

移动 CDN 网络架构和资源调度方法研究

李素粉¹, 张云勇¹, 房秉毅¹, 徐雷¹, 熊巍¹, 吴俊²

(1. 中国联通研究院, 北京 100048; 2. 北京邮电大学 经济管理学院, 北京 100876)

摘要: 针对移动核心网的网络架构问题, 探讨基于云化核心网资源的移动 CDN 节点部署方法, 给出一种基于核心网资源池的移动 CDN 网络架构。进而针对移动 CDN 资源协同问题, 提出一种面向区域资源协同的移动 CDN 资源调度方法, 建立基于多因素的资源协同目标规划数学模型。最后进行算例分析, 实验结果验证了该方法的可行性和有效性。

关键词: 移动核心网; 云计算; 移动内容分发网络

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)Z2-0124-07

Research on the mobile CDN architecture and the resource scheduling method

LI Su-fen¹, ZHANG Yun-yong¹, FANG Bing-yi¹, XU Lei¹, XIONG Wei¹, WU Jun²

(1. China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China;

2. School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Aimed at network architecture of mobile core network, the deployment method of MCDN service nodes was discussed on the basis of virtualized core net resources and proposes a MCDN network architecture based on the core net resource pool. Then, according to collaborative problem of MCDN resources, a MCDN resource scheduling algorithm based on regional resource co-allocation was proposed, establish a mathematical model of goal programming based on multi-factor resource co-allocation was established. Finally, a case study is conducted to demonstrate the feasibility and effectiveness of the proposed approach.

Key words: mobile core network; cloud computing; content distribution network

1 引言

内容分发网络 (CDN, content distribution network) 通过在网络中部署众多节点服务器存储网络资源, 在现有互联网基础上构建一层内容服务网络, 通过将用户请求重定向至离用户最近的内容服务节点, 就近提供网络服务, 从而提高用户访问速度, 有效改善用户体验并促进数据业务的发展。然而, 由于 CDN 服务节点基于 IP 网络部署在移动核心网之外, 当移动终端用户与 CDN 服务节点交互

数据时, 不可避免经过移动核心网。随着移动数据业务的快速发展, 给移动核心网带来巨大的流量压力和管理压力, 不断冲击着移动通信网络性能。

在移动通信网络中引入内容分发网络服务为解决数据流量冲击问题提供了一个思路。在移动通信网络中部署内容服务节点, 构建面向无线网络的内容服务网络, 即移动 CDN (MCDN, mobile CDN), 通过进一步将 CDN 服务节点下沉部署, 即在核心网或无线网侧部署移动 CDN 服务节点。内容分发网络 CDN 具有分散流量压力和提高用户体验等优

收稿日期: 2014-10-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71172134); “新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大基金资助项目(2012ZX03002001-002, 2013ZX03002004-002, 2013ZX03002003-005)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (71172134); “A New Generation of Broadband Wireless Mobile Communication Network” Major National Science and Technology Funded Projects (2012ZX03002001-002, 2013ZX03002004-002, 2013ZX03002003-005)

势，成为有效应对流量激增加速数据业务发展的方式。但内容分发网络 CDN 最初是基于互联网架构提出，移动通信网络在传输协议和组网架构等方面具有自身特点，因此移动通信网络在考虑引入内容分发网络时需要结合更多移动通信网络的特性。

鉴于移动核心网具有天然的分布式资源部署，且云化后的核心网资源具有统一管控和自由伸缩等优势，本文重点探讨移动核心网引入 CDN 的实现方法，研究 MCDN 网络架构和资源协同调度方法。MCDN 作为近几年新兴研究方向，目前该领域研究较少，下面主要对 MCDN 紧密相关的 3 个方面进行简要综述，包括 MCDN 网络架构、核心网云化和 CDN 资源调度方法。

在 MCDN 网络架构研究方面，文献[1]提出一种 MCDN 实现方案，通过在标准的 EPC 网络中增加一个网元 L-GW，与 eNB 直接连接，MME 判断用户请求并根据判断结果将用户请求分流到 L-GW，实现对 EPC 的数据业务分流。然而新增网元的管理及安全性，对 EPC 网络带来潜在压力和安全隐患。文献[2]提出一种在核心网用户网元（SGSN、SGW）部署 MCDN 的实现方案，移动核心网网元和 MCDN 设备采用以太网直连方式，并在移动核心网网元配置 IP 协议栈，因此，在移动核心网网元和 MCDN 设备之间，通过以太网链路传输 IP 数据分组。该方案将核心网用户网元与 MCDN 设备进行以太网连接，而 MCDN 设备与互联网进行通信，一方面对移动核心网带来安全隐患，另一方面需要核心网用户网元配置 IP 协议栈，对现有核心网网元通信协议带来挑战。此外，文献[3]对 MCDN 网络优化与加速策略进行了探讨。

核心网云化研究方面，该方向是目前研究的一个热点和未来发展趋势，文献[4,5]分析了核心网网元设备云化可行性，认为控制面网元设备具有云化条件。进而文献[4]基于 SDN 理念给出一种核心网虚拟化架构，将原 EPC 承担的数据面功能网元的控制面和转发面解耦，从而完成 GTP-U 隧道的管理及 GTP-U 数据传输的分离。该方案将 SGW 和 PGW 在同一个 controller 下进行统一管理，然而对于未来大规模部署的 LTE 核心网，一般 SGW 部署在普通城市级别的地点，PGW 部署在升级城市地点，地域跨度较大，统一在一个 controller 下对于通信效率势必会造成一定影响。业界也有核心网云化相关报道和研究，例如爱立信于 2013 年发布了爱立信云系统

(ECS)^[6]，提供一种核心网云基础设施解决方案，将提供多数据中心和分布式的云网络架构。

在资源调度研究方面，未检索到针对 MCDN 的资源调度研究。MCDN 作为 CDN 在移动通信网络中的应用，在很大程度上可以借鉴现有 CDN 研究成果。由于负载均衡是 CDN 网络系统的核心部分，国内外的专家学者对于负载均衡算法开展了大量研究。在传统 CDN 中，负载均衡又分为全局负载均衡和本地负载均衡。全局负载均衡主要在不同的服务节点之间进行资源调度，将用户的访问指向离用户最近的工作正常的服务节点，由所选服务节点直接响应用户的请求，全局负载均衡方式主要包括 DNS 方式、应用层重定向方式等^[7]。本地负载均衡主要对同一个服务节点内的服务器资源进行调度，既能保证性能差的服务器不成为系统的瓶颈，又能保证性能高的服务器的资源得到充分利用，本地负载均衡方式包括轮循均衡（round robin）、权重轮循均衡（weighted round robin）、随机均衡（random）、权重随机均衡（weighted random）、响应速度均衡（response time）、最少连接数均衡（least connection）和处理能力均衡等^[8]。

鉴于云化后的 LTE 核心网网元资源具有统一管控和自由伸缩等特点，文献[9]对基于云化核心网资源的移动 CDN 部署进行了初步探讨，主要分析了在 LTE 移动核心网网元 SGW 部署 MCDN 服务节点的方法。本文基于该研究进一步探讨在 LTE 核心网网元 PGW 部署 MCDN 节点的实现方法，以及整个 MCDN 网络的组网架构和资源均衡调度方法。本文研究内容对移动通信网络引入内容分发网络具有参考意义。

2 基于云化移动核心网资源的移动 CDN 网络架构

2.1 MCDN 接入点分析

本节分析 LTE 移动核心网可能的 CDN 接入点。由 3GPP 定义的 LTE(long term evolution)网络架构，由扁平的无线接入网与演进的分组核心网(EPC, evolved packet core)组成。EPC 主要包含服务网关(S-GW, serving gateway)、分组网关(P-GW, packet data network gateway)、移动管理实体(MME)等网元^[10]。

移动内容分发网络融入移动通信网络架构，最终需要融入移动网络通信机制。同时移动通信网络融入 MCDN 服务的关键在于如何获取用户 IP 数据分组并进行提前解析和响应。可以考虑在能够获取

完整用户 IP 数据分组的网元处部署缓存设备构建 MCDN 系统, 在核心网内 SGW 和 PGW 都能获得完整的 IP 数据分组^[2]。因此, MCDN 节点理论上可以选择放置在网元 SGSN 或 GGSN。

对于 MCDN 存储节点放置在 SGW 后的情况, SGW 能够获取完整的用户 IP 数据分组, 且 SGW 一般为城市级网元节点, 比较适合放置 MCDN 服务节点。文献[2]所提方案是在 SGW 后旁挂 CDN 节点。用户网元 SGW 从协议栈中获取完整的用户 IP 请求后, 通过以太网接口与 MCDN 缓存设备直连, 传递 IP 数据分组。MCDN 设备负责 IP 数据分组的解析及请求响应处理。

对于 PGW 后部署 MCDN 存储节点的情况, 存储位置接近 EPC 上游边缘, 放置缓存节点可作为区域中心节点或普通 MCDN 服务节点, 与部署在 SGW 的内容服务节点共同构成 MCDN 服务网络, 通过统一管理和资源协同调度实现 MCDN 的部署效果。

鉴于上述分析, EPC 网元 SGW 和 PGW 均可作为 MCDN 接入点。同时, 考虑到核心网网元节点具有云化的可能性和发展趋势, 云化的 SGW 和 PGW 网元节点不仅可以提供城市或省级的 MCDN 节点部署位置, 且可以为 MCDN 提供基础设施资源, 并提供完整的 IP 数据分组, 因此, 本文将探讨在云化 SGW 放置 MCDN 的网络架构。

2.2 基于云化 EPC 的 MCDN 网络架构

传统 CDN 网络架构主要分为中心和边缘 2 部分, 中心指 CDN 网管中心和 DNS 重定向解析中心, 负责全局负载均衡, 设备系统安装在管理中心机房, 边缘主要指异地节点, CDN 分发的载体, 主要由 Cache 和负载均衡器等组成^[11]。

LTE 网络环境下, EPC (evolved packet core) 成为 Mobile CDN 服务节点的主要放置位置, CDN 基础设施资源如何建设成为决定 Mobile CDN 组网架构的一个重点问题。服务节点的基础设施资源包括计算、存储和网络等资源。其建设可以分为 2 种模式, 一种是在现有 EPC 网络旁挂或者附加 CDN 设备, 即在现网附加一层 CDN 网络, CDN 与 LTE 之间通过定义接口进行信息交互; 另一种是利用现有 EPC 资源进行 CDN 内容承载, 即 CDN 服务节点建设在 EPC 资源上。前者需要部署 MCDN 基础设施资源, 具有建设难度大和周期长等困难, 后者由于现网 EPC 标准化程度高, 难以实现资源共享的部署模式。然而在 SDN 和 NFV 等新技术逐渐推动

下, 核心网云化程度不断深化, 为实现 EPC 承载 MCDN 基础设施的模式提供了思路和技术基础。云化的核心网对 EPC 资源实现逻辑上集中统一管理, 并可以根据业务需要对资源进行灵活伸缩, 进而使得云化的 EPC 向 MCDN 提供基础设施资源成为可能。

本文所研究的 MCDN 网络附加在 LTE 核心网上, MCDN 部署节点随核心网网元部署位置而定, 内容服务节点将与各个 SGW 和 PGW 网元共享资源池。PGW 网元一般为省级部署, SGW 为地市级部署。用户请求通过基站传送至 SGW 网元, 进而到达 PGW 网元。鉴于内容分发服务具有就近服务原则, 用户请求旨在省级范围内进行 MCDN 节点负载均衡, 不进行跨省调度, 因此 MCDN 网络不设置全局负责均衡中心, 采用区域管理中心进行省内负责均衡调度。因此, 本文所提 MCDN 网络架构分为区域和边缘 2 部分, 区域指省级管理中心, 负责区域负载均衡调度, 部署在 PGW 资源池。边缘主要指本地节点, MCDN 内容分发的载体, 主要部署在 SGW 资源池。

本文针对 EPC 核心网 SGW 和 PGW 网元, 探讨云化的 EPC 网元如何为 MCDN 提供基础设施资源, 从而避免 MCDN 资源重建。云化的 EPC 网元基础设施资源形成具有统一管控和灵活利用等云计算特点的云资源池。云化的 SGW 在逻辑上可分为 3 层: 基础设施资源、管理平台和应用层, 如图 1 所示。在 SGW 管理平台上增加 MCDN 应用, 同时在 SGW 管辖的基础设施资源中分配一定资源给 MCDN 作为存储空间。



图 1 云化 SGW/PGW 3 层架构

基于前文对 MCDN 部署位置和 EPC 网元云化方案分析, 提出一种基于 EPC 云化资源的 MCDN 网络架构, 如图 2 所示。该系统基于 LTE 核心网, 云化后的 SGW 和 PGW 资源池承载 MCDN 服务节点, 并对本地 MCDN 节点进行负载均衡。MCDN 作为 SGW 或 PGW 资源池上的一个业务, 向用户提供内容服务, 达到减轻核心网负担, 同时提高用户相应速度的目的。一定区域范围内的 MCDN 节

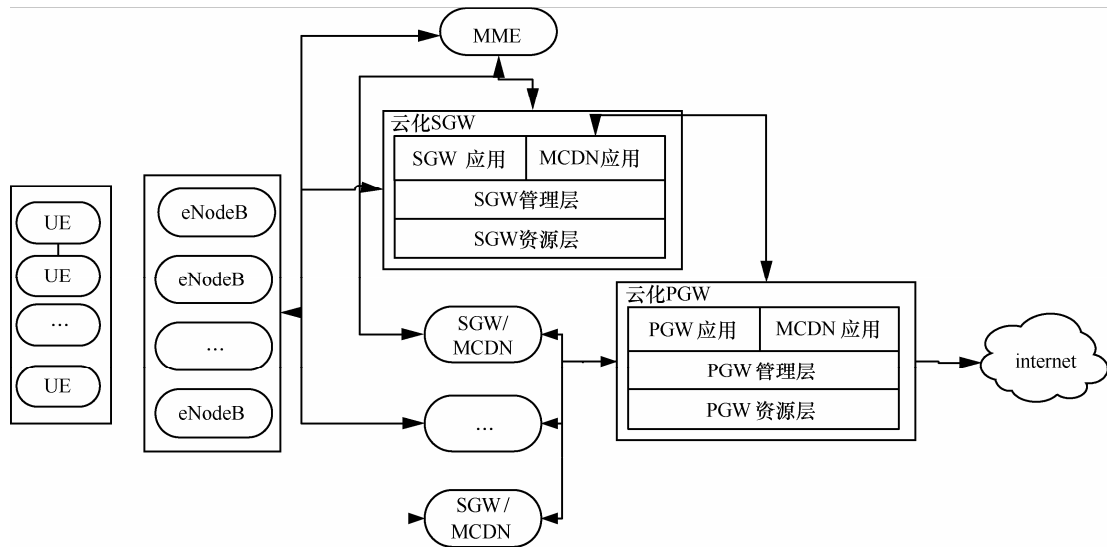


图2 基于云化 EPC 资源的 MCDN 网络架构

点构成 MCDN 网络，不同服务节点之间通过专网互联，保证节点间数据安全且高速传输。每个 MCDN 节点保存有整个 MCDN 网络的内容检索目录，且通过 EPC 云平台实时更新。该方案不改变现网总体架构，仍然以 PGW 为省级锚点设备，MME/SGW 为地市级设备，主要实现对视频、音频或者大文件等大流量业务类型进行核心网分流。

当用户终端 UE 通过基站 eNodeB 向 MME 发起业务请求时，MME 解析用户请求信息，判断业务类型，进而根据业务类型，指定 SGW 或者 MCDN 作为承载。如果是视频、音频或者大文件业务类型，则 MME 指定某个 MCDN 应用；否则，MME 指定 SGW 应用。

部署在 SGW 资源池的 MCDN 服务节点工作流程如下。

第 1 步：判断并转发用户请求。

1) 云化后的 SGW 获取用户的数据请求信息，判断用户请求信息，如果用户请求为视频、音频或大文件类型，则将该请求转发至 MCDN 应用，否则将用户请求转发至 SGW 应用。

2) 对于转发至 SGW 应用的用户请求，不进行 MCDN 旁路，走常规通信流程。

3) 对于转发至 MCDN 应用的用户请求，进行 MCDN 旁路，转第 2 步。

第 2 步：MCDN 应用处理用户请求。

1) MCDN 应用检索本地 MCDN 节点，如果存有用户所请求信息（简称：目标信息），转步骤 2)；如果本地 MCDN 节点没有用户所请求信息，则转步骤 3)。

2) MCDN 应用将该信息封装成 eNodeB 能够识

别的 GTP 隧道协议，发送给 eNodeB。

3) 本地 MCDN 节点向部署在 PGW 资源池的 MCDN 区域管理中心节点发送请求，如果中心节点的 MCDN 存有目标信息，则将目标信息以 IP 协议分组的形式通过 MCDN 专网从 PGW MCDN 返回到发起方 SGW 对应的 MCDN 节点；否则，采用本文所提面向区域资源协同的移动 CDN 资源调度算法，根据算法结果进行服务节点重定向，如果算法结果输出一个可以提供用户请求内容的 MCDN 节点，转步骤 4)；如果一定地域范围内 MCDN 节点均未检索到用户所请求内容，转步骤 5)。

4) 将该 MCDN 节点作为目标 MCDN 节点，在用户 UE 与目标 MCDN 节点间建立通信链路，MCDN 应用将该信息封装成 eNodeB 能够识别的 GTP 隧道协议，直接发送给用户 UE 所属的 eNodeB。

5) MCDNAPP 向 PGW 发送信息请求，以 GTP 协议封装请求信息，PGW 向 Internet 内容源获取用户所需内容，反馈给本地 MCDN 应用，进而将该内容信息反馈给用户 UE，同时通过 MCDN 区域管理平台将该内容保存到本地 MCDN 存储节点和区域存储节点，并更新检索目录。

本文所提 MCDN 网络架构，基于云化的 EPC 资源池，所有基础设施资源由 EPC 云平台进行统一管理和运维，一方面提高了 MCDN 建设速度，同时降低了 MCDN 资源运维成本。此外，该方案中 MCDN 节点不与外部 Internet 直接通信，所有缓存内容均通过 PGW 获取，从而避免互联网病毒或不良信息进入移动核心网和用户。

3 面向区域负载均衡的 MCDN 资源调度方法

负载均衡的目标是将用户的请求分发到合适的服务器上达到系统整体性能最优。MCDN 负载均衡分为区域服务器负载均衡和本地服务器负载均衡。本地服务器负载均衡能够在不同的虚拟机之间进行任务分配，同时能够兼顾物理机资源的绿色和均衡使用，具体实现方法可参考云资源池服务器负载均衡调度方法^[12-15]。区域服务器负载均衡能够根据各 MCDN 服务节点的地理位置和负荷程度，进行内容服务。传统 CDN 一般采用中心负载均衡服务器，根据用户位置，选择距离最近的服务节点提供内容服务。本文所提 MCDN 网络架构下的负责均衡调度与之存在不同，由于用户需求首先经由转发用户请求的 SGW 节点获取，并重定向到与 SGW 位于同一资源池的 MCDN 服务节点，因此优先判断该 MCDN 服务节点是否能够为用户提供服务，无法提供服务的情况下，进而由区域负载均衡管理平台进行资源分配。

本部分主要对区域 MCDN 负载均衡调度方法进行分析并建立数学模型。区域负载均衡主要根据各 MCDN 服务节点的地理位置和符合程度进行资源调度，因此参考因素包括：网络距离、响应时间、当前连接数、当前网络流量、内存利用率和 CPU 利用率等。MCDN 区域调度算法需要综合考虑上述多个因素，基于多因素的资源调度问题可以看作一个多目标数学规划问题。鉴于目标规划能较好地解决多目标决策问题，其目标函数不是寻求最大值或

最小值，而是寻求这些目标与预计成果的最小差距，差距越小，目标实现的可能性越大。

为便于建立数学模型，首先给出表 1 所示符号定义。

本文采用目标规划对区域 MCDN 负责均衡调度问题进行建模，将 MCDN 服务节点具有相关因素的实际指标值与期望值的差值作为模型的目标，当差值为 0 时，表示该服务节点为目标服务节点。鉴于目标规划的目标项越多，最后的目标项在整个模型中的作用将越小，因此为综合考虑各个因素，将 MCDN 区域调度相关因素进行归类，将网络距离作为第 1 类，将响应时间、当前连接数、当前网络流量作为第 2 类，将内存利用率和 CPU 利用率作为第 3 类。每一类各参数加权均值作为目标规划模型的目标因子。因此本模型考虑 3 个等级的目标，3 个目标依字典序分别达到最小，可根据实际需求进行优先级调整和扩展。可以根据系统当前情况调整每一个级别代表的因素类。模型的约束函数主要包括目标约束和决策变量约束。各因素指标值越小越好，在模型中用符号 $d_k^+(k=1,2,3)$ 表示。

由于不同的指标具有不同的量纲，因此在将多个指标进行综合计算时，首先需要对各种指标进行无量纲归一化处理。相关指标一般可以分为收益型和成本型 2 类。收益型指标，例如可靠性和可用心等，其值越高越好；成本型指标，例如网络距离、响应时间和当前流量等，其值越低越好。本文采用极差规格化变换^[16]对每一指标值进行无量纲归一化处理。无量纲归一化处理后，服务个体每一质量

表 1 面向区域负载均衡的 MCDN 资源调度数学模型基本符号

符号	意义及说明
i, j	区域内每个 MCDN 服务节点的 ID, $i, j=1,2,3,\dots,I$, I 是正整数
S_i	MCDN 网络中 ID 为 i 的服务节点
n	区域内 MCDN 服务节点上的内容对象编号, $n=1,2,3,\dots,N$, N 是正整数, 表示区域内共可提供 N 种不同的内容服务
M	单位时间内, 用户对区域内 MCDN 内容资源的请求数量, 每个用户请求分别记为 $R_m, m=1,2,3,\dots,M$
$D_{i,j}, D_0$	网络距离, 指获取用户请求的 MCDN 服务节点 S_j 与目标 MCDN 服务节点 S_i 之间的网络距离, $D_{i,j}$ 表示实际数值, D_0 表示设定的期望值
T_i, T_0	响应时间, 指 MCDN 服务节点 S_i 在一段时间内, 对用户请求的平均相应时间, T_i 表示实际数值, T_0 表示设定的期望值
N_i, N_0	当前连接数, 指 MCDN 服务节点 S_i 当前的整体业务连接数, N_i 表示实际数值, N_0 表示设定的期望值
F_i, F_0	当前网络流量, 指 MCDN 服务节点 S_i 当前的整体网络流量, F_i 表示实际数值, F_0 表示设定的期望值
MP_i, MP_0	内存利用率, 指 MCDN 服务节点当前的整体内存利用率, MP_i 表示实际数值, MP_0 表示设定的期望值
CPU_i, CPU_0	CPU 利用率, 指 MCDN 服务节点 S_i 当前的整体 CPU 利用率, CPU_i 表示实际数值, CPU_0 表示设定的期望值
$X_{m,i}$	0,1 变量, $X_{m,i}=1$, 表示将用户请求 R_m 指定到 MCDN 服务节点 S_i

指标的取值都是[0, 1]区间上的无量纲点。以下所建模型中的参数均为归一化处理后的参数。

基于上述分析和符号定义，建立面向区域负载均衡的 MCDN 资源调度数学模型（MCDN RRSM, MCDN regional resource scheduling model）。MCDN RRSM 模型描述如式(1)~(6)。

$$\text{lex min}(d_1^+ \vee 0, d_2^+ \vee 0, d_3^+ \vee 0) \quad (1)$$

$$d_1^+ = \sum_{m=1}^M (\sum_{i=1}^I D_{i,j} \times X_{m,j}) - M \times D_0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} d_2^+ &= \alpha_1 (\sum_{m=1}^M (\sum_{i=1}^I T_i \times X_{m,i}) - M \times T_0) + \\ &\alpha_2 (\sum_{m=1}^M (\sum_{i=1}^I N_i \times X_{m,i}) - M \times N_0) + \\ &\alpha_3 (\sum_{m=1}^M (\sum_{i=1}^I F_i \times X_{m,i}) - M \times F_0) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1, \alpha_1 \geq 0, \alpha_2 \geq 0, \alpha_3 \geq 0$$

$$\begin{aligned} d_3^+ &= \beta_1 (\sum_{m=1}^M (\sum_{i=1}^I MP_i \times X_{m,i}) - M \times MP_0) + \\ &\beta_2 (\sum_{m=1}^M (\sum_{i=1}^I CPU_i \times Xi) - M \times CPU_0) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\beta_1 + \beta_2 = 1, \beta_1 \geq 0, \beta_2 \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^I X_{m,i} = 1, m = 1, 2, 3, \dots, M \quad (5)$$

$$\sum_{m=1}^M X_{m,i} = 1, i = 1, 2, 3, \dots, I \quad (6)$$

其中，式(1)为目标函数，表示 3 类调度指标分别与系统期望值的差依字典序分别达到最小，确定优先因子后的目标函数表示为： $P_1 d_1^+ + P_2 d_2^+ + P_3 d_3^+$ ，其中 $P_1 \gg P_2 \gg P_3$ 。式(2)~式(4)为模型的目标约束，表示 3 类调度指标分别与系统期望值的差。式(5)~式(6)为决策变量约束。

所建模型求解属于 0-1 目标规划模型，采用现有求解方法可以进行快速求解。

4 算例分析

本节对面向区域负载均衡的资源调度数学模型 MCDN RRSM 进行算例分析。基于一定规模的 MCDN 网络，单位时间内面向 M 个用户请求，通过本文所提调度方法为每个用户请求指定一个合适的 MCDN 服务节点。

服务节点的数量 I 代表了 MCDN 网络规模，本算例令 $I=20$ 。对于当前网络情况，假设用户请求数 $M=100$ 。不失一般性，假设当前获取用户请求的 MCDN 服务节点为 S_1 ，获取用户需求后再区域 MCDN 网络中，利用 MCDN RRSM 算法，为当前用户请求指定一个合理的 MCDN 服务节点。对于

各因素的指标值，实际值设置采用随机方法在一定区间内进行生成，为便于结果展示，参考区间均设为(0,1]。令优先级因子取值为： $P_1=100, P_2=10, P_3=1$ ，表示目标因子具有明显的优先级顺序。期望值由系统进行设定，为比较分析，分 3 种情况取值，如表 2 所示，3 种情况下，第 3 组参数期望值均取值为 0.1，表示在目标规划中，当前 2 种指标均满足条件时，选择内存和 CPU 利用率较低的一个 MCDN 服务节点。计算结果如表 3 所示。

表 2 期望值 3 种不同取值设置

期望值	D_0	T_0, N_0, F_0	MP_0, CPU_0
Case1	0.6	0.5,0.5,0.5	0.1,0.1
Case2	0.4	0.1,0.1,0.1	0.1,0.1
Case3	0.2	0.2,0.2,0.2	0.1,0.1

表 3 不同期望值设置情况下 MCDN 服务节点调度方案

期望值	$(S_1, S_2, S_3, \dots, S_{20})$
Case1	(0,0,0,0,33,0,0,0,0,26,0,0,0,41,0,0,0,0,0,0)
Case2	(0,0,0,0,0,17,0,0,0,38,0,0,0,0,0,55,0,0,0,0,0)
Case3	(100,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)

本模型中，各因素取值越小越好。Case1 参数设置情况下，第 1 组参数值 (D_0) 很高，导致目标规划的第一因子容易满足，即取值达到 0，第 2 组参数具有同样的情况，因此，这种情况下使得第 3 组目标因子（内存和 CPU 利用率）成为目标规划的主要决策因素，调度的结果使得为用户分配内存和 CPU 利用率较优的服务节点。表 3 第一行计算结果，将用户请求分散在内存和 CPU 利用率较低的 S_5, S_{10}, S_{14} 节点。Case2 参数设置情况下，第一组参数值 (D_0) 较高，能够起到一定决策作用，限制一定数量的 MCDN 节点，对于满足第一目标因子的 MCDN 服务节点，由于第 2 组参数设置很低，导致满足第 2 目标因子的服务节点数量很少，因此会起到较大的决策作用。表 3 第 2 行计算结果，将用户请求分散在第 2 目标因子较低的 S_6, S_{10}, S_{16} 节点。Case3 参数设置情况下，第一组参数期望值较低，导致第一目标因子在整个调度算法中起决定性作用。表 3 第 3 行计算结果，将用户请求分散在第一目标因子最低的 S_1 节点。以上计算结果和分析可看出，不同参数初始值设置将决定不同的调度方案，在实际应用中，可根据现网实际情况进行具体

参数设置, 以达到预期调度目标。

5 结束语

针对 4G 网络环境下移动核心网面临的流量压力, 基于现有 MCDN 和核心网云化研究基础, 探讨在云化的 EPC 资源上部署 CDN 节点的实现方法, 给出一种基于云化 EPC 资源池的 MCDN 网络架构, 并针对其中的区域负载均衡, 建立目标规划模型。最后进行了算例分析。本文所提 MCDN 网络架构, 基于云化的 EPC 资源池, 所有基础设施资源由 EPC 云平台进行统一管理和运维, 一方面提高了 MCDN 建设速度, 同时降低了 MCDN 资源运维成本。此外, 该方案中 MCDN 节点不与外部 Internet 直接通信, 所有缓存内容均通过 PGW 获取, 从而避免互联网病毒或不良信息进入移动核心网和用户。

参考文献:

- [1] YOUSAF FZ, LIEBSCH M, MAEDER A, *et al.* Mobile CDN enhancements for QoE-improved content delivery in mobile operator networks[J]. *IEEE Network*, 2013, 27(2):14-21.
- [2] 田光辉. 移动内容分发网络节点位置部署建模及部署方案研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.
TIAN G H. Study on Modeling of Mobile Content Distribution Network Cache Node and Deployment Scenario[D]. Beijing University of Posts and Telecommunications, 2012.
- [3] 谢人超, 黄韬, 刘韵洁. 移动网络优化与加速策略探讨[J]. *信息技术*, 2013, 6:73-77.
XIE R C, HUANG T, LIU Y J. Network optimization and acceleration strategies analysis for mobile network[J]. *Information and Communications Technologies*, 2013, 6:73-77
- [4] 薛淼, 符刚, 朱斌等. 基于 SDN_NFV 的核心网演进关键技术研究[J]. *邮电设计技术*. 2014, 3:16-21.
XUE M, FU G, ZHU B, *et al.* Research on key technologies of core network evolution based on SDN/NFV[J]. *Designing Techniques of Posts and Telecommunications*, 2014, 3:16-21.
- [5] 刘丽苹, 黄启虎, 曹彦飞. 核心网设备云化可行性分析[J]. *移动通信*, 2014, 9:72-74.
LIU L P, HUANG Q H, CAO Y F. The virtualization analysis for core network equipments[J]. *Mobile Communication Mobile Communications*, 2014, 9:72-74.
- [6] 程艳. 移动核心网云化和虚拟化[J]. *通信世界*, 2013, 31:39-40.
CHENG Y. The research on virtualization of mobil core network[J]. *Communications World*, 2013, 31:39-40.
- [7] MATHEW V, SITARAMAN R K, SHENOY P. Energy-aware load balancing in content delivery networks[A]. 2012 Proceedings IEEE[C]. 2012.954-962.
- [8] 徐玲. CDN 网络中负载均衡的研究[D]. 上海交通大学, 2007.
XU L. Load Balance Research in CDN Network[D]. Shanghai Jiaotong University, 2007, 30(11):27-32.
- [9] 李素粉, 董晖, 房秉毅等. 面向云化 EPC 资源的移动 CDN 融合架构研究[J]. *电信科学*, 2014, 30(11):27-32.
LI S F, DONG H, FANG B Y, *et al.* Research on the MCDN integration architecture on the basis of virtualized EPC resources[J]. *Telecommunications Science*, 2014, 30(11):27-32.
- [10] 姜怡华, 许慕鸿, 习建德等. 3GPP 系统架构演进 (SAE) 原理与设计 (第 2 版) [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
JIANG Y H, XU M H, XI J D. 3GPP System Architecture Evolution: Principle and System Design (Second Edition) [M]. Beijing: Post and Telecom Press, 2013.
- [11] 黄俊爽. CDN 网络中负载均衡算法研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
HUANG J S. Research of Load Balancing Algorithm in CDN Network [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013.
- [12] 孙鑫. 面向云环境数据中心的高效资源调度机制研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.
SUN X. Research on the Efficient Resource Scheduling in Cloud Data Centers [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2012.
- [13] 庄威, 桂小林, 林建材等. 云环境下基于多属性层次分析的虚拟机部署与调度策略[J]. *西安交通大学学报*, 2013, 47(2):1-7.
ZHUANG W, GUI X L, LIN J C, *et al.* Deployment and scheduling of virtual machines in cloud computing: an AHP approach [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2013, 47(2):1-7
- [14] 李济汉, 李素粉, 张云勇等. 云计算环境下虚拟机资源均衡调度方法研究[J]. *电信科学*, 2013, 4:78-82.
LI J H, LU S F, ZHANG Y Y, *et al.* Research on the resources scheduling method of virtual machines under the cloud computing environments [J]. *Telecommunications Science*, 2013, 4:78-82.
- [15] [EB/OL]. <http://rdc.taobao.com/blog/cs/?p=315>.
- [16] 张跃, 邹寿平, 宿分. 模糊数学方法及其在应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992.
ZHANG Y, ZOU S P, SU F. The Method of Fuzzy Mathematics and its Application [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1992.

作者简介:



李素粉 (1979-), 女, 河北邯郸人, 博士, 中国联通研究院工程师, 主要研究方向为云计算、核心网等。

张云勇 (1976-), 男, 江苏盐城人, 博士, 中国联通研究院副院长、高级工程师, 主要研究方向为云计算、物联网、下一代开放网络、固定移动融合核心网、移动互联网及业务、公共运算。

房秉毅 (1980-), 男, 山东泰安人, 博士, 中国联通研究院高级工程师, 主要研究方向为云计算、核心网等。

徐雷 (1978-), 男, 山东济南人, 博士, 中国联通研究院高级工程师, 主要研究方向为云计算、核心网等。

熊巍 (1988-), 女, 湖北汉川人, 博士, 中国联通研究院高级工程师, 主要研究方向为云计算、核心网等。

吴俊 (1971-), 男, 湖南长沙人, 博士, 北京邮电大学副教授, 主要研究方向为移动互联网应用、云计算商业价值评价等。