

基于可信拍卖机制的视频移植定价策略

丛鑫, 訾玲玲, 孙劲光

(辽宁工程技术大学电子与信息工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘 要: 提出基于可信拍卖机制的视频移植定价策略 LBAS, 降低视频服务的单位成本。首先, 依据市场经济价格规律, 由视频提供商以未来视频请求为自变量制定视频类的服务价格, 有利于降低视频提供商费用支出; 其次, 设计了距离函数, 衡量视频服务单位成本, 计算云提供商给出的价格和视频提供商预期价格之间的差距, 确定能赢得竞拍的云提供商; 再次, 以云提供商预期收益为基准, 提出可替换视频集的视频分配算法, 提升云提供商的满意度和降低视频提供商的费用; 最后, 改进联盟抑制算法 AEM, 使其适应低价格拍卖机制并加入了视频数量检测机制, 能避免由于竞拍者联合而使视频提供商利益受损。与当前最新的移植方案 VMC 相比, 实验结果表明 LBAS 能进一步降低约 10% 的费用。

关键词: 可信拍卖; 视频移植; 定价策略

中图分类号: TP393

文献标识码: A

Pricing strategy for video migration based on truthful auction mechanism

CONG Xin, ZI Ling-ling, SUN Jin-guang

(School of Electronic and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: In order to decrease the unit costs of video service, a pricing strategy LBAS for video migration based on truthful auction mechanism was proposed. Firstly, according to the principles of market economy prices, service prices using the future video demand as independent variable were laid down by the VoD provider, so as to decrease the costs of the VoD provider. Secondly, a distance function was designed to measure the unit costs of video service. The proposed function computes the distance between the costs providing by cloud providers and expected prices offering by the VoD provider, and the obtained distance was used to determine who can win the auction. Thirdly, a replaceable video allocation algorithm based on the benefits of cloud providers was presented. The proposed algorithm increases the satisfaction of cloud providers and decreases the costs of the VoD provider. Finally, the AEM algorithm was improved through establishing the detection mechanism of video number, so as to adapt to the low-bid auction. The improved algorithm avoids the collusion among bidders and assures the benefits of the VoD provider. The experiment results demonstrate that LBAS can decrease 10% of the costs compared to the VMC strategy.

Key words: truthful auction, video migration, pricing strategy

收稿日期: 2015-05-19; 修回日期: 2015-11-12

通信作者: 訾玲玲, lingling19812004@126.com

基金项目: 国家科技支撑计划: 矿业组合服务支撑平台研究开发基金资助项目 (No.2013BAH12F02); 辽宁工程技术大学博士启动基金资助项目 (No.14-1045, No.14-1126); 辽宁省教育厅科学研究一般基金资助项目 (No.L2015225)

Foundation Items: The National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China: The Research on Platform of Mineral Service Composition (No.2013BAH12F02), The Ph.D Start-up Fund of Natural Science Foundation of LNTU(No.14-1045, No.14-1126), The Foundation of Liaoning Education Committee (No.L2015225)

1 引言

使用视频服务提供商提供的视频点播服务 (VoD, video-on-demand) 在线观看视频已成为当前人们流行的娱乐方式之一。随着用户数量的增加, 提供质量较好的视频服务所需的带宽也日益增大, 导致视频服务提供商必须面对 2 个不可回避的问题: 1) 带宽费用占视频服务商每个月费用支出比重达到一半以上^[1]; 2) 一天之中大部分时间带宽的利用率都是低于 20%^[2]。上述问题产生的根本原因是用户观看视频的行为在时间上的不平衡性, 亦即一天之中, 同时观看视频的用户数量在 21:00 达到峰值, 在 7:00 达到谷值^[3], 这就使视频服务提供商必须申请大量的带宽来满足峰值时用户流畅地观看视频的需求, 而这大量的带宽在谷值是不可能被用到的。在现有的 ISP 运营模式下, 高带宽费用支出和低带宽利用率是无法避免亦是无法解决的矛盾。

P2P 技术为缓和上述矛盾做出了一定的贡献, 但受限于网络中节点(用户)的自私性^[4], 即便在有激励机制存在的 P2P 文件网络中, 服务器完全不参与数据的分发和传输过程也是不可能的事情^[5,6], 更无论 VoD 这种每个节点都需要一定下载速率来保证视频能平滑播放, 激励机制又不能对网络系统太严格系统。近年来, 出现的云计算技术为此矛盾的解决提供了一种方法。通过预测技术提前获知未来一段时间的视频访问量^[7], 将高访问量的视频提前放置到云平台上, 在访问高峰时使云平台成为辅助的视频服务器, 参与数据推送和请求应答, 降低本地视频服务器的负载, 在访问低谷时释放占用的云平台资源, 节省费用。这种思想和云平台提供的“即付即用”^[8]方式完全吻合。采用云平台作为辅助的视频服务器可以避免增量部署额外的设备来满足日益增加的用户需求, 同时也减少了设备运行开销和维护所带来的人工开销。VMC 算法^[9]在对 Hulu 和 PPlive 真实数据分析 (包括视频文件播放时间、视频文件大小、用户观看视频规律、同时在线用户数、视频流行度分布、视频数等) 的基础上重点关注视频移植过程中的费用开销, 采用智能移植策略, 即在一天内只移植一次, 替换流行度低的视频, 保证云平台上的视频都是最受欢迎的。相比于当前以 P2P 技术为核心的 VoD 视频服务方案, 能够节省视频服务提供商 30% 的运营费用。OPT-ORS 方案^[10]设计了 Lyapunov 优化框架, 依据用户请求数来计

算需要云平台预留的资源数, 使服务费用支出和用户的满意度之间达到较好的平衡性。该方案以 Amazon 的价格体系为基础, 与在营的 VoD 视频服务方案在费用和请求服务时间 2 个方面进行了比较, 取得了较大的优势。

当前云提供商, 如 Amazon, 利用固定的价格模型收取服务费用。按需实例^[11], 允许用户以小时为周期支付固定的费用; 保留实例^[11], 允许用户每小时的使用费用都有一定的折扣价格。这种价格模型不能反映用户请求的变化趋势, 也不能时刻提供充足的资源, 导致了价格敏感型用户的流失。因此本文提出新的价格机制, 以进一步降低视频服务提供商的费用支出。

考虑如下情形: 当越来越多的云平台建立之后, 由于基础设施规模和架构的不同, 所提供的服务质量是有差别的, 所收取的服务费用亦是有高低之分的; 当视频服务提供商的规模极大时, 云平台的带宽大小可能成为提升视频服务质量的瓶颈; 当云平台发生灾难短时不能恢复时, 视频服务的中断对用户的观看体验的影响是巨大的。因此租用多个云平台取代租用单个云平台作为辅助服务器会是更好的选择。不失一般性, 假设云辅助 VoD 系统是由一个本地视频服务器系统和多个云平台组成, 节点以 P2P 方式相结合互换部分数据并向本地视频服务器或云平台发送连接应答请求和使用数据推送服务。在此种情形下新的价格机制也能很容易地扩展到有多个视频服务提供商和多个云平台提供商所组成的视频点播服务系统。

提出的新价格机制 (命名为 LBAS) 以拍卖机制为基础, 首先, 建立了符合市场经济模型的视频集定价算法, 以降低视频服务的单位价格, 定价算法保证了视频服务提供商能以视频的请求数为基准将视频集打包并得到合理的定价; 其次, 构建新的基于低价格的拍卖模型, 此模型的主要实体是视频提供商和云平台提供商, 竞拍的物品时视频集, 其中, 视频提供商是货物的销售方, 云平台提供商是货物的购买方, 采用最低价格竞标的方法将视频集分配到云平台上; 再次, 建立可替换竞拍物品 (视频集) 的视频集分配方法, 这是本文拍卖算法的独特之处, 以预期收益为目标, 将不同收益的视频集进行组合, 从而满足竞拍者需求, 降低货物的剩余率; 最后, 为了避免云平台提供商之间的联盟对拍卖过程造成的负面

影响, 引入并改进了 AEM 算法, 使拍卖过程达到 t 诚信。在构建了模拟实验架构后, 对提出的价格机制进行了详细的评估, 实验结果显示相比于 VMC 算法, 提出的机制能够进一步降低视频服务提供商 10% 的费用支出。

2 拍卖机制运行场景模型

假设存在一个大规模的视频点播服务提供商(视频提供商)和多个商业化运行的云平台服务提供商(云提供商), 视频提供商租用云平台资源并辅以本地视频点播服务器提供视频点播服务, 同时向云提供商支付费用。云提供商利用云平台提供视频点播服务所需的各类资源(如视频文件存储服务器、视频数据分发服务器、用户请求应答服务器等), 并向视频提供商收取费用以获得预期的收益。这个假设的合理性在于以下 2 方面。1) 对于视频点播服务所需的一个重要的资源即带宽, 不同于存储能力和计算能力, 可以通过增加部署新的服务器来实现, 带宽能力需要经过向诸如 ISP 申请才能得到提升。云平台的带宽能力是否是无限的, 是视频点播服务架构设计时需要考虑的问题。2) 已有的案例表明, 云平台会发生灾难事件从而导致在云上运行的服务发生中断。如 2012 年 Amazon 云平台的服务中断导致 Netflix 视频服务中断。云平台偶发的灾难导致服务中断亦是架构设计时需要考虑的问题。

在上述实际场景成立的情况下, 设计如下虚拟场景以利于拍卖算法的运行。视频提供商拥有视频资源, 将作为拍卖资源的提供者, 云提供商竞争拍卖资源并提供服务, 将作为竞拍者, 即视频提供商收取资源拍卖的费用, 云提供商支付资源拍卖的费用。需要注意的是, 实际的情况是视频提供商支付费用而云提供商收取费用。

视频按照未来一段时间的用户请求数^[12]进行分类, 视频类即为拍卖的货物。云提供商依据预期收益值来出价以竞拍货物, 而后视频提供商将云提供商竞拍得到的视频类移植到云平台上, 由云平台提供视频点播服务。如果视频提供商有新上映的视频, 则重复拍卖过程, 进行增量拍卖。为了描述拍卖过程, 设定参数如下。

视频提供商。将视频按照某种原则进行分类, 分类数目为 n 。分类原则可以是未来一段时间用户请求数, 如未来一天内低用户请求数的视频为一类, 高用户请求数为一类, 或者视频服务

单位带宽价格, 如服务高用户请求数的视频所需的单位带宽价格应低, 服务低用户请求数视频所需相反。

每个视频类内的视频为有限的数目, 其值为 r_i , 可形成拍卖的视频集矩阵为 $\mathbf{R}=[r_1, r_2, \dots, r_n]$ 。服务第 i 类视频所需资源的单位价格为 pv_i , 可形成服务价格集矩阵 $\mathbf{pv}=[pv_1, pv_2, \dots, pv_n]$ 。视频提供商希望云提供商能以等于或低于 pv_i 的价格购买视频 i 。云提供商购买的视频集可表达为 $S=\{0, 1, \dots, r_1\} \times \{0, 1, \dots, r_2\} \times \dots \times \{0, 1, \dots, r_n\}$ 。

云提供商。参与拍卖的云提供商数目为 m , 第 k 个云提供商预期收益为 b_k , $\mathbf{S}_k=\{r_k^1, r_k^2, \dots, r_k^n\}$ 是为了实现 b_k 而希望竞拍成功的视频集矩阵。 r_k^i 是 k 购买 i 的数量。当购买的视频单位价格集矩阵为 $\mathbf{P}_k=\{p_k^1, p_k^2, \dots, p_k^n\}$ 时, $b_k=\sum_{i=1}^n p_k^i r_k^i$ 。

视频的估值。竞拍者 k 购买 S 希望支付的价格下限 M_k , 当最后的价格低于此值时, 服务 S 没有任何收益, 还可能有所损失。 k 也可以通过非诚信出价来获得更好的排名位置, 如给出低于 M_k 的价格。 m_k^i 表示 k 对 i 的最小出价, $M_k=\sum_{i=1}^n m_k^i r_k^i$ 。按照拍卖原则, 仅仅当竞拍者所希望得到的视频集中的每个视频数都满足, 才支付 M_k , 否则支付 0^[13]; M_k 仅被 k 所知, 且独立于其他竞拍者的出价^[14]。

视频的支付。 T_k 代表 k 需要支付视频集的实际价格。 T 是拍卖者的总收入, $T=\sum_{k=1}^m T_k$ 。

3 拍卖算法

3.1 视频定价算法

从视频提供商角度建立视频定价方案, 以降低本地服务器费用支出。在现行带宽收费模式下, 视频提供商支付给 ISP 的每单位视频服务费用是固定的, 以 \overline{pv} 标记, 是 $1 \times n$ 的矩阵, 矩阵中每个元素都有相同的数值。

将每类视频的平均用户请求数 \overline{d}_i 按照降序排列, 可以得每类视频用户请求数集, 定义为矩阵 $\mathbf{D}=[\overline{d}_1, \overline{d}_2, \dots, \overline{d}_n]$ 。

建立视频价格方案, 满足以下条件: 1) 相比于现行的视频服务, 视频提供商所支付的费用要更低; 2) 云提供商必须有收益。视频定价算法的设计满足条件 1), 在下文中详细说明如何满足条件 2)。

建立 D 和 pv 之间的关系

$$pv = f(D) \quad (1)$$

满足用户请求所需支付的资源数和价格之间要满足经济学法则，即消费者购买的物品单价越低，其销售量越高；单价越高，销售量会降低。因此， f 是减函数，随 D 的增加， pv 降低。

利用 pc 表明服务每类视频的开销， $pc = [pc_1, pc_2, \dots, pc_n]$ ， pc_i 是服务 i 的单位费用开销，表明云提供商服务视频的开销。

为了降低视频提供商的费用开销， pv 满足

$$pv \times D^T \leq \overline{pv} \times D^T \quad (2)$$

$$\begin{aligned} (pv_1 - pc_1) \overline{d}_1 &\geq (pv_2 - pc_2) \overline{d}_2 \geq \dots \\ &\geq (pv_n - pc_n) \overline{d}_n \end{aligned} \quad (3)$$

式(2)能保证条件 1) 得到满足。构建式(3)的原因在于：为了使高请求数的视频被云提供商选择，服务此类视频的收益要大于服务低请求数的视频类。式(3)有可能造成低请求数视频不被云提供商选择，但此类视频完全可以由视频提供商服务器应答，因服务其所需的资源很少。

3.2 低价格赢标的视频分配算法

已有的多单位联合拍卖优化算法的复杂度较高^[15,16]，因此设计了基于低价格赢标的视频分配算法。

视频提供商按给定原则将视频聚类成视频集，形成 D 、 R 和 pv ，将这 3 个值分别发送给参与竞拍的云提供商。云提供商依据自己的服务成本和预期收益评估服务每类视频所需的单位成本，形成 P_k 、 S_k 。云提供商发送 S_k 和总竞拍价格到视频提供商。总竞拍价格定义为 C_k ， $M_k \leq C_k \leq b_k$ 。此处保证第 3.1 节中条件 2) 成立。

由于云提供商为不同类型视频集提供视频点播服务需要占用不同的资源，如带宽、内存等，需要设置实例权重用以区分资源占用的程度。视频集中的第 i 类视频的权重标记为 $w_i \in \mathbb{R}^+$ 。定义距离参数 dis_k ，表明哪些云提供商能够赢得拍卖。

$$dis_k = \frac{pv \times S_k^T - C_k}{\sum_{i=1}^n w_i r_k^i} \quad (4)$$

dis_k 为不同云提供商给出的价格与视频提供商价格的差值，即服务视频的平均价格差值。此值小于 0 时，说明视频提供商需要向云提供商支付高于

其预期的费用；此值大于 0 时，说明视频提供商向云提供商支付费用低于预期，对于视频提供商来讲，这是有益的事情。

为了将视频集尽可能地分配到云提供商，设计了基于迭代的视频集分配算法，如算法 1。

例 1 说明算法 1 是诚信的。

视频提供商有 4 种视频集，标记为 $\{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ ，每种视频的数量为 $\{1, 2, 5, 3\}$ 。3 个云提供商，标记为 $\{c_1, c_2, c_3\}$ ，竞拍这些视频。假设视频类权重为 $w_i = \{0.5, 1.0, 1.5, 2.0\}$ 。 c_1 以总价格 6 竞拍 $\{1v_1, 1v_2, 1v_3\}$ ， c_2 以总价格 10 竞拍 $\{1v_2, 3v_3\}$ ， c_3 以总价格 20 竞拍 $\{2v_3, 3v_4\}$ 。经过算法 1 的计算，服务视频的平均价格为 $\{2.0, 1.8, 2.2\}$ ， c_1 、 c_2 被满足， c_3 被拒绝。那么，如果 c_1 以非诚实的出价 7 竞拍，服务视频的平均价格为 $\{2.3, 1.8, 2.2\}$ 。在这种情况下， c_1 被拒绝。从上述简单的例子可以看出，对于竞拍者来说，最好的策略就是如实地给出竞拍价格。

算法 1 基于低价格拍卖的视频集分配算法

- 1) While(视频集为空 || 没有云提供商再参与竞拍){
- 2) 传播 S 、 D 到云提供商处；
- 3) 传播 S_k 、 C_k 到视频提供商处；
- 4) 计算 dis_k 并按降序排列；
- 5) 选择 dis_k 最大值的云提供商，满足其要求 S_k ；
- 6) If(S_k 中的每个视频类的数量都小于 r_i){
- 7) 分配成功；
- 8) 更新序列 R ；
- 9) 删除竞拍者 k ；
- 10) }else{
- 11) 分配失败；
- 12) }
- 13) }

评估算法 1 的时间复杂度：排序 dis_k 的时间复杂度是 $O(m \log m)$ 。低价格视频集分配算法的时间复杂度是 $O(mn)$ ，因此算法 1 的时间复杂度是 $O(mn)$ 。

3.3 视频(货物)替换算法

已有的拍卖模式是建立在竞拍者竞争货物的种类和数量都是固定的情况下，而以预期收益为基准的视频类是可替换的，这是本文 LBAS 在拍卖机制上区别于其他文献的创新之处。

例 2 竞拍者 a 需要 3 单位的 CPU，4 单位的内存来完成一项工作。但此时，拍卖人只剩余 2 单

位的 CPU 和 5 单位的内存，那么，拍卖人给 a_2 单位的 CPU 和 5 单位的内存是不合适的。但是，在 LBAS 中，货物可以替换的，即如果竞拍者 a 需要 3 单位的 v_1 和 4 单位的 v_2 来获得收益 C ，但是，拍卖人只剩余 2 单位的 v_1 ，4 单位的 v_2 和 5 单位的 v_3 ，那么如何分配货物来满足 a 呢？考虑到 1 单位 v_1 所获得的收益等于 2 单位 v_3 所获得的收益，那么用等价的原则来替换货物满足 a 是可行的。

在算法 1 过滤出能初步赢得拍卖的云提供商之后，按降序排列形成 $[c_1, c_2, \dots]$ 。在此序列中，相比于 c_2 ，竞拍者 c_1 分配到视频类对于视频提供商来讲是最有利的，但如果 c_1 所需视频类数量不能得到满足时，视频提供商就会多支付费用，因此存在如下问题。

问题 1 在运行算法 1 之后，设计何种分配算法，使视频提供商本地服务器上预留的视频总体开销尽可能得小。

满足条件：1) 当竞拍者所竞拍货物（亦是预期的收益）完全被满足后，终止其竞拍过程；2) 视频类以收益为基准，是可替换的；3) 竞拍者请求的视频类数量足够时，这部分将被满足，形成固定视频集，不能满足的部分形成可变视频集；4) 固定视频集和可变视频集的收益之和不等于（严格）或不接近于（存在阈值）预期设定的收益，则视频类分

配失败，已分配的固定视频集需要放回剩余视频集，并参与下一次分配。如图 1 所示。

问题 1 的数学描述如下

$$\max \sum_{k \in m'} (Fix_k + \sum_{i \in n'} w_i r_i') \quad (5)$$

$$Fix_k + \sum_{i \in n'} w_i r_i' \approx \sum_{i \in n} w_i r_i \quad (6)$$

其中， m' 是请求未被满足的云提供商集， n' 是剩余视频集。 Fix_k 是固定视频集， $\sum_{i \in n'} w_i r_i'$ 是可替换视频集。如果式(6)不能满足，则 Fix_k 需要返回 n' ，并参与下一次分配（详见算法 2）。算法 2 的时间复杂度为 $O(m \log(m) + m'n' \log(n'))$ 。

3.4 费用支付算法

k -Vickrey 算法能保证竞拍者诚信出价，并达到 Pareto 有效性^[16]，使竞拍者只关注如何更好地估计视频集的价格而不用考虑其他竞拍者的出价，亦能使视频提供商获得理想的价格。在此算法中，需要找到一个最小值 mv_k ，定义为竞拍过程中在竞拍者 k 不参与的情况下，被接受的最大的 dis 值。而竞拍者 k 需要支付的价格为

$$mv_k = \frac{C_{-k}}{\sum_{i=1}^n w_i r_i^i} \quad (7)$$

$$T_k = \sum_{i=1}^n w_i r_i^i mv_k \quad (8)$$

C_{-k} 是在竞拍者 k 不参与竞拍的情况下，被接

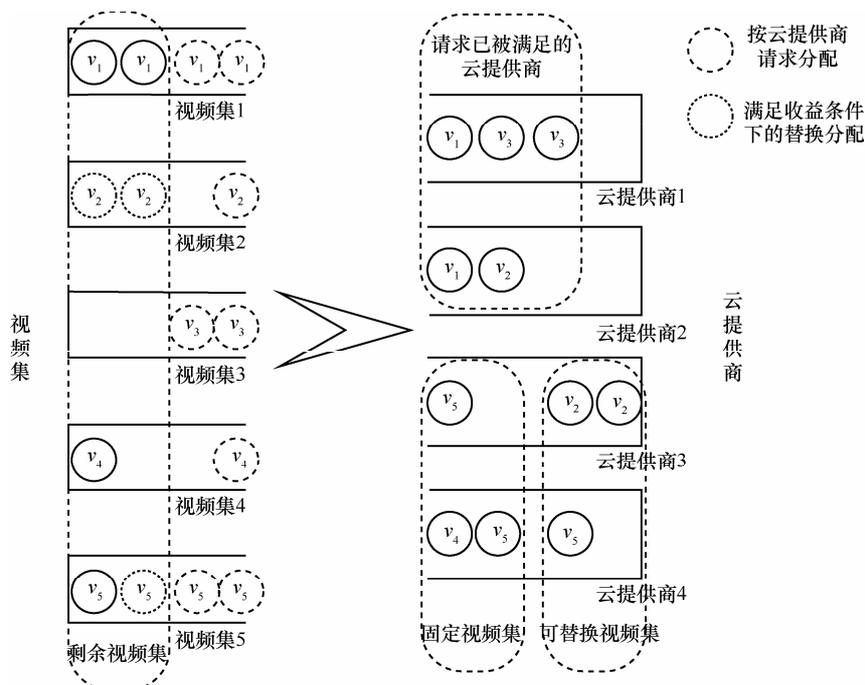


图 1 可替换货物的视频集分配

受的竞拍者总的价格值, r'_{-k} 是没有竞拍者 k 的情况下, 被接受的竞拍者竞拍 i 的数量。 k 竞拍成功支付 T_k , 否则支付 0。

算法 2 可替换视频集的贪婪分配算法

- 1) 按 dis_k 降序排列 m 中的云提供商, 形成 m' ;
- 2) While(遍历 $k, k \in m'$) {
- 3) 按 w_i 降序排列视频集, 形成 n' ;
- 4) $b_k=0; num=0;$
- 5) For(int $l = 1; l \leq n'.length; l++$) {
- 6) 找到满足 $numw_l \leq \sum_{i \in n'} w_i r_k^i - b_k \leq (num+1)w_l$ 的 num ;
- 7) $b_k += num w_l;$
- 8) }
- 9) If(式(6)成立) {
- 10) 删除 k ;
- 11) 更新 n' ;
- 12) }else {
- 13) Fix_k 返回 n' ;
- 14) }
- 15) }

3.5 联盟抑制算法

在竞拍的过程中, 可能会遇到如下问题。

问题 2 若干竞拍者形成联盟后, 相互之间串通 C_k 来获取联盟利益的最大化, 使联盟成员都能获得较高的收益, 同时损害拍卖者利益。如何设计算法来避免此问题的发生, 同时适应低价格竞拍机制。

AEM 算法^[13]是 Andrew V. Goldberg 提出的能够抑制拍卖过程中竞拍者联盟的策略, 其核心思想是以概率 $\frac{1}{k}$ 进行竞拍者集选择, 找到此集合中竞拍者最高出价 p , 而后以[0,1]之间的某个随机数为基准, 扩大此集合并找到第一个大于该集合元素个数的数值 n_p , 评估 n_p 和概率 k 的关系, 当 $n_p \leq k$ 时, 可保证此次拍卖过程中不会有 k 个竞拍者联盟。

本文以 AEM 算法为基础, 提出改进的 AEM 算法 AEM'。

- 1) 设定集合 S 评估第 k 低价格拍卖, S 中的元素以概率 $\frac{1}{k}$ 进行选择, S 中元素最低出价标记为 p 。
- 2) 评估 S 中出价低于 p 的元素数量, 设置变量为 y , 满足[0,1]之间的均匀随机分布。计算 n_p , $n_p = \lfloor \#_p(b) \rfloor_{\{2^{2+y}; y \in \mathbb{Z}\}}$ 。

- 3) 如果 $n_p \leq k$, 则所有竞拍者价格均为 p 。
- 4) 如果 $n_p > k$, 竞拍者 i 的价格以概率 $\frac{k}{2n_p}$ 为 p ,

满足其他概率时为 ∞ , 而后执行 k -Vickrey。

在 AEM', $\#_p(b)$ 定义为集合 b 中竞拍者的数量, 这些竞拍者的出价至少为 p 。 $[x]_S$ 定义为满足 $x' \in S$ 且 $x' \leq x$ 的最大值, 即 x' 是小于且最接近于 x 的值。设计迭代的联盟抑制算法如算法 3 所示。

算法 3 基于迭代过程的 AEM'联盟限制算法

- 1) While(所有的视频集都被分配完毕或者视频集数量不能满足竞拍者请求的数量) {
- 2) 输入 S ;
- 3) 输入 S_k, C_k ;
- 4) 通过 S_k 计算视频集 i 的 S_{ki} 值;
- 5) For($i=1; i \leq$ 视频集类型的数量; $i++$) {
- 6) 运行 AEM 算法;
- 7) 记录 O_{ki} ;
- 8) }
- 9) For($j=1; j \leq$ 竞拍者数量; $j++$) {
- 10) If(竞拍者 j 所希望的视频集数量被满足) {
- 11) 分配成功;
- 12) 更新 O_{ki} ;
- 13) Else {
- 14) 将 q_{ki} 加回到每个视频集};
- 15) }
- 16) }
- 17) 输出 O_{ki} ;

从算法 3 中可以看出, VoD 提供商以 S 和 S_k 为基础分配视频集到云提供商, 利用 AEM'算法能够达到规模大小为 t 的联盟限制, 即结盟的竞拍者数量小于或等于 t 。在每次循环过程中, AEM'首先以概率 $\frac{1}{k}$ 随机选择一些竞拍者, 同时决定最低的出价 $p(k, p$ 都是 AEM 算法定义的参数)。然后, 选择归一化的随机变量值计算 $n_p = \lfloor \#_p(b) \rfloor_{\{2^{2+y}; y \in \mathbb{Z}\}}$, 随机变量值的取值为[0, 1]。而后, p 和 n_p 用于发布价格: 当 $n_p \leq k$ 时, 所有的竞拍者得到价格 p ; 否则, 所有竞拍者得到价格 z_i , 其中, $z_i = p$ 的概率为 $\frac{k}{2n_p}$ 。最后, 当视频集全部销售完毕时运行 k -Vickrey 算法。

需要注意的是，随机选择和一致性技术能够保证避免竞拍者之间的联盟。但是，在进行视频集分配的过程中，必须要考虑到视频集数量限制，同时，竞拍者只有在完全获得其预先想要的视频集后才支付费用，因此必须将检测算法加入到 AEM 算法中。

设计的检测算法如下：在第 i 次循环过程中，记录视频集 i 的分配结果 O_{ki} 。 $q_{ki} \in Q_{ki}$ 表示临时分配到竞拍者 r 上的视频集 i 的数量，这个值等于竞拍者 r 预先希望得到的视频集 i 数量。当所有的视频集都计算完毕后，需要检测 S_k 来决定是否所有竞拍者希望的视频集数都满足。如果都被满足，那么视频集分配成功，否则，将 q_{ki} 回到视频集 i 的剩余数量上，并参与下次循环过程。如果所有剩余的视频集都不能满足竞拍者，那么这些视频集需要 VoD 提供商服务器完成请求应答过程。

下面通过定理证明算法 3 是诚信的。

定理 1 算法 3 以概率 p 满足 t 诚信的，其中，

$$p = 1 - \Theta\left(\frac{t}{k}\right).$$

证明 定义 t 诚信如下：对于任何竞拍者数量小于或等于 t 的联盟，联盟之中的竞拍者能够获得利益最大化的前提条件是，所有的竞拍者都能如实地给出自己的价格。AEM 算法已经被证实以概率 $1 - \Theta\left(\frac{t}{k}\right)$ 符合 t 诚信的。

算法 2 中，每个视频集都是利用 AEM 算法独立计算的。因此，对于视频集 i ，假设联盟中的竞拍者数量为 t_i 。那么，在 t_i 中，AEM 算法能够保证每个竞拍者都能如实地出价，从而获得最大的收益。而在视频集拍卖的过程中，视频集彼此相独立，因此竞拍者不能通过非诚实的出价来使收益最大化。因此提出的算法能够保证是 t_i 诚信的。

视频集 i 是以概率 $p_i = 1 - \Theta\left(\frac{t_i}{k}\right)$ 达到 t_i 诚信的。

所有视频集都是 t 诚信的概率以 p 表示。 p 计算如下

$$p = \prod_{i \in S} p_i = \prod_{i \in S} (1 - \tilde{p}_i) \geq 1 - \sum_{i \in S} \tilde{p}_i, \tilde{p}_i = 1 - p_i \quad (9)$$

其中， $\sum_{i \in S} \tilde{p}_i = \sum_{i \in S} \Theta\left(\frac{t_i}{k}\right) = \Theta\left(\sum_{i \in S} \frac{t_i}{k}\right)$ ，且 $\sum_{i \in S} t_i \leq t$ 。

式(9)表达如下

$$p = 1 - \Theta\left(\frac{t}{k}\right) \quad (10)$$

4 实验评价

为了评估 LBAS 的性能，设计详细的模拟实验，并与 VMC^[9]机制和 OPT-ORS 方案^[10]对比。VMC 和 OPT-ORS 已经被证实是较好地节省视频提供商费用的机制。

4.1 实验设置

设定 2 个评价参数：费用节省率和用户满意度。

$$\text{费用开销率} = \frac{\text{支付给赢得竞拍的云提供商费用之和}}{\text{传统架构下费用开销之和}}$$

$$\text{费用节省率} = 1 - \text{费用开销率}$$

$$\text{用户满意度} = \frac{\text{赢得竞拍的云提供商数量}}{\text{参与竞拍的云提供商数量}}$$

需要注意的是，标识观看视频用户满意度的评价指标也应被评定，但由于视频点播服务是由云提供商提供，是相关于云平台能力的参数，因此这个参数对 LBAS 策略的评估无意义。而实际上，视频点播提供商有权与云提供商交涉来提高用户满意度。

每个视频权重符合 $(0,1]$ 均匀分布，云提供商选择的视频类数量符合 $[0, r_i]$ 均匀分布。使用 Amazon EC2 的价格模式为实验价格基准。为了区分云平台能力，其服务成本在基准价格基础上随机进行小幅增减， p_v 和 D 关系是线性的。实验模拟运行环境在本地云中。典型的服务器配置为 2 个 4 核 CPU，频率为 2.4 GHz，32 GB 内存，选择 15 个虚拟机作为独立云，配置为 4 GB 内存，80 GB 存储空间，1 Mbit/s、4 Mbit/s 和 10 Mbit/s 带宽。依据文献[9]给出的视频网站视频播放时间长度，服务各类视频所需的单位费用开销，设定：视频集数量为 1 000~6 000，视频播放时间为 10 min~1.5 h，视频集分组 n 为 10~30， r_k^i 取值从 0 到视频类数最大值。

4.2 实验结果

图 2 显示的是在云提供商数不同的情况下的费用节省率。随云提供商数的增加，费用节省率在增加，这归因于基于 dis_k 的视频集分配方案。如果云提供商每次拍卖过程中想要获胜，就得使 dis_k 尽可能得大，从而导致服务视频请求的单位价格在降低。另一个因素在于分配到云提供商处的视频数

量的增加。

图 3 是与当前最新的视频服务费用节省方案 VMC 相比较的结果。以当前各大视频服务提供商采用的 P2P-VoD 视频服务方案为基准，VMC 能够降低 30% 的费用，LBAS 能降低约 40% 的费用。这归功于云提供商之间的竞争，同时视频服务的定价权从云提供商转移到视频提供商处。与基于云资源预留的视频服务方案 OPT-ORS^[10] 相比较，由于 OPT-ORS 以预留资源的开销来换取请求应答时间的缩短为目的，造成其费用支出要稍高于 VMC 算法，但用户满意度确高于 VMC 算法。LBAS 核心思想是将视频实例交由云平台进行视频服务，通过

云提供商间的竞争降低视频单位服务费用，但用户满意度依云平台的基础设施和平台设置的不同而不同，无法在本地量化衡量。用户满意度的衡量需要本地视频服务提供商对云服务提供商进行监督，如果用户满意度低，可弃之不用。

图 4 显示了视频集数不同时用户的满意度。随着视频类数量的增加，用户满意度增加，值可以达到 1。这是由于所有的云提供商预期的收入都由于有足够的视频类而得到满足，或者可以找到足够的替换视频类。用户满意度在竞争固定数量的视频类时，随云提供商数量的增加而下降。原因在于赢得竞拍的云提供商占据了大量的视频，导致剩余的数

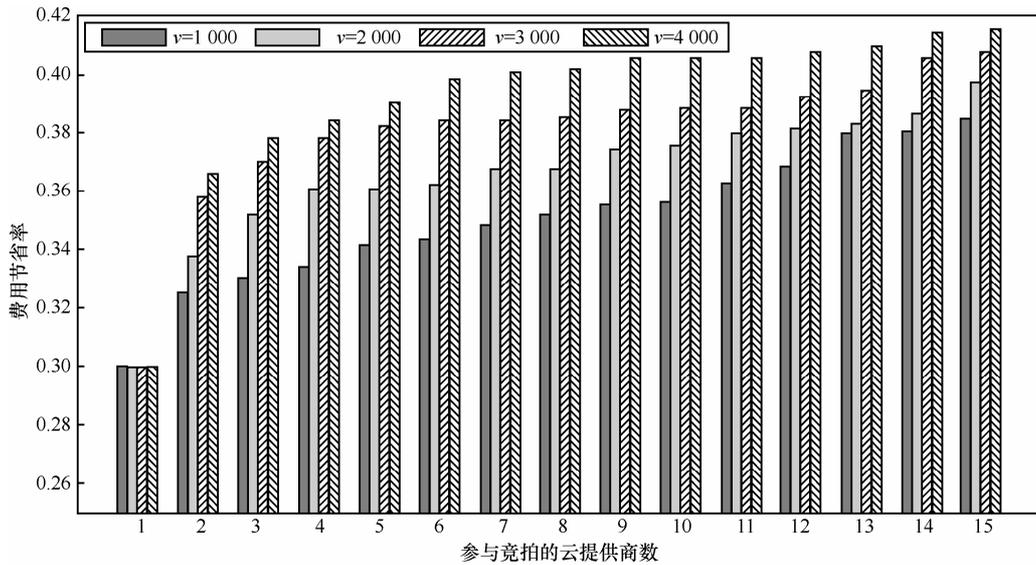


图 2 云提供商数和视频集数不同时费用节省率的变化

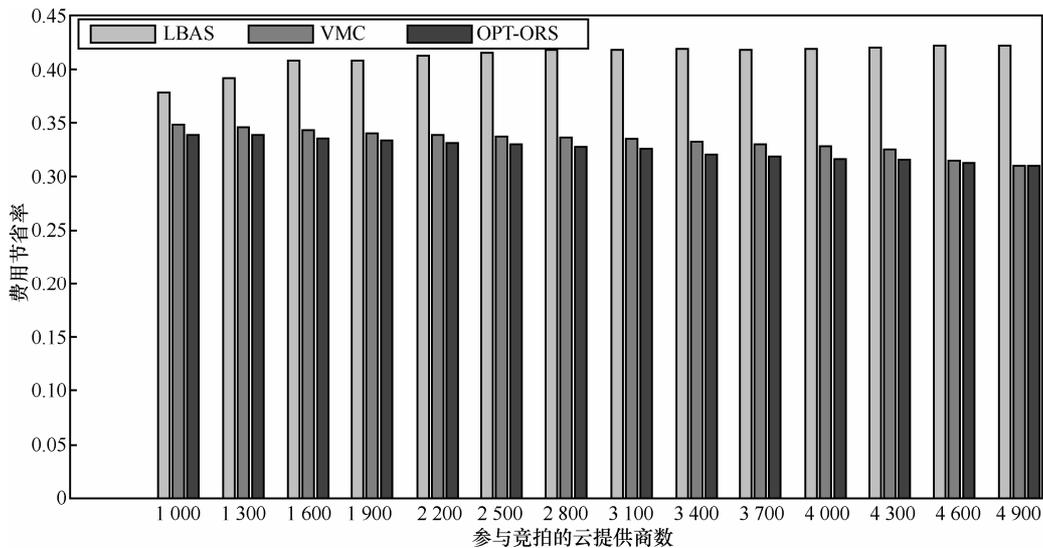


图 3 LBAS、VMC 和 OPT-ORS 在费用节省率参数上的对比

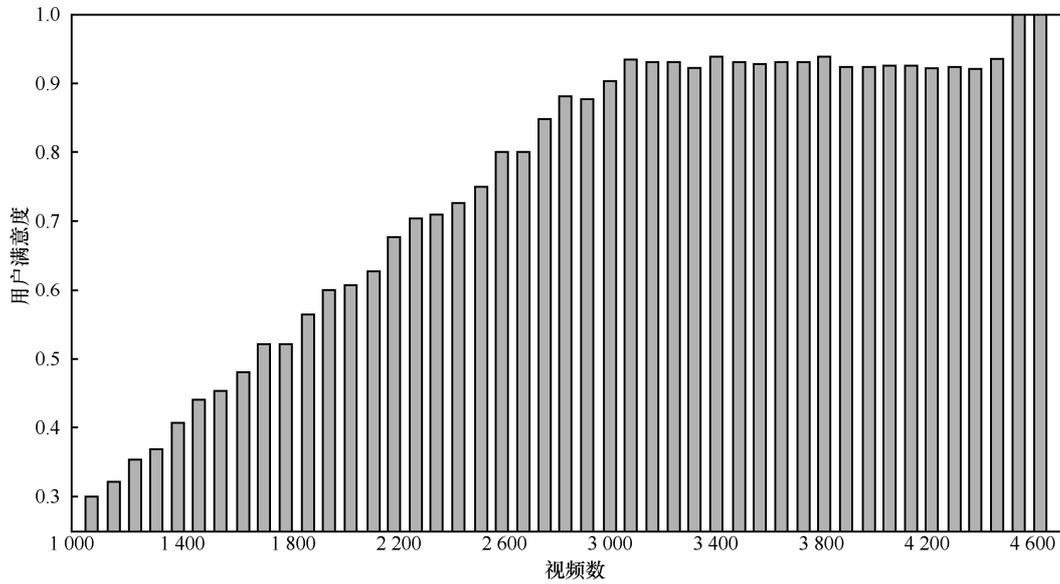


图 4 视频数和用户满意度之间的关系

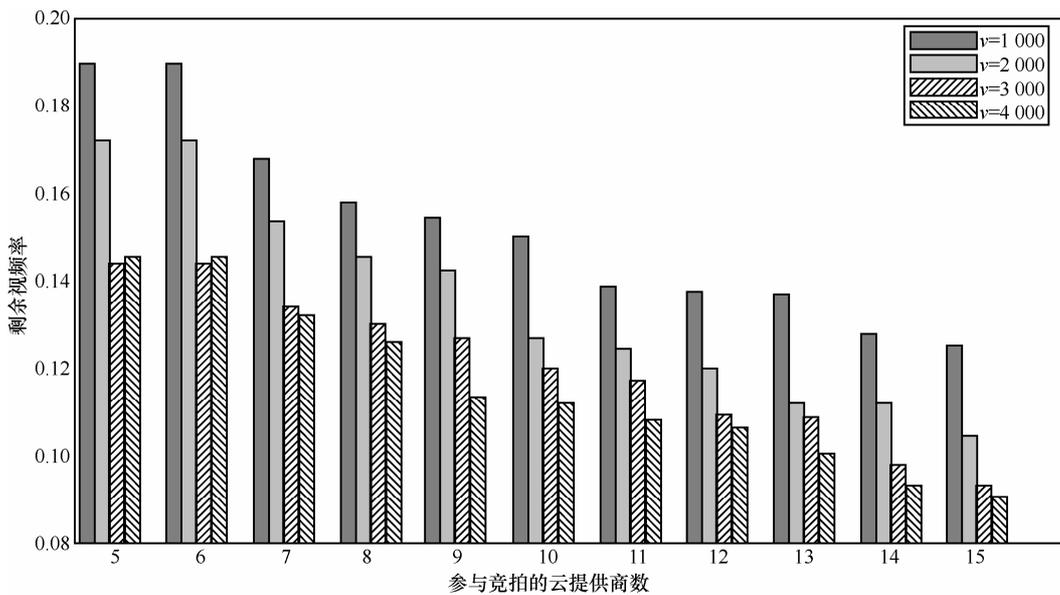


图 5 剩余视频率和云提供商数之间的关系

量不能满足其余的云提供商需求，这种情况发生在所有的视频集上，因此可替换的视频集也不充足。

图 5 是剩余视频集和云提供商数间的关系。引入参数——剩余视频率

$$\text{剩余视频率} = \frac{\text{没有被分配到云平台的视频数}}{\text{总的视频数}}$$

剩余视频必须被视频服务提供商服务器应答，会降低费用节省率。可以看出，随云提供商数的增加，剩余视频率在降低。但当云提供商数固定时，

更多的视频集能够获得较小的剩余视频率，这归因于有足够的视频集用于替换。

图 6 显示的是用户满意度和费用节省率之间的关系。对于视频提供商来说，当用户满意度等于 1 时对其是有害处的。此时，所有的云提供商都获得了预期的收入，并且都不参与竞拍过程，此时剩余的视频集不得不通过 VoD 提供商本地的服务器来应答。

评估分配算法的视频集可替换程度对剩余视频集的影响，设置参数 δ 。 δ 是每个云能够容忍的

浮动收益。例如：竞拍者 i 的所申请的 $w_i r_i$ 之和为 100，且 $\delta=0.01$ ，那么之和值就可以是 99~101 的任何数。图 7 显示了当 $\delta=0.03$ 和 $\delta=0.05$ 时的剩余视频数。随着 δ 值的增加，能够分配到云中的视频集数在增加，但是增加幅度不大。这归结于贪婪分配算法能够很容易将视频进行重组和替换。

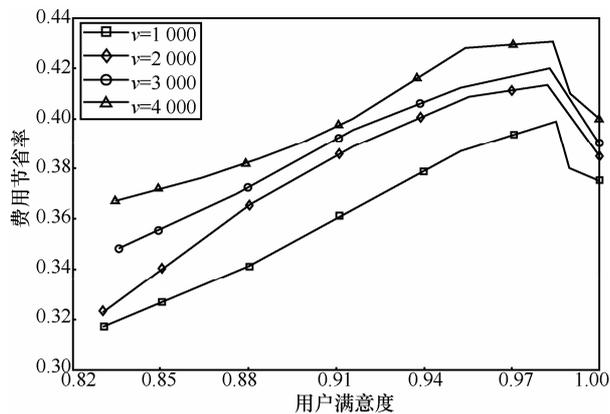


图 6 用户满意度和费用节省率之间的关系

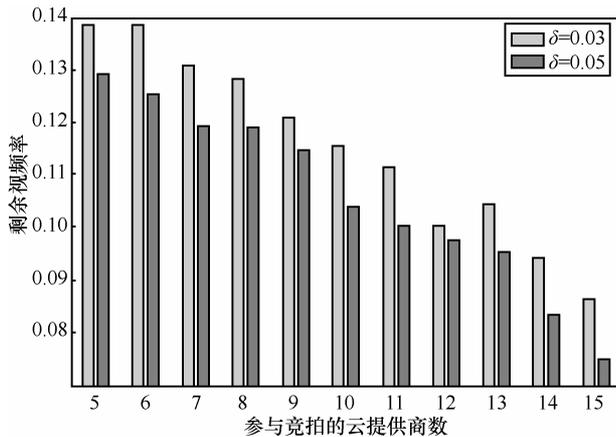


图 7 云提供商数和 δ 对剩余视频率的影响

4.3 讨论

基于上述结论，视频提供商必须通过视频集的数量来评估参与竞拍的云提供商数量。相比 VMC 机制，提出的机制能够进一步节省 10% 的费用，并且能够避免服务的中断。同时，LBAS 能够以较小的价格处理突发流量。更重要的是，LBAS 能适应未来视频移植过程，即当视频提供商规模很大且云提供商可选时，如何处理突发请求并节省费用。提出的策略应用于由一个大规模视频提供商和多个云提供商组成的云辅助 VoD 系统中，其可轻易地扩展到多个视频提供商和多个

云提供商组成的系统中，仅仅需要增加一个中间商，用于连接视频提供商和云提供商。所有的视频提供商发送视频集到中间商处，并且由中间商利用提出的策略来分配视频集。但是，同时也需要考虑到中间商的收益。

5 结束语

当视频提供商规模较大时，单个云提供商也许不能满足其所需的资源需求，如带宽，同时为了避免由于云灾难而导致的视频服务的中断，选择多个云提供商参与视频服务是个很好的解决方案。基于上述问题，本文提出了基于拍卖机制的视频集分配方案。其以出价的高低来确定是否竞拍成功，价格越低，成功可能性就越大。同时，为了避免由于竞拍者之间的联盟而导致 VoD 提供商利益的损害，设计了 AEM 算法，使竞拍过程能够达到 t 诚信的。实验结果表明，VMC 策略能够比传统的视频点播服务策略节省 30% 的费用，而 LBAS 能够进一步节省 10% 的费用，因此可以认为提出的策略是有效的。

参考文献:

- [1] HUANG C, LI J, BOSS K W. Can Internet video-on-demand be profitable?[J]. Proceedings of ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2007, 37(4):133-144.
- [2] HUANG G M. An upload bandwidth allocation algorithm in data scheduling of P2P VoD system[C]//The 2014 5th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science. c2014: 435-438.
- [3] ZHONG L J, XU C Q. DLCA: distributed load balancing and VCR-aware two-tier P2P VoD system[C]//The 2014 IEEE 11th Consumer Communications and Networking Conference. c2014: 119-204.
- [4] DAVID H. From selfish nodes to cooperative networks-emergent link-based incentives in peer-to-peer networks[C]// The Fourth International Conference on Peer-to-Peer Computing. c2004: 151-158.
- [5] MEULPOLDER M, POUWELSE J A, EPEMA D H J. Bartercast: a practical approach to prevent lazy freeriding in P2P networks[C]// IEEE International Symposium on Parallel & Distributed. c2009:1-8.
- [6] SATSIUO A, TASSIULAS L. Trust-based exchange of services to motivate cooperation in P2P networks [J]. Peer-to-Peer Networking and Applications, 2011,4(2):122-145.
- [7] 丛鑫, 双错, 苏森, 等. 基于带宽请求预测和云资源预留的视频移植策略[J]. 通信学报, 2014,(5): 167-175.
- [8] CONG X, SHUANG K, SU S, et al. Video migration strategy based on bandwidth demand prediction and cloud resource reservation[J]. Journal on Communications, 2014,(5):167-175.
- [8] Amazon [EB/OL]: <http://www.aws.amazon.com/Clodfront>.

- [9] LI H T, ZHONG L L, LIU J C, et al. Cost-effective partial migration of VoD services to content clouds[C]//IEEE 4th International Conference on Cloud Computing. c2011:203-210.
- [10] HE J, WEN Y G, HUANG J W, et al. On the cost-QoE trade-off for cloud-based video streaming under amazon EC2's pricing models[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2014, 24(4): 669-680.
- [11] HAJJAT M, SUN X, SUNG Y W E. Cloudward bound: planning for beneficial migration of enterprise applications to the cloud[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2010, 40(4): 243-254.
- [12] DI N, LIU Z M, LI B C, et al. Demand forecast and performance prediction in peer-assisted on-demand streaming systems[C]//The 30th IEEE International Conference on Computer Communications. c2011: 421-425.
- [13] GOLDBERG A V, HARTLINE J D. Collusion-resistant mechanisms for single-parameter agents[C]//The sixteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms. c2004:620-629.
- [14] CHEN Y J, LIN P, ZHANG Q. LOTUS: location-aware online truthful double auction for dynamic spectrum access[C]//The 2014 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks. c2014: 510-518.
- [15] TSAI Y H. The cloud streaming service migration in cloud video storage system[C]//The 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops. c2013: 672-677.
- [16] LI W. An extensible and flexible truthful auction framework for heterogeneous spectrum markets[C]//The 15th ACM International

Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. c2014: 175-184.

作者简介:



丛鑫(1982-), 男, 辽宁阜新人, 博士, 辽宁工程技术大学讲师, 主要研究方向为 P2P 技术、云计算和流媒体。



訾玲玲(1981-), 女, 辽宁阜新人, 博士, 辽宁工程技术大学讲师, 主要研究方向为智能软件、图形图像与多媒体。



孙劲光(1962-), 女, 辽宁阜新人, 博士, 辽宁工程技术大学教授、博士生导师, 主要研究方向为信息可视化技术与智能化救灾。