

一种非对称广域覆盖的信息共享网络结构

任 勇 许晨敏 王 磊 徐 蕾 叶王毅 马 鑫

(清华大学电子工程系 北京 100084)

摘 要: 随着业务量和用户规模的迅猛增长, 互联网应用已经从初期的信息交换向信息共享转变。在传统网络构架的限制下, 共享信息服务所产生的大量冗余传输使 Internet 业务承载能力面临巨大的挑战。该文基于 Internet 的“小世界”特性和分布式镜像技术, 提出一种非对称的广域覆盖共享信息网络结构, 研究了新结构下 Internet 主流信息共享的主动服务模式; 并讨论了资源解析、重组等关键技术。在 TUNET 中的实验结果表明, 新结构具有高覆盖能力、检索便捷等特点, 同时网络延时等指标得到明显改善。

关键词: 信息共享; 非对称网络; 4ANet; 主流信息

中图分类号: TP393.02

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)05-1017-05

A New Asymmetric Network Architecture for Ubiquitous Information Sharing

Ren Yong Xu Chen-min Wang Lei Xu Lei Ye Wang-yi Ma Xin

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The application of Internet is being changed from information exchange to information sharing, along with the durative rapid growing of internet information and demands. However, the study on the network survey indicates that the current network architecture is being unbearable due to the masses of redundant data transmission by the information sharing services. This paper proposes a new asymmetric network architecture for ubiquitous information sharing, which bases on “small-world” theory and distributed caching technique. Then the initiative service mode and some key techniques of the new architecture for mainstream Internet information sharing are presented. The experiment on TUNET shows that new architecture has high covering and efficient indexing characteristic, moreover, has remarkable advantages in delay and bandwidth.

Key words: Information sharing; Asymmetric network; 4ANet; Mainstream information

1 引言

最新统计数据^[1]显示, 2007 年中国网民数增加了 7300 万, 年增长率达到 53.3%; 同时根据创新扩散的 S 曲线理论^[2]可知, 中国网民数量目前仍处于在加速上升阶段, 未来 3-6 年将达到增长高峰。可以说, 中国互联网正经历着持续性、爆炸式的发展。一方面, 网络通信与业务量朝着多样化、智能化、社区化等多种形式发展; 另一方面, 近几年来共享信息业务激增: 根据中国运营商的统计, P2P(Peer to Peer)白天占总流量的 35%到 60%, 晚上占 50%到 90%^[3], 文献^[4]也显示, P2P 等形式的具有明显信息共享特点的业务已经占据 95%的网络流量。简而言之, 网络应用正在从初期的信息交换向信息共享转变, 共享业务已成为主流。

然而这些网络主流业务却对网络产生了不良的影响。这些网络业务的特点是, 同样内容的信息在网络上成千上万次地重复传输(有学者称之为“无功流量”), 因而占据了网络

带宽, 造成巨大的浪费, 成为网络公害。为了解决这些问题, 目前国际上针对 IP 承载网的研究方向有两种趋势, 一种是改良派, 一种是革新派。改良派对现有 IP 网络进行功能改进, 希望实现向下一代承载网的平滑演进; 革新派则主张面向新需求并重新划分各种需求, 采用自顶向下的方式, 设计新型的传输交换网络体系。

2 现有典型网络信息共享模式分析

下面结合现有的 WWW(World Wide Web)业务、P2P 等应用, 围绕它们针对信息共享的特点, 对目前的几大类典型网络信息共享模式的特点作简要的分析和比较。

2.1 基于现有网络结构的典型应用

首先分析基于现有网络结构的几大类典型信息共享应用, 它们的特点分析比较如表 1 所示。

这些基于现有网络的典型信息共享模式, 以近年兴起的 P2P 为代表, 在信息共享的同时也占据着大量带宽, 这一点不得不引起业界和学者的广泛重视。

网络理论研究和测量已充分表明, 幂律(power-law)带来了带宽的无尺度(scale free)匮乏, 同时也导致了带宽的无

2008-05-07 收到, 2008-10-22 改回

国家自然科学基金(60672142, 60772053)和国家 973 计划项目(2007CB307100, 2007CB307105)资助课题

表 1 典型网络信息共享应用特点比较

名称	主要共享内容	可容纳用户规模	信息检索方式	可扩展性	占用网络带宽	信息延迟	主要瓶颈
WWW	种类丰富	接入互联网用户	主动搜索	规模大压力大	一般	经常延迟大	信息复杂
P2P	媒体、数据文件	局域网等用户	主动搜索	规模大效率高	消耗巨大	一般较小	无功流量
IPTV	音、视频	宽带接入用户	点播、直播	差	大量占用	依赖网络	缺乏文字
Multicast	音、视频	宽带接入用户	点播、直播	规模大压力大	大量占用	依赖网络	成本高
DTN	数据光盘	公路沿线地点	推送	好	缓解带宽压力	大	延迟大
RSS	文字摘要	接入互联网用户	主动获取	一般	一般	依赖网络	内容少
BLOG	个性化内容	特定用户人群	主动获取	一般	一般	依赖网络	内容特殊

尺度浪费。这是复杂性理论用于互联网研究几成常识的重要结论，也正是网络应用从信息交换向信息共享过渡的显著体现。然而，由于一直以来对网络复杂性的研究和认识不足，使得共享业务需求对网络造成了始料未及的严重压力。幂律使得网络设计者陷入了两难：按少数网站的大度值设计，可以避免拥塞，但带宽将大面积闲置；按低度值设计，服务质量无法保证。这就要求我们寻求更有效的网络结构和服务模式，来适应网络用户日益增长的新的需求。

2.2 新一代互联网相关研究分析

除了以现有互联网结构为基础的信息共享应用外，近年来新一代互联网领域的研究也风起云涌。例如英国的电讯公司 BT 提出了一项名为 21CN 的网络改造方案，希望将现有的电话网络从 PSTN(Public Switched Telephone Network) 转换为基于 IP 的网络，旨在加强终端用户的控制权、选择权和灵活性。该网络采取基于 IP 和 MPLS(Multi-Protocol Label Switching) 的核心网、基于 SIP(Session Initiation Protocol) 的会话层、基于 3GPP(3rd Generation Partnership Project) 的智能层以及 OSS(Operator Support System) 系统，瞄准实现网络集中管控的可能^[5]。又如韩国 2005 年启动 IT839 五年计划中提出的下一代网络^[6]——BCN(Broadband Convergence Network)，在现有网络上着重加强控制面的功能，加强承载新业务应用的开发。随后，韩国最大的移动通信运营商 SK 电讯宣布 BCN 服务试开通运营^[7]，推出包括语音/数据整合服务、有线/无线融合服务、通信/广播融合服务、Ubiquitous(无所不在)应用服务等四大类 32 项服务，以及将用于第二代平台的核心技术。

对于这些新一代信息网络，国内外学术界在负载均衡、错误恢复以及网络管理的改进方面^[8]，业务拓展、通信方式和质量控制等方面^[11]展开了研究。然而从目前它们在服务能力、网络覆盖能力、低成本化等多方面综合看来，还不能为完全适用于我国国情的网络信息共享提供定制应用。

3 一种新的信息共享网络结构及其关键技术

通过分析现有这些网络信息共享应用，我们发现，要从根本上适应互联网信息交换到信息共享转变的需要，应当研究一种新的网络信息共享的体系结构及其服务模式，专门用

于互联网主流信息的高效率低代价共享，以达到在提高用户获取互联网主流信息效率的同时，又能缓解当前网络带宽压力的目的。

3.1 新结构理论基础

3.1.1 共享信息来源 根据实验测量结果，并基于网络研究学术界关于“小世界”相关理论^[12]的共同认识，我们认为，大多数网民访问的是少数的主流网站。根据网络用户对信息服务的要求，可以把现有网络上的业务分为两大类：一是共享业务，它所传输的是大多数用户都关心的涉及共性问题的信息，即共享信息；二是个性化业务，它是针对少数或个别用户需要的特殊信息，即个性化信息。对于前者，共享信息服务是主动推送信息给用户的，而个性化信息服务则通常需要用户发起查询，如点播等服务。换句话说，只汇聚少数网站的内容(但不仅仅是这些网站上的网页资源，还包括视频、音乐等形式多媒体资源等)，即可满足网民信息共享服务的需求。这样，也就能达到尽量少地使用网络带宽便满足大多数人信息共享需求的目的。

3.1.2 分布式镜像研究 本小节首要关注共享信息的存储机制问题。恰好文献[4]中关于分布式镜像的研究结果给了我们很好的参考。在该文中作者提出了耦合应用层网络行为与物理网络的分布式代理机制模型，基于一种分布式代理机制(Distributed Proxy Mechanism, DPM)对网络性能进行优化。如图 1 所示，在 DPM 机制作用下，网络数据包平均排队长度和网络平均吞吐量相变点^[15]右移，网络的整体性能得到明显改善。DPM 机制属于应用层网络行为与物理网络的协同扩展与跨层协调机制，并且没有对应用层网络造成任何额外的优化开销，保留了应用层网络行为灵活高效的优点；同时不需对物理网络作巨大的改变，是对高效的大规模网络应用机制的有益探索^[4]。

由此可以推出，如果对热门资源节点进行分布式代理，那么将拉动网络流量从局部聚集向散布在网络四周的代理节点转移。从路由策略的改进方面来说，对比现有的一些其它做法^[9]，DPM 也是一种更为高效的路由驱动机制；代理节点的存在也从空间与逻辑上缩减了数据包在网络中的传输长度，能大幅度地均衡网络流量，减少带宽消耗。它的这些

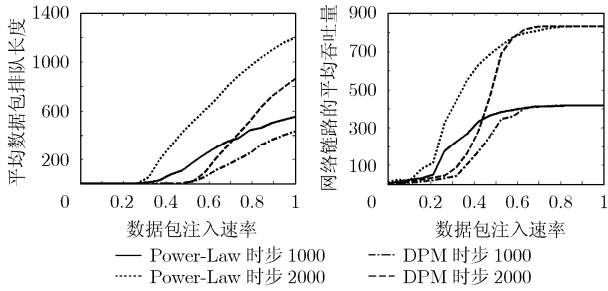


图 1 DPM 机制对网络整体性能优化的仿真结果

特点，恰好可以为本文所针对的信息共享应用提供很好的帮助。

3.2 非对称网络信息共享结构

基于上文的结论，为了避开当前互联网的网络拥堵，我们可以为这些网络共享信息搭建一个专用的辅助推送通道，并将这些共享信息分布式存储于用户附近。这个传输通道可以是 DTN(Delay-Tolerant Network)中的“高速公路”，也可以是常见的网络镜像同步通道，或者是“播存网格工程”中所提到的卫星信道^[15]。由此相应建立一种新的共享网络结构如图 2 所示，即为本文所提出的一种非对称广域覆盖的信息共享网络结构。其中，“非对称”是指在此共享结构中，信息传输以宽带下行为主、窄带上行为辅；“信息”是指主要传输的是“共享信息”，即大多数人需要的、低冗余度的信息资源。

在此结构中，万维网中的核心信息资源将被抽离并重新组织(为用户普适定制)，通过专用信道进行广播发送，广域覆盖包含广大边远农村的地区；在接收端配置低成本终端及大容量存储器，长期、广谱接收并存储用户感兴趣的共享信息资源，形成内容丰富的“电子图书馆”，再通过铺设小规模地面网络向终端用户提供数据业务服务。在此过程中还配合了分布式信息组织、存储、快速内容定位、准确信息获取等关键性新技术。显然，这是一种非对称结构的广域覆盖信息共享网络解决方案，并对未来的新服务具有良好的扩展支

持能力，实现了网络服务的普适化。其次，它整合 2000~3000 个网站作为主流资源，可以在很大程度上满足众多用户的信息共享需求，也是一种低成本高效信息化的解决方案。

更重要的是，这种非对称结构实现了一种无冲突的信息共享新机制。在新机制作用下，用户访问信息所需的路由跳数由多跳变为一跳，分布式存储节点使用户可以对所需信息快速智能化获取，又使一跳变为零跳。面对日益增长的用户，在满足他们多样化需求的同时，新结构将从根本上解决网络服务质量保证等难题。对 Internet 而言，核心部分的万维网通信流量通过专用广域覆盖信道(如卫星通信系统)的分流得到了极大的缓解，对先天结构单一化的互联网起到了有益的补充作用。

3.3 相关关键技术

下面以此结构用于互联网主流信息共享的主动服务模式为例，简要说明其相关关键技术。此时，共享信息来源网站中的内容成为万维网中的核心信息资源，经过去冗操作后存储于新结构中的原始信息资源仓库，以供信息解析、重组程序使用；后者则将处理后的干净、预分类索引的数据存储于共享信息主数据仓库。这些共享信息经过专用的推送通道同步到距离终端用户仅一跳距离的分布式镜像数据库(即图 2 中共享信息发布服务器或超级用户终端)中，以提供给用户最便捷的信息服务。由使用过程可见，要实现这样的一个信息共享结构，至少需要涉及以下这些算法或功能：多媒体信息传输、多源网页内容重组、用户兴趣图谱、本地插播、信息内容自标识、按内容索引的浏览、快速检索、自动化差分并播、分布式存储等。篇幅所限，本文将重点阐述互联网主流信息获取、信息资源解析和共享信息重组等技术。

3.3.1 互联网主流信息获取 为非对称信息共享网络的信息来源提供获取方法，即研究如何从现有互联网中更有效地获取能够服务更多密集型大众用户的主流共享资源，并自动更新到本地。在确定了“主流站点”之后，本问题归结为类似传统搜索引擎开发中的网页爬虫算法优化问题，也是当前互联网技术相关领域的一个研究热点。

下面根据目前各网站是否提供 RSS 内容输出来分别说明两种内容获取的方式。对于那些提供 RSS 输出的网站，启用内置的 RSS 阅读器，加载对应网站的 RSS 频道列表，得到各频道提供的符合 RSS 规范的 XML(Extensible Markup Language) 内容输出；再进行一次简单的解析，将其中指示网页来源的链接信息(link 元素)提取出来并保存成为一个包含“实质”内容的网页链接地址的队列，之后利用网页爬虫程序中的部分算法，依次处理该队列中的链接信息，获取该链接指向的网页内容，直接保存至本地；对于没有 RSS 输出的站点，按照一般的爬虫算法进行爬取：向服务器发起请求，获取基地址网页，扫描网页，将其中的链接信息加入一个队列中。之后从队列中取出一个链接，获取该网页，扫描网页，将其中的链接信息加入队列，再下载保存所需网页。

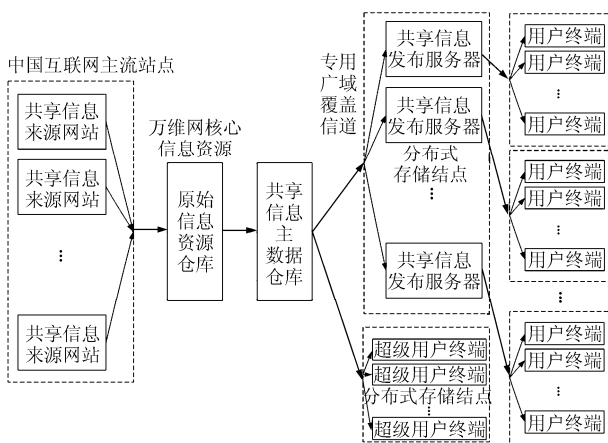


图 2 信息共享网络新结构示意图

在上述网页信息的获取过程中，未被处理过的网页地址保存在队列中。为了提高信息获取的速度，可采用多线程方式，每个线程从队列中取出一个链接进行处理。为了更加快速、有效地对网页进行扫描，可利用正则匹配实现链接信息的提取，减少处理链接的数目，提高了所获取内容的“纯净度”。

3.3.2 信息资源解析 在上文中，获取的原始互联网信息是主题分散或重复的。首先应当去除重复的冗余信息，内容相同的信息可能来源于不同站点，但对用户而言只需要知道其中一个版本的“实体内容”即可。其次，为了适应非对称信息共享网络中按内容索引浏览的需要，还应当将这些信息资源按照既定格式(标题、来源、作者、关键字、正文、全文分词等)进行解析。此问题也是信息搜索领域内研究者较为关心的内容，已被广泛应用在“生活搜索”、“新闻搜索”等新兴的垂直搜索引擎上。

下面针对两类不同的原始网页分别介绍信息解析的基本算法。第 1 类是常见的、数量较少的网站，对这类网站，使用人工编写相应站点的正则表达式来匹配各项信息，以实现网页的解析。通过各类正则表达式完成预处理、主体内容匹配、数据结构格式化、后期处理等功能。第 2 类是除第 1 类之外的所有其它站点，即无法使用上述算法正确解析的站点。这种情况下，首先将原有网页从 HTML(Hypertext Markup Language)格式转化为形式更规范的 XML 格式，然后进行预处理，除去<scrip>、<style>等多余元素，读取网页的标题；再遍历此 XML 文件，添加必要的元素属性，记录超链接元素，同时选择可能属于网页正文的结点，记录该结点路径；接着，统计候选正文结点路径，选择出现次数最多的路径作为最终正文结点路径，按此路径选择即可得到网页正文；最后，对已获取的正文进行分词，统计词频，并根据管理员的设置，进行正文的局部词频加权，产生此网页的关键词。

3.3.3 共享信息重组 得到已解析的数据之后，还需要将这些数据按照以内容索引的原则进行标引存储，使得可以根据用户需求重新整合内容，并以网页等形式展现给终端用户。为了实现这一目标，需要研究如何将共享信息数据库更为有效地同步到所需要的信息小站并有效地进行分布式存储；研究统一的、可扩展的内容标引规范；研究可管理的、用户可参与的信息发布模式等。

4 系统发布与验证

以本文所提出的这种新的非对称广域覆盖的信息共享网络结构为基础，作者所在研究组搭建了 DEMO 系统 4ANet 以供新结构的实验验证。

4ANet 根据新结构的最简物理设备要求进行系统设计，即按照其主要职能简单分为“信息收集器”、“头端”、“小站”和“终端”四个部分，如图 3 所示。其中“头端”包含网页获取 4ANet.Spider、解析 4ANet.Parser 等模块；“小站”即

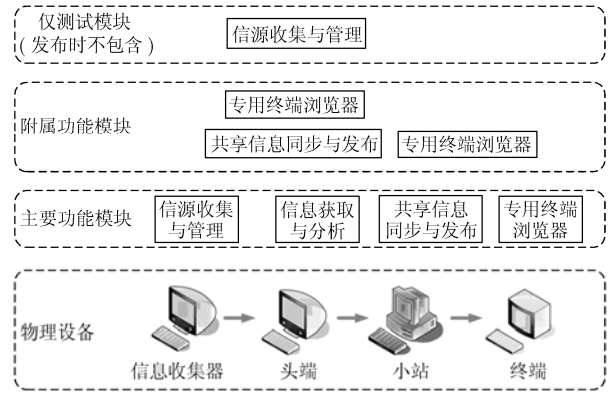


图 3 4ANet 系统模块划分示意图

共享信息发布服务器 4ANet.Agent，包括共享信息、发布、同步、分步式存储等模块；终端即 4ANet.Terminal，包括 PC 终端和可无线接入的手机、PDA 等设备。

4ANet 使用新结构下的一种典型发布方式如图 4 所示，实验时技术内核使用 C 语言开发，“小站”使用运行于 Apache2 支持的 PHP5 网站服务进行信息发布，使用 MySQL 进行实验数据库存储。由于篇幅所限，具体实现方法此处不再赘述。

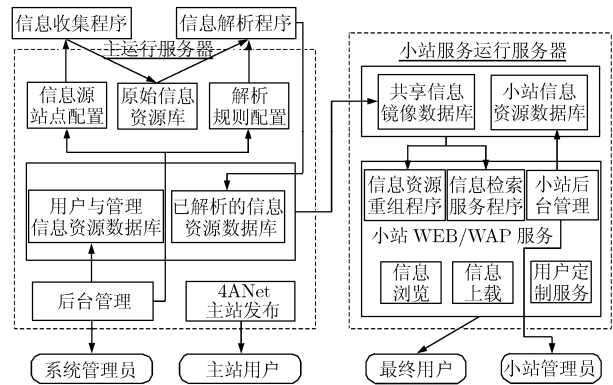


图 4 DEMO 系统发布示意图

4ANet 自 2008 年 3 月在清华校园网测试运行。在信息搜集方面，经统计，共享信息主数据库在获取模块正常运行的情况下平均信息获取速度为每小时 1304 条，其中经过人工判断含有错误信息(或空信息)的条数为 231 条，准确率为 82.3%，基本满足 DEMO 系统的实验要求，但在算法效率和解析准确率方面尚待进一步优化；在信息共享网站方面，经过实地测验，校园网用户与外网断开连接时仍能正常访问，平均页面加载速度小于 2s；经 ping 测试，TTL 延时小于 100ms；使用至今未出现问题。

5 结束语

本文所提出的这种新的非对称广域覆盖信息共享网络结构及其共享方法、体系结构和服务模式，能够很好地服务

于密集共享信息用户,且具有网络覆盖面积广、允许用户量无限扩容、信息可信溯源、价格低廉、免维护、高可靠等优点。它不仅可为终端用户提供一跳获取的便捷、实时的信息服务,并且在提高用户获取互联网主流信息效率的同时,又能缓解当前网络的带宽压力。经实验系统验证,此结构确实具有良好的性能。后续研究内容将以此为基础,在理论与工程层面展开,构成一个完整的体系结构与相关技术研究框架。

除前文所提到的内容外,在新结构下的关键技术研究还包括网络的可靠、可控、高安全性保障,以及对信息进行语义层面的组织与定制、终端个性化存储等内容。目前,内容统一定位、语义网、兴趣图谱等概念与技术的日益成熟使得信息服务的个性化定制成为可能。此外,2005年颁布的《中文新闻信息分类》、《中文信息置标语言标准》两部信息语义分类标准,也为新结构下信息内容的组织提供了国家级标准的有力支持。

参 考 文 献

- [1] 中国互联网络信息中心. 中国互联网络发展状况统计报告. 北京, 2008.
CNNIC. Statistical Survey Report on the Internet Development in China. Beijing, 2008.
 - [2] 埃弗雷特·M.罗杰斯. 创新的扩散[M]. 北京: 中央编译出版社, 2002.
Everett M. Rogers. Diffusion of Innovations. Beijing: Central Compilation & Translation Press, 2002.
 - [3] 邬贺铨. 宽带世界论坛亚洲会议. 北京, 2007, 6, 5.
Wu He-quan. Broadband World Forum Asia. Beijing, 2007, 6, 5.
 - [4] 王磊. 应用层网络行为的整体统计特征[D]. [博士论文], 清华大学, 2007.
Wang Lei. Internet application behaviors and collective capability: Association and strategies [D]. [Ph.D.dissertation], Tsinghua University, 2007.
 - [5] Wikipedia. BT 21CN - Wikipedia, the free encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/BT_21CN. 2008, 4.
 - [6] 于杉. 韩国启动 IT839 五年计划 欲领跑数字时代. http://www.chinainfo.gov.cn/data/200508/1_20050808_116051.html. 2008, 4.
 - [7] 赛文. SK 电讯无所不在—韩开通 BcN 宽带融合网络服务. http://comm.ccident.com/art/20060831/887867_1.html. 2008, 4.
 - [8] Crovella M and Kolaczyk E. Graph wavelets for spatial traffic analysis. IEEE Proceeding of Infocom 2003, San Francisco, 2003: 1848-1857.
 - [9] Zhao B Y, Huang L, Stribling J, Rhea S C, Joseph A D, and Kubiawicz J D. Tapestry: A global-scale overlay for rapid service deployment. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2004, 22(1): 41-53.
 - [10] Yeom H and Kim H. An efficient multicast mechanism for data loss prevention. The 7th International Conference on Advanced Communication Technology, Seoul, 2005: 497-502.
 - [11] Gkantsidis C and Rodriguez P R. Network coding for large scale content distribution. IEEE Infocom 2005, Miami, 2005: 2235-2245.
 - [12] Watts D J and Strogatz H. Collective dynamics of 'small-world' networks[J]. *Nature*, 1998, 6(393): 440-442.
 - [13] Fuks H and Lawniczak A T. Performance of data networks with random links. *Mathematics and Computers in Simulation*, 1999, 51(1): 101-117.
 - [14] Ohira T and Sawatari R. Phase transition in a computer network traffic model. *Phys. Rev. E*, 1998, 58(1): 193-195.
 - [15] 王磊, 周淑华, 袁坚, 任勇, 山秀明. 虚拟网络行为对互联网整体特性的影响[J]. 物理学报, 2007, 56(1): 36-42.
Wang Lei, Zhou Shu-hua, Yuan Jian, Ren Yong, and Shan Xiu-ming. Influence of virtual networks to internet collective behavior [J]. *Acta Physica Sinica*, 2007, 56(1): 36-42.
 - [16] 李幼平. 营造播存网格—为互联网增添次级结构[N]. 计算机世界周报, 2005, (37): 3-10.
- 任 勇: 男, 1963 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为信息网络与复杂系统.
- 许晨敏: 男, 1986 年生, 硕士, 研究方向为网络信息共享新体系结构与系统验证.
- 王 磊: 男, 1979 年生, 博士后, 研究方向为信息网络与复杂系统.