

多议数据库技术的最新发展

陈楠

一、概述

作为计算机软件的的一个重要分支,数据库技术一直是倍受业界关注的焦点。从60年代末开始,数据库技术经历了层次数据库、网状数据库和关系数据库而进入数据库管理系统(DBMS)阶段至今,数据库技术的研究也不断取得进展。

1970年Codd提出了关系数据模型,以关系(又称表,Table)作为描述数据的基础并奠定了关系数据库的理论基础。80年代,关系数据库成为发展的主流,几乎所有新推出的DBMS产品都是关系型的。随着微机的出现和计算机网络的广泛应用,分布式处理系统也得到了迅速的发展。与此相呼应,分布式数据库系统也成为80年代数据库研究的重点,并日趋成熟。目前,几乎所有的分布式DBMS产品都是关系型的,而且几乎所有上述主要的DBMS产品都包含了分布式DBMS的功能。而90年代将是分布式数据库步入广泛应用的时代。随着应用领域的不断拓展,为满足应用对数据处理不断“苛刻”的要求,人们开始发现关系数据库的许多限制和不足,这又推动了数据库技术的新一轮研究,数据库系统必须引入新的数据处理技术。道路无非有两条:一是改造和扩充关系数据库,以适应新的应用需求;二是改用新的数据模型,例如面向对象的数据模型、基于逻辑的数据模型等。

目前,这两方面都取得了很大的进展,人们期待着一个“后关系数据库”(Post-Relational Database)时代的到来。

二、数据库系统结构的发展

1. DBMS 进程结构的最新发展

(1)多线程DBMS进程结构

随着应用对大量联机事务处理(OLTP)的需求,以进程(Process)为单位完成多个事务的并发执行暴露出许多的弱点,当用户数增多时系统的性能明显下降。一种新的进程结构——多线程(Multi-thread)DBMS进程结构能较好地解决多事务并发执行的问题。在单进程多线程结构的DBMS中,系统只创建一个DBMS进程,该进程可由多个线程组成,DBMS的并发执行单位由进程改为线程(Thread),线程之间

的通讯是通过消息(Message)和端口(Port)来实现的。消息通过端口传送给另一个线程,消息头含有消息种类及目的端口等信息,消息的传递可以是同步的也可以是异步的。每增加一个用户只需增加一个线程,线程的转换只是简单的运行状态的改变,而不会引起进程空间的切换,减少了系统开销,使得事务处理的响应时间和系统的吞吐能力比在每用户一个进程的结构中有十分明显的改进,特别是在用户数大量增加时(如飞机订票系统、银行出纳系统等),这种优点更为突出。这也正是为什么在多线程结构中用户数增至成百上千而系统性能(主要指事务响应时间)仍然很少下降的原因所在。

(2)虚拟服务器结构(VSA)

虚拟服务器结构是一种适用于对称多处理机(SMP)配置的数据库结构。其基本思想是,在多台处理机结构中,每一个指定的CPU上设置一个数据库引擎(Engine)作为一个服务器,这些服务器在功能上是完全相同的。通过它们的密切协同工作,成为一个逻辑服务器,处理外部的业务请求。每一个engine有一个相应的进程,而这个进程具有多线程结构,于是这种数据库结构实际上是一种多进程多线程结构。每一个外部事件的请求都由某个运行于固定CPU上的engine所对应的进程中的一个线程来处理。由于CPU的对称性和每个engine功能的一致性,事务由哪个线程来处理其结果是完全一样的。因而使多CPU的并行处理能力得到充分发挥,是系统的吞吐量大大增加,而响应时间却相对缩短。

2. DBMS 系统结构的最新发展

(1)网络环境下数据库的客户机/服务器结构

在典型的客户机/服务器(Client/Server)结构中,数据库系统的界面和表现逻辑放在客户机上处理,而数据的修改、分类、检索,安全性确认,事务恢复和对共享数据的访问管理,全部放在服务器上执行。客户机直接面向用户,接受并处理任务,并将任务中需要由服务器完成的部分通过网络请求服务器执行,服务器处理后将处理结果又通过网络传回给客户。这样一来,事务逻辑所涉及到的安全性、数据完整性和逻辑完整性都可以集中在服务器上统一由系统解决,形成分布式处理,而不是让访问该数据的每个应用程序自己解决,从而有利于提高性能和完善控制,并减少应用程序开发和维护的开销。

具有客户机/服务器结构的数据库系统虽然在处理上是分布的,但是数据却是集中的。因此,客户机/服务器系统实际上是在微机局域网环境下,合理划分任务,进行分布式数据处理的一种应用系统结构,是解决微机大量使用而又无力承担所有处理任务这一矛盾的一种合理方案。随着微机性能的不提高和计算机网络的广泛应用,用微机取代一部分大型机和小型机的功能,已成为技术发展的趋势,即所谓的“缩小化”(Downsizing)趋势。这种趋势决定了数据库的客户机/服务器结构将得到日益广泛的应用。

(2)物理上分布、逻辑上分布的分布式数据库结构

这种分布式数据库结构的特点是结点自治(Site Autonomy)和没有全局数据模式(Global Data Schema)。每个结点所看到的数据模式仅仅限于该结点所用到的数据。它一般由两部分组成:一是本结点的数据模式,二是供本结点共享的其他结点上的有关的数据模式。结点间的数据共享由双边协商确定。如果一个新的结点要加入系统,它开始时可用本结点的数据,然后与有关结点协商,共享其他结点的有关数据;本结点的数据同样可被其他结点共享。这种扩展完全是渐进的,不会影响原有系统的运行。由于每一个结点所看到的数据模式是不一样的,就好像系统中有多个逻辑数据库,因而在逻辑上这种数据库结构也是分布式的。由于无全局数据模式,一个结点的数据模式的修改甚至一个结点的加入或撤离,仅仅影响有关的结点。一个结点在给数据对象命名时,只要求在本结点的数据模式中唯一,无需考虑与其它无关数据对象的重名问题。每个结点好像拥有一个满足自己需要的集中式数据库一样,而不受制于全局数据模式,甚至不必有“全局观念”。结点具有很高的自治性。这种分布式数据库系统有称为“联邦式数据库系统”(Federated Distributed Database System)。联邦式数据库结构有利于数据库的集成、扩展和重新配置,尽管目前还不如集中式数据库成熟,但却具有很好的研究价值和应用前途。

三、并行数据库技术

数据库的并行处理(Parallel Processing)是提高数据库系统对事务快速响应能力的有效手段。从硬件上讲,并行处理是设置若干个能同时工作的部件和设备,如CPU部件与外设并行;多个外设并行;多个CPU并行等。从软件上讲,并行处理是设置若干个可以同时运行的单位(如线程),这些并行单位可以完成相同或不同的数据处理功能。

目前并行计算机的体系结构主要有以下几类:第一类是紧耦合全对称多处理器(SMP)系统,所有的CPU共享内存与磁盘;第二类是松耦合群集机系统,所有CPU共享磁盘;第三类是大规模并行处理(MPP)系统,所有CPU均有自己的内存与磁盘。此外还有混合结构,常见的是SMP群集机系统(SMP Cluster),即MPP系统的每个结点不是一个单一的处理单元,而是一个SMP系统。相应地,并行数据库系统的体系结构也主要有以下3种:共享内存(Shared-Memory)结构、共享磁盘(Shared-Disk)结构和无共享资源(Shared-

Nothing)结构等。

并行数据库技术包括了对数据库的分区管理和并行查询。它通过将一个数据库任务分割成多个子任务的方法由多个处理机协同完成这个任务,从而极大地提高了事务处理能力,并且通过数据分区可以实现数据的并行I/O操作。DBMS进程结构的最新发展为数据库的并行处理奠定了基础。多线程技术和虚拟服务器技术是并行数据库技术实现中采用的一项重要技术。一个理想的并行数据库系统应能充分利用硬件平台的并行性,采用多进程多线程的数据库结构,提供不同粒度(Granularity)的并行性;不同用户事务间的并行性、同一事务内不同查询间的并行性、同一查询内不同操作间的并行性和同一操作内的并行性。

并行数据库系统以高性能(线性加速比)、高可用性和高扩充性(线性伸缩比)为目标,充分利用多处理器平台的并行能力,通过多种并行性,在联机事务处理与决策支持应用两种典型环境中提供快速的响应时间和较高的事务吞吐量。虽然并行数据库系统的许多关键技术(如并行数据库的物理组织、并行数据操作算法的设计与实现、并行数据库的查询优化、并行join、数据库划分、系统视图等)仍需深入研究,但业界普遍认为,并行数据库系统不久将成为高性能数据库系统的佼佼者。

四、分布式数据库与联邦数据库技术

1. 分布式数据库系统

随着数据存储的分布性需求日益广泛,对分布式数据的管理和访问就成为数据库技术必须解决的问题。由于一个事务所涉及的数据可能分布在多个结点上,这就要求数据库系统具备一个优化的分布查询策略。对于这种分布执行的事务,系统要保证事务执行的原子性和可串行化,以及解决分布环境下的安全问题、恢复问题、分布透明性、结点自治、全局命令空间、分布式查询、分布式更新、数据分布与复制、两阶段提交(2PC)、网络数据字典(NDD)等关键问题。分布式数据库系统正是为解决上述问题而设计的。

一个分布式数据库系统由一个逻辑数据库组成,这个逻辑数据库的数据存储在一个或多个结点的物理数据库上,通过两阶段提交(2PC)协议来提供透明的数据访问和事务管理。分布式数据库系统在系统结构上的真正含义是指物理上分布、逻辑上集中的分布式数据库结构。数据在物理上分布后,由系统统一管理,使用户不感到数据的分布。用户看到的似乎不是一个分布式数据库,而是一个数据模式为全局数据模式的集中式数据库。分布式数据库有利于改善性能、可扩充性好、可用性好以及具有自治性等优点。目前主要应用在证券交易和银行清算系统中。

分布式数据库系统仍存在不足:由于数据库系统的应用通常是逐步发展的,起先是建立各种孤立的数据库,而管理这些数据库的计算机系统和DBMS包括数据模型很可能是不同的,也就是异构的(Heterogeneous)。当应用需要转向分布式数据处理时,抛弃原有的系统另砌炉灶显然是不合理

的,这就需要解决异构数据库的集成问题。这在技术上有一定的复杂性,而且目前还很难用一个通用的 DBMS 来解决这样的问题。人们希望一种新的数据库技术——联邦数据库系统(Federated Database System)能解决这一问题。此外分布式数据库系统虽然有利于改善性能,但如果数据库设计不好,数据分布不合理,使远距离访问过多,特别是当分布连接操作过多时,都会降低系统的性能。

2. 联邦数据库系统

分布式数据库系统不能很好解决的异构数据库的集成问题,可以通过建立联邦数据库系统来解决。通常称相互独立运行的数据库系统为单元数据库系统(Component DBS)。它是原本存在的、在局部地区应用的数据库系统,它们是联邦数据库系统的一部分。

所谓联邦数据库系统(FDBS)是一个彼此协作却又相互独立的单元数据库(CDBS)的集合,它将单元数据库系统按不同程度进行集成。对该系统提供整体控制和协同操作的软件叫做联邦数据库管理系统(FDBMS)。一个单元数据库可以加入若干个联邦系统,每个单元数据库系统的 DBMS 可以是集中的,也可以是分布的,或者是另外一个 FDBMS。

联邦数据库系统的主要特征是,一个 CDBS 在继续本地操作的同时可以参加联邦系统的活动。单元 DBMS 的集成可以由联邦系统的用户来管理,也可以由联邦系统的管理员和单元 DBS 的管理员共同管理,整体系统集成的程度取决于联邦系统用户的要求以及加入联邦系统并共享联邦系统数据库的单元 DBS 的管理员的要求。包含多种数据库系统的 FDBS 其特征还体现在分布、异构和独立 3 个方面。

目前我们所熟悉的支持联邦数据库的产品主要有: Ingres 公司的 Ingres 系统,允许用户访问分布数据库; Data Integration 公司的 Mermaid 系统,主要解决异构环境(硬件、OS、DBMS 等)下数据存取和集成的操作问题; Sybase 公司的 Sybase 系统,解决任何数据库和应用程序集成到异构环境中的客户机/服务器(C/S)结构中,支持分布式操作,基于关系模式,其基本查询语言是 SQL。

五、面向对象数据库与多媒体数据库技术

1. 面向对象数据库系统

面向对象(Object-Oriented, OO)数据库系统是数据库技术与 OO 技术相结合的产物。在面向对象数据库(OODB)产生之初,就受到整个学术界和工业界的关注。这是因为 OO 数据模型比传统数据模型具有以下优势:①具有表示和构造复杂对象的能力;②通过封装和消息隐藏技术提供了程序的模块化机制;③继承和类层次技术提供了软件的重用机制;④通过滞后联编等概念提供系统扩充能力。但是 OODB 至今没有统一的标准,这又是因为 OODB 的发展具有以下的特点:①缺乏通用的数据模型;②缺乏坚实的形式化的理论基础;③具有较强的实践性。

(1) OODB 的基本内容及特征

①数据模型:支持以下基本概念:对象、复合对象、封

装、类、继承、重载、滞后联编、多态性。其中复合对象的概念包括支持生成复合对象的构造器:元组、集合、包、列表、数组等,构造器应具备正交性,即任一构造器可以作用到任一种对象上。

②数据库管理系统:除了具有传统的 DBMS 所具有的功能如并发控制、故障恢复外,还支持永久对象、长事务处理和嵌套事务,具有版本管理和模式演化的能力,能维护数据完整性,适合在分布式环境下工作。

③数据库访问界面:支持消息传递,提供计算能力完备的数据库程序设计语言,能解决数据库语言与宿主语言的阻抗不匹配问题,提供类似 SQL 的非过程化查询功能。

(2) OODB 的新技术

①数据模型中嵌套了更多的语义,允许定义任意复杂的数据类型;

②提供对象操作的内在优点,把真实世界几乎所有的实体都表示为对象,根据对象的逻辑关系将它们的物理存储聚集在一起,减少了数据 I/O 访问,提高应用程序的运行速度;

③通过创建子类实现复杂的完整性约束,其继承性能方便数据库的开发与维护,仅需不断地进行局部修改,就可使数据库稳步增长;

④具有处理不确定型和模糊型对象的即席查询能力,特别是在低层有知识工程支持的情况下;

⑤ OODB 的研究提出了许多的事务处理模型,如开放嵌套事务模型、EDD(工程设计数据库)模型、MCP(多重提交点)模型等;

⑥通过对象高速缓存、对象标识符切换(Swizzling)、定义与性能相关的特征(如聚集, Clustering)等技术,使 OODB 执行复杂应用(如多媒体等)时具有极高的性能。

2. 多媒体数据库系统

通常把能够管理数值、文字、表格、图形、图像、声音等多种媒体的数据库称为多媒体数据库(Multimedia Database, MDB)。近年来,大容量光盘、高速 CPU、高速数字信号处理器(DSP)以及宽带网络等硬件技术的发展为多媒体技术的应用奠定了基础。对多媒体数据库的管理主要有 3 种方式:一是基于关系模型,加以扩充,使之支持多媒体数据类型;二是基于 OO 模型来实现对多媒体信息的描述及操纵;三是基于超文本模型。

(1) 多媒体数据库应具有的功能

针对多媒体信息的特点, MDB 应支持以下特殊功能:

①支持图形、图像、动画、声音、动态视频、文本等多媒体字段类型及用户定义特殊类型;

②支持定长数据和非定长数据的集成管理;

③支持复杂实体的表示和处理,要求有表示和处理实体间复杂关系(如时空关系)的能力,有保证实体完整性和一致性的机制;

④支持同一实体的多种表现形式(如一段视频在播放时可改变其帧率或一幅静态图像,在显示时改变其对比度等性质而不影响库中的内容等);

- ⑤具有良好的用户界面;
- ⑥支持多媒体的特殊查询及良好的处理接口;
- ⑦支持分布式环境。

(2) 多媒体数据库系统的关键技术

①数据模型技术, 如 OO 数据模型、语义数据模型 (Semantic Data Model) 等;

- ②数据的存储管理与压缩/解压缩技术;
- ③多媒体信息的统一技术;
- ④多媒体信息的再现及良好的用户界面技术;
- ⑤多媒体信息的检索与查询及其它处理技术;
- ⑥分布式环境与并行处理技术。

六、模糊数据库与演绎数据库技术

1. 模糊数据库

传统的数据库仅允许对精确的数据进行存储和处理, 而客观世界中许多事物是不精确的。模糊数据库的研究和实践就是为了解决模糊数据的表达和处理问题, 使得数据库描述的模型能更自然、更贴切地反映客观世界。国际上对模糊数据库的研究主要是从 80 年代初开始的, 旨在克服传统数据库难以表达和处理模糊信息的弱点, 进而扩展数据库的功能, 开拓更新、更广的应用领域。十多年来, 大量的研究工作集中在模糊关系数据库方面, 即对关系数据库进行模糊扩展, 如模糊数据表达、模糊查询、模糊数据库设计等。近年来, 亦有许多工作是对关系模型之外的其他数据库模型进行模糊扩展, 如模糊 ER (实体-关系)、模糊 OO 数据库等等。模糊数据库技术在管理信息系统 (MIS)、专家系统、决策支持系统 (DSS)、群体工作环境系统中占有重要的位置。

2. 演绎数据库

大家知道, 关系和关系代数可用一介谓词逻辑表示。一介谓词逻辑比较早地用于定理证明和逻辑程序设计语言, 直到 70 年代后期才作为一种数据模型提出来, 这就是所谓基于逻辑的数据模型 (Logic Data Model)。从 70 年代末到 80 年代初, 人们还停留在这种数据模型的理论研究上; 80 年代中期以后, 出现了一批以基于逻辑的数据模型为基础的 DBMS 原型, 这就是演绎 DBMS (Deductive DBMS)。谓词所表示的关系有两种: 一种实际存储在数据库中, 称为外延数据库 (Extensional Database, EDB) 关系; 另一种只有定义, 而其元组并不存储在数据库中, 在需要时可以导出, 称为内涵数据库 (Intensional Database, IDB) 关系。通过 IDB 关系, 可以在数据库中按需要定义各种导出关系 (Derived Relation), 这是数据库中非常有用的功能。从逻辑上看, 数据库是一组谓词实例的集合, 可以称之为事实 (Fact); 查询和 IDB 关系都可以用逻辑程序中的规则表示。

事实加上规则就构成了一个逻辑数据库 (Logic Database)。演绎 DBMS 和 OODBMS 是继关系 DBMS 以后的两个重要发展方向。无论演绎 DBMS 能否作为一种商品化的 DBMS 获得广泛的应用, 但在扩大数据库的查询功能 (特别是递归查询功能) 和提高数据库的推理能力方面, 基于逻辑

的数据模型有不可取代的作用。

七、数据仓库、数据挖掘与数据库的联机分析处理技术

快速、准确、高效地收集和分析信息是企业提高决策水平和增强企业竞争力的重要手段。企业数据就象埋藏在深山中的金矿, 如果不能供企业决策人员使用, 就不能充分发挥其应有的价值。建立以数据仓库 (Data Warehouse, DW) 技术为基础、以数据库的联机分析处理 (On-Line Analytical Processing, OLAP) 技术和数据挖掘 (Data Mining, DM) 技术为实现手段的决策支持系统是解决上述问题的一种有效、可行的体系化解决方案。

数据仓库是利用计算机和数据库技术的最新进展, 把整个企业的数据, 无论其地理位置、格式和通信要求系统集成在一起, 并能把当前使用的业务信息分离出来, 保证关键任务的 OLTP 应用的安全性和完整性, 同时可以访问各种各样的数据库。数据仓库不是单一的产品, 而是由软硬件技术组成的环境。它把各种数据库 (源数据库) 集成为一个统一的数据仓库 (目标数据库), 并且把各种数据转换成面向主题 (Subject-Oriented) 的格式, 能从异构的数据源中定期抽取、转换和集成所需要的数据, 便于最终用户访问并能从历史的角度进行分析, 最后做出战略决策。

数据挖掘是从大型数据库或数据仓库中发现并提取隐藏在其中的信息的一种新技术, 目的是帮助决策者寻找数据间潜在的关联, 发现被忽略的要素, 而这些信息对预测趋势和决策行为也许是十分有用的。数据挖掘技术涉及数据库、人工智能 (AI)、机器学习和统计分析等多种技术。

数据挖掘技术能从 DW 中自动分析数据, 进行归纳性推理, 从中发掘出潜在的模式, 或产生联想, 建立新的业务模型, 帮助决策者调整市场策略, 做出正确的决策。数据挖掘表明, 知识就隐藏在日常积累下来的大量数据之中, 而仅靠复杂的算法和推理并不能发现知识, 数据才是知识的真正源泉。数据挖掘为 AI 的发展指出了一条新的发展道路。

数据库的联机分析处理技术是以超大规模数据库 (VLDB) 或数据仓库为基础对数据进行多维化和预综合分析, 构建面向分析的多维数据模型, 再使用多维分析方法从多个不同角度对多维数据进行分析、比较, 找出它们之间的内在联系。OLAP 使分析活动从方法驱动转向了数据驱动, 分析方法和数据结构实现了分离。

数据仓库、OLAP 和数据挖掘是 3 种独立的信息处理技术。数据仓库用于数据的存储和组织; OLAP 集中于数据的分析; 数据挖掘则致力于知识的自动发现。它们可以分别应用到信息系统的设计和实现中, 以提高相应部分的处理能力。在现代的决策支持系统解决方案中, 综合 DW 技术、OLAP 技术和 DM 技术是最有前途的选择。

(作者地址: 甘肃省玉门石油管理局信息中心, 735200; 收稿日期: 1997.5)

