

基于改进乐观两阶段锁的移动事务处理模型

任占广¹, 李叔繁¹, 尚福华²

(1. 重庆文理学院 软件工程学院, 重庆 402160;

2. 东北石油大学 计算机与信息技术学院, 黑龙江 大庆 163318)

摘要:在移动计算环境中,由于无线网络具有弱连接性、不稳定性及频繁断接等缺点,传统的乐观两阶段锁事务处理机制已经不能满足移动数据库系统的事务处理要求。因此,系统地分析了乐观两阶段锁协议,找到了该模型存在的问题,结合移动事务的特点,提出了一种基于改进乐观两阶段锁的移动事务处理模型。在原模型的基础上,引入移动事务处理机制和移动事务协调机制,移动事务处理机制允许移动端将整个事务操作序列分成若干个子序列,移动事务协调机制实时对移动网络进行监测,根据移动网络情况选择一次发送或者分多次发送,有效降低了长事务和频繁断接事务对移动数据库系统的影响。实验结果表明,与乐观两阶段锁事务处理机制相比,改进后的模型提高了移动事务的成活率,改善了系统的总体性能,更加适合移动计算环境。

关键词:移动数据库系统;移动事务;长事务;乐观两阶段锁;移动计算

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2019)11-0077-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2019.11.016

Mobile Transaction Processing Model Based on Improved Optimistic Two-phase Lock

REN Zhan-guang¹, LI Shu-fan¹, SHANG Fu-hua²

(1. School of Software Engineering, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China;

2. School of Computer & Information Technology, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: In the mobile computing environment, the traditional optimistic two-phase locking transaction processing mechanism can no longer meet the transaction processing requirements of the mobile database system due to the disadvantages of wireless network such as weak connectivity, instability and frequent disconnection. Therefore, we systematically analyze the optimistic two-phase lock protocol, find out the problems of the model, and according to the characteristics of mobile transactions, propose a mobile transaction processing model based on improved optimistic two-phase lock. Based on the original model, the MTPM (mobile transaction processing mechanism) and MTCM (mobile transaction coordination mechanism) are introduced. MTPM allows the mobile terminal to divide the whole transaction operation sequence into several sub-sequences, and MTCM monitors the mobile network in real time, and chooses to send once or multiple times according to the mobile network situation, which effectively reduces the impact of long transactions and frequent interruptions transactions to the mobile database systems. The experiment shows that compared with the optimistic two-stage lock transaction processing mechanism, the improved model increases the survival rate of mobile transactions, improves the overall performance of the system, and is more suitable for mobile computing environment.

Key words: mobile database system; mobile transaction; long transaction; optimistic two-phase lock; mobile computing

0 引言

在数据库系统中,传统事务处理模型很好地解决了传统应用环境下事务的并发控制问题。但在移动互

联网环境中,由于事务的频繁断接性和长延迟性,传统的事务处理机制已无法满足移动数据库系统的事务处理要求,为此,有必要对移动事务提交和执行策略进行

收稿日期:2019-01-07

修回日期:2019-05-08

网络出版时间:2019-06-27

基金项目:国家自然科学基金(61170132);国家科技重大专项资助项目(2017ZX05019005-006);重庆文理学院大学生创新创业训练计划项目(201710642015);重庆文理学院学生科研项目(XSKY2017098)

作者简介:任占广(1988-),男,助理实验师,硕士研究生,研究方向为移动计算、机器学习等;尚福华,教授,博士(后),研究方向为人工智能、软件工程等。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190627.1111.080.html>

研究。移动事务处理可分为三类,一类是重新定义了事务的 ACID (原子性、一致性、隔离性、持续性) 特性^[1],如集群事务模型^[1]、KANGROO 模型^[2]、MOFLEX 模型^[3],虽然满足了移动环境,但无法保证事务的可串行性;第二类是将传统数据库事务处理机制引入到移动计算环境中,如文献[4-5],要求移动端必须一次性将完整的事务操作序列提交到数据库服务器,一旦在提交过程中发生网络中断,移动端只能重新提交,所以该模型不是很适合移动数据库系统;第三类是将移动事务分成发送和乐观提交两阶段执行并采用不同的冲突消解机制,如文献[6-7]采用时间戳解决事务冲突问题,文献[8]采用结果集检测的方式消除事务冲突,文献[9]分别针对油田的特定业务,局限性较大。虽然都考虑到了移动事务的不稳定特点,但由于均采用两阶段锁协议,数据可能被长时间封锁,使断接事务或长事务长时间占用资源而最终发生死锁^[10]。

鉴于以上分析,文中提出一种基于改进乐观两阶段锁的移动事务处理模型,在保证事务 ACID 特性的同时降低了断接事务或者长事务对移动数据库系统的影响。

1 乐观两阶段锁事务处理模型

1.1 乐观两阶段锁机制分析

在乐观两阶段锁移动事务处理模型中,移动事务的提交和移动事务的执行采用不同的事务处理模式,前者采用了乐观的并发控制机制,而后者遵循两阶段锁事务执行协议。移动数据库系统的整体架构如图 1 所示^[11-13]。

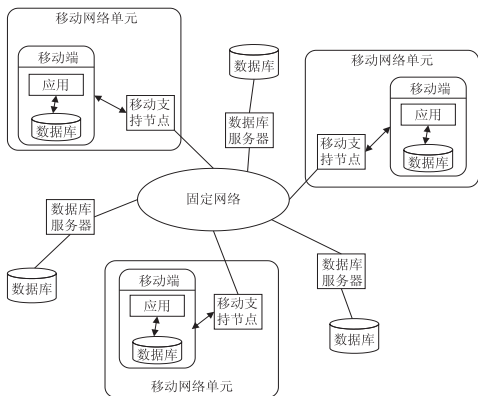


图 1 移动数据库系统整体架构

如图 1 所示,固定网络拥有多个数据库服务器,每个数据库服务器都有一个本地的数据库,本地的数据库服务器负责读写、预处理、提交、执行等事务的操作^[14-15]。每一个移动支持节点相当于移动端与固定网络之间的桥接器,一方面接收移动端发送过来的移动事务操作序列,另一方面将接收来的事务操作序列传递给固定网络中相应的数据库服务器执行,并实时

监测执行情况。每一个移动客户端在任一时刻只能启动一个移动事务序列,只有当该移动事务操作序列全部执行完毕后才能启动下一个移动事务操作序列。

1.2 存在的问题

在乐观两阶段锁移动事务处理模型中,移动事务可多次发送给移动支持节点,每次可以发送一个连续移动事务操作序列,当移动客户端接收到移动支持节点返回的事务序列的执行结果后,可以移动到另一个网络单元继续发送下一个操作序列^[7]。但该模型必须保证移动端在移动操作序列提交以及得到操作序列执行结果的整个过程中始终处于强连接状态,一旦发生无线网络断接,就会造成移动事务序列的撤销操作,只能重新提交移动事务操作序列。或由于无线网络信号较差,使移动端发送或接收超时,造成事务堵塞或死锁。而无线网络受环境影响较大,本身具有低带宽、长延迟、频繁断接和资源有限等特性,因此该模型不能很好地支持频繁断接和耗时较长的移动事务。针对这一缺点,文中对乐观两阶段锁的移动事务处理模型进行了有效改进,使改进模型更适合移动数据库系统。

2 改进的移动事务处理模型

2.1 模型机制

为了解决上面提到的问题,在乐观两阶段锁移动事务处理模型的基础上引入了移动事务处理机制 (mobile transaction processor mechanism, MTPM) 和移动事务协调机制 (mobile transaction coordinator mechanism, MTCM)。MTPM 负责移动事务操作序列的编辑、生成与发送, MTCM 负责识别、接收、组合移动事务操作序列,同时将事务序列提交给数据库服务器,将结果集返回给移动端。改进后的移动事务处理模型如图 2 所示。

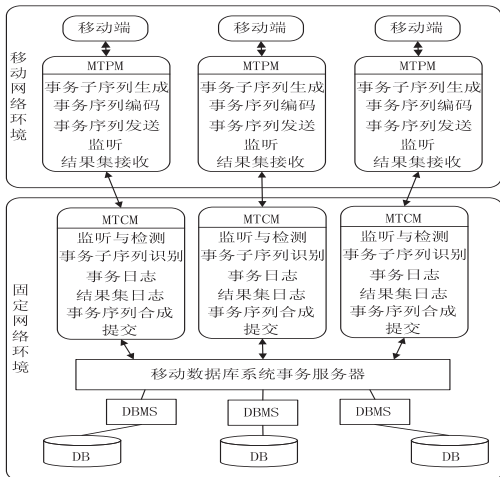


图 2 改进后的移动事务处理模型

2.2 MTPM

假设移动事务序列 (mobile transaction series,

MTS)由多个移动事务子序列组成,分别记为 MTS_j 。

定义 1:对于任一 MTS 或者 MTS_j 定义为 $M_i = (M_i, o_j, s_j)_{j=1}^n$, 其中 M_i 为移动事务标识, o_j 是第 j 步操作, s_j 是 o_j 执行时所读写的数据集合。

定义 2:在 $M_i = (M_i, o_j, s_j)_{j=1}^n$ 中,第 j 步操作 o_j 的 MTS_j 的读集和写集分别定义为:

$$\text{ReadSet}(o_i) = \begin{cases} s_j & (\text{if } o_j = \text{read}) \\ \text{null} & (\text{if } o_j = \text{write}) \end{cases}$$
$$\text{WriteSet}(o_j) = \begin{cases} s_j & (\text{if } o_j = \text{write}) \\ \text{null} & (\text{if } o_j = \text{read}) \end{cases}$$

定义 3:在 $M_i = (M_i, o_j, s_j)_{j=1}^n$ 中,MTS 的读集和写集分别定义为:

$$\text{RSet}(M_i) = \bigcup_{j=1}^n \text{ReadSet}(o_j)$$
$$\text{WSet}(M_i) = \bigcup_{j=1}^n \text{WriteSet}(o_j)$$

定义 4:在 $M_i = (M_i, o_j, s_j)_{j=1}^n$ 中,设 ψ 是 $\text{RSet}(o_i)$ 中任一元素, η 为 $\text{Wset}(T)$ 中任意元素, $\xi(\psi, o_j)$ 为 o_j 执行时所读到的 ψ 值, $\delta(\eta, T)$ 为 M_i 赋予 η 的新值,则第 j 步操作 o_j 的 MTS_j 的读结果集和写结果集定义为:

$$\text{RResultSet}(o_j) = \{(\psi, v) \mid \psi \in \text{ReadSet}(o_j) \wedge v = \xi(\psi, o_j)\}$$
$$\text{WResultSet}(T) = \{(\eta, v) \mid \eta \in \text{WSet}(T) \wedge v = \delta(\eta, T)\}$$

假设, MTS_i 有如下操作(见表 1 和表 2):

表 1 读操作

MID	X	Y
s_1	A	60
s_2	A	20
s_3	A	10
s_4	B	60
s_5	B	100
s_6	C	25

表 2 写操作

X	AVG
A	30
B	80
C	25

设对应的 MTS 的标识 MID 为“M01”,所执行的操作序为: $r[a=50], w[a=60]$ 。其结果如表 3 所示。

表 3 结果集

事务标识	读结果集	写结果集
M01	(a,50)	
	<null>	
	{(s1,60),(s2,20),(s3,10)}	{(a,60),(A,30)}
	<null>	
...

2.3 MTCM

MTCM 有两种协调方式。当 MTS 是一个完整的事务操作序列时,整个 MTS 发送给 MTCM 时,MTCM 将等待 MTS 全部收到后再执行。当 MTS 被分成若干个子序列,分别发送给 MTCM 时,MTCM 根据事务识别号,将子事务序列首先存入到事务日志中,如果在这一过程中发生网络中断,那么该事务将处于挂起状态,MTCM 继续接收和处理其他的事务。当网络恢复后,继续接收,直到接收到以 MTS_end 结尾的子序列时,则说明整个移动事务操作序列接收完成,MTCM 提取事务日志子序列,合并成一个完整的事务,提交给数据库服务器执行。MTCM 一方面负责监听事务执行情况,另一方面接收数据库服务器返回的结果集,并将结果集暂存到该事务的结果集日志中,同时 MTCM 根据事务标识检测移动端是否处于连接状态,如果状态良好,就将结果集返回给 MTPM,如果状态不佳,就继续检测,直到网络正常后再发送。具体流程如图 3 所示。

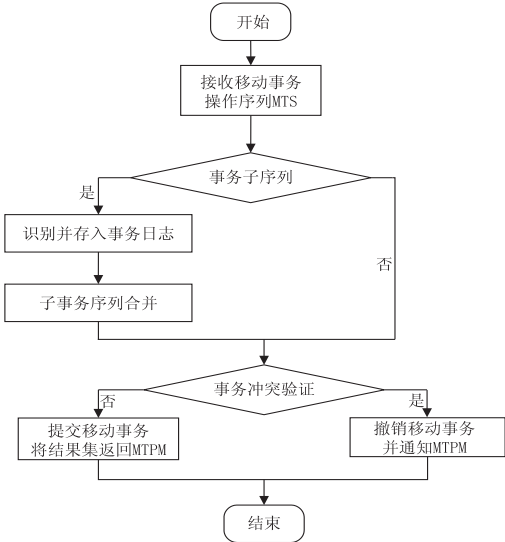


图 3 MTCM 处理流程

3 实验

3.1 算法实现

该算法由两个阶段完成,第一阶段 MTCM 接收 MTPM 发送过来的事务序列,进行识别与编辑;第二阶段 MTCM 提交组合好的事务给数据库服务器,并将结果集返回给 MTPM。

第一阶段:识别与编辑。

一个移动事务序列由 n 个子序列 MTS_i 构成,在识别阶段,MTCM 首先启动一个相应验证事务 $VMTS_i$,在执行 $VMTS_i$ 过程中, MTS_i 采用乐观访问并发控制机制,在访问过程中要检测移动事务的写集冲突。

定义 5:对于任一移动事务 $M_i = (M_i, o_j, s_j)_{j=1}^n$,其对应的验证事务为 $VMTS_j = (VMTS_j, Vo_j, Vs_j)_{j=1}^n$,如

果下列条件之一成立则检测到写集冲突:

$(\exists j \in [1, n]) \wedge (\text{WriteSet}(o_j) \neq \text{WriteSet}(V_{o_j}))$ 或 $(\exists j \in [1, n]) \wedge (\exists \Psi \in (\text{Set}(o_j) \text{ 与 } \text{WriteSet}(V_{o_j}))) \wedge (\zeta(\Psi, o_j) \neq \zeta(\Psi, V_{o_j}))$

定义6:对于移动事务 MTS_j , 当进行了与之对应的一系列验证操作后, 仍然没有检测到移动事务的写集冲突和事务的执行时冲突, 则说明验证事务 VMTS_j 执行完毕, 事务调度的可串行性没有被破坏; 否则 MTCM 不能提交该事务。

第二阶段: 监听与提交。

在规定的时间范围内, 如果 MTCM 验证并接收到所有移动事务子序列后, 则提交数据库服务器; 反之则通知 MTPM , 接收超时, 终止本次提交。

3.2 实验结果分析

为了分析改进后的模型在移动计算环境下的性能, 以“玩课网”平台学习行为数据为基础, 通过 Java、Android 搭建了移动数据库系统。实验中的主要参数有: 元组数为 20 万条, 每个移动事务的平均操作数为 7; 事务处理服务器上并发的移动事务个数为 0 到 1 万; 事务启动所造成的延迟为 10 到 500 毫秒。图 4 为理想的移动环境下改进前后事务并发量与成活率的关系; 图 5 为连续非并发移动事务访问量为 100 时, 移动环境的变化与事务执行情况的关系。

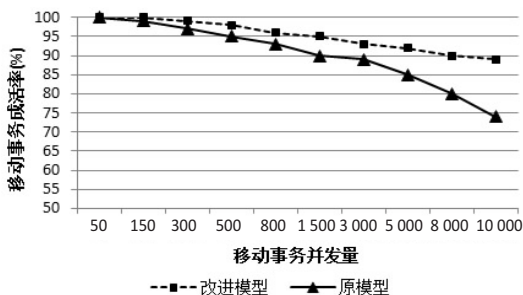


图4 改进前后移动事务成活率

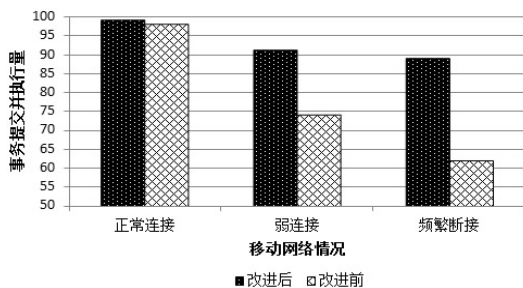


图5 改进前后移动事务提交量

由图4可以看出, 随着移动事务并发量的增加, 移动事务成活率随之降低。而当并发事务量相等时, 改进后事务提交的成功率大于改进前的事务提交成功率。当移动事务的并发量越大时, 改进后的效果越明显。由图5所示, 当移动端与服务器端正常连接时, 改进前后事务的成功执行率基本相同, 当移动网络处于

断接或者弱连接的情况时, 改进后的事务的提交并执行成功量明显高于改进前。因此, 改进后的模型无论是对移动事务并发控制还是对移动环境的适应能力都有了明显的提升。

4 结束语

文中提出了一种基于改进乐观两阶段锁移动事务处理模型, 该模型充分考虑了移动计算机环境弱连接性, 并对频繁断接事务和移动长事务有了很好的控制。实验表明, 改进模型能更好地适应于移动数据库系统。

参考文献:

- [1] OZSU M T, VALDURIEZ P. Principles of distributed database systems[M]. Berlin: Springer Science Business Media, 2011.
- [2] ABOLFAZLI S, SANAEI Z, AHMED E, et al. Cloud-based augmentation for mobile devices: motivation Taxonomies, and open challenges[J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2014, 16(1): 337-368.
- [3] YOU Kun, TANG Bin, QIAN Zhuzhong, et al. Qos-aware placement of stream processing service[J]. Journal of Supercomputing, 2013, 64(3): 919-941.
- [4] 王 珊, 萨师焯. 数据库系统概率[M]. 第5版. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [5] 丁治明, 孟小峰, 王 珊. 移动数据库系统乐观事务处理策略[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(10): 1379-1387.
- [6] 鞠栾祥. 基于自组织和关联事务结果集的移动数据库同步模型研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [7] 帖 军, 张宝哲, 王小荣. 乐观并发协议在移动计算环境中的应用[J]. 计算机工程, 2011, 37(20): 264-267.
- [8] 黄昌勤, 梅晓勇, 赵淦森, 等. 移动计算环境下不确定性组合服务的事务建模与执行分析[J]. 中国科学: 信息科学, 2015, 45(1): 70-96.
- [9] 全隽文. 面向完井业务的移动事务处理研究与应用[D]. 大庆: 东北石油大学, 2017.
- [10] 李敬兆, 谭大禹, 朱东郡, 等. 面向云覆盖聚合网中节点资源有限的移动数据库研究[J]. 计算机应用研究, 2018, 35(1): 217-211.
- [11] 冉 娟, 李晓宇. 基于秘密共享协议的移动数据存储研究[J]. 计算机科学, 2016, 43(4): 145-149.
- [12] 党德鹏, 张 楠, 徐 娟. 偏斜广播的两层可串行化移动实时并发控制[J]. 华东科技大学学报: 自然科学版, 2015, 43(7): 114-117.
- [13] 李 莎. 移动交易容错设计与实现[D]. 南京: 东南大学, 2017.
- [14] 余文涛, 李立新, 余文彬, 等. 基于多 agent 的移动数据库事务级同步复制模型研究[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(1): 51-55.
- [15] 罗 军, 李文生, 王 宏. 移动数据库事务处理模型的研究[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(22): 145-148.