

DBMS

实时数据库系统

并发控制

事务管理(13)

计算机科学 1997 Vol. 24 No. 5

实时数据库系统研究最新进展

The Advance of Real-time Database System Research

肖伟器 冯玉才

(华中理工大学计算机系 武汉 430074)

TP311.13

SS-57

摘要 Based on collecting and compiling a lot of papers and reports on real-time database published in recent years, in this paper, we focus on introducing and discussing the latest advances and future developments in real-time database research area. We hope that it will be a helpful reference material for people both in academy and in industry.

关键词 Real-time Database, Database System, Real-time Scheduling

1. 引言

实时数据库系统(RTDBS)可看作是常规数据库管理系统(DBMS)与实时系统的结合体,象DBMS一样,它必须处理事务并保证ACID数据特性。此外还必须在实时环境下满足事务提交的时间约束。RTDBS既可作为独立的系统而存在,又可作为大型多数据库系统中的嵌入部件。1988年发表的ACM SIGMOD Record 实时数据库系统专刊^[1]揭示了RTDBS研究领域的诞生。ACM SIGMOD Record^[2]发表一组关于RTDBS研究进展的论文,可供读者了解RTDBS领域当前和未来的研究方向。另外,1996年三月召开了第一届国际实时数据库系统专题讨论会。本文将根据收集到的资料总结RTDBS的最新研究动态。

2. 并发控制

在[3]中,Ramamritham提出了RTDBS中的数据实时(或时态)特性,事务执行时必须满足严格的时间约束。此外,还有并发控制带来的逻辑约束,以确保数据库的一致性。Lam^[4]评估了RTDBS的特性,描述了基于ACTA框架的各种实时事务的正确性准则。

同时满足时间和逻辑约束具有“先天性”困难,因为并发控制算法可能因事务的重起和/或阻塞而引起不可预见的时延。解决此问题的早期尝试集中在要么放松截止期限语义,要么放松事务的ACID特性(特别是串行性),在[2]中,有两篇论文分别描述了后一种方法的两个实例。Kuo和Mok^[5]概述了他们的基于相似性的并发控制,使用了[6]中定义的基于语义的正确性准则;Lin和Peng为面向对象

RTDBS提供另一种基于语义的并发控制模式,在事务串行性上支持外部一致性。

各种并发控制算法在冲突检测的时机以及冲突的解决方式方面并不相同。悲观并发控制(PCC)协议:一旦检测到出现冲突就以阻塞的方式来解决。乐观并发控制(OCC)协议:在事务提交时检测冲突并通过回滚来解决。

文献中考虑的大多数实时并发控制模式可以看作是基于PCC或OCC协议的扩展。特别是,事务被赋予一个反映其时间约束紧迫性的优先值,这些优先值和基于PCC的技术相结合,使较紧迫的事务能夭折与之冲突的不太紧迫的事务,可避免因阻塞而造成的为害。这样的例子包括优先级夭折(PA)技术,优先级继承(PI)技术,以及这些技术的变种。这些优先值也可与基于OCC的技术结合起来,当冲突的不太紧迫的事务试图有效并提交时支持较紧迫事务的执行,可以避免事务重启。一些例子还包括广播提交(BC)技术和Wait-50技术。

文献中也出现其它一些优先级驱动实时并发控制协议,但不是PCC或OCC的直接扩展。Kim和Srivastava^[6]介绍了在RTDBS中使用几个基于多版本两阶段上锁并发控制协议,可以获得潜在的性能提高。Son等^[7,8]提出了一个OCC与时戳排序相结合的混合协议,将所做事务的精确串行化顺序的决定尽可能地推迟到允许紧迫事务提交之时,其实现是通过动态分布和调整时戳区间。在一个早期的研究中,Bestavros提出使用投机并发控制(SOC),必须探讨其中一个新的问题即冗余性。通过允许事务使用更多的资源,可以获得更好的投机并增加其及

时提交的机会。这样,将事务截止期限和临界信息纳入到并发控制中的问题就简化为如何在竞争事务间按比例划分系统资源以及决定各部分资源在整个系统中的作用的问题。

实时系统的并发控制问题并不局限于 RTDBS 数据存取活动。Haritsa 和 Seshadri^[2]总结了最近的研究情况,讨论并提出了重要的实时索引并发控制问题的解决方案。

3. 资源管理与操作系统支持

RTDBS 与作为其基础的操作系统(OS)的交互作用是另一个重要的研究主题,如果对 OS 内部(包括一般的资源管理,特别是调度策略)带来的影响没有透彻的了解,就不能保证 RTDBS 功能和时间行为的正确性。OS 与 RTDBS 之间的交互作用可通过实现来达到最好的理解。Adelberg 等描述了他们的斯坦福 STRIP 平台的实现技术,STRIP 的主要理论依据是软性 RTDBS,往往是包含多个异质数据库的较大开放系统(即不是一个单调的独立系统)的一部分;STRIP 设计在 UNIX 之上并对价值函数调度策略和数据的时态约束提供支持。Son 等在 UNIX, ARTS 和实时 Mach 几个平台上,开发了一套数据库系统,主要焦点是采用当前的实时技术来构建一个实际的 RTDBS,所考虑的问题包括 OS-RTDBS 交互,并发事务的弹性控制以及可预见事务的执行。另一个重要问题是往往被忽视的 RTDB 安全性, Son, David 和 Thuraisingham^[2]调查了安全性与时效性之间的平衡与得失。

将实时技术(例如调度)用于 DBMS 面临的主要问题是,执行事务所需的资源能不能事先知道。假设在一个可预测系统中事务所需的先验知识是必需的,反过来会唔硬截止期限也是必不可少的。以这种先验知识作为基础假设, Ulusoy 和 Buchmann^[2]讨论了如何利用主存 DBMS 特性来提高时效性。拥有事务需求的完全知识有助于减少资源管理问题(如并发控制,存储空间和缓冲管理)及调度问题。然而在许多应用领域,事务读(写)对象集合可能依赖于用户输入(如股市应用)或依赖于传感输入(如过程控制应用),为特定的执行时间最坏情况(WCET)保证预留资源就不可能了,对这些资源无止境的获取将导致非确定性时延,给调度机制集成到 DBMS 技术中的策略提出了真正的挑战。这种非确定性给最努力(best-effort)系统在调度和资源管理技术方面带来了大量的工作。在近期研究工作中, Bestarros 和 Nagy 为 RTDBS 提出了一个许可控制规范,试图

在可预测性能与最努力(best-effort)性能之间进行折衷。在他们的模型中,一个事务以一对进程的形式提交给系统,其中包括一个主任务和一个恢复模块。主任务的执行需求不能预先知道,然而恢复模块的需求却事先知道,在事务提交时,利用许可控制机制来决定是否允许或拒绝那个事务。一旦允许,事务就可保证完成其执行,要么完成它的主任务(成功的提交),要么完成它的恢复模块(安全终止)。提交的事务为系统带来利益,而终止的事务不能给系统带来好处。许可控制的目标以及调度协议(如并发控制, I/O 调度, 存储管理)主要用来扩大系统的利益(Profit)。这种“费用意识”的概念与 Chakravarthy 等^[9]提及的相似。Chakravarthy 提出了带有平均负载因子的费用意识方法(CCA-ALF)并作了评价。CCA-ALF 是一种最努力调度策略(即不作保证),当作出调度决策时,除了考虑事务的静态方面(如 Soft/Firm 截止期限)外,它还考虑事务的动态方面(如系统负载)。

调度问题渗透到 RTDBS 的几个方面。其中之一就是 I/O 调度和存储器管理。实例工作包括:(1)对传统的 SCAN 磁盘调度算法的时间认知变种的开发;(2)对时间认知广播磁盘组织的开发;(3)对基于优先级的缓冲管理器的开发;(4)对实时存储管理器中页面置换策略的开发。在[14]中, Pang 等^[10]在更高的层次上考虑存储、管理问题,对于要求大量存储空间的实时查询,提出一个许可控制算法,其中多道程序级与对系统的资源(存储器)的动态需要相关。

4. 模型和范例

近来有两篇论文为 RTDBS 提出新的事务处理框架,在[11,12]中, Kim 建立了一个同时包括硬实时事务和软实时事务、保持数据的时态和逻辑一致性、支持多重保证级别的 RTDBS 模型。设计了一个集成的事务处理模式,为 RTDBS 同时提供预测性和一致性,系统中每个应用可保证达到其自身的性能目标(保证级),并维持一致性需要。一个模拟研究表明,较高的保证级需要更多的系统资源并因而比非保证事务花费更多。Braoudakis^[13]采用一个不同的方法,将其事务与估值函数联系起来,函数除了表明它们对系统使命的总体重要之外,还表明了它们的时间约束。在这种框架下,整个范围内的事务可以被详细说明,除了包括软、固定和硬截止期限事务之外,还包括无时间约束事务,这种方法的创新在于它允许事务处理在各类事务中一致地完成,其功效将

在 RTDBS 的并发控制问题中展示出来。特别是投机并发控制算法被扩充到这个框架下,尤显出优越的性能(在详细的模拟研究中)。事务的价值和价值函数即被用于 RTDBS 中,又被用于通用实时系统中,任务的价值在许可控制过程中取值。决定拒绝一个任务或撤销一个先前已保证过的任务是建立于任务的价值的基础上的。一个任务被接收到系统只是有条件地保证它的执行——只要没有更高取值(紧要的)任务(与之冲突)到达。

对面向对象(OO)系统的不断增长的兴趣促使一些研究人员调查 OO 范例用于 RTDBS 的合适程度。Zhou 等^[14]提出了 ROMPP,这是一个带有性能多态性的实时对象模型,用以获取实时控制应用特性。在[15]中,对 OO 框架的时态和逻辑一致性以及精度等问题作了调研。

5. 主动功能

典型地,事务的实时约束保证系统对触发器的反应以即时方式提交。如果这些触发器的产生依赖于数据库状态,那么这个数据库就同时具有实时和主动特性。主动 RTDBS 的应用领域包括自动制造、空中交通管制、股市交易以及其它行业。主动 RTDBS 的早期工作包括 Dayal 等人的高性能主动(HiPAC)数据库系统项目和 Korth 等人的主动 RTDBS 范例。过去几年里,对 RTDBS 的研究兴趣集中反映在首次 ARTDB'95 会议上。在[2]中,有两篇描述有关主动 RTDBS 项目的文章。其中一篇介绍了麻省大学 Amherst 分校所做的工作,他们研究主动 RTDBS 的实时约束、时态一致性约束、并发控制和恢复约束的汇合。特别值得一提的是,他们的研究表明:为事务处理利用数据特性将数据置于合适的存储层次以及为各类数据执行适当的日志和恢复对获得 RTDBS 的高性能是决定性的。另一篇文章描述了 DeeDS——瑞典 Skovde 大学正在开发的一个研究原型系统。通过滞后复制,主存驻留以及应急计划等手段,DeeDS 促进了分布式主动 RTDBS 的可预见性。

6. 其它

1996 年三月召开的第一届国际实时数据库系统专题讨论会^[18],在实时数据库的应用方面,有多篇论文涉及到如何使 RTDB 技术实现增值以扩大其应用。分析了一些特定的应用的约束以及怎样提供这些约束。这些应用领域包括远程通信系统,过程控制系统,实时模拟系统,以及基于 WEB 的系统。

在实时数据库的标准测试程序方面,有文章提出怎样从一个实际的系统中提取有效的测试集的方法,另外,这个会议还就“我们的研究是否面对着正确的问题?”和“得到的教训和未来的走向”等带有哲理性的主题,针对过去和当前研究中存在的问题,进行了深入的探讨。

参 考 文 献

- [1] Sang Son (ed.). Acn sigmod record, Special issue on real-time databases, 1988
- [2] ACM SIGMOD Record, 25(1) 1996
- [3] K. Ramamrutham, Real-time databases, Intl. J. of Distributed and Parallel Databases, 1(2) 1993
- [4] Kam yiu Lam, Specifying the correctness criteria for processing of real-time transactions, Technical Report TR-9601, City Univ. of Hong Kong, 1996
- [5] Tei-Wei Kuo and Aloysius Mok, ---, In Proc. of the IEEE 13th Real-Time Systems Symposium, 1992
- [6] Woosang Kim and Jaideep Srivastava, ---, In Proc. of the 12th Real-Time Systems Symposium, Dec. 1991
- [7] Yi Lin and Sang Son, ---, In Proc. of the 11th Real-Time Systems Symposium, Dec. 1990
- [8] Sang H. Son, Huhnyoung Lee, and Yi Lin, ---, J. of Real-Time Systems, 4, 269-276, 1992
- [9] S. Chakravarthy 等, Incorporating load factor into the scheduling of soft real-time transactions, Technical Report TR94-024, Univ. of Florida, 1994
- [10] H. Pang 等, Managing memory for real-time queries. In Proceedings of the 1994 ACM SIGMOD Conf. on Management of Data, 1994
- [11] Young-Kuk Kim, Predictability and consistency in real-time transaction processing. PhD thesis, Univ. of Virginia, 1995
- [12] Y. Kim and S. H. Son, ---, In Proc. of the 5th Euromicro Workshop on Real-Time Systems, Oulu, Finland, 1993
- [13] Spyridon Braoudakis, Concurrency Control Protocols for Real-Time Databases, PhD thesis, Boston Univ., Boston, expected June 1994
- [14] L. Zhou 等, ---, In Proc. of the Advanced Applications (DASFAA'95), Singapore, 1995
- [15] V. Fay Wolfe 等, Supporting concurrency, timing constraints and imprecision in objects. Technical Report TR94-230, Univ. of Rhode Island, 1994
- [16] Report on First International Workshop on Real-Time Database Systems