

基于 LoRa 的海洋多功能信标组网及特性研究

慕声波, 张 峰, 姚 鹏

(中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100)

摘要: 针对目前海洋观测网络通信距离、功耗、复杂度、抗干扰能力、成本之间的矛盾, 提出了一种基于 LoRa(long range)的海洋多功能信标组网观测系统。通过运用新型的 LoRa 调制技术, 采用星型链路网络对多功能信标进行组网设计, 并结合北斗通信, 构建了一套覆盖范围广、功耗低, 组网简单, 抗干扰性强的海洋监测网络系统, 能够有效实现近海和远海的全范围覆盖, 同时降低了组网的成本。通过对多功能信标的低功耗设计, 可有效降低信标功耗, 延长了工作周期。通过室内和室外的模拟实验, 验证了组网通信的有效性, 以及远距离传输数据特性, 为信标的升级设计和海洋组网观测打下了基础。

关键词: LoRa(Long Range)网络; 海洋信标; 低功耗; 覆盖范围

中图分类号: TP23 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2018)01-0001-05

DOI: 10.11759/hyxx20171011009

随着经济和社会的发展, 海洋越来越成为人们关注的焦点, 伴随着“海上丝绸之路”的提出, “数字海洋”、“透明海洋”成为学者们研究的热点方向。海洋资源、环境、气候等一系列信息的监测采集能够对海洋生态环境、贸易、渔业等相关行业产生重大影响, 是建设海洋强国的重要战略保障。因此, 建立相应的海洋观测系统, 实现海洋观测信息的实时有效传输和共享, 是认识海洋、保护海洋、开发海洋的必要手段。最早的海洋观测网络研究始于美国军方的水声监视系统 SOSUS(sound surveillance system)、DSN(distributed sensor networks)等的研究。美法联合研制的全球海洋监测计划 ARGO 系统、加拿大建立的 VENUS 系统、美国建立的 MARS 系统和日本的 ARENA 系统等^[1-3], 这些网络化的监测系统都在海洋领域发挥着重要作用。国内的海洋监测网络多采用 ZigBee、GPRS、数传、卫星通信相结合的技术方法, 构建应用于近、远海的海洋环境监测网络的设计研究^[4-7]。

然而, 功耗、数据采集的实效性、传输距离和成本的权衡, 一直是限制海洋监测网络发展的瓶颈。随着物联网技术的飞速发展, LoRa 扩频技术的出现为解决这一问题提供了契机。通过将 LoRa 技术应用于海洋多功能信标, 并以此为基础组网观测, 并结合北斗通信系统, 可以实现低成本、低功耗、抗干扰的远距离实时通信, 建立一个更加稳定有效的海洋观测网络。本文研究了基于 LoRa 和北斗的网络观测系

统架构及相应的关键技术, 并通过室内及室外模拟实验验证了方案的可行性。

1 基于 LoRa 的海洋观测网络概述

LoRa(long range)是一种新型无线电调制解调技术, 利用了先进的扩频调制技术和编解码方案, 增加了链路预算和更好的抗干扰性能, 对深度衰落和多普勒频移具有更好的稳定性, 适用于长距离、低功率和低数据传输速率的应用。LoRa 采用 125 kHz 的信道进行通信, 其数据传输速率范围为 0.3~50 kbit/s。由于采用扩频调制技术, LoRa 可在信噪比低于 20 dB 时实现解调, 这使网络连接具有高灵敏度、更加可靠, 同时提高了网络效率并消除了干扰^[8]。

由于海洋环境的特殊性, 海洋观测网络关心通信带宽和距离、通信功耗及通信的可靠性。除了个别图像传输的场合, 需要较宽的网络传输带宽外, 其他大部分海洋观测网络, 只需要传输统计数据及部分实时数据, 所需的数据带宽并不高。例如一套普通的 10 m 大型海洋资料浮标, 同时采集气象参数(风

收稿日期: 2017-10-11; 修回日期: 2017-12-23

基金项目: 国家自然科学基金(51475197); 国家重点研发计划(2016YFC1400800)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 51475197; National Key R & D Plan, No. 2016YFC1400800]

作者简介: 慕声波(1970-), 男, 山东平度人, 博士, 副教授, 目前研究方向为嵌入式系统, 智能仪器仪表, 海洋监测系统, 电话: 18661824998, E-mail: qishengbo@ouc.edu.cn

速、风向、温度、湿度、气压、能见度等)、水文参数(波浪、剖面海流、水温、盐度、浊度、叶绿素等)和标体安全参数(倾斜度、GPS 定位、舱门开关、泄露报警灯)。在加密监测模式下,每半小时发送一次统计值,每次仅仅需要发送几百个字节即可。

与目前国内外的组网方案相比较,LoRa 通信频段开放,空旷地带通信通信距离可达 10 km 以上,休眠功耗低于 1 μ A,无需基站,网关成本低,LoRa 组网具有明显的低成本、低功耗、远距离和抗干扰性强的优势,非常适合于构建局域通信网络^[9]。

2 海洋信标网络的设计及其关键技术

海洋信标就是一种海洋设备定位装置,具有定位和频闪功能,可以随其他设备一起被投放到海底,待其他设备和信标通过绳索连接一起浮出水面时,通过寻找信标就可以方便地寻找到其他海洋设备。由于信标浮出水面时具有定位功能,而且具有随波性和随流性,如果配以适当的传感器,可以对海气界面中的温度、波浪、表面海流等参数进行测量,这就扩展了信标的基本功能,成为一种多功能信标。

当需要短时间多点观测时,可以将配备有 LoRa 无线通信模块的多个海洋信标布放在某一海域,并在船上放置网关设备及卫星通信设备,以组成网络化观测系统。根据实际的应用场景和功能需求,优化系统的软硬件设计,实现低功耗和远距离传输的项目需求。

2.1 多功能海洋信标的系统框架

组网系统的网络框架如图 1 所示。网络由若干个信标检测节点、网关、服务器和卫星组成。本系统的组网设计,基于 LoRaWAN 的无线通信协议中

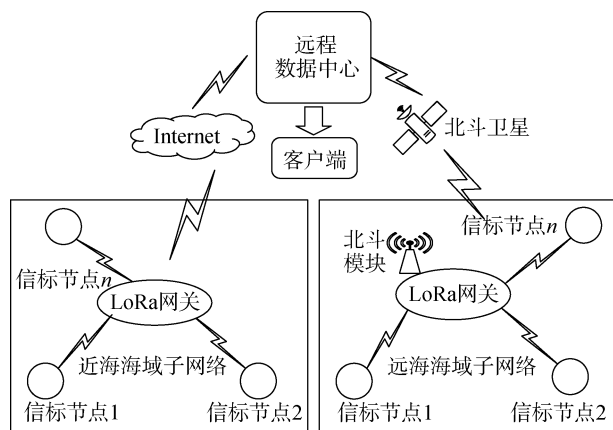


图 1 基于 LoRa 的海洋多功能信标网络

Fig. 1 LoRa-based marine multi-beacon network

的模式 Class A,通过多功能信标对海洋环境中的各项数据进行采集,经由 LoRa 无线通信模块将数据发送给网关,由网关上传至远程信息中心,进行集中处理和分析,为监测人员决策提供指导。此外还可以通过网关上搭载的“北斗”通信模块,经由卫星转发,上传至远程信息中心。

多功能信标节点分布于相应的海域中进行实时监测,将采集的位置、温度、波浪等信息,通过 LoRaWAN 协议依次上传至网关中,网关接收到的数据进行打包处理通过网络控制器传送到远程信息中心,远程信息中心服务器连接至 Internet,最终可通过网络在网站客户端上进行访问,实现信息共享^[10-11]。

相比于传统的网状网络,LoRaWAN 网络架构采用的是星形拓扑结构。在近海海域的信息采集中采用星型、链型网络,完全可以满足实际需求。理论上,一个 LoRaWAN 网关可以容纳 10 万个终端设备以上,但是实际应用中,节点较多的话会造成协调器过载,牺牲数据传输的实时性,增加误码率,甚至导致网络瘫痪。所以可通过对 LoRa 通信模块的通信信道、分频因子等进行设置,将一定范围内海域的网络分成多个网络,降低通信链路的开销。本设计通过对同一海域内网络节点进行分区,设置成不同频道,降低信号间相互干扰。系统中同区域汇聚节点和采集节点处于同一通信频道,节点上电即加入网络。同时 LoRa 射频模块可在线监听射频空中信道,使用无线防撞和硬件物理机制,有效解决了周围其他无线系统同频干扰问题。大区域网络分组,有效降低了误码率,增强了网络稳定,可以连接大片海域,组成整个近海海域信息子网络。

对于实际应用中,多功能信标组网远海覆盖不到的范围可由网关上搭载的“北斗”通信模块,通过卫星中继将近海的通信网络与远海通信网络相连接^[4]。通过将近海和远海的若干个多功能信标子网络相连接,组成了整个海洋信息监测网。

2.2 关键技术

要实现低功耗和远距离通讯,除了 LoRa 网络本身的特点外,还必须与多功能海洋信标的具体设计相结合,才能有效发挥出这些特点。

2.2.1 信标节点的低功耗设计

对于海上无线检测设备,功耗是一个必须考虑的重要因素。低功耗的设计对多功能信标长时间工作,降低回收成本具有重要意义。本设计综合考虑硬件和软件两个方面,将多功能信标的功耗降到最低。

硬件设计从器件选型和电源管理两部分来考虑降低功耗。

由于在信标的整个运行周期，处理器是一直工作的，故处理器的选择非常重要。本设计选用了 ST 公司的低功耗处理器 STM32L151，该处理器支持 6 种低功耗模式。在最初的多功能信标设计中，采用数传电台通信模式，功率高达 5 W。虽然数据通讯时间不长，但通讯过程中的电能损耗却很大。而本次选用的基于 LoRa 的无线通信模块工作电流比电台低了 1 个数量级，其休眠电流低于 1 μ A。

系统的电源管理策略对于降低功耗具有重要意义。多功能信标除了 MCU 需要长期供电外，大多数外设都是间歇性工作的。为了获得更小的功耗，可以对这些外设实行精细化电源管理。在这些外设不需要工作期间切断电源，需要工作时才上电工作。本信标电路设计中通过控制 MOS 管来控制各种外设的通断，当信标节点进入低功耗模式时，切断包括传感器在内的外设电源可进一步降低功耗。

软件设计上，综合考虑实际应用需求和 MCU 低功耗性能，从工作模式、唤醒方式和通讯压缩三方面进一步降低功耗。

首先是工作模式，信标的工作模式采用了层次状态机方式，分为正常模式、低压模式和休眠模式，每一个模式下又分为若干个动作。由于层次状态机的特性，软件的执行层次清晰，可减少运行的代码量，从而降低功耗。

其次是休眠/中断唤醒工作模式。在进入休眠模式可以定期唤醒。采用将 MCU 设置到 STOP 模式，通过 RTC 定时唤醒进行相应的数据采集和发送，将自己的运行情况报告给岸站系统或甲板单元，若在规定时间内未收到命令，则重新进入休眠模式。

再次是通讯压缩。由于大部分功耗消耗在无线通信模块数据的收发上，所以通过采用压缩数据包减少通信流量，增加休眠时间，减少数据碰撞等机制降低数据无线收发的功耗。

通过硬件与软件的优化，可以使得多功能信标节点的理论休眠功耗小于 100 μ A，理论发送电流小于 50 mA。

2.2.2 远距离通信

目前的海上检测设备受制于无线传输距离和建设成本等因素的限制，往往做不到远距离和全覆盖的实际项目需求。但就基于 LoRa 的多功能海洋信标来说，关键在于 LoRa 局域网的覆盖范围。

首先 LoRa 采用了扩频调制技术，同时结合了数字信号处理和前向纠错编码技术，其无线通信模块的接收灵敏度可高达 -148 dBm，在 20 dBm 的发射功率下，LoRa 调制的链路预算可达 168 dB。在解决由多径衰落引发的突发性误码中明显优于 Zigbee 等其他网络。对于空旷的海洋环境，通信距离可达 10 km 以上，从理论上能够满足近海海域观测的距离需求。

结合 LoRa 调制技术独特的通信优势，在进行系统设计时需要从硬件和软件两个方面来考虑，充分发挥 LoRa 调制技术超长传输距离的性能。

硬件设计上，充分考虑高频信号的传输特性，在对 LoRa 无线通信模块部分的 PCB 设计过程中，走线尽量走直线，无线模块器件的管脚部分走线距离尽量短。对无线模块的供电电源则选取纹波小的稳压芯片，其他如电阻电容等相关器件则选取高频特性稳定的器件，尽量降低硬件电路设计对无线通信造成的不良影响。

软件设计上，则结合无线芯片的特性和实际应用需求，充分发挥 LoRa 调制技术的距离优势。由于海洋信息监测对数据传输的实时性要求不高，通过设置降低通信速率来提高无线通信的灵敏度，配置开启内部功率放大器和低速率自适应。

在进行数据收发部分程序的执行时，屏蔽其他无关外围设备运行的的影响，快速稳定完成数据收发。通过对 LoRa 模块寄存器的配置等操作，将无线通信性能发挥到最大，提高无线通信的传输距离。

基于 LoRa 的多功能信标节点，在扩大 LoRa 局域网的基础上，结合网关和北斗可以组建若干个近海海域和远海海域子网络，将其组成一个传输距离远，成本低，全方位覆盖的海洋观测网络。

3 实验验证

3.1 室内试验

基于本文所设计的多功能信标观测系统进行了小型的组网实验。试验采用 Semtech 公司的 SX1301 芯片设计网关，广州致远电子有限公司的 LoRa 无线模块 ZM470SX-M 作为无线终端节点，模拟网络由一个网关和 8 个无线终端节点组成，如图 2 所示。将网关与计算机通过 RS485 连接，利用串口调试助手采集接收数据报文信息。通过实验数据分析此系统的实际运行效果，其中包括通信距离，误码率和通信能耗等。室内数据收发测试的设置参数为：节点终端中心频率设置为 470 MHz，分频因子 9，带宽 125 kHz，

编码率 4/6, 发射功率 15 dBm。

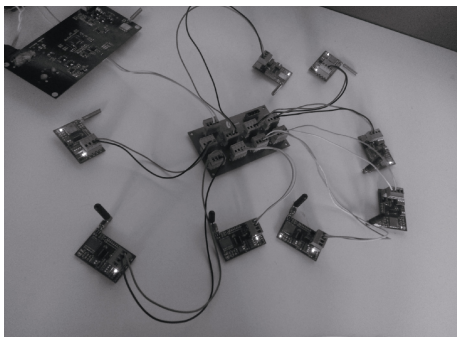


图 2 LoRa 室内组网实验

Fig. 2 LoRa indoor networking experiment

从测试结果可知, 在室内复杂环境中有效通信距离 500 m 以上, 穿透力、抗干扰性强, 数据正确率 100%, 可见此模拟网络具有良好稳定的通信效果。将 LoRa 模块装入实际的海洋信标, 当只配备 GPS 定位、海水温度、光敏传感器时, 实际测试信标的休眠电流小于 100 μ A, 发射电流小于 100 mA, 接收电流小于 30 mA。根据当前的蓄电池容量配置, 按照每 10 min 采集一次数据计算, 多功能海洋信标理论上可在海上工作 1 年以上。

3.2 室外试验

室外 LoRa 通信距离测试在视野开阔无遮挡的青岛市崂山区的世园大道进行, 如图 3 所示。



图 3 基于 LoRa 信标的距离实验

Fig. 3 Distance experiments based on LoRa beacons

将配备有 LoRa 通讯设备的海洋信标放置在马路的某一固定位置不断发送信息, 另一端的服务器放置在车上移动接收无线信息, 以 500 m 作为一个长度单位进行通信距离测试。

经过实际测试, 采用不同增益的 470 MHz 通信天线的节点, 通信距离有所差异。根据采用的 ZM470SX-M 无线模块数据手册可知, 通信视距不小

于 4 km。测试中选用普通胶棒天线, 其设置参数为: 节点频率 470 MHz, 分频因子 12, 带宽 125 kHz, 编码率 4/6, 发射功率 19 dBm。实测数据如表 1 所示。

表 1 数据测试结果

Tab. 1 Data test results

组别	距离/km	数据包/帧	丢包率/%
1	0.5	100	0
2	1	100	0
3	1.5	93	7
4	2	81	19
5	2.5	62	38
6	3	16	84
7	3.5	0	100

由实验数据可知, 实测数据与理论值和查阅的相关资料有一定的偏差, 可能与选取的天线、实验区域、LoRa 节点位置高度、射频电路的处理等因素有较大关系。在 1.5 km 左右能够 100%收到正确数据, 随距离增加, 丢包率逐渐增加。但从实验结果来看, LoRa 扩频通信相比于传统的无线通信方式仍然具有抗干扰性强, 灵敏度高, 超长距离等特点。适用于海洋区域大范围观测的特殊场景应用需求。

4 结语

本文设计的基于 LoRa 的多功能信标组网系统具有低功耗、低成本、传输距离远, 抗干扰能力强, 能够对海洋环境中的各种信息和数据进行实时有效的检测和收集。此系统基于新型的 LoRaWan 组网模式, 能够有效实现近海海域大范围的信息采集。还可以与“北斗”通信模块相结合, 实现全海域大范围的海洋观测信息网。本文构建的基于 LoRa 的多功能信标组网系统, 可以提供新的方法和技术手段, 为信标的进一步功能升级打下了良好的基础, 具有较高的参考价值和应用前景。

参考文献:

- [1] Freeland H J, Cummins P F. Argo: A new tool for environmental monitoring and assessment of the world's oceans, an example from the N.E. Pacific[J]. Progress in Oceanography, 2005, 64(1): 31-44.
- [2] 李彦, 罗续业. 海洋监测传感器网络概念与应用探讨[J]. 海洋技术, 2006, 25(4): 33-35.
Li Yan, Luo Xuyue. Research on the concept and application of marine monitoring sensor network[J]. Marine Technology, 2006, 25 (4): 33-35.

- [3] 曹立杰. 海洋监测无线传感器网络若干问题研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2016.
Cao Lijie. Research on some problems of marine surveillance wireless sensor network[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2016.
- [4] 吕斌, 贺海靖, 刘杰. 基于无线传感器网络的海洋环境监测技术研究[J]. 山东科学, 2011, 24(4): 41-44.
Lü Bin, He Haijing, Liu Jie. Research on marine environmental monitoring technology based on wireless sensor network[J]. Shandong Science, 2011, 24(4): 41-44.
- [5] 王骥, 周文静, 沈玉利. 基于无线传感器网络的海洋环境监测系统设计[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(13): 3334-3337.
Wang Ji, Zhou Wenjing, Shen Yuli. Research on marine environmental monitoring system based on wireless sensor network[J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(13): 3334-3337.
- [6] 郭祥东. 基于无线传感器网络的海洋环境监测预警系统设计[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2009, 25(4): 22-25.
Guo Xiangdong. Design of marine environment monitoring and early warning system based on wireless sensor network[J]. Journal of Shanxi Datong University (Natural Science Edition), 2009, 25 (4): 22-25.
- [7] 汪刚. 一种新型无线传感器网络在海洋监控系统中的应用[J]. 舰船科学技术, 2015, 37(1): 182-185, 190.
Wang Gang. Application of a new wireless sensor network in ocean surveillance system[J]. Ship Science and Technology, 2015, 37 (1): 182-185, 190.
- [8] Aloÿs A, Yi J, Thomas C, et al. A Study of LoRa: long range & low power networks for the internet of things: [J]. Sensors, 2016, 16(9): 1466.
- [9] Sinha R S, Wei Y, Hwang S H. A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT[J]. Ict Express, 2017, 3(1): 14-21.
- [10] Shi Songquan. Ad hoc wireless network based oceanic CTD measurement [C]// IEEE. International Conference on Information Acquisition. Weihai: IEEE, 2007: 11-15.
- [11] O'Reilly T C, Edgington D, Davis D, et al. "Smart network" infrastructure for the MBARI ocean observing system[C]// IEEE. Oceans(2). Honolulu: IEEE, 2001: 1276-1282.

Investigation of LoRa-based marine multifunction beacon network and its characteristics

QI Sheng-bo, ZHANG Feng, YAO Peng

(Engineering College, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Received: Oct. 11, 2017

Key words: LoRa network; marine beacons; low power consumption; coverage

Abstract: To address the issues of communication distance, power consumption, complexity, anti-interference ability, and operational cost of the ocean observing network, in this paper, we propose a multi-functional marine beacon network observation system based on long-range communication (LoRa). Using the new LoRa modulation technology and the star link network, we developed a beacon communication network and combined it with Beidou communication to produce a marine monitoring network system with wide-range coverage, low power consumption, simple networking, and strong anti-interference ability. This system can achieve a full range of offshore and remote coverage while reducing the networking cost. Through its low-power design, it effectively reduces the beacon power consumption and prolongs the work cycle. In indoor and outdoor simulation experiments, we verified the effectiveness of its network communication and long-distance transmission of data and laid the foundation for upgrading beacon design and ocean network observation performance.

(本文编辑: 刘珊珊)