

无线传感器网络的查询处理机制研究综述^{*})

谢 磊 陈力军 陈道蓄 谢 立

(南京大学计算机软件与新技术国家重点实验室 南京 210093)

(南京大学香港理工大学无线与移动传感器网络联合实验室 南京 210093)

摘 要 无线传感器网络综合了传感器技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和无线通信技术,已经成为当前一种新的分布计算模式。本文介绍了以数据库的方式对传感器网络进行数据管理的概念与特点,综述了当前传感器网络查询处理方面的研究成果,并探讨了无线传感器网络的查询处理机制的实现与优化问题,对今后该领域的研究工作做出了展望。

关键词 无线传感器网络,查询处理, TinyDB

Query Processing for Wireless Sensor Networks

XIE Lei CHEN Li-Jun CHEN Dao-Xu XIE Li

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

(NJU-POLYU Cooperative Laboratory for Wireless Sensor Network, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Wireless sensor networks are integration of sensor techniques, embedded computation techniques, distributed computation techniques and wireless communication techniques, and it's now becoming a burgeoning distributed computing paradigm. In this paper, we introduce the concepts and characters of the database approach for sensor networks, summarize the research works on sensor network query processing, and discuss the issues of the implementation and optimization for query processing in sensor networks. Finally we present the advance of the research on query processing for sensor networks.

Keywords Wireless sensor network, Query processing, TinyDB

1 引言

随着无线通信技术、嵌入式计算技术以及传感器技术的进一步发展,由大量具有无线通讯能力、由电池提供能量、智能化的传感器节点组成的无线传感器网络开始广泛地出现在国防军事、环境监测、制造业等科学研究与社会生活的各个领域。当前,随着硬件设计技术的日益发展,这些传感器节点不仅能够通过相应的传感器接收现实世界的感知数据,而且能够主动地对接收的感知数据进行有效的过滤、聚集、缓存等处理操作,充分地利用网内处理(in network processing)的特性,以能量有效的机制将感知数据通过传感器网络传送给需要这些信息的用户。

由于无线传感器网络应用场景往往具有不同的特性,因此传感器网络的每一次应用部署都会花费大量的时间和精力。基于底层的嵌入式 C 语言编程方式集中于对节点软件系统的重新实现,即使对于专业的开发人员来说这也是一个繁琐、复杂的过程,对于应用用户来说根本就无法有效、灵活地定制软件系统的应用属性。同时,这种方式也不能够充分地利用之前的软件系统设计方案,缺乏有效的继承性。这种复杂的、重复的、缺乏灵活性的系统设计方式已经越来越成为研究者们普遍关注的一个问题。

研究者们发现,可以用一套与传统研究方式不同的、以数据为中心的方法来解决上述的问题。在对传感器网络的数据

进行收集和处理时,将整个传感器网络视为一个大型的分布式数据库系统,采用对传感器网络这个数据库系统进行查询(declarative queries)的方式获取相应的感知信息,其目的是将传感器网络上数据的逻辑视图(命名、存取和操作)和网络的底层实现分离开来,使得传感器网络的用户和应用程序只需关心所要提出的查询和逻辑结构,无需关心传感器网络的具体实现细节;将具体的底层物理实现细节交给查询引擎的实现者去完成。这种设计方式使得用户可以根据不同的应用需求灵活而快速地构建出一套数据收集的应用,同时通过高层的具有说明性的查询语言来指定他们的逻辑应用需求,充分释放用户对底层实现机制的依赖性,简化了用户的任务。这种对传感器网络实行的查询处理机制也有利于充分地实现传感器网络的能量有效性,因为说明性的查询语言并没有指定感知数据收集和处理的具体方式,查询引擎系统可以针对用户的查询请求有效地发掘多种底层的查询处理实现方案,从中选择能够达到最优性能的查询处理实现方案,这个过程也称为查询优化,对提升整个查询处理架构的性能是至关重要的。

2 背景

2.1 无线传感器网络

无线传感器网络^[21]由大量的传感器节点组成,每个节点通过无线网络与其邻近的节点连接通讯,以 Ad hoc 的方式利

^{*}) 国家 973 重点基础研究发展计划(编号:2002CB312002)和国家自然科学基金(编号:60573132)资助项目。谢 磊 硕士研究生,研究方向为无线网络和传感器网络;陈力军 副教授、硕士生导师;陈道蓄 教授,博士生导师;谢 立 教授、博士生导师。

用多跳路由协议组成一个无线的网络,其目的是为了协作地感知、采集和处理网络覆盖的地理区域中感知对象的信息,并发布给观察者。无线传感器网络往往具有如下一些特性:(1)通信能力有限。连接传感器节点的无线网络只提供有限的服务质量和有限的通信带宽,受周围的环境影响有着相应的信息延迟,同时也存在频繁的丢包现象。(2)电源能量有限。传感器节点的电源能量极其有限,网络中的传感器节点由于电源能量的原因经常失效或废弃,因此有效的节能技术便成为传感器系统应用设计中必须考虑的一个关键指标。(3)计算能力有限。传感器节点具有有限的计算能力和存储限制,限制了在节点上实现的感知数据处理算法的类型以及计算中间结果的大小。(4)感知数据具有不确定性。从传感器上接收的物理信号往往具有内在的不确定性,而且可能包括环境中的一些噪声。传感器工作不正常,可能会导致获得不精确的感知数据,传感器不正常地放置也有可能造成获得偏离的感知数据。

2.2 分布式数据库系统

分布式数据库系统^[13]可以定义为分布在计算机网络中的、多个逻辑上相互关联的数据库的集合。分布式数据库系统已经成为信息处理学科的重要领域,正处在迅速发展之中。其中,分布式查询处理技术是指在分布式环境中设计一套有效的算法,对查询请求进行分析,然后将其转化为一系列的数据处理操作,其关键在于如何以一种代价最优的方式制定一套查询实现机制,使在分布式的环境中能够最有效地执行每个查询请求。需要考虑的因素包括数据的分布性、通讯的代价以及缺乏足够的本地可获取的信息,其目标便是在上述的因素限制下充分优化内部的并发机制,以提高事务执行的总体性能。

2.3 流数据处理

在网络信息监测、传感器网络、点击流数据分析、电信部门通话记录分析等领域,数据以持续的数据流的形式存在,而不是以有限可存储的数据集的形式存在;数据流上的查询持续执行,而不是单次执行。传统的数据库管理系统和数据处理算法不适合处理数据流上大量复杂的持续查询,因此需要重新研究如何对流数据进行有效的处理。流数据处理^[20]已经成为数据库研究领域一个非常重要的分支。流数据的特点是数据持续到达,且速度快、规模宏大;其研究核心是设计高效的单遍数据集扫描算法,在一个远小于数据规模的内存空间里不断更新一个代表数据集的结构——概要数据结构,使得在任何时候都能够根据这个结构迅速获得近似查询结果。

3 查询处理的系统架构

3.1 查询处理实现的关键因素

由于传感器网络存在的一些特性,如传感器节点的资源有限且易受到外界环境的干扰而失效、运行在节点上的操作系统并没有提供足够的容错机制、节点部署存在高度随机性与分布式的性质等,为实现传感器网络的查询处理机制带来了相应的挑战。在查询处理系统的设计实现过程中,需要充分地考虑一些关键因素:(1)需要充分考虑节点资源尤其是能量的限制。考虑到在传感器网络中数据的大小以及相应的操作复杂度,通信和感知机制构成了能量消耗的主要部分。(2)查询设计方案需要充分考虑到传感器网络的一些瞬时性的特点。节点会即时地加入和撤出网络,由于节点设备能量损耗以及周围干扰模式和程度的不同,节点间信号地能量也随之

不同,数据收集过程应该尽可能少受影响。(3)需要有效地减少网内的数据传输量,同时提供相关的存储机制、日志和离线审计机制。将所有的原始感知数据都实时地传输出网络的代价是昂贵的,同时往往是不可能的。因此查询处理方案应该能够提供一些实时的聚集机制(求和、直方图、统计归纳等机制),以对网络中的数据有效地进行归纳和压缩。(4)查询处理方案必须给查询用户提供比系统软件如 TinyOS^[19]的嵌入式C语言编程模型更为简单而丰富的查询接口,以有效地支持用户的信息收集与处理,同时要提供给用户一些工具去管理和理解联网传感节点的状态,也利于方便地加入新的传感设备和功能。

3.2 数据模型和查询语言

传感器网络中每个传感器节点会根据查询需求定时收集感知数据。为了便于对感知数据进行存储和管理,有必要构建感知数据的数据处理模型。感知数据模型必须方便和利于感知数据查询的描述和实现操作。由于感知数据是连续收集的流数据,因此可以将感知数据流看成一个只可附加的虚拟表格(append only virtual table)^[14],表格中每一行元组代表每个周期内每个节点收集的数据,每一列代表感知数据的一个属性。这样的表格被称为“虚拟的”,是因为其中的行和列并不是物理上存在的,只有与当前查询请求相关的属性和行才是实际产生和被存储的。每个元组是随着时间连续产生的,因此往往包括一个时间戳属性。将元组表示成时间序列的形式,用来协调和支持对感知数据的处理操作。物理上,整个虚拟的表格是分布在网络中每一个节点设备上的,因此可以把它看成是一个由多个感知数据表格组成的分布式的数据库系统。另外,文^[16]提出了以对象关系数据库视角处理感知数据的方案,将感知数据视为抽象数据类型(ADT)的对象进行管理;文^[3]在此基础上提出了 Gaussian ADT 的方案,用高斯分布函数表示传感器网络感知数据的连续概率分布的属性。

在对传感器网络实施查询的过程中,采用一套说明性的查询语言接口,对整个传感器网络进行交互。这套说明性的查询接口的实现并没有使用特定应用相关的过程性代码,而是基于传感器网络应用的数据驱动的性质,将一大类应用所需实现的功能进行抽象和集成,将其转化为具有高度表达能力的通用的接口。这种类似于 SQL 的查询语言基本结构如下:

```
SELECT      {attributes, aggregates} FROM      {Sensordata S }
WHERE       {predicate}
GROUP BY   {attribute}           HAVING {predicate}
DURATION   time span e
EVERY      time interval
```

这种查询接口在 SQL 的基础上主要增加了对采样周期(time interval)以及对查询工作持续时间(time span)的定制,主要的典型的查询方式包括聚集查询(时间、空间聚集)、基于事件机制的查询、基于生存期限的查询等。

3.3 数据存储与索引技术

传感器网络的数据存储机制可以采用本地存储、外部存储和分布式存储方案。本地存储是指所有感知数据都存储在产生该数据的传感器节点上,外部存储方式是指所有感知数据都存储在传感器网络以外的计算机节点上,分布式存储方案即是以数据为中心的存储方案。在以数据为中心的存储系统中,每个传感器节点产生的数据按照数据名存储在网络的某个或某些传感器节点上,采用相应的索引技术可以根据数据项的键值在传感器网络中找到相应的数据项。

为了支持以数据为中心的处理方式,传感器网络需要提供一套灵活有效的以数据为中心的数据存储方法以及相应的索引技术。目前已经有一些文献针对感知数据的分布式存储问题提出了一些有效的解决方案。地理散列函数方法(Geographical Hash Table)^[17]根据数据项的某个特定的事件类型域进行两维的散列操作,根据其结果由相应的地理路由协议将其传输并存储到对应地理位置的节点中;这样同一事件类型的值域被散列到相同的地理位置上,因而对某一事件感兴趣的查询操作可以迅速地利用地理路由协议定位到相应节点上。层次索引结构(multi-dimensional range index)^[18]方案提出了对传感器网络查询的多层次索引机制,在这种方案中每个节点被分配到索引属性空间的一个连续的存储域,网络中邻近的节点存储相邻的属性域空间,这种方案较之地理散列函数方法的优点是它可以有效地支持范围的查询。

3.4 查询处理机制

传感器网络实现机制与传统的数据系统具有不同的特性。首先,感知数据是以数据流的形式交付的,传感器节点通常以固定的时钟周期连续地产生数据流。由于将这些原始的流数据保存到磁盘上的代价通常是昂贵的或不可实现的,以及感知流数据往往代表着需要即时响应的事件,因而对这些感知数据流的查询操作往往需要达到接近于实时的数据处理速度。其次,传感器节点系统与通用数据库管理系统不同,受到有限的硬件资源的限制,具有有限的处理和存储能力,同时必须在处理过程中尽可能地节省能量。这些特性决定了传统的数据库系统的实现架构和方案对传感器网络的查询处理是不合适的,因此需要基于上述特性提出新的针对传感器网络的查询处理机制。

3.4.1 查询处理的执行架构

对于传感器网络查询处理的系统结构,UC Berkeley 和 Cornell 大学主要在该问题上做出了相关的研究与实现,分别提出了 Fjord 的系统结构^[6]与 Cougar 的系统结构^[8]。其中 Fjord 是 UC Berkeley 大学 Telegraph 项目研制的一个自适应的数据流系统,基于流数据计算模型进行查询,采用 Push 和 Pull 技术相结合的查询处理引擎,对感知数据采用 Push 技术,对非感知数据则采用 Pull 技术,有效地结合了 Push 和 Pull 技术的优点。Fjord 利用传感器代理进行一些中间的聚集操作,同时根据计算环境的变化动态调整查询执行的计划,有效地实现了相应的查询优化机制。Berkeley 基于这样的架构构建了一套基于 TinyOS 平台的无线传感器网络查询处理引擎——TinyDB^[12,14]。Cougar^[8]是 Cornell 大学针对传感器网络查询处理提出的一个实现架构,其基本思想是尽可能地将查询处理操作放置到传感器网络内部执行,充分利用节点的本地计算能力,有效地减少能量消耗。它提出一个查询代理层的设计方案,查询代理层存在于应用层和路由层之间,提出 Cross-layer Interaction 的实现机制^[23],与上下两层相互协作,有效地利用上下层提供的信息,充分优化查询机制的实现。

3.4.2 查询处理的执行流程

查询处理的执行是实现查询处理机制的一个最重要的环节,其主要流程包括查询请求的预处理和优化、查询请求网络扩散、查询执行处理几个步骤,其具体实现流程如下:

(1)在用户前端输入的查询请求在基站被解析,在基站处对查询请求执行一个简单的查询优化步骤,在 sampling, selections 和 joins 之间选择一个正确有效的排序^[14]。

(2)当查询请求在本地基站被优化后,会以一个简单的二进制格式分发到网络上,分发过程以广播的方式从网络的根节点发送查询请求。当每个网络节点监听到这个查询请求时,根据相关信息决定是否将该查询应用到本地或者是否需要路由路径上向其子孙节点继续广播该查询请求。

(3)一旦查询请求被优化和分发之后,相关节点的查询处理器便开始执行相关查询。查询处理包括在每个指定时间段内执行一系列简单的顺序处理的操作。首先,相关节点在时间段内的大部分时间处于休眠状态,再恢复工作状态,取样传感数据,对本地收集的数据和从邻居节点接收到的数据执行相应的过滤、聚集操作^[1,10,33],再通过无线通讯接口将本地处理结果发送到它们的父节点上去。

查询处理流程的每一个步骤都是围绕着有效节能、优化处理性能的角度去考虑的,因此在每个执行步骤中都需要充分考虑其优化实现。目前大量的传感器网络查询处理的研究成果都集中于查询处理机制的优化实现问题上。

4 查询处理的实现与优化问题

4.1 查询处理优化实现概述

在对传感器网络的查询处理机制的实现中,查询请求以一种类似于 SQL 的说明性接口表示,仅仅描述了用户所感兴趣的感知数据的逻辑组合,并没有指定实际的实现手段(实现算法、操作步骤以及底层处理机制等),这些相关的实现机制都交由查询引擎来完成。因此,在查询引擎中如何选择以及选择何种最优的查询机制便是查询处理的优化问题。对于传感器网络的查询实现与优化应该基于传感器网络的特性,考虑查询机制的能量有效性和整体性能,充分利用网内处理的机制^[21]来执行查询处理的实现与优化进程。

4.2 查询预处理机制的优化实现

查询预处理是在基站处完成的,基站负责接收用户的查询请求,对其进行解析、验证以及优化。查询预处理机制的优化与分布式数据库查询的优化类似,均利用基于代价的优化器来选择 sampling, selections 和 joins 的排序,定制一个优化的查询方案,以使总体消耗的能量最小。针对传感器网络的特性来说,能量主要消耗在无线通信的传输以及传感器的采样,节点的计算能量消耗较前两个因素来说相对较少。因此,对于查询请求的预处理优化重点在于有效地改变查询操作的相对顺序,以减少感知数据的采样和传输数量以及相对获取代价。基于这样的认识,文[14]提出 ACQP 查询处理机制(Acquisitional Query Processing)利用感知数据的获取代价信息,从感知数据的获取角度出发对查询请求进行充分的优化,提出了合理调整采样操作和谓词操作的顺序以及将基于事件的查询批量处理的优化措施。文[16]也提出了利用半联合(semi-join)机制来优化查询联合操作的思路。

4.3 查询处理机制的路由实现问题

当查询请求在基站完成预处理后,需要在传感器网络上执行查询请求分发以及查询结果收集的过程,这就需要在传感器网络上构建一套有效的路由管理机制以支持查询处理。由于传感器网络具有低维护、易部署以及低功耗的需求特性,这就需要其上的路由拓协议能够提供自组织多跳的管理和实现机制。在这方面已经有大量的文献提出了多种不同的路由机制^[31]。

针对传感器网络的查询处理的实现,需要提供与之相适合的以数据为中心的路由机制^[5],支持查询请求的分发与数

据收集。这方面研究的专家提出基于树形结构的路由机制以支持查询处理。树形结构的路由机制的实现主要基于两个信息:父节点的标识以及本地节点距离根节点的跳数。路由树是在查询请求的分发过程中形成的:首先根节点发出查询请求,所有接收到查询请求的子节点对查询进行处理,同时将查询请求向其子节点继续发送,直至整个网络的所有节点都接收到请求。实现路由树的关键因素在于路由发现与路由维护。在路由发现过程中,节点通常选择具有最小跳数、链路状态良好的邻近节点作为父节点。路由树机制中如何选择合适的父节点,对网络通信与数据收集的有效性来说是至关重要的;同时,由于网络中节点能量耗尽、外界干扰导致链路失效等因素,网络拓补结构随时可能会改变。节点通过本地维护一个候选的父节点集合以及它们每个节点的链路状态的评估,动态地修改路由结构,进行路由维护。

在研究面向查询处理的路由树的构建实现中,ACQP^[14]提出了语义路由树(Semantic Routing Tree)的方案,在路由树结构上对相关的感知语义属性建立索引机制,以有效地支持查询处理操作的实现与优化管理。Cougar^[26]提出了一套针对聚集查询的路由树的优化选择机制,针对聚集查询的相关特性以及基于不同的性能标准,有效地计算出一个优化的路由树,以使整体性能达到最高。文[15,26]提出了视图节点选择机制,根据统计信息,自适应地在路由树上建立混合的Push-pull路径,支持多个并发查询,以充分有效地降低能量消耗。文[1]提出了基于树形结构的多父节点的路由机制,用以支持多个并发的查询,同时提高了路由机制的健壮性。文[23]分析了查询处理层与网络路由层的交互协作问题,提出了数据管理层与路由以及链路层在系统设计过程中的两种主要交互设计方案:自顶向下与自底向上的设计方案。

4.4 节点间的通讯调度与数据交付

在查询请求被分发到传感器网络的每个节点上后,传感器网络的相关节点开始执行查询结果连续的收集与传输过程。在这过程中,节点间的通信需要得到有效的调度,以保证在多轮的通信过程中节点能够有效地处于低功耗状态。在基于树形路由机制的查询结果的收集过程中,节点间的通信调度需要考虑如何合理地安排父节点与子节点感知数据发送和接收过程的时间序列,以有效地支持查询实现的网内处理机制,同时尽可能地减少节点的运行时间,以减少节点的能量消耗。针对这样的考虑,文[32]提出了两个节点间通信调度方案:简单调度方式与时间槽调度方式。简单调度是指网络上的所有节点在每个收集周期内的固定时间段内同时被唤醒、激发处理过程以及同时进行睡眠,时间槽调度是指每个收集周期被分为一系列固定大小的时间分片,每个节点根据在树形路由结构中的距离根节点的跳数以相反的次序去选择相应的时间分片,节点在对应分片时间内被唤醒、处理本地和子节点传输的数据、向父节点传输数据然后睡眠。时间槽调度方式相对于简单调度方式以一种更为能量有效的机制协调好父节点与子节点的数据传输,通过将各个节点通信量分配到不同的时间槽内,有效地降低了信道的竞争,进一步提高了数据的传输率。在这方面,文[4]进一步提出波形调度机制(Wave scheduling),一种与路由机制相结合的链路激活调度机制,以低延迟的通讯性能使得通信调度更为稳定、能量消耗更为有效。

对于节点间的数据交付,当网络中数据传输流量对信道占用竞争激烈或者由于本地处理产生的数据量很大时,需要

采取相应的机制在运行时对本地传输队列上的数据进行丢弃或聚集、结合操作,以有效地降低数据交付量,减少网络拥塞。由此可以采用一些压缩与近似机制(如小波、傅里叶分析、直方图等)对交付数据进行处理^[35,36]。文[14]提出了数据分发的优先机制,采用窗口聚集和基于区分机制的分发机制,有效地发掘感知数据间的联系,提供最优质量的传输结果。

4.5 聚集查询操作的实现与优化问题

目前相当数量的传感器网络的应用重点是对传感器网络的数据抽取作用,通常这些应用往往只需要对传感器网络感知数据的一些统计信息,并不需要获取大量的原始感知信息。传感器网络的查询机制可以通过聚集查询来有效地支持和实现这样的操作;通过定制具体的聚集查询操作,充分利用传感器节点的本地计算和存储能力;在网络上的中间节点对感知数据进行相应的聚集操作,对其进行过滤、归纳、压缩等聚集实现,有效地降低网络数据的传输量,达到减少能耗的目的^[33]。

上述的网内聚集机制主要分为两种结构^[9]:数据包合并(packet merging)与局部聚集机制(partial aggregation)。数据包合并是指节点将本地感知和接收到的多个包含感知数据的较小的数据包合并成一个较大的数据包发送的机制。这样一组感知数据内容可以共享同一个数据包头信息,从而能够减少网络传输量,同时由于节点链路间传送数据包的减少,有效地降低了节点间信道竞争的几率,提高了传输效率。局部聚集是一套更为彻底的聚集机制,每个中间节点将会在常量存储空间内维护聚集数据的一个统计信息,根据收到的周围节点的感知数据计算聚集结果所需的相关统计信息,向根节点方向传送。文[1]根据聚集操作的计算性质从4个角度对其进行了有效的分类,这4个衡量的角度为:对副本是否敏感(duplicate)、是否是代表性的或摘要性的数据(exemplary, summary)、单调性(monotonic)、局部状态(partial state)。聚集机制根据聚集操作在这些方面的性质可以执行特定的优化方案。

查询处理的网内聚集技术的关键在于有效地协调好树形路由结构中数据聚集流程。在每个采样传输周期内,父节点需要等待子节点传输聚集处理后的数据,父节点将其与本地感知数据进行聚集处理后向其父节点发送。TAG^[1]提出了一套有效的聚集流程,以保证子节点能够在指定的时间段内将数据聚集并传输给父节点处理。文[10]进一步提出了流水线的聚集机制,有效地保证了聚集结果的正确性,同时提高了查询取样执行的速率。文[1]同时提出了组查询(Grouping)的解决方案,将分组信息随查询请求扩散到网络,使每个节点选择对应的分组,按所属的分组信息更新聚集结果。在查询处理的优化问题上,文[1]提出了一些处理手段,优化聚集查询机制,进一步提高其性能与精确度;利用共享信道监听邻居节点的通信状态,仅允许能够影响最终聚集结果的传感器节点传送信息,有效减少了相关节点的通信量;采用假设检验技术结合监听机制,进一步优化聚集处理,减少网络通信量。

4.6 查询处理机制的同步问题

在对查询处理的通讯调度与网内聚集的过程中,需要实现有效的同步机制,以协调节点定时地被唤醒与休眠、执行通讯调度以及对感知数据同步地进行聚集操作。目前针对传感器网络的同步问题已提出很多相应的解决方案,如RBS、TI-NY/MINI-SYNC和TPS一些基本的同步机制。由于传感器

网络是应用相关的,因而对时间同步的要求也是多种多样的。针对传感器网络的数据查询的同步问题,文[32]提出一种解决方案,所有节点都会监听从网络根节点定时发出的同步时钟消息,该广播消息包含基站当前的时钟信息,第一层节点会根据该信息同步它们的时钟,重新传输包含它们自身时间戳的时钟信息(考虑到接收到时钟信息与重新传输该信息之间的延迟)。为了保证时间戳足够精确,时间戳信息的生成是在协议栈最底层实现的(在数据包到达链路层发送队列最前列、即将发送之时)。文[22]提出节点通过调整休眠时间而非运行时间的本地时钟信息的调整机制以及渐进式时钟调整的方案,充分降低同步机制对其他实现机制的影响。文[9]提出一个实效的针对查询处理的同步机制,通过利用历史信息与定时器的恢复机制有效地保证了节点间数据传输的同步。

4.7 查询处理的健壮性研究

由于传感器网络自身结构具有不稳定性的特征,节点的损耗与节点间通信的失效在传感器网络的查询处理过程中是时常遇见的问题。在查询处理中,可能由于通信失效而丢失重要的处理数据(如聚集数据、路由信息等),从而导致查询结果严重失真。因此需要构建一套有效的机制来提高对通信失效的承受能力,其重点在于对网络拓补与路由结构的维护与修复、采用缓存和冗余机制提高数据存储和处理的可靠性。基于上述思路,文[1]衡量了节点通信失效对不同聚集机制的影响程度,提出了一套拓补结构维护与修复算法,通过自适应地选择父节点的机制来保证节点的有效路由与通信。文[9]提出了路由结构的局部修复与批处理修复机制,有效地支持不同环境的路由修复。文[1]还提出了父节点的缓存机制,通过在父节点存储子节点多轮的数据,以保证当新一轮的子节点的数据无法获取时,可以利用之前的数据进行近似处理,有效地提高了聚集处理的数据质量。该文同时提出多父节点冗余机制,并通过分析计算证明其对通信失效的承受能力较单个父节点的机制有大幅度提高。

5 查询处理的相关工作

与传感器网络的查询处理相关的工作主要包括传感器网络数据管理方面的研究工作和流数据查询处理方面的研究工作。

对于传感器网络数据管理方面的研究工作,加州大学伯克利分校主要针对传感器网络查询处理进行研究,侧重于为传感数据的管理提供底层系统框架的实现以及对查询引擎的实现与优化,包括自适应的查询处理、分布式的查询操作执行与优化等工作;提出了一个查询处理的系统框架——Fjords^[6]、查询处理的聚集机制 TAG^[1]、针对感知数据获取问题的查询优化机制 ACQP^[2,14]以及针对复杂查询应用的一些查询方案^[24],并成功地开发出一套针对传感器网络数据的查询处理系统——TinyDB^[2]。Cougar 作为康奈尔大学的一个研究项目,主要开展传感器数据库系统方面的研究。它是第一批以数据库的方式对传感器网络进行研究的组织,提出了把整个传感器网络看成是一个大的分布式数据库系统的论点。其早期工作主要集中于对传感器网络数据库系统在数据库建模和查询语言相关问题的研究^[7~9],后来也提出了一些有效的通讯机制和适用于传感器网络的查询机制的一些能量有效的优化实现^[3,4,9,15,25,26]。加州大学洛杉矶分校以及南加州大学 SCADDS 项目提出了定向扩散(Direct Diffusion)^[5]的传感器网络路由机制,定向扩散是首次提出以数据为中心的

路由机制;同时提出了一个底层的基于属性的命名机制^[27],有效地支持网内数据聚集和数据查询操作。总的来说,他们的研究成果相对于 TinyDB, Cougar 的实现方案提供了一个更为底层的、过程性的实现机制。

对于流数据查询处理方面的工作,斯坦福大学研制了一个通用的支持对多个连续数据流进行连续查询的系统——STREAM^[28]。STREAM 系统支持说明性的查询语言,提供了在有限资源的情况下对高速数据流和查询负载处理的合理的解决方案。加州大学伯克利分校的 Telegraph 研究项目^[11,29]主要研究适应性的流数据处理技术,包括针对网络事实数据和图片数据的处理引擎以及针对传感器、网络日志、p2p 系统的框架的研究和实现工作。美国布朗大学与麻省理工学院联合设计的 Aurora 系统是一个面向数据流监测应用的数据流管理系统,采用了 workflow 系统中常用的功能盒操作符(box)与数据流向符(arrow)模型^[30]。

6 查询处理的研究展望

6.1 查询处理研究展望概述

传感器网络的查询处理作为传感器网络研究中的一个新领域,在查询处理的系统架构、查询模型的构建、通讯机制以及聚集操作等机制的实现优化问题研究上已经取得了一些令人瞩目的研究成果。随着传感器网络的查询处理研究的进一步深入,出现了一些新的研究课题,值得我们去进一步探讨。在这方面主要包括支持多查询的处理机制研究、查询处理的自适应研究等一些相应的问题。

6.2 支持多查询的处理机制的研究

当前的研究工作主要集中于对单个连续查询机制的实现与优化。为了允许应用环境中多个用户能够同时向传感器网络发出查询请求,充分利用传感器网络的感知和处理能力,今后的研究重点在于参考数据库系统的多查询处理任务共享机制^[9,25],针对传感器网络的特点,将其应用到传感器网络的查询处理机制上,有效地共享多个查询执行之间的处理能力与中间结果,进一步优化多查询处理的实现。

6.3 查询处理的自适应性研究

查询处理的自适应性^[34]是指基于运行时间内对系统性能的观察,在运行中对查询机制做出相应的修改与重建。虽然当前的查询处理已经包含了一些自适应的处理机制,但为了最大化传感器网络的生命周期与利用率,需要对查询处理的可适应性作更深层次研究。可以将通用的自适应查询处理技术针对传感器网络的查询处理特性做相应移植,充分利用反馈信息的捎带机制对查询处理的统计信息进行动态收集。今后查询处理的自适应研究重点在于自适应地实现查询优化机制的在线更新、查询操作在网络节点上的自适应迁移以及网络拓补结构的自适应调整等优化机制。

6.4 其它方面

除了上述的无线传感器网络查询处理实现面临的两个主要的具有挑战性的研究课题外,还存在着如下的一些研究问题,仍值得我们去进一步探讨和解决:对于更深层次的分布式存储管理的研究、查询处理结果的准确度与精密度控制的研究、与其它查询引擎的集成研究、与其它硬件平台的兼容性支持的研究、对于传感数据的校准与转换问题的研究、对于嵌套查询实现机制的更深层次的研究等。

(下转第 68 页)

表 1: 时间 源地址 源端口 目标地址 目标端口 协议 包数量 流量

表 2: 源地址 源端口 目标地址 目标端口 协议 包数量 净流量 发出流量 接收流量 捕获时间

系统 WEB 查询界面: 如图 3 所示。

班级 04 模具 用户名 林华								
时间	源地址	源端口	目标地址	目标端口	协议	包数量	流量	
16:21	220.181.28.42	4001	172.16.1.10	4000	UDP	1	210	
16:21	220.181.28.42	4001	172.16.1.10	1660	UDP	1	290	
16:21	220.181.28.42	4001	172.16.1.10	1665	UDP	2	350	
16:21	61.153.17.56	21	172.16.1.10	1650	UDP	1	300	

图 3 计费查询

4 帐户管理

服务器端采用 ASP 语言编写, 读取客户端提交的用户名和口令, 通过查询数据库来验证用户名与口令是否正确, 并与防火墙进行通信, 完成授予用户访问 Internet 的权限。用户授权功能通过调用防火墙来实现, 即动态的修改防火墙的过滤规则, 通过认证的用户的数据库通过。图 4 用户认证和授权图。

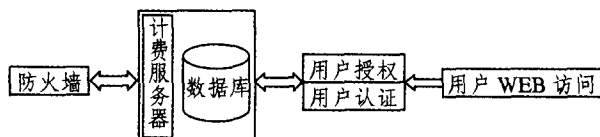


图 4 用户认证和授权

总结 本文主要研究了如何利用网络监听实现流量管理, 将计费原始信息功能集成到一个完整系统, 从而对机房运行进行有效的管理, 提高管理效率和服务质量。并给出了部分代码和设计思想。基于网络流量计费的机房管理有着比较重要的现实意义。能实现:

1. 机房老师在自己的办公室通过浏览器访问收费管理页面, 实时的监督学生上机情况, 查询学生信息和收费人员管理情况。

2. 学生上机非常方便, 直接进入机房寻找空余计算机, 录入自己的帐号及口令即可。不会发生机房拥堵和混乱。

3. 由于帐号及管理在浏览器上进行, 完全抛开了空间距离的影响。机房老师在进行日常教学工作同时即可进行计费系统的管理。

4. 机房老师的体会: 上机的人多了, 收益明显提高, 自己反而更轻松了。

5. 不用人工干预, 计算机能自动地实现网络流量的计费。

参考文献

- 朱晟, 等. 实验室教学改革与培养学生创新能力的实践与思考 [J]. 实验室研究与探索, 2001(4): 17~18
- 张军. 基于 Windows 环境下的 NPF 数据捕获技术的研究. 计算机科学, 2005(5)
- 井口信和. TCP/IP 网络工具篇. 科学出版社, 2003(4): 63
- 张建忠, 等. 计算机网络实验指导书. 清华大学出版社, 2005, 1: 8
- 宋军. 显式流量控制协议 XCP 研究. 计算机科学, 2005(7)

(上接第 49 页)

参考文献

- Madden S, Franklin F J, Hellerstein J M, et al. TAG: A Tiny AGgregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks. OSDI, 2002
- Madden S, Franklin M J, Hellerstein J M, et al. The design of an acquisitional query processor for sensor networks. ACM SIGMOD, 2003 (To Appear)
- Faradjian A, Gehrke J, Bonnet P. GADT: A Probability Space ADT For Representing and Querying the Physical World. ICDE, 2002
- Trigoni N, Yao Y, Demers A, et al. Wavescheduling: Energy-efficient data dissemination for sensor networks. In Submission, June 2003
- Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks. Mobi-COM, Boston, MA, August 2000
- Madden S, Franklin M J. Fjording the stream: An architecture for queries over streaming sensor data. ICDE, 2002
- Bonnet P, Gehrke J, Seshadri P. Towards sensor database systems. Conference on Mobile Data Management, January 2001
- Yao Y, Gehrke J. The cougar approach to in-network query processing in sensor networks. SIGMOD Record, September 2002
- Yao Yong Gehrke J. Query processing in sensor networks. Proceedings of the First Biennial Conference on Innovative Data Systems Research (CIDR), 2003
- Madden S, Szewczyk R, Franklin M, et al. Supporting aggregate queries over ad-hoc wireless sensor networks. WMCSA, 2002
- Madden S, Shah M A, Hellerstein J M, et al. Continuously adaptive continuous queries over data streams. ACM SIGMOD, Madison, WI, June 2002
- http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb, TinyDB's main page
- Tamer M, Valduriez O P. Principle of Distributed Database Systems Second Edition
- Madden S, Franklin M J, Hellerstein J M, et al. TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks. ACM Trans. Database Syst, 2005, 30(1): 122~173
- Trigoni N, Yao Yong, Demers M J, et al. Hybrid Push-Pull Query Processing for Sensor Networks. GI Jahrestagung 2004(2): 370~374
- Bonnet P, Gehrke J, Seshadri P. Querying the Physical World. Cornell University
- Ratnasamy S, Karp B, Li Yin, et al. GHT: A geographic hash table for data-centric storage. In: Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks (WSNA), 2002
- Li X, Kim Y J, Govindan R, et al. Multi-dimensional range queries in sensor networks. In: Proceeding of the First ACM Conference on Sensor Systems (SenSys), 2003
- Hill J, Szewczyk R, Woo A, et al. System Architecture Directions for Networked Sensors. In: ASPLOS, 2000. 93~104
- JIN Che-Qing, QIAN Wei-Ning, ZHOU Ao-Ying. Analysis and Management of Streaming Data: A Survey. Journal of Software
- Akyildiz I F, Su W. A Survey on Sensor Networks
- Levis P, Madden S, Gay D, et al. The Emergence of Networking Abstractions and Techniques in TinyOS. NSDI, 2004. 1~14
- Gehrke J, Madden S. Query Processing in Sensor Networks Sensor and Actuator Networks
- Hellerstein J M, Wei Hong, Madden S, et al. Beyond Average: Toward Sophisticated Sensing with Queries. In: IPSN, 2003. 63~79
- Trigoni N, Yao Yong, Demers A J, et al. Multi-query Optimization for Sensor Networks. In: DCSS 2005. 307~321
- Demers A J, Gehrke J, Rajaraman R, et al. The Cougar Project: a work-in-progress report. SIGMOD Record 2003, 32(4): 53~59
- Heidemann J S, Silva F, Intanagonwiwat C, et al. Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low-Level Naming. In: SOSP 2001. 146~159
- Motwani R, Widom J, Arasu A, et al. Query Processing, Approximation, and Resource Management in a Data Stream Management System. CIDR 2003
- Chandrasekaran S, Cooper O, Deshpande A, et al. Continuous Dataflow Processing for an Uncertain World. CIDR 2003
- Abadi C D, et al. Aurora: a new model and architecture for data stream management [J]. The VLDB Journal, 2003, 12
- Al-Karaki J M, Kamal A E. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey
- Madden S. The Design and Evaluation of a Query Processing Architecture for Sensor Networks; [Ph. D Thesis]. UC Berkeley, Fall 2003
- Krishnamachari B, Estrin D, Wicker S B. The Impact of Data Aggregation in Wireless Sensor Networks. In: ICDCS Workshops, 2002. 575~578
- Deshpande A, Hellerstein J M. Lifting the Burden of History from Adaptive Query Processing. In: VLDB, 2004. 948~959
- Garofalakis M, Gibbons P. Approximate query processing: Taming the terabytes! (tutorial). In: VLDB, 2001
- Chakrabarti K, Garofalakis M, Rastogi R, et al. Approximate query processing using wavelets. VLDB Journal, 2001(10)