

无线传感器网络中信息获取关键问题的研究

臧传真 范玉顺

(清华大学自动化系, 国家 CIMS 工程技术研究中心, 北京 100084)

摘要: 无线传感器网络是信息技术研究领域的一个重要方向, 具有广阔的应用前景。给出了无线传感器网络信息获取的体系结构, 重点论述了信息获取的关键问题, 并且分析了其不足以及发展方向。特别总结出网络通信的重要问题, 并进行了详细的介绍。

关键词: 无线传感器网络; 传感器网络信息处理; 通信体系结构

中图分类号: TP393

文献标识码: A

Research on key issues of information acquisition in wireless sensor networks

ZANG Chuan-zhen FAN Yu-shun

(Department of Automation, National Engineering Research Center for CIMS, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Wireless Sensor Networks (WSNs) represent an important research field in information technology domain and could find their applications in many kinds of aspects. The architecture of information acquisition for WSNs is presented, and the key issues on information acquisition as well as the analysis of their drawbacks and technical trends are described. Especially, the key problems in communication are discussed in detail.

Keywords: wireless sensor networks; information acquisition in wireless sensor networks; communication architecture;

0 引言

由于低能耗集成电路技术、无线通信技术以及 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)的发展, 无线传感器网络技术成为可能, 并且成为信息技术学科一个新的重要研究方向^[1]。美国《商业周刊》在其“未来技术专版”中发表文章指出, 传感器网络是全球未来的四大高技术产业之一, 并将掀起新的产业浪潮^[2]。

无线传感器网络由于体积小、成本低以及强大的信息获取功能使其在环境数据采集、安全监控以及目标跟踪等方面有广阔的应用空间^[3]。

无线传感器网络应用系统的根本是获取物理世界有价值的信息, 包括数据的收集、数据管理、数据通信以及数据的处理, 并最终得到用户所需的信息。

1 信息获取关键问题

无线传感器网络必须解决一系列关键问题才能充分发挥其信息获取能力, 包括数据通信、感知数据处理以及系统监控等。

1.1 信息获取体系结构

信息获取体系结构分为: 物理层、功能层以及应用层, 每个层次又分为不同的阶段。如图 1 所示。

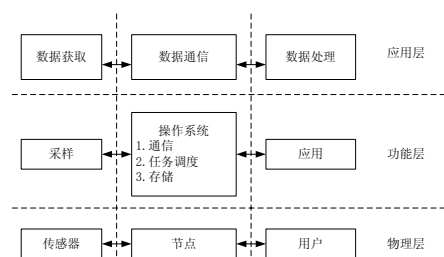


图 1 信息获取体系结构

Fig.1 Architecture of information acquisition

1、数据获取(Data Acquisition)

无线传感器网络应用系统不像传统的信息应用系统，它所需的数据需要从物理世界中获取，而且这些获取的数据是海量的流数据，数据之间存在的时空关联性、并且伴有噪声信号、偏离测量以及数据丢失和数据错误等。这就需要系统具备一定的功能来处理上述问题。

在整个体系结构中，最初始的阶段也是最重要的阶段就是数据获取阶段，其主要任务就是来决定什么时间、什么地点、以什么频率来进行数据采样。

2、数据通信(Data Communication)

数据通信阶段就是要采用简单、高效的数据路由算法和相应的协议来将获取的物理环境的数据及时、准确地传送给用户。

3、数据处理(Data Processing)

数据处理就是指如何简单、有效地表达用户的信息需求；如何根据这些需求来处理相关的数据获得用户所需的信息等。

1.2 信息获取计算模式

计算模式基本上有两种：集中式和分布式。集中式模式是指将各个节点所获取的数据传送到一个集中的位置进行相应的处理。分布式包含：分布式对象系统、分布式数据库以及移动代理等。

1.2.1 分布式对象系统

分布式对象系统就是将 WSNs 中的节点看作大规模的分布式对象。

SINA^[4]是一种较有影响的分布式对象信息处理方法。每个节点运行SINA执行环境(SEE)，作为节点的抽象对象。它是SINA体系结构的核心。SEE提供一系列配置和通信原语来加强节点对象之间的可扩展性、鲁棒性以及电源有效的组织和交互。系统采用统一语言来查询和调度整个无线传感器网络系统，即传感器查询和调度语言。它是一种陈述性的过程脚本语言，具有灵活和紧凑的特点。

这种方法虽然通过 Sampling Operation 原语集成了数据获取阶段，但是没有充分利用所获取数据的时空关联性，利用统计的方法来提高数据获取的效率。

1.2.2 分布式数据库

由于节点的分布性，可以采用分布式数据库系统的数据存储以及查询技术来进行无线传感器网络数据的存储和信息处理。

基本思想是：用户提交一个用户查询，查询优化器将这种查询需求分解成适合无线传感器网络中各个节点进行 In Network 处理的有效的查询计划，从而节省电源，提高系统的生命周期。另外，这种查询的提交是以一种陈述式查询语言的形式提交的，从而可以实现用户需求与实际物理网络系统的透明性。这里的核心是设计查询优化器。

目前比较有影响力的研究成果有 Cornell大学的COUGAR^[5]项目，另外还有 Intel公司的TinyDB^[6]项目。

COUGAR 项目没有集成数据获取阶段；而 TinyDB 项目虽然集成了数据获取阶段，但是在先期的工作中没有充分利用流数据的时空关联性，利用统计方法提高数据获取的效率，目前 Intel 的研究人员正在致力于这方面的工作。

1.2.3 移动代理

在传统的分布式无线传感器网络中，数据是由单个的节点搜集，然后将其传送给上一级的处理单元来进行处理。这样在网络中就会有大量的数据在移动，从而消耗了大量的电源。而移动代理^[7]的思想将数据驻留在获取它的节点上，而让代表用户信息需求的一段代码(代理、计算引擎)在网络中传播，来处理相应的数据，并将最终的信息返回给用户。这样就可以减少网络的带宽使用。

该方法的不足之处在于：由于节点的存储能力有限，每个节点在没有了解用户的信息需求之前必须保留一段时间的历史数据，这样将消耗大量的系统资源。

总之，无线传感器网络的信息获取计算模式的发展趋势是以分布式计算为主，利用系统中的局部信息来完成数据路由、聚合等工作，从而提高系统的可扩展性。在分布式计算的基础上应该集成数据获取阶段，并且充分利用流数据的时空关联性。

1.3 网络通信的关键问题

无线传感器网络一个重要的方面就是电源和通信带宽是非常有限的资源。网络通信体系结构设计必须充分考虑这个问题。

目前已经有大量的研究成果^[1]分别从不同的角度提出不同的无线传感器网络通信协议。主要有如下几类^[8]：扁平路由(Flat networks routing)、层次路由(Hierarchical networks routing)以及基于位置的路由(Location-based routing)。扁平路由是指网络中各个节点具有相同的作用。而层次路由是指网络中的节点承担不同的作用，呈现出一定的层次结构。

通过对路由协议的研究，总结出网络通信的一些重要问题，详述如下：

1.3.1 面向应用和以数据为中心

无线传感器网络中的数据通信是以数据为中心的(Data Centric)，而且是面向应用的(Application Specific)。

由于 WSNs 系统具有大量的节点，很难给这些节点分配全局的标识符，一个可行的方案就是利用节点产生的数据来标识节点。这就是以数据为中心的思想。所谓以数据为中心是相对于以地址为中心的方法来说的，它更多地关心通信的数据内容，而不是数据的获取来源；关心数据融合过滤后得到的信息，而不是高冗余的原始数据。

为了减少在网络中的数据传输量、延长系统的生命周期，必须在数据通信的过程中进行面向应用的数据处理，即 In Network Processing。这种数据处理必须根据系统用户的应用需求才能切实有效地进行，因为必须根据用户的信息需求才能决定哪些原始数据有用，哪些没用。也就是说，无线传感器网络的通信方式是面向应用的，必须在数据通信的同时考虑用户的需求，在数据路由的同时进行面向应用的数据处理，这与传统的通信方式是不同的。

这种 In Network Processing 的思想有两种实现方案，一种是在原始数据的传输过程中进行面向应用的数据聚合，这就是数据聚合的思想；二是将代表用户需求的代码传播到网络中，在各个节点处理数据，然后再将

用户最终需要的信息返回给用户，这就是移动 Agent 的思想。

1.3.2 局部计算

由于无线传感器网络节点数量的大量性以及电源能力、计算能力和存储能力的有限性，不可能在通信机制中存在像 Internet 那样的全局路由信息，以及全局的预发路由。这样，在无线传感器网络中，只能采用局部计算模式(Localization Schemes)来进行数据的通信，即通信机制不需要知道整个网络的结构，只根据当前节点周围局部节点的属性来决定数据的路由路径。由于局部计算只关心某一范围内节点的信息，而不关心整个网络的信息，所以系统中节点的加入或离开不会对系统的性能造成很大的影响，从而提高系统的可扩展性。

1.3.3 节点定位

在基于位置的路由算法中，需要知道节点的物理位置，这就需要节点定位技术。一般来说，节点的定位主要有两种方法，一种是绝对定位；另外一种相对定位。

绝对定位，就是通过某种手段来确定节点的绝对物理位置，比如使用 GPS 定位系统来确定每个节点的物理位置。

相对定位，就是通过节点之间的相对距离来确定节点的物理位置。在无线传感器网络系统中，一般来说基础网络通信设施(基站或者聚簇的头节点)中节点的位置是已知的，将系统中的所有其它节点与其相邻的基础设施节点比较，来确定节点的绝对位置。

有了局部计算机制以及节点的物理位置，就可以利用节点的物理位置来进行数据路由，即Geographic Routing^[9]。Geographic Routing是非常适合无线传感器网络的路由方法。因为这种方法中，节点只包含其地理上相邻节点的位置，这样就具备很好的可扩展性。

1.3.4 时间同步(时钟同步)

时间同步(Time Synchronization)是任何分布式系统的重要基础设施。在无线传感器网络系统中，数据集成、TDMA 介质访问调

度等，都需要时间同步的支持。

一般来讲，时间同步的精度要求越高，所消耗的资源(计算、通信以及电源等)就越多；而无线传感器网络受到严重的资源约束，因此，不可能提供很高精度的时间同步功能。实际上，现实中的无线传感器网络应用系统对时间同步功能的要求并没有那么高，而且可以根据应用系统的不同需求来提供不同精度要求的时间同步功能。

上述的各种路由算法没有严格的好坏标准。每种算法在一定的条件下都是有效的。实际应用中，应该根据不同的应用需求采用不同的路由方法。

网络通信协议未来的发展方向有如下几个方面：

1. 充分利用感知数据的时空关联性，提高数据获取的效率，减少网络通信量；
2. 在路由协议的各个层次引入统计方法，特别是数据链路层，以减少网络数据通信量；
3. 考虑 QoS 问题，包括安全性、延时性等；
4. 节点移动情况下的路由算法等。

1.4 感知数据存储与处理

系统从物理环境中获得数据后，可以对这些流数据进行实时处理、数据聚合。但是另外一些数据需要保存起来，以便以后进行分析、预测趋势以及数据挖掘。这就需要相应的数据库技术来存储这些海量的流数据。

有了这些数据，就需要有相应的数据查询技术来获得用户想要的信息。主要的研究成果就是陈述式查询^[5]。

未来的研究方向：

1. 感知数据的可视化表示：以使用户能够更好地理解数据。
2. 流数据挖掘技术：从海量的流数据中获取用户所需的信息甚至知识。也要考虑流数据的实时挖掘以及事后挖掘。这是一个非常有挑战性的工作。

1.5 无线传感器网络系统监控

无线传感器网络系统监控协议有两个方面的特殊要求^[10]：第一，对电源消耗有更高的要求，因为监控协议要在系统的整个生

命周期中都在运行；第二，比其它协议具有更好的鲁棒性，因为当系统出现大规模故障，监控协议是最后的救命稻草。

目前已经有一些研究成果来解决这个问题^[11]，但是他们大多集中在节点剩余电源的监控方面。文献[12]给出一个较完整的系统监控体系结构，但它仅仅对剩余电源的监控给出了具体的实现算法，而对于其它方面仅仅停留在概念层面。

无线传感器网络的系统监控应该具有如下功能：剩余电源、节点状态、节点链路以及异常情况监控。在具体实现方案上，应该和系统的信息获取紧密结合，在数据通信的同时搭载监控信息。另外，应该充分利用感知数据的时空关联性，利用的统计的方法来进行系统的剩余电源监控、节点状态监控、链路监控以及系统异常监控。

2 结论

无线传感器网络是一个新兴的研究领域，使物理世界和认知世界紧密集成，将信息的获取和处理带入一个精准的时代。它的研究得到了军方、学术界以及企业界的广泛认可。无线传感器网络目前仍然处于研究的初始阶段，尤其是在国内这方面的研究则刚刚起步，还有很多需要解决的问题。相信随着本文提出的关键问题的解决，无线传感器网络会得到前所未有的发展。

参考文献

- [1] Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramaniam Y. and etc.. Wireless sensor networks: a survey [J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393~422.
- [2] THE FUTURE OF TECH - ROAD MAP, Businessweek, 25th, August, 2003. http://www.businessweek.com/magazine/content/03_34/b3846618.htm
- [3] Hill Jason Lester. System architecture for wireless sensor networks [D]. University of California Berkeley: Computer Department, MAY 2003.
- [4] Shen Chien-Chung, Srisathapornphat Chavalit, Jaikaeo Chaiporn. Sensor

- Information Networking Architecture and Applications [J]. IEEE Personal Communications, 2001, 8(4): 52~59.
- [5] Yao Yong, Gehrke Johannes. The cougar approach to in-network query processing in sensor networks [A]. ACM SIGMOD Record [C]. New York, NY, USA: ACM Press, 2002, 31(3). 9~18.
- [6] Madden Sam, Hellerstein Joe, Hong Wei. TinyDB: In-Network Query Processing in TinyOS [R]. University of California Berkeley: Computer Department, 2003.
- [7] Qi Hairong, Iyengar S. Sitharama, Chakrabarty Krishnendu. Multi resolution data integration using mobile agents in distributed sensor networks [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part C: Applications and Reviews, 2001, 31(3): 383~391.
- [8] Al-Karaki J.N., Kamal A.E.. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey [J]. IEEE Wireless Communications, 2004, 11(6): 6~28.
- [9] Sylvia Ratnasamy, Brad Karp, Li Yin and etc.. GHT: A Geographic Hash Table for Data-Centric Storage [A]. Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications [C]. New York, NY, USA: ACM Press, 2002. 78~87.
- [10] Ganesan Deepak, Cerpa Alberto, Ye Wei and etc.. Networking Issues in Wireless Sensor Networks [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2003, 64(7):799~814.
- [11] Zhao Y., Govindan R., Estrin D.. Residual energy scans for monitoring sensor networks [A]. Proceedings of Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'02) [C]. Piscataway: IEEE Press, 2002. 356 ~ 362.
- [12] Zhao J., Govindan R., Estrin D.. Computing aggregates for monitoring wireless sensor networks. Ekici E, ed. Proceedings of the 1st IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications [C]. Piscataway: IEEE Press, 2003. 37~48.

作者简介:

臧传真(1977-), 男, 山东省胶南市人, 清华大学自动化系国家CIMS工程技术研究中心网络化制造实验室博士研究生, 研究方向为无线传感器网络、工作流。