

透明计算:概念、结构和示例

张尧学

(清华大学计算机系,北京 100084)

摘 要: 本文提出一种新的普适计算模式:透明计算.它的硬件环境由客户机/服务器构成.其中客户机可以是可按透明计算模式设计的台式机、PDA、数字家电等各种固定的或移动的计算设备;服务器可以是普通 PC 机或其他带有存储装置的普通电脑.透明计算中的客户机上没有操作系统及运行于其上的支持工具与应用程序,这些资源都存储于服务器中,由客户机在执行时从服务器上动态调入.用户可以通过客户机和网络,从服务器中任意选择可在客户机上运行的操作系统和应用程序,从而提高系统的安全性、降低管理的复杂性、提高软件的共享程度和降低成本.本文介绍透明计算的概念、体系结构和一种基于透明计算的系统示例——可管理多媒体网络计算机 MMNC(Manageable Multimedia Network Computer)系统.MMNC 已被成功应用并商业化,证明了透明计算的可行性和有效性.

关键词: 透明计算; 计算机网络; 客户机/服务器

中图分类号: TP301 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2004)12A-169-06

Transparence Computing: Concept, Architecture and Example

ZHANG Yao-xue

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This paper proposes a new pervasive computing paradigm: transparence computing. The hardware environment of this paradigm still consists of clients and servers. However, the clients should be computing devices designed with the transparence computing paradigm. These devices can be desktop or mobile one, such as PDA or mobile phone. The server of this paradigm is a machine with a hard disk, including a general PC. In transparence computing paradigm, no OS, middleware and any application program are installed in the clients, they are loaded from the server through network dynamically when users want to run them in a client. Users can choose any OS and application programs running on it, which has been installed in the server and can be run by the clients. Transparence computing paradigm can improve the security of the information systems, reduce the complexity of the managements, improve the sharing of software and reduce the costs of hardware and software of information systems greatly. This paper introduces the concept and architecture of the transparence computing paradigm. Moreover, we also give an application example of this paradigm. This example is Manageable Multimedia Network Computer (MMNC), which has been developed and commercialized. MMNC system can show the transparence computing is feasible and effective.

Key words: transparence computing; computer network; client/server

1 引言

自世界上第一台计算机 ENIAC 出现以来,计算技术的发展经历了由大型机为主的主机计算到桌面机为主的网络计算阶段.当前,以桌面机为主的网络计算又正朝着包括各种移动设备(例如手机、笔记本电脑、PDA 等)和数字家电在内的无所不在的网络计算,也就是普适计算方向发展.普适计算是一种在任何时间和地点都可以为人们提供网络连接和计算的新模式,自 20 世纪末被提出以来,一直是国际学术界和产业界研究的热点^[1,2].

但是,迄今为止的普适计算以及在普适计算之前的网络计算等计算模式都是基于如下的重要事实进行讨论和研究的:无论何种计算机,必须从一开始就要为它研制和安装相应的操作系统、支撑工具和应用软件,否则,该机器就不能进行相应的应用计算或运转相应的软件系统.这造成了现在的对

PC 机指标(例如内存、硬盘、CPU 频率和速度等)要求越来越高、软件操作系统越来越复杂和庞大的局面.那些只能安装小型嵌入式操作系统的移动设备(如 PDA、手机等)以及数字家电设备(如 ISDN 电话等)虽然能够运转较小的软件,但它们却面临着很难和通用的计算机网络系统,例如 Internet 进行互连和互通的问题.硬件系统和软件系统的一一对应关系以及硬件系统的不断升级使得软件系统越来越复杂,用户的使用和维护成本越来越高.同时,不断淘汰的旧的电脑设备又形成许多新的垃圾和造成新的环境污染.

本文提出透明计算的新计算模式.这种模式由服务器和客户机组成,在硬件系统上与传统的客户机/服务器相似.所不同的是,在透明计算模式中,其客户机可以是多种不同的终端设备,例如台式 PC 机、网络计算机 NC、PDA 等.透明计算模式的硬件环境如图 1 所示.

与传统客户机/服务器等计算模式的另一个重要不同是,

收稿日期:2004-10-30;修回日期:2004-11-26

在其他任何计算模式中,每个不同的计算设备都与一个特定的操作系统对应,这不仅是硬件设备的底层接口和操作系统内核匹配的需要,也是迄今为止的传统模式;透明计算则使得用户

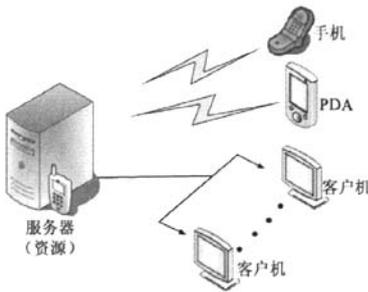


图 1 透明计算的计算环境

可以透过一个设备去选择和使用用户需要和喜欢的多个操作系统和应用程序,而且,这些操作系统和应用程序都不是固定在该设备中,而是透过各种通信网络从存储有这些操作系统、工具和应用程序等的服务器中下载得到。只要设备的硬件接口是支持这些操作系统的,用户就可根据需要动态下载和动态安装这些操作系统、工具和应用程序等,并覆盖客户机中已有的系统和程序,从而大量节省客户机的存储空间和计算时间。

透明计算的另一个长处是,它的服务器只用于各种资源的存储,而不从事应用计算。这减少了服务器的负载,提高了用户的响应速度。

形象地说,透明计算模式就像电视发送和接收系统。其中,服务器就像电视系统中的电视台,负责制作和发射节目,而客户机则像用户使用的电视接收机,用户可以通过遥控机选择接收不同频道的电视节目而不必关心这些节目从何而来,或什么人制作。

下面,我们进一步介绍透明计算的概念,实现透明计算的系统结构和相关示例。

2 透明计算的概念

什么是透明计算?本文定义透明计算是一种用户无需感知计算机操作系统、支撑工具以及应用程序的所在,并能根据自己的需求,从所使用的各种设备(包括固定和移动以及家庭的各类设备)中找到相关计算服务,而这些服务又是存储于位于分布式网络的服务器中的计算模式。用户使用的设备(统称为客户机)与服务器之间的连接依靠内部的通信协议完成。

透明计算有下述 4 个特点:

(1)客户机上不预置任何操作系统、支撑工具或应用程序。用户透过客户机所提供的界面提交所需要的计算或服务之后,客户机上预置的通信协议和任务管理程序将自动地从服务器上下载所需要的系统、工具和应用程序到客户机环境下执行。

(2)用户可以在客户机上选择任何可在客户机硬件上运转的操作系统,及其上的工具和应用程序,且不必对应用程序进行任何本质上的改动,从而保证应用程序的可操作性和兼容性。例如,用户可在同一客户机上选择 Windows98、Windows2000、WindowsXP 等 Windows 系列的操作系统及其应用程序,如 Photoshop、PowerPoint、IE 等;也可选择 Linux 系列的各

操作系统和其上的应用程序,只要与客户机连接的服务器中预置有这样的操作系统和应用程序。

(3)所有的应用计算都在客户机端完成,而不是在服务器端。在透明计算模式中,服务器端的作用就像制造厂里存放零部件的仓库及其管理系统。服务器负责响应来自于客户机端的请求,并把客户机端所需要的系统、工具和应用程序动态地交换传输给客户机端。客户机的作用则相当于制造工厂中的生产车间,它负责执行应用程序,并为用户提供所需要的服务。服务器相当于它所连接的客户机的巨大的虚拟存储系统,服务器中存储的操作系统、支持工具和应用程序越多,则用户可选择的计算服务就越多。

(4)透明计算的第 4 个特点是用户可以任意选择在客户机硬件平台上运行的多个操作系统及其上的应用。这改变了传统的软件厂商用一个操作系统去适应不同硬件设备的状况,从而使得用户可在一个端系统设备上任意选择操作系统机器上运行的各种软件。传统计算模式和透明计算模式中操作系统与客户机硬件的关系分别如图 2 与图 3 所示。



图 2 传统计算模式中用一个操作系统去适应不同的硬件设备

图 3 透明计算中一个设备对应多个操作系统

透明计算模式与传统的客户机/服务器模式的区别可用图 4 简单描述。

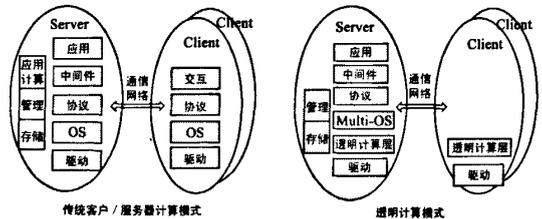


图 4 透明计算模式与传统客户机/服务器计算模式比较

如图 4 所示,传统客户机/服务器计算模式中,无论是服务器端还是客户端都有自己的操作系统,而且,它们的应用计算也主要是在服务器端完成。传统客户/服务器计算模式中的服务器要完成存储、客户端请求以及系统等的管理和应用计算等任务,而该计算模式中的客户机要主要完成和服务器交互,提交用户计算任务与显示计算结果,以及进行网络通信等任务。传统客户机/服务器计算模式一般采用三层结构来实现。由于服务器要完成和管理来自于所有与该服务器连接的用户计算,因此,一般要求服务器具强大的软硬件功能,这就是所谓的瘦客户机/胖服务器。

透明计算模式中的服务不再负责用户请求的应用计算工作,它只进行数据和程序等信息资源的存储和管理。同时,它

根据用户的调用请求,把用户所需要的操作系统、支持工具和应用程序中需要执行的部分按给定的页面长度传输到客户机的内存中执行.因此,我们在透明计算模式中增加了透明计算层,负责相应客户机来的用户请求,管理、调度和传输用户请求所需要的各种资源.由于服务器不再完成用户应用计算工作,因此,透明计算不需要软硬件功能都非常强大的服务器,相反,它只需要功能较小的瘦服务器.另外透明计算模式中的客户机上没有操作系统及其上的支持工具和应用程序,它只是由用于通信传输的相关硬件驱动程序和用于服务器端透明计算层进行交互的透明计算实体.客户机的透明计算层完成对服务器端的资源请求和调用,包括请求不同的操作系统资源和应用程序、管理它们的执行过程以及往服务器中回送应用程序执行结果等.由于透明计算的客户机不需要硬盘等存储器,且由于在执行时不用考虑由庞大的操作系统以及相关支持工具等带来的巨大边效应,因此,客户机可以设计成对硬件要求很低的系统,从而成为瘦客户机/瘦服务器型.

3 透明计算的体系结构

图 5 给出了透明计算的体系结构.

如图 5 所示,透明计算中的服务器端和客户机端的功能层次是不对称的.这就是因为所有的应用计算和各种操作系统与支持工具都在服务器端的缘故.

下面解释透明计算体系中各层的基本功能.

(1)物理驱动层

物理驱动层提供服务器和客户机之间的网络连接,它由相应的硬件驱动卡和驱动程序,以及其上的网络连接程序组成.例如,以太网、包括高速以太网、无线以太网 802.11 等就是在局域网上构成透明计算的物理驱动层.除了以太网之外,IEEE1394、红外、蓝牙、有线电视网等都用作透明计算的物理驱动层.透明计算的物理驱动层对应于无所不在的通信,从而使得透明计算模式可用于各种有线、无线和移动环境.由于使用通用的通信网络来支持透明计算,因此,透明计算模式下可以容易地和 Internet、电视网等连接.

(2)透明计算层

透明计算层是透明计算的核心,它包括以下几个部分:多操作系统启动连接协议,应用程序调度与管理模块,用户请求管理模块、用户管理模块、服务器资源管理模块等.

多操作系统启动协议 MRBP (Multi-OS Remote Booting Protocol)

多操作系统启动协议完成启动客户机,并从服务器下载用户所需操作系统内核镜像的功能.

在透明计算模式中,客户机上没有预置操作系统代码,它没有存储操作系统代码的存储装置.客户机透过使用 MRBP

协议从服务器中下载一个可在客户机上运行的操作系统镜像.在客户机上运行的操作系统具有如下特点:首先,它是动态的,即一旦客户机断电或用户退出,则该操作系统在客户机上不复存在.其次,在客户机上运行的只是操作系统的—个镜像而不是整个操作系统.这使得客户机不需要有大的存储器(例如硬盘)去存储整个操作系统.

多操作系统启动协议 MRBP 的一个示例如图 6 所示.

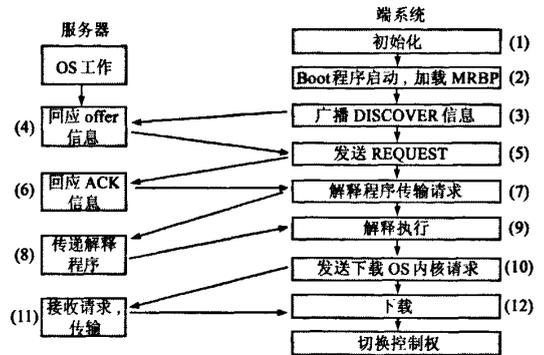


图 6 多操作系统启动协议 MRBP 示例

在图 6 中,客户机的 MRBP 可以分为两大部分,即启动客户机和下载操作系统内核镜像部分以及切换系统控制权,把客户机的控制权交给下载的操作系统的内核部分.服务器则只需回应来自于客户机的请求,并把客户机选定的操作系统镜像按客户机的地址回送给客户机.

应用程序调度与管理

除了没有操作系统之外,客户机上也没有任何应用程序和支持工具.用于需要的任何计算服务都由客户机通过网络从服务器上调用相关程序来执行得到.然而,由于用于的应用繁多、客户机中又没有大的存储器存储应用程序,因此我们仍需使用动态执行和请求调用的方法从服务器的存储器中动态调用那些在客户机执行时所需要的程序.这就需要把原来操作系统中的缺页调度或交换技术扩展到客户机/服务器环境下,我们把这种从服务器中动态调用相关程序的技术称为虚拟网络交换与调度技术 VNSS (Virtual Network Switch and Schedule). VNSS 的基本概念模型如图 7 所示.

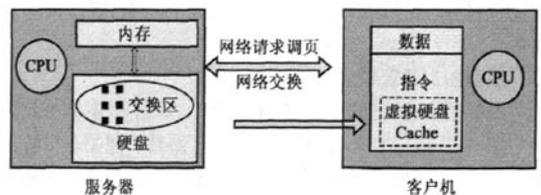


图 7 虚拟网络交换与调度概念示意

用户请求管理

由于服务器不再进行用户应用计算,而客户机上没有任何系统或应用信息,因此,服务器必须管理和处理所有来自于不同客户机的用户请求,并要在考虑用于请求的性质(例如多媒体实时响应或数据传输响应等)基础上,在用户可以接受的时间内响应,分类排队方法和根据优先级的调度方法可用于

服务器端用户请求的 I/O 管理. 图 8 给出了一种用户请求队列的分类方法.

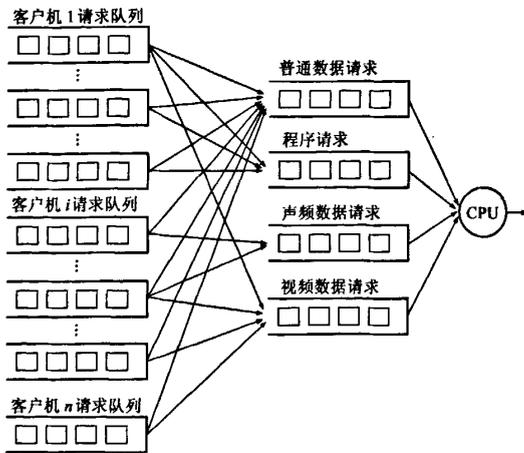


图 8 一种用于透明计算的 I/O 请求队列

如图 8 所示,我们把客户机来的 I/O 请求划分为两段队列进行排列.第一级队列按客户机的序号和地址进行排列,便于服务器对每个用户的 I/O 请求进行记录管理.第一级队列中的每个事件按请求的时间先后顺序进行排队.第二级队列则按 I/O 请求的事件类型排队.我们把事件类型分为程序类、普通数据类、音频数据类和视频数据类等四类.每类事件都按给定的优先级进行管理.而且,由于客户机的 I/O 请求所要求的是程序和数据的镜像,因此,对于不同客户机来的对同一数据区或程序区的请求,我们还可以将这些请求进行合并后由服务器按广播方式进行处理,以减少处理时间和提高响应速度.

用户管理

由于透明计算采用服务器管理所有用户信息资源的方式,用户在客户机上没有自己的存储空间,用于除了要从服务器上请求包括操作系统、支持工具和应用程序等在内的各种计算资源之后,其执行结果也要通过网络存储到服务器的硬盘中去.因此,透明计算必须包括一个较完备的用户管理模块.用户管理模块应包括以下功能:用户注册、用户存储区的分配,用户内部地址分配、用户安全、用户使用过程记录与计费.

服务器资源管理

服务器资源管理解决服务器中资源访问的效率和有效存储问题.由于连接服务器的客户机较多,而且访问类型比较复杂,在传统客户机/服务器模式中一般采用加大服务器的硬件性能或用代理服务器等方法解决.在透明计算模式中,尽管服务器不为用户应用进行计算,但响应用户请求和管理用户资源仍需要耗去较多的时间.而且,服务器在为存取磁盘数据时也要花去较多的处理时间.再者,由于用户数据量可能较大,服务器为面临着一个如何增加存储容量的问题.我们也可用并行计算技术来解决这一问题.

4 基于透明计算的模式的多媒体网络计算机 MMNC

4.1 MMNC 的系统构成

基于透明计算模式,研制了新的可管理多媒体网络计算机 MMNC 系统^[5,6].该系统由服务器和客户机以及连接它们两者的高速以太网构成,其中我们用两台普通的 P4 PC 机作为 MMNC 系统的服务器,分别预置 Linux 操作系统和 Windows2000/98 操作系统及其上的各种应用;客户机用 466MHz 威盛 CPU,与湘计算机、联想等公司联合设计研制而成.

基于透明计算模式的多媒体网络计算机 MMNC 的拓扑结构如图 9 所示

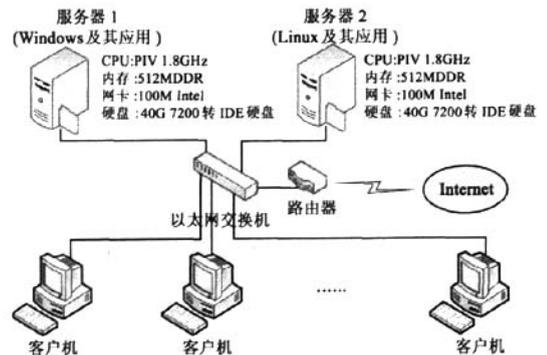


图 9 基于透明计算模式的可管理多媒体网络计算机的拓扑结构

图 9 所示系统中的客户机采用南北桥结构的整板设计,采用 VIA Cyrix III 466MHz (注:最新版已换成 Celeron 1.8 GHz),该芯片支持 X86 指令架构、支持多媒体指令和 Windows 和 Linux 等操作系统.同时,该系统的客户机还支持 MPEG1、MPEG4 等多媒体处理,2D/3D 图形加速器,IEEE 1394 数字家电网络,USB 接口,TV-Out 电视接口,FAX/Modem 接口,以及 RS232 串口与并口等.对于那些目前还不支持的外部接口,则只需对客户机的主板设计稍加修改就可完成.由于采用了同板整合设计以及减少了硬盘、风扇等部件,MMNC 客户机系统的成本价仅在 100 美元左右.

4.2 MMNC 系统的基本功能

我们在 MMNC 系统中成功应用了透明计算模式,并在服务器和端系统中设置了透明计算层,包括 MRBP 协议, VNSS 虚拟网络交换与调度算法、用户请求管理算法与用户管理算法以及服务器资源管理算法等.这使得 MMNC 系统在瘦客户机/瘦服务器时仍然具有强大的功能.

首先,该系统使用户可以根据需要挑选 Windows 或 Linux 操作系统和相应的应用软件,包括各种多媒体软件,例如 DVD 播放,卡拉 OK,Photoshop 数码照片,3D/2D CAD 设计,以及其他各种应用软件.表 1 是中国软件评测中心按 4.1 节所述配置构成 1 台服务器连接 28 台客户机时对系统的启动时间,功能等的测试报告.该报告显示的数据说明,MMNC 系统的操作系统和应用软件的启动时间大都在几秒以内,和普通 PC 的正常启动时间基本相同.而 MMNC 系统的硬件成本要低于具有相同功能的 PC 系统的 1/2^[3].

表 1 中国软件评测中心测试的部分数据结果

软件/操作系统	测试案例及说明	1 台	10 台	20 台	28 台	测试结果
登录操作系统						
Windows2000 Server	从登录界面到完全进入操作界面时间	1 分 10 秒 50	1 分 20 秒 68	2 分 7 秒 23	2 分 21 秒 43	正常运转
办公软件						
Word	Word 启动时间	1 秒 26	2 秒 28	6 秒 35	11 秒 50	正常运转
	打开一个 1M 的 MS Word 文档,所用时间	2 秒 13	3 秒 57	7 秒 27	11 秒 57	启动之后关闭时出现长时间不能关闭
	打开一个 5M 的 MS Word 文档,所用时间	2 秒 50	4 秒 13	8 秒 29	12 秒 33	正常运转
Excel	Excel 启动时间	2 秒 65	4 秒 18	9 秒 63	10 秒 63	正常运转
	打开一个 1M 的 Excel 文档,所用时间	3 秒 11	7 秒 55	16 秒 05	20 秒 23	正常运转
	打开一个 5M 的 Excel 文档,所用时间	4 秒 46	9 秒 13	18 秒 37	25 秒 11	正常运转
PowerPoint	启动速度	3 秒 04	6 秒 60	9 秒 98	18 秒 18	正常运转
	打开一个 18.7M 演示文稿文档,所用时间	20 秒 20	47 秒 95	1 分 22 秒 70	1 分 53 秒 36	并发启动 28 台时有三台没有启动
文件移动						
文件拷贝	拷贝 20M 的 Word 文件,所用时间	8 秒 95	19 秒 75	37 秒 51	56 秒 13	正常运转
	拷贝 50M 的 Word 文件,所用时间	24 秒 33	49 秒 48	1 分 49 秒 52	4 分 6 秒 99	正常运转
	拷贝 100M 的 Word 文件,所用时间	47 秒 89	1 分 37 秒 2	3 分 9 秒 43	9 分 5 秒 51	正常运转
	从一个目录向另一个目录复制 2000 个 5KB 文件,记录所需时间	8 秒 23	17 秒 07	37 秒 51	1 分 4 秒 81	正常运转
红旗 DVD 播放	流畅性、平均无故障时间、总体效果、音质	流畅	流畅	流畅	流畅	流畅
Media Player	流畅性、平均无故障时间、总体效果、音质	流畅	流畅	流畅	流畅	流畅
平面图像处理软件						
PhotoShop V6.01	保存速度、清晰度	11 秒 08	16 秒 48	27 秒 51	1 分 0 秒 51	正常运转
Flash V6.0	运行速度、清晰度	7 秒 16	31 秒 41	1 分 14 秒 30	1 分 16 秒 56	正常运转
3D MAX V4.0	运行速度、清晰度	25 秒 68	34 秒 24	54 秒 18	1 分 16 秒 56	正常运转

其次,MMNC 系统还能使多个用户同时共享单机版软件.用户只需从服务器上像阅读 Web 网页那样,动态地在客户机上执行服务器上的应用程序即可,从而打破传统的网络版软件在安装和共享人数上的限制.

第三,MMNC 系统具有比传统 PC 更好的安全性.在基于透明计算的 MMNC 系统中,所有的系统资源和用户数据都存储于服务器系统中,这一是便于对用户操作过程进行管理,二是可以防止数据和信息的不正当流失;三是可以集中精力对服务器加强安全措施保护,从而更容易提高整个系统的安全性.另外,由于透明计算层的许多协议和算法是在 BIOS 层下实现的,这也对许多病毒的传播起到了阻断作用.例如,深圳海关和常德工商银行等用户反映 MMNC 系统未受到蠕虫病毒和冲击波病毒的干扰[4].

MMNC 系统与其他类似系统的基本功能比较如表 2.

5 结语

本文提出了一种新的计算模式,即透明计算模式是一种用户可以选择操作系统及其上的应用软件的计算模式.它解决了需要高性能计算设备才能运行大型操作系统和应用软件的问题,使得系统更加安全、成本更低,而用户不必安装和管理软件,以及可选择操作系统和软件.本文介绍了透明计算的概念、体系结构和透明计算的主要关键技术.同时,我们

表 2 MMNC 系统与其他类似系统的基本功能比较

比较	多操作 系统	单机版 软件	流媒 体	数字 电视	客户端 计算	服务器 (普通 PC 带 30 台终端)	上网等 其他 应用	抗病毒
SunRayone	x	x	○	x	x	x	○	◇
无盘站	x	x	○	x	○	x	○	◇
WBT	x	x	○	x	x	x	○	◇
其他 NC	x	x	○	x	x	x	○	◇
MMNC	○	○	○	○	○	○	○	抗多种 (冲击波等)

注: x:不支持;○:支持;◇:不详

还介绍了基于透明计算模式研制而成的多媒体可管理网络计算机 MMNC,证明了透明计算模式的可行性和有效性.

许多课题需要进一步研究解决.例如,关于移动设备的透明计算,数字家电的透明计算,并行透明计算,以及如何把更多的操作系统和应用程序纳入到透明计算中来.

作者简介:

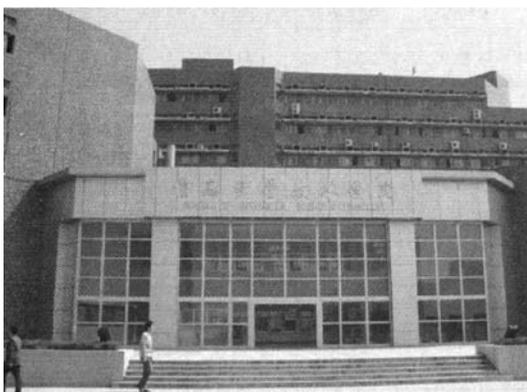


张尧学 男,1956 年出生于湖南常德,清华大学计算机系教授,博士生导师,主要研究领域为计算机网络互联,网络计算,透明计算等. E-mail:zyx@mcc.edu.cn.

参考文献:

- [1] M Satyanarayanan. Pervasive computing: Vision and challenges [J]. IEEE Personal Communications, 2001, 8(4): 10-17.
- [2] D Saha, A Mukherjee. Pervasive computing: A paradigm for the 21st century [J]. IEEE Computer, 2003, 36(3): 25-31.
- [3] 刘闯. 可管理多媒体网络计算机测试 [DB/OL]. Available on http://www.cstc.org.cn/announce/show/show_caestest.asp?id=5.
- [4] 清华大学计算机科学与技术系. 数字化家电网络软件平台 (SOPCA) 项目鉴定材料-用户报告 [R]. 北京, 2003.
- [5] 张尧学, 等. 可管理多媒体网络计算机 (MMNC) [J]. 电子学报, 2003, 31(12A): 2054-2058.
- [6] 张尧学, 等. 透明计算: 可管理多媒体网络计算机 [J]. 高技术通讯, 2004, (12 增刊).

中国科学技术大学信息科学技术学院



中国科学技术大学是中国科学院所属的一所以前沿科学和高新技术为主、兼有以科技为背景的管理和人文学科的综合性全国重点大学, 信息科学技术学院是全校 8 个学院中最大的一个。学院由电子工程与信息科学系(6 系)、自动化系(10 系)、计算机科学技术系(11 系)、电子科学与技术系(23 系)4 个系组成, 同时还有一个学院直属的信息安全专业。现任院长为国家航天领域首席科学家、中国工程院院士龚惠兴教授。

学院目前有教职工 300 余人, 其中教授 50 余名(包括博士生导师 40 名)、副教授 90 余名, 在校学生目前有本科生 2200 名, 硕士研究生 1100 名, 博士研究生 350 名。

学院拥有包括中国科学院院士、中国工程院院士、长江学者、国家自然科学基金杰出青年基金、中国科学院百人计划、教育部跨世纪人才培养计划在内的一批优秀人才。

学院的学科设置齐全, 覆盖面广泛, 基本涵盖了信息学科的各个主要领域, 形成了从学士到博士完整的人才培养体系。目前拥有:

5 个一级学科博士学位授予权: 电子科学与技术、信息与通信工程、控制科学与工程、计算机科学与技术、生物医学工程。

4 个博士后流动站: 电子科学与技术、信息与通信工程、控制科学与工程、计算机科学与技术。

12 个二级学科博士点: 电磁场与微波技术、通信与信息系统、信号与信息处理、模式识别与智能系统、计算机软件与理论、生物医学工程、声学、无线电物理、计算机应用技术、计算机系统结构、电路与系统、控制理论与控制工程。

14 个硕士学位点: 电磁场与微波技术、通信与信息系统、信号与信息处理、模式识别与智能系统、计算机软件与理论、生物医学工程、声学、无线电物理、计算机应用技术、计算机系统结构、电路与系统、控制理论与控制工程、检测技术与自动

化装置、导航、制导与控制。

4 个工程硕士领域: 通信与电子工程、控制工程、计算机工程、软件工程。

6 个本科生专业: 电子信息工程、通讯工程、自动化、电子信息科学与技术、计算机科学与技术、信息安全。

其中, 通信与信息系统为国家重点学科。

学院还拥有国家高性能计算中心、多媒体计算与通信教育部-微软重点实验室、空间科学技术研究中心、信息安全中心、信息科学技术实验中心、无线网络通信开放实验室、微波毫米波工程中心、工业自动化研究所等一批国家、省部和校级专门研究机构。

学院长期以来一直承担国家 863 计划、国家 973 计划、国家自然科学基金、国家攻关计划、中国科学院知识创新工程、国家军工领域的重大项目。在移动通信及网络通信、微波毫米波通信及军事装备、电磁场基本理论、语音信号处理及图像处理、工业过程控制与仿真、系统控制与理论、高性能计算、人工智能与模式识别、生物医学工程、集成电路设计等方面具有较强的教学科研实力, 取得了一大批高水平的研究成果。

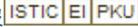
某微波毫米波技术设备, 获 1998 年度中国科学院科技进步一等奖; 安徽省防灾减灾智能信息与决策支持系统, 获 2001 年度国家科技进步二等奖; KD 系列汉语文语转换系统, 获 2002 年度国家科技进步二等奖; 中国第三代移动通信系统研究开发项目, 获 2003 年度国家科技进步二等奖。

学院根据中国科学院和中国科技大学“全院办校, 所系结合”的指导方针, 与中科院有关研究所在人才培养、科学研究等方面密切合作。中科院电子所所长阴和俊教授任电子工程与信息科学系主任, 自动化所所长谭铁牛教授担任自动化系主任, 计算所所长李国杰院士担任计算机系主任, 上海技术物理所所长王建宇教授担任电子科学与技术系主任。

学院与国内外知名大学和企业保持着密切的合作关系, 建立了包括自然计算、多媒体计算与通信、集成电路设计、电子测量技术、智能技术等一批科研教学联合实验室, 经常主办或联合举办国际学术会议。

学院紧紧围绕电子、通信、网络技术、信息技术、信息安全、计算机软硬件、自动化与控制、系统安全与系统优化、生物医学工程等信息科技前沿领域, 开展科学研究、技术发展和人才培养工作。面对信息科技的迅猛发展, 学院一直保持着重视信息科技领域的基础理论, 强调科学与技术结合的鲜明特色。在人才培养方面, 拥有全国一流的本科生生源, 十分强调加强学生的数理、信息领域的基本原理和基本实验能力教育, 使学生在以后的工作中能适应信息技术日新月异的变化, 更具有技术创新和竞争的能力。

透明计算:概念、结构和示例

作者: 张尧学, ZHANG Yao-xue
作者单位: 清华大学计算机系, 北京, 100084
刊名: 电子学报 
英文刊名: ACTA ELECTRONICA SINICA
年, 卷(期): 2004, 32(z1)
被引用次数: 39次

参考文献(6条)

1. M Satyanarayanan [Pervasive computing: Vision and challenges](#) 2001(04)
2. D Saha; A Mukherjee [Pervasive computing: A paradigm for the 21st century](#) 2003(03)
3. 刘闯 [可管理多媒体网络计算机测试](#)
4. 清华大学计算机科学与技术系 [数字化家电网络软件平台\(SOPCA\)项目鉴定材料-用户报告](#) 2003
5. 张尧学, 彭玉坤, 周悦芝, 方存好 [可管理多媒体网络计算机\(MMNC\)](#) [期刊论文]-[电子学报](#) 2003(z1)
6. 张尧学 [透明计算: 可管理多媒体网络计算机](#) 2004(12)

本文读者也读过(10条)

1. 张尧学, 周悦芝, Zhang Yaoyue, Zhou Yuezhi [从资源共享到服务共享: 透明计算的机遇与挑战](#) [期刊论文]-[中国工程科学](#) 2009, 11(8)
2. 夏楠, 张尧学, 杨善林, 王晓辉, XIA Nan, ZHANG Yaoyue, YANG Shanlin, WANG Xiaohui [基于透明计算模式的I/O Server的设计](#) [期刊论文]-[计算机工程](#) 2006, 32(21)
3. 张尧学 [张尧学: 以高标准大投入保质量](#) [期刊论文]-[教育与职业](#) 2009(4)
4. 陈成才, 张尧学, 周悦芝, 高原, CHEN Cheng-cai, ZHANG Yao-xue, ZHOU Yue-zhi, GAO Yuan [基于轻量级虚拟机的透明计算系统](#) [期刊论文]-[计算机工程](#) 2010, 36(11)
5. 匡文渊, 张尧学, 周悦芝, 杨华杰, KUANG Wen-yuan, ZHANG Yao-xue, ZHOU Yue-zhi, YANG Hua-jie [一种基于完整性校验的透明计算启动安全增强方法RBIS](#) [期刊论文]-[小型微型计算机系统](#) 2007, 28(2)
6. 徐广斌, 韦理, 周悦芝, 陶然, XU Guang-bin, WEI Li, ZHOU Yue-zhi, TAO Ran [基于虚拟机的透明计算设备子系统设计及实现](#) [期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2008, 25(8)
7. 常冬, 张尧学, Chang Dong, ZHANG Yao-Xue [基于市场机制的QoS控制模型MQC的改进遗传算法求解](#) [期刊论文]-[计算机学报](#) 2004, 27(12)
8. 张尧学, 王晓春, 顾钧, Zhang Yaoyue, WANG Xiaochun, GU Jun An [End-to-End QoS Control Model for Enhanced Internet](#) [期刊论文]-[计算机科学技术学报\(英文版\)](#) 2000, 15(6)
9. 张尧学 [大学英语教学改革成效显著——大学英语教学改革研讨会发言集萃](#) [会议论文]-2009
10. 杨华杰, 张尧学, 周悦芝, 郭关飞, YANG Hua.jie, ZHANG Yaoyue, ZHOU Yuezhi, GUO Guanfei [一种基于透明计算的动态负载均衡算法](#) [期刊论文]-[计算机工程](#) 2006, 32(13)

引证文献(39条)

1. 高原, 张尧学, 周悦芝 [一种用于透明计算的多媒体I/O访问控制方法](#) [期刊论文]-[湖南大学学报\(自然科学版\)](#) 2013(03)
2. 彭成, 杨路明, 满君丰 [网络化软件交互行为动态建模](#) [期刊论文]-[电子学报](#) 2013(02)
3. 谭成辉, 杨磊, 文建国, 李肯立 [基于分级Cache的透明计算系统](#) [期刊论文]-[计算机工程](#) 2011(05)
4. 郭登科 [无线局域网安全性改进探析](#) [期刊论文]-[现代商贸工业](#) 2010(12)
5. 陈成才, 张尧学, 周悦芝, 高原 [基于轻量级虚拟机的透明计算系统](#) [期刊论文]-[计算机工程](#) 2010(11)

6. 孔东阳, 谭怀亮 [一种网络计算I/O加速方法: iSCSI透明可靠多播](#)[期刊论文]-[计算机工程与科学](#) 2010(03)
7. 伍波华, 陈岫, 费洪晓 [浅析无线局域网安全性的改进](#)[期刊论文]-[中国电子商务](#) 2010(03)
8. 谭怀亮, 王燕, 孙建华, 陈浩 [分布式系统卷重构过程的改写块预取方法](#)[期刊论文]-[湖南大学学报\(自然科学版\)](#) 2009(01)
9. 柳琼 [无线局域网安全性改进浅析](#)[期刊论文]-[中国电子商务](#) 2009(12)
10. 徐广斌, 匡文渊, 周悦芝 [透明计算系统端计算机间的数据传送方法](#)[期刊论文]-[计算机工程](#) 2008(17)
11. 徐广斌, 韦理, 周悦芝, 陶然 [基于虚拟机的透明计算设备子系统设计及实现](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2008(08)
12. 程磊, 司天歌, 戴一奇 [基于动态监控器的安全局域网](#)[期刊论文]-[计算机工程](#) 2008(06)
13. 赵志刚, 赵伟, 黄松岭 [试论现代测量技术的主要进步特征及发展趋势](#)[期刊论文]-[电子测量与仪器学报](#) 2008(z1)
14. 王晓辉, 夏楠, 韦理 [UDP协议下支持透明计算模式的RTO算法](#)[期刊论文]-[清华大学学报\(自然科学版\)](#) 2007(10)
15. 王晓辉, 夏楠, 杨华杰 [一种基于网络存储协议的OS远程启动机制](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2006(20)
16. 夏楠, 张尧学, 杨善林, 王晓辉 [基于透明计算模式的I/O Server的设计](#)[期刊论文]-[计算机工程](#) 2006(21)
17. 杨华杰, 张尧学, 周悦芝, 郭关飞 [一种基于透明计算的动态负载平衡算法](#)[期刊论文]-[计算机工程](#) 2006(13)
18. 张新 [浅谈计算机网络安全策略](#)[期刊论文]-[消费电子](#) 2013(12)
19. 叶海福, 赵伟 [可管理多功能网络仪器--一种新型的网络化仪器](#)[期刊论文]-[电测与仪表](#) 2005(09)
20. 谭怀亮, 朱存望, 张镇平 [iSCSI网络计算模式下的可靠多播策略](#)[期刊论文]-[计算机研究与发展](#) 2011(z1)
21. 韦理, 周悦芝, 夏楠 [用于网络存储系统的存储空间动态分配方法](#)[期刊论文]-[计算机工程](#) 2008(05)
22. 王恩海, 李幼平 [基于无尺度网络的互联网信息播存体系研究](#)[期刊论文]-[电子学报](#) 2011(04)
23. 韦理, 徐广斌, 张尧学, 夏楠, 匡文渊 [一种扩展的多操作系统远程启动协议ENCBP](#)[期刊论文]-[计算机研究与发展](#) 2009(06)
24. 司天歌, 刘铎, 戴一奇 [安全的基于网络的计算机系统](#)[期刊论文]-[清华大学学报\(自然科学版\)](#) 2007(07)
25. 蒋新华, 胡惠淳, 张锦, 朱铨, 邹复民 [云计算系统研究及其在交通运输中的应用](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2014(11)
26. 张尧学, 周悦芝 [一种云计算操作系统TransOS: 基于透明计算的设计与实现](#)[期刊论文]-[电子学报](#) 2011(05)
27. 夏楠, 张尧学, 杨善林, 王晓辉 [IOMan: 一种支持多操作系统远程启动和运行的I/O管理方法](#)[期刊论文]-[计算机研究与发展](#) 2007(02)
28. 杨华杰, 张尧学, 王晓辉, 徐鹏志 [一种基于透明计算的远程启动协议MRBP2](#)[期刊论文]-[小型微型计算机系统](#) 2006(09)
29. 邹复民, 蒋新华, 胡惠淳, 朱铨, 庄孝昆 [云计算研究与应用现状综述](#)[期刊论文]-[福建工程学院学报](#) 2013(03)
30. 梅泉雄 [面向决策的信任模型研究](#)[学位论文]硕士 2013
31. 唐维新 [可远程引导的iSCSI虚拟存储主机通道研究](#)[学位论文]硕士 2009
32. 匡文渊, 张尧学, 周悦芝, 杨华杰 [一种基于完整性校验的透明计算启动安全增强方法RBIS](#)[期刊论文]-[小型微型计算机系统](#) 2007(02)
33. 张镇平 [基于相似负载的iSCSI透明可靠多播](#)[学位论文]硕士 2010
34. 李勉 [基于ARM和Linux的智能家居网关设计](#)[学位论文]硕士 2011
35. 周峰 [短信服务网关系统的设计与实现](#)[学位论文]硕士 2006
36. 文思群 [虚拟机系统的信息安全特性研究](#)[学位论文]硕士 2010

37. [夏楠](#) [面向信息管理的透明计算的I/O管理研究](#)[学位论文]博士 2007
38. [米允龙](#), [米春桥](#), [刘文奇](#) [海量数据挖掘过程相关技术研究进展](#)[期刊论文]-[计算机科学与探索](#) 2015(06)
39. [王恩海](#) [无尺度互联网理论及应用研究](#)[学位论文]博士 2008

引用本文格式: [张尧学](#), [ZHANG Yao-xue](#) [透明计算:概念、结构和示例](#)[期刊论文]-[电子学报](#) 2004(z1)