持组播传输以及接收到响应信息的先后顺序,分别在源内容服务器和源内容服务器服务代理上建立两个作业队列(Job Queues),组播队列(Multicast Queue)和单播队列(Unicast Queue)。组播队列的处理过程:

(1) 源内容服务器向位于组播队列头位置的边缘服务器发送“初始化内容发送”请求,并且附带待分布内容的可用信息列表。接收到这个请求后,该边缘服务器按照可用信息列表,通过使用基于拓扑结构的路由选择算法以及通过测试得到服务器当前处理性能状态,从列表中选出几台(数量多少根据边缘服务器的接收策略决定)距离最近、性能最优的目标服务器。该边缘服务器则同时加入目标服务器相应内容的组播组中,通过多源组播传输,接收由目标服务器发出的经 FEC 编码处理后的信息。边缘服务器接收到足够信息包后,解码重构出源内容,并向所有目标服务器发送“内容接收完成”的响应信息,目标服务器接收到该响应后,停止向该边缘服务器的内容发送,同时该边缘服务器向源内容服务器发送“请求加入可用信息列表”的请求。源内容服务器接收到该请求后,将该边缘服务器加入到特定内容的可用信息列表中。

(2) 源内容服务器向队列处理对下一个边缘服务器操作,执行步骤(1)。

(3) 反复执行(1)、(2)步操作,直至完成对组播作业队列的处理。

单播队列的处理过程与组播队列的处理过程大致相同,其过程如下:

(1) 源内容服务器服务代理向位于单播队列头位置的边缘服务器发送“初始化内容发送”请求,并且附带待分布内容的可用信息列表。接收到这个请求后,该边缘服务器按照可用信息列表,通过使用基于拓扑结构的路由选择算法以及测试得到服务器当前的处理性能状态,从列表中选出几台(数量多少根据边缘服务器的接收策略决定)距离最近、性能最优的目标服务器。该边缘服务器则同时加入目标服务器对应的服务代理的发送组中,通过多源单播传输,接收由目标服务器服务代理发出的经 FEC 编码处理后的信息。边缘服务器接收到足够信息包后,解码重构出源内容,并向所有目标服务器服务代理发送“内容接收完成”的响应信息,目标服务器接收到该响应后,停止向该边缘服务器的内容发送,同时该边缘服务器向源内容服务器服务代理发送“请求加入可用信息列表”的请求。

源内容服务器服务代理接收到该请求后,将该边缘服务器加入到特定内容的可用信息列表中。

(2) 源内容服务器服务代理向队列处理对下一个边缘服务器操作,执行步骤(1)。

(3) 反复执行(1)、(2)步操作,直至完成对单播作业队列的处理。

3.2 客户端内容共享

边缘服务器向客户端分布内容的过程,则是由客户端发起的被动性分布过程。在客户端内容共享的过程中,客户端起到

P2P网络中对等点的作用,具有发送和接收两种功能。

客户端通过统一路由算法,向内容分布网络中距离最近的边缘服务器发送“内容共享请求”。接收到内容共享请求后,边缘服务器向客户端发送“准备发送”的响应信息,并且根据客户端是否支持组播传输,分别将发送任务分配给边缘服务器或者边缘服务器客户代理。

在客户端支持组播传输的情况下,客户端内容共享过程如下:

(1) 边缘服务器向客户端发送组播可用信息列表。接收到这个信息后,客户端通过使用基于拓扑结构的路由选择算法以及通过测试得到客户端当前的服务器或客户端处理性能状态,从列表中选出几台(数量多少根据该客户端的接收策略决定)距离最近、性能最优的目标对象。该客户端则同时从目标对象,通过多源组播传输,接收由目标对象发出的经 FEC 编码处理后的信息。客户端接收到足够信息包后,解码重构出源内容,并向所有目标对象发送“内容接收完成”的响应信息,目标对象接收到该响应后,停止向该客户端的内容发送,同时该客户端向边缘服务器发送“请求加入可用信息列表”的请求。边缘服务器接收到该请求后,将该客户端加入到特定内容的可用信息列表中。

(2) 边缘服务器接收到新的内容共享请求,重复步骤(1),直到没有新的客户端请求。

在客户端不支持组播传输的情况下,客户端内容共享过程如下:

(1) 边缘服务器客户代理向客户端发送组播可用信息列表。接收到这个信息后,客户端通过使用基于拓扑结构的路由选择算法以及通过测试得到客户端当前的服务器或客户端处理性能状态,从列表中选出几台(数量多少根据该客户端的接收策略决定)距离最近、性能最优的目标对象。该客户端则同时从目标对象,通过多源单播传输,接收由目标对象发出的经 FEC 编码处理后的信息。客户端接收到足够信息包后,解码重构出源内容,并向所有目标对象发送“内容接收完成”的响应信息,目标对象接收到该响应后,停止向该客户端的内容发送,同时该客户端向边缘服务器客户代理发送“请求加入可用信息列表”的请求。边缘服务器客户代理接收到该请求后,将该客户端加入到特定内容的可用信息列表中。

(2) 边缘服务器接收到新的内容共享请求,重复步骤(1),直到没有新的客户端请求。

4 服务系统几个核心技术的设计

4.1 目标对象选择策略

选择处理性能最优、网络传输性能最好的目标对象,可以减少分布过程中不必要的消耗,降低网络的不可靠性,提升内容分布效率。尤其是在客户端内容共享阶段,由于客户端的性能和网络连通性差的原因,如何合理地选择目标对象显得更为至关重要。

4.1.1 可用信息列表(Multicast Availability Lists)

在源内容服务器保存有组播可用信息列表,该列表记录了可以通过组播方式获得特定内容的服务器列表。组播可用信息列表最初只有源内容服务器本身。其格式如表 1

所示。

表 1 组播可用信息列表

Content Lists	Multicast Available Lists		
	Original Server	Edge Server 1	Edge Server 5
Content A	Original Server	Edge Server 1	Edge Server 5
Content B	Original Server	Edge Server 2	Edge Server 4
Content C	Original Server	Edge Server 3	

同样源内容服务器的服务代理也保存了同一类型的可用信息列表, 不同的是该列表记录的是可以通过单播(Unicast) 方式获得特定内容的服务器列表, 单播可用信息列表段。单播可用信息列表最初只有源内容服务器对应的服务代理。

在边缘服务器和边缘服务器客户代理上, 也分别保存有组播可用信息列表和单播可用信息列表。而这些列表记录的是可以通过组播或者单播方式共享特定内容的目标对象列表。

可用信息列表记录了所有可能获得特定内容的目标对象。每当特定内容被分发到一个新的边缘服务器或某个客户端, 服务系统都会立刻维护可用信息列表, 以实现信息同步。通过定期(如以 5min 为段) 进行目标对象性能监测的方法, 监测可用信息列表中目标对象的网络连通性和处理性能。一段监测时间内, 频繁出现网络连通性极差, 或处理性能极低的目标对象, 将被定期从可用信息列表中删除。

4.1.2 基于拓扑结构的路由选择算法

合理地在可用信息列表中选择性能最佳的目标对象, 能够避免选择那些处理性能低、网络连通状态差的目标对象, 从而保证内容分布速度和效率。

一般来说, 目标选择有三种不同技术, 即随机选择、端到端(End-to-End) 选择和基于拓扑结构的选择。随机方法, 从可用信息列表的所有目标对象中, 随机选择一定量的目标对象。这种方法可能导致选择了那些可用性低、网络严重堵塞的目标对象。端到端方法, 评估每个目标对象到接收者之间端到端通路的状态。这种方法虽然能够实现选择那些可用性高的目标对象, 但是却不考虑通路的重叠部分, 以及由此而导致共享部分发生堵塞的情况。与端到端方法不同, 基于拓扑结构的选择方法能够实现构造出一个近似于底层真实物理拓扑结构的逻辑拓扑结构图, 并且考虑了通路上每段的连通性, 因此, 这种方法能够兼顾目标对象的处理性能和通路的连通性, 更适用于内容分布网络。

基于拓扑结构路由选择算法的实现, 借鉴了 Berkeley 大学 PROMISE 项目中路由算法^[9]。首先使用类似 TraceRoute 这样的工具, 构建出一个逻辑拓扑结构图, 然后依据网络性能测量结果和目标对象性能状况, 对这个拓扑结构图进行相应标注。使用已标注拓扑结构图, 估算已建立会话的性能特性。最终依据选择算法, 选出其中最佳的目标对象, 进行内容分布处理。

如图 4、图 5 中所示的情况下, 某个待分布内容 P_r 的可用信息列表中包含有 P_1, P_2, \dots, P_6 等六个目标对象。随机选择方法可能会选择目标对象 P_1, P_3, P_4 , 尽管可能某些目标对象的可用性比较差(如 P_1), 或者一些目标对象共享了一段发生堵塞的通路(如 P_3, P_4)。端到端选择方法考虑了每个通路各自状况以及目标对象的可用性, 将会选择目标对象 P_3, P_5, P_6 , 不过这种方法忽略了两个通路 $P_5 \rightarrow P_r, P_6 \rightarrow P_r$ 之间共享部分。与前两者不同, 基于拓扑结构的选择算法使用经标注了的拓扑结构图, 可以实现更加明智的选择, 最终选择当前状态最好的

目标对象 P_2, P_3, P_6 。

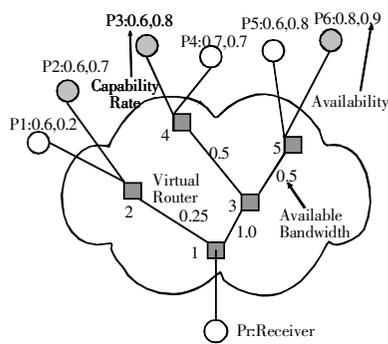


图 4 基于拓扑结构选择

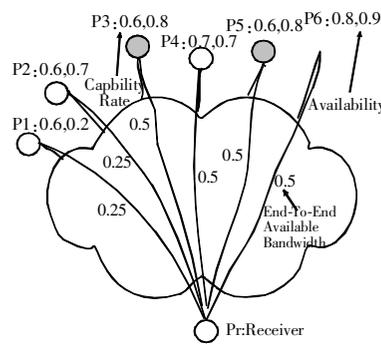


图 5 端到端方式选择

4.2 数据编码传输机制

几种无比率限制纠错编码根据其各自编码效率、编码速度的特性, 适合于不同的应用环境。如何选择一个适合于这个新内容分布网络的编码传输机制, 也是至关重要的一个环节。

Reed-Solomon 编码可以实现编码有效性为 1, 接收者只要接收到任意 n 个校验块就可以重构出源内容, 缺点是这种编码的速度比较低。Tornado 编码生成校验块的数量是一个固定值, 它是 LT 和 Raptor 编码的前身, 其编码速度较之 Reed-Solomon 有显著提高。LT 是第一个可以称为是通用纠错编码的编码, 其每一个校验块都是根据一套度数分布方法从中随机选择一个度数 d , 然后再在 n 个消息块中依据这个度数 d , 随机选取 d 个消息块进行计算得到的。几种纠错编码性能比较如表 2 所示。

表 2 几种无比率限制纠错编码性能比较

	Reed-Solomon	Tornado	LT	Raptor	On-line
编码时间	$O(n(1 + \epsilon)P)$	$O(\log(1/\epsilon))$	$O(\log n)$	$O(\log(1/\epsilon))$	$O(1)$
编码有效性	1	$1/(1 + \epsilon)$	$1/(1 + O(\epsilon/n))$	$1/(1 + \epsilon)$	$1/(1 + \epsilon)$
解码时间	$O(n(1 + \epsilon)P)$	$O(\log(1/\epsilon))$	$O(n \log n)$	$O(\log(1/\epsilon))$	$O(n)$

Raptor 编码则将传统纠错编码算法与 LT 相结合, 放宽了所有输入信号必须被恢复的条件限制。

On-line 编码对内容重构具有更强的保证能力, 尽管消息块大小 n 不断增长, 但是由此而导致源内容重构失败的概率却是 0。另外, On-line 编码生成校验块时间是一个固定值, 并且对于任意 $(1 + \epsilon)n$ 个编码块的编码时间都是 $O(n \ln(1/\epsilon))$, 能够实现接近于线性的编码、解码性能。并且, On-line 编码能够很好地适用于同一源文件在多个不相关部分同时编码的情况, 因此 On-line 编码非常适合于 P2P 网络的数据通信。在本内容分布网络中采用 On-line 编码进行数据传输。

5 系统特性

使用基于 FEC 编码的传输技术, 以及采用 P2P 与 CDN 相结合的网络拓扑结构, 给整个内容分布网络带来许多好的特性。

- (1) 稳定性。新的内容分布网络具有传统 CDN 网络中良好的服务器处理性能、可用性以及相对稳定的网络连通性。源内容服务器与边缘服务器之间可以实现大数据量内容的快速分布, 并且可以支持媒体数据等需要一定运算量的内容分布。
- (2) 可靠性。它是基于 FEC 编码传输技术所固有的特性, 能够减少服务系统因为传输中丢包率、延迟、网络拥塞状况变化而受到的影响。
- (3) 高速度。主要体现在对大数据量的内容分布过程中。由于采用了非 TCP 的传输协议, 其传输速度不会因网络拥塞

变化发生显著变化,因此大数据量的内容分布速度比 TCP 协议传输速度快得多。

(4) 良好的可扩展性。在多源同时下载的过程中,服务器无须维护客户端的状态,可以支持非常大的并发请求数。发送者可以随时退出内容发送,接收者也可以随时加入接收内容数据,而不会导致内容分布的重新开始。

更重要的是,无比率限制纠错编码传输过程中不需要有反馈信息,使其更适合于在多种网络带宽条件下的内容分布,如 Internet、移动网络、卫星网络及 Ad hoc 等不同的网络。

6 总结

这种新的内容分布网络充分发挥 CDN 和 P2P 两种网络在内容分布方面的优点,采用基于无比率限制纠错编码传输机制,大大增强内容分布网络的健壮性、可扩展,使其可以适合于诸多网络带宽条件下,大并发请求用户量的内容分布。

不过,仍然还有一些需要逐步完善的方面:

(1) 良好的传输拥塞控制机制。一般情况下,非 TCP 传输协议是没有拥塞控制机制的。一方面,无比率限制纠错编码机制在传输中引入了一定量的冗余数据信息,这些冗余数据信息的存在理论上会增加发生网络拥塞的几率;另一方面,在发生拥塞的网络通路上,如果没有合理的拥塞控制机制,无比率限制纠错编码数据会影响其他基于 TCP 传输协议的应用。尤其是在以组播进行传输的网络中,更需要一种可以避免引起反馈崩溃(Response Collapse)效应的拥塞传输控制机制。在这方面,IETF 的 RMT 研究组已经做了很多研究工作,形成数篇 RFC 文档(RFC3450, 3451, 3452),并且这种技术已经在一些实际服务系统中得到应用。

(2) 高效率内容分布数据真实性验证。在新的内容分布网络中客户端内容共享阶段,共享内容的客户端既有客户端功能,又有服务器功能,但是这些客户端很容易被伪造,恶意用户将已下载的内容替换为其他恶意内容(如病毒文件、垃圾干扰文件等),将会大大影响内容分布网络的性能和安全性。因此,必须保证客户端所下载的内容是源内容服务器相应内容的副本,而不是其他恶意内容。在这方面,纽约大学的 Max Krohn

等人已有相关研究^[10],可以借鉴到内容分布网络中来。

总之,原有的 CDN 和 P2P 内容分布网络技术在实际应用中,暴露出诸多的弊端和不足。本文介绍的这种新的基于无比率限制纠错编码实现,结合 CDN 和 P2P 网络拓扑结构优点的内容分布网络,一定程度上解决了这些存在的问题,并且表现出诸多良好的性能特性。随着其相关技术的逐步深入研究和不断完善,这种内容分布网络技术必会将其优良特性发挥得淋漓尽致。

参考文献:

- [1] Doug Kaye. Peer-to-Peer Content Delivery Using Information Additive Codecs[Z]. 2002, 1: 6-8.
- [2] D Xu S Kulkarni, C Rosenberg, H Chai. A CDN-P2P Hybrid Architecture for Cost-Effective Streaming Media Distribution[C]. SPIE/ACM MMCN 2003, Santa Clara, CA, 2003. 1-3.
- [3] Steven H Low, Fernando Paganini, John C Doyle. Internet Congestion Control[J]. IEEE Control Systems Magazine, 2002, 2.
- [4] Petar Maymounkov. David Mazières. Rateless Codes and Big Downloads[C]. IPTPS 03 (Berkeley), 2003. 1-6.
- [5] Kirk L Johnson, John F Carr, Mark S Day, et al. The Measured Performance of Content Distribution Networks[C]. The 5th International Web Caching and Content Delivery Workshop, 2000. 1-10.
- [6] Michael Luby, Vivek K Goyal, Simon Skaria, et al. Wave and Equation-based Rate Control Using Multicast Round Trip Time[C]. Proc. of the ACM SIGCOMM 2002, Pittsburgh, PA, 2002. 1-3.
- [7] Tracey Ho, Summary of Raptor Codes[EB/OL]. www.mit.edu/~6.454/trace/raptor2, 2003-10.
- [8] Petar Maymounkov. On-line Codes[R]. NYU, Technical Report TR2002-833, 2002.
- [9] M Hefeeda, A Habib, B Botev, et al. PROMISE: Peer-to-Peer Media Streaming Using CollectCast[C]. Proceedings of the 11th ACM International Conference on Multimedia, 2003. 2-8.
- [10] Max Krohn, Michael J Freedman. On-the-Fly Verification of Erasure-Encoded File Transfers, IRIS Student Workshop[M]. Cambridge, MA, 2003.

作者简介:

王峰(1977-),男,山东济宁人,博士生,主要研究方向为计算机网络技术;钱华林(1940-),男,研究员,博士生导师,主要研究方向为计算机网络、网络工程和网络运行服务。

(上接第 213 页)采用原分类算法的时新性要高或者相等,即从理论上既保证了重要性又保证了时新性。但是,这样做的代价是重要性比较高的网页比采用原分类算法要消耗更多或相等的系统资源。重要性比较低的网页,采用两种分类算法中较低的更新频率,其优点是重要性比较低的网页会比采用原分类算法消耗更少的系统资源。总的来说,本算法的优点是比较重要的网页具有较高的时新性,但要消耗较多的系统资源;比较不重要的网页时新性较低,但是节约了系统资源。

4 结束语

该算法是在文献[3]的分类算法的基础上提出的,是一个结合了网页的重要性和时新性的新的分类更新算法。与采用只按重要性或时新性分类的算法相比,该算法在消耗系统资源相近的情况下,使越重要的网页时新性越高,比较不重要的网页时新性较低。从理论上来说是一个不错的方案。由于实验需要一个较长的统计周期,下一步的目标是用长时间的实验统计来证明该算法的有效性。此外按照重要性分为五个等级,可以推广为按照重要性分 n 个等级, $n=1, 2, \dots, N$ 。对于不同规

模,不同类型的 S 集合 n 如何取值效果最好,也是一个值得研究的问题。

参考文献:

- [1] Vijay Gupta, et al. Internet Search Engine Freshness by Web Server Help[R]. University of Illinois at Urbana-Champaign. 114.
- [2] Junghoo Cho, Hector Garcia-Molina. The Evolution of the Web and Implications for an Incremental Crawler [D]. Stanford University, 2002.
- [3] 文坤梅, 卢正鼎, 等. 搜索引擎中页面分析策略的分析与改进[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 30(12): 3-5.
- [4] Junghoo Cho. Crawling the Web: Discovery and Maintenance of a Large-Scale Web Data [D]. Stanford University, 2001.
- [5] 盛骤, 谢式干, 潘承毅. 概率论与数理统计(第 2 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989. 99-116.
- [6] 王继民. 国内综合性搜索引擎时新性的计算[J]. 计算机工程与应用, 2003, (21): 47-49.

作者简介:

吕韩飞(1977-),女,硕士研究生,主要研究方向为人工智能、计算机网络;王申康,男,教授,博士生导师,主要研究方向为人工智能、计算机网络等。