

异构云平台中能源有效的虚拟机部署研究

周东清 侣庆乾

(大连理工大学计算机科学与技术学院 大连 116024)

摘要 能源消耗已经成为数据中心操作成本的重要组成部分,虚拟化技术是降低数据中心能源消耗的有效方法之一。为了降低数据中心过高的能源消耗,利用虚拟化技术,结合数据中心的物理机的异构性和虚拟机所需资源的多维性,提出了一个衡量不同类型物理机性能模型和一个衡量多维资源利用率的模型,在此基础上提出了一个异构云平台上能源有效的虚拟机部署算法。仿真实验表明,与MBFD算法及BFD算法相比,该算法不仅可以有效地降低系统的能源消耗,而且还提高了资源利用率,减少了资源的浪费。

关键词 虚拟化,数据中心,异构性,能源消耗

中图分类号 TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.3.017

Energy-efficient Virtual Machine Placement for Heterogeneous Cloud Platform

ZHOU Dong-qing SI Qing-qian

(School of Computer Science and Technology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract Energy consumption has become an important part of the operational cost of data center, and virtualization technology is one of the effective methods to reduce the energy consumption of data center. In order to reduce the high energy consumption of data center, we used the technology of virtualization, combining the heterogeneity of the physical machine and the multi-dimensional nature of resources that the virtual machine requires in the data center. A measurement model for the performance of different physical machines and another one for the multi-dimensional resource utilization rate were proposed, and then, on the premise of that, a deployment algorithm for virtual machine based on heterogeneous cloud platform was proposed. Simulation results show that the algorithm, compared with the MBFD and BFD, can reduce the energy consumption of system effectively, besides, it improves the utilization rate of resources and reduces the waste of resource.

Keywords Virtualization, Data center, Heterogeneous, Energy consumption

1 引言

云计算作为一种新的计算模式,提供了计算服务的动态配置,计算服务由现代化数据中心支持,采用虚拟机技术以达到资源整合和环境隔离的目的^[1]。云计算把基础设施、平台、软件作为服务提供给用户使用。在工业上这些服务被称为基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)、软件即服务(SaaS)。一些云计算服务提供者(如Google、Microsoft、Yahoo、IBM)正在世界上不同的地方部署数据中心来提供云计算服务。为了充分实现云计算的潜力,云服务提供者必须确保其能够提供灵活、高质量的服务来满足不同客户的要求。

数据中心在提供高质量服务的同时也消耗了大量的能源。全球数据中心的能源消耗从2007年到2030年将增加76%^[2]。美国能源部的数据表明,数据中心的能源消耗占美国总能耗的1.5%,并且对电能的需求仍在以每年12%的速度增长,如果以这样的速度增长,到2011年数据中心会消耗1000亿千瓦时的电能,每年约花费74亿美元^[3]。在数据中

心的生命周期中,它的能源消耗成本已经超过了硬件成本,成为了继人力资源成本后的第二大成本^[4]。如何减少能源消耗成为了数据中心基础设施提供者需解决的关键问题^[5]。目前减少数据中心能源消耗的主要技术有:动态电压和频率调节(DVFS)、关闭空闲的物理机、虚拟化技术。

2 相关工作

数据中心中的物理机资源在很多时间都是未被充分利用的,通过把服务请求整合到少量物理机,关闭空闲物理机,可以有效地减少能源消耗,这种技术被称为服务整合。Young Choon Lee^[6]等人提出了两个具有节能效果的启发式服务整合算法:ECTCC和MaxUtil,其目的是最大化物理机的利用率,开启尽可能少的物理机,从而达到节能的目的。Anton Beloglazov^[7]等人考虑了数据中心的物理机的异构性,提出了一个能源感知的资源分配启发式算法MBFD,该算法在为虚拟机选择物理机时,考虑了能源效率,选择放置该虚拟机后使系统能源消耗增加最少的物理机,但该算法只考虑了CPU资

到稿日期:2014-05-08 返修日期:2014-07-13 本文受国家自然科学基金(0105157)资助。

周东清(1964-),男,副教授,主要研究方向为并行分布式计算、数据挖掘;侣庆乾(1989-),男,硕士生,主要研究方向为分布式计算、云计算, E-mail: siqingqian123@163.com.

源,没有考虑虚拟机所需资源的多维性及物理机多个资源的利用率。Hao Jin^[8]等人研究了同构云平台中的能源有效的虚拟机部署问题,把求能源最优化问题转变为求开启物理机的最小化问题,但是在异构环境中物理机的能源效率不同,系统中开启的物理机数量最少,能源消耗并不一定最优。

Inkwon Hwang^[9]等人把虚拟机的资源要求作为一个随机变量,考虑了虚拟机请求的多种资源都有可能成为性能瓶颈,但本文没有考虑不同物理机能源效率的差异。Yongqiang Gao^[10]把同构环境下虚拟机的放置问题看做一个多目标优化问题,提出了一个多目标蚁群算法,以优化系统的能源消耗和物理机的资源利用率,但该算法执行时间较长。Jiankang Dong^[11]等人在研究虚拟机部署时,考虑了虚拟机间的通信开销,提出了一个分层的启发式算法,以优化物理机的能源消耗和网络资源的能源消耗。杨星^[12]等人研究了批量虚拟机的部署问题,考虑了虚拟机具有的不同性能偏好,优化了系统负载均衡性能,但他们没有考虑系统的能源消耗。

目前利用虚拟机的整合降低系统能源消耗的研究大多数都没有考虑物理机多维资源的利用率,也没有考虑数据中心中物理机的异构性。本文针对云数据中心中物理机的异构性,提出了一个权重模型来衡量不同型号物理机的能源效率。对于 VM 所需资源的多维性,建立了一个衡量物理机多维资源的利用率模型。最后提出了一个异构云平台中能源有效的虚拟机部署算法。

3 问题定义

为了有效地定义和部署一个算法,我们首先建立虚拟机模型、物理机模型和能耗模型。图 1 示出虚拟机部署的架构,多个虚拟机可以同时放置在一台物理机上,关闭没有放置虚拟机的物理机来节约能源消耗。在我们的虚拟机放置算法中考虑了两种常用资源 CPU 和内存,对于多种资源的情况可以很容易地扩展得到。

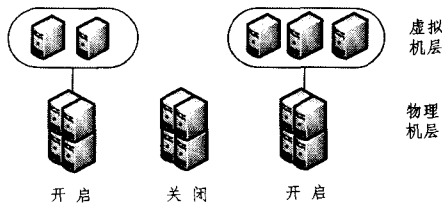


图 1 虚拟机部署示意图

系统中需要放置的虚拟机用 $VMList = \{VM_1, VM_2, \dots, VM_n\}$ 表示,第 i 个虚拟机可表示为: $VM_i = (V_i^{CPU}, V_i^{MEM})$, V_i^{CPU} 和 V_i^{MEM} 分别表示该虚拟机所需要的 CPU 处理能力和内存大小。根据传入的请求,多个虚拟机可以在一个物理机上开启和停止,多个虚拟机也可以在同一物理机上基于不同的操作系统并发运行应用程序。

物理机可以表示为: $HostList = \{H_1, H_2, \dots, H_m\}$,第 j 个物理机可表示为: $H_j = (H_j^{CPU}, H_j^{MEM})$,其中 H_j^{CPU} 、 H_j^{MEM} 分别表示该物理机的 CPU 处理能力和内存大小。底层的物理机可以为创建的虚拟机提供硬件基础设施,以满足服务的要求。每个物理机可以放置多个虚拟机,未使用的物理机可以转换到低功耗模式或者关闭,以此来达到节能的目的。

由 Fan 等人^[13]研究表明物理机的功率消耗与 CPU 的负载呈线性依赖关系,由闲置时的静态功率消耗和动态功率消

耗两部分组成,其中闲置时的静态功率消耗与物理机的资源配置相关,动态功率消耗与 CPU 的利用率相关。物理机运行时的功率可表示为: $P(H_j) = P_j^{idle} + u_j^{CPU} (P_j^{max} + P_j^{idle})$,其中 P_j^{max} 表示物理机 CPU 满载时的最大功率消耗, P_j^{idle} 表示物理机空闲时的能源消耗,约占最大功耗的 70%, u_j^{CPU} 表示 CPU 的利用率。

系统的能耗最优化虚拟机部署问题可以表示为如下单目标优化问题。

$$\text{目标函数: } \min \sum_{j=1}^m P(H_j) \cdot y_j \cdot t$$

$$= \min \sum_{j=1}^m (P_j^{idle} + u_j^{CPU} (P_j^{max} - P_j^{idle})) \cdot y_j \cdot t$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^n V_i^{CPU} \cdot x_{i,j} \leq H_j^{CPU}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad ①$$

$$\sum_{i=1}^n V_i^{MEM} \cdot x_{i,j} \leq H_j^{MEM}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad ②$$

$$\sum_{j=1}^m x_{i,j} = 1, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad ③$$

$$x_{i,j} \in \{0, 1\}, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad ④$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{当 } \sum_{i=1}^n x_{i,j} > 0 \text{ 时} \\ 0, & \text{当 } \sum_{i=1}^n x_{i,j} = 0 \text{ 时} \end{cases}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad ⑤$$

目标函数表示最小化系统中物理机的总能耗,系统的总能耗与开启的物理机数量以及开启的物理机的物理资源配置和资源利用率有关。约束条件①表示部署到物理机上的所有虚拟机所需 CPU 的处理能力不能超过该物理机的 CPU 处理能力;约束条件②表示部署到某物理机上的所有虚拟机所需的内存大小不能超过该物理机的内存大小;约束条件③表示每个虚拟机必须部署在一个物理主机上;约束条件④定义 x_{ij} 为布尔型变量,当第 i 个虚拟机部署到第 j 个物理机上时取值为 1,否则取值为 0;约束条件⑤定义 y_j 为布尔型变量,当第 j 台物理机开启时其值为 1,关闭时为 0。

本节定义的能耗最优的虚拟机部署问题是一个混合线性规划问题,由文献[7]可知,其为 NP 难问题,不能在多项式时间内解决。解决该类问题通常使用启发式算法或者元启发式算法(如遗传算法、模拟退火算法等)。相比于启发式算法,元启发式算法在求解时,所需时间较长,并且容易出现局部最优。因此,我们将在下节利用一个启发式算法解决该能源优化的虚拟机部署问题。

4 算法的提出

把尽可能多的虚拟机部署到一台物理机上,从而最大化物理机的资源利用率,通过关闭空闲的物理机,可以最大程度地节约能源。由文献[8]可知,在同构云平台中求解能耗最优的虚拟机部署问题,可以转化为求活动物理机的最小化问题。对于异构云平台由于不同型号的物理机具有不同的能源效率的问题,在部署虚拟机时要首先选择开启能源效率比较高的物理机,以提高活动物理机的资源利用率,减少物理机的使用,节约能源消耗。基于此,本节提出了一个异构云平台下能源有效的虚拟机部署算法 EEVPH 来解决前一节定义的能耗最优的虚拟机部署问题。该算法可以分为两步:虚拟机优先级的确定和物理节点的选择。

假设要部署两个虚拟机 VM_1 (200MIPS, 100MB) 和 VM_2 (500MIPS, 200MB),数据中心有两个活动物理机,其可用资

源能力为: $H_1(600\text{MIPS}, 400\text{MB})$ 和 $H_2(400\text{MIPS}, 200\text{MB})$ 。第一种方案先部署 VM_1 , 把虚拟机 VM_1 部署到 H_1 上, H_1 可用资源变为 $(400\text{MIPS}, 300\text{MB})$, 要想部署 VM_2 必须开启一台机器。第二种方案先部署 VM_2 , 把 VM_2 部署在 H_1 上, H_1 的可用资源变为 $(100\text{MIPS}, 200\text{MB})$, 此时可以把 VM_1 部署到 H_2 上, 不用开启其他机器。第二种方案比第一种方案更节能, 因此在对一组虚拟机进行部署时, 首先为虚拟机确定一个优先级, 我们通过下式为虚拟机定义一个权重。

定义 1 虚拟机的权重定义为

$$W_i = k_1 \frac{V_i^{\text{CPU}}}{\sum_{i=1}^n V_i^{\text{CPU}}} + k_2 \frac{V_i^{\text{MEM}}}{\sum_{i=1}^n V_i^{\text{MEM}}} \quad (1)$$

其中, $\sum_{i=1}^n V_i^{\text{CPU}}$ 和 $\sum_{i=1}^n V_i^{\text{MEM}}$ 分别表示所有虚拟机需要的 CPU 处理能力和内存大小; k_1 和 k_2 表示 CPU 和内存的权重, 它们反映了 CPU 和内存的能源消耗的比例, 根据文献[13]对服务器上各资源的能源消耗的测量数据, 可以设置 $k_1 = 4, k_2 = 1$ 。 W_i 表示虚拟机 VM_i 的权重。从定义 1 可知, 虚拟机所需要的资源越多, 权重就越大, 优先级越高, 越先进行放置。

当要放置某虚拟机 VM_i 时, 需要为其选择一台目标物理机, 因为在异构平台中存在多种型号的机器, 它们有不同的处理能力和功率消耗, 因此我们引入一个权重模型衡量各种类型物理机的性能。对于物理机 H_j , 其权重的定义如下。

定义 2 物理机的权重定义为

$$E_j = \frac{P_{\max}(H_j)}{k_1 \cdot H_j^{\text{CPU}} + k_2 \cdot H_j^{\text{MEM}}} \quad (2)$$

其中, $P_{\max}(H_j)$ 表示物理机 H_j 满载运行时消耗的最大功率, H_j^{CPU} 表示物理机 H_j 满载运行时单位时间内处理的指令数, 单位是 MIPS, H_j^{MEM} 表示物理机 H_j 的内存大小, 单位是 MB, k_1 和 k_2 表示 CPU 和内存的权重。物理机的 E_j 值越小表明该物理机的性能越好。

在部署虚拟机时, 我们首先选择能部署该虚拟机且权重值最小的物理机。因为在云数据中心中, 节点是异构的, 但是根据实际情况机型是有限的, 即某种机型的物理机有多台, 因此能部署该虚拟机且权重值最小的物理机可能有多台, 当出现这种情况时, 从中选择一台部署 VM_i 后资源利用率最高的物理机。当考虑 CPU 和内存两种资源时, 物理机的资源利用率模型定义如下。

定义 3 物理机多维资源利用率的定义

$$UW_j = \frac{|U_j^{\text{CPU}} - U_j^{\text{MEM}}| + \epsilon}{U_j} \quad (3)$$

其中, U_j^{CPU} 和 U_j^{MEM} 分别表示部署 VM_i 后, 物理机 H_j 的 CPU 和内存利用率, $U_j = (U_j^{\text{CPU}} + U_j^{\text{MEM}})/2$ 表示物理机 H_j 在部署 VM_i 后的平均资源利用率, ϵ 的取值为 0.0001, 它是为了防止出现多个物理机部署虚拟机后 CPU 和内存利用率相同。 UW_j 的值越小, 表示物理机的资源利用率越高。利用该模型量化资源的利用率不仅考虑了资源的利用率, 而且还考虑了资源的平衡使用, 防止一台机器上某种资源的利用率已达到最大值时, 而另一种资源还有大量剩余, 导致资源浪费。

如果当前没有活动的物理机可以部署该虚拟机, 则从关闭的物理机中开启一台单位计算量能耗成本最低的物理机。EEVPH 算法描述如下:

1. VMList.sortDecreasingWeight()

```

2. foreach vm in VMList
3.   minEfficiency ← Max
4.   minUtilization ← NULL
5.   allocatedHost ← NULL
6.   foreach host in activeHostList do
7.     if host has enough resource for vm then
8.       Efficiency ← estimateEfficiency(host)
9.       if Efficiency < minEfficiency then
10.        allocatedHost ← host
11.        minEfficiency ← Efficiency
12.        minUtilization ← estimateUtilization(host, vm)
13.        if Efficiency = minEfficiency then
14.          Utilization ← estimateUtilization(host, vm)
15.          if Utilization < minUtilization then
16.            allocatedHost ← host
17.            minUtilization ← Utilization
18.   if allocatedHost ≠ NULL then
19.     allocate vm to allocatedHost
20.   else
21.     allocatedHost ← selectMinEfficiency(sleepHostList)
22.   allocate vm to allocatedHost
23. return allocation

```

当云平台中有 m 个物理机, 需要放置 n 个虚拟机时, 对 n 个虚拟机按权重降序排列所需的时间为 $O(n \log n)$ 。遍历虚拟机列表所需的时间为 $O(n)$, 云平台中活动物理机数最多有 m 台, 因此遍历活动物理机列表所需的时间为 $O(m)$, 因此把 n 个虚拟机部署到合适的物理机上所需的时间为 $O(m \cdot n)$ 。EEVPH 算法的时间复杂度为 $O(n \log n) + O(m \cdot n)$, 因为物理机的数量 m 通常远大于 $\log n$, 因此该算法的时间复杂度为 $O(m \cdot n)$ 。

5 实验结果与分析

仿真实验使用 Cloudsim3.0, 参考文献[7, 14]中的实验设置, 模拟出 300 台单核物理机, 这些物理机共分为 3 种类型, 每种类型的物理机配置如表 1 所列。

表 1 物理机配置表

| 机型 | 台/数量 | MIPS/CPU | MB/内存 | W/P _{max} |
|----|------|----------|-------|--------------------|
| 1 | 100 | 1000 | 2048 | 150 |
| 2 | 100 | 2000 | 3072 | 250 |
| 3 | 100 | 3000 | 6144 | 350 |

虚拟机所需的 CPU(MIPS)处理能力在集合 $\{300, 700, 1000, 1500\}$ 中服从均匀分布, 所需要的内存(MB)大小在集合 $\{500, 1000, 2000, 3000\}$ 中服从均匀分布。仿真时间为 3600 秒, 每组实验仿真 10 次求平均值。

MBFD^[7] 是一个面向异构数据中心的虚拟机部署算法, 该算法只考虑虚拟机所需的 CPU 资源。其思想为: 首先对虚拟机按其请求的 CPU 处理能力降序排列, 按该顺序依次选择虚拟机进行部署。在为虚拟机选择部署物理机时, 没有区分物理机的开启和关闭状态, 而是为虚拟机选择一台部署后能耗增加最少的物理机。

BFD 算法的基本思想是首先对虚拟机按其 CPU 需求的处理能力降序排列, 按顺序依次选择虚拟机进行部署。在部署某个虚拟机时计算各物理机在部署该虚拟机后其 CPU 的利用率, 从中选择一台利用率最高的物理机部署该虚拟机。

我们从功率消耗和资源使用两个方面对 EEVPH 算法、MBFD 算法及 BFD 算法进行比较。因为物理机包括多种资源:CPU 和内存,我们希望系统中的每台物理机的每种资源都能得到充分的利用。因此我们定义系统资源使用平衡性参数来衡量这两种算法的资源使用情况。

$$B = \frac{\sum_{i=1}^m |U_j^{CPU} - U_j^{MEM}|}{m}$$

其中, U_j^{CPU} 和 U_j^{MEM} 分别表示第 j 台物理机 H_j 的 CPU 和内存使用率, m 表示活动物理机的数量, B 表示系统中资源使用的平衡性。 B 值越大说明资源的使用越不平衡, 系统中资源的浪费越严重。

图 2 表明了部署不同数量的 VM 时, 系统的功率消耗情况。从图中可以看出随着虚拟机数量的增加, EEVPH 算法和其他两种算法都会开启更多的物理主机, 消耗更多的能量, 但是 EEVPH 算法比其他两种算法更加节能。这是因为 EEVPH 算法在为虚拟机选择物理机时考虑了物理机的能耗效率, 提高了物理机多维资源的利用率。当虚拟机数量比较少时, EEVPH 算法能耗节约有限, 随着虚拟机数量的增加, EEVPH 算法比其他两种算法节约的能耗越来越多, 当虚拟机达到 500 后, 节约的能源开始减少。出现这种现象的原因是, 虚拟机数比较少时所需物理机比较少, 能源消耗比较低; 当虚拟机数达到 500 时, 系统的负载比较大, 本文算法也会开启大量性能稍差的机器。

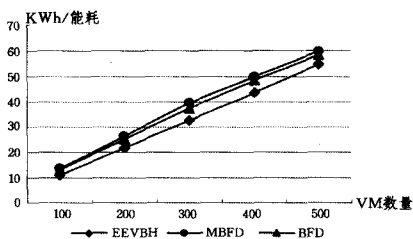


图 2 系统能耗

下面再比较两种算法资源的使用情况。

图 3 和图 4 展现了部署虚拟机后两种算法资源的使用情况。从图 3 我们可以看出, 部署虚拟机后 EEVPH 算法比其他两种算法平均资源利用率高, 因为 EEVPH 算法建立的资源利用率模型考虑了两种资源的使用情况, 每次放置虚拟机时都会尽量为其找到一台能源效率及资源利用率高的物理机。MBFD 算法每次都把虚拟机部署到部署后使能耗增加最少的物理机上, 没有考虑物理机的资源利用率, 可能会出现物理机资源利用率使用不平衡现象, 从增加了开启物理机的数量。BFD 算法只考虑了一种资源的使用情况, 会使某些物理机资源的使用出现不平衡的现象, 从而导致了平均资源利用率的降低。

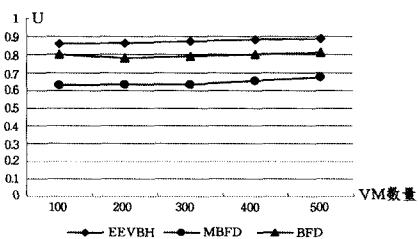


图 3 系统中资源的平均利用率

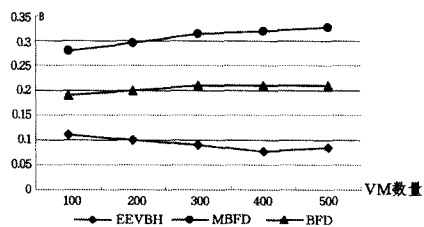


图 4 资源的平衡性

从图 4 可以观察到 EEVPH 算法比其他两种算法资源使用平衡性好, 说明 MBFD 算法和 BFD 算法资源浪费比本文算法严重。随着虚拟机数量的增加, MBFD 和 BFD 算法的资源使用平衡性参数呈现上升趋势, 然而我们的算法呈现下降的趋势。出现这种现象的原因是, EEVPH 算法定义资源利用率时, 考虑了两种资源的利用率以及它们的平衡性, 每次为虚拟机选择的物理机都是利用率比较高且平衡性较好的物理机; MBFD 算法没有考虑资源利用率, 而是考虑单个虚拟机放置时的能耗最低, BFD 算法只考虑了 CPU 的资源利用率, 这两种算法都有可能出现物理机资源利用率不平衡, 这导致了系统资源利用率较低, 所有虚拟机部署后能耗比本文算法高。

结束语 高能耗仍然是制约数据中心的关键因素, 目前许多研究者也提出了一些降低数据中心能源消耗的方案, 其中虚拟化技术是降低数据中心能耗的有效方法之一。本文解决了一个异构云平台下能源最小化的虚拟机部署问题, 首先建立了一个衡量物理机能源效率的模型, 在放置虚拟机时, 本文尽可能地使用能源效率比较高的物理机。然后针对虚拟机所需资源的多维性问题, 提出了一个多维资源的利用率模型, 描述物理机的资源使用状态, 利用该模型可以提高资源使用率, 降低资源使用的不平衡性, 减少活动物理机的数量, 从而降低能源消耗。最后通过实验验证了 EEVPH 算法的有效性。

参考文献

- [1] Barham P, Dragovic B, Fraser K, et al. Xen and the art of virtualization[C]// Proceedings of the 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles, SOSP 2003. Bolton Landing, NY, USA, 2003:177-191
- [2] World Energy Outlook 2009 FACT SHEET [EB/OL]. 2013-11-21. http://www.worldenergyoutlook.org/media/weoweb-site/factsheets/fact_sheets_WEO_2009.pdf
- [3] Hooper A. Green Computer[J]. Communications of the ACM, 2008, 51(10):11-13
- [4] 张法, Antonio F A, 王林, 等. 网络能耗系统模型及能效算法[J]. 计算机学报, 2012, 35(3):604-615
- [5] 叶可江, 吴朝晖, 姜晓红, 等. 虚拟化云计算平台的能耗管理[J]. 计算机学报, 2012, 35(6):1262-1285
- [6] Lee Y C, Zomaya A Y. Energy efficient utilization of resources in cloud computing systems[J]. The Journal of Supercomputing, 2012, 60(2):268-280
- [7] 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, 2012, 28(5):755-768

(下转第 116 页)

增长。其中我们设计的 NBPH 协议总时延明显低于文献[8, 9],尤其是相比文献[9],总时延降低了近 50%。这是因为 NBPH 协议在切换过程中不需要与 AAA 服务器通信,减少了通信开销。此外,通过采用自更新哈希链,只需通过哈希链值的简单比较即可快速验证请求服务用户的合法性。总体来说,NBPH 协议可以满足异构网络中资源受限的移动终端,保证计费的连续性和安全性。

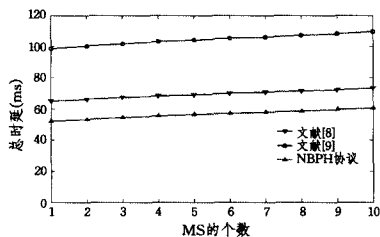


图 7 总时延与 MS 个数的关系

结束语 安全计费是异构无线网络融合和商用过程中亟待解决的主要问题。针对该问题,NBPH 协议中基于时长或者流量为计费单位对数据服务分片,每隔一个计费单位(Δt 或者 Δf)对用户进行快速认证。NBPH 协议将自更新哈希链应用于不可否认性计费中,采用信用票据的思想将哈希链的使用情况附加在票据中,在 MS 完成切换认证的同时,也向目标接入点发布了可用哈希链的信息,实现了计费的连续性。链值的不可伪造提供了不可否认性计费的依据,能够解决可能出现的计费纠纷。此外,由于不同网络的计费单位 Δt 的设置不同,在切换认证完成后,目标接入点将本网络的 Δt 发送给 MS,从而提出的计费协议适用于不同带宽的网络。通过安全和性能分析,以及相应的仿真实验,表明 NBPH 协议能够抵御伪装、篡改等恶意攻击且负担较小的计算和通信开销,因此特别适用于异构无线网络复杂的环境。

参考文献

[1] 姜奇,马建峰,李光松,等. 基于 WAPI 的 WLAN 与 3G 网络安全融合[J]. 计算机学报,2010,33(9):1675-1685

[2] Prabhavathi P, Nithyanandan L. Network selection in wireless heterogeneous networks[C]//Proceedings of 2013 International Conference on Communications and Signal Processing, Melmaruvathur,2013:357-361

[3] He Dao-jing, Chen Chun, Bu Jia-jun, et al. Security and Efficiency in Roaming Services for Wireless Networks: Challenges, Approaches, and Prospects[J]. IEEE Communications Magazine,

2013,51(2):142-150

[4] 傅建庆. 面向 3G_WLAN 互连网络的安全协议研究[D]. 杭州: 浙江大学,2010

[5] Rainer S, Christoph R. On the Security of the Non-Repudiation of Forwarding Service[C]//Proceedings of 2012 International Conference on Trust, Privacy and Security in Digital Business, Vienna, Austria,2012:167-178

[6] Wu Wei, Zhou Jian-ying, Xiang Yan, et al. How to achieve non-repudiation of origin with privacy protection in cloud computing [J]. Journal of Computer and System Sciences, 2013, 79 (8): 1200-1213

[7] Xiao Zhi-feng, Xiao Yang, Du D. Non-repudiation in neighborhood area networks for smart grid[J]. IEEE Communications Magazine,2013,51(1):18-26

[8] Im T, Lee H, Cho K, et al. Secure Mutual Authentication and Fair Billing for Roaming Service in Wireless Mobile Networks [C] // Proceedings of the Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology. Busan,2008: 466-471

[9] Zhu Hao-jin, Lin Xiao-dong, Shi Ming-hui, et al. PPAB: A Privacy-Preserving Authentication and Billing Architecture for Metropolitan Area Sharing Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology,2009,58(5):2529-2543

[10] Fu An-min, Zhang Yu-qing, Zhu Zhen-chao, et al. An efficient handover authentication scheme with privacy preservation for IEEE 802. 16m network[J]. Computers & Security, 2012, 31 (6):741-749

[11] BS ISO/IEC. 13888-1/2 Information technology-Security techniques- Non-repudiation[S]. Switzerland; The Standards Policy and Strategy Committee,2009

[12] Lamport L. Password authentication with insecure communication[J]. Communications of the ACM,1981,24(11):770-772

[13] 瓮佳佳,张敏情,刘昀昊. 基于几何方法的自更新 Hash 链构造方案[J]. 计算机应用,2010,30(12):3343-3345

[14] 陈孟奇,严新荣,张彬祥. 改进的基于自更新哈希链的认证方案 [J]. 信息安全与通信保密,2013(2):73-75

[15] AVISPA Team. European Community under the Information Society Technologies Program [OL]. <http://www.avispa-project.org>,2012

[16] The NS-3 Consortium. NS3 tutorial & ns-allinone-3. 9. tar. bz2 [OL]. <http://www.nsnam.org/release/ns-allinone-3.9.tar.bz2>,2013

(上接第 84 页)

[8] Hao Jin, Deng Pan, Jing Xu, et al. Efficient VM Placement with Multiple Deterministic and Stochastic Resources in Data Centers [C]//Proceedings of 2012 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 2012:2505-2510

[9] Hwang I, Pedram M. Hierarchical Virtual Machine Consolidation in a Cloud Computing System[C]//Proceedings of 2013 IEEE Sixth International Conference on Cloud Computing, 2013:196-203

[10] Gao Yong-qiang, Guan Hai-bing, Qi Zheng-wei, et al. A multi-objective ant colony system algorithm for virtual machine placement in cloud computing[J]. Journal of Computer and System Sciences,2013,79(8):1230-1242

[11] Dong Jian-kang, Jin Xing, Wang Hong-bo, et al. Energy-Saving Virtual Machine Placement in Cloud Data Centers[C]//Proceedings of 2013 13th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud, and Grid Computing, 2013:618-624

[12] 杨星,马自堂,孙磊. 云环境下基于改进蚁群算法的虚拟机批量部署研究[J]. 计算机科学,2012,39(9):33-37

[13] Fan Xiao-bo, Weber W-D, Barroso L A. Power Provisioning for a Warehouse-sized Computer[C]//Proceedings of the 34th ACM International Symposium on Computer Architecture, 2007:13-23

[14] Xu Jing, Fortes J A B. Multi-objective Virtual Machine Placement in Virtualized Data Center Environments [C] // 2010 IEEE/ACM International Conference on Green Computing and Communications & 2010 IEEE/ACM International Conference on Cyber, Physical and Social Computing, 2010:179-188