

基于 SNMP 的 IPv6 无线传感器网络信息管理平台的设计与实现

方 然 高德云 梁露露 张思东

(北京交通大学电子信息工程学院 北京 100044)

(北京交通大学下一代互联网互联设备国家工程实验室 北京 100044)

摘 要 无线传感器网络(Wireless sensor networks)是随机分布的传感器节点通过分布式协议自组织方式形成的网络,网络管理是保障无线传感器网络稳定、可靠、高效运行的重要条件。讨论研究了现有无线传感器网络管理技术,并结合无线传感器网络的特点和实际需求,在已有 IPv6 无线传感器网络底层协议及 SNMP(简单网络管理协议)的基础上,设计和实现了一个切实可行的符合无线传感器网络特点的节点信息管理平台,以实现用户对无线传感器网络的远程有效管理。

关键词 无线传感器网络,IPv6,SNMP,管理平台

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

SNMP-based Information Management Platform for IPv6 Wireless Sensor Networks

FANG Ran GAO De-yun LIANG Lu-lu ZHANG Si-dong

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

(National Engineering Laboratory for Next Generation Internet Interconnection Devices, Beijing 100044, China)

Abstract Wireless Sensor Networks(WSNs) are composed of a large number of sensor nodes distributed randomly by self-organization distributed protocols. The network management of WSN is an important requisite to guarantee the stability, reliability and high efficiency in WSN. In this paper, the existing technology of network management of WSN was discussed and researched. Combined with the characteristics and practical requirements of the wireless sensor networks, based on the existing basic protocols of IPv6-WSN and SNMP, a wireless sensor network information management platform was designed and realized with the characteristics of wireless sensor networks, to achieve remote and effective management.

Keywords Wireless sensor networks, IPv6, SNMP, Management platform

1 引言

无线传感器网络是由部署在监测区域内部或附近的大量廉价微型传感器节点通过自组织方式构成的网络^[1]。无线传感器网络具有低成本、低能耗、灵活性高、可扩展等优点,可以广泛地应用于国防军事、环境监测和预报、农业监测控制、智能家居、医疗卫生等众多领域。IPv6 是下一代互联网的核心协议,具有地址资源丰富、地址自动配置、支持实时业务、安全性高、移动性好等优点^[2]。将 IPv6 与无线传感器网络结合构建的 IPv6 无线传感器网络,可以满足目前无线传感器网络在地址、安全、移动及与现有网络融合等方面的需求。

无线传感器网络节点的能量、通信能力以及可用资源非常有限;传感器网络内节点数量庞大、可靠性差、动态性强。传感器网络的信息管理系统要能在这些限制条件下去实时有效地监控传感网,并且协助用户去配置和管理传感器网络。

我们考虑在已有 IPv6 无线传感器网络底层协议以及 SNMP 的基础上,结合无线传感器网络的特点和实际需求,设计和实现一个切实可行的符合无线传感器网络特点的节点信息管理平台,实现用户对无线传感器网络远程有效的管理,并提出此 IPv6 无线传感器网络信息管理平台中节点代理端及服务器管理端的实现方法。

本文第 2 节介绍无线传感器网络管理的功能和目前无线传感器网络管理的研究进展;第 3 节描述 IPv6 无线传感器网络管理的系统框架及功能;第 4 节介绍系统各个子系统的设计及模块划分;第 5 节给出方案验证与测试结果;最后总结全文,并提出 IPv6 无线传感器网络管理的未来发展可能。

2 无线传感器网络信息管理

2.1 无线传感器网络信息管理

传感器网络的管理是控制一个复杂的传感器网络,使得

到稿日期:2009-11-10 返修日期:2010-01-21 本文受国家自然科学基金(60802016,60972010),国家 863 高技术研究发展计划(2007AA01Z241)资助。

方 然(1985—),女,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络等,E-mail:08120193@bjtu.edu.cn;高德云(1973—),男,副教授,CCF 高级会员,主要研究方向为无线传感器网络、无线局域网、移动互联网、性能评价等;梁露露(1985—),男,博士生,主要研究方向为无线传感器网络等;张思东(1945—),男,教授,CCF 高级会员,主要研究方向为下一代互联网与无线传感器网络路由等。

它具有最高的监控能力和感知能力的过程。根据进行网络管理的系统的能力,这一过程通常包括数据收集、数据处理,然后提交给管理者,用于网络操作中。它可能还包括分析数据并提供解决方案,进一步还可以产生对管理者管理网络有用的报告。针对传感器网络的特点,其管理功能主要有^[3]:

(1) 故障管理(Fault Management)

为了维持复杂传感器网络的正常操作,传感器网络管理系统需要检测、隔离并修正网络的运行故障。当传感器网络出现故障的时候,网络管理系统必须能够迅速定位故障发生的位置,分析故障产生的原因,并且尽快采取应对措施。

(2) 配置管理(Configuration Management)

配置管理负责监控和管理整个网络的配置状态,这既与网络的初始化和关闭工作相关,也与维护、添加、更新网络传感节点的状态以及网络节点之间的关系相关。

(3) 性能管理(Performance Management)

网络管理员需要网络的性能统计数据作为依据来计划、管理和维护传感器网络。性能管理对这些需求提供支持,其主要工作是监控、控制、调整网络的运行性能,使其达到最佳状态。

(4) 能量管理(Energy Management)

能量管理要负责控制节点对能量的使用和消耗。为了延长网络存活时间,必须合理有效地利用能源。传感器节点的能源消耗主要集中在两方面:计算功耗和通信功耗。合理的能量管理要充分考虑这两方面的能量损耗,设计恰当的管理能源方案。

(5) 拓扑管理(Topo Management)

拓扑控制的目标是通过控制节点的传输范围,在保证一定的网络连通质量和覆盖质量的前提下,以延长网络的生命期为主要目标,兼顾负载均衡、网络延迟、简单性、可靠性、可扩展性等其他性能,形成一个优化的网络拓扑结构。

需要指出的是,传感器网络的管理尽管可以分为以上几个方面,但是以上几个方面都不是孤立的,它们在网络管理系统中都是相互协作来完成对网络的管理,以使传感器网络的监测应用功能最大化。

2.2 国内外研究进展

由于传感器网络底层通信协议目前仍然存在设计实现上的难点和挑战,底层协议尚无确切的标准,针对无线传感器网络的管理的研究相对较少。到目前为止,已有两种无线传感器网络管理体系:一个是 L. B. Ruiz 等提出的 MANNA 无线传感器网络管理架构^[4,5];另一个是 Wang Feng 等提出的基于代理的分布式无线传感器网络管理框架^[6]。前者只是考虑到无线传感器网络的特点,提出了传感器网设计中需要的技术,针对网络的异构性和网络的体系结构不同,分别提出了协议设计和协议具体实现上的建议和考虑,并没有提出一套具体的协议框架和实现技术分析;而后者在设计时,未能考虑到代理的通信和决策支持系统的运行需要耗费很多的能量,而且由于无线传感器网络通信的不可靠性和延迟特点,导致数据融合后,管理的实时性较差,同时融合的结果也会不准确,实现起来难度较大。而对于系统各部分进一步的具体设计,作者未能给出一个方案。

在本无线传感器网络特点节点信息管理平台中,考虑到 SNMP 已经成为目前 Internet 使用最广泛的网络管理协议,而且 IPv6 无线传感器网络作为 Internet 的扩展,通过特殊的设备(网关)与 Internet 实现互联互通,因此需要配置无线传感器网络的服务器作为信息管理平台的管理端,这样 Internet 用户可以通过配置服务器获取和配置内部传感节点的信息。

因此

- 无线传感器网络信息管理平台的协议部分使用与 SNMP 报文中相同的协议数据单元(protocol data unit, PDU)进行信息交互;

- IPv6 无线传感器网络消息的传输层协议为 UDP,所有报文(陷阱 TRAP 报文除外)使用 161 端口进行通信,TRAP 报文采用 162 端口通信。

3 IPv6 无线传感器网络管理系统结构设计

图 1 描述了信息管理平台的网络结构及系统功能。一个信息管理系统的框架必然包含管理站和代理。IPv6 无线传感器网络信息管理平台的体系结构包括两种网络设备:信息管理平台代理和信息管理平台管理站。信息管理平台代理运行于传感器节点之上,辅助传感器网络信息的管理,多个节点可以看成是运行在节点上的分布式数据库;管理站在服务器端,往往连接网关节点。基于此,我们将管理平台分为如下两个子系统:用户管理子系统和节点代理子系统。下面详细说明这两个子系统。

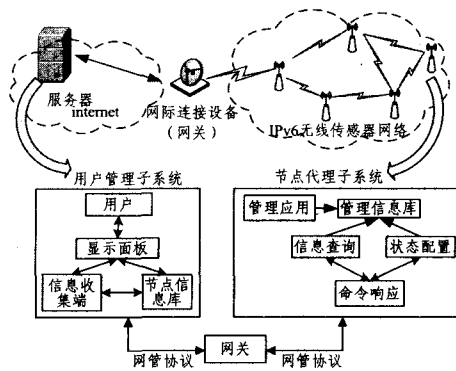


图 1 IPv6 无线传感器网络信息平台系统结构

3.1 节点代理子系统

被管理的网络设备含有支持网络信息管理协议的网络管理实体,它运行代理程序,响应来自管理者的请求。这种网络管理实体被认为是一种代理模型,简称代理。代理是网络管理应用中驻留在被管理设备中的部分^[7]。被管理设备可以是多种多样的,如主机、路由器、网桥、终端服务器,在无线传感器网络中是传感器节点。代理负责收集被管理设备的信息并响应管理者发来的轮询命令,还可以在设备发生异常时产生陷阱(Trap),主动向管理者发出警告。

传感器网络内往往有多个节点,每个传感节点都运行着一个代理子系统,网络管理任务由代理端与管理端协作完成。无线传感器网络信息管理平台中节点代理端的主要功能有:

- 响应命令:响应服务器管理端的查询和设置命令,返回对应的参数。
- 转发请求:可以向被管节点转发查询和设置请求。
- 为服务器管理端提供一个统一的网管接口。对服务器管理端来说,只需要和节点代理端通信就可以获得传感节点的所有状态信息。
- 通过管理信息库(MIB),维护被管节点的信息结构。

3.2 用户管理子系统

无线传感器网络往往部署在非常险恶的环境。提出无线传感器网络管理系统中远程管理端就是为了实现远程的管理。用户需要通过它来实现对无线传感器网络的远程管理,包括传感器网络状态的获取、节点配置信息和状态信息的获取、节点参数的改变等功能。总的说来,无线传感器网络的用

户管理端应当具备如下功能:

- 1)与网关节点软件进行通信以及发送网络管理命令的功能。
- 2)数据接收并显示功能。管理端要能够将无线传感器网络传输过来的网络状态信息和节点采集的信息动态地在图形界面上显示出来。

4 子系统设计及模块划分

节点代理子系统与用户管理子系统的模块划分如图 2 所示。下面将详细说明各模块功能。

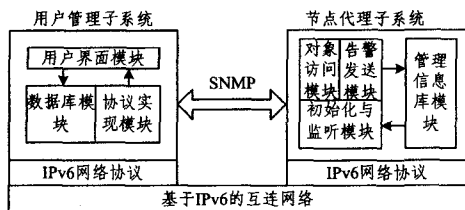


图 2 IPv6 无线传感器网络信息管理平台子系统模块划分

4.1 节点代理子系统设计

IPv6 无线传感器网络信息管理平台节点代理子系统的软件功能模块可以分为 4 个:初始化与监听模块、管理信息库模块、对象访问模块以及告警发送模块。

(1) 初始化与监听模块:主要完成节点调度其它模块前的各项参数的配置工作,为以后各模块的正常工作做准备。初始化模块包括 MIB 树子模块和 Socket 子模块,实现 MIB 树的初始化和 Socket 初始化。MIB 树初始化主要是建立 MIB 对象及其实例的对应关系,在程序初始化过程中,将各 MIB 对象的 OID 信息、对应的读写处理函数等信息以树型结构进行存储,即 MIB 对象的全局注册。通过统一形式的 MIB 对象注册,可使应用程序完全采用统一的格式对 MIB 对象进行存取访问。Socket 负责建立应用层与传输层的交互连接,为了与底层交互,每个应用层启动时都要建立一个 Socket,然后系统将不断监听这个 Socket。SNMP 数据到达时,通过在这个 Socket 送给应用层处理。

(2) 管理信息库模块:因为管理信息平台采用的是 SNMP 协议,其管理信息库也是一个树型结构的数据库。通过读取 MIB 中对象的值,网络管理实体可以监视系统中的资源,也能够通过修改这些值来控制系统中的资源。对于 Atmega128(4k SRAM)这类 MCU 来说,必须考虑简单有效的 MIB 树的实现方法。

(3) 对象访问模块:本模块是整个信息管理平台系统 Agent 软件的核心部分,将完成管理站查询报文数据的解析、处理和回应数据的构造等操作。可分为接收解码子模块、数据编码子模块和回复包构造子模块。采用 ASN.1 基本编码规则(Basic Encoding Rules, BER)在代理和 NMS 之间传输对象类型的实例定义。

(4) 告警发送模块:完成向管理站发送 trap 的功能,包括 trap 的触发、编码及数据的构造等操作。可分为接收解码子模块、数据编码子模块和回复包构造子模块。本系统对于紧急程度不同的 trap 采用不同的发送方法:对于非常紧急的 trap,发送 trap 后还要等待管理站的确认,如果没收到确认则重发,这样能提高重要 trap 发送的可靠程度;对于一般的 trap,用传统 trap 机制发送;而对于相对不紧急的 trap,把多个 trap 合并发送,以节省传感器节点有限的电能。

4.2 用户管理子系统设计

IPv6 无线传感器网络信息管理平台用户管理端的软件

功能模块可以分为 3 个:协议实现模块、数据库模块以及用户界面模块。

(1) 协议实现模块:在本系统中,服务器端管理子系统开发是基于 Linux 平台,SNMP 协议实现的开发工具是 net-snmp,采用的版本是 5.4.2。net-snmp 源自于卡耐基梅隆大学的 SNMP 软件包 CMU snmp2.1.2.1,初始命名为 ucd-snmp。2000 年 11 月 ucd-snmp 项目转到由 Source Forge 管理,并更名为 net-snmp。net-snmp 开发包提供了几乎所有 SNMP 网管开发所需要的资源,包括扩展 Agent 的编程框架、SNMP API、提供 MIB 管理及相关的管理工具。

(2) 数据库模块:数据库模块主要维护两个表项,其中无线传感器网络节点信息属性表包括 5 个字段:id 表示信息属性编号;name 表示节点信息的名称;type 表示节点信息的数据类型;rw 表示节点信息的读写属性;ttl 表示节点信息值的有效生存时间。信息记录表主要记录获取的最新信息值以及历史信息值,是系统数据库设计中最重要数据表,由 9 个字段组成,分别是 id, name, type, rw, time, value, ttl, node 以及 active。

数据表的测试数据如图 3 所示。

```
mysql> select * from snmp_info_node;
```

	id	name	type	rw	value	node	ttl	time
1	1	macAddress	1	1	1	1	1	2009-05-23 15:42:15
2	2	SerialType	1	1	1	1	1	2009-05-23 15:42:15
3	3	Location	1	1	1	1	1	2009-05-23 15:42:15
4	4	macAddress	1	1	1	1	1	2009-05-23 15:42:15
5	5	RemainingPowerLevel	1	1	1	1	1	2009-05-23 15:42:15
6	6	BatteryVoltage	1	1	1	1	1	2009-05-23 15:42:15

图 3 数据表测试数据

(3) 用户界面模块:用户界面模块可划分为 MAC 信息功能模块、服务信息与电源信息、拓扑信息模块、告警信息接收模块,共 4 个模块,主要为用户提供查询和配置节点信息的相关界面。通过该模块,用户可以查询相关节点的实时信息、历史信息,并且可以更改其中可写信息的值。图 4 的电源模块,可以直观地描述出无线传感器网络节点剩余电量信息(Remaining Power Level)。

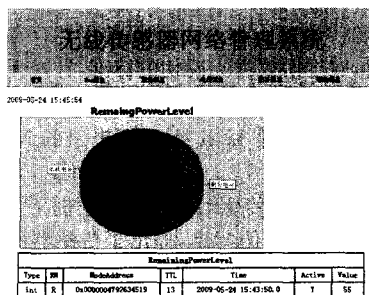


图 4 无线传感器网络信息管理平台界面(剩余电量)

5 方案验证与测试

本文利用北京交通大学下一代互联网互联设备国家工程实验室自主开发和研制的微型传感路由器 MSR6680 进行验证。MSR6680 节点采用 ATmega128 作为处理器,射频芯片采用 CC2420 芯片,能量供应模块使用直流 9V 电压供电或直接采用 3.3V 干电池供电。验证系统如图 5 所示,其中节点 1,2,3 为运行节点代理程序的普通节点,节点 4 为 Sink 节点,可充当网关,在用户管理端的图形界面上发送命令,通过 Sink 节点发送给普通节点,可以改变普通节点的配置,获取节点信息。

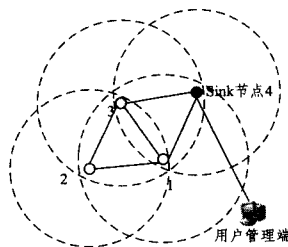


图5 无线传感器网络信息管理平台验证环境

以服务信息里的采集时间为例进行测试。想要改变节点1采集传感数据的间隔,在PC机的用户管理端界面输入节点1的IPv6地址以及想要设置的采集时间(8s),测试结果以图6所示的形式返回给用户。

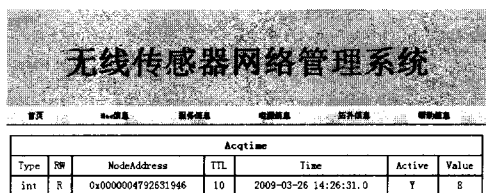


图6 Acqtime查询配置测试界面

可以在节点向服务器发送传感数据的数据库中观察到,经过对采集时间的设置,节点采集间隔由1s变为8s,如图7所示。



图7 经过对采集时间的设置,节点采集间隔改变

结束语 本文介绍了无线传感器网络管理方面的基础知

识和目前传感器网络的研究进展,描述了IPv6无线传感器网络管理系统平台的结构与功能,介绍了系统各个子系统的模块划分及设计。相对于比较成熟的无线传感器网络的基础支撑协议,该系统关于传感器网络管理方面的知识比较缺乏,还需要进一步的研究和实践。未来的无线传感器网络管理将在分布式管理、新的网络测量技术、灵活机动的配置功能几个方面进一步开拓发展^[8]。

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,2005:3
- [2] Davies J. 理解 IPv6 [M]. 张晓彤,晏国晟,曾庆峰,译. 北京:清华大学出版社,2004:13
- [3] 崔莉,鞠海玲,苗勇,等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展,2005,42(1):163-174
- [4] Ruiz L B, Nogueira J M, Loureiro A A F. MANNA: Management Architecture for Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(2): 116-125
- [5] Ruiz L B, Silva F A, Braga T R M, et al. On Impact of Management in Wireless Sensor Networks [J]. IEEE/FIP Network Operations and Management Symposium, 2004, 1(4): 657-670
- [6] Wang Feng, Tian Qie-huan, Gao Quan-xue, et al. A Study of Sensor Management Based on Sensor Networks [C] // Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robots, Intelligent Systems and Signal Processing. Chang sha, China, October 2003, 2: 8-13
- [7] Harneny S. 简单网络管理协议(第2版)[M]. 胡谷雨,张巍,倪桂强,等译. 北京:电子工业出版社,2000:7
- [8] 李晓维,徐勇军,任丰原. 无线传感器网络技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2007:358

[EB/OL]. <http://snap.cs.berkeley.edu/>, 2007

- [2] Elson J, Estrin D. Sensor networks: A bridge to the physical world[M]. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2004: 3-20
- [3] 崔莉,鞠海玲,苗勇,等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(1): 163-174
- [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: 1-20
- [5] Chang J H, Tassiulas L. Routing for maximum system lifetime in wireless ad-hoc networks [A] // Proc. of 37th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing [C]. Monticello, IL, 1999
- [6] Iyengar R, Kar K, Banerjee S. Low-coordination topologies for redundancy in sensor networks [A] // Proc. of MobiHoc'05 [C]. San Francisco: ACM press, 2005: 332-342
- [7] 蒋树声. 海洋科技发展战略报告[M]. 北京:群言出版社, 2007
- [8] 王曙光. 海洋开发战略研究[M]. 北京:海洋出版社, 2004
- [9] Khan A, Jenkins L. Undersea wireless sensor network for ocean pollution prevention [A] // Proc. of Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE 2008) [C]. Bangalore: IEEE Press, 2008: 2-8
- [10] Gangadharapalli S, Golwelkar U, Varadarajan S. A topology based localization in ad hoc mobile sensor networks[J]. LNCS, 2004, 2928(1): 223-232
- [11] Akyildiz L F, Su W, Sankarasubramaniam Y. A survey on sensor networks [J]. IEEE Communications Magazines, IEEE Press, 2002: 102-114
- [12] Haenselmann T. Sensornetworks [EB/OL]. http://www.informatik.uni-mannheim.de/~haensel/sn_book/, 2006: 15-70
- [13] Nets-noss: Creating an architecture for wireless sensor networks [EB/OL]. <http://snap.cs.berkeley.edu/>, 2007
- [14] Ramesh S. A Protocol Architecture for Wireless Sensor Networks [EB/OL]. www.cs.utah.edu/~sramesh/attachments/sensornet_archi.pdf, 2008
- [15] Kumar R, PalChaudhuri S, Ramachandran U. System support for cross-layering in sensor network stack [A] // Proc. of International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Networks (MSN) [C]. 2006
- [16] Chang J H, Tassiulas L. Routing for maximum system lifetime in wireless ad-hoc networks [A] // Proc. of 37th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing [C]. Monticello, IL, 1999
- [17] Estrin D. Tutorial "Wireless sensor networks", part IV: sensor network protocols [EB/OL]. <http://nest1.ee.ucla.edu/tutorials/mobicom02/>, 2002
- [18] 杨鹏. 面向服务的新一代网络体系结构及其形式化建模的研究 [D]. 东南大学, 2006
- [19] Pompili D, Melodia T. An architecture for ocean bottom underwater acoustic sensor networks [A] // Proc. of Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop [C]. Bodrum, Turkey, 2004
- [20] 朱昌平,等. 水声通信基本原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2009
- [21] 杨鹏,顾冠群. 新一代网络体系结构:需求目标、设计原则及参考模型[J]. 计算机科学, 2007, 34(4): 1-6
- [22] Edgar H C. Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols [M]. Florida: CRC Press, 2003
- [23] Ilyas M, Mahgoub I. Handbook of sensor networks: compact wireless and wired sensing systems [M]. Washington, D. C: CRC Press, 2005