

现代操作系统的思考

顾 明¹, 赵曦滨², 郭 陟¹, 孙家广¹

(1. 清华大学软件学院, 北京 100084; 2. 江苏大学计算机科学与通讯工程学院, 江苏镇江 212013)

摘 要: 伴随计算机硬件和网络技术的发展, 作为计算机系统中的重要组成部分的操作系统也在不断发展. 本文回顾了操作系统的作用、发展历史及主要组成部分, 分析了现代操作系统的发展趋势, 并针对未来操作系统在计算机体系结构中的地位演变做了相应的思考.

关键词: 操作系统; 微内核; 可扩展操作系统

中图分类号: TP316 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 12A-1913-04

The Overview on Modern Operating System

GU Ming, ZHAO Xi-bing, GUO Zhi, SUN Jia-guang

(1. School of Software, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. School of Computer Science and Communication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: With the rapid development of computer hardware and network, operating system has been developed continuously. After reviewing the functions and history of operating system, this paper analyses the modern operating system's developing tendency and reason the position of it in the future.

Key words: operating system; microkernel; extensible operating system

1 引言

操作系统的研究与开发是计算机科学领域的一项重要内容, 从第一台计算机出现时用户就有了控制机器和管理资源的需求. 随着计算机体系结构从主机系统向工作站、个人电脑乃至嵌入式系统的变化, 这种需求的具体内容也各不相同, 但它始终是推动操作系统不断发展的原动力.

操作系统最初只是简单的设备管理和控制程序. 计算机系统功能的不断加强也令操作系统的规模和复杂度相应地增长, 每一代计算机都为新操作系统的研制和应用提供了基础. 近十年来, 中间件技术、网络技术、嵌入式技术等似乎对传统操作系统产生了不小的冲击, 但是只要有新的设备和计算模式出现, 就必然与操作系统发生关联, 只不过表现形式会根据技术的发展而各不相同^[5]. 也正因此, 我们今天才会面对诸多形态各异、面向不同应用的操作系统: 多媒体操作系统、嵌入式操作系统、实时操作系统直至基于智能卡的操作系统^[15]. 可见, 操作系统是我们了解计算机技术变革的最直接的窗口. 在信息技术纷繁芜杂的今天, 对操作系统的研究更是把握发展方向的有效途径.

本文在对操作系统的特性及发展历程做出简要回顾的基础上, 分析了现代操作系统的发展趋势. 其中, 既借鉴了 Tanenbaum 这样的大师对操作系统的看法^[1-3], 也有 Milojicic、

Black、Bolosy、Kaashoek^[4]这些工作在操作系统研发第一线的专家的观点, 还注意到了相关领域的一些工作成果. 最后, 针对未来操作系统在计算机体系中的演变趋势, 结合作者在应用支撑平台研究中的体会, 提出了自己的思考意见.

2 传统操作系统的回顾

2.1 操作系统的结构和主要组成部分

操作系统的内部体系结构可分为整体式系统 (Monolithic Systems)、层次式结构 (Layered Systems)、虚拟机系统 (Virtual Machines)、外核 (Exokernels, 其实质上是虚拟机的扩展) 和客户-服务器模型 (Client-Server Model) 等, 这些结构都是操作系统设计和实现的基本依据^[1].

无论体系结构如何, 应用环境和应用目的如何, 为了完成对计算机硬件功能的延伸和管理系统资源, 大多数操作系统都包含进程/线程管理、输入/输出系统、存储器管理、文件系统等主要组成部分. 其中, 进程/线程管理主要负责进程/线程生命周期的维护、进程间的通讯以及进程和线程调度等工作; 输入/输出系统则管理磁盘、时钟、各种终端等与输入/输出密切相关的硬件设施, 同时还承担死锁控制、能源管理、图形用户界面管理等任务; 存储器管理涉及基本内存管理、存储交换、虚拟内存管理、页面调度等内容; 文件系统主要包括文件、目录管理及相应的安全机制和保护措施.

2.2 操作系统的发展历史

操作系统的发展伴随着计算机体系结构的发展,经历了一个漫长的过程.上世纪四、五十年代用于第一代计算机上的插板和穿孔卡片还不能算是严格意义上的操作系统,但已经有了管理和维护方面的雏形.五、六十年代的晶体管计算机上则出现了早期的操作系统——批处理系统, FMS 和 IBSYS 都是其中的典型代表.随着集成电路在 IBM360 等计算机上的应用,多道程序和联机的即时外设操作等关键技术得到了广泛的应用,分时操作系统逐渐走向前台.美国 MIT、Bell Labs 和 GE 等开发的 MULTICS 分时操作系统对随后的系统产生了巨大的影响,其中一个重要的结果就是导致 UNIX 诞生^[3].

八十年代初,大规模和超大规模集成电路技术的发展揭开了个人计算机时代的帷幕,在信息革命的浪潮中唱主角的依然有操作系统.个人计算机和 workstation 领域的主流操作系统:一个是微软的 MS-DOS 到令人眼花缭乱的 Windows 系列产品,它们不仅造就了一个神话般的软件帝国,更是对现代社会文明的发展产生了深远的影响;还有就是 UNIX 系统,从它在 Bell Labs 诞生之日起,就始终吸引着众多的专业人士和用户.尽管随后产生了许多分支系统,但 UNIX 始终在高性能计算领域占居主导地位.此外,作为从 UNIX 衍生出来的操作系统, Linux 因其开放源码(Open Source)的特性而异军突起,近年来无论在科学研究还是在工程应用领域都得到了广泛的应用. Linux 对于研制自主知识产权的操作系统和嵌入式系统尤为重要.

2.3 操作系统的作用

操作系统作为最基本的系统软件控制着计算机的所有资源并提供开发应用程序的基础,在计算机系统中起着十分重要的作用.但是,要精确地给出操作系统的定义却很困难,部分原因在于操作系统要完成两项相对独立的任务,即延伸机器系统和管理资源.

对大多数计算机而言,在机器语言一级的体系结构(如指令集、存储组织、I/O 和总线结构)上编程是件很困难的事,这一点从输入输出操作的处理上就能得到明显的体现.然而,大多数程序员不想涉及硬件的具体细节,他们需要的是一种简单的高度抽象,即既能够将硬件系统的细节与程序员隔离开来,又可以提供一个简洁的命名文件系统以备读写.操作系统就是能够满足上述要求的一种软件.从这个角度看,操作系统是对机器系统的延伸,所以也被称作虚拟机.

另一方面,我们若采用“自底向上”的观点来分析计算机系统,操作则是用来管理一个复杂系统的各个部分.现代计算机系统通常包含处理器、存储器、时钟、磁盘、鼠标、网络接口等多种设备,如何有序地控制这些设备的资源分配是操作系统的一项重要工作.此外,在多用户情况下,对共享资源的管理和协调也需要操作系统的处理.

总之,操作系统在资源管理方面的首要任务是跟踪资源的使用状况、满足资源请求、提高资源利用率以及协调各程序和用户对资源的使用冲突,具体实现时主要依靠时间和空间上的平衡与调度^[1].

3 现代操作系统的发展趋势

计算机领域的飞速发展使得我们很难对现代操作系统的发展做出清晰的描述.但是,计算机自身的发展和用户需求的不断加强始终是推动操作系统发展的两个巨大动力.

3.1 网路技术的驱动

随着多处理器计算机的逐渐增多以及网格(Grid)等网络技术的日趋完善,并行计算和分布式处理必将成为主流的计算方式,对应的操作系统必须在并行和分布式能力上有所提高^[10].在这个方面存在下述一些主要的发展趋势:

(1)超越传统网络操作系统的“真正”分布式系统^[2],即摆脱传统网络操作系统中松耦合软件运行在松耦合硬件上的特点,在同样的松耦合硬件上运行紧耦合软件,使用户不必意识到系统中多个 CPU 的存在.

(2)基于网格的操作系统.例如在网格方式下,虚拟组织(VO)的每个结点应当被看作一个单一的计算单元而不应当作为独立计算机的集合来处理.与此相对应的各种同步、安全和通讯等方面的问题是传统的操作系统所无法解决的^[18].基于集群的操作系统也与此类似^[19].

(3)基于移动计算(Mobile computing)的操作系统.移动计算也是当前分布式计算中的热点问题.与传统操作系统的不同,移动操作系统必须具备如下功能:使处于异构的通讯环境之中(不同的响应时间、带宽、连接特性)的移动设备进行交互;有助于移动设备发现最近的设备或服务并与之交互.

此外,目前所谓的分布式操作系统并没有跳出传统操作系统的框架,只不过以中间件的形式提供分布式应用服务.同样,目前的多处理器操作系统也只是在单一处理器系统之上作了一些调整.一旦并行计算和分布式处理的要求成数量级增长,上述系统都会陷入捉襟见肘的境地.所以,现代操作系统必须在进程布置、负载均衡和通讯等方面有实质性的改进才能为新网络时代的到来提供更强有力的支持.

3.2 存储技术的驱动

随着现代计算机逐渐从 32 位地址空间向 64、128 位等大地址空间过渡,操作系统也面临着新的挑战.假设内存页面的大小仍然为 8KB,那么在 2^{64} 字节地址空间内就可以有 2^{51} 个页面.显然在这种数量级之下,传统操作系统的页表将难以适应,而页面调度等相关工作也需要新的机制来加以支持.此外,在大地址空间下,如果能够突破存储介质上的瓶颈,可能给现代操作系统带来本质上的变化:一方面,可以将大量的持久化对象存储在地址空间内;另一方面,可以考虑允许许多进程同时运行在共同的地址空间内. Chase 和 Talluri 等人已经开始了相关的研究工作^[1].

3.3 应用需求的驱动

除了计算机自身发展的驱动力外,应用也对现代操作系统提出了很多需求.多媒体操作系统、嵌入式操作系统、实时操作系统等体现了在相关领域的发展趋势.多媒体技术作为现代信息技术的重要组成部分,为人们获取和掌握知识提供了很大的便利.计算机支持的协同工作、虚拟现实、信息融合、协同感知等新技术有望在现代多媒体操作系统中得到更好的

支持,消费电子、计算机、通信(3C)一体化趋势步伐加快,嵌入技术再度成为一个研究热点。嵌入式系统的应用一方面有效地拓宽了目前软件系统的应用领域,使 Internet 等信息网络向家用电器和通讯设备等新的载体上延伸,另一方面将尽可能实现信息系统中的软件成本最小化^[6]。目前的嵌入式操作系统主要结合无线传输、嵌入式网络浏览、组件技术,朝着定制和面向对象分布式计算两个方向发展^[9]。各种嵌入式标准的制订也是一个亟待解决的问题。现代信息处理要求实时性,实时操作系统的出现是一种必然的解决方案。微内核技术、一体化开发环境和宿主主机上的目标仿真等都是该领域的研究热点。当然,上述发展趋势并不是孤立的,而是相互制约、共同发展。例如,嵌入式操作系统和多媒体操作系统不仅都对实时性有很高的要求^[7,14],也常常要结合分布式特性^[9,13]。

4 未来操作系统的地位演变

现代操作系统自身的发展使其在计算机系统中的功能和控制范围不断变化,尽管这种变化是一个缓慢的渐进过程,但其在内涵和外延两方面的变化已初见端倪。

4.1 内涵的缩小

传统操作系统一般将具体功能(例如,文件服务等)全部放在内核模式中完成。随着计算机硬件体系结构的迅速发展,这种实现方式使得操作系统内核的结构变得非常复杂,代码量也迅速增大。这样,操作系统代码的可扩展性、可移植性、可维护性越来越差,出错也越来越多。

为了脱离上述困境,现代操作系统的—个发展趋势就是采用微内核(Microkernel)技术(所谓微内核技术,就是将尽可能多的代码放在用户模式中实现,只在内核模式中保留操作系统最基本的功能)。对于操作系统来说,一旦内核出现错误,则系统有崩溃的危险。采用微内核技术后,内核代码量大大减少,不仅可扩展性、可移植性、可维护性大大增强,并且内核出现错误的几率大为减少,操作系统稳定性也大大提高。

由此可见,从设计角度来看,实现未来操作系统基本功能的核心部分趋向于越来越小。从这个意义上来说,未来操作系统包括功能的内涵将会逐渐缩小。

4.2 外延的扩张

现代操作系统内涵在发生变化的同时,它的外延也在悄然地发生变化。正是由于微内核技术的使用,使操作系统在保持核心功能的基础上能够灵活地结合各种服务及应用,这就是所谓的可扩展操作系统, Frank Kaashoek 对此持乐观的态度^[4],而 Oyvind Hanssen^[21]、Ballesteros^[11]等人已经开始了相关的工作。我们认为,这种外延的扩张不仅体现在用户应用层,而且还体现在硬件层。实际上,未来操作系统在计算机体系结构中向硬件层和应用层两个方向延伸。

为了提高计算机运行速度,节省可用的硬件资源,保证计算机安全、可靠运行的目的,现代操作系统有时将操作系统的一部分功能交给硬件实现。这一功能可以通过软件固化(Software-firmware)技术来实现。采用软件固化技术,可在主板上固化程序,在系统上电后对系统硬件进行配置和测试,并负责引导操作系统;也可在显示卡上固化显示卡的驱动程序,以提高

图形图像处理能力;也可在硬盘数据保护卡上固化程序,以保护硬盘数据不被恶意代码破坏。此外,传统操作系统内核中的安全和实时控制等内容也可以交给硬件来完成^[16,17]。随着芯片技术的发展,将有越来越多的现代操作系统的服务被固化进芯片。甚至,未来的嵌入式系统即可进行企业级计算。根据 IBM 公司的 eServer i 系列首席科学家 Frank Soltis 博士的预测,当每一块芯片中集成的晶体管数量超过 10 亿个的时候,未来的服务器芯片将完全有能力把诸如 DB2、Websphere 这样的软件固化于其中^[20]。如果 Frank 博士的预言成真,支持企业级计算的软件固化到服务器芯片中,操作系统的相应功能也不得不被固化进服务器芯片中。这种含有系统软件和应用软件的专用芯片无疑是未来操作系统的发展方向之一。

操作系统在受到硬件技术推动的同时,也不断地受到应用需求的拉动。传统操作系统基本上是一种通用的操作系统,主要功能是屏蔽硬件复杂性和管理硬件资源。随着计算机应用领域的拓展,需要将操作系统应用在特殊的领域。而在这些领域,传统操作系统是无法满足应用需求的。这样,专用操作系统就应运而生。多媒体操作系统就是一种典型的专用操作系统。多媒体业务系统需要处理大量的视频、音频数据,并需要实时回放视频、音频数据。早期多媒体业务系统是以通用操作系统上应用软件的形式实现的。但通用操作系统无法满足多媒体操作对实时调度、资源分配管理、进程调度、文件系统等方面的特殊要求。为了更好地实现多媒体业务,就产生了专用的多媒体操作系统,用以支撑多媒体业务系统。多媒体操作系统能够为视频、音频数据的处理提供基本功能(例如,编码、解码、QoS 服务^[12]等)。鉴于多媒体操作功能较为单一,多媒体操作系统逐渐将原来业务系统才提供的多媒体服务(例如,视频点播、可视会议服务等)作为操作系统提供的标准功能。由此可见,多媒体操作系统的外延在发展过程中不断向应用层扩张。

另一种处于萌芽状态的专用操作系统是企业应用操作系统。现在企业级计算通常采用操作系统+应用服务器+应用软件的模式。在这种模式下,一方面无法满足一部分企业级计算对安全性的要求,另一方面这类应用软件的开发、部署效率也较低。为解决上述问题,一个可行的方案是,逐步将现在应用服务器的功能(例如,负载均衡、集群、连接池等)集成进企业应用操作系统。事实上,这种集成现在已经在一些操作系统中出现了。例如,MS Windows 2000 中已经包括了应用服务器的部分功能。在未来,如果现代操作系统、应用服务器的功能被固化进服务器芯片,企业应用操作系统或许会进一步演变。未来的企业应用操作系统将不需要管理进程和线程,只需要管理企业的各种活动;企业应用

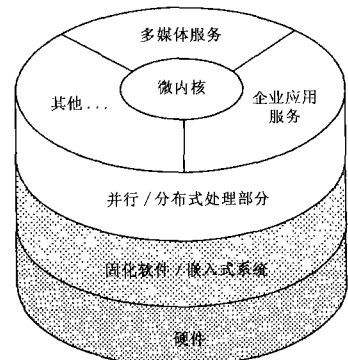


图 1 操作系统的进化历程

操作系统也不需要管理内存和文件系统,只需要管理企业的各种单据、报表等数据.企业应用操作系统在较高层次屏蔽了硬件和系统软件的复杂性,并能够管理企业中的各种信息资源.针对各种企业应用需求而设计的企业应用操作系统将成为操作系统市场的新生力量.图 1 给出了操作系统进化的历程,从中不难看出操作系统外延的一个趋势.

5 结论

计算机硬件和网络技术的迅速发展,极大地促进了计算机技术的普及和应用.传统操作系统如何在新的分布式计算、并行计算模式下提供全方位服务,已经成为当今操作系统领域研究的热点.操作系统内涵的缩小、功能固化和其外延的扩张,必将成为未来操作系统发展的必由之路.特别是操作系统的外延,也给中国软件产业留下了很大的发展空间.我们完全有可能集中优势力量,在那些专用领域作出一个有中国特色、面向专用领域的新一代操作系统.

参考文献:

- [1] Andrews S Tanenbaum. Modern Operating Systems (second edition) [M]. Pearson Education, Inc, 2001.
- [2] Andrews S Tanenbaum. Distributed Operating Systems [M]. 北京:电子工业出版社, 1999. 12.
- [3] Andrews S Tanenbaum. Operating Systems-Design and Implementation (second edition) [M]. 北京:电子工业出版社, 1998.
- [4] Milojicic D, Black D. Operating system-new and in the future [J]. IEEE concurrency, Jan-Mar 1999, 7(1): 12 - 21.
- [5] Milojicic D. Applied operating system [J]. IEEE concurrency, 2000, 8(4): 53 - 54.
- [6] Milojicic D. Embedded systems [J]. IEEE concurrency, 2000, 8(4): 80 - 90.
- [7] Beta I, Liu S. Real-time embedded systems [J]. Computing & Control Engineering Journal, 2002, 13(4): 154 - 155.
- [8] Theimer M, Demers A, Welch B. Operating system issues for PDAs [A]. Workstation Operating Systems, Proceedings, Fourth Workshop on [C]. 1993. 2 - 8.
- [9] Borcea C, Iyer D, Kang P, Saxena A, Iftode L. Cooperative computing for distributed embedded systems [A]. Distributed Computing Systems, 2002. Proceedings. 22nd International Conference on [C]. 2002. 227 - 236.
- [10] Moller R. Distributed operating systems: concepts and design [J]. IEEE Concurrency [see also IEEE Parallel & Distributed Technology], 1998, 6(2): 93 - 94.
- [11] Ballesteros F J, Fernandez L L. The network hardware is the operating system [A]. Operating Systems, The Sixth Workshop on Hot Topics in [C]. 1997. 32 - 36.
- [12] Oparah D O A. A framework for adaptive resource management in a multimedia operating system [A]. Multimedia Computing and Systems. IEEE International Conference on [C]. 1999, 2. 382 - 386.
- [13] Leslie I M, McAuley D, Black R, Roscoe T, Barham P, Evers D, Fairbairns R, Hyden E. The design and implementation of an operating system to support distributed multimedia applications [J]. Selected Areas

- in Communications, IEEE Journal on, Sept. 1996, 14(7): 1280 - 1297.
- [14] Katcher D I, Kettler K A, Strosnider J K. Real-time operating systems for multimedia processing [A]. Hot Topics in Operating Systems (HotOS-V), Proceedings, Fifth Workshop on [C]. 1995. 18 - 21.
- [15] Profeta J A III, Andrianos N P, Bing Yu, Johnson B W, DeLong T A, Guaspart D, Jamsack D. Safety-critical systems built with COTS [J]. IEEE Computer, 1996, 29(11): 54 - 60.
- [16] Lindh L, Starner J, Furunas J. From single to multiprocessor real-time kernels in hardware [A]. Real-Time Technology and Applications Symposium [M]. Proceedings, 1995. 42 - 43.
- [17] Nakano T, Utama A, Itabashi M, Shiomi A, Inui M. Hardware implementation of a real-time operating system [A]. TRON Project International Symposium, Proceedings of the 12th [C]. 1995. 34 - 42.
- [18] Ian foster, Carl Kesselman, Steven Tuecke. The anatomy of the grid-enabling scalable virtual organizations [A]. Intl J. Supercomputer Applications [C]. 2001.
- [19] Goscinski A, Hobbs M, Silcock J. GENESIS: an efficient, transparent and easy to use cluster operating system [J]. PARALLEL COMPUTING, 2002, 28 (4): 557 - 606.
- [20] <http://media.ccidnet.com/media/swm/187/02001.htm> [DB/OL].
- [21] www.ansa.co.uk/ANSATech/97/Primary/200201.pdf [DB/OL].

作者简介:



顾明女, 1962 年生于辽宁沈阳. 清华大学软件学院副教授. 主要研究方向: 操作系统, 分布式应用支撑平台, 系统安全等. E-mail: guming@tsinghua.edu.cn.



郭韶男, 1974 年生于浙江湖州. 清华大学软件学院博士研究生. 主要研究方向: 操作系统, 分布式应用支撑平台, 移动计算等. E-mail: zxb@thit.com.cn.



赵曦滨男, 1973 年生于江苏镇江. 江苏大学计算机科学与通讯工程学院. 主要研究方向: 操作系统, 网格计算等. E-mail: gz@thit.com.cn.



孙家广男, 1946 年生于江苏镇江. 清华大学软件学院教授, 博士生导师, 中国工程院院士. 主要研究方向: 计算机图形学, 软件工程, 分布式系统, 网格计算等. E-mail: sunjg@tsinghua.edu.cn.