

云计算平台虚拟机迁移能耗研究

陈 俊, 申田静

(贵州师范大学 教育科学学院, 贵州 贵阳 550001)

摘 要: 对云计算平台进行 IPv4/IPv6 过渡前期、中期、后期虚拟机迁移能耗研究. 对测试节点 CPU 频率、CPU 使用率进行监测, 并用监测数据研究了其数学关系, 最终得出云计算平台能耗测试数学模型. 文中进行了 IPv4/IPv6 同构云计算平台虚拟机迁移能耗实验, 用两个云计算平台能耗测试数学模型进行计算取其均值作为最终计算迁移能耗值, 为进一步进行能耗优化打下基础.

关键词: 云计算; 虚拟机迁移; 能耗模型; 迁移能耗

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)01-0072-04

Research on Cloud Computing Platform Virtual Machine Migration Energy Consumption

CHEN Jun, SHEN Tian-jing

(School of Education Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: This paper research virtual machine migration energy consumption on IPv4 / IPv6 transition prior-period, mid-period, last-period for cloud computing platform. In this paper, it monitoring the test node CPU frequency, CPU usage, and using monitoring data to study the mathematical relation, finally drawing the cloud computing platform test energy consumption the mathematical model. The paper conducted a IPv4 / IPv6 isomorphic cloud computing platform virtual machine migration energy consumption experiments, and using two cloud computing platform energy consumption test mathematical model to mean value calculate, and use it as the final calculation of the migration energy consumption. This study is to lay the foundation for further energy consumption optimization.

Key words: cloud computing; virtual machine migration; energy consumption model; migration energy consumption

1 引言

云计算有其易部署、易扩容、可隔离、高可用等备受学术产业界关注的属性. 云计算平台的基础设施需由海量廉价设备构筑, 而海量设备所构筑的云计算资源必将带来高能耗问题.

云计算平台除执行服务请求产生的必要能耗外, 还存在维持空闲资源而产生的能耗开销. 虚拟化技术则可将多个任务以虚拟机方式在一台物理机上运行, 以提高物理机资源利用率, 从而减少物理机数量降低云计算平台能耗. 另一方面, 为达到云计算平

台要求实现服务器负载均衡从而避免资源热点, 虚拟化技术在云计算平台上的应用亦会将一台物理机上运行的多个任务以虚拟机形式分布至多台物理机上运行, 造成额外的能耗开销. 相关研究针对计算机系统能耗展开工作, 但仍缺乏针对虚拟机层次云平台能耗量度研究. Bahsoon R 研究关注于能耗优化下能否保证服务质量从而实现 QoS 能耗度量^[1]. Kumav K 研究则采用运行功率和时间乘积的方法以期获知系统能耗^[2]. Orgerie AC 则尝试在虚拟机在线迁移环境中建立能效模型^[3]. 本文则基于 CPU 负载参数度量系统能耗. 综上可知, 以前研究大多以

收稿日期: 2015-04-04; **修回日期:** 2015-05-12

基金项目: 国家自然科学基金(61309006); 贵州省科学技术基金项目(黔科合协字师大 LH 字[2014]7040 号); 贵州师范大学资助博士科研项目(基于 MDT-FHMIPv6 协议 IPv4/IPv6 虚拟机微移动迁移系统研究)

稳定功率度量系统能耗,未将运行功率视为不断变化参数,以此思路度量系统能耗必将造成模型精度的较大误差,不利于下一步能耗优化.

2 研究思路

因此,我们应将其功率作随时间变化函数求解能耗.实时功率的动态性为获取能耗带来难度,本文正是基于此提出用处理器负载情况度量实时功率以度量处理器能耗,并进行了模型在 IPv4/IPv6 云平台实验,并对能耗模型进行时段积分求得云平台能耗^[4],从而实现云平台能量度量为进一步实现云平台能耗优化打下基础.

本文在建立虚拟机能耗迁移模型基础上正对第 4 节中图 1 云平台网络拓扑测量 IPv4/IPv6 虚拟机在线迁移前期、中期与后期云平台能耗.云平台能耗应由各计算节点与网络设备能耗组成,虚拟机在线迁移能耗则由迁移能耗与云平台虚拟机管理能耗组成.本文研究不考虑网络设备能耗,计算机实时功率测量应为研究难点.实时功率为变化参数,应根据 CPU 接受的任务变化而变化,不能直接测量获取图 1 拓扑可采用硬件测量通过电量获取,但因云平台计算节点海量性,采用硬件测量较为困难.因此,本文细粒度能耗获取,采用以处理器使用率与处理器频率为自变量建立能耗数学模型求取云平台能耗,从而测量计算云平台整个资源池运行能耗.

3 能耗数学模型

能耗应为功率在时间段内的积分,为消耗能量时间段内的总和.本文采用建立云平台计算节点为同构节点(同构指硬件设备一致)记为 $i(1 \leq i \leq N)$.则第 i 节点在 t 时刻功率记为 $P_i(t)$,推出 $E(T)$ 公式为:

$$E(T) = \sum_{i=1}^N \int_0^T P_i(t) dt$$

(1)

式中的功率为实时功率,实时功率随时间处理器接受任务量变化而变化为一变量,额定功率为处理器 100%使用率时的运行功率为一常量.

即与计算机实时功率相关度密切的 CPU 使用率 ω 与计算机能耗 $E(T)$ 密切相关.为获取 CPU 使用率与 CPU 频率,我们设定每间隔 Δt 时间(Δt 取 0.1 s)利用云计算平台计算节点上运行的 CPU 监控代理进行 CPU 使用率与 CPU 频率断点采样. Linux 操作系统可将处理器置于 5 种工作模式,其中 Userspace CPU 模式可固化 CPU 的运行频率.

因云平台采用同构节点,可采用任一计算节点将其置于 Userspace CPU 模式下,并使其运行在 1.5 GHz 与 2.0 GHz 下间隔 Δt 时间进行 CPU 监控代理采样,并使用硬件方式测量该节点实时功率.数据如表 1 所示.

表 1 云计算平台节点 P 、 ω 配对取样

运行频率	P 、 ω 配对取样				
1.5 GHz	(60,0.2)	(60,0.2)	(98,0.3)	(73,0.2)	(86,0.2)
2.0 GHz	(60,0.1)	(61,0.1)	(97,0.2)	(88,0.1)	(100,0.3)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - R)(y_i - Y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - R)^2 \sum_{i=1}^n (y_i - Y)^2}}$$

(2)

通过式(2)求取相关系数值得:

$r_{(1.5\text{ GHz})} = 0.760\ 7, r_{(2.0\text{ GHz})} = 0.769\ 0$,值均大于 0.75,表明计算机实时效率 P 与 CPU 使用率 ω 具备强线性相关性.

则可得^[5]:

$$P = K_1 + K_2 \omega$$

(3)

式(3)可推知处理器利用率 $\omega = 0$ 时, $P = K_1$,故 K_1 应为处理器无任务状态时计算机系统的维持功率, K_2 为 CPU 使用率影响参数.

同理,针对 CPU 以 100% 使用率固定不同频率下分别测得 P 、 f^3 配对数据,如表 2 所示.

表 2 云计算平台节点 P 、 f^3 配对取样

CPU 使用率	P 、 f^3 配对取样				
100%	(151,1.5 ³)	(163,1.6 ³)	(176,1.8 ³)	(185,1.7 ³)	(196,2.2 ³)

表 2 中的数据亦通过式(2)求取相关系数值得:

$$r_{(P,f^3)} = 0.840\ 7,$$

其值大于 0.75,表明 P 与 f^3 具备强线性相关性.则可计算出:

$$P = K_3 + K_4 f^3$$

(4)

引证 Elnozahy EN 研究,计算机功率可定义为由 CPU 功率与除 CPU 外的其他设备功率之和组成,由相关研究成果^[6],可列等式为:

$$P = P_0 + K_c f^2$$

(5)

式(5)中 P_0 为除 CPU 外的其他设备功率,经 Elnozohy EN 证明这些设备功率较为稳定,因此 P_0 为常量. f 为 CPU 频率,此处假定 CPU 以 100% 使用率运行, K_c 则为 CPU 功率系数.可得出式(4)等同于式(5),再次证明式(4)成立的正确性.

3.1 数学模型一

在式(3)、式(5) 计算的基础上,现将 f^3, ω 作为自变量,求 $P(f^3, \omega)$ 表达式:

$$P(f^3, \omega) = \beta_0 + \beta_1 f^3 + \beta_2 \omega + \epsilon \tag{6}$$

通过式(6) 可利用计算机 CPU 实时频率与 CPU 实时使用率得出计算机实时功率, $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 系数值则可通过单计算机测量多组 CPU 实时频率、CPU 实时使用率与实时功率求得. 针对不同硬件设备的计算机皆应有不同的 $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 系数值. 现针对测试节点,测得对应的运行频率 f 、CPU 使用率 ω 与计算机功率 P ,代入式(6) 可计算得出,针对本云计算试验床, $\beta_0 = 55.57, \beta_1 = 1.21, \beta_2 = 57.01$.

3.2 数学模型二

以式(3) 为基,测得对应 P, ω 配对取样数据,则以 K_1, K_2 为未知数,联立方程可求得:

$$K_1 = 62, K_2 = 120.$$

以式(4) 为基,测得对应 P, f^3 配对取样数据,则以 K_3, K_4 为未知数,联立方程可求得:

$$K_3 = 94.84, K_4 = 16.64.$$

由式(3) 与式(4) 计算得:

$$2P = K_1 + K_2 + K_1 \omega + K_4 f^2 \tag{7}$$

对式(7) 代入 K_1, K_2, K_3, K_4 参数值可得:

$$P = 78.42 + 60\omega + 8.82 \tag{8}$$

4 迁移能耗测试

为完成云计算平台能耗测试,研究建立 IPv4/IPv6 云计算平台. 该云计算平台利用 IPv4/IPv6 三种过渡技术进行 IPv4/IPv6 间的虚拟机在线迁移,构建云计算平台虚拟机在线迁移实验环境.

实验采用设备参数描述如表 3 所示,同构节点不考虑显示器、键盘、鼠标能耗.

表 3 实验设备参数描述

同构节点	硬盘:1 TB;内存:4 GB;CPU:Intel 酷睿 i7 4770,3.4 GHz	
	技术参数	技术指标
MECELL 测量精度	电压	0.2 级
	电流	0.2 级
	有功功率	0.5 级
	无功功率	0.5 级
	有功电能	0.55 级
	无功电能	1 级

架构拓扑设计考虑 IPv4/IPv6 过渡三个阶段情况. 前期为海量 IPv4 节点包围 IPv6 孤岛节点;中期

为纯 IPv4 网络与纯 IPv6 网络互联;后期为海量 IPv6 节点包围 IPv4 孤岛节点. 本实验使用六台同构硬件设备构造云平台,两台分别作为 IPv4 网络中的 IPv4 迁移节点和 IPv6 网络中的 IPv6 迁移节点,另有两台作为被 IPv4 网络包围的 IPv6 主机和被 IPv6 网络包围的 IPv4 主机,一台作为全局控制引擎,一台作为通信对端. 通信对端使用 Windows XP 操作系统,虚拟机安装的是 Fedora Core6.0. 虚拟机监控器使用 Xen HVM3.1.0. 实验网络拓扑如图 1 所示.

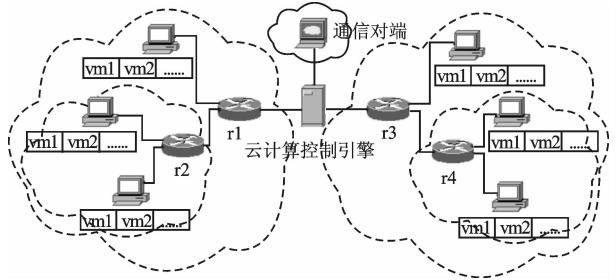


图 1 云计算平台实验网络拓扑

实验分别针对 IPv4/IPv6 过渡三个阶段进行无负载虚拟机在线迁移. 为测试能耗,针对云计算平台所有物理机安装 CPU 监控代理以采集 CPU 频率 f 和使用率 ω ,用以计算能耗,并将监控信息每间隔 Δt 时间实时同步^[7],由式(6)可得:

$$E(T) = \sum_{i=1}^N \int_0^T [\beta_0 + \beta_1 f_i(t)^3 + \beta_2 \omega_i(t) + \epsilon] dt \tag{9}$$

由数学模型二即式(8) 可得:

$$E(T) = \sum_{i=1}^N \int_0^T \{ [K_1 + K_2 + K_2 \omega_i(t) + K_4 f_i(t)^2] / 2 \} dt \tag{10}$$

由式(9)、式(10) 可得,求取相关时间 Δt 绩分最终求出云计算平台 IPv4/IPv6 虚拟机在线迁移平台能耗,此处 Δt 取值为 0.1 s,令实验针对 CPU 使用率与 CPU 频率在采样时段共采样 M 次. 由数学模型一即式(6) 可得:

$$E(T) = \sum_{i=2}^M \sum_{j=2}^M [\beta_0 + \beta_1 f_i(\Delta t_j)^3 + \beta_2 \omega_i(\Delta t_j) + \epsilon] \Delta t \tag{11}$$

由数学模型二即式(8) 可得:

$$E(T) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{ [K_1 + K_2 + K_2 \omega_i(\Delta t) + K_4 f_i(\Delta t)^2] / 2 \} \Delta t \tag{12}$$

在此研究进行云计算平台虚拟在线迁移行为能耗测试. 实验采用的云计算平台为小型集中式同构

云计算平台,为区分测量网络设备能耗与计算节点能耗实验采用双路供电策略,并将 MECELL 电力监测仪串联入计算节点供电电路以便获取所有计算节点的通过电量.实验云计算平台采用 6 台计算节点组成及该 6 台计算节点为单路同路供电,且在此电路中串联了 MECELL 电力监测仪用以监测 6 台计算节点总通过电量得到云计算平台监测能耗.公共云计算平台因其供电的分布性不利于采用硬件方式直接获取总通过电量.实验测量数据由式(11),式(12)测得数据取均值,如表 4 所示.

表 4 IPv4/IPv6 迁移能耗测试

	IPv4/IPv6 前期	IPv4/IPv6 中期	IPv4/IPv6 后期
时耗/ms	28 571	23 513	24 863
计算能耗/ J	15 600	13 685	15 216
检测能耗/ J	14 842	14 535	15 539
平均比率/ W	91	97	102

5 结束语

云计算平台因其海量资源池必将形成庞大的能耗开销,本文研究基于此将即时功率视为随计算量变化而变化的时间函数.引入了处理器使用率以处理器频率求取即时功率建立虚拟机能耗数学模型.

文中利用操作系统接口每间隔 Δt 时间进行一次处理器使用率与处理器频率采样,并利用硬件方法通过对同构节点物理机通过电量监测获取即时功率采样值,利用线性回归方法建立能耗数学模型.为保证推算能耗精度,文中推演出二个数学模型,并以二个模型能耗均值作为能耗计算值.研究得出的云计算平台虚拟机能耗模型可获取云计算平台任意时段的平台能耗为进一步云计算平台能耗优化打下理论基础.研究得出以下结论:

(1)文中在 IPv4/IPv6 虚拟机三个阶段虚拟机在线迁移实验中,对比计算能耗与测算能耗平均误差率为 4.3%,该误差应由电力检测仪精度误差与数据采样同步误差造成;

(2)实验得出云计算平台在 IPv4/IPv6 虚拟机在线迁移行为中处理器使用率在 0.2~0.3 之间,故可知云计算虚拟机在线迁移能耗主要耗费在计算机维持能耗开销中,且由采样数据计算可得,在虚拟机

迁移三个阶段中物理机平均功率分别 91 W、97 W、102 W.

文中将除 CPU 能耗对其他设备能耗视为常数,但因 I/O 行为造成的磁盘与内存的读写操作会造成一定的能耗波动,加之云计算平台的海量累加性将造成能耗精度不稳定,这将是下一步研究的主要工作.

参考文献:

[1] Bahsoon R. Green cloud: towards a framework for dynamic self-optimization of power and dependability requirements in green cloud architectures[C]// Proc. of the 4th European Conf. on Software Architecture(EC-SA 2010). Copenhagen,2010: 510-514.

[2] Kumar K, Lu Y H. Cloud computing for mobile users:Can offloading computation save energy[J]. IEEE Computer,2010,43(4):51-56.

[3] Orgerie A C, Lefèvre L, Gelas J P. Save watts in your grid: green strategies for energy-aware framework in large scale distributed systems[C]// Proc. of the 14th Int’l Conf. on Parallel and Distributed Systems (ICPADS 2008). Melbourne: IEEE,2008:171-178.

[4] Ge Rong, Feng Xizhou, Song Shuaiwen, et al. Power-pack:energy profiling and analysis of high-performance systems and applications[J] // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2010, 21 (5): 658-671.

[5] Elnozahy E N, Kistler M, Rajamony R. Energy-efficient server clusters[C]//Proc. of the 2nd Int’l Workshop on Power-Aware Computer Systems (PACS 2002). Cambridge: Springer-Verlag,2003: 179-197.

[6] Song J, Li T T, Yan Z X, et al. Energy-Efficiency model and measuring approach for cloud computing [J]. Journal of Software, 2012,23(2):200-214.

[7] Dhiman G, Mihic K, Rosing T. A system for online power prediction in virtualized environments using gaussian mixture models[C]// Proceedings of the 47th Design Automation Conference (DAC). New York, USA,2010:807-812.

作者简介:

陈俊男,(1979-),博士,副教授.研究方向为分布式计算、下一代互联网技术.
E-mail:starcraft_cj@163.com