



基于 P2P 和 CDN 融合架构的 IPTV 系统

王晨凌

(中国电信股份有限公司上海研究院 上海 200000)

摘要

本文提出基于 P2P 和 CDN 的融合架构,以能够支持大规模用户并发的 IPTV 系统,以及系统设计的一些关键的决策。

关键词 IPTV;CDN;P2P;QoS

1 引言

IPTV 作为三网融合的必由之路,已得到全球电信运营商的广泛关注。IPTV 系统提供的业务主要是直播和点播(包括时移电视和 VOD 点播)。由于 IPTV 系统提供的是接近于传统 TV 业务的收视体验,因而 IPTV 系统中节目的码流速率普遍较高,远远高于互联网分发的媒体码流速率,如上海电信的每个节目媒体为 1.6 Mbit/s。为了解决中央服务器能力限制,提升用户访问响应时间,充分优化网络流量,此类 IPTV 系统的内容分发通常基于 CDN 的分层架构,将内容尽可能地推送到离用户最近的网络边缘,为用户提供高可靠性的媒体业务访问体验。

基于 CDN 的内容分发架构提供了高可靠性的保证,但是 CDN 技术仍然是基于 C/S 架构。随着用户量的增加,CDN 的投资也将同比例线性增加。媒体服务中,系统性能的瓶颈通常在服务器数据读写的 I/O 吞吐瓶颈上,单台服务器只能支持有限的并发流。举例来说,一般的刀片流媒体服务器的吞吐量能在 200~400 Mbit/s,如按节目码流速率

为 1.6 Mbit/s 计算,则单台刀片服务器只能支持 200 个左右的用户并发。要解决大规模用户并发使用业务的问题,如十万、百万用户,这就意味着需要线性增加 CDN 系统的容量,这个代价是相当昂贵的。同时,用户访问具有随意性、突发性等,传统 CDN 系统不具备弹性动态扩展的能力,难以从根本上提升 CDN 系统的效率。

与此同时,P2P 流媒体的技术也在逐渐成熟,互联网成了它们实验、发展、壮大的温床。国内在 P2P 流媒体的应用方面也走在世界的前列,PPlive、PPstream、UUsee 等服务商的日均活跃用户均达到百万级,达到了大规模并发场景的程度。基于互联网的 P2P 流媒体,在内容分发方式上以 P2P 方式为主,提供少量的补偿服务器作为补充。P2P 流媒体网络具备健壮性、扩展性好、性价比高等一些特点。

(1)系统的整体能力(包括容量和性能)随加入节点数量的增加而增加。

(2)单个节点资源能力有限,且差别较大,在大规模用户并发的场景下,通过用户之间的相互服务,能够有效地提升系统容量和服务质量,缓解用于补偿服务端的压力。



(3) 节点加入、退出网络具有很强的随机性。需要有一定的监测和调度机制，来保证服务质量不受节点的动态加入和退出的影响。

P2P 流媒体的不足之处在于：在国内宽带接入方式以非对称的 DSL 为主的环境下，P2P 流媒体能够支持的节目码流速率在 400~800 kbit/s 不等，媒体质量不如运营商提供的 IPTV 方案，同时 P2P 流媒体在管理维护、服务质量保证、流量跨域无序性、商业模式上还存在一些问题。这里不深入探讨了。

2 融合系统设计

CDN 技术和 P2P 技术各有其优缺点，被用于不同的领域，CDN 主要用于流媒体内容分发，P2P 则主要用于内容交换。针对 IPTV 的网络特点及可运营、可管理的要求，P2P 流媒体提供了一种性价比很高的媒体分发解决方案。随着技术的成熟，其中很多思路可以为运营商所借鉴。运营商通过将 P2P 融合到运营商自营的 IPTV 系统中，通过与 CDN 系统的融合，以高性价比提供一种具备 TV 级媒体质量、电信级服务质量、可靠的交互式 IPTV 业务，能够适应未来大规模用户并发的需要，在大量用户并发时，用户间可以自服务，而现有系统无需随着用户量的增加而无限制地线性扩容。

2.1 需求

电信运营商在构建自营的 IPTV 系统时，往往已经部署了一定程度的 CDN 系统，在现有的 CDN 基础上引入 P2P 分发机制应当是运营商需求的出发点。这样既保证了现有 CDN 系统的投资，也是电信级 IPTV 的服务质量保证的关键一环。随着业务的发展，用户量的激增，单纯依赖 CDN 的架构投资显得过大。因而提出 CDN 和 P2P 融合的网络模型，建立在已部署的 CDN 基础上，在骨干网层次保留了原有 CDN 系统的架构和功能，在边缘节点和用户之间引入了 P2P 技术来实现用户之间的流媒体共享，从而实现了 CDN 技术与 P2P 传输的结合。充分利用现有网络终端空闲的网络、存储和计算资源，盘活大量已有的硬件投资。目标是要在现有的 CDN 架构下，通过引入 P2P 分发，使得 IPTV 业务网络具备较高的扩展性和服务质量保证，能够通过动态调度服务大量并发的用户访问请求，避免单纯依赖 CDN 系统所需的昂贵投资。

P2P 分发在整个 IPTV 分发系统中的定位为辅助性、支撑性的角色，主要是在用户并发量大、节目热度较高的情况下，引导访问相同资源的用户之间进行自服务，以缓解 CDN 系统的压力，从而增加整个内容分发系统的服务容

量，以较少的投资应对大规模用户并发的场景。学术研究及互联网 P2P 流媒体的商业应用案例一致表明，在宽带接入方式以非对称的 ADSL 方式为主的环境下，单纯依靠 P2P 来分发内容，所能支持的码流速率的范围在 400~800 kbit/s。电信级 IPTV 系统所支持的节目需要有比拟于传统电视的收视体验，码流速率往往在 1.5 Mbit/s 以上。如此高的码流速率是无法单纯依靠 P2P 分发来实现的，这也就是为何在业务发展初期电信运营商均采用 CDN 为 IPTV 内容分发方案的原因。P2P 分发技术的健壮性、扩展性、高性价比等特点，能够负担大规模的用户并发场景。因而将 P2P 分发定位为辅助性角色，作为 CDN 架构的补充。同时，IPTV 应用模式下，用户机顶盒大多都是运营商投资的，属于运营商的资产，而且与互联网 P2P 流媒体的不同在于，处于闲置状态的 STB 占比不低，如果能够盘活这些资源，加入 P2P 的分发，就能进一步达到提升系统容量的目标。

2.2 可行性

在现有 IPTV 系统架构下引入 P2P 技术主要需要考虑几个方面的约束。

(1) 普遍存在的 ADSL 接入方式

如前所述，基于 ADSL 为主的环境，单纯依靠 P2P 分发只能支持 400~800 kbit/s 的码率。由于我们已经明确了内容分发的 CDN+P2P 混合架构，且 P2P 起的是辅助性的作用，用以增加系统的弹性容量，应对大规模用户并发的场景。这样即使在 ADSL 环境下，P2P 分发方式也是可以充分发挥作用的。同时，随着运营商未来的宽带演进策略，无论是 LAN、VDSL 或 FTTH，均将大幅度提升用户上行带宽，从而可以通过 P2P 技术提供更好的分发效率。

(2) 机顶盒能力

引入 P2P 分发，对机顶盒终端的能力要求主要有计算和存储能力。

前几年的机顶盒芯片处理能力在 100 MIPS 左右，机顶盒的几个主要模块，如浏览器、网络数据处理、媒体播放、控制流程共同工作时，芯片多余的处理资源已比较紧张。近两年，高性能芯片处理能力有了成倍的提升，使得在机顶盒上实现 P2P 控制模块成为可能。但实际设计时仍需要坚持一个原则，即只让机顶盒参与必要的 P2P 处理工作，将其他相关处理工作和决策由边缘服务器负责。

现有机顶盒一般只有有限的 RAM 资源，缺乏存储模块，因而需要在硬件上引入存储介质，目前性价比较高的选择是通过 USB 接口引入 SD 存储卡。

2.3 架构

CDN 和 P2P 融合的网络模型,建立在已部署的 CDN 基础上,在骨干网层次保留了原有的 CDN 系统的架构和功能,流媒体内容通过传统 CDN 技术,从中心推送至网络边缘服务节点。在边缘节点引入可管理、可控制的 P2P 技术,边缘服务节点所管理的边缘用户自治域之间的传输采用 P2P 技术,结构如图 1 所示。P2P 的范围尽可能控制在本地节点服务范围之内,减少了骨干网上的突发和穿越流量。如果用户请求的内容,本地节点没有命中,则边缘节点通过 CDN 向中心服务器索取,同时向本地用户进行 P2P 分发。

为了支持边缘的 P2P 分发功能。原有系统做了一些改动,主要是为了引入和 P2P 相关的内容切片分发、用户控制和调度工作。

中央服务单元。包含源服务器,完成对内容源的切片操作。需要根据加权策略算法,负责向边缘节点推送高热度文件分片。包含调度服务器,维护用户 IP 地址池与边缘节点的对应关系,将用户重定向到符合策略的边缘服务单元。

边缘服务单元。管理维护本地用户和用户存有分片索引。增加服务调度功能,根据算法,为用户的点播请求选择合适的服务对象,引导用户间 P2P 共享。根据算法,向上级节点或邻居服务边缘单元请求本地不存在的分片。

机顶盒。根据算法,选择是否预推策略。当存储容量超过警告上限时,根据更新算法,选择需要淘汰的本地文件分片。定期向本地边缘服务单元汇报当前的服务质量参数;上行吞吐量,延迟,丢包率。向本地边缘服务器上报文件分片更新的状态。

在电信网架构下引入 P2P 技术可控性强且易管理。用户地址区域在运营商的域内规划范围内,不存在互联网上随机选择 Peer 而导致流量穿越的现象。流量模型可根据业务运营的情况灵活调整,控制简单且可控性高。而且 IPTV 网络中较少存在互联网经常遇到的 NAT 环境,一般无需解决 NAT 穿越的问题。

2.4 服务流程

客户请求及响应过程如下。

- 客户通过 EPG 服务器向中央服务器发出申请,中央服务器经过认证,根据用户 IP 地址选择一边缘节点

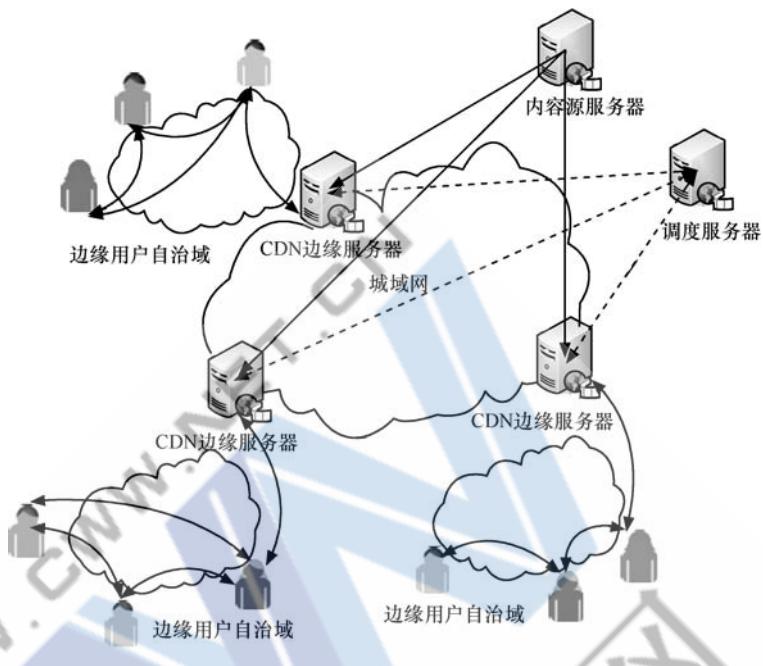


图 1 P2P 和 CDN 融合架构

提供服务,并将请求重定向到该边缘节点。

- 边缘节点根据用户请求内容,查找拥有该内容的在线用户节点列表。若命中,则根据调度策略(该策略可能为 CDN 优先、P2P 优先、服务质量优先、本地服务优先、或混合策略),调度 CDN 和 Peer 节点资源,对新进用户提供服务,并将参与服务的资源置为忙。
- 若边缘节点查询用户请求内容不命中,则向上层或邻居边缘节点请求该内容,则在缓存的同时将该内容提供给用户。

2.5 关键决策

基于 P2P 和 CDN 融合架构的 IPTV 系统的设计中,有一些关键决策的选取将影响到系统的性能指标。比如对用户网络接入能力的比例的评估,边缘节点和机顶盒更新机制的选择,机顶盒参与 P2P 交互式时同时连接的 Peer 数量,切片的大小等。以下做简要讨论。

用户网络接入能力是 P2P 分发效率的重要依赖。ADSL 普遍上行带宽 512 kbit/s,远小于下行带宽;LAN 则上下行对等。如果总用户中 LAN 的比例较高,P2P 分发得更有效率,如果可以放开 LAN 用户的上行带宽限制,也可以增大分发效率。此外,如何通过激励机制,使得空闲的机顶盒参与 P2P 分发,也将有效地提升系统分发效率。

针对边缘节点和机顶盒更新机制的选择,已有很多学术论文进行了讨论,总体来说是建议按时间 LRU (least