

无线传感器网络（Wireless Sensor Networks, WSN）是 21 世纪备受国内外关注的热点技术领域之一，是多学科高度交叉的新兴前沿研究领域，涉及微电子技术、微型传感器技术、片上系统（System on Chip, SoC）技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术等多个技术领域。无线传感器网络是一种分布式传感网络，它通过数以万计的传感器感知和检查外部世界，实时监测和采集网络分布区域内各种检测对象的信息，并将这些信息通过无线通信技术发送到网关节点，实现指定范围内目标的检测与跟踪，还可以将信息通过有线或无线的方式与互联网进行连接。

无线传感器网络技术的产生与发展将彻底改变人类自古以来仅仅靠自身的触觉、视觉、嗅觉来感知信息的状态，极大地提高人类获取信息的准确性和灵敏度。作为信息时代的一项变革性的技术，无线传感器网络可以使人们在任何时间、任何地点和任何环境条件下获取大量翔实、可靠的信息，真正实现“无处不在的计算”的理念。无线传感器网络已经被广泛应用到军事侦察、智能家居、环境监测、工业控制、农业种植、畜牧业管理、交通管理和医疗监护等领域，有着广泛的应用场景和巨大的市场潜力。

无线传感器网络是物联网获取数据的重要手段，在物联网应用体系中的作用日益突显，极大地提高了人类掌控物理世界的能力。无线传感器网络的普及应用也为大数据技术提供了源源不断的数据，为提高人们生活质量、预测未来提供了有力支撑。无线传感器网络将成为继计算机、互联网与移动通信网之后信息产业新一轮竞争的制高点。

1.1 无线传感器网络概述

无线传感器网络（WSN）是一种通过无线通信技术把大量廉价的传感器节点通过无线自组织通信方式互相传输信息，协同完成特定功能的无线网络。典型的无线传感器网络系统通常由若干传感器节点、汇聚节点、管理节点等组成。传感器节点部署在监测区域内部或附近，通过自组织方式构成网络。传感器节点监测的数据沿着其他传感器节点逐跳进行传输，在传输过程中监测数据可能被多个节点处理，经过多跳后路由到汇聚节点，最后通过互联网或卫星到达管理节点。用户通过管理节点对传感器网络进行配置和管理，发布监测任务以及收集监测数据。

构成传感器节点的单元分别为数据采集单元、数据传输单元、数据处理单元以及能量供应单元。其中，数据采集单元通常都是采集监测区域内的信息并加以转换，如光强度、大气压力与温度等；数据传输单元则主要以无线通信方式发送/接收那些采集进来的数据信息；数据处理单元通常处理的是全部节点的路由协议和管理任务以及定位装置等；能量供应单元为缩减传感器节点占据的面积，会选择微型电池的构成形式。

由上,无线传感器网络由多学科高度交叉而成,综合了传感器技术、嵌入式计算技术、网络通信技术、分布式信息处理技术和微电子制造技术等,能够通过各类集成化的微型传感器节点协作对各种环境或检测对象的信息进行实时监测、感知和采集,并对采集到的信息进行处理,通过无线自组织网络以多跳中继方式将所感知的信息传输给终端用户。

通俗地说,无线传感器网络是一种大规模、自组织、多跳、无基础设施支持的无线网络,网络中节点是同构的,成本较低,体积和耗电量较小,大部分节点不移动,被随意地散布在监测区域,要求网络具有尽可能长的工作时间和使用寿命。

传感器、感知对象和观察者是无线传感器网络的3个基本要素,这3个要素之间通过无线通信方式建立通信链路,协作地感知、采集、处理、传输信息。其中,传感器是无线传感器网络的主要硬件,具有信息感知、数据处理、信息通信等功能,观察者是无线传感器网络的用户,是感知信息的接收者和应用者;感知对象是观察者感兴趣的监测目标,即无线传感器网络的感知对象。一个无线传感器网络可以感知网络分布区域内的多个对象,一个对象也可以被多个无线传感器网络感知。无线通信是传感器之间、传感器与观察者之间的通信方式,在传感器与观察者之间建立了通信链路。

无线传感器网络在农业、医疗、工业、交通、军事、物流以及个人家庭等众多领域都具有广泛的应用,其研究、开发和应用很大程度上关系到国家安全、经济发展等各个方面。因为无线传感器网络广阔的应用前景和潜在的巨大应用价值,近年来在国内外引起了广泛地重视。另外,由于国际上各个机构、组织和企业对无线传感器网络技术及相关研究的高度重视,也大大促进了无线传感器网络的高速发展,使无线传感器网络在越来越多的应用领域开始发挥其独特的作用。

1.2 无线传感器网络的发展历程及发展趋势

1.2.1 无线传感器网络的发展历程

无线网络技术的发展起源于人们对无线数据传输的需求,无线网络技术的不断进步直接推动了无线传感器网络概念的产生和发展。无线传感器网络的发展大致可以分为以下几个阶段。

第一阶段:无线传感器网络的基本思想起源于20世纪70年代,当时的传感器网络特别简单,传感器只能获取简单的信号,数据传输采用点对点模式,传感器节点与传感控制器相连就构成了传感器网络的雏形,人们一般把它称为第一代传感器网络。

第二阶段:20世纪80~90年代,随着传感器网络相关学科的不断发展和进步,传感器网络具备了获取更多种信息的综合处理能力,并通过串口或并口与传感控制器相连,组成同时具备信息综合和信息处理两种处理能力的传感器网络,一般被称为第二代传感器网络。

第三阶段:传感器网络发展的速度越来越快,在20世纪90年代后期,第三代传感器网络开始问世,它更加智能化,综合处理能力更强,能够智能地获取各种传感信息,采用局域网形式,通过一根总线实现传感器节点和传感控制器的连接,是一种智能化的传感器网络。

第四阶段:到目前为止,第四代传感器网络还在开发之中,虽然第四代传感器网络在实验室中已经可以运行,但限于节点成本、电池寿命等原因,大规模、通用型的产品和种类还不能满足社会对传感器网络的需求。这一代网络结构采用无线通信模式,大规模地撒播具有

简单数据处理能力和数据融合能力的无线传感器节点，自组织地实现节点间的相互无线通信，这就是所谓的无线传感器网络。目前，不论国内还是国外，无线传感器网络都是一个重点研究的课题，随着时间的推移和科技的进步，相信无线传感器网络必定会取得巨大的突破。

1.2.2 无线传感器网络的发展趋势

无线传感器网络在国际上被认为将是继互联网之后的第二大网络，2003年美国杂志《技术评论》评出对人类未来生活将产生深远影响的十大新兴技术，传感器网络位列第一。

在现代意义上的无线传感器网络研究及其应用方面，我国与发达国家几乎同步启动，它成为我国信息技术领域位居世界前列的少数技术方向之一。在2006年我国发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》中，为信息技术确定了3个前沿发展方向，其中有两项与传感器网络直接相关，就是智能感知技术和自组织网络技术。当然，无线传感器网络的发展也是符合一般计算设备的演进规律。

无线传感器网络是一个集环境感知、动态决策与规划、行为控制与执行等多种功能于一体的综合性系统，具有很强的应用相关性，不同应用需要配置不同的网络模型、软件系统与硬件平台。随着技术的发展，无线传感器网络的应用与研究呈现出无线传感器节点体积小、成本低、能耗少、通信能力强、可维护性和扩展性好、稳定性和安全性高等发展趋势。无线传感器网络的发展一般应注意以下方面。

(1) 低成本问题。无线传感器网络是由大量的无线传感器节点组成的，单个节点的成本会极大程度地影响整个无线传感器网络的成本。为了达到降低单个节点成本的目的，需要设计出对计算能力、通信能力和存储能力均要求较低的简单无线网络系统和无线通信协议。此外，还可以通过减少网络管理与维护的开销降低无线传感器网络的成本，这需要无线传感器网络具有自我配置和自我修复的能力。

(2) 低能耗问题。在无线传感器网络中传感节点能量是有限的，而能量又与无线传感器网络寿命紧密联系。在具体应用中，无线传感器节点会由于能量的耗尽而失效或被废弃，这就要求无线传感器网络中的无线传感器节点都要尽可能最小化自身的能耗，以获得相对较长的工作时间。目前常见的解决方案是使用高能电池，理想的情况是让无线传感器节点具备自我收集能量的能力，自动收集能量技术的开发令无线传感器网络的无线传感器节点的工作时间更长。在无线传感器网络中，各项技术和协议的使用的重要方面都是以节能为前提的，针对不同应用的节点自我定位算法、优化覆盖算法、时间同步算法都是无线传感器网络值得进一步深入研究的问题，从而进一步提高网络的性能，延长无线传感器网络寿命。

(3) 安全与抗干扰问题。由于无线传感器网络具有严格的资源和成本限制，因此在实际应用中必然会带来一定的安全问题。例如，无线传感器节点在实际应用中往往会部署在环境恶劣、人员不可到达的区域，因此要求无线传感器节点必须具备良好的安全性和一定的抗干扰能力。

1.3 无线传感器网络的研究现状和前景

考虑到无线传感器网络的巨大发展前景和应用价值，许多国家都非常关注无线传感器网络的发展状况，学术界也逐渐把无线传感器网络作为一个研究的重点。美国的一家基金

会于 2003 年发布了一个无线传感器网络开发项目,投入大量资金研究无线传感器网络的基础理论;美国国防部也把无线传感器网络列入了重点研究对象,提出了一个无线传感器网络感知计划,这个计划重点强调战争中对敌方情报的搜集感知能力和对信息的处理传输能力。美国国防部还开设了用于军事的无线传感器网络研究项目;世界各国的通信、计算机等知名企业也积极准备迎接无线传感器网络可能带来的机遇,积极组织技术团队研发无线传感器网络。我国关于无线传感器网络概念的提出要追溯到 1999 年中国科学院《知识创新工程试点领域方向研究》的“信息与自动化领域研究报告”,该报告指出,无线传感器已经被列为信息与自动化 5 个最有影响力的项目之一。另外,许多国内高校对无线传感器网络的研究也在加速进行。例如,中国科学院上海微系统研究所从 1998 年开始就一直在跟踪和研究无线传感器网络;国内的一些高校,如清华大学、国防科技大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、哈尔滨工业大学、复旦大学、中南大学等,也都在深入研究无线传感器网络,并取得了一定的成果。

从总体上来说,目前无线传感器网络正处在一个快速成长的时期,无论在国内还是国外,无线传感器网络都是一个重点研究的课题。无线传感器网络节点可能在极冷、极热、极干燥或极潮湿等恶劣条件下工作,要求这些因素都不能对无线传感器网络节点的感知能力产生影响,也不能对无线传感器网络节点内的电路运行产生影响,同时也不能影响节点间的数据传输。因此,在对无线传感器网络节点的设计上,不仅要考虑外壳设计、内部电路的设计,而且还要考虑如何使用较少的能量完成数据加密、身份认证、入侵检测,以及在被破坏或受干扰的情况下能够可靠地完成任务,这也是无线传感器网络研究与设计面临的一个重要挑战。

1.4 无线传感器网络的特点

目前常见的无线网络包括移动通信网、无线局域网、蓝牙网络、Ad-Hoc 网络等,无线传感器网络与其他无线网络在通信方式、动态组网以及多跳通信等方面有许多相似之处,但同时也存在很大的差别。无线传感器网络具有许多鲜明的特点。

1) 硬件资源有限

由于受价格、体积和功耗的限制,无线传感器网络节点的计算能力、程序空间和内存空间比普通的计算机功能要弱很多。这一点决定了在无线传感器网络节点系统设计中,协议层次不能太复杂。

2) 电源容量有限

传感器节点体积微小,通常携带能量十分有限的电池。电池的容量一般不是很大。由于传感器节点数目庞大,成本要求低廉,分布区域广,而且部署区域环境复杂,有些区域甚至人员不能到达,所以传感器节点通过更换电池的方式补充能源是不现实的,如果不能给电池充电或更换电池,一旦电池能量用完,这个节点也就失去了作用(死亡)。因此,在传感器网络设计过程中,任何技术和协议的使用都要以节能为前提。如何在使用过程中节省能源,最大化网络的生命周期,是无线传感器网络面临的首要挑战。

3) 通信能力有限

无线传感器网络的通信带宽窄而且经常变化,通信覆盖范围只有几十到几百米。传感器节点之间的通信断接频繁,容易导致通信失败。由于无线传感器网络更多地受到高山、

建筑物、障碍物等地势地貌以及风雨雷电等自然环境的影响,传感器可能会长时间脱离网络离线工作。与传统的无线网络不同,无线传感器网络中传输的数据大部分是经过节点处理的数据,因此流量较小。根据目前观察到的现象特征来看,传感数据所需的带宽将会很低。如何在有限通信能力的条件下高质量地完成感知信息的处理与传输,是无线传感器网络应用面临的一个难题。

4) 计算和存储能力有限

传感器网络应用的特殊性,要求传感器节点的价格低、功耗小,这必然导致其携带的处理器能力比较弱、存储器容量比较小。因此,如何利用有限的计算和存储资源,完成诸多协同任务,是无线传感器网络技术面临的另一个瓶颈问题。事实上,随着低功耗电路和系统设计技术的提高,目前已经开发出很多超低功耗微处理器。同时,一般传感器节点还会配上一些外部存储器。

5) 规模大,分布密集,网络密度高

无线传感器网络大规模的含义包括两层:一层含义是监测的区域一般比较大,传感器部署在很广的范围内;另一层含义是部署的传感器节点的数量较多,目的是通过部署冗余节点,使网络系统具有很强的容错能力,提高监测的准确性,减少覆盖盲区。无线传感器网络通常密集部署在大范围无人的监测区域中,通过网络中大量冗余节点协同工作提高系统的工作质量。无线传感器网络中的节点分布密集,数量巨大,可能达到几百、几千、几万,甚至更多。此外,为了对一个区域执行监测任务,往往有成千上万传感器节点空投到该区域,传感器节点分布非常密集。

6) 自组织特性、自组网性与自维护性

无线传感器网络所应用的物理环境及网络自身具有很多不可预测因素,因此需要网络节点具有自组织能力。即在无人干预和其他任何网络基础设施支持的情况下,可以随时随地自动组网,自动进行配置和管理,并使用适合的路由协议实现监测数据的转发,网络规模大且具有自适应性。为了获取精确信息,无线传感器网络通常将大量的无线传感节点部署在大范围的地理区域或外部条件非常特殊的工作环境中,这一特点使得无线传感器网络的维护十分困难,甚至不可能进行维护,因此要求无线传感器网络的软硬件必须具有高可靠性和容错性。无线传感器网络中的无线传感器节点都是平等的,每个节点既可以发送数据,又可以接收数据,具有相同的数据处理能力和通信距离。节点的加入或退出都不会影响无线传感器网络的运行,无线传感器网络能够立即重组,具有自适应性。

7) 以数据为中心的网络

无线传感器网络集成了不同的传感器,用于测量热、红外、声呐、雷达和地震波等信号,从而探测包括温度、湿度、噪声、光照度、压力、土壤成分,以及移动物体的大小、速度和方向等众多观察者感兴趣的数据。因此,将无线传感器节点视为感知数据流或感知数据源,将无线传感器网络视为感知数据空间或感知数据库,实现对感知数据的收集、存储、查询和分析。无线传感器网络可以看作由大量低成本、低能量、低功耗、计算存储能力受限的无线传感器节点通过无线连接构成的一个分布式实时数据库,每个无线传感器节点都存储一小部分数据。在无线传感器网络中,无线传感器节点没有全局标识符 ID,构成无线传感器网络的无线传感器节点编号之间的关系完全是动态的,表现为无线传感器节点编号与无线传感器节点位置没有必然联系。用户使用无线传感器网络查询事件时,直接将所关心的事件通告给无线传感器网络,而不是通告给某个确定编号的无线传感器节点。同

样,无线传感器网络在获得指定事件的信息后汇报给用户。用户关心的是从无线传感器网络中获取的信息而不是无线传感器网络本身,因此以数据为中心是无线传感器网络区别于传统计算机网络的主要特点。

8) 多跳路由

网络中节点通信距离有限,一般在几百米范围内,节点只能与它的邻居直接通信。如果希望与其射频覆盖范围之外的节点进行通信,则需要通过中间节点进行路由。固定网络的多跳路由使用网关和路由器来实现,而无线传感器网络中的多跳路由是由普通网络节点完成的,没有专门的路由设备。这样,每个节点既可以是信息的发起者,也是信息的转发者。

9) 应用相关的网络

无线传感器网络是无线网络和数据网络的结合,一般是为了某个特定的需求而设计的。由于客观世界的物理量多种多样,不同的无线传感器网络应用所关心的物理量也就不同,无线传感器网络也有多种多样的应用背景,它们的硬件平台、软件系统和网络协议都会有所差异。因此,无线传感器网络不可能像传统计算机网络那样存在统一的通信协议平台。在开发传感器网络应用中,更关心传感器网络差异。针对每个具体应用研究传感器网络技术,这是无线传感器网络设计不同于传统网络设计的显著特征。

10) 传感器节点出现故障的可能性较大

由于无线传感器网络中的节点数目庞大,分布密度超过如 Ad-Hoc 网络那样的普通网络,而且所处环境可能会十分恶劣,所以节点出现故障的可能性会很大。有些节点可能是一次性使用,可能会无法修复,所以要求其有一定的容错率。

1.5 无线传感器网络体系结构

传感器节点作为无线传感器网络的最小单元,在不同的应用领域中的组成结构也不尽相同。例如,在环境监测中主要专注于延长其生命周期,而在军事上主要专注于消息的及时处理和传输,但是整体来说传感器节点的基本组成结构是大同小异的。传感器节点通常被部署在现场,其成本低廉,重量轻,同时支持一些基本的功能,如事件监测、分类、追踪及汇报。每个节点包含一个或多个传感器、嵌入式处理器及供电电池。传感器节点在绝大多数时间保持“沉默”,一旦监测到数据则立即进入活动状态,所有节点合作完成一个共同的任务。

一般而言,传感器节点由 4 部分组成:传感器模块、处理器模块、无线通信模块和电源模块,如图 1-1 所示。它们各自负责自己的工作:传感器模块负责监测区域内的信息采集,并进行数据格式的转换,将原始的模拟信号转换为数字信号,将交流信号转换为直流

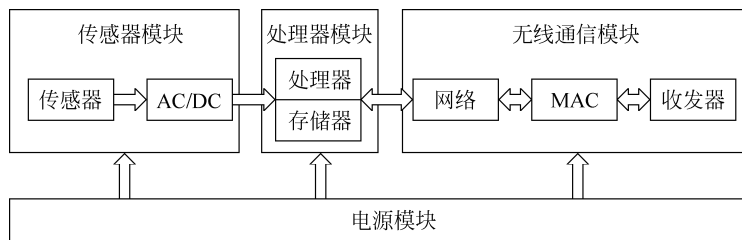


图 1-1 传感器节点的结构

信号，以供后续模块使用；处理器模块又分成两部分，分别是处理器和存储器，它们分别负责处理节点的控制和数据存储的工作；无线通信模块专门负责节点之间的相互通信；电源模块用来为传感器节点提供能量，一般都是采用微型电池供电。

无线传感器网络系统通常包括传感器节点（Sensor Node）、汇聚节点（Sink Node）和管理节点（Manager Node），如图 1-2 所示。大量传感器节点随机部署在监测区域，通过自组织的方式构成网络。传感器节点采集的数据通过其他传感器节点逐跳地在网络中传输，传输过程中数据可能被多个节点处理，经过多跳后路由到汇聚节点，最后通过互联网或卫星到达数据处理中心。也可以沿着相反的方向，通过管理节点对传感器网络进行管理，发布监测任务以及收集监测数据。

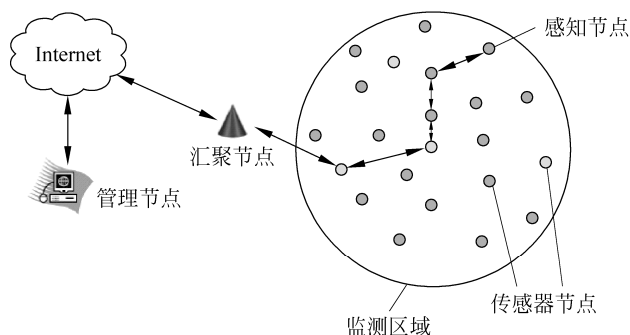


图 1-2 无线传感器网络体系结构

网络协议体系结构是无线传感器网络的“软件”部分，包括网络的协议分层以及网络协议的集合，是对网络及其部件应完成功能的定义与描述。无线传感器网络协议体系由网络通信协议、传感器网络管理技术以及应用支撑技术组成，如图 1-3 所示。

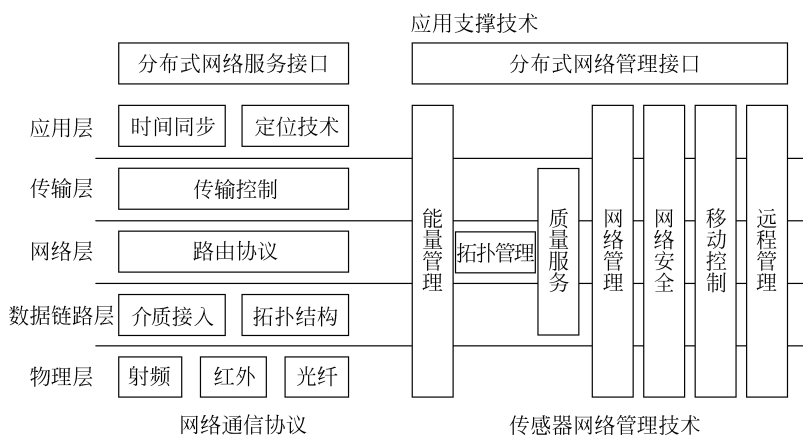


图 1-3 无线传感器网络协议体系结构

开放系统互连（Open System Interconnection, OSI）模型采用的是分层体系结构，一共分为 7 层。与 OSI 模型相对应，无线传感器网络也具有自己的层次结构模型，但是无线传感器网络分为 5 层。OSI 模型和无线传感器网络的物理层、数据链路层、网络层和传输层的基本结构相同，但是在传输层以上的上层结构中，无线传感器网络只有一个应用层，两种模型同层次的功能也基本上相同。下面详细介绍各层的功能。

1) 物理层

无线传感器网络的传输介质可以是无线、红外线或光介质。大量的传感器网络节点基于射频电路,无线传感器网络推荐使用免许可证 ISM (Industrial Scientific Medical) 频段。在物理层技术选择方面,环境的信号传播特性、物理层技术的能耗是设计的关键问题。无线传感器网络的典型信道属于近地面信道,其传播损耗因子较大,并且天线距离地面越近,其损耗因子就越大,这是无线传感器网络物理层设计的不利因素。然而,无线传感器网络的某些内在特征也存在有利因素。例如,高密度部署的无线传感器网络具有分集特性,可以用来克服阴影效应和路径损耗。目前低功率无线传感器网络物理层的设计仍然有许多未知领域值得深入探讨。

2) 数据链路层

数据链路层负责数据的多路复用、数据帧检测、介质接入和差错控制,数据链路层保证了无线传感器网络内点到点和点到多点的连接。

(1) 介质访问控制。在无线多跳 Ad-Hoc 网络中,介质访问控制 (Medium Access Control, MAC) 层协议主要负责两个职能:一是网络结构的建立,因为成千上万个传感器节点高密度地分布于待测地域,MAC 层机制需要为数据传输提供有效的通信链路,并为无线通信的多跳传输和网络的自组织特性提供网络组织结构;二是为传感器节点有效、合理地分配资源。

(2) 差错控制。数据链路层的另一个重要功能是传输数据的差错控制。在通信网中有两种重要的差错控制模式,分别是前向纠错 (Forward Error Correction, FEC) 和自动重传请求 (Automatic Repeat reQuest, ARQ)。在多跳网络中,ARQ 由于重传的附加能耗和开销而很少使用,即使使用 FEC 方式,也只考虑低复杂度的循环码,而其他适合无线传感器网络的差错控制方案仍处于探索阶段。

3) 网络层

传感器节点高密度地分布于待测环境内或周围。在传感器节点和接收节点之间需要特殊的多跳无线路由协议。传统的 Ad-Hoc 网络大多基于点对点的通信,而为增大路由可达度,并考虑到传感器网络的节点并非非常稳定,传感器节点大多使用广播式通信,路由算法也基于广播方式进行优化。此外,与传统的 Ad-Hoc 网络路由技术相比,无线传感器网络的路由算法在设计时需要特别考虑能耗的问题。基于节能的路由有若干种,如:最大有效功率 (PA) 路由算法,即选择总有效功率最大的路由,总有效功率可以通过累加路由上的有效功率得到;最小能量路由算法,该算法选择从传感器节点到接收节点传输数据消耗最小能量的路由;基于最小跳数路由算法,在传感器节点和接收节点之间选择最小跳数的节点;基于最大最小有效功率节点路由算法,即算法选择所有路由中最小有效功率最大的路由。

4) 传输层

无线传感器网络的计算资源和存储资源都十分有限,早期无线传感器网络数据传输量并不是很大,而且互联网的传输控制协议 (Transmission Control Protocol, TCP) 并不适应无线传感器网络环境,因此早期的无线传感器网络一般没有专门的传输层,而是把传输层的一些重要功能分解到其下各层实现。随着无线传感器网络的应用范围扩大,无线传感器网络中也出现了较大的数据流量,并开始传输包括音/视频数据的媒体数据流。因此,目前面

向无线传感器网络的传输层研究也在展开,在多种类型数据传输任务的前提下保障各种数据的端到端的传输质量。

5) 应用层

应用层包括一系列基于监测任务的应用层软件。与传输层类似,应用层研究也相对较少。应用层的传感器管理协议、任务分配和数据广播管理协议,以及传感器查询和数据传播管理协议是传感器网络应用层需要解决的潜在问题。

WSN 节点的典型硬件结构如图 1-4 所示,主要包括电池及电源管理电路、传感器、信号调理电路、A/D 转换器、存储器、微处理器和射频模块等。节点采用电池供电,一旦电源耗尽,节点就失去了工作能力。为了最大限度地节约电源,在硬件设计方面,要尽量采用低功耗器件,在没有通信任务时,切断射频部分电源;在软件设计方面,各层通信协议都应该以节能为中心,必要时可以牺牲其他的一些网络性能指标,以获得更高的电源效率。

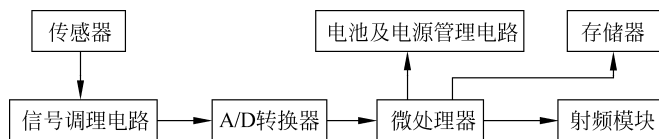


图 1-4 WSN 节点的典型硬件结构

1.6 无线传感器网络的关键技术

1. 时间同步技术

时间同步是需要协同工作的无线传感器网络系统的一个关键机制,也是完成实时信息采集的基本要求,同时也是提高定位精度的关键手段,如测量移动车辆速度需要计算不同传感器检测事件的时间差,通过波束阵列确定声源位置节点间的时间同步。全球定位系统(Global Positioning System, GPS)能够以纳秒级精度与世界协调时(Universal Time Coordinated, UTC)保持同步,但需要配置固定的高成本接收机,而且在室内、森林或水下等有掩体的环境中无法使用 GPS。因此,它们都不适用于无线传感器网络。常用方法是通过时间同步协议完成节点间的对时,通过滤波技术抑制时钟噪声和漂移。最近,利用耦合振荡器的同步技术实现网络无状态自然同步方法也倍受关注,这是一种高效的、可无限扩展的时间同步新技术。

由于无线传感器网络节点配置低,节点晶振漂移现象严重,为了保证节点间能以一个统一步调运作,必须对各节点进行定期时间同步。时间同步对时间敏感监测应用非常关键,同时它也是一些依赖于局部同步或全局同步的网络协议设计的基础。传统因特网上的时间同步技术,如网络时间协议(Network Time Protocol, NTP),由于实现复杂及开销大,不利于无线传感器网络应用,现已有很多国内外学者针对无线传感器网络的时间同步问题展开了工作。例如, J. Elson 等提出了一个基于广播参考的时间同步算法(Reference-Broadcast Synchronization, RBS),该算法与传统的由一个服务器广播同步信号给多个客户进行时间同步的思想不同,相邻节点间定期广播参考信号,各节点以自己的时钟记录事件,随后用接收到广播的参考时间加以校正。这种同步算法应用于确定来自不同节点的监测事件的先后关系时有足够的精度。

2. 定位技术

定位技术包括节点自定位和网络区域内的目标定位跟踪。节点自定位是指确定网络中节点自身位置,这是随机部署组网的基本要求。GPS 技术是室外通常采用的自定位手段,但成本较高,而且在有遮挡的地区会失效。传感器网络更多采用混合定位方法:手动部署少量的锚节点(携带 GPS 模块),其他节点根据拓扑和距离关系进行间接位置估计。目标定位跟踪通过网络中节点之间的配合完成对网络区域中特定目标的定位和跟踪,一般建立在节点自定位的基础上。

定位技术是大多数无线传感器网络应用的基础,同时也是网络协议设计的必备基础。无线传感器网络定位算法的研究有在传统基于到达时间(Time of Arrival, TOA)、到达时间差(Time Difference of Arrival, TDOA)以及接收信号强度指示(Received Signal Strength Indicator, RSSI)估计方法进行扩展的定位算法。这些算法受环境多径传播及信号衰落的影响较大,因此也有研究人员提出通过多点协作的定位算法,如质心算法(Centroid Algorithm)、无定型定位算法(Amorphous Positioning Algorithm)等,这些算法不同于传统的定位算法,而是通过节点间的相互关系进行定位。Pathirana P N 等还提出了一个基于移动机器人的新颖的定位算法,机器人带有 GPS 装置,在各节点间移动,每个节点在接收到它发出的信号后判断与它的位置关系从而确定自己的位置。

3. 分布式数据管理和信息融合

从数据存储的角度看,无线传感器网络可被视为一种分布式数据库。以数据库的方法在无线传感器网络中进行数据管理,可以将存储在网络中的数据逻辑视图与网络中的实现进行分离,使网络中的用户只关心数据查询的逻辑结构,无须关心实现细节。虽然对网络中所存储的数据进行抽象会在一定程度上影响执行效率,但可以显著增强无线传感器网络的易用性。美国加州大学伯克利分校的 TinyDB 系统和康奈尔大学的 Cougar 系统是目前具有代表性的无线传感器网络数据管理系统。分布式动态实时数据管理是以数据中心为特征的 WSN 的重要技术之一。该技术通过部署或指定一些节点为代理节点,代理节点根据监测任务收集兴趣数据。监测任务通过分布式数据库的查询语言下达给目标区域的节点。在整个体系中,WSN 被当作分布式数据库独立存在,实现对客观物理世界的实时和动态监测。

传感器网络存在能量约束。减少传输的数据量能够有效地节省能量,因此在从各个传感器节点收集数据的过程中,可利用节点的本地计算和存储能力处理数据的融合,一方面排除信息冗余,减小网络通信开销,节省能量;另一方面可以通过贝叶斯推理技术实现本地的智能决策。由于传感器节点的易失效性,传感器网络也需要通过数据融合技术对多份数据进行综合,提高信息的准确度。

4. 安全技术

无线传感器网络作为任务型网络,不仅要进行数据的传输,而且要进行数据的采集和融合、任务的协同控制等,如何保证任务执行的机密性、数据产生的可靠性、数据融合的高效性以及数据传输的安全性,成为无线传感器网络需要全面考虑的安全内容。安全通信和认证技术在军事和金融等敏感信息传递应用中有直接需求。传感器网络由于部署环境和传播介质的开放性,很容易受到各种攻击。但受无线传感器网络资源限制,直接应用安全