

无线传感器网络及其应用

郑增威^{1,2} 吴朝晖¹ 金水祥³

(浙江大学计算机与技术学院 杭州310027)¹ (浙江大学城市学院 杭州310015)²

(临安市劳动和社会保障办公室 临安311300)³

Wireless Sensor Networks and their Applications

ZHENG Zeng-Wei^{1,2} WU Zhao-Hui¹ JIN Shui-Xiang³

(College of Computer Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027)¹

(City College, Zhejiang University, Hangzhou 310015)² (Office of Labour and Social Security, Lin'an County, Lin'an 311300)³

Abstract As a result of combination of microsensor technology, low power computing and wireless networking, wireless sensor networks are becoming an active branch of computer science. In this paper, we introduce the up-to-date research work of wireless sensor networks. First, we simply introduce the background of producing wireless sensor networks. Then, we describe their characteristics and application scopes. Finally we suggest the research direction in wireless sensor networks in the future.

Keywords Wireless sensor networks, Mobile Ad Hoc network, Sensor

1 引言

随着计算机软硬件技术、传感器技术的不断发展, Mark Weiser^[1]于1988年大胆提出“Ubiquitous Computing (简称 Ubicomp 或 UC)”思想,即文献中常出现的“普适计算”^[2](Pervasive Computing)。其基本思想是为用户提供服务的普适计算技术将从用户意识中彻底消失,用户和周围环境(无数大大小小的计算设备)在潜意识上进行交互,用户不会有意识地弄清楚服务来自周围何处的普适计算技术,就好比每天重复着开电灯、关电灯动作,却不会有意识地问自己电来自何方发电厂一样。随后,一些研究机构为实现 Mark Weiser 思想提出一系列相关的研究计划。如:MIT 提出著名的“氧气计划”(“Oxygen Project”^[3]),希望通过该计划推动计算、通信和传感器等技术的发展,实现人和机器更为友好的交互。

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, 简称 WSNs)正是计算、通信和传感器这3项技术相结合的产物,目前成为计算机科学领域一个活跃的研究分支。本文主要介绍国外无线传感器网络研究现状。从结构上看,首先简要介绍无线传感器网络特征和应用,然后,对正在进行的研究热点进行概括性描述,最后,得出结论。

2 无线传感器网络简介

2.1 无线传感器网络特征

无线传感器网络由许许多多功能相同或不同的无线传感器节点组成。每一个传感器节点由数据采集模块(传感器、A/D 转换器)、数据处理和控制模块(微处理器、存储器)、通信模块(无线收发器)和供电模块(电池、DC/DC 能量转换器)等组成^[4,5](如图1所示)。节点在网络中可以充当数据采集者、数据中转站或类头节点(cluster-head node)的角色。作为数据采集者,数据采集模块收集周围环境的数据(如温度、湿

度)^[6],通过通信路由协议直接或间接将数据传输给远方基站(base station)或汇节点(sink node);作为数据中转站,节点除了完成采集任务外,还要接收邻居节点的数据,将其转发给距离基站更近的邻居节点或者直接转发到基站或汇节点;作为类头节点,节点负责收集该类内所有节点采集的数据,经数据融合后,发送到基站或汇节点。

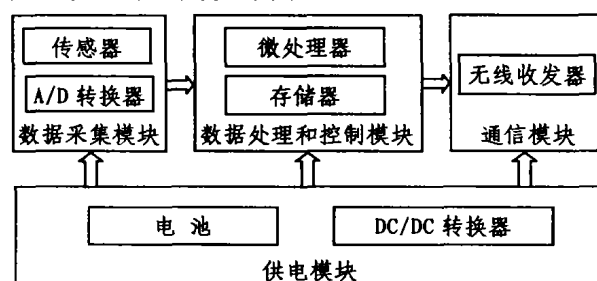


图1 传感器节点结构框图

相对于传统无线网络,无线传感器网络具有一些明显的特征:

第一,网络节点密度高,传感器节点数量众多,单位面积所拥有的网络节点数远大于传统的无线网络。

第二,传感器节点由电池供电,节点能量有限。由于节点数量多,而且无线传感器网络往往应用于人烟荒芜的地方或人们难以直接操作的地方,因此更换传感器节点电池是不现实的。这决定了传感器节点生命和网络寿命的有限性。

第三,网络节点间自我组织(self-organizing)通信。传感器节点是自主的、自治的,节点之间以 Ad Hoc 方式通信,不同于传统无线网络的中心控制通信模式。

第四,网络拓扑变化频繁。由于节点能量有限,节点易出故障,导致无线传感器网络拓扑信息变化快速。

第五,网络应具备容错能力。传感器节点所处的环境通常

郑增威 博士生,主要研究领域为人工智能、网络计算。吴朝晖 博士,教授,博士生导师,主要研究领域为人工智能、网络计算、软件工程、智能CAD等。金水祥 学士,公务员,主要研究领域为计算机应用。

是恶劣的(如噪音多、风吹雨淋等),导致节点易受干扰,易出错。这要求无线传感器网络应具有容错能力才会有应用前景。

此外,节点体积限制、能量有限决定了节点只能具备有限的计算存储能力和短距离通信能力。

2.2 无线传感器网络应用

在许多领域,无线传感器网络均有重要的应用^[7~20]。在军事上,使用声音、压力等传感器可以侦探敌方阵地动静,人员、车辆行动情况,实现战场实时监督、战场损失评估等;在商业上,无线传感器网络可实现家居环境、工作环境智能化^[18~20];在医疗上,可以远程实时监控病人、老人身体状况^[14~17],如实时掌握血压、血糖、脉搏等情况,一旦发生危急情况可在第一时间实施救助,也可实现在人体内植入人工视网膜(由传感器阵列组成)让盲人重见光明^[8];在环境方面,可以实现诸如野生动植物栖息地生态环境监控^[7]、生物多样性监控^[10]、森林火情监控、河道水文监测^[9]、水灾预警^[11~13]等作用。

3 研究现状和热点

在无线传感器网络中,节点能量有限性严重制约无线传感器网络的使用寿命,无线通信带宽窄、易受干扰特点决定了无线传感器网络数据传输易出错、易被窃取。所以,设计易部署安装、寿命长、容错能力强、传输安全的无线传感器网络就成了研究人员努力追求的目标。

一些政府机构非常重视这一领域的研究工作(见表1)。如美国的 DARPA^[22](美国国防部高级研究计划局)和 NSF(National Science Foundation)投入大量资金支持高校和科研机构研究无线传感器网络。

表1 有关 WSN 的部分研究项目

项目名称	网址
Smart Dust	http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/
LEACH	http://nms.lcs.mit.edu/projects/leach/
μ AMPS	http://www-mtl.mit.edu/research/icsystems/uamps/
WINS	http://www.janet.ucla.edu/WINS/
Retina Prosthesis	http://www.ece.ncsu.edu/erl/erl-eye.html
Biomedical Sensors	http://newslab.cs.wayne.edu/projects.htm
ISIS	http://www.control.isy.liu.se/isis/projects/sensorfusion.html
JPL Sensor Webs	http://sensorwebs.jpl.nasa.gov/
SensoNet	http://users.ece.gatech.edu/~weilian/Sensor/
Environmental Sensor Demonstration	http://www.oxley.co.uk/odc/esdp/

在无线传感器网络中,节点能量主要消耗在数据采集、数据计算、数据传输3方面,其中,数据传输消耗能量最大^[4,21]。

针对数据计算所采取的节能措施主要是:第一,对节点采集的数据进行局部处理,如数据融合(Data Fusion)技术,减少网络总计算量;第二,节点采用支持 DVS(Dynamic Voltage Scaling)^[23,24]技术的微处理器芯片(如 StrongARM SA-1100^[27,28]),同时安装具有动态能量管理(Dynamic Power Management, DPM)^[23,25]功能的嵌入式操作系统(如 MIT 的

μ -OS^[26])。

DVS 技术是一种用于创建能量可伸缩(Energy-Scalable)传感器应用系统的专项技术,根据系统工作负载动态调整微处理器操作电压和频率,使得满足性能要求的同时,节约节点计算所消耗的能量。

因此,支持 DVS 技术的微处理器芯片必须在多种电压值上运行。比如: Intel 公司的 StrongARM SA-1100^[27,28]芯片内核可在 0.9V~1.6V 之间 20 种不同的电压值上运行。Intel 公司还计划开发 StrongARM 系列支持 DVS 技术的下一代超低能耗芯片^[29]。

DPM^[23]是一种适应 DVS 技术发展需要而增加的操作系统新功能。根据节点不同时期的实际需要,操作系统使节点各组件处于不同的运行状态,指示微处理器按照节点各组件负荷情况动态调整其工作电压和频率,达到节能目的。

数据传输涉及网络通信路由协议。传统的无线网络路由协议设计一般将服务质量(QoS)高放在第一位,能效高放在第二位考虑,所以,无线传感器网络特征所决定的讲究高能效的通信路由协议无法采用传统的路由算法。因此,目前研究人员致力于开发新的能效高的通信路由协议。现有文献中出现的适用于无线传感器网络的路由协议主要有: SPIN(Sensor Protocol for Information via Negotiation)^[4,30,31]、Directed diffusion^[32,33]和 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)^[34,35]。

结论 综观以上论述,尽管 DVS 技术对延长无线传感器网络寿命有所帮助,尽管研究人员已开发出诸如 SPIN、Directed diffusion、LEACH 等路由协议,但是,无线传感器网络要做到实用,还有许多问题有待于进一步解决。比如:需要开发更为通用的能效高的路由协议,还应开发相应的安全传输协议。

参考文献

- Weiser W. The Computer for the 21st Century. Sci. Amer., Sept. 1991
- 郑增威,吴朝晖,单永亮. 普适计算综述. 计算机科学, 2003(4)
- <http://oxygen.lcs.mit.edu/>
- Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E. A Survey on Sensor Networks. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102~114
- Wang A, Chandrakasan A. Energy-efficient DSPs for wireless sensor networks. IEEE Signal Processing Magazine, 2002, 19(4): 68~78
- Estrin D, Govindan R, Heidemann J, Kumar S. Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks. In: Proc. of the ACM MobiCom'99, Seattle, Washington, 1999. 263~270
- Mainwaring A, Polastre J, Szewczyk R, Culler D. Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring. ACM WSNA'02, Atlanta, Georgia, Sept. 2002
- Schwiebert L, et al. Research Challenges in Wireless Networks of Biomedical Sensors. MobiCOM'01, 2001. 151~165
- Steere D C, et al. Research Challenges in Environmental Observation and Forecasting Systems. In: Proc. 6 ACM/IEEE MobiCOM, Aug. 2000. 292~299
- Cerpa A, Elson J, Hamilton M, Zhao J. Habitat monitoring: application driver for wireless communications technology. ACM SIGCOMM'2000, Costa, Rica, April 2001
- Bonnet P, Gehrke J, Seshadri P. Querying the physical world. IEEE Personal Communications, Oct. 2000. 10~15

- 12 <http://www.alertsystems.org/>
- 13 Imielinski T, Goel S. DataSpace: querying and monitoring deeply networked collections in physical space. ACM International Workshop on Data Engineering for Wireless and Mobile Access MobiDE 1999, Seattle, Washington, 1999. 44~51
- 14 Johnson P, et al. Remote continuous physiological monitoring in the home. Journal of Telemedicine and Telecare, 1996, 2(2): 107~113
- 15 Ogawa M, et al. Fully automated biosignal acquisition in daily routine through 1 month. In: Intl. Conf. on IEEE-EMBS, Hong Kong, 1998. 1947~1950
- 16 Celler B G, et al. An instrumentation system for the remote monitoring of changes in functional health status of the elderly. In: Intl. Conf. IEEE-EMBS, New York, 1994. 908~909
- 17 Coyle G, et al. Home telecare for the elderly. Journal of Telemedicine and Telecare, 1995(1): 183~184
- 18 Essa I A. Ubiquitous sensing for smart and aware environments. IEEE Personal Communications, Oct. 2000. 47~49
- 19 Herring C, Kaplan S. Component-based software systems for smart environments. IEEE Personal Communications, Oct. 2000. 60~61
- 20 Petriu E M, et al. Sensor-based information appliances. IEEE Instrumentation and Measurement Magazine, Dec. 2000. 31~35
- 21 Pottie G J, Kaiser W J. Wireless integrated network sensors. ACM Communications, 2000, 43(5): 51~58
- 22 <http://www.darpa.mil/body/pdf/FY03BudEst.pdf>
- 23 Sinha A, Chandrakasan A. Dynamic power management in wireless sensor networks. IEEE Design & Test of Computers, 2001, 18(2): 62~74
- 24 Mm R, Fun'er T, Chandrakasan A P. Dynamic voltage scaling techniques for distributed microsensor networks. In: Proc. IEEE Computer Society Annual Workshop VLSI (WVLSI '00), Orlando, FL, Apr. 2000. 43~46
- 25 Sinha A, Min P, Furrer T, Chandrakasan A. Operating System Directed Power management in Wireless Sensor Networks. the Ninth International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS-IX), Nov. 2000
- 26 The MIT μ AMPS Project. <http://www-mtl.mit.edu/research/icsystems/uamps/>
- 27 <http://developer.intel.com/design/strong/>
- 28 Shih E, et al. Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks. In: Proc. of ACM MobiCom'01, Rome, Italy, July, 2001. 272~286
- 29 <http://www.intel.com/update/archive/issue20/stories/top3.htm>
- 30 Heinzelman W R, Kulik J, Balakrishnan H. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks. In: Proc. of the ACM MobiCom'99, Seattle, Washington, 1999. 174~185
- 31 Kulik J, Heinzelman W R, Balakrishnan H. Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks. Wireless Networks, 2002, 8: 169~185
- 32 Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D. Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks. In: Proc. of the ACM MobiCom'00, Boston, MA, 2000. 56~67
- 33 Estrin D, Govindan R, Heidemann J, Kumar S. Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks. In: Proc. of the ACM MobiCom'99, Seattle, Washington, 1999. 263~270
- 34 Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks. In: IEEE Proc. of the 33rd Intl. Conf. on System Sciences (HICSS '00), Jan. 2000. 1~10
- 35 Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660~670

(上接第112页)

有带宽资源,后来者均能通过带宽的协商获得相应的带宽份额,避免了先入为主的不公平现象。

图5比较了1个多播流与4个TCP流对带宽资源的共享情况,其中多播流选用的参数为 $m=4$ 。在初期阶段(0至40秒),多播会话获得了近36%的带宽资源,而每个TCP会话也获得13%左右的带宽。在 $t=40\sim 50$ 秒期间,经过所有会话对资源的竞争,资源获得重新分配,多播会话让出了部分资源;而TCP会话也获得了相对更多的资源。随后,系统对资源共享进入了相对的平稳期,多播流较为平稳,而TCP会话则出现轻微的波动。

结束语 在资源共享上将多播流等同于单播流会导致众多的多播用户缺乏必要的满意度,降低其使用多播的积极性。本文提出一种基于ECN的实现单播流与多播流带宽共享的算法。算法利用F. Kelly提出的基于拥塞价格的速率控制模型,在带宽资源分配时,将一个多播流获得的带宽份额等同于一个MulTCP,其中MulTCP的参数 m 等于估计出多播用户数的对数。端用户根据网络提供的显式拥塞信号ECN数对速率进行调节,从而完成与单播流的资源共享。仿真结果显示该算法能有效实现既鼓励多播的使用又保证TCP流获得相对公平的资源。

参考文献

- 1 Mankin A, et al. IETF Criteria for Evaluating Reliable Multicast Transport and Application Protocols. IETF RFC 2357, June 1998

- 2 Legout A, et al. Bandwidth Allocation Policies for Unicast and Multicast Flows. INFOCOMM'99, 1999
- 3 Mackie-Mason J K, Varian H. Pricing the Internet. In: B. Kahin, J. Keller, eds. Public Access to the Internet. Prentice-Hall, New Jersey, 1994
- 4 Kelly F P, Maulloo A K, Tan D H K. Rate control in communication networks: Shadow prices, proportional fairness, and stability. J. Oper. Res. Soc., 1998, 49: 237~252
- 5 Kelly F P. Mathematical modelling of the Internet. In: Proc. the Fourth Intl. Congress on Industrial and Applied Mathematics, July 1999
- 6 Ramakrishnan K K, Floyd S. A proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP. RFC 2481, Jan. 1999
- 7 Corwcroft J, Oechslein P. Differentiated end-to-end Internet services using a weighted proportionally fair sharing TCP. ACM Comp. Commun. Rev., 1998, 28: 53~67
- 8 Nonnenmacher J, Biersack E W. Optimal multicast feedback. In: Proc. IEEE Infocom, San Francisco, USA, March 1998
- 9 Gibbens R J, Kelly F P. Distributed connection acceptance control for a connectionless network. in Teletraffic Engineering in a Competitive World. In: Proc. ITC16, P. Key and D. Smith, eds. Elsevier, June 1999. 941~952
- 10 Mathis M, Semke J, Mahdavi J, Ott T. The macroscopic behaviour of the TCP congestion avoidance algorithm. Computer Communication Review, 1997, 27: 67~82
- 11 Wang H, Schwartz M. Achieving bounded fairness for multicast TCP traffic in the Internet. Proc. SIGCOMM'98, 1998