

基于地磁传感器的车辆检测算法研究

马芳兰, 张红霞, 徐武德, 杨国辉, 马宏伟, 杨旭辉, 郑 礴

(甘肃省科学院传感技术研究所 甘肃省传感器与传感技术重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 针对现有地磁传感器车辆检测算法存在基线漂移、固定阈值导致车辆检测准确率低, 以及干扰引起的状态机误判等问题, 提出了基于地磁传感器的自适应阈值有限状态机车辆检测算法。在研究了三轴异相磁阻(AMR)地磁传感器车辆检测原理的基础上, 分析了 AMR 传感器采集的原始信号, 对原始信号进行了滑动窗口均值滤波处理; 为了消除基准值漂移造成的检测误差和固定阈值造成的累积误差, 提出了基准值和阈值实时更新的自适应车辆检测算法。采用加权函数进行基准值的实时更新, 阈值随着基准值的更新而更新。同时, 该算法以多状态机判断为主体, 在有限状态机中增加了车辆到来计数和波动计数两个状态, 消除了干扰引起的误判, 提高了车辆检测准确率。现场车辆测试结果表明, 该算法的车流量检测准确率在 97% 以上, 可用于智能交通系统中车流量的检测。

关键词: 智能交通; 物联网; 地磁传感器; 有限状态机; 车流量

中图分类号: TH-39; TP274+.2

文献标志码: A

DOI: 10.16086/j.cnki.issn1000-0380.201711021

Research on Vehicle Detection Algorithm Based on Geomagnetic Sensor

MA Fanglan, ZHANG Hongxia, XU Wude, YANG Guohui, MA Hongwei, YANG Xuhui, ZHENG Bo

(Gansu Province key Laboratory of Sensors and Sensing Technology,

Institute of Sensor Technology, Gansu Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: To deal with the disadvantages of existing vehicle detection algorithm based on geomagnetic sensor, e.g., baseline drift, low detection accuracy caused by fixed threshold, and misjudgment of the state machine because of the interference, a novel adaptive threshold and finite state machine vehicle detection algorithm based on geomagnetic sensor is proposed. The principle of anisotropic magneto resistive(AMR) geomagnetic sensor in vehicle detection is researched, the original signal collected by AMR sensor is analyzed, and processed by sliding window mean value filtering to eliminate the detection error caused by drift of baseline and accumulate error caused by the fixed threshold, and the adaptive vehicle detection algorithm of baseline and threshold updated in real time is proposed. In the algorithm, weighted function is designed to realize the baseline real-time update, and the threshold update following with the baseline. In addition, with multi-state machine as the main body, in finite state machine, two of the states are added, i.e., the vehicle arrival count state, and the fluctuation count state, thus the misjudgment caused by interference is eliminated, and the detection accuracy is enhanced. The field test result shows that the proposed algorithm can be applied to detect the vehicle flow in intelligent traffic system and the detection accuracy can reach up to 97%.

Keywords: Intelligent traffic; IoT; Geomagnetic sensor; Finite state machine; Vehicle flow

0 引言

新一代智能交通系统是战略性新兴产业中物联网和智能汽车两大领域的重要交集。车联网通过融合网络技术、传感技术、控制技术、计算技术、智能技术等, 对道路和交通进行全面感知, 实现人、车、物、路的畅通、安全、高效运转, 将有效提高市民出行效率, 降低道路拥堵状况, 减少交通事故, 提高出行安全^[1]。车辆检

测是交通参数获取的最前端, 为智能交通系统的科学调度和管理提供实时可靠的参数依据, 是系统的重要组成部分^[2]。

当前, 基于磁阻传感器的车辆检测技术以其具有低成本、低功耗、易组网、微体积等特性^[3]而备受青睐, 是现阶段车辆检测的研究重点。本文针对现有地磁传感器车辆检测算法存在的检测准确率低、状态机误判等问题^[4], 提出了基于地磁传感器自适应阈值的车辆

修改稿收到日期: 2017-06-07

基金项目: 甘肃省重点实验室专项基金资助项目(145RTSA009)、甘肃省科学院应用研究与开发基金资助项目(2015JK-08)、甘肃省科学院青年科技创新基金资助项目(2016QN-05)

作者简介: 马芳兰(1988—), 女, 硕士, 实习研究员, 主要从事传感器应用技术的研究。E-mail: mfanglancos@163.com。

郑礴(通信作者), 男, 学士, 高级工程师, 主要从事电子技术的研究。E-mail: zhengboem@sina.com。

检测算法。

1 地磁车辆检测原理

地球是一个天然磁体,其表面磁场强度大约为500~600 mGs,在一定区域内可以看作是一个稳定的磁场。然而,当任何具备导磁能力的铁磁性物质扰动时,该区域的磁场强度将会发生变化。磁阻传感器能够通过电压值的大小反映磁场强度的变化^[5-6]。所以,车辆作为一种含有大量铁磁性物质的物体,可以通过在车道内放置磁阻传感器,分析传感器输出信号,获取交通参数。

车辆作为大型铁磁物质,可以看作是一个双极性磁铁组成的模型^[7]。采用低成本、低功耗的三轴异相磁阻(anisotropic magneto resistive, AMR)传感器,作为车辆检测传感器。AMR 传感器安装示意图如图 1 所示。

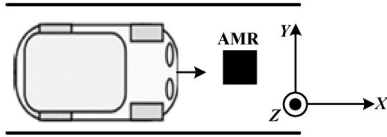


图 1 AMR 传感器安装示意图

Fig.1 Schematic diagram of the installation of AMR sensor

由图 1 可知,X 轴平行于车辆行驶方向,Y 轴垂直于车辆行驶方向,Z 轴垂直于地面。车辆周围的混合磁场可以建立一个如图 2 所示的磁偶极子模型。假设磁场传感器位于 $m_0(x_0, y_0, z_0)$ 处,磁偶极子位于距离磁传感器 r 位置的 $m(x, y, z)$ 处。

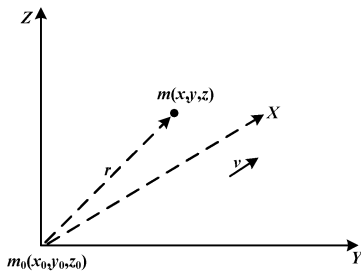


图 2 车辆磁偶极子模型

Fig.2 Magnetic dipole model of vehicle

则根据麦克斯韦方程^[8],可推导得磁偶极子在磁传感器处的磁场强度为^[9]:

$$B_x = \frac{\mu_0 [m_x(2x^2 - y^2 - z^2) + 3m_yxy + 3m_zxz]}{4\pi r^5} \quad (1)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 [m_y(2y^2 - x^2 - z^2) + 3m_xxy + 3m_zyz]}{4\pi r^5} \quad (2)$$

$$B_z = \frac{\mu_0 [m_z(2z^2 - x^2 - y^2) + 3m_xxz + 3m_yyz]}{4\pi r^5} \quad (3)$$

式中: μ_0 为磁导率; x, y, z 分别为当车辆经过 AMR 传感

器时对应三轴的读数; m_x, m_y, m_z 分别为 X、Y、Z 三轴的磁矩; r 为磁传感器与磁偶极子之间的距离。

由式(1)~式(3)可知,磁偶极子在磁传感器处的磁场强度会随着 r, x, y, z 等的不同而有规律地变化,即车辆对地磁场的干扰会随着车辆位置、车身铁磁物质分布等的不同而产生差异。根据此原理,可通过检测车辆行驶时的磁感应强度来获取车流量信息。

2 基于地磁传感器的车辆检测算法

由于地磁传感器采集的原始信号受相邻车道、周围环境等因素影响,存在基准值和阈值漂移、检测信号不连续、噪声信号严重等问题^[10]。基于此,本文提出了基于地磁传感器的自适应阈值车辆检测算法。采用滑动窗口均值滤波法对原始信号进行滤波处理,并对基准值和阈值进行实时更新,结合有限状态机算法,实现车辆的有效检测。车辆检测算法流程图如图3所示。

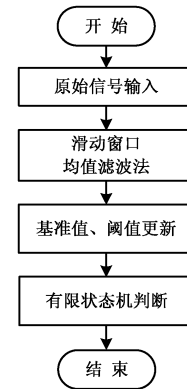


图 3 车辆检测算法流程图

Fig.3 Flowchart of vehicle detection algorithm

2.1 数据预处理

由于受周围环境等噪声信号的影响,地磁传感器采集的原始信号存在大量毛刺。为了提高车辆检测系统的准确性和可靠性,本文采用滑动窗口均值滤波方法。该方法既可以滤出高频噪声信号干扰,又能保证原始信号的完整性和真实性。滑动窗口均值滤波原理如下:

$$A_{(k)} = \begin{cases} \frac{M_{(k)} + M_{(k-1)} + \dots + M_{(1)}}{k} & k < N \\ \frac{M_{(k)} + M_{(k-1)} + \dots + M_{(k-N+1)}}{k} & k \geq N \end{cases} \quad (4)$$

式中: $M_{(k)}$ 为传感器输出原始信号; $A_{(k)}$ 为滤波后的信号; N 为滑动滤波窗口的长度。

2.2 基准值和阈值更新

对于气候和道路环境等引起的磁场变化,无法通过

滤波的方式消除,而且会造成基准值的漂移。为了消除基准值漂移造成的检测误差,本文采用权值更新方法,通过基准值加权函数完成当前基准值的更新。基准值更新函数如式(5)所示:

$$B_k = \begin{cases} B_{k-1}(1-\alpha)+A_{(k)}\alpha & \text{无车} \\ B_{k-1} & \text{有车} \end{cases} \quad (5)$$

式中: α 为加权系数,其取值的大小与基准值更新速率有关,本文中 $\alpha = 0.05$; B_{k-1} 为更新前的基准值; B_k 为更新后的基准值; $A_{(k)}$ 为经过滑动滤波后的采样值。

由式(5)可知,只有在无车辆通过时,基准值才进行更新;当有车辆通过传感器时,基准值保持前一时刻值不变。

在车辆检测算法中,阈值的大小与检测系统的灵敏度以及检测精度紧密相关。阈值过大,会造成车辆的漏检;阈值过小,又会带来车辆重检问题。因此,在基准值更新的过程中,阈值也需要实时更新,以免固定阈值造成误差的累积,导致检测系统精度的降低。阈值更新原理如下:

$$T_k = (1+\beta)B_k \quad (6)$$

式中: β 为阈值更新因子,取值为0.05; B_k 为更新后的基准值; T_k 为更新后的阈值。根据阈值更新公式,可以判断车辆进出检测区域的情况。

2.3 有限状态机检测

有限状态机检测就是对经过滤波后的采样信号进行二值化处理,转换成0、1离散值进行车辆状态判断。理想情况下,当结果为0时,判为无车;为1时,判为有车。但是,实际交通环境比较复杂,往往存在周围铁磁物质等干扰,会出现短时间0和1之间的跳动,造成对车辆状态的误判。因此,本文在状态机中增加了车辆到来计数状态和波动计数状态,有效抑制了短时跳动引起的误判,提高了车辆检测准确率。

在利用状态机检测之前,需要对滤波后的采样信号 $A_{(k)}$ 进行二值化处理。

$$F_k = \begin{cases} 1 & A_{(k)} \geq T_k \\ 0 & A_{(k)} < T_k \end{cases} \quad (7)$$

本文提出的有限状态机检测包括:初始化状态(S_0)、无车状态(S_1)、车辆到来计数状态(S_2)、波动计数状态(S_3)、有车状态(S_4)、车辆离开状态(S_5)。有限状态机车辆检测过程如下。

①初始化状态(S_0)。

S_0 为无车状态,初始化所有参数,并根据采样值 $A_{(k)}$ 确定基准值。如果 $F_k = 1$,则进入 S_1 。

②无车状态(S_1)。

基准值根据式(5)进行实时更新,假设磁场中由于

车辆的到来所产生的波动为 Flu_Arr , 当 $Flu_Arr = 1$ 时,由 S_1 跳转至 S_2 。

③车辆到来计数状态(S_2)。

假设利用 Cnt_Arr 记录连续波动 Flu_Arr 产生的次数。如果短时间之内没有波动产生,即 $Flu_Arr = 0$,则由 S_2 立即跳入 S_3 。如果 Cnt_Arr 计数达到设定的有车判定阈值 C_y ,则转入 S_4 ;否则,保持在 S_2 。

④波动计数状态(S_3)。

进入 S_3 状态,首先将 Cnt_Arr 置0,如果波动再次产生,即 $Flu_Arr = 1$,则由 S_3 返回 S_2 ;假设记录无连续波动的计数器为 Cnt_noArr ,则当 Cnt_noArr 的值达到设定的无车判定阈值 C_n 时,转换到 S_1 ;否则,算法停留在 S_3 。

⑤有车状态(S_4)。

假设由于车辆的离开产生的波动为 Flu_Dep , 则当 $Flu_Dep = 1$ 时,由 S_4 跳入 S_5 ;当 $Flu_Dep = 0$ 时,维持 S_4 不变。

⑥车辆离开状态(S_5)。

设 Cnt_Dep 为车辆离开计数器,如果 Cnt_Dep 达到设定的车辆离开阈值 N_Dep ,则表明有车辆通过,计入车流量。同时,算法由 S_5 跳转到 S_1 ,进行下一次的检测;如果 Flu_Dep 的值由1变到0,则算法由 S_5 跳转到 S_4 ,同时说明刚才 $Flu_Dep = 1$ 是由于干扰引起的波动,而不是车辆离开产生的波动;否则,保持在 S_5 继续等待波动的发生。

有限状态机判断流程图如图4所示。

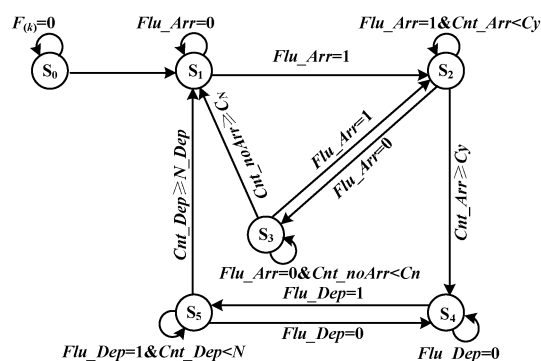


图4 有限状态机判断流程图

Fig.4 Flowchart of finite state machine judgment

3 算法验证

试验中,传感器按图1所示方式安装在测试路段。测试时间是2016年10月13日,天气晴,温度7~22℃,微风。测试时间段为08:00~18:10,每隔2h测试一次,每次测试持续时间10min,共采集6组数据。车辆检测

算法测试结果如表 1 所示。

表 1 中:实际车流量是通过人工计数方式得到的;系统检测车流量是利用本文所提出的车辆算法检测到的;检测准确率= $\frac{\text{系统检测车流量}}{\text{实际车流量}}$ 。

由表 1 可知,本文所提出的车辆检测算法检测准确可达 97%以上,具有较高的检测精度,可以应用于智能交通系统中车流量的统计。

表 1 车辆检测算法测试结果

Tab.1 Test results of vehicle detection algorithm

车辆检测时间 (2016-10-13)	实际车辆/辆	系统检测车辆/辆	检测准确率/%
08:00~08:10	123	120	97.56
10:00~10:10	86	85	98.83
12:00~12:10	107	105	98.13
14:00~14:10	93	92	98.92
16:00~16:10	68	68	100.00
18:00~18:10	116	113	97.41

4 结束语

针对现有的磁传感器车辆检测算法存在基线漂移、固定阈值导致车辆检测准确率低、干扰引起的状态机误判等问题,提出了基于地磁传感器自适应阈值的车辆检测算法。该算法实现了基准值和阈值的实时更新,有限状态机中增加的车辆到来计数和波动计数两个状

态有效地消除了干扰引起的状态误判,实现了车辆到来与离开的准确判断。测试结果证明了本文所提出的算法具有较高的检测准确率,能满足智能交通系统对车流量的检测需求。

参考文献:

[1] 肖平.车联网:未来城市交通的智能中枢[EB/OL].[2015-09-24]. <http://news.hexun.com/2015-09-24/179454404>.

[2] 高敬红,杨宜民.道路交通车辆检测技术及发展综述[J].公路交通技术,2012(1):116-119.

[3] 贺秀玲,刘春侠,赵明富,等.基于磁阻传感器的车辆检测算法[J].激光杂志,2015,36(9):144-147.

[4] 李阳.基于 AMR 的交通信息检测算法研究[D].西安:长安大学,2015.

[5] SIFUENTES E, CASAS O, PALLAS R. Wireless magnetic sensor node for vehicle detection with optical wake-up [J]. IEEE Sensors Journal,2011,11(8):1669-1676.

[6] 杨志恺,杨成忠,张君,等.基于地磁技术的车辆检测传感器[J].杭州电子科技大学学报,2012,32(5):261-264.

[7] KWAN B W, TUNG L J. Magnetoresistors for vehicle detection and identification[C]//Florida: Department of Electrical Engineering. FAMU-FSU College of Engineering, 1997:3839-3840.

[8] RESNICK R, HALLIDY D, WALKER J. Fundamentals of Physics [M]. New York: Wiley, 1988.

[9] ZHU H M, YU F Q. A cross-correlation technique for vehicle detections in wireless magnetic sensor network [J]. IEEE Sensors Journal. 2016,16(11):4484-4494.

[10] 文志东.基于磁阻传感器的无线车辆检测系统研究与设计[D].重庆:重庆理工大学,2015.