绿色IT与绿色操作系统

孟庆余
(北京大学 软件学院，北京 100871)

摘　要：绿色IT是整个人类社会发展的需要。在描述绿色IT的特点与判定标准的同时，侧重提出并研究了作为绿色IT最重要的组成部分的绿色操作系统的作用、功能特点及其实现方法。

关键词：绿色IT；绿色操作系统；能源管理；节能；能耗测量
中图分类号：TP316　　**文献标识码：**A

Green IT and green operating system

MENG Qing Yu
(Software Institute of Peking University，Beijing 100871，China)

Abstract：Green IT is necessary to the development of human society. This paper describes the characteristics of green IT and the determine standards，puts emphasis on the study of the most important integral part of green IT that the role of green operating system, the functional characteristics and implementation method of green operating system.

Key words：green IT；green operating system；power management；low energy consumption；energy consumption measuremen

在中国共产党和我国政府发布的一系列重要文件中，都强调要建设环境友好、资源节约型的信息化社会。这无疑是非常重要的，也是科学发展观的具体体现。试想一个奢侈、浪费的国家会有什么光明的前途呢？美国那么富有的国家都一再为降低资源消耗而努力，像我国还处于第三世界发展中的国家，每个公民，怎能不为建设环境友好、资源节约型社会而献计献策呢？正因如此，在近一段时间内，对绿色IT的研究和讨论才引起那么多人的兴趣。

在建立环境友好、资源节约型信息化的和谐社会中，计算机系统无疑能起了重大作用。它能将大的系统、复杂的生产过程优化，使资源消耗降至最低，而收益提至较高或最高；它能帮助各行各业的工作人员工作程序优化，宏观计划更合理，最终效益更好。这是首先要肯定的，也必然会日益深化。但在完成这些任务的同时，能否将信息系统或计算机本身的资源消耗降至最低、将危害环境的程度减少到最小，这就是绿色IT的关注点。在这方面，计算机的硬件已经进行了过细的研究，而且获得了很多重要成果：计算机的供电分系统、各种外部设备、CPU等，在“节能、减排”方面都有一些行之有效的技术措施。与此相适应，在软件方面的节能研究也陆续开始。例如，有人将同一个应用程序的源代码放在不同的编译器环境下执行，获得了不同的运行效果，使其资源消耗有所不同。这就说明，软件在建设绿色IT工业中是有所作为的。系统软件更是如此！操作系统是整个计算机系统的管理和调度中心，笔者认为它对建设绿色IT产业的作用更突出。本文的重点是研究和阐述绿色操作系统的有关问题。

计算机对社会贡献如此之大，可还有不足之处：把很好的能源消耗掉，进一步把它变成污染环境的因素，这岂不可惜！所以，不论是系统软件的开发单位，还是IT系统的应用部门，或者是科技领导机关，都应该重视绿色操作系统研制和应用的有关问题，因为它是关系绿色IT全局的大事！

1 惊人的数字

据有关部门统计：2007年，我国IT设备总耗电量为$(3\times10^{10}\sim5\times10^{10})$ kW/h；而长江三峡2007年的总发电量是7.7066×10^{10} kW/h。这就是说，新建的三峡电站所发电量的绝大部分都消耗在IT设备上。随着我国信息化社会的深入发展，在2008年，预计这个数字还将会有较大的增加。

在全世界范围内，所有数据中心每年的耗电量已达到4×10^{10} kW/h。电量消耗大，运行费用也高。难怪国内外一些超级计算机用户都有一个共同的心声：“买得起计算机，交不起电费!”

2007年，我国PC服务器装机总量约有200万~300万台，以服务器平均功率350 W、每天24 h运行计算：一年365天，年耗电量超过3000 kW/h；全国总耗电量将达到(6×10^9~9×10^9)kW/h。这还不包含一些超级计算中心的耗电量在内。

2007年，据CNNIC统计，我国有1.6亿网民。按每台电脑功耗100W计算，24h用电量是2 400 W；以每个网民每天上网4h计算，全国每天的能耗就是6.4×10^7kW/h。每年的能耗就是2.304×10^{10}kW/h。我国网民的数量增加很快，仅2008年上半年统计，数量已达2.53亿，跃居世界第一位。随之而来的就是上述能耗也会快速增长。

据2008年3月报导：我国IT产业中的通信设备每年消耗2×10^{11}kW/h以上的电能，各种能耗费用的综合超过100亿人民币。耗电总量在全国各行业中排名第14位。

上述问题，不仅在发展中的我国存在，在世界上最发达国家美国，这样的问题依然严重存在。美国2007年环境与能源部门的统计数据表明，美国数据中心的耗电量已经占到美国全国总能耗的1 %~1.2 %。数据中心电力消耗及其制冷设备运营成本的高速增长，与几年前相比已经增长了数倍。未来几年，信息企业供电和散热成本将超过整体成本的三分之一，会超过硬件购置成本，跃居IT成本的第二位。

研究上述问题的目的在于概略了解当前的严峻局势，明确当前绿色IT的研制任务，使得将来全社会都能利用绿色IT，在一定程度上能够解决上述问题，以达到“节能、环保”的目的。更具体地说，研究绿色操作系统一方面支持绿色IT系统的运行；另一方面则是促使IT系统尽快尽早地达到绿色IT的要求。

2 绿色IT与绿色操作系统

近几年来，当人们深切地感觉到环境污染已经从各个角度危害到人类生存的时候，环境保护、防止污染的呼声愈来愈烈，进而变成国策。在此背景下，绿色IT的研讨会，仅由《计算机世界》主办的也有几届。绿色IT，不但是社会的呼声，也是专业技术人员研究开发的一个重要方向。但是直到今天为止，绿色IT也仅仅处于概念探讨阶段；进一步，对绿色IT之功能、性能及在全生存期各阶段技术指标的精确化，还是有待研究解决的问题。

IDC定义绿色IT为：“以环保为核心的设计、制造、运行和处置IT产品，及其他有关方面的要求”。这样的定义是抽象的，也是定性的。它强调在整个生存周期的各个阶段都是绿色的，是以环保为中心的，这才有可能是绿色IT。更具体地说，绿色IT应具备以下条件：

(1)节能、降耗：主要是大大地减少IT产品运行时的耗电量。

(2)低污染：降低在设计、制造和运行中的二氧化碳排放量，减少其他因素对人类生存环境的危害。

(3)低辐射：尽量减少对人体有害的屏幕辐射和机器运行中产生的电磁波辐射。当然，这些辐射对计算机信息安全也是不利的。

(4)节省存储空间：有人认为存储在计算机系统中是能源消耗的“大户”，因而节省存储空间就能起到节能降耗的作用；但其优点还不仅于此。SYBASE是较早提出“绿色数据库”概念的厂商。他们认为：“1PB，即1 000 TB的数据量，加载到SYBASE绿色数据库上，最终只有185 TB的存储量”。如果这样的数据压缩技术具有一定的普遍适用性，其效果是不言而喻的。

(5)有利于回收、再利用和分解：在制造IT设备时，要限制使用含有很多有害物质会对环境造成污染的原材料；继而是要多使用有利于回收、再利用和易分解的原材料。

(6)其他，如静音等。

仅仅依靠上述几个方面来判定什么系统是绿色IT系统，还是很不够的。因为上述几个方面仅是定性的条文。还需要定量判定依据、定量指标，目前这方面可能还很不完备，而且它也是与时俱进的，不可能停止在一个水平上。就目前而言，在全世界范围内，已有几个标准，可供判定是否为绿色IT系统之用。其中有：美国的80PLUS：(80PLUS Certified Power Supplies and Manufacturers)；欧盟的ROHS：(Restriction Of Hazardous Substance)；中国的CSC节能认证；美国的能源之星“Energy Star 4.0”升级版本。

绿色操作系统应是绿色IT的核心，退一步讲，也应当是其核心之一。绿色操作系统，不仅是绿色IT系统的运行核心，也是该系统的“节能、减排”的重点部位。

操作系统是整个IT系统的运行指挥中心和资源总管。有人认为：绿色IT系统之所以能达到“节能、减排”的目标，有很大一部份是靠系统管理，甚至有人认为：“节能、减排”的目标，可能有85 %以上要靠系统管理来实现。这也许就是“管理出效益”的具体化吧！

绿色IT的讨论和研究会很多，而绿色操作系统的讨论和研究会却很少。Linux的发明人Linus Torvalds曾提出要将Linux操作系统改造成为绿色操作系统；并声称在体系结构上，Linux已完全满足绿色Linux的要求。这就是说，作为专门研究操作系统的科技人员，已经注意到了这一问题，并将研制绿色的操作系统定为当前的主要研制任务。中国国内的操作系统的研究人员，在几年前就把目光投向了这一方向，并已取得了一定的成果。

3 绿色操作系统的作用

至少在几年之前，计算机硬件的“节能、减排”研究工作就已经开始。到今天为止，业已取得很显著的成绩，并已用到各种产品开发上。研究人员对计算机的供电、CPU、存储、各种外部设备及其接口部件、网卡、显示屏之耗电情况进行了详细的研究和测量，给出了比较精确的数值，同时对降低这些部件的功耗也研究出了各种具体技术措施。更进一步，这些研究人员的关注点不仅仅局限于分系统或大部件，而对不同的芯片、电路和接插件都有比

较细致的研究，而且形成了产品。例如，计算机的CPU芯片，能够允许在不同工作频率的状态下运行，各种部件允许在不同电压状况下工作等等。在北京大学嵌入式系统实验室赵霞博士所发表的文章中，对此有比较详尽的介绍，对此感兴趣的技术人员，可以去参阅。本文只不过是强调一点，硬件系统的这些研究工作，一方面是很有成效的；另一方面就是为绿色操作系统的研制和运行奠定好了硬件基础，搭建好了一个舞台。

绿色操作系统能够控制全IT系统“节能、降耗”。整个IT系统的能源消耗，严格说应当分为三项：操作系统运行本身所消耗的能源；操作系统管理和控制下运行各种应用程序的能源消耗；在系统空闲时，系统空转时所消耗的能源。在这三部分能源消耗中，运行应用程序时的能源消耗最重要。它之所以重要，一方面这是系统功耗的最重要或最重大部分；另一方面，它说明了该操作系统的管理和控制能力。应当说，在完成既定任务的前提下，能耗最低者其“本领”最高，最值得推荐。在数据库管理系统中，SYBASE说他的数据无损压缩能力强，同样多的用户数据在SYBASE中占据物理空间最少，因此自称为绿色数据库；多个编译器中，对同样的源程序，哪个编译出来的目标程序运行时所用能耗最少，那个编译器就最靠近绿色。这一切，就是抓住了系统的最主要特征。

一般而言，操作系统自身运行所占用的资源开销，在整个计算机系统中所占比例很小。例如在银河计算机中，这个系统开销只占5%左右。但是在一些网站上，对各种操作系统是否接近绿色而进行的评比中，其唯一判别准则就是操作系统运行时自身能耗的多与寡。请读者想一想：这是不是引导错了方向？

系统空转时所用的系统开销和能源消耗纯粹是一种浪费。绿色操作系统应该将这一部分能耗降到最低或消除。现在手持式入网设备，用户都在埋怨其电池容量太小，这无疑是对的；还没有人埋怨这些设备的操作系统管理不善呢？其实整个系统要“开源节流”才对。

绿色操作系统能够实时测量IT系统工作时各大部件的能源消耗状况，以及在什么样的工作状态下会出现高能耗，并能及时向系统和用户发出高耗能警报！以便用户和系统相结合及时查清原因，采取适当措施，阻止高耗能情况的发生和蔓延。

绿色操作系统要对IT系统各种资源及能耗进行管理和控制。首先要对系统内的所用能源进行控制，使电源由目前的不可管理状态进入可管理状态；使电能消耗用在实实在在的应用程序运行上，减少或大幅度降低系统空转时间。甚至于控制计算机本身的系统结构，例如使系统降级，以适应系统吃不饱的情况；或使系统睡眠，以伺机投入工作，使功耗降至最低。

绿色操作系统应能合理地分配各种存储空间并选择适当的访问方式，以降低能耗和污染。当前IT系统中，各类存储空间都比较大：例如主存、Flash、网络存储和外部存储磁盘等。这些存储媒体，其容量、访问速度和方式各有不同，因而能耗也各有不同。有人作过测试，认为在IT系统中，应用各种存储的能耗占有很大的比例。因而操作系统如何分配和应用这些存储使整个系统功耗降低，这是摆在操作系统面前的一个系统优化问题。

绿色操作系统能支持整个IT系统：大幅度节能降耗，进而客观上减低了系统污染；控制系统重构和强化管理，达到系统工作时低辐射的目的；优化存储，以实现节省存储空间和合理利用各种存储设备的效果。

4 绿色操作系统的功能特点

绿色操作系统的概念，到今天为止，仍然不是很明确的，正处于研究之中；业界也没有统一定义，当然是有共同的要求。这些要求就体现在绿色操作系统的必备功能上。本文以下所列举的功能，只可能是绿色操作系统的必要条件，是不是充分条件，目前不敢肯定。只能等待以后再做结论。

(1)系统的电源管理和控制

将全系统供电分为可管理状态和不可管理状态两种。目前的人工加电/断电工作状态，不可管理状态，这不能全由操作系统控制。可管理状态，就是将电源的工作状态置于操作系统的控制之下。例如可将它们分为全功率工作状态、半功率工作状态和值班、睡眠状态等。这些工作状态的正向转换，全由操作系统根据当时负载情况而定；而反向转换，如系统唤醒，一般是由外部中断引起；至于由半功率工作状态如何转换为全功率工作状态，则根据系统内的任务堆积情况由操作系统决定采取的具体措施。电源管理工作状态示意图如图1所示。

(2)能耗测量与报警

要想精细地控制系统能耗，过细地掌握IT系统中各大部件的能耗情况是非常必要的。只有将各大部件的能耗数据定时地送入操作系统中，才有可能加以分析、处理、确定优化方案；发现能耗异常的工作时段，报警并查明导致异常的原因。为避免以后再出现此类情况，应采取相应的技术措施。

在IT系统中，可以进行能耗监测的大部件或分系统有：CPU、Cache、存储、磁盘、终端、网卡、网络存储器；其他外部设备有：打印机、图形设备等。

(3)系统结构的动态变化和升降级

在当前或以后的计算机系统中，由操作系统控制改变其系统结构是可能的，也是可行的。如果从“节能、减排”的角度看，系统结构与其要处理的工作量完全适应或基本适应最好。如果能做到“看菜吃饭，量体裁衣”那就最好不过了，这样“供”与“求”之间完全平衡，当然这是很难做到的。

系统结构动态变化的要求和目的各不相同。例如在可靠性要求特别高的系统中，采用双机或三机备份，这是系

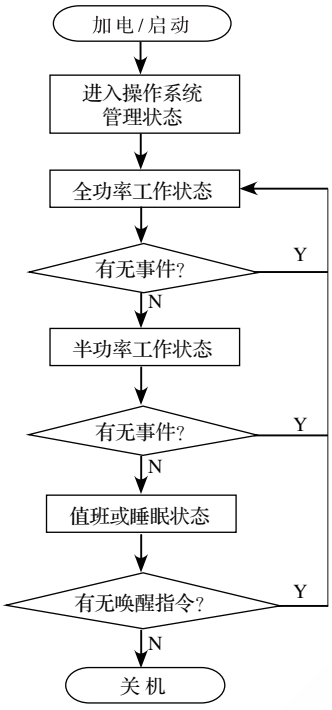

图1 电源管理的工作状态

统容错的技术之一；失效部件的动态切换，也是系统容错的一部分。

研究计算机系统结构的动态变化的主要目的是：为了减少系统空转而达到绿色的效果。例如：在多CPU系统中，在适当的时刻，将某些CPU停止运行；切除系统的Cache；停止某些存储设备或外围设备的运行，减少网络交换速度等。如果能使系统中各部件用得着就上阵，用不着就休息，不耗能，就达到理想要求了。

在有关人机界面的各种终端上，用户要输入汉字及各种信息，不管人的输入动作有多快，在计算机看来是很慢的。在此环节上，如何控制节电，值得研究。

(4)文件系统的合理配置

现代的信息系统中，存储媒体有若干种，其特点和访问方式各不相同；数据形式各式各样，有结构化的和非结构化的，其中后者又各有其要求和特点；计算机内部处理和采用的文件系统也可能有几种，它们亦各有其短长。这些因素在“节能、减排”的大原则下，怎么能做的更好、更合理，都是值得注意和研究的问题。尤其是在各种存储容量大，能耗高的存储设备上，使用优化问题方法可能更为重要。

5 社会呼唤绿色操作系统

当前，我国各阶层人民在经历了环境污染带来的各种危害后，普遍的要求和呼声就是：保护环境，建立绿色IT!我国政府对此也大力支持。

在满足我国经济可持续发展目标的前提下，以科学发展观为指导思想，笔者认为发展绿色IT应从两个方面着手：一是硬件；二是软件。

硬件：首先要在自身的“节能、减少污染”方面有所进步，例如电源供电效率的提高，自身散发的热量及电磁辐射减少等；另一方面，就是要解决自身能耗的测量问题，并将测量结果实时地送入计算机中；此外，还要解决如何进行控制或连机/脱机的具体技术问题。

软件：现在的IT系统中，各种各样的软件堆积如山。其中，哪个部分对整个系统的绿色影响最起作用呢？是操作系统！之所以强调这一点，不仅是因为笔者本人是操作系统的研制者，而是因为它在整个系统中所起的作用和所处的位置非同小可。由于操作系统的工作是控制和管理整个计算机系统的全局和日常工作，而这项工作常常是在幕后，仅为用户所感觉，而不为一般用户所深知。可以说它是整个计算机系统的“掌权者”和无名英雄。真是“养在深闺人未识”啊！因此，到目前为止，对操作系统绿色化的呼声不是很高，有关文章也不是很多。正因如此，笔者才在这里向社会和科技界进此一言。

在软件绿色化方面，有一些软件捷足先登，例如数据库管理系统，SYBASE就是这样。无疑这是值得欢迎的。其他软件，也应为绿色IT做出自己的贡献。

在IT系统中，如果计算机硬件逐步变绿了，操作系统逐步变绿了，整个IT系统焉能不绿？

(收稿日期：2008-11-10)

自主创新，共举未来

中科院计算所与英特尔联合研发个人高性能工作站

2009年4月8日，北京2009年春季英特尔信息技术峰会(IDF)上，中国科学院计算技术研究所(ICT)与英特尔公司就双方共同研发个人高性能工作站(Personal High Performance Workstation)举行媒体沟通会。此次合作中，中科院计算所将在英特尔提供的产品、技术、平台等支持下，结合自主研发的多项创新技术推出一款具有广泛适应性、低门槛的个人高性能工作站模型，以期推进高性能计算走下神坛，得到普及化应用。这次研发成果一旦面市，将是国内IT产业自主创新的又一里程碑，并且将大大推动国内高性能计算领域的标准化、普及化和产业化进程。中科院计算技术研究所系统结构研究部主任孙凝晖先生、英特尔公司中国大区产品总监洪力先生出席了此次媒体沟通会。

此次合作中，中科院计算所将在英特尔提供的芯片、芯片组和主板参考设计的基础上，融合自主研发的交换模块等技术，完成硬件研发、系统调试、工作组件研发以及软件研发的工作。工作站原型机中将采用2.5 GHz的四核英特尔®至强®处理器 L5420，在一个交换模块上最多可以容纳8个处理器模块或16个四核处理器；配合高达 384 GB 的全缓冲 DDR2 内存和 12 TB 硬盘空间，系统功率不到 2.5 kW；再加上大直径低转速的风扇，完全可以实现在低功耗、低噪声的条件下，具备超万亿次计算性能。

(Intel公司供稿)