

基于移动应用层组播终端主动反馈的自适应负载均衡机制研究

崔建群¹ 江波¹ 吴黎兵²

(华中师范大学计算机学院 武汉 430079)¹ (武汉大学计算机学院 武汉 430072)²

摘要 在移动应用层组播通信中,热点地区可能会因用户过多而导致用户流服务满意度降低,非热点地区却可能会出现资源浪费现象,引起整个系统性能下降。提出了一种基于移动终端主动反馈的自适应负载均衡机制(Adaptive Load Balancing Mechanism based Mobile Terminal Active Feedback, ALBM-MTAF)。ALBM-MTAF利用网络相关性能指标模拟移动终端(用户)所获得的流媒体服务满意度(Streaming Media Service Satisfaction, SMSS),通过终端用户主动反馈 SMSS 不断进行自适应的调整,将 SMSS 较差地域的子节点切换到 SMSS 较好的父节点上,从而实现整个系统的负载均衡。模拟实验表明,该机制具有良好的负载均衡效果,并能保证通信的质量。

关键词 ALBM-MTAF, SMSS, 移动终端, 主动反馈, 自适应, 负载均衡

中图分类号 TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.4.006

Research on Load Balancing Mechanism of Adaptive Mobile Application Layer Multicast Terminal Based on Feedback

CUI Jian-qun¹ JIANG Bo¹ WU Li-bing²

(School of Computer, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)¹

(School of Computer, Wuhan University, Wuhan 430072, China)²

Abstract In the mobile application layer multicast communication, the streaming media service satisfaction may be reduced because of too many users in the hot place, while the not hot places may produce resources waste phenomenon, which leads the whole system performance degradation. This paper proposed an adaptive load balancing mechanism based mobile terminal active feedback. ALBM-MTAF uses some network-related performance metrics to simulate the streaming media service satisfaction, which is obtained by mobile terminal. Then through the mobile user's active feedback to adaptively adjust, system switches the child nodes in the not hot places to the places having the better SMSS, so as to realize the load balance of the whole system. The simulation experiment shows that the mechanism has good load balancing effect, and can guarantee the quality of communication.

Keywords ALBM-MTAF, SMSS, Mobile terminal, Active feedback, Self-adaptive, Load balance

1 引言

移动应用层组播网络^[1]是一种由移动节点组成的自组织无线网络,该网络采用应用层组播技术实现多个网络节点之间的通信,具有很强的鲁棒性和很高的生存能力与灵活性,在移动网络广泛发展的今天,移动应用层组播技术已经越来越成为研究的热点。

在通信热点地区,可能会因移动终端比较密集,对网络资源的请求量过多而导致部分终端不能获得所请求的资源,达不到用户的要求,出现流媒体服务质量较差的情况;而在非热点地区,则可能会出现移动终端比较稀少,使得大量的网络资源闲置,造成资源浪费。这样整体系统资源并未充分利用,而且没有为用户提供良好的服务质量保证,导致整个系统性能下降。

对于该问题,传统的应用层组播负载均衡机制均是基于

对各个地域服务器的网络请求进行监控,对于网络请求过多的服务器,使用相应的分流策略,将负载过大的一部分请求切换到还有剩余负载的服务器上,能达到较好的负载均衡效果。文献[2]通过对服务器动态参数和静态参数进行衡量以评估服务器的当前负载状况,并评估服务器的剩余负载能力,以实现负载过大的服务器端请求向外切换。文献[3]则利用服务路由来查找和转发数据,通过负载容率测度来估算服务器的负载状况,从而实现服务器负载的调整。

但随着移动网络的发展,终端流动性大,网络请求密集而不固定,传统的负载均衡机制已不能满足需求。近年来,应用层组播树的构建和负载均衡机制的焦点已从服务器端转移到移动终端,以实现实时监控各移动终端网络服务质量并动态调整各个服务器之间的负载状况。文献[4]通过综合考量服务节点的处理能力和服务节点实际负载来进行任务分配,保证系统负载均衡。文献[5]则认为系统负载开销主要是由服

到稿日期:2014-04-26 返修日期:2014-07-29 本文受国家自然科学基金面上项目(61170017,61272112,61370108)资助。

崔建群(1974—),女,博士,教授,主要研究方向为网络服务质量、网络管理、高性能计算和应用层组播,E-mail:jqcui@126.com;江波(1989—),男,硕士生,主要研究方向为网络服务质量和应用层组播;吴黎兵(1972—),男,博士,教授,主要研究方向为网络通信、网格计算和物联网技术。

务器 CPU 接收、处理消息的最大数量决定的,并由此提出了自己的动态负载均衡算法。文献[6]设计了一种基于剩余资源动态权重节点剩余负载能力计算方法的动态反馈机制,并在动态反馈负载均衡算法的一个采样周期内引入轮转周期来对客户端请求均衡分配。文献[7]提出了一种基于实时性能动态反馈负载均衡算法设计,该算法引入了请求量化方法、实时性能指标和准入控制机制。但已有的对负载均衡策略的研究多集中于服务器端,在移动网络快速发展的今天已不能满足需求,因此,本文基于对移动终端节点实时状态的估算,提出了一种基于移动终端主动反馈的自适应负载均衡机制(Adaptive Load Balancing Mechanism based Mobile Terminal Active Feedback, ALBM-MTAF),该机制通过对每个移动终端的通信满意度做出评估并标记满意度低的移动终端,进而衡量每个地区的通信状况,将通信状况较差地区的满意度低的移动终端通过一定的算法切换到通信状况较好的地区。模拟实验表明,该机制具有良好的负载均衡效果,并能保证通信的质量。

2 流媒体满意度定义

ALBM-MTAF 使用终端性能指标来模拟终端用户所获得的流媒体服务满意度 SMSS(Streaming Media Service Satisfaction),本文使用的终端指标包括终端硬件综合性能 POH、终端用户体验 UE 和网络服务带宽 NB 等,需要说明的是,这些终端指标的有关参数仅与该终端自身有关,而与该终端是否处于热点地区无关。

2.1 硬件综合性能

硬件综合性能(Performance of Hardware, POH)关键指标主要包括:CPU 性能、内存大小、像素、图像处理能力、电池耐用度和屏幕大小及反应能力等,本文将对终端硬件综合性能的评估作为主要性能指标,以整体评估终端硬件性能,该数据的设置可利用专业软件如安兔兔评测等测量而得,将性能最好的移动终端的 POH 置为 1,其它的移动终端 POH 等于其评测得分与最好值的比值。

2.2 终端用户体验

终端用户体验(User Experience, UE)是指用户使用该移动终端时的主观感觉体验,主要影响因素为终端软件系统,包括用户界面以及使用流畅度等^[6],该数据参照文献[6]中的加权得分法,根据单项性能的重要程度设立权重,并将各项性能的加权得分相加。

2.3 网络带宽

网络带宽(Network Bandwidth, NB)是指在固定的时间内可传输的数据量,亦即在传输管道中传输数据的能力。带宽对于网络吞吐量有直接的影响,直接与网络的数据传输能力相关。

2.4 流媒体满意度

移动终端流媒体服务满意度(SMSS)的表达式如下:

$$SMSS = \alpha W_{POH} + \beta W_{UE} + \gamma W_{NB} \quad (1)$$

其中, W_{POH} 是指对移动终端硬件综合性能的评估, W_{UE} 是指对移动终端用户体验的评估, W_{NB} 是指移动终端所获得的网络带宽,而且 α, β, γ 分别代表各个指标在网络中所占的比重,且其满足如下表达式:

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (2)$$

其中, α, β, γ 的具体值在实验环节根据具体网络情况来确定。

3 自适应负载均衡机制

建立基于移动终端主动反馈的自适应负载均衡机制,第一步是要选择合适的衡量移动终端的 SMSS 的参数指标,本文从移动终端的硬件、软件、终端用户的用户体验以及网络带宽等方面综合来考量,同时,终端满意度并不是各个考量方面简单地相加,而是对各个因素做加权,以便更加清晰、具体、真切地模拟不同地区不同移动终端真实的满意度。当满意度低于某特定值(该值由网络情况而定)时,将其放入待切换的队列。第二步,研究终端所在地域的总 SMSS 计算方法以及 SMSS 分级层次指标,并确定各个地域网络的相关滞怠(System Lag Parameter, SLP)、分级参数(Classification Parameters, CP);其中滞怠参数是指网络本身因为信息传输等方面所引起的网络延迟对网络满意度的影响因数,该值为多次实验的地域满意度的测量值与平均值之间的方差。第三步是设计良好的算法以实现移动终端子节点平稳有效地从 SMSS 较差地域切换到 SMSS 较好地域,该算法包含切换子节点的选择、切换策略以及切换目的服务器的选择等,以实现网络资源的充分利用,为每个移动终端提供良好的通信,提高系统的整体性能。

需要指出的是,本文所提出的将热点地区的移动终端“切换”到非热点地区,并不是指在物理上将该移动终端从一个地区切换到另一个地区,而是该终端发送请求的服务器发生变化。由于在之后介绍的负载均衡机制中,切换最优服务器的选择并不是仅仅依靠该地区的 SMSS 值,还将待选择的服务器与当前热点服务器的物理距离也考虑在内,通常切换仅发生在热点地区和与其相邻的几个非热点地区之间,因此移动终端与切换最优服务器物理上的距离并不会对通信造成严重的影响。另外,有一种观点认为,在热点地区,服务器异常繁忙,采用复杂的反馈机制将会造成网络性能的下降,对此,作者认为,因为热点地区的服务器本身尚余一定的计算能力,所以新加入的请求并不会对该网络造成太大的影响,而且该负载均衡机制面向的是包含了热点地区和非热点地区的整个网络系统,即使从某一个网络看其系统性能有所下降,但整个系统的网络性能得到了巨大的提升。

3.1 SMSS 分级策略

本文将移动终端节点所在地域的 SMSS 分为 3 个等级,等级 1 代表所在地域的 SMSS 较好,其服务器端尚有较大的剩余负载能力,可以用来接收申请切换的子节点;等级 2 代表所在地域的 SMSS 达到平衡,其负载已得到充分利用;等级 3 代表所在地域的 SMSS 较差,负载过大,其某些子节点需申请切换出去。

3.1.1 1 级移动终端父节点所在地域的 SMSS 的评判机制

$$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k SMSS_i - SLP > CP_1 \quad (3)$$

其中, $SMSS_i$ 是第 i 个子节点的 SMSS, k 是热点服务器节点所在地域的子节点的总数, SLP 是系统规定的滞怠参数, CP_1 是 1 级 SMSS 的门限值,该门限值和滞怠参数在具体的地域中具体设置。

3.1.2 2级移动终端父节点所在地域的 SMSS 的评判机制

$$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k SMSS_i + SLP < CP_1 \quad (4)$$

$$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k SMSS_i - SLP > CP_2 \quad (5)$$

其中, $SMSS_i$ 、 k 、 SLP 的含义与上式相同, CP_2 是 2 级 SMSS 的门限值。

3.1.3 3级移动终端父节点所在地域的 SMSS 的评判机制

$$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k SMSS_i + SLP < CP_2 \quad (6)$$

其中, $SMSS_i$ 、 k 、 SLP 、 CP_2 的含义与上式相同。

3.2 ALBM-MTAF 执行过程

负载均衡机制的步骤如下:

(1) 移动终端子节点周期性地向其父节点反馈自身的 SMSS, 并将满意度低者放入待切换队列。

(2) 各服务器节点根据相应的反馈信息计算自己所在地域的 SMSS, 若 SMSS 为 3 级, 则向控制中心发送切换请求, 否则返回第(1)步继续进行操作。

(3) 控制中心在收到切换请求后, 通过计算其他非热点服务器的负载状况并将其与请求服务器距离做加权以决定切换的目的服务器, 并将该服务器地址、端口号等信息发送给需要切换的子节点。

(4) 子节点根据控制中心节点返回的相关信息, 向目的服务器发送切换请求。

(5) 切换完成后重新计算该目的服务器 SMSS 值, 并通知控制中心切换待切换队列中的下一节点。

(6) 直到待切换队列中所有节点均切换出去或者系统周期时间结束, 返回第(1)步继续执行。

负载均衡机制的流程如图 1 所示。

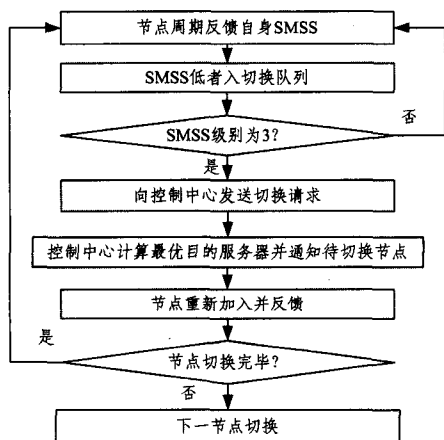


图 1 负载均衡机制流程

算法伪代码如下:

```
int n=44;//44 个试验节点
setTimeout(10);//周期设置为 10 秒
feedback(thisNode);//节点反馈
stack.push(thisNode);//满意度低者入栈
if(true){//该地域 SMSS 级别为 3
    if(!stack.isEmpty){//节点是否全部切换完毕
        sendRequire(controlNode);//向控制中心发送切换请求
        sendResponse(bestNode);//控制中心将最优目的服务器返回
        给待切换节点
        sendRequire(bestNode);//节点向最优目的服务器申请加入
```

```
Update;//更新切换节点及目的地域满意度
    } else {
        setTimeout(10);
    }
} else {
    setTimeout(10);
}
}
```

3.3 切换子节点的选择

切换子节点的选择在每个子节点周期性地反馈自身 SMSS 值时确定。对于每个子节点, 若其 SMSS 小于一个阈值(该阈值在不同的网络中不同), 则将其存放于一个栈数据结构中, 该结构存放切换节点的 IP 地址和端口号等, 通常后加入组播树的节点会成为切换节点, 因为后面加入的节点总是不能得到所需的网络资源, 从而导致 SMSS 下降; 选择栈作为切换节点的存储结构, 是因为节点在加入组播树后周期反馈自身的 SMSS, 故先加入的节点会首先反馈, 而在节点切换时则要求从组播树的最底层开始切换, 若不从底层开始, 先反馈的节点先切换出去, 则在某一子树上会出现子节点尚未切换出去而父节点却已切换出去的情况。而子节点的网络资源此时需要从新的服务器节点获得, 当子树过大时, 该目的服务器可能不能满足这棵子树对网络资源的需求而重新成为负载过重的服务器, 下一次周期反馈时, 则需要重新切换, 从而导致组播树拓扑结构不稳定, 甚至可能出现某一子树频繁切换于两个目的服务器之间, 形成所谓的“循环”切换。这种不稳定的反应在用户终端表现为网络的不停断开与重连, 这将严重影响组播树网络的通信质量, 使得用户体验下降, 因而切换子节点的选择以及切换顺序都是至关重要的。

3.4 切换策略

切换策略的制定是构建一颗稳定组播树, 提高组播树系统的通信质量, 保持通信系统负载均衡的核心。切换策略有两种: 单个节点切换和整体节点切换。

整体节点切换策略即是将所有 SMSS 值低于系统阈值的节点切换于同一个目的服务器。该策略的优点是切换过程简单, 系统统计需要切换的节点信息, 控制中心计算最优目的服务器, 控制中心将目的服务器地址发送给所有要切换的节点, 完成切换即可。但该策略存在较大的缺点, 由于移动网络终端流动性很大, 网络负载变化快, 不能事先确定最优服务器的剩余负载能力, 若所有节点切换于同一目的服务器, 可能造成前面所说的“循环”切换, 导致系统不稳定, 通信质量下降。使用该策略切换的“循环”效果对比如图 2 和图 3 所示。

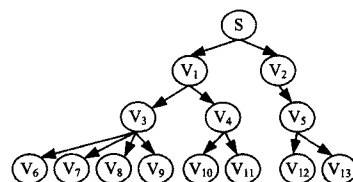


图 2 整体切换之前

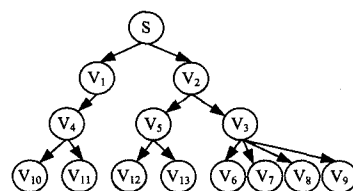


图 3 整体切换之后

如图 2 所示,节点 S 为系统控制中心, V_1 、 V_2 为服务器节点, V_3 — V_{13} 为移动终端节点,经反馈,以节点 V_3 为父节点的孩子子树满意度较低,需要切换出去,在整体切换的策略下实现效果如图 3 所示。可以看到,以 V_3 为节点的孩子子树在切换到 V_2 服务器之后,其满意度仍得不到满足,当下一次周期事件到来时,该子树将整体切换到 V_1 服务器下,如此反复,造成“循环”切换。

单个节点切换策略是每次切换过程只切换一个节点,在一个周期内,通过实时检测节点切换后目的服务器负载的情况并向控制中心反馈,重新计算最优目的服务器,以实现每个节点分散切换于不同的目的服务器上。

单个节点切换策略的优点是每个节点总能找到最优的目的服务器,实时性较强,也可充分利用系统的网络资源,通信系统也比较稳定;但缺点是切换算法复杂,切换过程用时较长,控制中心和各个目的服务器之间需要频繁地交换信息。但控制中心与各个目的服务器之间的交互并不会反映到移动终端,不会对用户体验造成太大的影响,所以本文采用单个节点切换的算法。

4 示例及实验结果分析

本文的仿真实验采用 Oversim 环境^[9],实验模拟由 44 个子节点构造的组播树,4 个非热点服务器、1 个热点服务器组成,每个子节点拥有 2—3 个子节点,申请一定的网络资源。

4.1 示例

如图 4 所示, V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 为服务器节点,统计其相应的子节点周期性反馈信息 SMSS,然后根据统计结果计算得到自身为所在地域的 SMSS。假设此刻计算得到以 V_1 节点为父节点的地域的 SMSS 级别为 3 级,并假设 V_7 、 V_8 为待切换的节点,以 V_2 、 V_3 节点为父节点的地域的 SMSS 级别为 1 级,以 V_4 节点为父节点的区域的 SMSS 级别为 2 级。那么 V_1 节点通过向控制中心节点 S 发送切换请求,控制中心 S 通过计算 V_2 、 V_3 、 V_4 地域满意度并将其与 V_1 之间的距离做加权,假设最优服务器为节点 V_2 ,则将 V_2 节点信息(包括 IP 地址、端口号等)发送给节点 V_7 , V_7 向 V_2 发送加入请求。在加入请求完成后,重新计算 V_2 地域的 SMSS,并将该值反馈给控制中心 S,S 此时通知 V_1 准备切换下一节点 V_8 并计算出最优服务器,如此反复,直到周期时间结束或者待切换节点全部切换出去而进入下一周期,负载均衡效果如图 5 所示。

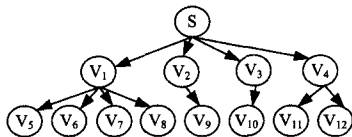


图 4 初始组播树

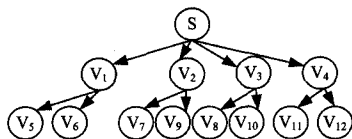


图 5 负载均衡效果图

4.2 静态分配及动态分配实验结果对比与分析

实验结果如图 6 和图 7 所示。

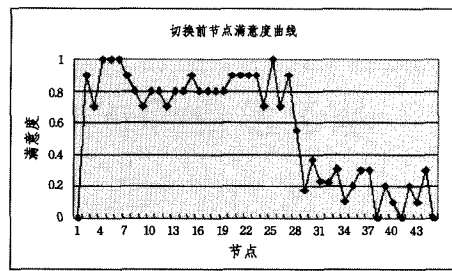


图 6 静态分配下满意度曲线效果图

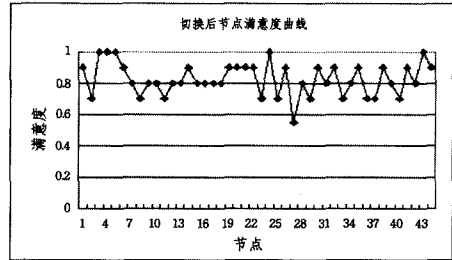


图 7 动态分配下满意度曲线效果图

从图 6 的实验结果中可以看出,在带宽分配机制的作用下,静态分配不使用负载均衡机制做复杂的运算。开始由于网络带宽剩余较多,每一个新请求的节点都能获得所请求的带宽,因此节点的满意度都很好。但是随着移动终端节点的增多,热点地区服务器的承载越来越大,每一个新请求的节点将获得当前网络中剩余带宽的一半,在网络剩余带宽很小的情况下,节点的满意度将变得很差,如图 6 所示,在达到第 30 个节点时,终端节点的满意度急剧下降。图 7 则显示了动态分配下的满意度变化,在同样的网络环境中,使用自适应的负载均衡机制,将在热点地区得不到良好服务的移动终端节点切换到非热点地区,使非热点地区的网络带宽可以得到充分利用,同时为移动终端提供良好的通信服务,可以明显看出,所有节点稳定在一个较高的满意度左右,说明在切换之后,网络资源得到了充分应用,各个移动终端的通信质量也得到了保证。

结束语 本文在移动网络快速发展而传统的应用层组播负载均衡算法已不能满足需求的情况下,首次将负载均衡问题研究的焦点从服务器端转移到移动终端上,提出基于移动应用层组播终端主动反馈的负载均衡算法,该算法包含 3 个部分,分别是流媒体满意度衡量、SMSS 分级策略和自适应负载均衡切换算法,其中切换算法是核心。

由于仿真工具的限制,文中并未对组播树的稳定性加以考虑,组播树中节点尤其是父节点的离开将会对组播树的负载均衡造成一定影响,下一步的工作将是综合考虑组播树稳定性的负载均衡算法研究。

参考文献

- [1] 张丽,余镇危,张杨. 移动自组织网络应用层组播研究[J]. 微计算机信息,2005,17:62-65
- [2] 田邵亮. 一种改进的基于动态反馈的负载均衡算法[J]. 计算机工程与设计,2007,3:572-573
- [3] 李文中. 服务组合中一种自适应的负载均衡算法[J]. 软件学报,2006,5(17):68-71
- [4] 刘健,徐磊,张维明. 基于动态反馈的负载均衡算法[J]. 计算机工程与科学,2003,5(5):65-68

(下转第 50 页)

时间四者重要性的成对比较矩阵为:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & 1 & 0.5 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

通过实验,可以得到随存储节点数量的增加 Amazon S3、HDFS、VID、LODS 四者的组合权重的变化趋势,如图 12 所示。在成对比较矩阵为 S 的条件下,LODS 的组合权重低于其余 3 种副本分布策略,说明副本分布策略的综合性评价方法可以很好地对副本分布策略进行综合评价。

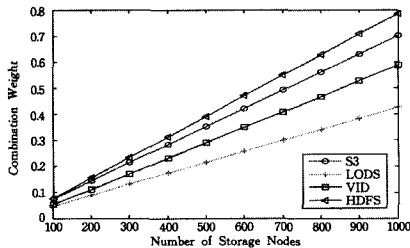


图 12 4 种副本分布策略综合性能对比

结束语 本文对云存储中副本分布进行研究,提出了一种基于多目标优化的副本分布 LODS 策略。本策略将一致性哈希法与层次分析法有效地结合在一起,一方面利用一致性哈希使副本分布在总体上相对均匀,另一方面利用层次分析法对副本分布的多个目标进行优化,从而使其在局部多个目标的综合性能方面达到最优。进一步,本文提出了一套基于层次分析法的副本分布策略综合评价指标,克服了传统方法只能对单一目标进行评价的不足。仿真实验说明,LODS 提高了云存储系统存储负载均衡性、热度负载均衡性和平均等待时间 3 项性能,在综合性能上更具有优势。

参考文献

[1] Borthakur D. The Hadoop distributed file system; Architecture and design [EB/OL]. [2013-08-04]. http://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/hdfs_design.pdf

[2] Ghemawat S, Gogioff H, Leung P T. The google file system [C]// Proceedings of the 19th ACM Symp on Operating Systems Principles. New York: ACM, 2003: 29-43

[3] Amazon.com Inc. Amazon simple storage service (AmazonS3) [EB/OL]. [2014-04-09]. <http://aws.amazon.com/s3>

[4] Lewn D. Consistent hashing and random trees: Algorithms for caching in distributed networks[D]. Cambridge, Massachusetts; Massachusetts Institute of Technology, Department of Electrical Engineering and Computer science, 1998

[5] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 148-153

[6] Mohamed N, Al-Jaroodi J, Eid A. A dual-direction technique for fast file downloads with dynamic load balancing in the Cloud [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2013, 36(4): 1116-1130

[7] 周敬利, 周正达. 改进的云存储系统数据分布策略[J]. 计算机应用, 2012, 32(2): 309-312

[8] 王永洲, 茅苏. HDFS 中的一种数据放置策略[J]. 计算机技术与发展, 2013, (5): 90-92

[9] 董继光, 陈卫卫, 田浪军, 等. 大规模云存储系统副本布局研究[J]. 计算机应用, 2012, 32(3): 620-624

[10] 董继光, 陈卫卫, 吴海佳, 等. 基于动态副本技术的云存储负载均衡研究[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(9): 3422-3424, 3436

[11] Chen Tao, Bahsoon R, Tawil A-R H. Scalable service-oriented replication with flexible consistency guarantee in the cloud[J]. Information Sciences, 2014, 264: 349-370

[12] Du Zhi-hui, Hu Jing-kun, Chen Yi-nong, et al. Optimized QoS-aware replica placement heuristics and applications in astronomy data grid [J]. Journal of Systems and Software, 2011, 84(7): 1224-1232

[13] 廖彬, 于炯, 张陶, 等. 基于分布式文件系统 HDFS 的节能算法[J]. 计算机学报, 2013, 36(5): 1047-1064

[14] Gkantsidis C, Vytiniotis D, Hodson O, et al. Rhea: automatic filtering for unstructured cloud storage[C]// Presented as part of the 10th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation. 2013: 343-355

[15] Freedman M J, Shaikh A. Performance isolation and fairness for multi-tenant cloud storage[C]// Proc. 10th USENIX Conference on Operating Systems Design and Implementation. 2012: 349-362

[16] 高尚. 3 种计算层次分析法中权值的方法[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(20): 5204-5207

[17] Dong Bo, Zheng Qing-hua, Tian Feng, et al. An optimized approach for storing and accessing small files on cloud storage[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2012, 35(6): 1847-1862

(上接第 43 页)

[5] 王玥, 蔡皖东, 段琪. 一种自适应动态负载均衡算法[J]. 计算机工程与应用, 2006, 11(21): 121-123

[6] 许少华, 夏智伟. 基于轮转周期的动态反馈负载均衡算法[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(6): 55-59

[7] 梁彪, 黄战. 基于实时性能动态反馈的负载均衡算法[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(3): 183-186

[8] 肖海良. 基于用户体验的移动终端整机性能评测研究[J]. 移动通信, 2012, 13(3): 71-74

[9] 汤克明, 王创伟. P2P 模拟器的比较研究[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(9): 105-108

[10] Zhang Yong-bing, Das S K. An efficient load-balancing algorithm based on a two-threshold cell selection scheme in mobile cellular networks[J]. Computer Communications, 2000, 23(5):

452-461

[11] Chakrabarti G, Kulkarni S. Load balancing and resource reservation in mobile and hoc networks[J]. Ad hoc Networks, 2006, 4(2): 186-203

[12] Askarian C, Beigy H. A Survey For Load Balancing in Mobile WiMAX Networks[J]. Advanced Computing: An International Journal (ACIJ), 2012, 3(2): 119-137

[13] Kacimi R, Dhaou R. Load balancing techniques for lifetime maximizing in wireless sensor networks[J]. Ad hoc Networks, 2013, 11(8): 2172-2186

[14] Toh C K, Le A N, Cho Y Z. Load Balanced Routing Protocol for Ad Hoc Mobile Wireless Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2009, 47(8): 78-84