

IMS 可管理 P2P 流媒体应用服务器的设计与实现^①

肖诗泉^{1,2}, 孙建伟¹, 林镜华^{1,2}

¹(中国科学院沈阳计算技术研究所, 沈阳 110171)

²(中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 基于 IP 多媒体子系统的流媒体系统采用的都是传统的客户端/服务器 (Client/Server, C/S) 架构, 当大量用户同时请求流媒体服务时, 中心媒体服务器将成为整个系统的性能瓶颈。在参考 ETSI TISPAN 制定的 IMS-based IPTV 架构基础上, 给出了基于 IMS 的可管理 P2P 流媒体系统架构, 并根据引入 P2P 技术的系统需求设计了可管理 P2P 流媒体应用服务器的软件模块结构及 P2P 分发树的构建算法。在原有基于 C/S 架构的流媒体应用服务器基础上, 通过扩展集中管理和维护对等节点树 P2P 模块实现了媒体上传节点的选择, 并以直播业务为例进行了原型系统验证。测试结果显示该系统能够有效地将终端节点组织成 P2P 流媒体分发网络, 并有效地降低了媒体服务器的压力, 提升了流媒体系统的性能。

关键词: IMS; P2P; IMS-based IPTV; 流媒体; 应用服务器

Design and Implementation of an IMS Manage P2P Streaming Application Server

XIAO Shi-Quan^{1,2}, SUN Jian-Wei¹, LIN Jing-Hua^{1,2}

¹(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110171, China)

²(Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: IMS-based streaming media systems are used in C/S architecture. When numerous users request service simultaneously, the center streaming media server will become the bottleneck of system performance. After referring to ETSI TISPAN IMS-based IPTV architecture, we proposed an IMS manage P2P streaming system architecture, and designed an application server software module structure and P2P distribution tree construction algorithm according to the requirement of introduction P2P. Based on the original C/S architecture streaming application server, we implemented the selection upload node function by extending the centralized management and maintenance of trees P2P module, and verified prototype system in broadcast service. The test result shows that the streaming system can organize UE into P2P streaming media network effectively, and reduce the pressure of the media server and improve system performance.

Keywords: IMS; P2P; IMS-based IPTV; streaming; application server

1 引言

IP 多媒体子系统 (IP Multimedia Subsystem, IMS) 由 3GPP 标准组织在 R5 版本中提出, 是在 IP 网络上提供多媒体业务的通用体系架构, 能够满足终端用户多样化的多媒体业务需求^[1]。流媒体业务是 IMS 多媒体平台中的一类关键业务, 但流媒体业务同时具有带宽要求高、占用时间长、实时性要求严格等特点, 当

大量用户同时请求服务时, 中心流媒体服务器将会成为整个系统的瓶颈^[2]。

P2P (Peer-to-Peer, 对等网) 流媒体分发技术利用终端用户存在的大量闲置及上行网络带宽资源, 实现了流媒体系统的可伸缩性。因此, 将 P2P 技术引入到 IMS 流媒体系统中, 有可能大大提升整个业务系统的性能^[3]。如何将 P2P 技术引入到 IMS 流媒体系统中成

① 收稿时间:2010-08-27;收到修改稿时间:2010-10-12

为当前的研究热点。

本文在扩展 P2P 功能的 IMS 流媒体系统基础上,重点分析了流媒体应用服务器的功能需求及模块结构,并通过增加集中式管理 P2P 模块设计并实现了基于 SIP 会话控制的流媒体应用服务器。

2 IMS可管理P2P流媒体体系架构设计

2.1 IMS 可管理 P2P 流媒体业务体系架构

在 IMS 体系架构中引入的 P2P 技术,必须能够对 Peer 节点及重叠网的组建进行有效管理,否则 P2P 网络组织的自由性,容易对核心网及边缘路由的资源占用带来过大的压力,影响其它多媒体业务。

在参考 ETSI TISPAN 制定的 IMS-based IPTV 功能体系架构^[4],我们设计了如图 1 所示的 IMS 可管理 P2P 流媒体系统架构。该架构设计的基本思想是 P2P 技术只用于流媒体的传输,而信令控制及媒体协商依然采用 C/S 架构,即引入 P2P 技术后并不破坏 IMS 现有的标准体系架构,沿用其 SIP(Session Initiation Protocol, SIP)会话控制及 SDP(Session Description Protocol,SDP)媒体协商机制,实现对用户、业务鉴权的集中管理,并为 P2P 重叠网中对等节点间的媒体传输提供 QoS 保证。

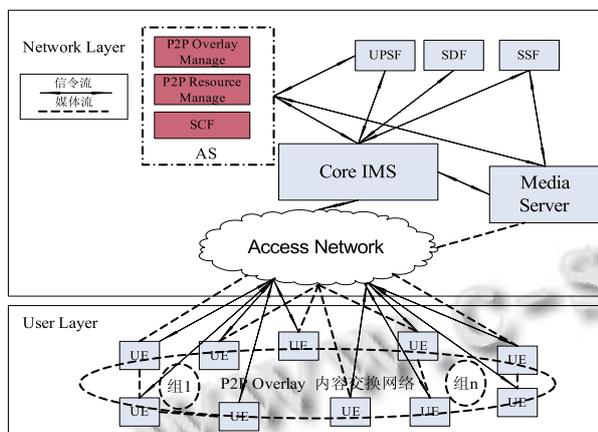


图 1 IMS 可管理 P2P 流媒体系统架构

如图 1 所示,该体系架构包括核心 IMS(包括 IMS 中的代理/问询/服务呼叫会话控制功能实体),应用服务器(Application Server, AS),签约数据服务功能实体(User Profile Server Function, UPSF),服务发现功能实体(Service Discovery Function, SDF),服务选择功能实体(Service Selection Function, SSF),媒体服务器和用户终端(User Equipment, UE)。核心 IMS 负责基本

的会话路由控制,AS 完成流媒体业务控制和集中式的 P2P 重叠网管理功能,UPSF 用来保存流媒体签约用户的用户信息、鉴权信息及运营商网络拓扑结构信息等,SDF 用来实现向终端设备 UE 提供业务附属信息,SSF 用来实现产生电子节目单 EPG 及节目展现信息的下载功能,媒体服务器具有媒体分发功能和响应应用服务器的控制功能,用户终端用来实现流媒体业务的网络接入、业务发起、媒体播放等功能。在该架构下,媒体服务器只需要给部分 UE 下发媒体流,其它 UE 的媒体流将由这些已获得媒体流的 UE 提供,从而降低媒体服务器的压力。

基于上述架构,用户终端 UE 实现流媒体业务的主要包括以下三个信令过程:注册和服务发现,发起流媒体业务请求,退出流媒体业务。下面以直播业务为例,给出扩展 P2P 功能后 UE 与网络侧诸多功能实体的流媒体业务信令过程。

2.2 信令过程设计

2.2.1 用户终端 UE 注册与服务发现的信令过程

用户终端 UE 首先注册到 IMS 核心网,IMS 核心网将注册请求转发给应用服务器 AS,AS 主动发送 MESSAGE 消息给 UE,在消息体中携带 SSF 服务器的地址及节目下载 URL 标识,UE 向 SSF 请求,SSF 根据签约内容将 EPG 信息传输给 UE,具体信令过程如图 2 所示。

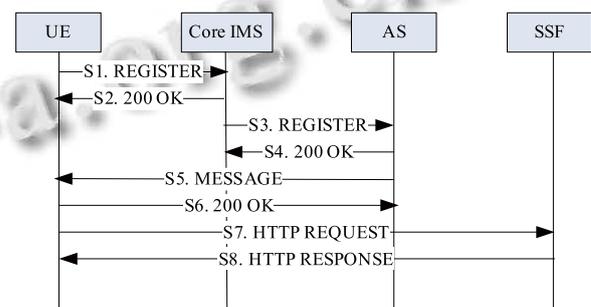


图 2 用户终端 UE 注册与服务发现的信令过程

UE 注册过程:

S1: UE 发送 REGISTER 消息给 Core IMS,请求注册;

S2: Core IMS 鉴权成功,返回 200 OK 消息给 UE;

S3: Core IMS 作为第三方注册代理代替 UE 向 AS 注册;

S4: AS 鉴权成功,向 CoreIMS 回复 200 OK;

S5: AS 主动发送 MESSAGE 消息给 UE, 并在消息体中携带 SSF 服务器的地址及节目下载 URL 标识;

S6: UE 收到 MESSAGE 消息获取 EPG 下载的服务服务器地址和 URL 信息后, 回复 200 OK 响应;

服务选择过程:

S7: UE 向 SSF 发送 HTTP 请求下载 EPG 等相关信息;

S8: SSF 根据 UE 特性及签约内容选择适当的 EPG 信息传输给 UE.

2.2.2 用户终端 UE 请求直播频道的信令过程

以用户终端 UE_B 请求频道为例, 如当前系统没有能提供媒体上传服务的节点则将由媒体服务器直接为 UE_B 分发媒体流, 其信令过程与 C/S 的 IMS 流媒体系统是一致的。如 UE_B 请求频道, 应用服务器的业务控制 (Service Control Function, SCF) 模块为 UE_B 选择的媒体上传服务节点为 UE_A, 则其中会话和 P2P 媒体传输通道建立的信令过程如图 3 所示:

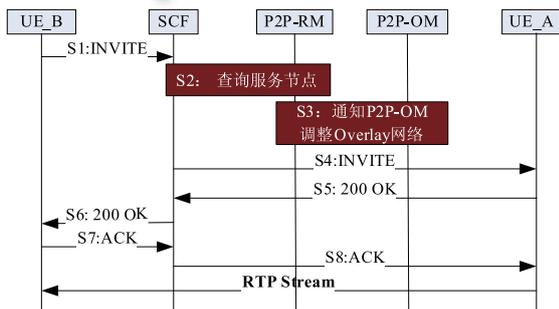


图 3 用户终端 UE 请求频道的信令过程

S1: UE_A 通过发送 INVITE, 向 SCF 请求观看频道, 同时在 SDP 中携带频道信息;

S2~S3: SCF 通过 P2P 资源管理 (P2P Resource Manage, P2P-RM) 模块为终端 UE_B 查询到服务节点 UE_A, 同时 P2P-RM 通知 P2P 重叠网管理 (P2P Overlay Manage, P2P-OM) 模块调整其维护的 Overlay 网络结构;

S4: SCF 将会以 SIP B2B UA 的方式代替 UE_B 向 UE_A 发起 INVITE 媒体资源请求;

S5: UE_A 收到 SCF 发送的 INVITE 请求, 同意为 UE_B 提供媒体服务并回送 200 OK 消息;

S6: SCF 将收到的 200 OK 转发给 UE_B;

S7~S8: UE_B 与 UE_A 通过 ACK 确认, UE_A 与 UE_B 之间的媒体传输通道建立完成, UE_A 为

UE_B 发送媒体流。

2.2.3 用户终端 UE 结束流媒体业务的信令过程

以用户终端 UE_A 退出系统为例, 如果 UE_A 没有为其它节点提供媒体上传服务, 则 UE_A 可以通过 BYE 消息直接退出系统。如果 UE_A 同时它还为 UE_B 提供媒体上传服务, 当 UE_A 退出时, SCF 将为 UE_B 找一个新的 UE_C 媒体上传服务节点, 具体信令过程如图 4 所示。

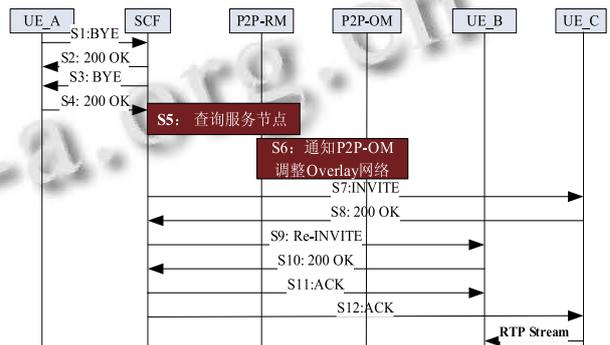


图 4 用户终端 UE 退出系统的信令过程

S1: UE_A 通过发送 BYE 消息, 结束当前直播业务的观看, 同时在 SDP 中携带当前收看的频道信息;

S2~S4: UE_A 与 SCF 之间结束会话;

S5~S6: SCF 通过 P2P-RM 为终端 UE_B 查询到服务节点 UE_C, 同时 P2P-RM 通知 P2P-OM 调整其维护的 Overlay 网络结构;

S7~S10: SCF 将会以 SIP B2B UA 的方式代替 UE_B 向 UE_C 发起媒体资源请求, 同时将向 UE_B 发送 Re-INVITE 请求, 通知其媒体源已变更为 UE_C; UE_B 和 UE_C 收到请求后回复 200 OK;

S11~S12: SCF 收到 UE_B 和 UE_C 回复后, 发送 ACK 消息, 此时 UE_B 和 UE_C 之前媒体传输通道已经建立, UE_C 将代替 UE_A 为 UE_B 提供媒体流;

流媒体业务信令过程中应用服务器的 SIP 角色是 SIP B2B UA, 应用服务器以 SIP B2B UA 形式为业务请求 UE 选择媒体内容上传者, 并代替业务请求 UE 与媒体上传者建立 SIP 会话以分配媒体传输通道。

3 IMS可管理P2P流媒体应用服务器的设计

3.1 应用服务器软件模块结构

在 IMS 可管理 P2P 流媒体系统架构中流媒体应用服务器是其核心的功能实体之一。根据上节信令过

程分析, 可知应用服务器主要完成业务控制和集中式的 P2P 管理两大功能, 据此功能需求, 本文设计了如图 5 所示的 IMS 可管理 P2P 流媒体应用服务器软件模块结构。

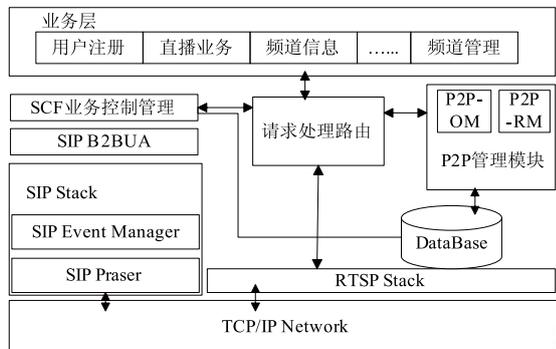


图 5 IMS 可管理 P2P 流媒体应用服务器结构

该结构中业务控制管理功能模块完成对用户、业务鉴权和频道请求、切换等流媒体业务管理功能, P2P 管理功能模块完成集中式 P2P 重叠网的构建和管理功能。SIP B2B UA 模块为业务请求 UE 选择媒体内容上传者, 并代替业务请求 UE 与媒体上传者建立 SIP 会话。SIP 协议栈解释 SIP 消息和管理 SIP 事件, 与 Core IMS 进行信令交互。用 RTSP 协议栈分析 RTSP 信令, 与媒体服务器进行交互。数据库中存放用户信息、鉴权信息及运营商网络拓扑结构信息。

其中业务控制功能模块 (SCF), 用来执行流媒体业务逻辑, 包括与 Core IMS 进行的信令交互和业务授权功能, 根据业务执行结果选择媒体服务器或提供内容上传的终端节点, 向媒体服务器或 P2P UE 查询媒体处理能力, 并将流媒体业务请求转发给选择出来的内容提供者;

其中 P2P 管理模块包括 P2P 重叠网管理 (P2P-OM) 和 P2P 资源管理 (P2P-RM) 两个子模块, P2P-OM 用来维护、管理各个频道的媒体的 P2P 节点列表, 并为新加入直播频道收看的终端或频道切换者选择媒体内容传输者的功能; P2P-RM 用来维护运营商提供的整体网络拓扑及路由配置信息, 为 P2P-OM 模块提供最终用于形成 P2P 组和选择服务节点的判决依据。

3.2 P2P 流媒体分发结构选择及算法设计

P2P 重叠网由流媒体应用服务器 AS 维护, 流媒体服务中 P2P 重叠网结构应用最多的是树结构和 Mesh 网状结构^[5]。树结构具有拓扑结构简单, 维护开销小,

时延可控等优点, 因此得以广泛应用。但存在如下缺点: 叶子节点不参与媒体转发, 资源利用率不高; 树中间节点的加入、离去对树结构调整较大。Mesh 结构具有系统简单而健壮, 适应对等网系统中节点扰动和暂态特性, 但其系统业务时延较大, 难以满足流媒体业务的 QoS 要求。考虑树结构易于进行集中式管理, 便于提供可靠的 QoS 保证等优势, 所以应用服务器的 P2P 重叠网结构依然选择树状结构。

流媒体分发树的构建有两种算法: 一种是以广度优先算法构建流媒体分发树, 广度优先算法中当新的节点要加入树中, 先判断当前节点能否为服务节点, 如果能则加入成功, 否则从该节点的孩子节点中选取服务节点。深度优先算法与广度优先不同, 当新的节点要加入树中, 先从当前节点的孩子节点中选取服务节点, 如果所有的孩子节点都不能成为服务节点再判断当前节点是否能成为服务节点。以图 6 为例, 假设当前应用服务器已经维护好一个如图 6 所示的流媒体分发树, 标识 A(50, 3, 1) 表示 A 节点的延迟为 50 毫秒, 支持的上传媒体流数目为 3, 当前被占用的带宽资源为 1。该树中 A 为根结点, B 为 A 的孩子结点, A, B 都具有媒体转发功能, 此时 C 请求服务。应用服务器若采用广度优先算法, 因为 A 节点满足成为服务节点的条件, 所以不考虑孩子结点, 则将选择 A 做为 C 的服务节点, 然后为 A 与 C 建立会话与媒体传输的通道; 应用服务器若采用深度优先算法, 将优先从孩子节点中选取服务节点, 因为 B 节点满足成为服务节点的条件, 所以将选择 B 做为 C 的服务节点, 然后为 B 与 C 建立会话与媒体传输的通道。

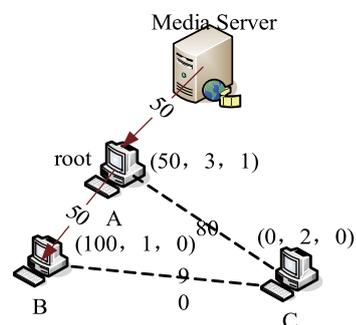


图 6 流媒体分发树的构建

算法中当前节点是否能成为服务节点是通过判断当前节点的可用带宽和累计延迟是否小于限定延迟来确定的。其中的累计延迟的计算是当前节点的延迟加

上当前节点到请求结点间的链路延迟。以图 6 为例, 设当前节点为 A, 请求结点为 C, 则累计延迟的计算是 A 的延迟 50 加上 A 与 C 之间的链路延迟 80 即 130。

4 IMS可管理P2P流媒体应用服务器的实现

现有基于 C/S 架构的 IMS 流媒体应用服务原型主要完成业务鉴权、媒体资源服务器查询、业务会话管理等功能。实现时其中的 SIP 协议栈基于开源项目 exosip 和 osip2 开发, RTSP 协议栈使用了开源项目 live555, 访问 MySQL 数据库客户端使用了 mysql-client。扩展 P2P 功能的流媒体应用服务器, 是在原有 C/S 结构的流媒体应用服务器上增加 P2P 流媒体分发树管理模块, 扩展后的软件体系结构如图 5 所示。该模块的功能主要是维护并存储所有终端节点的信息和构建并维护由终端节点组成的流媒体分发树, 下面重点阐述介绍集中式 P2P 管理模块的实现。

4.1 流媒体分发树的数据结构

为实现基于树的流媒体内容分发, 流媒体应用服务器为每一路节目维护相关节点信息, 为此定义 P2PNode 和 P2PTree 两个类对每一路节目维护的终端节点集合和树的逻辑结构进行信息存储。其中 P2PNode 节点的信息用标准 C++ 中的 map 集合类存储, P2PTree 树的信息用 list 集合类存储。两个类的数据结构定义如下:

```
typedef map<string,P2PNode*>::value_type node_
pair;
map<string ,P2PNode*>Nodes; //节点集合
list<P2PTree *>Trees; //分发树集合
class P2Pnode
{
private:
    int nodeId;
    string ip;
    .....
    int parentId;
    int Relay;
    list<int> childrenIds;
public:
    .....//定义公共接口
    list<int> *getChildrenList();
};
```

```
class P2Ptree
{
private:
    int rootId;
    int groupId;
    int treeId;
    .....//定义公共接口
};
```

其中 P2PNode 类中存储 P2P 终端节点的信息包括节点的标识 ID, IP 地址, 媒体转发端口, 延迟和带宽等。P2PTree 类中存储分发树的标识 ID, 组 ID 和根结点 ID 信息。每一路节目可以有多个流媒体分发树, 分发树的创建和删除由 Trees 集合进行管理。

4.2 流媒体分发树的构建算法实现

树广度的增加虽然可以减少转发延迟, 但对树内部节点的处理能力有更高要求, 系统的服务规模将会受到一定限制; 树深度的增加虽可减少树的广度, 但却带来较大的传输延迟。对于视频监控、现场直播等流媒体业务, 从媒体采集到 UE 播放的实时性要求较高, 所以应用服务器的实现采用了延迟较小的广度优先算法, 具体算法实现如下:

```
int AddNodeIntoTreeRootNode(P2PNode *pNode,
P2PNode *rootNode)
{
    if(rootNode->getFreeBandWidth()>=1&&(rootNode
->getRelay()+OnTestRelay(pNode,rootNode)<=LIMITR
ELAY))
        //可用带宽大于 1 且累计延迟小于限定延迟, 则该
        节点可以为服务节点
        {
            //找到合适的服务节点即合适的父节点, 需要设置
            节点之的关系
            return 1;//成功找到服务节点
        }
    else
        //遍历所有的孩子节点
        list<int> *pChildrens=NULL;
        pChildrens=rootNode->getChildrenList();
        if(pChildrens)
        {
            list<int>::iterator iter;
```

```

for(iter=pChildrens->begin();iter!=pChildrens->end(
);iter++)
{
    P2PNode*subNode=GetNodebyId(*iter
);
    return    AddNodeIntoTreeRootNode
(pNode,subNode);
}
}
return 0;//在该树中找不到合适的服务节点
}

```

集中式 P2P 管理模块的整个工作流程为：当一个新节点通过 INVITE 请求观看频道时，应用服务器从消息体中提取出该节点的信息并将创建一个 P2PNode 对象，将节点加入到该频道的 map 管理的节点集合当中，然后在该频道的树集合中，对每一个树都用广度优先算法为其选取服务节点，直到该结点成功加入该树中，即成功找到服务结点；如果所有树中的结点都不能为该节点提供服务，则应用服务器将会创建一个以该结点为根的新树，由媒体服务器直接为其服务，并将该树加入到该频道的树集合当中。因此，当用户观看节目时，媒体服务器只需要为部分 UE 节点发送媒体流，大部分剩余 UE 节点间通过 Core IMS 和 SCF 建立的 SIP 媒体传输会话实现媒体转发。

5 应用服务器的功能测试及性能测试

为了对应用服务器进行功能测试和性能测试，搭建了如图 7 所示的服务器测试环境。其中 Core IMS 平台选择德国 Fokus 研究所开发的 OpenIMSCore 开源项目搭建，该项目实现 IMS 核心网基本功能；媒体服务器采用 Videolan 开源项目提供的 VLC 搭建；IMS 流媒体终端 UE 是在与华为公司合作研发的 IMS-based IPTV UE 终端基础上扩展 P2P 功能，该终端除了具有标准 IMS 的 IPTV 客户端的网络接入、核心网注册、业务发现、电子节目单下载、业务发起、媒体播放等功能外，还包括 P2P 能力的表达、为 P2P 客户端提供流上传服务功能。测试过程中，UE 的所有会话建立、更新、终止的信令都经由 Core IMS 转发。

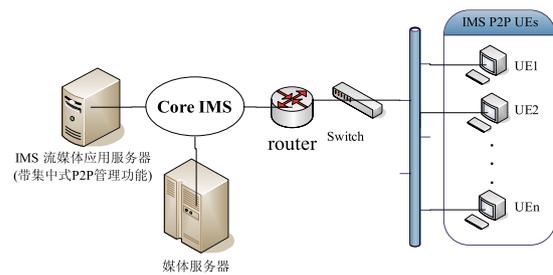


图 7 服务器测试环境

上述媒体服务器、应用服务器、Core IMS、UE 等均部署于 PC 机，除终端软件 UE 安装在 Windows XP 系统外，其余均安装在 Ubuntu Linux 系统上。

5.1 应用服务器的功能测试

功能测试的目标是检测应用服务器能否为流媒体终端 UE 提供服务发现，直播建立、频道切换和直播退出等功能。测试过程如图 8 所示，UE 首先向服务器发起注册请求，当 UE 收到 EPG 信息后，从 EPG 信息中选择要观看的节目，发起业务请求，然后进行频道切换。

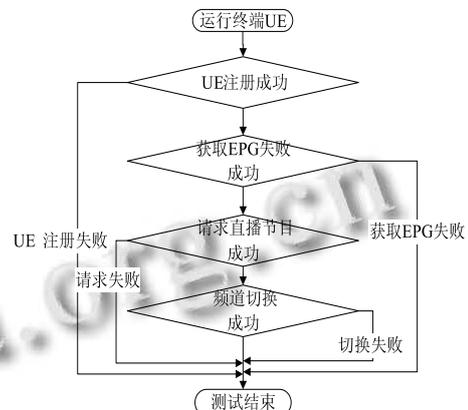


图 8 功能测试流程

通过测试，应用服务器能够正确地处理 UE 注册、频道观看、频道切换的请求，因此引入 P2P 技术并没有对流媒体业务功能产生影响，图 9 是终端 UE 观看直播频道的效果图。

5.2 应用服务器的性能测试

服务器的性能测试，本测试中首先由媒体服务器选择高清视频源创建直播频道 CCTV-2，然后 9 台运行 IMS-based IPTV UE 终端客户机依次向流媒体应用服务器请求观看 CCTV-2 频道，分别统计 UE，应用服务器和媒体服务器的信息，统计信息如表 1 所示。



图 9 流媒体应用服务器的功能测试终端效果图

媒体分发采用 C/S 结构，媒体流直接由媒体服务器下发给终端时，媒体服务器的压力过大，媒体服务器的 CPU 使用率和带宽使用率分别为 45%，95%，能够正常服务的终端数目为 3 个。使能 P2P 功能模块，媒体服务器的 CPU 使用率和带宽使用率分别下降了 15% 和 20%，能够正常观看节目的终端数目提升至 9 个，而终端 UE 的播放时延和应用服务器的压力却没有明显的增加。因此，引入 P2P 技术，有效地利用了终端节点的上行带宽，降低了媒体服务器的压力，提升了系统的整体性能。

表 1 的测试统计结果表明，禁用 P2P 功能模块，

表 1 性能测试表

	终端 UE 播放 时延	能服务终 端数	媒体服务器 CPU 使用率	媒体服务器的带宽 使用率	应用服务器 CPU 使用率	应用服务器内存 占用
禁用 P2P 功能	80ms	3	45%	95%	10%	40M
使能 P2P 功能	110ms	≥9	30%	75%	15%	45M

6 结语

本文在 IMS 中引入 P2P 技术实现可管理 P2P 流媒体系统架构基础上，设计并实现了支持 P2P 功能扩展的 IMS 流媒体应用服务器。其中 P2P 重叠网由应用服务器集中维护，Peer 节点选择也由 P2P 管理模块根据各个 UE 上报的剩余资源信息选择，然后应用服务器作为 B2B UA 为 Peer 节点间的内容传输建立 SIP 会话。最后通过搭建的测试环境对服务器进行了业务功能和性能测试，功能测试结果表明应用服务器能够正确地处理 UE 注册，频道观看，频道切换的请求，引入 P2P 技术没有对流媒体业务功能产生影响；同时性能测试结果表明，引入 P2P 技术能够有效地利用了终端节点的上行带宽，降低了媒体服务器的压力，提升了系统的整体性能，验证了 IMS 与 P2P 技术结合的可行性。

文中引入 P2P 技术后并没有涉及相应的数字版本管理等功能模块，同时流媒体分发树的构建算法，并不能根据 UE 节点的状态信息进行动态调整，这些将是下一步研究的内容。

参考文献

- 1 3GPP TS 23.228.IP Multimedia Subsystem (IMS) Stage2, Rel.7, V7.1.0.
- 2 Liotta A, Lin L. The operator's response to P2P service demand. IEEE Communications Magazine, 2007,45(7): 76-83.
- 3 Fiedler J, Magedanz T, Müller J. Extending an IMS client with Peer-to-Peer content delivery. Mobile Wireless Middleware, Operating Systems, and Applications, 2009,7: 197-207.
- 4 Draft ETSI TISPAN TS 183 063 v2.6.0: IMS-based IPTV stage 3 specification. http://www.etsi.org, Dec 8, 2009.
- 5 Mueller J, Magedanz T, Fiedler J. NNodeTree: A scalable Peer-to-Peer live streaming overlay architecture for next-generation-networks. International Journal, Network Protocols and Algorithms, 2009,1(2):61-84.