

基于 ZigBee 的高速公路结冰信息检测系统的设计

李 颀, 张尚玉

(陕西科技大学 电气与信息工程学院, 西安 710021)

摘要: 针对高速公路上结冰状况仅靠驾驶员观察易导致事故的现状, 根据结冰温度和冰的导电性, 并结合光在冰层中的传播特性, 提出一种利用 ZigBee 技术的新型的高速公路路面结冰信息检测系统; 该系统以楔形光纤作为光的传播媒介, 通过采集光纤内光强的变化, 结合温度和阻值的大小来融合出高速公路上冰的冰厚和冰型; 介绍温度、阻值和光强等采集模块的设计原理, 及实验测试环境的实现; 经过验证, 该系统可有效检测出路面的冰厚和冰型。

关键词: 路面冰检系统; 楔形光纤; 冰电阻; ZigBee

Design of Icy Detection System for Highway Pavement Based on ZigBee

Li Qi, Zhang Shangyu

(Institute of Electric and Information Engineering, Shanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: Aimed at relying on the observation of drivers easily lead to accidents on the highway, according to the freezing temperature and conductivity of ice, combined with the optical transmission characteristics in the ice, this paper presented a new innovative system which is icy detection system for highway pavement based on ZigBee. This system can get the ice thickness and ice type by changing the collection fiber intensity, with temperature and resistance. The design principle of the resistance temperature and light intensity acquisition module is introduced in detail, the experimental test environment is introduced. After verification, the system can effectively detect the ice thickness and ice type.

Keywords: road ice detecting system; wedge fiber-optic; ice resistance; ZigBee

0 引言

现阶段国内外对高速公路的结冰检测还是停留在理论研究阶段, 相应结冰探测传感器由于相关技术的不成熟, 只有少部分用于实际中。华中科技大学设计出一种飞机机场地面结冰探测系统^[1], 该系统主要使用光纤辅助其它几种传感器来探测冰厚和识别冰型, 所得数据则是通过有线的方式传出去, 相对高速路上应用结冰探测系统是不需要考虑布线难的问题的。另外南京信息工程大学设计出一种新型路面结冰检测系统^[2], 该系统通过检测温度、路面阻值和振动参数来得出当前地表冰的信息, 而且只能得出是否有冰, 却不能得出冰的厚度以及冰的类型信息。日本千叶大学则设计出一种利用微波方法来探测冰雪厚度的设备, 该设备的测量厚度可达 90 mm, 但是该设备体积较大, 且需要波导管, 不易于在高速路上多点铺设。在加拿大举行的一次国际会议中提出了一种利用电容方法对冰进行测量的系统^[3], 该系统不仅可以测量出冰的厚度, 利用神经网络还可以预测结冰速率, 并通过 GPRS 将结冰信息发送到监控室, 但这种系统如果多点铺设, 会在费用上有所限制, 不易推广。

因此, 设计出一种可以准确检测高速公路路面结冰的冰厚、冰型信息, 尽量减少线路铺设限制, 并能以容易实施的方式进行信息传输的新型结冰检测系统就非常重要。

1 系统整体设计

考虑到高速公路上布线的限制, 本系统采用低复杂度、低功耗、低传输速率、低成本的双向无线通信 ZigBee 技术, 因其在近距离无线网络领域中得到了广泛的应用^[1], 可将 ZigBee 技术用于传输高速公路的结冰信息。本系统采用 CC2530 这款微控制器作为冰检测节点装置的主控器, 它是 ZigBee 新一代的片上系统解决方案, 其集成了业界领先的 2.4 GHz 的 RF 收发器、增强工业标准的 8051 内核, 在线系统可编程 Flash 存储器, 8 kB 的 SRAM 和许多其它强大功能, 是真正用于 IEEE802.15.4、ZigBee 和 RF4CE 应用的片上系统 (SoC, System on Chip) 解决方案^[6]。

本系统通过冰检节点检测温度、电阻和光强这 3 个参数, 然后经过无线传感网络将道路结冰状况传输到道路显示屏和道路监控中心。无线传感网络采用树形结构, 这种结构具有自修复功能, 即当网络中有一些路由节点因故障停机时, 采集节点会自动寻找正在活动的路由并加入该路由, 这样就不会导致数据的丢失, 如图 1 所示。

结冰检测设备如图 2 所示。温度采集模块主要是采集当前地表温度, 判断当前环境是否满足结冰条件; 电阻检测电路用于检测透明材料上方物体的电阻, 可用于判断当前透明材料上方是否有冰, 如果有冰, 其电阻值会反映出冰的厚度信息; 光强采集电路主要是采集红外光经过发射光纤进入冰层后反射和散射回来的光进入接收光纤后的光强变化, 同样用于判决冰的厚度, 还可判决结冰类型。

收稿日期:2014-05-11; 修回日期:2014-06-19。

作者简介:李 颀(1973-), 女, 陕西西安人, 硕士生导师, 主要从事工业自动化与智能控制方向的研究。

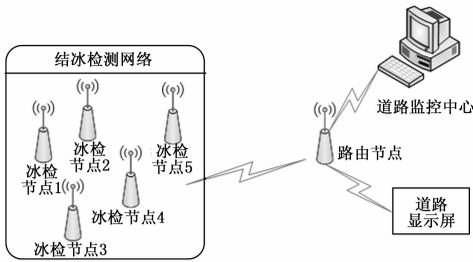


图 1 系统框图

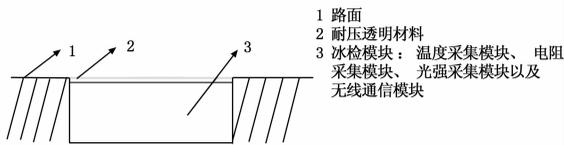


图 2 冰检设备示意图

2 系统硬件设计

2.1 温度采集电路设计

温度采集电路主要是检测当前地表温度是否满足结冰的温度条件, 当温度为零度以下时, 路面才有可能结冰。温度数据由 CC2530 采集, 然后通过无线方式将温度值发送出去。温度传感器采用单总线结构的 DS18B20, 测温范围为 $-55 \sim +125\text{ }^{\circ}\text{C}$, 完全满足结冰检测装置工作条件。

2.2 电阻采集电路设计

空气、冰和水具有不同的导电特性: 空气呈绝缘状态, 水导电性最佳, 冰则介于前两者之间^[9], 所以通过测量导电性可判断出当前地表是否有冰的存在, 而通常用电阻值来反映导电性。电阻采集电路如图 3 所示。冰的电阻值一般在 $\text{M}\Omega$ 数量级^[9], 所以该系统电阻 $R20$ 阻值定为 $10\text{M}\Omega$ 。图 3 中 P5 代表裸露出透明材料的两片电极片, 其中一极接地, 另一极接到电压跟随器, 再将电压信号送入控制器 CC2530。

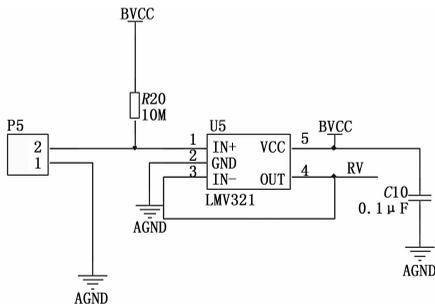


图 3 电阻采集电路

2.3 光纤结冰传感器电路设计

光纤可以作为光的传播媒介, 英国科技人员 2003 年在世界上首次成功开发了一种光纤结冰传感器。传感器采用一个玻璃表面, 光源发射出红外光, 由发射光纤传输, 透过玻璃表面到达探测面。当探测面没有结冰时, 接收器端面将基本探测不到任何发射光; 当探测表面有冰时, 光在冰层内部发生反射、散射等作用, 其中的冰层—空气界面的反射光以及冰层内的散射光经过玻璃表面进入接收光纤^[7]。但是这种结冰传感器结构的设计, 没有很好地对环境光考虑进去。为了消除环境光的影

响, 本系统采用一路发射光纤和两路接收光纤来对冰进行检测, 并且光纤的探头结构改成楔形, 这样可以改变光路, 能更好地对冰型进行判断。楔形光纤结冰传感器的结构示意图如图 4 所示。

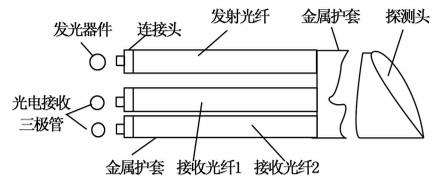


图 4 楔形光纤传感器的结构示意图

探头内发射光纤和接收光纤采用平行分布模式: 发射光纤位于最上端, 往下依次为第一接收光纤和第二接收光纤, 并且三者探测端中所占面积各位 $1/3$ ^[8]。发射光纤和接收光纤的一端由金属护套集束成光纤束, 其端面构成探测端, 发射光纤和第一接收光纤之间采用透光的胶粘剂连接; 发射光纤另一端配有发光二极管, 两路接收光纤末端各有光电接收三极管, 并分别装有护套和连接头。

光强检测电路框图如图 5 所示, 包括光源、光传输、光处理电路。其中红外发光二极管由 CC2530 驱动产生光源; 楔形光纤对红外光进行传输; 当楔形探头上有冰存在时, 光通过光纤送达光处理电路, 经光电三极管转换成电压信号再差分放大送到 CC2530。

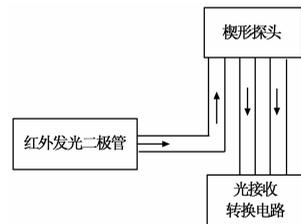


图 5 光强检测电路框图

上文所述的温度、电阻、光强采集电路是交替工作的: 节点首先每隔一段时间检测温度, 当温度在零度以下时, 其次启动电阻检测电路; 当检测到的电阻值是在冰电阻范围内时, 最后启动光强采集电路。所以, 温度、阻值和光强检测电路的交替工作也可以保证冰检节点的低功耗, 而这个交替工作是由模拟开关来控制实现的。

3 软件设计

SoC 芯片 CC2530 是 ZigBee 新一代的片上系统解决方案, 而 TI 公司则为其提供了强大的 ZStack 协议栈, 用户可直接使用该协议栈进行项目的开发。本系统的程序是在 IAR Embedded Workbench for 8051 集成开发环境下设计的, 协议栈直接采用 ZStack 协议栈。考虑到系统的低功耗, 程序在设计时采用多分支结构, 这些程序主要包括参数采集程序、无线数据传输程序, 以便降低系统的功耗。

参数采集程序负责采集温度、电阻值和光强值。在设计时每隔 3 min 对温度进行采集, 当温度大于零度时, 断开阻值和光强电路的电源; 当温度小于零度时, 断开温度测量电路电源的同时接通阻值测量电路的电源, 采集当前电阻值。当电阻值不在冰阻值范围内时, 断开阻值测量电路电源, 返回继续检测

温度；当电阻值在冰阻值范围内时，断开阻值测量电路电源的同时接通光强采集电路电源，对光强进行采集。当采集完光强数据后，断开所有采集模块的电源。

无线传输程序负责传输采集的温度值、电阻值、光强值以及道路、设备编号等信息。在设计时，每隔 3 min 传输一次数据。

冰检节点的程序流程图如图 6 所示。

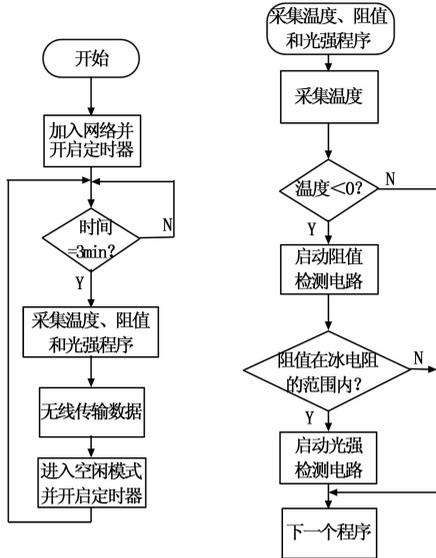


图 6 冰检测设备程序流程图

4 实验模型建立

完成高速公路路面结冰信息检测系统的硬件和软件设计后，在实验室对该系统进行了模拟测试。为了探测出温度、电阻和光强同冰厚和冰型之间的关系，在实验室利用高低温试验箱产生一系列恒温的低温环境，并通过计算机控制的喷雾系统来控制冰的含水量，以控制冰的厚度和类型，同时外接一个激光厚度仪对冰厚进行测量。计算机将温度、阻值、光强、冰厚、冰型信息采集后，存入数据库，生成温度、阻值和光强同冰厚和冰型之间的对应关系。计算机将这种对应关系转换成矩阵数据，存入 CC2530 的内部 Flash 区域，脱离计算机后对冰进行测量。

由于该系统通过测量温度、光强大小以及冰电阻间接得到冰信息，并且温度、光强大小以及冰电阻同冰信息之间是非线性关系，所以可通过 BP 神经网络的非线性映射能力完成从温度、光强和电阻到冰信息的映射关系。针对本系统，BP 神经网络结构包括输入层，隐含层，输出层。输入层包括 3 个节点，分别代表温度、光强和电阻值；输出层包括 2 个节点，分别代表冰厚和冰型；隐含层则选定为 9 个节点。在对样本进行训练时，将输入数据和输出数据进行归一化处理，这样可以保证网络具有较高的收敛速度，提高算法的运算效率。

5 试验结果与分析

本系统需要在不同结冰条件下进行大量的实验，据此分析出楔形光纤在获取冰厚时的输出特性。为了对冰厚进一步作出验证和修正，初步建立检测电路输出电压与冰厚之间的特性曲线。

试验中选取 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 3 个温度点对光纤

进行测试，其实验结冰曲线如图 7 所示。

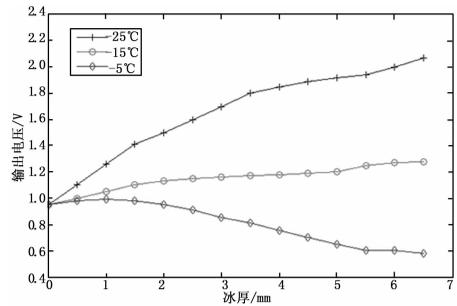


图 7 温度和输出电压之间的曲线图

图 7 中横坐标表示冰的厚度，纵坐标表示检测电路的输出电压，很明显图中的曲线图有很大的不同。电路检测单元在无冰的情况下的输出电压值为 0.9 V 左右。在 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下，结冰状态为明冰，随着厚度的增加，检测电路输出电压快速下降；在 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下，结冰状态为混合冰，检测电路输出电压平稳上升；在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下，结冰状态为霜冰，检测电路输出电压急速上升。在到达实验室给定的最大冰厚 6.5 mm 时，对于 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，电路检测电路输出电压分别为 0.58 V、1.28 V、2.07 V。实验结果表明温度越低，电压上升越快，或者说是温度越高，电压下降越快。

6 结论

本系统通过在不同温度下对冰电阻以及光经过冰层返回到光纤内的光强进行采集，得出电阻值和光强大小不仅与冰厚有关系，还与冰种类有着必然关系。因此在已知温度、电阻以及光强的情况下，该系统能够间接得出冰厚以及冰型信息。该系统在实验室测试中，运行良好，能很好的检测出路面结冰信息，具有一定的应用推广前景。

参考文献：

- [1] 马智. 飞机场地面结冰探测系统研究与设计 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [2] 冯金龙. 高速公路路面结冰检测系统的研究 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [3] Kohei OSA. An Application of Microwave Measurement for Complex Dielectric Constants to Detecting Snow and Ice on Road Surface [J]. Information and Communication Engineers, 2011, 2987-2989.
- [4] Tassilo Meindl, Walter Moniaci, Eros Pasero, et al. An Embedded Hardware-Software System to Detect and Foresee Road Ice Formation [A]. International Joint Conference on Neural Networks [C]. 2006, 4884-4892.
- [5] 张杰, 周磊, 张洪, 等. 飞机结冰探测技术 [J]. 仪器仪表学报, 2006, 27 (12), 1578-1586.
- [6] 尹胜生, 叶林, 陈斌, 等. 可识别冰型的光纤结冰传感器 [J]. 仪表技术与传感器, 2012 (5): 9-11.
- [7] 李霞. 利用空气、冰与水的电阻、温度特性进行冰情检测的应用研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2008.
- [8] 冯金龙. 高速公路路面结冰检测系统的研究 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [9] 高键, 方滨, 尹金玉, 等. ZigBee 无线通信网络节点设计与组网实现 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (12): 1912-1914.

高精度嵌入式超声波测距系统的研究

高韵洋, 何少佳, 邓子信, 石旅光

(桂林电子科技大学 机电工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 为了提高超声波测距精度, 分析了超声波测距的原理, 针对影响超声波测距精度的主要因素——环境温度, 回波时间, 从软件和硬件上提出了解决方法; 软件上通过修正不同温度下的传播速度消除温度对测距精度的影响; 硬件上设计升压驱动发射电路、由仪表放大器组成的信号幅度补偿电路和双比较器构成的回波检测电路以改善提高超声波质量和更好地确定传播时间; 0.5~5 m 的障碍物试验显示该系统的测距误差可限制在 10 mm 范围内; 应用表明该系统稳定可靠, 测距精度高, 所以该系统具有一定实用价值。

关键词: 升压驱动; 温差修正; 仪表放大器; 幅度补偿; S3C2440

Research on High-precision Embedded Ultrasonic Ranging System

Gao Yunfeng, He Shaojia, Deng Zixin, Shi Lüguang

(Electromechanical Engineering College, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of ultrasonic ranging, this paper analysis the principle of ultrasonic distance measurement, proposes the solution from the hardware and software in dealing with the main factors affecting the accuracy of ultrasonic ranging - the ambient temperature and the echo time. On the software by performing the propagation velocity correction at different temperatures in order to eliminate temperature's influence to ranging accuracy; In hardware, the boost driver transmitter circuit, the amplitude compensation circuit of echo signal composed by an instrumentation amplifier and the detection circuit composed by an dual comparator has been designed to improve the quality of ultrasound and determine the travel time better. Experiment on obstacles between 0.5 m and 5 m shows that ranging error of the system can be limited within the scope of 10 mm; Application shows that the system is stable and reliable, and highly accurate, so the system has certain practical value.

Keywords: boost driver; temperature correction; instrumentation amplifier; amplitude compensation; S3C2440

0 引言

超声波作为一种现代化的测量手段, 具有不接触被测物体、可测范围广、不受光线和被测物体颜色的影响、易于控制等优点, 已经在液位测量、建筑测量、工件加工、机器人障碍定位、倒车雷达等方面得到越来越广泛的应用。然而随着人们生活需求的提高和工业的发展, 测距的精度要求也越来越高。因此, 研究提高测距精度以开辟新的应用场合具有较高的理论与现实意义^[1]。本文从造成测距误差的因素出发, 设计出了一种基于嵌入式的超声波测距系统, 此系统具有较小的测距误差, 具有高精度测距, 具有较高的实用价值。

1 系统结构及原理

本设计采用渡越时间测距方法。其原理是检测超声波发射到接收到回波的时间 t , 结合超声波的传播速度 v , 由运动定律得到测试点和被测物体之间的距离 S 。可用下式表示:

$$S = v * t / 2 \quad (1)$$

超声波的传播速度受环境温度的影响较大, 若忽略环境温度因素, 测距的精度会受到影响。超声波传播速度 v 和温度 T 的关系可表示为:

$$v = v_0 + 0.607T \quad (2)$$

同时, 超声波在空气中传播时, 随着传播距离的增加, 其总能量逐渐减弱, 回波脉冲幅度也不断降低。经研究, 测距距离 S 和声强增益 L 减少的分贝数 (dB) 可如下表示:

$$L = 4.3 * 2aS \quad (3)$$

其中: a 为空气衰减系数。因此, 声强增益 L 减少的分贝数 (dB) 可转变为

$$L = 4.3 * act \quad (4)$$

可见, 随着时间的增加, 声强增益 L 逐渐减小。若按时间进行回波幅度补偿, 可以更好的减少测距时声波幅度衰减对回波时间检测时的影响, 达到提到测距精度的目的。

在本设计中, 超声波测距系统主要包括了嵌入式系统、发射电路、接收电路、温度测量电路和液晶触摸显示电路等。系统结构可如图 1 所示。

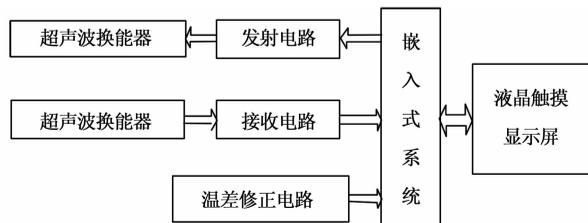


图 1 系统结构图

2 系统的设计

为了实现高精度的测距系统, 本设计分别对超声波测距的发射和接收的各个细节进行了精心设计。

收稿日期: 2014-05-12; 修回日期: 2014-06-30。

基金项目: 桂林电子科技大学研究生教育创新计划资助项目 (XJYC2012007)。

作者简介: 高韵洋 (1987-), 男, 广西藤县人, 硕士研究生, 主要从事智能控制、嵌入式系统方向的研究。

