

# IMS 重叠网络多路径传输内容分发机制<sup>①</sup>

于波<sup>1,2</sup>, 于东<sup>1</sup>, 贾军营<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院 沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

<sup>2</sup>(中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 基于 IMS 的流媒体业务通常以集中方式为终端客户提供直播、点播等内容服务。然而集中式的服务模式并不能充分利用资源, 还会因为流量过于集中而拒绝为更多终端提供服务, 甚至会因为媒体服务器的失效而影响业务。提出了一种基于 IMS 重叠网络支持多路径传输的内容分发机制, 在传统 IMS 网络中通过引入重叠网络实现资源的共享与分发, 提高了网络资源利用率、降低了中心媒体服务器负载。实验表明与传统媒体服务器为中心的内容分发机制相比基于 IMS 重叠网络的内容分发机制具有显著优势。

**关键词:** IMS; 重叠网络; 多路径传输; 内容分发网络; 流媒体服务

## Content Delivery Mechanism for Multipath Transformation on IMS-based Overlay Network

YU Bo<sup>1,2</sup>, YU Dong<sup>1</sup>, JIA Jun-Ying<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China)

<sup>2</sup>(Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** IMS-based streaming media service always provides live or on-demand content services for customers. However, the centralized service model does not utilize resources fully but leads to concentrated data flow, which will refuse to provide services for more terminals or even affect the service availability for the failure of the media server. In this paper, an IMS-based overlay network content distribution mechanism to support multipath transmission is proposed. Through the introduction of the overlay network on IMS resource sharing and distribution can be achieved. It also improves the network resource utilization, reduces the load of the central media server. The experiments show that IMS-based overlay network content distribution mechanism has a significant advantage compared with the traditional media server content distribution mechanism.

**Key words:** IMS; overlay network; multipath transformation; content delivery network; stream media service

## 1 引言

IMS 即 IP 多媒体子系统逐步成为 3GPP、3GPP2、ETSI 等国际标准化组织制定下一代网络的核心标准架构。IMS 凭借其平面化的结构, 传输、控制、业务相互分离, 接入无关性, 可控制可管理等诸多特点成为移动网、固定网融合以及电信网、有线电视网和国际互联网, 三网融合的关键。然而, IMS 仍采用传统的集中式设计思想, 虽然具有较强的可管理性, 但是对网络的资源利用较低, 尤其是针对带宽需求量较大的服务, 并不能做到系统资源的合理分配。

传统 CDN(内容分发网络)通过有效运用负载均衡、分布式存储、网络请求重定向及内容管理等多种手段, 通过将数据传输边缘化的方法缓解了集中式流媒体服务遇到的带宽瓶颈、单点效应、资源利用率低下的问题, 目前得到了比较广泛的应用。然而随着 IMS 的引入, 如何在标准的框架下建立更加高效的内容分发重叠网络, 如何在该网络中完成数据的传输与共享并在全 IP 网络中提供 QoS 保证的流媒体服务成为 IMS 网络能够支持内容分发技术的关键。

① 收稿时间:2012-02-13;收到修改稿时间:2012-04-03

### 2 相关工作

传统的基于 IMS 的媒体服务采用信令和媒体都集中的模式构建。以 IPTV 业务为例，内容和数据源由内容服务商提供，而媒体的分发则由媒体分发功能完成。这种以集中式媒体服务器为中心的内容分发机制存在 C/S 结构的典型特征。CDN 网络的研究与引入虽然在一定程度上解决了集中式服务的缺点<sup>[1]</sup>，但目前研究大多是针对 Internet 展开，由于 Internet 的庞大及复杂的特殊性 QoS 很难保证，所以以下一代网络的核心体系结构 IMS 为基础的研究将会更加重要。近期 CDN 与 P2P 网络结合的研究也日渐增多<sup>[2]</sup>，通过对 CDN 与 P2P 网络特性的互补，有利于资源共享、带宽利用、负载均衡的实现。

### 3 基于IMS的重叠网

IMS 网络作为一种核心架构，为未来网络发展提供了现实的解决方案和灵活的应用模式，为下一代网络的发展奠定了基础。然而，IMS 网络仍然采用集中式思想构建，虽然 IMS 本身可以支持扩展性及伸缩性，但是仍然存在诸多传统 C/S 模式难以解决的典型问题。本文提出的支持多路径传输的内容分发机制是建立在 IMS 重叠网络基础上的，可以实现资源在终端间分享，有效降低媒体服务器负载，为更多用户提供保证 QoS 的内容分发服务。

#### 3.1 体系结构

重叠网被定义为运行在一个或多个网络上的网络，能够在基础网络上提供附加能力，改变下层网络的性能或功能。同时，重叠网络也是一种面向应用的。

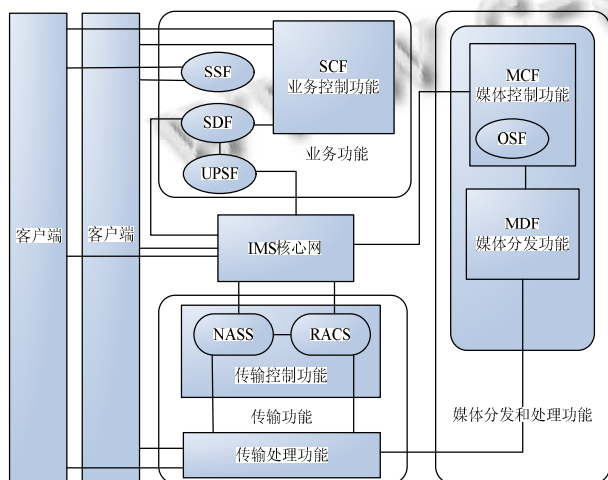


图 1 体系结构

网络，节点之间往往采用虚连接或逻辑连接的方式完成网络的构建。典型的重叠网络包括：P2P 网络、CDN 网络、云计算网络等。本文实现多路径传输的内容分发机制的基础就是基于 IMS 的重叠网络体系结构。本文在 ETSI TISPAN 的流媒体 IMS 架构的基础上，通过增加 OSF(Overlay Service Function)功能实现重叠网络的构建。如图 1 所示，与标准流媒体服务 IMS 架构相比，OSF 可以提供重叠网管理、资源搜索、网络距离测量、策略执行等功能，充分发挥重叠网络的优势，弥补传统 IMS 的不足

#### 3.2 OSF 概述

如图 2 所示，作为 IMS 上构建重叠网络的关键部分，OSF 具备重叠网构建与管理功能。OSF 作为 DHT 网络节点，提供资源元数据的存储、定位、查询能力。搜索代理则是为查询资源而提供的外部接口，代替终端在 DHT 网络中进行资源搜索，并将查询结果通过 xml 方式返回给搜索终端。网络测距功能与策略功能目的是为了优化网络资源，使重叠网络的引入符合 IMS QoS 要求，提高资源利用率，保证重叠网络可管理性，实现负载均衡<sup>[3]</sup>。

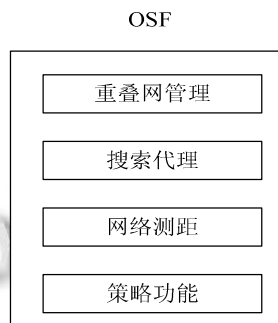


图 2 OSF 功能结构

#### 3.3 媒体服务器

媒体服务器即 MF (Media Function)由 MCF (Media Control Function)和 MDF (Media Delivery Function)组成，分别负责媒体的控制及分发功能。MF 通过与 OSF 的协作将直播及点播媒体信息存储在 DHT 网络上，可以有效的利用重叠网络完成资源信息的发布。在整个内容分发机制中，MF 作为基本或备用服务功能在其他服务终端不能提供内容服务的情况下，保证内容服务的可用性。

### 4 重叠网络管理与传输

重叠网络的管理采用 DHT 网络实现, 即分布式哈希表网络<sup>[4,5]</sup>. DHT 网络中的每一个节点拥有一个通过一致性哈希编码的全局唯一 ID, 该 ID 根据节点的 IP 地址进行 SHA-1 算法产生 160-bit 哈希值求得. 被存储在 DHT 网络的数据以名字空间的形式加以分类, 不同的名字空间代表不同的服务类型及其参数, 其格式为服务类型[:具体参数]. IMS 媒体服务器和具有服务能力的终端设备地址及服务端口等信息通过 OSF 加入 DHT 网络并做定期刷新. 当需要某项服务时, 客户端通过 OSF 的查询代理功能返回某个服务的列表, 包括服务地址、端口、节点类型等相关信息.

#### 4.1 服务节点

MF 作为基本的内容提供者通过 OSF 将所能提供的服务类型通过 OSF 添加到 DHT 网络相应的名字空间下, 作为服务器类型的特殊节点保存在 DHT 网络中. 终端根据自身的资源和能力, 如: 处理器、内存、带宽等资源, 可以将终端自举为服务节点, 通过 OSF 将所能提供的服务通过相应的名字空间进行存储. 无论是 MF 还是终端都需要定期刷新自身提供的服务功能, 避免因为刷新时间过期而导致 DHT 自动删除节点. 当服务终端想要退出 DHT 网络, 通过 OSF 将对应名字空间的节点信息进行删除操作.

#### 4.2 DHT 网络资源搜索

根据 DHT 网络的特点, 搜索过程通常经过  $O(\log N)$  跳即可实现资源的定位<sup>[4]</sup>, 其中 N 为 DHT 网络中的节点总数. 以直播业务为例, 当 OSF 接收到直播终端的视频直播请求时, OSF 首先根据直播视频 ID 搜索名字空间为该 ID 的实时视频资源, OSF 获得具有该资源的列表后将该资源列表经过网络距离测量及评价后根据用户的签约信息筛选结果, 最终返回给请求终端. 通过该方式请求终端就可以获得拥有该资源 ID 的媒体服务器及终端服务节点列表. 终端可以根据需要主动连接媒体服务器或距离自身较近的终端服务节点实现媒体数据的获取. 如果终端本身具有多种连接方式而媒体服务器或终端服务节点也具备多种连接方式, 则双方可以采用多路径传输完成媒体数据获取.

#### 4.3 多路径传输

IMS 终端的接入多样性给多路径传输奠定了基础, 目前的 IMS 网络终端往往可以提供多种接入方式, 如: 有线网络、3G、WiFi、WiMAX、LTE 等. 终端可以启用

多个网络连接同时进行数据传输, 配合基于马尔科夫决策过程的多路径冗余传输<sup>[6]</sup>可以充分发挥多路径传输的优势, 避免单一路径传输质量下降而影响整个传输系统. 多路径传输通过对 CMT-SCTP(Concurrent Multipath Transfer-SCTP)协议的传输调度策略的修改, 实现了一种链路质量感知的动态多路径传输方法. 该方法将传输过程分解成多个稳态马尔科夫过程, 采用逆向迭代的方式根据状态转移概率和统计获得的阶段链路质量推测出每个过程的最佳策略. 同时对于多媒体通信中的关键数据(如: 视频的 I 帧、音频的基本解码帧)在次优路径的冗余传输, 实现了关键数据的在极端情况的恢复能力. 通过冗余传输增加了在链路较低质量下的鲁棒性, 保证数据的完整性, 提升通信体验质量.

### 5 流媒体点播服务信令流程

本节将以流媒体点播为例设计一种基于 IMS 重叠网络支持多路径传输的信令流程, 通过该信令流程具有多路径传输能力的流媒体直播终端可以完成与多个流媒体服务节点通信, 实现多路径并行传输.

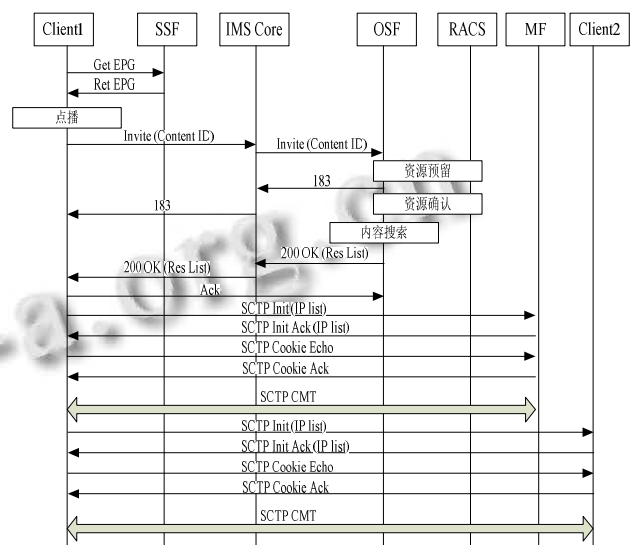


图 3 点播信令流程

如图3所示, 终端1通过 HTTP 协议从 SSF(Service Selection Function)上获取 EPG(Electronic Program Guide), 通过 EPG 终端可以获得某个点播视频的 ID. 终端点播该视频后向 IMS 核心网发送 Invite 请求, 该请求携带了所点播视频的 ID, IMS 核心网根据业务配置将 Invite 转发给 OSF, OSF 通过 RACS 进行资源预留

保证业务带宽,当资源预留成功后向用户返回 183. OSF 在 DHT 网络中进行资源搜索,根据相应业务及内容标识的名字空间,搜索到拥有该资源的节点列表,该列表既包括媒体服务器也包含自举为服务节点的终端.通过 OSF 的网络测距及评价功能将列表筛选后,返回给终端 1.终端 1 根据列表首先建立与默认媒体服务器的 SCTP 连接,保证点播的速度,然后开始建立与其他服务节点(如:终端 2)的连接,完成数据交换.如果终端 2 具备多接入方式,可以通过多路径并行传输建立连接.当与一个或多个终端类型的服务节点建立了稳定的连接后,终端 1 将逐步减低与媒体服务器的数据通信,直至将数据传输降低为 0,并将媒体服务器作为备用资源.通过这种方式,系统可以实现将占用带宽较大的媒体数据流量分散在网络边缘,降低中心媒体服务器的负载,有效提高网络资源利用率,在保证 IMS QoS 基本要求的情况下为用户提供高质量的流媒体体验.

### 6 仿真实验

最后通过在 ProtoPeer 上对传统以媒体服务器为中心的内容分发机制与基于 IMS 重叠网络支持多路径传输的内容分发机制进行了仿真验证比较.

在实验 1 中,中心媒体服务器存放一个 100MB 的视频媒体文件,系统中每个连接最大传输速率限制为 128Kbps,在测试过程中分别在 0、10、20 分钟时刻增加节点,每次增加 20 个,其中 40% 为可提供服务的节点并支持多路径传输,分别观察两种内容分发机制的中心媒体服务器的流量情况如图 4 所示.

从试验中结果可以看到基于 IMS 重叠网络的内容分发机制中,随着节点的不断加入,中心媒体服务器的流量在逐步下降,只有在节点在规定时刻大量加入时会产生流量的突然增加,而集中式的媒体服务则持续保持较高流量.

在实验 2 中,媒体源、节点加入速度、服务节点比例与实验 1 相同,但每个连接最大传输速率为 256Kbps,在节点总数从 60 增加到 200 的过程中,统计节点数据传输的平均完成时间.如图 5 所示,基于重叠网络的内容分发机制在节点逐步增加的过程中平均完成时间出现明显的缩短,而传统以媒体服务器为中心的内容分发机制,平均完成时间会随着节点的增加而增大,当节点大于 140 时由于中心媒体服务器的带

宽限制导致平均完成时间显著增加.

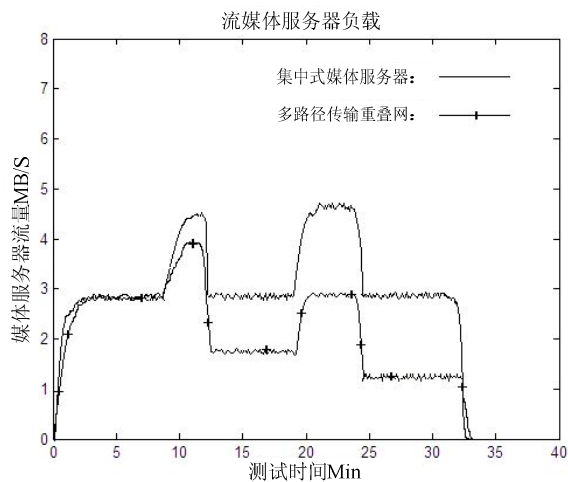


图 4 流媒体服务器负载

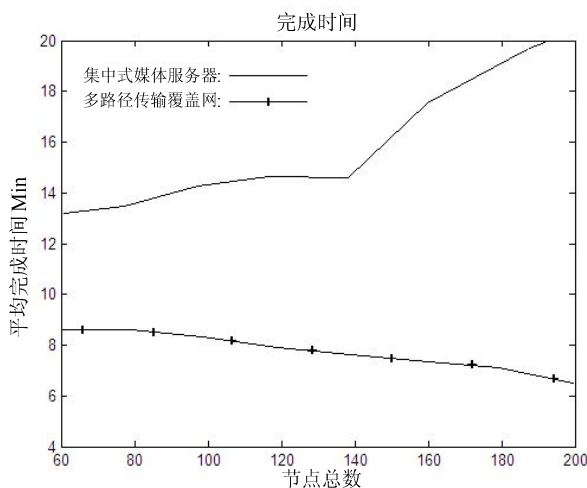


图 5 节点平均完成时间

实验结果证明,与传统 IMS 媒体服务相比无论中心媒体服务器负载还是节点平均完成时间基于 IMS 重叠网络的内容分发机制都具有较明显优势.

### 7 结语

IMS 作为下一代网络的核心架构越来越受到广泛的关注和认可,它的接入无关性、可扩展性、可伸缩性、等特点为未来固网移动网以及三网融合提供了基础.然而 IMS 结构仍然采用集中式的思想设计,延续了 C/S 模式的基本思想,除了单点效应的风险外,系统并没有对网络资源加以充分利用.本文提出的基于 IMS 重叠网络支持多路径传输的内容分发机制,以流媒体业务为例分别阐述了流媒体业务中资源的添加、

搜索、分享等基本过程,并以视频点播为例给出了信令流程.最后通过实验证明该机制对比于传统以媒体服务器为中心的媒体分发机制无论在媒体服务器负载还是节点平均数据获取时间都体现了较大优势.随着4G网络的成熟、部署及试商用,未来以IMS为核心的全IP网络将会更加显示出其重要性,未来工作将专注于该机制的完善及针对移动网络的优化.

### 参考文献

- 1 Menai MF, Fieau F, Souk A, Jaworski S. Demonstration of Standard IPTV Content Delivery Network Architecture Interfaces: Prototype of Standardized IPTV Unicast Content Delivery Server Selection Mechanisms. Consumer Communications and Networking Conference (CCNC'09). Las Vegas, Nevada, 2009,1-2.
- 2 Seyyedi S, Akbari B. Hybrid CDN-P2P Architectures for Live Video Streaming: Comparative Study of Connected and Unconnected Meshes. International Symposium on Computer Networks and Distributed Systems(CNDS2011). Tehran, Iran, 2011,175-180.
- 3 Yu B, Yu D, Jia JY. BGP-based Topology-Aware Overlay Network for IMS. Proc. of IEEE IC-BNMT. Shenzhen, China, 2011,417-421.
- 4 Stoica I, Morris R, Karger D, Kaashoek MF, Balakrishnan H. Chord: A Scalable Peer to Peer Lookup Service for Internet Applications. Proc. of the 2001 SIGCOMM conference, New York, NY, USA, 2001,31(4):149-160.
- 5 Parisi G, Xylomenos G, Apostolopoulos T. DHTbd: A Reliable Block-based Storage System for High Performance Clusters. International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid2011). Los Angeles, USA, 2011,292-401.
- 6 于波,于东,孙建伟.马尔科夫决策过程在多路径冗余传输调度算法中的应用.小型微型计算机系统,2012,33(4):847-851.

(上接第42页)

## 5 结语

仿真实验表明,基于蚁群算法的调度有效地解决了资源中心和用户之间的调度问题,提高了资源下载效率,更好地实现了资源共享和及时更新.由于网络中不确定性因素的影响,在未来的工作中将把系统应用到实践中,并根据实际情况进一步改善优化调度方法提高系统性能.利用智能Agent、规则推理等技术针对用户的个性需求为用户提供智能性资源服务体系.

### 参考文献

- 1 荆永君,钟绍春,李昕.基于Web Service的分布式教育资源配送系统设计.中国教育信息化,2008,(7):56-57.
- 2 姚怡星,高阳.网络资源调度研究.计算机应用研究,2005,(5):23-26.
- 3 段培俊,周东岱,程晓春.基于Multi-Agent技术的教学资源个性化服务模型研究.东北师大学报(自然科学版),2006,(2):31-35.
- 4 王鹤,邵良杉,任建华,邱云飞,等.蚁群算法在渤海内支线集装箱运输网络优化中的应用.计算机系统应用,2010,19(12):172-176.
- 5 彭晓明,何炎祥,朱兵舰.蚁群算法在Web服务组合中的应用.计算机工程,2009,(10):182-187.
- 6 曾智斌,许力.云计算中高能效的虚拟资源分配策略.计算机系统应用,2011,20(12):55-59.
- 7 Dorigo M, Stutzle T. Ant Colony Optimization. MIT Press, Cambridge, MA, 2004.
- 8 白明,张健.可行解优先蚁群算法对车辆路径问题的求解.计算机系统应用,2009,18(1):110-113.
- 9 单志广,戴琼海,林闯,等.Web请求分配和选择的综合方案与性能分析.软件学报,2001,12(3):355-366.