

云服务传递网络研究进展

史佩昌 王怀民 史殿习 尹刚 丁博 王天佐

(国防科技大学计算机学院 长沙 410073)

(国防科学技术大学并行与分布处理国家重点实验室 长沙 410073)

摘要 云服务传递网络(Cloud Services Delivery Networks, CSDN)在 Internet 之上构建了一层分布式服务器网络,以就近和按需的方式向用户提供云传递服务。互联网流量的非线性快速增长及其表现出的视频化、移动化和交互化等特点,使得以提供高效、可信云传递服务为目标的 CSDN 面临诸多新挑战。首先在介绍和分析 CSDN 背景与新挑战的基础上,从基础设施层、平台层和服务层等 3 个维度提出了一个现有相关技术的分类模型。然后全面综述了 CSDN 相关技术的最新研究现状,包括节点内组网、服务器部署、内容命名、内容管理、请求解析和系统管理等。最后指出了 CSDN 的未来研究趋势,即 CSDN 亟需突破的新技术问题,包括协同、移动管理和交互支持等。

关键词 云服务,传递网络,协同,移动管理,交互支持

Overview of Cloud Services Delivery Networks

SHI Pei-chang WANG Huai-min SHI Dian-xi YIN Gang DING Bo WANG Tian-zuo

(School of Computer and Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

(National Laboratory for Parallel and Distributed Processing, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract Cloud Services Delivery Networks(CSDN) build a layer distributed server network on top of Internet and provide users with cloud delivery services using the way to the nearest and on-demand. With no-liner and rapid growth of Internet traffic and three characteristics referring to the Internet traffic including a large scale video traffic, mobile traffic and interactive traffic presented by itself, in order to provide efficient and reliable cloud delivery services, CSDN faces many new challenges. This paper first described and analyzed the background and new challenges of CSDN, on the basis presented a classification model of the existing technologies from three dimensions infrastructure layer, platform layer and service layer et al. And then a comprehensive overview of the latest technologies of CSDN research was given, including networking inside CSDN nodes, server placement, content naming, content management, request parsing and system management. Finally, future research trend of CSDN was pointed out, that is the new technology issues what CSDN much-needed breakthrough, including cooperation, mobility management and interactive support al et.

Keywords Cloud service, Delivery networks, Cooperation, Mobility management, Interactive support

1 引言

互联网中的视频流量,移动流量和交互流量正在飞速增长,未来数年互联网将会在多种流量的增长下产生显著的质变^[5,6]。2011 年 IDC 预测^[1],未来十年互联网流量将增长 50 倍,仅 2011 年产生的数据就达 1.8ZB;2010 年 CISCO 预测^[2]全球 2014 年互联网流量将会是 2009 年的 4 倍,接近 64EB/月。其中 2014 年全球的移动流量将是 2009 年的

39 倍,2014 年的视频流量将占据整个互联网流量的 91%。2011 年 CISCO 预测移动视频流量在移动流量中的比重将达 66%^[3]。关于交互流量,Nielson Online^[31]统计认为互联网用户中 75%的用户会访问产生交互式流量的社交类网站和博客等,社交网站和博客等是互联网第 4 个最受欢迎的活动,访问该类服务的时间占用户互联网访问总时间的 10%。

互联网流量增长的原因之一来自于用户数量的不断上

本文受国家重点基础研究发展规划(973)(2011CB302600),国家自然科学基金(90818028),国家杰出青年基金(60625203),国家“核高基”重大专项(2009ZX01043-001)资助。

史佩昌(1981—),男,博士生,CCF 会员,主要研究领域为分布式计算、服务计算,E-mail:pcshi_nudt@gmail.com;王怀民(1962—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为分布式计算、信息安全和计算机软件;史殿习(1966—),博士,副教授,主要研究领域为分布式计算、普适计算;尹刚(1975—),男,博士,讲师,主要研究领域为分布式计算;丁博(1978—),博士,讲师,主要研究领域为分布式计算;王天佐(1982—),博士生,主要研究领域为网络安全。

^[1] World's data will grow by 50X in next decade, IDC study predicts. http://www.computerworld.com/s/article/9217988/World_s_data_will_grow_by_50X_in_next_decade_IDC_study_predicts

^[2] http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns827/networking_solutions_sub_solution.html

^[3] http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.html

升:据最新统计⁴⁾全球网民数占总人数的28%,且过去的十年中网民数增长率达到了444.8%。同时用户体验需求在上升,如Forrester通过统计认为当前40%的用户不能承受网页面加载时间超过2秒⁵⁾。因此有关视频流量、移动流量、交互流量、用户规模和用户体验的新变化进一步加剧了传统的尽力而为的IP网络与互联网服务可靠传输需求之间的矛盾。

传统的CDN在互联网应用和IP网络间构筑了一座桥梁,有效解决了传统的尽力而为网络与应用需求之间的矛盾^[3]。并且传统的CDN在互联网云服务呈现视频化、移动化和交互化特点下,存在如下3个方面的挑战:

1. 难以满足视频流量和高播放码率对服务传递性能提出的要求。如YouTube^[7],PPTV^[8]等推出的高清视频服务,提升了对服务传递带宽资源的需求;同时视频本身是一种延迟敏感的服务,因此在带宽资源可能成为瓶颈资源的前提下,满足用户对网络延迟的需求将更具挑战性。

2. 难以满足新的云计算模式下按需服务的需求。云计算模式下,对用户而言,云服务传递的基础设施应该具有透明性,即不需要用户关心底层如何提供传递服务,这需要底层资源具有可满足用户动态需求的高可扩展能力。但传统CDN,一般采用单个CDN实体独立提供传递服务的模式,显然难以满足大规模用户高度可扩展的按需服务需求。

3. 难以满足移动内容传递的性能需求。以无线方式和无线设备接入互联网的用户,对以移动方式传递内容的要求更加迫切。目前CDN缺少对移动用户持续会话管理等方面的内容传递技术支持。

单纯的依靠现有CDN技术体系显然难以满足新应用的需要。本文中的云服务传递网络(Cloud Services Delivery Networks,CSDN)是集高度分布、高速网辅助和Peer辅助等3类CDN于一体,并综合了云计算相关特点的第4类CDN^[3]。其中云服务是指以服务的形式在互联网中传递的各种应用^[4]。CSDN在继承CDN已有优点的前提下,重点讨论了如何解决上述3类不匹配问题。本文第2节分析了CSDN的背景和当前面临的挑战(提取的一般性需求);第3节提出了一种划分当前CDN技术的分类,并就各个技术话题展开了讨论;第4节展望应对CSDN当前挑战的未来研究趋势;最后总结本文工作。

2 CSDN的背景和挑战

2.1 CSDN发展脉络

1995年初万维网发明人,MIT的Tim Berners-Lee预见到了当今互联网用户已经非常熟悉的拥塞问题将是未来影响互联网服务传递性能的最重要问题之一。为此Tim Berners-Lee提出了一项挑战:如何开发一种全新的、更好的方法,确保互联网内容的传递。正是这个学术问题,最终促成了互联网一项变革性服务—内容分发网络(Content Delivery Network,CDN)的出现^[1]。CDN的实质是在Internet中增加一层新的网络架构,将网站的内容发布到最接近用户的网络边

缘,使用户就近取得所需内容,解决Internet网络拥塞的状况,提高用户访问(如网站等)的响应速度。RFC 3466指出CDN通过传统IP网络上部署由多个服务器组成的服务节点,并利用应用层协议使之连接构成应用层覆盖网络,为用户提供内容分发服务⁶⁾。

从技术角度看CSDN的形成和发展经历了4种模式^[3]:

1)分布式CDN。大规模CDN服务器部署在地理分布ISP的多个PoP中,用户所请求的内容被分配到离用户最近的服务器节点上,实现就近服务用户。如Akamai服务器规模2010年已达73,000台,并且跨70多个国家和1,000多个网络^[9]。2)高速网辅助CDN。在互联网中少数大ISP的PoP相连处,部署少量大服务器节点(也称为小数据中心)。这些大节点通过私有光纤相连,以保证大节点间数据的传输速度。目前该类型CDN的典型代表为LimeLight。3)Peer辅助CDN。随着规模化的大文件和流媒体等服务的出现,CDN固有的低可扩展性难以满足应用需求。通过Peer参与形成P2P覆盖网络进行内容分发,天然地弥补了CDN的低可扩展性,同时CDN具有的可管理性和可控性弥补了P2P在该方面的固有弱点。P2P和CDN的结合几乎在每个CDN公司中都有代表性应用系统,如ChinaCache开发了基于Peer辅助CDN技术的流媒体直播系统Livesky^[10]。4)云计算模式CDN(也称为CSDN)。多个独立CDN实体相互协同,融合成一个以pay-as-you-go和按需服务为主要特点的完美系统。CSDN分发的服务覆盖互联网所有业务类型,在保证分发效率和可靠QoS保障的前提下提高基础设施统计复用率和资源利用率。在规模化和移动化等互联网应用蓬勃发展的形势下,从CDN概念基础上演化而来的CSDN融合了多种CDN模式,具备了传统CDN的“就近向用户提供传递服务”特点以及传统CDN不具备的“按需服务”、“支持移动服务”等特点。

2.2 传递服务的挑战

考虑到未来互联网视频流量和移动流量的快速增长,提取其对传递网络的一般性需求和技术层面的挑战是非常重要的。根据CISCO预测报告,2009年—2014年间互联网流量增长的年均复合增长率为34%,而这期间移动流量的年均复合增长率为108%。显然移动流量的增长推动了互联网流量的增长。同时根据摩根斯坦利2009年估计报告⁷⁾,与2008年相比,2013年的移动数据流量将增长66倍且年复合增长率为131%,其中所占比重超过65%视频流量的年均复合增长率为154%。视频流量的增幅超过了移动流量,显然视频流量的增长也推动了移动流量的增长。二者互相促进,相互包含。同时根据云计算模式下按需提供服务的需求和CSDN解决互联网拥塞问题与提升传递服务性能的目标,我们将CSDN面临的挑战划分为两类:

1. 云服务高效传输挑战

以多个独立CDN实体协同的方法和按需提供服务的方式响应互联网规模化云服务和海量固定及移动用户的需求。

科学统计复用多个独立CDN实体间闲置服务器资源和

⁴⁾ <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>

⁵⁾ <http://www.internetretailer.com/2009/09/15/the-new-page-loading-threshold-2-seconds>

⁶⁾ RFC 3466 M. Day, B. Cain, G. Tomlinson, P. Rzewski. "A Model for Content Internetworking (CDI)", 03/03/2003.

⁷⁾ <http://www.morganstanley.com/techresearch/>

单个 CDN 实体内闲置服务器资源,提高服务器资源的利用率。

根据云服务和用户规模以及移动用户位置的动态变化,快速按需增减服务器资源(包括带宽资源、计算资源、存储资源和缓存资源等),实现 CSDN 系统的高可扩展性。

2. 云服务可信传输挑战

以就近服务的方式向用户(包括移动用户)提供高服务质量(QoS)保证(如低延迟)的传递服务;

设计合理的备份冗余机制,提高服务的可靠(包括容灾和容错等)性;

采用不同等级的安全性(如机密性、完整性和一致性等)机制,解决互联网各种新型业务的安全性问题;

实现各种屏蔽机制,解决由多个 CDN 独立实体异构和终端用户接入异构(如无线移动设备的多样性等)等带来的异构性问题,提供透明的一体化服务。

本文重点关注第一类挑战,第二类挑战相关的研究将作为我们未来研究的内容。解决第一类挑战的难点在于如何给出一种有关服务性能和资源使用的折衷,即在确保传递服务质量的前提下提高资源利用率;在确保资源利用率的前提下提高传递服务质量。

3 CSDN 的关键技术

云计算提供 3 种类型的服务^[11],基础设施服务(Infrastructure as a Service, IaaS),平台服务(Platform as a Service, PaaS)和软件服务(Software as a Service, SaaS)等。CSDN 包含 3 种角色:服务提供商、客户和用户等。其中服务提供商主要指在互联网中部署服务器资源进行服务分发的运营商,如 Akamai, ChinaCache 等;客户指内容提供商,如 YouTube, Facebook 等各种音视频服务和交互式社交服务提供商等;用户则指访问内容提供商所提供服务的网民。

3.1 CSDN 技术分类模型

CSDN 运营商构建 CSDN 基础设施向客户提供平台服务,客户通过平台向用户提供软件服务。因此可用如下 3 个层面刻画 CSDN 架构的技术问题。

如何部署基础设施资源?包括服务器节点如何分布式部署,服务器节点内和节点间如何组网等。其中节点间组网包含 CSDN 多服务器节点间组网和多 CDN 实体协同,后者属于 CSDN 未来需要研究的技术话题。

需要哪些技术手段支撑平台服务供应?包括如何提供请求解析服务,如何进行内容管理(内容路由和内容存储及缓存)和系统管理。

如何提供软件服务?主要包括如何进行内容命名、移动用户感知和网络适应技术等。其中后两种技术仅在无线网络中有所研究,属于 CSDN 未来需要研究的技术话题。

CSDN 中不同的角色对应于云计算 3 类服务中不同层次的服务。因此我们提出了一个 CSDN 技术分类,如图 1 所示。基础设施层相关技术包括服务器部署、节点内组网和节点间组网等技术。平台层相关技术包括系统管理、请求解析和内容管理。用户层相关技术包括内容命名、移动用户感知和网络适应技术。该分类中部分技术属于构建高效、可信 CSDN

未来需要研究的技术话题,如协同技术和移动支持技术等。



图 1 CSDN 现有技术分类模型

3.2 基础设施层相关技术

就近向用户提供传递服务是 CSDN 解决网络拥塞最本质的方法,然而为了向用户提供就近服务,CSDN 需要在 IP 网络之上的不同的地理位置(也成为网络边缘)部署一些服务器节点。因此基础设施层需要解决的最核心问题包括:

A. 在哪些地方部署服务器节点最有利于实现向地理分布的规模化用户提供就近服务?

B. 每个服务器节点内部署多少服务器才能为本地用户提供可靠传递服务?

C. 单个节点内多台服务器之间以何种方式互联构网?

D. 不同的服务器节点之间以何种方式互联构网?

E. 不同 CDN 实体间如何协同提供按需服务,实现资源利用率最大化和单 CDN 实体服务能力的高可扩展性?

目前从理论模型的角度看,解决 A 和 B 问题代表性的方法有设备选址模型^[12]、K-中值模型^[13]和多维设备选址模型^[16]等。服务器部署解决的问题可概述为:找到一个设置(资源)集合,使得在一些约束下该集合满足客户需求的成本和开销最小化。其中设备选址模型^[12]考虑的约束有:一次性投入成本和运行中随时间变化的边际成本。K-中值模型^[13]不考虑一次性投入成本,并且对所选择设备的数量增加了一个上限。多维设备选址模型^[14]则在设备选址模型约束的基础上引入了多种影响设备选址策略的约束,如带宽资源、计算资源⁸⁾、内存资源等。对于上述 NP 难问题^[12],有很多在度量空间中的近似算法被提出。文献[15]针对设备选址模型和 K-中值模型分别提出了 ρ -近似算法,并认为 1.728-近似算法和 4-近似算法分别为其最优多项式时间算法。文献[16]从降低约束条件的角度提出了 (α, β) -近似求解方法,其中 α 表示性能优化为原来的 α 倍,而 β 表示求解时服务器被假设的服务能力不能超过真实服务能力的 β 倍,并得出结论:为了获得近似解 β 需满足 $\beta \geq 1.5$ 。关于引入其他约束参数的多维设备选址模型求解,文献[17]提出了一种在访问请求入口点进行快速运算的复杂度为 $O(n \log n)$ 的求解算法。

上述方法是物理层面的服务器部署问题,由于用户需求分布的不确定性,服务器需要重新选址,增量部署甚至有选择性地暂时关闭一些位置的服务器^[18]。因此从逻辑层面研究服务器的选择问题也是一个研究热点,文献[19]通过在

⁸⁾ <http://userpages.umbc.edu/~relan1/CMSC%20641%20Project%20Presentation.pdf>

DORNA 分布式映射节点上运行简单高效的算法,为用户协调服务器选择决策。DORNA 均衡了服务器负载和用户性能,是一种稳定高效的服务器选择方法。鉴于空间的限制,有关针对特定应用等的服务器部署和选择相关研究不再详述。

CSDN 中有两类服务器节点^[3]:分布式服务器节点和“大数据中心”节点,典型的代表系统前者有 Akamai,后者有 Limelight。前者节点间的组网(问题 D)与后者节点内(问题 C)和节点间(问题 D)的组网,本质上看是多个服务器如何组织可实现高资源利用率的问题。文献[20]概述了当前主流的多服务器协同提供聚合服务的体系结构:树型的 3 层设计和两层设计。3 层设计中核心层作为树的根,边缘层作为树的叶,中间有一个聚合层。两层设计中没有中间层。二者的区别在于两层结构支持的服务器构网数量大约为 5K~8K,而 3 层结构支持的服务器构网数量更多一些。文献[21]以 LIVESKY 为案例,给出了一种针对分布式服务器节点的树型 3 层结构。目前 CSDN 并未考虑多 CDN 实体间协同问题,因此有关问题 E 的相关技术将是 CSDN 未来研究话题之一。

3.3 用户层和平台层相关技术

CSDN 运营商为向其购买平台服务的客户提供可靠服务,需要基于已部署的基础设施,提供内容和系统管理服务,请求解析服务等。下面将分别介绍相关技术。

内容管理主要包括基于内容的路由(查找)和内容缓存。网络层基于内容路由的目的是在路由器中编辑和维持基于内容的转发表^[22]。网络层基于内容的路由主要有 4 种方式:基于内容标识、基于内容覆盖、基于内容归并和基于广告。在应用层进行内容的查找和定位的 CSDN,主要采用的方法是基于内容的标识进行查找。层级的内容路由体系结构是目前 CSDN 中的主流结构^[23],即通过将 CSDN 服务器划分为不同的簇,一个内容查找请求首先在当前 CSDN 簇内采用基于半哈希表的方法查找,如果失败则继续在邻近 CSDN 簇中采用内容询问机制^[23]进行查找,如果仍然失败,请求会被重定向至源服务器。内容缓存又称副本放置,即将流行内容缓存至网络边缘。内容缓存用于解决 CSDN 的两类问题:瞬间蜂拥资源需求过载问题和内存密集型应用(I/O 密集型应用)性能问题。目前代表性的研究有两种:一种是如何在 CSDN 网络基础设施上缓存内容。文献[24]针对次问题提出了一种启发式内容副本的放置算法,即首先将文件按流行度降序排列,然后分别计算各个文件需要的副本数并将副本放置问题建模为 K-中值模型,最后通过启发式求解该问题得到一种启发式副本放置算法。另一种是通过 CSDN 节点内存协同,提高缓存命中率降低 I/O 瓶颈资源的压力。文献[25]提出的分布式缓存算法,包括单个 CSDN 节点内不同服务器之间的协同和临近 CSDN 节点内所有服务器的协同方法,较好地解决了缓存不命中引起的性能延迟问题。上述两个方法是目前 CSDN 中针对两类内容缓存问题的最新研究成果。

包括运行支撑系统(Operational Support Systems, OSS)和业务支持系统(Business Support Systems, BSS)的系统管理^[3],主要实现访问认证(包括为客户提供管理业务和用户的入口)、源服务器失效处理、实时分发状态和控制信息、动态配置更新、密钥基础设施管理、软件和机器的配置管理等^[26]。同时为了实时监控 CSDN 的运行情况,并对用户和客户的 CSDN 使用情况进行统计和计费,CSDN 还需要收集日志和

实时数据,并进行分析和报告^[27]。文献[28]详细介绍了目前 Akamai 针对监控和管理的 Query 系统,Query 从 Akamai 网络边缘收集 7 万余台服务器的相关数据,并选择数百个位置聚合数据,便于回答有关 Akamai 网络当前状态的 SQL 查询。Query 系统具有较好的可扩展性,可随网络规模的扩大而扩展监控能力。

请求解析的主要技术为基于 DNS 解析^[3,26]。请求解析的主要任务是将用户请求路由至一个合适的服务器,即当用户尝试访问由 CSDN 加速传输的内容时,用户的机器首先与本地的 DNS 服务器通信,如果当前 DNS 服务器没有关于如何到达所请求内容的路径信息,则递归查询 CSDN 的授权 DNS(可能最终查询至全球仅有的 13 个根域名服务器),直至得到路径信息或最终访问源服务器。请求路由决策的度量指标有很多,包括网络邻近、用户感知的延迟、网络距离和服务器的负载等。目前 CSDN 最有代表性的方法是部署一个分布式的系统,系统的元素为授权 DNS 服务器,负责基于映射决策的动态请求回答和客户范围的静态授权回答等,当前大量的研究聚焦于如何使其具备高容错性和扩展性^[26]。

用户层的内容命名是内容路由、缓存和存储等的基础。目前内容命名的机制有 3 类^[5]:层级命名、扁平命名和基于属性的命名。层级命名是指通过引入一个层级结构来命名一个内容文件。在 CSDN 中内容文件的标识类似,其包含界定不同层级元素界定符的 URL,因此这种命名机制适合当前基于 URL 提供分发服务的 CSDN,并且分层的特性可帮助解决内容路由的可扩展性问题。但由于层级命名中界定符之间的元素是有语义的,内容供应商等的变化会引起内容命名的变化,因此层级命名不具备内容永久命名的稳定性。扁平命名的提出,旨在解决层级命名语义相关带来的不稳定性,因此扁平命名用公钥加密文件提取其摘要作为内容的名称。这种非语义相关无法聚合的命名方法,加重了路由的可扩展性问题。基于属性的命名方法,通过一系列属性值对形成内容文件的标识。一旦用户指定了其兴趣,CSDN 就能比较 CSDN 发布的内容属性值 and 用户兴趣。这种方法是解决层级命名和扁平命名探讨的一种不成熟方法,基于属性命名存在很多开放性的问题,如属性值如何定义,如何消除属性值语义的模糊性,以及如何消除大规模属性值对内容查找效率的影响等。用户层与 CSDN 进行移动流量分发紧密相关的移动用户感知和网络适应技术 CSDN 未来的研究话题,将在下节详细介绍。

4 CSDN 未来技术挑战

CSDN 为满足当前云计算模式下互联网传递服务的高效及可信的性能需求,需要在现有技术体系基础上,对如下几项技术开展有针对性的研究。

4.1 协同技术

云计算模式下,用户只需要以 Pay-as-you-go 的方式购买 SaaS 服务,不需要关注底层如何部署和配置提供 SaaS 服务的基础设施和平台等。以透明的方式提供按需服务是云计算模式下 CSDN 供应商必须面临的挑战。然而传统单个 CDN 实体的服务能力和扩展性十分有限,难以满足用户和客户的按需服务的需求。为了向云服务提供商(即客户)以透明的方式提供高效的按需服务,文献[3]认为 CSDN 提供商可采取两种方法:构造自己的云;利用现有的云辅助提高其可扩展

性。受限于经济模型和市场竞争,方法一在实际中比理论上更难实现;同样方法二中大型数据中心是构成云的主要部分,这种集中式的中心资源难以实现 CSDN 将内容推向接近用户的网络边缘,以提供就近服务的目标。因此我们认为多个异构独立的传统 CDN 实体的协同,是解决按需服务所需高可扩展性的有效手段之一。对于 CSDN 服务供应者而言,可提高其应对蜂拥现象的服务能力和降低基础设施的投资需求,即提高传统 CDN 闲置基础设施资源的统计复用率;同时由于传统 CDN 协同后服务能力增强,客户的需求可以得到无限制的满足。多个传统 CDN 实体协同可看成服务器节点间临时性组网问题。协同包括两种:横向协同和纵向协同。其中横向协同是指分布于不同地域的传统 CDN 临时性组网;纵向协同是指覆盖同一地域的不同传统 CDN 之间的临时性组网。多个传统 CDN 实体协同需要解决的关键技术^[29]有:用户需求预测,灵活的任务分配策略,经济模型驱动的优化技术,高可扩展性的监控技术等。

4.2 移动管理技术

无线设备数伴随着互联网移动流量的增长而增长,未来几年移动设备的数量可能会超过有线网络中计算机的数量^[30]。2011 年无线设备的数量已经超过 1.2Billion,而有线网络中 PC 的数量是 1.97Billion,但 2015 年无线设备的数量将达到 2.2Billion。如何为数量巨大的异构无线设备用户提供可靠的传输服务,是 CSDN 必须面临的挑战性问题。无线连接的特点是连接不连续易中断,带宽窄容易引起链路拥塞瓶颈,用户和服务提供者都有可能移动等。CSDN 要提供高效可靠的传输服务,有如下几个技术问题需要研究:如何在 CSDN 中增加设备感知技术、内容转换技术、缓存和转发技术、网络适应技术等。设备感知是指 CSDN 边缘服务器可检测出访问用户的设备类型,便于 CSDN 向其提供适合于用户需求格式的服务;内容转换是指源服务器根据不同类型的无线设备将同样格式的内容转换成适合于不同类型格式的内容,便于向各种类型设备的用户提供服务;缓存和转发技术是指针对无线用户经常移动的特征,设计一种终端可缓存和转发的机制保持无线会话的连续性,解决无线用户引起的连接中断和网络切换等问题,如邮局机制^[30];网络适应技术是指无线网络持续变化的情况下,CSDN 需要适应性地调整系统的一些特征,如流量整形和动态码率调整等。

4.3 内容交互支持技术

快速发展的互联网新型杀手级应用在线社交网络^[31],已经对互联网产生了深远的影响,包括潜在影响互联网体系结构,改变网络用户的行为等。Nielsen 在线最新研究表明全球 2/3 的在线用户访问社交网站和博客,在线社交网络已经成为互联网在线服务的基本组成部分。大量社交网站和社交用户的出现使互联网流量呈现出的交互特点,对传统视频等内容的传递和通信提出了新的要求和挑战。传统产生交互流量的各种在线社交网络采用了集中控制架构,不适应地理分布用户参与、发布和管理用户创造内容的存储与传播。如何采用去中心化的方式实现在线社交网络技术是首先必须面对的挑战;文献[32]探讨了采用去中心化体系结构实现在线服务网络的可行性,评估了从网络边缘终端用户发起内容并直接进行传递的效果,为用户提供控制 UGC 与谁共享、传递至何处等问题提供了技术支撑。传统 CDN 缺少对交互式流量特

点的发掘,例如流量在时空二维的不确定性;缺少对交互式流量传播路径的监测和利用。文献[33]通过追踪在线社交网络所传递内容地理的社交级联关系,探讨为传递内容构造覆盖网络可能带来的影响。互联网各种类型的流量几乎都需要经过 CSDN 传递至终端用户,例如最有代表性的 CSDN 系统之一,Akamai 承担了全互联网 15%~20% 的流量。因此 CSDN 必须为呈现交互化特点的互联网流量传递提供技术支持,包括重构 CSDN 中交互流量传递的覆盖网络结构,提出新的分布式存储、传播和管理机制,充分利用交互化流量中的社交级联等信息优化 UGC 内容的传递,利用社交级联信息实现 Peer 辅助 CSDN 提高其可扩展性的技术等。

结束语 随着互联网流量的非线性增长,以及其呈现出的视频化、移动化和交互化等特点,在不可靠的互联网上高效、可信地传递互联网流量面临着诸多新挑战。现有 CSDN 通过在互联网的边缘部署地理分布的服务器,就近向用户提供云传递服务。但现阶段的 CSDN 系统,例如占据国内 CDN 市场份额 51% 的 ChinaCache 在如下 3 方面存在缺陷:1)面对非线性增长和呈现视频化特点的互联网流量,CSDN 服务可扩展能力有限;2)缺少针对移动流量传递的管理支撑技术;3)不能充分挖掘云传递服务中流量的社交关系等信息优化 CSDN 的效能。为此本文在介绍 CSDN 背景、发展脉络、目标和新挑战的基础上,全面综述了现有相关研究工作,并通过提出一个分类模型,对 CSDN 的相关技术进行了分类和最新研究现状分析。最后在对 CSDN 研究现状和 CSDN 新挑战等的分析基础上,指出了为提供高效可信的云传递服务,未来 CSDN 亟需研究协同、移动管理和交互支持等 3 类技术问题。

致谢 特别感谢清华大学尹浩教授、Chinacache 公司运维副总裁宋裔智在作者深入调研一线实际大型 CSDN 系统现状,提炼 CSDN 中存在的技术难题和关键问题等方面的引领和指导。

参考文献

- [1] Akamai[EB/OL]. <http://www.akamai.com/>
- [2] CDN wiki [EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/Content_delivery_network
- [3] Yin Hao, Liu Xue-ning, Min G Y, et al. Content delivery networks: a bridge between emerging applications and future IP networks[J]. IEEE Network Magazine, 2010, 24(4): 52-56
- [4] Armbrust M, Fox A, Griffith R, et al. A View of Cloud Computing[J]. Communications of the ACM, 2010, 53(5): 862-876
- [5] Choi J, Han J Y, Cho E, et al. A Survey on Content-oriented Networking for Efficient Content Delivery[J]. IEEE Communications Magazine, 2011, 49(3): 121-127
- [6] Raychaudhuri D. Architectures and Technologies for the Future Mobile Internet[J]. IEICE Transactions on Communications, 2011, E93, B(3): 436-441
- [7] YouTube[EB/OL]. <http://www.youtube.com/>
- [8] Huang Yan, Fu T, Chiu D, et al. Challenges, design and analysis of a large-scale p2p-vod system[C]//Proc. of SIGCOMM '08. 2008: 375-388
- [9] Cohen J, Repantis T, McDermott S, et al. Keeping Track of 70, 000+ Servers: The Akamai Query System[C]//Proc. of the 24th USENIX Large Installation System Administration Conference. 2010: 223-238

(下转第 252 页)

- [3] Cajueiro D O. Optimal navigation in complex networks [J]. *Physical Review E*, 2009, 79(4):1-7
- [4] Vilhar A, Novak R. Policy relationship annotations of predefined AS-level topologies [J]. *Computer Networks*, 2008, 52 (15): 2859-2871
- [5] Wang Jian, Liu Yan-heng, Zhang Cheng, et al. Model for router-level Internet topology based on attribute evolution [J]. *IEEE Communications Letters*, 2009, 13(6): 447-449
- [6] Haddadi H, Uhlig S, Moore A, et al. Modeling Internet topology dynamics[J]. *Computer Communication Review*, 2008, 38 (2): 65-68
- [7] 张君, 赵海, 康敏. Skitter 与 Ark 探测架构下 AS 级 Internet 拓扑分析[J]. *计算机科学*, 2010, 37(11): 38-40
- [8] Fisk C J, Caskey D L, West L E. ACCEL: Automated circuit card etching layout [J]. *Proceedings of the IEEE*, 1967, 55(11): 1971-1982
- [9] Frick A, Ludwig A, Mehldau H. A fast adaptive layout algorithm for undirected graphs [C]// *Proceedings of the DIMACS International Workshop on Graph Drawing*. 1994, 10: 388-403
-
- (上接第 229 页)
- [10] Yin Hao, Liu Xue-ning, Zhan Tong-yu, et al. Design and deployment of a hybrid CDN-P2P system for live video streaming: experiences with livesky[C]// *Proc. Of MM '09*. 2009: 25-34
- [11] Armbrust M, Fox A, Griffith R, et al. A View of Cloud Computing[J]. *Communications of the ACM*, 2010, 53(5): 862-876
- [12] Drezner Z, Hamacher H W. Facility location: applications and theory [M]. Springer, 2004: 132-141
- [13] Qiu LL, Padmanabhan V, Voelker G. On the placement of Web server replicas[C]// *Proc. INFOCOM'01*. 2001: 1587-1596
- [14] Schobel A, Scholz D. The Big Cube Small Cube Solution Method for Multidimensional Facility Location Problems[J]. *Computers & Operations Research*, 2010, 37: 115-122
- [15] Charikar M, Guha S. Improved Combinatorial Algorithms for the Facility Location and K-Median Problems[C]// *Proc. of the 40th Annual IEEE Conference on Foundations of Computer Science*. 1999
- [16] Bateni M, Hajiaghayi M. Assignment problem in content distribution networks; unsplittable hard-capacitated facility location [C]// *Proc. of SODA*. 2009: 1-16
- [17] Abravaya S, Berend D. Multi-dimensional dynamic facility location and fast computation at query points[J]. *Information Processing Letters*, 2009: 386-390
- [18] BoloorArabani A, Farahani R Z. Dynamic Facility Location: An Overview of Classifications, Models, Solutions and Applications [EB/OL]. <http://www.alirezabolori.com/wp-content/uploads/2010/12/Dynamic-Facility-Location-An-Overview-of-Classifications-Models-Solutions-and-Applications.pdf>, 2009
- [19] Wendell P, Jiang J W, Freedman M J, et al. Donar: decentralized server selection for cloud services[C]// *Proc. of SIGCOMM'10*. 2010: 231-242
- [20] Mohammad A F, Alexander L K, Amin V. A scalable, commodity data center network architecture[C]// *Proc. of SIGCOMM'08*. 2008: 63-74
- [21] Yin Hao, Liu Xue-ning, Zhan Tong-yu, et al. LiveSky: Enhancing CDN with P2P[J]. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 2010, 6(3): 1-19
- [22] Salo J. Offloading content routing cost from routers[D]. Helsinki: University of Helsinki, 2010
- [23] Ni J, Tsang D, Yeung I, et al. Hierarchical Content Routing in Large-Scale Multimedia Content Delivery Network[C]// *Proc. of ICC '03*. 2003: 854-859
- [24] Sun Jing, Gao Sui-xiang, Yang Wen-guo, et al. Heuristic Replica Placement Algorithms in Content Distribution Networks[J]. *Journal of Networks*, 2011, 6(3): 416-423
- [25] Borst S, Gupta V, Walid A. Distributed caching algorithms for content distribution networks[C]// *Proc. of INFOCOM'10*. 2010: 1-9
- [26] Nygren E, Sitaraman R, Sun J. The Akamai Network: A platform for high-performance Internet applications [J]. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 2010, 44(3): 2-19
- [27] Repantis T, Cohen J, Smith S, et al. Scaling a Monitoring Infrastructure for the Akamai Network[J]. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 2010, 44(3): 20-26
- [28] Cohen J, Repantis T, McDermott S, et al. Keeping Track of 70, 000+ Servers: The Akamai Query System[C]// *Proc. of USENIX LISA*. 2010: 1-15
- [29] Buyya R, Ranjan R, Calheiros R N. Intercloud: Utility-oriented federation of cloud computing environments for scaling of application services[J]. *LNCS*, vol. 6081, 2010: 13-31
- [30] Sanjoy P, Yates R, Raychaudhuri D, et al. The Cache-And-Forward Network Architecture for Efficient Mobile content delivery services in the future internet[C]// *First ITU-T Kaleidoscope Academic Conference on Innovations in NGN: Future Network and Services*. 2008: 367-374
- [31] Nielsen Online Report. Social networks & blogs now 4th most popular online activity [EB/OL]. <http://tinyurl.com/cfzjlt>, 2009
- [32] Pallis G, Zeinalipour-Yazti D, Dikaiakos M D. Online Social Networks: Status and Trends[J]. *New Directions in Web Data Management*, vol. 331, 2011: 213-234
- [32] Marcon M, Viswanath B, Cha M, et al. Sharing Social Content from Home: A Measurement-driven Feasibility Study [C]// *Proc. of NOSSDAV'11*. 2011: 45-50
- [33] Scellato S, Mascolo C, Musolesi M, et al. Track Globally, Deliver Locally: Improving Content Delivery Networks by Tracking Geographic Social Cascades[C]// *Proc. of WWW'11*. 2011: 457-466