

# P2P 流媒体激励机制研究

冯 健 房鼎益 陈晓江

(西北大学计算机科学系 西安 710069)

**摘 要** 相对于传统的 P2P 文件共享系统, P2P 流媒体系统的激励机制更为必要。分析并总结了当前 P2P 流媒体系统中已提出的比较有代表性的几种激励机制: 基于信誉的、基于市场的、基于惩罚的、基于社会福利的以及一种自然的激励模型, 并讨论了每种机制的典型实例, 在此基础上对未来工作进行了展望。

**关键词** P2P 流媒体, 激励

## Research on Incentive Mechanisms in P2P Media Streaming

FENG Jian FANG Ding-yi CHEN Xiao-jiang

(Department of Computer Science, Northwestern University, Xi'an 710069, China)

**Abstract** Incentive mechanism is more necessary in peer-to-peer media streaming systems than those of traditional P2P file-sharing systems. This paper presents a survey on existing incentive mechanisms in P2P media streaming system, based on reputation, market, punishment, taxation, and a kind of natural Bazaar model. Detailed analysis of typical instances of all above mechanisms and comparison among the existing techniques are also presented. Based on the survey, this paper also outlines future research directions.

**Keywords** Peer-to-Peer media streaming, Incentive mechanism

## 1 引言

虽然音频、视频分发代表了 Internet 应用中一类重要的应用, 但目前还没有满意的解决方案。基于服务器和 CDN 网络所需要的高带宽和 IP 组播的基本限制是两个将广播限制在极少数带宽富有的发布者上的主要因素。经验显示使用 P2P 构架通过 Internet 来提供低成本的流媒体服务有着很大的潜力。

在 P2P 网络中 free riding 会引起性能下降<sup>[1,2]</sup>。特别地, 近 70% 的 Gnutella 客户不共享任何文件, 而 50% 的响应是 1% 的节点返回的<sup>[3]</sup>。许多 P2P 系统依赖于兴趣节点之间的合作。但因为合作会消耗它们自己的资源并可能带来性能的降低, 所以用户在合作问题上存在自然的障碍, 结果每个节点都试图最大化自己的效用而使系统的总体效用降低了。这种 P2P 动力学和那些经济领域的“公共利益”很相似<sup>[4,5]</sup>, 如果缺少外部激励, “共用的悲剧”现象就会产生<sup>[6]</sup>。

P2P 流媒体系统呈现出比传统的 P2P 文件共享系统更多的挑战和机遇。它不仅需要文件有高可用性, 而且要有高质量的媒体流。根据对 PROMISE 流媒体系统的研究发现<sup>[7]</sup>: (1) 在对等点协作水平低的情况下, 即使系统总的负载很低也无法得到高的系统性能; (2) 当一个对等点有许多流会话时, 其流的质量以及接收节点流的质量都会降级。因此, 和传统的 P2P 文件共享系统不同, P2P 流媒体系统无法仅靠一小批无私的节点来维持。在 P2P 流媒体系统中如何增强节点之间的协作已逐渐成为当前 P2P 流媒体系统研究的一个重要方向。

针对传统的 P2P 文件共享系统 free riding 现象盛行的情况, 研究者们提出了多种激励机制, 基于报酬的、基于惩罚的还有基于服务差别的等来激励节点之间的协作<sup>[8-12]</sup>。但由于

P2P 文件共享和流媒体的内在区别, 这些算法并不能直接应用在 P2P 流媒体系统中。一些早期的 P2P 流媒体系统像 ESM<sup>[13]</sup>, NICE<sup>[14]</sup>, Bullet<sup>[15]</sup> 等都假定对等点的完全利他行为, 这并不符合 P2P 流媒体环境中的真实情况。文献<sup>[16]</sup>的研究表明节点利他的程度是 P2P 流媒体应用成功的一个关键因素, 即使很低的利他度也对改善系统的总体性能有深远的影响; 并证明了大范围的利他策略可以在分布式方式下高效地实现。

本文对当前的 P2P 流媒体系统对等点之间的合作机制的研究作了综述。其中第 2 部分讨论了给对等点使用附加规则的 P2P 流媒体激励机制, 这也是当前 P2P 流媒体系统采用较多的一种模式; 第 3 部分分析了一种 P2P 流媒体系统的自然的激励机制; 第 4 部分介绍了社会激励, 第 5 部分给出几种典型激励机制的比较; 最后是总结与展望。

## 2 基于规则的激励机制

P2P 流媒体中大多数已有的研究<sup>[7, 14, 17-20]</sup>都关注于引入不同的集中加载规则(每个对等点被期望遵从同一组规则)和激励促动对等点给系统中的其他对等点贡献带宽。目前研究较多的是物质激励和改善效用激励。下面我们讨论这些基于集中加载规则的机制。

### 2.1 基于信誉的激励机制

基于信誉的激励机制的重点是尝试将用户的 QoS 和用户给系统作出贡献的程度相结合。对等点较好的行为将回报以较高的下载速度, 获取更多的内容, 对新鲜内容的较高优先级等。

#### 2.1.1 Bit-for-Bit 策略

一个自然的选择是 Bit-for-Bit 方案, 这里对等点收到的

数据仅和其发送数据一样多。这种方案由于其简单性和公平性而被 CoopNet<sup>[21]</sup> 和 SplitStream<sup>[22]</sup> 采用。这两个协议均假设节点是完全自私的。两个协议的主要区别是 CoopNet 使用一个中心服务器协调树的构建,而 SplitStream 分布式地构建树。在 SplitStream 中节点可以贡献比它们收到的带宽更多的带宽。然而,额外的带宽主要用于确保短暂节点失效时成功地构建树。

在 P2P 流媒体环境下,带宽是瓶颈资源。满足音频、视频流的合理质量在编码时至少需要 350kbps 的带宽<sup>[17]</sup>。然而,很多资源匮乏的节点带宽容量不对称,转发能力低(100~200kbps)而接收能力高(600~1200kbps)。如果采用 Bit-for-Bit 模型,这些资源匮乏的节点将由于其糟糕的质量而不愿意加入流媒体广播。文献[17]的结果显示 Bit-for-Bit 策略在异构环境下性能次优,而即使小的利他度也能使低上行带宽的不对称连接主机的性能有所改善,说明在今天的 Internet 环境中这种方案表现不好。

### 2.1.2 基于服务区分的激励机制

优于 Bit-for-Bit 策略, Habib 等人设计了一种基于分数的鼓励用户贡献转发资源的激励机制<sup>[7]</sup>, 提供贡献和收益之间的间接映射。其主要思想是:记录每个节点给其他节点转发数据的贡献并对应为一定的分值,这个分数用来决定该用户在系统中所有用户中的级别。节点选择依赖于请求者和候选提供者的等级排序,高分的节点通过选择所需的数据提供者获得更大的灵活性,而低分节点选择父节点的范围有限,因此收到低质量的流。自私节点可以根据预期的服务质量来动态调整自己的贡献级别。该文设计了一个可以用在异步模式(贡献和回报不需要同时发生)下的激励机制。这一激励机制存在一个重要的缺陷:假设节点已经得到了预期服务质量,就没有动力进一步贡献资源了。在一些节点能力差距较大的网络环境中,这种方法不能最大限度地利用能力较强的节点的转发资源以优化组播会话。该文通过实验证实,流媒体的质量强烈地依赖于提供者的选择,随机选择节点将导致流媒体质量的高可变性。

文献[23]提出将传统的信誉系统和在线流行为管理结合在一起形成自己的激励机制。在一个流媒体会话期间,节点的行为被其上行节点和下行节点监控,下行节点会发送流证书给该节点,证明该节点给其提供了流数据,上行节点索要流证书以判断该节点是否给其下行节点提供流数据。如果节点被证明是自私的,上行节点执行惩罚。节点动态地基于评估结果选择给其他节点的速率。该方案和上述文献[7]中的激励机制比较相似,不同的是后者的核心是节点的选择,而前者的核心是在线流行为的管理并且试图保证所有合作节点达到满意的服务质量。

这种基于服务区分的机制实际上是一种奖励的机制,也是在 P2P 系统激励中使用较多的一种机制。

### 2.2 基于市场模型的激励机制

有很多定量研究网络中节点贡献或参与程度的方法,一个普遍采用的方法是使用某种代币。在这种基于市场模型的方案中,用户赚取系统特定的货币(currencies)用于补偿服务,如 mojo<sup>[24]</sup> 或 karma<sup>[25]</sup>。通过微支付支持的市场货币在文献[8]中得到了分析研究。

Wang 等人提出在一个基于支付的系统中,节点网络被看作一个市场,每个覆盖网中的节点扮演两种角色:服务的消

费者和提供者<sup>[26]</sup>。消费者试图以最小的花费从服务提供者处购买最好的服务,提供者在一个价格博弈中策略性地决定各自的价格,以能长期最大化其经济效益。为了解决价格设定复杂性的问题,作者使用了一个强化学习的技术来解决最优策略的问题。这个研究关注带宽分配的问题,不考虑像网络延迟和包丢失率等因素,而这些都对流质量有有关键的影响。

文献[27]提出一个新的 P2P 流媒体的激励机制,使用了一个叫做点数的内部流通量来表示一个节点的贡献级别,它隐含地转换为竞争优良父节点的能力。这个方案和上述方法相似,将覆盖网模型化为一个市场。对数据段发送而言,节点通过给其他节点出售数据传输服务而赚取点数,所有的交易通过一个像第一价格拍卖的程序来完成;而对于数据段请求而言,意识到无节制的竞争会导致非常低效的市场交易,设计了一个分布式算法以方便父节点的查找。特别地,从博弈论的角度为节点选择竞标目标考虑了不同的策略:请求离源节点最近的节点(一旦被接受,则获取的效益最大)、请求可用带宽最大的节点(被接受的概率最大),以及前两种策略的混合;方案将分配点数到不同子流投标模型化为一个大量人群和不完全信息博弈的组合优化问题,并讨论了可能的解决方案;同时设计了一个优化点累积策略来累积财富,可以用来改善节点在未来媒体服务中的竞争力。

### 2.3 基于惩罚的激励机制

随着当今 ISP 通常采用扁平的定价模型到逐渐增加的数据内容存取驱使 ISP 采用分级的定价方案<sup>[28]</sup> 以及无线热点增值导致移动设备的大量接入,使得在这样的网络中很难期待用户的利他行为。因此,设计即使所有用户都自私的情况下也能工作很好的 P2P 系统是很重要的。

基于以上考虑,文献[29]介绍了 EquiCast,即一个用于给大量自私节点分发内容的广域 P2P 组播协议。文中将系统建模为一个非协作博弈,每个节点的目标是在最小化自己的发送速率的同时收到所有的组播包。

EquiCast 通过两种机制强制节点协作。首先是监控机制,每个节点监控其邻居节点的发送速率,并维护自己和 N 个邻居节点之间的平衡,根据该平衡决定给邻居节点转发包或中止连接。第二个机制是每连接的惩罚机制,在邻居节点有负平衡的每个周期从邻居节点收取一个额外的惩罚包。因此,无论何时只要可能节点就被激励获得非负平衡。该协议是首个使用博弈理论正式证明能强制自私环境下的合作的 P2P 组播协议。但该协议对节点的动态性考虑不足,仅考虑了对等点的正常加入和退出,对节点的异常离开没有涉及,也未考虑到网络的拥塞等状况,而这些都是 P2P 环境下需要着重考虑的系统影响因素。

### 2.4 基于社会福利的激励机制

为了容纳想加入而无法加入的资源匮乏的节点,获得带宽资源重分配的有效性和公平性,在文献[17]中 Chu 等人确定了一个发布者依据税收调节节点贡献带宽和接收带宽的赋税博弈,可以看作发布者强制参与节点上税。社会福利(即所有节点的汇聚效用)通过财富(个人利益即接收数据率)的重新分配被改善了。

该模型适用于流媒体环境是因为视频流的发布者有强制节点纳税的手段和最大化总社会福利的意愿。相对于其他以代币为基础的激励机制或(和)以信誉为基础的激励机制,赋

税提供了贡献和收益间的直接映射,而前两种提供了间接映射。采用赋税方案避免了维护持续状态的开销和安全脆弱性。

税收模型在大量用户对一个流会话感兴趣的情况下很有用,但这种同步模型不适合于点播类型的应用或流媒体稀缺的目标或较不流行的数据。

### 3 P2P 流媒体中自然的激励

和上述基于集中加载规则的激励机制不同,文献[30]从另一个角度研究了 P2P 流媒体中对等点的合作问题。

文中做了一个关键的观察,就是 P2P 流媒体环境对于参与节点贡献带宽有着内在的自然激励。考虑树状覆盖网结构。节点通过给其他节点共享资源使对方不必直接和发布节点相连(那样会使自己的接入带宽减少),但信息的共享也可能减少自身的接入带宽并在一定程度上使性能降级。这样在共享和接收之间有一个明显的权衡问题。如果能通过适当的引导,增加该节点的带宽以弥补其转发的损失,就能使 P2P 流媒体应用中资源共享成为一个自然的行为,这种自然的激励可以被利用且允许自然选择引导高效数据流覆盖树的形成。

文中提出了一个简单的 Bazaar 模型,该模型中每个节点(包括资源发布节点)都将自己的市场报价报告给特定启动节

点。原覆盖网中的节点为了不使新加入的节点成为自己父节点的子节点,会尽量提高自己的报价以吸引新加入的节点成为自己的子节点。该模型没有将规则强加在节点上,当节点试图维护它们获得数据的效用资源共享就自然地发生了。该模型一个令人瞩目的特征是允许每个节点彼此独立,例如,某些节点可能无私,而其他一些节点可能是策略的。相反,大多数其他先前的方案都假定所有节点要么是无私的,要么是策略的。

### 4 社会激励

技术性的解决方案只能解决这么多缺少合作行为的问题。还有一种研究很少的激励方式是社会激励,直到最近都没有引起足够的重视。已有研究开始探索和多人囚徒困境<sup>[1]</sup>相关的主题,并形成了一定数量的对于合作的社会激励,像社会可见度、互惠、竞争和利他。

文献[31]也提到了以社会可见度和互惠来解释人们停止共享的原因。这说明了激励机制是多么的脆弱。刺激用户共享更多,例如利用社会可见度,也可能有相反的效果。

### 5 各种激励机制的比较

表 1 提供了对上述 P2P 流媒体系统的主要激励机制的一个简略比较。

表 1 P2P 流媒体系统的主要激励机制比较

方案	设计/博弈目标	激励类型	节点类型假设	例子系统/协议	方案带来的开销
不使用	无	基于利他	无私	ESM/NICE/Bullet	无
Bit-for-Bit	资源分配的简单性和公平性	基于信誉	自私	SplitStream	极少
基于分数	对等点的贡献影响其父节点的选择,并最终决定其接收内容的质量	基于信誉	自私,少量无私	无	总包数少于不使用该激励机制时要发送的总包数
基于点数	将市场模型用于服务区分	基于市场	自私、策略	无	大
基于惩罚	使用非合作博弈设计一个可扩展的 P2P 组播协议,使如果每个节点从一组协议遵从策略中都选择占优的策略,那么每个节点会收到所有的组播包	基于惩罚	自私、策略	EquiCast	惩罚包的使用导致不必要的开销;每个节点少量恒定的负载
税收方案	获得财富重分配的有效性和公平性,使所有节点的总利益最大化	基于社会福利	自私、策略	无	较大
Bazaar 模型	引导对等点自然选择形成高效覆盖树	自然	不假设,无私或策略	无	小

从表 1 可知,目前的激励机制基本都考虑到了节点的自私性;主流的解决方案基于对自私节点进行区分服务或对自私节点提供额外的补偿或付费,这些策略都带来了较大的开销;最新的研究分析并利用 P2P 流媒体的特点提出了将激励和覆盖网络构建一体化的方案。

**结束语** P2P 流媒体系统作为近年 P2P 模式的一个研究热点得到了广泛的关注,本文就 P2P 流媒体系统的激励机制做了综述。针对搭便车和公共悲剧问题,从节点利他性的角度讨论了激励机制的必要性,并总结了目前在 P2P 流媒体系统中已提出的比较有代表性的几种激励机制:基于信誉的、基于市场的、基于社会福利的以及一种自然的激励模型,同时对这些方案进行了评价和比较。

从上文的讨论中可以发现一些在将来应该被研究的潜在问题:

(1)大多数 P2P 网络中的激励机制都是基于信誉系统的区分服务机制。一般在维护一个节点上的其他节点的信誉时是基于以前交互(第一手信息)和来自其他节点的公告信息(第二手信息)。也有研究使用加权的程序用于修改信誉等级,但需要一个来自多提供者的平行下载以在本地决定等级之前检验资源的合法性。总的来说这会潜在地引入太多的开销,反过来导致网络资源的低效使用。在 P2P 流媒体这种资源需求紧迫的系统中如何克服这个问题将是下一步研究的重点;信誉机制中的另一个容易被忽略的重要问题是在信誉机制中等级直接与节点的服务质量相联系,往往忽略了系统的整体效用的提高,片面追求单个节点的贡献回报。

(2)近年来在分布式系统中使用经济学模型进行资源分配的相关研究取得了较好的成果,其中以博弈论中非合作博

(下转第 37 页)

构造和维护的最常用技术,本文在对 Pastry 路由表维护算法进行深入研究和分析的基础上,设计了一种新的基于邻近度的 P2P 路由表维护算法 FD-PNS。PNS-PGrid 对 P-Grid 的路由表构造进行了改进,并引入了节点就近加入机制、节点失效处理机制和路由表维护机制,从而使 P2P 网络逻辑拓扑尽可能反映底层网络的物理拓扑。仿真实验结果表明,PNS-PGrid 算法具有较小的延迟延伸率,从而有效地减少了路由延迟,提高了路由性能。

### 参考文献

- [1] Rowstron A, Druschel P. Storage management and caching in PAST, a large-scale, persistent peer-to-peer storage utility//

(上接第 31 页)

弈的 Nash 均衡理论来分析和优化网络资源分配的方法受到了众多学者的关注。因为市场机制中的博弈理论非常适合解决分布式网络资源分配问题,所以在研究 P2P 网络的对称点激励机制时博弈论也得到了大量的使用。但 P2P 环境区别于其他分布式系统的一个重要因素就是其网络环境受到网络参与者的心理活动的影响。如果能将对用户节点的行为和兴趣趋向进行分析,并合理利用经济学理论中对各种心理模型已有的大量成果,结合博弈论来建立适当的激励机制将是非常有意义的。另外博弈中迭代算法的高效性和效用函数的有效性是影响博弈应用的关键因素,应根据 P2P 流媒体系统的内在特征来研究这两个问题,目前的文献中相关研究还不够。

(3) 同样地,在当前的 P2P 流媒体激励机制中,从对称点安全性方面出发的考虑较少。本文提到的激励机制几乎没有涉及到安全方面的问题,但实际上在所有 P2P 的协作体系中,安全保障都扮演着重要角色,例如采用信誉机制可能带来串通舞弊的问题。围绕如何评估共享资源的真实性和可靠性,研究如何提供数字证书、对称节点认证、安全存储等,具有重要意义。

(4) 已有研究<sup>[7,30]</sup>将激励机制和 P2P 流媒体覆盖网络的构建联系起来。P2P 流媒体覆盖网络的构建有很多需要考虑的问题,比如初始父节点的选择、节点失效时拓扑重建、底层物理网络拓扑匹配等。文献[30]中利用 P2P 流媒体的特性构造了一个树型的覆盖网络,但树型拓扑结构有着天然的缺陷,如对网络变化的适应性差、带宽递减、叶子节点不做贡献等。将 free-riding 问题的解决和网络的特性以及网络拓扑生成相结合,形成一个更优的覆盖网络构建机制还需要进一步的研究。

### 参考文献

- [1] Figueiredo D R, Shapiro J K, Towsley D. A public good model of availability in peer-to-peer systems. Technical Report 04-27. CSE Dept, Michigan State University, 2004
- [2] Veciana G d, Yang X. Fairness, incentives and performance in peer-to-peer networks. Allerton Conference on Communication, Control and Computing, 2003. [www.cs.huji.ac.il/labs/danss/p2p/resources/fairness-incentives-performance.pdf](http://www.cs.huji.ac.il/labs/danss/p2p/resources/fairness-incentives-performance.pdf)
- [3] Bernardo EA, Huberman A. Free riding on Gnutella. Technical Report, SSL-00-63. Palo Alto: Xerox PARC, 2000
- [4] Asvanund A, Clay K, Krishnan R, et al. An empirical analysis of network externalities in peer-to-peer music-sharing networks. Information Systems Research, 2004, 15(2):155-174
- [5] Krishnan R, Smith M D, Telang R. The economics of peer-to-peer networks. Journal of Information Technology Theory and Application (JITTA), 2003, 5(3):31-44
- [6] Hardin G. The tragedy of the commons. Science, 1968, 162:1243-1248
- [7] Habib A, Chuang J. Incentive mechanisms for peer-to-peer media streaming//Int'l Workshop on Quality of Service (IWQoS). Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2004:171-180
- [8] Golle P, Leyton-Brown K, Mironov I. Incentives for sharing in peer-to-peer networks. ACM Electronic Commerce (EC '01),

- Proceedings of the 18th ACM Symposium on Operating Systems Principles. Banff, 2001:188-201
- [2] Aberer K. P-Grid: A self-organizing access structure for P2P information systems
- [3] Zhang H, Goel A, Govindan R. Incrementally improving look-up latency in distributed hash table systems In ACM Sigmetrics. California, USA, 2003
- [4] Plaxton C G, Rajaraman R, Richa A W. Accessing nearby copies of replicated objects in a distributed environment. Theory of Computing Systems, 1999, 32:241-280
- [5] Ratnasamy S, Handley M, Karp R, et al. Topologically-aware overlay construction and server selection//Proceedings of IEEE INFOCOM '02. 2002
- [6] 周旭. 面向 Internet 的大规模分布式存储技术研究. 博士论文. 电子科技大学, 2004
- [7] 侯孟书. 基于 P2P 的分布式存储研究. 博士论文. 电子科技大学, 2005

- Tampa, Florida, Oct. 2001:264-267
- [9] Ma R T B, Lee S C M, Lui J C S, et al. A game theoretic approach to provide incentive service differentiation in P2P networks. ACM SIGMETRICS, New York, June 2004:189-198
- [10] Feldman M, Lai K, Stoica I, et al. Scalable and robust incentive techniques for P2P networks//ACM Conference on Electronic Commerce (EC '04). New York, May 2004:102-111
- [11] Ranganathan K, Ripeanu M, Sarin A, et al. To share or not to share: An analysis of incentives to contribute in collaborative file sharing environments//Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems, Berkeley, California, June 2003. <http://www2.sims.berkeley.edu/research/conferences/p2pecon/papers/sl-ranganathan.pdf>
- [12] Buragohain C, Agrawal D, Suri S. A game theoretic framework for incentives in P2P systems//Proc. of the 3rd Int'l Conf. on Peer-to-Peer Computing (P2P 2003). Los Alamitos: IEEE Press, 2003:48-56
- [13] Chu Y, Aganjam A, Ng T, et al. Early Experience with an Internet Broadcast System//USENIX Annual Technical Conference. 2004:155-170
- [14] Banerjee S, Bhattacharjee B, Kommareddy C. Scalable application layer multicast. In ACM Sigcomm, 2002:205-220
- [15] Kosti D, Rodriguez A, Albrecht J, et al. Bullet: high bandwidth data dissemination using an overlay mesh //Proceedings of the nineteenth ACM SOSP. 2003:282-297
- [16] hua Chu Y, Zhang H. Considering altruism in peer-to-peer internet streaming broadcast. In NOSSDAV, 2004:10-15
- [17] hua Chu Y, Chuang J, Zhang H. A case for taxation in peer-to-peer streaming broadcast//Workshop on Practice and theory of incentives in networked systems (PINS). 2004:205-212
- [18] Yuen S, Li B. Strategyproof mechanisms for dynamic multicast tree formation in overlay networks. In IEEE Infocom, Mar. 2005:2135-2146
- [19] Jannotti J, Gifford D K, Johnson K L, et al. Overcast: Reliable multicasting with an overlay network. In ACM OSDI, 2000:197-212
- [20] Castro M, Druschel P, Kermarrec A, et al. SCRIBE: A large-scale and decentralized application-level multicast infrastructure. IEEE JSAC, 2002, 20:1489-1499
- [21] Padmanabhan V, Wang H, Chou P. Resilient Peer-to-peer Streaming. Microsoft Research. Tech. Rep. MSR-TR-2003-11. 2003
- [22] Castro M, Druschel P, Kermarrec A, et al. SplitStream: High-bandwidth Content Distribution in Cooperative Environments //Proceedings of SOSP. 2003:298-313
- [23] Ye Song, Makedon F. Collaboration-Aware Peer-to-Peer Media Streaming. ACM Multimedia 2004, 2004:412-415
- [24] Wilcox-O'Hearn B. Experiences deploying a large-scale emergent network// Druschel P, Kaashoek F, Rowstron A, eds. Proc. of the 1st Int'l Workshop on Peer-to-Peer Systems. Berlin: Springer-Verlag, 2002:104-110
- [25] Vishnumurthy V, Chandrakumar S, Sizer E. Karma: A secure economic framework for p2p resource sharing // 1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems, June 2003. <http://www.cs.cornell.edu/People/egs/papers/karma.pdf>
- [26] Wang W, Li B. Market-driven Bandwidth Allocation in Selfish Overlay Networks//Proc. of INFOCOM 2005. 2005:2578-2589
- [27] Tan G, Jarvis SA. A Payment-based Incentive and Service Differentiation Mechanism for Peer-to-Peer Streaming Broadcast//14th IEEE International Workshop on Quality of Service (IWQoS-06). Yale University, New Haven, CT, USA, 2006:41-50
- [28] Rodriguez P, Tan S-M, Gkantsidis C. On the feasibility of commercial, legal p2p content distribution. In ACM/SIGCOMM CCR, 2006:75-78
- [29] Keidar I, Melamed R, Orda A. EquiCast: Scalable Multicast with Selfish Users. In PODS, 2006:63-71
- [30] Shrivastava V, Banerjee S. Natural Selection in Peer-to-Peer Streaming: From the Cathedral to the Bazaar//Proceedings of ACM NOSSDAV. Washington, USA, June 2005:93-98
- [31] Mannak R, de Ridder H, Keyson D V. The Human Side of Sharing in Peer-to-Peer Networks//2nd European Symposium on Ambient Intelligence. Eindhoven, The Netherlands, 2004:59-64