

# 路桥隧道承压报警传感节点的设计与实现

赵珍祥

(杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 传统方法存在报警效率较低, 能量消耗大等问题, 提出了路桥隧道承压报警传感节点的设计; 根据传感节点整体架构图, 设计传感节点硬件, 并对承压报警传感、无线单片机和传感单元及接口电路模块展开分析; 利用嵌入式底层驱动进行信息交互, 构建通信协议, 通过无线传感方式采集数据, 并对传感节点部署; 通过实验验证结果可知, 该设计方法充分考虑数据获取情况, 具有报警效率高、能量消耗小的优势, 可实现路桥隧道安全运营。

**关键词:** 路桥隧道; 承压; 报警; 传感节点

## Design and Implementation of Pressure Sensor Node in Bridge and Tunnel

Zhao Zhenxiang

(Yangling Vocational & Technical College, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The traditional method has the problems of low alarm efficiency and high energy consumption, and puts forward the design of the Bridge and tunnel pressure alarm sensor node. According to the overall architecture of sensor nodes, the hardware design of sensor node, and the pressure sensor, MCU and wireless alarm sensing unit and the interface circuit module driver analysis; information interaction based on embedded bottom construction, communication protocol, collecting data through wireless sensor, and the deployment of sensor nodes. The experimental results show that the design method takes full account of data acquisition, and has the advantages of high alarm efficiency and small energy consumption, which can realize the safe operation of Luqiao tunnel.

**Keywords:** Bridge and tunnel; pressure bearing; alarm; sensor node

### 0 引言

路桥隧道作为桥梁重要承压基座, 其需要承受的压力也是相当大的, 由于桥梁在人们日常出行中扮演着重要的角色, 其安全承压对于改善我国道路建设和促进社会经济发展等方面起着重要作用<sup>[1]</sup>。21世纪以来, 承压技术被广泛应用到桥梁建设当中, 隧道承压能力越来越强大, 路桥建设工程也取得了较大突破。随着国内外许多大型路桥建设成功, 其隧道承压时间逐渐增加, 在长期承受负荷作用和遭受自然环境影响的条件下, 路桥结构会受到一定破坏, 其危险性也随之增加<sup>[2]</sup>。近几年, 桥梁隧道坍塌事故造成了很多的人员伤亡以及财产大量损失, 也抑制了经济发展和交通运行。为此, 在长期监测路桥隧道承压过程中, 应及时对危险情况进行报警, 以此保证人们生命以及财产安全。传统方法采用对中继节点均匀部署, 传感节点不参与所有数据传输的方法存在报警效率较低, 能量消耗大等问题, 无法实现路桥隧道承压高效报警功能<sup>[3]</sup>。

为了解决上述问题, 提出了路桥隧道承压报警传感节点的设计。根据数据获取效率评价无线传感节点部署的优劣, 研究基于无线传感节点能量消耗问题是延长传感网络使用寿命的最佳途径。通过实验验证该方法合理性, 并得

出结论。本文设计的传感节点报警效率高且能量消耗较小, 可保证人们生命以及财产安全。

### 1 报警传感节点整体设计

路桥隧道承压报警传感节点设计就是利用无线传感通信技术和计算机技术对作用于路桥隧道外部环境进行监测并响应, 通过评估承压能力和损伤程度进行报警, 以此来保证路桥隧道的安全运营。基本设计原理为: 根据采集到的数据信息, 利用无线传输技术将所有采集到数据通过无线传感方式发送到监测报警中心进行存储, 其次对存储的数据进行处理与分析, 根据分析结果判断是否需要报警。以该设计原理为基础, 对路桥隧道进行实时监测, 针对传感节点整体架构的设计如图1所示。

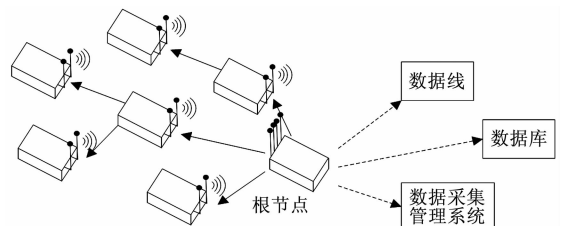


图1 传感节点整体架构图

传感节点是以树状结构组成的网络节点, 对采集到的信息数据通过无线传输, 任何一个节点都是采用低功耗局域网协议 (ZIGBEE) 进行通信的<sup>[4]</sup>, 在监测中心主要通过连接数据线进行命令根节点的实时发送。根节点作为整个

收稿日期:2018-01-15; 修回日期:2018-02-02。

作者简介:赵珍祥(1983-),男,山西阳泉人,硕士,讲师,主要从事路桥隧及岩土工程方向的研究。

数据网络的核心部分，其收到来自监测中心的控制命令后，再将自己的操作信息发送给子节点，子节点不断重复该过程，直到网络内部所有传感节点和中继节点都收到命令。收到命令的节点通过外部传感器或者内置集成电路对传感结构相关信息进行采集，并通过无线传输方式将数据发送到父节点，经过统一整理，再将父节点所有数据传送到根节点，根节点再经过统一整理，将所有数据发送到监测报警中心。

监测报警中心是由 PC 主机和数据采集系统组成的，采集系统连接着大型数据库，通过界面显示可对数据库中的全部信息进行实时操作，通过采集系统下达采集命令，无线传感节点接收到命令后，对路桥隧道结构关键信息进行采集，并及时传回。采集系统通过对 PC 主机串口数据的采集，能够利用软件功能界面显示出数据波形，同时被插入到实时数据库中，将采集到的数据全部储存在数据中进行简单数据分析，并以此为基础展开传感节点硬件和软件部分的设计。

### 1.1 硬件设计

根据图 1 传感节点整体架构图，设计传感节点硬件。路桥隧道承压报警传感节点主要是由承压报警传感、无线单片机和传感单元及接口电路三部分组成的。

#### 1.1.1 承压报警传感模块

承压报警传感模块主要由报警传感器和压力比较器组成的，具体传感设计如图 2 所示。

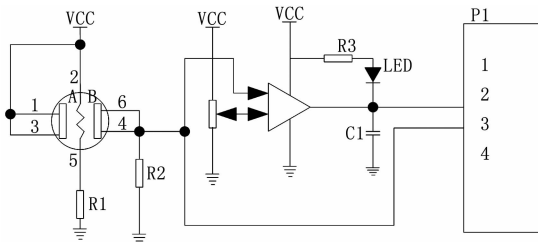


图 2 承压报警传感模块

报警传感器工作电压为 10 V 的直流电压，为了方便报警处理，将路桥隧道承压最大范围对应的模拟电压值与最小范围模拟电压值进行比较分析，并输出二值数字信号，如果该值大于电压阈值，那么说明需触动报警装置，指示灯闪烁；如果该值小于电压阈值，那么说明无危险情况发生。

#### 1.1.2 无线单片机模块

为了使传感节点硬件部分的设计更加简单，采用微控制器和无线通信方式对无线单片机类型进行选择。通常情况下，选择具有集成能力强、小巧灵活的控制器的，内部具有 8 位 MCU 和 128 位的可编程内存，并具有 8 kb 的随机存取存储器和具有独立通道的 14 位数字信号转换器，具有 21 个可编程的引脚，为此，单片机只需较少的外围器件就能实现对数据的高效处理与存储。单片机兼容了 2.5 GHz 的协议无线射频芯片，仅仅需要少数的外部元件就能组成具有多个节点的无线传感网络<sup>[5]</sup>。报警传感节点通过单片机内部的 MCU 通用引脚接收来自报警传感器输出信号，引用

内部射频模块，将报警信息发送至监测中心。

#### 1.1.3 传感单元及接口电路模块

传感单元既包含加速度计、倾角计，又包含温度传感器，其中加速度计和倾角计为信号传输的主要模拟变量，温度传感器将输出的信号转变为数字形式。在传感器单元中，加速度计主要作用是记录路桥隧道振动的加速度信号<sup>[6]</sup>。该记录方式有两种，分别是力平衡式和三轴传感器式，其中力平衡式记录方法具有高分辨率、灵敏度强的优势，可用于对桥梁进行常规监测，而三轴传感器式记录方法虽然灵敏度稍差一些，但是其体积小，携带方便，而且采用无线连接方式，可提高监测报警精准度。倾角计是对路桥隧道局部倾斜程度进行测量，由于模拟的传感器采用的是将最终数据转换为模拟信号的方式，无法将数据直接传输到微控制器中，为此需进行模数转换。进行模数转换的模拟传感器有多个，因此在进行转换前可采用模拟电路的方式来模拟多个通道，此时应用的通道接口电路设计如图 3 所示。

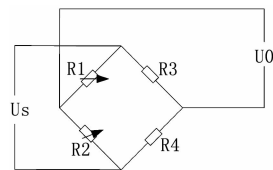


图 3 路桥隧道电路

由图 3 可知通道接口电路连接方式，以该电路为整个传感节点设计的核心电路连接状态，完成硬件部分的设计。

### 1.2 软件设计

报警传感节点软件设计部分数据的采集和管理需要与嵌入式底层驱动进行信息交互，整个过程为无线传感数据的采集提供了更加准确的数据。信息交互整个过程是将采集到的数据通过硬件相关程序完成发送，进而控制硬件完成相应软件部分的设计。

#### 1.2.1 通信协议

在传感网络组网时，需构建具有层次的网络结构，由上层节点向下层节点传输信息时，分组信息需按照一定格式才能发送，为此在节点间定义无线通信协议。传感节点需根据监测中心所下达的指令来执行相应操作<sup>[7]</sup>，因此定义通信协议确保传感节点受到监测中心可靠控制。由于数据采集的可靠性直接关系着对数据的下一步分析，需保证无线传感与数据采集中心数据传输的可靠性，也需定义无线通信协议，实际上也是最底层软件与最高层软件之间的信息传输。分别定义 3 种协议来规范传感节点组网构成模式、执行动作和数据格式化打包。

1) 分组协议定义：分组协议负责规范传感节点组网构成模式，该模式包括帧信息、节点编号、父节点编号和字节等。

2) 命令协议定义：命令协议负责规范执行动作，其中帧信息执行时需以“OXAA、OXSS”格式执行，并只占用 4 个字节<sup>[8]</sup>。命令式标识符将所有传感节点接收到的操作指

令下达到最底层，并执行。数据采集的频率也是传感节点采集数据的频率，为此在执行命令时，需遵循频率一致原则进行。

3) 数据协议定义：数据通信协议包括帧头与帧尾数据的采集，根据需求，数据帧可占用 105 个字节，经过自定义的通信协议数据帧格式也只占用了 4 个字节，经过采集中心获取的数据包，需先判断包头格式是否标准，如果标准，则需保留；如果出现错误，则需丢弃。

针对数据包编号主要是为了方便记录已经保存的数据包，该数据包共占用 6 个字节，采用传感节点采集所需的数据，并利用模拟传感器和数字传感器传输方式将所有数据都传输到数据存储区域，该区域共占字节 88 个。实时记录采集数据包的时间点，将采集到的时间准确记录有助于对数据的处理与分析，为报警提供更加准确的信息，该部分共占字节 6 个，单位为分秒。

### 1.2.2 数据采集

数据采集管理是监测中心的重要组成部分，具体设计如图 4 所示。

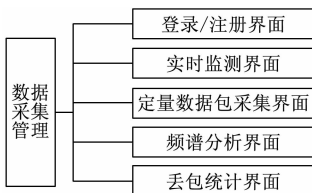


图 4 数据采集功能构成框图

利用无线传感方式将采集到的数据传输到 PC 主机串口中，通过监听，可准确获取串口数据，并将其插入数据库当中。该部分是基于 C/S 架构设计的，结合 .NET 技术研发而成<sup>[9]</sup>。经过采集后的数据需分配到登录的界面、在线监测和定时数据包发射、界面操作、频谱中依次进行分析与融合，为传感节点部署提供可靠依据。

### 1.2.3 传感节点部署的实现

结合路桥隧道特点，传感节点数据是通过由远及近进行传输的，并最终保留在基站中，通常情况下只在单侧面部署传感器，进而形成一条具有线性网络结构的传感形式，根据结构特性对传感节点位置进行部署，由于位置都是相对固定的，假设网络是由  $n$  个传感节点和  $m$  各中继节点组成的，如图 5 所示。

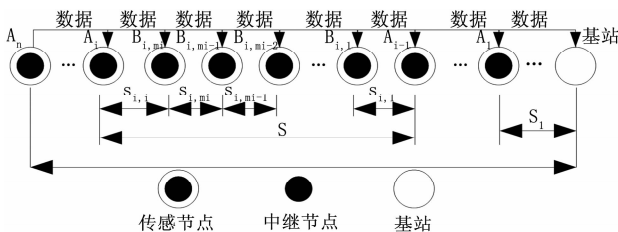


图 5 报警传感节点部署

点两种，其中中继节点主要负责对数据采集，并存储；传感节点主要负责对数据传输。在网络中，任何一个节点都是静态的，不会发生变动，每个节点的能量都是有限的，如果节点能量消耗殆尽，那么该节点就不能继续工作。

2) 将  $n$  个传感节点位置固定后，每一个节点都是具有唯一属性编码的 ID，可表示为  $A_i (i=1, \dots, n)$ ，传感节点采集数据时是具有一定规律的，呈周期性采集方式。将采集后的数据采用多层跳跃方式传输到基站中，任何一个节点进行采样的数据都会产生独特的频率。

3) 在  $A_i$  和  $A_{i-1}$  之间具有  $m_i$  个中继节点，编号依次为  $B_{i,1}, B_{i,2}, \dots, B_{i,m_i}$ 。  $A_i$  和  $A_{i-1}$  之间距离为  $s_{i,\Delta}$ 。

4) 任何节点初始能量是相同的，但是随着数据的传输，节点能量肯定会消耗，该消耗主要是用在数据的发送与接收，路桥隧道报警中的传感节点采样频率比正常频率要高得多，相比于数据的发送与接收，采集时能量消耗可忽略不计。

5) 根据数据传输时，节点接收距离的远近可调整发射效率来节约能量消耗，比如在 100 个发射等级中，如果中间出现一个完美的数据链路，那么进行数据传输时是不需要考虑数据重传问题的。

6) 任何两个传感节点之间都会存在着一个最大数据传输距离。

## 2 实验

为了验证路桥隧道承压报警传感节点设计的合理性进行了如下实验。

### 2.1 实验环境

假设利用无线加速传感器对路桥隧道进行承压报警测试，传感器在桥面一侧沿着隧道纵向设计，进而形成一个具有线性属性的网络结构，不同传感节点布置如图 6 所示。

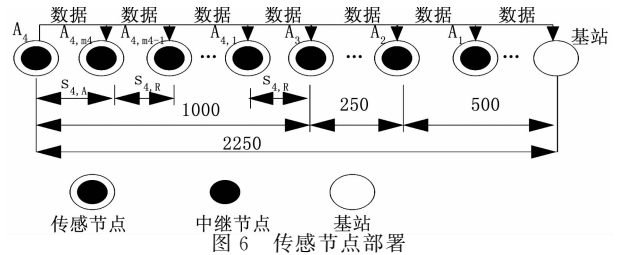


图 6 传感节点部署

为了使实验环境变得更加普通，选取不同传感节点的不同数据采样频率，具体采样结果如表 1 所示。

表 1 传感节点采样频率结果

节点编号	采样频率/Hz
$A_1$	50
$A_2$	60
$A_3$	50
$A_4$	60

路桥隧道结构报警传感节点具有以下属性：

1) 传感节点按照其工作性能可分为中继节点和传感节

结合路桥隧道结构进行实验的实际情况，无线传感节

点参数设置如表 2 所示。

表 2 无线传感实验参数设置

参量	数值
初始传感能量	60 J
极限传输距离	150 m
采样单次数据长度	15 bit
阈值	50 m

### 2.2 实验结果与分析

针对结果的测定，需将传统设计方法与改进设计方法进行对比：

传统方法：针对中继节点采用均匀设计方式，传感节点不参与所有数据传输时的节点布置；

改进方法：充分考虑数据获取效率节点设计情况。

传统方法中设计的中继节点选取数量与改进设计的获取效率所计算结果是一致的，方便实验对比。即使在实验过程中，节点都是均匀设计的，但是由于传感节点位置是固定的，为此中继节点的数量也是有限的，一定要按照不同传感节点之间的中继节点数量进行均匀部署。传统设计方法使按照传感节点中的  $A_1$  位置以及  $A_1$  和  $A_3$  之间的中继节点能源消耗一致原则来确定两个中继节点之间的距离，剩下其它节点之间的距离都是按照数据转发量成反比的原则进行部署的。将传统设计效果与改进设计效果进行对比，结果如表 3 所示。

表 3 两种设计方法节点部署结果

部署方法	传统方法	改进方法	
节点距离/m	S4,A	51.00	87.22
	S4,R	51.00	81.95
	S3,A	46.56	63.18
	S3,R	46.56	62.13
	S2,A	40.27	40.25
	S2,R	40.27	39.81
	S1,A	43.15	30.92
	S1,R	43.15	25.64
节点总数	50	48	
部署时间/s	57221	35921	
数据获取效率/%	35.12	85.31	

由表 3 可知：采用传统设计方法无论是部署时间还是数据获取效率都不如改进设计方法，比较两种设计方案，改进设计方法综合考虑了无线传感节点设计的成本和数据获取效率，能够获得比较优秀的无线传感节点性能。

为了使实验结果更加可靠，将传统设计方法与改进设计方法对报警所消耗的能量进行对比，结果如图 7 所示。

由图 7 可知：采用传统方法对报警传感节点进行设计时，消耗能量较大，而改进方法对报警传感节点进行设计时，消耗能量较小。

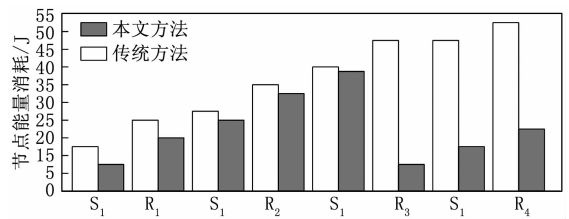


图 7 两种方法报警耗费能量对比结果

### 2.3 实验结论

根据实验内容，将传统设计方法与改进设计方法进行对比结果可知，采用传统设计方法无论是部署时间还是数据获取效率都不如改进设计方法，比较两种设计方案，改进方法综合考虑了无线传感节点设计的成本和数据获取效率，能够获得比较优秀的无线传感节点性能。相对于能量消耗情况，采用传统方法的报警传感节点设计消耗能量较大，而改进方法报警传感节点设计消耗能量较小。由此可知，改进设计方法报警效率较高，且能量消耗较小。

### 3 结束语

对于路桥隧道承压报警传感节点的设计与实现进行了研究，通过整体设计和实验结论可知：根据无线传感器性能评价指标可提高数据获取效率，充分考虑无线传感成本，其节点能源消耗的均匀性以及获取的网络结构是具有合理性的，能够有效评价传感节点设计性能。通过详细分析可计算出报警传感节点设计所消耗的能量，并由此获取传感节点与中继节点位置，通过实验验证，该设计方法是具有合理性的。

### 参考文献：

- [1] 张亚, 罗希昌, 陈浩, 等. 气象无线传感网观测节点的设计与实现 [J]. 气象科技, 2015, 43 (6): 1046 - 1052.
- [2] 束庆冉, 赵毅强, 叶茂, 等. 面向无线传感器节点的集成 CAN 总线芯片设计 [J]. 传感技术学报, 2017, 30 (8): 1226 - 1231.
- [3] 方加娟, 鹿艳晶, 安鹏. 传感器网络中的节点能耗监测软件设计与实现 [J]. 现代电子技术, 2017, 40 (12): 53 - 55.
- [4] 李梦阳, 董川, 唐翘楚, 等. 基于振动能量采集器的无源无线传感节点技术研究 [J]. 传感技术学报, 2016, 29 (8): 1260 - 1266.
- [5] 张具琴, 司小平. 一种可适用于高温物理环境下的 WSN 振动传感节点设计 [J]. 科技通报, 2016, 32 (9): 140 - 144.
- [6] 杨晓洁, 郭涛, 郭利强, 等. 采煤机自供电监测系统的无线传感节点设计 [J]. 煤矿安全, 2017, 48 (4): 122 - 124.
- [7] 胡国强, 李茵, 蔚继承. 基于 6LoWPAN 和 CoAP 的农业环境信息传感系统的设计与实现 [J]. 现代电子技术, 2016, 39 (23): 152 - 156.
- [8] 杨芳, 郭宏刚. 网络入侵反追踪节点最优路径推演平台的设计与实现 [J]. 现代电子技术, 2016, 39 (22): 14 - 17.
- [9] 王鹏辉, 陈光, 鲍萍萍. GPS 物流车辆行驶数据采集与存储系统的开发 [J]. 电子设计工程, 2017, 25 (11): 9 - 13.