

实时广播环境中的弱可串行化并发控制^{*})

Weak Serializable Concurrency Control for Real-Time Broadcast Environments

党德鹏 刘云生

(华中科技大学计算机学院 武汉430074)

Abstract In this paper, we formally define the new notion of correctness called weak serializability and prove that it is more relaxing than stringent serializability while database consistency can be ensured. After the necessary and sufficient conditions for weak serializability are shown, corresponding concurrency control protocol based on this criterion is outlined for broadcast environment. Finally, in a series of simulation studies, experimental results show a substantial reduction in response time as compared to existing approaches.

Keywords Data broadcast, Relaxing serializability, Real-time concurrency control

1. 引言

随着便携计算机及无线通讯技术的快速发展,移动计算已经成为现实,其中主要采用数据广播方法进行数据发布。广播模式的一个显著特征是通讯的不对称性,即下行带宽比上行带宽宽很多。诸如实时交通信息和导航系统、实时股票交易系统等诸多先进的移动信息服务系统需要使用笔记本、膝上电脑等来访问大量的一致且流行的实时数据。然而,由于客户机可用于与服务器通讯的上行带宽的严重限制,传统的并发控制协议显得过于严格、不必要、不可行,这就需要我们研究新的适宜于广播环境的高效的并发控制机制^[1,2]。

尽管移动计算和数据广播已有很多研究^[2~5],但实时广播环境中高性能并发控制机制的研究则是一个新热点,相近的研究成果包括文[1,2,6]。文[1]提出了一种两级一致性模式,将语义相关的数据组成簇,保证簇内数据间的相互一致性,但不同簇中数据间会出现不一致。文[2]提出了一种广播并检测可串行化图的方法,但使用的是非常严格的可串行化正确性标准。文[6]讨论了流行性与系统性能的折衷,但不支持事务概念。本文提出使用弱可串行化并发控制:形式化定义了弱可串行化的概念、证明了它虽比传统可串行化宽松但能保证数据一致性、给出了相应的并发控制协议。实验结果表明,新协议可显著提高系统性能。

2. 弱可串行化

设有事务集 $T = T_u \cup T_r$, 其中 T_u 表示 T 中更新事务的集合而 T_r 表示 T 中只读事务的集合。

定义1 (弱可串行化) T 的一个调度 S 是弱可串行化的,当且仅当: $\forall t \in T, (\forall t' \in (t \cup T_u), \neg (t'CR^*t))$ 。

定理1 弱可串行化(WSR)比传统可串行化(ISR)宽松,即传统可串行化允许的调度是弱可串行化允许调度的子集。

证明: 给定事务集 T , S 是 T 的一个调度,对应可串行化图为 G , 设 S_{WSR} 为弱可串行化允许的对 T 的调度集, S_{ISR} 为传统可串行化允许的对 T 的调度集,则对于 G , 有三种情况:

1) 若 G 中不存在环, 则 $S \in S_{WSR}, S \in S_{ISR}$;

2) 若 G 中存在环, 且每一个环至少含有两个只读事务, 则 $S \in S_{WSR}$, 但 $S \notin S_{ISR}$;

3) 若 G 中存在环, 且有一个环中仅含至多一个只读事务, 则 $S \notin S_{ISR}$, 但不能确定 S 是否属于 S_{WSR} , 如下调度 S_1, S_2 , 虽然它们的可串行化图相同如图1, 但是 $S_1 \in S_{WSR}$ 而 $S_2 \notin S_{WSR}$ 。

$S_1: R_1(X)R_2(X)W_2(X)C_2R_3(X)R_3(Y)W_3(Y)C_3R_1(Y)C_1$

$S_2: R_1(X)R_2(Y)R_2(X)W_2(X)C_2R_3(Y)W_3(Y)C_3R_1(Y)C_1$

综合三种情况, 很显然 $S_{ISR} \subseteq S_{WSR}$ 。

由上面第三种情况也可知, 可串行化图无法充分描述弱可串行化的各种情形, 为此我们提出使用从读图, 并由此分析证明弱可串行化保证数据一致性。首先定义几个必要的概念。

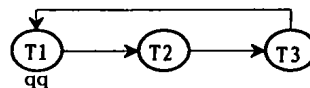


图1 S_1 和 S_2 的可串行化图

定义2(数据状态) 时刻 τ 数据库 DB 中某一数据项 d 的值称为该数据项在时刻 τ 的状态, 记为 $S_\tau(d)$, 即 $\forall d \in DB, (S_\tau(d)) = V_\tau(d)$ 。

定义3(数据库状态) 时刻 τ 数据库 DB 中所有数据项的值集合称为数据库在时刻 τ 的状态, 记为 $S_\tau(DB) = \{S_\tau(d) | d \in DB\}$ 。

定义4(数据库子状态) 时刻 τ 数据库 DB 中某数据项集合的值集合称为数据库在时刻 τ 的一个子状态, 记为 $S_\tau(A) = \{S_\tau(d) | d \in A, A \subseteq DB\}$ 。

对应于实时事务集 $T = T_u \cup T_r$ 的一个并发执行序列, 可为每一只读事务 $t \in T_r$ 建立其从读图如下:

定义5(从读图) 一个从读图 $G = (E, V)$ 是一个有向图:

$V = t \cup LIVE_H(t); E = E_1 \cup E_2;$

$E_1 = \{(t, t') | t' \in LIVE_H(t) \wedge \exists d (B(R(t, d), W(t', d)))\};$

^{*}) 本文研究得到国家自然科学基金(60073045)、国防预研基金(00J15. 3. 3. JW0529)资助。党德鹏 博士生, 主要研究方向为实时数据库、移动实时数据库。刘云生 教授、博士生导师, 主要研究领域为现代(实时、移动、分布式、时序、主动、内存)数据库理论与技术及其集成实现, 数据库与信息系统开发及实时应用, 软件方法学及支撑环境。

$E_2 = \{(t_1, t_2) \mid t_1 \in \text{LIVE}_H(t) \wedge t_2 \in V \wedge \exists d(A(R(t_2, d), W(t_1, d)))\}$.

其中, d 表示数据库中的一个数据项, $B(X, Y)$ 表示 X 在 Y 之前执行, $A(X, Y)$ 表示 X 在 Y 之后执行, $R(t, d)$ 表示事务 t 读取数据项 d , $W(t, d)$ 表示事务 t 写数据项 d .

定义6(前事务/前事务集) 在任一读事务 t 的从读图中, 若 $\exists t' \in T_u(t \text{ RF}^* t')$, 则称 t' 是 t 的前事务, 记为 $B(t)$, t 的所有前事务组成 t 的前事务集, 记为 $BS(t)$.

定义7(后事务/后事务集) 在任一读事务 t 的从读图中, 若 $\exists t' \in T_u(t \text{ RF}^* t')$, 则称 t' 是 t 的后事务, 记为 $A(t)$, t 的所有后事务组成 t 的后事务集, 记为 $AS(t)$.

定义8(不一致征兆事务) 在任一读事务 t 的从读图中, 若存在从 t 到一更新事务 t' 的边, 则称 t' 是不一致征兆事务, 记为 $I(t)$, t 的所有不一致征兆事务组成 t 的不一致征兆事务集, 记为 $IS(t)$.

引理1 一并发执行的事务集 $T = T_u \cup T_r$ 的调度 S 是弱可串行化的, 当且仅当: $\forall t \in T_u (\neg(t \text{ RF}^* t)) \wedge (\forall t \in T_r ((AS(t) \cap BS(t) = \emptyset) \cup IS(t) = \emptyset \cup (\exists t' \in IS(t) (t' \text{ RF}^* t)))$.

定理2 当 $\forall t \in T_u (\neg(t \text{ RF}^* t))$ 时, 当且仅当: $\forall t \in T_r ((AS(t) \cap BS(t) = \emptyset) \cup IS(t) = \emptyset \cup (\exists t' \in IS(t) (t' \text{ RF}^* t))$ 时, 只读事务始终读取一致性状态。

证明: 充分性的成立是显然的, 现证必要性. 用反证法, 一个典型的从读图如图2所示. 依前面的定义有:

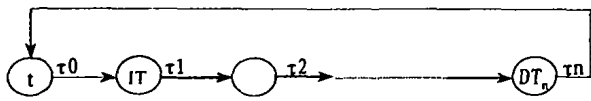


图2 一个典型的从读图

$$\begin{aligned} S_{r0}(DB - D_w(IT)) &= S_{r1}(DB - D_w(IT)); \\ S_{r0}(D_w(IT)) &\neq S_{r1}(D_w(IT)); \\ S_{r1}(DB - D_w(DT_2)) &= S_{r2}(DB - D_w(DT_2)); \\ S_{r1}(D_w(DT_2)) &\neq S_{r2}(D_w(DT_2)); \\ &\dots\dots\dots \\ S_{r(n-1)}(DB - D_w(DT_n)) &= S_n(DB - D_w(DT_n)); \\ S_{r(n-1)}(D_w(DT_n)) &\neq S_n(D_w(DT_n)); \\ \therefore S_{r0}(DB - \bigcup_{i=1..n} D_w(DT_i)) &= S_n(DB - \bigcup_{i=1..n} D_w(DT_i)); \\ S_{r0}(\bigcup_{i=1..n} D_w(DT_i)) &\neq S_n(\bigcup_{i=1..n} D_w(DT_i)). \text{ 证毕.} \end{aligned}$$

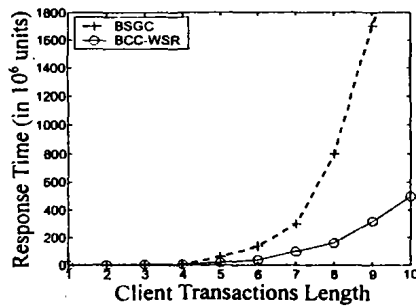


图3

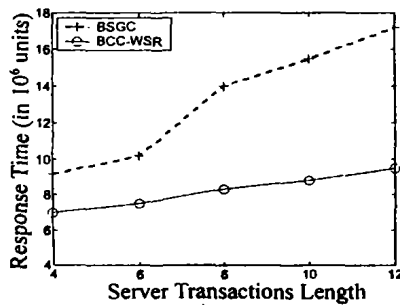


图4

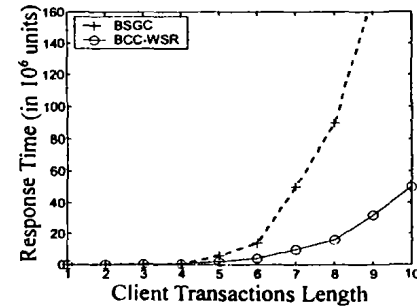


图5

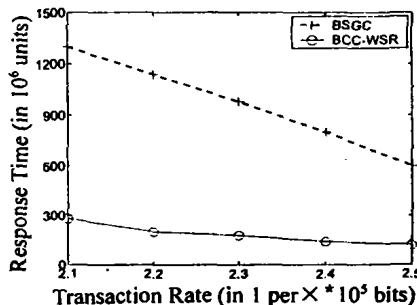


图6

3. 基于弱可串行化的并发控制协议 BCC-WSR

每当服务器方提交一个更新事务时, 执行如下算法:

```
{ if DB ∩ DU ≠ ∅
  then broadcasts message: DU is updated
  else if DU ∩ DUi ≠ ∅ where Ui ∈ TB
    then broadcasts message: DU is updated
  where DB = set of data items that are broadcast in the last drop period
        DU = set of data items of update transaction, U
        TB = set of update transactions in the last drop period }
```

客户机上的只读事务循环不断执行如下算法直到完成它的所有读操作:

```
{ loop until (read-set = DMT) or (drop period of MT has expired)
  if a data item di is broadcast
    then if di ∈ DMT
      then read-set = read-set ∪ {di}
  else if an update transaction DU is broadcast
    then if (read-set ∩ DU ≠ ∅) or (∃ Ui ∈ TS s.t. DU ∩ DUi ≠ ∅)
      then TS = TS ∪ {DU}
      if a cyclic schedule is formed
        then disposes the data item get before the update transaction in conflict
  where DMT = set of data items requested by MT
        TS = set of update transactions in the read-from graph }
```

4. 试验模拟

我们以实验模拟对新算法 BCC-WSR 和文[2]提出的广播并检测可串行化图的方法 (BSGC) 进行了比较, 实验参数设置如表1. 图3、4比较了当客户端事务长度变化时两种方法的性能: 从图中可以看到, 当客户端事务长度增加到4时两种方法开始表现出性能上的差异, 随着客户端事务长度的增加, BSGC 表现越来越差, 当客户端事务长度增加到10时其响应时间就超出了 Y 轴界限. 图5给出了当服务器上的事务长度变化时的情况: 随着服务器上事务长度的增加, 每个循环内服务器上的更新操作就增加, 从而, 响应时间也就增加, 然而, 可以从图中看到 BCC-WSR 比 BSGC 增加慢得多. 图6给出了当服务器上事务到达率变化时的情况. 沿 X 轴从左到右, 事务到达率下降, 对 BCC-WSR 方法的响应时间没有多大影响, 而 BSGC 则对事务到达率非常敏感.

结论 尽管移动计算和数据广播已有很多研究, 但实时

(下转第85页)

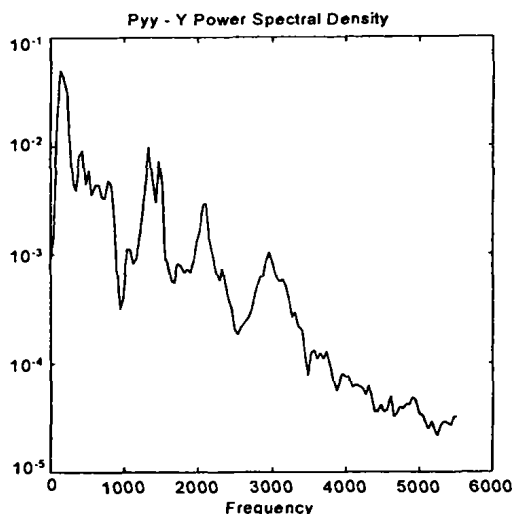


图4 随机信号 Y 的功率谱密度图

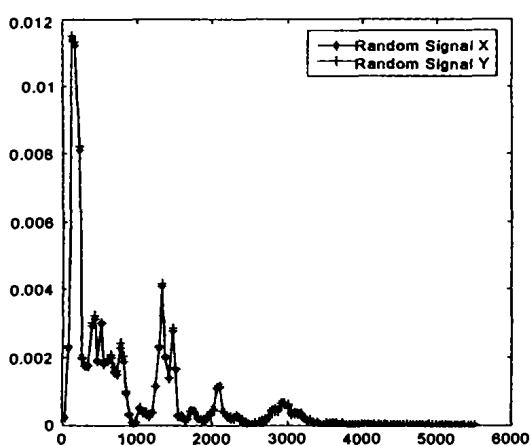


图5 随机信号 X、Y 的功率谱估计

用平均周期图法^[4](置信度为1)对随机信号 X 和 Y 进行功率谱估计,随机信号 X 和 Y 的帧长取256个信号样点,帧移取128,窗函数取 Hanning 窗,得到随机信号 X 的功率谱密度

如图3所示,随机信号 Y 的功率谱密度如图4所示。图5是随机信号 X 和 Y 是功率谱估计的,可以看出经 SSCPA 恢复的信号 Y 的频率特征被基本保持。

结束语 本文提出的方法可以对声音信号进行压缩,平均压缩率达到44%左右。提出的算法运算量很小,编码阶段只要用短时能量的计算就可以区分无音段和有音段,声音信号波形的形态特征只要对输入原始信号一次扫描即可得到,所以编码速度很快。解码阶段用二次 Bézier 曲线拟合算法,从式(11)、式(13)和式(14)可以看出,递推公式减少了计算工作量,算法十分简便,由7次乘法和6N次加法完成 S_k 拟合,对输入码字一次扫描即可实现解码,拟合时达到 $C^{(1)}$ 连续。本算法的编解码声音失真率很小,所恢复的声音质量很好。完全保持了说话人的个人特性,达到了高保真的效果,解码后的声音信号与原始声音信号的互相关系数达到0.9853。由于本算法没有使用其他的数据结构(如码本)等,其码字的码率由声音信号本身决定。所以本算法具有计算简便、声音失真率很小、低码率、非均匀速率、算法时空复杂度小和实用性强的特点,具有较好的发展前景。

参考文献

- 1 杨行峻,迟惠生,等. 语音信号数字处理. 北京:电子工业出版社,1995
- 2 Lafiamme C, et al. Harmonic-stochastic excitation (HSX) speech coding below 4 kbit/s. ICASSP-96, 1:204~207
- 3 宋岩涛,余铁城,周键来. 一种新的语音波形压缩编码算法. 见:王承发主编,第五届全国人机语音通讯学术会议论文集,哈尔滨:哈尔滨工业大学,1998. 362~365
- 4 涂哲明. 基于半波波形的语音信号编码算法研究: [硕士学位论文]. 中国科学院声学研究所,1997
- 5 高文. 多媒体数据压缩技术. 北京:电子工业出版社,1994
- 6 唐泽圣,周嘉玉,李新友. 计算机图形学基础. 北京:清华大学出版社,2000
- 7 陈桂明,张明照,戚红雨. 应用 MATLAB 语言处理数字信号与数字图像. 北京:科学出版社,2001年
- 8 肖先赐. 现代谱估计原理与应用. 北京:科学出版社,1991

(上接第95页)

广播环境中高性能并发控制机制的研究才刚刚开始。考虑到广播环境中通讯的不对称性,传统的并发控制协议显得过于严格、不必要、不可行,本文提出了一种新的基于弱可串行化的并发控制协议 BCC-WSR。实验结果表明,新协议可显著提高系统性能。

表1 模拟实验参数设置

参数项	默认设定值
客户端事务长度	5
服务器端事务长度	10
服务器端事务到达率	1 in 2.5~105 bit-units
数据库中数据对象数	500
数据对象大小	1kB
服务器端读操作概率	0.5
客户端操作间延迟	64k bit-unist
客户端事务间延迟	128k bit-unist
客户端重启延迟	0 bit-unist

参考文献

- 1 Pitoura E, Bhargava B. Maintaining Consistency of Data in Mobile Distributed Environments. In: Proc. of the 15th Intl. Conf. on Distributed Computing Systems. 1998. 404~413
- 2 Pitoura E. Supporting Read-Only Transactions in Wireless Broadcasting. In: Proc. of the DEXA'99 Workshop on Mobility in Databases and Distributed Systems, August 2000
- 3 Acharya S, et al. Broadcast Disks: Data Management for Asymmetric Communications Environments. In: Proc. of ACM SIGMOD, 1997
- 4 Datta A, et al. Adaptive Broadcast Protocol to Support Power Conservant Retrieval by Mobile Users. In: Proc. of 13th Intl. Conf. on Data Engineering, 1997
- 5 Leong H V, Si A. Database Caching over the Air-Storage. The Computer Journal, 1997, 40(7): 401~405
- 6 Acharya S, Franklin M, Zdonik S. Disseminating Updates on Broadcast Disks. In: Proc. of the VLDB Conf., Mumbai (Bombay), India, 1999