

保证数据流融合中处理一致性的事务机制^{*}

胡 侃 刘云生

(华中科技大学计算机学院 武汉 430074)

摘 要 在分布式实时传感器网络应用中,主要目标之一是保证协作交互的数据流融合任务花费较少的能源代价,能够正确、实时、原子地外化监测区域信息。因此,本文重点研究了分布式传感器网络环境下对多数据流交互处理过程的事务控制机制。首先,定义了传感器网络数据融合过程的协作执行模型。其次,运用控制区域的概念,提出了一种基于系统时间戳的自适应的数据融合交互处理的事务模型及其 ACID 规则。最后,设计了一种适宜实时环境的数据融合事务的两阶段提交、回滚协议。测试结果分析表明,它能够显著提高采集数据进行事务处理的外化速率,降低了事务的失败率及网络能耗,特别适用于处理间歇、高速的传感器网络外部采集数据。

关键词 实时数据库,流数据,事务模型,提交控制,传感器网络

A Transaction Mechanism for Providing Efficient Data Services in Streaming Data Fusion

HU Kan LIU Yun-Sheng

(Faculty of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract With the continuing advances in sensor networks and application design, appropriate middleware is needed to provide efficient QoS for coordinate concurrent applications on the sensor networks. Providing efficient data service is one of the fundamental goals for sensor networks. The data service paradigm requires that coordinate concurrent streaming data fusion applications can report information to observers as accurately and quickly as possible while making use of lower sensor energy cost. This paper focuses mainly on the transaction control techniques for multi interconnection streaming data fusions on distributed real-time sensor networks. In the paper, we first propose an executing model upon data fusion procedures on sensor networks. By using the concept of sphere of control (SoC), an adaptive transaction model based on timestamp is then presented so as to providing efficient data services for streaming data fusions while guaranteeing time synchronization and transaction control. Finally, we deduce the ACID regulations upon the model, and design a two-phase submission and back-rolling protocols for the real-time applications. Our performance evaluations show that by applying the two-phase submission protocol, the outer transformation ratio of collection data can be significantly enhanced and the amounts of failed real-time transactions and energy cost used to fuse streaming data can be reduced correspondingly. The technique is suitable to process intermittent and high speed acquisition data in sensor networks.

Keywords Real-time database, Streaming data, Transaction model, Submission control, Wireless sensor networks

无线传感器网络可以广泛地应用于国防军事、环境监测、交通管理、医疗卫生等领域,是近几年来国内外科学工作者的一个热门研究课题^[1]。传统的传感器网络主要为简单的数据采集应用服务,一个网络通常支持一个应用。随着传感器网络技术的发展,在一个网络上将会有多个应用并发执行,例如一个大楼监测系统可能同时监测温度、亮度、墙面裂化、楼内的人流,甚至与附近大楼的监测系统通信。这要求在应用和传感器网络、操作系统之间建立中间件,根据计算、通信、传感器(CCS)资源和能源,保证系统的 QoS 得到满足^[2,3]。传感器技术的发展使得传感器可以看作是一个由电池供电的具有通信、计算和存储功能的独立计算单元。分布在监测区域的传感器组成一个无线网络对感知对象监测采集、数据融合,将聚集结果发送到基站,由应用程序将对象的状态信息外化给系统观察者。随着应用越来越复杂,对采集数据的融合、分析处理将是一个复杂的过程。若由传感器网络完成该过程将会大量消耗传感器能源,降低传感器网络的生命期。因此,对于

这种复杂应用,系统中间件应对传感器网络采集的数据再进行融合处理,产生一个更高抽象层的数据外化给系统观察者。

这几年对中间件的研究已有很多成果^[4~7]。文[4]提出了一种自适应中间件试图在信息采集过程中获得资源/质量的平衡,其主要思想是在不影响结果精确性的前提下,通过降低采样频率,减少传感器节点的通信频率。文[5]提出的 MILAN 能够根据应用的行为需求动态构造网络拓扑结构。文[6]描述了在传感器数据库中实现查询的设计与实现方法,并使用聚簇技术实现网内聚集。文[7]研制了一个实时网络协作和控制中间件,它在操作系统和应用程序员之间提供了一个称之为微单元的抽象接口,微单元能够完成自复制、迁移、分组操作。

目前对网络内的数据流的融合处理分析过程通常做了这样的假定:并发执行的数据流融合任务如果使用系统内存储的共享数据,则这些共享数据保持静止状态,即数据流融合任务不修改系统内共享数据^[8]。这样将避免数据流处理中的事

^{*} 本课题得到国家自然科学基金项目(60073045)、博士点基金及国防预研基金(00J15. 3. 3. JW0529)资助。胡 侃 博士生,主要研究多元实时数据集成、移动数据管理及实时数据库;刘云生 教授,博士生导师,主要研究方向为现代(实时、主动、内存、移动等非传统)数据库理论与技术及其集成实现、数据库与信息系统开发、实时数据工程、软件方法学与工程技术。

务问题。由于协作性是传感器网络的一个重要特性,从应用语义上来看,分布在监测区域的多个传感器是对同一个感知对象(整个被监测区域)进行监测。因此,在网络上连续执行的对不同传感器采集数据进行融合处理的实时任务之间往往存在着协作交互关系,即异步执行的数据流融合任务可能要时间同步地使用其它融合任务产生的中间导出数据。系统观察者不仅要及时地了解这些融合任务产生的关于监测区域的局部和全局信息,而且要求计算机化的系统能够自动地根据监测微观行为的任务协作交互的结果原子地控制监测对象的整体行为效果。例如,在战场监测控制系统中,观察者不仅要了解战场的敌人调动、部署等信息,而且计算机系统要能够自动地根据战场中各个监测微观行为的任务交互处理的结果正确地做出发射导弹的控制信号。

本文首先给出了一个由事件驱动传感器,系统的中间件根据网络中传感器的能耗通过路由协议驱动传感器网络采集数据,再由系统中间件对采集数据融合处理后,外化给系统用户或相应应用的分布式实时传感器网络系统框架;然后将对采集数据融合处理的任务定义为数据驱动连续执行的独立计算单元,并结合传感器网络周期采集数据的特性,运用控制区域的概念定义了一个适合数据流并发协作融合处理的自适应的事务模型。由系统自动地将一组相互协作的时间相关的独立计算单元组成一个更高抽象层次上的完整的事务控制单位,保证了融合处理结果的一致性、正确性;再给出了该模型的ACID规则;最后基于定义的模型,设计了一种适合实时处理的数据融合事务的提交算法。分析表明,该方法能提高系统对采集数据流融合处理的外化率及实时性,保证数据流融合处理结果的正确性、一致性,并且由于能够不需要额外的网络查询而能够自适应地完成多个数据流交互协作的融合处理,降低了网络能耗。

1 系统框架

1.1 基于事件驱动的系统框架

为保证系统的实时性及减少数据融合过程中传感器的能耗,我们给出一种事件驱动的两层结构的系统框架。如图1所示。

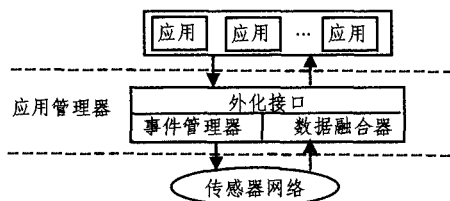


图1 事件驱动的两层系统框架

在分布式实时应用环境中,大量的传感器分布在感知区域中监测感知对象的状态变化。为了节约能源,大部分传感器节点通常处于一种低能耗的睡眠状态,只有少数几个“哨兵”节点正常工作。一旦“哨兵”发现感知对象状态变化事件,它们将事件发送给系统事件管理器,事件管理器根据被这些事件激活的应用对感知数据的需求,使用一种使得所有传感器节点能源消耗最小化的策略^[3],唤醒一个或多个睡眠节点簇。这些节点簇使用传感器网络查询聚集算法,在一定的时间段内周期性地结果通过簇的头节点传送到基站。系统的数据融合管理器驱动一个或多个数据融合任务在该时间段内周期性地执行,对采集数据进行融合、分析处理,产生更高层

次的语义抽象信息,并将结果外化给应用程序或系统观察者。

在事件发生时,事件管理器负责根据传感器网络节点的能耗情况激活传感器节点簇,并选择适当的簇头节点。数据融合器负责对传感器网络采集的感知数据进行融合处理,形成观察者(应用程序)需要的信息。外化接口提供了将融合处理后的数据输出给外界用户的界面。融合处理器的一个主要目标就是在尽可能少的能源消耗下提供尽可能多的正确信息。

下面我们给出数据融合处理及传感器网络的模型。

2 数据融合任务及传感器网络模型

2.1 传感器网络模型

传感器网络定义为一个图,其中每个结点代表一个传感器,结点之间的边代表相连的两个传感器能够互相通信。整个网络监测一组变量的值(如温度、湿度等)。令 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 是传感器网络监测的 N 个变量; $\forall x_i \in X$ 是带有时间戳的数据流,该时间戳是监测该变量的一簇传感器聚集一个数据值时每个传感器时间的平均值,反映了监测对象在某时刻的状态值。传感器网络的工作模式是事件驱动连续周期性的采集过程,即按照模式 $\{ \text{ON event} \rightarrow \text{SELECT } X^+ \text{ FROM sensors WHERE period} = t_1, \text{duration} = t_2 \}$ 唤醒一个或多个簇执行连续聚集查询。它表示当有事件发生时, X 的一个子集 X^+ 中每个变量的值将被传感器网络在一个时间段 t_2 内以周期 t_1 周期性地传递到基站,驱动系统的数据融合任务对网络采集数据进行分析处理,并将结果外化给系统观察者。

本文中,我们对传感器网络做了下列假定:(1)所有传感器具有统一的时钟;(2)传感器网络支持基于时间戳的路由模式,一簇传感器聚集的数据值带有一个时间戳;(3)应用管理器可以看作是一个具有全局基站视图的中间虚拟机。

2.2 并发协作的数据融合模型

数据融合器可以看作是一个数据转换机制,它将传感器网络监测的一组变量 X 转换成另一组变量 Y 。令 $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$, Y_i 是数据流。数据融合过程是多个融合任务程序并发执行的过程,每个融合任务是数据驱动的,即按照模式 $\{ \text{ON } (X^+) \rightarrow \text{ACTIVE } P_i \}$ 控制执行。它表示当传感器网络监测变量组 X 的一个子集 X^+ 的数据到达(或到达一定量)时,系统驱动数据融合任务 P_i 执行。令 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}$ 是系统对传感器网络在某个周期采集的数据进行融合处理的多个并发执行的数据融合任务。这些并发数据融合任务不仅产生微观的监测信息,而且往往相互协作,交互地产生整体信息。一个融合任务 P_i 在执行过程中可能产生中间导出数据(存放于系统内存数据库中),另一个融合任务 P_j 可能使用该中间导出数据,即并发的融合任务执行时在一些关键点上要同步地使用共享数据。例如, A 是根据网络采集的各个局部区域温度值进行融合处理为监测区域全局温度的融合任务, B 是全局湿度融合任务, C 是全局温湿度对比变化融合任务。在对传感器网络一个周期内采集数据的融合过程中, C 可以通过使用 A 、 B 产生的中间导出全局温度、湿度值而获得。

我们将系统对传感器网络在一个采集周期发送到基站的多个数据流进行协作交互处理的多个并发执行的融合任务称为融合过程。融合过程的一次执行(融合过程实例)由多个协作交互的,并发执行的任务实例组成,且这些任务实例分别

处理传感器网络在同一个时刻的多个采集数据流。

图2是融合过程中融合任务协作执行描述图。

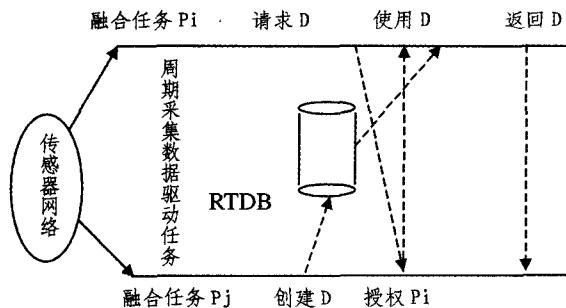


图2 融合任务协作执行

P_i 和 P_j 是两个由传感器网络采集数据独立驱动的融合任务,在协作执行过程中 P_j 同步的使用了 P_i 产生的中间数据 D 。中间导出数据被存放在一个共享实时数据库(RTDB)中。RTDB与传统DB的区别在于:(1)RTDB中的数据有一个有效期;(2)RTDB中的数据不需要保持持久性,通常是一种内存数据库;(3)使用RTDB的并发事务之间不许相互隔离;(4)不能按照传统DB的可串行化标准来保证RTDB的一致性。

2.3 需解决的问题

基于上述数据融合任务模型,存在着下列几个问题需要解决:

(1)数据时间一致性问题。数据融合应用是对传感器网络监测的多个变量进行分析处理的过程,一个融合过程由多个并发执行的数据驱动的融合任务协作完成。受网络通信时延及无线传感器网络通信断接特点的影响,不同的簇发送回基站的数据流速率是不同的。系统应保证一个融合过程实例是对时间同步的多个采集数据流进行协作交互融合处理的过程,完成该融合过程的一个融合任务实例产生的中间导出数据只能由同一个融合过程中的其它协作任务实例使用。

(2)外化数据语义逻辑原子性问题。一个融合任务在执行过程中要使用其它协作任务的导出数据。从应用语义的抽象层次来看,多个融合任务的一次并发执行过程是一个完整的事务过程。因此,若一个融合任务 P_i 使用了另一个任务 P_j 的导出数据 D ,它们之间存在着语义上的提交依赖关系。为保证应用语义逻辑原子性,系统应保证 P_i 的提交依赖于 P_j , P_j 的回滚将会级连 P_i 的回滚。

(3)外界物理时间与系统时间的一致性问题。传感器网络是按照传感器物理时间采集数据并发送回基站驱动融合任务执行的。由于不同的传感器簇发送回数据的通信时延不同,即使两个不同的簇采集数据时间相同,但是由这两个簇采集数据分别驱动的融合任务开始执行的时间是不一定同的。因此,系统应解决这种物理时间与系统时间不一致带来的问题。

(4)实时数据库中的实时数据有效期问题。由一个融合任务 P_i 产生的存放在RTDB中的导出数据 D 有一个有效期,超过有效期 D 将失效。若 D 的有效期与 P_i 的执行期相同(P_i 提交 D 将失效),则融合任务 P_j 可能在 P_i 提交后无法读取有效的 D 。若 D 的有效期太长,则下一个周期的 P_j 可能读取到 D ,影响了 P_j 结果的准确性。

下面我们结合传感器网络的连续查询特性,用运事务的概念给出解决这几个问题的具体方法。

3 基于时间控制区域的实现技术

为了说明实现机制,我们先给出相关的定义。

定义1 令 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 是由 N 个元素组成的集合, $t()$ 是一个获取对象时间戳的函数。对于一个给定的阈值 V , 若 $\forall d_i, d_j \in D (i \neq j, 1 \leq i, j \leq n)$ 有 $|t(d_i) - t(d_j)| < V$ 成立,则称元素 d_i 与 d_j 是时间相关的,且 D 是一个时间相关集。

定义2 对于并发执行的两个融合任务 P_i, P_j , 若 P_i 使用(读)了 P_j 产生(写)的导出数据 D , 则称 P_i 提交依赖于 P_j , 记做 $P_i(CR)P_j$ 。显然,若 $P_i(CR)P_j$, 则 P_j 的回滚导致 P_i 的回滚。

性质1 提交依赖关系是传递的。即若 $P_i(CR)P_j$, 且 $P_j(CR)P_k$, 则 $P_i(CR)P_k$ 。

3.1 基于时间控制区域技术的基本思想

基于时间控制区域技术的主要思路是将整个系统在一个时间段内发生的所有事件(包括在该时间段内执行的任务、产生的导出数据及外化信息行为)看作是一个原子的事务控制区域,而不是控制每个并发任务的事务执行行为。这样放松了对每个独立执行的数据驱动的融合任务的事务限制,提高了它们的实时性。系统通过控制在一个时间段区域内所有事件行为的ACID特性,从而在一个更高的抽象层次上控制系统行为的ACID特性,以达到控制了每个低层次的执行行为的ACID特性。在分布式的传感器网络监测环境中,尽管监测对象的状态变化是连续的,但传感器是通过离散连续采集数据监测对象变化的。因此,对传感器网络监测数据的处理结果通常是近似值。我们可以取一个适当的阈值 V , 在时间段 $[0, V]$ 内观察到的感知对象状态信息可以近似地认为是监测对象在一个时刻的信息。考虑到通信时延与采集融合过程相比可以忽略不计,我们以系统时间为标准,将时间段 $[0, V]$ 内驱动执行的所有融合任务实例及其行为影响作为一个融合过程事务实例,以系统基站时间为标准来解决外界物理时间与系统时间的一致性问题。

我们将系统时间划分为一个等值的连续时间段 $\{[0, V], [V, 2V], \dots, [nV, (n+1)V]\}$ 。系统将一个时间段 $[(i-1)V, iV]$ 内发生的所有行为(并发执行的融合任务、RTDB中的数据、融合任务的外化行为)看作是一个ACID的事务控制区域(SoC),系统随着时间进展自动地每隔时间 V 建立多个有序的SoC,记做 $\text{seq.}(\text{SoC}_1, \text{SoC}_2, \dots, \text{SoC}_n)$ 。一个 SoC_i 的提交由系统根据应用需求控制,可以是一个固定的周期值,也可以是 SoC_i 中的所有融合任务都提交而提交。不同的 SoC 可以并行存在。

每个 SoC 按照下面规则生成:

(1)每个 SoC_i 中,一个融合任务 P 只能被数据驱动执行一次。

(2)当有新的采集数据到达驱动一个融合任务 P 执行时,令 $t(P)$ 为 P 的开始时间且 $t(P)$ 在时间段 $[(i-1)V, iV]$ 中。如果 SoC_i 中已有一个 P 的实例存在,则系统自动丢失网络当前采集的数据,不驱动 P 执行。否则,驱动 P 的一个实例执行,且将该实例作为 SoC_i 的儿子。

(3)一个 SoC_i 中不要求所有的数据融合任务存在。

3.2 模型分析

上述事务模型及生成规则不仅有效地解决了不同采集速率数据流的时间同步协作处理与异步协作执行的并发活动外

化行为原子性问题,而且可以使用 SoC 控制 RTDB 中数据的有效期。当一个数据流的采集速率快于系统处理能力时,规则(1)和(2)将自动地丢失一些采集数据,认为它们是重复数据处理。当网络采集速率慢于系统处理能力时(如无线网络断接),规则(2)和(3)将会自动地被采集数据驱动的融合任务实例放入相应的 SoC 中,保证协作处理的一致性。该模型的一个隐含特点是系统的数据融合器不仅能够实时地处理网络采集的各个数据流,而且能够不需要额外的网络查询能源代价,自适应地完成对多个异步数据流的时间同步的协作交互处理,这组时间同步的任务实例及其在 RTDB 中产生的一组时间相关的导出数据驱动的任务实例将被作为一个原子的事务控制单位产生控制整体行为的效果。传统的解决分布式数据时间同步技术通常采用集中式的传感器融合处理:即使不同的传感器以分布式的方式采集数据,但它们在应用处理之前要集中统一处理,这是以增加网络能耗为代价的^[9]。

按照 SoC 模型,系统中管理的所有事务对象组成了一种两个层次的结构:上层是 SoC 集合,下层是融合任务实例 P 的集合。从事务的观点来看,系统只要保证每个上层 SoC_i 的 ACID,即保证了下层所有数据融合任务的事务特性。图 3 直观地描述了时间控制区域的思想。X 轴表示系统时间,Y 轴表示发生的所有事件。

3.3 模型的 ACID 规则

传统的数据库事务的 ACID 定义显然已不适宜数据流融合处理中使用 RTDB 的融合任务。

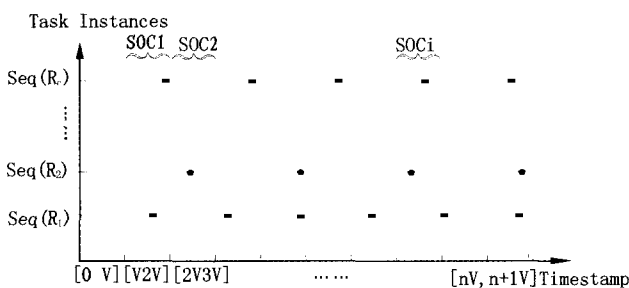


图 3 时间控制区域

根据传感器网络数据融合的应用语义及 RTDB 的特点,我们给出一种适合数据流处理的数据融合任务及 SoC 的 ACID 规则:

(1)SoC 是原子的。这里的原子性是一种松弛的原子性,系统需保证 SoC 中的一个融合任务对其它并发的融合任务及系统外部(外化信息)的影响是原子的,不必保证对 RTDB 的影响是原子的。

(2)SoC 是一致的。系统要保证由 SoC 外化的结果是一致的而不必保证对 RTDB 的改变是一致的。首先,系统要保证一个 SoC 中的融合任务实例只能使用由该 SoC 中其它融合任务实例产生的、存放在 RTDB 中的数据(时间一致性)。其次,一个融合任务实例正确提交的处理结果要由父 SoC 控制它的外化行为,以保证它的外化结果的一致性。若它要产生原子的整体控制效果,则只有当该任务实例提交依赖的所有任务实例都提交才可以提交外化结果。

(3)SoC 是隔离的。一个融合任务实例产生的导出数据的有效期由其父 SoC 控制。由一个 SoC 控制的 RTDB 中的数据(该 SoC 中所有融合任务产生的数据)对该 SoC 中的子任务实例不需隔离,但必须与其它 SoC 隔离,即不允许不同

的 SoC 中的融合任务互相使用对方产生的中间实时数据。

(4)SoC 是持久的。这里的持久性指对 RTDB 中数据的有效期维护及外化行为产生的影响,由于传感器网络连续查询的特点,不必维护 RTDB 的持久性。SoC 提交后,对外界产生的影响是持久的,其控制的 RTDB 中的数据置为无效。当系统由于崩溃而恢复后,系统不必恢复 RTDB,只需终止原来所有未提交的 SoC,开始新的 SoC 即可。

4 提交、回滚协议

根据上述模型,我们给出了一种适宜实时处理的传感器网络数据融合过程的事务提交、回滚协议。

系统使用通常的实时机制保证每个融合任务的实时执行,融合处理任务交互协作的事务控制由 SoC 完成。SoC 的隔离性保证采用物理上的时间完全隔离技术,即不同的 SoC 的执行不允许存在并发。系统根据系统时间自动周期地建立 SoC,一个 SoC_i 只能在时间段 $[(i-1)V, iV]$ 内生存。当开始一个新的时间段时,系统自动 ABORT 前一个 SoC_i 后再创建一个新的 SoC_{i+1}。

基于这样的隔离控制,下面给出一种两阶段的提交、回滚协议。不同 SoC 之间的并发控制由于物理隔离只需简单地在同一个 SoC 提交或 ABORT 时清除 RTDB 中数据,同一个 SoC 中的不同融合任务(FT)不需隔离地使用 RTDB,但系统应记录融合任务之间的提交依赖关系。当融合任务实例提交时,其外化行为的影响要由父 SoC 控制。

提交协议:

```
IF 一个 FT 提交
  THEN {将外化信息写入消息队列;
        通知父 SoC;
        };
IF SoC 收到 FT 提交请求
  THEN {检查提交条件
        IF 该 FT 提交依赖于其它未提交的 FT
          THEN 将该 FT 存放于待提交队列;
        ELSE {提交该 FT;
              将消息队列中对应该 FT 的信息外化给观察者;
              检查等待队列,将满足提交条件的等待 FT 提交;
              };
        IF 时间定时器到
          THEN {终止当前 SoC 中的所有未提交 FT;
                清除 RTDB 中所有数据;
                创建新的 SoC
                };
        }
```

回滚协议:

```
IF 一个 FT 回滚
  THEN {检查该 FT 的依赖队列;
        回滚所有提交依赖于该 FT 的其它 FT(包括传递依赖);
        终止所有回滚的 FT;不 RESTART 它们
        };
IF 一个 SoC 回滚(系统崩溃)
  THEN {终止所有未完成及等待提交的 FT;
        清除 RTDB 中数据;
        不再 RESTART 该 SoC;
        };
```

我们的这种提交、回滚、并发控制协议适应实时的传感器网络数据融合事务处理。它要求对采集数据流的融合处理必须在时间 V 内完成,因此要求融合处理任务是实时的短事务。对于长事务型的实时要求不高的融合处理,限于篇幅,我们已另文给出了一种可以提高系统吞吐率的、允许 SoC 并发执行的事务一致性及提交控制机制。

5 实验分析

我们在由国家自然科学基金资助、自行研制的嵌入式实时操作系统 ARTs II-OS 上模拟传感器网络计算环境完成了

性能测试。从两个方面进行测试:一是在外部数据高于系统数据处理时间下系统对高速数据的接受能力,测试指标为外化率 $MR = \text{外化数据数量} / \text{采集数据数量} \times 100\%$ 。二是在系统任务繁重(调整并发执行的数据融合任务数量)下系统对实时融合任务的实时保证能力,测试指标为任务的超截止期比率 $DR = \text{超截止期融合任务数量} / \text{并发协作融合任务总数} \times 100\%$ 。表 1 是主要测试参数。PC 机带有多媒体计时器,计时精度可以达到 $1\mu s$ 。

在第一种情况下,我们采用由两个传感器采集数据,通过改变采样周期,对同样一个应用嵌套事务提交控制、两阶段的 SoC 事务提交控制进行测试。实验例程为系统对 A、B 两个不同工作站点上采集的代表监测区域不同地点的温度值进行融合分析处理,并使用图形方式分别外化给观察者每个地点及整个区域的温度变化情况。若采用嵌套模型,为保证采集数据的时间一致性,当两个端口缓冲区都有数据时才驱动嵌套事务执行。一个缓冲区先满,新到的采集数据自动覆盖先前的数据,直到另一个缓冲区满。该模型下,应用由一个父实时温度分析事务及三个子事务组成,两个分别显示 A、B 点温度的子事务及一个显示全局温度的子事务。若采用我们的 SoC 事务模型,应用由三个独立的协作事务组成,它包括两个分别在 A、B 站点由该点缓冲区满驱动的处理、显示局部温度并将导出结果交给 RTDB 数据管理器的事务及一个由导出数据(A、B 点温度导出值)驱动的显示全局温度的事务组成。

表 1 模拟参数

parameter	Value	parameter	value
Test time	10s	size of database	500
number of nodes	5	Number of sub-transaction	1~30
average message send time	316 μs	number of operations in each sub-transaction	5~15
data send period	10~100ms		

图 4 是采样周期对 MR 的影响。可以看出,当采样周期越小,两阶段的 SoC 提交方式的 MR 值明显优于嵌套方式,这是语义依赖模型放宽了每个任务的数据同步要求提高了系统并发性、实时性的特点。

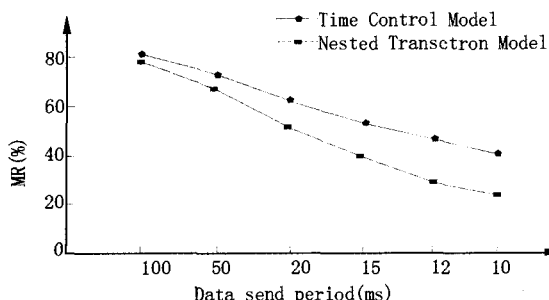


图 4 采样周期对 MR 的影响

在第二种情况下,我们在固定采集周期情况下改变并发执行的协作数据融合事务数量,对一组周期执行的协作事务分别使用两阶段 SoC 事务提交机制及扁平事务提交机制进行测试。按照传统的扁平事务模型,两个独立执行的事务对 RTDB 是隔离的,一个事务提交(或不再使用 RTDB)后才释放锁。按照两阶段 SoC 事务提交,一个 SoC 中的融合事务对

RTDB 是不隔离的,当一个事务使用了另一个并发事务的数据时,该事务的提交依赖于另一个事务的提交,在其所有提交依赖的事务都已提交即可提交。

图 5 是两种提交机制对 DR 的影响。测试结果表明,两阶段 SoC 事务提交方法的事务成功率要高于扁平事务提交方法,即因超截止期而失败的事务数要少。当系统负载增大,两阶段 SoC 事务提交的 DR 值明显要优于传统的扁平事务提交方法。这是放宽了事务的严格 ACID 限制带来的益处。

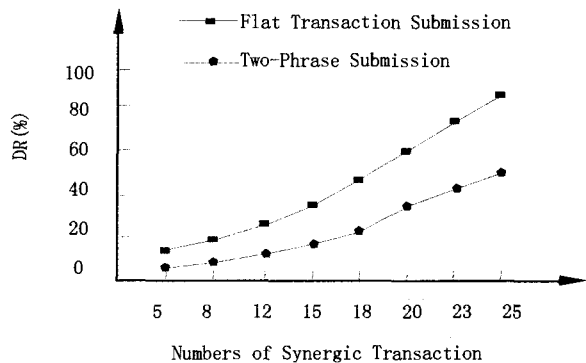


图 5 并发协作事务数量对 DR 的影响

结束语 传感器网络技术的发展导致了保证并发应用 QoS 的中间件研究。本文结合传感器网络的特性及实时应用的特点,定义了一个分布式实时传感器网络数据融合处理的中间件框架;提出了基于该框架的数据流融合应用交互协作执行模型;定义了一种基于时间控制区域的数据融合处理的自适应事务模型及相应的 ACID 规则;提出了适应于实时环境下数据融合事务处理的提交、回滚协议及并发控制机制。经过实验测试,证明其能够显著提高系统的运行效率及对高速外部采集数据处理的实时性。并由于不需要集中式的网络时间同步处理及额外的多数据流查询而降低了传感器能耗。该技术特别适用于处理间歇、高速的传感器网络外部采集数据的融合分析处理。

参考文献

- 1 Akyildiz L, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. A survey on sensor networks. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102~114
- 2 Romer K, Kasten O, Mattern F. Middleware challenges for wireless sensor networks. ACM SIGMOBILE Mobile Communication and Communication Review, 2002, 16(2)
- 3 Yu Y, Krishnamachari B, Prasanna V K. Issues in designing middleware for wireless sensor networks. IEEE Network Magazine, 2003
- 4 Yu X, Niyogi K, Mehrotra S, et al. Adaptive middleware for distributed sensor networks. IEEE Distributed Systems Online, May 2003
- 5 Murphy A, Heinzelman W. MiLAN: Middleware linking applications and networks. [Tech Rep TR-795]. University of Rochester, 2002
- 6 Madden S, Szewczyk R, Franklin M, et al. Supporting aggregate queries over ad-hoc wireless sensor networks. In: Kindberg T, ed. Proceedings of the Workshop on Mobile Computing and Systems Applications. Los Alamitos: IEEE Computer Press, 2002. 49~58
- 7 Smart Message Project. Online. <http://discolab.rutgers.edu/sm>
- 8 Babcock B, Babu S, Datar M, et al. Models and issues in data streams. In: Popa L, ed. Proc. of the 21st ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symp on Principles of Database Systems. Madison: ACM Press, 2002. 1~16
- 9 Elson J. Time synchronization services for wireless sensor networks. In: Kumar V, ed. Proceedings of the 15th International Parallel & Distributed Processing Symposium. 2001. Los Alamitos: IEEE Computer Press, 2001. 1965~1970