

# 结合 GPRS/GSM 技术的 WSN 组网策略

刘克恒, 吴言荪

(重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044)

**摘要:** 针对典型 WSN 网络路由由计算复杂、节点管理困难的问题, 提出了终端节点、汇聚节点和监控中心三层次的硬件结构。用带有 GPRS/GSM 模块的汇聚节点充当 WSN 终端节点和监控中心的联络节点, 并将终端节点分为 1 类、2 类节点, 用直接或多跳方式同汇聚节点联络, 并给出了详细的处理流程。工程应用结果表明, 这种硬件和软件设计可以节省大量软件算法, 增强了对终端节点的实时监控及报警处理能力, 扩展了典型 WSN 的功能和应用范围。

**关键词:** GPRS/GSM; WSN; 硬件结构; 软件帧设计; 自组织

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2010) 17-3785-05

## WSN network strategy combined with GPRS/GSM

LIU Ke-heng, WU Yan-sun

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment and System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** In connection with the problem of the complexity of the route calculations and the difficulty of the node administration in the typical WSN, the hardware configuration consists of the terminal node, the convergent node and the monitor center is brought. The convergent node with the GPRS/GSM template served for the communication node between the terminal node and the monitor center, meanwhile, the terminal node is divided into first category node and second category node. It contacted with the convergent node by direct and multiple hop transmission, incidentally, the detailed processing flow is provided. The application engineering shows that the hardware-software design will save a lot of software algorithm, strengthen the real-time monitor and alarm handling ability to the terminal node, and extend the function and application spectrum of traditional WSN.

**Key words:** GPRS/GSM; WSN; hardware structure; software frame design; self-configuration

## 0 引言

WSN(wireless sensor network, 无线传感器网络)作为一种新型的信息获取方式, 在环境监测<sup>[1]</sup>、健康监测<sup>[2]</sup>、智能家居<sup>[3]</sup>、数据采集<sup>[4]</sup>、煤矿危险气体报警<sup>[5]</sup>等领域发挥着越来越重要的作用<sup>[6]</sup>。WSN 通过分布在现场中的节点采集数据, 然后根据事先规定的协议, 将现场信息传送至高一级的节点或者直接传送到监控中心。众多节点协同工作以完成此网络覆盖范围的数据采集。当 WSN 覆盖范围广、现场数据量大时, 现场节点数量巨大, 就会产生诸如节点的组织管理、路由选择<sup>[7]</sup>、时间同步<sup>[8]</sup>、能量消耗<sup>[9]</sup>等各种问题。而目前 GPRS/GSM(general packet radio service/global system for mobile communications, 通用分组无线业务/全球移动通讯系统)网络覆盖范围越来越广, 传输速度不断提高, 费用不断下降, 同时传输距离几乎不受约束, 授权用户在任何有信号的地点均可随时接收和发送信息和邮件。因此, 利用 GPRS/GSM 技术、结合典型 WSN 结构的无线传感器网络实现大量、高速数据传输成为一种可行思路<sup>[10-11]</sup>。

将射频模块和 GPRS/GSM 模块相结合, 用于扩展单独射

频网络或 GPRS/GSM 网络已经在水表、电表等无线集抄系统中有一些应用<sup>[12-14]</sup>。不足的是, 这些应用领域仍很狭窄, 数据传输量也比较小, 尚未真正发挥这两者结合的潜力。本文在介绍典型 WSN 结构基础上, 将 WSN 和 GPRS/GSM 网络结合, 研究了传感网络的硬件、软件结构、帧结构和自组织的策略, 并给出了详细的节点初始化流程和数据处理流程, 在现场节点类型的更新、传输路由的更新、时间的更新 3 个方面实现网络的自组织功能。

## 1 自组织 WSN 硬件结构

典型 WSN 是以无线通信的方式, 通过分布在网络中的大量节点形成的自组织网络系统。其中, 节点是 WSN 的基本单元, 它由传感器模块、处理器模块、射频通信模块和电源模块组成<sup>[15]</sup>。WSN 中的每一个节点都能够独立完成其周围环境的数据采集和存储工作。

为了实现传感器与网络之间的互换性和互通性, IEEE(美国电气及电子工程师学会)制定了 IEEE 1451 系列标准, 定义了一系列通用通信接口, 用于连接传感器和微处理器系统、仪

收稿日期: 2009-11-03; 修订日期: 2010-01-06。

作者简介: 刘克恒 (1983—), 男, 硕士研究生, 研究方向为智能仪器与自动化测试系统; 吴言荪 (1945—), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向为智能仪器、自动测试系统等。E-mail: liukeheng@163.com

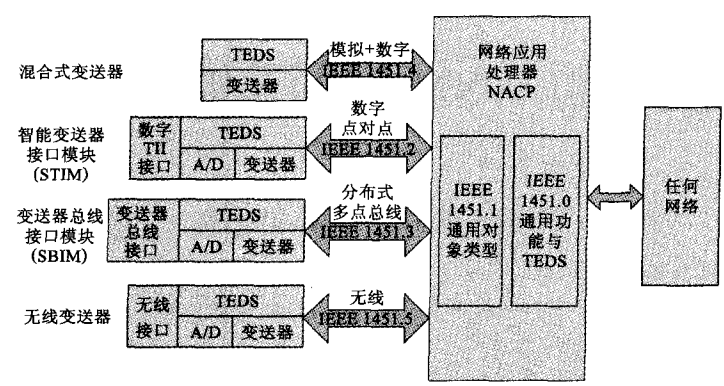


图 1 IEEE 1451 标准结构框架

器及现场网络，使智能传感器可以方便地集成运行于各种工业网络下的分布式测量与控制系统中，其基本框图和相互关系如图 1 所示<sup>[16]</sup>。

IEEE1451.0 提供了一种通用性，并且简化了未来用于不同物理接口的标准的制订，保持了 IEEE 1451 成员内部之间的通用性。1451.1 提供一个简单的应用框架，简化了传感器与多种网络的连接，并提出了传感器的互换性、可移植性、即插即用功能和网络的独立性，通过定义网络适配处理器模块 (NACP) 中的两个软件接口实现这些功能。1451.2 定义了可以将智能传感器直接连接到 NACP 上的标准数字接口和通讯协议。这一接口用于连接 NACP 与传感器接口模块 (STIM)。它提供了一种称为传感器电子数据表格 (TEDS) 的机制说明传感器、信号调理和转换。1451.3 定义了一个数字接口用于连接多个分散的传感器，使具有不同频谱特性的设备能够共处于同一条总线上。1451.4 定义了一种将自识别技术运用到传统模拟传感器和执行器中的机制。它有模拟和数字两种信号传输模式，但这两种模式不能同步进行。1451.4 也定义了一套 TEDS 格式以存储传统模拟传感器的各种特性参数。1451.5 则定义了一种无线通信协议和相应的 TEDS，提供了一种可靠的无线传感器接口模型 (WTIM) 和 NACP 之间的无线通信<sup>[17]</sup>。

根据 IEEE1451 有关智能传感器和智能传感器网络的相关概念以及对 WSN 无线接口的描述，设计出的结合 GPRS/GSM 技术的 WSN 系统结构示意图如图 2 所示。

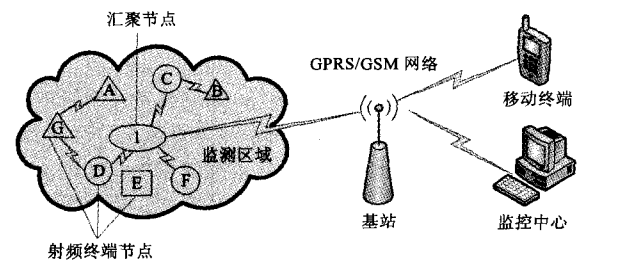


图 2 系统结构框架

该系统硬件结构共分 3 个层次：  
(1)终端节点：负责现场数据的采集和向汇聚节点的发送。根据同汇聚节点联系方式的不同，分为 3 类：①可以直接将数据发送给汇聚节点(如图 2 中的终端节点 C、D、F)，称为 1 类节

点；②经过其它节点进行最多两次多跳后到达汇聚节点(如图 2 中的终端节点 A、B、G)，称为 2 类节点；③无法同汇聚节点联络的终端节点(如图 2 中的 E)，称为死节点。这些节点通过接收汇聚节点的指令工作，并在监测到自身周围异常时向汇聚节点发送报警和请求处理指令。终端节点通过射频模块接收和发送数据。

每一终端节点都有唯一的地址标识，体现在帧结构的“源地址”上；而汇聚节点在接收各终端节点数据时，同样以此标识作为数据冗余判断和存放的依据。

(2)汇聚节点：负责收集各终端节点的数据，简单处理后发送至监控中心，同时接收监控中心的各项指令。通信模块为射频模块和 GPRS/GSM 模块。其中射频模块负责同终端节点的射频模块进行通信，通过射频网络收集各射频终端节点采集的数据。GPRS/GSM 模块负责同监控中心联络，将终端节点数据和自身采集的数据简单处理后，通过 GPRS/GSM 网络以短消息或彩信方式传送到手机终端，或者以 FTP 或 EMAIL 方式传送至电脑终端，同时负责接收来自监控中心的指令，随时启动对监测区域的数据采集及状态查询。

监测区域可以分布多个汇聚节点，每一汇聚节点可视现场状况确定下辖的终端射频节点数量，通过特定的地址编号或者频率与其通信，并可以通过软件设计随时接受新加入的终端节点而不必调整系统现有硬件和软件结构。

(3)监控中心：一般为授权手机或电脑终端，负责数据的最终处理和相应的信息管理，并对整个 WSN 进行实时的状态监控和随机查询。

此系统结构灵活、增添、移动或删除终端节点方便，对各终端节点的分布位置无任何要求，因此特别适合配置在人无法直接到达的现场。同时系统可以在空闲时启动对现场终端节点的重新搜索，以随时更新现场终端节点信息，从而实现系统的硬件自组织功能。

2 自组织 WSN 帧结构

数据帧结构设计直接关系到数据传输的效率和数据可靠性，也会影响网络结构的复杂性和网络的硬件自组织策略。

射频模块在每次发送数据前，硬件自动在数据前添加前导字节、同步字等。接收方自动将这些附加的元素去掉<sup>[18]</sup>。发送和接收的数据帧结构如表 1 所示。

表 1 数据帧结构

帧头	目的地址	源地址	帧编号	数据长度	数据域	校验码	帧尾
----	------	-----	-----	------	-----	-----	----

其中，目的地址是终端节点要将自身数据发送到的其它射频终端节点地址或汇聚节点中射频模块的地址。现场数据最终要通过 GPRS/GSM 模块传送到监控中心，因此目的地址最终一定是 GPRS 模块上的射频模块地址，否则会使信息在一些终端节点间循环传递而不能到达汇聚节点，即产生“活锁”现象<sup>[19]</sup>。

源地址标示数据的来源，是汇聚节点和监控中心存储数据的唯一标识。它一般通过软件事先已固定在各射频模块中。

帧编号是将数据分成多帧依次进行传送时附加的顺序号,在发送方由程序添加。接收方根据源地址和接收到的帧编号对数据进行存放和处理。

数据长度是本次发送数据帧的字节数,在接收长短不一的数据时,接收方可以根据此长度确定接收数据量,便于比较纠错。

数据域则包含了日期、时间、地点等必要的识别信息和采集到的现场信息。

帧头和帧尾标示数据帧的开始和结束。

3 软件自组织策略

3.1 汇聚节点工作时的自组织

该系统在硬件上采用了射频终端节点、汇聚节点和监控中心三级结构,汇聚节点充当联络的桥梁,向下直接管理各终端节点,向上同监控中心联络。为了便于汇聚节点管理终端节点,通过汇聚节点的初始化,将现场的终端节点分为第1类节点、第2类节点和死节点。

汇聚节点初始化流程如图3所示。汇聚节点首先通过广播方式联络1类节点,将其地址编号与事先写入内存中的所有应该存在的现场终端节点编号比较,如果有尚未联络到的终端节点,则采用固定地址方式联络。此时,所有的1类节点充当媒介,在收到目的地址不是自己的信息时,在数据中加上自身的标识后转发。在一定时间内,汇聚节点接收各节点返回状况,记录此时新联络到的节点为2类节点,同时记录数

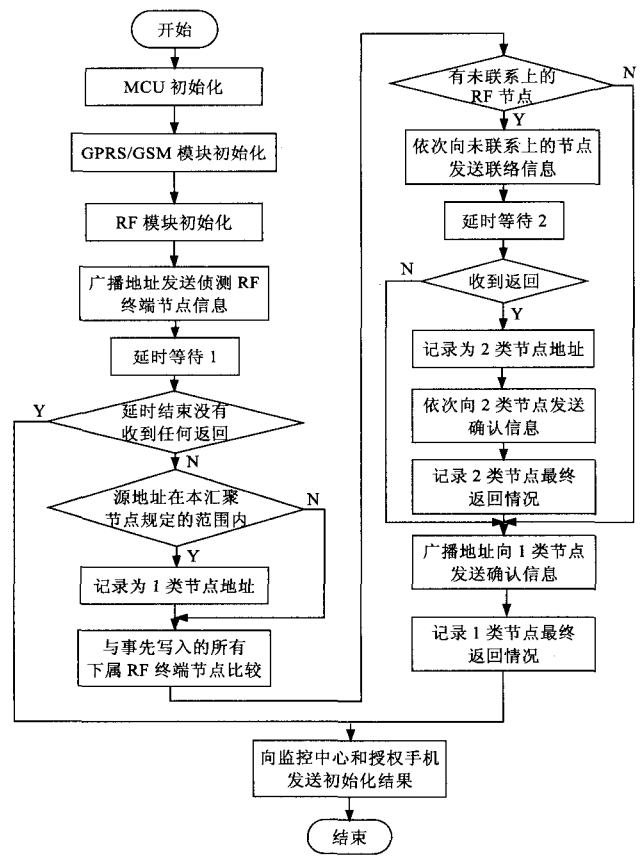


图3 汇聚节点初始化流程

据域中附加的其它节点编号,作为联络路由。

初始化结束后,汇聚节点就可以确定出1类节点、2类节点和尚未联系到的死节点,然后将这些信息通过汇聚节点上的GPRS/GSM模块发送至监控中心和管理人员手机上,以便于工作人员全面掌控现场节点工作情况并调整设置。在内存中,则会生成一张每个终端节点的传输路由表,以图2为例,生成的最终路由表如表2所示。

表2 节点传输路由表

节点	A	B	C	D	E	F	G
路由	2G	1C	1	1	0	1	1D
	1D						

表2路由中的“1”表示该终端节点为1类节点,“0”表示为死节点,“数字+字母”的路由中,“字母”表示充当多跳媒介的节点,“数字”表示该媒介的节点类型,最终一定为1类节点。

对临时加入的终端节点,可以在软件中设置定时或由监控中心启动的现场节点搜索程序进行识别,并更新现场终端

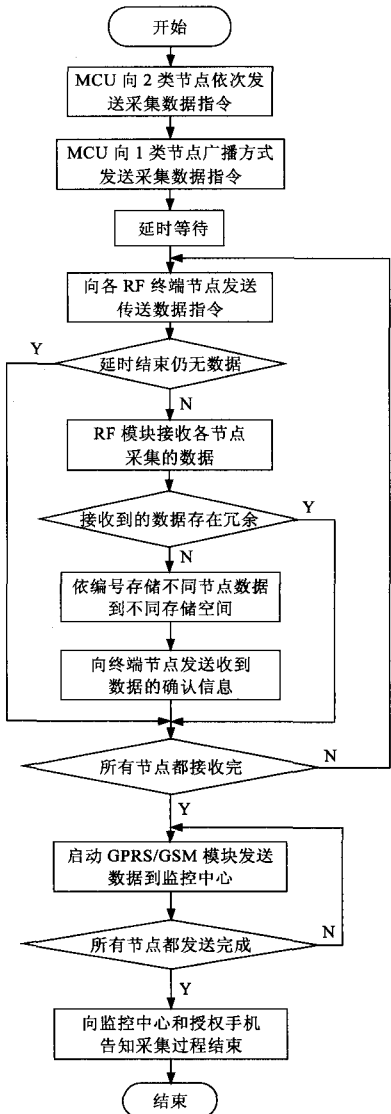


图4 汇聚节点采集数据流程

节点的类别及传输路由,从而提高系统的可靠性和数据传输的效率,在系统的软件方面实现自组织功能。

当时采集数据时间到来或现场情况异常时,汇聚节点向各终端节点发送采集数据指令,并接收各终端节点的返回数据。处理流程如图4所示。

### 3.2 终端节点工作时的自组织

终端节点主要问题是如何实现同汇聚节点的直接联络或通过其它终端节点有限次多跳与汇聚节点联络。

终端节点在上电复位后,等待汇聚节点发送的广播信息,若收到此广播信息,则表示该节点可以同汇聚节点直接联系,向终端节点发送确认信息,注册为1类节点,并随时准备作为其它节点的多跳媒介;在一定的时间延时时,收到汇聚节点发向此节点的特定信息,表明此节点要经过其它节点进行多跳同汇聚节点联络,注册为2类节点,并向汇聚节点发送确认信息。对于延时结束后,既未收到广播初始化信息又未收到发向本节点的特定初始化信息的节点,则认定为死节点。终端节点初始化流程如图5所示。

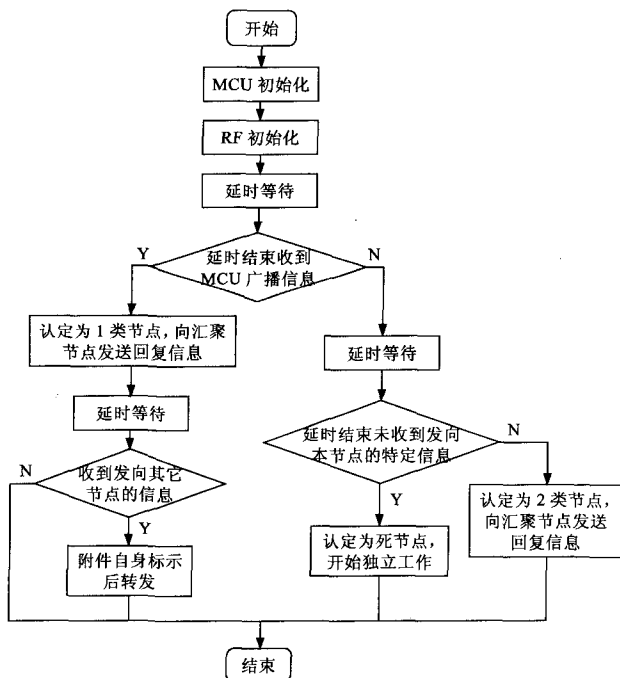


图5 终端节点初始化流程

终端节点在向汇聚节点发送数据时,为降低网络中的数据传输量,采用接收到汇聚节点传输指令才开始传送的方式。若一段时间后未收到汇聚节点发来的消息,则自行发送,并等待汇聚节点的最终确认。其流程如图6所示。

对于不能接收汇聚节点命令的死节点,也可以在感知周围环境异常时自动启动信息采集工作,并保存在自身携带的存储器中,工作人员可以通过有线方式读取该信息,作为WSN的一种参考或补充数据。

为了避免“活锁”现象,每一终端节点在转发其它节点数据前,均需加上自身标示符,以便在下次接收到同一数据时不再转发。同时,为整个数据传输过程加上时间限制,超出此时

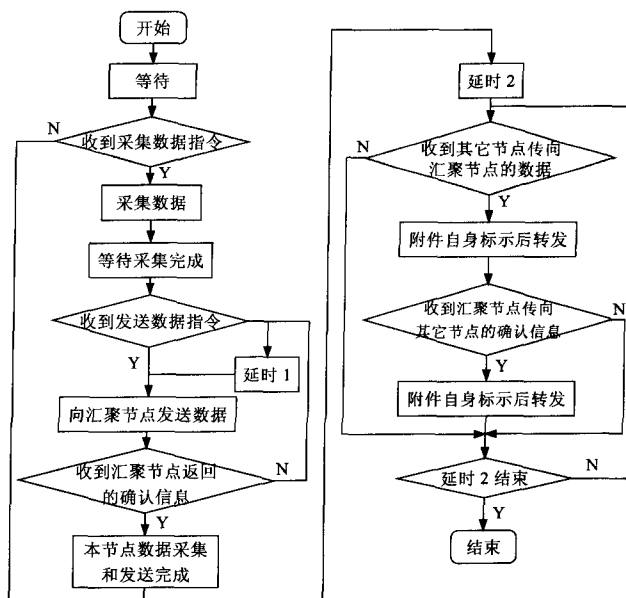


图6 终端节点采集和发送数据流程

间限制的数据不再转发。这两种方式的结合,可以有效防止系统功能性死循环现象的发生。在延时时间的选取上,要根据现场终端节点的数量、每次传输的数据量大小进行多次试验和分析,从而确定出最佳的延时时间。

### 3.3 时间同步

为了保证WSN数据采集的同时性以及防止数据冲突,时间同步是一个重要的研究课题。在本系统中,汇聚节点起关键的联络作用,因此时间同步以汇聚节点的时间为基准。汇聚节点在初始化结束后,即开始时间同步过程。它通过自发自收短消息或登录Internet提取GPRS/GSM网络或Internet标准时间作为自身时间基准;在此时间基准上,根据初始化时建立的节点路由表,根据传输路由、数据量等信息计算估算出时间偏移量,依次向终端节点发送时间校准信息。为了避免时间偏移过大,系统在每次复位和每天的某个时间都要进行时间同步。

## 4 实验结果与分析

根据以上的设计思想和处理流程,设计了基于GPRS/GSM模块和射频模块的电力系统多点监测和数据采集系统。该系统可以通过随机放置于现场的多个传感器监视现场状态,在异常时启动红外和可见光摄像装置。摄像完成后,通知监控中心和管理人员现场异常,并将各个摄像装置的照片通过射频模块传递到汇聚节点中,汇聚节点处理后通过GPRS以邮件方式发送到事先指定的邮箱中,并通知管理中心。除此之外,汇聚节点还接收管理中心的随机查询命令,随时启动对现场的拍照和数据采集。此系统在用电现场全天候监控和预先发现设备隐患等方面发挥积极作用。

该系统中,2类终端节点同汇聚节点的多跳采用两级机制,传输路由采用初始化时生成的路由。而对新加入的终端节点搜索、节点类型和第2类节点传输路由的更新只在系统定时或用户发送搜索命令时进行。这在一定程度上减少了系统的工作量,但也使系统节点信息更新不及时,传输路由也可能不是最佳。

## 5 结束语

本文研究了在典型 WSN 网络中应用 GPRS/GSM 作为现场终端节点和监控中心的连接桥梁的方法,通过定时或接收命令方式查询终端节点状态、更新节点类型和传输路由的方式,使该系统同时具备了典型 WSN 节点数量多、数据采集量大的优点,又融合了 GPRS/GSM 网络覆盖范围大、数据传输速度快、传输量大的优点。工程实践应用表明,这些硬件和软件的自组织策略在一定程度提高了系统的可靠性和工作效率,在设备现场监控、危险环境数据采集等领域具有广阔的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 杨扬,朱善安.基于无线传感网络的环境监控系统的设计和实现[J].工业控制计算机,2007,20(9):6-8.
- [2] 尚盈,袁慎芳,吴键,等.基于无线传感网络的大型结构健康监测系统[J].数据采集与处理,2007,24(2):254-258.
- [3] 陈洁萍.无线传感器网络在智能家居中的应用[J].广西职业技术学院学报,2008(6):13-15.
- [4] 石军锋,马永昌,陈建.一种基于无线传感网络的温室 Web 监控系统[J].农机化研究,2009(5):76-79.
- [5] 阮殿旭,唐大放,张晓光,等.Zigbee 技术无线传感器网络在煤矿井下环境监测中的应用研究[J].煤矿机械,2008,29(6):163-164.
- [6] 陈英,舒坚,陈玉斌,等.无线传感器网络技术研究[J].传感器与微系统,2007,26(10):1-4.
- [7] 陆晓希.无线传感器网络路由技术探索[J].柳州职业技术学院

学报,2008,8(3):79-80.

- [8] 陈英,舒坚,刘琳岚,等.无线传感器网络时间同步与成簇算法[J].传感器与微系统,2008,27(1):44-48.
- [9] 乐世成,王培康.无线传感器网络中的节能路由算法[J].计算机工程,2008,34(7):113-117.
- [10] 张朝,何军红,吴旭光,等.基于 GPRS 和嵌入式技术的监测系统[J].电子测量技术,2007,30(8):90-93.
- [11] 范闻博,遥远,张其善.基于 GPRS 的数据采集远程网络监控系统[J].无线电工程,2004,34(1):21-23.
- [12] 张新闻,杨永浩.基于 CC1100 和 GPRS 的无线供水监控系统的设计[J].宁夏工程技术,2008,7(2):112-115.
- [13] 周利华,汪建,赵良德,等.短距离无线通信与 GPRS 相结合的电能量远程自动抄表系统[J].安徽电力,2009,26(1):77-79.
- [14] 赵振华.基于 GPRS 和 RF 技术的远程全无线自动抄表系统[J].计算机与数字工程,2008(11):66-70.
- [15] 杨德斌,伍俊,阳建宏.无线数字传感器网络节点[J].仪表技术与传感器,2007(9):51-53.
- [16] 李正晓,肖建军,张明,等.IEEE 1451 网络智能传感器技术研究[J].传感器世界,2006(6):39-43.
- [17] 彭钲,丁国清.基于 IEEE1451 的智能传感器的研究[J].仪器仪表标准化与计量,2004(5):3-6.
- [18] 李文仲.C8051F 系列单片机与短距离无线数据通信[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [19] LEWIS F L.Wireless sensor networks[J/OL].http://arri.uta.edu/acs, 2004.

(上接第 3759 页)

以对客体进行读访问。当角色的机密集小于客体的机密集时,比较角色与客体的范畴级,当角色的完整级大于客体完整级,角色可以对客体进行写访问;当小于时访问失败。

由强制访问控制裁决生成的强制访问控制策略存于标记策略库,可以由管理系统的标记策略管理模块进行管理,为策略转换模块提供依据。

## 3.5 其他模块

其他模块主要包括角色匹配模块、策略转化模块和策略加载/撤销模块等。

角色匹配模块依据包过滤提取模块提取出来的源地址、目标地址,查找角色地址库,检索到地址对应的角色,连同客体的地址上传给访问控制裁决模块。

策略转换模块首先从角色权限库和标记策略库中提取出每条策略项,然后基于策略的转换函数,将数据表中的项转换成 Iptables 策略的数据结构形式,供策略加载模块加载。

策略加载撤销模块依据策略转换模块形成的 Iptables 策略的数据结构形式,按照 Iptables 自己的加载算法,加载到内核相应的策略表中生效,撤销则是通过 Iptables 自己的撤销算法,将标记策略库和角色权限库中标记策略开关为关的策略撤销掉。

## 4 结束语

本文基于 Linux 下的 Iptables 框架和基于多策略的区域边界访问控制模型,研究和设计了基于网络层的区域边界安全

网关,给出了主要模块实现过程,该网关已经在公安部项目《三级信息系统安全建设实验环境与检验平台》实现。而如何对多级网络环境下实现边界控制、实现不同级别之间的策略转换,将是下一步研究的重点。

## 参考文献:

- [1] 刘益和,沈昌祥.基于应用区域边界体系结构的安全模型[J].计算机科学,2006,33(2):83-86.
- [2] 吴钝.基于 RBAC 模型的应用区域边界安全[D].北京:北京交通大学,2005.
- [3] Patrick Michael LiVecchi. Multi-level security network system [P].United States: US 2008/0168557, 2008-07-10.
- [4] Michael K Weller, Tarachrand A Mangra, Joseph A Litizinger, et al. Multi-level secure (MLS) information network [P]. United States: US 2007/0255942, 2007-11-01.
- [5] 夏磊,黄浩,于淑英.混合多策略视图安全模型[J].计算机科学,2008,35(5):42-46.
- [6] 邱桔,韦理丽. Linux 下包过滤防火墙的设计与实现[J].计算机工程与设计,2006,27(13):2472-2475.
- [7] 曹成,周健. Netfilter 框架下防火墙模型总体结构设计[J].计算机应用,2007,27(B06):261-263.
- [8] 唐恒娟.基于 Linux 的 VPN 网关设计与实现[J].计算机工程与设计,2007,28(12):2817-2824.