

IPTV 业务传输模式性能分析与仿真

张 翠,秦雅娟

(北京交通大学 电子信息工程学院,北京 100044)

摘 要: IPTV 作为互联网宽带视频应用的一种主要业务得到了快速发展。目前, IPTV 业务在骨干/城域网中主要采用动态和静态两种组播路由模式。为了研究不同组播路由模式的适用场景, 针对上述两种模式分别在时延和吞吐量上进行了理论分析和比较, 并在不同的用户场景下进行了仿真测试。结果表明, 当 IPTV 用户较少时, 应采用动态组播模式以节省网络带宽资源; 而在业务大规模部署后, IPTV 用户大量增加, 同时在线的 IPTV 频道数增多, 动态组播模式在节省网络带宽资源上并没有显著优势, 这时则应采用静态组播模式以实现频道间的快速切换。

关键词: IPTV; 静态组播; 动态组播; 网络模拟

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)09-0213-05

Performance Analysis and Simulation of IPTV Transmission Models

ZHANG Cui, QIN Ya-juan

(School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong
University, Beijing 100044, China)

Abstract: As an important application of the Internet broadband multimedia, IPTV is developing rapidly. There are two transmission models used in present backbone/MAN, static multicast model and dynamic multicast model. In order to estimate these two multicast models, give analysis and comparison in time delay and throughput of the two models. Additionally, simulation is given in different user models. The results show that the dynamic multicast model should be adopted to save the resources of bandwidth in the early deployment phase when there are fewer users, while the static multicast model should be adopted to save channel switch time in the mature phase when there are many users and almost all IPTV channels are online at the same time, for dynamic multicast module has no remarkable advantage in saving bandwidth then.

Key words: IPTV; static multicast; dynamic multicast; network simulation

0 引 言

IPTV^[1]是一种运行在 IP 网络上的新型宽带应用和新流媒体技术,其利用宽带 IP 网络作为传输网,通过 IP 网络可以提供满足 QoS/QoE^[2](Quality of Experience, 体验质量)要求的、安全的、可交互的、可靠的多媒体服务,具体包括电视、视频、语音、图形、数据等。

IPTV 的主要标准化工作由 ITU FG IPTV 来制定,而且已经得到了国内外多家网络运营商和设备供应商的大力支持。华为、中兴通讯、朗讯等宽带网络技术提供商都在积极推广各自的 IPTV 平台解决方案,

并开展了前期部署工作,但由于缺少相关的政策导向,无法有效定义其业务模型、盈利模式、用户群和需求,目前 IPTV 还尚未大规模部署应用。

实现 IPTV 业务的基础是 IP 网络技术^[3]。IPTV 在数据发送者和接收者之间实现一对多关系的电视节目数据的传送。因此,在设计上 IPTV 业务主要采用组播技术实现^[4],可以节省大量的网络带宽^[5],提高 IP 承载网的容量。

目前, IPTV 组播技面临着许多有待解决的问题。在业务传输方面, IPTV 的研究热点是组播复制点以及组播路由模式的选择。文中分析了 IPTV 业务中动态组播路由与静态组播路由的时延和吞吐量,并在不同应用场景下对两种组播路由模式进行了仿真测试和结果分析,最后给出了不同组播路由方式的具体适用场景。理论分析和测试结果对于 IPTV 业务的大规模部署和应用具有一定的借鉴意义。

收稿日期:2009-12-30;修回日期:2010-03-08

基金项目:国家 863 项目(2007AA01Z202)

作者简介:张 翠(1984-),女,河北人,硕士研究生,研究方向为组播理论及其应用;秦雅娟,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为下一代互联网体系架构和无线通信。

1 IPTV 业务传输模式

IPTV 采用组播技术实现已经成为业界的共识,其典型的网络模型如图 1 所示,主要包括节目源端、核心网、接入网和用户接入设备四部分^[6]。

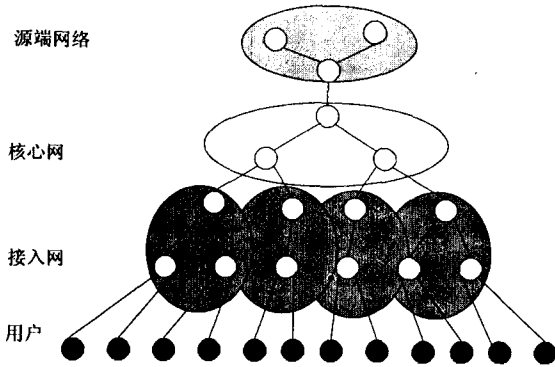


图 1 IPTV 网络模型

目前,IPTV 组播网络中将组播数据流送抵用户的模式有两种,即动态组播和静态组播模式,也叫做被动申请模式和主动申请模式。

1.1 动态组播模式

动态组播模式通过各级网络路由设备启动组播路由协议,建立组播源到接收者之间的组播树。在用户和接入网之间运行 IGMP^[7]协议,当某用户发送 IGMP“join”消息,即加入组消息时,建立到该用户的组播树分支,并向该用户转发组播数据;用户发送 IGMP“prune”消息,即离开组消息时,停止向该用户发送组播数据,同时,删除到该用户的组播树分支。

运行在核心网的组播路由协议包括密集模式协议和稀疏模式协议两类。目前使用比较广泛的是协议无关组播密集模式 PIM-DM^[8]协议和稀疏模式 PIM-SM^[9]协议。PIM-DM 采用“推”的模式,首先认为网络中有大量接收者,进行周期性的扩散、剪枝;PIM-SM 采用“拉”的模式,根据用户的需要分发组播数据,在没有用户加入组播组时,不扩散组播数据,能够降低网络负载,最大限度地提高网络带宽利用率。因此,IPTV 骨干网中主要采用 PIM-SM 路由协议。应用 PIM-SM 协议实现动态组播路由的具体流程如图 2 所示。PIM-SM 采用了汇聚点机制,所有组播数据发送给汇聚点(Rendezvous Point, RP),由 RP 将数据传送给接收者。这里认为组播源首先向 RP 进行了注册。用户首先发送加入消息给其上游组播路由器,建立(*,G)状

态,并继续向其上游邻居转发加入消息。一旦创建从用户上游路由器到 RP 路由器的(*,G)状态,则从 RP 到主机的组播树就建立起来了,组播组 G 的数据就能通过 RP 下行发送到加入该组的用户。当用户发送剪枝消息时,上游组播路由器停止转发数据,并删除相应的(*,G)状态,通向 RP 沿途的所有路由器删除该组播状态,即删除该组播路径。

1.2 静态组播模式

相对于动态组播,静态组播的不同之处是组播源到接收者上游组播路由器的组播树是通过静态配置事先建立好的,组播树一直存在,实现组播数据的透明传输;同时不会随着组成员的离开而删除组播树分支。组播数据延静态配置的组播路径发送到用户上游的组播路由器,无论用户是否请求接收组播数据,这个设备已经事先加入了组播组,一旦用户提出加入请求,可以立即接收到组播数据流。静态组播中用户的加入、离开过程较简单,如图 2 所示。上游组播路由器接收到用户的加入消息,向其转发组播数据;接收到剪枝消息则停止转发数据。

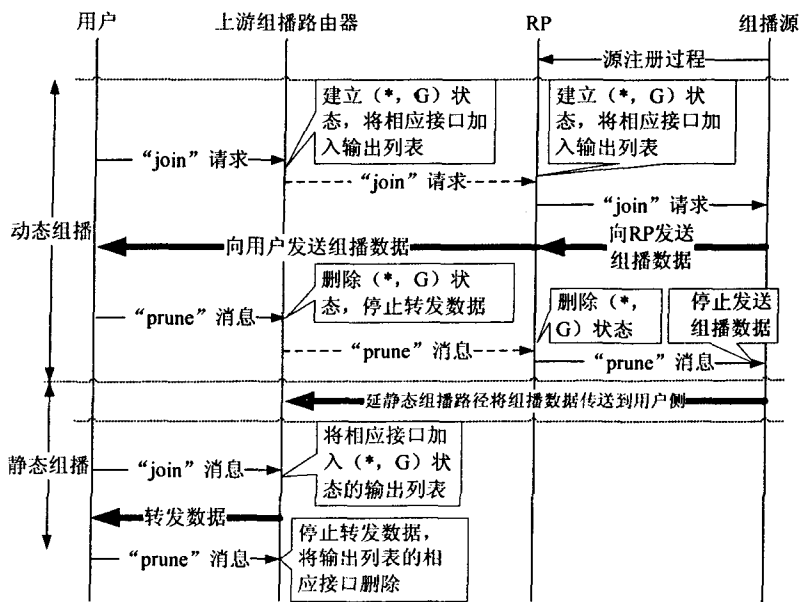


图 2 动态组播和静态组播的协议流程

2 组播模式比较

静态组播和动态组播各有优劣,合理地选择业务传输模式,能够提高网络资源的利用率和服务质量。文中着重从加入时延、离开时延、吞吐量三方面比较动态组播和静态组播的性能。

2.1 加入时延分析

文中定义加入时延为用户发出加入请求到接收到组数据的时间间隔,也即频道切换时延^[10]。在动态组播路由中,只有当用户请求加入组播组时才通过 PIM

- SM 协议建立组播分发树,从组播源获得组播数据。当网络规模增大时,加入消息的传输时延以及各节点路由器对消息的处理时延会随之增大。而静态组播则不同,它只需将加入消息告诉上游组播路由器,路由器处理完加入消息后立即向该用户转发组播数据。下面给出加入时延的具体形式。

假定网络中每个节点路由器对组播消息处理的能力相同,设平均消息处理时延为 d_s ;单跳链路的平均传输时延为 d_t ;动态组播中成员的加入时延与该成员距离组播源的距离(即跳数)有关^[11],这里考虑用户的平均加入时延,假设用户到组播源的平均跳数为 h_{avg} ,则动态组播的加入时延为

$$d_{jd}(h_{avg}) = 2(d_t + d_s)h_{avg}$$

(1)

静态组播的加入时延为

$$d_{js} = 2(d_t + d_s)$$

(2)

因为不可能所有用户都直接连接组播源,所以有 $h_{avg} > 1$,结合(1)、(2)得 $d_{jd} > d_{js}$,且 d_{jd} 会随 h_{avg} 的增大而线性增长。显然,当网络规模较大时, h_{avg} 较大,这样,动态组播的加入时延就会较大,而静态组播的加入时延则不受该因素的影响。

2.2 离开时延分析

文中定义离开时延为用户发出剪枝消息到停止接收组播数据的时间间隔,包括用户剪枝消息在链路中的传输时延、上游路由器对离开消息的处理时延以及确认用户剪枝消息之前发送的最后一个数据包传输到用户的时延。对于用户来说,动态组播和静态组播两种模式中用户的离开过程是相同的,只是动态组播模式还需要根据用户的剪枝消息删除相应的组播路径,但是这个过程对用户来说是感觉不到的。

设用户到上游节点的传输时延为 d_t ,节点对用户离开消息的处理时延为 d_p , d_{ld} 为动态组播的离开时延, d_{ls} 为静态组播的离开时延,则有:

$$d_{ld} = d_{ls} \approx 2d_t + d_p$$

(3)

即静态组播和动态组播中用户离开时延是一致的。

2.3 吞吐量分析

吞吐量定义为某链路上单位时间内的数据流量,文中采用平均吞吐量。吞吐量可以体现 IPTV 业务对网络带宽的消耗情况。

在动态组播路由模式中,网络只传送用户请求接收的组播数据,因而可以节省中继带宽。静态组播通过静态配置组播路由,把节目源数据拉到用户侧,无论有无接收者,组播数据始终在网络中传送,造成一定的网络带宽资源的浪费。下面给出吞吐量的定量计算。

假设 IPTV 频道总数(即组播源数目)为 M ,某小区用户观看的频道数为 $N(N \leq M)$,每个节目源需要的平均带宽为 r ,计算 RP 到该小区用户上游组播路由器间链路的吞吐量。

采用动态组播模式时链路的吞吐量,即所需带宽 $W_d = N \times r$;采用静态组播模式时所需要的带宽为:

$$W_s = M \times r = \frac{M}{N}W_d$$

(4)

因为在线的 IPTV 频道数 N 与 IPTV 频道总数 M 存在 $N \leq M$ 的关系,因此有 $W_d \leq W_s$,即动态组播路由模式占用的带宽不会高于静态组播模式。静态组播占用恒定的带宽,且始终是动态组播模式的最大值。通过以上分析得出,动态组播较静态组播能够节省一定的带宽,但是会给用户带来较大的加入时延;而静态组播则是在牺牲带宽的前提下缩短了用户的加入时延。为了更好地分析这两种模式的适用场景,下文将通过仿真测试做进一步的分析。

3 IPTV 业务传输模式仿真环境

3.1 仿真环境

根据 IPTV 的组网方式,网络拓扑分为核心网(Transit 域)、接入网(Stub 域)以及 IPTV 节目源和用户,核心网和接入网中所有节点都支持组播。这里利用 NS-2^[12]中的拓扑生成工具 GT-ITM 建立 IPTV 组播模型。

在网络模型中设定 8 个组播源,20 个 IPTV 用户,具体参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数列表

符号	意义	取值
M	频道数	8
h	跳数	1~11
N	在线频道数	$N < M$
V	组播源速率	VBR(Variable Bit Rate):100~400kbit/s 变化

这里选择更具一般性的 VBR 即可变比特率作为 IPTV 业务的数据类型。

3.2 测试场景

仿真中, IPTV 动态组播模式采用 PIM-SM 协议实现用户的动态加入,在接收者发出加入请求后建立组播转发树。静态组播模式中,通过预先让用户上游的路由器加入组播组,建立和维护组播路径来模拟用户的静态加入、离开过程。

仿真分以下三个场景进行测试。

场景一: IPTV 频道数 M 较多,用户选择观看即在线的频道数 N 低于 M 值的 1/2,记作 $N \ll M$,文中用只有一个 IPTV 频道在线($N = 1, M = 8$)模拟该场

景。

场景二:用户很多,所有频道都有可能被选择,即 $N \approx M$,文中用所有 IPTV 频道都在线($N = 8 = M$)模拟该场景。

场景三: 随机用户行为场景:

设用户选择组的行为服从均匀分布,在某频道的驻留时间服从指数分布,其概率密度函数为:

$$f(x, \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

其中, $\lambda > 0, \lambda^{-1}$ 是该指数分布的均值。

仿真中模拟网络最繁忙的时候,即每个用户均随机选择一个组加入。

4 仿真结果分析

文中仿真了带宽足够前提下上述三个场景下不同组播模式的性能。

4.1 加入时延

在上述三种场景下测试动态组播和静态组播加入时延随用户到组播源距离的变化,结果如图 3 所示。其中场景二测得的加入时延为不同用户加入不同频道的平均时延。

由图 3 可得,三种不同场景下,测得的动态组播加入时延随着距离跳数的增加呈线性增长,而静态组播加入时延保持不变,这和 2.1 节的分析结果一致。主要是因为动态组播中要依靠加入消息向组播源传输的过程建立组播状态,生成组播树。

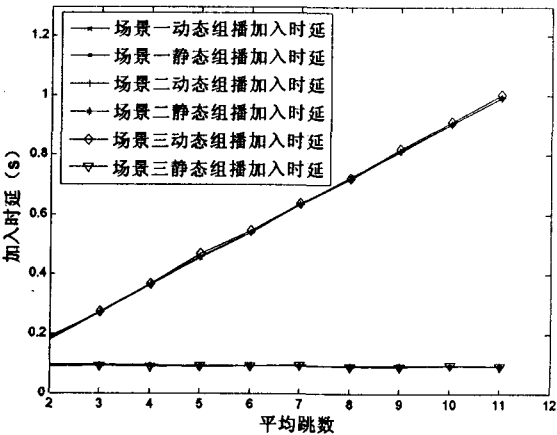


图 3 用户加入时延比较

同时,由图 3 可以看出,动态组播和静态组播的加入时延在三种场景下一致,说明在带宽足够的情况下,用户的加入行为对加入时延基本没有影响。

4.2 离开时延

三种场景下动态组播和静态组播离开时延随用户到组播源距离的变化测试结果如图 4 所示。

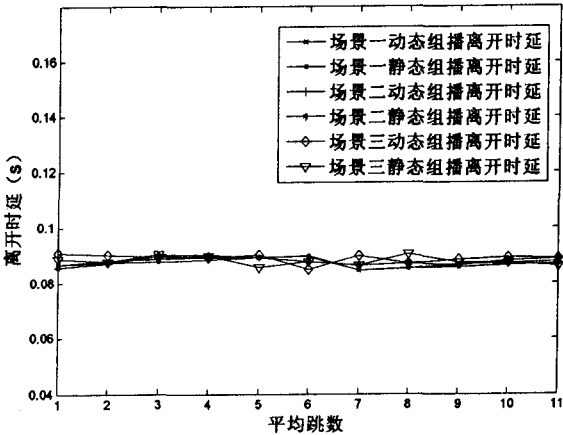


图 4 用户离开时延比较

场景二中用户的离开时延是用户离开不同频道的平均时延。可以看出动态组播和静态组播两种模式下的离开时延是一致的,符合 2.2 节中对离开时延的分析结果。静态组播和动态组播两种模式下对用户来说离开过程相同,动态组播路由分支的删除过程并不影响用户的离开时延。由图 4 还可以看出,在带宽足够的情况下,不同场景下离开时延在两种模式下的比较结果也是一致的,这说明离开时延与用户的加入、离开组的行为无关。

4.3 吞吐量

选择 RP 到用户上游组播路由器间的某段链路测量链路的吞吐量,这里选择 RP 到其下游邻居间的链路进行测量,结果如图 5 所示。

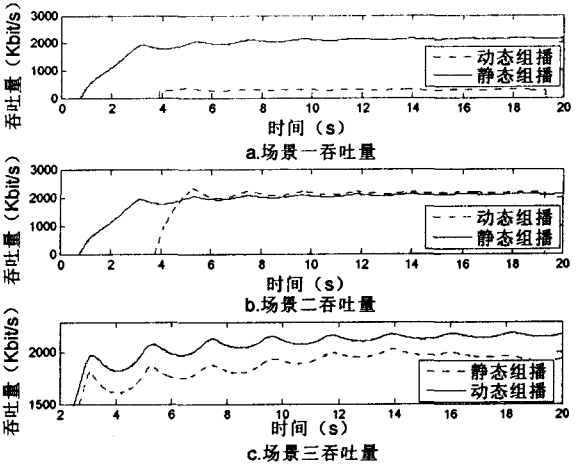


图 5 用户上游节点吞吐量

由图 5 中场景一吞吐量得出,当在线频道数较少时,采用动态组播模式可以明显降低网络带宽的消耗。从坐标数值上看静态组播占用的带宽约为动态组播模式的 8 倍;符合 2.3 节的分析结果。在此场景下有 $N = 1, M = 8$ 代入(4)式有 $W_s = 8W_d$ 。静态组播占用带宽较大主要是在该模式下,即使没有用户接收 IPTV 组播数据,也要占用网络带宽将数据都推到用

户侧;而在动态组播中只在用户有请求时,才向其传送请求接收的数据。

在场景二中业务传输开始以后,无论静态组播路由还是动态组播路由,所有组播数据都会在网络中传送,两者需要相同的带宽传送这些数据,动态组播并不节省带宽资源;而且, IPTV 业务不需要在网络骨干侧按需动态生成组播树,按需生成的路径往往就是所有业务提供到所有用户端时的路径;同时静态组播将所有频道的组播流推到用户侧,采用该模式更能满足用户频道间快速切换的要求。

从场景一到场景二,静态组播消耗的带宽没有变化,始终是动态组播的最大值;而动态组播占用的带宽迅速增加,它与 IPTV 用户的数量有关系,用户数量大,同时在线的频道多,占用的带宽就大。

在随机用户行为下,从吞吐量可以看出,动态组播模式下的吞吐量几乎总低于静态组播。这是因为,静态组播中,所有 IPTV 组播源数据都要传送到用户上游的组播复制点;而实际中,所有用户随机选择组播组,在同一时刻,并非所有 IPTV 频道都被观看,网络中的数据也不是所有 IPTV 组播源数据,因此,动态组播总能节省部分带宽。

5 结束语

针对 IPTV 部署中的业务传输模式问题进行了研究,并从时延和吞吐量性能方面进行了分析比较,在不同场景中对组播模式进行了仿真。结果表明,应该结合 IPTV 业务的发展规模及其用户量并根据各组播模式在不同场景下的性能来决定采用哪种组播路由模式。在 IPTV 业务部署初期, IPTV 用户以及同时在线的 IPTV 频道数都比较少,使用动态组播路由模式可以降低对网络带宽的消耗;在业务大规模部署后,随着 IPTV 用户的迅速增加,各节点下的用户群可能收看的频道数,即同时在线的 IPTV 频道数也会随之增加,这时采用动态组播并不节省网络带宽资源;而静态组播通过将组播流拉到用户侧,更能满足用户频道间快速切换的要求,因此,在这种情况下骨干网中应该采用静态组播方式。

参考文献:

- [1] Xiao Y, Du X J, Zhang J Y, et al. Internet protocol television (IPTV): The killer application for the next - generation Internet[J]. IEEE Communications Magazine, 2007, 45(11): 126 - 134.
- [2] Joe H. Challenges delivering high QoE in IPTV networks[J]. Electronic Products, 2009, 51(3): 386 - 395.
- [3] Lee Chae - Sub. IPTV over next generation networks in ITU - T[C]//in Proceedings of 2nd IEEE/IFIP International Workshop on Broadband Convergence Networks, 2007. Munich, Germany: [s. n.], 2007: 15 - 32.
- [4] Lee E M, Han Y T, Park H S. Rendezvous Point Relocation for IPTV Services with PIM - SM[C]//in Proceedings of Asia - Pacific Conference on Communications. Akihabara, JAPAN: [s. n.], 2008: 761 - 765.
- [5] Smith, Donald E. IPTV bandwidth demand: Multicast and channel surfing[C]//in Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM 2007). Anchorage, AK: [s. n.], 2007: 2546 - 2550.
- [6] Yu G, Westholm T, Kihl M, et al. Analysis and Characterization of IPTV user behavior[C]//in Proceedings of IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, 2009. Bilbao, SPAIN: IEEE Broadcast technology society, 2009: 650 - 655.
- [7] Fenner W. RFC2236, Internet Group Management Protocol, Version 2[S]. 1997.
- [8] Adams A, Nicholas J, Siadak W. RFC 3973, Protocol Independent Multicast Dense Mode (PIM - DM)[S]. 2005.
- [9] Fenner B, Handley M, Holbrook H, et al. RFC 4601, Protocol Independent Multicast Sparse Mode (PIM - SM)[S]. 2006.
- [10] Huseyin U. Channel change delay in IPTV systems[C]//IEEE Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2009. Las Vegas, NV, United States: [s. n.], 2009: 206 - 211.
- [11] Guan Jianfeng, Gao Shuai, Li Xin, et al. The analysis and simulation of multicast join delay[C]//in Proceeding of IC - NIDC2009. Beijing, China: [s. n.], 2009.
- [12] 徐雷鸣, 庞 博, 赵 耀. NS 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [13] Burg J P. Maxiflurl entmpy spectral analysis[D]. Stanford, CA: Dept. of Geophysics, Stanford Univ., 1975.
- [14] Huang N E, Shen Z, Long S R. The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert spectrum for Nonlinear and Non - Stationary Time Series Analysis[J]. Proc. R. Soc. Lond A, 1998, 454: 903 - 995.
- [15] 全球变暖研究中的应用[J]. 气象学报, 2001, 59(4): 480 - 490.
- [16] 罗 敏, 刘 松. 基于 Welch 算法的功率谱估计的实现[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2007, 25(3): 58 - 60.
- [17] 卢一相, 高清维, 张德详. 基于 AR 模型的齿轮箱振动故障检测[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(6): 250 - 252.

(上接第 212 页)