

软件定义内容网络中的实时媒体传输实现

张云灿,王 雷,高翔宇,王 格,王 嵩

(中国科学技术大学 自动化系网络传播系统与控制联合实验室,安徽 合肥 230027)

摘 要: 内容中心网络(CCN)的内容路由思想为高效视频分发提供了可能性. 协议无感知转发协议(POF)是对软件定义网络(SDN)OpenFlow 协议的扩展,能够支持位置无关的内容路由数据包. 在基于 POF 实现的软件定义内容网络(SDCN)上设计了一种实时媒体传输架构,并在实际环境中进行了部署与实验,结果证明了该方案的可行性与优势.

关键词: 软件定义内容网络;实时媒体传输;协议无感知转发;内容中心网络

中图分类号: TP309

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)09-0074-04

Real-time Media Transmission in Software-defined Content Network

ZHANG Yun-can, WANG Lei, GAO Xiang-yu, WANG Ge, WANG Song

(Joint Lab. of Network Communication System & Control, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: Content routing of Content Centric Network (CCN) provides the possibility of efficient video content distribution. Protocol oblivious forwarding is an extension of OpenFlow protocol of software-defined network (SDN). In this paper, we design a real time media transmission infrastructure based on software defined content network (SDCN) which is a prototype of CCN based POF. Then we deploy the plan in a real environment and do experiments. The results demonstrate the feasibility and advantages of the scheme.

Key words: SDCN; real-time media transmission; POF; CCN

1 引言

随着互联网技术的高速发展,网络内容呈现指数级增长,现有 IP 网络中实时媒体的传输方法需要建立一对一的连接,不仅会给发送方带来巨大压力,且容易导致网络拥塞,影响服务质量;而且,这种分发模式下,大量同样的内容副本在网络中传输消耗了大量带宽. 另一方面,人们关注的是内容本身而非内容的来源,传统的基于位置的端到端通信方式在移动性、多播等方面的支持也存在先天的不足.

内容中心网络(CCN)^[1]作为区别于传统的基于位置的 host-to-host 网络架构,以内容名字作为路由标识而不关心内容位置,这种路由特点让它在

实时媒体传输中也有这巨大优势. CCN 的 PIT 表让 Interest 层层汇聚,不必建立一对一连接,节省了带宽,减轻了发送方负担和链路传输压力. 文献[2]提出了一些利用 CCN 进行实时媒体传输的方案,但是这些方案多不完整,文献[3]提出了利用 CCNx 框架和 HLS 技术实现实时媒体播放,文献[4]的 NDNvideo 用类似 HTTP 下载文件的方式实现实时和点播视频流,上述两种方法使用纯 CCN 传输方案不能兼容现有的 IP 路由转发,难以实现网络的渐进演变.

鉴于 CCN 工作方式与当前 IP 网络的差异,以及 CCN 在内容分发方面的高效性,我们提出了一种基于协议无感知转发 POF 的 CCN 架构—SDCN

(软件定义内容网络),并以此为基础研究了一种能够区别实时媒体和普通数据的实时媒体传输方案,并在实际环境中进行了部署和实验.

2 软件定义内容网络

CCN 作为一种区别于传统 IP 转发方式的新型网络架构,其实现原理与现有网络差异较大,因此部署与实现方面有很多挑战. 软件定义网络 SDN^[5]也是未来网络演进的重要方向之一,它将控制平面和数据平面分离,使得网络具有高度可编程性和可扩展性,基于 SDN 的 OpenFlow 协议部署 CCN 是 CCN 实现的重要方式之一. 但是,利用 SDN 部署 CCN 仍然有一些困难:首先,目前 SDN 设备并没有缓存功能,不能满足 CCN 全节点缓存的需求;此外,现在的 OpenFlow 交换机仍然受限于 IP 路由,OpenFlow 的域定义也是受限的. 协议无感知转发 POF^[6]是华为提出的 SDN 的一项创新技术,目前正在与 P4^[7]竞争作为 OpenFlow2.0 标准的主体. POF 中的协议域和转发规则可以完全由用户自定义,POF 转发设备能够支持用户自定义协议,也能兼容现有协议. 我们提出的软件定义内容网络便是基于 POF 实现的内容中心网络,它能够支持不基于 IP 的内容路由,也能够很好地兼容现有的 IP 网络.

SDCN 架构如图 1 所示,这一架构中有三种类型的节点:控制器、内容服务节点,以及用户节点.

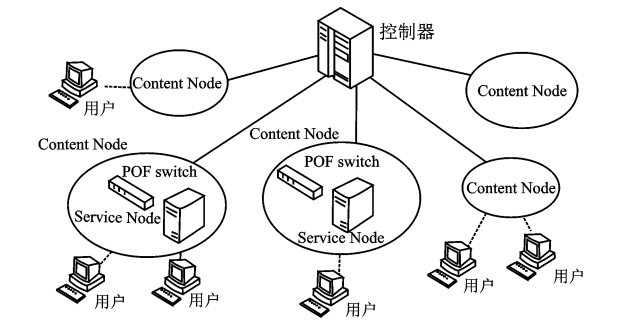


图 1 SDCN 架构

(1)控制器:即 POF 控制器,一个域内只有一个,为 POF 交换机下发流表,并对交换机的状态进行监视,制定合理的路由转发策略. 因为 POF 的协议无感知特性,转发都是根据控制器下发流表来的,因此可以同时支持基于内容名的路由和基于 IP 的路由,只需对相应协议分别下发流表即可.

(2)内容服务节点:由于 POF 交换机不具备缓存功能,因此交换机仅用来执行转发操作,核心主机负责完成 CCN 节点的路由和缓存功能.

(3)用户主机:作为 SDCN 用户节点,进行内容的发布、请求,以及收到内容请求时返回相应数据.

3 SDCN 中的实时媒体传输方案设计

本文提出的实时媒体传输方案包括三个组件:发送端、接收端、中间转发网络 Distribution Component. 发送端负责对视频进行流化,并对数据进行封装以便在 SDCN 网络中传输;接收端负责对 SDCN 数据包进行解封装,并进行播放;Distribution 组件即为我们的 SDCN 网络,通过内容路由的方式转发数据包.

3.1 命名规则

原始 CCN 中数据包的转发是由兴趣包驱动的,一个兴趣包对应一个返回的数据包,但是在实时媒体传输中,数据包是持续产生的,如果针对每一个数据包都有一个兴趣包来请求,那势必会产生大量的兴趣包占用带宽. 为此,我们可以采用将普通数据包和实时媒体数据包区分开的命名方式,当用户请求实时媒体数据时,只需要发送一次兴趣包,该兴趣包在 PIT 表中持续存在直到用户发出移除该请求的兴趣包,这样既可以持续收到数据包进行播放,又避免了不必要的带宽浪费;普通的数据包请求仍然遵循原始的 CCN 方式.

方案中对于实时媒体的请求添加特殊前缀,设计如表 1 所示. 使用 PushReq, Push 和 PushDel 作为实时媒体方案中的保留前缀. PushReq 前缀用于找到直播源,并确定用户和源之间的路径,Push 前缀用于建立路径之后的数据传输,PushDel 前缀用于用户移除该直播路径的时候使用.

表 1 命名

Message Type	Packet Type	Name
Push Request	Interest	PushReq/filename
Push Request	Data	PushReq/filename
Push Delete	Interest	PushDel/filename
Push Delete	Data	PushDel/filename
Normal	Interest	filename
Normal	Data	filename

3.2 传输模块(Distribution Component)

Distribution Component 借助于 SDCN 网络实现内容转发,在实时媒体传输时根据上节的前缀进行路由和数据转发,如图 2 所示. 实时媒体传输方案的传输流程描述所示.

Distribution Component 借助于 SDCN 网络实

现内容转发,在实时媒体传输时根据上节的前缀进行路由和数据转发,如上图 4 所示,实时媒体传输方案的传输流程描述如下:

(1)Server 是 SDCN 网络中的一个直播源,开始直播之后它会发一个 Advertisement 到网络中告知邻居节点们他在直播,该公告包公告 PushLive 文件,该文件中包含 Server 正在直播的节目名字,以便用户请求直播时使用.

(2)User 请求直播内容.首先请求 PushLive 文件,收到文件后 User 得知该直播的名字,在名字前加上 PushReq 前缀,发送“PushReq+直播名字”的 Interest 请求.

(3)中间路由器即 SDCN 节点收到 PushReq 的 Interest 请求,在 PIT 表中添加一条流条目,请求类型为 PR,区别于普通数据收到 Data 包即删除 PIT 表项,该类型的 PIT 表项会持续存在直到用户发出 PushDel 的请求.

(4)PushReq 请求路由到 Server 端,Server 端将数据封装后发送到网络中.

(5)User 不想在观看的时候发送 Push Delete 的请求.

(6)中间路由器收到 PushDel 的 Interest 包时,提取前缀后的名字与 PIT 表中 PR 类型流条目的 PushReq 中的内容名字进行匹配,若有匹配成功的,删除该 PR 类型的流条目,添加 PushDel 的流条目.

(7)PushDel 请求发送到 Server 端,Server 不在对数据进行封装发送,发送 PushDel 前缀的 Data 数据包到网络中,该数据包内容为空,沿途 SDCN 节点收到该 Data 包后删除 PIT 表中的 PushDel 流表项.

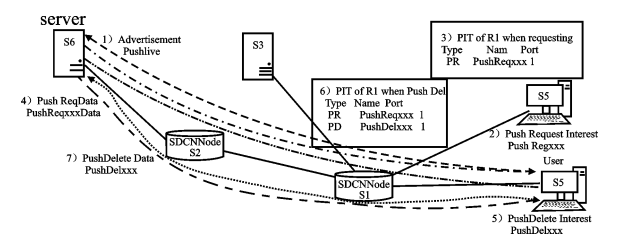


图 2 SDCN 中的传输(Distribution Component)

以上流程就完成了直播源公告,用户请求直播,数据转发,用户停止观看,流条目移除停止转发数据的这一流程.这一过程可以很好地兼容原始 CCN 的工作方式,而且能让中间节点区分出普通数据包和实时媒体数据包,便于之后分别制定有效的缓存

或是拥塞控制策略.

3.3 发送端和接收端设计

VLC 多媒体播放器是支持众多音频与视频解码器及文件格式,同时它也能作为流服务器使用.本文即采用 VLC 作为串流服务器和播放软件,采用 libpcap 函数库截取、封装数据包,完成发送端和接收端的功能.我们使用 VLC 搭建基于 UDP 串流服务器,约定在 Server 端使用 1 234 作为发送端口号,Client 使用 11 235 作为接收数据端口.值得说明的是,使用 UDP 串流时除了指明发送和接收端口之外 Server 端还需指明发送者 IP,但是这是在使用 IP 网络转发的情况,指明 IP 是为了数据包转发和接收时确定数据源,在我们的 SDCN 网络中,不再需要网络设备的标识,转发也仅仅依靠 PIT 和 FIB 表中的名字匹配.因此,Server 配置的 IP 仅仅在进入 SDCN 网络前转发有用,在 SDCN 网络中转发并不需要.

在 Server 端的处理流程如下:

Server 端流程

```
Begin
1. pcap_lookupdev()查找网络设备;
2. pcap_open_live()打开网络设备,若打开失败,回到 1;成功,执行 3;
3. pcap_compile() && pcap_setfilter 过滤 UDP 数据包;
4. pcap_loop()循环捕获数据包;
5. processPacket_send()处理循环数据包,封装发送数据包;回到 4.
End
```

在 Client 端的处理流程如下:

Client 端流程

```
Begin
1. pcap_lookupdev()查找网络设备;
2. pcap_open_live()打开网络设备,若打开失败,回到 1;成功,执行 3;
3. pcap_compile() && pcap_setfilter 过滤 SDCN 数据包;
4. pcap_loop()循环捕获数据包;
5. 使用 Push 前缀对捕获的数据包进行过滤得到实时媒体数据包
6. 建立 UDP socket,解封处理数据包,发送到指定端口;回到 4.
End
```

4 实验与分析

基于上述设计我们在实际环境中进行了部署,拓扑如图 2 中的连接.六台机器均使用 Ubuntu14.04 版本操作系统,S1 和 S2 安装 1.1.9.013 版本的 POFswitch,S3、S4、S5 和 S6 上运行 SDCN 内容路

由程序以及 VLC,作为 SDCN 控制器的主机没有在此拓扑中画出,控制器采用 1.1.9 版本的 POFcontroller. S6 作为 Server,运行 Server 端发送程序;S4 和 S5 作为 Client,运行 Client 端接收程序. 实验流程如下:

首先,Controller 向两台交换机 S1 和 S2 下发流表, S6 使用 VLC 流媒体服务器发送实时媒体数据,并发送 advertisement 包到网络中公告 PushLive 列表;用户 S4 想要请求内容,发送 Interest 包请求 PushLive 列表获得一个直播内容的名字;S4 构造 PushReq 前缀的 Interest 并发送到网络中,沿途 PIT 表添加流表项,并将该 Interest 包路由到直播源处;直播源 S6 处得到请求,调用 Server 端发送程序,实时媒体数据经过该程序处理后沿 PIT 表的端口发送到用户端;用户端调用 Client 程序处理收到的数据包并用 VLC 播放器观看节目.

另外,上文提到 CCN 具有流量汇聚天然多播的特性,而且利用 CCN 实现实时媒体传输可以不必建立一对一连接,这一特性在 SDCN 也适用. 为了验证,我们让 S5 也请求观看直播, S5 发送的 PushReq Interest 包并没有在 S5 和 S6 之间单独建立一条路径. Interest 包在经过 S1 时即可实现汇聚, S1 会在 PIT 相应表项中添加发往 S5 的 port 信息, S2 和 S6 不会收到 S5 发送的 Interest 包;数据在发送到 S1 时会根据 PIT 记录的端口信息同时向 S4 和 S5 发送实时媒体数据. 观看结束后, S4 和 S5 发送 PushDel 请求, S6 收到停止观看的请求后发送一个 PushDel 的 Data 包,沿途节点删除 PIT 相应流条目,观看结束.

实验结果表明,此方案可以实现 SDCN 网络中通过内容名字路由的实时媒体传输;而且采用区分普通数据和流媒体数据的方案,有效减少了实时媒体传输中 Interest 包占用有效带宽;SDCN 网络的流量汇聚也大大减少了网络中的冗余数据

5 结束语

随着网络的发展,实时媒体播放的需求越来越大,当前 IP 网络的架构模式并不能很好满足内容分发的需求. 本文在基于 POF 的 CCN 原型—SDCN 网络中提出了区分普通数据和实时媒体数据的传输

方案,针对实时媒体的特性采用 long interest,之后将该方案在实际环境中进行了部署,实验结果证明该方案可行,且能有效减少网络传输时的冗余数据. 该方案在利用 POF 的协议无感知特性的同时也兼容现有 IP 网络协议,因此可以有效实现网络的渐进演进. 下一步的工作包括拥塞控制,流量控制和缓存策略等以提高播放质量和方案的健壮性.

参考文献:

- [1] 夏春梅,徐明伟. 信息中心网络研究综述[J]. 计算机科学与探索, 2013, 7(6): 481-493
- [2] Kim K, Choi S, Kim S, et al. A push-enabling scheme for live streaming system in content-centric networking [C]//Proceedings of the 2013 workshop on Student workshop. Santa Basbara, CA, USA; ACM, 2013: 49-52.
- [3] Xu H, Chen Z, Chen R, et al. Live streaming with content centric networking[C]//Networking and Distributed Computing (ICNDC), 2012 Third International Conference on. Santa Basbara, CA, USA; IEEE, 2012: 1-5.
- [4] Kulinski D, Burke J. Ndnvideo: Random-access live and prerecorded streaming using ndn[R]. Technical Report NDN, 2012.
- [5] E Summary. ONF Market Education Committee. Software-defined networking: The new norm for networks [EB/OL]. [2015-12-10]. <http://connection.ebscohost.com/c/articies>.
- [6] Song H. Protocol-oblivious forwarding: unleash the power of SDN through a future-proof forwarding plane [C]//Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Hot topics in software defined networking. Washinyton, DC, USA; ACM, 2013: 127-132.
- [7] Bosshart P, Daly D, Gibb G, et al. P4: Programming protocol-independent packet processors[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2014, 44(3): 87-95.

作者简介:

张云灿 女, (1993-), 硕士研究生. 研究方向为未来网络、SDN、CCN. E-mail: yuncan@mail. ustc. edu. cn.