

文章编号:1001-9081(2006)11-2531-05

无线传感器网络中基于消息预取的移动查询技术

张细政^{1,2}, 胡忠望¹, 肖建华¹, 何宏¹

(1. 湖南工程学院 计算机科学系, 湖南 湘潭 411101; 2. 上海交通大学 微纳科学技术研究院, 上海 200240)
(hngcxy@2118.cn; z_x_z2000@263.net)

摘 要:提出了一种移动环境下满足时间空间约束的数据查询处理技术, 结构上由代理体和网络节点两层组成, 其中网络节点执行消息预取、查询扩散和数据收集处理功能, 通过对用户的运动路线进行预测并向传感节点发出预取消息, 由节点自主构建网络查询树, 再由数据集中组件完成数据的收集和融合, 用户在到达传感区域后能在查询周期结束前获取查询数据。仿真结果表明, 该技术能保持良好的数据完整性和高的数据服务质量, 并且比 IEEE802.11 的 PSM 模式多消耗不到 24% 的能量。

关键词:无线传感器网络; 移动查询; 消息预取

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Mobile querying technology based on message prefetch for wireless sensor networks

ZHANG Xi-zheng^{1,2}, HU Zhong-wang¹, XIAO Jian-hua¹, HE Hong¹

(1. Department of Computer Science, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan Hunan 411101, China;
2. Research Institute of Micro/Nano Science and Technology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: A data query processing scheme called "Mobile-Query" was developed as well as its system architecture and query model. The scheme was made of proxy nodes and network nodes. Just in time mechanism was adopted to transmit prefetching message to sensor nodes for initializing query tree and re-scheduling nodes-sleep periods before user reaching, therefore, query result could be sent back to user before the end of query period. The theoretical analysis and simulation based on NS-2 show that this scheme has good data integrity and high data service quality, and it costs 24% energy more than that of PSM scheme in IEEE802.11.

Key words: wireless sensor networks; mobile query; message prefetching

0 引言

在监测区域内, 以随机方式分布的集成有传感器、数据处理单元和无线通信模块的微小节点通过自组织方式便构成了无线传感器网络, 它使得人类对感兴趣的自然现象和事件进行监控成为可能。近年来, 无线传感器网络在军事和民用领域都取得了一定的应用和发展^[1]。无线传感器网络与传统网络有着明显的差异, 它以数据为中心而不仅仅只是传输数据, 如何解决向终端用户传送信息的数据服务问题是它面临的关键问题之一。相关文献给出了几种好的数据服务, 如 COUGAR^[2]、TinyDB^[3]、定向扩散^[4] 允许用户查询或订阅某一地理区域中感兴趣的事件。这类数据服务方法一般是工作于固定的感兴趣区域, 实际应用时, 用户是移动的, 当他穿行在感兴趣区域中时, 可能需要动态获取当前位置区域的传感数据, 即移动地查询传感器网络数据。相比较于固定区域的查询, 移动查询的特点在于每次查询的结果服从于时间空间的约束, 随着用户移动, 约束也在变化, 用户需要在正确的时候获得到正确区域的数据。空间约束规定了查询区域的数据源, 只有在当前查询区域内部的节点才提供相关数据以形成查询结果, 并希望该区域有尽可能多的节点提供数据以保证查询结果的完整性。时间

约束强调每次新的查询结果必须在查询周期结束之前传递给用户, 查询结果必须由新鲜的传感器数据集中而形成。移动查询的另一个特点是必须注重节点能量的保持, 这是传感器网络应用中一个十分重要的因素。近来的研究发现, 通过动态功率控制或电压调度, 让网络节点处于一个较长的工作循环中, 即大多数的节点有计划地、周期性地进入睡眠状态(关闭无线发射源), 只保留小部分的节点处于活动状态以提供持续的数据和通信服务, 可以较好地节省能量。

文献[5]首先分析了这种新的数据查询技术, 提出了两层数据扩散方法(Two-Tier Data Dissemination, TTDD)来解决多个移动终端的数据查询问题, TTDD 按照网格结构形式划分和组织移动查询区域, 只有处在网格节点上的传感器才参与移动查询的数据服务。文献[6]提出了 SEAD 方法用来解决用户处于移动环境时查询的性能及安全问题。本文提出了一种区别于 TTDD、SEAD 等技术的一种新的移动查询技术。该技术由代理体和网络节点两层结构组成, 其中网络节点有预取、查询扩散和数据收集三个处理组件, 通过对用户的运动路线进行预测并向传感节点发出预取消息, 由节点自主构建网络查询树, 通过数据集中组件完成数据的收集和融合, 并在用户真正到达传感区域时及时、快速地将数据提供给用户。

收稿日期: 2006-05-09; 修订日期: 2006-06-26

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(04JJ3045); 湖南省教育厅重点项目(04A011)

作者简介: 张细政(1978-), 男, 湖北浠水人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向: 无线自组网、无线通信; 胡忠望(1966-), 男, 湖南常德人, 副教授, 硕士, 主要研究方向: 计算机网络; 肖建华(1963-), 男, 湖南邵阳人, 教授, 硕士, 主要研究方向: 算法分析与设计; 何宏(1974-), 男, 湖南岳阳人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 计算机网络。

仿真结果表明,本文所提出的技术具有良好的数据完整性,并且比 IEEE802.11 的 PSM 模式多消耗不到 24% 的能量。

1 系统结构与查询模型

1.1 移动查询模型

移动查询包含一个移动用户,在传感区域中穿行,并周期性地从查询区域获取数据。查询请求命令如下:

Query(para, T_{period} , T_{fresh} , T_{duration} , Area(p))

para 是传感器被查询的参数类型,如温度、压力、光强等量或其组合。 T_{period} 为查询周期,查询结果必须在每个周期结束之前传送给用户。 T_{fresh} 为数据的生存时间,即:第 k 个查询结果必须在 $k \times T_{\text{period}}$ 之前接收,而接收的结果数据至多已存在 T_{fresh} 。 T_{duration} 是查询的持续时间,在提交一次查询后,用户期望每隔 T_{period} 时间收到一次查询结果,在整个 T_{duration} 时间内都如此,每次移动查询就有 $\lceil \frac{T_{\text{duration}}}{T_{\text{period}}} \rceil$ 个查询结果。Area(p) 是与用户位置 p 相关的查询区域函数。不失一般性,假设 Area(p) 是以点 p 为圆心的圆形区域。要查询的区域需要通过预测运动预测来确定,表示为一个 4 元组 $\langle P, t_s, T_v, t_g \rangle$, P 是用户输入的预测运动矢量,形式如下: $\langle (\hat{v}_1, t_1), (\hat{v}_2, t_2), \dots, (\hat{v}_n, t_n) \rangle$ 其中 \hat{v}_i 是用户在时刻 t_i 的速度,用户沿着直线行走,在 $[t_i, t_i + 1]$ 时间内速度恒定。为简单起见假设用户在一个二维空间行走, t_s 为预测变为活动的起始时间,也就是说预测用户依据 P 在时间间隔 $[t_s, t_s + T_v]$ 内运动。 t_g 是运动预测的产生时间。 $T_a = t_s - t_g$, 它表征了移动查询接收到预测事件的最早时刻,称之为预测提前时间, T_a 值的大小与符号性取决于采用何种预测算法。查询模型假设传感器网络内所有节点时钟同步,并且通过本地位置服务知道自己所处的位置。这种假设是合理的,因为节点可以使用第三方广播的基准时间对本地时钟进行校准。

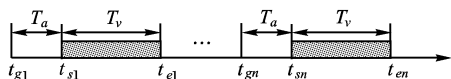


图1 运动预测时序关系

1.2 移动查询结构

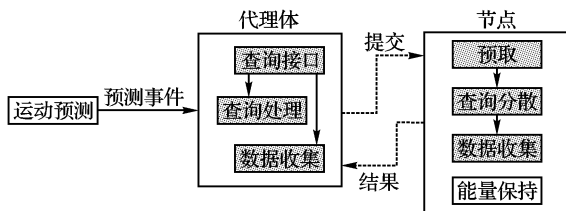


图2 查询系统结构

如图2所示,移动查询结构分为两大部分:代理体和传感器网络节点。代理体是独立于传感器网络的移动装置,易于携带,跟随用户一起穿越传感区域,与区域内的传感器间建立无线链路。用户通过代理体的查询接口发起查询请求。查询接口将请求转换为相应查询处理过程,附加上运动预测,将二者都传给传感器网络,由传感器网络执行该次查询,并且依据运动预测周期性地产生特定位置处的查询结果。代理体内的数据集中组件获取这些结果,经过处理后再通过查询接口返回给用户。传感网络节点包含有三个组件,依次执行预取、查询扩散、数据收集功能。节点工作于能量协议上,设置节点处于工作循环来限制能量消耗。

1.2.1 预取

由于用户的移动,处于睡眠状态的传感器网络节点可能

来不及响应查询请求而无法发送数据,导致查询结果数据不完整。为此,移动查询技术通过执行预取处理来发送预取消息,通知那些处于将要查询区域的节点预先取得查询请求,通过重新安排它们的睡眠计划来响应查询请求。预取消息的内容包含有该次查询的所有信息。整个工作流程如下:

1) 代理体使用运动预测预测出每次查询的区域及结果接收点,这些点称为传播点。

2) 在查询区域内,以传播点为中心,寻找其欧氏距离最小的节点 N_c 。 N_c 负责将查询请求扩散到整个查询区域,收集各节点传过来的查询数据,并及时传送给代理体。该节点称为收集节点,每次查询有唯一的收集节点。

3) 代理体向第1个收集节点 N_{c1} 传送预取消息, N_{c1} 选择一个最佳时刻再传向下一个收集节点,依此向前传递,每个传播点发出有关本次查询的预取消息。由收集节点负责将预取消息继续传送给所在查询区域内的所有节点。

流程中的关键是确定什么时候传送预取消息才是最佳时刻,其意义是该时刻应该是及时的(Just In Time)。若传递得晚了,那么下次查询结果的数据完整性将较差,因为许多睡眠节点来不及唤醒;若传递得过早,在遇到突然的运动改变时代理体需要取消已传送的预取消息,会造成网络数据服务的时间滞后。“及时”意味着收集节点并不是收到预取消息后立即向前传递,而是尽可能迟地传递,且能保证下一个收集节点有足够时间来分散查询请求、唤醒睡眠节点和及时将数据传回给代理体。

1.2.2 查询扩散

查询扩散处理部分负责建立起查询树,并将查询处理沿着树的路径分布到区域内的所有节点。移动查询的查询树建立算法如下:1) 从传播点向收集节点传送预取消息;2) 收集节点接收到预取消息后,向查询区域内所有节点洪泛本次查询处理树的建立消息,使得建立消息由中枢节点向前传送,直到查询区域边缘;3) 收到建立消息的中枢节点记下首先将消息传给自己的节点,将该节点视作自己的父节点,并反馈该节点;4) 在睡眠节点唤醒状态时,中枢节点向它们发送建立消息,接收到查询要求后,睡眠节点记下其父节点,返回确认消息,并重新安排它们的睡眠计划,以在查询到来时能及时传递查询数据。

建立后的查询树根节点是收集节点,中枢节点构成了分支,所有睡眠节点为叶子节点,父子关系都已经确定。将睡眠节点作为叶子节点,使得在执行完传感器数据读取和传递后,节点可以立即转入睡眠状态,不充当任何传递中间数据功能,以最小化它们的能量消耗。移动查询使用的这种查询树建立算法代价较低,每个查询树只被查询一次。其他的传感器网络数据服务如 Tinydb 和定向扩散使用更成熟、复杂的树建立算法,它们能产生更加平衡的树,但是这些模型中用户保持静止,且同一棵查询树会被查询很多次,算法代价较大。

1.2.3 数据集中

节点读取传感器数据,沿着树的路径传送给收集节点,这个过程由数据集中处理过程完成。查询中节点进行数据处理的最早时间为截止时间前的 T_{fresh} ,所以,数据集中必须以少于 T_{fresh} 的时间完成。一种简单的处理方法是唤醒所有节点,执行数据测量与读取,并将结果在 $T_{\text{deadline}} - T_{\text{fresh}}$ 期限内传回父节点,但这将产生节点间无序的无线资源竞争,并导致较差的数据完整性。为此,在移动查询中,必须等待所有子节点的数据传送完毕后,才向它的父节点传送集中数据。在网络的每跳集中数据,向上一次传送,可以减少资源竞争;而且,在子节点传送数据时,父节点并不传送而

是处于等待状态,进一步减少了竞争。

由于不可靠的无线网络,资源竞争或者缺乏电源能量等各种原因,子节点可能没有及时传送数据,为此父节点设置一个传递的截止期限 $T_{deadline}$,在期限过后,不论是否收到所有子节点的数据,都向上级父节点传送集中数据,哪怕丢弃掉整个分支,以保证最终所有数据能及时送到收集节点。对于子节点而言,其 $T_{deadline}$ 时间由父子节点距离和更新时间等因素来确定。具体的确定方法如下:1) 节点 n 接收到建立消息后,设置其截止时间为: $k * T_{period} - T_{fresh}$,并广播此消息;2) 若有节点接收到从 n 传播过来的建立消息,并向 n 返回了确认消息;3) n 发现它至少拥有 1 个子节点,重新设置其截止时间,以保证子节点有足够的时间来收集和返回传感器测量数据: $T_n = T_{fresh} * \frac{d_{np}}{R_p + R_q}$ 。其中 d_{np} 是子节点 n 与传播点 p 间的欧氏距离,子节点必须在 $T'_{deadline} = T_{deadline} - T_n$ 期限内传送数据给节点 n 。

从上式可以看出,距离收集节点越远,节点的截止时间越短,向上级节点数据返回得也越迅速。这种生存时间分配方法可保证数据及时返回,但降低了数据的完整性。

2 性能分析

本文主要讨论移动查询的节点能量消耗及查询成功率等性能参数。由于使用了消息预取机制,网络节点会比 IEEE802.11 的 PSM 模式消耗更多的能量,可以通过测量的方式得到具体的能量消耗比较数据。查询成功率 (Percentage of Success Querying, PSQ) 则以数学的方式来定义和分析移动查询的数据完整性、衡量网络的能耗。数据完整性指对查询结果有贡献的节点数与查询区域所有节点数之间的比值,查询成功率为满足数据完整性高于某一阈值且在查询截止时间内的查询结果数百分比。查询成功率反映了用户所接收到的总体服务质量,主要取决于两个因素。一是预取消息传送的“及时”程度,分析时需要求得预取消息向前传送的最迟时间 t_k ;二是发生运动改变时节点的响应时间快慢,分析时可用该时间内产生的移动查询次数 k 来度量。

定义 1 节点向查询树根节点传送查询结果的最长时间为 $T_{collect}$,且 $T_{collect} \leq T_{fresh}$;从节点 m 向节点 n 的预取消息速度为 $v_{prefetch}$,是 m 与 n 间的欧氏距离与所需传送时间的比值;用户速度表示为 v_{user} ,是两点位置间的欧氏距离与用户穿越时间之比值,且 $v_{user} < v_{prefetch}$ 。

定义 2 T_{tree} 为查询树建立时间,包括建立时间通信开销 T_{setup} 与工作循环导致的最大延迟。

2.1 及时预取时间

移动查询中,收集节点必须足够早地接收到预取消息以保证查询分散和数据收集能在查询截止期限内完成。在满足时间约束下,向下一传播点发出预取消息的时间定义为向前预取时间,它的值取决于执行查询分散和数据收集所需要的延迟,直接决定了预取消息传送的“及时”程度。

考虑从 $(k-1)$ 收集节点向 k 收集节点转发预取消息,要推导出 $(k-1)$ 收集节点应该发出预取消息的时刻 t_k 。设 k 节点在 t'_k 时刻收到预取消息,之后节点需要完成两个任务:建立查询树与收集传感数据,于是,节点为传送一个查询结果所做工作的总时间为 $T_{collect} + T_{tree}$ 。所以,对于 k 节点,它应该收到预取消息的时间满足以下不等式:

$$t'_k \leq k * T_{period} - T_{collect} - T_{tree} \quad (1)$$

近似收集节点的位置为传播点的位置,相邻收集节点距

离近似为相邻传播点间距离,于是在两个收集节点间的预取消息传递时间为:

$$t'_k = t_k + v_{user} * T_{period} / v_{prefetch} \quad (2)$$

由 (1), (2) 式求得向前预取时间 t_k :

$$t_k \leq (k-1) * T_{period} - T_{sleep} - T_{setup} - T_{fresh} \quad (3)$$

影响树建立时间开销 T_{setup} 的因素有查询区域大小、逐跳通信延迟和冲突状况。而对于数据分散和数据收集过程,它们对相同区域内相同的节点进行相关的消息交换操作具有相似性,这里假设 $T_{setup} \approx T_{collect} \leq T_{fresh}$ 。求得消息的最迟传递时间为:

$$t_k \leq (k-1) * T_{period} - T_{sleep} - 2 * T_{fresh} \quad (4)$$

可以看出,在时刻 t_k ,用户在传播点 $\frac{t_k}{T_{period}}$ 与 $\frac{t_k}{T_{period}} + 1$ 间行走,于是处于 $\frac{t_k}{T_{period}}$ 和 k 间的所有传播点都建立起来。只要不等式 (4) 得到满足,那么查询结果理论上就能在截止时间前传回收集节点于用户。

2.2 启动过程

每当发生运动改变前,代理体应该将改变消息预先告知网络节点;否则移动查询在可能会在一段短暂时间内呈现出十分差的性能,将这短暂时间叫作启动时间,记作 T_{start} ,它表征了系统对运动改变导致的预测错误的容忍程度。

通过使用贪婪技术,尽快向前传播预取消息,由于消息的速度快于用户速度,总能保证经过一段响应时间后,不等式 (4) 会得到满足。在最初几次查询中,可能来不及通知所有处于睡眠状态的节点,而导致超过了截止期限 $T_{deadline}$,无法传送数据。于是,最初的几次查询结果就有着较差的数据完整性,所经历的响应过程称为启动过程。

假设代理体在时刻 t_g 接收到一个运动预测,在 t_s 时刻开始执行查询操作。近似收集节点到传播点,以 P_k 表示依据运动预测 P 计算得到的第 k 个传播点。收集节点传递预取消息的最早时刻是它接收到运动预测的那一刻。用户需要经过一段 $v_{user} * (k * T_{period} + T_a)$ 的距离才到达 P_k 。于是,所需要的传播到 P_k 的预取消息时间为:

$$T_p = v_{user} * (k * T_{period} + T_a) / v_{prefetch} \quad (5)$$

为满足 P_k 的截止时间,用户到达 P_k 的时间必须要大于 P_k 接收到预取消息的时间、查询树建立时间及执行查询动作时间三者之和,即下列不等式成立:

$$k * T_{period} + T_a \geq T_p + T_{tree} + T_{fresh} \quad (6)$$

从 (5), (6) 式解出 k 得:

$$k \geq (T_a * v_{user} / v_{prefetch} - T_a + T_{sleep} + 2 * T_{fresh}) / (T_{period} * (1 - v_{user} / v_{prefetch})) \quad (7)$$

其中 k 表征了未能满足查询时间约束的最大查询个数。于是,响应时间持续了 $\lceil k \rceil$ 个查询周期, $T_{start} = T_{period} * \lceil k \rceil$ 。

特别地,当 $T_a = (2 * T_{fresh} + T_{sleep}) / (1 - \frac{v_{user}}{v_{prefetch}})$ 时, $k = 0$,这意味着用户运动预测时间提前于某个阈值时响应时间为 0,无须经历启动过程。一般地,在查询开始后代理体接收到的运动预测其 T_a , t_g 和 t_s 都为 0,求得启动过程内的查询数 k 为:

$$k \geq (2 * T_{fresh} + T_{sleep}) / T_{period} * (1 - v_{user} / v_{prefetch}) \quad (8)$$

处于启动过程中的 k 次查询由于数据完整性不够,而使得查询性能较差,显然,希望 k 值越小越好。

3 仿真实验与分析

使用 NS2 仿真器在传感配置协议 (Coverage Configuration

Protocol, CCP)上实现移动查询,并遵循 IEEE802.11 的 PSM 模式进行网络仿真^[7,8]。用数据完整性、查询成功率衡量网络的性能,并测量节点的能量消耗。实验中取数据完整性阈值为 90%。传感区域设置为一个 $450\text{m} \times 450\text{m}$ 的矩形,区域内随机分布了 200 个传感节点。应用 CCP 协议选择小部分的活跃节点,在配置区域中维护传感覆盖。所有 NS2 仿真中的网络通信范围是 105m,传感范围是 50m,查询区域半径为 150m。IEEE802.11 中的 ATIM 与 AI 窗口长度设置为 100ms 和 500ms。网络睡眠周期在 3s 到 15s 间变动。仿真开始时,用户从查询区域随机位置开始以随机方向移动,移动速度在 $[v_{\min}, v_{\max}]$ 范围中,用户移动过程中可以改变它的方向并重新选择移动速度。仿真中用到三个不同的速度范围: $3\text{m/s} \sim 5\text{m/s}$, $6\text{m/s} \sim 10\text{m/s}$ 和 $16\text{m/s} \sim 20\text{m/s}$ 。若用户到达设置的传感区域边缘,将反向折回。仿真分为两种情况,1)用户运动预测与实际行走路线完全一致时的精确运动预测性能;2)用户运动预测滞后于实际行走路线或出现估计错误时的非精确运动预测性能。

3.1 精确运动预测性能

用户的实际行走路线在运动预测中得到精确估计,且以足够长的提前时间通知网络节点。仿真中,用户每隔 15s 就改变自己的前进方向和前进速度,用户速度范围为 $3\text{m/s} \sim 5\text{m/s}$,代理体接受用户输入的运动预测,仿真时间为 150s。将移动查询性能与无预取下的基准算法(No-Prefetching, NP)进行比较。在 NP 中,用户在每个查询周期的开始处向网络广播查询,在同一周期的结束时获取查询结果,用户充当移动查询中的收集节点,作为查询区域中的查询树根节点。

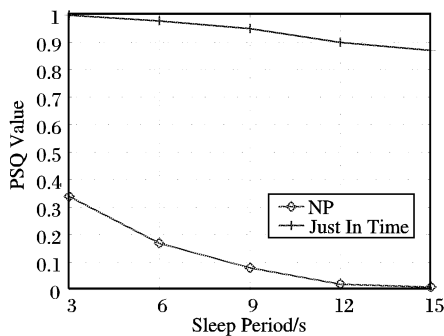


图3 及时预取与无预取下的成功查询率

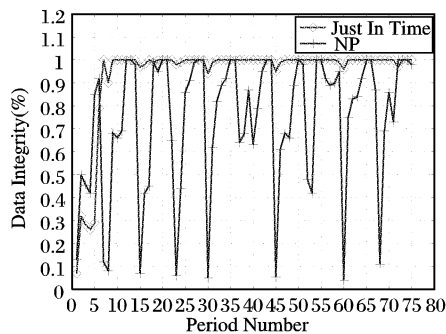


图4 精确运动预测下的移动查询数据完整性

图3给出了在不同网络睡眠周期下的成功查询率。在睡眠周期大于 12s 时,及时预取下(Just In Time)的 PSQ 大于 90%;与此对比,NP 下的 PSQ 值在 35% 以下,而且随着睡眠周期的增长,NP 的性能变得更差。图4给出了传播点的移动查询数据完整性,反映出及时预取下移动查询的动态性能。仿真时取睡眠周期为 15s。曲线中,由于启动过程的影响而导致约有几次查询的数据完整性相对较低,第 1~5 周期的都小于 90%;在启动过程后,及时预取在多数查询周期中可

获得 100% 的数据完整性,而 NP 在每次运动改变时都会产生大幅波动,在第 15,23,30 等周期处的数据完整性不到 10%。这说明预取机制起着很好的作用,在长的睡眠周期下,可以显著提高网络的查询成功率,获得理想的数据完整性。

3.2 非精确运动预测性能

当前预取时间不总是满足不等式(4)时,会产生运动预测与实际行走路线不匹配的问题。实验中,用户沿着直线以 $3\text{m/s} \sim 5\text{m/s}$ 速度前行,每隔 15s 改变方向和速度,仿真时间为 150s,运动预测的有效间隔 $T_p = 25\text{s}$,代理体提前 T_a 接收到一个运动预测。仿真中, T_a 值在 $-3\text{s} \sim 9\text{s}$ 间随机变动。

图5给出了运动预测提前时间 $T_a = 3\text{s}$ 时,不同睡眠周期下移动查询的数据完整性。可以看出,睡眠周期越短,数据完整性越平稳,波动越少; $T_{\text{sleep}} = 3\text{s}$ 时只在第 1,27,51 周期时完整性较差,都小于 50%。

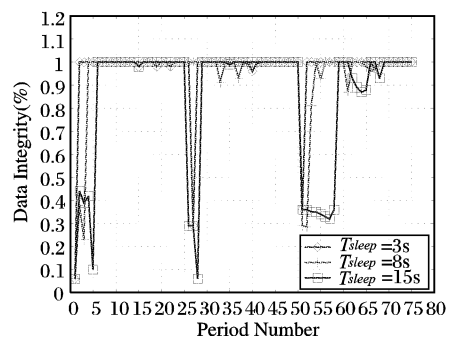


图5 非精确运动预测下的数据完整性

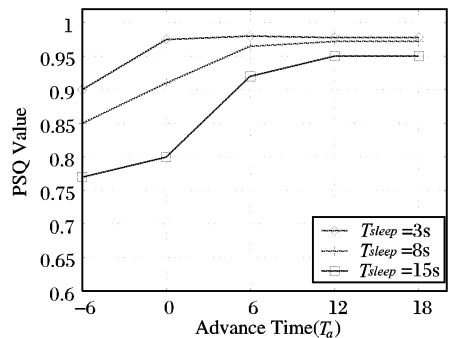


图6 非精确预测下不同睡眠周期的成功查询率

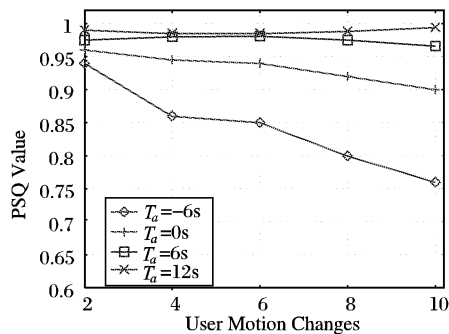


图7 非精确预测下不同运动改变次数的成功查询率

图6给出了移动查询在不同的睡眠周期 T_{sleep} 下的平均 PSQ 值,其中 T_a 在 $-6\text{s} \sim 18\text{s}$ 变动。可见,当睡眠周期减少时,启动过程变短,更多的查询获得成功。对于每种睡眠周期,PSQ 值随着 T_a 值增加而增加,在达到一个阈值时 PSQ 的增加不再明显,PSQ 接近于但小于 100%,这是由启动过程和偶然的丢包而引起的。

图7给出了睡眠周期 T_{sleep} 设定为 8s 时,不同运动预测提前时间 T_a 值下的 PSQ 值随运动改变次数的变化情况。横轴

为运动改变次数,在 2~10 次变化。当 T_a 值够大如 6s, 12s 时,运动改变对于移动查询性能的影响很小, PSQ 值保持在 95% 以上;当 T_a 值较小如 0s 时,运动改变次数的增加会导致系统性能缓慢下降,即使运动改变频率非常高达到 10 次时,仍然有约 90% 的查询成功率;当 T_a 值为负值如 -6s 时,移动查询的性能较差,运动改变频率较高达到 4 次后,就无法得到满意的 PSQ 值。

3.3 能量消耗

仿真中,依照 CCP 协议激活网络中少量的中枢节点来维持传感网络覆盖,只要还有能量,这些节点会一直打开无线电保持活动状态,所以它们的能量消耗将

表 1 能量消耗比

| 睡眠周期 T_{sleep}/s | $Power: \frac{\text{移动查询}}{\text{CCP}}$ |
|-----------------------|---|
| 3 | 1.238 |
| 8 | 1.187 |
| 15 | 1.142 |

要高于那些睡眠节点;由中枢节点必要时才唤醒睡眠节点,在报告完它的传感数据后节点会立即继续睡眠。运动预测提前时间 T_a 为 3s,便于比较,同时测量了没有任何查询的 CCP 的能量消耗。表 1 给出了不同睡眠周期 T_{sleep} 值下,每节点的 CCP 与移动查询两种模式的能量消耗比。可见,移动查询的能量消耗还是令人满意的,只比 CCP 下的能量多消耗了不到 24%;而且随着睡眠周期的增加,移动查询的能量消耗更低。

4 结语

无线传感器网络的理论研究和实际应用都还处于不成熟阶段,需要探讨和解决的问题还有很多。本文针对用户数据服务问题,在移动环境下,提出了一种引入查询消息预取机制来通知将来查询区域内节点重新调度睡眠计划、构造好查询树并在查询周

期结束前提交查询结果的移动查询新技术。仿真实验表明,该机制不仅在精确运动预测估计下能获得高的成功查询率和良好的动态数据完整性,在非精确预测估计下也能取得满意的性能,并且其能量消耗比起理想的 CCP 增加不到 24%。

参考文献:

- [1] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报. 2003, 14(7): 1282 - 1290.
- [2] YAO Y, GEHRKE J. The cougar approach to in-network query processing in sensor networks[J]. SIGMOD Record, 2002, 31(3): 9 - 18.
- [3] University of California at Berkeley TinyDB[EB/OL]. <http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/>, 2006.
- [4] INTANAGONWIWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D. Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks[A]. Proceedings of MobiCom 2000[C]. Boston, Massachusetts, 2000.
- [5] YE F, LUO H, CHENG J, et al. A Two-tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks[A]. Proceedings of MobiCom2002[C]. Atlanta, Georgia, 2002.
- [6] YIH C, JOHNSON DB, PERRIG A. SEAD: secure efficient distance vector routing for mobile wireless ad hoc networks, Mobile Computing Systems and Applications[A]. Fourth IEEE Workshop on Mobile Computing(WMCSA2002)[C]. 2002.
- [7] TIAN D, GEORGANAS ND. A node scheduling scheme for energy conservation in large wireless sensor networks[A]. Wireless Communications and Mobile Computing[C]. Wiley press, 2003.
- [8] Parallel and Distributed Operating Systems group at MIT. ns simulation code for span and IEEE 802.11 MAC power management functions[EB/OL]. http://www.pdos.lcs.mit.edu/benjie/span/span_ns.htm, 2006.

(上接第 2527 页)

```
ret = sqlite3_get_table( db, Sql_light, &resultp, &nrow,
    &ncolumn, &errmsg );
...
printf( "</html> \n" );
...
}
```

该 sql.cgi 程序启动后首先查询用户表完成用户名和密码的鉴定。如果是合法用户则根据用户的查询条件查询数据库中的温度或光感强度数据表,将查询结果显示在主页上;若为非法用户则给出登录错误提示信息并返回到主页。

由于 CGI 程序是用 C 语言编写的,经过编译生成可执行的二进制代码,所以它具有占用空间小、运行速度快、安全可靠等优点。

3.4 测试与调试

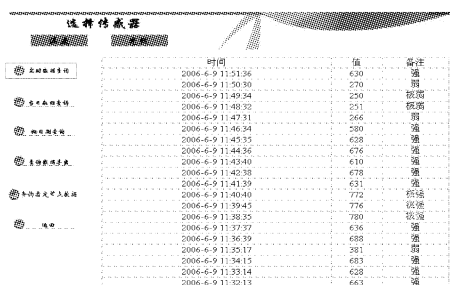


图 7 传感器数据查询页面

本文在测试实验中采用了 18 个传感器节点,每个节点上放置了温度和光感两个传感器。各传感器节点通过单跳的方

式将采集的数据打包向 Sink 节点传输, Sink 节点随即向嵌入式网关传送该节点的数据包,网关接收到数据包后进行分析、分类、降维处理和存储。远程用户可以通过选择温度还是光线来查询温度或光感强度,图 6 显示了按实时数据查询方式获得的光感强度的数值与强度等级的查询结果,查询过程所用时间不足 1s。相比较,文献[3]查询所用时间在 3s 以上,而且由于多个传感器节点同时传输所产生的数据堵塞使发送时间延后,导致查询结果严重滞后。

本系统还提供了实时数据查询、当日数据查询、按日期查询等灵活多样的查询方式,并可通过查询数据导出将查询到的数据通过 Excel 格式下载保存。

参考文献:

- [1] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] 李建中, 李金宝, 石胜飞. 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展[J]. 软件学报, 2003, 14(10): 1717 - 1727.
- [3] HWANG K, IN J, PARK N, et al. A Design and Implementation of Wireless Sensor Gateway for Efficient Querying and Managing through World Wide Web[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49(4): 1090 - 1097.
- [4] <http://www.atmel.com/> [EB/OL], 2006.
- [5] <http://www.sqlite.org/> [EB/OL], 2006.
- [6] <http://searchsmallbizit.techtarget.com.cn/tips/450/2040450.shtml> [EB/OL], 2006.
- [7] <http://Webserver.goahead.com/Webserver/Webserver.htm> [EB/OL], 2006.
- [8] 杨虎. CGI 步步高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.