

基于 TinyOS 的微型无线感知网技术研究^{*}

于继明 杨余旺 孙亚民 赵 炜

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)

摘 要 具有感知能力、计算能力和通信能力的微型无线感知网,能够协同地监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息,开始在世界范围内出现。本文在介绍微型无线感知网基本概念和原理的基础上,论述基于 TinyOS 的感知网系统主要组成,然后讨论微型无线感知网中多跳路由协议及其具体应用,最后对 TinyOS 的感知网的感知数据进行处理。本文的研究和实现对于超微型无线感知网应用具有很好的应用价值。

关键词 感知网,微型传感器,多跳路由

TinyOS-based Wireless Micro-sensor Network Technology Research

YU Ji-Min YANG Yu-Wang SUN Yan-Min ZHAO Wei

(Computer Department of Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Abstract Wireless micro-sensor network with sensing, computing and communication abilities can monitor, sense and collect cooperatively information of all kinds of environment and objects, and has being emerged in the world. In this paper based on basic concepts and principle of micro-sensor network, sensing network components are described, then multi-hop routing protocol and its application are discussed, finally the sensing data by TinyOS based sensing network are treated. The research and implementation in this paper is very valuable to super micro-sensing network application.

Keywords Sensing network, Micro-sensor, Multi-hop routing

1 引言

随着通信技术、嵌入式计算技术和传感器技术的飞速发展,具有感知能力、计算能力和通信能力的微型传感器网络开始在世界范围内出现。这种传感器网络又称为感知网,综合了传感器技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和通信技术,能够协作地实时监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息,并对这些信息进行处理。

微型无线感知网可以作为中继路由和监测各种环境或目标对象。

微型无线感知网络安装于灯柱、建筑物、车辆和最终用户设备上的节点之间,使用多跳路由来为用户提供因特网接入。作为中继应用,微型无线感知网络可以设计成网络体系结构中的数据链路转接功能,从而在网络中充当中继器作用。

国防军事应用于战场环境侦察与监视系统等。

国家安全应用可以广泛分布在太空,用于监视对方动态并获取情报,并应用于夺取制天权的信息侦察等方面。

反恐抗灾可以广泛应用于恐怖分子所使用危险品等装备的检测,因为体积很小,并可以分布式、大面积、隐蔽地布置,所以能够探测恐怖分子行踪,并能够布置在危险区域。

环境监测可以利用各种感知芯片技术,例如光、温度、SO₂、CO₂等监测自然环境与居住环境以及工业环境的各种物理现象参数,特别是危害参数。

交通管理方面,把先进的信息技术、数据通信技术、感知技术、控制技术以及计算机处理技术有效地集成,运用于整个地

面交通管理,建立一个在大范围内、全方位发挥作用,并实时、准确、高效的综合交通运输管理系统。

医疗卫生领域,可以对医院重点病房特殊病人的病情监控等,也可以把感知网附着在人体相关部位及体内,进行人体健康状况监控或者病情变化监控,以便在病情恶化时及时自动报警。

电力参数监控,监控输变电网络故障、电力电场各种设备物理参数变化。

由于传感器网络的巨大应用价值,它已经引起了许多国家的军事部门、工业界和学术界的极大关注。美国自然科学基金委员会 2003 年制定了传感器网络研究计划,投资 3400 万美元,支持相关基础理论的研究。

美国国防部和各军事部门都对传感器网络给予了高度重视,在 C4ISR 的基础上提出了 C4KISR 计划,强调战场情报的感知能力、信息的综合能力和信息的利用能力。把传感器网络作为一个重要研究领域,设立了一系列军事传感器网络研究项目。

美国英特尔公司、微软公司等信息工业界巨头也开始了传感器网络方面的工作,纷纷设立或启动相应的行动计划。日本、英国、意大利、巴西等国家也对传感器网络表现出了极大的兴趣,纷纷展开了该领域的研究。

目前,传感器网络理论基础与系统设计实现研究主要领域包括:硬件设计与实现技术;能量供应解决方法;网络组成方式及协议;软件编程特点及要求;网络计算与信息协同处理;网络体系结构等。

^{*} 本文得到国防科技预研基金、国家自然科学基金(60072034)、留学回国人员资助资金(k206001)、南京市人事局基金(AD06003)资助。
于继明 博士研究生,CCF 会员,研究方向:计算机网络;杨余旺 博士,副教授,研究方向:网络通信与模式识别;孙亚民 教授,研究方向:计算机网络;赵 炜 博士研究生,研究方向:计算机网络。

本文在介绍传感器网络基本概念的基础上,论述基于 TinyOS 的感知网组成,然后讨论感知网路由协议及其具体应用,最后对感知数据进行处理。

2 基于 TinyOS 的感知网组成

本文研究的微型无线感知网络组成主要基于加利福尼亚大学及其伯克利分校的技术。主要由接口板、传感器节点 Mica2 和 Mica2Dot、系统软件和应用软件等构成。

感知网络结点集成了处理器(Atmega 128L)、EPROM、串口、无线发射模块(TR1000)、温度感知(AD7418)、光强感知(CL9P4L)等。

因为系统是由电池供电,所以能耗受限。为了减少功耗,各个硬件均采用小体积、低功耗的器件。为了实现系统的微型化,硬件电路采用模块化设计,由主机模块、感知模块、通讯模块、电源模块 4 部分组成。如图 1 所示。

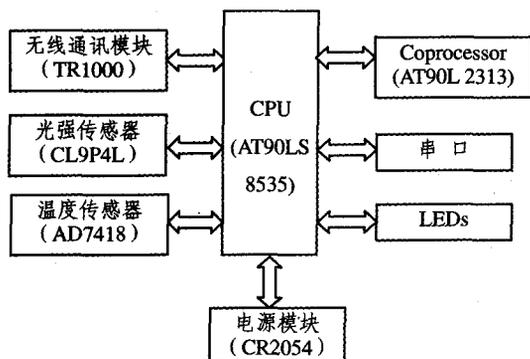


图 1 硬件系统图

主机模块:微处理器采用 ATMEL 公司的 AT90LS8535。AT90LS8535 是 8 位 AVR 单片机,内嵌 8k 内存,用于存储程序代码,还有 512 字节的 RAM 用于存储数据;外接 4MHz 晶振,保证较低功耗。副处理器的主要功能是存储临时数据。

感知模块:光强感知采用 Clairex 公司的 CL9P4L,它实际上就是一个光电二极管,能将光强的变化转化为电阻的变化;温度感知采用 AD 公司的 AD7418。

通讯模块:无线收发器件采用 RFM 公司的 TR1000。TR1000 外围电路简单,具有睡眠模式以降低功耗,可达到 115.2 kbps 的数据传输速率,理想传输环境下有效通讯距离为 1000m。

电源模块:电池采用 Panasonic 公司的 CR2032。感知系统处于收发数据的工作模式下可以连续供电 35h,而处于休眠状态等节能模式下能够供电至少 1a。

TinyOS 操作系统是美国 Berkeley 大学为无线传感网络开发的操作系统。它的内核是 Unix。它不仅可以在 Windows 平台安装(通过虚拟机运行 Unix),也可以安装在 Linux 9.0 以上的环境中。

TinyOS 不仅是一个操作平台(如对各个微尘元件进行定人固件和信息收集等操作),还是一个开发平台和数据处理平台。如:在 TinyOS 操作系统环境下,可以编写 C 程序或者 NetsC 程序,或者 Java、perl、Matlab 等程序,以及编写嵌入式程序等。并且可以很方便地与外挂的开发平台之间进行扩展。

3 感知网路由协议

无线感知网络以 Ad-hoc 网络模式组成,但在具体的架构

设计上,有多种构成形式,主要研究不同形式的网络在功耗、稳定性、功能、扩展性及网络应用上的主要特征和机理。

本文研究的 TinyOS 感知网结构是由若干个子节点和一个中继站的节点组成,每个节点都属于同一个组,并有唯一的节点 ID,有相同的频率,共同组成一个网络。

TinyOS 感知网是一个由所有传感器节点所组成的自治系统,节点之间通过多跳无线链路相互通信,所有的节点利用共享的无线媒质相互联系。图 1 中大一点的矩形节点(Mica2)不仅可以是接收和发送信息的终端,还可以充当其他节点间通信的路由器。图中小的节点(Mica2Dot)只能是接收和发送信息的终端。

正是由于这些节点独有的特点,使得其中的路由技术成为这种网络的关键技术之一。目前,国内外对这一技术做了大量的工作,并且取得了相当成果。

从路由机制来划分,表驱动路由协议(Table-Driven Routing)和随选驱动路由协议(On-Demand Routing)都有可能成为 TinyOS 感知网的多跳路由协议。

表驱动路由协议就是在网络中维持路由驱动表,当网络拓扑发生变化,网络就会更新路由信息,并且这个更新的信息传遍整个网络。表驱动路由协议主要有 DSDV(Destination-Sequenced Distance-Vector)路由、CGSR(Clusterhead Gateway Switch Routing)路由协议、WRP(Wireless Routing Protocol)路由协议。

随选驱动路由(On-Demand Routing)协议就是只有在需要时才去寻找路径的。在源发起的随选驱动路由协议中,只有当源节点需要一条通往目的节点的路径时,它才在网络中发起一次路径发现。路径建立以后,由维护程序进行维护。因此说这类路由是由两部分组成的,路由发现(Route Discovery)和路由维护(Route Maintenance)。主要有 DSR(Dynamic Source Routing)协议、AODV(Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing)路由协议、ABR(Associativity-Based Routing)等。

此外,多跳路由不仅要找到一条从源节点到目的节点的路径,还要满足一定的服务质量要求。已经出现满足 QoS 的 DQoS(R) (Distributed Quality-of-Service Routing) 和 DMSR (Disjoint Multipath source Routing) 等协议。

在 TinyOS 感知网中,多跳在网络拓扑上允许动态改变。设计时还要考虑到尽可能少的能量消耗,以使它能维持几个月或者几年。由于能量供应上的限制,要使网络更持久,多跳协议必须能动态决定哪个节点是可以作为传输数据的上级节点。

在 TinyOS 感知网中,多跳应用按照应用的复杂性和电源管理等方面的差异,可以有不同的选择,有的协议完全没有电源管理方面的考虑,有的协议例如由 UC Berkeley 提出 Flood 协议,它可以扩展网络性能,并具有高级电源管理功能。本文主要应用目标序号距离矢量 DSDV 多跳路由协议。

本文 TinyOS 感知网所研究应用的异构传感网络路由协议(Heterogeneous Sensor Routing, HSN)的协议是 DSDV,在 Intel-Berkeley 实验室发展起来,它有电源管理的特征。DS-DV 路由层提供了实现 DSDV 协议到多跳数据包返回到一个中间收集(sink)节点。当前实现了同一时刻、对一个目标的多对一路由。它包括 hop-count 标准和可靠性标准、一个能量标准、一个 HSN、一个 SoI(Sphere of Influence)标准,并且它可以扩展支持更多的标准。

DSDV 是以传统的 Bellman-Ford 路由选择算法为基础进化而来的。在这种协议下的网络中,每一个节点都保存着一个路由表,凡是有可能与该节点有连接的节点都记录在表中,并且连到这个节点的跳数也一并记录在其中。每一条记录都有一个相应的序列号,用来标记所记录路径的陈旧与否。

DSDV 路由协议的基本路由表见表 1,其中目标是传感器节点地址,序列号是从目标的序号,生成时间是入口产生时间,有助于决定何时删除稳定路由。稳定数据是指向包含稳定信息表的指针。

所研究网络中每个移动节点都需要维护一个路由表。路由表表项包括目的节点、跳数和目的地序号,其中目的地序号由目的节点分配,主要用于判别路由是否过时,并可防止路由环路产生。每个节点周期性必须与邻节点交换路由信息,当然也可以根据路由表的改变来触发路由更新。

路由表更新有两种方式:一种是全部更新(Fulldump),即拓扑更新消息中将包括整个路由表,主要应用于网络变化较快的情况;另一种方式是部分更新(Incrementalupdate),更新消息中仅包含变化的路由部分,通常适用于网络变化较慢的情况。

在 DSDV 中只使用序列号最高的路由。如果两个路由具有相同的序列号,那么将选择最优的路由(如跳数最短)。NS 实现 DSDV 路由协议的具体策略如下:一个没有找到路由的分组到达节点后首先被缓存,同时节点发送路由查询消息,直到接收到来自接收端的路由响应消息。当缓存溢出时,新来的分组将被丢弃。分组到达目的节点后将直接由地址解复用器送到相应的端口,而后由端口将分组送到目的代理。

表 1 目标排序距离矢量路由表

目标	下一跳	度量	序号	生成时间	稳定数据
A	A	0	A-550	001000	Ptr_A
B	B	1	B-102	001200	Ptr_B
C	C	3	C-588	001200	Ptr_C
D	D	4	D-312	001200	Ptr_D

由于网络拓扑是动态变化的,因此经过较长时间以后,可能会使得一些原来的路径变得过时。这种路由可以有效地避免使用过时的路径。但是在每一个节点都维护一个全网的路由信息表,所需要的更新信息是巨大的,特别是在网络规模比较大的情况下。

4 数据处理结果

无线传感网络可以在不同的环境下实现。图 2 的 TinyOS 感知网结构是由若干个子节点和一个中继站的节点组成,每个节点都属于同一个组,并有唯一的节点 ID,有相同的频率,共同组成一个网络,实现对环境光、温度、电池电压等参数的监控。

对于 TinyOS 感知网,我们在管理层上,要实现告警、数据分析与报表输出等功能。如图 3 所示,是监控的原始数据,包括光、温度、电池电压等数据。

对于数据的分析处理及数据库的管理,我们实现了实时管理软件,软件主界面的功能如图 4 所示。

对图形化数据做进一步的处理,如把图形放大,找出某一时刻的对应数值,或者把图形缩小,根据整个图形变化的规律,找出系统变化曲线,并根据数值是否超出阈值进行报警或相关处理,为相关操作人员和决策人员提供数据上的参考。

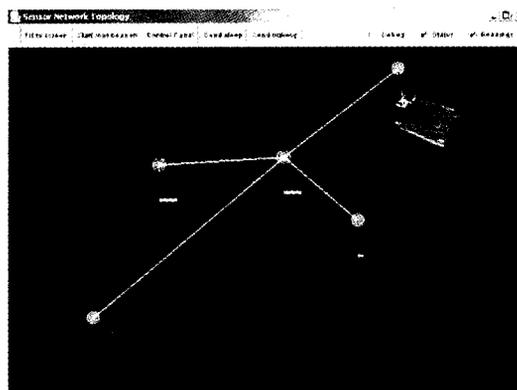


图 2 TinyOS 感知网结构

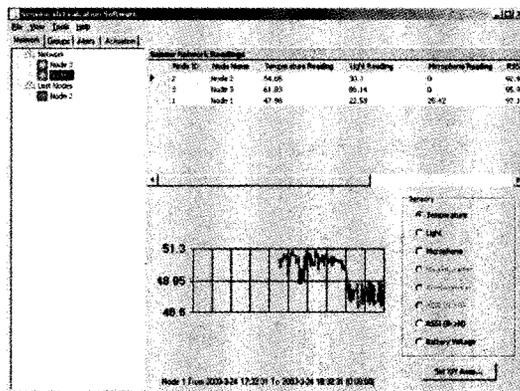


图 3 数据采集与实时展示

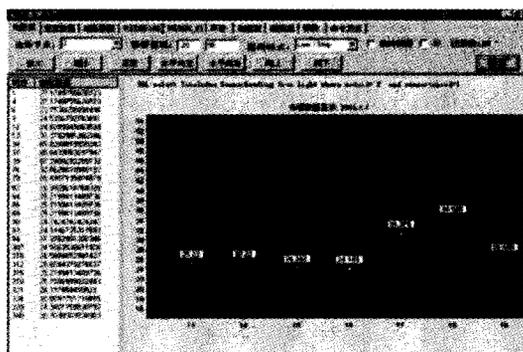


图 4 数据分析处理与管理功能界面

结论 由于微型传感器构成的感知网研究起步于 20 世纪 90 年代末期。从 2000 年起,国际上开始出现一些有关传感器网络研究结果的报道。但是,这些研究成果处于起步阶段,距离实际需求还相差甚远。我国在传感器网络方面的研究工作还很少。微型“MOTE”传感网络作为一个全新的研究领域,在基础理论和工程技术方面涌现大量挑战性研究课题。本文研究得到了一些具体的实际结果,对感知网研究具有重要意义。

参考文献

- 1 Warneke B A, Pister K S J. An Ultra-Low Energy Microcontroller for Smart Dust Wireless Sensor Networks. In: Int'l Solid-State Circuits Conf 2004, (ISSCC 2004), San Francisco, Feb. 2004
- 2 Warneke B. Miniaturizing Sensor Networks with MEMS. In: Ilyas and Mahgoub, eds. Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems, CRC Press, 2004. 5-1~5-

19
 3 李建中, 李金宝, 石胜飞. 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展. 软件学报, 2003, 14(7)
 4 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感网络. 软件学报, 2003, 14(7)
 5 SMART DUST—Autonomous sensing and communication in a cubic millimeter. <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/>
 6 Lu Y, Wang W, Zhong Y, et al. Study of distance vector routing protocols for mobile ad hoc networks. In: Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom) Dallas Fort Worth, Texas, Mar. 2003
 7 Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y, et al. Wireless Sensor Networks: A Survey. Computer Networks, 2002, 38(4): 393~422
 8 Schwiabert L, Gupta S K S, Weinmann J. Research challenges in wireless networks of biomedical sensors. Mobile Computing and Networking, 2001. 151~165
 9 Wang Hanbiao, Elson J, Girod L. Target classification and localization in habitat monitoring. In: Proceedings of the IEEE ICASSP 2003, Hong Kong, April 2003

(上接第 22 页)

表 1 WSNs 覆盖控制算法比较

文献 Article	覆盖能力 Coverage ability	网络连通 Network connectivity	感知范围 Sensing range	可调的通信范围 Adjustable transmission range	时间同步 Time synch.	可扩展性 Network scalability	能量有效性 Energy efficiency	基于位置信息 Location based	能耗负载平衡 Balanced energy consumption
[4]	全覆盖	不连通	布尔	否	是	弱	一般	是	是
[5]	全覆盖	不连通	布尔	否	是	弱	一般	是	是
[6]	全覆盖	不连通	布尔	否	是	一般	弱	是	是
[7]	全覆盖	不连通	布尔	是	是	强	强	否	是
[8]	部分覆盖	不连通	布尔	否	是	强	强	否	是
[9]	部分覆盖	不连通	布尔	否	否	强	强	否	是
[10]	部分覆盖	不连通	布尔	否	是	强	强	否	是
[11]	部分覆盖	连通	随机	是	否	强	强	否	否
[12]	部分覆盖	连通	布尔	否	是	强	强	是	是
[13]	全覆盖	连通	布尔	否	是	强	强	是	是
[14]	全覆盖	连通	布尔	否	否	强	强	是	是
[17]	全覆盖	连通	布尔	否	是	一般	一般	是	是
[18]	全覆盖	连通	布尔	否	是	一般	一般	是	是

总结 无线传感器网络具有广泛的应用背景, 目前已经发展成为一个重要的计算平台。由于无线传感器节点的处理能力、通信带宽以及电池容量等资源极为有限, 通常采用大规模随机方式部署节点, 因此面临许多问题。如何利用冗余节点, 进行有效的覆盖控制, 减少能量消耗, 延长网络寿命成为无线传感器网络重要的研究内容。本文总结了近年来提出的各种覆盖控制问题的、具有代表性的研究成果, 并对相关覆盖控制协议与算法进行了分析比较, 最后指出了目前覆盖控制技术存在的问题, 对全文进行总结。

参 考 文 献

1 Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y, Cayirci E. Wireless sensor networks: a survey. Computer Networks, March 2002
 2 Cardei M, Wu J. Coverage in wireless sensor networks. In: Ilyas M, Magboub I, eds. Handbook of Sensor Networks, chapter 19. CRC Press, 2004
 3 Tilak S, Abu-Ghazaleh N B, Heinzelman W. Infrastructure tradeoffs for sensor networks. In: Proc. of the 1st International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02), Atlanta, USA, September 2002. 49~57
 4 Slijepcevic S, Potkonjak M. Power efficient organization of wireless sensor networks. In: Proc. of IEEE Conference on Communications, Helsinki, Finland, June 2001, 2: 472~476
 5 Cardei M, MarCallum D, Cheng X, Min M, Jia X, Li D, Du D. Wireless sensor networks with energy efficient organization. Journal of Interconnection Networks, 2002, 3(3-4): 213~229
 6 Tian D, Georganas N. A coverage-preserved node scheduling scheme for large wireless sensor network. In: Proc. of First International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02), Atlanta, USA, September 2002. 32~41
 7 Mao Y, Liu M, Chen L, Chen D, Xie L. A Distributed Energy-Efficient Location-Independent Coverage Protocol in Wireless Sensor Networks. Computer Research and Development, 2006, 43(2)
 8 Kumar S, Lai T H, Balogh J. On k-coverage in a mostly sleeping sensor network. In: Proceedings of the 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom '04), 2004. 144~158
 9 Gao Y, Wu K, Li F. Analysis on the redundancy of wireless sensor networks. In: Proc. of the 2nd ACM International Conference on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA 03), September 2003, San Diego, CA
 10 Mao Y, Gong H, Liu M, Chen D, Xie L. An Energy Efficient and Location Independent QoS Protocol for Wireless Sensor Networks. Computer Research and Development, 2006, 43(6)
 11 Ye F, Zhong G, Cheng J, Lu S, Zhang L. PEAS: A robust energy conserving protocol for long-lived sensor network. In: Proc. of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS 2003), 2003. 28~37
 12 Xu Y, Heidemann J, Estrin D. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing. In: Proc. of ACM MOBICOM'01, July 2001. 70~84
 13 Zhang H, Hou J C. Maintaining scheme coverage and connectivity in large sensor networks. In: Proceedings of NSF International Workshop on Theoretical and Algorithmic Aspects of Sensor, Ad Hoc wireless, and Peer-to-Peer Networks, 2004
 14 Wang X, Xing G, Zhang Y, Lu C, Pless R, Gill C. Integrated coverage and connectivity configuration in wireless sensor networks. In: Proc. of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys 2003), 2003. 28~39
 15 Chen B, Jamieson K, Balakrishnan H, Morris R. SPAN: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks. In: Proc. of the International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), 2001
 16 Laouiti A, Qayyum A, Viennot L. Multipoint relaying: An efficient technique for flooding in mobile wireless networks. In: Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, 2002
 17 Carle J, Gallais A, simplot-Ryl D. Preserving Area Coverage in Wireless Sensor Networks by using Surface Coverage Relay Dominating Sets. In: Proc. on ISCC, 2005
 18 Gupta H G, SRD, Gu Q. Connected sensor cover: Self-Organization of sensor networks for efficient query execution. In: Proc. of the ACM Int'l Symposium. on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHOC). New York: ACM Press, 2003. 189~200