

文章编号: 2095-2163(2021)04-0110-04

中图分类号: TP23

文献标志码: A

# 基于 NB-IOT 的掘进机运行状态监测系统设计

施 浩, 王宪伟, 杨龙标, 丁笑颖

(长春大学 电子信息工程学院, 长春 130022)

**摘 要:** 针对现在大型机械开掘隧道时事故频发现象, 本文设计了一种基于窄带物联网(NB-IOT)和传感器的状态监测的系统。在远程监测中, 采用低功耗微处理器 STM32L151 结合高精度传感器, 对掘进机容易出故障的关键部位和工作环境中的瓦斯浓度进行检测, 采集掘进机设备的状态数据, 利用 NB-IOT 技术进行通讯, 将采集到的状态数据传输到云服务器上并储存, 通过 OceanConnect 物联网云平台与 NB-IOT 模块连接, 登陆 OceanConnect 物联网云平台查看传输来的掘进机的温度、压力和瓦斯的实时数据。经测试, 所设计的系统可以稳定运行, 有效提高用户和厂家通过客户端对掘进机的实时状态监控的效率。

**关键词:** NB-IOT; 远程监测; 传感器; 掘进机; OceanConnect 物联网云平台

## Design of Monitoring System of Roadheader Operation State Based on NB-IOT

SHI Hao, WANG Xianwei, YANG Longbiao, DING Xiaoying

(School of Electronic Information Engineering, Changchun University, Changchun 130022, China)

**【Abstract】** Aiming at the frequent occurrence of accidents when large-scale machinery is digging tunnels, this paper designs a system based on Narrowband Internet of Things (NB-IOT) and sensor-based condition monitoring. In remote monitoring, low-power microprocessor STM32L151 combined with high-precision sensors are used to detect the key parts of the road header that are prone to failure and the gas concentration in the working environment, collect the state data of the road header equipment, and use NB-IOT technology Communicate, transfer the collected status data to the cloud server and store it, connect to the NB-IOT module through the OceanConnect IoT cloud platform, log in to the OceanConnect IoT cloud platform to view the temperature, pressure and gas of the transmitted tunneling machine Real-time data. After testing, the designed system can operate stably, effectively improving the efficiency of real-time status monitoring of the road header by users and manufacturers through the client.

**【Key words】** NB-IOT; Remote monitoring; Sensors; Boring machine; OceanConnect IOT Cloud

## 0 引言

掘进机这种大型机械广泛应用于煤矿挖掘中, 机械破岩、出碴和支持连续的操作, 发挥了不可替代的作用。矿下的工作情况复杂、温度高、瓦斯浓度高, 掘进设备容易发生故障。故障主要分为机械类故障和液压系统故障两大类, 由于事故的频发, 现在对井下机械的安全检测越来越重视, 运用了很多技术监控矿下情况和机械的运行情况。

近年来随着物联网的发展, 已经在远程水表、智慧停车场、智能路灯及农田检测等行业的应用中发挥了重要的作用<sup>[1]</sup>。本文提出了一种基于 NB-IOT 的掘进机状态检测系统的设计, 用于实时的监控掘进机的运行状态、周围瓦斯浓度和电气设备状况, 对应事故的发生有重要的意义。

## 1 NB-IOT 介绍

NB-IOT 是基于蜂窝的窄带物联网 (Narrow Band Internet of Things, NB-IOT), 是万物互联网络的一个重要分支。NB-IOT 构建于蜂窝网络, 可直接部署于 GSM 网络, UMTS 网络或者 LTE 网络, 以降低部署成本, 实现平滑升级。

NB-IOT 是 IOT 领域一个新兴的技术, 支持低功耗设备在广域网的蜂窝数据连接, 也被叫作低功耗广域网 (LPWAN)。NB-IOT 支持待机时间长、对网络连接要求较高设备的高效连接。NB-IOT 设备电池寿命可以提高至少 10 年, 同时还能提供非常全面的室内蜂窝数据连接覆盖<sup>[2]</sup>。

目前, NB-IOT 应用场景有: 智慧锁、智慧城市、智慧水表、智慧气表、智慧跟踪器、智慧仓储、智慧路

**基金项目:** 吉林省科技发展计划项目(20200401146GX)。

**作者简介:** 施 浩(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 信号检测与信号处理; 王宪伟(1970-), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 信号检测与信号处理; 杨龙标(1993-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 检测技术与过程控制; 丁笑颖(1994-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 检测技术与过程控制。

收稿日期: 2020-12-07

灯等,都是把原始的数据诉求给平台方,云平台通过 NB 模块实现数据的整合,传递给用户进行有效数据的分析使用。

## 2 系统框架介绍

基于窄带物联网的掘进机状态检测系统设计框架如图 1 所示。根据每个模块的功能,大致把物联网分为感知、通信、应用 3 个层次。

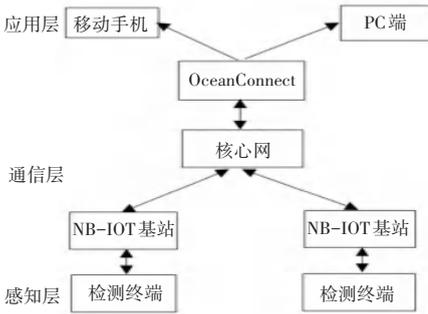


图 1 系统设计框架

Fig. 1 System design framework

第一层是以各类传感器为基础的感知层。瓦斯传感器负责采集矿下瓦斯浓度,加速度传感器负责采集传动轴,截割减速器机械的震动的数据以及液压油温度和压力传感器对液压油数据的采集。

第二层为通信层,利用 NB-IOT 无线通信技术把传感器采集到的信息传输到云平台上。

第三层为应用层,包括把传输来的信息解码并储存到数据库中,通过 OceanConnect 物联网云平台对信息进行整理展示,方便工作人员对掘进机状况进行查看并做出及时处理。

## 3 系统设计

由各类传感器构成的传感器模块、电源模块、NB-IOT 模块、MCU 微控制器组成了本文检测系统的硬件设计,如图 2 所示。

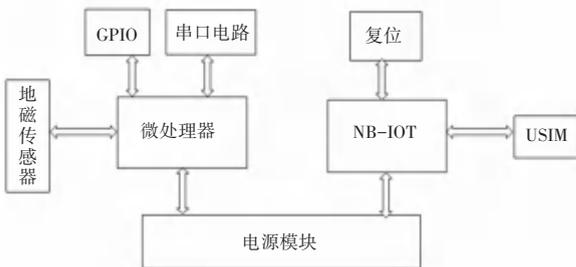


图 2 硬件设计框图

Fig. 2 Block diagram of hardware design

### 3.1 微处理器和 NB-IOT 模块的选择

微处理器采用 STM32L1 系列,采用了超低漏电

流制程,在不牺牲性能的前提下,具有自主动态电压调节功能和 5 种低功耗模式<sup>[4]</sup>。

NB-IOT 通信模块选用移远公司的 BC95-B5 模块,其是一款高性能、低功耗的单频段 NB-IOT 无线通信模块<sup>[5]</sup>。体积小,安装方便,能最大程度满足终端设备对体积小的需求,有效帮助客户优化产品成本<sup>[6]</sup>。在设计上兼容移远通信 NB-IOT 系列的 BC95 模块,能方便快捷的进行产品设计和升级,是目前使用很广泛的一款 NB-IOT 模块。模块主要性能见表 1。

表 1 BC95-B5 模组主要性能

Tab. 1 Main performance of BC95-B5 module

参数	说明
供电	VBAT 供电电压范围:3.1 V~4.2 V 典型供电电压:3.6 V
省电	PSM 下典型耗流:3 uA
发射功率	23 dBm±2 dB

### 3.2 瓦斯传感器的选择

在煤矿生产中,随着每层采动,煤层中往往能够涌出很多矿井瓦斯<sup>[7]</sup>。一旦超过一定浓度容易产生重大事故,所以对瓦斯的检测是必不可少的。气体传感器采用满足用于监视地下煤矿甲烷浓度的 GJC4 低浓度甲烷传感器,可以自动地将井下采集到的甲烷浓度数据转换成标准电信号输送给配接设备。GJC4 的性能参数见表 2。

表 2 GJC4 性能指标

Tab. 2 GJC4 performance index

参数	说明
测量范围	0~4%CH <sub>4</sub> 三位有效值显示
工作电压	9~24 V DC
输出信号	200 Hz~1 000 Hz
本安参数	Ui:DC18.3 V Ii:80 mA Ci:0.15 uF Li:0 mH

### 3.3 振动传感器模块

在实际掘进工作中,掘进机的机械结构可能会因为长期工作磨损或者不当操作而造成损坏和断裂。矿下环境复杂,对机器检修不便,设备故障会造成工作进度的延误。为了保障掘进工作的顺利进行需要对设备的运行状态进行检测。本文选用 BZ11 振动传感器,利用磁电感应原理把振动信号转换成电信号,在传感器工作频率范围内,电压值和振动速度值成正比<sup>[8]</sup>。其被直接安装在机器外部对旋转和往复机械的综合情况做出检测,所以维修十分方便,产品参数见表 3。

表 3 BU11 振动传感器产品参数

Tab. 3 BU11 Vibration sensor product parameters

参数	说明
绝缘电阻	≤450 Ω
频响范围	10 Hz~1 000 Hz
环境温度	-30 ℃~120 ℃
测量方式	垂直或水平

3.4 液压油传感器模块及液压温度 PID 控制

3.4.1 温度传感器和压力传感器模块

在掘进机的液压系统中, 液压油泵和电机的损坏会造成液压油的压力异常, 需要利用压力传感器和温度传感器对油缸的液压油温 and 油压进行检测, 当温度或者压力接近危险阈值时及时修整, 以免故障的发生。本文选择的液压油温度传感器是接触式传感器 PT100, 直接安装在液压系统中, 小巧方便, 占用空间小<sup>[9]</sup>, 主要技术参数见表 4。压力传感器选择的是 HDP501, 灵敏度高、稳定性好、耐冲击性好, 实物如图 3 所示。

表 4 PT100 温度传感器主要技术参数

Tab. 4 Main technical parameters of PT100 temperature sensor

参数	说明
探头长度	5, 10, 15, 20 cm
检测温度范围	-200 ℃ ~ +850 ℃
允许通电流	≤5 mA



图 3 压力传感器 HDP501

Fig. 3 Pressure sensor HDP501

3.4.2 液压油温度 PID 控制

掘进机工作的负载大, 所以发热量也很大, 往往掘进机工作挖掘时间不长, 其液压控制系统就超出了额定工作温度, 只能通过采取停机冷却技术措施, 极大降低了企业工作管理效率和工程项目进度<sup>[10]</sup>。所以经常采用 PID 控制将掘进机的整体温度保持在合理范围内。

液压系统的温度控制是闭环控制, 工作原理为: 将温度传感器测得的数值和设定好的温度阈值比较, 由处理器计算出二者之间的偏差, 如果偏差超过一定数值就进行 PID 参数整定, 继而控制液压系统的正常运行。

PID 温度控制原理框图如图 4 所示。

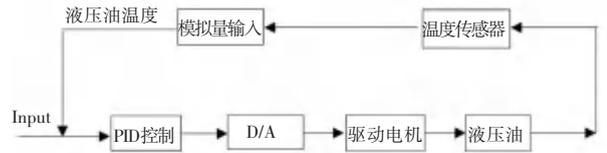


图 4 PID 温度控制原理框图

Fig. 4 Block diagram of PID temperature control principle

离散的 PID 表达式(1)、(2):

$$U(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)], \quad (1)$$

$$\Delta U(k) = K_p \Delta e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)]. \quad (2)$$

其中,  $K_p, K_i, K_d$  分别为比例增益, 积分增益, 微分系数, 可根据系统状态而调整, 从而获得想要的结果。常规 PID 控制器为线性系统控制器<sup>[11]</sup>, 根据本身给定值  $r(k)$  与被控目标对象以及实际数据输出值  $y(k)$  构成的偏差  $e(k)$  进行管理控制。

偏差方程为式(3):

$$e(k) = r(k) - y(k). \quad (3)$$

温度传感器开始检测液压油的温度, 将采集到的数据传入图 4 中的模拟量模块, 运用 A/D 转换将数据转化成数字量, 与设定的温度阈值进行比较, 求出偏差值  $e(k)$ , 进入 PID 控制模块, 得到控制器的输出  $U(k)$ , 经过 D/A 转换控制执行机构, 进而稳定液压油温度, PID 程序流程图如图 5 所示。

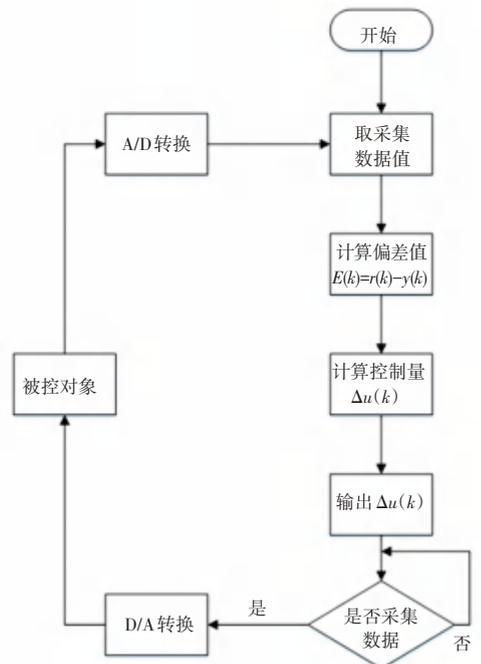


图 5 PID 程序流程图

Fig. 5 PID Program flow chart

设定的液压油温度为 40 ℃, 在 Simulink 中搭建的 PID 控制模型, 仿真结果如图 6 所示。

集成开发工作。设备模型(Profile)的建立是用来定义属性名称, 数据类型和命令的下发。

### 4 物联网监控云平台

为了简便开发和应用, 减少投入的时间和金钱, 涌现了很多物联网平台。本文选用的是华为公司开发的物联网云平台 OceanConnect, 可以满足各个不同行业的应用需求, 接入各种传感器、IOT 终端, 多种行业应用的快速集成。应用 OceanConnect 物联网平台开发的步骤如图 7 所示。

使用 OceanConnect 主要的工作是开发产品/设备模型(Profile)、编解码插件、设备的连接和应用的

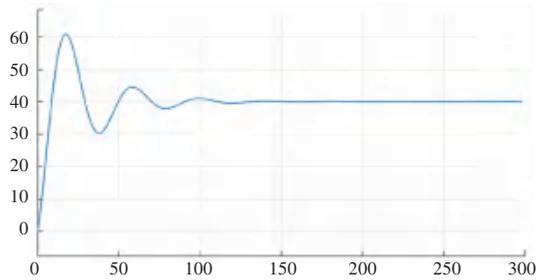


图 6 PID 仿真结果图

Fig. 6 PID simulation result graph

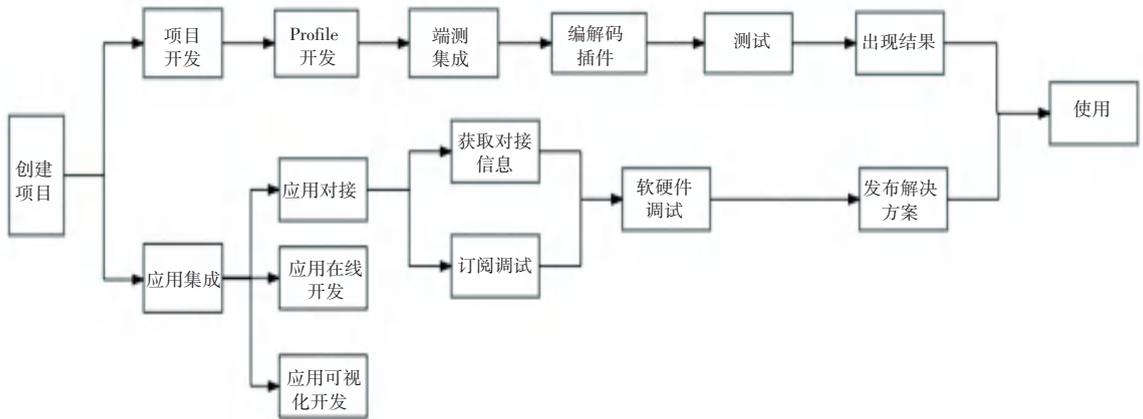


图 7 OceanConnect 开发步骤

Fig. 7 OceanConnect development steps

硬件系统设备连接完好后, 登陆 OceanConnect 物联网云平台进行测试。OceanConnect 云平台接收检测到的温度、瓦斯值, 结果展示如图 8 所示。

### 参考文献

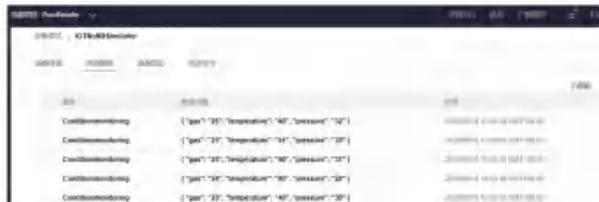


图 8 结果展示

Fig. 8 Results display

### 5 结束语

基于 NB-IOT 的掘进机状态监测系统是利用 NB-IOT 技术将各种类型传感器检测到的机械的运行状态, 液压油温度、压力、瓦斯浓度等信息传输到服务器上, 利用华为 OceanConnect 物联网平台实时监控传来的数据, 对于现场掘进机统一调度管理和运行状态的监控有很重要的作用。

- [1] 常海印. 基于微机监测的智能分析系统应用[J]. 铁道通信信号, 2013, 49(2): 67-69.
- [2] 陈玉萍. 西双版纳电信 NB-IOT 关键技术及应用研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2019.
- [3] 尹旭平, 杜望. NB-IOT 在道路照明智能控制系统中的应用研究[J]. 电气传动自动化, 2018, 40(5): 8-14.
- [4] 高金龙, 周受钦, 曹广忠, 等. 解决实时调度的智能装备及其物联网系统设计[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(5): 149-153.
- [5] 邓燕楠. 基于 NB-IoT 的血糖监测系统[J]. 电子世界, 2019(17): 184-185.
- [6] 郭晓玲, 武仁杰, 张同心. 基于 NB-IOT 的温度监测系统的设计与实现[J]. 河北北方学院学报(自然科学版), 2018, 34(5): 29-32.
- [7] 徐立志. 基于 ARM 平台与 NB-IoT 技术的注塑机远程监控系统研究[J]. 合成树脂及塑料, 2019, 36(6): 82-85.
- [8] 高臻, 王嵩, 齐海娟, 等. 车辆基地机电设备故障监测及诊断系统[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(12): 168-171.
- [9] 赵英凯. 面向起重机远程监控的 NB-IoT 系统设计[D]. 大连: 大连理工大学, 2019.
- [10] 毛继伟. 掘进机温度自动控制系统设计[J]. 工矿自动化, 2016, 42(5): 11-13.
- [11] 王松. 分数阶系统的先进控制策略研究及其应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.