

基于 AMR 的高速公路区间车流密度监测系统设计

朱云峰

(南通航运职业技术学院 管理信息系, 江苏 南通 226010)

摘 要:文章设计了一种基于 AMR 的高速公路区间车流密度检测系统,该系统运用 AMR 传感器感知测量点的车辆信息,利用 CC2530 芯片处理相关数据,并通过 ZigBee 无线传感器网络实现测量点的数据顺序传递,依据相邻测量点的车流量差,计算出高速公路区间内车流密度。

关键词:AMR; 车流密度; ZigBee

中图分类号:U491.1

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2016)02-0065-06

0 引言

随着汽车保有量的高速增长,我国城市道路和高速公路上交通拥挤现象越来越严重,导致了城市道路不通畅,高速公路不高速。交通拥堵问题已成为我国道路交通发展的一个难题。为了缓解这一状况,我国正在不断地加强智能交通系统的研制与建设,而在智能交通系统中,有一个极为重要的基础检测——车流密度的检测。目前,常见的车流密度或车流量的检测方法主要有视频检测、环形线圈检测和波频检测。其中,环形线圈检测精度高,结构简单,但易坏,且安装需要对道路进行开槽施工,安装、维护及推广较为不易。视频检测易受到光线的影响,弱光线情况下检测精度低。波频检测主要用于测速,但易被干扰,对拥堵路段测量精度不高。

根据研究,地球的磁场在一定范围内是均匀分布的,当车辆等大型铁磁物质穿过磁场时会对周边磁场产生扰动,AMR(Anisotropic Magneto Resistive,以下简称“AMR”)各向异性磁阻传感器是一种利用磁阻效应原理来探测磁场和铁磁材料的传感器,能动态检测地磁场变化。^[1]目前,AMR 因为体积较小且不易损坏,使用起来具有占用空间小、可靠性高、安装简易、无需切割路面和封闭道路等特点,被国内外很多科研机构组织用于车型识别、车流量监测等场合,其应用开发与实现一般均于地磁处垂直分量展开,但由于地磁垂直分量不能完全体现车辆扰动效应,且强磁场下,磁偏角以产生漂移影响测量精度。为此,本文提出了一种基于三轴数字式 AMR 传感器和 ZigBee 无线传感器网络技术的高速公路区间内车流密度监测系统。

1 AMR 传感器检测车辆原理

AMR 传感器利用导体材料的各向异性磁阻效应,即在磁场环境下,导体材料会出现电阻率随磁化强度方向与电流方向变化而发生变化的特性。通过构建惠斯通电桥,并使用镍铁合金材料制成的电阻作为电桥电阻,由于铁磁物质(如车辆)会对地磁产生扰动,使惠斯通电桥感知并转换成差分电压,实现了磁场扰动检测的功能。铁磁物质对地磁产生扰动如图 1 所示,惠斯通电桥感知并转换成差分电压原理如图 2 所示。

因此,利用 AMR 传感器这一特点,通过将磁异态转换为电压信号的变化,再通过无线通信设备将信号传给上位机。上位机收到信号后,通过信号处理,从磁信号的变化判断出车辆的通过信息、行驶方向、车速等相关信息,达到监测车辆的目的。

2 系统的设计与实现

收稿日期:2016-01-16

基金项目:2015 年江苏省大学生实践创新项目“基于物联网的高速公路动态交通诱导系统的设计与实现”(项目编号:201512703006y)。

作者简介:朱云峰(1982—),男,江苏如东人,南通航运职业技术学院管理信息系讲师,硕士。

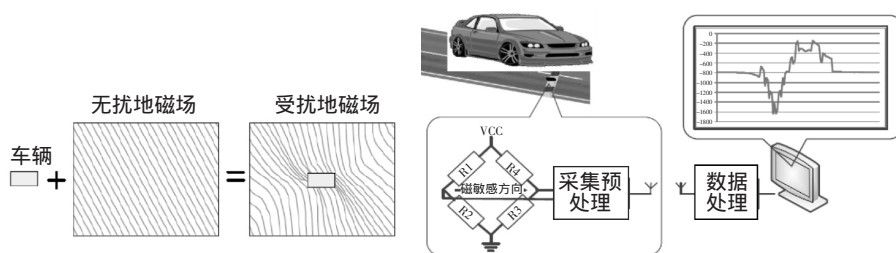


图 1 铁磁物质对地磁产生扰动

图 2 惠斯通电桥感知并转换成差分电压

2.1 系统的总体设计

本系统主要由三个功能模块组成,分别是:AMR 传感器监测节点模块、无线通信模块、路口(路段)数据汇总、分析及警示模块。其主要功能是:运用 AMR 传感器(HMC5883)感知测量点的车辆信息,利用 CC2530 芯片处理相关数据,并通过 ZigBee 无线传感器网络实现测量点的数据顺序传递,在路口(路段)数据汇总、分析及警示模块通过相邻测量点的车流量差,判断高速公路区间内道路畅通情况,并根据道路畅通情况,在路口或路段表示处为后继车辆进行简单的道路拥堵情况预警。具体系统结构图如图 3 所示。

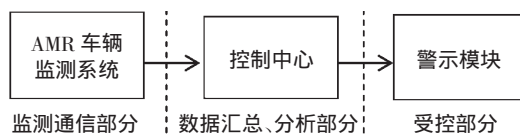


图 3 车流密度检测及警示系统结构图

2.2 系统监测硬件部分设计

本项目采用的是 Honeywell 公司生产的 HMC5883 三轴 AMR 传感器。该传感器是一种表面贴装的高集成度,带有 PC 数字接口的弱磁传感器芯片,具有集成度、灵敏度高和可靠性好的优点。其测量磁场范围广($\pm 80\text{e}$),灵敏度为 5mV/V/gauss ,工作电压在 $2.16\text{V}\sim 3.6\text{V}$ 之间,典型为 3.3V ,满足高性能、低功耗($100\mu\text{A}$)的要求。HMC5883 三轴 AMR 传感器可以检测到 X, Y, Z 三个维度不同方向的磁场变化情况。通过将 AMR 传感器在 K 时间节点所采集的信号 $H_i(K)$ 分为车辆信号 $V_i(K)$ 、地磁信号 $G_i(K)$ 、周围环境的干扰信号 $N_i(K)$ 的叠加,如式(1)所示:

$$H_i(K) = V_i(K) + G_i(K) + N_i(K) \quad (1)$$

通过对上述采集信号进行处理与计算,可以分析计算出测量节点经过的车辆数据信息,为系统进一步分析其他相关数据提供了数据支撑。本设计采用南通航院职业技术学院物联网实验室“凌阳物联网实验箱”的实验平台制作实验样机,对设计的可行性和可靠性进行评估。

(1)传感器节点总体设计。由于磁阻传感器一般只有 5m 的检测范围,而且磁场信号强度随距离线性衰减(超过 5m 一般强度会衰减 80%),因此道路区间车流量的检测需要组建一组连续的监测点才能实现。

本设计根据高速公路线性的特点以及信息传递线性递进的传递方式,以凌阳物联网试验设备为基础,采用基于 CC2530 的 Zigbee 协议芯片来完成无线传感器网络的搭建,实现无线数据采集。CC2530 是一款片上系统芯片,具有高性能、低功耗的特点,并集成了符合 IEEE802.15.4 标准的 2.4GHz 的射频收发系统模块。其无线射频收发模块,配备高性能蛇形天线,传输速率最高可达 250kb/s ,传输距离可达 $150\sim 200\text{m}$,并且该模块封装尺寸小,适合浅埋于车道表面下层,传感器节点如图 4 所示。

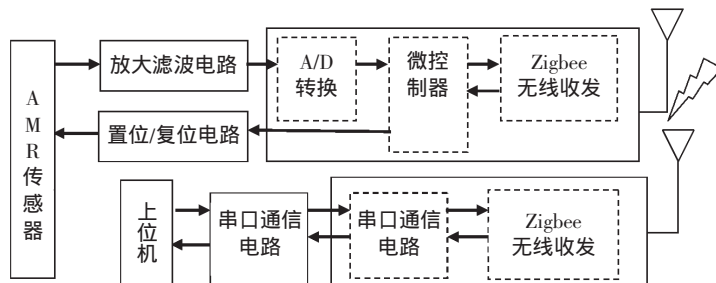


图 4 传感器节点硬件结构图

本设计将三个监测点设定为一组监测路段,其中监测点之间采用基于方向的拓扑控制模式,该模式能够通过配备有向天线,以最小功率传递信息(监测点 A1、A3 分别与监测点 A2 互相通信),监测组之间则采用分层拓扑控制模式(监测点 A2、N2 分别与无线基站互相通信),各监测点、监测组之间的拓扑模式如图 5 所示。

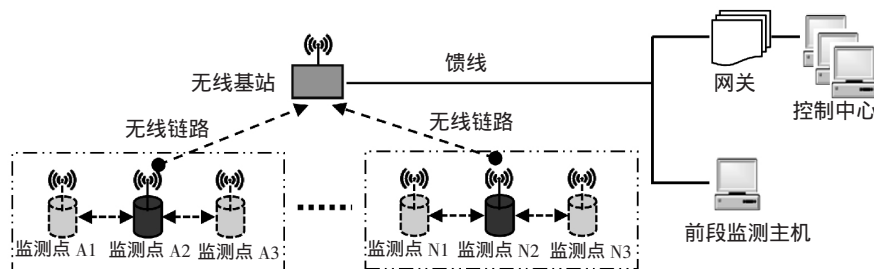


图5 监测节点拓扑结构图

(2)系统的复位/置位。HMC5883AMR 传感器的电桥能分别产生偏置电场和用于复位的瞬间强磁场,并通过传感器内部的电桥薄膜,来分别实现电路的复位/置位和产生用于补偿干扰磁场的偏置磁场。为了保证传感器的精确度及灵敏度和读数的可重复性,经过调试,发现通过对电桥上的电桥薄膜施加脉冲电流(周期 20~50ns,幅值 3~4A,置位/复位脉冲宽度为 2μs)就可以实现磁区域的复位对准。

为了能够产生稳定的脉冲电流,本项目采用了双通道 IRF7317 芯片(MOSFET 芯片)构建 H 型电路桥,为电桥薄膜提供脉冲电流,通过控制引脚 S/R+、S/R-电平的高低,改变 H 回路中的导通方向,进而改变复位/置位脉冲的产生。H 型电路桥的结构如图 6 所示,具体工作如表 1 所示:

表 1 H 型电路各引脚电平及产生脉冲状态

引脚电平状态	产生脉冲状态
S/R+高电平, S/R-低电平	电源通过 U9B、U10A 给 C20 充电,产生置位脉冲
S/R+低电平, S/R-高电平	电源通过 U9A、U10B 给 C20 充电,产生复位脉冲

H 型电路各引脚电平所产生的复位/置位脉冲状态波形图如图 7 所示。

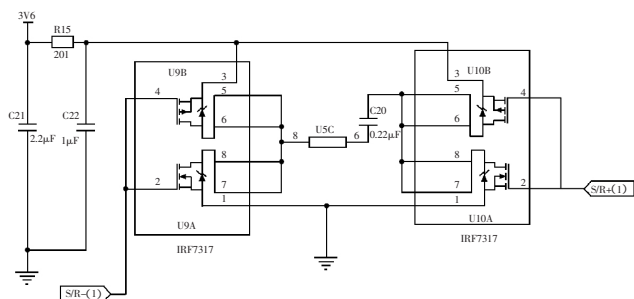


图6 H型电路桥结构图

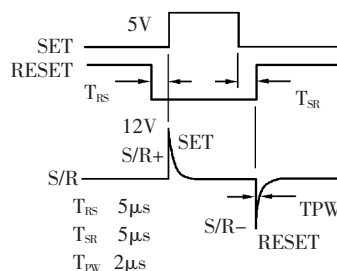


图7 复位/置位脉冲状态波形图

(3)系统的信号调理。由于扰动的磁信号为微小信号,使得传感器输出的电压信号也很小,幅值不定,为了使信号的幅值适中,信号需要放大。针对磁信号的特性,本项目选用了 CS5532bs 这一斩波稳定增益可编程仪表放大器,构成两级放大电路,该设备运用了电荷平衡技术,具有高共模抑制比、低失调电压和高稳定增益,能够很好地抑制温漂等特点,同时该设备还提供了一个能与 SPI 和 Microwire 兼容的三线串行结构,以及一个由施密特触发器构成的串行时钟口,便于安装、调试和功能拓展。^[2]在滤波方面,本项目选用一种开关电容滤波器 MAX292,该设备的截止频率由时钟频率决定,并能够在 0.1~25 kHz 可调。图 8 所示为 CS5532bs 和 MAX292 组成的信号调理电路。

通过这样的组合,结合 HMC5883 的特性(取工作电压 3.3 V,灵敏度 5 mV/V/gauss),以及车辆及车载物体等硬磁材料所带磁残留强度不大于 2gauss 这一特点,可以计算出 HMC5883 传感器的最大差分输出电压范围约在:

$$\Delta u = (3.3 \text{ V}) \times \pm(2\text{gauss}) \times ((5 \text{ mV/V})/\text{gauss}) = \pm 33 \text{ mv} \quad (2)$$

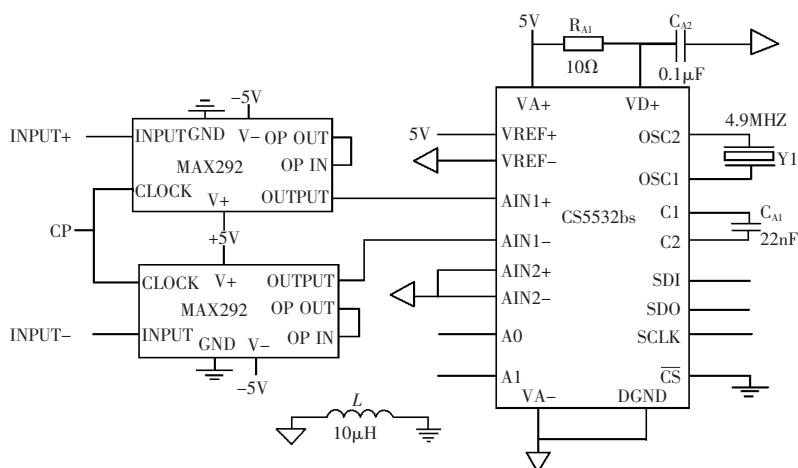


图 8 由 CS5532bs 和 MAX292 组成的信号调理电路

HMC5883 自带的 A/D 转换器, ADC 最大值为 3.6V, 则其放大增益为:

$$Au = 3.6 \text{ V} / (33 \text{ mV} \times 2) = 55 \quad (3)$$

综合其它因素, 本设计将放大器的增益设置为 50。由于 HMC5883 传感器采用了惠斯通电桥结构, 所以在实际使用时必然会产生电桥偏置电压, 容易产生误差积累。为了消除偏压, 在比较了偏置电流法、并联电阻法和放大器偏压置零法之后, 本项目结合系统硬件特性采用了放大器偏压置零法。该方法在不直接改变电桥性能的情况下, 通过在放大器的输入端增加一个反相电压, 达到消除电桥偏置电压的目的。通过实验, 本项目采用的 X9315 芯片能够通过软件程序微调电阻, 达到放大器的输入端动态调整反相电压的目的。

2.3 AMR 传感器检测车辆方法实现

(1) 检测车辆主程序设计。AMR 传感器检测车辆, 主要是通过 AMR 传感器检测车辆信号, 对信号预处理后, 通过 ZigBee 无线通信传输给对应处理单元, 同时接受反馈信息。传感器检测车辆的主程序流程图如图 9 所示:

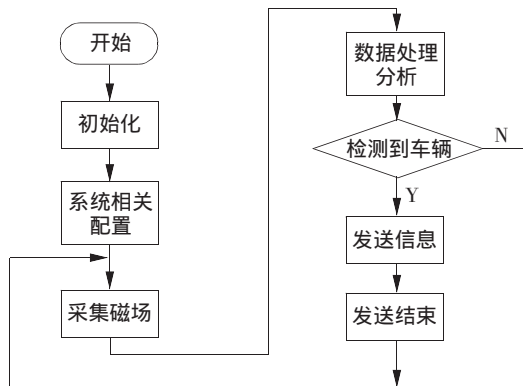


图 9 传感器检测车辆的主程序流程图

其中, 对于车辆感知与检测的功能实现, 本项目采用了目前使用较为广泛的自适应阈值的车辆检测方法。利用该方法, 根据三轴 AMR 传感器的地磁检测原理, 本设计将 AMR 传感器检测到的与车道行驶放方向平行、垂直和地面垂直三个维度的电压变化值作为地磁干扰的参数(分别定义为 X_k 、 Y_k 、 Z_k) , 则有车辆通过信号 E_k 表达式为:

$$E_k = \sqrt{X_k^2 + Y_k^2 + Z_k^2} \quad (4)$$

利用三轴能量信号来检测车辆, 可以更为精确地获取车辆进入和离开检测点的时间, 有利于提高车速、车流量的检测精度。为了进一步提高检测精度, 对检测区域的背景信号基础值进行设定, 如式(5)所示。

$$B_i(k) = \begin{cases} B_i(k-1) \times (1 - \alpha_i) + a_i(k) \times \alpha_i & (s(\tau) = 0 \forall \tau \in [(k - s_{buf}) \cdots (k-1)]) \\ B_i(k-1) & otherwise \end{cases} \quad (i \in [x, y, z]) \quad (5)$$

式中 $B_i(k)$ 是各轴上的第 K 次计算的基准值, μ_i 是各轴上的遗忘因子, $a_i(k)$ 是第 k 次采样的数据, $s(\tau)$ 是状态机第 τ 次判定输出状态, 用“0”表示无车, 用“1”表示有车, 为保证背景磁场对基准值的影响, μ_i 一般取值 0.02–0.05。确定好阈值后, 即可根据式(6)获得磁信号转换为二进制信号。

$$T(k) = \begin{cases} \begin{cases} true & \text{if } |a_z(k) - B_z(k)| > h_z(k) \\ false & \text{otherwise} \end{cases} & \text{for } s(k-1) \neq Event_Detected \\ \begin{cases} true & \text{if } |a_z(k) - B_z(k)| > h_z(k) \text{ or } |a_x(k) - B_x(k)| > h_x(k) \\ false & \text{otherwise} \end{cases} & \text{for } s(k-1) \neq Event_Detected \end{cases} \quad (6)$$

式中 $h_i(k)$ 为相应轴的阈值水平。由于 AMR 传感器对铁质物体的距离较为敏感, 对于 HMC5883 AMR 传感器来说, 其检测距离达到 5m 后, 输出信号下降 80%, 通过上述方法建立合适的阈值水平, 可以尽可能的消除铁磁性干扰物的干扰, 提高检测精度。

(2) 车流密度检测方法的设计。在高速公路上, 车流运行状态会随着时间的变化而改变, 根据道路交通状态, 分为畅通、拥挤和消散三个状态, 为了能够监测高速公路区间内的车流密度和交通流量, 对区间内监测节点的安放如图 10 所示。

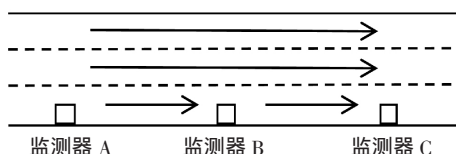


图 10 高速公路路段区间监测器的安放

本设计通过采用三个传感器节点作为一个检测组, 三个传感器节点均匀分布(本设计的监测器安放在单向车道上, 监测器 A、B、C 之间的距离均设置为 50 m, 总检测长度为 100 m, 该距离与高速公路波形隔离带上的轮廓反光标间距成整数倍数关系, 为系统以后的引导警示功能提供升级便利), 通过中间节点 B 记录车辆通过三个节点的时刻, 利用通过三个节点的时间差和三个节点的距离计算车辆通过平均速度。

为了便于分析, 本文将车流看作以基本交通工具为粒子组成的一种粒子流, 按照流体理论, 可以用交通流量、通过速度和区间密度三个基本参数来描述。

①交通流量 F : 是指单位时间通过某一检测点的车辆数目。

②通过速度 V : 主要有两种指标, 分别是时间内平均速度和区间平均速度。

时间内平均速度即在一时间段内通过某一检测点的所有车辆瞬时速度的算术平均值。

$$\bar{V}_t = \frac{1}{N} \sum V_i \quad (7)$$

区间平均速度即为在某一检测路段所有通过车辆的平均行驶速度, 定义 L 为监测路段长度, t_i 为每辆车通过该路段的时间, N 为通过的车辆数, 则有表达式(8):

$$\bar{V}_s = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_i t_i} = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_i \frac{L}{v_i}} = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{v_i}} \quad (8)$$

③区间密度 D : 是指在单位时间内, 单位长度内的车辆数, 如式(9)所示:

$$D = \frac{N}{L} \quad (9)$$

式中 N 为单位时间内的车辆数, L 为单位长度。据常识可知, 在道路上, 车辆的区间密度越小, 车辆前后间距就大, 车速行驶快; 反之, 车辆的区间密度越大, 车辆前后间距就小, 车速降低, 甚至停滞。可见, 通过速度 V 和区间密度 D 是反映车辆行驶拥堵程度的主要指标, 并且交通流量、通过速度、区间密度之间具有的关系如式(10)所示。

$$F = V \times D \quad (10)$$

通过上式,可以清楚地构建出交通流的基本模型。结合图 5 所安置的监测节点,本设计通过采用三个传感器节点作为一个检测组,以监测节点 A 和 C 之间的车流量 F 、通过速度 V 、区间密度 D 为观测点,并结合相关文献和资料有关交通流畅度与车速的关系,假定检测路段对车辆时速的最高限速为 V_H ,则对区间内交通通畅状态描述如下:

- ①当车流量 F 变大、区间密度 D 变大,而通过速度 $V(V < 0.3 \times V_H)$ 变小时,监测区间内处于拥堵状态;
- ②当车流量 F 变大、区间密度 D 变大,而通过速度 $V(0.3 \times V_H < V < 0.8 \times V_H)$ 变小时,监测区间内处于聚集拥堵状态;
- ③当车流量 F 变大、区间密度 D 变小,而通过速度 $V(0.3 \times V_H < V < 0.8 \times V_H)$ 变大时,监测区间内处于拥堵消散状态;
- ④当车流量 F 、区间密度 D 、速度 $V(V > 0.8 \times V_H)$ 基本不变时,监测区间内处于畅通状态。

本项目通过上述方法,可对监测路段进行了车流量、车速的检测,并计算出监测路段的车流密度,从而判断出道路车辆拥堵情况。

2.4 系统测试

在实验场所,搭建测试系统如图 11 所示。经过硬件组装及系统调试,主要对检测节点车辆计数及车速判断,本项目通过利用经过滤波后的 HMC5883 传感器感知的 X 、 Y 、 Z 轴地磁信号与基线的绝对差值为实验监测对象,利用式(4)计算并判断出车辆经过的信号。通过实验发现,当汽车经过传感器时,可以明显感知磁场扰动。监测结果以波形图显示,如图 12 所示:

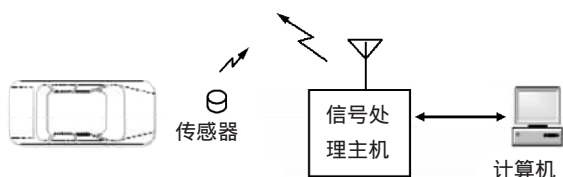


图 11 单个车辆检测节点测试结构图

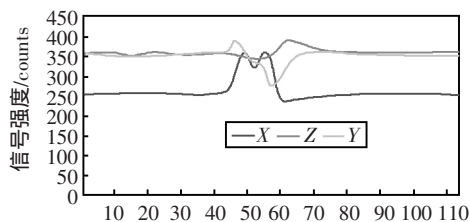


图 12 监测点检测地磁扰动波形图

在系统监测与通信测试过程中发现,由于系统采用无线通信方式传递信息,在传递数据时存在数据丢包和易接收干扰信号的问题。为此,本项目采用了一次四组数据的方式。通过测试,虽然仍存在数据丢包和信号干扰问题,但由于采用多次数据传送的模式,故仍能保证信息的完整性和可靠性。

通过调试,对系统功能进行整体测试。测试场所为南通市 S336 星湖大道与通盛大道交叉点西侧路段,测试路段长 100 m,该路段为半封闭路段,监测车道以汽车通行为主,能够近似模拟高速公路状态。测试时间为 2016 年 4 月 8 日,以 10 分钟为监测及统计时间段,通过与人工监测(人工测试点安排在路段中间 50 m 处)的比对,统计结果如表 2 所示:

表 2 分时段系统相关数据监测数据表

时段	传感器监测计数\平均车速\交通状态	人工监测计数\平均车速\交通状态
09:30-09:40	56 辆 \62km/h \畅通	58 辆 \60km/h \畅通
12:00-12:10	37 辆 \76km/h \畅通	41 辆 \80km/h \畅通
17:20-17:30	73 辆 \32km/h \略堵	71 辆 \38km/h \略堵

其中人工监测采用的人工计数和射频测速,车辆技术误差主要有人为统计漏报或重复计数,平均车速误差主要是由测速设备精度、测速数据估值和车辆数误差导致。通过分析,可以看出本项目所用方法可以测出监测路段的车流量及车速,进而可以计算出监测路段的车流密度。

3 结束语

本文设计了一种利用 AMR 传感器的路段区间车流密度的监测器,通过实时监测路段的车流量、车速,进而计算出监测路段的车流密度,实现了监测路段的车流密度监测的目的,达到了分析道路拥堵情况的设计初衷,为公路管理部门实现路况分析和交通分流提供了数据支撑。

(下转第 81 页)

谊,受马六甲郑和文化馆委托,2010年7月笔者在南京复制一方“镇国山碑”。该碑高2米,宽0.9米,厚0.2米,加上碑座总重量达2吨多,通过海轮运往马六甲。笔者亲自指挥安装就位并参加落成典礼,马六甲主流媒体都相继报导这一盛礼,体现了中马人民世代友好的良好愿望,也正如李克强总理在马六甲接受记者采访时提出:“真诚、友好、互利、共赢是郑和时代已开启的中马关系历史航道,是两国乃至本地区各国人民的民心所向和时代潮流,也是双方都要继续为之不懈努力的目标。”

参考文献:

- [1]郑自海,郑宽涛.咸阳世家宗谱[M].昆明:晨光出版社,2005.
- [2]郑鹤声,郑一钧.郑和下西洋资料汇编(上册)[M].济南:齐鲁书社,1980.
- [3]纪念伟大航海家郑和下西洋582周年筹备委员会.中国航海史研究.郑和家世资料[M].北京:人民交通出版社,1985.
- [4]林松.回回历史与伊斯兰文化[M].北京:今日中国出版社,1992.
- [5]丁宏,张国杰.百年中国穆斯林[M].银川:宁夏人民出版社,2002.

Cherishing Peace, Harmony and Tolerance

——Li Ke-qiang Praises Zheng He Spirit on his Visit to Malacca

ZHENG Kuan-tao

(Jiangsu Zheng He Studies Association, Nanjing 210017, China)

Abstract: Based on an introduction of Premier Li's visit to Malaysia with Zheng He as the mainline, this article puts forward the new connotation of Zheng He spirit, that is, cherishing peace, harmony in diversity and tolerance, which embodies the thoughts of cherishing peace, harmony in diversity and peaceful co-existence in Chinese culture.

Key words: Zheng He spirit; Harmony; Malacca; Religious belief

(上接第 70 页)

参考文献:

- [1]陈强,陶海鹏,王志明.基于磁阻传感器的无线车辆检测器的设计[J].传感器与微系统,2011(6):82-86.
- [2]杨波,邹富强.异向性磁阻传感器检测车流量的新方法[J].浙江大学学报(工学版),2011(12):2109-2114.

Design of Monitoring System for Expressway Traffic Density Based on AMR

ZHU Yun-feng

(Dept.of Management & Information, Nantong Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226010,China)

Abstract: This article attempts to design a monitoring system for expressway traffic density based on AMR, which applies AMR sensors to collecting the vehicle information from the measuring points, applies CC2530 chip to processing the data, applies ZigBee wireless sensor networks to delivering the data as well as computing the traffic density based on the traffic deviation between adjacent measuring points.

Key words: AMR; Traffic density; ZigBee