



电力 CDN 业务需求分析及网络体系架构研究

王一蓉,王思宁,邹颖,于波涛

(北京国电通网络技术有限公司 北京 100070)

摘要:“十二五”期间,国家电网公司信息系统应用不断深化,一级部署的大型管理信息系统数目不断增加,覆盖范围广,用户数量庞大,软硬件资源池、云计算等新技术对电力数据网提出了新的挑战。CDN 是一个由分布在不同区域的节点服务器群组成的虚拟网络。CDN 将信息资源推向网络边缘,使得客户快速访问到所需的内容。对电力信息业务的加速需求、电力 CDN 承载要求、关键技术进行了深入剖析。结合电力信息系统架构及电力数据网络,提出二级网络架构三层存储架构的电力 CDN 体系,深入分析 CDN 安全防护要求,最后设计开发了电力 CDN 管控平台和电力 CDN 实验床。

关键词:内容分发网络;网络体系架构;安全防护;实验床

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015139

Research on Business Requirement Analysis and Network Architecture of CDN for Power Grid

Wang Yirong, Wang Sining, Zou Ying, Yu Botao

(Beijing GuoDianTong Network Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: During the “Twelfth Five Year Plan”, with the continuous deepening development of the SGCC information system, the number of large management information system of one-level deployment continues to increase, wide coverage, large number of users, and new technologies such as the software-hardware resource pool and the cloud computing, brings new challenge to the data network. CDN (content delivery network) is a virtual network consists of the node server group distributed in different regions. CDN push/pull the information resources to the network edge, allow customers to access content faster. A profound analysis of the demand for the electric power information business accelerating, power CDN network load requirements, and key technology, was given. Based on the electric power information system architecture and the electric power data network, the electric power CDN network system was put forward, which had two levels network architecture and three layers CDN network storage architecture. The CDN network safety protection requirements were analyzed; the electric power CDN control platform and the electric power CDN test bed were designed and developed.

Key words: content delivery network, network architecture, safety protection, test bed

收稿日期:2015-02-16;修回日期:2015-05-15

论文引用格式:王一蓉,王思宁,邹颖等. 电力 CDN 业务需求分析及网络体系架构研究. 电信科学,2015139

Wang Y R, Wang S N, Zou Y, *et al.* Research on business requirement analysis and network architecture of CDN for power grid. Telecommunications Science, 2015139

1 引言

“十二五”期间,国家电网公司信息系统应用不断深化,一级部署的大型管理信息系统数目不断增加,覆盖范围广,用户数量庞大,软硬件资源池、云计算等新技术对电力数据网提出了新的挑战。国家电网公司的电力数据网覆盖 27 家省(市)公司和 21 家直属单位,网络地域跨度大,网络时延差距巨大,造成位于不同的网络地域的用户在面对集中式部署业务访问时,服务质量和效果差异巨大^[1]。

电力 CDN (content delivery network, 内容分发网络) 是指在电力数据通信网中,通过使用智能 DNS (domain name system, 域名系统)、负载均衡、内容分发/管理等技术构建电力 CDN,有效控制数据网络流量终结于 CDN 边缘节点,节省数据网络骨干网带宽,实现业务加速及热点内容智能更新分发。全面解决由网络带宽资源紧张、用户访问量大、访问突发性强、热点内容重复访问等造成的网络拥塞、响应慢等问题^[2-4],提高电力信息网络的稳定性和服务质量。

2 电力 CDN 业务需求

2.1 电力信息业务加速需求

对于集中部署的业务系统,当用户的并发请求涌现时,不仅对服务器的响应服务性能提出了挑战,而且数据中心和网络核心带宽也将成为应用的瓶颈。统一门户分发、动态内容、视频、大流量的流媒体数据、大文件传输等大容量数据访问因此受到很大的影响^[5]。表 1 对公司的主要一级部署业务类型进行了归类和分析。根据不同的业务加速服务类型,可形成不同的加速策略,见表 2。

2.2 电力信息网络稳定性需求

CDN 技术能有效控制数据网络流量终结于 CDN 边缘节点,节省数据网络骨干网带宽,极大地缓解了数据网络骨干网投资建设的压力。

国家电网公司信息系统一级集中部署,网络用户遍布大江南北,网络地域跨度大,网络时延差距巨大,地、市、县等基层单位访问速度偏慢,造成位于不同网络地域的用户在面对集中式数据中心业务访问时,服务质量和效果差异

表 1 电力信息业务服务类型

业务类型	加速服务类型				业务系统
	网页	流媒体	文件下载	应用协议	
管理	√ 静态页面为主; 少量动态页面; 访问频繁				SG-ERP 人力资源、95598、基建管理、协同办公等
视频监控、网络教学		√	√	√	电力交易市场系统、农村用电管理系统、网络大学等
决策系统、规划	√			√	协同办公等
平台类	√		√		电子商务等
实时类	√ 动态页面为主			√	电力交易市场系统电能质量监测系统、95598、灾备数据等
数据类		√		√	漏洞补丁、病毒库系统、电网 GIS 地图数据分发、灾备数据等

表 2 业务系统加速策略

业务特性	加速策略
静态页面	CDN 中心服务器将需要缓存的静态页面发送至全网的边缘节点,用户访问时由全局负载均衡器将请求分散至最近的边缘节点
动态页面	由中心服务器算法决定是否加速,对高热度内容设置缓存,动态替换原有页面实现加速
流媒体	用户发送视频播放的请求,CDN 中心服务器则采用推送方式,接收到用户请求后,主动将视频内容下发,并通过反向代理将请求地址转换为缓存节点,实现视频加速
文件传输	CDN 系统把文件缓存到离用户较近的前向代理,从源服务器缓存这些可能被共享的文件,当客户端访问文件时,用户直接从前向代理服务器访问。当源端服务器的请求数量过多时,可以在源服务器端架设反向代理,通过负载均衡技术平衡源端服务器的访问
应用协议	从传输层协议优化和应用层协议优化考虑,采用调节协议参数、改进拥塞控制算法等策略,对协议进行适应性改进,应用层协议优化加速可以采用的策略包括网间加速、并行数据传输等



巨大。应用 CDN 技术,可以解决地市县等基层单位及偏远地区用户访问集中式数据中心业务的服务质量和效果问题,减小网络时延对业务应用的影响。

2.3 电力信息系统安全性需求

基于分布式的 CDN 部署结构,使得业务主站不会因受到黑客入侵和各种 DDoS 攻击,影响对内对外服务的连续性。同时,由于 CDN 中有健康检测和众多的服务站点,一个节点出现故障时,用户的请求会被自动解析到其他相对较近的健康节点上,以始终保证内容可以被访问到。

2.4 降低源内容网站、IDC 服务器设备投入

CDN 在提供业务加速、解决流量突发问题的同时,可以减少网络基础架构投资。原内容网站无需投资昂贵的各类服务器、占用大量的网络带宽、设立大量的镜像站点,从而大大降低网站的建设和运维成本。

3 CDN 关键技术

3.1 基于节点负载和链路状态调度的全局流量调度系统

在电力 CDN 系统中,调度控制层的网络感知模块对网络链路状况进行侦测,并将数据交由智能调度模块进行处理,通过运营管理层的网络管理模块与智能调度模块进行交互,完成节点负载状态的侦测。如图 1 所示,虽然缓存节点 A 在物理位置上距离客户端较近,但是智能 DNS 根据缓存节点负载和链路状态发现缓存节点 B 的节点能力较节点 A 强,而且逻辑距离(如路由跳数、链路带宽等)离客户端更近,智能 DNS 将用户请求重定向至

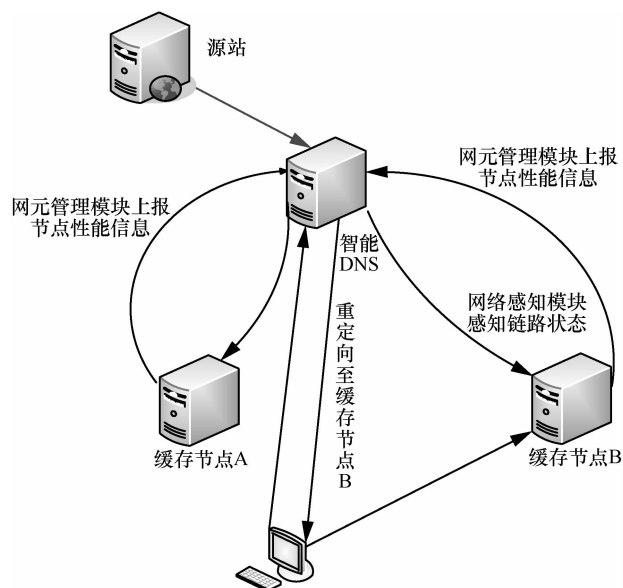


图 1 全局流量调度系统示意

缓存节点 B。

3.2 基于 HTTP 的全业务 CDN 加速技术

大部分电力信息应用都是基于 HTTP 的,研究基于 HTTP 业务的电力 CDN 系统能在不改动客户端配置和电力网现有网络拓扑的前提下,提供网络加速服务。基于 HTTP 的全业务 CDN 加速技术包括基于 HTTP 的 Web 动态/静态内容分发及加速技术、流媒体点播/直播内容分发及加速技术、文件下载加速技术。

(1) Web 页面动/静态内容分发及加速

对于网站的静态内容,可以通过 CDN 的主动推送(push)或被动下拉(pull)的方式发布到最接近用户的网络“边缘”,利用调度策略将用户重定向到离用户最近的节点,使用户就近取得这些静态资源,缓解骨干网压力,提高用户访问服务器的响应速度。

动态内容的提供需要有后台数据库、应用逻辑程序的支持,采用边缘计算和数据库复制的思想,研究动态内容的加速技术^[6]。缓存节点将应用程序和响应的业务组件直接在 CDN 的边缘服务器中计算,直接在靠近用户的地方生成动态 Web 内容,缓解源站后台服务器的负载压力,提高系统的整体性能。动态内容加速部署模型如图 2 所示。

(2) 流媒体点播/直播内容分发及加速

通过 HTTP progressive download 流媒体传输协议和切片技术,利用 HTTP 承载流媒体点播和直播功能,让流媒体文件和 Web 内容能进行一致部署^[7],这些媒体切片文件能在电力 CDN 上进行分发,以达到流媒体直播/点播加速的效果。

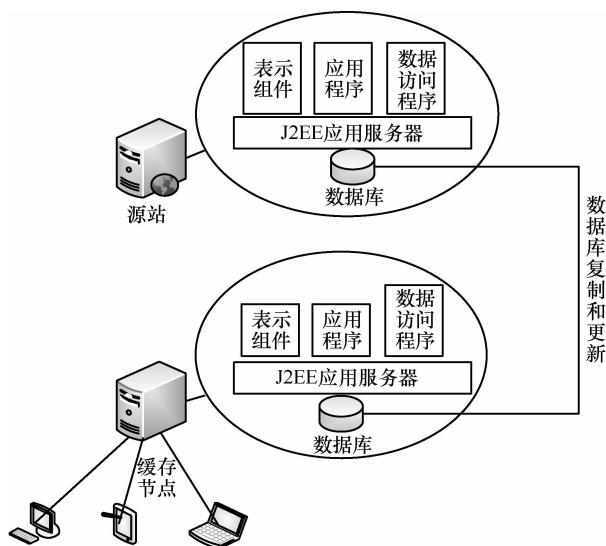


图 2 电力 CDN 系统动态内容加速部署模型

(3)文件下载加速

从不同的信息网业务网站下载文件是电力信息网用户最常见的行为之一,包括视频文件、软件及补丁等。文件下载加速分为 push 和 pull 两种方式。push 方式由源站将文件推送至各缓存节点(如补丁发布系统);pull 方式由缓存节点将一些常被下载的内容缓存至本地。用户在下载资源时,可就近从缓存节点上下载,加快用户下载文件速度的同时,避免文件在网络上的重复传输,节省宝贵的骨干网带宽资源。

3.3 网络传输优化技术

为充分利用 CDN 中的节点和带宽资源,采用内容分片技术,将大数据量文件进行内容分片,通过创建多条服务端和接收端之间的连接路径,对文件进行多路径并行下载,提高带宽利用率。文件分片和多径传输过程如图 3 所示。

4 电力 CDN 体系架构

4.1 总体架构

根据上述电力 CDN 业务需求及关键技术研究,本文将内容分发、网络感知、数据挖掘、传输优化、智能 DNS^[8]、流媒体处理等技术融入电力 CDN 系统,形成灵活可扩展、可管理、高性能的电力 CDN 体系架构。电力 CDN 功能逻辑架构分为内容分发层、运营管理层、传输服务层和调度控制层 4 个功能层,如图 4 所示。

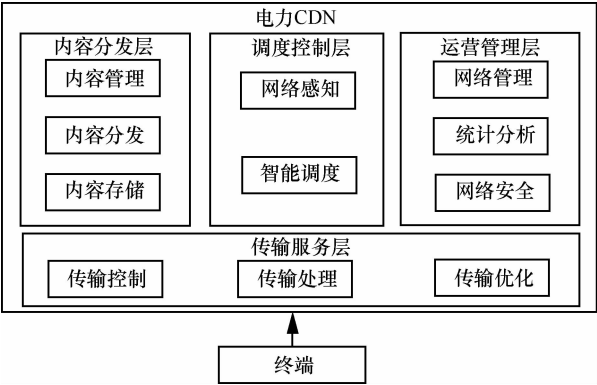


图 4 电力 CDN 系统逻辑架构

- 内容分发层^[9]负责内容的存储、管理以及全网分发,由内容管理、内容存储、内容分发 3 个功能模块组成。
- 运营管理层负责 CDN 管理。运营管理层中的统计分析模块负责采集 CDN 的带宽流量数据、流量缓存数据、节点流量比例、页面访问的统计数据,进行用户行为分析并提供给外部数据分析系统;网络安全模块负责用户认证、内容安全等。
- 传输服务层负责处理终端用户的各种业务请求,实现广域网传输优化。
- 调度控制层是基于内容热度、用户时空位置、用户行为、网络测量的上报数据决定以何种策略调度内容、调度哪些内容、节点如何选取。调度控制层由网络感知和智能调度模块组成。

结合电力信息系统架构及电力数据网络,本文提出二

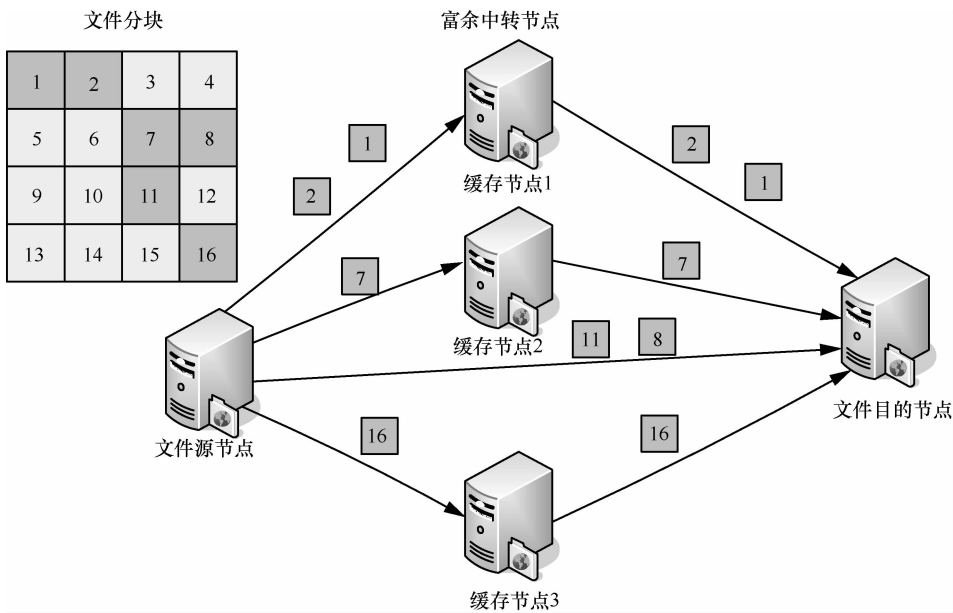


图 3 多路径传输示意



级电力 CDN 架构。以公司总部北京作为中心节点,采用双机热备份的方式部署智能 DNS 和运营管理平台;在各省公司和(或)地市公司部署边缘缓存节点,为相关片区的用户提供加速服务,如图 5 所示。以反向代理的方式在电力网上部署电力 CDN,实现按需加速多个不同的电力信息网中的内容网站。

(1)中心节点

中心节点是整个 CDN 运行、管理和维护的核心。利用电力通信专网丰富的 SDH、OTN 大带宽网络资源,满足 CDN 中心层对骨干网络链路的速度要求,实现和每个边缘节点跳数最短的网络环境。作为 CDN 的核心,中心节点并不直接参与对末端用户的服务,而是作为 CDN 运作的中枢,起到两个关键作用。

- 负责对电力 CDN 系统的网元进行管理,为整体的电力 CDN 运营网络提供网络节点监控,远程配置和故障上报及恢复等能力。
- 负责 CDN 的内容分发管理,把需要服务的内容通过合适的格式和方式,分发到所有的边缘节点。

(2)边缘节点

边缘节点是为用户直接提供服务的节点。理想状况

下,边缘节点应部署在尽可能靠近用户的网络节点。边缘节点主要完成的功能包括:

- 面对大量用户直接提供服务;
- 通过分布式服务机制,实现服务能力的提高,实现对大并发服务的需求;
- 国家电网公司的 CDN 边缘节点应部署在各省公司、直属单位的网络骨干节点处。

边缘节点采用三级存储架构,根据内容的访问热度、重要性、TTL(time to live,生存期)等因素对数据的生命周期进行管理,实现分级存储和多级存储设备间的数据自动迁移,如图 6 所示。将内存、固态硬盘、硬盘这 3 种存储介质搭建为一个混合存储阵列,既利用了内存、固态硬盘的高性能优点,又兼顾硬盘驱动器的高容量、低成本好处。

第 3 层(L3)采用成本小、读取速率相对较低(240 Mbit/s 左右)的硬盘,存放了系统提供的所有缓存数据。

第 2 层(L2)采用成本相对硬盘高、读取速率较高(4 Gbit/s 左右)的固态硬盘。本方案对用户请求进行记录 and 统计,采用一定的算法计算数据的热度,将热度达到一定阈值的文件存放于此层,并定期进行热度的统计和资源的更新。

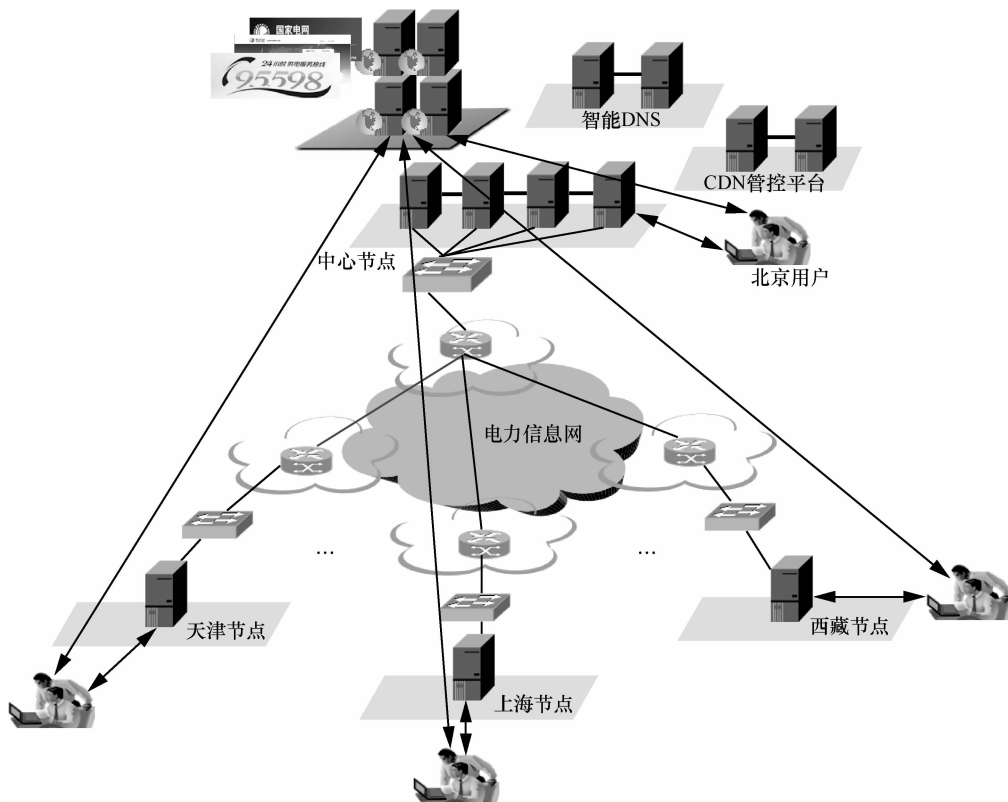


图 5 电力 CDN 架构

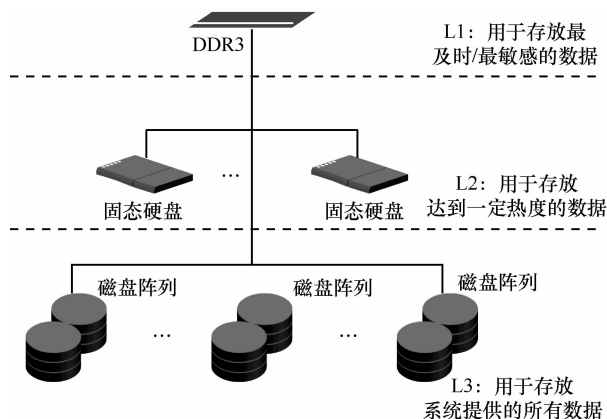


图6 节点内部存储架构

第1层(L1)采用读取速率最高(160 Gbit/s 左右)的内存进行数据存储。该层存储的数据是最及时/最敏感(“最热”)的数据,如80%的用户最常访问的20%的资源。对于用户刚请求的数据,若该数据是从L3或L2读入,内存也会在一定时间内将这部分数据进行保存,以供其他有可能请求此数据的用户快速获取。若一定时间过后,该数据未能达到存放于L1的热度值,系统会将其从内存中删除。

4.2 电力 CDN 管控平台

电力 CDN 管控平台功能模块如图7所示。管控平台由网元管理、性能管理、拓扑管理、告警管理、网元配置、报

表管理、安全管理7部分组成,为整体的CDN运营网络提供了网络节点监控、远程配置和故障上报及恢复的能力。用户可以通过该平台来查看当前CDN系统的内部运行情况,包括CDN系统部署架构的展示,当前系统配置信息、各网元节点性能信息、告警信息的查看等,并支持对CDN的配置信息进行修改。

5 电力 CDN 安全防护研究

5.1 承载网安全

CDN 承载网网络安全主要考虑以下3点。

- 抑制网络异常流量,保证所需的网络带宽。
- 双流抑制功能,在网络上突发双路直播流时,自动抑制,处理为一路直播流。
- 防 DoS 攻击,限制单位时间内来自同一个 IP 地址的 TCP 建立链接请求数,限制来自同一个 IP 地址的并发连接总数等,支持自动解除锁定功能。

5.2 管理系统安全设计

管理系统安全设计主要考虑如下3点。

- 认证安全:实现用户权限管理,根据需要选用挑战/响应认证、基于 IC key 的认证和智能卡认证等认证方式,并考虑使用专网或者虚拟专网进行隔离保护。

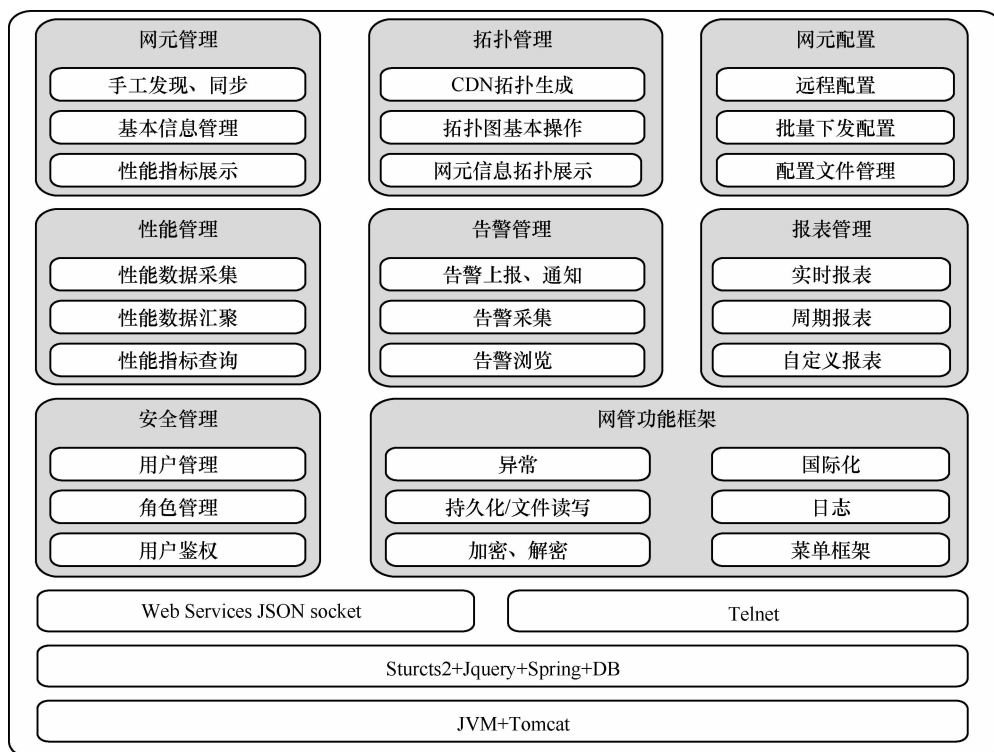


图7 CDN 管控平台功能



- 信息传输安全:可以采用对称加密算法进行信息的加密传输,防止信息被非法窃听。
- 文件传输支持安全:文件传输需支持使用 SFTP (secure file transfer protocol,安全文件传送协议)。内容发布中需支持包含 MD5(message digest algorithm 5,消息摘要算法第 5 版)信息,内容注入后,CDN 做文件校验。

5.3 CDN 设备安全

CDN 节点设备需保证安全^[9],主要有以下 4 点。

- 及时更新操作系统漏洞;关闭不使用的服务和端口;禁止或替换有潜在安全漏洞的程序。
- 提供防 DoS、DDoS、端口扫描攻击能力。
- 建立身份识别机制,设置数据访问权限;系统具备完善的日志功能,登记所有对系统的访问记录。
- 通过安全的数据备份策略,有效地保障系统数据的安全性。

5.4 防盗链设计

为防止服务器上的内容被非法盗取、保护服务器硬件设备,在向用户提供服务前,网络传输平台需要进行防下载机制的检测,防止非法用户的盗链,具体防盗链流程如图 8 所示。

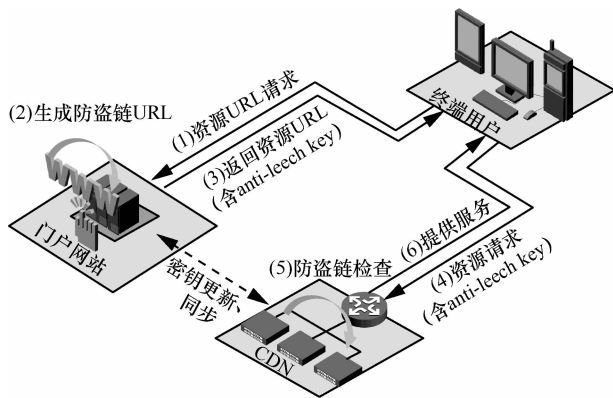


图 8 防盗链机制示意

门户网站和 CDN 共享密钥,同时使用对称算法 AES 进行加解密。门户网站在返回给用户的 URL 中增加 anti-leech key 防盗链字符串,用户采用包含防盗链信息的 URL 到 CDN 中请求内容播放,CDN 进行 URL 检查,保证用户访问的合法性。

6 电力 CDN 实验床设计

根据电力 CDN 关键技术、网络体系架构、管控平台等分析,在北京、天津、上海三地构建了电力 CDN 实验床。电

力 CDN 实验床采用核心层和接入层两层结构,设置 1 个中心节点、6 个边缘节点、1 个网元管理节点、1 个流媒体生成节点、1 个 CDN 服务器检测节点。其中在北京部署主/备中心节点、4 个缓存节点、网元管理节点、流媒体生成节点、CDN 服务器测试节点;分别在天津、上海部署 1 个缓存节点。电力 CDN 实验床技术指标见表 3。

表 3 电力 CDN 实验床技术指标

功能	技术指标
仿真节点规模	$\geq 1\,000$ 个
并发用户数	≥ 500 个
流量峰值	$\geq 10\text{ Gbit/s}$
请求响应时间	$\leq 1\text{ s}$
缓存总数据量	$\geq 10\text{ TB}$
缓存请求命中率	$\geq 80\%$
访问提速	$\geq 30\%$
视频直播、点播	网络访问速度提升 2 倍以上
网络文件传输的加速	文件下载速度提升 2 倍以上
CDN 实验床运行	7×24 h 稳定运行

7 结束语

伴随着互联网、移动互联网^[10]、云计算的高速发展,CDN 系统建设在电信运营商、互联网服务提供商中加速成熟完善。随着智能电网信息通信业务的蓬勃发展,CDN 实现电力信息化业务加速的需求也日益迫切。在进一步推进 CDN 技术在电力信息通信网络应用的过程中,仍需要重点研究面向电力信息业务的 CDN 业务接口规范、CDN 体系在电力安全防护体系中的技术实现、CDN 技术与电力安全接入平台的协同工作、面向三地灾备中心的 CDN 系统要求、CDN 技术与电力云架构的协同等课题。电力 CDN 的部署,使电力信息通信资源得到了最大限度的利用,将大大推动电力信息通信业务的发展。

参考文献

- 1 张健,文爱军. 国家电网公司信息化建设一级部署方案. 电力信息化,2011(4)
Zhang J, Wen A J, First-order deployment scheme of information construction in state grid corporation. Electric Power IT, 2011(4)
- 2 马季春,杨巧霞. 内容分发网络技术浅析. 邮电设计技术,2004(3)
Ma J C, Yang Q X, Simple analysis of CDN technology. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2004(3)
- 3 雷凯,袁杰. 命名数据网络内容分发机制研究与探讨. 电信科学,2014,30(9): 27~36

Lei K, Yuan J. Content distribution mechanisms of named data networking. Telecommunications Science, 2014, 30(9): 27~36

4 李乔, 何慧, 张宏莉. 内容分发网络研究. 电子学报, 2013, 41(8)

Li Q, He H, Zhang H L. Research on content delivery networks. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(8)

5 韩晓云, 黄灿, 张莫等. 一级部署系统性能优化研究. 电力信息与通信技术, 2013(7)

Han X Y, Huang C, Zhang M, *et al.* Research on optimization of performance centralized deployment-based information system. Electric Power ICT, 2013(7)

6 Kangasharju J, Roberts J, Ross K W. Object replication strategies in content distribution networks. Computer Communications, 2002, 25(4): 376~383

7 Ryoo J, Panwar S S. File distribution in networks with multimedia storage server. Networks, 2001, 38(3): 140~149

8 Left A, Wolf J L, Yu P S. Replication algorithms in a remote caching architecture. IEEE Trans on Parallel Distributed Systems, 1993, 11(4): 1185~1204

9 唐红喜, 宋茂强, 赵方. CDN 中的内容分发策略研究及仿真分析. <http://www.paper.edu.cn/html/releasepaper/2008106/5141>, 2008

Tang H X, Song M Q, Zhao F. Content delivery tactics research and simulation analysis of CDN. <http://www.paper.edu.cn/html/releasepaper/2008106/5141>, 2008

10 魏薇, 魏凯. CDN 安全防护的新标准. 中国计算机报, 2011(48)

Wei W, Wei K. CDN's new security protection standard. China Information World, 2011(48)

11 张桢, 周旭, 唐晖等. 面向移动互联网的融合内容分发网络总体架构设计. 电信科学, 2011, 27(1): 16~23

Zhang Y, Zhou X, Tang H, *et al.* Architecture design of the converged content distribution network for mobile internet. Telecommunications Science, 2011, 27(1): 16~23

[作者简介]



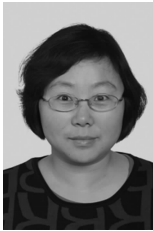
王一蓉, 女, 北京国电通网络技术有限公司高级工程师, 主要从事电力信息通信网络、无线通信、电力光纤到户研究工作。



王思宁, 女, 北京国电通网络技术有限公司中级工程师, 主要从事电力信息通信网络、无线通信、电力光纤到户研究工作。



邹颖, 男, 北京国电通网络技术有限公司中级工程师, 主要从事电力信息通信网络、无线通信、信息安全方面的研究工作。



于波涛, 女, 北京国电通网络技术有限公司高级工程师, 主要从事电力信息通信网络、无线通信、电力光纤到户研究工作。

2015 年 3 月通信业主要指标完成情况(二)

指标名称	单位	本月末到达	比上年末净增	本月净增
固定电话用户合计	万户	24 542	-401	-152.2
城市电话用户	万户	17 875.4	247.4	14.8
农村电话用户	万户	6 666.6	-648.5	-167
移动电话用户合计	万户	129 396.8	787.4	450
其中: 3G 用户	万户	47 590.1	-935.4	-960.6
4G 用户	万户	16 192.8	6 464.5	2 388
互联网宽带接入用户	万户	20 389.6	341.3	137.2
其中: xDSL 用户	万户	8 254	-684.6	-239.3
移动互联网用户	万户	89 983.5	2 461.3	1 643.8
固定电话普及率	部/百人	17.9		
移动电话普及率	部/百人	94.6		

(来源: 工业和信息化部运行监测协调局)