数据库技术发展趋势*

孟小峰[1+], 周龙骧[2], 王 珊[1]

[1](中国人民大学 信息学院,北京 100872)
[2](中国科学院 数学与系统科学研究院 数学研究所,北京 100080)

State of the Art and Trends in Database Research

MENG Xiao-Feng[1+], ZHOU Long-Xiang[2], WANG Shan[1]

[1](Information School, Renmin University of China, Beijing 100872, China)
[2](Institute of Mathematics, Academy of Mathematics and Systems Sciences, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)
+ Corresponding author: Phn: +86-10-62515575, E-mail: xfmeng@ruc.edu.cn, http://www.ruc.edu.cn
Received 2004-07-28; Accepted 2004-09-06

Meng XF, Zhou LX, Wang S. State of the art and trends in database research. *Journal of Software*, 2004,15(12):1822~1836.
http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/1822.htm

Abstract: This paper discusses the state of the art, the challenge problems that we face, and the future trends in database research field. It covers the hot topics such as information integration, stream data management, sensor database technology, XML data management, data grid, self-adaptation, moving object management, small-footprint database, and user interface.
Key words: database; DBMS; pan-data

摘 要: 讨论目前数据库研究领域中最热门的几个研究方向的发展现状、面临的问题和未来趋势.包括信息集成、数据流管理、传感器数据库技术、XML 数据管理、网格数据管理、DBMS 自适应、移动数据管理和微小数据库,数据库用户界面等.
关键词: 数据库;数据库管理系统;泛数据
中图法分类号: TP311 **文献标识码**: A

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.60073014, 60273018 (国家自然科学基金); the Key Project of Ministry of Education of China under Grant No.03044 (国家教育部科学技术重点项目); the Excellent Young Teachers Program of Ministry of Education of China (国家教育部优秀青年教师资助计划)

作者简介: **孟小峰**(1964－),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为 Web 数据集成,XML 数据库,移动数据管理;**周龙骧**(1938－),男,研究员,博士生导师,主要研究领域为数据库系统实现技术,分布式数据库技术,电子商务技术;**王珊**(1944－),女,教授,博士生导师,主要研究领域为数据库,知识库,数据仓库.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

1 泛数据研究的时代

数据库技术从诞生到现在,在不到半个世纪的时间里,形成了坚实的理论基础、成熟的商业产品和广泛的应用领域,吸引了越来越多的研究者加入,使得数据库成为一个研究者众多且被广泛关注的研究领域.随着信息管理内容的不断扩展和新技术的层出不穷,数据库技术面临着前所未有的挑战.面对新的数据形式,人们提出了丰富多样的数据模型(层次模型、网状模型、关系模型、面向对象模型、半结构化模型等),同时也提出了众多新的数据库技术(XML 数据管理、数据流管理、Web 数据集成、数据挖掘等).

回顾数据库发展之初,数据模型是制约数据库系统的关键因素.E.F Codd 博士(1923-2003)提出的关系模型充分考虑了企业业务数据的特点,从现实问题出发,为数据库建立了一个坚实的数学基础.在整个计算机软件领域,恐怕难以找到第 2 个像关系模型这样,概念如此简单,但却能带来如此巨大市场价值的技术.

关系模型在关系数据库理论基本成熟后,各大学、研究机构和各大公司在关系数据库管理系统(RDBMS)的实现和产品开发中,都遇到了一系列技术问题.主要是在数据库的规模愈来愈大,数据库的结构愈来愈复杂,又有愈来愈多的用户共享数据库的情况下,如何保障数据的完整性、安全性、并发性以及故障恢复的能力,它成为数据库产品是否能够进入实用并最终为用户接受的关键因素.Jim Gray 在解决这些重大技术问题,使 RDBMS 成熟并顺利进入市场的过程中,发挥了关键作用.概括地说,解决上述问题的主要技术手段和方法是:把对数据库的操作划分为“事务”的基本单位,一个事务要么全做,要么全不做(即 all-or-nothing 原则);用户在对数据库发出操作请求时,需要对有关的不同数据“加锁”,防止不同用户的操作之间互相干扰;在事务运行过程中,采用“日志”记录事务的运行状态,以便发生故障时进行恢复;对数据库的任何更新都采用“两阶段提交”策略.以上方法及其他各种方法被总称为“事务处理技术”.

E.F Codd 和 Jim Gray 在关系模型和事务处理技术上的创造性思维和开拓性工作,使他们成为这一领域公认的权威,并于分别于 1981 年和 1998 年成为图灵奖获得者.

在成熟的关系 DBMS 产品行销于世之后,数据库的研究困惑于如下的问题:DBMS 本身的研究是不是已经没有问题了?新的处理要求在哪里?旗帜鲜明地提出这一思考的是 VLDB2000 会议,会议的主题是“Broadening the Database Field”,会议的论文设置也截然分为两类,即“core database technology”和“information systems infrastructures”,体现了在对传统问题关注的同时,着力寻求信息系统创新途径中所存在的数据管理问题.而信息系统创新途径的根本前提是 Web 时代的到来.于是,在 Web 大背景下的各种数据管理问题成为人们关注的热点,我们不妨把它笼统地称为“泛数据”研究.

所谓“泛数据”是相对原本人们所关注的企业业务数据而言的.这是 Web 时代的到来带给人们的新问题.“泛数据”研究“泛”在两个方面:

X-data: XML data (XML Databases), streaming data (Streaming Databases),…

X-computing: grid computing (Grid Databases), sensor network (Sensor databases), P2P computing (P2P databases), ubiquitous/pervasive computing (Ubiquitous/Pervasive Databases),…

目前,“泛数据”研究的根本问题是它能否产生与关系模型和事务处理技术比肩的成果.“泛数据”深层次的问题何在?“泛数据”对现有 DBMS 体系结构变革的需要在哪里?这一切需要我们深思熟虑,是研究数据库所不能回避的.

本文基于这一想法,结合国际相关会议的情况,讨论目前数据库研究领域中最热门的几个研究方向的发展现状、面临的问题和未来趋势.希望能给数据库研究者尤其是正在进入数据库研究领域的人员一些启发.本文讨论的问题只是数据库研究领域中的一部分,观点也可能存在偏颇之处,但我们相信分析和预测数据库发展动态的工作,对促进中国数据库技术的研究和应用水平的提高具有重要的意义.

2 国际数据库研究界动态

每隔几年,国际上一些资深的数据库专家就会聚集一堂,探讨数据库的研究现状、存在的问题和未来需要关注的新的技术焦点,其中包括:1989 年在 Laguna Beach,Calif.[1],1990 年和 1995 年在 Palo Alto,Calif.[2,3],

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

“Lagunita”,1996 年在 Cambridge,Mass.[4]和 1998 年在 Asilomar,Calif.[5]的研讨会,2003 年的聚会在 Lowell, Mass.[6]举行,共有 25 位资深数据库学者参加.他们来自不同国家和地区,有着不同的研究兴趣,学者们就数据库研究的现状和将来的走向展开了深入的讨论,提出了一些重要的观点.

与会的学者集中讨论了信息存储、组织、管理和访问等问题.这些问题受新型应用、技术趋势、相关领域的协同工作和领域本身的技术变革所驱动.信息的本质和来源在不断变化,每个人都意识到 Internet,Web,自然科学和电子商务是信息和信息处理的巨大源泉.同时,另一个巨大的信息源即将到来,即廉价的微型传感器技术使得大部分的物体可以实时上报它们的位置和状态.这类信息能支持对移动对象的状态和位置的监视等应用.伴随新的制约与机会,传感信息的处理将会引发许多新环境下的极有趣味的数据库问题.

在应用领域,Internet 是目前主要的驱动力,特别是在支持“跨企业”的应用上.在历史上,应用都是企业内部的,可以在一个行政领域内进行完善的指定和优化.但是现在,大部分企业感兴趣的是如何与供应商和客户进行更密切的交流,以便提供更好的客户支持.这类应用从根本上说是跨企业的,需要安全和信息集成的有力工具.由此产生的新问题需要数据库研究人员去解决.

越来越重要的另一个应用领域是自然科学,特别是物理科学、生物科学、保健科学和工程领域,这些领域产生了大量复杂的数据集,需要比现有的数据库产品更高级的数据库的支持.这些领域同样也需要信息集成机制的支持.除此之外,它们也需要对数据分析器产生的数据管道进行管理,需要对有序数据进行存储和查询(如时间序列、图像分析、网格计算和地理信息),需要世界范围内数据网格的集成.

除了在信息管理领域我们遇到的这些挑战之外,在传统的 DBMS 相关的问题上,诸如数据模型、访问方法、查询处理代数、并发控制、恢复、查询语言和 DBMS 的用户界面等主题也面临着巨大的变化.这些问题过去已经得到充分研究,但是技术的发展不断改变其应用规则.比如,磁盘和 RAM 容量的不断变大,存储每个比特数据的花费不断降低等.虽然访问次数和带宽也在不断提高,但是它们不像前者发展得那样快,不断变化的相对比率要求我们重新评估存储管理和查询处理代数.除此之外,处理器 cache 的规模和层次的提高,也要求 DBMS 算法能够适应 cache 大小的变化.上述只是由于技术变迁诱导的根据新情况对原有算法重新评价的两个例子.

另一个推动数据库研究发展的动力是相关技术的成熟.比如,在过去的几十年里,数据挖掘技术已经成为数据库系统重要的一个组成部分.Web 搜索引擎导致了信息检索的商品化,并需要和传统的数据库查询技术集成.许多人工智能领域的研究成果也和数据库技术融合起来,这些新的技术使得我们可以处理语音、自然语言,进行不确定性推理和机器学习等.

Lowell 报告[6]认为,我们注意到了许多新的应用,新的技术趋势以及和影响信息管理的相关领域的协作.整体上,这些都要求一个和现今我们所拥有的完全不同的信息管理架构,并需重新考虑信息存储、组织、管理和访问等方面的问题.

3 主流技术发展趋势

在这一部分中,我们从信息集成、数据流管理、传感器数据库技术、半结构化数据与 XML 数据管理、网格数据管理、DBMS 自适应管理、移动数据管理、微小型数据库、数据库用户界面等方面分别讨论目前数据库领域研究方向的发展现状、面临的问题和未来趋势.

3.1 信息集成

信息系统集成技术已经历了 20 多年的发展过程,研究者已提出了很多信息集成的体系结构和实现方案,然而这些方法所研究的主要集成对象是传统的异构数据库系统.随着 Internet 的飞速发展,网络迅速成为一种重要的信息传播和交换的手段,尤其是在 Web 上,有着极其丰富的数据来源.如何获取 Web 上的有用数据并加以综合利用,即构建 Web 信息集成系统,成为一个引起广泛关注的研究领域.

信息集成系统的方法可以分为[7]:数据仓库方法和 Wrapper/Mediator 方法.

在数据仓库方法中,各数据源的数据按照需要的全局模式从各数据源抽取并转换,存储在数据仓库中.用户的查询就是对数据仓库中的数据进行查询.对于数据源数目不是很多的单个企业来说,该方法十分有效.但对目

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

前出现的跨企业应用,数据源的数据抽取和转化要复杂得多,数据仓库的方法存在诸多不便.

目前比较流行的建立信息集成系统的方法是 Wrapper/Mediator 方法[8,9].该方法并不将各数据源的数据集中存放,而是通过 Wrapper/Mediator 结构满足上层集成应用的需求.这种方法的核心是中介模式(mediated schema)[10].信息集成系统通过中介模式将各数据源的数据集成起来,而数据仍存储在局部数据源中,通过各数据源的包装器(wrapper)对数据进行转换使之符合中介模式.用户的查询基于中介模式,不必知道每个数据源的特点,中介器(mediator)将基于中介模式的查询转换为基于各局部数据源的模式查询,它的查询执行引擎再通过各数据源的包装器将结果抽取出来,最后由中介器将结果集成并返回给用户.Wrapper/Mediator 方法解决了数据的更新问题,从而弥补了数据仓库方法的不足.但是,由于各个数据源的包装器是要分别建立的,因此,Web 数据源的包装器建立问题又给人们提出了新的挑战.近年来,如何快速、高效地为 Web 数据源建立包装器成为人们研究的热点[11~14].

不过,这种框架结构正受到来自 3 个方面的挑战[6].第 1 个挑战是如何支持异构数据源之间的互操作性(interoperability).信息集成必须在多至数百万的信息源上穿梭进行,这些数据源的数据模型、模式、数据表现和查询接口各不相同.数据库界已经对联邦式的数据系统做了多年的研究,其中最早的报告针对这个问题做了广泛的讨论[1].然而,语义的相异性这个痛苦的问题依然存在.由不同人设计的任何两个模式都不会是相同的.它们会有不同的单位(例如工资,一种以欧元计算,而另一种以美元计算),不同的语义解释(也以工资为例,一种仅指档案工资,而另一种是指包含了各种津贴的总收入),对于相同的事务还会有不同的名字(对同一个人,可能一种用的是笔名,而另一种用的是原名,例如鲁迅和周树人).能够在网络标准上进行配置的语义相异性的解决方案依然是难以捉摸的.我们必须认真和集中地对待这个问题,否则跨企业的信息综合只会停留在幻想上.语义 Web 的上下文方面的研究也存在着相同的问题.吸收相关领域的研究成果对解决这一问题是很重要的.

另一个挑战是如何模型化源数据内容和用户查询.目前广泛采用的技术有两种.LAV(local-as-view)方法利用全局谓词集合描述多个数据源内容视图和用户查询.当给定某用户查询时,中间件系统通过综合不同的数据源视图决定如何回答查询.这种方法可看做利用视图回答查询,目前已有一些研究成果,它亦可应用于数据仓库或查询优化等领域.GAV(global-as-view)方法假设用户查询直接作用于定义在源数据关系上的全局视图.人们主要关注的是在这种情况下如何提供高效的查询处理.

第三个挑战是当数据源的查询能力受限时,如何处理查询和进行优化?例如,Amazon.com 数据源可以被看作是提供书的信息的数据库,但是,我们不能随便下载其上所有的书籍信息.事实上,我们只能填写 Web 搜索表格查询数据源并返回结果.很少的组织会允许外部实体来抽取自己运行系统中的所有数据,所以这些数据必须留在源端,在查询的时候才会被访问.如何模型化和计算具受限查询能力的数据源,如何生成查询计划和优化查询的研究工作正在展开[15~17].

这里我们给出信息集成中一些需要进一步研究的问题.

其一,早期的中间件系统采用集中式架构.近来,一种数据库应用需求正在显现,它要求支持共享分布的、基于站点(site)的环境下的数据集成.在这种环境中,网络中自主的站点互相连接交换数据和服务.这样,每个站点既是中间件,又是数据源.一些项目已经成立并正在研究这种新的架构下的问题[9,10].其二,更多的研究者正在注意如何利用清洁的数据(cleansing data)来处理数据源的异构性[6].一个特殊的问题称为“data linkage”,其含义为有效和高效的标示和链接冗余的记录.不同的数据源经常包含表示真实世界同一实体的多个近似但并不相等的冗余的记录或属性.例如“中科院”和“中国科学院”,或者“中国北京”和“北京”.不同的表示可能源于排版错误、拼写错误、缩写或者其他原因.当从 Web 页面上自动抽取无结构或者半结构化文档时,这个问题变得特别尖锐.对多数据源的数据集成,我们需要在进一步处理之前首先清洗数据.近来已有一些关于数据清洗和链接的工作.其三,XML 数据的出现给数据集成带来更多需要解决的问题.其四,正如前面提到的那样,传感器网络和新的量子物理学和生物科学将产生巨大的数据集合.这些传感器和数据集合分布在世界各地,这些数据源能够动态地来往,这一点也打破了传统的信息集成范畴.

从体系结构实现的角度出发,信息集成技术经历了如下 3 个发展阶段[7]:单个的联邦系统、基于组件的分布式集成系统和基于 Web Services 的信息集成系统.Internet 的迅速普及和广泛应用对计算机技术的发展产生

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

了深刻的影响,桌面应用正在向网络应用转移,从网上获得的不仅是信息,还包括程序和交互式应用(即服务),操作界面将在浏览器层面上得到统一,兼容性由网络标准技术实现(如 SOAP,UDDI 和 WSDL 等).在 Web Services 的框架下,使用一组 Web Services 协议,构建信息集成系统.对每个数据源都为其创建一个 Web Service,然后使用 WSDL 向服务中心注册.当要构建一个新的集成应用时,集成端首先向注册中心发送查找请求,收集并选择合适的数据源,然后通过 SOAP 协议从这些数据源获取数据.这种方法克服了上述两种方法的缺陷,具有完好封装、松散耦合、规范协议和高度的集成能力等特性.因此,基于 Web Services 的信息集成方案是构建 Web 数据集成系统较为理想的体系结构.

3.2 数据流管理

测量和监控复杂的动态的现象,如远程通信、Web 应用、金融事务、大气情况等,产生了大量、不间断的数据流.数据流处理对数据库、系统、算法、网络和其他计算机科学领域的技术挑战已经开始显露.这是数据库界一个活跃的研究领域,包括新的流操作、SQL 扩展、查询优化方法、操作调度(operator scheduling)技术等[6].

数据流管理与数据库管理在多个层面上存在差异.见表 1.

Table 1 Comparison of database and data stream

表 1 数据流与数据库对比

	Data stream	Database
Model	Tuple sequence	Tuple set/bag
Data duration	Transient	Persistent
Query	Real-Time, continuous queries	Off-Line, one-time queries
Query evaluation	One pass	Arbitrary
Query answer	Approximate	Exact
Query plan	Fixed	Adaptive

扩展数据库管理系统若直接支持数据流类型就会面临众多问题.首先,在数据库中,数据是稳定的,持续的,而查询是暂时的.在数据流中则正好相反:数据是动态的,而查询是实时稳定的.这就需要增强数据库查询处理能力,支持复杂的实时查询需求.

面临的问题主要有以下几点.其一,数据流环境中的选择、投影,特别是连接和聚集操作具有新的含义.如何扩展查询语言 SQL 的表达能力以便支持数据流查询.其二,引入滑动窗口机制可以把无限的数据流转换为有限的关系.但窗口的长度、个数等特性影响查询的准确性.尤其是在做连接和聚集操作时,不但要处理现在的数据,还要兼顾历史和将来的数据.如何仅用一次扫描实现上述操作,并保证查询的实时和有效是数据流查询处理面临的关键问题.其三,若在有限的空间不能支持数据流的精确聚集操作,引入近似操作机制是必须的和可接受的.利用样本、直方图或者结构信息统计数据流的的研究工作正在展开.其四,如何考虑数据流的查询优化问题.考虑到数据流速(data rate)的情况,数据流查询优化的目的应为获得最大的查询数据流速,即单位时间的数据流量,而不是以往考虑的代价最小的查询计划.基于流速的查询优化的研究工作也是目前数据流研究的热点问题.

商业微传感器设备即将出现,使得新型的 DBMS 的“监视”应用变得可能.数据流的监控应用需要有能够基于数据流间的复杂关系区分正常或反常活动(如网络入侵或电信欺诈监测等)的成熟的实时查询.可以通过传感器给每个重要的对象都加上一个标签,这样就可以实时地报告这个对象的状态或者位置.比如说,人们会在笔记本电脑或者投影仪上附加一个传感器,而不是附上一个财产标签.在这种情况下,如果一个投影仪丢失或者被窃,人们就可以从监视系统中查找其下落.这样的监视系统能不断地接收从传感器发来的“信息流”,信息流给出了系统感兴趣的对象信息.这种信息流在高性能数据输入、时间序列功能、历史消息窗口以及高效率队列处理方面给 DBMS 提出了新的要求.DBMS 产品也将尝试提供对这种监视应用的支持,其方法应该是通过将流处理的功能移植到传统的结构数据框架上.

Web Services 自然也产生数据流,松散结合的系统相互交换大量的商务数据,如订单、零售事务等.这些数据以 XML 格式表现,产生持续的 XML 数据流.具有高效处理 XML 数据流的查询能力,从不间断的 XML 数据流中匹配、抽取和转换部分数据流以驱动后台商务应用,是 Web Services 的核心.

XML 流处理的特点是 XML 文档的节点一次性地按照某种遍历的顺序流过.因为每次面对的总是单个的

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

节点(元素、属性或 text),所以需要将必要的数据有效地缓存,以返回结果.如何协调缓存容量和查询效率之间的平衡,是目前 XML 流处理需要解决的问题之一.目前,查询 XML 数据流的研究包括 Xfilter[18],Yfilter[19],XMLTK[20],XSQ[21],XSM[22]等.处理的方法一般是将 XPath 转化成一个有限自动机模型,有固定的初始节点和终节点,当走到有限自动机的终点时,表示 XPath 查询被匹配.比较复杂的自动机模型可以支持包含双斜杠(//)和*或带多个谓词的 XPath 语句,有的还支持集函数.XML 流处理需要解决的另一个问题是处理同时出现的大量复杂路径查询.有的研究提取相似的 XPath 查询并综合到一个结构中,同时计算共享路径以避免重复操作,可以大大提高处理的效率.

数据流本身的流速和流量的增长,传感器数据流和XML数据流的出现是对传统的数据流处理提出的挑战.部分研究者正致力于将数据流融入数据库管理系统中的工作.另一部分研究者则欲开发普遍适用(NiagaraCQ, Stanford Stream, Telegraph, Aurora)或者专用的(Gigascope)数据流管理系统.

3.3 传感器数据库技术

随着微电子技术的发展,传感器的应用越来越广泛.可以使小鸟携带传感器,根据传感器在一定的范围内发回的数据定位小鸟的位置,从而进行其他的研究;还可以在汽车等运输工具中安装传感器,从而掌握其位置信息;甚至于微型的无人间谍飞机上也开始携带传感器,在一定的范围内收集有用的信息,并且将其发回到指挥中心.

当有多个传感器在一定的范围内工作时,就组成了传感器网络.传感器网络由携带者所捆绑的传感器及接收和处理传感器发回数据的服务器所组成.传感器网络中的通信方式可以是无线通信,也可以是有线通信.

现在,在研究机构和商业公司中都有对传感器网络的研究.WINS NG 是 Sensoria 公司设计的传感器网络结构.该网络结构包括处理传感器数据的服务器、与服务器直接相连的可以将传感器收集的数据传送到服务器的网关节点和作为传感器网络神经末梢的各个收集信息的传感器.各个收集信息的传感器之间可以相互传递数据.在该网络中,信息是通过无线通信的方式传递的.Smart Dust Motes 是 U.C.Berkley 设计的微型传感器网络结构,该网络结构运行在一个立方毫米级的小盒子里,主要包括收集数据的传感器和处理数据的服务器.各个节点之间通过激光传递信息.

在传感器网络中,传感器数据就是由传感器中的信号处理函数产生的数据.信号处理函数要对传感器探测到的数据进行度量和分类,并且将分类后的数据标记时间戳,然后发送到服务器,再由服务器对其进行处理.传感器数据可以通过无线或者光纤网存取.无线通信网络采用的是多级拓扑结构,最前端的传感器节点收集数据,然后通过多级传感器节点到达与服务器相连接的网关节点,最后通过网关节点,将数据发送到服务器.光纤网络采用的是星型结构,各个传感器直接通过光纤与服务器相联接.

传感器节点上数据的存储和处理方法有两种:第 1 种类型的处理方法是将传感器数据存储在一个节点的传感器堆栈中,这样的节点必须具有很强的处理能力和较大的缓冲空间;第 2 种方法适用于一个芯片上的传感器网络,传感器节点的处理能力和缓冲空间是受限制的:在产生数据项的同时就对其进行处理以节省空间,在传感器节点上没有复杂的处理过程,传感器节点上不存储历史数据;对于处理能力介于第 1 种和第 2 种传感器网络的网络来说,则采用折衷的方案,将传感器数据分层地放在各层的传感器堆栈中进行处理.

传感器网络越来越多地应用于对很多新应用的监测和监控.在这些新的应用中,用户可以查询已经存储的数据或者传感器数据,但是,这些应用大部分建立在集中的系统上收集传感器数据.因为在这样的系统中数据是以预定义的方式抽取的,因此缺乏一定的灵活性.

新的传感器数据库系统需要考虑大量的传感器设备的存在,以及它们的移动和分散性.因此,新的传感器数据库系统需要解决一些新的问题.主要包括:

(1) 传感器数据的表示和传感器查询的表示:Cornell 大学的 COUGAR 模型、Rutgers 大学的 WebDust 系统、Washington 大学的 Sagres 系统都对这两个问题进行了研究.在 COUGAR 系统中,每一个传感器表示成一个 ADT,每一个信号处理函数与一个 ADT 函数相联系,该 ADT 函数对于传感器收集到的数据输出一个与传感器所在的位置相关联的序列,COUGAR 采用关系数据库的表来存储这些信息.COUGAR 采用主动方式的持续查

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

询,当在查询过程中有新的数据产生时,这种查询方式会自动增加对新产生的数据的查询.Sagres 系统主要包括两部分,第 1 部分是设备信息管理器,主要存储传感器的设备信息和作为属性的描述性规则等;第 2 部分是查询翻译器,主要采用 ECA 模型对数据进行查询和更新.

(2) 在传感器节点上处理查询分片:传感器资源的有限性,要求我们必须有效地处理各个节点上的查询.

(3) 分布查询分片:产生和传输传感器数据都需要花费代价,必须考虑单个节点的查询效率和网络传输代价的平衡.而且,与传统的分布式查询所不同,在传感器数据库中,没有全局的优化信息,传感器是移动的,而且源数据是动态的,这些都是需要考虑的问题.

(4) 适应网络条件的改变:在传感器网络中,大量的数据查询必须处理传感器之间或者传感器与前端服务器之间的数据流.数据流引擎和数据流操作符是对这种大流量数据进行控制的主要方法.另外,基于传感器数据的本质和网络的可能拥塞,对一个查询分片来说需要决定下一个要执行的数据流操作符,这就是自适应查询处理需要考虑的问题.

(5) 处理站点失败和传输失败的情况:传感器网络中必须考虑站点或者传输失败的情况.

(6) 传感器数据库系统:传感器数据库必须利用系统中的所有传感器,而且可以像传统数据库那样方便、简洁地管理传感器数据库中的数据;建立可以获得和分配源数据的机制;建立可以根据传感器网络调整数据流的机制;可以方便地配置、安装和重新启动传感器数据库中的各个组件等.

3.4 XML数据管理

目前大量的 XML 数据以文本文档的方式存储,难以支持复杂高效的查询.用传统数据库存储 XML 数据的问题在于模式映射带来的效率下降和语义丢失.一些 Native XML 数据库的原型系统已经出现(Taminon,Lore,Timber,OrientX(中国人民大学开发)等).XML 数据是半结构化的,不像关系数据那样是严格的结构化数据,这样就给 Native XML 数据库中的存储系统带来更大的灵活性,同时,也带来了更大的挑战.恰当的记录划分和簇聚,能够减少 I/O 次数,提高查询效率;反之,不恰当的划分和簇聚,则会降低查询效率.研究不同存储粒度对查询的支持也是 XML 存储面临的一个关键性问题[23].

当用户定义 XML 数据模型时,为了维护数据的一致性和完整性,需要指明数据的类型、标示,属性的类型,数据之间的对应关系(一对多,多对多等)、依赖关系和继承关系等.而目前半结构化和 XML 数据模型形成的一些标准(如 OEM,DTD,XML Schema 等)忽视了对这些语义信息和完整性约束方面的描述.ORA-SS[24]模型扩展了对象关系模型用于定义 XML 数据.这个模型用类似 E-R 图的方式描述 XML 数据的模式,对对象、联系和属性等不同类型的元素用不同的形状加以区分,并标记函数依赖、关键字和继承等.其应用领域包括指导正确的存储策略,消除潜在的数据冗余,创建和维护视图及查询优化等.

在 XML 数据查询处理研究中,存在下列焦点问题:

第 1,如何定义完善的查询代数.众所周知,关系数据库统治数据管理领域长盛不衰的法宝就是描述性查询语言 SQL 和其运行基础关系代数.关系代数的目的之一是约束明确的查询语义,之二是用于支持查询优化.关系代数的优势来自简单明确的数据模型——关系,具有完善的数学基础和系统的转换规则.而 XML 数据模型本身具有的半结构化特点是定义完善的代数运算的最大障碍.XML 查询语言中的不确定性是另一个难以克服的困难.目前提出的 Xquery Formal Semantic 标准基于 Function Language 的思想,为查询优化带来了新的困难.

第 2,复杂路径表达式是 XML 查询语句的核心,必须将复杂、不确定的路径表达式转换为系统可识别的、明确的形式.面向对象数据库中的模式支持的分解方法,不适应处理没有模式或者虽有模式信息但模式本身为半结构化和不确定性的 XML 路径分解的情况.并且,XML 数据的存储和索引方法与面向对象数据库不同,而这正是影响路径分解的重要因素.

第 3,XML 数据信息统计和代价计算.传统的对值的统计对 XML 查询是不够的.XML 数据本身缺乏模式的支持,使对数据结构信息的统计显得更加重要.XML 数据中的数值分布在类似树状结构的树叶上,即使相同类型的数据,由于半结构化特点,其分布情况也可能完全不同.因此,需要把对结构的统计信息和对值的统计信息结合到一起,才能得到足够精确的统计信息.对 XML 查询代价的计算可以分为两个层次:上层为对查询结果集

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

大小的估计.给定 XPath 路径,忽略方法的不同,只估计返回路径目标结点结果集的大小.这种方法普遍用于路径分解后确定查询片段的执行次序.下层为执行时间的估计.给定查询片断,估计不同的执行算法所需时间代价.这种方法用于确定查询片段的执行方法.

目前,XML 数据索引按照用途可分为 3 种:简单索引、路径索引和连接索引.简单索引包括标记索引、值索引、属性索引等.路径索引抽取 XML 数据的结构,索引具有相同路径或者标记的结点用于导航查询时缩小搜索的范围.连接索引在元素的编码上建立特定的索引结构来辅助跳过不可能发生连接的节点,从而避免对这些节点的处理.可以利用的索引结构包括 B+树、改进的 B+树[25,26]、R 树和 XR 树[27]等.利用索引提高查询效率实际上是空间换时间的做法.如何针对不同的查询需求建立、使用和维护合适的索引是研究者面临的一个问题.另一个问题是,不同的索引,索引目标也不相同,如何在一个查询中综合地使用不同的索引.随着 XML 数据在电子商务中的广泛应用,XML 数据更新需求迫切,更多的研究者开始关注如何动态地维护索引以适应不断的数据更新的问题.

对于 XML 数据的更新操作,无论在语言,还是在操作方法上都没有一个统一的标准.更新操作从逻辑上是指:元素的插入、删除和更新.更新包括模式检查、结点定位、存储空间的分配和其他辅助数据的更新,比如索引、编码等.在 XML 文档中插入数据的问题需要移动所有插入点后面的数据.为了解决这个问题,引入了空间预留方法,在数据存储时,根据模式定义预留一部分空间给可能的插入点.当有数据插入时,如果预留空间足够,则无须数据移动.如果预留空间不够,则在新申请的页面中插入数据,原有数据也不需要移动.与此同时,为以后的数据插入预留了更多的空间.针对不同的存储策略,数据更新的方法也不同,非簇聚存储方法在更新时无须在物理上保持数据的有序性,更新代价较小.簇聚存储方法在更新时需要更多的无关数据移动以维护簇聚性.因此,对更新频繁的数据,不宜采用簇聚存储方法.

XML 数据处理面临的未解决的问题还包括:首先在查询处理上,是导航处理还是基于代数的一次一集合的处理?这一直是 XML 查询优化研究的焦点,而如何在一个系统中把二者有机地结合起来以提高效率的研究还很不充分.目前对 XML 数据查询的各种不同的执行方法之间的孰优孰劣的比较工作还刚刚开始,并未形成共识性的规则.由于 XML 数据本身的灵活性,找到一些普遍适用的规律是很困难的.在今后的一段时间内,相信会有更多的研究工作在这方面展开.其次,实例化视图作为查询优化的一个重要手段并未在 XML 查询优化研究中得到足够的重视.最后,Native XML 数据库是否是合适的 XML 数据处理解决方案?如果是的话,如何做到 XML 数据与传统数据库数据的互操作?这些都是有待进一步研究的问题.

3.5 网格数据管理[6,28,29]

简单地讲,网格是把整个网络整合成一个虚拟的巨大的超级计算环境,实现计算资源、存储资源、数据资源、信息资源、知识资源和专家资源的全面共享.目的是解决多机构虚拟组织中的资源共享和协同工作问题.在网格环境中,不论用户工作在何种“客户端”上,系统均能根据用户的实际需求,利用开发工具和调度服务机制,向用户提供优化整合后的协同计算资源,并按用户的个性提供及时的服务.按照应用层次的不同可以把网格分为 3 种:计算网格,提供高性能计算机系统的共享存取;数据网格,提供数据库和文件系统的共享存取;信息服务网格则支持应用软件和信息资源的共享存取.

高性能计算的应用需求使计算能力不可能在单一计算机上获得,因此,必须通过构建“网络虚拟超级计算机”或“元计算机”获得超强的计算能力,这种计算方式称为网格计算.它通过网络连接地理上分布的各类计算机(包括机群)、数据库、各类设备和存储设备等,形成对用户相对透明的虚拟的高性能计算环境,应用包括了分布式计算、高吞吐量计算、协同工程和数据查询等诸多功能.网格计算被定义为一个广域范围的“无缝的集成和协同计算环境”.网格计算模式已经发展为连接和统一各类不同远程资源的一种基础结构.网格计算有两个优势,一个是数据处理能力超强;另一个是能充分利用网上的闲置处理能力.为实现网格计算的目标,必须重点解决 3 个问题:其一,异构性.由于网格由分布在广域网上不同管理域的各种计算资源组成,怎样实现异构资源间的协作和转换是首要问题.其二,可扩展性.网格资源规模和应用规模可以动态扩展,并能不降低性能.其三,动态自适应性.在网格计算中,某一资源出现故障或失败的可能性较高,资源管理必须能够动态监视和管理网格资源,

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

从可利用的资源中选取最佳资源服务.

数据网格保证用户在存取数据时无须知道数据的存储类型(数据库,文档,XML)和位置.涉及的问题包括:如何联合不同的物理数据源,抽取源数据构成逻辑数据源集合;如何制定统一的异构数据访问的接口标准;如何虚拟化分布的数据源等.目前,数据网格研究的问题之一是:如何在网格环境下存取数据库,提供数据库层次的服务,因为数据库显然应该是网格中十分宝贵且巨大的数据资源.数据库网格服务不同于通常的数据库查询,也不同于传统的信息检索,需要将数据库提升为网格服务,把数据库查询技术和信息检索技术有机结合,提供统一的基于内容的 TOP-K 数据库检索机制和软件[43~45].

信息网格是利用现有的网络基础设施、协议规范、Web 和数据库技术,为用户提供一体化的智能信息平台,其目标是创建一种架构在 OS 和 Web 之上的基于 Internet 的新一代信息平台和软件基础设施.在这个平台上,信息的处理是分布式、协作和智能化的,用户可以通过单一入口访问所有信息.信息网格追求的最终目标是能够做到按需服务(service on demand)和一步到位的服务(one click is enough).信息网格的体系结构、信息表示和元信息、信息连通和一致性、安全技术等是目前信息网格研究的重点.

目前,信息网格研究中未解决的问题包括:个性化服务、信息安全性和语义 Web[29].对同一个请求,给一个领域专家与一个初学者的应答应该是不一样的.请求应答应该依赖于提交请求者的背景,也应该根据提交请求者以及环境的不同,反馈相应的意见.为了达到个性化,需要为之建立一个框架以概括和发掘适当的源数据.一个值得注意的问题是信息的个性化和不确定性需要人们核实信息系统所提供的答案是否“正确”.例如,如果信息系统出错,提供了不合适的个性化结果,那该怎么办呢?

Internet 的普遍应用使得个体信息的可获得性发生了巨大的变化.对于一般性的数据,如一个人在哪些地方居住过,是很容易得到的.另外,如果查找一个在给定的地方居住的每个人的信息是容易的,那么据此推断一个给定人的室友也就很容易了.站点的集中可以查出哪些人坐过同一架飞机这样的信息,在这样的情况下,不难拿到一个死去的人的私人信息,并用这些信息来冒名申请信用卡,这种身份盗窃问题已成为一个国际问题.数据库的安全性问题在 20 世纪 80 年代进行了许多研究.现在我们需要从一个新的角度来重新研究这个问题,解决数据关联、安全策略、支持多个个体的安全机制以及由第三方把持的信息控制等问题.这些问题与以前单一的防止不合法用户访问以保护数据的情形大为不同,是用于建立一个面向 Web 的安全模型.

未来由“语义 Web”引发的研究机会会非常引人瞩目[29].尽管这个概念所要表达的真正含义并不清楚,然而目前的大多数工作已经集中在“本体(ontology)”上.一个本体刻画了一个论题的领域和范围,这通常用一种形式语言来识别它们的概念及其之间的关系.我们在第 3.1 节曾提到过这项工作对支持信息集成的重要性.因为在这方面,基本的问题是不能把那些在同一个深层次上用不同的术语讨论的同一个问题的数据库综合在一起.关于本体的研究同样也可以让使用数据库和其他资源的用户用语音或者是自然语言来查询他们自己的术语.

由于得到政府和企业的大力支持,近年来,网格技术在国内外都得到飞速发展.网格研究呈现了实验室研究和实际应用紧密结合的局面,网格技术的应用从单纯的科学计算领域扩展到企业计算领域,并推动了相关的产业化进程.

3.6 DBMS的自适应管理[6]

随着 RDBMS 复杂性增强以及新功能的增加,使对数据库管理人员的技术需求和熟练数据库管理人员的薪水支付都在大幅度增长,导致企业人力成本支出也在迅速增加.随着关系数据库规模和复杂性的增加,系统调整和管理的复杂性相应增加.今天,一个 DBA 必须了解磁盘分区,并行查询执行,线程池和用户定义的数据类型.基于上述原因,数据库系统自调优和自管理工具的需求增加,对数据库自调优和自管理的研究也逐渐成为热点.

这类项目至少包含两个部分.首先,目前的 DBMS 有大量“调节按钮”,这允许专家从可操作的系统上获得最佳的性能.通常,生产商要花费巨大的代价来完成这些调优.事实上,大多数的系统工程师在做这样的调整时,并不非常了解这些调整的意义.只是他们以前看过很多系统的配置和工作情况,将那些使系统达到最优的调整参数记录在一张表格中.当处于新的环境时,他们在表格中找到最接近眼前配置的参数,并使用那些设置.

这就是所谓的数据库调优技术.它其实给数据库系统的用户带来极大的负担和成本开销,而且 DBMS 的调

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

优工作并不是仅依靠使用者的能力就能完成的.其实,把基于规则的系统和可调控的数据库联系起来是可以实现数据库自动调优的.目前,广大的用户其实已经在数据库调优方面积累了大量的经验,诸如:动态资源分配、物理结构选择以及某种程度上的视图实例化等.我们认为,数据库系统的最终目标是“没有可调部分”,即所有的调整均由 DBMS 自动完成.它可以依据缺省的规则,如响应时间和吞吐率的相对重要性做出选择;也可以依据用户的需要制定规则.因此,建立能够清楚地描述用户行为和工作负载的更完善的模型是这一领域取得进展的先决条件.除了不需要手工调整,DBMS 还需要一种能力以发现系统组件内部及组件之间的故障,辨别数据冲突,侦查应用失败,并且做出相应的处理.这些能力要求 DBMS 具有更强的适应性.

学术界与工业界都在努力,有的数据库厂商已将部分研究成果转化到产品中去.我们相信,达到实质意义上的“无可调部分”,即开发出无须 DBA 的 DBMS 是可能的.

3.7 移动数据管理

目前,蜂窝通信、无线局域网以及卫星数据服务等技术的迅速发展,使得人们可以随时随地访问信息的愿望成为可能.在不久的将来,越来越多的人将会拥有一台掌上型或笔记本电脑,或者个人数字助理(PDA)甚至智能手机,这些移动计算机都将装配无线联网设备,从而能够与固定网络甚至其他的移动计算机相联.用户不再需要固定地联接在某一个网络中不变,而是可以携带移动计算机自由地移动,这样的计算环境,我们称之为移动计算(mobile computing).

研究移动计算环境中的数据管理技术,已成为目前分布式数据库研究的一个新的方向,即移动数据库技术.与基于固定网络的传统分布计算环境相比,移动计算环境具有以下特点:移动性、频繁断接性、带宽多样性、网络通信的非对称性、移动计算机的电源能力、可靠性要求较低和可伸缩性等.移动计算环境的出现,使人们看到了能够随时随地访问任意所需信息的希望.但是,移动计算以及它所具有的独特特点,对传统的数据库技术,如分布式数据库技术和客户/服务器数据库技术,提出了新的要求和挑战.移动数据库系统要求支持移动用户在多种网络条件下都能够有效地访问所需数据,完成数据查询和事务处理.通过移动数据库的复制/缓存技术或者数据广播技术,移动用户即使在断接的情况下也可以继续访问所需的数据,从而继续自己的工作,这使得移动数据库系统具有高度的可用性.此外,移动数据库系统能够尽可能地提高无线网络中数据访问的效率和性能.而且,它还可以充分利用无线通信网络固有的广播能力,以较低的代价同时支持大规模的移动用户对热点数据的访问,从而实现高度的可伸缩性,这是传统的客户/服务器或分布式数据库系统所难以比拟的.

目前,移动数据管理的研究主要集中在以下几个方面:首先是数据同步与发布的管理.数据发布主要是指在移动计算环境下,如何将服务器上的信息根据用户的需求有效地传播到移动客户机上.数据同步则是指在移动计算环境下,如何将移动客户机的数据更新同步到中央服务器上,使之达到数据的一致性.目前面临的一个主要问题是持续查询(continuous query).持续查询是指用户只需向服务器提交一次查询请求(在实际系统中经常是以 user profile 的形式出现),当用户查询所涉及的信息内容发生变化时,服务器自动将新的查询结果发布给用户.从根本上讲,持续查询采用的是发布/预订(publish/subscribe)的发布方法,但这里我们需要着重关注的问题是:因为我们要在众多的信息文件中进行挑选,把不同的信息发布给不同的用户,因此如何快速、准确地完成这项任务就变得非常重要.持续查询同样引发一系列的研究问题,比如持续查询格式的组织,在移动环境下持续查询结果的传送等,这些都是今后移动计算领域在数据库方面有待研究和解决的具体问题.

其次是移动对象管理技术[30,31].移动对象/用户是移动计算环境下的运行主体,因而如何实施对移动对象/用户的有效管理便成为这一领域的研究热点,即移动对象数据库(moving objects databases,简称 MOD)技术.移动对象数据库是指对移动对象(如车辆、飞机、移动用户等)及其位置进行管理的数据库.移动对象管理技术在许多领域展现了广阔的应用前景.在军事上,移动对象数据库可以回答常规数据库所无法回答的查询;在民用领域,利用移动对象数据库技术可以实现智能运输系统、出租车/警员自动派遣系统、智能社会保障系统以及高智能的物流配送系统.此外,移动对象管理技术还在电子商务领域有着广泛的应用前景.目前,移动对象管理主要研究问题包括:

(1) 位置的表示与建模[32]:为了对移动对象的位置进行行之有效的管理,移动对象数据库系统必须能够准

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

确地获取移动对象的当前位置信息(位置信息的获取),并建立有效的位置管理模型(位置信息的表示).

(2) 移动对象索引技术[33]:在移动对象数据库中,通常管理着数量非常庞大的移动对象.在查询处理时,如果逐个扫描所有的移动对象显然会极大地影响系统的性能.为了减小搜索空间,就必须对移动对象进行索引.移动对象的索引技术是一个充满挑战性的研究领域.到目前为止,这方面的研究还比较初步,尚待进一步地深入.

(3) 移动对象及静态空间对象的查询处理:移动对象数据库中的查询目标分为两种:一种是移动对象(如汽车、移动用户等),另一种是静态空间对象(如旅馆、医院等),对这两类数据的查询各自需要相应的索引结构的支持.移动对象数据库中的查询具有位置相关的特性,即查询结果依赖于移动对象当前位置,同一个查询请求,其提交的时间、地点不同,返回的结果也将不同.典型的查询包括区域查询(查询某个时间段处于某个地理区域的移动对象)、KNN 查询(查询离某一点最近的 K 个移动对象)以及连接查询(查询满足条件的移动对象组合)等.

(4) 位置相关的持续查询及环境感知的查询处理[34]:在移动对象数据库中,另一类重要的查询是位置相关的持续查询(location-dependent continuous query,简称 LDCQ).位置相关的持续查询是指在某个时间区间内持续有效的查询,在该时间区间内,由于移动对象位置的改变,查询的结果也在不断变化,系统需要随时将查询结果的变化信息传递给查询用户,使得用户能够实时监控最新的查询结果.例如,在高速公路上行进的救护车可以提交一个持续查询:“请在未来20分钟之内随时告诉我离我最近的医院”.用户将在未来20分钟的行程中不断地收到离救护车最近的医院的查询结果.

3.8 微小型数据库技术

数据库技术一直随着计算的发展而不断进步,随着移动计算时代的到来,嵌入式操作系统对微小型数据库系统的需求为数据库技术开辟了新的发展空间.微小型数据库技术[35~37]目前已经从研究领域逐步走向应用领域.随着智能移动终端的普及,人们对移动数据实时处理和管理要求也不断提高,嵌入式移动数据库越来越体现出其优越性,从而被学界和业界所重视.

一般说来,微小型数据库系统(a small-footprint DBMS)可以定义为:一个只需很小的内存来支持的数据库系统内核.微小型数据库系统针对便携式设备其占用的内存空间大约为 2MB,而对于掌上设备和其他手持设备,它占用的内存空间只有 50KB 左右.内存限制是决定微小型数据库系统特征的重要因素.微小型数据库系统根据占用内存的大小又可以进一步分为:超微 DBMS(pico-DBMS)、微小 DBMS(micro-DBMS)和嵌入式 DBMS 3 种.

- Pico-DBMS 包括 Gnat-DB 和 Pico-DBMS,分别占用内存 11KB 和 35KB,适用于智能卡(smart card)等微小设备;
- Micro-DBMS 包括 Sybase SQL Anywhere,IBM DB2 Everyplace 以及开放源码 DBMS——Berkeley DB,它们占用的内存空间通常在 50KB~300KB 之间,适用于手机等设备;
- 嵌入式 DBMS 包括 Oracle 9i Lite,Informix Cloudscape,人大“小精灵”[38],分别占用 1MB~2MB 的内存空间,适用于掌上电脑等设备.

各种微小型数据库系统分类及主要特点见表 2[36].

微小型数据库系统与操作系统和具体应用集成在一起,运行在各种智能型嵌入设备或移动设备上.其中,嵌入在移动设备上的数据库系统涉及数据库技术、分布式计算技术,以及移动通信技术等多个学科领域.

随着电子银行、电子政府以及移动商务应用的增加,需要处理的移动数据也迅速地增大.应用中对移动数据的管理要求也越来越高,开始涉及一些复杂的查询如连接和聚集,并且为了保证数据的一致性,提出了原子性和持久性的要求,同时对移动设备上数据访问的安全性也提出了较高的要求,如视图和聚集函数等复杂访问权限的管理.因此,为满足日益增长的数据处理需求及方便应用的开发,对移动设备上的微小型数据库管理系统的需求也越来越大.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

Table 2 Comparison of kinds of tiny databases system

表 2 各种微小型数据库系统分类及主要特点

Tiny DBMS	Memory	Device	Transaction support	Key techniques
Gnat-DB	11KB	Smartcards	AD	Log-Structured storage
Pico-DBMS	35KB	Smartcards	ACID	Ring storage
SQL anywhere	50KB	PDAs	ACID	Adaptive SQL-Anywhere, UltraLite
DB2 everyplace	150KB	PDAs	ACID	First-Results-Optimizer
Berkeley DB	375KB	PDAs	ACID	(key, value) storage
Oracle 9i lite	1MB	PDAs	ACID	Transparent online/offline
Cloudscape	2MB	PDAs	ACID	ORDBMS, 100% JAVA

传统的数据库系统其结构和算法都是基于磁盘的,它需要大量的 RAM 和磁盘存储空间,并且使用了缓冲及异步 I/O 技术来减少磁盘存取的开销.然而,移动设备大多只有很小的存储空间、较低的处理速度以及很低的网络带宽,因此需要对传统数据库进行裁减以适应移动设备的需求.

移动设备所具有的计算能力小、存储资源不多、带宽有限以及 Flash 存储上写操作速度慢等特性,影响了微小型数据库系统的设计.要考虑诸如压缩性、RAM 的使用、读写规则、存取规则、基本操作系统和硬件的支持及稳定存储等因素.因此在设计微小型数据库系统时,应该考虑如下设计原则:

- 压缩性原则:数据结构和代码都要精简.
- RAM 原则:最小化 RAM 的使用.
- 写原则:最小化写操作以减少写代价.
- 读原则:充分利用快速读操作.
- 存取原则:利用低粒度和稳定内存的直接访问能力进行读和写.
- 安全原则:保护数据不受意外和恶意破坏,最小化算法的复杂性以避免安全漏洞.

微小型数据库技术目前已经从研究领域向广泛的应用领域发展,各种微小型数据库产品纷纷涌现.尤其是对移动数据处理和管理需求的不断提高,紧密结合各种智能设备的嵌入式移动数据库技术已经得到了学术界、工业界、军事领域和民用部门等各方面的重视并不断实用化.

3.9 数据库用户界面

一直以来,一个普遍的悲哀是数据库学术界在用户界面方面做的工作太少了.目前,计算机已经有足够的能力在桌面上运行很复杂的可视化系统.然而,对于一个 DBMS 给定的信息类型,如何使它在可视化上达到最优还不清楚.20 世纪 80 年代时,人们提出了少数优秀的可视化系统,尤其是 QBE 和 VisiCalc.但 15 年来至今仍没有更优秀的系统出现,因此人们迫切需要在这方面有所创新[6].

XML 数据的出现使人们提出了新的查询语言 XQuery,但这至多只是从一种描述语言转到另一种差不多有相同表示程度的描述语言.从本质上讲,普通用户使用这样的语言还是有一定难度的.

随着数据库应用及信息检索系统的广泛普及,越来越多的非专业用户需要一种易于掌握的界面去访问所需的信息.数据库自然语言界面(NLIDB)显然最符合这类用户的要求.它提供了用户直接以人类语言(而不是人工语言或机器语言)的方式向数据库系统发问以获得所需的信息,从而大大改善了人机交互的容易程度.国外早在 20 世纪七八十年代就开始了这方面的大量研究工作,并研制了若干数据库自然语言界面系统.

数据库界面的研究在我国一直未引起足够的重视,因此缺乏适合我国用户的数据库界面.开展数据库中文自然语言界面的研究十分有意义.中文自然语言查询系统 NChiql[39,40]在这方面做了有益的尝试.特别在今天,计算机的汉语语音识别已初步达到实用的阶段,中文语言查询界面若与汉音识别成龙配套,前景将十分诱人.

4 结束语

本文从目前数据库研究的热点问题出发,探讨了数据库未来发展方向的问题.我们看到在近 40 年中,数据库研究工作集中在数据库管理系统开发的核心领域上,而数据管理的研究范畴远比这宽得多.如果忽视一些新的应用领域面临的数据管理问题,就会使数据库研究局限于传统的数据管理应用上,从而失去活力.从研究者角度来说,我们应该尽量避免局限于我们所做的东西.我们需要拓宽数据库研究领域,不断地与新技术和新应用融

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

合.这一点从最具影响的数据库会议历年来收文领域的变化可见一斑.以VLDB为例,从2000年开始为非核心数据库技术类文章分配了更多的配额,以鼓励对与信息管理相关的挑战性问题的研究.

在众多新技术应用中,对数据库研究最具影响力,推动数据库研究进入新纪元的无疑将是 Internet 的发展.Internet中的数据管理问题从深度和广度两方面对数据库技术都提出了挑战.从深度上讲,在Internet环境中,一些数据管理的基本假设不再成立,数据库研究者需要重新考虑在新情况下对传统技术的改进.从广度上讲,新问题的出现需要我们开拓思路,寻求创新性的技术突破.

最后,一个值得数据库研究界注意的问题是:目前各大数据库会议和期刊非常重视论文的严谨性和完整性.这使得研究者在证明其思想的合理性上花费过多的精力(如大量的实验和相关工作比较等),其导致的一个潜在问题是:一些大胆的或冒险的启发性研究工作可能因为缺乏严谨的证明,或者看上去过于激进等原因而得不到认可.我们应该为这些充满想象力的工作提供展示的舞台,让更多的研究者共享最新的创造性思维成果.基于此,一些资深的数据库学者于2001举办了首届“创新数据系统研究大会(Conference on Innovative Data Systems Research,简称CIDR[41]) ”,其目的就是鼓励人们发表一些前瞻性成果,而不用拘泥于结构严谨、性能模拟和原型实现等细节.

Jim Gray在SIGMOD2004年会的主题发言[42]中提到,数据库体系结构面临革命性变革.新的应用和需要将促使这一变革的到来.这对我国数据库工作者来说可能面临更大的压力和挑战.

需要说明的是,目前数据库的研究范围已极其广泛,限于篇幅,有很多方向如文本挖掘、数字图书馆、量子计算的生物信息等本文未有论及,但并不说明它们不重要.

References:

[1] Bernstein P, Dayal U, DeWitt DJ, Gawlick D, Gray J, Jarke M, Lindsay BG, Lockemann PC, Maier D, Neuhold EJ, Reuter A, Rowe LA, Schek H, Schmidt JW, Schrefl M, Stonebraker ML. Future directions in DBMS research——The laguna beach participants. SIGMOD Record, 1989,18(1):17~26.

[2] Silberschatz A, Stonebraker M, Ullman JD. Database systems: Achievements and opportunities. CACM, 1991,34(10):110~120.

[3] Silberschatz A, Stonebraker M, Ullman JD. Database research, achievements and opportunities into the 21st century. SIGMOD Record, 1996,25(1):52~63.

[4] Silberschatz A, Zdonik SB. Strategic directions in database systems——Breaking out of the box. ACM Computing Surveys, 1996, 28(4):764~778.

[5] Bernstein P, Brodie ML, Ceri S, DeWitt DJ, Franklin MJ, Garcia-Molina H, Gray J, Held G, Hellerstein JM, Jagadish HV, Lesk M, Maier D, Naughton JF, Pirahesh H, Stonebraker M, Ullman JD. The asilomar report on database research. SIGMOD Record, 1998,27(4):74~80.

[6] Abiteboul S, Agrawal R, Bernstein P, Carey M, Ceri S, Croft B, DeWitt D, Franklin M, Molina H, Gawlick D, Gray J, Haas L, Halevy A, Hellerstein J, Ioannidis Y, Kersten M, Pazzani M, Lesk M, Maier D, Naughton J, Schek H, Sellis T, Silberschatz A, Stonebraker M, Snodgrass R, Ullman J, Weikum G, Widom J, Zdonik S. The Lowell Database Research Self-Assessment Meeting, Lowell Massachusetts, 2003. http://research.microsoft.com/~gray/lowell

[7] Meng XF. Research on the technology of Web information integration. Computer Applications and Software, 2003,20(11):32~36 (in Chinese with English abstract).

[8] Levy A, Rajaraman A, Ordille JJ. Querying heterogeneous information sources using source descriptions. In: Vijayaraman TM, Buchmann AP, Mohan C, Sarda NL, eds. Proc. of the 22th Int'l Conf. on Very Large Data Bases (VLDB 1996). Morgan Kaufmann Publishers, 1996. 251~262.

[9] Chawathe SS, *et al*. The TSIMMIS project: Integration of heterogeneous information sources. In: Proc. of the 10th Meeting of the Information Processing Society of Japan. 1994. 7~18.

[10] Wiederhold G. Mediators in the architecture of future information systems. IEEE Computer, 1992,25(3):38~49.

[11] Meng XF, Hu D, Li C. Schema-Guided wrapper maintenance for web-data extraction. In: Chiang RHL, Laender AHF, Lim E-P, eds. Proc. of the 5th ACM CIKM Int'l Workshop on Web Information and Data Management (WIDM). ACM Press, 2003. 1~8.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[12] Meng XF, Luo DF, Lee ML, An J. OrientStore: A schema based native XML storage system. (Demo). In: Freytag JC, Lockemann PC, Abiteboul S, Carey MJ, Selinger PG, Heuer A, eds. Proc. of the 29th Int'l Conf. on Very Large Data Bases (VLDB). Berlin: Morgan Kaufmann Publishers, 2003. 1057~1060.

[13] Meng XF, Wang HY, Hu DD, Gu MZ. SG-WRAM schema guided wrapper maintenance: A demonstration. In: Dayal U, Ramamritham K, Vijayaraman TM, eds. Proc. of the 19th Int'l Conf. on Data Engineering (ICDE). IEEE Computer Society, 2003. 750~752.

[14] Meng XF, Lu HJ, *et al*. Data extraction from the Web based on pre-defined schema. Journal of Computers Sciences and Technology, 2001,17(4):377~388.

[15] Wu W, Yu C, Doan A, Meng W. An interactive clustering-based approach to integrating source query interfaces on the deep Web. In: Weikum G, König AC, Deßloch S, eds. Proc. of the ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data (SIGMOD 2004). ACM Press, 2004. 95~106.

[16] Rajaraman A, Sagiv Y, Ullman JD. Anawering queries using templates with binding patterns. In: Jan C, ed. Proc. of the 14th ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symp. on Principles of Database Systems (PODS). ACM Press, 1995. 105~112.

[17] Yerneni R, Li C, Garcia-Molina H, Ullman J D. Computing capabilities of mediators. In: Delis A, Faloutsos C, Ghandeharizadeh G, eds. Proc. ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data. ACM Press, 1999. 443~454.

[18] Altinel M, Franklin MJ. Efficient filtering of XML documents for selective dissemination of information. In: Abbadi AE, Brodie ML, Chakravarthy S, Dayal U, Kamel N, Schlageter G, Whang K-Y, eds. Proc. of the 26th Int'l Conf. on Very Large Data Bases (VLDB). Morgan Kaufmann, 2000. 53~64.

[19] Diao Y, Altinel M, Franklin MJ, Zhang H, Fischer P. Path sharing and predicate evaluation for high-performance XML filtering. TODS, 2003,28(4):296~336.

[20] Peng F, Chawathe SS. Stream processing of XPath queries with predicates. In: Halevy AY, Ives ZG, Doan A, eds. Proc. of the 2003 ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data (SIGMOD). ACM Press, 2003. 419~430.

[21] Avila-Campillo I, Ravin D, Green T, Gupta A, Kadiyska Y, Onizuka M, Suciu D. Processing XML streams with deterministic automata. In: Calvanese D, Lenzerini M, Motwani R, eds. Proc. of the 9th Int'l Conf. Database Theory (ICDT 2003). Lecture Notes in Computer Science 2572, Springer-Verlag. 2003. 173~189.

[22] Ludäscher B, Mukhopadhyay P, Papakonstantinou Y. A transducer-based XML query processor. In: Bernstein PA, Ioannidis YE, Ramakrishnan R, Papadias D, eds. Proc. of the 28th Int'l Conf. on Very Large Data Bases (VLDB). Morgan Kaufmann Publishers. 2002. 227~238.

[23] Meng XF, Luo D, Lee ML. An J, OrientStore: A schema based native XML storage system. In: Freytag JC, Lockemann PC, Abiteboul S, Carey MJ, Selinger PG, Heuer A, eds. Proc. of the 29th Int'l Conf. on Very Large Data Bases (VLDB). Berlin: Morgan Kaufmann. 2003. 1057~1060.

[24] Wu XY, Ling TW, Lee ML, Dobbie G. Designing semistructured databases using the ORA-SS model. In: Özsu MT, Schek H-J, Tanaka K, Zhang Y, Kambayashi Y, eds. Proc. of the 2nd Int'l Conf. on Web Information Systems Engineering (WISE 2001). Vol 1, IEEE Computer Society, 2001. 171~182.

[25] Halverson A, Burger J, Galanis J. Mixed mode XML query processing. In: Freytag JC, Lockemann PC, Abiteboul S, Carey MJ, Selinger PG, Heuer A, eds. Proc. of the 29th Int'l Conf. on Very Large Data Bases (VLDB). Berlin: Morgan Kaufmann, 2003. 225~236.

[26] AI-Khalifa S, Jagadish HV, Koudas N, Patel JM, Srivastava D, Wu Y. Structural joins: A primitive for efficient XML query pattern matching. In: Agrawal R, Dittrich K, Ngu AHH, eds. Proc. of the 18th Int'l Conf. on Data Engineering (ICDE). IEEE Computer Society, 2002. 141~152.

[27] Jiang H, Lu H, Wang W, Chinooi B. XR-Tree: Indexing XML data for efficient structural join. In: Dayal U, Ramamritham K, Vijayaraman TM, eds. Proc. of the 19th Int'l Conf. on Data Engineering. IEEE Computer Society, 2003. 253~263.

[28] Jagatheesan A, Moore R, Paton NW, Watson P. Grid data management systems & services. In: Freytag JC, Lockemann PC, Abiteboul S, Carey MJ, Selinger PG, Heuer A, eds. Proc. of the 29th Int'l Conf. on Very Large Data Bases (VLDB). Berlin: Morgan Kaufmann, 2003. 1150.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[29] Decker S, Kashyap V. The semantic Web: Semantics for data on the Web. In: Freytag JC, Lockemann PC, Abiteboul S, Carey MJ, Selinger PG, Heuer A, eds. Proc. of the 29th Int'l Conf. on Very Large Data Bases (VLDB 2003). Berlin: Morgan Kaufmann Publishers, 2003. 1148.

[30] Wolfson O, Xu B, Chamberlain S, Jiang L. Moving object databases: Issues and solutions. In: Rafanelli M, Jarke M, eds. Proc. of the 10th Int'l Conf. on Scientific and Statistical Database Management. IEEE Computer Society, 1998. 111~122.

[31] Wolfson O, Chamberlain S, Dao S, Jiang L. Location management in moving objects databases. In: Proc. of the 2nd Int'l Workshop on Satellite-Based Information Services (WOSBIS 1997). 1997.

[32] Meng XF, Ding ZF. DSTTMOD: A discrete spatio-temporal trajectory based moving object database system. In: Marík V, Retschitzegger W, Stepánková O, eds. Proc. of the 14th Int'l Conf. on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2003). Lecture Notes in Computer Science 2736, Springer-Verlag, 2003. 444~453.

[33] Ding R, Meng XF, Bai Y. Efficient index update for moving objects with future trajectories. In: Proc. of the 8th Int'l Conf. on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA). IEEE Computer Society, 2003. 183~194.

[34] Ding ZM, Meng XF, Bai Y, Ding R. Relational database support for location dependant queries. Journal of CRAD, 2004,41(3):492~499 (in Chinese with English abstract).

[35] Bobineau C, Bouganim L, Pucheral P, Valduriez P. PicoDBMS: Scaling down database techniques for the smartcard. In: Abbadi AE, Brodie ML, Chakravarthy S, Dayal U, Kamel N, Schlageter G, Whang K-Y, eds. Proc. of the 26th Int'l Conf. on Very Large Data Bases (VLDB). Morgan Kaufmann, 2000. 11~20.

[36] Arumugam S, Nagarajan K. Survey of small footprint databases. Technical Report, CIS 6930. Distributed Database Systems, 2000.

[37] Wetzel M, Stuttgart U, Informatik F. Small footpoint databases. Technical Report, University Stuttgart, 2003. http://www.informatik.uni-stuttgart.de/ipvr/as/lehre/hauptseminar/docws02/paper05.pdf

[38] Zhang X, Meng XF, Wang S. KingBase lite: A smart mobile embedded database system. In: Proc. of Fourth Int'l Conf. on High Performance Computing in Asia-Pacific Region(HPC Asia 2000). Volume II, IEEE Press, 2000. 806~811.

[39] Meng XF, Wang S, Wong KF. Overview of a Chinese natural language interface to databases: Nchiql. IJCPOL, 2001,14(3): 213~232.

[40] Meng XF, Liu S, Wang S. Word segmentation based on database semantic in Nchiql. Journal of Computer Science and Technology, 2000,15(4):346~354.

[41] Conference on Innovative Data Systems Research (CIDR), http://www-db.cs.wisc.edu/cidr/

[42] Gray J. The revolution in database architecture. In: Weikum G, König AC, Deßloch S, eds. Proc. of the ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data. ACM Press, 2004. 1~4.

[43] Database Access and Integration Services Working Group. http://www.cs.man.ac.uk/grid-db/

[44] Goldman R. Integrated query and search of databases, XML, and the Web [Ph.D Thesis]. Stanford University, 2000.

[45] Hristidis V, Gravano L, Papakonstantinou Y. Efficient IR-Style keyword search over relational databases. In: Freytag JC, Lockemann PC, Abiteboul S, Carey MJ, Selinger PG, Heuer A, eds. Proc. of the 29th Int'l Conf. on Very Large Data Bases (VLDB). Berlin: Morgan Kaufmann, 2003. 850~861.

附中文参考文献:

[7] 孟小峰.Web 信息集成技术研究.计算机应用与软件, 2003,20(11):32~36.

[34] 丁治明,孟小峰,白芸,丁锐.基于关系数据库的位置相关查询处理.计算机研究与发展,2004,41(3):492~499.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn