基于 6LoWPAN 的能源监控系统

王宝亮[1]，马明杰[2]，常　鹏[1]，李　科[1]

（1. 天津大学信息与网络中心，天津　300072；
2. 天津大学电气自动化与信息工程学院，天津　300072）

摘要：目前，能源监控系统主要以 IPv4 为接入网络，其面对现阶段能源监控复杂状况的能力略显不足。为解决设备如何独立编址、设备地址如何确保唯一性、如何确保有足够的地址等问题，本研究在 IPv6 网络下将物联网与 6LoWPAN（IPv6 over low power wireless personal area network）技术相结合，设计并实现系统对能源的监控。感知层与网络层负责数据的采集与传输，将数据上传至应用层，应用层由 Hadoop 集群与能源监控管理系统组成，从而完成数据的处理与呈现。经过实验测试，证明系统达到预期。研究搭建了 6LoWPAN，实现了 IPv6 通信，且能源监控管理平台可以实现数据查看及网络管理。

关键词：通信技术；IPv6；6LoWPAN；物联网；Hadoop

中图分类号：TP274+.2　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-2850(2019)03-0465-08

Energy monitoring system based on 6LoWPAN

WANG Baoliang[1], MA Mingjie[2], CHANG Peng[1], LI Ke[1]

(1. *Information and Network Center*, *Tianjin University*, *Tianjin*　300072, *China*;
2. *School of Electrical and Information Engineering*, *Tianjin University*, *Tianjin*　300072, *China*)

Abstract: At present, the energy monitoring system mainly uses IPv4 as the access network. In the current stage, the ability of energy monitoring and complex conditions is slightly insufficient. To solve the problem of how to address the device independently, how to ensure the uniqueness of the device address, and how to ensure sufficient addresses, the Internet of Things and 6LoWPAN (IPv6 over low power wireless personal area network) technology are combined under the IPv6 network in this paper, to design and implement the system's energy monitoring. The sensing layer and the network layer are responsible for data collection and transmission, which upload data to the application layer. And the application layer is composed of a Hadoop cluster and an energy monitoring management system, thereby completing data processing and presentation. After testing, the system reached the expected level, and the 6LoWPAN was set up to realize IPv6 communication. The energy monitoring management platform could realize data viewing and network management.

Key words: communications technology; IPv6; 6LoWPAN; Internet of Things; Hadoop

0　引言

近年来，随着互联网的飞速发展，物联网应用广泛，并体现在人们生活中的各个方面。可接入物联网的物理设备逐渐增多，传感器种类的多样化及数量爆炸式增长带来了新的问题，例如：设备如何接入、如何分配地址、如何寻址及如何统一管理等[1]。尤其在 IPv6 成为国家战略之后，IPv6 成为了下一代互联网的核心，凭借其技术优势可以解决编址和寻址的问题。在国家的大力支持下，IPv6 在物联网中大规模使用。随之而来的是感知层设备增多、采集数据量极速增长带来的一系列问题，以往的数据处理方式已经不能满足需求。

作者简介：王宝亮（1971—），男，高级工程师，主要研究方向：IPv6 无线传感器网络、大数据分析与推荐算法. E-mail: wbl@tju.edu.cn

国外企业对能源监控工作非常重视，且纷纷投入大量人力、财力来对其进行研究。随着现场总线技术的出现，企业能源监控系统朝着数字化、网络化、智能化的方向飞速发展，并越来越多地应用到各个工业生产过程中。典型的能源监控公司有西门子公司、罗克韦尔自动化公司；此外，欧姆龙等公司也先后推出了各自的能源监控产品[2]。国外能源监控产品一般具有系列化、高智能化、高精度等特点，还提供多种总线通信接口，可以说国外企业能源监控系统在向高精度、高智能化和高网络化的趋势发展。而国内能源监控系统也处于高速发展阶段。但国内外能源监控系统多采用基于 IPv4 的总线通信，或其他无线通信方式，如 GPRS、ZigBee、Wi-Fi 等，未有以 6LoWPAN 为协议实现能源监控系统的无线传感网络。

6LoWPAN 作为 IPv6 在无线传感网络的实现协议，具备无可比拟的优势。在国内外，6LoWPAN 已经被应用到了很多方面，朱海颖等[3]设计并实现了基于 6LoWPAN 的校园仪器设备监控系统；王晓喃等[4]设计并实现了基于 6LoWPAN 无线传感网络的农业环境实时监控系统。但 6LoWPAN 还未应用到能源监控中，能源监控在信息化、自动化和可视化方面还有所欠缺。能源监控相较于其他监控系统，其复杂性比较明显，能源监控的对象具有不定性，灯光、温度、气体浓度等都有可能成为监控对象。因此，能源监控系统的设计应具有通用性，能够适用于绝大多数的能源监控场景中。本系统引入了 Hadoop 大数据处理平台，会针对能源数据进行分析处理并反馈给用户。

本系统采用 6LoWPAN，将 IPv6 协议引入到无线个域网的网络协议中，采用 Hadoop 集群对数据进行处理，主要面向的用户是工厂或家庭。本文将能源监控系统划分为三层，分别为感知层、网络层和应用层。感知层由终端节点组成，负责数据采集。网络层是指 6LoWPAN 边界路由，其能实现异构网络的融合。感知层和网络层共同组成 6LoWPAN 网络。应用层是网页端的能源监控管理系统平台，负责实现数据的监测和管理。本文旨在将 6LoWPAN 应用于能源监控，将 IPv6 技术与物联网相结合。

1　系统总体架构

基于 6LoWPAN 的能源监控系统的实现需要将 IPv6 与物联网结合，用以实现数据采集、数据上传、数据管理、数据呈现等多项功能。本文参照互联网的七层模型，将能源监控系统总体框架抽象为三层：感知层、网络层、应用层。总体架构如图 1 所示。

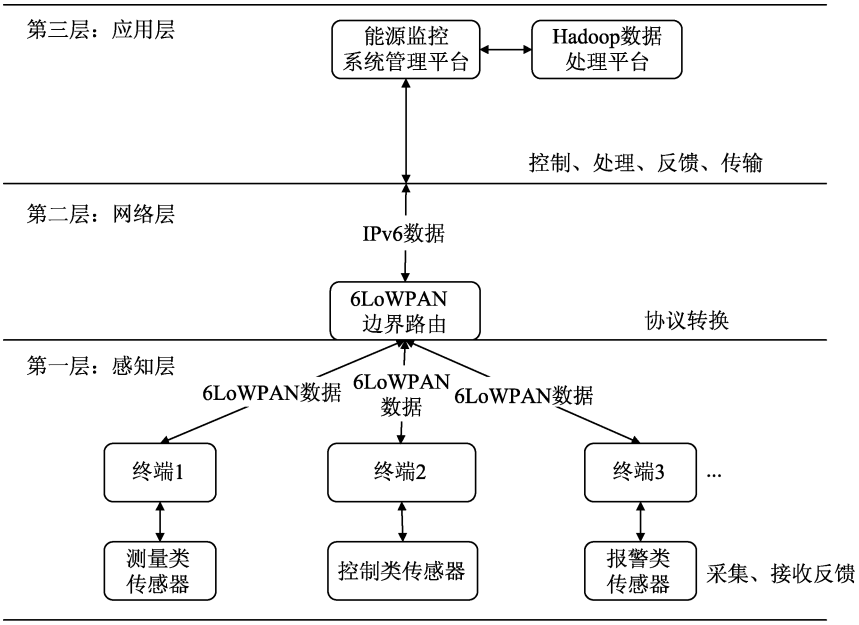


图 1　能源监控系统总体架构

Fig. 1　Overall structure of the energy monitoring system

能源监控系统可以对温度、湿度、光照和气体浓度进行监控。温湿度传感器负责检测和采集各控制点的温湿度数据；温度监控设备的传感器检测到的温度一旦高于某一阈值，立刻发生报警；光照模块则可以监控照明设备；气体浓度模块用来检测 CO 气体的含量，以监控煤气、天然气是否泄露。

本文的能源监控系统具有通用性，可以根据监测情景的不同选用不同的传感器以满足需求。能源监控系统的感知层主要由传感器和终端节点组成，作用是进行数据的采集、处理及转换。海量数据的采集需要传感器实现，而数据的处理转化则由终端节点实现。传感器将收集到的数据传递给终端节点，终端节点处理后经过边界路由上传到服务器端。能源监控系统的网络层是感知层的上层，其主要目的是将感知层上传的数据转发到服务器，将能源监控管理系统下发的命令送达目的地址。其主要功能为发起 6LoWPAN 自动组网，构建 6LoWPAN，实现底层 6LoWPAN 数据转换为上层 IPv6 数据，完成数据上传[5]。能源监控系统应用层的主要作用为数据的存储与呈现，由 Hadoop 服务器和能源管理系统组成。Hadoop 服务器主要用来处理数据以方便数据的可视化，能源监控管理系统为用户提供服务，展示能源数据，并对底层进行管理，控制终端节点的开关休眠，显示传感器上传数据的周期。

2 能源监控系统的硬件设计

能源监控系统感知层的终端节点用于收集监测数据，边界路由将终端节点收集的数据转发到互联网，实现异构网络融合，能源监控系统将转发的互联网数据存储到数据库中，Hadoop 集群进行大数据处理，网页端用于呈现可视化数据。能源监控系统的硬件设计主要由终端节点和边界路由构成[6]，硬件设计的总体框架图如图 2 所示。

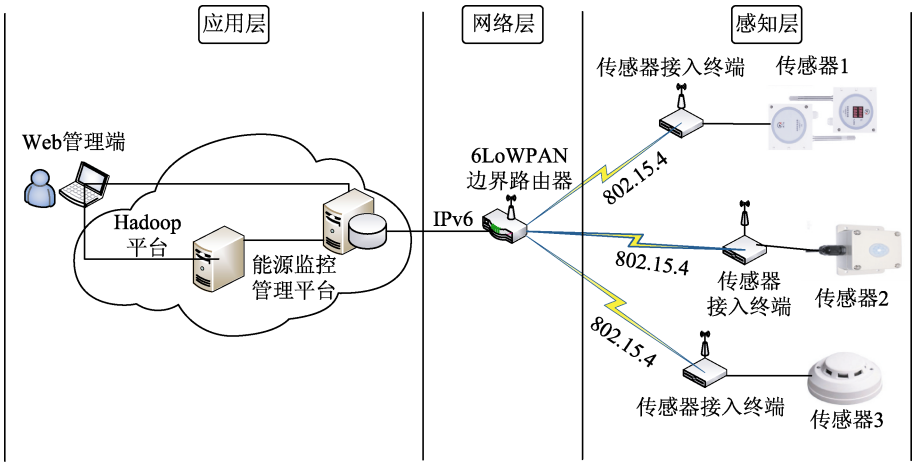


图 2 硬件设计总体框架图

Fig. 2 Overall frame diagram of the hardware design

2.1 6LoWPAN 终端节点的硬件设计

6LoWPAN 终端节点在芯片选择上使用的是 TI 公司的 CC2538 芯片，终端节点电路主要由微处理器主电路、射频模块（天线部分）、网络模块和传感模块组成。微处理器主电路部分包括：CC2538 芯片、电源电路、时钟电路、JTAG 接口、网络接口、I/O 扩展接口和传感器接口电路。通过使用本系统，可以达到传感器数据的准确上报和能源的精确监控。6LoWPAN 终端节点的原理图如图 3 所示。

2.2 边界路由的硬件设计

与终端节点相比，边界路由器增加了网络模块用以接入互联网，相应的传感模块不接传感器，基于

通用性原则，设计成了相同的硬件。在微处理器选型上，Contiki 操作系统支持的微处理器包括 ST 公司的 STM32 系列、TI 公司的 CC253X 系列与 MSP430 系列、Atmel 公司的 Atmega128 系列及 Freescale 公司的 MC1322X 系列等，实际选型时可根据功耗、存储大小及运算速度等参数进行筛选。经过综合考虑选用 TI 公司的 CC2538 芯片。

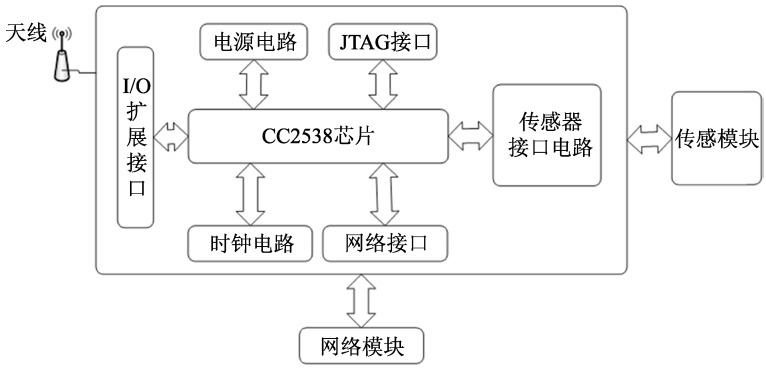


图 3　终端节点原理图

Fig. 3　Schematic diagram of terminal node

本节着重介绍边界路由的网络模块。该模块为 SM1228J60T 网络模块，其主要包括 RJ45 网络通讯接口、LED 电源指示灯、控制信号接口和电源处理电路，如图 4 所示。

该模块通过网线接入互联网，LED 电源指示灯用来表明此时的网络状态，底层网络收集的数据通过边界路由转换为 IPv6 格式数据，通过网线发送给指定的服务器[7]。

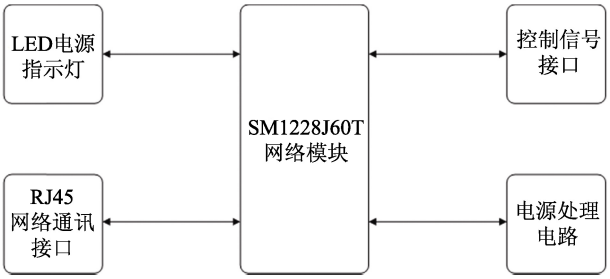


图 4　SM1228J60T 网络模块原理图

Fig. 4　Schematic diagram of the SM1228J60T network module

3　能源监控系统的软件设计

3.1　6LoWPAN 节点软件的设计

感知层网络的终端节点内部使用 Contiki 操作系统，ContikiOS 是由瑞典科学院的物联网专家设计研发的，目的是使资源有限的设备可以运用协议简便地连接进入互联网。其占用内存空间极小，非常适用于在传感器节点中运行，并且采用 C 语言进行编写，简单易懂，容易移植到各种平台上，其免费开源、功耗低、方便移植等特性非常利于能源监控系统的开发。

在 Windows 系统上安装虚拟机 VMware_player_7.0.0.exe，在虚拟机上安装 InstantContiki 2.7 开发平台，用于 Contiki 系统的开发，在 Windows 上安装 JLink 烧录工具用于程序的下载。

终端节点上电后就会自动配置 IPv6 地址，向边界路由发送请求以加入到感知层网络中，终端节点的地址配置采用的是无状态自动配置，采用邻居发现协议加入到无线传感网络中，实现网络的自动组网[8]。终端节点实现节点地址的自动配置过程，完成数据的上传，节点地址自动配置图和节点数据流程图分别如图 5、图 6 所示。

3.2　边界路由软件的设计

边界路由器采用 CC2538 微处理器，同样移植了 Contiki 操作系统，其主要实现异构网络融合的功能，通过射频接受感知层网络收集的数据，进行解析，转换为 IPv6 格式报文，通过网络模块经由网线传递给

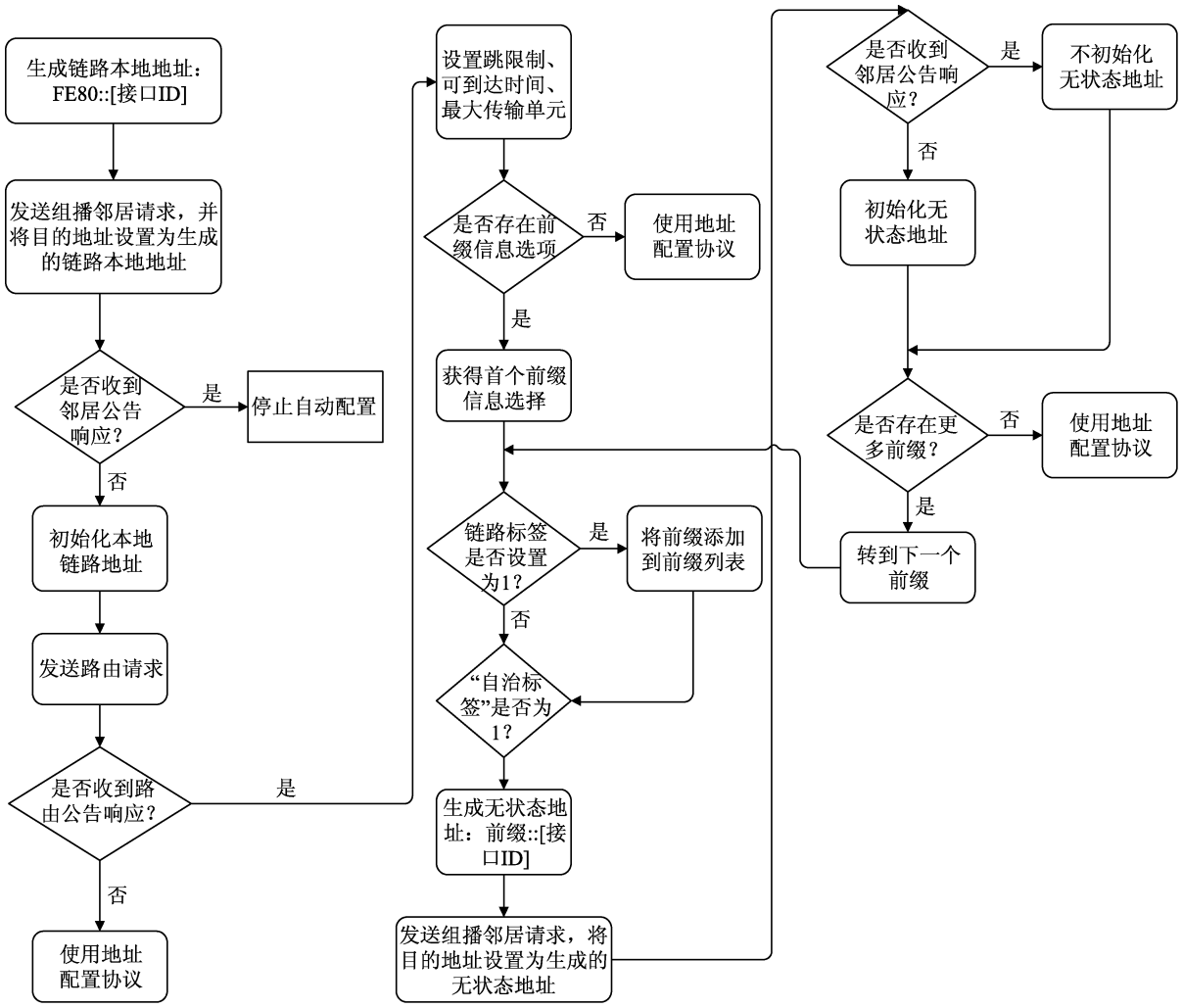


图 5 节点地址自动配置图

Fig. 5 Node address automatic configuration diagram

数据库进行存储[9]。边界路由同样是整个 6LoWPAN 网络的发起者，所有终端节点都需要在边界路由上注册才能加入到 6LoWPAN 网络中，边界路由实现无线传感网络的自动组网，使终端节点达到即插即用的效果。

当用户想要对底层网络进行控制时，数据会从客户端下发至感知层网络，此时边界路由接收到控制指令会对其进行解析，将其转换为 6LoWPAN 格式的数据发送到指定的终端节点，从而控制终端节点所连接的设备[10]。边界路由承担着解析数据的职责，其数据流量是整个网络中负担最重的节点。因此，本系统对边界路由做出了相应的优化，以避免因边界路由崩溃而导致整个网络瘫痪。边界路由的软件处理流程如图 7 所示。

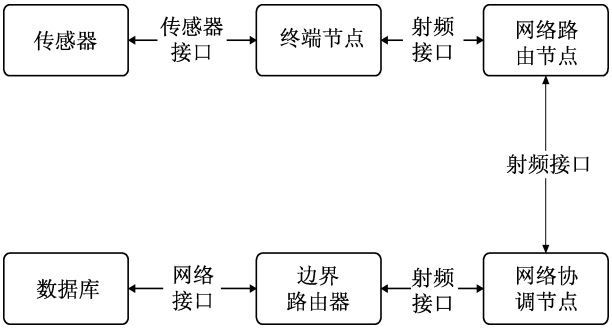


图 6 节点数据流程图

Fig. 6 Node data flow diagram

3.3 监控系统管理平台的设计

针对国内外能源数据采集系统的水平，能源监控系统的设计遵循以下设计原则：系统应具有集中统

一的管理能力，具有开放性、可扩性、兼容性和灵活性，系统的设计和产品的选择应标准化、规范化，系统必须具有安全性、可靠性和容错性。

本系统能源管理的方法为独立管理，感知层有配套的监控设备，对温度、湿度及气体浓度等参数进行监控。为方便用户监测、浏览、查询和保存历史数据，本系统设计了能源监控系统管理平台，该平台的硬件为三台服务器，部署 Hadoop 分布式主从节点，一主二从，安装的 Hadoop 版本为 Apache Hadoop 2.7.4 版本，主节点是一台 HP ProLiant DL388 G7，从节点是两台 DELL PowerEdge R730，三台服务器均安装 Ubuntu 16.04 操作系统，并且均为 16 G 内存和 2 T 硬盘。

能源监控系统管理平台主要分为系统管理模块、网关管理模块、节点管理模块、数据管理模块和报警模块。客户端实现用户对网关和节点的管理，其中数据模块通过 Hadoop 集群对数据进行分析，向用户推送适合用户的设备使用方案，以及设备使用状况的分析，帮助用户更加合理、节约地使用设备。报警模块当出现情况时会向用户示警，提醒用户及时处理状况，而指令下发则是对能源监控系统监控下的设备进行控制。平台系统框图如图 8 所示。

综上所述，本次基于 6LoWPAN 物联网的能源监控系统的设计具有如下优势：

1）完善能源信息的采集、存储、管理和能源的有效利用；

2）减少管理环节，优化管理流程，建立客观的能源评价体系；

3）减少能源系统运行成本，提高劳动生产率；

4）加快系统的故障处理，提高对意外故障发生的反应能力。

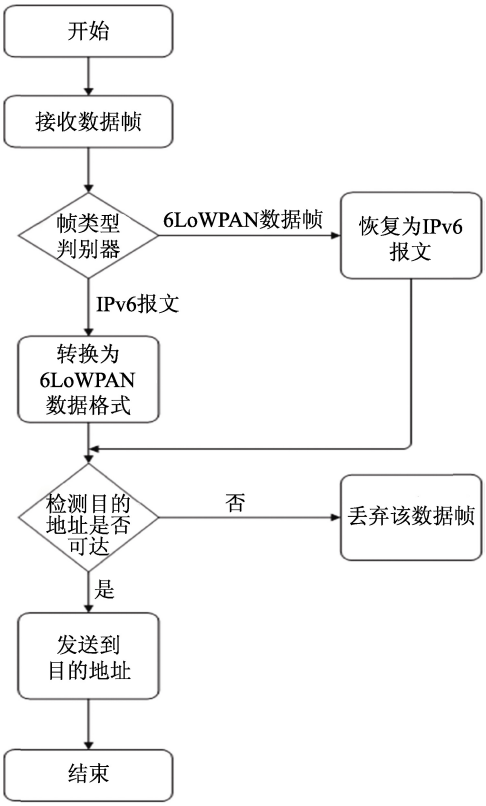


图 7　边界路由软件流程图

Fig. 7　Flowchart of boundary routing software



图 8　能源监控系统管理平台的系统框图

Fig. 8　System frame diagram of the energy monitoring system management platform

4 能源监控系统的实验测试

基于 6LoWPAN 的能源监控系统管理平台能够实现数据的呈现、用户登录权限的管理，以及对节点和边界路由的管理。打开监测端 PC 机上的能源监控系统，进入登录界面，如图 9 所示。在相应的位置输入正确的用户名和密码，点击登录按钮，则可以进入主界面。此时，可以在主界面左栏的实时监控中看到设备检测到的温湿度、CO 浓度及光照情况的数据。



图 9 能源监控系统管理平台的登录界面

Fig. 9 Login interface of energy monitoring system management platform

接着，当被监测设备处于待机和关机状态时，监测平台也可以实时显示数据的状态信息，基本符合系统的设计要求。

在 PC 端使用抓包工具进行抓包，可以看到 aaaa::2124b00:5af:7fc1 节点采集的温湿度数据可以正常发送至 PC 机。说明该边界路由器具有较好的数据传输能力。用户数据报协议（user datagram protocol，UDP）数据在网络中的传输信息如图 10 所示，能源监控系统管理平台的操作界面如图 11、图 12 所示。

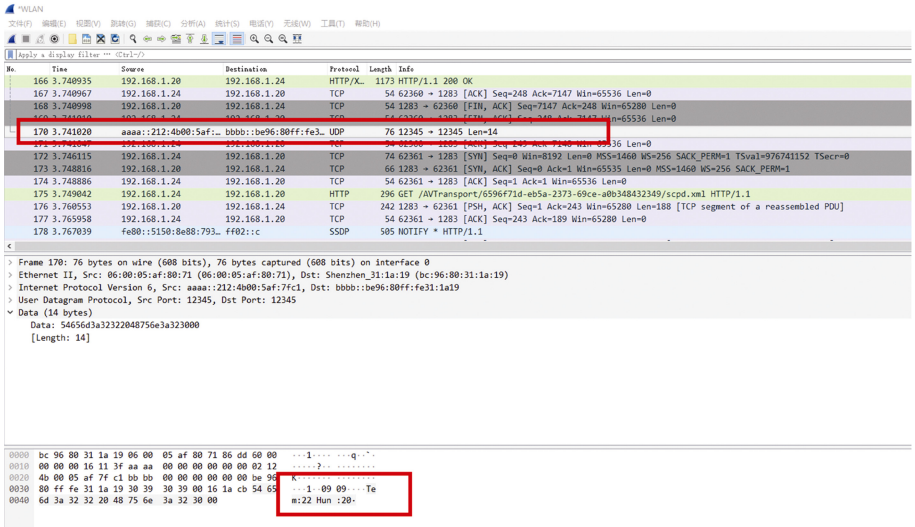


图 10 UDP 数据抓包信息

Fig. 10 UDP data capture packet information

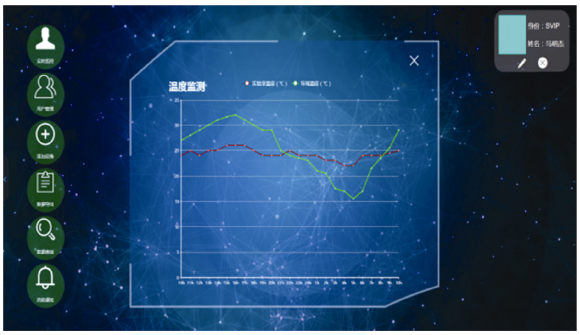


图 11 能源监控温度数据

Fig. 11 Energy monitoring temperature data

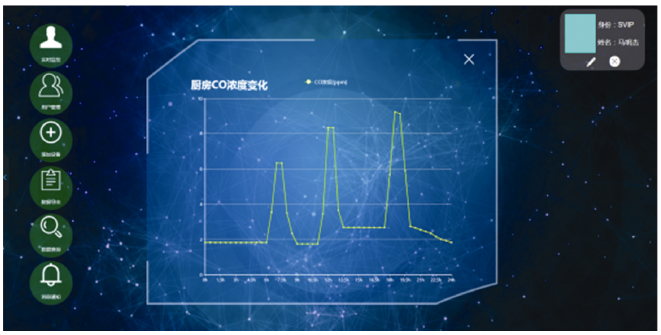


图 12 能源监控 CO 浓度数据

Fig. 12 Energy monitoring CO concentration data

经过以上对数据的采集和发送，以及对终端节点、边界路由、服务器和监控平台的测试，可以看出：本系统可以获取到实验设备的实时监测数据，组建的 6LoWPAN 无线网络性能优良，数据存储功能运作

良好，监测平台运行稳定，每个模块均可以正常工作，符合设计要求。

5 结论

本文设计并实现了基于6LoWPAN的能源监控系统，对系统进行分层设计，感知层与网络层实现数据的收集和上传，应用层以Hadoop集群为大数据分析中心，实现对数据的分析，能源监控系统实现了对整个系统的管理，最终经过测试，系统稳定运行，实现了底层无线传感网络与IPv6互联网的通信。通过能源监控系统管理平台实现了用户对设备的实时监测和管理，通过对能源监控系统进行分析，可制定出更利于节能减排和更科学的设备使用方式，本系统以其具有的通用性可应用于家庭、企业及工厂等诸多场景之中。

[参考文献] (References)

[1] 王栋，戴丽华，吴阳江. 基于6LoWPAN的物联网轻量级寻址系统设计及实现[J]. 科技通报，2018，34（12）：144-148.
WANG D, DAI L H, WU Y J. Design and implementation of IoT lightweight addressing system based on 6LoWPAN[J]. Bulletin of Science and Technology, 2018, 34(12): 144-148. (in Chinese)

[2] 龚成莹，何辉，马应莲，等. 基于6LoWPAN的无线传感网设计[J]. 无线电工程，2018，48（7）：531-535.
GONG C Y, HE H, MA Y L, et al. Design of a wireless sensor network based on 6LoWPAN[J]. Radio Engineering, 2018, 48(7): 531-535. (in Chinese)

[3] 朱海颖，冯兴杰，赵俊松，等. 基于6LoWPAN的校园仪器设备监控系统[J]. 中国民航大学学报，2018，36（4）：44-48，58.
ZHU H Y, FENG X J, ZHAO J S, et al. Campus equipment monitoring system based on 6LoWPAN[J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2018, 36(4): 44-48, 58. (in Chinese)

[4] 王晓喃，殷旭东. 基于6LoWPAN无线传感器网络的农业环境实时监控系统[J]. 农业工程学报，2010，26（10）：224-228.
WANG X N, YIN X D. Agricultural environment real-time monitor and control system based on 6LoWPAN sensor networks[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(10): 224-228. (in Chinese)

[5] 李堃. 基于6LoWPAN的IPv6无线传感器网络的研究与实现[D]. 南京：南京航空航天大学，2008.
LI K. Research and implementation of IPv6 wireless sensor network based on 6LoWPAN[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2008. (in Chinese)

[6] 胡国强. 基于6LoWPAN和IPv6的实验机房环境监测系统[J]. 高校实验室工作研究，2017（2）：54-58.
HU G Q. Experimental room environment monitoring system based on 6LoWPAN and IPv6[J]. Journal of University Laboratory Work, 2017(2): 54-58. (in Chinese)

[7] 何朝阳. 基于6LoWPAN的物联网应用平台研究与实现[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2011.
HE C Y. Research and implementation of an application platform for the Internet of Things based on 6LoWPAN[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011. (in Chinese)

[8] 邬明彪，吴桂清，陈清华. 基于多个开源系统的6LoWPAN边界路由器的设计[J]. 电子技术应用，2018，44（7）：64-67.
WU M B, WU G Q, CHEN Q H. Design of 6LoWPAN border router based on multiple open source systems[J]. Application of Electronic Technique, 2018, 44(7): 64-67. (in Chinese)

[9] 向浩，李堃，袁家斌. 基于6LoWPAN的IPv6无线传感器网络[J]. 南京理工大学学报（自然科学版），2010，34（1）：56-60.
XIANG H, LI K, YUAN J B. IPv6 wireless sensor network based on 6LoWPAN[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2010, 34(1): 56-60. (in Chinese)

[10] QING G H, MAO J H, LIU Y H. Generalized mixed finite element method for 3D elasticity problems[J]. Acta Mechanica Sinica, 2018, 34(2): 371-380.

（责任编辑：李曦）