

基于路面温度和太阳辐射强度的路面状态识别方法*

卢俊辉^{1,2} 王建强¹ 李克强¹ 连小珉¹

(1. 清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084; 2. 江汉大学物理与信息学院, 武汉 430056)

【摘要】 路面温度由路面湿滑状态(干燥、潮湿、雪、冰)和太阳辐射强度(反映于季节、地理位置、时刻、空气温度和空气湿度)决定,它们三者之间存在非线性因果关系。本文以路面温度和太阳辐射强度为输入构造BP神经网络分类器,间接地识别路面湿滑状态。在干燥和潮湿路面识别实验中,采用28天的1344个时刻的数据训练BP神经网络,采用2天的96个时刻的数据验证BP神经网络,路面湿滑识别准确率达90%。

关键词: 路面识别 路面温度 太阳辐射强度 BP神经网络

中图分类号: U461.91 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)05-0021-03

Road Condition Detection Based on Road Temperature and Solar Radiation

Lu Junhui^{1,2} Wang Jianqiang¹ Li Keqiang¹ Lian Xiaomin¹

(1. State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. Physics and Information Engineering Institute, Jiangnan University, Wuhan 430056, China)

Abstract

Road temperature depends on road condition (dry, wet, snowy, icy) and solar radiation (mapped to season, geographical location, time, air temperature and air humidity), and there is the nonlinear causality among them, thus, road condition can be detected indirectly by road temperature and solar radiation with BP neural network. During the experiment to detect road condition (dry, wet), BP neural network was trained with 1344 group data and validated by 96 group data, the road condition detection accuracy reached 90%.

Key words Road condition detection, Road temperature, Solar radiation, BP neural network

引言

路面附着系数的准确估计,直接影响车辆安全行驶,其中路面湿滑对路面附着系数影响最大。路面湿滑可分为干燥、潮湿、积水、雪和冰,干燥路面附着系数约0.8~1.0,潮湿路面附着系数约0.5~0.7,若路面积水较深,车轮发生滑水现象,附着系数会大幅下降;雪路面附着系数0.2以下;冰路面附着系数0.1以下。

目前识别路面湿滑的方法有很多种^[1-5],但普遍存在分析过程复杂,检测设备昂贵。Mann分析路面温度、路面温度范围、空气温度及空气温度变化

率,制定模糊规则识别路面冰层^[6];Mario Costa结合气象参数分析和路面内部温度来预测路面结冰状况^[7],但以上两种方法只针对路面冰层识别和预测。

本文分析路面湿滑、太阳辐射强度对路面温度的影响,提出利用路面温度和太阳辐射强度间接识别路面湿滑的方法。

1 路面湿滑识别原理

首先,路面湿滑直接影响路面温度。对于干燥路面,路面吸收大量太阳辐射,路面温度高于空气温度^[8];对于潮湿路面,雨水蒸发和吸收路面热量,路

收稿日期: 2009-09-18 修回日期: 2009-10-21

* 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2007AA11Z230)、教育部博士点新教师基金资助项目(20070003119)和中国博士后科学基金资助项目(20090460312)

作者简介: 卢俊辉,博士后,江汉大学讲师,主要从事车辆环境感知研究, E-mail: ljh@mail.tsinghua.edu.cn

面温度降低,路面温度接近空气温度;对于雪和冰,由于温度很低,同时雪和冰融化会吸收大量热量,路面温度明显低于空气温度^[9],如图 1 所示。其次,太阳辐射是引起面温度升高的主要因素。太阳辐射强度随季节、地理位置、时刻、天气等因素发生变化。夏季北纬 30°在一级大气透明度情况下,大约 12:00 时太阳辐射强度最强,大约 13:30 时路面温度最高,太阳辐射强度和路面温度日变化如图 2 所示^[10]。

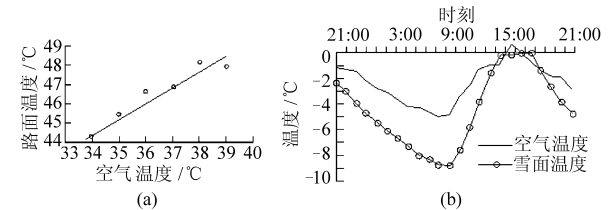


图 1 干燥路面温度和雪路面温度

Fig.1 Temp of dry road and snowy road

(a) 干燥路面 (b) 雪路面

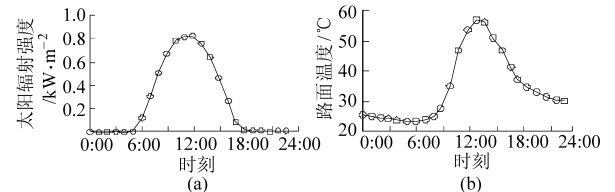


图 2 太阳辐射强度、路面温度变化过程

Fig.2 Road temperature and solar radiation in summer

综上所述,路面湿滑与路面温度、太阳辐射强度之间存在非线性因果关系,路面温度可以直接测量,而季节、地理位置、时刻、空气温度和空气湿度可以

间接反映太阳辐射强度。因此,利用路面温度、季节、地理位置、时刻、空气温度和空气湿度,能够较准确地识别路面湿滑状态。

2 路面湿滑识别方法

BP 神经网络能够较好地解决路面状态识别非线性映射问题。BP 神经网络输入向量为 6 维,即季节、地理位置、时刻、路面温度、空气温度和空气湿度,输出向量为 1 维,即路面湿滑状态,隐含层神经元个数根据实际训练确定,BP 神经网络结构如图 3 所示。

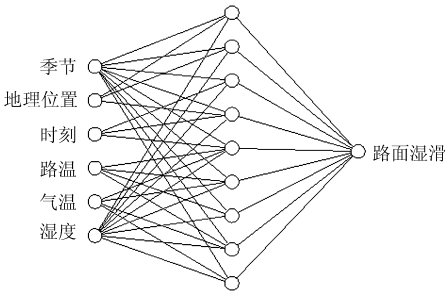


图 3 路面湿滑识别 BP 神经网络结构

Fig.3 BP neural network structure of road detection

BP 神经网络输入向量、输出向量定义如表 1 所示。其中:季节按月份细分为 1~12,地理位置按不同地区太阳辐射强度分为 1~5,时刻按 0.5 h 划分为 0~23.5,路面温度、空气湿度和空气温度为实际测量值;网络输出值按路面湿滑状态分为 0、3、5、8 和 10。

表 1 路面湿润识别 BP 神经网络输入和输出定义

Tab.1 Input layer and output layer definition of BP neural network

网络输入								网络输出	
月份 输入	地理位置			时刻 输入	路面 温度	空气 温度	空气 湿度	路面 状态	网络 输出
	每年太阳辐射 时间/h	每年太阳辐射总量 /kcal·cm ⁻²	位置 输入						
1	2 800 ~ 3 300	160 ~ 200	1	0				干燥	0
2	3 000 ~ 3 200	140 ~ 160	2	0.5				潮湿	3
⋮	2 000 ~ 3 000	120 ~ 140	3	⋮	实时路面温度	实时空气温度	实时空气湿度	积水	5
11	1 400 ~ 2 200	100 ~ 120	4	23				雪	8
12	1 000 ~ 1 400	80 ~ 100	5	23.5				冰	10

3 路面湿滑识别实验

3.1 测量路面温度、空气温度和空气湿度

采用 IRTP300L 红外线温度传感器测量路面温度,采用 SHT71 温湿度传感器测量空气温度和空气湿度。从 4 月 29 日至 5 月 28 日,连续一个月监测清华大学汽车研究所内水泥混凝土路面表面温度、空气温度和空气湿度,部分监测数据如图 4 所示。

从图 4 中看出,4 月 29 日约 20:30 时开始下阵雨,路面温度接近空气温度,而空气湿度突然增大;5 月 1 日下小雨,路面温度接近空气温度,空气湿度较大;其他日期为晴天,路面温度和空气温度在早晨 8:00 时左右开始上升,在中午 12:00 时至 14:00 时达到最高,在凌晨 6:00 时左右达到最低,而空气湿度变化基本相反。监测数据正确反映了路面湿滑状态与路面温度、时刻、空气温度和空气湿度之间的规

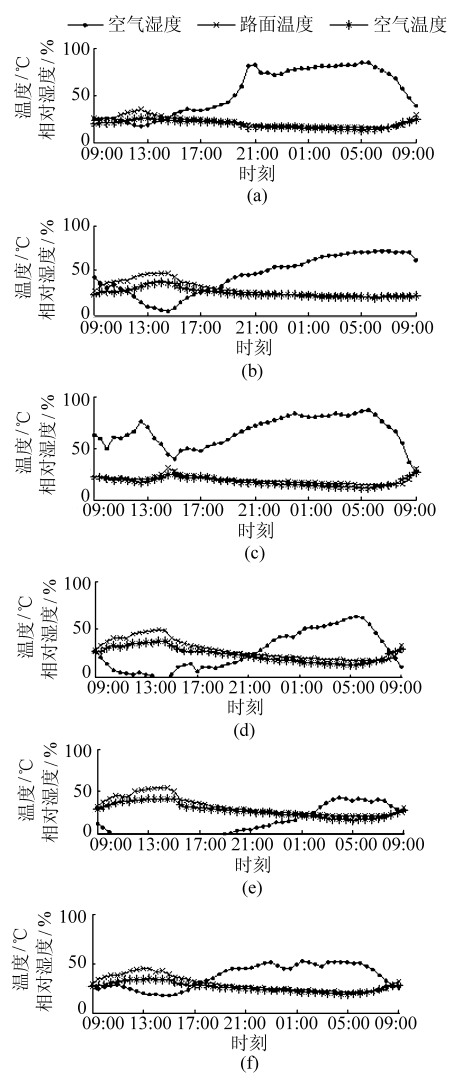


图 4 路面温度、空气温度和空气湿度

Fig. 4 Road temperature, air temperature and air humidity

- (a) 2009-04-29 晴/阵雨 (b) 2009-04-30 晴
- (c) 2009-05-01 小雨 (d) 2009-05-02 晴
- (e) 2009-05-03 晴 (f) 2009-05-04 晴

律:晴天太阳辐射强烈,路面温度比空气温度高、空气湿度较小,雨天太阳辐射较弱,路面潮湿,路面温度接近空气温度、空气湿度较大。

3.2 BP 神经网络识别路面湿滑

BP 神经网络的 6 维输入向量分别为路面温度、季节、地理位置、时刻、空气温度和空气湿度,其中季节为 5,地理位置为 2,时刻为 0~23.5,路面温度、空气温度和空气湿度为实际测量值。BP 神经网络

训练过程如下:除 4 月 29 日和 5 月 3 日外共 28 d 的 1 344 个时刻的数据训练 BP 神经网络,将路面干燥时刻的路面温度、季节、地理位置、时刻、空气温度及空气湿度输入神经网络,令网络输出为 0;将路面潮湿时刻的路面温度、季节、地理位置、时刻、空气温度和空气湿度输入神经网络,考虑到 5 月份雨量不大,路面无积水,令网络输出为 3。BP 神经网络验证过程如下:4 月 29 日 20:30 时至次日 6:00 时验证路面潮湿;4 月 29 日 9:00 时至 20:00 时、4 月 20 日 6:30 至 8:30、5 月 3 日 9:00 时至次日 8:30 时验证路面干燥,网络输出结果如图 5 所示。

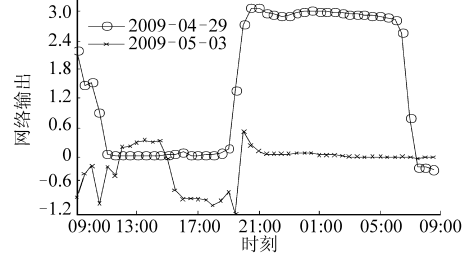


图 5 BP 神经网络路面干湿识别结果

Fig. 5 Road condition (dry, wet) detection by BP neural network

从图 5 可看出,4 月 29 日 20:30 时至次日 8:00 时网络输出结果约为 3,识别路面为潮湿,识别结果准确。5 月 3 日 9:00 时至次日 8:30 时网络输出约为 0,识别路面为干燥,识别结果准确。但 4 月 29 日 9:00 时、9:30 时、10:00 时、10:30 时、19:30 时和 4 月 30 日 7:00 时,网络输出大于 0.6 而小于 2.4,识别结果不准确或错误。路面湿滑识别实验中,共 96 组数据进行验证,其中 90 组数据识别准确,6 组数据识别不准确或错误,总的来看,基于路面温度和太阳辐射强度的路面湿滑识别准确率达 90%。

4 结束语

路面湿滑与路面温度和太阳辐射强度之间存在非线性因果关系,晴天太阳辐射强烈,路面温度比空气温度高、空气湿度较小,雨天太阳辐射较弱,路面潮湿,路面温度接近空气温度、空气湿度较大。实验结果表明,以路面温度、季节、地理位置、时刻、空气温度及空气湿度间接识别路面湿滑状态是可行的,识别准确率可达 90%。

参 考 文 献

1 Ville Viikari, Timo Varpula. Automotive radar technology for detecting road surface conditions. Backscattering properties of dry, wet, and icy asphalt [C] //IEEE Proceedings of the 5th European Radar Conference, 2008: 276~279.

2 Yamada M, Ueda K, Horiba I, et al. Discrimination of the road condition toward understanding of vehicle driving environments[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2001, 2(1): 26~31.

参 考 文 献

- 1 刘振军, 秦大同, 叶明, 等. 车辆双离合自动变速传动技术研究进展分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 161 ~ 164.
Liu Zhenjun, Qin Datong, Ye Ming, et al. Analysis of double clutch automatic transmission for vehicles[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 161 ~ 164. (in Chinese)
- 2 Matthes B. Dual clutch transmissions—lessons learned and future potential, proceedings of the transmission and driveline systems symposium—4WD/AWD[C]. SAE Paper 2005-01-1021, 2005.
- 3 Wheals J, Turner A, Ramasy K, et al. Double clutch transmission (DCT) using multiplexed linear actuation technology and dry clutches for high efficiency and low cost[C]. SAE Paper 2007-01-1096, 2007.
- 4 Zhang Y, Chen X, Zhang X, et al. Dynamic modeling and simulation of a dual-clutch automated lay-shaft transmission[J]. ASME Journal of Mechanical Design, 2005, 127(2): 302 ~ 307.
- 5 Song X, Liu J, Smedley D. Simulation study of dual clutch transmission for medium duty truck applications[C]. SAE Paper 2005-01-3590, 2005.
- 6 Kulkarni M, Shim T, Zhang Y. Shift dynamics and control of dual-clutch transmissions[J]. Mech. Mach. Theory, 2007, 42(2): 168 ~ 182.
- 7 Goetz M, Levesley M, Crolla D. Dynamics and control of gearshift on twin-clutch transmissions[J]. Proc. Inst. Mech. Eng., part D: Journal of Automobile Engineering, 2005, 219(8): 951 ~ 963.
- 8 Wagner U, Wagner A. Electrical shift gearbox (ESG) consistent development of the dual clutch transmission to a mild hybrid system[C]. SAE Paper 2005-01-4182, 2005.
- 9 Liu Y G, Qin D T, Jang H, et al. A systematic model for dynamics and control of dual clutch transmissions[J]. ASME Journal of Mechanical Design, 2005, 131(6): 061012.
- 10 杨伟斌, 吴光强, 秦大同. 双离合器式自动变速器传动系统的建模及换挡特性[J]. 机械工程学报, 2007, 43(7): 188 ~ 194.
Yang W B, Wu G Q, Qin D T. Drive line system modeling and shift characteristic of dual clutch transmission powertrain[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(7): 188 ~ 194. (in Chinese)

(上接第 23 页)

- 3 Haruna Tetsuya. Infrared imaging system: US, 2009078870[P]. 2009-03-26.
- 4 Okubo Yasuo. Device and method for determining road surface condition: JP, 2007232652[P]. 2007-09-13.
- 5 Fukui H, Takagi J, Murata Y, et al. An image processing method to detect road surface condition using optical spatial frequency[C]//IEEE Conference on Intelligent Transportation System, 1997: 1 005 ~ 1 009.
- 6 Mann Wayne L. Imminent icing condition enunciator: US, 5796344[P]. 2000-12-26.
- 7 Costa M, Moniaci W, Pasero E. INFO: an artificial neural system to forecast ice formation on the road[C]//2003 IEEE International Symposium on CIMS, 2003: 216 ~ 221.
- 8 黄立葵, 贾璐, 万剑平, 等. 沥青路面温度状况的统计分析[J]. 中南公路工程, 2005, 30(3): 8 ~ 9.
Huang Likui, Jia Lu, Wan Jianping, et al. Statistical analysis of asphalt pavement temperature profile[J]. Central South Highway Engineering, 2005, 30(3): 8 ~ 9. (in Chinese)
- 9 娄伟平, 吴利红, 赵慧娟, 等. 积雪温度和深度变化特征分析[J]. 科技导报, 2006, 24(9): 32 ~ 35.
Lou Weiping, Wu Lihong, Zhao Huijuan, et al. Analysis of snow cover temperature and depth with data from weather stations [J]. Science & Technology Review, 2006, 24(9): 32 ~ 35. (in Chinese)
- 10 秦健, 孙立军. 沥青路面温度场的分布规律[J]. 公路交通科技, 2006, 23(8): 18 ~ 21.
Qin Jian, Sun Lijun. Study on asphalt pavement temperature field distribution pattern[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(8): 18 ~ 21. (in Chinese)