

可管理多媒体网络计算机(MMNC)

张尧学, 彭玉坤, 周悦芝, 方存好

(清华大学计算机科学与技术系, 北京 100084)

摘 要: 本文提出一种基于普适计算模式的可管理的多媒体网络计算机 MMNC(Manageable Multimedia Network Computer). MMNC 采用服务器进行信息存储和管理、客户端进行任务计算与用户交互的计算模式. 它通过 MRBP 协议为用户提供系统定制, 并通过虚拟交换与调度技术将服务器系统中的应用程序代码调用到客户机上执行, 实现了客户端的无操作系统化和按需定制程序加载, 具有很好的灵活性和扩展性, 而且具有成本低、安全性高等优点.

关键词: 网络计算机; 远程启动; 虚拟交换

中图分类号: TP368. 6 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 12A-2054-05

Manageable Multimedia Network Computer

ZHANG Yao-xue, PENG Yu-kun, ZHOU Yue-zhi, FANG Cun-hao

(Dept. of Computer Science & Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Based on Pervasive Computing, this paper proposes a Manageable Multimedia Network Computer——MMNC. MMNC adopts a new computing paradigm, information storing and management on server while computing and providing user interface on client. Through MRBP, MMNC provides user with customized system. By virtual swap and scheduling, MMNC can download program code of application from server and execute, thus realizes none OS on client and program loading on demand. MMNC has great flexibility and extensibility, with low cost and high-level security also realized.

Key words: network computer; remote boot; virtual swap

1 引言

PC 机自问世以来, 得到了广泛应用. 据国际数据公司 (IDC) 的统计, 我国 2002 年的 PC 销售量已达到 1120 万台, 而且还在按每年 20% 以上的速度递增. 另一方面, 随着 PC 应用领域和数量的扩大, PC 系统变得越来越庞大, 维护和管理越来越复杂, 用户使用越来越不方便, 这使得 PC 及用 PC 构成的系统成本越来越高. 特别是 Internet 的出现, PC 的安全性问题也受到了严峻的挑战.

20 世纪 90 年代以来, 国内外一些大的计算机厂商纷纷推出了自己的解决方案^[1], 以研制低成本、高安全性的计算机. 1995 年, Oracle 和 Sun 等公司提出了网络计算机(NC)的概念, 制订了网络计算机标准 1(Network Computer Reference Profile 1)^[2]. Intel 和微软则于 1996 年提出了 NetPC^[3]的概念. 由于 NC 基于 Java 处理器, 只能运行 Java applet, 应用有限; 而 NetPC 只不过是 PC 的简化, 没有实质性的改变. 因此, 用 NC 取代 PC 的梦想一直未能实现. 解决上述问题的另一种尝试是以 Novell 公司提出的无盘工作站^[4]和微软的 WBT^[5,6]为代表的无盘站和终端系统. Novell 的无盘站侧重于共享文件系统, 没有进行系统级的整合; 而以 WBT 为代表的终端技术所有计算集中

在服务器上完成, 对服务器性能要求过高, 它们的推广应用也受到了很大限制.

本文介绍了一种基于普适计算的可管理的多媒体网络计算机 MMNC(Manageable Multimedia Network Computer). MMNC 不同于传统的 NC, 它采用服务器进行存储和管理、客户机进行计算和交互的计算模式. 在该计算模式下, 我们提出了一种新的多操作系统远程启动协议 MRBP 以及一种基于网络的虚拟交换和调度算法 VSSA. 用户可以根据应用需要选择自己的操作系统, 例如 Windows、Linux 等. VSSA 通过虚拟交换和调度技术为用户提供软件按需加载, 具有很好的灵活性和扩展性.

2 MMNC 的主要设计思想

普适计算(Pervasive Computing)正成为一种能够把数字化家电设备、通信设备、计算机设备等智能设备互连和融合起来进行无所不在计算的新网络计算模式. 普适计算模式把计算任务交给各种分布设备, 而服务器或控制系统只负责资源管理和存储. 基于这种思想, 我们提出和开发了一种基于普适计算的软件平台 SOPCA(Software Platform for Connected Appliances). 图 1 给出了该 SOPCA 的基本概念图. 如图 1 所示, SOPCA 可支持多种不同的通用或嵌入式操作系统. 同时, 它在上

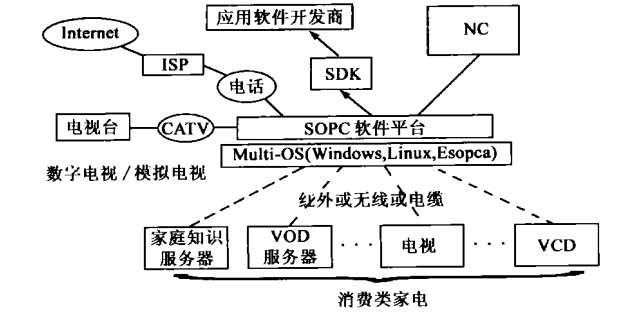


图 1 通用的网络计算软件平台 SOPCA

层通过 SDK 为应用程序提供安装或开发界面;在底层通过封装来屏蔽硬件的动态性和多样性,可以方便地支持包括电话、电视、计算机、smart device 在内的各种网络计算设备。SOPCA 平台也可支持网络计算机或相应的终端设备。这些设备可从 SOPCA 平台上获取自己所需的操作系统和应用,完成用户的计算任务。

本文介绍的 MMNC 就是基于 SOPCA 平台研制的。由于 MMNC 采用普适计算模式,其主要计算由客户机完成。服务器只需进行存储和管理,因此,对连接 MMNC 的服务器性能要求较低。采用一般市贩普通 PC 作为连接 MMNC 的服务器,以降低成本。由 MMNC 和 PC 服务器构成的网络应用系统如图 2 所示,PC 服务器以及多个 MMNC 通过 100M 以太网互联。服务器在通用操作系统之上运行有 SOPCA 软件平台,基于该平台,启动服务和应用服务分别为用户提供相应服务。客户端没有操作系统,MMNC 启动后,通过 SOPCA Boot Agent 与服务器上的启动服务交互,从服务器上下载操作系统镜像进行加载,进而在 MMNC 上构建 SOPCA 软件平台,随后根据计算需要,通过 SOPCA 支撑平台按需加载各种应用软件,进行计算。服务器上的应用服务可以为 MMNC 提供基于 Windows 系统、Linux 系统和 Java 虚拟机的各类应用。

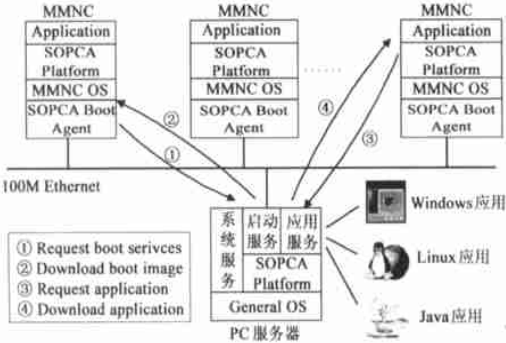


图 2 MMNC 网络应用系统

3 MMNC 系统的软件构成

MMNC 系统的软件设计如下。首先,在功能上,为了达到普适计算的要求,在 MMNC 上不应安装操作系统和运行在操作系统之上的各类支持工具与应用程序。这些操作系统、工具 and 应用程序均存放在服务器上,并在 MMNC 端用户需要时按需调入执行。为了做到按需调用,必须有从 MMNC 端支持操

作系统启动和调用的协议以及在执行过程通过网络进行页面交换和调度的相应管理算法。我们提出和开发了支持多操作系统远程启动协议 MRBP^[7]及虚拟交换与调度算法来实现图 2 所示的计算模式。

3.1 支持多操作系统的远程启动技术 MRBP

MRBP 协议基于客户/服务器模型,分为服务器和客户端两部分。服务器指提供远程启动服务的 PC 机,而客户端指需要远程启动的 MMNC。MMNC 中,MRBP 在启动代理(Boot Agent)中实现,启动代理主要由四部分组成:网卡驱动及相关协议;扩展的 DHCP 客户端代码;ATPT 客户端代码;OS 加载器。

- ④ 网卡驱动以及相关协议:为远程启动提供通讯支持。
- ④ 扩展的 DHCP 客户端代码:MMNC 客户端利用 DHCP 协议来获得本机的网络标识。为了防止网络上多个 DHCP 服务器对 MMNC 的影响,MMNC 对 DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)进行了扩展,增加了防止干扰的鉴别选项。同时,也增加了对多播(Multicast)支持的扩展选项。

④ APTT 客户端代码:为了保证安全性,APTP(Active Program Transfer Protocol)采用基于 MD5^[8]单向哈希函数做摘要的方法来命名程序,能够保证程序被正确地传送到客户端,并能防止程序在传输过程中被恶意篡改。APTP 支持多播方式,能够以多播方式传送数据,从而大大减少并发启动时对网络带宽的冲击。

④ OS 加载器:MRBP 获得系统镜像后释放控制权,OS 加载器负责加载,并将控制权交给操作系统。此外,服务器可为用户提供多种操作系统进行选择加载,为支持该功能,我们定义了一个脚本解释执行语言 MBatch(MenuBatch)。MRBP 通过对脚本的解释,可以和用户进行交互,根据用户需要利用 APTT 协议下载执行不同的操作系统镜像。

为实现 MRBP,首先在 MMNC 的计算机主板上或网卡上设置一个只读存储器(ROM)或可擦写可编程只读存储器(EPROM),将启动代理烧写到只读存储器中,MRBP 启动的详细步骤如下(图 3):(1)MMNC 开机加电自检,即进行完系统初始化后,跳转到只读存储器中 MRBP 启动代理处,将系统控制权交给启动代理;(2)启动代理加载运行 MRBP,MRBP 首先加载网卡驱动以及相关协议,为后续工作做好准备;(3)MRBP 使用动态主机配置扩展协议(扩展的 DHCP)与服务器交互,获得客户端计算机的标识;(4)MRBP 通过 APTT 从服务器上下载脚本语言解释执行程序并加载执行,形成一个临时类似操作系统的运行环境(Pre-OS),在该环境下,客户端和服务

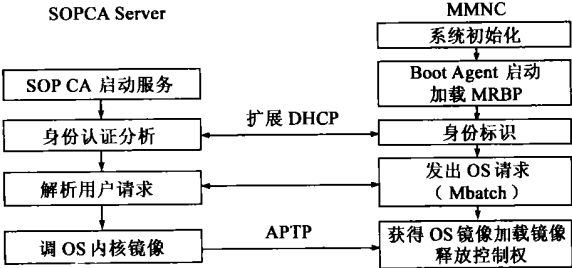


图 3 MRBP 工作流程

通过 MBatch 解释语言进行交互, 服务器给出其所提供的操作系统镜像目录, 客户端根据计算需求和自身硬件条件, 选择需要加载的操作系统; (5) 客户端再利用 APTP 从服务器上下载操作系统的内核镜像, 由 OS 加载器加载, 并将系统的控制权交给新操作系统。

至此, MRBP 启动过程全部结束。

3.2 虚拟交换与调度算法 VSSA

基于 SOPCA 软件平台支持, 服务器为多台 MMNC 提供服务, MMNC 的程序调用过程与 PC 机显著不同(如图 4): 在 PC 中, 一个新的应用程序开始执行时, 操作系统内核为其创建进程, 同时在物理内存中为该进程分配相应的进程空间, 存放该进程的数据和指令。进程执行过程中, 若所需的数据或指令页面不在物理内存中, 调用缺页中断, 首先查询缓存区, 若所需页面在缓存区 (swap) 中, 将其调入物理内存进行处理; 若不在, 则通过磁盘 I/O 从硬盘读取; 而在 MMNC 中, 客户端本地没有硬盘, 应用和数据都存储在服务器上, 并通过一定的映射关系指明存储位置。当发生缺页中断时, MMNC 内核根据映射关系, 通过网络向服务器发出请求, 服务器端运行于 SOPCA 软件平台上的应用服务接收到请求, 按照一定的策略进行调度, 从缓存区或者服务器硬盘中取得用户进程所需的数据, 对用户请求做出应答。这种数据不在本地, 通过网络映射远程存取, 我们称之为虚拟交换与调度算法 VSSA (Virtual Swap and Scheduling Algorithm)。

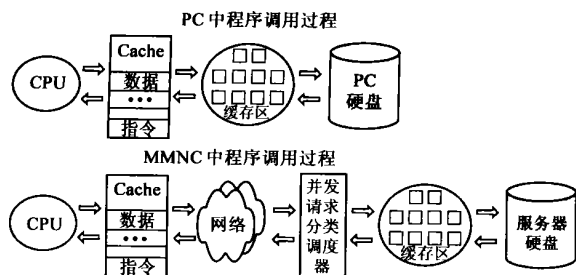


图 4 虚拟交换与调度过程

⑧ 基于虚拟交换的软件版本单机化

基于虚拟交换, MMNC 实现了软件版本单机化。流行的 NC 系统使用网络版软件, 在 NC 服务器上运行软件的 server 程序, 在 NC 上运行软件的 client 端, client 端进行简单的人机交互, 计算任务提交给 server 程序处理。这种网络版软件由于计算集中在服务器上, 因而对客户端的数目有很大的限制, 且价格昂贵; 与之相对, MMNC 系统采用单机版软件, 基于虚拟交换, 单机版软件在服务器的硬盘或缓存区中存有一份拷贝, 当客户端运行该软件时, 多个 MMNC 通过内存映射 (mmap), 将多个进程的数据段和代码段同时映射到服务器的同一拷贝上。在服务器逻辑视图中, 一份拷贝多用户共享, 而在 MMNC 用户逻辑视图中, 则是每个用户都独占该拷贝。

虚拟交换采用单拷贝多用户共享策略, 共享数据为只读时, 如程序的代码段, 不存在共享冲突; 但在共享数据为可写时, 特别是多用户并发写同一共享数据块时, 不可避免要遇到数据共享问题。这里采用写拷贝 (write copy) 技术, 在 MMNC 进

程与服务器上的拷贝进行内存映射时, 都采用只读模式, 这样多用户并发写的问题就不会发生。当 MMNC 用户进程需要对服务器上拷贝的某一数据块进行写操作的时候, 用户进程就在 MMNC 自己的物理内存中分配一块新的物理空间, 将服务器上的映射数据拷贝到该物理空间, 改变进程存储映射关系, 断开进程中对应逻辑页面与服务器上拷贝间的映射, 将逻辑页面映射到新创建的本地拷贝上, 这样, 对服务器上共享数据的写操作就转化成了对客户本地独占拷贝的写操作。从而从根本上解决了 MMNC 服务器数据共享的问题。

⑨ 虚拟交换的 Cache 及调度策略

在 MMNC 系统中, 服务器的功能主要是提供存储服务。在虚拟交换模式下, 软件在服务器上只有一个拷贝, 多个客户端通过共享方式来访问存放在服务器上的程序。大量的并发数据请求, 使得服务器的数据请求处理能力成为系统性能的关键。为优化系统性能, 我们采用了以下两种方法: 第一个是采用 cache 进行缓存; 第二个是采用优先级请求排队算法来处理来自客户机的请求。

Cache 缓存分为服务器和客户端两个部分。服务器端在内存中开辟一块缓存区域 (该缓存区域根据服务器内存的大小不同而不同, 一般应在 256M 以上), 并利用合适的缓存算法来缓存客户机所请求的内容, 其缓存的重点在于应用程序, 这样在并发访问数据时可大大减少磁盘读写操作; 在客户端, 同样可根据实际情况开辟一块缓存, 其缓存的内容侧重于常用的系统调用, 即系统动态库, 在应用运行时减少因系统调用而产生的缺页请求。两者相结合, 在实际中的效果非常明显。

基于虚拟交换, 服务器上的应用服务为多个客户端提供服务, 当客户端数目较多时, 大量请求并发到达, 如果采用先来先服务的处理策略, 可能使某些对响应时间要求较严格的请求被大量的一般请求所阻塞, 导致超时。为避免这种情况, 我们将客户端的进程信息与数据请求相结合, 根据请求所处的进程运行阶段 (加载阶段或运行阶段), 请求数据的类型 (实时的媒体流数据或是一般数据), 将请求进行分类, 赋予不同的优先级。在服务器端, 应用服务将到达的数据请求按类型加入不同优先级的等待队列, 基于优先级和公平性两方面考虑, 采用基于优先级的周期性调度策略进行调度。

数据请求分为以下 4 类:

(1) 实时文件请求: 通常为音频、视频类文件请求。这类请求要求最小的延迟、最小的抖动以及固定的带宽保证, 用符号 t_0 表示;

(2) 应用加载阶段文件请求: 这类请求的生成和发送具有突发性和一定的连续性, 也要求最小的延迟, 优先级比音频视频类文件请求稍低, 用符号 t_1 表示;

(3) 一般文件请求: 包括对系统文件和数据文件的请求。这类请求具有突发数据特性, 且允许一定程度的数据传送延迟, 用符号 t_2 表示;

(4) 预操作文件请求: 为提高系统 I/O 性能, 可通过对文件历史访问信息的分析, 预测未来的请求进行 I/O 预处理。这类请求无延迟要求, 且不要求一定被处理, 在系统空闲时进行处理, 若系统繁忙, 在一定期限内未得到处理则丢弃, 用符号

t_3 表示。

VSSA 采用周期性调度策略, 选用一个恰当长度的时间段 T (可根据 MMNC 系统的实际应用情况和服务器的性能进行配置) 作为循环周期, 每个周期分为四个时间段: 处理实时文件请求的时间段 T_{rt} 、处理加载文件请求的时间段 T_{load} 、处理一般数据请求的时间段 T_{data} 和处理预操作文件请求的时间段 T_{pre} , 各时间段内时间片优先用于处理对应类型的请求。下一个调度请求的选取算法如下:

Algorithm Begin

Step1. 基于处理周期时间片配额调度

```
if  $t_0$  等待队列非空, 且  $T_{rt}$  有剩余时间片, 选取  $t_0$  头部请求, break
else if  $t_1$  等待队列非空, 且  $T_{load}$  有剩余时间片, 选取  $t_1$  头部请求, break
else if  $t_2$  等待队列非空, 且  $T_{data}$  有剩余时间片, 选取  $t_2$  头部请求, break
else goto Step2
```

Step2. 基于优先级调度

```
if  $t_0$  等待队列非空, 选取  $t_0$  头部请求, break
else if  $t_1$  等待队列非空, 选取  $t_1$  头部请求, break
else if  $t_2$  等待队列非空, 选取  $t_2$  头部请求, break
else goto Step3
```

Step3. 选取预操作队列请求

```
if  $t_3$  等待队列非空, 选取  $t_3$  头部请求
```

End

处理所选取的请求。

3.3 MMNC 集中式管理

MMNC 采用家电化设计理念, 将客户端的维护操作减少至最低点。在 MMNC 中, 所有的系统维护和管理都集中在服务器上, MMNC 客户端无需进行任何维护, 真正实现了客户端即插即用和零管理, 这样就大大减少了总体拥有成本。

MMNC 集中式管理分为系统管理和用户管理两方面:

⑧ 系统管理

首先, MMNC 所使用的操作系统是经过定制的, 一方面裁减冗余功能, 精简系统, 以提高性能; 另一方面禁掉系统攻击时常用到的一些协议 (如 ICMP、SNMP 等) 和系统相关服务, 以增强系统安全。其次, 通过服务器工具套件和 SOPCA 平台, 管理员可以对 MMNC 的系统 and 用户进行集中管理和控制, 方便地实现软件安装、升级和系统维护。此外, MMNC 本地不存储任何数据, 其操作系统、应用程序 (系统数据) 以及计算结果 (用户数据) 都存储在服务器上。为保障系统的安全和稳定, 我们将服务器上的系统数据区和用户数据区进行隔离, 系统数据区对用户都是只读的, 客户无权对系统数据区的数据进行修改。

⑧ 用户管理

用户管理主要是基于用户信息数据库来进行的。MMNC 用户管理包括用户的增删、磁盘配额管理、用户权限管理。所有用户的数据集中存放在服务器上, 由服务器统一进行访问控制。系统根据用户角色及计算需求的不同将用户分组, 如管理员组、办公用户组、娱乐用户组, 各组都具有自己的用户和

管理员。管理员可针对用户的不同角色和身份, 赋予其不同的软件运行权限和用户数据区访问权限。用户数据区分为公有数据区和私有数据区, 公有数据区为所有用户共享, 私有数据区存放用户的私人信息。各组分别享有自己的共享数据区, 组内用户又拥有自己的个人私有数据区。各个数据区根据用户角色和身份进行逻辑隔离, 用户按严格的权限限制对相应数据区进行访问。管理员还可根据实际需要, 设置工作组或单个用户对特定数据的访问权限。

4 硬件设计

MMNC 的硬件设计采用低功耗一体化设计, 具体来说就是在在一块主板上集成所有部件, 这样就大大减少了功耗。MMNC 采用 VIA Eden ESP 5000 芯片。这是一款 X86 体系架构的嵌入式系统平台 CPU。它包括了低功耗、高效能的威盛第六代处理器核心, 高整合度的 VIA Apollo PLE133/ProSavage PN133T 北桥芯片以及外围支持规格齐备的 VT8231 南桥芯片。基本的 Eden 平台已内建 AGP 2X/4X 的 3D 绘图加速核心、输入输出控制、网络支持以及多媒体音效功能, 还可根据市场需求, 弹性选择搭配威盛的多款外围芯片产品, 进一步增加 IEEE 1394、USB 2.0、TV-Out、高速网络连接等先进的应用能力。整体平台的耗电量仅有六瓦特左右, 是现阶段市场上最省电的 X86 嵌入式系统解决方案。而领先市场的低发热量芯片特色, 更使 Eden 平台无需风扇散热便能稳定运作, 成为强调超长电池寿命与精简外型之可携式信息应用市场理想的解决方案。

MMNC 电脑的硬件体系结构如图 5 所示: MMNC 硬件平台所采用的高效处理器核心, 采用原生的 X86 指令集架构, 内建 192KB 全速的 L1/L2 高速缓存, 并支持 MMX XP、Windows 9x、Embedded Windows 等多媒体指令集。Eden 完全兼容微软的 3Dnow! Windows、Windows CE 以及 Linux 等操作系统, 可为使用者提供丰富的主流应用软件支持与 Internet 计算性能, 以及 AGP2X/4X 与 3D 加速等完整的多媒体技术支持, 更丰富了 Eden 平台在家用与娱乐市场的竞争力。

其北桥部分可采用 VIA Apollo PLE133 或者 VIA ProSavage

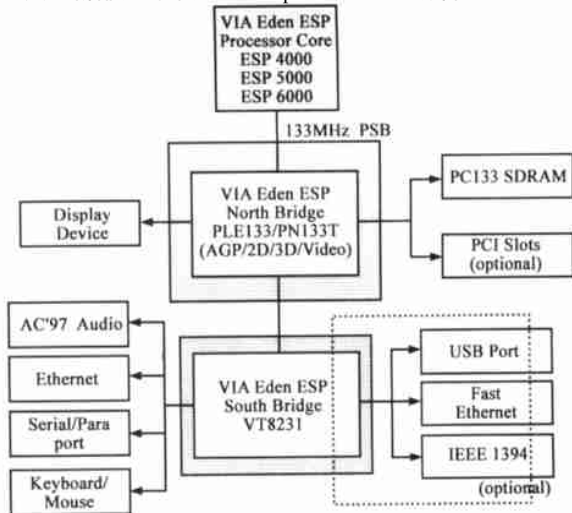


图 5 MMNC 硬件体系结构

PN133T, 均整合了 AGP 2X/4X 界面以及 3D/2D 图形加速器。

南桥为 VT8231, 具备整合的网络、Super I/O、音频功能, 同时还可以方便地连接低成本的 IEEE1394、USB 2.0、TV-Out、Ethernet PHY 等周边芯片。

MMNC 在设计时, 注意了高度的整合性, 使得设计非常有弹性。有些特别的应用, 运算速度以及实时运算不能满足时, 可以通过增加协处理模块来解决。

MMNC 硬件的主要技术特点如下:

(1) 用最低的价格提供尽可能高的性能, 整合 X86 处理器核心, 电压低于 1.05V。

(2) 整机功耗 $\ll 15W$; 世界上最小的 X86 处理器核心; 整合 192KB L1/L2 Cache; 支持 MMX 和 3DNow!; 采用 0.13 和 0.15 微米制程。

(3) 北桥功能: 高级内存控制器, 支持 PC133 SDRAM; 整合低功耗 AGP 2X/4X 图形处理器, 支持 CRT/TFT/DSTN。

(4) 南桥功能: AC97 音频; USB 1.1; Super I/O; 支持 ATA-33/66/100; 整合 10/100 Mbps Ethernet; 整合 AC 97 Fax/Modem

另外还提供: Ethernet MAC & PHY; TV-Out; IEEE 1394; USB 2.0; Audio CODEC; DVD; 3D。

5 MMNC 应用实例

为检验 MMNC 性能, 我们搭建了测试平台(图 6): 30 台 MMNC 和 PC 服务器通过百兆以太网交换机互连, 并通过路由器联接到 Internet。服务器配置为 P4 1.8G CPU、512M DDR 内存、100M Intel 以太网卡, MMNC 配置为 C3 466 处理器、128M SDRAM、10M/100M 自适应 realtek 以太网卡。服务器可支持 Win98、RedFlag 4.0 两套系统, 支持软件包括媒体播放、办公、上网、多媒体教学、股票交易等多种应用。

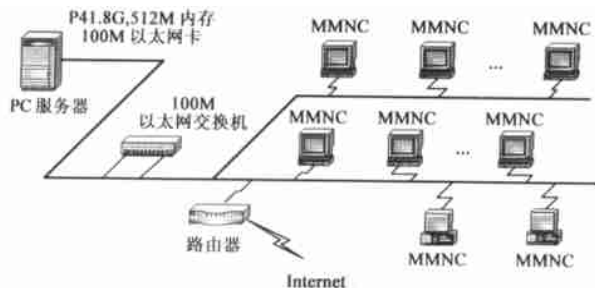


图 6 MMNC 运行环境拓扑结构

测试结果如下:

系统启动: MMNC 单机启动 Win98 时间为 1 分 10 秒 50, 30 台并发启动时间为 2 分 21 秒 43;

软件加载: 以 Microsoft Office 的 Word 为例, 第一个 MMNC 客户端加载时间为 3 秒 11, 加载完毕后, 第二个 MMNC 客户端加载时间仅为 1 秒 26, 30 台 MMNC 客户端并发运行 Word, 最长加载时间为 11 秒 50。

响应时间: 教学节目点播延迟时间小于 10 秒, 数据流控制响应时间小于 2 秒;

并发用户数: 30 台 MMNC 进行视频播放时, 系统工作正常;

可见, MMNC 系统具有良好的性能。尤其是并发软件加载时, 基于虚拟交换技术, 当服务器缓存中已有该软件的拷贝, 后续加载时间可大大降低。

6 结论

MMNC 是一种新模式的网络计算机, 价格便宜, 免维护, 可大大降低总体拥有成本。MMNC 在继承现有网络计算机优点的同时, 又针对现有网络计算机的缺陷进行了改进: 通过虚拟交换技术和软件版本单机化, MMNC 解决了现有网络计算机应用的缺点; 通过本地计算, MMNC 克服了现有网络计算机过度依赖服务器的根本缺陷, 可对媒体播放等大计算量应用提供有效支持。MMNC 无论从应用的范围还是系统的性能, 都远远地超过了现有网络计算机, 具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] M Revett, I Boyd, C Stephens. Network computing: a tutorial review [J]. Electronics & Communication Engineering Journal, 2001, 13(1): 5-15.
- [2] Apple, IBM, Netscape, Oracle, Sun. Network computer reference profile [S/OL]. <http://www.sun.com/smi/Press/sunflash/mncs-profile.html>, 1996.
- [3] Microsoft, Intel Corporation. Microsoft and Intel Launch NetPC with Industry Leaders [Z]. <http://www.microsoft.com/presspass/press/1996/Oct96/NETPCpr.asp>, 1996-10.
- [4] [http://www.novell.com/\[Z/OL\]](http://www.novell.com/[Z/OL]).
- [5] Wyse Technology Inc, Compaq Computer Corporation. Windows-Based Terminals, PCs, and NetPCs [Z]. <http://www.dpi.net/PC/thin-clients/articles/TechDocs/whitepaper.PDF>, 1999-02.
- [6] Wyse Technology Inc. Thin Clients, Windows-Based Terminal, NCs [Z]. http://www.wyse.com/overview/white_papers/whatdif.pdf, 1998-03.
- [7] 周悦芝, 张尧学. 一种用于网络计算的订定制启动协议 [J]. 软件学报, 2003, 14(3): 538-546.
- [8] R Rivest. RFC 1321, The MD5 Message-Digest Algorithm [S]. April 1992.

作者简介:



张尧学 男, 1956 年生于湖南常德, 清华大学计算机系教授, 博士生导师, 主要研究领域为网络计算, 计算机网络互连。

彭玉坤 男, 1974 年生于湖北十堰, 清华大学计算机系博士生, 主要研究领域为网络计算, 家庭网络, 操作系统。

周悦芝 男, 1975 年生于湖南衡阳, 清华大学计算机系博士生, 主要研究领域为网络计算, 家庭网络, 主动网。