

Web 应用服务器:新一代中间件*)

范国闯^{1,2} 陈宁江^{1,2} 钟华^{1,2}

(中国科学院软件研究所软件工程技术中心 北京 100080)¹

(中国科学院软件研究所计算机科学重点实验室 北京 100080)²

摘要 Web 应用服务器是 Web 计算环境下产生的新一代中间件,为创建、部署、运行、集成和管理事务性 Web 应用提供一个跨平台运行环境,是我国企业信息化的基础软件设施。诸多国际知名 IT 企业纷纷推出其各自的 Web 应用服务器产品和系统。本文全面系统地对 Web 应用服务器进行综述,主要包括传统中间件的发展及其挑战,Web 应用服务器的定义、主要功能、分类、研究内容和评测标准。根据评测标准,对若干主流 Web 应用服务器从功能和性能两个方面进行分析和比较。此外,指出了 Web 应用服务器目前存在的不足以及未来发展趋势。

关键词 Web 应用服务器,中间件,事务性 Web 应用,Web 计算

Web Application Servers: The New Generation of Middlewares

FAN Guo-Chuang^{1,2} CHEN Ning-Jiang^{1,2} ZHONG Hua^{1,2}

(Technology Center of Software Engineering, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)¹

(Key Laboratory of Computer Science, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)²

Abstract Web application servers (WASs), which are considered to be second generation of middlewares for Web computing and the software infrastructure for enterprise information systems, provide Web middleware platforms that support for the deployment, integration, and execution of transactional Web applications. Many international known IT companies launched their products and solutions for WASs. We in this paper overview Web Application Servers, including what is Web Application Server and its functionality, category, and benchmark etc. A comparative study among some leading Web application servers is given by evaluating their functions and performance. The current state of the art for the research in WASs is also outlined, and lastly, the tendency is pointed out.

Keywords Web application server, Middleware, Transactional Web application, Web computing

1 传统中间件的发展

随着企业应用环境逐渐向 Internet/Intranet/Extranet 环境转移,应用的需求和规模不断扩大,两层客户机/服务器计算模式^[1]暴露出种种缺陷,如客户端和服务器负担过重、重用程度低、应用逻辑的改变缺乏灵活性、系统移植性差、软件部署开销大和升级困难等。三层客户/服务器计算模式^[2]克服两层客户机/服务器计算模式的不足,满足了基于 Internet 企业应用的高级要求。为了开发、部署、运行和管理基于三层/多层计算模式的应用,需要以网络和分布式计算的底层技术为基础,构建一个整体应用框架,提供相应的支撑平台作为多层应用的基础设施,这一支撑平台的关键就是位于中间层的软件。中间层需要解决一个基本问题:如何屏蔽分布环境中异构的操作系统和网络协议,表示层客户可以透明地执行中间层提供的业务过程。

网络分布计算技术通过中间件(Middleware)解决上述基本问题^[2,3]。传统中间件^[2,4,5]大致可以分为远程过程调用中间件(RPC: Remote Procedure Call Middleware)、面向消息的中间件(MOM: Message-Oriented Middleware)、对象请求代理(ORB: Object Request Brokers)、事务处理监控器(TPM: Transaction Processing Monitor)。

1.1 远程过程调用中间件

远程过程调用是一种广泛使用的分布式应用程序处理方法。一个应用程序使用 RPC 来“远程”执行一个位于不同地址空间里的过程,并且从效果上看和执行本地调用相同。一个 RPC 应用分为两个部分:Server 和 Client。Server 提供一个或多个远程过程;Client 向 Server 发出远程调用。Server 和 Client 可以通过网络进行通讯。相应的 Stub 和运行环境提供数据转换和通讯服务,从而屏蔽不同的操作系统和网络协议。

1.2 面向消息的中间件

MOM 利用高效可靠的消息传递机制进行平台无关的数据交流,基于数据通信集成分布式系统。通过提供持久消息队列和消息传递,可以在分布环境下扩展进程间的通信,并支持多通讯协议、语言以及硬件和软件平台。

1.3 对象请求代理

随着对象技术与分布计算技术的发展,两者相互结合形成了分布对象计算。1990 年底,对象管理集团 OMG 首次推出对象管理结构 OMA(Object Management Architecture),ORB 是这个模型的核心组件。CORBA 1.1 定义接口描述语言 OMG IDL 和支持 Client/Server 对象在具体的 ORB 上进行互操作的 API,CORBA 2.0 侧重描述不同 ORB 之间的互操作。SUN 公司也在 1999 年底推出 J2EE(Java 2 Platform

*)国家重点基础研究发展 973 计划(2002CB312005);国家十五科技攻关计划(2001BA205A06);国家高技术研究发展 863 计划(2001AA113010;2001AA414020;2002AA413610)。范国闯 博士生,主要研究领域为网络分布计算,软件工程技术,电子商务;陈宁江 博士生,主要研究领域网络分布计算,软件工程技术;钟华 博士,副研究员,研究生导师,主要研究领域为软件工程,分布计算,对象技术,形式化方法。

Enterprise Edition),在 J2EE 中 SUN 公司使用 RMI(Remote Method Invocation)、IIOP(Internet Inter-ORB Protocol)和 EJB(Enterprise Java Bean)对象实现分布式环境下 Java 对象的互操作。而微软公司则使用 COM(Component Object Model)实现对象之间的互操作,但它只能运行于 Windows 操作系统上。

1.4 事务处理监控器

事务处理监控最早出现在大型机上,提供支持大规模事务处理的可靠运行环境。随着分布计算技术的发展,分布应用系统对大规模的事务处理提出了需求,比如商业活动中大量的关键事务处理。事务处理监控位于 Client 和 Server 之间,进行事务管理与协调、负载平衡、失败恢复等,以提高系统的整体性能。被某些研究人员看作为事务处理应用程序的“操作系统”。

2 Web 应用服务器的产生

中间件从 1982 年发展到现在,已经取得了长足发展。但是随着 Internet 的飞速发展,中间件所面临的网络分布计算环境发生了很大的变化,与中间件开始产生时的典型企业计算环境截然不同,而是面向 Internet 的 Web 计算环境。所以有些研究人员认为中间件已经发展到了第二个阶段^[6]。在面向 Internet 的 Web 计算环境下,上述的传统中间件遇到了如下新问题:

1)Web 服务器本身能力的不足大大限制 Web 计算的发展;

2)用户的数量不可估计;

3)大规模的并发用户访问使得有状态的用户会话很难维护;

4)Web 事务不再集中在单一的节点,可能分布在 Internet 的多个节点,并且运行周期长;

5)多数流行的中间件使用专用的 API 和协议,如何集成来自不同厂家已有或新开发的中间件(如消息队列中间件)已经是一个很突出的问题;

6)Web 应用必须能够透明地与后端系统或历史遗留系统集成。如供应链管理系统中需要集成后端 ERP 系统、CRM 系统等;

7)服务的 QoS 保证;

8)如何提供运行期间服务,使得通过动态配置管理、监视、改变系统和应用的行为,而不是在设计编码时期设定。

如何解决上述问题已成为 Web 计算和中间件领域的一个热点和方向^[6,7]。1998 年人们提出了应用服务器的概念,即在面向 Internet 的 Web 计算环境下,为开发、部署、运行、集成、维护和管理中间层应用服务提供一个通用运行环境,用户只需关心中间层应用服务的业务逻辑,而中间层应用服务的名字解析、路由选择、负载平衡、事务控制、失效恢复、状态迁移、升级扩展等功能则都由 Web 应用服务器提供。相对于传统中间件,我们认为 Web 应用服务器是在 Web 计算环境中产生的新一代中间件。

3 Web 应用服务器的定义及主要功能

根据应用服务器的产生背景,我们定义应用服务器是为创建、部署、运行、集成和管理事务性 Web 应用提供一系列运行时服务(如消息、事务、安全、应用集成等)的 Web 中间件。应用服务器需要满足 Web 计算所需的特定需求,所以应用服务器同时具有 Web 服务器的功能,亦称之为 Web 应用服务器。根据这个定义,应用服务器不仅具有传统事务监控器的高

可伸缩性、高可用性、高可靠性和高效等高级特性,而且为事务性 Web 应用提供创建、部署、运行、集成和维护的通用服务,更反映出应用服务器是在面向 Internet 的 Web 计算环境下产生的这一特点。

Web 应用服务器最重要的三大功能是:(1)支持大规模用户,提供企业级的高伸缩性、高可用性和高可靠性;(2)提供事务和消息服务;(3)与其它外部资源的快速集成如历史遗留系统资源、ERP 系统、不同的关系型数据库或其它数据资源、传统中间件、COBRA 和 COM/Activex 组件等。

4 Web 应用服务器的分类

近年来 Web 应用服务器取得长足进展,目前市场上国内外的应用服务器产品超过 60 家。从遵循的标准和规范来看,其中较突出者主要有两大类:J2EE(Java 2 Platform Enterprise Edition)类和微软 .Net 类。J2EE 由 Sun 公司在三年前提出,是一种规范,目前至少有 40 多种实现 J2EE 规范的应用服务器。J2EE 规范为事务性 Web 应用的开发、部署、运行和管理提供一系列的规范和标准,主要包括 Java Servlets、JSP、EJB、JTA、JTS、JMS、JAXP、JMX、RMI-IIOP、JNDI、JCA、Java Mail 和 JAF 规范。这些 J2EE 规范为应用服务器的实现提供了一个完整的底层框架和一套标准的规范,为不同厂商的应用服务器产品的标准化提供了一条可行途径,在不同的 J2EE 应用服务器之上的应用组件也可以很好地互操作,从而降低移植的风险性和代价,提高应用的灵活性,保护用户的已有投资。而微软则将 Windows NT/2000 看作其应用服务器的基础,通过附加一系列具备中间件功能的软件包来实现应用服务器的平台。微软 .Net 构建在 Windows DNA 技术(如 Microsoft Transaction Server、COM+、MSMQ 和 SQL Server 数据库等)基础上,在 .Net 中提供了一系列企业级应用服务,为部署、管理和建立基于 XML 和 Web 的应用构筑了 .Net3 服务器结构,包括 Application Center、BizTalk Server、Commerce Server、Content Management Server、Exchange Server 等,它们结合 Windows 平台上的一系列开发工具和技术(包括 Visual Studio、NET、ASP、NET 等),提供了强有力的应用服务器解决方案。虽然目前 J2EE 和 .NET 势均力敌,但是 J2EE 作为一种规范,它具有 .Net 无法比拟的跨平台、企业应用集成能力以及可扩展性和开放性,得到许多厂商的支持,已逐步被广大研究人员和企业所接受^[12],拥有良好的前景,逐渐成为应用服务器研究和开发的一个方向。

5 主流 Web 应用服务器的分析与比较

作为新一代中间件,应用服务器已成为最近几年最热门的软件类型^[8,9],是电子商务的基础设施,SUN 公司的 ED Zander 认为应用服务器是自从关系型数据库以来最令人激动的企业应用技术^[10]。应用服务器的应用前景非常看好,IDC 研究人员预期,应用服务器软件平台市场将以 50.1% 的年增长率发展,2003—2004 年将是市场的增长高峰^[11]。鉴于 Web 应用服务器在 Internet 应用和网络软件平台上的作用和地位,国际上许多著名的计算机公司都进行了大量的研发工作,推出了各自的产品和系统,如 IBM Websphere、BEA Weblogic、Oracle 9iAS、SUN iPlanet、Sybase EA Server 等等。在众多公司中,BEA 和 IBM 以其在中间件方面的产品优势和雄厚实力,使 Weblogic 和 Websphere 成为 Web 应用服务器市场的领头者。限于篇幅,无法对它们进行一一比较,下面只对 BEA Weblogic、IBM Websphere 和 Oracle 9iAS 等三种

主流应用服务器从功能、性能两个方面进行分析和比较。

5.1 功能应用

Weblogic、Websphere 和 Oracle 9iAS 都获得了 SUN 公司的 J2EE CTS 认证,都提供 J2EE 规范中提出的一些基本功能如 EJB 容器、Web 容器、事务服务、消息服务、安全服务、名字命名服务、邮件服务等,但在 QoS 服务、企业应用集成以及配套工具等方面存在一些差别。

Weblogic 在集群等 QoS 服务上有其突出的特点,一组工作在一起的 Weblogic 服务器通过集群技术提供可靠和可伸缩的应用平台,还提供了负载均衡、失效恢复、缓存、Pooling 等一系列技术,在对高端应用的支持方面比较完备而出色。Weblogic 能够与另一中间件产品 Tuxedo 有效地集成,提供了优良分布式事务处理能力,并增强了系统的集成能力。Weblogic 提供了基于 Web 的管理控制台程序,为系统管理员提供部署、配置和监控应用程序的工具。它为基于 JMX (Java Management Extension) 实现的管理服务提供了管理 Weblogic 服务器资源的能力。

Websphere 提供负载均衡、失效恢复、集群等 QoS 功能,实现对应用程序或其配置的任何修改,包括 Java 组件的更新,将会在多个服务器上自动备份复制。Websphere 中还采用多层次、可调整的缓存技术,可缓存的对象包括数据库查询、Java 对象、页面和图像等。相对于 Weblogic 而言,负载均衡和失效恢复的支持表现稍差。Websphere 的操作环境较好,包括了 Administrative Console (操作管理)、Log Analyzer (日志分析)、Resource Analyzer (性能数据的测量和报告)、Performance Monitoring API (Websphere 组件所使用的 API 接口,用以实时地获取性能有关的规格数据)、Tuner Wizard (性能调整工具)等一整套工具,用于应用服务器的配置、监控和管理,在这方面它的表现要优于 Weblogic。Websphere 具有很强的系统集成能力,通过 JCA 集成包括 ERP、CRM、工作流等系统,使用 IBM 的 MQSeries 和 TXSeries 分别提供消息服务和事务服务。Websphere 还提供完整的开发、部署和集成分布式组件的工具 Component Broker。Websphere 应用服务器与 IBM 的电子商务开发环境紧密地结合,与 Websphere Studio packages、VisualAge for Java、Websphere Commerce Suite、Lotus Domino 及其它 Websphere 平台上的软件有良好的互操作性,从而有助于提高应用开发的生产力,这是其优势所在。

Oracle 依靠其在数据库领域的领导地位,凭借高速数据缓存技术,开发了目前市场上最快的 J2EE 应用服务器(根据 ECPerf 最新发布)。Oracle 9iAS 只需要很小的内存和磁盘空间就可以运行,系统只需要 20MB 的内存就可以运行 J2EE 应用程序。9iAS 的能力很多来源于所集成的扩展工具和辅助工具。例如,Oracle 使用 Apache HTTP 服务器作为 Web 前端,并用模块“mods”来加强 Apache 的能力;9iAS 是第一个提供 ESI (Edge Side Includes) 技术的应用服务器,对中间层数据进行高速缓存,提高动态 Web 站点的响应时间和可伸缩性。作为 9iAS 的特性,内置的“门户”(Portal)允许用户集成 Web 资源,提供一种标准的内容集成组件,通过建立个性化的 Portal 可以将用户的业务信息和应用发布到任何使用 Portal 的设备上。9iAS 提供了一些商务智能功能,用内置的工具来进行企业的业务分析、顾客行为的分析等工作。在工具方面,9iAS 给出了一个集成的解决方案,Oracle Enterprise Manager 及其 Management Packs 提供了集成的管理工具,可以管理 Oracle 9iAS 和 Oracle 数据库系统,使系统管理员可以监控所有 Oracle 9iAS 组件的状态、使用情况和性能数据。

在企业应用集成方面,9iAS 提供了基于标准(JCA、JMS、Web Service 协议)的集成解决方案;可以与 Oracle E-Business Suite 套件连接,能够包装诸如 SAP、Peoplesoft、JD Edwards 之类的 ERP 应用。9iAS 紧密地与 Oracle 9i Developer Suite 的开发套件集成。Oracle 的 JDeveloper 提供了在 9iAS 上开发应用的能力,其中 Business Components for Java (BC4J) 是一个基于 J2EE 和 XML 的框架,实现用于事务型 J2EE 应用快速开发的 J2EE 设计模式 (Design Pattern)。

5.2 性能方面

ECperf^[13]是一种评测 J2EE 应用服务器可伸缩性和性能的测试基准 (Benchmark)^[14],通过模拟现实世界中系统所要承受的工作量,具体包括制造、供应链管理和订单/库存等过程,重点测试 EJB 容器处理内存管理、连接池、去活/激活 (Passivation/Activation)、缓存等方面的能力,由众多在行业内处于领先地位的 J2EE 应用服务器厂商协作开发完成。目前,ECperf 规范有 1.0 和 1.1 两个版本,由用 Java 语言编写的测试应用程序和相关的驱动程序以及一套详细的测试规范和结果报告规范组成。

ECperf 的主要度量值是性能度量值 (BBops/min) 和性能价格度量值 ($\$/Bbops$)。性能度量值 (BBops/min) 是每分钟基准业务操作数 (BBops/min),表示在测量时间段中每分钟完成的成功基准业务操作 (Benchmark Business Operation) 的平均数量,通过将顾客领域中完成的业务事务 (Business Transactions) 的总数与制造领域中完成的工作订单的总数进行相加后再除以总时间得到该度量值。ECPerf 还可以通过业务事务 (Business Transaction) 响应时间的频率分布图 (Frequency Distribution of Response Times for Business Transaction) 和工作订单吞吐量图 (Work Order Throughput) 评测 J2EE 服务器的性能。业务事务响应时间的频率分布图主要描述系统处理事务的响应时间情况,其 X 轴是响应时间, Y 轴表示在给定的响应时间段内处理业务事务的频率。工作订单吞吐量图则描述系统在某个时间段内系统处理订单的吞吐量,其 X 轴是运行时间, Y 轴表示业务事务吞吐量。

下面使用 ECperf 基准的性能度量值 (BBops/min) 对主流 J2EE 应用服务器进行分析和比较。从表 1 可以得出, Oracle 9iAS 每分钟处理的基准业务操作数 (BBops/min) 最大,其值为六万多,优于 IBM Websphere 和 BEA Weblogic,是目前最快的应用服务器。Oracle 9iAS 通过 Web Cache、Object Cache 以及 Cache cluster 提供了系统的整个性能^[14]。

6 主要研究内容及目前存在的不足

Web 应用服务器覆盖了在 Web 计算环境下计算机软件技术的诸多领域如软件工程、分布计算、面向对象、事务处理、数据管理、工作流管理、应用集成和网络安全等技术,其发展建立在这些技术领域发展的基础上。作为在面向 Internet 的 Web 计算环境下新产生的研究领域,Web 应用服务器所关注的基本研究内容主要包括:(1) Web 应用服务器可扩展基础框架研究;(2) 组件容器;(3) Web 应用服务器中的分布式事务处理研究;(4) Web 应用服务器互操作机制研究;(5) 支持多名字系统的名字目录服务框架研究;(6) Web 应用服务器统一数据访问模型研究;(7) 可靠消息服务;(8) 外部资源集成框架研究;(9) Web 应用服务器中的安全认证研究;(10) Web 应用服务器系统管理研究;(11) Web 应用服务器部署配置管理;(12) Web 应用服务器 QoS 管理。

表 1 ECperf 按性能排名前五名

Sponsor	J2EE System	BBops/min@Std	Price/BBops	J2EE Server	DBMS	Date Approved
Oracle,Sun	Sun Fire 3800 cluster	61862.77	\$ 28	Oracle9iAS Release 2 v9.0.2.1.0	Oracle9i (v9.2.0.1.0)	7/8/02
Oracle,Sun	Sun Fire 3800 cluster	51007.80	\$ 37	Oracle9iAS Release 2 v9.0.2.1.0	Oracle 9i Release 2	6/24/02
IBM	IBM eServer x330 cluster	44294.97	\$ 23	Websphere AE 4.0.3	DB2 7.2	7/8/02
HP	HP rp8400	37791.00	\$ 36	BEA Weblogic Server 7.0	Oracle 9i	7/8/02
Oracle, Sun	Sun Fire V480 cluster	36122.60	\$ 12	Oracle9iAS Release 2 v9.0.2.1.0	Oracle 9i (v9.2.0.1.0)	7/8/02

尽管经过应用服务器厂商和研究人员的努力,使得 Web 应用服务器逐步发展起来,并取得了相当的成果,但在满足不断变化的 QoS 需求方面,Web 应用服务器目前主要存在如下不足之处:

(1) 运行期间可定制和可重配置能力低,开放性和灵活性差。一般情况下,用户很难使用 Web 应用服务器的全部功能,可能仅使用部分功能,多余的功能不仅浪费用户的投资,而且浪费系统资源和存储空间,为此,Web 应用服务器功能必须是可定制,实现用户“所见所需”;此外,由于不可能完全预先满足用户所有的 QoS 需求,Web 应用服务器不仅需要支持应用级功能的定制,而且在运行期间能动态替换系统所提供的服务实现从而控制系统的行为。如为了提高系统高可用性,用户可能替换负载度量和负载平衡策略;最后,在运行期间不影响其它服务的情况下,能动态添加、删除服务,具有很好的重配置能力。目前,BEA Weblogic 和 IBM Websphere 等大多数主流 Web 应用服务器都基于一体化体系结构 (Monolithic Architecture) 和黑盒抽象机制 (Black Box Philosophy) 进行设计,将接口之外的所有实现细节都隐藏,没有将系统服务从内核分离,系统开放性差。只能选择若干固定选项局部、静态地进行定制,从而导致可定制能力和灵活性低。

(2) 便利性差,自适应能力低。例如,大多数 Web 应用服务器都能对 Stateless Session Bean、Stateful Session Bean、Entity Bean 进行负载平衡,但是由于将负载服务硬编码到应用服务器中,其负载平衡服务不可热插拔,不具有便利性,用户只能通过一些管理工具静态配置负载平衡策略。此外,目前大多数应用服务器仅支持一些常见的非自适应负载平衡算法,如 Round-Robin(缺省)、Weight-based 和随机算法,不能根据系统负载信息进行决策,也不能进行负载反馈,不具有自适应控制能力。

(3) 客户端透明性差。还是以负载平衡服务为例。为了实现动态的负载平衡,Web 应用服务器在处理请求时进行任务迁移,客户在调用每个对象方法之前需要显式调用方法(如 Weblogic 中的 CallRouter 方法)获得对象所在的服务器名。而微软 MTS 应用服务器通过 Application Center 为 COM 组件提供负载平衡服务,其基本原理是由 Application center 接受客户创建组件实例的请求,然后在事先配置好的服务器列表中根据负载平衡策略选择一个 COM 服务器响应客户的请求。这两种方式都需要更改客户端代码后负载平衡服务才可以截获请求,不具有很好的位置、访问透明性,客户端透明性差。

总结 Web 应用服务器是 Web 计算环境的新一代中间件,为事务性 Web 应用提供一个跨平台的运行环境、一系列

通用服务以及相应的工具集。J2EE 应用服务器是 Web 应用服务器中较突出的一种,得到广大研发人员和企业的青睐,具有很好前景。ECperf 是 Web 应用服务器的评测基准,通过性能度量值(BBops/min)、业务事务的响应时间频率分布图和吞吐量图对 Web 应用服务器的可伸缩性、性能进行全面的仿真评测。通过 ECperf 公布的最新数据,对 BEA Weblogic、IBM Websphere 和 Oracle9iAS 三大主流应用服务器进行分析和比较,得出 Oracle9iAS 是目前性能最优的 Web 应用服务器。但在 QoS 服务、企业应用集成以及配套工具等功能方面,Oracle9iAS、BEA Weblogic 与 IBM Websphere 有一定的差距。BEA Weblogic 在高可用性、高可靠性、稳定性以及与其它中间件集成等方面具有一定的优势。虽然 Web 应用服务器已逐步成熟,但在满足不断变化的 QoS 需求方面,Web 应用服务器存在开放性和灵活性差、便利性和自适应能力低以及客户透明性不强等不足之处。

随着电子商务、XML、企业应用集成、Web Services 等技术发展,Web 应用服务器开始向完整的企业应用 Web 基础结构平台发展。目前,几个较为突出的研究方向包括 Web 应用服务器体系结构研究、自适应负载平衡算法、高速缓存技术、高可靠性研究以及事务性 Web 应用开发和测试方法等等。

参考文献

- 1 Orfali R, Harkey D, Edwards J. The Essential Client/Server Survival Guide, Second Edition (Wiley, 1996)
- 2 Edwards J, DeVoe D. 3-Tier Client/Server At Work. Wiley Computer Publishing, 1997
- 3 Linthicum D. Client/Server and Intranet Development. Wiley, 1997
- 4 Bernstein P. Middleware: A Model for Distributed System Services. Communication of the ACM, Vol. 39, No. 2
- 5 Coulouris G, Dolimore J, Kingberg T. Distributed Systems-Concepts and Design. 3rd Edition, Addison-Wesley, 2000
- 6 Geibs K. Middleware Challenges Ahead. Computer.org, 2001
- 7 Mattern F, Sturm P. From Distributed Systems to Ubiquitous Computing. The State of the Art, Trends, and Prospects of Future Networked Systems, 2001
- 8 Ricciuti M. Application server eludes definition. 1998. <http://news.com/2001-1001-214783.html?tag=rn>
- 9 Mohan C. Tutorial: Application Servers and Associated Technologies. ACM SIGMOD'2002, June 2002
- 10 Copeland R. Web Application Servers. 1999. <http://www.informationweek.com/704/04iuapp.htm>
- 11 J2EE App Server Evolution: Survival of the Cheapeast?, MetaGroup, 2002
- 12 Roman E. The technical benefits of EJB and J2EE Technologies over COM+ and windows. Middleware company. 1999
- 13 Deshpande S, Martin B, shantisubramanyam. Eight Reasons Ecperfl is the right way to Evaluate J2EE Performance. 2002. <http://ecperfl.serverside.com>
- 14 Oracle. Oracle9i Application Server Web Cache, 2002. http://www.oracle.com/features/9iAS/index.html?tlas_Webcach_e.html