

QoS 约束的虚拟机镜像放置优化方法^①

吴 凡^{1,2}, 宋云奎¹, 徐继伟^{1,2}, 张文博¹

¹(中国科学院软件研究所 软件工程技术研究开发中心, 北京 100190)

²(中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 随着云计算的兴起, 虚拟机正逐步成为应用服务的部署环境, 如何高效、经济地管理虚拟机镜像文件至关重要. 提出了一种 QoS 约束的虚拟机镜像放置优化方法, 通过存储收益模型量化分析用户服务质量约束下的存储服务综合收益, 优化镜像文件的存储策略. 实验结果表明该方法可以在满足用户服务质量的前提下, 显著优化存储收益.

关键词: 虚拟化; 分级存储; 镜像放置

Optimization Approach for Virtual Machine Images Placement Based on QoS

WU Fan^{1,2}, SONG Yun-Kui¹, XU Ji-Wei^{1,2}, ZHANG Wen-Bo¹

¹(Technology Center of Software Engineering, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

²(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: With the rise of cloud computing, virtualization technology application is becoming more and more prevalent. How to manage them efficiently and economically has become an important problem. This paper proposed an approach which optimizes the placement of virtual machine images based on QoS. It analyzed the revenue of the storage service constrained by QoS and optimized the strategy of images placement. Experiments show that this approach can meet the constraints of user's QoS and improve the revenue of storage effectively.

Key words: virtualization; hierarchical storage system; virtual machine image placement

1 引言

虚拟化技术^[1]是构建云计算环境的关键技术. 国内外主流的公有云平台, 如亚马逊 AWS^[2]、阿里云^[3]等都采用虚拟化技术搭建, 开源社区私有云建设方案, 如 OpenNebula^[4]、CloudStack^[5]等也都采用虚拟化技术作为支撑. 虚拟化技术使得虚拟机像物理机一样运行. 虚拟机的磁盘信息都封装在虚拟机镜像中. 虚拟机镜像包括虚拟机磁盘文件、模板和快照, 其中虚拟机磁盘文件对 I/O 实时性要求较高, 而模板和快照则对容量要求较多. 在云计算环境中存储按使用计费, 计费指标包括容量、性能等.

云数据中心中存储介质趋于多样化, 不同的存储介质容量、性能、价格各不相同. 其中既包括价格和性能都很高的固态硬盘 SSD、光纤 RAID 磁盘, 也包括

价格相对低廉、性能较低的 SATA 磁盘等. 对于云平台而言, 如何放置镜像对于提升存储系统收益十分重要.

而平台的收益和服务质量密切相关. 在传统的镜像存储系统中, 采用分级的思想按存储性能和容量对存储设备进行划分, 不同类型的镜像存储在不同级别的存储设备上. 如开源云平台 CloudStack^[5], 基于先验知识采用固定分级策略, 它将存储分为两级, 虚拟机磁盘文件存放于一级存储上, 模板、快照存放在二级存储上, 如此使得用户使用模板快照时需要跨存储进行实时迁移, 且镜像文件通常较大, 迁移时间较长, 导致用户请求无法及时响应. 在考虑服务质量的场景下, 这种方式显然无法满足.

针对以上问题, 本文提出了一种 QoS 约束的虚拟机镜像放置优化方法, 通过 Random Forest^[6]动态调整

① 基金项目: 国家自然科学基金(61402450); 北京市自然科学基金(4154088); 国家科技支撑计划课题(2015BAH55F02)

收稿时间: 2015-01-24; 收到修改稿时间: 2015-03-12

镜像文件所在的存储级别, 将访问频率较低的镜像文件迁移到低成本高容量的存储设备中, 释放较高成本的存储空间, 从而保障服务质量, 提高存储性能, 获得更大的收益.

2 研究背景

2.1 镜像相关概念

虚拟机镜像封装了操作系统, 应用软件和用户数据的一种特殊格式的文件, 用于虚拟机运行时的虚拟成虚拟机的硬盘, 虚拟机镜像对存储的性能要求较高. 虚拟机镜像包括虚拟机磁盘文件, 快照及模板.

虚拟机磁盘文件作为虚拟块设备, 用于提供虚拟机运行时的数据存储, 其作用相当于物理机的硬盘.

快照是虚拟机在某一时间点的状态和数据的副本, 它为虚拟机故障提供一种保证, 当虚拟机出现故障时, 可以通过回滚快照使虚拟机及时恢复.

模版提供标准化硬件和软件设置组, 可用于创建多个虚拟机.

以上镜像类型中, 虚拟机磁盘文件在虚拟机运行过程中处于不断的读写状态, 对 I/O 性能要求相对高; 而快照、模板作为备份都是只读数据, 随着用户的使用, 该类型数据总量会不断积累, 因此需要占用更多的存储空间.

2.2 镜像分级存储

分级存储^[7]是根据数据大小、重要程度、访问频率等指标, 将数据存储在不同性能的存储设备上, 并能按照特定需求实现数据客体在不同存储设备之间的自由迁移.

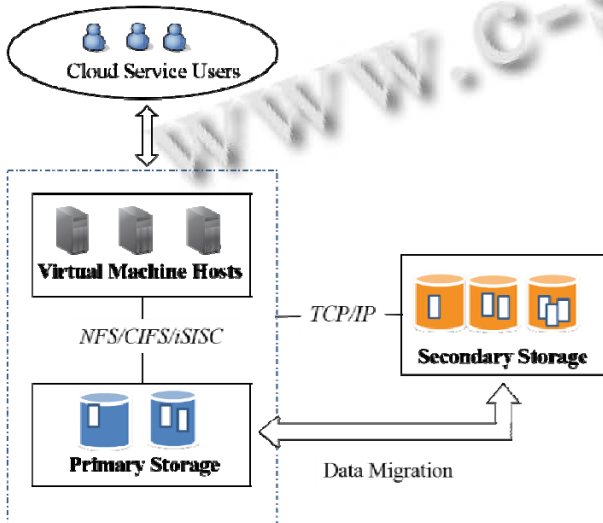


图 1 典型镜像存储部署图

虚拟化环境中镜像存储部署架构如图 1 所示, 终端用户通过网络访问虚拟机提供的服务. 存储分两级, 形成一个逻辑上的存储资源池. 虚拟机的虚拟磁盘文件存储在性能较好的一级存储中, 虚拟机通过 NFS/CIFS/iSISIC 等协议进行虚拟磁盘文件读写. 虚拟机相关的快照、模板存放在性能相对较差的二级存储中. 这种架构体现了当前主流的云环境搭建场景, 如 AWS、CloudStack 等均采用类架构, 在 AWS 中存放虚拟磁盘文件的存储 EBS 类似于一级存储, 备份、快照存储 S3 类似于二级存储, 而在 CloudStack 中主存储则类似于一级存储, 备份存储类似于二级存储.

3 基于QoS约束的存储收益模型

针对图 1 所示的镜像存储结构, 为了在提升存储收益的同时保证服务质量, 本文提出了一种基于 QoS 的存储收益模型, 将服务质量的满足程度用收益进行衡量. 模型将存储系统的收益表达为满足用户服务质量以及提供基础存储服务这两者的带来收益的线性加和.

3.1 满足服务质量约束的收益

本文主要关注分级存储系统用户使用模板、快照的响应时间 t , 需要保证用户在使用相关镜像文件时, 系统的响应要及时. 这里给每个用户请求 i 分配一个收益函数, 如式(1)所示:

$$R(i) = \begin{cases} r, & \text{if } t_i \leq \delta \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

其中, δ 表示用户请求响应需要满足的时间阈值, 当用户请求 i 的响应时间 $t_i \in [0, \delta]$, 存储系统从该请求获得的收益为 r , 否则收益为 0.

用户使用模板、快照的请求响应时间 t 为:

$$t = t_{migrate} + t_{system} \quad (2)$$

其中, $t_{migrate}$ 为数据迁移时间, t_{system} 为系统执行相关操作的时间, 如快照回滚、由模板生成虚拟机等.

当快照和模板与虚拟机的虚拟硬盘位于同一级存储之上, 则无须迁移, 此时 $t_{migrate} = 0$, 响应时间等于 t_{system} ; 否则需要先将模板和快照迁移到目标存储上, 再执行相应的相关系统命令. 由于镜像文件较大, 迁移时间较长, 一般情况下有:

$$t_{system} < \delta < t_{migrate} \quad (3)$$

如此, 当用户使用镜像文件时, 需要对数据进行迁移, 则无法获得 QoS 收益.

在存储系统中,假设用户使用模板、快照的请求总量为 m ,每个请求的响应时间为 t_i ,则带来的系统收益 R_{QoS} 为:

$$R_{QoS} = \sum_{i=1}^m R(t_i) \quad (4)$$

因此为了提升 R_{QoS} ,需要对镜像文件的存储位置进行管理,优先将用户频繁使用的模板和快照置于与其相关的虚拟机硬盘文件同一级的存储上,避免数据迁移带来的时间开销,保证更多的用户请求能即使响应。

3.2 存储收益模型

按照云存储的计费模型,用户主要根据自身的需求,从存储容量及存储的性能需求的角度,选择存储服务配置,并付出相应的费用。从存储服务提供者的角度,用户的付费可以转化为自身的收入。根参考 AWS1 的计费模型,本分级存储模型收益从容量和 IOPS 两方面考虑收益,存储数据带来的收益为:

$$R_{sys} = \sum_{i=1}^N (\alpha * V_i + \beta * I_i) \quad (5)$$

其中, α 表示单位存储空间收取的费用, β 表示单位 IOPS 收取的费用, V_i 表示第 i 个虚拟机所需要的存储空间, I_i 表示第 i 个虚拟机所需的 IOPS, N 为存储系统中存放的镜像总数量。

镜像存储系统的总收益除了 R_{sys} , 同时还有满足用户的 QoS 带来的收益 R_{QoS} , 故总收益为:

$$R = R_{sys} + R_{QoS} \quad (6)$$

4 基于收益模型的镜像存储策略

4.1 镜像数据的存储策略

对于虚拟机磁盘文件,按照当前用户对容量和 IOPS 的需求选择合适的存储,虚拟机的快照和模板初始时也存放于同一级别的存储,这样使得用户在使用模板、快照时,无须迁移的时间开销,保障用户请求及时响应。对存储性能要求较高的虚拟机,其相关的镜像文件存储在一级存储上,否则存放在二级存储上。事实上,模板和快照对 IOPS 没有要求,并且随着时间的推移及用户的使用,部分镜像文件使用频率降低,将其继续存放在一级存储上,会导致无法存放更多对性能要求较高的虚拟磁盘文件,使得存储收益降低。

因此,对于一级存储上的快照和模板,本文依据相关文件的属性及使用情况,预测未来使用概率。预

测概率大于预设阈值的镜像文件,认为它很可能在未来使用概率较大,将其保留在一级存储上,其它的迁移到二级存储上,释放一级存储空间。并且随着数据使用变化情况,动态的迁移镜像数据,以此提高存储收益。

4.2 镜像文件未来使用的概率预测

4.1 节中介绍的镜像数据存储策略中,一个核心的问题是对快照和模板在未来一段时间是否会使用进行预测,这是一个二分类问题。预测结果准确率的高低是决定该镜像存储系统能否保证服务质量的关键。只有准确的预测数据未来的使用概率,才能保障在对服务质量影响较小的情况下迁移镜像文件,释放一级存储空间。

与模板、快照使用概率相关的因素主要有三方面: 1)文件的静态属性,例如,文件的创建时间,文件创建时间距现在越近,则可能被使用的概率越大; 2)文件的动态属性,如快照的使用频率变化情况,如果快照近期使用频率增多,则未来可能使用概率较大; 3)关联的虚拟磁盘的属性,由于快照和模板是由相应的虚拟机硬盘生成而来,文件之前存在一定的关联关系。例如,如果与该快照关联的虚拟机经常出现回滚操作,那么与之对应的所有快照可能比其他不常进行回滚操作的虚拟机生成的快照在未来一段时间的使用概率大。

本文从以上三方面的属性对文件使用的概率进行预测,将快照和模板的特征形式化表示为三元组(S, D, R), 其中:

①S 为静态属性, $S = (ct, t)$. ct 为文件创建时间, t 为文件类型,分为快照和模板两类。

②D 为动态属性,随着镜像的实际使用过程中会变化的特征, $D = (s, t, freq, ratio)$. s 为文件大小, t 为最近一次访问的时间, $freq$ 为访问频率,对于快照而言是执行快照回滚操作的频率,对于模板而言是模板生成虚拟机的操作频率。 $ratio$ 是当前时间周期 $freq$ 相对于上一时间周期的访问频率 $freq_last$ 的变化, $ratio = freq / freq_last$ 。

③R 为关联的虚拟机磁盘文件属性,仅快照有相应属性, $R = (ct, s, s_freq, r_freq)$. 其中 ct 为虚拟机磁盘文件的创建时间, s 为磁盘文件大小, s_freq 为生成快照频率, r_freq 为快照回滚频率。

我们采用 Random Forest^[6]对镜像文是否会使用建模。Random Forest 是一种非线性模型,它以随机的方

式建立一个森林, 森林由多颗决策树组成, 综合利用多个决策树进行分类, 该算法随机对样本和特征进行采样, 有较强的泛化能力.

使用 Random Forest 有以下两个主要的优势: 1) 上述刻画文件特征的三元组主要是连续型数值, 并且特征之间不只是线性关系, 而 Random Forest 是一种非线性模型, 可以原生支持特征组合, 并自动选择特征的分裂阈值; 2) Random Forest 在模型训练完成后会输出每个特征的权重, 这样方便我们观察每个特征对最终结果的影响情况, 并据此对具体的特征进行调整, 以提高模型的预测的精度.

对于该镜像存储系统中的文件, 系统会对其进行监控, 并获取文件的上述特征, 对快照和模板分别建模, 其中快照表示为三元组(S, D, R)的形式, 模板表示为二元组(S, D), 各自作为 Random Forest 模型的输入, 模型的输出为未来 n 天后该文件会被使用的概率, 其中 n 的随着模型的预测准确率变化情况进行调整. 当模型预测的准确率在实际使用过程中降低, 说明系统中用户行为变化较快, 此时应该减小 n, 反之增大 n.

4.3 存储收益分析及系统参数调整

设 Y 表示事件镜像文件在未来一段时间内是否会被使用, 则模型的输出可表示为 $P(Y=1)=\phi$. 设迁移的阈值为 p_{thred} , 对于一级存储上的模板、快照, 预测其使用概率 ϕ , 当 $\phi < p_{thred}$ 时, 将文件迁移到二级存储上. 设模型预测需要迁移的文件数量为 N, 其中预测正确的文件数量为 M, 则预测的准确率 p 为:

$$p = \frac{M}{N} \tag{7}$$

使用 4.1 中的存储策略, 根据模型的预测结果带来存储收益的改变 Benefit 为:

$$Benefit = \Delta R_{sys} + \Delta R_{QoS} \tag{8}$$

$$\Delta R_{sys} = \sum_{i=1}^M \alpha * V_i \tag{9}$$

$$\Delta R_{QoS} = -(1-p) * r * M \tag{10}$$

其中, ΔR_{sys} 表示由于迁移释放的一级存储空间可用于存放更多的镜像文件, 带来存储系统的收益提升, 由于迁移的是模板和快照, 故迁移完成后, 对存储的 IOPS 没有影响, 因此 IOPS 部分没带来收益的变化. ΔR_{QoS} 表示由于模型预测错误导致未来会使用的文件迁移到二级存储, 给服务质量方面的收益带来损失.

Benefit 为正代表该策略给存储系统带来收益的提升, 反之收益下降. 镜像系统中根据其对存储和用户

响应时间的需要, 设置具体参数, 并根据每一次模板、快照的调整所带来的收益变化情况, 合理调整迁移阈值 p_{thred} , 当收益增加时, 适当降低阈值, 使得更多镜像被迁移到二级存储上, 反之, 增大阈值. 设时刻 i 的阈值为 $p_{thred}(i)$, 则阈值的调整如下式所示:

$$P_{thred}(i+1) = P_{thred}(i) - K * Benefit \tag{11}$$

其中, K 为设定的参数, 用于调整收益和阈值变化的比例大小, 最终使得存储系统的收益增加.

4.4 迁移时间选择与速率的控制

随着镜像文件的使用会对镜像文件所在的存储级别进行调整, 由此形成迁移任务. 镜像存储系统迁移的数据为与虚拟机相关快照和模板, 迁移任务按照触发的原因分为两种: 1) 系统优化: 为优化存储性能和节省一级存储空间, 系统会根据镜像文件的实际使用情况, 对文件与存储级别的映射关系进行调整, 形成迁移任务; 2) 访问缺失: 由于系统优化工作存在一定的误判率, 当用户需要使用一级存储上的快照和模板时, 该文件已被迁移到二级存储上, 此时要执行回迁工作, 将该文件迁到一级存储, 供用户使用.

由于镜像文件较大, 频繁的迁移会给存储带来大量额外的负载, 对系统性能造成影响. 因此, 为了尽量减少迁移任务对存储负载带来的影响, 需要选择存储负载较低的时间执行迁移任务, 并且在迁移过程中控制迁移速率. 由于在企业级的存储系统中, 存储负载是周期性变化的^[8], 通常在夜间较低. 据此, 我们选择夜间执行系统优化带来的迁移任务.

以上两种迁移任务中, 第一类属于系统优化任务, 相对而言不紧急, 故我们选择在夜间存储负载较低的时候执行, 同时实时调整迁移速率以减少迁移 I/O 对存储系统性能的影响; 第二类访问缺失导致的迁移任务属于紧急任务, 需尽快完成.

对于迁移速率的控制, 本文采用控制系统中反馈控制的思想, 结合存储系统的情况进行动态调整. 控制器对存储系统的响应延时进行采样, 当并与设定的响应延时上限进行对比, 来调整下一个采样周期内的迁移速率. 直观上, 当响应延时大于预设值时, 降低迁移速率; 否则增加迁移速率. 由于一级存储用于虚拟机实时读写, 故主要考虑迁移任务对一级存储的影响. 设第 k 个采样的时间周期((k-1)W, kW)内系统延时为 L(k), 系统设定的延时上限为 L, 则设定值与系统实际的差值为 $E(k) = L - L(k)$. 据此计算在下一个时间窗

口($kW, (k+1)W$)中, 设定新的迁移速率 $R(k)$ 为:

$$R(k) = R(k-1) + P * E(k) \quad (12)$$

其中, P 为控制器的配置参数.

5 实验验证

基于以上策略, 我们在 OnceCloud 平台^[9]上进行了相关实验和验证. OnceCloud 平台包含基于 Xen 深度定制的虚拟化服务, 完善的客户端管理工具及配套 PaaS 平台, 旨在为广大企业和组织机构提供便捷、易用的私有云服务. 通过相关实验, 我们验证了本文提出的动态分级的镜像存储方案对于保障用户 QoS, 优化虚拟机镜像位置的放置, 提高存储收益的有效性.

5.1 实验配置

本实验配置了 5 台 Inspur NX580 系列的服务器, 每台服务器为两颗 Intel Xeno E5645 CPU, 16GB 内存, 300GB 的本地硬盘空间用于存储镜像. 其上操作系统 CentOS 6.3, 虚拟机管理软件 Xend4.2.3. 这 5 台服务器通 OnceCloud 平台进行管理, 其上共有 50 台虚拟机, 每台虚拟机有一个虚拟磁盘文件, 每个虚拟磁盘文件大小 10G~20G, 并且每台虚拟机有快照文件. 初始情况下, 虚拟磁盘文件总容量 815GB. 受限于实验环境, 我们使用这 5 台服务器的本地存储作为一级存储, 总容量 1000GB, 随机读写速率大约为 400MB/s. 二级存储使用廉价刀片机组成的 5.1TB 空间的, 随机读写速率约为 80MB/s, 网络环境为千兆专用网络.

实验中初始参数设置如下表所示(其中 p_{thred} 会随着实验进行而调整):

表 1 实验参数设置

α	β	δ	r	p_{thred}	K
0.125/GB	0.065/IOPS	6s	0.05	0.5	10^{-4}

5.2 实验方案

我们通过一系列实验来验证方法的有效性, 实验对比两种分级策略: 基于固定分级策略和本文提出的基于 QoS 的动态分级策略. 其中, 固定分级策略是将虚拟机镜像文件存放在一级存储上, 将模板和快照存放在二级存储上.

我们基于 OnceCloud 平台, 记录系统运行 42 天内存储系统中虚拟机对应的镜像文件的相关属性及用户对其进行的操作, 形成镜像文件访问记录. 每条记录包括镜像的 uuid(镜像文件的唯一标识)、镜像类型、

创建时间、镜像大小、文件操作行为以及时间戳. 最终该记录集包含的记录条数为 186 302. 同时也记录了这段时间内, 我们在系统运行的 42 天内最后 7 天的记录集上分别采用固定分级策略和动态分级策略进行对比实验, 实验指标包括动态分级策略中镜像使用预测的准确率, 两种策略下镜像存储系统的特定类型的用户请求响应时间及存储收益情况.

5.3 预测准确率

本节主要针对本文提出的基于 QoS 的动态分级策略中, 镜像文件是否使用进行预测的准确率进行实验.

我们按本文 4.2 的方法, 对数据集中的记录进行统计和计算, 得到快照和模板对应的属性特征. 对每个镜像文件, 我们统计其在过去一周内的相关属性和用户操作数据, 抽取相应的特征, 将第 8 天该镜像使用情况使用作为该预测问题的标签, 取值 0 和 1, 其中 0 表示没有使用, 1 表示该镜像被使用. 我们取前 35 天的数据作为训练集, 用于训练预测镜像是否使用的 Random Forest 模型, 在最后 7 天内对镜像文件是否使用进行预测, 并据此调节系统中迁移阈值. 图 2 给出了使用 Random Forest 对一周内镜像使用概率进行预测的准确率. 由图可以看出, 预测的准确率在 80% 以上, 最好情况是 86.8%, 并且随着时间的推移有小范围的波动, 可以看出使用 Random Forest 模型结合本文提出的镜像相关的特征对镜像文件的使用进行预测可以达到较高的准确率.

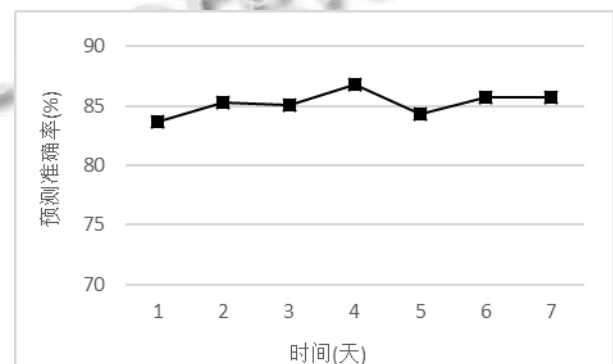


图 2 预测虚拟机快照及模板是否使用的准确率

5.4 收益验证

本文提出的动态分级策略主要的目标是减少用户特定请求的系统平均响应时间, 提高存储收益. 本实验就是针对这一目标进行评价. 我们基于 5.2 节提到的最后一周的镜像访问记录, 分别使用固定分级策略

和动态分级策略,统计每天内用户在使用虚拟机镜像及快照时系统的平均响应时间及存储的收益。

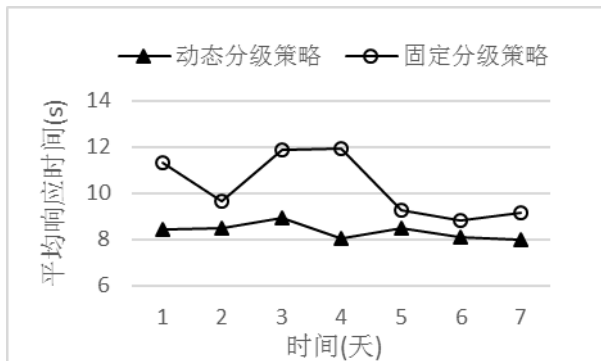


图3 特定的用户请求平均响应时间对比

图3为使用固定分级策略和基于QoS的动态分级策略时特定的用户请求的系统平均响应时间。从实验结果中可以看出使用动态分级策略时用户使用快照、模板的平均响应时间低于固定分级策略,最好情况下平均响应时间降低了33%。这主要是由于使用动态分级策略对镜像使用概率进行预测,将可能使用概率大的模板和快照放置于一级存储上,减少了镜像迁移的时间;然而系统的平均响应时间没有小于预设的,主要是由于镜像使用预测存在一定的误差,并且受限于一级存储的容量限制,不能将所有可能使用的镜像都放置于一级存储上,导致平均响应时间的增加。

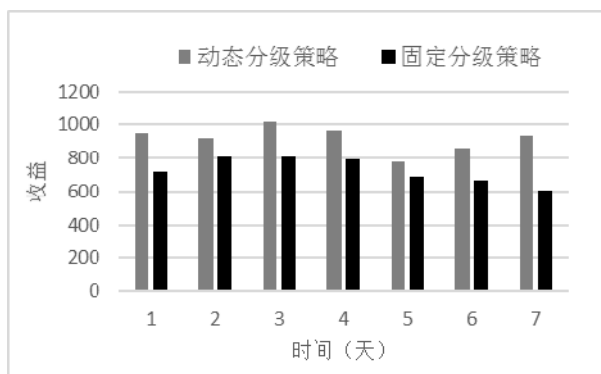


图4 存储收益对比

图4为这两种策略下的系统收益对比。相比于固定分级策略,动态分级策略能提高系统收益,主要是优化镜像在存储系统中的位置,将很可能会使用的镜像放置在一级存储上,最终使得用户的QoS收益提高,存储空间得到了更合理的利用,最终存储收益提高13%~54%。

6 相关工作

镜像分级存储系统本质也是分级存储系统,HPSS^[10]有两级存储,但仅允许从一级存储上读写数据,而二级存储作为离线设备,即数据必须首先从一级存储上迁移到二级存储才能被使用.VxFS^[11]允许用户放置和迁移数据的规则,从而提高分级存储系统的灵活性。

分级存储一个很重要的特点在于需要满足SLA(Service Level Agreements),分级存储中可以很容易获取系统性能数据.Everest^[12]通过利用磁盘空闲带宽映射成一个虚拟的短期存储,使得降低系统在负载峰值时,降低IO请求延时.SuperFetch^[13]通过挖掘历史中数据访问的规则,来预取频繁使用的系统数据和应用程序相关的信息,载入内存以降低系统及应用程序启动时间.本文与上面提到的相关工作的不同之处在于本文的目标是减少用户在使用模板,快照的系统的响应时间,并从文件级别来调整数据位置。

在数据的迁移算法上,现有的迁移算法主要有FIFO(First In First Out),LRU(least-recently Used),LFU(Least Frequently Used),size-only,space-time^[14],file-aging^[15]等.space-time根据文件大小和文件使用间隔的乘积来分级.File-aging算法定义了迁移值,它根据文件使用时间,大小和历史的迁移值来计算当前的迁移值.这些算法中,如FIFO,LRU,LFU,size-only等考虑因素过于单一.space-time和file-aging等只是简单的将文件的相关属性做一些规则,这些规则往往需要较为丰富的行业背景经验,规则调整过程较为繁琐,不够灵活.本文的数据迁移算法主要依据文件未来的使用概率,将预测的使用概率高的镜像放置于一级存储上,概率预测则是通过文件的历史属性和使用情况,利用Random Forest模型进行预测,无须过多的人工干预和规则制定。

7 总结

本文提出了一种QoS约束的虚拟机镜像放置优化方法,量化分析用户服务质量及存储服务的综合收益,并以此为目标制定镜像文件动态分级策略.区别于以往的人工制定数据划分和迁移规则,本文通过Random Forest对镜像是否使用进行预测,据此调整镜像在存储系统中的级别.实验结果表明,该方法可以在保障用户服务质量的前提下优化存储收益.但本文

没有充分考虑镜像迁移对系统负载的影响, 在以后的工作中, 要对系统负载低的时间段进行细粒度刻画和建模, 利用空闲时间段执行迁移任务, 降低迁移对前台应用性能造成的影响。

参考文献

- 1 Goldberg RP. Survey of virtual machine research. *Computer*, 1974, 7(6): 34–45.
- 2 Amazon Corporation. Amazon Web Services. <http://aws.amazon.com/cn>.
- 3 Alibaba Inc. aliyun. <http://www.aliyun.com/>. [2014-2].
- 4 OpenNebulaProject. Opennebula. <http://opennebula.org/>. [2014-2].
- 5 Rackspace Cloud Computing. Open source software for building private and public clouds. <http://www.openstack.org/>. [2014-2]
- 6 Breiman L. Random forests, machine learning. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2001, 45(1): 5–32.
- 7 Massiglia P. Exploiting multi-tier file storage effectively. SNIA Tutorial, SNIA, 2009.
- 8 Xue J, Yan F, Riska A, Smirni E. Storage Workload Isolation via Tier Warming: How Models Can Help. ICAC, 2014.
- 9 <http://www.once.com.cn/OncePortal/oncecloud>.
- 10 HPSS User's Guide. http://www.hpss-collaboration.org/user_doc.shtml.
- 11 Karche G, Mamidi M, Massiglia P. Using dynamic storage tiering. <http://www.symantec.com/enterprise/yellowbooks/index.jsp>, 2006.
- 12 Narayanan D, Donnelly A, Thereska E, Elnikety S, Rowstron A. Everest: scaling down peak loads through I/O off-loading. OSDI, 2008, 8: 15–28.
- 13 Inside the Windows Vista Kernel. <http://technet.microsoft.com/en-us/magazine/2007.03.vistakernel.aspx>. [2014-5-19].
- 14 Smith A J. Long term file migration: development and evaluation of algorithms. *Communications of the ACM*, 1981, 24(8): 521–532.
- 15 Zadok E, Osborn J, Shater A, Wright C, Muniswamy-Reddy K. Reducing storage management costs via informed user-based policies. MSST. 2004. 193–197.