节能及信任驱动的虚拟机资源调度*

刘 永[a], 王新华[b,c], 王 朕[a], 隋敬麒[a]

(山东师范大学 a. 信息科学与工程学院; b. 信息技术管理处; c. 山东省分布式计算机软件新技术重点实验室, 济南 250014)

摘 要: 针对节能机制和信任驱动的资源调度机制相分离的特点,提出了一种应用到云计算数据中心中的节能及信任驱动的虚拟机资源调度 TD energy-aware-Opt 算法。该算法利用任务和虚拟机资源之间的信任机制进行任务和虚拟机资源之间的匹配,并通过最小化迁移算法对虚拟机进行实时迁移,以达到保证用户任务性能和数据中心节能的目的。对该算法进行大规模和多角度的仿真实验,结果表明:该算法与传统的基于信任驱动的最小完成时间 TD min-min 算法、基于信任驱动的最大完成时间 TD max-min 算法相比,能节省大量电能并且具有较优的平均信任效益、总信任效益和较低的服务等级协议违反率。

关键词: 云计算; 虚拟机调度; 节能; 信任模型

中图分类号: TP393 **文献标志码**: A **文章编号**: 1001-3695(2012)07-2479-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.021

Energy-aware and trust-driven virtual machine scheduling

LIU Yong[a], WANG Xin-hua[b,c], WANG Zhen[a], SUI Jing-qi[a]

(*a. College of Information Science & Engineering, b. Information Technology Management Office, c. Shandong Provincial Key Laboratory for Distributed Computer Software Novel Technology, Shandong Normal University, Jinan* 250014, *China*)

Abstract: At present existed scheduling algorithms of trust-driven ignore the impact of energy-aware mechanism. This paper proposed an energy-aware and trust-driven virtual machine scheduling TD energy-aware-Opt algorithm adapting to cloud computing data centers. The proposed algorithm matched the task and virtual machine by the trust mechanism between resources and tasks, reached the purpose of ensuring the user task performance and energy-aware in data centers. The algorithms are evaluated with large scale simulation. Simulation results demonstrate TD Energy-aware-Opt algorithm outperforms the trust-driven TD max-min and TD min-min algorithms in terms of the average trust utility, total trust utility and the level of service level agreement violation, while providing less level of energy consumption.

Key words: cloud computing; virtual machine scheduling; energy-aware; trust model

0 引言

资源密集型的商业和科学应用程序对硬件设施的性能要求很高,这促使大规模数据中心的创建,并使数据中心消耗了大量的电能。尽管目前许多研究提高了硬件资源的节能性能,但整个数据中心消耗的电能却始终没有减少。据报告称[1],美国 IT 基础设施 2011 年消耗的电能大约是 2006 年的两倍,电费成本大约是 45 万亿美元;并且数据中心在消耗电能的同时会排放出大量的 CO_2,加重了温室效应。当前降低数据中心能耗的一个有效方法是使用虚拟化技术。虚拟化技术可以使得多个虚拟机整合到一台物理服务器上,并通过关闭多余的服务器节省电能。当前新的计算模式——云计算就利用了虚拟化技术,并以即付即用的方式部署云中虚拟机资源给用户使用[2]。这使得用户节省了一大笔购买和维护硬件设施的成本。

除了对节能的要求外,还要求云计算运营商能够提供高可靠的 QoS 给云中的用户使用,保证不违反与用户签订的服务质量等级协议 SLA(service level agreement)。在像云计算这样的大规模计算服务管理中,可量化的用户 QoS 分为性能 QoS 和信任 QoS[3]。其中,性能 QoS 包括吞吐量、作业响应时间等参数,而信任 QoS 是用来评价服务信息的可信程度。当前,研究信任驱动的网格调度算法比较多[4~10],而研究云计算信任驱动的调度算法比较少。事实上,云计算系统中无论用户还是资源,只要一方信任缺失都会引起云计算系统的信任 QoS 降低。例如,如果云计算用户对云计算资源恶意使用,将极大消耗其资源,降低其提供服务的能力;反之,若云计算资源提供的服务易失效、会延迟服务请求的完成时间,极有可能违反 SLA。

本文针对当前对节能以及对信任 QoS 的要求,提出了一种应用到云计算数据中心的节能及信任驱动的虚拟机调度算法。该算法在 Buyya 等人提出的节能的虚拟机调度算法[11~14]的基础上引入信任模型,在考虑将虚拟机部署到电能消耗最少的主机上的同时,将用户任务分配给信任值较高的虚拟机资源。这样既保证了用户任务可以被信任 QoS 值高的虚拟机资

收稿日期: 2011-10-30; **修回日期**: 2011-12-14 **基金项目**: 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金资助项目(BS2010DX032)

作者简介:刘永(1985-),男,硕士,主要研究方向为云计算、网格计算(liuyong_19850329@163.com);王新华(1970-),男,硕导,博士,主要研究方向为车载网络、云计算;王朕(1987-),男,硕士研究生,主要研究方向为车载网络、云计算;隋敬麒(1988-)男,硕士研究生,主要研究方向为车载网络、云计算.

源完成,又为数据中心节省了大量的电能,满足了人们对信任 QoS 和节能的要求。

1 相关工作

a)基于信任 QoS 的网格调度研究。Azzedin 等人[7],首次在网格资源管理中引入了“信任”概念,并设计了负载最小化算法来克服基于信任 QoS 的作业调度中引入的额外负载。Tian 等人[8]提出了一种基于信任的资源分配模型,该模型把信任机制引入到反向拍卖中,基于影响资源分配的因素计算局部和全局信誉值并动态修改信任值,克服了网格中服务提供者和服务请求者信息不对称的情况。Kolodziej 等人[9]为了解决安全问题把网格调度问题看成是网格用户的非协作非零和博弈问题 ,并针对大规模网格环境提出了分层的安全模型,以使博弈成本最低。

b)虚拟机节能调度算法研究。Kusi 等人[15]研究虚拟化 Web 集群的电能和性能之间的平衡问题。他们提出的系统控制器使用了限制预控制策略,根据当前的 Web 请求负载,部署用于处理 Web 请求的虚拟机,在保证不违法 SLA 的同时使得消耗的电能最少。Beloglazov 和 Buyya 等人提出了应用于云数据中心的资源管理策略[11-14]。该策略在保证不违反 SLA 的同时,利用虚拟机迁移技术不断把虚拟机整合到较少的服务器上,并关闭多余的空闲服务器来降低能耗。但他们只考虑了 CPU 资源消耗的电能,没有考虑内存等其他硬件资源消耗的电能。这些算法的局限性在于它们仅仅考虑了对节能的要求,而没有考虑对用户任务和资源之间的信任 QoS 的要求。

为了克服上面两类调度算法的局限性,本文在节能的资源调度算法基础上引入信任机制,提出一种节能及信任驱动的虚拟机资源调度 TD energy-aware-Opt 算法,以兼顾节能和信任 QoS 的需求。

2 问题描述

2.1 信任概念等的描述

2.1.1 信任模型

信任是一个十分主观并且模糊的概念,对信任的定义因为研究者理解的不同而有所差异,本文采用文献[4]中的信任定义。

定义 1 信任。对信任值表征的客观实体的身份和行为的可信度进行评估,信任值取决于实体的可靠性、诚信和性能等。云计算资源调度信任模型主要由 VM(virtual machine,虚拟机)资源的信任属性、用户任务的信任属性以及相互之间的信任关系构成。

云计算池中的 VM 资源信任属性包括两个方面:

a)安全性。衡量云计算池中的虚拟机资源对任务的真实性、保密性和完整性的保障程度。本文定义了虚拟机资源的安全级别量化虚拟机的安全属性。

b)可靠性。长时间执行的任务可能会因为允许它的虚拟机资源失效导致运行失败,从而重新被调度到新的虚拟机上,这造成了虚拟机资源的浪费,使其性能低下。本文使用单位时间内虚拟机资源失效概率衡量虚拟机资源的可靠性。

用户任务的信任属性是指云计算用户提交用户任务时,对用户任务运行的安全性和可靠性的要求。本文分别采用用户任务的安全性级别与可靠性级别量化用户任务的信任属性。

2.1.2 信任效益函数

用户任务在被调度时,对 VM 资源的信任值要求不同。根据用户任务在调度过程中对 VM 资源的要求,用户任务与 VM 资源间的信任关系可以分为强信任关系 strong、弱信任关系 weak 和无信任关系 no。任务 t_i 在 VM 资源 vm_j 上对于这三种关系分别执行原始安全效益函数,具体定义如下:

$$\mathrm{rawSecUtil}_{\mathrm{strong}}(i,j)=\begin{cases}1 & \mathrm{if}(TS_i\leqslant RS_j)\\ 0 & \mathrm{others}\end{cases} \tag{1}$$

$$\mathrm{rawSecUtil}_{\mathrm{weak}}(i,j)=\begin{cases}1 & \mathrm{if}(TS_i\leqslant RS_j)\\ 1-(rs_j-ts_i)/(\max\_\mathrm{level}-rs_j) & \mathrm{others}\end{cases} \tag{2}$$

$$\mathrm{rawSecUtil}_{\mathrm{no}}(i,j)=TS_i/\max\_\mathrm{level} \tag{3}$$

同样,任务 t_i 在 VM 资源 vm_j 上对于这三种关系分别执行原始可靠性效益函数的定义如下:

$$\mathrm{rawRelUtil}_{\mathrm{strong}}(i,j)=\begin{cases}1 & \mathrm{if}(TR_i\leqslant RR_j)\\ 0 & \mathrm{others}\end{cases} \tag{4}$$

$$\mathrm{rawRelUtil}_{\mathrm{weak}}(i,j)=\begin{cases}1 & \mathrm{if}(TR_i\leqslant RR_j)\\ \dfrac{(1-\exp(-(RR_j+1-TR_i)))/\exp(-(1-TR_i))}{1-\exp(-1)/\exp(-(1-TR_i))} & \mathrm{others}\end{cases} \tag{5}$$

$$\mathrm{rawRelUtil}_{\mathrm{no}}(i,j)=(1-\exp(-RR_j))/(1-\exp(-1)) \tag{6}$$

其中,任务可靠性需求 $TR_i\in(0,1)$,而资源可靠性 RR_j 由虚拟机 vm_j 和其上运行的任务 t_j 共同决定。刚开始调度时,设每个虚拟机资源的固有失效概率为 FR_j。随着时间的增加,虚拟机 vm_j 的失效概率逐渐增大,其可靠性降低。设任务 t_i 在 vm_j 上的完成时间为 $FT_{i,j}$,则 vm_j 的可靠性为 $RR_j=\exp(-FT_{i,j}\times FR_j)$。

对任务 t_i 在虚拟机资源 vm_j 上的信任效益函数的定义如式(7)所示,其中 w_1,w_2 分别是虚拟机资源 vm_j 安全性和可靠性的权值。信任效益函数值越大,vm_j 资源的信任值越高。

$$\mathrm{trustUtil}(i,j)=w_1\times\mathrm{rawSecUtil}(i,j)+w_2\times\mathrm{rawRelUtil}(i,j)$$
$$w_1+w_2=1 \tag{7}$$

定义 2 信任驱动的云计算虚拟机资源调度问题。给定由 m 个虚拟机资源构成的云计算资源池 $M=\{vm_1,vm_2,\cdots,vm_m\}$,$n$ 个用户任务构成的任务集合 $T=\{t_1,t_2,\cdots,t_n\}$,求映射方案 $\mathrm{map}=(a,s)$(其中 $a:T\to M$ 表示任务分配的映射),$a(i)=j$ 表示将 t_i 分配到 vm_j 上,$s\{(i,a(i))\mid i\in T\}\to N=\{1,2,\cdots,n\}$ 表示在资源上的任务调度函数,$s(i,j)=k$ 表示在 vm_j 上第 k 个执行的任务 t_i,该资源调度问题的目标是使得信任效益函数值最大,即

$$\max\ \mathrm{trustiUtil}(\mathrm{map})\ \&\&\ \min\ \mathrm{taskfinishtime}(\mathrm{map}) \tag{8}$$

其中,taskfinishtime 是任务 t_i 在 vm_j 资源上的预计执行时间。

信任效益函数的值越大,vm_j 越值得信任,然而在最大化信任效益函数值的同时,还要保证任务的执行时间尽量少,因此给出综合效益函数 $\mathrm{weightUtil}(i,j)$,以兼顾这两者的要求。

$$\mathrm{weightUtil}(i,j)=w_1\times\frac{\mathrm{trustUtil}(i,j)}{\mathrm{trustUtil}(i,\max)}+w_2\times\frac{FT_{i,\min}}{FT_{i,j}}$$

$$w_1 + w_2 = 1 \tag{9}$$

其中,w_1 和 w_2 分别是信任和性能的权值;trustUtil(i,max)是任务 t_i 在所有虚拟机资源上最大信任效益值;$FT_{i,\min}$是任务 t_i 在所有虚拟机上的最小预计完成时间。

信任驱动的云计算虚拟机资源调度与信任驱动的网格调度虽然都是信任驱动的,但在资源方面有所区别。前者调度的是云中的虚拟机资源,这些虚拟机可以是同构的,也可以是异构的,具有很强的闲散性;而后者中的资源大多是异构的,可以是一台主机,也可以是集群等,具有很强的异构性。两者针对不同的计算资源进行信任驱动。

2.2　虚拟机节能调度算法

Buyya 及其合作者研究了云计算数据中心中节能的虚拟机调度算法[11~14]。他们首先提出了物理服务器的电能消耗模型和在一段时间内物理服务器电能总消耗模型[15],分别如式(10)(11)所示;然后针对虚拟机分配提出了虚拟机初始化策略和虚拟机迁移策略两个策略。由于文章篇幅的限制,本文简要介绍这两种策略的思想。

虚拟机初始化策略。该策略是利用修正的最适合降序算法(modified best fit decreasing,MBFD)把新创建的虚拟机部署到合适的主机上。首先按照 CPU 利用率的降序排列新创建的虚拟机,然后把排序好的虚拟机逐个分配到电能消耗最少的主机上面。该算法的时间复杂度是(nm),其中 n 是创建的虚拟机的数量,m 是主机数量。

虚拟机迁移策略。首先选择要迁移的虚拟机,然后使用 MBFD 算法把选择的虚拟机迁移到其他主机上。选择要迁移的虚拟机的策略有最小化迁移策略(minimization of migrations policy)、最有潜力增长策略(highest potential growth policy)和随机选择策略(random choice policy)。最小化迁移策略是当节点 CPU 利用率超过上界阈值时选择数量最小的虚拟机进行迁移;最有潜力增长策略是当节点 CPU 利用率超过上界阈值时,选择 CPU 利用率最低的虚拟机迁移;随机选择策略是当 CPU 利用率超过上界阈值时,随机选择一部分虚拟机进行迁移。

$$P(u) = k \times P_{\max} + (1-k) \times P_{\max} \times u \tag{10}$$

其中:$P_{\max}$是服务器满负载时消耗的电能;k 是服务器空闲时消耗的电能所占 $P_{\max}$的比例;u 是 CPU 的利用率,它是时间 t 的函数。

$$E = \int_{t_0}^{t_1} P(u(t))\,\mathrm{d}t \tag{11}$$

式(11)表示在一段时间内物理服务器 E 所消耗的总电能。

3　节能及信任驱动的启发式调度

3.1　TD max-min 和 TD min-min 算法

TD max-min[10]算法思想为:对于任务集合中的每一个任务,计算每个任务在虚拟机资源池中各个虚拟机资源上的信任效益函数值,选择信任效益值最小的任务—资源对进行映射。

TD min-min 算法[4]思想为:与 TD max-min 算法思想相反,计算任务集合中每个任务在虚拟机资源池中各个虚拟机资源上的信任效益函数值,选择信任效益值最大的任务—资源对进行映射。

3.2　TD energy-aware-Opt 算法

本文提出的 TD energy-aware-Opt 算法由虚拟机初始化算法、信任驱动的虚拟机调度算法和最小化迁移算法三种算法组成。a)利用虚拟机初始化算法将新创建的虚拟机部署到能耗最少的主机上;b)利用信任驱动的虚拟机调度算法,将用户提交的任务分配到新创建的虚拟机上;c)利用最小化迁移算法将执行用户任务的虚拟机迁移到合适的主机上。具体算法如下:

算法 1　虚拟机初始化算法

输入:主机列表 hostlist,虚拟机列表 vmlist。

输出:虚拟机 vm 与主机 host 的映射结果 allocation。

```
vmlist 中的 vm 按 CPU 的利用率降序排列
for vmlist 中的每个 vm
常量 MAX 值给变量 minPower
变量 allocatedhost 为空
for hostlist 中的每个 host
if host 有足够的资源给 vm
   预测 host 与 vm 的电压值,并把预测结果给变量 power
endif
if power < minPower
   把 host 给 allocatedhost
   把 power 值给 minPower
endif
endfor
if allocatedhost 不为空
把 vm 分配给 allocatedhost
endif
endfor
返回最后的映射结果 allocation
```

算法 2　信任驱动的虚拟机调度算法

算法思想为:优先为紧迫任务分配虚拟机资源,如果该任务不是紧迫任务,则给该任务分配综合信任效益值最大的虚拟机资源,以保证任务得到的资源能够获得最优的信任效益和完成时间。具体算法如下:

输入:任务与资源的信任信息,ETC 矩阵。

输出:任务—资源映射方案 map。

初始化,令 $T = \{t_1, t_2, \cdots, t_n\}$ 为任务集合,$M = \{vm_1, vm_2, \cdots, vm_m\}$ 为资源集合

将任务集合 T 按照信任关系{strong,weak,no}分为三个互补不相交的子集$\{T_1, T_2, T_3\}$

```
变量 k = 1
repeat
if T_k 不为空
for T_k 中每一个任务 t_i
for M 中的每一个 vm_j 资源
   计算 t_i 在 vm_j 上的信任效益值 trustUtil(i,j)
endfor
for M 中的每一个 vm_j
   找出满足任务 t_i 效益函数值的资源
endfor
if 所有资源无法满足任务 t_i 的信任需求
从 T_k 中除去 t_i
endif
if 只有一个 vm_j 资源满足任务 t_i 的需求
   将 t_i 加入到 Urge 中
else
   将 t_i 加入到 Wait 中
```

endif
endfor
for Urge 中的每一个任务 t_i
将 t_i 分配到对应的 vm_j 资源上
endfor
for Wait 中的每一个任务 t_i
for 找到的 vm_j 资源
计算任务 t_i 在 vm_j 上的 weightUtil (i,j)
endfor
将任务 t_i 分配到 weightUtil (i,j) 是最大值的 vm_j 上
endfor
if T_k 为空
$k = k + 1$
endif
until $k = 3$

紧迫任务定义为当前只有一个虚拟机资源满足其信任需求的任务。

算法 3 最小化迁移算法

输入:主机列表 hostlist,虚拟机列表 vmlist。

输出:迁移列表 migrationlist。

for hostlist 中的每个主机 h
把主机 h 上运行的虚拟机添加到 vmlist
vmlist 中的虚拟机按照 CPU 的利用率降序排列
变量 hUtil 保存主机的 CPU 利用率
把 MAX 值赋给变量 bestFitUtil
把主机 CPU 利用率上界值赋给变量 THRESH _UP
把主机 CPU 利用率下界值赋给变量 THRESH_LOW
while hUtil > THRESH_UP
for vmlist 中的每个 vm
if vm 的利用率 > hUtil - THRESH_UP 的值
vm 的利用率 - hUtil + THRESH_UP 的值给变量 t
if t < bestFitUtil
把 t 值赋给 bestFitUtil
把 vm 给 bestFitVm
else
if bestFitUtil = MAX 值
把 vm 给 bestFitVm
break
把 hUtil - bestFitVm 中的 vm 的 CPU 利用率的值赋给 hUtil
把 bestFitVm 添加到 migrationlist 中
把 bestFitVm 从 vmlist 中删除
if hUtil < THRESH_LOW
把 h 的 vmlist 添加到 migrationlist
把 h 的 vmlist 从 vmlist 中删除
返回虚拟机列表 migrationlist

4 仿真实验及结果分析

本章首先给出仿真实验参数设置,然后将本文提出的 TD energy-aware-Opt 启发式算法与信任驱动的 TD min-min 和 TD max-min 算法进行比较,验证本文算法在信任 QoS、性能 QoS 和电能消耗等方面的有效性。

4.1 实验参数设置

本文提出的算法使用 CloudSim 模拟器进行仿真。主机数目 100,主机处理器为单核处理器,处理器速度为 1000、2000 或 3000 MIPS,内存 8 GB,外存 1 TB。节点空闲时,消耗电能 175 W/h,节点满负载时,消耗电能 250 W/h。需要部署的虚拟机数目为 250,每个虚拟机需要的 CPU 处理速度为 250、500、750 或 1000 MIPS,内存 128 MB,外存 1 GB;用户提交的任务数目为 40 ~ 200。

虚拟机的安全级别 *RS* 设置为三个级别{low, medium, high},每个虚拟机的安全级别在这三个级别随机生成。虚拟机的单位时间失效概率 *FR* 在区间[0.0001,0.0015]上随机生成。任务安全需求级别 *TS* 与虚拟机安全级别 *RS* 设置相同。*TS* 在强、弱信任关系的情况下根据公式 $TR = (0.9 + 0.1 \times \text{rand}) \times \exp\{10^{-4} \times (\text{作业数}/\text{主机数})\}$ 生成,rand 属于[0,1]。任务 i 在虚拟机上的预计执行时间 ETC 根据文献[16]中的方法生成 $u_{\text{task}} = u_{\text{match}} = 100$, $V_{\text{task}} = V_{\text{match}} = 0.6$。

设置变量 V_q 属于区间[1,4]用于控制任务和资源之间的信任关系以便在任务分配过程中把不同信任关系的任务划分到不同的任务集合中。V_q 的取值决定了任务和资源之间具有强信任关系的可能性。V_q 值越大,任务和资源之间具有强信任关系的可能性越大;V_q 值越小,任务和资源之间具有弱信任关系或无信任关系的可能性越大。在区间[0,1]上生成一个随机数 a,如果 a 小于 $0.25V_q$,则两者具有强信任关系;如果 a 小于 $0.5V_q$,则两者具有弱信任关系;否则两者无信任关系。信任效益函数式(9)中权重 w_1、w_2 均取值 0.5。

4.2 实验结果及分析

本节从信任 QoS(任务总信任效益值、平均信任效益值)、性能 QoS(服务等级协议违反比例)、电能消耗值等性能指标对上述启发式算法进行综合评价。

总信任效益是所有被成功调度的任务的信任效益之和,即

$$\text{totalTrustUtil} = \sum_{i=1}^{n} \text{trustUtil}(t_i, a(t_i)) \tag{12}$$

总信任效益值越大,云计算系统越能提供好的信任 QoS。

平均信任效益是所有被成功调度的任务所获得的平均信任效益值。

经过实验发现,V_q 的取值对仿真结果的整体走势及对比算法的相对关系影响不大,因此在总信任效益值、平均信任效益值、SLA 违反率以及电能消耗比较中,以 V_q 取值 2 为代表给出三种算法的比较情况。

图 1 给出了三种算法总信任效益值的比较。可以看出 TD energy-aware-Opt 算法所获得的总信任效益要优于信任驱动的 TD min-min 算法、TD max-min 算法。这是因为 TD energy-aware-Opt 算法事先按照任务—资源的信任关系把任务进行分类,把不同强弱信任关系的任务划分到不同的任务集合中,并且根据信任效益函数和综合信任效益函数对任务进行匹配,而 TD min-min 算法和 TD max-min 算法没有进行系统优化,只是依次地使任务和资源按照信任效益值最大或最小进行匹配,因此其总信任效益值低于 TD energy-aware-Opt 算法。

从图 2 可以看出,TD energy-aware-Opt 算法所获得的平均信任效益优于 TD min-min 算法、TD max-min 算法。随着任务数量的增加,TD energy-aware-Opt 算法和 TD max-min 算法的性能整体呈减小趋势,但是它们的性能波动比 TD min-min 算法的性能波动小。TD energy-aware-Opt 算法在平均信任效益上的优势也来源于其对任务的事先分类和按照信任效益函数以及综合信任效益函数与虚拟机进行匹配。

图 3 给出了这三种算法的 SLA(service level agreement,服

务等级协议)违反率。可以看出 TD energy-aware-Opt 算法的服务等级协议违反率最低,始终没有超过 5%;TD min-min 算法和 TD max-min 算法的违反率相对较高,最高达到了 7.5%。这是因为 TD energy-aware-Opt 算法把不同信任关系的任务划分到不同的任务集合中,使得不同层次信任关系的任务都尽量得到满足,因而任务丢弃数量少。而 TD max-min 算法和 TD min-min 算法没有对任务进行划分,前面的任务可能得到满足,但是后面的任务可能因为信任需求无法满足而被丢弃。TD min-min 算法 SLA 违反率高可能就是因为根据综合信任效益函数首先调用较小完成时间且较大信任效益值但信任关系较弱的任务,使得信任关系较强的任务得不到满足而被丢弃。

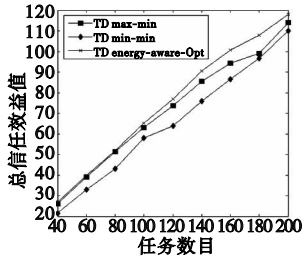

图1　m=250,V_q=2时,三种算法的总信任效益值

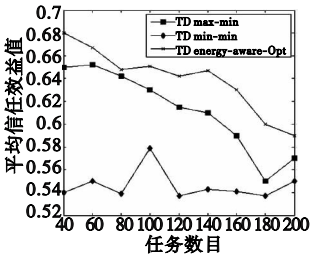

图2　m=250,V_q=2时,三种算法的平均信任效益值

图 4 给出了 CPU 利用率上界阈值为 70%、CPU 利用率下界阈值为 30%时,这三种算法的电能消耗比较。可以看出,由于 TD energy-aware-Opt 算法在虚拟机调度中为了节能进行了虚拟机的迁移,把负载低的主机上的虚拟机整合到一台主机上,同时把虚拟机迁移走后的主机关闭掉,节省了大量电能。而 TD min-min 算法和 TD max-min 算法没有对负载低的虚拟机进行整合,因此电能消耗较大。

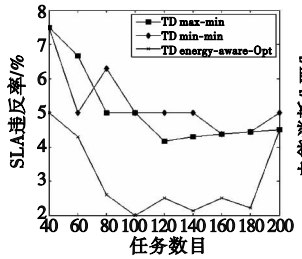

图3　m=250,V_q=2时,三种算法的SLA违反率

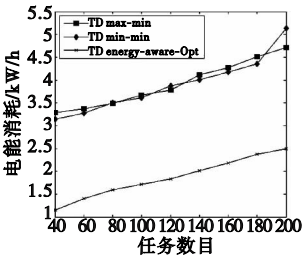

图4　m=250,V_q=2时,三种算法的电能消耗

5　结束语

为了获得最大利润,云运营商要提供有效的节能资源管理策略,如使用虚拟化技术将虚拟机整合到同一台服务器上,关闭其他空闲服务器来降低数据中心的电能成本。但这有可能使得云数据中心提供给用户的 QoS 降低。本文以云计算环境为背景,在节能的资源调度算法基础上引入了信任 QoS 机制来兼顾云数据中心节能和 QoS 两者的要求。仿真实验证明,本文提出的 TD energy-aware-Opt 算法在信任 QoS、性能 QoS 和节能方面要优于 TD max-min 和 TD min-min 算法。下一步的研究方向是在考虑多个系统资源的节能机制基础上引入信任机制,开发节能及信任驱动的资源调度算法。

参考文献:

[1] BROWNETAL R. Report to congress on server and data center energy efficienc public law 109-431, LBNL-363E [R]. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2007.

[2] BUYYA R, YEO C S, VENUGOPAL S. Market-oriented cloud computing: vision, hype, and reality for delivering it services as computing utilities[C]//Proc of the 10th IEEE Internal Conference on High Performance Computing and Communication. Washington DC: IEEE Computer Society, 2008: 5-13.

[3] SABATA B, CHATTERJEE S, DAVIS M, *et al*. Taxonomy for QoS speeifieations [C]//Proc of the 3rd International Workshop on Object-Oriented Real-Time Dependable Systems. Washington DC: IEEE Computer Soeiety, 1997: 100-107 .

[4] 张伟哲,刘欣,云晓春,等. 信任驱动的网格作业调度算法[J]. 通信学报, 2006, 27(2): 73-79.

[5] 李冉,于炯,侯勇. 信任驱动的网格调度算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(23): 118-122.

[6] TAO Fei, HU Ye-fa, ZHOU Zu-de. Application and modeling of resource service trust-QoS evaluation in manufacturing grid system[J]. International Journal of Production Research, 2009, 47 (6): 1521-1550.

[7] AZZEDIN F, MAHESWARAN M. Integrating trust into grid resource management systems[C]//Proc of International Conference on Parallel Proeessing. Washington DC: IEEE Computer Society, 2002: 47-54.

[8] TIAN Jun-feng, YUAN Peng, LU Yu-zhen. Security for resource allocation based on trust and reputation in computational economy model for gird[C]//Proc of the 4th International Conference on Frontier of Computer Science and Technology. Washington DC: IEEE Computer Society, 2009: 339-345.

[9] KOLODZIEJ J, XHAFA F. Meeting security and user behavior requirements in gird scheduling[J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2011, 19(1): 213-226.

[10] 黄德才, 张丽君, 郑月峰, 等. TD_max-min: 信任驱动的网格任务调度新算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(24): 80-82.

[11] BELOGLAZOV A, BUYYA R. Energy efficient resource management in virtualized cloud data centers[C]//Proc of the 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010: 826-831.

[12] BELOGLAZOV A, BUYYA R. Energy efficient allocation of virtual machines in cloud data centers[C]//Proc of the 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010: 577-578.

[13] BELOGLAZOV A, ABAWAJY J, BUYYA R. Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for cloud computing[J]. Future Generation Computer Systems, 2011, 28 (5): 755-768.

[14] BELOGLAZOV A, BUYYA R. Adaptive threshold-based approach for energy-efficient consolidation of virtual machines in cloud data centers[C]//Proc of the 8th International Workshop on Middleware for Grids, Clouds and e-Science. New York: ACM Press, 2010.

[15] KUSI C D, KEPHART J O, HANSON J E, *et al*. Power and performance management of virtualized computing environments via lookahead control[J]. Cluster Computing, 2009, 12(1): 1-15.

[16] ALI S, SIEGEL H J, MAHESWARAN M. Task execution time modeling for heterogeneous computing systems [C]//Proc of the 9th Workshop on Heterogeneous Computing. Washington DC: IEEE Computer Society, 2000: 185-199.