

无线传感器网络研究现状与应用*

司海飞, 杨 忠*, 王 珺

(金陵科技学院 机电工程学院, 江苏 南京 211169)

摘要:针对传感器、微处理器和无线通信技术的最新发展,为了深入研究无线传感器网络的关键技术,在介绍无线传感器网络发展历程、体系结构的基础上,分析了国内外无线传感器网络的研究现状,从军事、医疗卫生、环境监测和智能家居等领域论述了无线传感器网络的应用,并结合已有研究,总结阐述了无线传感器网络研究的热点问题。研究结果表明,无线传感器网络朝着低成本、低能耗、安全、智能化等方向发展,对开展相关研究具有一定的参考价值。

关键词:无线传感器网络;传感器节点;体系结构;协议

中图分类号:TP393

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)01-0016-05

Review on research status and application of wireless sensor networks

SI Hai-fei, YANG Zhong, WANG Jun

(Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

Abstract: Aiming at the latest development of the sensor, microprocessor and wireless communication technology, in order to intensive study the key technology of wireless sensor networks, the domestic and overseas research status of wireless sensor networks was analyzed on the basis of introducing the development history of the wireless sensor networks as well as system architecture. And the application of wireless sensor networks was discussed in following fields, military, medical treatment and public health, environmental monitoring, smart home and so on. And the hot issues of the wireless sensor networks were also elaborated. The results indicate that the wireless sensor networks have been developing toward low cost, low energy consumption, intellectualization which has a certain reference value for carrying out relevant research.

Key words: wireless sensor networks; sensor node; architecture; protocol

0 引 言

近年来,随着微机电系统(Micro-Electro-Mechanism System, MEMS)、片上系统(System On Chip, SOC)、无线通信和低功耗嵌入式技术的飞速发展,孕育出无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)。无线传感器网络是新型的传感器网络,同时也是一个多学科交叉的领域,与当今主流无线网络技术一样,均使用 802.15.4 的标准,由具有感知能力、计算能力和通信能力的大量微型传感器节点组成,通过

无线通信方式形成的一个多跳的自配置的网络系统,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息,并发送给观察者。强大的数据获取和处理能力使得其应用范围十分广泛,可以被应用于军事、防爆、救灾、环境、医疗、家居、工业等领域,无线传感器网络已得到越来越多的关注^[1-4]。美国《技术评论》在预测未来技术发展的报告中,将无线传感器网络列为 21 世纪改变世界的十大新兴技术之首^[5]。由此可见,无线传感器网络的出现将会给人类社会带来巨大的变革。

收稿日期:2010-08-02

基金项目:江苏省“六大人才高峰”资助项目(第五批)(2008-JX-14);江苏省高校自然科学基金资助项目(08KJD460007);金陵科技学院科研基金资助项目(Jit-n-201006)

作者简介:司海飞(1978-),男,江苏阜宁人,讲师,主要从事计算机网络、虚拟现实方面的研究. E-mail:sihaif@jit.edu.cn

通信联系人:杨 忠,男,工学博士,教授. E-mail: yz@jit.edu.cn

本研究主要论述了无线传感器网络研究现状与应用。

1 无线传感器网络的组成结构

1.1 无线传感器网络体系结构

典型的无线传感器网络结构如图 1 所示,传感器节点经多跳转发,再把传感信息送给用户使用,系统构架包括分布式无线传感器节点群、汇集节点、传输介质(Internet 或卫星通信)和网络用户端。节点通过飞行器撒播、人工埋置或火箭弹射等方式任意散落在被监测区域内^[6-7]。传感网络是核心,在感知区域中,大量的节点以无线自组网(ad-hoc network)方式进行通信,每个节点都可充当路由器的角色,并且每个节点都具备动态搜索、定位和恢复连接的能力,传感器节点将所探测到的有用信息通过初步的数据处理和信息融合之后传送给用户,数据传送的过程是通过相邻节点接力传送的方式传回基站,然后通过基站以卫星信道或者有线网络连接的方式传送给最终用户^[8]。

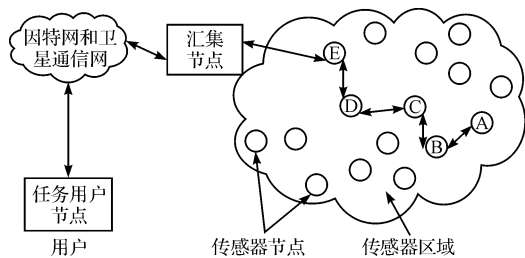


图 1 无线传感器网络体系结构

1.2 无线传感器网络节点结构

节点是无线传感器网络的基本功能单元,典型的节点结构如图 2 所示,主要包括数据采集模块(传感器、A/D 转换器)、数据处理和控制模块(微处理器、存储器)、无线通信模块(无线收发器)和供电模块(电池、能量转换器)这 4 部分。数据采集模块负责监测区域内信息的采集和数据转换,传感器用于感知、获取外界的信息,被检测的物理信号决定了传感器的类型,A/D 转换器将物理信号转换为数字信号;数据处理和控制模块负责控制整个传感器节点的操作,微处理器负责协调节点各部分的工作,通常选用嵌入式 CPU;

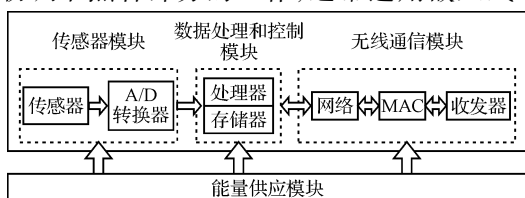


图 2 无线传感器网络节点结构

数据传输模块负责与其他传感器节点进行无线通信,交换控制消息和收发采集数据;供电模块为传感器节点提供正常工作所必需的能量。

2 无线传感器网络的特点

作为一种新型的网络,无线传感器网络主要有如下特点:

(1) 电源能力局限性。节点通常由电池供电,每个节点的能源是有限的,一旦电池能量耗尽,节点就会停止正常工作。

(2) 节点数量多。为了获取精确信息,在监测区域通常部署大量传感器节点,通过分布式处理大量采集的信息能够提高监测的精确度,降低对单个节点传感器的精度要求;大量冗余节点的存在,使得系统具有很强的容错性能;大量节点能够增大覆盖的监测区域,减少洞穴或盲区。

(3) 动态拓扑。无线传感器网络是一个动态的网络,节点可以随处移动^[9];某个节点可能会因为电池能量耗尽或其他故障,退出网络运行;也可能由于工作的需要而被添加到网络中。

(4) 自组织网络。在无线传感器网络应用中,通常情况下传感器节点的位置不能预先精确设定。节点之间的相互邻居关系也不能预先知道,如通过飞机撒播大量传感器节点到面积广阔的原始森林中,或随意放置到人不可到达或危险的区域。这样就要求传感器节点具有自组织的能力,能够自动进行配置和管理。无线传感器网络的自组织性还要求能够适应网络拓扑结构的动态变化。

(5) 多跳路由。网络中节点通信距离一般在几十到几百米范围内,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。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,也可以是信息的转发者。

(6) 以数据为中心。传感器网络中的节点采用编号标识,节点编号不需要全网唯一。由于传感器节点随机部署,节点编号与节点位置之间的关系是完全动态的,没有必然联系。用户查询事件时,直接将所关心的事件通告给网络,而不是通告给某个确定编号的节点。网络在获得指定事件的信息后汇报给用户。这是一种以数据本身作为查询或者传输线索的思想。所以通常说传感器网络是一个以数据为中心的网络。

3 国内外无线传感器网络研究现状

无线传感器网络具有重要的科研价值和广泛的应用前景,它的出现引起了国内外的广泛关注,其研究历史不长,但发展很快。

3.1 国外无线传感器网络的研究现状

1998年,美国国防部提出了“智能尘埃”的概念,最先开始无线传感器网络技术的研究,目的是为监控敌方的活动情况而不被察觉。2001年,美国陆军提出“灵巧传感器网络通信”计划,将无人值守式弹药、传感器和未来战斗系统所用的机器人系统连成网络,以便成倍提高单一传感器的能力,从而提高未来战斗系统的生存能力^[10]。2002年,英特尔公司发布了“基于微型传感器网络的新型计算发展规划”,该规划主要致力于微型传感器网络在医学、环境监测、森林灭火、海底板块和行星探测等领域的应用。同年欧盟提出了一项为期3年的EYES(自组织和协作有效能量的传感器网络)计划,主要研究无线传感器网络的构架、节点的协作、网络协议和安全等。

美国科学基金委员会2003年制定了无线传感器网络研究计划,研究领域涉及能感知有毒化学物、生物攻击等的传感器节点、分布环境下传感器网络的特性等问题。2005年,对网络技术和系统的研究计划中,主要研究下一代可靠性高、安全的可扩展的网络、可编程的无线网络及传感器系统的网络特性,资助金额达4000万美元。此外,美国交通部、能源部、美国国家航空航天局也相继启动了相关的研究项目。美国著名院校几乎都有研究小组在从事无线传感器网络相关技术的研究。加州大学伯克利分校、麻省理工学院、康奈尔大学、哈佛大学等在无线传感器网络研究领域成绩较为突出。

加拿大、英国、德国、意大利和日本等国家的研究机构也加入了无线传感器网络的研究。欧盟的 Philips、France Telecom、Siemens、Ericsson 等公司,日本的 NEC、欧姆龙、OKI、Sky2 等公司都开展了无线传感器网络的研究。

3.2 国内无线传感器网络的研究现状

我国无线传感器网络及其应用研究几乎与发达国家同步启动,首次正式出现于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”中。国内的一些科研单位和大学,如中国科学院自动化所、软件所及清华大学、哈尔滨工业大学从2002年开始在时间同步与定位、传感器数据管理

系统方面开展了研究工作。重庆大学也在同一时间开始研究嵌入式无线传感器网络节点、可重构技术、无线传感器中的定位等技术。2004年,中国国家自然科学基金委员会将一项无线传感器网络项目(面上传感器网络的分布自治系统关键技术及协调控制理论)列为重点研究项目;2005年,将无线传感器网络基础理论和关键技术列入计划;2006年,将水下移动传感器网络的关键技术列为重点研究项目。国家发改委下一代互联网(CNGI)示范工程中,也部署了无线传感器网络相关的课题。2006年初发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》为信息技术定义了3个前沿方向,其中2个与无线传感器网络的研究直接相关,即智能感知技术和自组织网络技术。

国内也有越来越多的企业开始关注无线传感器网络技术的发展,开始推出针对无线传感器网络及 Zig-Bee 的解决方案。

4 无线传感器网络的主要应用

由于无线传感器网络可以在任何时间、地点和任何环境条件下获取大量详实而可靠的信息,因此,无线传感器网络作为一种新型的信息获取系统,具有极其广阔的应用前景,可被广泛应用于国防军事、环境监测、设施农业、医疗卫生、智能家居、交通管理、制造业、反恐抗灾等领域。

4.1 军事应用

早在20世纪90年代美国就开始了无线传感器网络的军事应用研究工作。无线传感器网络非常适合应用于恶劣的战场环境中,能够实现监测敌军区域内的兵力和装备,实时监测战场状况、定位目标物、监测核攻击或者生物化学攻击等。

“智能尘埃”和“沙地直线”是两个很有代表性的军事应用研究项目。“智能尘埃”是一个由具有计算能力的低成本、低功耗的超微型传感器所组成的网络,该网络可以监测周围的环境温度、光亮度和振动程度,它甚至还可以察觉到周围是否存在辐射或有毒化学物质。美俄亥俄州正在开发的“沙地直线”,能够侦测运动的高金属含量目标。2005年,美国军方采用 Crossbow 公司节点构建了枪声定位系统,节点部署于目标建筑物周围,利用构成的监测网络来监测各类突发事件,从而为反恐、救护提供了有力的帮助。

4.2 医疗卫生应用

随着室内网络普及化,无线传感器网络在医疗研究、护理领域也大展身手。主要包括远程健康管理、重

症病人或老龄人看护、生活支持设备、病理数据实时采集与管理、紧急救护等。

罗彻斯特大学的科学家使用无线传感器创建了一个智能医疗房间,使用微尘来测量居住者的血压、脉搏、呼吸、睡觉姿势以及每天的活动状况。英特尔公司也推出了无线传感器网络的家庭护理技术,通过在鞋、家俱以及家用电器等中嵌入半导体传感器,帮助老年人以及残障人士的家庭生活,利用无线通信将各传感器联网可高效传递必要的信息从而方便接受护理,而且还可以减轻护理人员的负担。

4.3 环境及农业方面应用

环境及农业方面领域包括:植物的生长环境、动物的活动环境、生化监测、精准农业监测、森林火灾监测、洪水监测等^[11]。如在大型的育苗场或农田灌溉区,可利用无线网络为农业研究或系统控制采集相关的参数,可以检测土壤湿度和空气湿度以控制灌溉,也可通过所选点所测得的各项参数进行田间研究分析与生态气候研究。可以用它来研究森林生态及沙漠气候,检测区域性的空气污染,或进行野外观察—可以利用无线传感器系统监测牧场中牛的活动,防止两头牛相互争斗;在多山区域部署无线传感器网络系统监测泥石流,在灾难发生前预测泥石流的发生。

4.4 智能家居建筑中的应用

对珍贵的古老建筑进行保护,是文物保护单位长期以来的一个工作重点。将具有温度、湿度、压力、加速度、光照等传感器的节点布放在重点保护对象当中,无需拉线钻孔,便可有效地对建筑物进行长期的监测。此外,采用无线传感器网络,可以让楼宇、桥梁和其它建筑物能够自动感觉并监测到它们本身的状况,使得安装了传感器网络的智能建筑自动将它们的状态信息发送到管理部门,从而可以使管理部门按照优先级来进行一系列的修复工作。在居家生活中,可以在家电和家具中嵌入传感器节点,通过无线网络与 Internet 连接,将会为人们提供舒适、方便和更具人性化的智能家居环境。通过布置于房间内的温度、湿度、光照、空气成分等无线传感器,感知居室不同部位的微观状况,从而对空调、门窗以及其他家电进行自动控制,提供给人们智能、舒适的居住环境^[12-13]。一个典型的智能家居监测系统结构图如图 3 所示。

4.5 其他应用

无线传感器网络还可用于交通控制,一些危险的工业环境,如:井矿、核电厂等。工作人员可以通过使用特殊的传感器,特别是生物化学传感器监测有害物、

危险物等信息^[14],最大限度地减少其对人民群众生命安全造成的伤害。此外还可以用于工业自动化生产线等诸多领域,英特尔正在对工厂中的一个无线网络进行测试,该网络由 40 台机器上的 210 个传感器组成,这种监控系统将大大改善工厂的运作条件,可以大幅降低检查设备的成本,同时由于可以提前发现问题,因此将能够缩短停机时间,提高效率,并延长设备的使用时间。

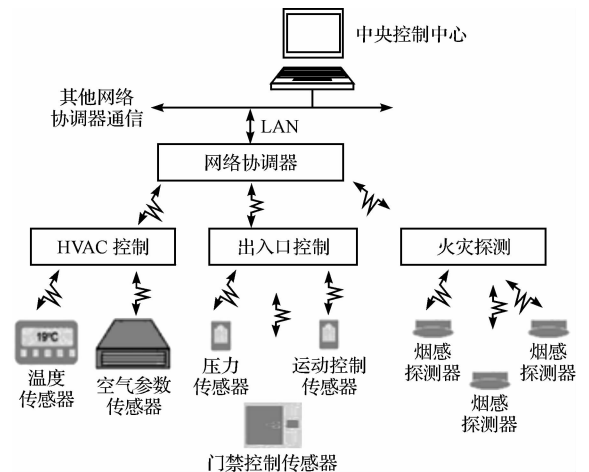


图 3 无线传感器网络在智能家居监测系统的应用

5 无线传感器网络的研究热点及进展

目前对于无线传感器网络本身的研究热点主要集中在 3 个方面的关键技术:网络通信协议、网络管理技术、网络支撑技术。在网络通信协议上,研究重点是数据链路层 MAC 协议和网络层路由协议;在网络管理技术层,研究重点是收集数据的管理、节能降耗问题以及网络通信安全的实现;在网络支撑技术层,主要研究节点定位问题、时间同步技术的实现以及用户应用接口的实现问题。

5.1 MAC 协议

MAC 协议直接控制射频模块,对节点功耗有重要影响,而射频模块是节点中最大的耗能部件,因此到目前为止,能源效率是无线传感器网络 MAC 层协议最主要的设计目标^[15]。

目前,MAC 协议在降低功耗方面主要采用的方法有减少数据流量,增加射频模块休眠时间和冲突避免等。其中,减少数据流量是最根本的解决方案,目前主要靠在网络层或者在数据链路层上增加一个数据融合层来实现。但在 MAC 层是否能够进行数据融合以及如何如何进行数据融合是目前研究较少的领域,还没有成熟的研究成果。

5.2 路由协议

路由协议的主要任务是在传感器节点和 sink 节点间建立路由,可靠地传递数据。其首要设计原则是节省能量,延长网络系统的生存期。协议不能太复杂、不能在节点保存太多的状态信息、节点间不能交换太多的路由信息;同时应尽量避免发送冗余信息,减少能量的浪费^[16-17]。

最近几年比较新的路由协议可归为以下几种:能量感知路由;以数据为中心的路由;洪泛式路由;基于地理位置的路由。也有许多新的路由协议被提出,但目前仍然有很多关键问题未解决,如节能与通信服务质量的平衡、面向应用的路由协议、安全路由协议等问题。

5.3 节能降耗

由于传感器网络节点分布众多、覆盖范围大、工作环境复杂,因而通过更换电池来延长网络工作寿命的方法是不现实的。对于整个传感器网络而言,必须在设计时就充分考虑节能降耗问题,使得节点生存时间长达数月甚至数年,以尽可能少的能量完成尽可能多的任务。

目前,对于节能问题的研究中,休眠机制是节省能源的最有效的方式之一。由于传感器节点监测事件的偶发性,没有必要让所有单元均工作在正常状态下,此时即可启用休眠模式,能自适应的休眠和唤醒,进行突发工作,节省能量。另外根据负载状态动态调节供电电压,形成一个闭环控制系统,也可达到节省能量的功效。

5.4 节点定位

节点定位是指确定传感器节点的相对位置或绝对位置,节点所采集到的数据必须结合其在测量坐标系内的位置信息才有意义^[18]。

目前,基于测量距离的定位方法需要附加硬件设备,与测量距离无关的定位方法精度低。GPS 技术是最为流行的一种绝对位置定位技术,但是由于成本、功耗、扩展性的问题不可能广泛使用。一般采用的方法是少数节点预先配置或者通过 GPS 得知自身位置信息而作为信标节点,其他节点依靠信息计算出自身的绝对位置。当前主要的研究难点是如何预先摆放一些信标节点,使得普通节点的随机摆放可以取得更好效果^[19]。另外,定位精度评估、网络拓扑结构对定位的影响等问题也有待于进一步解决。

5.5 网络安全

无线传感器网络多用于军事、商业领域,安全性是

其重要的研究内容。由于传感器网络中节点随机部署、网络拓扑的动态性以及信道的不稳定性,使传统的安全机制无法适用。因此需要设计新的网络安全机制。可借鉴扩频通信、接入认证/鉴权、数据水印、数据加密等技术^[20]。

目前,无线传感器网络安全问题的研究工作相对较少,还存在着很多挑战性的问题,如安全路由方法、安全网内数据处理技术、低能耗加密方法、入侵模型和入侵抵御方法、支持新节点加入的密钥预分配技术等。

6 结束语

无线传感器网络作为一种无基础架构的分布式多跳无线通信系统,它无需铺设固定的基础网络设施,利用具有路由功能的节点,可以动态、灵活地组成网络,将被广泛应用于军事和民用领域,随着相应基础性问题 and 关键技术的解决,无线传感器网络市场潜力非常巨大。

参考文献(References):

- [1] 任丰原,黄海宁,林 闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003,14(2):1148-1157.
- [2] BAHL P, PADMANABHAN V N. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system[C]//In: Proceedings of the IEEE INFOCOM 2000. Vol. 2, Tel Aviv: IEEE Computer and Communications Societies,2000:775-784.
- [3] BULUSU N, HEIDEMANN J, ESTRIN D. GPS-Less low cost outdoor localization for very small devices [J]. **IEEE Personal Communications**,2000,7(5):28-34.
- [4] 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.
- [5] JENNIFER Y, BISWANATH M, DIPAK G. Wireless sensor networks survey[J]. **Computer Networks**,2008,52(12):2292-2330.
- [6] KUORILEHTO M, HANNIKAINEN M, HAMALAINEN T D. A survey of application distribution in wireless sensor networks[J]. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**,2005,5(5):774-788.
- [7] BOJKOVIC Z, BAKMAZ B. A survey on wireless sensor networks deployment[J]. **World Scientific and Engineering Academy and Society**,2008,7(12):1172-1181.
- [8] DIETRICH I, DRESSLER F. On the lifetime of wireless sensor networks[J]. **Transactions on Sensor Networks**, 2009,5(1):1-39.
- [9] KOHVAKKA M, SUHONEN J, KUORILEHTO M, et al. Energy-efficient neighbor discovery protocol for mobile wireless sensor networks[J]. **Ad Hoc Networks**,2009,7(1):24-41.

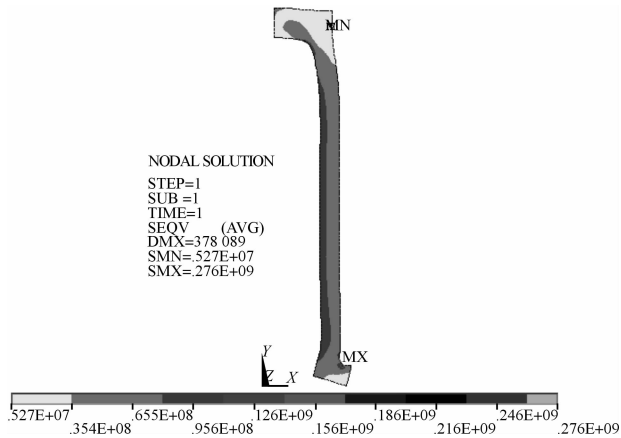


图6 结构优化后的等效力图

按照原有受力条件重新进行模拟受力分析,从图6可以看出优化后的最大应力较之前缩小至 0.276×10^9 Pa,原设计尺寸下最大应力为 0.317×10^9 Pa。

5 结束语

首先根据理论公式设计出符合要求的液压缸结构,通过有限元分析优化理论,在 ANSYS 中建立了主液压缸的参数化模型,并利用优化模块对其进行了优化分析。优化后的液压缸减重达 609 kg,既节约材料,降低了成本,又减小了局部结构加工制造及装配难度。最后利用 ANSYS 对优化设计后的结构进行检验,应力分析结果证明了优化设计结果的正确性。该方法弥补了传统的经验设计方法的不足,将有理论设计、有限元分析及优化法结合起来,既能保证设计结果的准确性,

又可以使结构达到最优化。

参考文献 (References):

- [1] 邓建新, 绍明, 游东东. 挤压铸造设备现状及发展分析[J]. 铸造, 2008(7): 643-646.
- [2] 赵升吨, 王军, 白振岳, 等. 法兰支承液压缸结构的遗传算法优化设计[J]. 锻压技术, 2008, 33(2): 95-99.
- [3] 机械设计手册编委会. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [4] 俞新陆. 液压机的设计与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [5] 冯瑞年. YA320_500 四柱液压机结构与有限元分析和优化设计[D]. 武汉: 武汉理工大学机电学院, 2009.
- [6] 王春辉, 赵升吨, 谢嘉. 大型快锻液压机法兰支撑液压缸优化设计及参数敏感性分析[J]. 西安交通大学学报, 2009(2): 42-45.
- [7] BIRYUKOV B N. Selecting the optimal design parameters for axial reciprocating hydraulic machines[J]. **Soviet engineering research**, 1984(12): 2-5.
- [8] MICHELENA N F, AGOGINO A M. Multiobjective hydraulic cylinder design[J]. **Journal of mechanisms, transmissions, and automation in design**, 1988(3): 81-87.
- [9] GILBERT J T, STINSON G A. A Hydraulic Cylinder Design for Optimal Durability and Manufacture[M]. SAE Special Publications, 1985: 29-32.
- [10] 余伟伟, 高炳军. ANSYS 在机械与化工装备中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.

[编辑: 张翔]

(上接第 20 页)

- [10] 杜晓明, 陈岩. 无线传感器网络研究现状与应用[J]. 北京工商大学学报, 2008, 26(1): 41-43.
- [11] LAFFEY D, BUCKLEY J, O'FLYNN B. The development of environmentally tested antennas for wireless sensor networks[J]. **EmNets'07**, 2007(6): 73-77.
- [12] 尹航, 张奇松, 程志林. 基于 ZigBee 无线网络的温湿度监测系统[J]. 机电工程, 2008, 25(11): 20-23.
- [13] 齐楠, 韩波, 李平. 基于 ZigBee 技术的智能家庭无线传感器网络的设计[J]. 机电工程, 2007, 24(2): 20-22.
- [14] LIU K, CHEN L, LIU Yun-hao. Robust and efficient aggregate query processing in wireless sensor networks[J]. **Mobile Networks and Applications**, 2008(13): 212-227.
- [15] E. EGEEA-LO'PEZ J, VALES-ALONSO A S, MARTI'NEZ-SALA, et al. A wireless sensor networks MAC protocol for real-time applications [J]. **Personal and Ubiquitous Computing**, 2008, 12(2): 111-122.
- [16] 赵洪磊, 王英龙, 张先毅. 无线传感器网络热点问题的研究[J]. 信息技术与信息化, 2008(2): 50-52.
- [17] 童孟军, 张晓娟. 无线传感器网络路由协议改进方案[J]. 机电工程, 2009, 26(9): 20-22.
- [18] CUI Xun-xue, SHAN Zhi-guan, LIU Jian-jun. Distributed localization for anchorfree sensor networks [J]. **Systems Engineering and Electronics**, 2008, 19(3): 405-418.
- [19] 王福豹, 史龙, 任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 857-868.
- [20] ALZAID H, FOO E, NIETO J G. Secure Data Aggregation in Wireless Sensor Network: a survey [C]//Proc. 6th Australasian Information Security Conference, Wollongong, Australia, 2008: 93-105.

[编辑: 柴福莉]