

无线传感器网络技术^①

The Wireless Sensor Network

韩鸿泉 (中国科学技术大学(北京分院) 100039)

朱红松 (中国科学院软件研究所 100080)

孟 军 (郑州解放军防空兵指挥学院 450052)

摘要:无线传感器网络是当前信息领域中研究的热点之一,本文首先介绍了无线传感器网络的特点,然后着重说明了无线传感器网络的体系结构和网络协议,最后探讨了无线传感器网络中的关键技术以及应用领域。

关键词:无线传感器网络 体系结构 网络协议 传感器节点 汇聚点

1 无线传感器网络的特点

无线传感器网络与无线自组网虽有相似之处,但存在很大的区别。无线自组网是由几十到上百个移动节点组成的自组织的无线局域网络,所有节点都是完全移动的,节点的频繁移动造成网络拓扑结构的频繁变化,节点能够连续获得补充的能量。无线传感器网络是集成了监测/控制和无线通信的网络系统,传感器节点数目更为庞大,结点分布更为密集,节点更容易出现故障,环境干扰和节点故障造成网络拓扑结构的变化,通常情况下大多数传感器节点是固定不动的。除了上述特点外,还有下面的一些特点:

1.1 资源受限(Resource Constrain)

传感器节点是微型嵌入式设备,它的价格要求非常低廉,因而造成它的处理能力、存储能力、通信带宽和携带的能量都非常有限,特别是为每个传感器节点供电的电源能量有限,通常不易或无需更换,节省能量成了无线传感器网络系统设计中的重要目标。

1.2 自组织(Self-Organized)

无线传感器网络系统更适合于人不能或不宜到达的地域,节点的部署采用非人工、随机方式实施。无线传感器网络系统可以通过一套合适的通信协议保证网络在无人干预的情况下自动组网,自动运行。在节点失效等问题出现的情况下,系统能自动调整,实现无人值守。

1.3 以数据为中心(Data-Centric)

传统网络是以 IP 为中心的网络,每个节点拥有全网唯一的 IP 地址,数据转发以目的节点的 IP 为依赖。在无线传感器网络中,节点没有 IP 地址,是以数据为中心的网络,它关心的是数据本身,如事件、时间和地点,而并不关注数据是由哪个节点采集。

1.4 与应用相关(Application-Related)

无线传感器网络系统与应用密切相关,不同的应用背景,无线传感器网络的设计具有差别,甚至完全不同。

2 无线传感器网络体系结构

无线传感器网络系统的组成如图 1 所示:监测区域中随机分布着大量的传感器节点,这些节点以自组

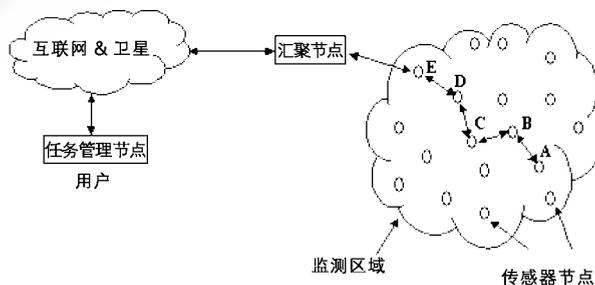


图 1 无线传感器网络的组成

^① 本论文研究得到国家自然科学基金项目 (No. 60373049, 60434030) 资助

织的方式构成网络结构。每个节点既有数据采集又有路由功能,采集数据经过多跳传递给汇聚节点,连接到互联网。在网络的任管理节点对信息进行管理、分类、处理,最后供用户进行集中处理。

2.1 传感器节点

传感器节点通常包括无线通信模块、处理模块、传感器模块和能量供应模块四部分,传感器模块负责信息采集和数据转换;处理模块控制整个传感器节点的操作,处理本身采集的数据和其他节点发来的数据,运行高层网络协议;无线收发模块负责与其他传感器节点进行通信;能量供应模块为传感器节点提供运行所需的能量,通常是微型蓄电池。

2.2 无线传感器网络的协议栈

与互联网协议框架类似,无线传感器网络的的协议框架也包括五层,如图 2 所示,网络协议各层功能如下:

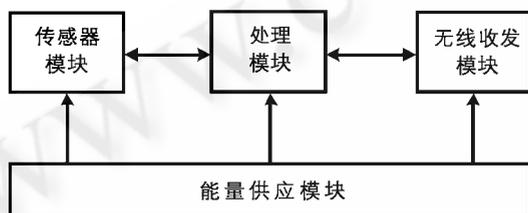
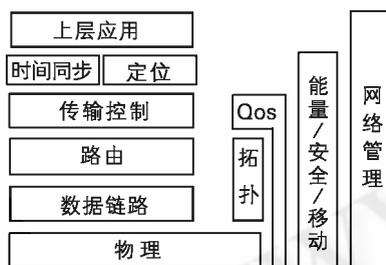


图 2 传感器节点的体系结构



3 无线传感器网络的协议框架

物理层协议:物理层负责数据的调制、发送与接收。该层的设计将直接影响到电路的复杂度和能耗。研究的目的是设计低成本、低功耗、小体积的传感器节点。

数据链路层协议:数据链路层负责数据成帧、帧检测、差错控制以及无线信道的使用控制,减少邻居节点广播引起的冲突。

路由层协议:路由层实现数据融合,负责路由生成

和路由选择。

传输控制层协议:传输控制层负责数据流的传输控制,协作维护数据流,是保障通信质量的重要部分。TCP 协议是 Internet 上通用的传输层协议。但无线传感器网络的资源受限、高错误率、拓扑结构动态变化的特点将严重影响 TCP 协议的性能。

应用层协议:基于检测任务,在应用层上开发和使用不同的应用层软件。

无线传感器网络的应用支撑服务包括:时间同步和节点定位。其中:时间同步服务为协同工作的节点同步本地时钟;节点定位服务依靠有限的位置已知节点(信标),确定其他节点的位置,在系统中建立起一定的空间关系。

图中右侧部分不是独立的模块,它们的功能渗透到各层中,如能量、安全、移动,在各层设计实现中都要考虑;而拓扑管理主要是为了节约能量,制定节点的休眠策略,保持网络畅通;网络管理主要是实现在传感器网络环境下对各种资源的管理,为上层应用服务的执行提供一个集成的网络环境;QoS 支持是指为用户提供高质量的服务。通信协议中的各层都需要提供 QoS 支持。

3 网络协议

鉴于降低能源消耗是无线传感器网络设计中要考虑的最重要方面,而经研究显示,路由协议和 MAC 协议对无线通信模块的能量消耗起着关键影响。下面对这两个协议进行阐述。

3.1 MAC 协议

同所有共享介质的网络一样,无线传感器网络的 MAC 协议的主要目标是使节点公平、有效地共享无线信道,避免多个节点同时发送数据产生冲突。通常有固定分配和随机访问两种主要的使用无线信道的类型。

在 DEANA (Distributed Energy - Aware Node Activation) 协议中将帧分为调度访问部分和随机访问部分。调度访问部分由多个时隙组成,某个时隙协商为特定节点发送数据的时间,其他节点在该时隙内处于接收状态或者睡眠状态。为了进一步节省能量,每个时隙又细分为前部的控制部分和后部的数据部分,如果节点在其发送时隙内有数据需要发送,则在时隙的

控制部分发出控制消息,指出接收数据的节点 ID,然后在时隙的数据部分发送出数据。在控制部分,所有节点都处于接收状态,如果节点不是数据接收者,则可以在随后的数据发送部分进入睡眠状态,这样减少接收不必要的数据。与传统的 TDMA 协议相比,DEANA 协议在节点得知不需要接收数据时进入睡眠状态,能够部分解决接收不必要数据的过度监听(overhearing)问题。但是,DEANA 协议需要所有节点的帧同步,不能很好支持节点移动,可扩展性差。

S-MAC (Sensor-MAC) 协议是基于竞争的随机访问 MAC 协议,它设计的主要目标是减少能量消耗,提供良好的扩展性。针对传感器网络消耗能量的主要环节,(Sensor-MAC) 协议是基于竞争的随机访问 MAC 协议,它设计的主要目标是减少采用三方面的技术措施减少能耗。第一,周期性监听和睡眠,每个节点独立调度工作状态,周期性地转入睡眠状态,从睡眠状态苏醒后进行侦听,判断是否需要通信;邻居节点之间尽量周期性同步,保持状态的一致性;每个节点广播自己的调度信息,通过接收邻居节点的调度信息来维持邻居节点的调度表,用于非同步节点之间的通信。第二,避免碰撞和接收不必要的消息,采用 802.11 的虚拟/物理载波监听机制,以及 RTS/CTS 通告机制,但是,与 802.11 协议不同的是节点在不收发数据时进入睡眠状态。第三,消息传递,考虑到传感器网络的数据融合和无线信道的容易出错的特点,将一个长消息分割成几个短消息,利用 RTS/CTS 机制一次预约发送整个长消息的时间,连续发送长消息分割成的多个短消息。

3.2 路由协议

针对无线传感器网络的特点与通信需求,网络层需要解决通过局部信息来决策并优化全局行为(路由生成与路由选择)的问题。衡量传感器网络路由性能的一个重要指标就是合理地使用网络中各个传感器节点的有限能量,使得网络保持连通性的时间更长。由于传感器节点间存在冗余信息,路由机制通常与数据融合结合在一起,传输路径上中间节点在转发数据之前进行数据融合。下面介绍基于层次型的典型传感器网络路由机制。

LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 的核心思想是基于分簇的层次型路由,包括周期性的簇建立阶段和稳定的数据通信阶段,稳定的数据通信

阶段的时间较长。在簇建立阶段,相邻节点动态地自动形成簇,节点等概率的随机成为簇首。在数据通信阶段,簇内节点把数据发给簇首,簇首进行数据融合并把结果发送给汇聚点。由于簇首需要完成数据融合、与汇聚点通信等工作,簇首的能量消耗非常高,各节点需要等概率地担任簇首,这样才能使网络中所有节点比较均衡地消耗能量,有利于延长整个网络的生存期。LEACH 协议的特点是分层和数据融合,分层利于网络的扩展性,数据融合能够减少通信量。

TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol) 路由协议把传感器网络分为节点周期性发送信息的主动网络(proactive network)和及时监测突发事件的反应网络(reactive network)。在反应网络中,人们只对属性值高于给定阈值的数据感兴趣。TEEN 协议是应用于反应网络的对 LEACH 协议的改进,其核心操作过程为:在簇首选举以后,簇首会把绝对阈值和相对阈值两个参数广播给其他成员。传感器节点持续地采集数据,当采集的数据第一次大于绝对阈值,节点把数据记录下来,同时发送给簇首;在以后时间内,这个节点只有满足采集的数据大于绝对阈值,而且与前一次记录结果之差大于相对阈值时,才对数据进行记录并发送给簇首。TEEN 协议的改进操作有两个好处:第一,对于突发事件能够及时响应;第二,对于持续的突发事件,相邻两次数据之差在不大于阈值时,无需不断地发送数据,减少通信流量。

4 无线传感器网络的关键性问题

4.1 安全性

安全是系统可用的前提,需要在保证通信安全的前提下,降低系统开销,研究节能的安全算法。由于无线传感器网络受到的安全威胁和移动 ad hoc 网络不同,所以现有的网络安全机制无法应用于本领域,需要开发专门协议。目前存在两种思路:一种思想是从维护路由安全的角度出发。寻找尽可能安全的路由以保证网络的安全。另一种思想是把重点放在安全协议方面,假定无线传感器网络的任务是为高级政要人员提供安全保护的,提出一个安全解决方案将为解决这类安全问题带来一个普适的模型。

4.2 能量有限

传感器的电源能量极其有限。网络中的传感器由

于电源能量的原因经常失效或废弃。电源能量约束是阻碍传感器网络应用的严重问题。商品化的无线发送接收器电源远远不能满足传感器网络的需要。传感器传输信息要比执行计算更消耗电能。传感器传输 1 位信息需要的电能足以执行 3000 条计算指令。需要研究在网络工作过程中节省能源,在完成应用要求任务的前提下,尽量延长整个网络系统的生存期。

4.3 数据融合

数据融合是将多份数据或信息进行综合,以获得更符合需要的结果的过程。数据融合技术应用在传感器网络中,可以在汇聚数据的过程中减少数据传输量,提高信息的精度和可信度,以及网络收集数据的整体效率。在应用层可以利用分布式数据库技术,对采集到的数据进行逐步筛选;网络层的很多路由协议均结合了数据融合机制,以期减少数据传输量;此外,还有研究者提出了独立于其他协议层的数据融合协议层,通过减少 MAC 层的发送冲突和头部开销达到节省能量的目的,同时又不以损失时间性能和信息的完整性为代价。在传感器网络的设计中,只有面向应用需求设计针对性强的数据融合方法,才能最大程度的获益。

4.4 移动管理

这个问题实质上就是没有无线基础设施的无线传感器网络中节点查询问题。对于资源有限的无线传感器网络,最简单的资源查询方式—全局泛洪法显然不合适,需要研究寻找更有效的资源查询方法。

4.5 扩展性

在无线传感器网络应用中,网络的覆盖区域可能不同,节点的个数也在不同变化,如刚开始部署时,节点比较密集个数多,随作部分节点的电源耗尽,节点密度和个数都减少,这就要求网络的机制具有很强的可扩展性,能够动态地适应网络规模和节点个数的变化,保证网络应用的需求。

4.6 健壮性

传感器网络特别适合部署在恶劣环境或人类不宜到达的区域,这些区域的环境条件往往非常差,可能工作在露天环境中,遭受太阳的暴晒或风吹雨淋,甚至人类或动物的破坏。传感器节点的部署往往是随机部署,如通过飞机或炮弹部署。这些都要求传感器节点非常坚固,不易损坏,适应各种恶劣环境条件。

由于监测区域环境的限制以及传感器节点数目巨大,不可能人工“照顾”每个传感器节点,网络的维护十分困难甚至不可维护。因此,传感器网络的软硬件必须具有高强壮性和容错性。

5 结束语

由于具有覆盖区域广阔、监测高精度、可远程监控、可快速部署、可自组织和高容错性等特点,无线传感器网络的应用前景非常广阔,现在已经广泛应用于军事侦查、环境监测、动植物栖息地生态监测、健康护理、复杂机械监控、建筑物状态监控、空间探索、智能家居和办公等诸多领域。针对无线传感器网络系统中存在的一些关键问题,我们需要认真研究,进一步完善无线传感器网络技术,发挥其更大的价值。

参考文献

- 1 S. Yi, P. Naldurg, R. Kravets. Security – aware ad hoc routing for wireless networks[C]. Proc. of 2001 ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, 2001, pp. 299 – 302.
- 2 Edoardo Biagioni and Galen Sasaki. Wireless sensor placement for reliable and efficient data collection. In Proceedings of the Hawaii International Conference on Systems Sciences, January 2003.
- 3 Swades De . Chunming Qiao, Hongyi Wu. Meshed multipath routing with selective forwarding: an efficient strategy in wireless sensor networks[M].
- 4 Ning Xu. A Survey of Sensor Network Applications.
- 5 Perrig, R. Szewczyk, V. Wen, D. Culler, J. D. Tygar. SPINS: security protocols for sensor networks [J]. Wireless Networks 8 (2002) 521 – 534.
- 6 Venkatesh Rajendran, J. J Garcia – Luna – Aceves, Katia Obraczka. Energy – Efficient Channel Access Scheduling For Power – Constrained Networks. WPMC'02, October 27 – 30, 2002.
- 7 Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin. An Energy – Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks. in INFOCOM 2002, June 2002.