

# 计算机节能技术综述

张豪,王益涵,吴飞

(上海工程技术大学 电子电气工程学院,上海 201620)

**摘要:**计算机节能技术是利用不同技术方法来有效降低计算机运行所产生的能源消耗。近年来,人们越来越关注能源问题,为了实现节能降低资源消耗,计算机节能技术已经成为国内外节能领域的研究热点之一。文中首先比较了国内计算机节能领域内的两种不同节能规范和标准,并在此基础上从动态电源管理、动态电压频率调节以及使用高性能的节能配件等方面分析了硬件方面的节能技术,之后从编译器、操作系统等方面进一步对软件节能技术进行了详细阐述。最后,在总结计算机现有节能技术的基础上,根据节能技术和计算机的发展趋势,对计算机软硬件节能可能的研究方向作了进一步的展望。

**关键词:**计算机节能;节能标准;动态电源管理;动态电压频率调节

**中图分类号:**TP302.7

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2016)01-0124-05

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2016.01.026

## Overview of Computer Energy-saving Technology

ZHANG Hao, WANG Yi-han, WU Fei

(College of Electronic and Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering Science,  
Shanghai 201620, China)

**Abstract:** Computer energy-saving technology is to adopt different methods to effectively reduce energy consumption generated by computer. In recent years, as the energy problem is getting more and more attention, in order to realize the energy conservation and reduce resource consumption, computer energy-saving technology has become one of research hot-spots in the field of energy-saving all over the world. Firstly, the two different testing norms and standards are compared in the field of domestic computer. Secondly, hardware energy-saving technologies are introduced, such as dynamic power management, dynamic voltage and frequency scaling and the use of high-performance energy-saving computer accessories. Thirdly, software energy-saving technologies are described in detail. Finally, on the basis of the existing computer for energy saving technology, according to the development trend of energy saving technology and computer, give the prospect of the energy-saving techniques of computer software and hardware research direction.

**Key words:** computer energy-saving; energy-saving standards; DPM; DVFS

## 0 引言

目前,随着计算机的日益普及,人们的生活水平和工作效率都得到了很大程度的提高,但是由于计算机的功能越来越强大,随之而来的能耗问题也成为大家关注的焦点。再加上人们环境保护意识的提高,节能减排问题不断受到国家的重视,计算机节能已经成为科研当中不可忽视的一部分,通过降低计算机能耗来延长计算机的使用时间和使用寿命也是目前节能研究的热点之一。

很多专家针对计算机节能技术进行了研究,提出了很多降低计算机能源消耗的有效措施。这些措施从

不同的角度可以分为两类:

第一类是从硬件的层面出发,通过开发低功耗的节能设备、使用不同的电源管理机制等措施,达到节能的目的。这些措施在电子信息、电力系统、工业锻造等多个领域得到了广泛应用。

另一类是从软件的层面出发,从编译器到操作系统,通过各种不同的措施来实现计算机的低功耗设计。

文中首先对现在国内已有的计算机评测标准进行比较,之后从硬件和软件两方面对不同的节能技术进行介绍。

收稿日期:2015-04-16

修回日期:2015-07-22

网络出版时间:2016-01-04

基金项目:上海市教育委员会科研创新项目(12ZZ182);上海市大学生创新训练项目(cs1402012)

作者简介:张豪(1994-),男,研究方向为计算机节能技术;吴飞,博士,教授,研究方向为计算机并行处理与节能控制。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160104.1510.050.html>

## 1 国内计算机评测标准比较

中国质量认证中心 2009 年 9 月发布并实施了《计算机节能认证技术规范》(编号: CQC3114-2009)<sup>[1]</sup>, 我国在计算机节能检测这一领域有了首个针对计算机产品节能评价的专用检测标准。但是因为《计算机节能认证技术规范》是推荐性的, 没有对计算机产品的检测做强制要求, 导致该技术规范的约束力有限; 同时由于计算机领域内节能技术的进步, 该技术规范对计算机类产品飞速发展的产品特点缺乏及时跟进<sup>[2]</sup>。中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会于 2012 年 5 月发布了《微型计算机能效限定值及能效等级》(编号: GB 28380-2012)<sup>[3]</sup>, 并于同年 9 月开始实施。同时中国质量认证中心规定自 2012 年 12 月 1 日起, 对于《微型计算机能效限定值及能效等级》适用范围内的计算机产品, 不再采用《计算机节能认证技术规范》实行节能认证, 其适用范围以外的产品, 将继续采用《计算机节能认证技术规范》进行检测。这些标准的出现为未来我国计算机节能技术的发展起到了促进作用。

下文为了方便对这两个标准进行差异比较, 将《计算机节能认证规范》简称为 CQC 技术规范, 将新发布并实施的《微型计算机能效限定值及能效等级》简称为 GB 节能标准。通过对评测标准的差异比较, 能够对计算机领域的节能技术有一个简单的认识和初步的理解。

### 1.1 适用范围的差异

(1) CQC 技术规范对普通用途的计算机节能产品的认证技术规范 and 试验方法做出了规定。GB 节能标准则对台式微型计算机、具有显示功能的一体式台式微型计算机和便携式计算机等微型计算机的能效限定值、节能评价、试验方法和检验规则进行了详细的规定。

(2) CQC 技术规范的适用范围是在电网电压下正常工作的计算机, 如: 台式计算机、笔记本电脑等。服务器的节能认证不在该技术规范的适用范围之内。GB 节能标准的适用范围是普通用途微型计算机。但是该节能标准不适用于工作站、工控机以及配备有两个及以上独立图形显示单元(GPU)的微型计算机的节能认证; 同样电源额定功率大于 750 W 的微型计算机和显示屏对角线小于 0.294 6 m 的便携式计算机及一体机也不在 GB 标准的适用范围之内。

(3) 由于 CQC 技术规范是由中国质量认证中心所发布的节能自愿性认证标准, 该文件对计算机产品的节能认证不具有强制性。而 GB 节能标准是由中国标准化研究院所推出的、对计算机产品节能技术水平的强制要求和规定, 与 CQC 技术规范不同, 该节能标准

具有强制性。

### 1.2 计算机分类的差异

(1) CQC 技术规范中根据处理器、系统内存、是否具备独立图形处理器等不同将台式计算机分为 A 类、B 类、C 类。GB 节能标准中根据计算机产品的处理器、系统内存、独立图形处理器等不同将台式微型计算机及一体机分为 A 类、B 类、C 类、D 类。

(2) GB 节能标准和 CQC 技术规范对于便携式计算机和笔记本电脑的分类依据的规则相同, 都是根据其中央处理器(CPU)、独立图形显示单元以及系统内存等不同将其分为 A 类、B 类、C 类。

### 1.3 能效判定的差异

(1) 在 GB 节能标准中, 微型计算机的能效等级根据能源消耗被分为 1 级、2 级、3 级。而在 CQC 技术规范中没有等级, 只有节能评价, 而且该值在不同的项目下有不同的指标。

(2) GB 节能标准对于台式微型计算机及一体机的能效判定是通过典型能源消耗(Typical Energy Consumption, TEC)的方式, 用公式  $TEC = (8\ 760 / 1\ 000) \times (P_{off} \times T_{off} + P_{sleep} \times T_{sleep} + P_{idle} \times T_{idle})$  来计算并判定。CQC 技术规范对于台式计算机的能效判定是通过测量关机模式(off mode)、睡眠模式(sleep mode)、空闲状态(idle state)这三种不同模式下的功耗分别对其进行判定。

(3) 对于微型计算机的能效判定, CQC 技术规范与 GB 节能标准的计算方法相同, 都是按 TEC 的方法进行计算及判定的, 但是二者公式中的百分比与功耗在数值上是有差异的。

(4) GB 节能标准增加了附加功能功耗因子的考核要求和相关说明, 附加功能功耗因子之和的值( $\Sigma E_{fa}$ )通过查表来确定。CQC 技术规范中没有规定附加功能功耗因子。

### 1.4 测试方法的差异

(1) CQC 技术规范中规定, 对计算机产品进行测试时相对湿度为 45% ~ 75%; 测试电源为交流电压  $(220 \pm 5)$  V, 频率为  $(50 \pm 0.5)$  Hz; 测试电源的总谐波失真  $\leq 3\%$ 。GB 节能标准中规定对计算机产品进行测试时的相对湿度为 25% ~ 75%; 测试电源为交流  $(220 \pm 2.2)$  V, 电源频率为  $(50 \pm 1)$  Hz; 测试电源的总谐波失真  $\leq 2\%$ 。

(2) CQC 技术规范中规定带外部显示设备的电脑(一般为台式机)应该使用显示器电源管理设置, 避免出现显示设备电力供应不及时的情况, 确保在以后整个 idle state 测试过程中的电力供应。GB 节能标准中规定了台式微型计算机显示设备的桌面背景是 RGB 值都为 130 的固定颜色位图, 亮度设定为出厂设置。

(3)CQC 技术规范规定对 idle state 下的能耗测试是在操作系统加载完成整 15 min 后开始测量被测样本。GB 节能标准规定对计算机产品 idle state 下的能耗测试要连续记录下计算机进入 idle state 后 5 min 至 15 min 的有功功率及测试时间。此外,GB 节能标准还对进行不同模式及状态下的能耗测试时的读数频率、功率计算方法做出了明确规定。

## 2 硬件节能技术

计算机在运行过程中,有一部分能耗是从硬件产生,通过动态的调整电压、频率等相关技术能有效降低系统的硬件层面的能源消耗,动态电源管理(Dynamic Power Management, DPM)<sup>[4]</sup>和动态电压频率调整(Dynamic Voltage and Frequency Scaling, DVFS)<sup>[5-6]</sup>作为有效的硬件节能层面的措施<sup>[7]</sup>已经应用到多个领域;此外通过更换高性能的计算机主板等配件也能在硬件层面有效地降低计算机能耗。

### 2.1 动态电源管理

作为一种电源管理机制,动态电源管理技术能够在计算机运行时动态地管理电源,在保证计算机性能的前提下,选择性地将计算机运行时不使用的部件置于低功耗睡眠状态,通过这种方法来实现系统整体的能耗最优化,从而达到节能的目的。DPM 作为一个动态的过程,不用对计算机内部进行干涉就能实现动态的对计算机电源的尽心管理,实现低功耗的设计。研究发现,不同的控制策略能够使得 DPM 技术产生不同的节能效果,因此根据动态电源管理技术中控制策略的不同将其分为超时策略、预测策略和随机策略<sup>[8-13]</sup>。

#### (1) 超时策略。

超时策略是目前动态电源管理技术中应用最为广泛的一类策略,它会根据系统当前已知空闲时间的时间段长短设立一个时间阈值,这个阈值可以是固定的也可以进行动态调整,相对其他策略来说较为简单。当功耗可管理部件(Power Manageable Component, PMC)连续处在空闲状态的时间长度超过之前设定的时间阈值时,超时策略就将该部件切换为睡眠模式,减少电力消耗。由于这类 DPM 策略相对来讲比较简单,无法快速根据负载的变化做出相应的调整,缺乏灵活性,所以当系统负载频繁变化时其功耗管理效果通常很不理想。此外无论系统部件的空闲时间长短,PMC 必须等待一段时间才能将其切换为睡眠状态,在这段时间内有一定程度的电量消耗,不能最大限度地实现能源的节约。

#### (2) 预测策略。

预测策略在 PMC 开始运行时会使用某种预测方法对该部件未来处于空闲状态的时间长度进行预先估

计,如果该估计值超过了某一设定的时间阈值,则在开始时就将此 PMC 置为睡眠模式,如果在时间阈值内则让此 PMC 维持在运行状态。因此,选择合适的预测方法是此类策略能否有效降低系统功耗的关键,这将直接关系到预测结果的准确程度。目前大多采用 Markov 算法、Bayes 算法、Genetic 算法、Hidden Markov 算法、Immune 算法、Neural network 算法、Wavelet transform 算法、指数平均算法或学习树算法等对其进行研究。与超时策略相比,预测策略不需要确定时间阈值并与之进行比较就可以进行模式切换,这能有效地解决超时策略中等待进入睡眠模式的那段时间内所带来的能耗浪费问题,但该类策略的难点在于如何正确预测空闲时间,如果预测失误,不但不能节省功耗反而会降低系统性能,增加能源能耗。

#### (3) 随机策略。

随机策略是将系统负载当作一个随机优化问题进行处理,通过采用随机决策模型来解决 DPM 问题从而实现低功耗设计。多数情况下,该类策略采用受控的 Markov 过程对其进行求解。它把用户请求和系统负载抽象为离散时间 Markov 决策过程模型,即把 PMC 提供的服务序列给转化为离散的或连续的 Markov 链,这使得最优化 DPM 问题在多项式时间内有解,并且在降低能源消耗和减少系统性能损失间找到了权衡的方法。虽然随机策略在控制系统能耗的同时能有效控制响应延迟,有比较好的动态电源管理效果,但是首先需要对系统部件的状态变迁服从哪种分布做出假设,这使得该类策略的适用范围受到一定程度的限制。而且利用随机模型来求解 DPM 的过程相对复杂,算法自身开销较大,可能无法对系统能源消耗进行实时有效的控制提供保障。

### 2.2 动态电压频率调节

动态电压频率调节技术是依据计算机不同的工作运行状态对 CPU 等 PMC 部件进行电压、频率动态合理调整的计算机低功耗节能管理技术。作为一种有效的硬件节能技术<sup>[14]</sup>,它以系统任务的优先级为依据动态调节 CPU 的电压和频率,让计算机的各个部件能够运行在能满足系统性能需求的最低频率和电压上,在不影响系统各方面运行性能的条件下合理降低了 CPU 的电量消耗。动态电压频率调节依据 CMOS 电路(Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS)中功耗和电路上的电压平方、时钟频率成正比例的关系,通过延长任务的执行时间来实现降低计算机电量消耗的目标。DVFS 技术在很多领域都有研究成果,同时也被细分为很多类,主要有实时 DVFS 技术、通用 DVFS 技术等。实时 DVFS 技术是通过任务的最好执行时间等参数进行估计,在满足计算机硬实时要求



的条件下,降低电源的电压和频率,从而实现降低计算机能源消耗的目标。由于任务的执行时间长度无法通过对这些参数的估计而预先知道,所以这种方法的应用相对而言较少;而通用 DVFS 技术是指对系统的工作状态进行评估和预测,之后根据结果选择适合其正常稳定工作运行的电压与频率,从而实现计算机的低功耗设计。例如在 Linux 系统当中应用的 DVFS 技术:ondemand governor<sup>[15]</sup>,它就是依据 CPU 的利用率对 CPU 的电压和频率进行动态合理的调整以降低能耗实现节能。此外,DVFS 技术在多核的实时系统中运用广泛,但其技术策略就更为复杂,分配问题、执行速度问题、优先级问题是 DVFS 技术在多核系统上运用需要解决的主要问题。通过将 DVFS 技术与软件层面的节能技术相结合亦能有效降低计算机在运行时的能量消耗。

### 2.3 使用高性能节能配件

随着科学技术的不断进步,计算机硬件的更新换代速度也越来越快,市场上的硬件产品为了迎合消费者的不同需求都开始朝着更节能更高效的方向发展。在电脑的主要配件主板上,各大一线品牌纷纷推出了自己的节能技术,如华硕 EPU 节能技术(Energy Processing Unit,EPU)、技嘉 DES 节能技术(Dynamic Energy Saver,DES)、微星 DrMOS 技术、映泰 GPU 节能技术(Green Power Utility,GPU)、梅捷 3E 节能技术(Energy Efficient Engine)等等。通过对计算机更换高效节能的硬件同样可以有效降低计算机功耗,实现绿色低碳、减少能源消耗。

#### 2.3.1 华硕 EPU 能量引擎节能技术简介

华硕 EPU 绿色能量引擎是一款实时监控电源管理的微处理芯片,该芯片采用 DPM 技术,可以根据计算机的实际需求自动实现系统的低功耗运行。EPU 绿色能量引擎的工作原理是通过检测主要部件的运行状态来实现对主板相应部分的精确管理。在计算机的运行过程中,操作系统并没有一直处于 100% 的全负载运行状态,如果系统一直满载运行势必会造成大量能源浪费。华硕的这款芯片通过混合动力技术对系统进行运行状态监控,根据负载的变化情况来实时地调整和改变系统的电力供应情况,即使用 DPM 技术动态调整 CPU 的电压,从而使计算机的能源消耗达到一个相对合理的状态,以实现节能。

#### 2.3.2 技嘉动态节能引擎技术简介

技嘉 DES 动态节能技术是由 DES 软件搭配处理器供电模块所组成,该技术使用新型的多段式电源相位方案,共有五段不同的电源相位数供其选择,它能够根据处理器的负载情况自动将处理器调整至最有效率的电源相位段数,以满足处理器在不同工作状态下的

供电需求,在保证计算机系统性能维持在一个良好稳定状态的同时实现系统的低能耗运行。例如当处理器处在低负荷运行或空闲的状态时,动态节能器就会将处理器的电源相位段数调至最小,关掉其他的电源相位电路,从而避免造成能源浪费,实现节能减排。通过使用技嘉 DES 技术,系统能够在不改变用户体验的情况下,节约近七成的电量消耗,同时提高约两成的能源利用率。此外,技嘉 DES 技术不会影响系统效能,能在不影响系统功能及效率的前提下实现节能的目的。

## 3 软件节能技术

计算机运行时的能量消耗除了有硬件部分产生的功耗外,还有一部分是由软件在系统上运行所产生的。因为软件在计算机操作系统上运行产生的电量消耗被称为计算机的软件功耗。当计算机的处理器、主板等硬件设施固定不变时,通过硬件层面的节能技术降低计算机功耗其结果是有限的,在此基础上使用软件层面的节能技术使计算机对电量消耗的损失降至最小,通过此方法能够使整个计算机系统处于最佳的运行状态。

由于在计算机节能设计中解决能耗的方法有很多,并非所有的功耗问题都能通过 DPM、DVFS 等计算机硬件节能技术解决,仍然有一些能耗问题是硬件节能技术所无法解决的,这时可以通过软件节能设计技术这一新的途径来寻求解决方法。

如今,动态电源管理技术、动态电压频率调节技术等硬件层面节能技术的提出为从软件层面解决计算机能耗问题提供了新的道路,通过软件节能设计也能有效地降低计算机能源消耗。计算机软件层面的低功耗设计有基于编译器的节能设计、基于操作系统的节能设计等等<sup>[16]</sup>。

### 3.1 基于编译器的节能设计

目前大多数的编译器是根据提高性能和高效率的原则来生成代码的,但是由于不同的代码对系统的运行效率、功耗都有不同的影响,所以基于编译器的节能设计研究主要体现在代码生成与优化这两方面<sup>[17]</sup>。优化编译技术包括:均衡优化指令功能、降低执行频率、提高执行速度、缩短执行时间、减少数据传输和片外总线的驱动次数等<sup>[18]</sup>。通过分析程序可知,编译器可以按照给定的目标对整个程序进行优化,基于编译器的节能设计可以分为静态和动态两种。静态编译是在维持计算机性能的条件下对软件内部的程序代码实施优化,通过变更计算机指令顺序,从而改变软件的运算结构,最后选择功耗消耗最低的运算结构。动态编译是指在软件运行前先对程序进行一次编译,之后在软件运行过程中对其再次编译,使程序能够满足在高

要求环境下运行的条件。动态编译通过与 DVFS 技术相结合能够更精准地指导 DVFS 技术,获得准确的程序信息用于系统计算,从而提高软件性能,减少能源消耗。

除此之外,在分布和并行领域也有很多方面使用到了基于编译器的节能技术。分布系统中用到计算机节能设计的方面有对网络设备的功耗管理和分布任务划分等;并行系统中使用到计算机节能设计的方面有任务调度、负载平衡和功耗能量权衡问题<sup>[19]</sup>等。

### 3.2 基于操作系统的节能设计

操作系统作为底层硬件与用户之间的纽带,在整个系统中具有特殊重要的地位,它既管理和控制着计算机的硬件资源,又是计算机中所有程序软件的运行基础。操作系统能够监视整个计算机系统的程序运行状态和资源使用情况,因此基于操作系统的节能技术能够十分有效地实现计算机的节能设计。即使操作系统级的节能技术需要计算机硬件层面的节能技术(如 DPM、DVFS 技术)的支持,也能通过软件对计算机的能耗进行合理、综合的控制。

根据使用方法的不同,基于操作系统的计算机低功耗技术可以分为以下两个方面:一方面是通过通过对操作系统目前的运行状态进行监控,根据系统当前所处的不同状态,利用操作系统所支持的 DPM 中的相关策略或者 DVFS 中的相关措施等进行调整,从而达到节能的目的;另一方面是优化操作系统自身的运行机制来实现系统的节能,例如对操作系统中的节能调度算法进行改进等等。

大量的研究成果表明,软件层面的节能技术已经是降低 CPU 能耗的一种高效合理的手段,通过在操作系统上采取相应措施能有效达到计算机低电量消耗的目的。

## 4 结束语

随着计算机科学技术的发展和人们对于绿色低碳环保意识的提升,计算机领域内的低功耗节能问题越来越受到人们的关注,从硬件层面到软件层面,人们一直在寻找能有效降低计算机能耗的方法,当前技术尚存诸多不足之处,许多问题需要进行更深层次的研究来解决。不过随着研究的深入,不断有新的理论被提出,这些理论为日后计算机节能技术的发展奠定了基础,计算机节能技术也越来越朝着绿色高效可控的方向发展。

虽然我国计算机节能技术起步较晚,但是随着我国计算机节能认证规范、标准的提出,相信今后我国的

计算机节能技术能够得到飞速发展。在不久的将来新型有效的节能技术将会出现,如何降低计算机能耗问题也会有越来越多的解决办法,计算机领域内的节能技术也能够有更加深远的發展。

### 参考文献:

- [1] CQC3114-2009. 中国质量认证中心认证技术规范[S]. 2009.
- [2] 宋继军,蒋春花. 微型计算机能效标准差异探讨(上)[J]. 电子质量,2012(2):58-60.
- [3] GB28380-2012. 微型计算机能效限定值及能效等级[S]. 2012.
- [4] Rele S, Pande S, Onder S, et al. Optimizing static power dissipation by functional units in super scalar processors[C]//Proc of LNCS. [s. l.]:[s. n.],2002:85-100.
- [5] Chandrakasan A, Sheng S, Brodersen R. Low-power CMOS digital design[J]. IEEE Journal of Solid-state Circuit,1992,27(4):473-484.
- [6] Burd T D, Brodersen R W. Energy efficient CMOS microprocessor design[C]//Proc of the international conf on system science. [s. l.]:[s. n.],1995.
- [7] 张立. 基于 DPM 和 DVFS 的嵌入式系统低功耗优化技术研究[D]. 北京:北京交通大学,2012.
- [8] 封蕾. 嵌入式 linux 系统功耗优化技术综述[J]. 榆林学院学报,2011,21(6):33-36.
- [9] 王昌龙. 嵌入式软件系统的节能策略研究[J]. 现代电子技术,2009,32(22):39-41.
- [10] 汪琳玫. 多核环境下动态功耗管理框架的研究及在 aCoral 中的应用[D]. 成都:电子科技大学,2012.
- [11] 范园园. 基于资源监控的 Linux 电源管理系统的设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [12] 李晨明. 嵌入式电源管理设计与开发[D]. 成都:电子科技大学,2009.
- [13] 刘向文. 嵌入式系统动态电源管理技术研究及应用[D]. 广州:华南理工大学,2004.
- [14] 张冬松,陈芳园,金士尧. 多核系统中基于动态电压频率调节的实时节能调度研究[J]. 计算机工程与科学,2010,32(9):157-164.
- [15] 高旭宏. 操作系统级低功耗技术研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2012.
- [16] 张冬松. 多核多处理器系统的节能实时调度技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2012.
- [17] 梁晓. 基于 DVS 的节能编译技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2007.
- [18] 姚伟. 嵌入式系统低功耗软件技术研究[J]. 计算机技术与发展,2011,21(1):112-115.
- [19] 易会战. 低功耗技术研究—体系结构和编译优化[D]. 长沙:国防科学技术大学,2006.

# 计算机节能技术综述

作者：[张豪](#)，[王益涵](#)，[吴飞](#)，[ZHANG Hao](#)，[WANG Yi-han](#)，[WU Fei](#)  
作者单位：[上海工程技术大学 电子电气工程学院, 上海, 201620](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)  
英文刊名：  
年，卷(期)：2016(1)

引用本文格式：[张豪](#).[王益涵](#).[吴飞](#).[ZHANG Hao](#).[WANG Yi-han](#).[WU Fei](#) [计算机节能技术综述](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2016(1)