

基于地磁传感器的车辆检测算法

何志强¹ 罗飞¹ 于峰崎² 张足生³
(华南理工大学自动化科学与工程学院¹,广州 510641;中国科学院深圳先进技术研究院集成电子中心²,
深圳 518055;东莞理工学院³,东莞 523808)

摘要 地磁传感器是一种利用地磁变化来检测车辆的新型设备。通过分析大量地磁数据,提出一种基于波形峰值特征的
的车辆检测算法。该算法可以自动跟踪基线值并提取车辆信号特征。实际道路检测试验数据表明该算法简单有效,准确率
可达98.5%以上。该系统可以应用于道路车流量检测,平均车速统计等,将在智能交通领域发挥重要作用。
关键词 无线传感器网络 地磁传感器 智能交通 车辆检测
中图法分类号 TP274.5; **文献标志码** A

智能交通是目前研究的重点领域,而车辆检测是实现交通智能化的基础。车辆检测方法很多,用于车辆检测的传感器主要分为侵入式和非侵入式两类^[1]。侵入式主要有感应线圈、压电电缆、动态称重等;非侵入式则利用微波、超声波、视频图像等方式探测。侵入式传感器直接与路面接触,或需要嵌入到道路里面。比如传统感应线圈检测方案,有95%以上的准确率,但其安装维修不便,高成本限制了它的应用范围。非侵入式方案一般将传感器布置在道路两侧或是上空,比如基于视频图像的车辆检测方法,也是当前热门研究方向。但非侵入式方案受天气影响较大,如雨雪天气对视频图像处理能力提出了较高的要求,而且目前视频图像无线实时传输技术尚不完善,也使得这类方案的应用场所受到限制^[2]。

基于地磁的车辆检测方案在近年得到重视。嵌有地磁传感器的无线传感器网络以低功耗、低成本、安装维修方便灵活等独特优点得到广泛关注。现重点介绍一种基于地磁车辆检测算法,并对其应用做出说明。

1 检测原理

1.1 地磁传感器

地球自带0.5~0.6 G的磁场强度,地表各处地磁场方向和强度都因地而异^[3]。磁力线分布特点是赤道附近磁场方向是水平的,两极附近与地表垂直,地球表面的磁场受到各种因素影响而随时间发

生变化,铁磁性物体会对磁场分布产生扰动,具体扰动与铁磁物体的结构和材质有关。

本文中采用的各向异性磁阻传感器(anisotropic magnetic resistive, AMR)利用了镍铁导磁合金的磁阻效应,其阻值与偏置电流和磁场矢量之间的夹角存在函数关系^[4]。外部磁场变化,将引起阻值变化,从而改变输出电压。地磁传感器主要通过检测磁场的变化来判断是否有车经过。

1.2 车辆检测原理

利用AMR磁阻效应生产的AMR磁阻传感器将三维方向(x,y,z)的单个传感器件集成在同一个芯片上,而且将传感器与调节、补偿电路集成一体化,可很好地探测到地磁范围低于1高斯的磁场。利用三条轴可分别探测到磁场矢量在平行和垂直于车辆行驶方向以及垂直于路面方向的分量,如图1所示。



图1 节点布置示意图
Fig.1 Deployment of sensor node

系统采用的TI公司生产的CC2530芯片,Honeywell公司生产的AMR传感器,当车辆从传感器节点上方通过时,AMR传感器可以探测到磁场变化^[5]。利用地磁传感器的车辆检测系统主要流程是:利用终端传感器节点采集道路磁场信息并传输给路由节点,路由节点之间自组织成无线mesh网络,将数据传送给协调器节点,由上位机滤波去噪,再通过相关算法提取特征信息后做出判断^[6]。车辆检测系统流程图如图2所示。

2013年12月23日收到 国家自然科学基金(61271005)
和深圳市科技基金(CXB201104220033A)资助
第一作者简介:何志强,硕士研究生。研究方向:控制工程。E-mail:
hzhq8322@163.com。



图2 车辆检测系统流程

Fig. 2 The progress of vehicle detection

目前基于 AMR 传感器的车辆检测系统中面临的主要问题是传感器测量值会受温度影响而产生漂移、阈值确定以及信号特征提取方法方面。现在比较成熟的算法有固定阈值算法、自适应阈值算法、状态机算法等^[7]。在前述算法的基础上提出一种提取曲线峰谷值特征的算法。将分别从基线跟踪与峰谷特征提取方法两方面阐述。

2 车辆检测

采集的信号需进行滤波、去噪处理,由于地磁信号受外界的干扰较少,实践证明,将采样信号进行滑动滤波处理后,可得到较为理想的曲线波形。车辆检测算法的关键是从采集的连续信号序列中提取出车辆的信息。因此,车辆检测前提是有效识别无车时背景环境的磁场信号,即基线值。由于基线存在漂移问题,算法设计的首要目标就是基线跟踪。确定基线值后,通过将采样值与基线值信号进行对比,当其差值超过规定阈值时,通过提取信号峰谷值特征相关处理后,做出最终判断。系统的阈值为固定值。

2.1 信号滤波

信号滤波分为两部分处理:在无车情况下,信号进行滑动滤波处理,而在出现疑似有车情况下,即信号出现大幅度波动时,由峰谷值算法来提取信号特征^[8]。这种方案能尽可能保留波形特征,且能避免滑动滤波造成的延迟。

滑动滤波的具体步骤是对当前信号及其前 $N - 1$ 次信号做均值处理,这种方法可有效消除高频干扰。对地磁信号 $S(k)$ 做 N 次滑动滤波处理后均值为 $A(k)$, 如式(1)所示。

$$A_i(k) = \begin{cases} \frac{S_i(1) + S_i(2) + \cdots + S_i(k)}{k}, & k < N \\ \frac{S_i(k - N + 1) + S_i(k - N + 2) + \cdots + S_i(k)}{N}, & k \geq N \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, $i \in (x, y, z)$, i 代表 x, y, z 坐标,系统中 $N = 20$ 。

2.2 基线跟踪

基线跟踪的主要设计思路是:在无车的时候进行基线值的更新,而在出现较大扰动时,基线值则与上一状态保持一致。基线跟踪是在滑动滤波信号的

基础上完成的。其流程如图 3 所示。

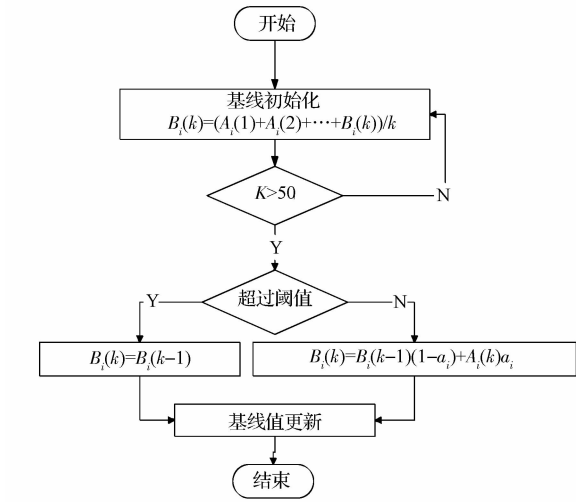


图3 基线跟踪流程图

Fig. 3 Adaptive baseline

在系统启动阶段,基线初始化为前 50 次的平均值。完成基线值初始工作后,将进入基线追踪,即基线自适应更新状态,这一部分通过加权函数来实现,如式(2)所示^[9]。

$$B_i(k) = B_i(k - 1)(1 - \alpha_i) + A_i(k)\alpha_i;$$

$i \in \{x, y, z\} \quad (2)$

式(2)中, $B_i(k)$ 是基线值, α_i 是加权系数, $A_i(k)$ 是经过滤波的磁信号。加权系数越大,基线调整幅度越大,跟踪速度越快,但容易受扰动影响,取值越小,受扰动影响小,反应速度慢^[10]。系统中加权系数 α_i 取值 0.05。实验证明,该系数能较好跟踪基线变化。

在采样值与基线值的差值超过阈值时,即疑似有车靠近,基线值保持与上一状态不变,即 $B_i(k) = B_i(k - 1)$ 。

2.3 车辆检测算法

当出现疑似有车情况,也即连续多次出现采样值与基线的差值大于阈值的情况时,系统将记录该次变化的开始时间 T_s , 以及此后曲线中第 j 次峰值 M_{pj} 、谷值 M_{vj} 及峰谷值对应的时间 T_{pj}, T_{vj} , 其中 $j = \{1, 2, 3, \cdots\}$ 。当采样值与基线值的差值连续多次小于阈值时,可认为此次波形变化事件结束,记录波形变化结束时间 T_e 。记录的峰谷值依照时间顺序存入数组 PV, 类似地,各峰谷值对应时间存入数组 TI。其示意图如图 4 所示。

等到一次波形变化事件结束,系统对此次事件采集的特征信号进行处理。具体处理步骤如图 5 所示。

其中, pv_num 为峰谷值数量,

$$M_p = \max\{M_{p1}, M_{p2}, \cdots\}; M_v = \min\{M_{v1}, M_{v2}, \cdots\}$$

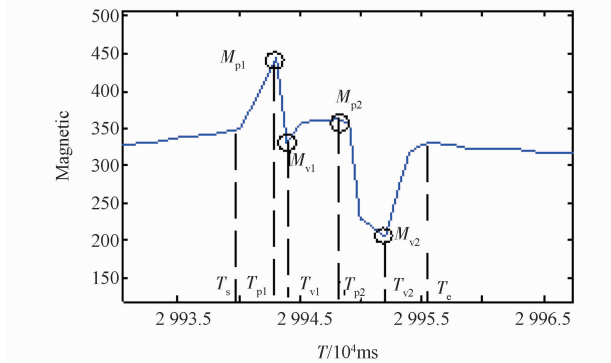


图 4 曲线特征点
Fig. 4 Position of extremums

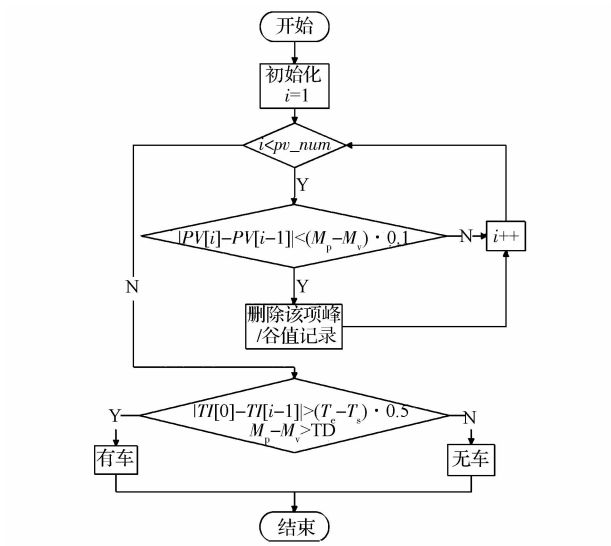


图 5 决策流程图
Fig. 5 The logic of decision

...}, TD 为阈值。在算法中,相邻峰谷间差幅小于最大波峰与最小波谷值差值的十分之一时,该项峰/谷项会被删除记录。当最大峰值与最小谷值之间的差大于阈值 TD 时,同时当最后一个与第一个峰/谷发生时间差 $TI(i-1) - TI(0)$ 与整个事件的经历时间 $T_c - T_s$ 的比值大于 0.5,则认为是有车,反之,无车。

3 算法验证

本节验证算法的效果,并介绍应用系统运行效果。图 6 显示的是信号的滑动滤波与基线跟踪。图 7 中第一幅图显示的是经过特征提取的波形,第二幅则是波形的斜率图,上升为 1,下降则为 -1。

由图 6 可知,滤波处理后的曲线有很好的平滑效果,基线也能快且准确地跟踪背景磁场。图 7 中,在出现大幅扰动时,基线能保持上一状态不变,符合设计要求。运用峰谷法,能有效提取曲线特征,在保持曲线轨迹趋向一致的情况下,去除小幅波动干扰。

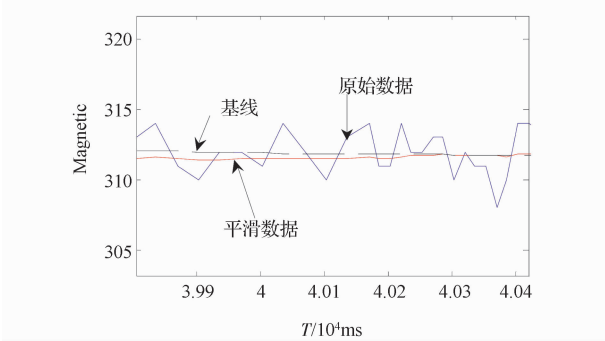


图 6 滑动滤波以及基线跟踪
Fig. 6 Running average and baseline tracing

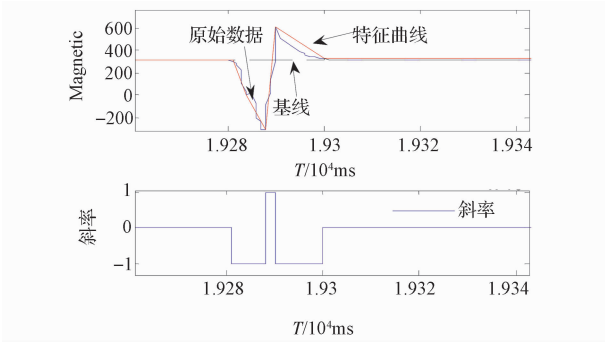


图 7 曲线特征提取图
Fig. 7 Characteristic extraction of the curve

将设计算法运用于车辆检测系统,选取深圳市南山区留仙大道采集数据,检验系统准确率。系统利用 AMR 传感器实时采取地磁数据,并经无线网络将采集数据发送到协调器节点端进行实时显示处理,传感器节点采样频率为 50 Hz,同时对三条轴采集的数据进行分析,当至少有两条轴检测到车,则判断为有车。实验中主要对小轿车、SUV、公交车和大货车进行测试,共采集 277 辆车的的历史数据,其中小轿车 121 辆,SUV 68 辆,公交车 50 辆,大货车 38 辆。实验结果如表 1 所示。其中有 2 辆小轿车和 1 辆 SUV 由于未从传感器节点正上方通过,未被检测到,有 1 辆公交车在节点上方停留时间较长,被判断为两辆车。图 8 为服务器显示界面,当有车在节点上方,节点呈红色,无车显示为绿色。

表 1 车辆检测结果			
Table 1 Vehicle detection result			
类型	检测值/辆	实际值/辆	准确率/%
小轿车	119	121	98.35
SUV	67	68	98.53
公交车	51	50	98
大货车	38	38	100
合计	273	277	98.55

上述数据显示本文介绍的算法准确率达 98.55%,表明该算法能有效提取车辆特征并识别车



图 8 服务器显示界面
Fig.8 Server's interface

辆信号,达到车辆检测计数的要求,这一方法可以应用于智能交通系统中实现车流量统计的功能。而且算法中提取出的车辆特征,即信号的斜率信息,可以作为车型识别的基础,这是笔者下一步的工作。

4 结束语

道路车辆检测的准确率是实现智能交通系统车流量、车速统计的基础。本文提出的基于地磁传感器的车辆检测算法通过跟踪地磁基线值,提取曲线峰值特征来检测车辆,算法简单实用,应用性强。该算法检测准确率达 98.5% 以上。实际道路试验结果证明本文提出的算法有效可行,可用于智能交通系统中车流量、车速统计的部分。下一步,将利用提取的信号特征进行车型识别方面的研究。

参 考 文 献

1 Sifuentes E, Casas O, Pallas-Areny R. Wireless magnetic sensor node for vehicle detection with optical wake-up. *Sensors Journal*, IEEE, 2011;11(8):1669—1676

2 Cheung S Y, Varaiya P. Traffic Surveillance by wireless sensor networks;final report. California: Institute of Transportation Studies, University of California, 2007

3 周 丰,王明哲,倪 枫. 基于 AMR 传感器的行驶车辆检测分类算法. *计算机应用研究*,2010;27(7):2533—2535,2555
Zhou F, Wang M Z, Ni F. Passing vehicle classification algorithm based on AMR sensors. *Application Research of Computers*, 2010; 27(7): 2533—2535,2555

4 Koszteczy B, Simon G. Magnetic-based vehicle detection with sensor networks. *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*. Minneapolis, MN, United States,2013:265—270

5 Gu Jin, Zhang Zusheng, Yu Fengqi. Design and implementation of a street parking system using wireless sensor networks. *The 10th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Beijing, 2012;1212—1217

6 何 斌,蒋铃鸽. 一种基于传感网技术的智能停车场车位检测器方案设计与实现. *科学技术与工程*,2013;13(23): 6774—6780
He B, Jiang L G. A scheme design and implementation of parking detector in intelligent. *Science Technology and Engineering*, 2013;13(23): 6774—6780

7 Zhang Zusheng, Yuan Huaqiang, Chen Liang. A Parking vehicle detection algorithm using magnetic sensor. *Applied Mechanics and Materials. Second International Conference on Civil, Architectural and Hydraulic Engineering. Zhuhai*, 2013: 1353—1356

8 谢白杨,李广亮,杨志恺. 基于地磁车辆检测技术研究. *杭州电子科技大学学报*,2013;33(04):62—65
Xie B Y, Li G L, Yang Z K. Vehicle detection technology based on magnetic. *Journal of Hangzhou Dianzi University*, 2013;33(04): 62—65

9 Kanathantip P, Kumwilaisak W, Chinrungrueng J. Robust vehicle detection algorithm with magnetic sensor. *The 7th Annual International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Chiang Mai, Thailand,2010: 1060—1064

10 Zhang Lei, Wang Rui, Cui Li. Real-time traffic monitoring with magnetic sensor networks. *Journal of Information Science and Engineering*, 2011;27(4): 1473—1486

Vehicle Detection Algorithm Based on Magnetoresistive Sensors

HE Zhi-qiang¹, LUO Fei¹, YU Feng-qi², ZHANG Zu-sheng³

(School of Automation Science & Engineering,South China University of Technology¹,Guangzhou 510641,P. R. China;
Shenzhen Institutes of Advanced Technology, ChineseAcademy of Science², Shenzhen 518055,P. R. China;
Dongguan University of Technology³, Dongguan 523808, P. R. China)

[Abstract] Magnetoresistive sensor is a new type of vehicle detection device with measuring the changes of magnetic field. A vehicle detection algorithm based on the peak and valley feature of the magnetic field wave is presented, which can trace the baseline automatically and extract the characteristic of vehicle signature. The experimental results show that the vehicle detection algorithm is simple and applicable with the accuracy as high as 98.5%. It can be employed for the detection of road traffic flow and counting of average speed of vehicle, and will play an important role in the intelligent transportation system.

[Key words] wireless sensor networks magnetoresistive sensors intelligent transportation vehicle detection