

# 基于红外技术的路面结冰预警系统研究进展

张佳鹏 曹桂芳 周晓旭

(山西省交通科学研究院, 山西 太原 030006)

[摘要] 基于红外技术的路面结冰预警系统是一项基于机器视觉检测的传感技术, 可自动连续监测路面结冰情况, 对提高行车安全、收集道路气象数据具有重要的意义。文章将从红外传感技术方面介绍实时路面结冰预警系统的构成, 分析了近、中红外结冰传感器在路面结冰预警系统中的检测原理以及研究进展。

[关键词] 路面结冰; 红外技术; 预警系统

[中图分类号] TN215

[文献标识码] A

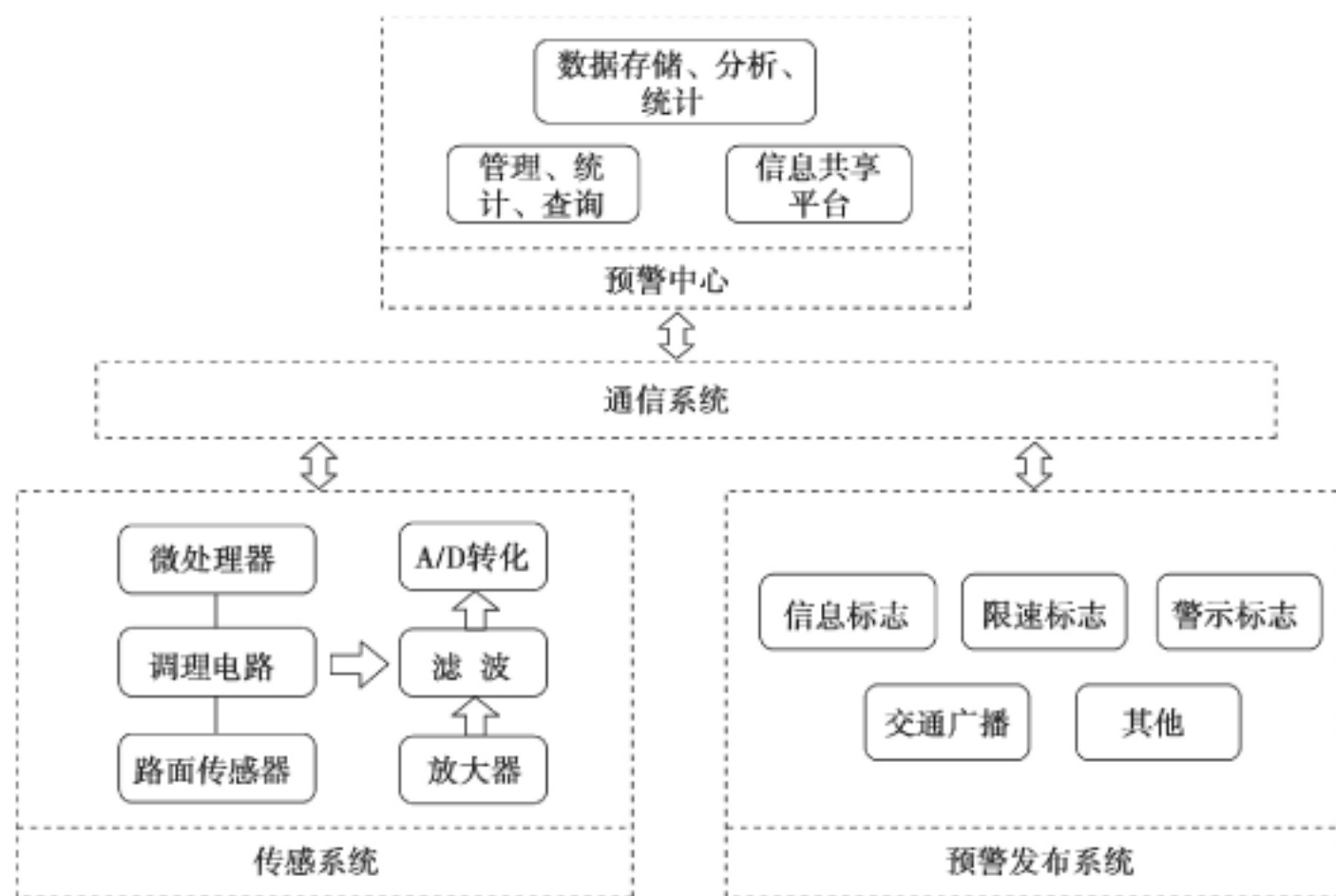
[文章编号] 2095-4263 (2015) 03-0042-04

我国地域面积广阔, 道路承受的环境影响不同, 再加上全球气候的异常变化, 极端恶劣天气频繁发生, 路面结冰现象时有发生。路面结冰导致路面摩擦系数明显降低, 出现车辆打滑、侧滑或车轮空转, 极易诱发严重的交通事故, 给国家和人民财产造成巨大的损失。据统计, 道路结冰引起的交通事故发生率是干燥路面的10倍<sup>[1-2]</sup>, 如何降低结冰路面状况的车辆事故率已成为道路交通运输 (尤其是我国东北部和西部地区) 面临的一大难题。

路面结冰预警系统是一项基于机器视觉检测的传感技术, 依靠单一传感器来实时自动连续监测路面结冰情况, 将收集的路面状态信息及时传达给有关部门和驾驶员, 对降低车辆事故率, 提高行车安全具有重要的意义。

## 一、路面结冰预警系统

路面结冰预警系统主要由传感系统、通信系统、预警中心以及预警发布系统构成, 如图1所示。传感系统中的路面传感器将有关路面状况信息模拟



量转化为电信号, 电信号经过放大、滤波、A/D 转化后进入微处理器, 在微处理器中依据一定的处理算法来识别出路面所处的状况, 如湿面、积水量、结冰厚度、结冰类型等, 然后将这些路面状况信息通过通信系统发送到预警中心进行存储、管理、分析等, 最后由预警中心来决策向预警发布系统发送的预警信息内容。

依据传感器不同的工作原理, 结冰传感技术可以分为光学法、热学法、电学法、机械法、波导法, 具体分类如表 1<sup>[3-4]</sup> 所示。表 1 所列结冰传感技术主要用于飞行器、动力机械表面的结冰探测。飞行器、动力机械表面基本只受到环境因素的影响, 受其他因素的影响较少, 具有较高的测量精度。但在道路应用方面, 路况比较复杂, 行驶车辆、沥青性质等都会对传感器的精度造成巨大的影响, 只有电容法、振动法、光学法很少一部分技术用于路面结冰探测。此外, 电容和振动传感技术属于接触式传感技术, 传感器需要埋设在路基下, 传感器在安装、维护、更换方面的费用较高, 寿命也较短。因此近年来非接触式传感技术尤其是红外传感技术因其安装维护简单、测量精度高、抗干扰小等优点在道路结冰探测上得到了一定的应用。红外结冰传感技术主要分为近红外结冰传感技术和中红外结冰传感技术。

表 1 结冰传感技术分类表

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| 热学法 | 热流法, 电流法 (电流脉冲法、平衡电桥法、温差法)。   |
| 电学法 | 电容法, 电导法, 导纳法。                |
| 机械法 | 障碍法, 压差法, 谐振法 (磁致伸缩法、平膜法)。    |
| 波导法 | 超声脉冲一回波法, 声表面波法, 微波谐振法, 声板波法。 |
| 光学法 | 光纤法, 红外成像法, 红外反射法, 红外阻断法。     |

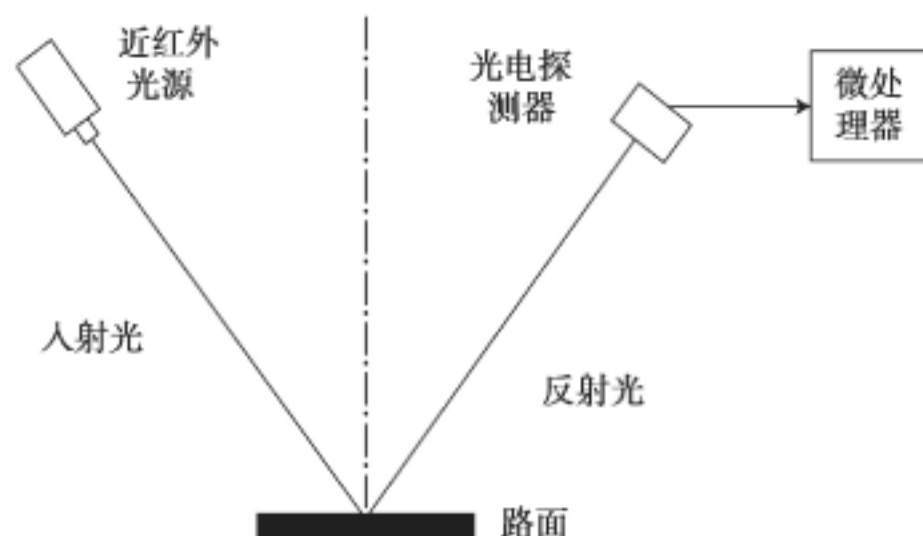
## 二、近红外结冰传感技术

### (一) 近红外结冰传感技术原理

近红外光波长范围为  $0.75 \sim 3\mu\text{m}$ , 也被称为反射红外。近红外结冰传感技术的工作原理如图 2 所示。近红外光源发射近红外光到路面, 光电探测器接收来自路面的反射光, 通过微处理器对反射光的

解析来判断路面处于干燥、水面、冰面或雪面。由于近红外结冰传感系统需要近红外光源提供红外光, 因此也被称为主动式红外结冰传感技术。

该技术能实现路面结冰检测的原因在于当近红外光以一定角度照射到道路表面时, 反射光的性质会发生明显改变。反射光的性质改变主要有两个方面, 一方面是取决于表面材料, 如沥青、水、冰、雪对红外光波长的吸收不同; 另一方面取决于表面粗糙度, 它会影响光的散射方式。当路面是干燥的, 反射光主要以散射为主。当路面被水和冰覆盖时, 路面变得光滑, 光的散射会逐渐向镜面反射转变。当路面被雪覆盖时, 反射光仍以散射为主, 难以进行检测, 这是由于雪是一种良好的散射体。



单点近红外结冰传感技术因其结构简单,设备成本低,算法简单等优点在国内外得到了一定的应用。美国 Luff 公司的遥感式路面状况传感器 NIRS31—UMB 以及芬兰 Vaisala 公司的遥感式路面状况传感器 DSC111 都是基于这一技术研发的,这两套设备都拥有全套的非介入式路面状况微处理器,可以检测路面的水膜厚度、积雪厚度以及结冰厚度,具有较高的检测精度<sup>[9]</sup>。我国测试技术研究院<sup>[10]</sup>基于这一技术自主研发了一套非接触式遥感路面状态检测预警系统,该系统可以准确识别路面覆盖物的类型,实现了水、冰及雪厚度的计算,已在湖北汉阳高速、连云港汾灌高速以及北京和四川等国内多条高速公路上成功应用,路面状态检测准确率达 100%。

单点近红外结冰传感技术可以精确的区分路面的不同状态,但该技术存在路面检测范围小,车辙和车辙之间的不同路面状态可能存在误报情况等缺点。近红外成像结冰传感技术可以有效的解决测量范围小的问题,该技术的核心在于合适的图像处理算法。瑞典中部大学<sup>[11]</sup>采用近红外成像仪与不同过滤器的配合,对 K-近邻法 (KNN)、神经网络法 (NN)、支持向量机 (SVM)、判别分析法 (DA)、偏最小二乘法 (PLS) 以及最短距离算法这六种图像处理算法进行了比较。研究表明,在实验室条件下,除最短距离算法外,其他都有 94% 以上的路面状况分辨率。在路面现场试验中,只有 KNN 和 SVM 能较好的分辨路面的不同状况,但 KNN 算法相对比较耗时,对于实时监测不利。近红外成像结冰传感技术虽然可以很好的分辨路面的不同状况,但需要依靠合适的图像处理算法,对处理器性能要求较高,耗时比较多,而且设备费用比较高,目前

实际应用较少。

### 三、中红外结冰传感技术

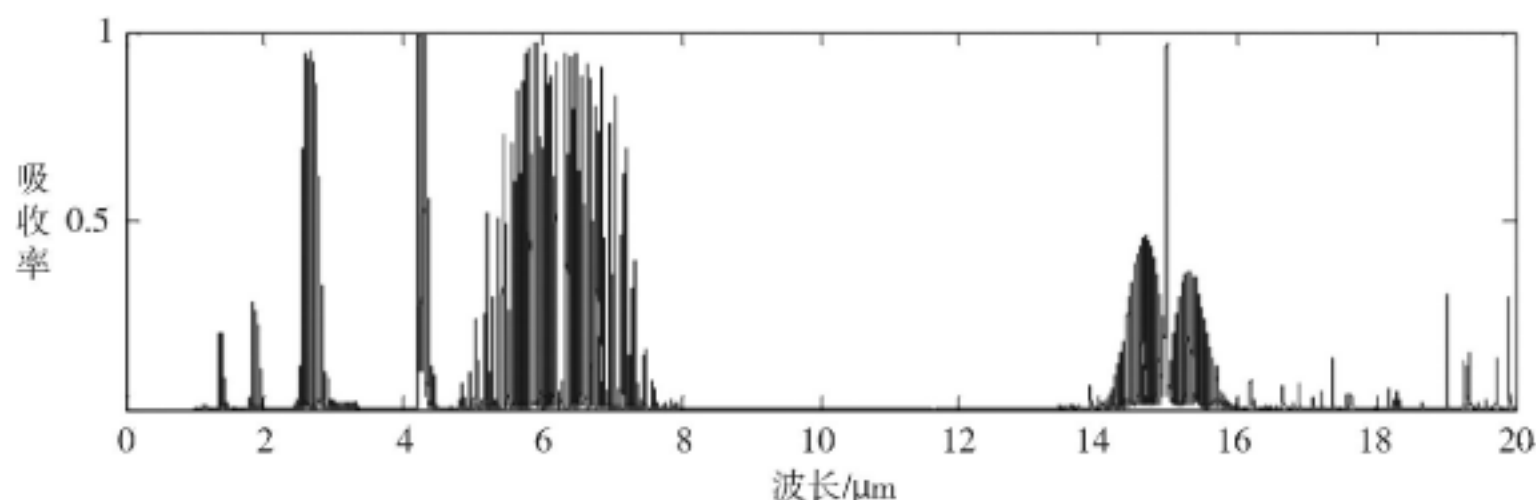
#### (一)中红外结冰传感技术原理

中红外光波长范围为  $7 \sim 14 \mu\text{m}$ , 也被称为热红外。这是因为自然界中的任何物体都可以看作是一个红外辐射源,当物体表面温度高于绝对温度零度  $0 \text{ K}$  时均会发生热辐射,其热辐射产生的光谱主要是位于红外波段。物体辐射的红外线能量大小与物体的温度以及物体表面性质有关,满足斯特藩-玻尔兹曼定律  $R = \varepsilon \sigma T^4$ , 其中:  $R$  为辐射量 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $\varepsilon$  为辐射系数,  $\sigma$  为玻尔兹曼常数 ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ),  $T$  为绝对温度 ( $\text{K}$ )。物体表面温度越高,物体辐射的红外线波长就越短。由于物体各个部位温度不同,辐射率不同,红外探测设备接收的温度信号就会不同,通过分析这些温度信号的改变就可以判断表面的情况。

中红外结冰传感技术主要受表面辐射系数、大气条件和温度的影响。辐射系数的影响主要在于表面材料的不同,导致材料的辐射能力不同。然而干燥沥青路面的辐射系数在 0.93 到 0.95 之间,水面的辐射系数在 0.93 左右,冰面的辐射系数在 0.97 到 0.98 之间。因此即使气候发生改变,表面辐射系数对测量的影响相对较小。大气条件对测量的影响主要在于空气中水汽和二氧化碳对红外线的吸收。图 3 为大气中水汽对红外线的吸收情况,从图中可以看出  $3 \sim 4 \mu\text{m}$ ,  $4.5 \sim 5 \mu\text{m}$ ,  $8 \sim 14 \mu\text{m}$  这三个区间水蒸气对红外光的吸收很少。因此红外传感器的工作范围一般是在  $8 \sim 14 \mu\text{m}$ , 大气对它的影响较小。

#### (二)中红外结冰传感技术研究进展

中红外结冰传感技术的核心在于红外测温,通



过温度信号的变化来判断路面状况。水和冰之间相互转化时会放出大量的热量,瑞典皇家理工学院<sup>[12]</sup>利用这一现象,通过机场现场路面以及实验室中气候箱的大量实验验证了可以通过红外温度仪测定温度信号来探测沥青路面的结冰过程。然而该方法不能测定白霜或者由雪压实产生的冰面,也不能判断冰在路面上的存活时间。瑞典中部大学<sup>[13]</sup>在红外测温仪的基础上,做了部分红外热成像实验,结果表明在一定程度上可以通过温度信号来区分路面的不同状况,但分辨率不高。该技术由于采用相对单一的温度信号进行路面状态监测,在很大程度上都有一定的限制。因此,该技术主要是通过和路面其它一些参数如湿度、风速等配合,形成道路气象站,从而进行路面状态的区分。

#### 四、结语

为了提高道路行车安全,实时监测路面结冰已成为保障生命财产安全、避免交通堵塞的迫切需求。基于红外技术的路面结冰预警系统因其非接触式、安装维护简单、耐久性强、信号处理简单等优点,在道路结冰监测方面得到了人们越来越大的关注和研究。此外,该系统收集的路面路况数据不仅可以用于道路维护方面,也可以用于道路气象数据的统计,为建立大型道路气象数据库提供数据支持,对发展智慧交通和推动我国道路交通气象检测能力具有重大的意义,具有广阔的应用前景。

#### [参考文献]

[1] 张爱英,丁德平,李迅,等.相似离度在北京市道面结冰

预报中的初步应用[J].气象科技进展,2012,(4).

- [2] 欧彦,浦翔,周旭驰,等.路面结冰监测技术研究进展[J].公路,2013,(4).
- [3] 张杰,周磊,张洪,等.飞机结冰探测技术[J].仪器仪表学报,2006,(42).
- [4] 常国伟.光纤光栅在高速公路隧道火灾报警系统中的应用研究[J].山西交通科技,2014,(2).
- [5] L. Colace, F. Santoni, G. Assanto. A near - infrared optoelectronic approach to detection of road conditions[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2013, (6).
- [6] Johan Casselgren, Mikael Sjödaahl, James LeBlanc. Angular spectral response from covered asphalt[J]. Applied Optics, 2007, (20).
- [7] 王琮琪.非接触式路面状况检测系统的研究[D].杭州:浙江大学,2014.
- [8] Patrik Jonsson. Remote sensor for winter road surface status detection[J]. Sensors, 2011, (42).
- [9] Levi Ewan, Ahmed Al-Kaisy, David Veneziano. Remote sensing of weather and road surface conditions[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2013, (23).
- [10] 郝丹,赵代强,匡亮.非接触式遥感路面状态检测预警系统研究与应用[J].交通科学与工程,2015,(4).
- [11] Patrik Jonsson, Johan Casselgren, Benny Thörnberg. Road surface status classification using spectral analysis of NIR camera images[J]. IEEE Sensors Journal, 2015, (3).
- [12] Patrik Jonsson, Mats Riehm. Infrared Thermometry in Winter Road Maintenance[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2012, (29).
- [13] Mats Riehm, Torbjörn Gustavsson, Jörgen Bogren etc. Ice formation detection on road surfaces using infrared thermometry[J]. Cold Regions Science and Technology, 2012, (83).