

绿色计算背景下的网络管理研究

李亚^{1,2} 彭海云² 尚小溥¹ 张润彤¹

(北京交通大学信息系统研究所 北京 100044)¹ (周口师范学院计算机科学与技术学院 周口 466001)²

摘要 随着IT技术的不断发展,IT行业在整个节能减排环节中占据的地位越来越高,由此提出了绿色计算、绿色网络等概念。从绿色网络的概念入手,分析网络中主要设备的节能方式和可能性,提出了在网络管理中增加能耗管理的功能,研究并提出了实现能耗管理应具备的MIB信息,并设计了能耗监视、控制和统计的实施方案,从而可以对网络中的能耗进行定量监视和控制,为绿色节能网络的建立提供全面的监控和管理。

关键词 网络管理,绿色网络,能耗管理,节能减排

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Research on Network Management in Background of Green Computing

LI Ya^{1,2} PENG Hai-yun² SHANG Xiao-pu¹ ZHANG Run-tong¹

(Institute of Information System, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)¹

(School of Computer Science, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466001, China)²

Abstract With the continuous development of information technology, energy cost of information industry is becoming more and more important in whole energy saving and emission reduction. This paper put forward the concept of green computing and green network, analysed the method and possibility of energy saving in various network device, proposed the function of energy management which should be added in network management. A plan and relevant management information was given for monitor, control, and statistic of energy cost. Thus it can be monitored and controlled quantitatively, and comprehensive monitor and management can be provided for green network.

Keywords Network management, Green network, Energy management, Emission reduction

随着德班世界气候大会的召开,气候变化再次成为国际社会普遍关注的全球性问题。近年来,全球酷暑、干旱、洪涝等极端气候事件频发,气候变化影响日益显现。各国携手应对气候变化,共同推进绿色、低碳发展已成为当今世界的主流^[1]。节约能源是应对气候变化所采取的主要措施之一,是指尽可能地减少能源消耗,增加能源利用率的一系列行为,围绕着这两个节能中心,生产企业已经在产品的设计和研发中进行研究,以尽可能地降低功耗,提高能源利用率。在国家的大力倡导下,政府、企业和个人已将能耗作为消费的主要考虑因素之一。

目前全球2%的碳排放来源于信息和通信技术领域,预计到2020年,这一比例将翻番。服务于互联网的路由器、服务器、交换机、冷却设施、数据中心等各种设备在2008年总共消耗8680亿度电,总耗电量约占全球的53%。按照这一增长趋势,IT行业的平均能耗将在2025年达到2006年的5倍,而网络领域的能耗将会达到13倍。如果按此发展,网络领域占IT业的总能耗将在2025年增长到43%。耗电问题已成为网络和信息系持续发展的重大障碍^[2]。由此可见,网络在整个信息产业中的节能将被放在重要地位。按照文献^[3]的论述,网络中产生的能源消耗按使用过程分为3种:网

络设备运输和施工时产生的能耗、网络设备运行中产生的能耗和网络设备废弃回收所产生的能耗。目前,大多数研究均是针对设备的具体节能技术和方式进行的,随着绿色计算和绿色网络的提出,IETF专门成立了EMAN(Energy Management)工作组,研究网络管理中的能耗管理问题。并于2011年10月相继出台了一系列Internet草案,包括能耗管理的需求、术语定义、参考模型、框架模型、相关MIB库和应用描述等各个方面。但草案中涉及内容过于复杂,要想在网络设备中推广尚需时日,国内目前还没有研究机构对该问题进行研究。本文将遵循“简化思想,利于实现”的原则,拟从绿色计算和绿色网络的定义入手,只考虑网络运行中的能源节约,对组成网络中的服务器、路由器、交换机以及计算机等设备运行中产生的能耗进行研究和分析,提出在网络管理中增加能耗管理这一功能,从全局的角度研究和部署网络中的能耗管理,并给出具体的管理模型和实施方案,以期能对网络运行中产生的能耗进行定量分析和统一管理,为绿色网络的建设提供一种新的思路。本文第2节从绿色计算和绿色网络的概念入手,研究分析了网络设备的节能方式和可能性,并简单回顾了简单网络管理协议;第3节给出了能耗管理的定义和网络管理中的能耗管理方案;最后对全文进行了总结。

到稿日期:2012-08-01 返修日期:2012-11-15 本文受国家自然科学基金项目(61103143),北京市自然科学基金项目(4112044)资助。

李亚(1973-),男,副教授,主要研究方向为网络管理、网络安全、移动互联网应用,E-mail: zkliya@163.com;彭海云(1972-),女,硕士,副教授,主要研究方向为计算机应用;尚小溥(1984-),男,博士生,主要研究方向为下一代互联网的流量工程、移动通讯技术与应用;张润彤(1963-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为下一代互联网的流量工程、移动通讯技术与应用。

1 绿色网络相关研究

1.1 绿色计算和绿色网络的定义

绿色计算迄今为止还没有一个具体定义,一般理解为是在IT领域内以节能为主要目标所采取的一系列技术措施。文献[4]从工业的视角、理论的视角和交叉学科的视角对绿色计算的研究对象、研究目标和研究内容进行了具体描述。

绿色网络在国内有两种理解,一般认为绿色网络是采用不良信息过滤控制技术和方法营造出的安全、可控的网络环境。随着绿色计算概念的提出,在当前的信息社会下,在以互联网产业和物联网产业为龙头的产业建设中,网络运营所占据的能源消耗比重越来越大,在此背景下,提出了绿色网络的另一个概念,即绿色网络是采用各种节能技术所营造的能耗可控的网络环境。由此可见,绿色网络属于绿色计算的范畴,其研究范围为绿色计算的子集。

当前国内对绿色计算的研究还处于起步阶段,郭兵等在《绿色计算的重定义与若干探讨》中,通过与绿色化学的比较研究,采取了一种更加统一和抽象的方式来定义绿色计算的概念,并探讨了其主要研究内容,从而明确了绿色计算的界限和范围,理顺了相关领域的研究任务和关系,提出了绿色计算的一些基本思路和一般性方法^[4]。过敏意在《绿色计算:内涵及趋势》一文中对绿色计算的内涵、国内外的研究现状与发展趋势进行了综述,指出当前从某个局部研究计算系统节能问题的的工作较多,而从全局角度展开研究的较少^[5]。林闯等在《绿色网络和绿色评价:节能机制、模型和评价》一文中,将节能问题归结为资源管理问题,并从资源分配、任务调度、架构部署3方面进行了阐述,提出了随机模型,并能够较好地描述不同的节能机制和策略,为构建和评价绿色网络提供了重要的理论工具,提出了绿色评价框架,为节能机制的构建和策略的评价体系奠定了基础^[2]。

但目前的研究人员大多将研究目标定位在具体设备的具体节能上,很少有人关注整个网络中的能耗管理问题。

1.2 网络设备节能的相关研究

目前,针对网络设备的节能研究往往都针对具体的网络设备进行的,主要集中在高性能计算机、服务器、高性能路由器、交换机、存储设备等。但是,很少有人从网络全局出发去考虑节能的监控和管理。对于网络设备的节能,国内外已有很多相关机构对此进行了研究。

对于服务器的节能,一般通过两类方法进行,一是从源头上控制功耗,通过生产工艺的改进和新型材料的应用来降低元器件功耗,并通过对操作系统的优化给出相应控制策略来对各部件工作状态进行控制;二是提高外围辅助设备的能源使用效率,通过改进电源、散热和冷却技术提高使用效率,降低服务器的总功耗。文献[6]在分析了现有服务器节能技术不足的情况下,推出了服务器自适应节能系统,从服务器管理方面实现了节能。文献[7]针对数据中心服务器节能问题,从数据中心能效评价和能耗组成入手,阐述了我国数据中心的能效现状和能耗的主要构成;在充分论证服务器能耗重要性的基础上,综述了目前公认的动态调节、休眠和虚拟机技术等节能机制;基于各层面节能策略的对比,说明了集成节能方案的设计方法。

路由器在设计时重点考虑的是峰值性能,但是由于网络传输时流量的产生存在时间局部性和空间局部性,网络流量并没有一直持续在较高水平上,甚至在某些时间段网络设备

经常处于空转状态,这时网络设备没有进行数据处理和传输,但是却耗费了大量的电能,因而通常处于 7×24 工作状态的网络设备能量效率不高。文献[8]基于高级配置电源接口规范,结合互联网流量特点,将软硬件协同思想引入到路由器节能体系结构的设计中,提出了一种新型的路由器动态功率管理体系结构 HERPM,并深入研究了 HERPM 中的若干关键技术。

文献[9]分析网络存储系统中的能耗问题,提出一种改进型的、理想的能耗感知数据分布模型。并在此基础上,建立了一个分析网络存储系统能耗与 I/O 性能的元胞自动机模型。指出网络存储系统的节点能耗状态随着负载增加时,存储节点行为的相关性也在逐渐增加,整体性行为表现增强,即系统总体的副本数目不断增加并最终趋于稳定,从而系统的总体能耗达到优化。借鉴统计学、动力学以及复杂性理论可以更好地理解网络存储系统的各种复杂性行为,其研究将有助于复杂网络存储系统能耗管理与控制等关键技术的评估和发展。

在交换机节能研究方面,致力于以太网节能标准制定工作的 IEEE 研究小组最近实现了新的里程碑。IEEE 执行委员会已经通过了 IEEE 研究小组制定以太网节能标准的工程授权申请,这样,研究人员就可以在节能以太网和以太网的高效工作上进行研究。研究人员通过对以太网自动协商技术进行重新定义,在实现物理层以太网速率切换时,尽可能地达到毫秒级,从而解决以太网链路在大多数时间处于闲置状态的问题,在有少量数据进行传输时,采用低速率来节约能源消耗。

以上对各种网络设备节能的研究说明,网络中的能耗除了能通过从设备本身降低功耗的方式直接进行能源节约外,还能通过控制相关设备的工作状态来实现能源节约。

1.3 简单网络管理协议(SNMP)

网络管理,是指网络管理员通过网络管理程序对网络上的资源进行集中化管理的操作,包括配置管理、性能和记账管理、故障管理、安全管理等。SNMP^[10]是目前网络管理中事实上的协议标准,协议模型采用客户/服务器的组织模式。定义客户端为管理站(NMS),定义服务器为具备 SNMP 代理(SNMP Agent)的管理对象。其体系结构如图1所示。

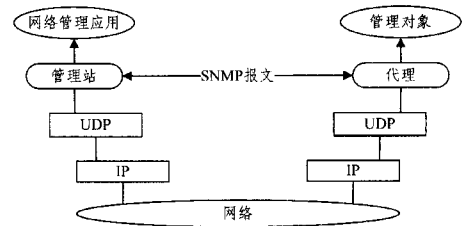


图1 SNMP体系结构

作为独立设备进行工作的管理站可以通过共享系统来进行实现。作为连接网络管理人员与网络管理系统的接口,其应该包括:网络管理人员用于监视网络的接口;能够进行数据分析、故障发现的网络管理程序;能够实现远程网络设备按照网络管理人员的要求进行远程控制的功能;能够保存从被管网络设备 MIB 中抽取的数据。

管理对象指的是安装了 SNMP 代理的网络设备(如:服务器主机、交换机、路由器等)。SNMP 代理负责响应来自管理站的信息查询请求和控制操作请求,并能将一些严重的意外事件通过异步方式向管理站进行报告。

通过简单网络管理协议,管理站和管理对象之间能够进行通信。通信操作主要有以下3种:

- Get 操作:管理站读取管理对象中的相关信息;
- Set 操作:管理站设置管理对象中的相关信息;
- Trap 操作:管理对象向管理站报告异常重要事件。

2 网络管理中的能耗管理

通过研究各种网络设备的节能方式发现,除了通过一些工艺设计和软件设计来尽量降低网络设备的本身功率外,网络中设备的节能主要采取两种方式,一种是通过对有工作时间要求的设备进行电源控制,如:办公用的网络设备就可以在工作时间以外通过集中电源控制的方式进行节能;另一种是对长期工作的设备进行工作状态的调整或工作速率的调整,如相关的网络设备和服务器可在资源利用率较低的时期内调整它们的工作频率和降低网络的传输速率来节约能耗。但是如何把这些网络设备的具体电能消耗和节约的电能用数量的形式进行统计分析?如何在合适的时机对网络设备的工作状态进行控制?这些问题基本上很少有人从网络管理的角度进行研究。为此,提出使用成熟的网络管理思想对网络中的能耗进行定量分析和定量管理,以解决上述问题。

2.1 能耗管理的定义

在网络管理的 5 大功能中,并不具备对能源消耗的管理,为此,从节能减排的需要出发,必须在网络管理中加入能耗管理功能,来统计分析网络中的电能消耗问题,并统一控制网络中的设备进行节能操作,从而建立一个能耗可控的绿色节能网络,为减缓气候变化做出应有的贡献。

从第 1 节的研究分析可以看出,研究人员针对网络设备的节能研究已经较为成熟,如对数据中心、服务器、集群、路由器、交换机等的节能研究。这些研究均为网络管理中增加能耗管理提供了可行性,能耗管理只需对各种设备的节能方法进行研究和归类,按照网络管理的思想进行统一的监视和管理,就能实现对能耗的统一监管和控制。

这里给出能耗管理的定义。网络管理中的能耗管理是指在保证网络性能和网络畅通的前提下,通过监视、统计、分析网络设备的工作状态和使用时间,集中对网络设备的工作状态进行控制,以尽可能地减少能源消耗,提高能源利用率,从数量上反映所管理网络的能源消耗和节约能耗。

2.2 网络能耗管理的功能模型

设备的功耗监视一般要在设备前端加入专用的电量监测设备,但是,这种做法加大了用户对网络的总体投入,并增加了额外的电量消耗。通过电器的能耗计算方法可以发现,所有 IT 设备的能源消耗可根据其不同状态下的运行功率与运行时间计算出来,所以对能源的消耗监控可转换为监测设备的工作状态和工作时间,这样就大大简化了监测的难度,减轻了用户的投资成本。为此,提出如如图 2 所示的网络能耗管理模型。

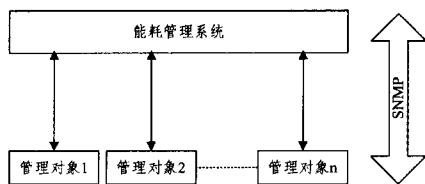


图 2 网络能耗管理模型

图 2 中,网络能耗管理系统通过 SNMP 协议与各种管理对象进行通信来获取网络设备中的能耗管理信息,并对整个网络进行分析后,针对相关网络设备进行工作状态的控制。管理对象可以是网络中的任何设备,包括服务器、路由器、交

换机、无线访问点、网络中的计算机等。具体操作模型如图 3 所示。

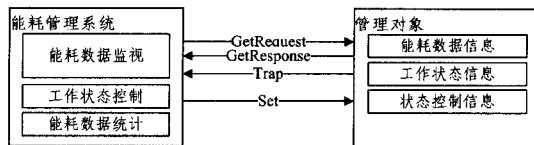


图 3 网络能耗管理操作模型

图 3 中,网络能耗管理系统通过 SNMP 协议中的 GetRequest 命令来获取网络设备中的相关能耗信息,网络设备接到 GetRequest 请求后,通过 GetResponse 命令返回相关查询信息。网络设备在自己的工作状态发生改变时通过 Trap 命令将自己的状态变化相关信息报告给能耗管理系统。能耗管理系统根据相关分析通过 Set 命令向网络设备发送相关控制指令来控制设备的工作状态。

3 具体实施方案

根据 SNMP 协议及图 3 中的操作模型,能耗管理系统的具体实施方案主要包括能耗管理系统和网络设备中的相关能耗信息。

(1) 网络设备端相关 MIB 信息

为了满足能耗管理的需求,在网络设备中应提供能耗管理相关 MIB 信息,MIB 可定义为标准 MIB,也可由厂商定义为私有 MIB 进行公布,根据能耗管理需求,按照抽象语法表示 ASN.1 中的相关定义,需要的 MIB 管理信息如表 1 所列。

表 1 能耗管理监视 MIB 信息

MIB 对象	语法	访问方式	基本功能描述
EnergyObjectId	OBJECT IDENTIFIER	RO	设备标识
EnergyObjectDescr	DisplayString	RO	有关设备的信息描述
EnergyInfoTable	SEQUENCE of EnergyPower	NA	设备工作状态能耗表
EnergyPower	SEQUENCE	NA	设备工作状态能耗表项
EnPowIndex	INTEGER	RO	表项唯一索引
EnPowStaID	INTEGER	RO	设备工作状态标识
EnPowStaPow	INTEGER	RO	设备工作状态对应功率
EnergyWorkTable	SEQUENCE of EnergyWork	NA	设备工作状态记录表
EnergyWork	SEQUENCE	NA	设备工作状态记录表项
EnPowStaID	INTEGER	RO	设备工作状态标识
EnergyWorkTime	TimeTicks	RO	进入当前工作状态的时间
EnergyStatus	INTEGER	RW	控制设备的当前工作状态

表 1 中,EnergyObjectDescr、EnergyInfoTable、EnergyPower、EnPowIndex、EnPowStaID、EnPowStaPow 6 个 MIB 用于网络管理工作站监视设备能耗基本信息;EnergyWork、EnPowStaID、EnergyWorkTime 3 个 MIB 信息用于监视设备工作状态的变化时间,为计算设备在某一时间段内的能源消耗提供依据;EnergyStatus 是控制 MIB 信息,用于管理工作站控制网络设备的工作状态,网络设备根据此值来调整自己的工作状态。

(2) 网络能耗管理系统

从图 3 中可以看出,网络能耗管理的基本功能应包括能耗数据监视、工作状态控制和能耗数据统计 3 大功能。

① 网络设备能耗信息收集

网络设备能耗信息收集将充分利用网络管理系统中的监视功能,在用 SNMP 中的 Get 命令从网络设备中获取其它网络管理信息的同时,获取设备相关的能耗信息。获取能耗信

息的方式有两种,一种是定期采用 Get 命令来获取指定的能耗 MIB 信息;另一种是在设备的工作状态发生变化时(如端口速率由 1000Mbps 降为 100Mbps),使用 Trap 命令将相关信息发送给能耗管理系统。

②网络设备状态控制

网络能耗管理系统通过其他网络管理功能中获取的相关信息进行分析后,确定相关网络设备的工作状态,并通过 Set 命令对网络设备中的 EnergyStatus 信息进行控制,从而控制网络设备的工作状态。具体操作流程如下:

第 1 步 根据网络管理系统中其他功能的监控信息(如性能管理中的流量、负载信息)来确定相关网络设备的工作状态。如:路由器、交换机设备可根据端口的流量监测数据来调节端口的工作速率或关闭端口以节约电能消耗;

第 2 步 向网络设备发送 Set 命令,控制其状态控制 MIB 信息,使设备进入相关工作状态;

第 3 步 网络设备发送 Trap 命令,报告自己当前的工作状态信息;

第 4 步 能耗管理系统记录相关状态信息。

③网络能耗统计分析

网络能耗统计主要是集中在如何计算出单个设备的实际电能消耗和由能耗控制系统控制设备工作状态发生变化后节省的电能消耗。

定义集合 $S(S_1, S_2, \dots, S_n)$ 为设备的状态集合, P_i 为设备在状态 S_i 时的功率, T_i 为设备在状态 S_i 时的工作时长,则该设备消耗的电能 P_i 可用式(1)进行计算。

$$P_i = \sum_{i=1}^n P_i * T_i \quad (1)$$

此处的能耗特指网络设备运行期间消耗的能量,由于网络设备均使用电能作为能源,因此其能耗的单位为千瓦时。

考虑表 1 中设定的 MIB 信息时记录的是状态发生转变时的时间信息,能耗管理系统收集此信息后加入由能耗管理系统控制其转变的控制信息,即可形成工作状态转换时间表,如表 2 所列。

表 2 网络设备状态转换时间表

序号	设备工作状态	转变时间	是否由能耗管理系统控制转变
1	S_1	t_1	C_1
2	S_2	t_2	C_2
...
j	S_j	t_j	C_j
...
n	S_n	t_n	C_n

表 2 中, S_j 为状态集合 S 中的一种工作状态, t_j 为转换为当前工作状态时记录的时间, C_j 表示工作状态的转变是否由能耗管理系统来控制,取值为真或假。则设备在某一时间段上的电能消耗可用式(2)进行计算。

$$P_i = \sum_{j=1}^{n-1} P_{S_j} * (t_{j+1} - t_j) \quad (2)$$

设备在某一时间段上由能耗管理系统控制所节省的电能消耗可用式(3)进行计算。

$$P_c = \sum_{j=1}^{n-1} (P_{S_j} - P_{S_{j-1}}) * (t_{j+1} - t_j) \quad (3)$$

其中的计算条件为 $P_{S_j} < P_{S_{j-1}}$ 且 C_j 为真。

由此,通过式(4)可以计算出网络中所有设备在某一时间段内的电能消耗 P_{TT} 。

$$P_{TT} = \sum_{i=1}^n P_i \quad (4)$$

通过式(5)可以计算出网络中所有设备在某一时间段内的所节省的电能消耗 P_{TC} 。

$$P_{TC} = \sum_{c=1}^n P_c \quad (5)$$

综上所述,在网络管理系统的能耗管理中通过以上能耗计算公式,可以对网络中的设备能耗和能耗节约进行定量的统计与分析。

结束语 通过对绿色计算和绿色网络的概念分析,结合网络管理的思想,提出了在网络管理中增加能耗管理的功能,并给出了具体实施方案,方案遵循简单易实施的原则,在网络设备中增加相关的能耗 MIB 信息,既保持了和原网络管理系统的完全兼容,又增加了绿色计算背景下对整个网络的能耗管理与控制,从而为全球的节能减排做出应有的贡献。

参 考 文 献

- [1] 国务院新闻办公室.《中国应对气候变化的政策与行动(2011)》白皮书[EB/OL]. http://www.gov.cn/jrzq/2011-11/22/content_2000047.html, 2011-12-08
- [2] 林闯,田源,姚敏.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(4):593-612
- [3] Matthews E P, Nici J, Polonsky B, et al. Operating in the green: modeling eco-friendly telecom network management [J]. Bell LABS Technical Journal, 2010, 15(2): 175-192
- [4] 郭兵,沈艳,邵子立.绿色计算的重定义与若干探讨[J]. 计算机学报, 2009(12):2311-2319
- [5] 过敏意.绿色计算:内涵及趋势[J]. 计算机工程, 2010(10):1-7
- [6] 李麟.服务器自适应节能系统介绍[J]. 信息技术与标准化, 2008(9):16-19
- [7] 吴甜,刘利祥,虎嵩林.绿色数据中心的服务器节能机制与策略[J]. 微电子学与计算机, 2011(8):108-111
- [8] 唐广飞.高性能路由器节能技术研究[D].长沙:国防科学技术大学, 2006
- [9] 葛雄资,冯丹,陆承涛,等.绿色网络存储系统的动力学分析模型[J]. 计算机科学, 2011(8):291-296
- [10] Case J, Fedor M, Schoffstall M, et al. RFC1157: Simple network management protocol (snmp) [EB/OL]. <http://datatracker.ietf.org/doc/rfc1>, 2011-12-17
- [10] 鲍宁海,刘翔,张治中,等.WDM 节能光网络中的抗毁保护算法研究[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2012, 24(3):278-282

(上接第 69 页)

- [4] 于秦,毛玉明.WLAN 业务量特性分析及 Hurst 参数辨识[J]. 电子科技大学学报, 2007, 36(5):1074-1076, 1113
- [5] 赵佳宁,李忠诚.基于模拟的网络流量自相似现象分析[J]. 计算机科学, 2001, 28(11):57-61
- [6] 宋美娜,段云峰,宋俊德,等.数据业务自相似特性研究[J]. 通信学报, 2004, 25(8):150-155

- [7] 顾莹琦,谭维织.分包系统的星上数据源及其模型[J]. 遥测遥控, 2001, 22(2):26-31
- [8] 王丽燕,沈玉波,刘洪.随机过程[M].大连:大连理工大学出版社, 2008
- [9] Garrett M W, Willinger W. Analysis, Modeling and Generation of Self-Similar VBR Video Traffic [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1994, 24(4):269-280