

P2P 网络技术研究现状与展望

黄海 庞涛 武娟

(中国电信股份有限公司广东研究院 广州 510630)

摘要 经过多年深入研究和广泛应用, P2P 网络技术研究的主要关注方向, 已经从过去的 P2P 协议算法设计分析, 转移到 P2P 系统设计及部署优化、应用扩展和标准化。简要介绍 P2P 网络技术最近的主要研究进展, 包括 P2P 系统建模与理论分析、CDN+P2P 混合式系统、P2P 流量控制、网络编码与 P2P、扩展应用和标准化, 并展望了 P2P 网络技术进一步研究和应用部署的主要挑战和发展趋势。

关键词 对等网络, 对等网络系统建模, 内容分发网络, 网络编码, 流量控制, 网络游戏, 社交网络
中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Recent Advances and Trends of Peer-to-Peer Networking Research

HUANG Hai PANG Tao WU Juan

(Guangdong Research Institute of ChinaTelecom Co., Ltd, Guangzhou 510630, China)

Abstract After extensive investigations and applications in the past years, the research efforts of Peer-to-Peer(P2P) networking have been turned to the improvement of P2P systems design and deployment, application extension, and standardization, other than the development of P2P protocols and algorithms before. In this survey, we presented recent advances of P2P networking research, including theoretical modeling and analysis of P2P systems, hybrid systems of content delivery network(CDN) and P2P, P2P traffic control, application of network coding to P2P systems, P2P application extension, and standardization. Finally, we summarized the challenges for further studies and deployment of P2P systems.

Keywords Peer-to-Peer(P2P) networks, P2P system modeling, Content delivery networks, Network coding, Traffic control, Network game, Social networks

1 引言

相对于客户机/服务器(Client/Server, C/S)模式, 基于对等(Peer-to-Peer, P2P)模式的网络应用系统具有可扩展性好、健壮性强、部署成本低等优点^[1]。P2P 网络技术相关研究已经对系统设计空间进行广泛探索, 提出了许多 P2P 协议算法和原型系统^[2,3]。基于这些研究结果, 大量 P2P 应用系统已在互联网中部署, 并拥有数目庞大的用户群体。

对于 P2P 协议算法和应用系统设计的研究结果, 目前已有多篇文献进行深入分析总结。这些综述文献分别针对不同种类的 P2P 应用系统, 包括文件下载^[1]、流媒体直播^[2]、视频点播^[3]等, 或者关于 P2P 应用系统的基本技术要素, 包括目录服务与搜索^[1,4]、覆盖网构建^[1]、数据传输调度^[2]、激励机制^[5]等。然而, 近年来 P2P 协议算法研究、应用系统设计和实际部署的技术挑战激发了更加深入广泛的研究。本文旨在介绍 P2P 网络技术近年来最新的研究进展, 并展望 P2P 技术发展的趋势。

本文首先介绍 P2P 网络技术的研究现状, 包括 P2P 系统建模与理论分析、CDN+P2P 混合式系统架构、P2P 流量控制、网络编码与 P2P、扩展应用和标准化相关的研究进展。然

后结合 P2P 应用系统理论分析和优化设计、系统架构演进与发展、应用扩展与标准化 3 个方面, 小结 P2P 网络技术目前的主要挑战和进一步的发展趋势。

本文第 2 节介绍近期 P2P 网络系统架构的相关研究; 第 3 节介绍 P2P 系统建模与理论分析的研究结果; 第 4 节介绍网络编码在 P2P 系统中的应用; 第 5 节介绍 P2P 应用扩展和标准化研究现状; 第 6 节概括 P2P 网络技术研究的主要挑战和发展趋势; 最后总结全文。

2 P2P 网络系统架构

2.1 P2P 与 CDN 的混合式系统

P2P 应用系统可扩展性很好, 但其分布式资源共享机制也使得系统服务质量容易受到节点扰动的影响, 而且会产生大量的网间流量。在 P2P 应用系统中添加专用的内容存储服务器, 辅助对等节点进行内容资源分发, 可以改进和提高系统服务质量。但这种与 P2P 应用系统紧密相关的存储服务部署, 需要额外的控制管理, 动态扩展能力有限, 而且难以在各种 P2P 应用系统中进行资源共享。

针对大规模的内容分发应用, 如 Web 访问、流媒体业务, 内容分发网络(Content Delivery Network, CDN)^[6]已经在互

黄海(1973—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为 P2P、云计算, E-mail: huanghai@gsta.com; 庞涛(1977—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为计算机通信、云计算; 武娟(1977—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为通信技术、P2P、云计算。

联网中大量商业部署和应用,如 Chinacache^[7]、Akamai^[8]、Limelight^[9]等。作为一种对于 C/S 模式应用系统的增强,基于多点负载均衡和缓存技术的 CDN 服务提供一种可管理的基础设施,其能够为各种大规模内容分发提供可靠的服务。但 CDN 服务扩展需要较高的成本,而且缺乏动态资源扩展的能力,难以从根本上提高内容分发应用系统的效率。

采用 P2P+CDN 的混合式系统架构进行内容分发,可以结合 P2P 和 CDN 两种技术的优点,即同时具有 P2P 的可扩展性和 CDN 的管理控制能力和可靠服务^[10-12],并克服 P2P 和 CDN 各自的技术局限,近几年来已经引起了关注。LiveSky^[11]、Red Swoosh^[13]、Octoshape^[14]、Syncast^[15]等 P2P+CDN 混合式内容分发系统已在互联网实际部署运行,相关研究还提出一系列系统框架和算法,如 Coral^[16]、DeMSI^[17]、Comodin^[18]等。

P2P+CDN 混合式内容分发系统关键技术主要包括下列两个方面:

• P2P+CDN 混合式系统架构

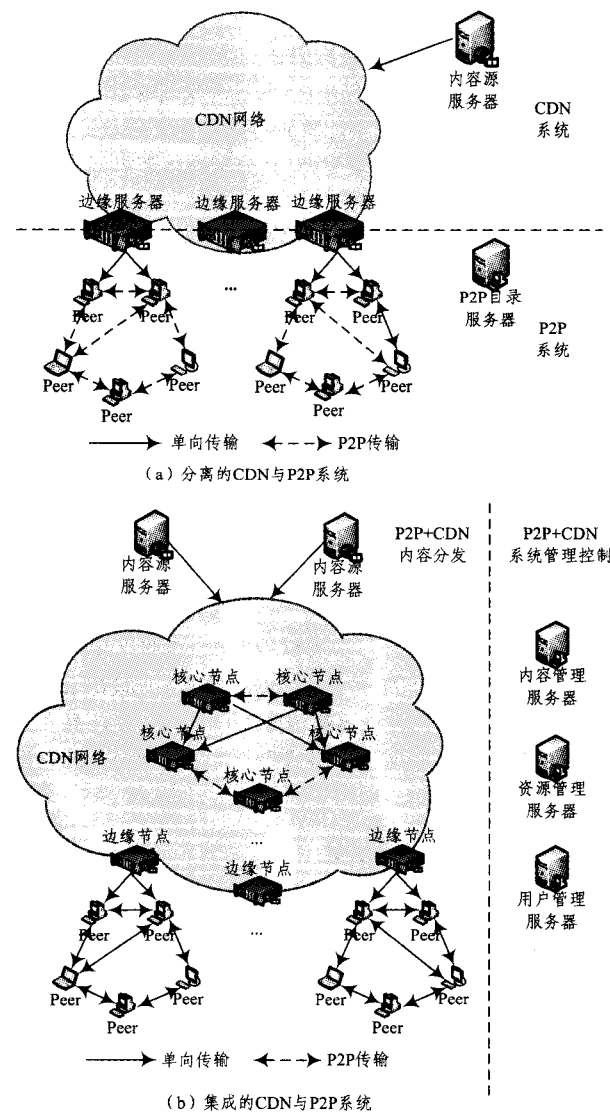


图1 P2P+CDN 混合式系统架构

P2P+CDN 混合式系统架构有两种方式(见图1)。第一种是采用分离的 CDN 与 P2P 系统,其只是利用 CDN 原有的分发技术将内容传送至 CDN 边缘服务器,然后在终端用户之

间采用 P2P 模式进行传送^[19]。采用这种简单的叠加方式,CDN 系统和 P2P 应用系统集成所需的变化较少,只需要将 CDN 边缘服务器作为 P2P 应用系统的源服务器(种子节点)即可。当 CDN 系统和 P2P 内容分发系统分属不同机构运营时,如 P2P 内容分发服务商购买 CDN 服务以提高其系统服务质量,通常只能采用这种方式集成。

第二种方式则是采用集成的 CDN 和 P2P 系统,两者进行统一的管理控制,CDN 服务器之间的内容分发可部分采用 P2P 模式以提高可扩展性^[11]。CDN 服务器系统和 P2P 应用系统由于统一管理控制,因此能够根据系统当前的用户分布和负载情况,合理地调配服务器及带宽资源、内容缓存,以提高用户体验,但同时也为管理和控制增加了复杂度。

• CDN 服务资源动态缩放

P2P+CDN 混合式内容分发系统中,对于终端用户服务质量的提升主要来自于 CDN 服务资源,包括 CDN 服务器及其带宽。因此,应该在 CDN 资源开销、可扩展性和用户体验度之间取得折衷,以较小的 CDN 资源开销,来支持较大数目的终端用户及其较好的用户体验度。此外,系统运行过程中,终端用户和访问内容的分布会随机变化,甚至发生大幅度的波动。因此,系统运行过程中应根据当前终端用户及内容请求的分布,实现 CDN 服务资源的动态配置,使得系统性能达到最优。系统优化算法及其执行频度、全局状态信息的获取和配置管理子系统设计,都会对系统性能造成重要影响。

2.2 P2P 流量协同控制

现有 P2P 应用系统中,终端节点选择资源节点时,主要根据所需数据有效性采用随机方式,或根据局部测量结果推断底层网络信息进行选择。这种资源节点选择机制会带来两类问题:一是产生大量的网间(城域网或 ISP 之间)流量,给 ISP 的流量控制和网络优化带来很大的挑战,特别是 P2P 流量在 Internet 中比例较高的情况下尤为突出;二是影响终端用户的 QoE,因为这种资源节点选择的结果通常是盲目的或者次优的。因此,对于 ISP 和 P2P 双方而言,P2P 流量控制都是一个非常重要的问题^[20,21]。

早期的 P2P 流量控制主要在承载网络中进行检测控制。在网络中部署深度数据包检测(Deep Packet Inspection, DPI)^[22]设备,可以在一定程度上检测并通过路由节点控制优化 P2P 应用系统的流量分布。但是,由于 P2P 系统本身分布式、自适应、快速演进的特点,以及骨干网和接入网链路越来越高的速率,这种在网络中间进行 P2P 流量监测控制的方式很难达到预期效果。

鉴于网络侧 P2P 流量控制的问题,目前部分研究倾向于网络与 P2P 系统协同控制优化 P2P 流量。由 ISP 直接或第三方提供底层网络信息,如网络距离、路径开销、路由策略等,P2P 应用系统根据这些网络信息优化资源节点的选择,不仅可以显著地减少网间流量,而且可以提高终端用户的服务质量^[20]。其核心问题主要在于底层网络信息的提供、分布式优化以及相应的安全和隐私。

两种 P2P 流量控制方法中,网络监测控制只需要在网络侧部署实现,但技术局限较大;网络与 P2P 系统协同,流量控制效果明显,但同时需要运营商网络和 P2P 应用系统的参与。比较而言,网络与 P2P 系统协同的方式,如 P4P^[20],更适合 P2P 的流量控制优化。P4P 可视作网络位置感知(Locality

Aware)^[23]的扩展,与其不同之处在于,P4P 可以进行 P2P 流量控制的全局优化,并可采用不同的优化目标,数据流控制颗粒度可伸缩性较强。

3 P2P 系统建模与理论分析

早期 P2P 技术研究提出不同的系统架构、节点选择及传输调度算法、应用系统,主要采用直觉逻辑推理和试探性设计方法^[24],通过软件模拟或 PlanetLab 仿真进行性能分析评估,或者采集实际部署系统数据记录进行统计分析,部分还采用基于“爬行器”(Crawler)的测量方法从外部探测和采集数据进行统计分析^[25]。因此,近年来相关研究试图从理论上分析和评估 P2P 应用系统服务性能、系统性能及资源开销,进而指导系统架构和节点选择及传输调度算法设计^[26]。这些 P2P 系统建模和理论分析研究主要集中在两个方面:

• P2P 系统建模及系统性能

Small 等在不考虑节点扰动和覆盖网络链路时变特性的情况下,研究了源服务器带宽消耗、可支持节点数目、覆盖网络转发跳数之间的关系,以及节点依泊松过程随机加入时的接入成功率、等待时间^[24]。Liu 等假定无节点扰动,推导了不同节点数、上传链路带宽、子节点数上限所对应的服务器最小负载、流传输最大速率和最小树深度上限的理论结果^[26]。

• P2P 系统应用服务性能

部分研究关注 P2P 系统服务性能理论极限分析。Liu 证明了基于随机覆盖网络的 P2P 流媒体系统中媒体数据分发时延的理论下限^[27],但没有考虑无节点扰动。Kumar 等人提出了一种随机流体模型,给出了无传输缓存 P2P 系统中无节点扰动时流畅播放速率的上限、节点扰动情况下的流畅播放时间比例^[28]。

还有部分研究关注各种资源节点选择和数据传输调度算法的服务性能。Zhou 等提出了一种简单的概率模型计算节点缓存数据块的统计分布^[29],来分析稀有有优先(Rarest First)和紧急优先(Nearest Deadline First)两种数据块请求调度算法的播放连续度和启动播放时延,以此为基础提出稀有和紧急优先的混合式算法。基于 P2P 流媒体直播系统节点选择和传输调度算法组合的理论分析,Massoulié 等证明了一种组合,以获得数据分发最佳速率^[30]。Sanghavi 等证明了另一种组合,以获得最佳分发时延^[31]。Bonald 等更进一步证明了还有一种组合能够同时获得最佳速率和最佳时延^[32]。对于多频道缓存 P2P 系统,Wu 等提出一种无限服务器排队网络模型^[33],给出了单、多频道数据缓存系统的流畅播放时间比例理论分析结果。

另有少量研究关注 P2P 流媒体系统中的服务区分。Wu 等提出一种多 P2P 流媒体会话服务区分机制 Diverse^[34],其包括节点应用层优先级调度算法、基于优先级的覆盖网络拓扑构造和带宽优化分配算法。

这些理论研究结果深入揭示了 P2P 应用系统资源开销、服务性能极限以及相应的技术折衷,进而可用于指导 P2P 协议算法的设计和系统部署的运行优化。

4 网络编码与 P2P

网络编码(Network Coding)^[35]自 10 年前提出至今,吸引了大量研究,被视为网络通信领域的信息论。网络编码主

要用于分析网络中多用户内容分发吞吐量以及如何获得最佳吞吐量,与 P2P 内容分发应用场景相吻合。因此,近年来相关研究将网络编码引入 P2P 内容分发系统的设计和理论分析。

应用于 P2P 内容分发的网络编码主要采用随机网络编码(Random Network Coding)^[36],基于一种随机选择编码向量的策略:所有中间节点在足够大的有限域上,相互独立地随机选择其输入链路到输出链路的映射,可保证各信宿能以较高的概率解码。随机网络编码无需整个网络的拓扑信息,其适用于拓扑结构动态变化或大规模的网络。

• P2P 文件下载与网络编码

首先采用网络编码的 P2P 文件下载系统为 Avalanche^[37]。其源文件被分为多个文件块,采用随机网络编码后在对等节点之间传输。当一个对等节点收到足够多的线性无关编码组合时,即可通过相应线性方程组解出原始文件块数据。Avalanche 中采用随机网络编码的优点包括两个方面:明显减少了文件下载时间,最高可达 30%;增强了对于节点扰动的适应性。

Avalanche 中的随机网络编码在一个文件中的多个文件块之间进行,所需的计算开销较高,而且若收到的编码分块组合数目少于文件块数目则不能解码得到原始文件块。对此,可以将文件分为多个文件块集,对其分别应用随机网络编码甚至采用混合式编码^[38]。

• P2P 流媒体直播与网络编码

基于网络编码的 P2P 流媒体直播系统中,数据流通常被分为一连串数据段,每个数据段再划分为等长的数据块,网络编、解码以数据段为单位分别进行。文献[39]首次表明网络编码对于 P2P 流媒体直播的益处,特别是在服务器带宽难以满足用户需求的情况下。R2^[40]采用基于随机网络编码的数据随机推送,仿真实验表明,在启动播放、播放质量、节点扰动的适应性、专用服务器的带宽消耗方面,其明显地优于无网络编码 P2P 流媒体直播系统。相应的理论解释在文献[41]中给出。

• P2P 视频点播与网络编码

对于 P2P 视频点播应用,文献[42,43]表明采用网络编码有着与流媒体直播系统类似的优点。首个大规模部署的基于网络编码的 P2P 视频点播系统为 UUSec^[44],其以真实系统运行实验的方式,说明了网络编码所带来的益处和现有设计的主要不足。

5 P2P 应用扩展与标准化

5.1 P2P 应用扩展

P2P 应用领域目前主要集中于内容分发,包括流媒体直播、视频点播和文件下载,但近年来也有部分研究结合其它网络计算技术以扩展 P2P 应用领域。

(1) 基于 P2P 的网络在线游戏

网络游戏特别是大型多人在线游戏(Massively Multi-player Online Game,MMOG)系统中,服务器系统运营管理和维护成本随着用户规模的增加急剧上升。采用基于 P2P 技术的网络在线游戏,不仅能降低服务器的负载,而且能将严格延时约束的节点聚集在一起,从而提高用户的体验^[45,46]。

P2P 大型多人在线游戏系统设计的基本技术问题主要包

括^[45,46];游戏状态管理、兴趣及区域管理、游戏事件传播、非玩家角色宿主机分配、欺骗阻止、激励机制等。这些技术问题,部分可采用P2P系统中常见的DHT算法解决,如游戏状态管理、兴趣及区域管理;部分涉及动态可扩展性,需要在系统运行过程中进行优化处理,如兴趣及区域管理、非玩家角色宿主机分配;部分与时延和同步控制相关,如游戏状态管理、游戏事件传播;还有部分与计算机系统信任机制相关,如欺骗阻止和激励机制。针对基于P2P的MMOG系统中的时延和同步控制、欺骗阻止问题,Baughman等^[47]结合同质用户和系统资源的假定提出了Lockstep和Asynchronous Synchronization算法;John等^[48]则提出了异质用户及资源系统情况下的解决方案;Chan等设计了数字签名协议EASES^[49]用于欺骗阻止。

近几年来,相关研究已经提出一系列基于P2P的MMOG系统架构,包括Donnybrook^[50]、Colyseus^[51]、VON^[52]、MM-VISA^[53]、VoroGame^[54]等。

(2) 社交网络

现有的社交网站以及相关的组件,如Facebook、开心网等,都是采用基于C/S模式的Web应用。P2P模式固有的分布式、可扩展的特点,可以克服基于C/S模式的社交网络系统在用户隐私保护、连通性、可扩展性方面的不足^[55]。基于P2P的社交网络应用系统,包括TRIBLER^[56]、Groove^[57]、Soulseek、SpinXpress、Kerika等,目前主要集中于媒体分发和协同工作,如视频和音乐共享、文档协同编辑等。

社交网络系统在许多方面与传统的P2P应用不同,包括用户规模、信息时效性、关系拓扑、搜索和身份识别、应用接口开放、内容和个人隐私、安全与权限控制等,从而对于P2P技术在社交网络系统中的应用带来了许多技术挑战。

5.2 P2P 标准化

互联网中目前已大量部署的P2P商用系统,分别基于各种不同的公开和私有P2P应用协议,相互之间并不能互联互通,而且产生大量不可控的流量。鉴于这些问题,IETF^[58]和中国通信标准化协会(CCSA)^[59]等已经开始进行P2P应用标准化工作。

IETF进行P2P应用标准化的工作组主要包括P2PSIP(Peer-to-Peer Session Initiation Protocol)^[60]、LEDBAT(Low Extra Delay Background Transport)^[61]、ALTO(Application Layer Traffic Optimization)^[62]、PPSP(Peer to Peer Streaming Protocol)^[63]和DECADE(Decoupled Application Data Enroute)^[64]。

P2PSIP工作组的目标是建立一个分布式覆盖网络,以提供SIP注册和路由功能。其基本协议规范——RELOAD分布式哈希表,已经准备提交工作组会议做最后讨论,P2P领域第一个技术标准有望出炉。

文件下载应用流量容易对延时敏感的P2P流量产生干扰,降低了其它网络应用用户体验。针对这一问题,LEDBAT工作组提出了实验性的基于TCP连接的拥塞控制算法,用于批量数据传送的网络应用,如文件下载服务等。目前,LEDBAT算法正在用于BitTorrent客户端。

ALTO工作组相关工作主要是基于P4P^[20]相关研究结果,建立一种标准协议,使得P2P系统能够基于ALTO服务获取网络拓扑信息,优化其伙伴节点的选择过程,从而减少网

间流量和提高P2P系统用户体验度。ALTO工作组已发布了同名的协议草案,目前正在改进过程中。

PPSP工作组的目标是建立一套P2P网络流媒体标准协议族,同时将其作为分布式业务网络(DSN)的流媒体业务关键协议。PPSP将在未来电信网和互联网的融合流媒体业务开发中起到重要作用,并解决融合网络中流媒体业务的交互问题,支持不同流媒体系统之间的互操作,能够实现低成本的大规模流媒体应用系统解决方案。

DECADE工作组提出一种通用的网络内容存储系统服务接入协议标准,使得各种P2P系统用户都能够利用网络内容存储服务;通过网络存储共享内容数据,减少对等节点之间内容传输所引起的接入网上行链路以及核心网流量负载,并能提高其应用性能。

CCSA关于P2P应用系统的标准化工作主要包括两个方面:

- 可运营可管理的对等网络技术架构和标准

结合电信运营商的P2P业务场景,CCSA在2009年提出了“可运营可管理的对等网络技术架构”,给出了一种可运营可管理P2P网络层次模型和功能架构。基于这一系统架构,CCSA正在讨论和制定相关的P2P业务协议标准,包括P2P下载、流媒体直播、视频点播等。

- 承载网感知的P2P流量优化技术框架和标准

针对P2P网络流量控制问题,CCSA于2008年提出了“承载网感知的P2P流量优化技术框架”,其基于底层网络拓扑、负载状态和路由策略管理和控制P2P业务系统的流量分布。根据这一技术框架,相关的P2P流量优化技术标准正在讨论和制定过程中。

6 P2P 技术研究展望

经历了10余年的深入研究和互联网大规模应用,P2P网络技术已得到长足发展,主要的系统设计空间已经较为清晰。P2P技术研究关注的方向,已经从过去的P2P协议算法设计分析,转移到P2P系统性能优化、应用扩展和标准化。综合考虑P2P应用系统的基础技术和研究现状,未来的P2P技术研究将集中在下列几个方面。

(1) 理论分析和优化设计

合理抽象的理论模型能够刻画真实的P2P应用系统,揭示P2P系统性能极限,分析不同协议算法的系统服务质量。参照这些目标,现有的P2P系统建模和理论分析研究还处于初始阶段。P2P系统理论分析的深入进展,将对P2P系统协议算法设计和系统部署策略起到重要的理论指导作用。值得关注的研究方向包括:

- 不同架构P2P应用系统的理论模型

P2P应用系统架构,主要体现在覆盖(Overlay)网络拓扑、数据请求颗粒度、传输缓存模式、服务器辅助传输、网络与P2P应用间的协同、服务区等。不同架构的P2P应用系统建模是分析相应系统的性能和服务质量的基础。

- 资源节点选择和数据传输调度算法对于系统服务质量的影响

资源节点选择和数据传输调度算法,对于P2P应用系统服务性能起着决定性作用。对于这种决定性影响的理论分析以及结合实际系统环境的评估验证,目前只有少量或者需要

理想化假定条件的结果,其有待于进一步研究。相关的开放性问题包括各种资源节点选择和数据传输调度算法在不同用户规模、网络条件下的系统服务性能极限、收敛速度、自适应性等。

• 系统服务质量与资源开销的关系

P2P 应用系统虽然能够以较低的部署成本支持大规模用户,但系统服务质量与商业用户的期望还存在一定的差距,特别是 P2P 流媒体应用的用户体验度(Quality of Experience, QoE)。通过增加系统资源,如增加服务器数目和提高链路带宽,可以提升系统服务质量。但如何在系统资源开销和服务质量之间取得平衡,以合理的资源开销支持一定规模用户的服务质量,以及系统运营过程中的动态调整优化,还需要进一步研究。

(2) 系统架构演进与发展

P2P 网络技术研究、开发、部署和应用的过程,已经持续了近 10 年时间,同时也对 P2P 应用系统架构演进与发展提出了下列问题:

• P2P 与 CDN 的融合

如 3.2 节所述,P2P+CDN 的混合式系统架构能够结合 P2P 和 CDN 两种技术的优点,并克服 P2P 和 CDN 各自的技术局限。如何针对目前互联网内容分发的特点,更好地融合 P2P 和 CDN 技术,还需要进行深入的研究,主要的技术挑战包括:CDN 对于 P2P 应用系统海量媒体内容分发过程中的高效缓存和更新机制;CDN 服务器和带宽资源的动态缩放,包括单个 P2P 应用系统多内容、多用户群体之间,以及多个 P2P 应用系统之间;CDN 运营开销、系统可扩展性、终端用户体验度之间的合理平衡。

• P2P 系统与网络协同的流量控制

现有研究表明,P2P 系统与网络之间的协同,将使得 P2P 应用系统和网络双方受益。但是,这种协同机制的优点和不足,还有待于进一步研究,并在互联网真实环境中进行大规模实验验证,特别是在互联网中绝大多数应用并未与网络系统协同的情况下。这种协同因违背了互联网传输的中立性原则和引入了层间的耦合而给互联网服务模型带来何种影响,也有待于进一步研究。此外,P2P 系统与网络之间的协同,商业上是否可操作,也属未知。

• 可伸缩的 P2P 应用系统

P2P 系统的进一步应用发展,将要求 P2P 系统在保证服务质量的同时,具有较强的可伸缩性,能够有效支持不同规模的用户。在用户规模较小(如用户生成内容的分发)和极大时(如热点节目直播),P2P 应用系统都能合理有效地配置系统资源和引导对等节点的覆盖网络构建和数据传输调度,以保证系统对用户的服务质量。

(3) 应用扩展与标准化

P2P 技术应用领域目前主要在于流媒体分发、文件共享和即时通信。一方面,充分利用 P2P 模式的技术特点,扩展应用领域,将成为 P2P 技术研究的重要领域。另一方面,P2P 应用的标准化广为期待,但 P2P 应用标准化进程,能否统一或替换各种公开和私有的 P2P 应用协议,不仅取决于标准化研究本身,更大程度上还是取决于非技术因素。

结束语 本文结合 P2P 系统建模与理论分析、CDN+P2P 混合式系统、P2P 流量控制、网络编码与 P2P、扩展应用和标准化几个方面,简要介绍了 P2P 网络技术的研究现状。基于这些介绍和分析,本文概括了 P2P 网络发展的主要技术挑战和值得关注的研究问题,为 P2P 网络技术的进一步研究和提供发展提供了有益的参考。

参 考 文 献

- [1] Lua E K, et al. A Survey and Comparison of Peer-to-Peer Overlay Network Schemes[J]. IEEE Communication Surveys & Tutorials, 2005, 7(2)
- [2] Liu J, Rao S G, Li B, et al. Opportunities and Challenges of Peer-to-Peer Internet Video Broadcast[J]. Proceedings of the IEEE, 2008, 96(1)
- [3] 沈时军,李三立. 基于 P2P 的视频点播系统综述[J]. 计算机学报, 2010, 33(4): 613-624
- [4] Meshkova E, et al. A survey on resource discovery mechanisms, peer-to-peer and service discovery frameworks [J]. Computer Networks, 2008, 52: 2097-2128
- [5] 余一娇, 金海. 对等网络中的搭便车行为分析与抑制机制综述 [J]. 计算机学报, 2008, 31(1): 1-15
- [6] Pallis G, Vakali A. Insight and Perspectives for Content Delivery Networks[J]. Communications of the ACM, 2006, 49(1): 101-106
- [7] Chinacache[EB/OL]. <http://www.chinacache.com>
- [8] Akamai[EB/OL]. <http://www.akamai.com>
- [9] Limelight[EB/OL]. <http://www.limelightnetworks.com>
- [10] Huang C, Wang A, Li J, et al. Understanding Hybrid CDN-P2P: Why Limelight Needs its Own Red Swoosh [C] // Proc. of NOSSDAV'08, 2008
- [11] Yin H, et al. Design and Deployment of a Hybrid CDN-P2P System for Live Video Streaming: Experiences with LiveSky [C] // Proc. of ACM Multimedia'09. Beijing, 2009
- [12] Huang C, Li J, Ross K W. Can Internet Video-on-Demand be Profitable? [C] // Proc. of Sigcomm'07. Kyoto, Japan, Aug. 2007
- [13] RedSwoosh[EB/OL]. <http://www.akamai.com/client>
- [14] Octoshape[EB/OL]. <http://www.otoshape.com>
- [15] SyncCast[EB/OL]. <http://www.synccast.com>
- [16] Freedman M J, Freudenthal E, Mazières D. Democratizing Content Publication with Coral [C] // Proc. of 1st USENIX/ACM Symposium on Networked Systems Design and Implementation. San Francisco, March 2004
- [17] Yim A, Buyya R. Decentralized Media Streaming Infrastructure (DeMSI): An Adaptive and High-Performance Peer-to-Peer Content Delivery Network [J]. Journal of Systems Architecture, 2006, 52(12): 737-772
- [18] Fortino G, et al. CDN-Supported Collaborative Media Streaming Control [J]. IEEE Multimedia, 2007, 14(2): 60-71
- [19] Xu D, Kulkarni S S, Rosenberg C, et al. Analysis of a CDN-P2P Hybrid Architecture for Cost-Effective Streaming Media Distribution [J]. Multimedia Systems, 2006, 11(4): 383-399
- [20] Xie H, Yang Y R, Krishnamurthy A, et al. P4P: Provider Portal

- for Applications[C]//Proc. of Sigcomm'08. Seattle, 2008
- [21] Aggarwal V, Feldmann A, Scheideler C. Can ISPs and P2P systems cooperate for improved performance? [J]. ACM Computer Communication Review, July 2007
- [22] Li J, Zhang S, Lu Y, et al. Real-time P2P Traffic Identification [C]//Proc. of Globecom'08. New Orleans, Nov. 2008
- [23] Zhang X Y, et al. A Construction of Locality-Aware Overlay Network; mOverlay and Its Performance [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(1): 18-28
- [24] Small T, Liang B, Li B. Scaling Laws and Tradeoffs in Peer-to-Peer Live Multimedia Streaming [C]//Proc. of ACM Multimedia'06. Santa Barbara, Oct. 2006
- [25] Hei X, Liang C, Liang J, et al. A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2007, 9(8): 1672-1687
- [26] Liu S, Zhang-Shen R, Jiang W, et al. Performance Bounds for Peer-Assisted Live Streaming [C]//Proc. of Sigmetrics'08. Annapolis, USA, June 2008
- [27] Liu Y. On the Minimum Delay Peer-to-Peer Video Streaming: how Realtime can it be? [C]//Proc. of ACM Multimedia'07. Augsburg, Germany, Sept. 2007
- [28] Kumar R, Liu Y, Ross K. Stochastic Fluid Theory for P2P Streaming Systems [C] // Proc. of Infocom'07. Anchorage, USA, May 2007
- [29] Zhou Y, Chiu D M, Lui J C S. A Simple Model for Analyzing P2P Streaming Protocols [C]//Proc. of ICNP'07. Beijing, China, Oct. 2007
- [30] Massoulié L, Twigg A. Rate-optimal schemes for Peer-to-Peer live streaming [J]. Performance Evaluation, 2008, 65: 804-822
- [31] Sanghavi S, Hajek B, Massoulié L. Gossiping With Multiple Messages [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2007, 53(12): 4640-4654
- [32] Bonald T, Massoulié L, Mathieu F, et al. Epidemic Live Streaming: Optimal Performance Trade-Offs [C]//Proc. of Sigmetrics'08. Annapolis, USA, June 2008
- [33] Wu D, Liu Y, Ross K W. Queuing Network Models for Multi-Channel P2P Live Streaming Systems [C]//Proc. of Infocom'09. 2009
- [34] Wu C, Li B. Diverse: Application-Layer Service Differentiation in Peer-to-Peer Communications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(1): 222-234
- [35] Ahlswede R, Cai N, Li S R, et al. Network Information Flow [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2000, 46(4): 1204-1216
- [36] Ho T, et al. A Random Linear Network Coding Approach to Multicast [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(10): 4413-4430
- [37] Gkantsidis C, Rodriguez P. Network Coding for Large Scale Content Distribution [C]//Proc. of Infocom'05. Mar. 2005
- [38] Halloush M, Radha H. Network coding with multi-generation mixing [C]//Proc. of 42nd Annual Conference on Information Science and System (CISS'08). Princeton, Mar. 2008
- [39] Wang M, Li B. Lava: A Reality Check of Network Coding in Peer-to-Peer Live Streaming [C]//Proc. of Infocom'07. May 2007
- [40] Wang M, Li B. R2: Random Push with Random Network Coding in Live Peer-to-Peer Streaming [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(9): 1655-1666
- [41] Feng C, Li B. On Large-Scale Peer-to-Peer Streaming Systems with Network Coding [C]//Proc. of ACM Multimedia'08. 2008
- [42] Annappureddy S, Guha S, Gkantsidis C, et al. Exploring VoD in P2P Swarming Systems [C]//Proc. of Infocom'07. May 2007
- [43] Annappureddy S, Guha S, Gkantsidis C, et al. Is High-Quality VoD Feasible Using P2P Swarming? [C]//Proc. of WWW'07. May 2007
- [44] Liu Z, Wu C, Li B, et al. UUSee: Large-Scale Operational On-Demand Streaming with Random Network Coding [C]//Proc. of Infocom2010. San Diego, Mar. 2010
- [45] Neumann C, Prigent N, Varvello M, et al. Challenges in Peer-to-Peer Gaming [J]. ACM Computer Communication Review, 2007, 37(1): 79-82
- [46] Fan L, Trinder P, Taylor H. Design Issues for Peer-to-Peer Massively Multiplayer Online Games [J]. International Journal of Advanced Media and Communication (IJAMC), 2009, 4(2): 126-139
- [47] Baughman N E, Liberatore M, Levine B N. Cheat-Proof Payout for Centralized and Peer-to-Peer Gaming [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2010, 15(1): 1-13
- [48] John A S, Levine B N. Supporting p2p gaming when players have heterogeneous resources [C]//Proc. of NOSSDAV'05. June 2005
- [49] Chan M C, Hu S Y, Jiang J R. An Efficient and Secure Event Signature (EASES) Protocol for Peer-to-Peer Massively Multiplayer Online Games [J]. Computer Networks, 2008, 52(9): 1838-1845
- [50] Bharambe A, et al. Donnybrook: Enabling Large-Scale, High-Speed, Peer-to-Peer Games [C]//Proc. of Sigcomm'08. Seattle, 2008
- [51] Bharambe A, Pang J, Seshan S. Colyseus: A distributed architecture for Online interactive multiplayer games [C]//Proc. of NSDI'06. May 2006
- [52] Hu S Y, Chen J F, Chen T H. VON: A Scalable Peer-to-Peer Network for Virtual Environments [J]. IEEE Network, July/Aug. 2006
- [53] Ahmed D T, Shirmohammadi S, de Oliveira J C A. A Hybrid P2P Communications Architecture for Zonal MMOGs [J]. Journal of Multimedia Tools and Applications, 2009, 45: 1-3
- [54] Buyukkaya E, Abdallah M, Cavagna R. VoroGame: A Hybrid P2P Architecture for Massively Multiplayer Games [C]//Proc. of CCNC'09. 2009
- [55] Buchegger S, Datta A. A Case for P2P Infrastructure for Social Networks—Opportunities & Challenges [C] // Proc. of WONS2009. Snowbird, USA, Feb. 2009
- [56] Pouwelse J, et al. TRIBLER: a social-based peer-to-peer system [J]. Concurrency and Computation: Practice and Experience, Feb. 2008
- [57] Groove [EB/OL]. <http://www.groove.net>
- [58] IETF [EB/OL]. <http://www.ietf.org>
- [59] CCSA [EB/OL]. <http://www.ccsa.org.cn>
- [60] P2PSIP [EB/OL]. <http://www.p2psip.org>
- [61] LEDBAT [EB/OL]. <http://tools.ietf.org/wg/ledbat>
- [62] ALTO [EB/OL]. <http://tools.ietf.org/wg/alto>
- [63] PPSP [EB/OL]. <http://tools.ietf.org/wg/ppsp>
- [64] DECADE [EB/OL]. <http://tools.ietf.org/wg/decade>