

文章编号: 1007- 2985(2011) 01- 0056- 07

无线传感器网络数据采集关键技术及研究进展*

梁平原^{1,2}, 陈炳权^{1,3}, 谭子尤¹

(1. 吉首大学物理科学与信息工程学院, 湖南 吉首 416000; 2. 中山大学信息科学与技术学院, 广东 广州 510006; 3. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘要: 无线传感器网络(WSN)数据采集因自组织网络结构而具有其他网络无可比拟的优势,然而其资源有限的特点使得许多关键问题尚未有好的解决策略.总结了 WSN 数据采集中的关键技术及所面临的主要挑战,介绍了数据集中 WSN 网络协议的主要性能指标及其研究方法,并就当前几种新技术与 WSN 的结合情况进行了分析和讨论,最后对无线传感器网络数据采集关键技术的未来研究进行了展望.

关键词: 无线传感网络; 综述; 数据采集; MIMO

中图分类号: T N92

文献标志码: A

随着无线通信、集成电路、传感器、微机电系统等技术的飞速发展,低成本、低功耗、小体积、多功能的微型传感器的大量生产成为可能.之所以称为微型传感器,是因为传感器小到可以像灰尘一样在空气中浮动,所以又称之为“智能尘埃(Smart Dust)”^[1].传感器节点借助于内置的微型传感器,可以感测环境中的热、红外、声纳、雷达与地震波信号等,同时也能采集温度、湿度、光强度、压力、土壤成分、移动物体大小、速度和方向等人们感兴趣的物理量.无线传感网络(Wireless Sensor Network, 简称 WSN)是集分布式信息采集、信息传输和信息处理技术于一体的网络信息系统^[2].传感器节点常常被随机地布置在许多人类无法接近的场合,通过自组织的方式来构成一个快速、有效可靠的无线网络.传感器节点往往是同构的,并且由于其低能耗(甚至不需要换电池)的特点,它适用于无人看守的各种应用场景.IEEE1451.5 无线标准为 WSN 提供了各种基于协议和需求的无线应用标准^[3].WSN 在信息的采集、传输与处理的过程中,其根本目的是要将感知节点采集到的数据以无线传输的方式用单跳或多跳的方式发送到汇聚点(Sink)或基站(BS).而其数据的处理过程可以是内网的,也可以外网的^[4],也就是说,数据可以在单跳或多跳发送之前进行内网的数据处理或压缩以节省更多的能量,还能在多跳过程中进一步地进行数据融合,以最大可能的方式来减少数据冗余.另外,也可以把传输的数据放到 BS 来进一步进行处理,比如恢复原始图像的形状、大小或色彩等.

与目前常见的无线通信网络如移动通信网、无线局域网、蓝牙网络、Ad hoc 网络等比较而言,利用 WSN 进行数据采集的主要特点^[2,4]:(1) 传感器节点数量很大,分布密集,网络规模很大.为了在某个地理区域进行监测,通常有成千上万个节点被布署在该区域.且布署的节点具有同构性,常常采用非人工的方式来布署.如果单个节点或者局部几个节点出现故障不会导致网络瘫痪的,WSN 利用节点之间的高度连接性可以保证系统的容错性和抗毁性.(2) 在数据采集过程中,节点处理数据的能力非常受限.由于受价格、体积和功耗的限制,WSN 中的传感器节点一般采用嵌入式处理器和存储器.节点具有计算能力,可以完成一些数据的处理工作.但是,由于嵌入式处理器的能力和存储器的容量有限,因此传感器的处理能力也相对受限,所以在设计 WSN 的各种协议时要求简单有效.(3) 能量节省至关重要.由于受到硬件条件的限制,传感器节点通常采用电池供电,且通常是不需更换电池的.对于要进行长时间数据采集的 WSN,能量是决定整个网络寿命的关键.(4) 以数据为中心.在 WSN 中,人们常常只关心某个区域内某个观测指标的数值,而不会去关心单个节点的观测数据.由于传感器节点布署密集,相邻节点之间采集到的数据具有严重的相关性,这样决定了各节点采集的数据中有大量的冗余信息,这要

* 收稿日期: 2010- 06- 11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60673086); 湖南省教育厅科学研究项目(07C526)

作者简介: 梁平原(1972-),男,湖南涟源人,吉首大学物理科学与信息工程学院高级实验师,中山大学信息科学与技术学院博士生,主要从事无线传感器网络、MIMO、随机多址竞争和光通信等研究.

求 WSN 有内网的数据处理与数据压缩的能力^[5]。由于 WSN 具有以上数据采集的特点,它可以广泛应用于各种场所,如军事侦察、环境监测、医疗、建筑物监测、工业监控等。

笔者总结了基于 WSN 数据采集的关键技术及所面临的主要挑战,对最重要的网络通信协议中主要的性能指标与分析方法进行了概括与分析。同时,对当前研究中各类新技术与 WSN 的结合进行了归纳与讨论,并进一步对基于 WSN 的数据采集研究的未来方向进行了展望。

1 WSN 数据采集的关键技术

WSN 数据采集中所涉及的内容包含多个学科,其关键技术可以分为 4 个部分,即网络通信协议、核心支撑技术、自组织管理、开发与应用。

1.1 网络通信协议

由于传感器节点能量很受限,其计算、存储和通信能力十分有限,每个节点只能获取局部网络的信息,因而节点上所运行的网络通信协议不能太复杂;同时,WSN 拓扑结构和外界环境也是不断地变化,对通信协议的设计也提出了更高的要求。WSN 通信协议包括物理层、数据链路层、网络层和传输层,它们相互配合的运行。WSN 网络通信协议关系到 WSN 的构造,能量与网络的有效运作,因此,目前成为通信领域设计的热点。IEEE 1451.5 无线标准为网络通信协议的设计提供了一个平台^[3]。目前的研究有单独在某一层的某个方面的性能优化,也有多层之间性能综合优化,即跨层设计。

1.2 核心支撑技术

WSN 数据采集的核心支撑技术就是通过网络通信协议来提供服务,并通过应用服务接口来屏蔽底层网络的细节,使终端用户可以方便地对 WSN 各感知节点采集到的数据进行操作。它的核心技术包括能量挖掘、能量节省管理、拓扑控制、节点定位、时间同步、网内信息处理、网络安全等方面。

节点的能量大小成为 WSN 数据采集发挥效能的瓶颈,它关系到网络数据采集周期的多少。在尽量通过网络通信协议来提高能效的同时,有必要对节点自身能量进行进一步的提高。WSN 节点的能量供应系统应根据自身特点来进行设计,传感器节点功耗较低,但功耗变化范围比较大。如果利用能量挖掘技术从环境中挖掘能量,使节点具有能量自我补充的能力,这将从根本上解决节点的能量供给问题。典型的方法是利用能量挖掘装置,可以挖掘各类如太阳能、风能、温差、振动等形式的能量。而在能量管理方面,由于 WSN 节点多,覆盖范围大,工作环境复杂,能源无法替换,设计有效的策略延长网络的生命周期成为无线传感器网络的核心问题。休眠机制是节省能源的最有效方式之一,如何进行休眠调度而不影响传感器网络的正常运行十分重要,而好的路由机制也能进一步节省能源。因此,能量管理方面主要通过网络通信协议的合理设计来实现。

定位技术主要是节点定位,即确定传感器的每个节点的相对位置或绝对位置。WSN 系统在进行数据采集过程中,要准确地知道每个节点的具体位置,这样才有利用实行准确的监控。比如军事监控,对敌方目标的跟踪是以目标的准确位置为基础的。当然,安全问题是也 WSN 面临的一个关键的问题。WSN 大部分采用无线射频连接,无线电电磁的干扰使信噪比变差导致无法通信。而人为的干扰可以采用被动的方式监听网络中传送的数据包,还可以对监听到的数据包进行解析,主动发出入侵数据包以非法窃取或者修改某些重要信息,或者针对 WSN 能量有限性的特点,发送大量无用的数据包导致能量耗尽而瘫痪。当前对 WSN 数据安全方面的研究集中在基于计算能力以及通信能力有限状态下的自适应安全机制,这类研究致力于加密与消息认证机制以及在密钥组管理。

1.3 自组织管理

多变的网络状态及变化的外在环境要求 WSN 数据采集中具有自组织能力,能够自动组网运行、自行配置维护并适时转发监测数据。自组织管理技术使用网络通信协议提供的服务,通过网络管理接口来屏蔽底层的细节,使终端用户可以方便地管理资源分配。其自组织管理技术包括节点管理、资源和任务管理、数据管理、初始化与系统维护等。

1.4 开发与应用

作为一种源于应用而又服务于应用的现行网络技术,WSN 数据采集还要有完整的软硬件设计系统,高效的开发平台以及一系列别具特色的应用实例。其内容包括:仿真平台的建立,采集硬件系统开发、操作系统、软件开发、环境监测应用、目标追踪应用等。这些关键技术相互交叉,并不是完全独立的。其中网络通信协议的设计是 WSN 数据采集的重点,它是为核心支撑技术服务的。然而,核心支撑技术的研究也离不开网络通信协议的设计,自组织网络的管理及通信平台的开发应用也离不开网络通信协议的设计。因此,笔者后面的阐述均是基于网络通信协议研究的基础之上的。

2 WSN 数据采集面临的主要挑战

无线传感器网络是以数据为中心的网络,其应用往往与数据采集密不可分,因此设计有效的网络数据采集机制是至关重要的问题。与传统网络相比,传感器网络因其自组织结构与资源有限的特点,在数据采集上主要面临以下挑战^[1-4]:

(1) 能耗节省问题. 尽管集成电路与机电系统的发展可以尽量减少片内电路的能耗, 然而无线传感器网络中节点的电池能量始终是有限的, 网络在进行内网数据处理以及数据传输过程中均要消耗能量. 由于网络中能量往往不能再生, 那么每次采集数据再传输到采集点的能耗消耗的多少就会决定整个 WSN 的使用寿命. 因此, 在数据采集过程尽量节省能量成了 WSN 设计中首要考虑的因素.

(2) 能耗均衡问题. 考虑 WSN 在进行数据采集过程中的能耗节省很重要, 然而, 在同构网络中, 如果节点的能耗不均衡, 同样会产生传感覆盖率减少, 以至断网的现象, 进而影响网络的寿命^[6]. 特别是分布式簇结构的网络中, 簇首相对于其它节点要消耗更多的能量, 如果采用固定簇首的形式, 很快就有一部分节点会死亡. 因此, 在 WSN 设计中, 应尽量考虑负载均衡的问题.

(3) 采集数据相关性问题. 由于 WSN 中节点密集部署, 相邻节点采集到的数据通常是高度相关的, 其中有大量的冗余信息存在. 考虑数据相关性问题, 通常可以考虑空间相关性与时间的相关性. 对于 1 个节点而言, 历史采集的数据与当前采集的数据是相关的, 具有时间相关性. 而对于多个相邻节点而言, 同时采集 1 个目标的数据必然具有很多冗余信息, 具有空间相关性的特点. 把节点采集数据经过多跳传输到基站 BS(Base Station) 或汇聚节点(Sink) 的过程称为 WSN 数据采集问题 DGP(Data gathering Problem). 在 DGP 过程中, 如果所有传感器节点直接向 BS 传输原始数据的做法是效率低下的, 而大量传感器节点采集的数据量也是非常巨大的, 特别是多媒体信息的采集上, 数据的相关性是必须考虑的因素. 因此, 在数据传输前, 相关数据必须经过内网的数据压缩或融合后才能以多跳路由的方式传输到 BS, 这样会大大减少数据在无线传输中的能耗.

(4) 自组织结构路由问题. 由于 WSN 的节点是同构的, 节点相互之间没有固定的网络结构, 随着时间推移, 网络结构也是动态变化的. 不同于传统的网络, WSN 必须有可靠、有效与简单的路由机制, 从而形成一条从传感节点到 BS 之间的最佳路由. 这里的最佳路由的指标主要包括传输能耗、节点剩余能量、延时以及能耗均衡等方面所付出的代价最小^[6].

(5) 交互式数据采集问题. 在某种情况下, 数据采集点可能只对某一区域的某些类型的传感器采集的数据感兴趣, 而不是对所有节点采集到的数据感兴趣. 因此, 在 DGP 中, 没有必要同时激活大量传感器节点, 这样, 就有了各种睡醒机制来尽可能节省 WSN 的能量. 这样的睡醒机制主要由 MAC(Medium Access Control)层与路由层设计过程中来控制.

(6) 网络的鲁棒性与自适应性问题. 传感器网络的拓扑可能由于多种原因(节点失效、环境因素、人为干扰或增减节点等)而发生变化. 这就要求数据采集机制能够自动适应网络的变化, 从而增加网络的自适应自愈功能, 提高网络的鲁棒性.

以上所面临的挑战实际上也是当前 WSN 数据采集研究中要解决的问题, 研究中, 网络通信协议的所关心的往往只是其中的某几个方面, 而不是全部. 当前的研究主要集中在前 3 个方面的优化, 而能综合解决以上问题的算法是很少的.

3 WSN 数据采集网络协议的性能指标与分析方法

在研究 WSN 数据采集过程中, 网络协议的设计直接影响其数据采集的有效性与可靠性, 其各类网络协议的性能评价标准主要包括以下 6 个方面:

(1) 能效. WSN 的能效是协议设计中首要考虑的性能指标. 在一般情况下, 网络生命周期(或称为轮)是用来衡量网络寿命的重要参数. 在一些文献中, 主要通过理论分析与实验仿真来体现 WSN 在数据采集过程中的生命周期变化规律. 而评价生命周期的性能好坏主要形式: (i) 第 1 个节点死亡时的数据采集轮数; (ii) 1% 节点死亡前的数据采集轮数; (iii) 50% 节点死亡前的数据采集轮数; (iv) 100% 节点死亡前的数据采集轮数. 这里的轮是指采集到的数据经过内网数据压缩处理后, 以单跳或多跳的形式传送到 BS 的过程. 为了得到更多的生命周期, 必须考虑能耗均衡问题. 能耗的均衡问题主要有 2 种方式来控制: 采用动态建簇的方法使各个节点动态成为簇首, 从而减少因簇首花费更能耗而导致的提前死亡的机率; 采用非均匀分布的方法. 特别是在多跳 WSN 系统中, 非均匀策略能非常有效地防止能量空洞, 从而提高 WSN 的生命周期数. 比如, Heinzelman 等提出了低能量自适应聚类层次(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy, 简称 LEACH)协议^[7-8]. 采用了第 1 个节点死亡之前的生命周期数比较的方法, 可以看出, LEACH 协议与 Direct 协议相比, 系统所能完成的轮数可提高 8 倍左右^[7-8]. 然而, 由于 LEACH 协议中每个节点根据自主产生的随机数与阈值相比较来决定是否当选为簇头, 所以每轮产生的簇头没有确定的数量和位置, 并且每个簇的大小不一致也会造成能耗不均. 另外, 由于所有簇头直接与 BS 通信, 所以远离 BS 的簇头能耗会很大, 从而进一步导致了能耗的不均衡^[8]. 对此, Lindsey 等提出了传感信息系统功效采集(Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems, PEGASIS)协议^[9-10], 该协议根据节点的地理位置, 利用贪婪算法(Greedy Algorithm)形成一条相邻节点间距离最短的链. 并在链中随机地选取 1 个簇头将融合后的数据传至 BS. PEGASIS 比 LEACH 协议能节省更多的能量, 它的生命周期是 LEACH 的 2 倍. PEGASIS 算法中假设节点通过定位装置或通过发送能量递减的测试信号来发现距自己最近的邻节点, 然而, 当节点数目较多时, 链路会变得很长, 数据传输时延将会显著增大. 后来改进的算法有采用软硬阈值的 TEEN(Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol)^[11]与 APTEN(Adaptive Periodic Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)^[12], 有采用簇链算法并结合自适应功率控

制的簇链路由协议 (Cluster Chain Routing Protocol, CCRP)^[13] 与 CCARP (Cluster-Chain Channel Adaptive Routing Protocol)^[14], 以及在泛洪算法基础上采用覆盖优先泛洪策略 (Priority Covering Flooding, PCF)^[15] 等. 这些算法在能效与能耗均衡上均有一定的改进, 然而也产生了许多新的问题.

(2) 数据传输的有效性. 数据传输的有效性分析主要包括网络传输速率与网络吞吐量. 网络传输速率主要与带宽有关, 因此, OFDM 技术的使用以及感知无线电的无线带宽资源动态分配等新技术被引入到 WSN 的数据采集中来^[16-17]. 另外, 在带宽一定的情况下, 采用不同的调制技术会获得不同的网络传输速率. 由于在 WSN 中用户往往从 BS 获取感兴趣的信息, 因此通常将 WSN 吞吐量定义为 BS 的吞吐量. 吞吐量是 WSN 数据采集的一项重要性能指标, 它直接反映了 WSN 工作运行的效率, 并且与网络 MAC 协议的无线信道竞争机制关联紧密. 现有的 WSN 中主要的数据流是由传感器节点发送感知信息给 BS. 由于 WSN 节点数量多, 分布稠密, 网络中各节点的数据流量是不相同的, 有些靠近 Sink 的传感器节点业务流量较大, 容易造成拥塞问题. 这些节点业务量较大的原因是多条路由都经过某一节点, 因此, 不同的流量控制机制可以得到不同的吞吐量性能指标. 另外, 吞吐量的提升常常与延时性能一起考虑. 比如, T-MAC 协议在 S-MAC 协议的基础上提出了一个自适应的工作循环周期. 它就是将能量损耗、时延和吞吐量综合起来考虑的协议. 将帧划分为可变长度的 T_a 和 T_s , 所有的数据在可变的 T_a 期间内发送出去, 并通过动态改变 T_a 的持续时间来维持网络负载的平衡. 即使节点处于活动状态, 但经过 T_a 时间后如果仍无数据发送, 节点将立即进入休眠状态^[1].

(3) 数据的可靠性. 数据的可靠性主要取决于接收信道误码率水平. 而这个误码率又取决于特定应用中对误码率的需要. 如一般环境监测中对误码率要求不是很高, 可目标跟踪过程中对位置大小等信息的要求很高. 需要的误码率要求会直接影响自适应功率的发送大小, 而传感器节点发送功率的大小又会影响 WSN 的能耗. 因此, 在具体的分析过程中, 系统的可靠性与能效往往是结合起来分析的. 分析中往往是根据所感兴趣节点采集的数据对误码率的需要来进行功率分配, 从而进一步分析出 WSN 进行数据采集中一轮的能耗. 当然, 最后的优化是在能效的提高与误码率指标上得到均衡^[18].

(4) 网络传输延时. WSN 中的延时主要包括数据传输延时、路由确立延时、数据融合延时以及簇架构建立延时等, 可以指从信息源节点到 BS 之间传输数据所花费的所有时间. 由于感兴趣的数据对网络延时的要求不同, 在具体设计中, 可以考虑延时的影响, 有时也可忽略其影响.

(5) 传感覆盖率. WSN 的覆盖控制, 就是指在 WSN 节点能量、网络带宽与节点计算能力等资源受限的情况下, 通过 WSN 节点布置以及路由选择等手段, 使 WSN 的各种资源得到优化分配, 使感知、监视、传感、通信等各种服务质量得到改善的过程. 选择 WSN 覆盖控制策略, 有助于网络节点能量的有效控制、感知服务质量的提高和生命周期的延长. 例如, 在 WSN 中太多的节点同时工作既会浪费能量, 也会降低节点的使用效率, 因此, 怎样选择最优的节点, 在保证一定传感覆盖率的条件下, 以少的工作节点来完成对监控区域进行有效的覆盖是网络设计要考虑的问题. Ye 等^[19] 提出 PEAS (Probing Environment and Adaptive Sleeping) 算法, 用来控制节点的唤醒和睡眠, 其中设定了一个监测半径并要求任意两个选出的工作节点之间的距离不小于此半径, 从而控制工作节点的密度以实现一定的覆盖. Zhang 等^[20] 提出了 OGDC (Optimal Geographic Density Control) 算法, 在已知传感器定位信息的条件下, 用来实现完全覆盖的网络配置, 其给出了网络资源配置的最优结构, 即在相邻节点形成正三角形结构的情况下, 节点利用率提到最大提高, 并增大了生命周期数. 在很多情况下, 希望网络能实现完全覆盖, 以实现网络节点的最大利用, 然而有时完全覆盖并不是必需的. 例如, 对环境的监测, 只用一部分节点达到部分覆盖就可以较好地满足需求, 从而可以节省能量, 延长网络寿命. 此外, 完全覆盖对节点的分布及配置往往要求较高, 在随机散布或恶劣条件比较难达到要求, 而要求网络达到一定覆盖率的部分覆盖则比较容易实现. 因此设计出一种能够使用尽可能少的工作节点来达到所期望的任意覆盖率的方法也是很有意义的.

(6) 网络的可扩展性与鲁棒性. 网络的扩展性也称为可伸缩性, 意味着在网络的拓朴结构与网络协议上要求网络尽量具有无限延伸的性质. 因为这样有利于 WSN 进行数据采集时适应各种监测场景的变化. 网络的鲁棒性是指网络的自愈能力, 好的鲁棒性可以让网络适应恶劣环境的变化, 也可以在部分节点死亡的情况下继续完成数据采集的任务, 同时也便于为网络增加新的节点, 进而方便地完成网络的维护工作.

上述性能指标与分析方法为 WSN 数据采集协议的设计提供了一个优化的目标与手段. 目前来讲, 所有设计只能在某些方面达到某种程度的优化. 因此, WSN 的数据采集问题仍然面临许多挑战和难题有待研究人员进一步的研究.

4 WSN 数据采集中各类新技术的结合

近年来, 随着 MIMO 技术、OFDM 技术、博弈论以及感知无线电技术方面的发展, 这些新技术逐渐应到 WSN 数据采集中来, 形成了许多目前学术界研究的新方向.

4.1 基于协作 MIMO 的 WSN 数据采集

在 WSN 的设计中, 能量消耗最小化是一个非常重要的性能指标, 它关系到整个网络的使用寿命. MIMO 技术可以有效地利用多径效应来抑制衰落, 提高通信系统的容量和频谱利用率. 在系统容量一定时, 相对于 SISO 系统, 可以利用 MIMO

技术来降低 WSN 节点的发射功率。然而,由于无线传感接口模块(WTIM)尺寸很小,要单独在低功耗的节点上形成物理天线阵列是不现实的。于是基于单天线的虚拟 MIMO 方案得以提出。其中文献[21]已证明其所建多跳 WSN 模型中,协作 MIMO 与 SISO 相比在长传输距离达到一定值时能节省能量,并提出了一种有效的传输控制策略。这一结果表明,虚拟 MIMO 在 WSN 中协作通信不适合于近距离通信的情况,而适合于大面积的场景的数据采集。

在 WSN 中要使用虚拟 MIMO 通信,在保证节约能量的同时,还要注意保持能量的消耗均衡。文献[21]已证明在 WSN 中采用协作 MIMO 技术能节省能量。这里的节省能量是指系统的总能量,主要包括传输能量损耗和电路能量损耗。文献[22]提出了一种协作 MIMO 方案,文章在 MIMO、MISO、SIMO 和 SISO 之间进行开关性选择,选择最节省能量的传输来达到延长网络寿命。文献[3]中针对 IEEE1451.5 提出了一种基于 MISO 的能效协作方案,通过选择较好的激活的 WTIM,并采用 MISO 结构与网络适配器(NCAP)无线相连,在选择过程中考虑了信道估计的影响。文章证明了 MISO 协作通信与 SISO 相比,在长传输距离达到一定值时能节省能量。文献[23]采用 MISO 协作通信结构提出了两种多跳路由策略,简单地从动态考虑了能耗的均衡,并从能量最小化的角度进行了分析。文献[24]中采用协作中继方式,选择多个传感器作为并行中继节点来传输信号,并和传统的单中继方式在吞吐量和延时性能上进行了比较。所有这些研究,均是围绕前面所讲的在数据采集的同时,考虑到从传感节点到 BS 之间的最优化能耗的角度来设计的。而在能耗的均衡上,主要从动态的角度来考虑,把数据的采集划分为单个的数据采集周期来考虑。在每轮数据采集完成后,网络的拓扑结构也会动态地发生变化。

4.2 基于 OFDM 的 WSN 高速数据采集

MIMO 技术在 WSN 中的采用可以节省能量,然而,随着无线 WSN 的发展,它必须适应各种高速传输的情况,如无线多媒体传感网络,在带宽增加的情况下,许多人都会想到 OFDM 技术在 WSN 中的应用。文献[16]提出了一种协作 OFDM 方案,在这里协作节点会转化源节点发送出来的载波频率,按 OFDM 的传输方式来把数据发送到目的节点。文中每个源节点作为 1 个单载波发送器,而它周围的其他节点将作为中断节点,并转化源节点发送过来的载波频率成 1 种特殊的载波频率。其目的节点会按 OFDM 的方式来处理这种多载波信号,如果中断节点的转化频率能很好地设计,其所设计的 MRC 算法会很适合传输 OFDM 子载波的信息。当然,这也来源于优化的传输信号估计。其传输方案能获得足够的分集,而采用的协作 STBC(CSTBG WSN)也能很好地减少功率损耗从而获得能量节省。而文献[18]提出了一种空频编码(SF-CODE),采用 MIMO 和 OFDM 技术相结合的方法,设计的传输策略适合于宽带的无线通信网络,并可把其应用于高速的 WSN 数据采集。

4.3 基于博弈论的 WSN 数据采集

博弈论作为一门新兴学科和数学分析手段,可以帮助我们解决通信里好多问题。特别是在最优化选择上,可以以博弈资源分配与管理来提高网络性能。文献[25]采用博弈论的方法对 WSN 的可靠性、生命周期、能量损耗进行了分析。从博弈论的角度提出了一种 Semi Parametric 寿命时间模型,并对移动的无线传感节点的能量损耗问题进行了分析。文献[26]采用了博弈论的方法对 WSN 的干扰测试问题进行了研究,在 WSN 中,干扰测试系统(IDS)能放在所有传感节点之上用来保证系统的安全。但是重复策略不是有效的选择,因为它要浪费系统的资源。文中使用非协作博弈论架构来进行干扰测试,这可以帮助每个簇首决定 IDS 起始节点分配的概率。这种方法不仅能保证 WSN 的安全,而且能减少监视过程中的能量损耗,从而延长了网络的生命周期。

4.4 基于感知无线电的 WSN 数据采集

在网络资源有限的情况下,特别是频谱资源有限的情况下,可以利用感知方法来为 WSN 获得更宽的带宽。特别是在无线多媒体传感器网络中,获得更多的带宽就显得更为重要。所以,在近两年的研究中,出现把感知无线电用到 WSN 中来获取更大带宽的设计。文献[27]考虑了一种资源受限的 WSN 的频谱资源分配问题。在分配过程中考虑了以下几点问题:频谱分配的公平性问题;最大化利用频谱资源的问题;传感数据的优先权问题;减少频道交替的机率。同时,文中也提出了一种新的修正博弈原理(MGT)来解决 WSN 中这种传输多目的问题。文献[17]针对 WSN 数据采集集中传输阴影问题,提出了一种协作的辅助系统来提高感知 WSN 系统的稳定性。可见,感知的 WSN 带宽的考虑的正在成为 WSN 新的研究方向。

5 结语

在 WSN 进行数据采集过程中,其关键的设计是网络通信协议中的能耗节省与均衡,而网络的自组织结构与动态路由问题等都是与网络通信协议设计密不可分的。事实上,当前在 WSN 数据采集问题上的研究大部分都是围绕通信协议的设计展开的。在未来的研究工作中,其主要的方向是将各类新技术应用到 WSN 数据采集中来,并设计出简单全面的网络通信协议,从而在能效、时延、吞吐量和传感覆盖率等方面得到进一步的优化。笔者概括了 WSN 数据采集所包含的关键技术与所面临的主要挑战,重点总结了目前 WSN 数据采集中主要的性能指标与相对应的分析方法,并进而介绍了各类新技术在 WSN 中的相关应用。文章在 WSN 数据采集的研究方向与方法上具有较为重要的参考意义。

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] AKKAYA K, YOU NIS M. A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks [J]. *Ad. Hoc. Network*, 2005, 3(3): 325– 349.
- [3] KOCHAN V, LEE K, KOCHAN R, et al. Sachenko, Approach to Improvement the Network Capable Application Processor Compatible with IEEE 1451 Standard [J]. *Technology and Application*, 2003, 9(4): 437– 441.
- [4] AKYIDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. A Survey on Sensor Networks [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2002, 40(8): 102– 114.
- [5] 刘明,龚海刚,毛莺池,等.高效节能的传感器网络数据收集和聚合协议[J].*软件学报*, 2005, 16(12): 2106– 2116.
- [6] 石为人,袁久银,雷璐宁.无线传感器网络覆盖控制算法研究[J].*自动化学报*, 2009, 35(5): 540– 545.
- [7] HEINELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Micro Sensor Networks [M]. USA: IEEE HICSS, 2000: 1– 10.
- [8] HEINZELMAN W B, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Micro Sensor Networks [J]. *IEEE Transactions on Wireless Communication*, 2002, 1(4): 660– 670.
- [9] LINDSEY S, RAGHAVENDRA C S. PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems [M]. USA: IEEE Aerospace Conference, 2002: 1125– 1130.
- [10] LINDSEY S, RAGHAVENDRA C, SIVALINGGAM K M. Data Gathering Algorithms in Sensor Networks Using Energy Metrics [J]. *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, 2002, 13(9): 924– 935.
- [11] MANJESHWAR A, AGRAWAL D P. TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks [C]//The Int'l Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS' 01). USA: Hyatt Regency, 2001: 2009– 2015.
- [12] MANJESHWAR A, AGRAWAL D P. APT-TEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks [C]//The Int'l Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS' 02). USA: Fort Lauderdale, 2002: 195– 202.
- [13] BIAN X, LIU X, CHO H. Study on a Cluster Chain Routing Protocol in Wireless Sensor Networks [C]//The 3rd Int'l Conference on Communications and Networking (China Com' 08). China: Hangzhou, 2008: 964– 968.
- [14] LIU X, BIAN X, CHO H. A Novel Cluster Chain Channel Adaptive Routing Protocol in Wireless Sensor Networks [C]//The 5th Int'l ICST Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness (ICST Qshine). China: Hong Kong, 2008: 28– 31.
- [15] 李方敏,刘新华,旷海兰.无线传感器网络中一种高能效低延时的泛洪算法研究[J].*通信学报*, 2007, 28(8): 46– 53.
- [16] TANG Wei guo, WANG Lei. Cooperative OFDM for Energy Efficient Wireless Sensor Networks [J]. *IEEE Communications Society*, USA: D. C., 2008.
- [17] YU Young jin, HIDEKAZU MURATA. Multi-Hop Cooperative Sensing and Transmit Power Control Based on Interference Information for Cognitive Radio [C]//The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC' 07). 2007.
- [18] CHEBOLU M, JAYAWEERA S K. Energy Efficiency Analysis of an RLS-Based Adaptive Signal Processing Algorithm for Energy Aware Sensor Networks [C]//The 2nd International Conf. on Intelligent Sensing and Information Processing [ICISIP 05]. India: Chennai, 2005.
- [19] YE F, ZHONG G, LU S W, et al. PEAS: A Robust Energy Conserving Protocol for Long Lived Sensor Networks [C]//Proceedings of the 10th International Conference on Network Protocols. USA: Washington D. C., 2003: 200– 201.
- [20] ZHANG H, HOU J C. Maintaining Sensing Coverage and Connectivity in Large Sensor Networks [J]. *Ad. Hoc. and Sensor Networks*, 2005, 1(1– 2): 89– 124.
- [21] CUI S, GOLDSMITH A J, BAHAI A. Energy Efficiency of MIMO and Cooperative MIMO Techniques in Sensor Networks [J]. *IEEE J. Select. Areas. Commun.*, 2003, 22(6): 1089– 1098.
- [22] SUNG Y, MISRA S, TONG L. Cooperative Routing for Distributed Detection in Large Sensor Networks [J]. *Selected Areas in Communications*, 2007, 25(2): 471– 483.
- [23] TUAN DUC NGUYEN, OLIVIER BERDER, OLIVIER SENTIEYS. Cooperative MIMO Schemes Optimal Selection for Wireless Sensor Networks [C]//The 65th IEEE Vehicular Technology Conference. Ireland: Dublin, 2007: 85– 89.

- [24] LI Xiaohua. Energy Efficient Wireless Sensor Networks with Transmission Diversity [J]. IEE Electronics Letters, 2003, 39: 1 753– 1 755.
- [25] Zhanshan (Sam) MA. Insect Population Inspired Wireless Sensor Networks: A Unified Architecture with Survival Analysis, Evolutionary Game Theory, and Hybrid Fault Models [C] // International Conference on Bio Medical Engineering and Informatics. China: Hainan, 2008.
- [26] MA Yizhong, CAO Hui, MA Jun. The Intrusion Detection Method based on Game Theory in Wireless Sensor Network [C] // Ubi Media Computing, 2008 First IEEE International Conference. China: Beijing, 2008: 326– 331.
- [27] SANG SEON BYUN. Dynamic Spectrum Allocation in Wireless Cognitive Sensor Networks: Improving Fairness and Energy Efficiency [C] // The 68th IEEE Vehicular Technology Conference. Canada: Calgary, 2008: 1– 5.

Key Technologies and Evolution in Wireless Sensor Network Data Gathering

LIANG Pingyuan^{1,2}, CHEN Bingquan^{1,3}, TAN Ziyu¹

(1. College of Physics Science and Information Engineering, Jishou University, Jishou 416000, China;

2. School of Information Science and Technology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China;

3. College of Electricity and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Because of the self-organization network structure, wireless sensor network (WSN) data gathering has enormous advantages compared with other networks. However, many key problems have not been resolved in wireless sensor networks yet because of limited resources. In this paper, the key technology and main challenges in WSN data gathering are summarized, and the main performance index and research methods of WSN network protocols in data gathering are introduced. At the same time, several new technology combined with WSN are analyzed and discussed. In the end, the research direction in the future is prospected.

Key words: wireless sensor networks; summary; data gathering; MIMO

(责任编辑 陈炳权)

(上接第 51 页)

Matlab Simulation Analysis of Fourier Spectrum Based on FFT

YE Furqiu

(College of Physics Science and Information Engineering, Jishou University, Jishou 416000, Hunan China)

Abstract: The interference pattern of the sodium lamp light and the mercury lamp light is measured by Michael interference device, using the transformation relations of the interference pattern and the spectra which exist in Fourier spectrum, the sodium lamp and mercury lamp radiation spectrum is analyzed by fast Fourier transform method. The results show that the Fourier transform spectrum can clearly display the radiation spectrum of the radiation source.

Key words: Fourier spectrum; fast Fourier transform; modulation; demodulation

(责任编辑 陈炳权)