

数据中心 IT 设备的能耗分析与节能研究

李振刚

(天津城建大学 信息中心, 天津 300384)

摘要:为了解决数据中心的高能耗问题,分析了数据中心的能耗构成,从IT设备的角度,研究服务器和路由器的能耗模型,根据设备负载通过动态调节电压和频率以及设置灵活的睡眠唤醒机制,从而降低了设备能耗,达到节能的目的。

关键词:数据中心;IT设备;能耗;节能;睡眠

中图分类号:TP308 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2014)04-0124-03

近年来,我国的工业化和信息化快速发展,信息化建设力度不断加大,使得数据中心的发展有了良好的宏观环境,数据中心是信息数据存储和信息系统运行的支撑平台,数据中心的发展也推动了新一代信息技术产业的发展。

但数据中心在快速发展的同时,所带来的高能耗和碳排放问题也日益突出。据分析,我国的数据中心的耗电量在2009年就达到了364亿度,占到全国能耗的将近1%^[1]。耗电量十分巨大。另外数据中心作为信息通信技术的重要组成部分,产生大量的CO₂气体,据2007年的一份分析报告统计,全年信息产业所产生的以CO₂为主的温室气体(GHG)排放量达到全球排放量的2.5%,而且这个比例还会随着信息通信的应用进一步发展,成为全球气候变暖的一个重要因素^[2]。因此,对数据中心的能耗进行研究,降低设备能耗,减少碳排放量,建设绿色数据中心,具有十分重要的意义。

1 数据中心能耗现状

美国在2011年数据中心能源消耗占到全美国电网总量的2%,美国环境保护署的一项报告预测,每隔5~10年数据中心的能耗就要翻一番。能源的消耗也使得企业运营成本增加,IBM的调查发现,在数据中心的运营成本当中,能源成本占到约50%,特别值得注意的是,数据的规模是近几年出现的爆炸式增长,而且愈演愈烈。过去两年的数据是整个人类文明所获得的全部数据的90%,到2020年,全世界所产生的数据规模将达到今天的44倍^[3]。高能耗也成了企业运营的巨大负担。中国的数据中心能耗同样也

在高速增长,甚至高于世界的平均水平。根据ICTResearch的调查,近三年世界和中国范围内的数据中心能耗如表1所示,均出现了巨大增长。并且中国近三年数据中心增长百分比高于世界范围,图1所示。数据中心的高能耗,不仅给企业带来了沉重的负担,也造成了全社会能源的巨大浪费。

表1 2010—2012年数据中心能耗规模

		2010年	2011年	2012年
世界	耗电量 /亿 kWh	5563.1	6358.5	7202.9
	增长/%	16.8	14.3	13.3
中国	耗电量 /亿 kWh	483.6	568.8	664.5
	增长/%	16.9	17.6	16.8

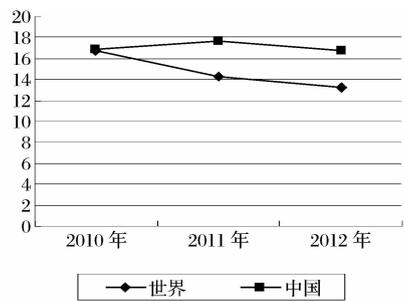


图1 2010—2012年数据中心增长情况

2 数据中心的能耗构成

数据中心的能耗主要包括:

a. 由服务器、存储、路由器、交换机构成的IT设备系统能耗。

收稿日期:2014-02-24

基金项目:天津市高等学校科技发展基金项目(20121103)

作者简介:李振刚(1974—),男(回族),河北沧州人,天津城建大学讲师,硕士,研究方向:计算机网络应用和管理。

- b. 空调系统能耗。
- c. UPS 供电系统能耗。
- d. 照明系统等能耗。

EYP Mission Critical Facilities Inc 提出的调研报告中,对数据中心的能耗构成做了详细划分,如图 2 所示。

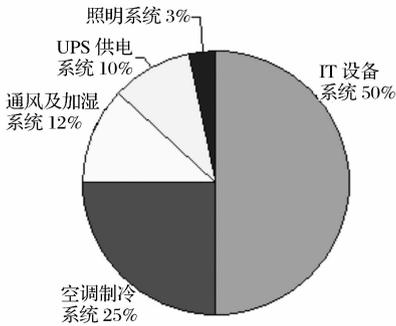


图 2 数据中心能耗分布图

其中,IT 设备系统能耗约占数据中心总能耗的 50%,主要由服务器和网络通信设备产生的,比例分别为 40%和 10%,IT 设备系统能耗所占的比例会随着数据中心节能效果的提高而提高。对于一个节能型数据中心而言,IT 设备系统能耗所占比例要高于 50%。空调系统能耗占数据中心总能耗的 37%,包括空调制冷系统能耗和通风及加湿系统能耗。UPS 供电系统能耗占数据中心总能耗的 10%,包括变压器、ATS 开关、输入输出配电柜等产生的能耗。另外照明系统也是能耗产生的一个因素,其能耗约占数据中心总能耗的 3%^[4]。

从以上分析可以看出,在数据中心能耗构成的四个方面,UPS 供电系统和照明系统所占比例较小,且节能方案较为单一,易于实现。IT 设备系统和空调系统的能耗占数据中心总能耗的 87%,对其进行节能研究,是实现数据中心节能的关键。在文献^[5]中,已经对空调系统节能做过相关研究,提出根据气候特点,充分利用自然冷源,以达到节约空调能耗的目的。下面从 IT 设备系统的角度,以服务器和路由器为代表,进行节能分析和研究。

3 服务器的能耗模型

服务器的能耗主要来自 CPU、内存和 I/O 等,其中 CPU 和内存的能耗占服务器能耗的主要部分,长期以来,随着制造工业的改进,大大提高了 CPU 的频率,提高了内存的速度和内存的容量,但在能耗方面却没有引起足够的重视,近些年来,人们开始对服务器节能进行了深入研究,并取得了一些研究成果,在处理器产业中也出现了一些节能型的应用,如英特

尔公司的 Speedstep 和 AMD 公司的 PowerNow 技术,处理器根据负载情况动态调节性能,从而达到能耗和负载具有较好的比例性。根据 CPU 的电路模型,CPU 中的电路以 CMOS 集成电路为主,电路的功耗一方面是在电路状态比较稳定时,由于泄露电流而造成的,即静态功耗,另一方面在电路充放电时也会产生功耗,即动态功耗,电路的反转频率越高动态功耗越大。除了以上两点,电路在短路时会产生瞬间短路电流,也会产生功耗,但这部分所占比例极小,有时可以忽略不计。服务器中 CPU 功耗可以用如下公式表示:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

其中 P_1 表示静态功耗,与电路的逻辑状态有关, P_2 表示动态功耗,且 $P_2 = aCV^2f$, a 代表电路反转频率, C 代表负载电容, V 代表电压, f 代表时钟频率。 P_3 表示瞬时尚耗,在服务速率 $s > 0$ 时可以表示为 $P_3 = \sigma_s + \mu_e s^\alpha (\alpha > 1)$ 。 σ_s 代表空闲功耗或静态功耗, μ_e 和 α 为常数,根据设备的情况确定。

4 路由器的能耗模型

由于网络通信设备与服务器功能不同,所提供的服务也不一样,侧重点也不同。服务器关注的是处理器的性能,能耗大部分发生在处理器上。而以路由器为代表的网络通信设备,除了处理器的作用外,更加关注的是 I/O 处理的能力。大部分的工作都在系统的接口线卡上完成,对 I/O 操作有很高的要求,而对主控板的处理要求则不那么强烈。文献^[6]对比分析了目前主流的路由器的能耗情况,没有各种线卡的路由器基本系统的能耗占总能耗的 50%以上,随着线卡的增加,整体能耗也在增加,并且和线卡的类型有关,同时还发现,路由器的整体能耗和有无报文传输关系不大,在相等数据流量时,报文的长度越小,能耗越大,但变化不明显。由此得出路由器的功耗如下:

$$PC(X) = CC(x_0) + \sum_{i=1}^N [TP(x_{i0}, x_{i1}) + LCC(x_{i1})]$$

式中,向量 X 决定了机柜中设备的型号以及设备上的流量负载特征;函数 $CC(x_0)$ 表示路由器基本系统的功耗,即没插任何线卡时的功耗, N 表示差了多少块线卡且正处于处于工作状态, $TP(x_{i0})$ 是一个和路由器利用率有关的系数, $LCC(x_{i1})$ 给出了线卡在标配下的功耗。

5 设备节能策略

5.1 服务器节能

对服务器而言,CPU 的能耗与之与直接的关系,

可以根据负载情况对CPU的电压 V 和时钟频率 f 进行调节。当已知负载且负载平稳的情况下,可以设置一个阈值,通过阈值控制能耗部件的睡眠/唤醒状态或者高速/低速状态。但是当负载变化不定时,事情将变得非常复杂,可以先根据负载情况预测调节电压和时钟频率,然后根据变化情况作策略的修改和重新配置。虽然一些工作可以通过硬件设计实现,但是策略的修改和重置的成本非常高,需要软件和硬件的结合才能提高效率。如何在不降低系统的的情况下,实现动态地管理设备,能够按照系统的负载动态调节运行状态,适时调节处理器电压和时钟频率是解决问题的关键。在操作系统方面,相关的研究比如用于Linux平台的实时能耗管理器^[7],可以连续监控CPU的利用率,根据负载情况调节电压和时钟频率,因为状态切换的时间非常短,只需要10ms,因此频率的变化并没给性能造成多大影响。另外在速度方面,利用速度能量消耗函数和速度缩放策略^[8],把能耗优化问题归结成最优任务调度问题。另外采用休眠机制和基于概率的能耗最小算法,将速度缩放和休眠机制的策略结合,由此得出 $(3+2\sqrt{2})$ -competitive的简单算法^[9]。这些方案对动态管理设备起到了较好的促进作用。

5.2 路由器节能

从路由器的能耗模型可以得出,一方面,路由器的能耗和路由器的基本系统有关,可以根据设备负载变化动态调整配置参数以降低能耗,另一方面,路由器的能耗和正在运行的线卡和接口数量也有关系,可以将空闲的网络设备或部件休眠以降低能耗^[10]。调整配置一般根据负载调节系统处理速率,比如速率缩放机制^[11]和自适应链路速率机制^[12]。通过研究表明,在链路传输上,网络链路空闲和满载时的功耗相差不大,但链路的传输速率对功耗有较大的影响,比如当链路速率从100Mbps增加到1Gbps时,功耗增加2~4W,从1Gbps增加到10Gbps时,功耗增加10~20W。因此在链路利用率较低时降低链路的速率可以有效降低设备能耗。当设备或部件空闲时,利用休眠机制将部分耗能资源置于睡眠或关闭状态,当完全关闭时不产生能耗,但是再次开启的成本非常大,因此可以将睡眠根据睡眠深度不同分成若干种状,比如处理完全关闭和完全唤醒外,再把睡眠状态分为简单睡眠、缓冲睡眠和睡眠,不同的睡眠深度采用不同的唤醒机制,随着睡眠深度的增加,能耗相应地减少,唤醒成本也会相应地增加。根据设备的运行情况调整能耗和唤醒成本之间的关系也是保证系统稳定的一个因素。

6 结束语

数据中心的能耗问题已经对经济和社会造成了重要影响,数据中心的节能是一个涉及到多方面、多因素的复杂问题。除了建设和管理层面的节能,技术节能研究是降低能耗的有效途径,从设备节能的角度,深入分析了设备的能耗模型,指出在设备节能策略中出现的一些问题并提出优化方案,从而在一定程度上控制了设备的能耗。

参考文献

- [1] PUBLIC LAW. Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency[R]. USA: Environmental Protection Agency, 2007.
- [2] 谷立静,周伏秋,孟辉. 我国数据中心能耗及能效水平研究[J]. 中国能源, 2010, 32(11): 42-45.
- [3] 吕天文. 2013年数据中心能效现状深度分析[J]. 电源世界, 2013(6): 7-8.
- [4] 李成章,李一兵. 如何规划和建设具有更加节能环保特性的数据中心[J]. 电气应用, 2012, 31(11): 20-25.
- [5] ZHENGANG LI, YONGLIANG LIN. Energy-saving Study of Green Data Center Based on The Natural Cold Source[C]// IEEE. 2013 the 6th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. USA: IEEE, 2013: 355-358.
- [6] CHABAREK J, SOMMERS J, BARFORD P, et al. Power awareness in network design and routing[C]//IEEE. Proceedings of the 27th IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM'08), Phoenix, AZ, USA; 2008: 457-465.
- [7] PALLIPADI V, S TARIKOVSKIY A. The on demand governor. Proceedings of the Linux Symposium[C]//IEEE. Canada; 2006: 215-230.
- [8] YAO F, DEMERS A, SHENKER S. Ascheduling model for reduced CPU energy[C]//IEEE. Proceedings of the 43rd Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS'02). Vancouver, BC, Canada, 2002: 374-382.
- [9] AUGUSTINE J, IRANI S, SWAMY C. Optimal power-down strategies[C]//IEEE. Proceedings of the 45th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science(FOCS'04). Rome, Italy, 2004: 530-539.
- [10] 林闯,等. 绿色网络和绿色评价:节能机制、模型和评价[J]. 计算机学报, 2011, 34(4): 593-612.
- [11] BARROSO L A, HOLZLE U. The case for energy-proportional computing[J]. Computer, 2007, 40(12): 33-37.
- [12] GUNARATNE C, CHRISTENSEN K, NORDMAN B. Managing energy consumption costs in desktop PCs and LAN switches with proxying, split TCP connections, and scaling of link speed[J]. International Journal of Network Management, 2005, 15(5): 297-310.

(下转第153页)

Study on Away-from-Reactor Storage of Spent Fuel from Tianwan Nuclear Power Plant

MA Jing, LIU Ji-lian

(Chemical Department, China Nuclear Power Engineering Co. Ltd.,
Beijing 100840, China)

Abstract: Spent fuel generated from Units 1 and 2 of Tianwan Nuclear Power Plant have been stored in the storage pool at reactor. In accordance with the fuel discharging plan, the spent fuel storage pool will be full after the ninth refueling outage by 2016. The away-from-reactor storage of spent fuel should be started as soon as possible to ensure that spent fuel could be transported out of reactor before the spent fuel pool is full, and ensure the continuous operation of nuclear power plants. The article, based on the construction plan of nuclear fuel reprocessing plant, combined with the PWR spent fuel storage situation, considering problems faced during the reprocessing of Tianwan NPP spent fuel, compared dry storage solutions with wet storage from technical and economic aspects, and determined the optimized storage solutions.

Key words: spent fuel; away-from-reactor storage; dry storage; wet storage; Tianwan nuclear power plant

(上接第 126 页)

Energy Consumption Analysis and Energy Saving Research of Datacenter IT Equipment

LI Zhen-gang

(Information Center, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to solve the problem of high energy consumption in datacenter, the energy consumption structure was analysed. From the perspective of IT equipment, researched energy consumption model of server and router, dynamically adjusted voltage and frequency according to the equipment load, set up a flexible mechanism of sleep and wake up, so as to reduce the energy consumption of equipment, to achieve the purpose of energy saving.

Key words: datacenter; IT equipment; energy consumption; energy saving; sleep

(上接第 142 页)

[3] 木林森. 浅议失效专利信息资源的形成及开发利用[J]. 现代情报, 2004, 24(8): 217-219.

[4] 柴中梅. 论失效专利的可利用价值[J]. 新疆职业大学学报, 2001(2): 33-34.

Invalid Patent Analysis of Shanxi Province and Its Application

SUN Hui-jun¹, LIANG Jian-jun¹, MU Guang-yuan¹, QI Xiao²

(1. Institute of Science and Technology Information of Shanxi, Taiyuan 030001, China;

2. Shanxi Intellectual Property Office, Taiyuan 030001, China)

Abstract: This article from the General trends, patent types, technical field, and applicants analyzes invalid patent situation of Shanxi's 2008-2012, by exploring the utilization of invalid patent value and characteristics, put forward suggestions to the rational development and utilization of invalid patent in Shanxi province.

Key words: invalid patent; Shanxi; development and utilization