

一种基于视频转码与IP组播的媒体推送系统设计*

曾帅, 李乐民, 廖丹

(电子科技大学宽带光纤传输与通信网技术教育部重点实验室, 成都 611731)

摘要: 为了减轻源节点负载,提高带宽利用率,提出了一种新型媒体推送系统设计。所提系统结合了视频转码与IP组播技术特点,一方面继承IP组播的带宽优势,另一方面实现了多种格式及码率用户间的数据共享。在所提系统的具体组织形式上,提出了顺序模式与上传模式,并对两种组织模式进行了建模分析。在仿真实验中,对所提系统和现行系统进行了仿真实现和比较,结果显示,所提系统在带宽消耗和源节点负载性能上具有一定的优势。

关键词: 媒体推送; 转码; 组播

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2013)02-0521-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.02.056

Media distribution system based on transcoding and multicast

ZENG Shuai, LI Le-min, LIAO Dan

(Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission & Communication Networks, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: To reduce the server load and improve the bandwidth utilization, this paper proposed a new design of media distribution system. Based on the technique of transcoding and IP multicast, the proposed system took advantage of IP multicast in bandwidth utilization and implemented video data sharing with various formats and rates. It also proposed and analyzed two practical modes to organize the new design. It compared the new design with current ones in the simulation experiments. The results show better performances of the bandwidth utilization and the server load in the proposed system.

Key words: media distribution; transcoding; multicast

0 引言

随着通信与多媒体技术的发展,诸如网络电视、远程会议等媒体推送系统得到了越来越广泛的研究与应用。传统上,IP组播被看做是一种有效的视频传送手段。通过IP组播可以达到减轻源节点负载和节省网络带宽的目的。但是,尽管IP组播技术相当成熟,现行网络的软硬件条件通常仍然无法实现全局组播覆盖^[1]。另一种当前讨论较多的方案是基于应用层的视频分发。这种方案中,用户节点组建起一个基于应用层的覆盖网络,终端通过在覆盖网上的单播通信实现视频数据共享,不需要特定的软硬件条件。例如,目前流行的点对点视频系统就是一种比较典型的应用层视频分发系统。这两种方案各有其优缺点,IP组播资源利用率较高,而应用层视频分发具有更高的灵活性^[2]。

除了媒体推送技术的演进,笔者注意到近年来用户终端设备也得到了空前发展。除了传统的个人电脑、网络电视等大型设备,诸如智能手机、掌上电脑、平板电脑等越来越个性化的终端设备也加入到传统媒体推送系统中。这使得系统中的客户端与过去相比,可能拥有差异更大的软硬件条件和网络环境。一方面,不同设备由于其自身特点,通常拥有不同的屏幕大小或各自的视频分辨率与色彩深度。不同终端设备的用户对视频质量的要求也呈现出多样化倾向;另一方面,同类设备通常

具有相同或者相近的网络环境,利于组播设备的部署。但对于传统媒体推送系统来说,这些设备和用户需求的异质性导致其无法在单一系统中实现多种编码数据的传递与分享,而多个独立的传统媒体推送系统又势必增加部署成本。

为了解决这个问题,一些文献开始讨论将转码技术应用到应用层视频分发系统中^[3-6]。将转码技术与应用层视频分发系统结合之后,可以利用用户节点的计算能力将原始视频数据转码为各种需要的格式和码率,从而实现不同终端设备间的视频数据共享。但是正如前面所诉,基于应用层的视频分发系统相对传统IP组播承载方式的带宽利用率较低;而单一IP组播网又无法覆盖整个系统。本文考虑将视频转码技术与IP组播结合起来。本文提出的系统在能够进行IP组播的用户节点子集上面应用IP组播,而在这样的子集与子集之间应用视频转码技术将整个系统连接起来。具体来说,如图1所示,将具有相同编码并能实现IP组播的终端组成多个子系统,在子系统内部部署IP组播,而在子系统之间应用转码技术将视频节目转换为其他子系统适应的编码方式,再通过应用层视频分发方式将数据发送到相应子系统。整个系统同时继承了IP组播与应用层视频分发的优点,并且实现了不同编码终端间的数据共享。本文进一步提出了两种系统组织模式,即顺序模式和上传模式,并将在后面的章节对这两种模式进行数学建模和性能讨论。同时还对现行系统和所提系统进行了仿真比较,实验结果

收稿日期: 2012-06-19; 修回日期: 2012-07-27 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60972030,61001084); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(ZYGX2010X001)

作者简介: 曾帅(1982-),男,重庆人,博士,主要研究方向为点对点流媒体系统(maillinger@gmail.com); 李乐民(1932-),男,院士,教授,博导,主要研究方向为宽带通信网; 廖丹(1980-),男,副教授,主要研究方向为多媒体业务平台。

显示,与现行设计相比,所提系统在源节点负载、带宽资源利用等方面具有一定的优越性。

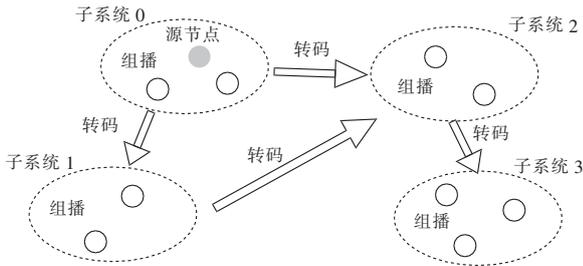


图 1 所提系统示例

1 系统总体描述

如引言中所述,在所提的媒体推送系统分为多个子系统,子系统的内部部署 IP 组播,子系统与子系统之间通过转码和应用层共享数据。将包含视频源服务器,即源节点的子系统称为子系统 0,将其他子系统按视频质量从高到低依次称为子系统 1、子系统 2 等,以此类推。如图 2 所示。a) 包含源节点的子系统 0 中有一个出节点。出节点负责视频数据的转码和上传工作。这可以是源节点本身,也可以是普通的用户终端。b) 除了包含源节点的子系统 0,其他子系统中都有一个入节点,该节点负责接收来自其他子系统的上传数据,并负责将数据组播给所在子系统的其他节点。c) 除了子系统 0,其他子系统中可能包含一个出节点也可能不包括,这主要取决于子系统是否有下游子系统。例如图 2 中的子系统 2 就没有出节点。与子系统 0 中的出节点一样,这些出节点同样负责转码和数据上传工作。d) 每个子系统有一个支撑流率。支撑流率是指子系统内节点能够顺畅播放视频所需的最小接收速率。由于子系统内部部署的是 IP 组播,所以只需每个子系统入节点的接收流率达到支撑流率即可实现子系统内部所有节点的正常播放。e) 当下游子系统获取视频数据不能达到支撑流率时,由源节点负责转码与上传工作,将视频数据补充完整。即当某个子系统所有上游子系统的出节点上传带宽耗尽仍不能满足所需的支撑流率时,由源节点补充。源节点可以被看做一个特殊的出节点。关于在一个子系统中如何选择、指派出入节点,在文献[1,7,8]中有讨论。本文并不限制其具体选择算法,而是主要研究各个子系统之间的上下游组织关系以及带宽分配问题。

在实际运行时,首先,源节点通过 IP 组播承载方式将原始视频数据发送到子系统 0 的所有节点上。然后,子系统 0 的出节点将原始视频数据转码为所需格式及码率上传到其他相应的各个子系统中。各个子系统的入节点负责接收来自上游子系统的视频数据,并将视频数据通过 IP 组播方式发送给所在子系统的其他节点。而各子系统中的出节点再一次将视频数据转码为更下游各个子系统所需格式及码率,进一步上传给更下游的各个子系统。当某子系统接收到的所有上游视频数据仍然无法满足其支撑流率时,开销源节点上传带宽加以补充。反复这一过程,最终达到全网不同类型不同格式及编码率的终端设备都获得相应的视频数据。

一个值得注意的问题是,基于转码技术的视频推送系统必须考虑视频质量的不可逆性。也就是说只有视频质量更高的数据才能转换为视频质量较低的格式,而反过来则不行。所

以,各子系统之间的上下游关系如何组织,即谁上传谁下载,以及各个上传进程的带宽如何分配等成为整个设计的核心问题。

2 组织模式与建模

所提媒体推送系统设计的一个关键问题在于如何组织和连接多个子系统,以及子系统之间共享数据时如何分配带宽。由于所提系统是基于视频转码的设计,其组织形式必然受到多种视频数据共存这一特点的制约。具体来说,如第 1 章所述,子系统是由视频质量由高到低逐次命名的,所以对于给定的子系统 i ,它所播放的视频数据只能转码为视频质量低于它的视频数据,即只能作为子系统 $j(j > i)$ 的上游子系统。另外,源节点和子系统 0 中的出节点的上传能力也是整个系统性能的关键影响因素。为了便于数学建模,本文假设网络上传带宽是系统唯一瓶颈。这一假设依从视频流传统研究文献的通常约定^[9,10]。

为了使用方便,首先介绍一些基本设定以及文中用到的符号和表达式。设系统分为 n 个子系统;子系统 i 的支撑流率为 r_i ;出节点上传带宽为 u_i ;源节点负载用 u_s 表示;用 $w(s \rightarrow i)$ 表示源节点为子系统 i 上传视频数据时分配的带宽,即源节点到子系统 i 入节点的传输速率;用 $w(j \rightarrow i)$ 表示子系统 j 为子系统 i 上传视频数据时分配的带宽,即子系统 j 出节点到子系统 i 入节点的传输速率。表 1 归纳了本文用到的符号和表达式。

表 1 符号与表达式

变量	说明
u_s	源节点负载
$u_i^{(s)}$	源节点满足子系统 0 到 i 支撑流率后的剩余上传带宽
$u_k^{(i)}$	子系统 k 出节点满足子系统 0 到 i 支撑流率后的剩余上传带宽
$u_{\text{sum}}^{(i)}$	整个系统满足子系统 0 到 i 支撑流率后的总剩余上传带宽
u_i	子系统 i 出节点的上传带宽
r_i	子系统 i 的支撑流率
$w(s \rightarrow i)$	源节点为子系统 i 入节点分配的上传带宽
$w(j \rightarrow i)$	子系统 j 出节点为子系统 i 入节点分配的上传带宽

2.1 顺序模式

顺序模式是一种较简单的组织方式。如图 3 所示,在这种模式下,各个子系统按视频质量从高到低依次串联起来。

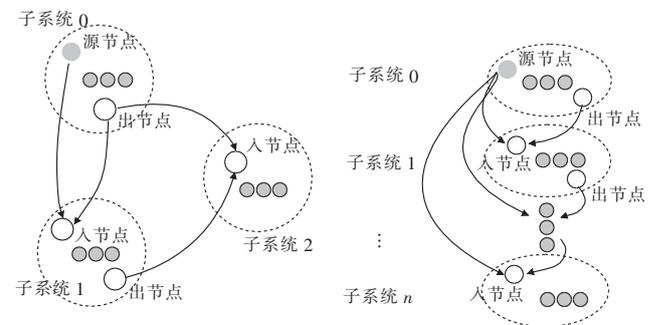


图 2 所提系统中的子系统与出入节点

图 3 顺序模式下的系统结构

由于从子系统 0 到 n 的视频质量是依次下降的,所以上游子系统的出节点可以为下游子系统的入节点提供数据转码和上传,如图 3 中的箭头表示。又由于除最末一个子系统 n 外,每个子系统都只有一个下游子系统,所以出节点将其所有上传带宽都提供给下游节点。具体来说,如果子系统的出节点上传带宽大于下游子系统的支撑流率,只需提供支撑流率大小的上传带宽;如果子系统的上传带宽小于下游子系统的支撑流率,则由源节点补充部分上传带宽,以达到支撑流率。

在这种模式下,源节点与各子系统的上传带宽分配为

$$\begin{cases} w(s \rightarrow i) = r_i - u_{i-1} & \text{when } r_i - u_{i-1} > 0 \\ w(s \rightarrow i) = 0 & \text{when } r_i - u_{i-1} \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

各子系统之间的上传带宽分配为

$$\begin{cases} w(j \rightarrow i) = \min(r_i, u_j) & \text{when } i = j + 1 \\ w(j \rightarrow i) = 0 & \text{when } i \neq j + 1 \end{cases} \quad (2)$$

同时,源节点负责子系统 0 中的 IP 组播,并补足各个上游子系统上传能力不足时的数据流率。对于按式(1)和(2)组织的系统组织模式称为顺序模式,此模式下的源节点负载为

$$u_s = r_0 + \sum_{i=0}^{n-1} \max(0, r_{i+1} - u_i) \quad (3)$$

顺序模式的优点在于结构明晰,算法简单,所需控制信息少,便于分布式操作等。特别是当子系统需要实时进入离开或者调节视频格式及编码率时,最多只需对其上、下游子系统重新组织,系统其余部分无须变动。虽然与现行设计相比,顺序模式有更高效率的带宽利用以及更低的源节点负载,但当上游出节点上传带宽较大而下游所需支撑流率较小时,上传带宽利用仍不够彻底。在这种情况下,进一步减轻源节点负载仍有空间。

2.2 上传模式

为了充分挖掘各子系统出节点的上传能力,进一步提出了上传模式。在上传模式中,子系统间的组织与带宽分配围绕各个子系统的上传能力安排。与顺序模式相比,上传模式下的所提系统,源节点负载将得到进一步减轻。

a) 考察源节点负载 u_s 需要满足哪些条件。首先,由于源节点必须负责子系统 0 的 IP 组播,所以有

$$u_s \geq r_0 \quad (4)$$

其次,对于子系统 1 有

$$u_s - r_0 + u_0 \geq r_1$$

以此类推,对于每个子系统 i 有

$$u_s - \sum_{k=0}^{i-1} r_k + \sum_{k=0}^{i-1} u_k \geq r_i \quad (5)$$

将式(5)写为

$$u_s \geq r_i + \sum_{k=0}^{i-1} (r_k - u_k) \quad (6)$$

令 $i=0$ 时, $\sum_{k=0}^{i-1} (r_k - u_k) = 0$, 将式(4)和(6)合写为

$$u_s \geq r_i + \sum_{k=0}^{i-1} (r_k - u_k) \quad (7)$$

由于式(7)对每个子系统 i 都成立,所以有

$$u_s \geq \max(r_i + \sum_{k=0}^{i-1} (r_k - u_k)) \quad i=0, 1, \dots, n-1 \quad (8)$$

从式(8)可以得到所提系统源节点负载的一个下限值。所以对于任何组织模式,其源节点负载都不可能小于等式的右端。特别地,对于前文提到的顺序模式的源节点负载表达式来说,必有

$$r_0 + \sum_{i=0}^{n-1} \max(0, r_{i+1} - u_i) \geq \max(r_i + \sum_{k=0}^{i-1} (r_k - u_k)) \quad (9)$$

b) 考虑是否存在一种组织模式可以达到式(8)所给出的源节点负载值。令

$$u_s = \max(r_i + \sum_{k=0}^{i-1} (r_k - u_k)) \quad i=0, 1, \dots, n-1 \quad (10)$$

首先,由于源节点直接对子系统 0 进行 IP 组播,所以对于子系统 0 的上传带宽分配只需 $w(s \rightarrow 0) = r_0$, 显然满足式(10)。其次,对于其余子系统 i 来说,视频数据可以来源于源

节点以及子系统 0 到 $i-1$ 的出节点上传带宽。关键问题是当一个子系统同时向多个下游子系统上传数据时,带宽如何分配。用 $u_s^{(i)}$ 表示源节点满足子系统 0 到 i 支撑流率后的剩余上传带宽,用 $u_k^{(i)}$ 表示子系统 k 出节点满足子系统 0 到 i 支撑流率后的剩余上传带宽,用 $u_{\text{all}}^{(i)}$ 表示整个系统满足子系统 0 到 i 支撑流率后的总剩余上传带宽。对于子系统 i 来说, $u_{\text{all}}^{(i-1)}$ 即为所有能为它提供视频数据上传的总带宽。有

$$u_{\text{all}}^{(i-1)} = u_s^{(i-1)} + \sum_{k=0}^{i-1} u_k^{(i-1)} = u_s + \sum_{k=0}^{i-1} (u_k - r_k) \quad (11)$$

将源节点与各子系统的上传带宽分配为

$$w(s \rightarrow i) = \frac{u_s^{(i-1)} \times r_i}{u_{\text{all}}^{(i-1)}} \quad (12)$$

将各子系统之间的上传带宽分配为

$$\begin{cases} w(j \rightarrow i) = \frac{u_j^{(i-1)} \times r_i}{u_{\text{all}}^{(i-1)}} & \text{when } i > j \\ w(j \rightarrow i) = 0 & \text{when } i \leq j \end{cases} \quad (13)$$

之所以能够实现式(12)和(13)中的带宽分配,是因为由式(10)和(11),有 $u_{\text{all}}^{(i-1)} \geq r_i$, 即

$$\begin{cases} w(s \rightarrow i) \leq u_s^{(i-1)} \\ w(j \rightarrow i) \leq u_j^{(i-1)} \end{cases}$$

所以,对于源节点和子系统 j ,有足够的上传能力实现式(12)和(13)的带宽分配。同时,对于子系统 i 的入节点,总的接收速率为

$$w(s \rightarrow i) + \sum_{j < i} w(j \rightarrow i) = \frac{u_s^{(i-1)} \times r_i}{u_{\text{all}}^{(i-1)}} + \sum_{j=0}^{i-1} \frac{u_j^{(i-1)} \times r_i}{u_{\text{all}}^{(i-1)}} = r_i$$

所以,按照式(12)和(13)的带宽分配,能够满足子系统 i 的支撑流率需求。所提系统按照式(12)和(13)组织称为上传模式,此模式下的源节点负载为式(10)。

注意到式(9),由此可以验证之前提出的:与顺序模式相比,上传模式能够进一步降低源节点负载。如图 4 所示,上传模式中的各个子系统组成一个网状结构,与顺序模式相比,各个子系统的上传带宽得到了更充分利用。但是上传模式也有其不足,这主要是因为各个子系统组织为网状时,一个子系统的变动可能造成与其相关的多个子系统需要重新组织部署。另外,在此种模式下,子系统之间需要交换一些必要的控制信息以达到带宽分配的协调一致。所以,一方面上传模式在源节点负载上有优势,但另一方面在分布式特性方面不如顺序模式简单易行。本文将在第 3 章中通过仿真实验进一步讨论所提系统在顺序模式、上传模式下以及现行系统的性能差别。

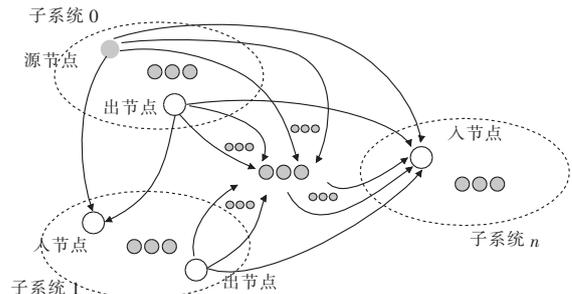


图 4 上传模式下的系统结构

3 仿真实验

在仿真实验中,采用媒体推送系统实验常用的 Georgia Tech's Internet Topology Generator [11] 模拟生成互联网环境。

并在此基础上,实验了所提媒体推送系统(包括顺序模式和上传模式),以及在相同网络参数下的现行基于 IP 组播和应用层覆盖网的媒体推送系统。在本章中将对比以上四种方案在带宽消耗和源节点负载上的性能比较。为了方便说明,在后面的文章以及仿真结果图中用 OT、UT、IP、AO 分别表示所提系统顺序模式、所提系统上传模式、现行基于 IP 组播系统和现行基于应用层覆盖网系统。

在具体实验设置上,本文安排六种不同规模的实验场景,分别包括 3、5、10、20、50、100 个子系统规模的媒体推送系统。每个子系统的出节点上传带宽和支撑流率分别在 100 Kbps ~ 8 Mbps 和 200 Kbps ~ 10 Mbps 随机选取。通过 Georgia Tech's Internet Topology Generator 为每一种子系统规模产生 500 组互联网拓扑,并在相同随机配置下逐一测试 OT、UT、IP、AO 的带宽消耗和源节点负载情况。最后以总的平均值构成结果,呈现为仿真图。

如图 5 所示,整个系统占用的网络带宽随着子系统规模增大而增加,其中网络带宽消耗最大的是基于应用层的媒体推送系统(图中为 AO)。这主要是由于它缺乏对网络中 IP 组播设备的有效利用,造成网络总负载较重。这也正是点对点文件分享系统常常被互联网服务提供商封杀的原因。而从图 5 中可以看到,本文所提系统无论是在顺序模式还是上传模式下,总的网络带宽占用都与 IP 组播模式差别不大,处于相对较低的位置。

接下来考察源节点负载情况。如图 6 所示,仿真实验对比四种系统的 OT、UT、IP、AO 的源节点负载都随着子系统规模的增大而增加。但是本文所提系统在这项指标上具有比较明显的优势。特别是随着系统规模的增大,这种优势差越发明显,这主要得益于所提系统实现了不同编码子系统间的上传带宽共享,使得源节点负载得到减轻。而所提系统在顺序模式与上传模式之间的性能差异也符合前文所诉的讨论分析。

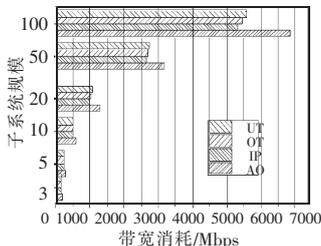


图 5 带宽消耗对比

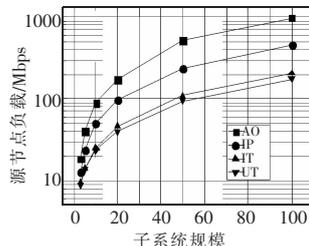


图 6 源节点负载对比

4 结束语

本文基于视频转码与 IP 组播技术设计了一种新型媒体推送系统。与现行系统相比,该系统兼顾了现行基于应用层媒体推送系统的灵活性和基于 IP 组播的高效性,实现了多种视频格式及码率子系统间的数据交换。在所提系统的具体组织形式上,本文提出了顺序模式和上传模式两种实现方案,并分别给出了相应的建模分析。从分析中可看到,顺序模式主要优势在于简单灵活,而上传模式具有更高效的带宽利用率。在仿真实验中,模拟了顺序模式、上传模式以及现行的基于 IP 组播和应用层的媒体推送系统。从实验结果上看,所提系统在某些性能上的优势不可忽视,为媒体推送实现方案提供了新的选择。

参考文献:

- [1] JIN Xing, TU Wan-qing, CHAN S H G. Challenges and advances in using IP multicast for overlay data delivery [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2009, 47(6): 157-163.
- [2] MAGHAREI N, REJAIE R, GUO Yang. Mesh or multiple-tree: a comparative study of live P2P streaming approaches [C]//Proc of the 26th IEEE International Conference on Computer Communications. 2007: 1424-1432.
- [3] NARAYANAN S R, BUAUN D, BUFORD J, et al. Peer-to-peer streaming for networked consumer electronics [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2007, 45(6): 124-131.
- [4] WU J C, HUANG P, YAO J J, et al. A collaborative transcoding strategy for live broadcasting over peer-to-peer IPTV networks [J]. *IEEE Trans on Circuits and System for Video Technology*, 2011, 21(2): 220-224.
- [5] HUANG Zi-xia, MEI Chao, LI Er-ran, et al. CloudStream: delivering high-quality streaming video through a cloud-based H. 264/SVC proxy [C]//Proc of IEEE INFOCOM. 2011.
- [6] ATENAS M, CANOVAS A, GARCIA M, et al. IPTV transcoding to avoid network congestion [C]//Proc of the 6th International Conference on Networking and Services. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010: 36-41.
- [7] JIN Xing, CHENG K L, CHAN S H G. Island multicast: combining IP multicast with overlay data distribution [J]. *IEEE Trans on Multimedia*, 2009, 11(5): 1024-1036.
- [8] BRADAI A, AHMED T. An efficient algorithm for selection and management of island multicast [C]//Proc of Consumer Communications and Networking Conference. 2011: 1077-1082.
- [9] FENG Chen, LI Bao-chun. On large-scale peer-to-peer streaming systems with network coding [C]//Proc of the 16th ACM International Conference on Multimedia. New York: ACM Press, 2008: 269-278.
- [10] KUMAR R, LIU Yong, ROSS K W. Stochastic fluid theory for P2P streaming systems [C]//Proc of the 26th IEEE International Conference on Computer Communications. [S. l.]: IEEE Press, 2007: 919-927.
- [11] ZEGURA E W, CALVERT K L, BHATTACHARJEE S. How to model an internetwork [C]//Proc of the 15th IEEE Annual Joint Conference of the IEEE Computer Societies, Networking the Next Generation. 1996: 594-602.

下期要目

* ❖ VANETs 路由综述	*
* ❖ 语义 Web 服务发现研究现状与发展	*
* ❖ 物联网隐私保护研究与方法综述	*
* ❖ 标签传播算法理论及其应用研究综述	*
* ❖ 并行群体仿真研究进展	*
* ❖ 城市交通网络连通度可靠度计算研究	*
* ❖ 本体辅助的定性空间关系推理机制	*
* ❖ 基于轮盘赌反向选择机制的蜂群优化算法	*
* ❖ 资源受限项目调度问题的改进文化微粒子算法求解	*
* ❖ 基于劳动分工的群机器人地图创建探索策略研究	*
* ❖ 恐怖袭击下危险品运输网络级联失效抗毁性建模与仿真	*
* ❖ 柔性资源受限多项目调度的混沌粒子群算法研究	*
* ❖ 带高斯变异的人工萤火虫优化算法	*
* ❖ 基于负载流的点加权复杂网络节点重要性评估方法研究	*
* ❖ 基本主方向关系的反关系推理	*
