

基于 6LoWPAN 的低功耗长距离海洋环境监测系统

王 栋¹ 王 虎² 姜迁里³

1 中国海洋大学图书馆 山东 青岛 266100

2 中国海洋发展研究中心 山东 青岛 266100

3 中国海洋大学海洋高等研究院 山东 青岛 266100

(wangdong@ouc.edu.cn)

摘 要 海洋环境监测具有监测节点分散、节点数量多、测量数据种类复杂、信息交换和通信业务多样性的特点。无线传感器网络可以减少线路连接,降低部署和运维成本。6LoWPAN(IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks)技术基于 IEEE802.15.4 实现了 IPV6 数据包在无线传感器网络中的传输,是实现无线传感器网络和因特网互联的理想技术。在研究 Contiki 6LoWPAN 网络拓扑结构和协议的基础上,文中采用 TI CC1310 平台搭建了无线传感器节点和边缘路由器,节点数据经过边缘路由器和互联网,最终发送到服务器监控系统,实现海洋数据的动态监测。通过实验证明,该系统具有组网简单、传输距离远、成本和功耗低等优势。

关键词: 海洋环境监测;无线传感器网络;IPv6;CC1310

中图法分类号 TP393

Low Power Long Distance Marine Environment Monitoring System Based on 6LoWPAN

WANG Dong¹, WANG Hu² and JIANG Qian-li³

1 Library, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100, China

2 Academy of Ocean of China, Qingdao, Shandong 266100, China

3 Institute for Advanced Ocean Study, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100, China

Abstract Marine environmental monitoring is characterized with decentralized monitoring nodes, a large quantity of nodes, complicated of measurement data types, variety of information exchange and communication. Wireless sensor networks can reduce the number of cable connections, and decrease the costs of deployment and maintenance. Based on IEEE802.15.4, 6LoWPAN technology realizes the transmission of IPV6 data packets in wireless sensor networks, hence it is an ideal technology for the interconnection between wireless sensor network and Internet. Based on the research of the topology and protocol of Contiki 6LoWPAN network, the TI CC1310 platform is used to build the wireless sensor nodes and edge routers. The node data is sent to the monitoring system on servers through the edge routers and Internet, to achieve the dynamic monitoring of ocean data. Experiments show that the system has the advantages of easy network construction, long transmission distance, and low cost and power consumption.

Keywords Marine environmental monitoring, Wireless sensor network, IPv6, CC1310

1 引言

海洋经济的快速发展对海洋生态环境产生了一系列影响,以信息化手段促进海洋经济良性发展并加强生态环境保护具有良好的社会效益和广阔的应用前景^[1]。近年来,各种海洋环境监测系统不断被开发出来并投入实际应用,为研究海洋、开发利用海洋和预防海洋灾害等提供了关键数据资源。但是由于海洋面积巨大、环境复杂,各种监测指标内容多样等特点,海洋环境监测系统具有监测节点分散、节点数量多、测量数据种类复杂、信息交换和通信业务多样性的特点。因此以往各种海洋监测系统的部署和运维成本高昂,且自成体系,

未形成有效的共享机制^[2]。

物联网技术的兴起和不断发展,为海洋环境监测提供了有效的解决方案,海洋感知物联网技术逐渐受到诸多研究人员和机构的关注。

崔等设计的海洋感知物联网架构的层级模型^[1],杨提出的一种基于海洋环境数据的物联网动态监测系统设计方案^[3],都实现了实时监测海洋环境和数据处理等功能。

诸多研究者还将 IPv6 融入海洋环境感知物联网中。由于 IPv6 协议具有地址空间巨大、地址自动配置、良好的移动性支持等特点,不仅解决海洋物联网节点寻址和通信的问题,还能解决将来规模扩大后物联网地址不足、缺乏安全机制等

基金项目:中央高校基本科研业务费专项中国海洋大学图书情报研究基金(201953001);赛尔网络下一代互联网技术创新项目(NGII20170309)

This work was supported by the Fundamental Research Funds for the Central Universities (201953001) and CERNET Innovation Project (NGII20170309).

通信作者:姜迁里(jiangqianli621@126.com)

问题。6LoWPAN 网络在物联网中有十分广泛的应用,它是由 IETF 定义的低功耗无线 Mesh 网络组网协议,其网络节点拥有唯一的 IPv6 地址,所有通信采用标准 IP 协议栈,通过 IEEE802.15.4 实现了 IPv6 数据包在无线传感器网络中的传输,使得节点可以方便无缝地接入因特网,6LoWPAN 是实现无线传感器网络和因特网互联的理想技术^[4]。随着物联网技术和传感技术的不断发展,6LoWPAN 技术方案也越来越多,目前 6LoWPAN 已经在开源操作系统 Contiki 和 TinyOS 中实现。赵等^[4]提出一种基于 Contiki 的轻量级 6LoWPAN 网关设计方案,蔡等^[2]和胡等^[5]基于 Contiki 6LoWPAN 网络和 TI CC2538 平台分别设计了两种环境监测系统。CC2538 平台为无线传感器网络中 2.4GHz IEEE802.15.4,6LoWPAN 和 ZigBee 应用提供了良好支持。但它工作在 2.4GHz 频段,虽然传输速率高,但是传输距离较短,难以满足海洋监测领域中一些网络节点分散的应用需求。Sub-1GHz 无线通信技术由于具有较低的频率,因此该方法在低功耗、长距离通信或穿墙能力上更有优势,尤其在某些特定广阔区域应用系统中,如光伏检测、智能抄表和工厂环境中是理想选择^[6-8]。

本文将 6LoWPAN 和 Sub-1GHz 无线通信技术应用于无线传感器网络中网络节点和边缘路由器的设计,并设计了一种基于 IPv6 的海洋环境监测系统。该系统可以实现多种海洋传感器观测数据的采集,并将数据发送到监控平台的数据中心,经过存储、分析和处理后,通过网站发布实时监测结果。

2 系统设计

本系统参照物联网系统的架构,分成海洋环境感知层、IPv6 网络层和应用层,如图 1 所示。

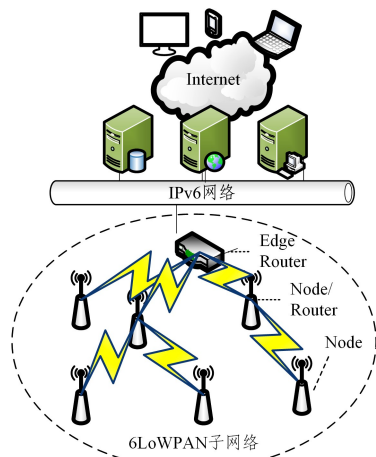


图 1 系统架构图

Fig. 1 System architecture

其中,海洋环境感知层主要由各类传感器组成,负责环境参数的采集,包括海水 PH 值、浊度、水温、光照度、海水电导率等,本文还在传感器节点中增加了北斗 GPS 模块,以获取节点的位置信息。IPv6 网络层主要以 6LoWPAN 方案组建无线传感器网络,负责各个节点间的无线组网,并为节点分配地址,通过链路层数据帧实现 IPv6 数据包从节点传输到边缘路由,再由边缘路由通过 IPv6 网络转发至服务器端。应用层的主要功能是将感知层传输来的信息进行存储、分析和处理,

实现智能化的管理、应用和服务。

本文系统可以实时获取和监视各个传感器节点部署地点的环境参数,并且可以对传感器节点的运行状态进行控制。

(1)数据采集过程:节点将包含环境参数的 UDP 数据包发送给无线传感器网络中的临近节点,数据包经过多跳传输后发送给边缘路由器,再由边缘路由器转发至 IPv6 网络,经过因特网到达指定地址的服务器端口。

(2)数据存储、处理和发布:服务端收到节点发来的 UDP 报文后,按照预定格式对数据解析后存入数据库。专门设计的服务端程序负责监视数据和节点的异常状况,如新数据与历史数据对比差异大、数据超过预设阈值、节点报错或者长时间无报文等。

(3)节点控制:服务器发出节点控制指令,如重启、休眠等,指令数据包经边缘路由器转发至节点,节点向服务器回发确认包后,执行指令,改变自身状态。

3 无线传感器网络

通过前期项目过程中多种处理器平台的比对,综合考虑稳定性、功耗、处理能力和通信距离,本系统选用 TISub-1GHzSOC 芯片 CC1310 搭建 6LoWPAN 无线传感器网络,网络主要由传感器节点和边缘路由器组成。

3.1 CC1310 平台

CC1310 芯片上搭载了超低功耗 RF 收发器和 48 MHz Cortex-M3 微控制器,并集成一个 Cortex-M0 作为专用无线控制器来处理 ROM 或 RAM 中存储的底层 RF 控制协议命令,从而实现超低功耗和系统的灵活度。芯片中还集成了低功耗传感器控制器,可每秒唤醒一次执行 12 位的 ADC 采样。

CC1310 支持多种 Sub-1GHz 无线频段和无线组网方式,包括 6LoWPAN、TI15.4 星型网络和 Sigfox 等,通信速率从 625 bps 至 4 Mbps,在室外开阔环境中,CC1310 采用长距离低速率模式,通信距离可达 20 km。

3.2 传感器节点设计

传感器节点有主控制器、射频通信模块、传感器和电源组成。为了适应海洋环境中分布部署的特点,节点需要采用电池供电。从 TI 官方材料¹⁾中可以看出,虽然 CC1130 有极低的功耗,但是在 RF 收发和传感器数据读取时,平均功耗较大。

表 1 CC1310 功耗表

Table 1 CC1310 power consumption meter

功能模块	功耗
TX	13.4 mA@+10 dBm; 23 mA@+14 dBm
RX	5.4 mA
MCU	2.5 mA@48 MHz ARM Cortex-M3
SensorController	400 μ A+8.2 μ A/MHz
休眠电流	0.7 μ A(RTC 与 RAM 保持)
深度休眠电流	0.185 μ A

为实现海洋环境参数的实时采集,传感器节点需要连续工作。节点设计需要平衡采集频率和电池寿命值之间的关系,较高的采集频率需配备大容量电池或者频繁更换电池,显然不适用于传感器节点构造和工作场景。

因此需要为节点配备能量收集装置,本文使用太阳能电池收集太阳能为节点供电,并配置专门收集电源管理电路。节点原理如图 2 所示。

¹⁾ <http://www.ti.com.cn/product/cn/cc1310>

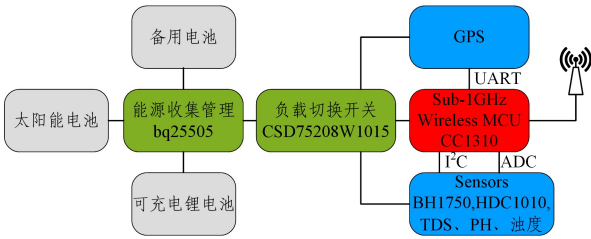


图2 传感器节点原理图

Fig. 2 Schematic diagram of sensor nodes

CSD75208W1015 为低阻负载开关,负责切换充电锂电池和备用电池,为 CC1310 和各个传感器供电。控制器程序根据不同的供电电源动态,改变采集频率来延长节点工作寿命,节点工作流程如图 3 所示。

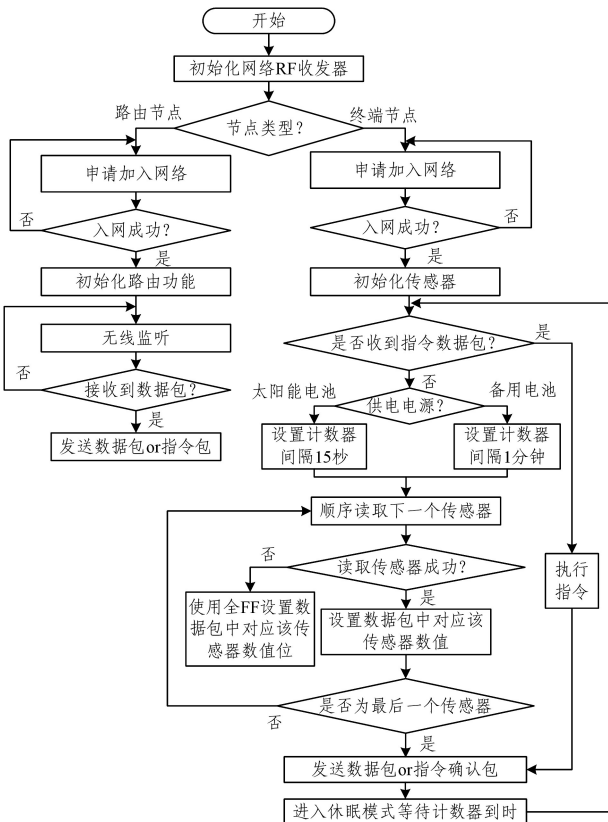


图3 节点工作流程图

Fig. 3 Node workflow

节点启动后首先初始化射频控制器,发送入网请求广播包。路由节点加入传感器网络后进入无线监听状态,根据收到的网络包类型决定转发至节点还是其它路由。

终端节点工作流程采用循环发送模式,数据包按照固定时间间隔发送。程序首先初始化无线控制器、设备通信模块和连接各个传感器的 IO 接口,在随后的测试发送循环中,CC1310 控制器首先判断是否收到数据包,有数据包则优先执行指令,然后判断供电电源是太阳能电池,还是备用电池。如果供电电源为太阳能电池则设置一个较短的循环间隔,以如果为备用电池则设置较长的循环间隔,以尽可能延长节点工作时间。

3.3 边缘路由器设计

边缘路由器用于连接 6LoWPAN 传感器网络和 IPv6 网络,实现网络之间的相互通信。本系统采用搭载了 Ubuntu 系统的 Raspberry3B+(树莓派 3 代 B+型)和 CC1310 开发板

作为运行平台,安装 Contiki 系统和 RPL 应用。CC1310 充当 6LoWPAN 网络中的 RPL 根节点,通过 UART 连接树莓派的 USB 口,树莓派的以太网接口连接因特网。树莓派连接两端网络,充当了网关作用,将传感器节点发来的数据包转发到因特网上的服务器,并将服务器发来的控制命令送入无线网络。边缘路由器原理图如图 4 所示。

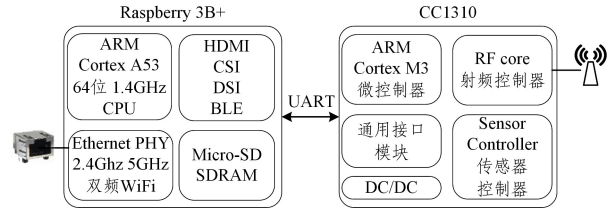


图4 边缘路由器原理图

Fig. 4 Schematic diagram of edge router

Raspberry3B+搭载了 1.4 GHz 的 64 位四核 ArmCortex-A53 架构处理器,1 GB 内存,自带千兆以太网口,并支持 2.4 GHz 和 5 GHz 的双频无线局域网,因此可支持多种方式接入因特网。同时,ubuntu 官网免费发布支持 Raspberry3B+ 的系统镜像,借助 GitHub 可以方便的搭建 Contiki 运行开发环境。基于 Contiki 设计边缘路由器的工作流程如图 5 所示。

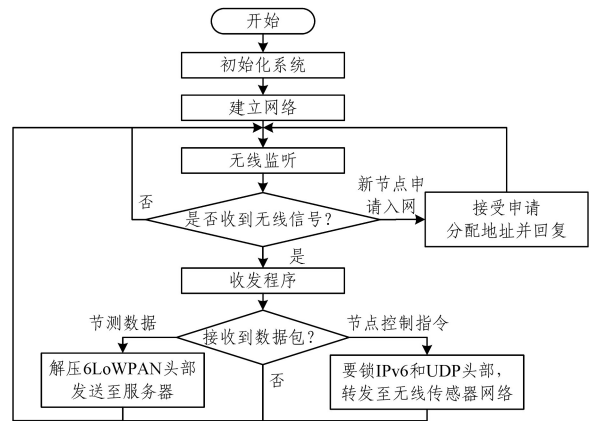


图5 边缘路由器工作流程图

Fig. 5 Workflow of edge router

4 服务端系统

服务端系统实现数据采集、存储、处理和发布功能,主要分为两个部分:数据采集程序和发布系统。数据采集程序负责侦听端口,接收从边缘路由器转发来的 UDP 数据包,解析报文后,将报文中的节点信息和环境参数写入数据库中。另外,程序还可以向传感器节点发送控制指令,根据节点返回确认数据包,更新数据库中和界面上的节点状态信息。

数据采集程序为发布系统提供了数据基础,发布系统在 Web 浏览器上显示海洋监测网络节点空间位置和传感器时序数据的可视化界面和数据分析功能,主要分成如下两部分。

(1)可视化界面:地图模块显示当前网络节点位置,网络模块显示连接设备的数量,传感器节点部分显示网络中所有设备的运行状态和实时传感器信息。

(2)数据分析处理:根据收集到的历史数据自动计算环境参数基线,按照基线的策略规则,识别超出环境参数预期的特殊参数,提醒管理员可能存在风险。

参数 λ , 改进行情事件函数等策略, 对中国 A 股市场 1848 只股票特征数据进行分析排序, 在标准指数基金中证 500 指数的基础上, 通过策略判断, 根据市场信息与决策情况进行实时适当调整, 用业绩优异的非成份股代替业绩较差的成份股, 开发出一款 D 产品实验结果表明, 该产品具有良好的超越标准指数更好、更稳定的投资收益, 截至 2019 年 2 月 5 日实现超额收益 1.5808。

参考文献

- [1] ZHAO L M. Inheritance and Innovation of Information Resource Management Theory: Big Data and Data Science Perspective

(上接第 598 页)

5 实验

本系统在青岛滨海某养殖基地进行测试, 选择间隔在 1 km 左右的养殖网箱部署 3 个传感器节点, 在岸上部署边缘路由器。边缘路由器设置 IPv6 地址后, 网线直接连接服务器, 通过服务器收取节点数据。传感器节点和边缘路由器原型机如图 6 所示。

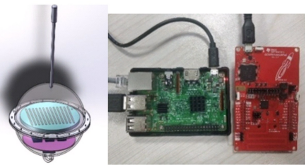


图 6 节点设计图和原型机、边缘路由器硬件平台

Fig. 6 Node design drawing and hardware platform of prototype and edge router

实地采集结果如图 7 所示, 每个节点每隔 10 s 向服务器发送一次检测结果。通过长时间连续运行, 记录节点数据发出和服务器接收情况, 统计发现, 1 km 以下数据丢失率为 0.8%, 随着距离增大, 数据丢失率上升, 1.5 km 距离下丢失率达到 2%, 满足海洋监测平台的需要。未来根据海面特征调整硬件射频设计, 进一步提高通信质量。

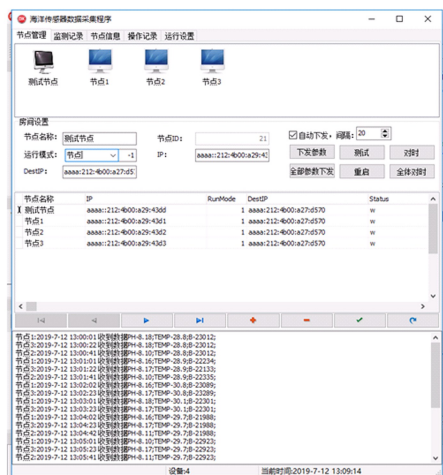


图 7 数据采集程序运行界面

Fig. 7 Data acquisition program operation interface

结束语 本文将 IPv6 物联网技术引入海洋环境监测领域, 研究海洋环境感知物联网的系统架构和基于 IPv6 通信技

[J]. Journal of China library, 2019(2): 26-42.

- [2] LIANG J. Democratize AI to empower investors[OL]. 2019.
 [3] 网络资源: StockRanker 训练[EB/OL]. https://bigquant.com/docs/develop/modules/stock_ranker_train.html.



LI Yong, born in 1964, Ph.D, professor, Ph.D supervisor, is a member of China Computer Federation. Her main research interests include financial engineering and risk management.

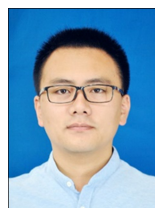
术的海洋环境数据采集终端设备, 构建一个海洋环境智能监测平台。通过物联网的传感器网络技术实现各种海洋传感器观测数据的采集, 并将数据发送到监控平台的数据中心, 经过存储、分析和处理后, 由网站发布可视化监测结果。实验证明该方案有效可行。

参考文献

- [1] 崔振东, 郑亮, 桂福坤, 等. 海-岛感知物联网关键技术研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, 34(2): 204-208.
 [2] 蔡声波, 吴学英. 基于 6LoWPAN 的海洋台站监测系统[J]. 海洋技术学报, 2017, 36(6): 38-43.
 [3] 杨楨明. 基于海洋环境数据的物联网动态监测系统[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(6): 153-155.
 [4] ZHAO H G, SHI C, ZHAI L Y. Design and Implementation of Lightweight 6LoWPAN Gateway Based on Contiki[C]// 2018 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC). Qingdao, 2018: 1-5.
 [5] 胡国强, 杨彦荣. 基于 6LoWPAN 和 IPv6 的猪舍环境远程监测系统[J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(5): 9-12.
 [6] 黄小兵, 聂兰顺. 无线自组网节点极低基础功耗方案的设计[J]. 智能计算机与应用, 2018, 8(6): 225-229.
 [7] SOMMER P, MARET Y, DZUNG D. Low-Power Wide-Area Networks for Industrial Sensing Applications[C]// 2018 IEEE International Conference on Industrial Internet (ICII). Seattle, WA, 2018: 23-32.
 [8] HUANG L T, HA D S, CHO H. Low Power Design of a Wireless Sensor Node to Monitor Electric Car Batteries[C]// IECON 2018-44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Washington, DC, 2018: 3045-3050.



WANG Dong, Ph. D. His research areas are machine vision, embedded system, software programming, and IoT design.



JIANG Qian-li, Ph. D. His research areas are underwater robots, and ROV design.