

基于车流量控制的隧道监控系统改造方案

戴妙良, 侍惠民, 蒋雄红

(浙江东冠信息技术有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要: 针对早期建设的隧道监控系统普遍存在联动控制能力弱及能耗高等问题,提出了基于车流量控制的隧道监控系统改造方案。该系统在尽可能减少改造成本的基础上,通过卡尔曼滤波技术提高了传感器检测数据的可靠性和稳定性;根据隧道特点编制了基于车流量的联动控制策略,实现了环境检测子系统和交通诱导子系统的协调控制,在有效提高隧道的运行效率的同时,实现了隧道内能耗的合理分配。研究表明,采用ARM嵌入式控制技术设计的系统改造方案,具有低成本、高性能的特点,有利于系统的推广。

关键词: 监控系统;信息融合;联动控制

中图分类号: TP273;U463

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)04-0486-04

Tunnel monitoring system based on traffic flow control

DAI Miao-liang, SHI Hui-min, JIANG Xiong-hong

(Zhejiang Dawn Information Technology Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

Abstract: Aiming at the weak linkage control and high energy consumption of early tunnel monitoring systems, a reforming plan of tunnel monitoring system based on traffic flow control was proposed. On the basis of reducing the cost of renovation as much as possible, in this system, due to Kalman filtering technique, the reliable and stable alarm decision was realized; due to linkage control scheme of traffic flow control, coordinate control of the environmental detection system and traffic induction subsystem was realized, at the same time, the tunnel operation efficiency was improved effectively and the reasonable allocation of energy consumption was achieved in tunnel. The results indicate that the ARM embedded control plan of the system has the advantages, with a low cost, high performance characteristics, which is beneficial to the promotion of the system.

Key words: monitoring system; information fusion; linkage control

0 引言

作为高速公路特殊组成部分的隧道由于受到地理环境的限制,一直以来是交通瓶颈和事故的高发地段^[1]。隧道监控系统自20世纪60年代开始应用到目前已经有半个世纪之久,为高速公路的运行管理做出了不可磨灭的贡献。

在隧道实际运行过程中,风机设备和照明设备的能耗占据了隧道总能耗95%左右,其中风机能耗占70%~80%。隧道监控系统通过合理地控制风机照明等设备来保证汽车安全通行。早期的隧道监控系统由于受到技术的限制,大多采用手动或定时控制方式来实现对照明和风机的控制,车辆在隧道内采用固定限速的方式通行。这种方法在不利于能耗管理的同时大

大加重了管理人员的工作强度,而且极易发生事故。随着高速公路通行负荷的不断增加,隧道通行的瓶颈问题已经愈发明显。

笔者在分析早期隧道监控系统特点的基础上,提出基于车流量联动控制的系统改造方案。通过车流量同行车环境的动态协调控制,以实现环境监控子系统与交通检测及诱导子系统之间的联动控制。该系统运行过程中通过对交通子系统的车流量采样分析来合理地调整行车速度,尽可能地提高隧道的通行能力。该系统在保证安全行车环境要求的同时实现能耗的合理分配,达到节能减排效果。

1 隧道监控系统结构

统计发现,当前已应用了监控系统的隧道中,其长

度大都在1 km~3 km之间。早期的隧道监控系统大多采用以485总线方式来实现数据的传输,485总线理想的传输距离为1.2 km,当超过传输距离时,需采用增加485中继或增加通讯链路来实现。这种通讯方式在隧道内的应用造成了在成本增加的同时,系统结构也不够清晰。结合隧道的具体情况,本研究采用以太网+CAN总线两级数据传输方式来实现数据的传输,以太网实现区域控制器同控制中心之间的数据交互,而CAN总线则实现采样控制模块和区域控制器之间信息的传输。CAN总线具有传输距离长(信号传输距离高达10 km),传输速度快(最高可到1 Mbit/s)及错误检测和重发功能。由于采用CAN总线通讯方式,增加了区域控制器的控制范围,减少了主控制器的数量,从而降低了系统改造的成本。CAN总线同485总线均采用两线制的差分信号传输方式,在改造过程中可以使用原先的通讯线路,有利于实现系统的快速改造。

根据目前流行的三层体系结构的监控系统方案^[2],本研究设计的监控系统结构如图1所示,上层为本地监控中心,中间为区域控制器ECS,底层为各类传感器检测设备、控制设备及诱导设备。区域控制器是隧道监控系统的核心,它负责采集现场设备的信息,处理后通过以太网传给本地控制中心。目前隧道内的视频监控子系统、消防报警子系统也大都采用以太网来构建通讯链路,所以实际改造过程中可以共用一条以太网链路,如采用高可靠性的工业以太网光纤环网技术构建以太网通讯链路可以提高通讯可靠及稳定性。控制中心通过GPRS模块实现同远程控制中心的数据交互。

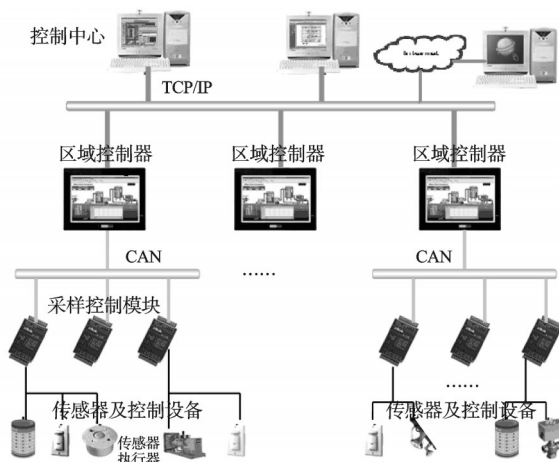


图1 隧道监控系统结构图

2 传感器信息检测技术和控制策略

2.1 基于信息融合的传感器检测技术

隧道监控系统中的传感器检测设备主要包括CO浓度传感器、烟雾传感器、光亮度传感器、交通检测器

等。通常情况下,隧道监控系统对获取的传感器信息采用单独、孤立的加工方式,特点是其信息处理的工作量大,数据处理过程中割断了各传感器信息之间的有机联系,丢失了信息有机组合蕴涵的特征,造成信息资源的浪费^[3-4]。

传感器网络技术是将多类传感器按一定规律组成网络,并对网络中各传感器的信息进行综合处理、分析并上传的技术,是隧道监控管理获得科学依据的重要保障。在多传感器系统中,信息之间都是相互联系的,信息融合通过合理地支配和使用各个传感器观测信息,将传感器之间的冗余和互补信息按一定的规则进行优化组合,来实现对监测环境的一致性描述^[5-6],根据融合级别可以分为像素级融合、特征级融合和决策级融合^[7-8],卡尔曼滤波器属于像素级融合。为了保证传感器检测数据的可靠性,该系统采用卡尔曼滤波信息融合技术来实现对传感器数据在时间和空间上的融合。

卡尔曼滤波器采用状态空间模型方式,利用上次估计值和当前观测值来更新对状态变量的估计,求出当前测量数据的估计值。本研究中采用简化了的卡尔曼滤波器模型进行构建系统的像素级融合,简化的卡尔曼滤波模型为:

$$X(k|k-1) = X(k-1|k-1) \quad (1)$$

$$X(k|k) = X(k|k-1) + Kg(k)(Z(k) - X(k|k-1)) \quad (2)$$

$$Kg(k) = P(k|k-1)/(P(k|k-1) + R) \quad (3)$$

$$P(k|k-1) = P(k-1|k-1) + Q \quad (4)$$

$$P(k|k) = (I - Kg(k))P(k|k-1) \quad (5)$$

从式(1)~式(5)可知,卡尔曼滤波器是一个递归滤波算法,传感器数据经过不断地递归运算,使得测量数据更加真实可靠。正常情况下,传感器前后两次检测的数据应该是相近的,不可能产生突变情形,本研究将传感器数据经A/D转换并简单判定后,通过卡尔曼滤波来保证数据的稳定性和可靠性^[9]。本研究采用时间和空间两次卡尔曼融合方式来加强数据的可靠性:将当前检测数据和历史数据进行时间上的一次融合;将同质传感器按区域划分后进行在空间上的二次融合。通过对传感器数据在时间和空间上的融合,可以保证对空间环境的整体认识,而不再局限于某一特定传感器数据,降低了数据的不确定性风险。

公式(1~5)中, Q, R 表示过程噪声和测量噪声的协方差,在实际应用中本研究取值为 $Q=0.001, R=0.05$ 。 Kg 为卡尔曼增益(Kalman Gain), $P(k|k)$ 是 $X(k|k)$ 的协方差, $P(k|k)$ 会随着卡尔曼滤波器运行,不断递归最后达到一个稳态值。只要赋予初始值 $P(0|0)$ 和 $X(0|0)$ 后,卡尔曼滤波器即可进行工作。传感器每采样一次

数据后,采用卡尔曼滤波器进行一次递归运算得到滤波后的数据。本研究对浓度均值为182.5 ppm的一组一氧化碳数据进行卡尔曼滤波效果分析试验,试验前后效果如表1、图2所示,从图中可以清晰地看出滤波后CO浓度测量数据经卡尔曼融合后数据趋于收敛。

表1 一氧化碳浓度卡尔曼滤波效果表(单位:ppm)

滤波前	滤波后	滤波前	滤波后	滤波前	滤波后
180	179.92	185	183.16	180	181.86
181	180.47	184	183.28	181	181.75
181	180.65	184	183.38	181	181.65
182	181.01	183	183.33	182	181.69
182	181.23	183	183.28	182	181.73
183	181.58	182	183.11	183	181.9
183	181.83	182	182.96	183	182.05
184	182.19	181	182.7	184	182.3
184	182.47	181	182.47	184	182.53

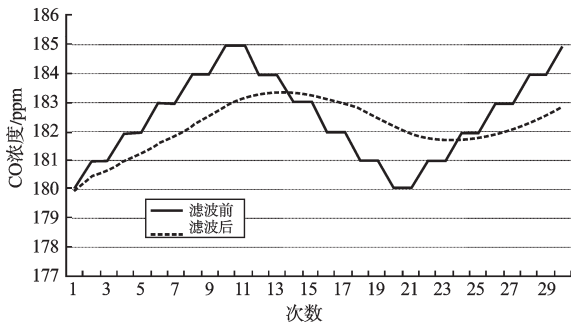


图2 卡尔曼滤波效果图

2.2 隧道监控系统联动控制策略

联动控制策略是在分析消防子系统、交通管理子系统和环境监控子系统的基础上对隧道内的环境控制设备、交通诱导设备进行协调控制,以达到最优控制效果。优良的行车环境是隧道交通的安全保证。隧道内影响车辆通行的因素主要包括隧道内的照明条件和空气质量,通过照明灯来调节照明亮度。隧道内空气质量受到汽车尾气排放影响,空气中CO浓度大大提高,如果不及时排放,容易对人体产生影响并造成交通事故。隧道内CO浓度主要通过风机来进行排放。《公路隧道设计规范》对隧道内的CO浓度和照明亮度均做了明确的要求^[10]。

早期隧道监控系统大多采用手动或定时控制方式来进行隧道内环境的调节,是一种固定能耗控制方式,即最大能耗控制方式,而且信号检测系统和设备控制系统相互脱节,也没有实现同交通诱导系统和消防系统的联动控制。本研究采用基于车流量的联动控制策略来实现隧道环境子系统的信号检测和设备的协调控制,同时实现隧道环境子系统和交通诱导子系统、消防报警子系统的联动控制,在保证安全行车环境的同时,本研究根据车流量情况进行车速的调节,以增加隧道的车

辆通行效率,并实现能耗的动态合理分配:当车流量大,提高行车指导速度,提高空气质量和照明指标,对应的能耗增大;当车流量少,则可降低行车指导速度,合理降低空气质量和照明指标,相应的设备能耗将减少。

根据《公路隧道设计规范》,本研究将CO浓度、照明亮度和行车速度(限速)均划分成5个等级进行关联,采用指导车速的方式实现,当前车流量同隧道通行环境的联动协调,如表2所示。该系统根据指导车速查表计算出CO浓度和照明亮度的等级控制范围,然后通过风机和照明灯进行调节照明环境。

表2 环境参数同控制车速关联表

	CO浓度/ppm	照明亮度/(cd·m ⁻²)	指导车速/(km·h ⁻¹)
I1	≤100	≥9	40
I2	(100,150]	[4.5,9)	60
I3	(150,200]	[2.5,4.5)	80
I4	(200,300]	[1.5,2.5)	100
I5	>300	<2.5	120

该系统通过两级控制方式来实现隧道监控系统的控制:控制目标的识别和设备联动控制策略,联动控制策略流程如图3所示。

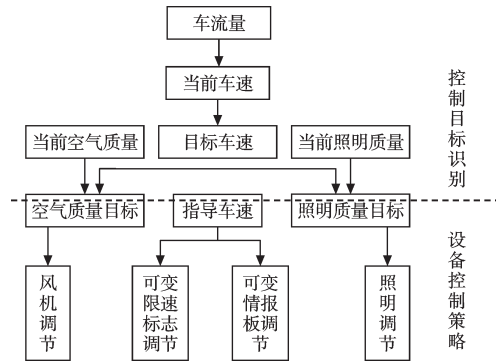


图3 联动控制策略流程

控制目标识别过程是各个控制对象的控制级别的识别过程:本研究根据交通检测仪在采样周期内平均车流量计算出实际平均车速,当平均车速达到当前指导车速的90%时,增大指导车速,当实际车速小于下一级别指导车速时,降低指导车速。然后根据指导车速及表2数据得到对应的CO浓度和照明亮度级别。

设备控制策略层是隧道内设备的实际控制过程,是对设备的运行情况进行合理的时间分配和控制的过程,可以最大限度地增加设备的使用寿命。本研究根据隧道内整体空气(或照明)质量按目标级别及设备的运行情况进行调节控制,选定需要运行和停止的设备,并达到相应的控制范围。隧道内风机运行的选定主要考虑:每次启停应满足风机设备的连续最大运转时间,启动最小运转时间的情况下尽可能均匀分配的风机的总共使用时间。照明灯开闭的选定原则以总共运转时

间为主。通过设备层控制策略,可以提高设备的使用寿命,降低运行维护成本。

3 智能隧道监控系统设计

3.1 区域控制器设计

区域控制器是监控系统的核心,该系统区域控制器采用SAMSUNG的ARM9嵌入式处理器S3C2410^[11]作为主控制器,外加相应的外围电路组成,硬件结构图如图4所示,主要包括显示、通讯、存贮等功能。区域控制器采用10/100 M的以太网通讯接口,同监控中心实现快速数据交互;CAN接口用于扩展输入输出模块用,可以减少区域控制器的数量。RS485接口用于实现同第三方产品的数据交互,如CO/VI传感器。RS232,USB属于近距离通讯接口,USB主要用于系统的安装和软件的升级。

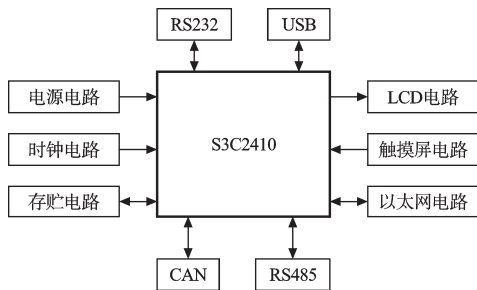


图4 区域控制器硬件结构图

区域控制器在设计过程中综合考虑了系统的可扩展性、抗干扰性及成本等方面因素,本研究采用核心板和底板的两层板卡工业级设计方式,核心板采用6层PCB设计,底板采用4层PCB设计,以保证其高可靠性。

3.2 系统软件设计

隧道监控系统软件是监控系统的核心,集控制和管理于一体。本研究根据隧道特点设计的监控系统软件采用模块化设计方法,监控软件结构图如图5所示,主要功能模块包括:隧道状态数据的收集,整合显示;隧道设备的联动控制;信息的远程上报;报表管理。

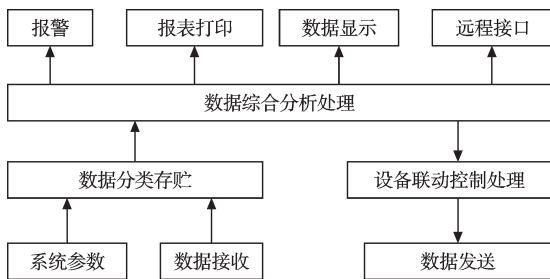


图5 监控软件结构图

“状态数据的收集显示”指监控软件将隧道内所有监测点位的传感器信息和控制点位的设备运行状态信息显示在监控中心计算机软件中的处理过程,使管理人员在控制中心就能对隧道的整体状况一目了然。设

备的联动控制是该改造方案的核心,是对整个隧道内检测信息的综合分析的基础上做出的一种决策性动作,以保证隧道的正常有效运行,减少管理人员的工作力度。远程上报主要包括:火灾及交通事故信息的上报,请求支援协助;隧道达到最大运行负荷,请求分流的信息上报。报表管理功能主要是指通过报表形式对隧道数据进行分析统计,统计分析有助于隧道监控系统参数的优化功能,使系统更合理有效地运行。

4 结束语

本研究在分析了早期隧道监控系统存在的问题的基础上,提出了基于车流量控制的隧道监控系统改造方案。改造方案通过联动控制技术实现了隧道环境监控子系统、交通诱导子系统及消防报警系统之间的联动控制,实现了隧道内部能耗同实际运行效率的统一协调,在提高隧道通行效率的同时实现节能减排。

该方案设计综合考虑了技术、成本及工程实施的难易程度等各方面因素,因此该隧道监控系统具有进一步现场推广实施的价值。

参考文献(References):

- [1] 崔海龙,孙大跃,屈立成. 高速公路隧道监控系统的设计[J]. 交通与计算机,2006,24(4):61-64.
- [2] 季文献,厉小润,王晶. 基于传感器信息融合技术的智能隧道监控系统[J]. 有色冶金设计与研究,2011,32(4-5):141-144.
- [3] CHAIR Z,VARSHNEY P K. Optimal data fusion in multiple sensor detection systems [J]. *IEEE Transactions on AES*,1986,22(1):98-101.
- [4] 王志胜,姜斌,甄子洋. 融合估计与融合控制[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [5] 何友,王国宏,陆大,等. 多传感器信息融合理论与应用[M]. 2版. 北京:电子工业出版社,2007.
- [6] 孔军. 基于多传感器信息融合的道路收费系统[J]. 电子技术,2003,30(1):55-57.
- [7] YANG S J,ADAM S,JARED H. High level information fusion for tracking and projection of multistage cyber attack [J]. *Information Fusion*,2009,10(1):107-121.
- [8] SAMARASOORIYA V N S,VARSHNEY P K. A fuzzy modeling approach to decision fusion under uncertainty [J]. *Fuzzy Sets and Systems*,2000,114(1):59-69.
- [9] DONG Feng,JIN Hong-bin,BAI Jing. Kalman filter simulation with Visual C++[J]. *Control and automation*,2005,21(7):147-149.
- [10] 重庆交通科研设计院. JTGDT0-2004公路隧道设计规范[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [11] 周立功. ARM微控制器基础与实验[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.