

引文格式:

陈嘉明, 张足生, 吴晓鸽. 基于磁阻传感器的智能车位锁停车检测算法 [J]. 集成技术, 2019, 8(6): 21-30.

Chen JM, Zhang ZS, Wu XL. A parking detection algorithm of intelligent parking lock based on magnetic sensor [J]. Journal of Integration Technology, 2019, 8(6): 21-30.

基于磁阻传感器的智能车位锁停车检测算法

陈嘉明^{1,2} 张足生² 吴晓鸽¹

¹(广东工业大学计算机学院 广州 510006)

²(东莞理工学院网络空间安全学院 东莞 523808)

摘 要 智能车位锁通过其内置的磁阻传感器可实现车位状态的实时监控, 并利用监控信息实现自动缴费、车位预约和车位共享等应用。但车位锁上锁和落锁过程会产生磁场干扰, 传统的停车检测算法没有考虑这类干扰, 造成误检率高。为解决这一问题, 该文提出了一种抗干扰的停车检测算法, 将车辆磁信号建模为方差序列, 根据干扰的特征提出干扰信号滤波方法, 结合状态机实现了更为稳定的停车状态检测。实地部署的 50 个智能车位锁实验结果表明, 该算法具有更高的可靠性, 并显著提高了车辆检测准确率。

关键词 停车检测; 智能车位锁; 磁阻传感器; 磁干扰

中图分类号 TP 393.0 TH 89 文献标志码 A doi: 10.12146/j.issn.2095-3135.20191016001

A Parking Detection Algorithm of Intelligent Parking Lock Based on Magnetic Sensor

CHEN Jiaming^{1,2} ZHANG Zusheng² WU Xiaoling¹

¹(School of Computer Science, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

²(School of Cyberspace Security, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China)

Abstract The intelligent parking lock (IPL) can monitor parking spaces with its built-in magnetic sensor, and the parking information can be used to realize automatic payment, parking reservation, parking sharing, and so on. However, in the operation of locking and unlocking, the IPL generates magnetic interference signals, which will result in false detections of traditional parking detection algorithms. To solve this problem, a robust parking detection algorithm was investigated. The vehicle magnetic signal is modeled as a variance sequence, and a filtering method of interference signal is applied to remove noisy signal. The parking detection algorithm is implemented based on the state machine. In the experiment, fifty IPLs were deployed in the parking spaces. The results show that the proposed algorithm is more robust and can improve the vehicle detection accuracy.

Keywords parking detection; intelligent parking lock; magnetic sensor; magnetic interference

收稿日期: 2019-10-16 修回日期: 2019-10-28

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(61872083); 广东省自然科学基金项目(2019A1515011123); 广东省普通高校特色创新项目(2018KTSCX221)

作者简介: 陈嘉明, 硕士研究生, 研究方向为物联网和智能交通; 张足生(通讯作者), 博士, 副研究员, 研究方向为物联网, E-mail: zszhang@dgut.edu.cn; 吴晓鸽, 副教授, 研究方向为无线传感器网络、触摸传感和物联网安全。

1 引 言

在众多的交通问题中，城市中心区交通拥堵及路边停车问题尤为突出，繁忙时段寻找停车位非常困难。停车难又进一步恶化了交通拥堵、空气污染、能源浪费等问题。利用资源共享的方法是缓解城市停车难的一种思路。居住区车辆朝出夕归的出行特征使得车位在白天工作时间出现明显闲置，停车位资源得不到有效利用，而采用共享停车的方式可以提高其泊位利用率。

基于智能车位锁^[1-2]、APP 和服务系统可以实现车位共享、预约、自动收费。其中，用户利用停车 APP，可以搜索目的地附近可预约的共享停车位。若预约成功，则智能车位锁在用户到达之前封闭车位，待用户到达预约泊位后，智能车位锁将自动检测连接用户手机蓝牙，连接成功即可自动落锁，同时也可以通过用户停车 APP 控制落锁。智能车位锁是实现车位共享的核心设备之一，它确保了车位共享的车位主、租户、运营商等各参与方的利益。其中，对车位主而言，通过智能车位锁确保了分享的车位被付费使用；对租户而言，通过车位锁可以确保该车位能为租户预留，而不会被其他用户抢占；对车位共享平台运营商而言，可以确保其收益提成，同时可以实现停车位资源合理的利用和分配。本文作者团队与深圳市凯达尔科技实业有限公司合作研发了智能车位锁和车位共享系统——“约泊停车”，目前已在全国多个城市进行了示范应用。

通过在每个共享车位上安装智能车位锁，利用其内置的磁阻传感器实时监控停车位的空闲或占用状态，该信息可实现以下功能：

(1) 当磁阻传感器检测到车辆停泊时，车位状态由空闲变为占用后，则通知服务系统开始停车计费；另外，在车位被占用的过程中禁止升起档杆，避免对停泊车辆和车位锁造成损坏。

(2) 当磁阻传感器检测到车辆驶离停车位时，则触发车位锁升起档杆，通知服务系统实现停车收费结算，此时服务系统将本次收费信息反馈给用户。

由此可见，利用磁信号对车位状态的精确检测是实现智能车位锁和车位共享系统的关键技术之一。目前已有许多基于磁阻传感器的停车检测算法^[3-4]，但智能车位锁停车检测存在新问题，即车位锁的上锁和落锁过程会产生磁干扰信号。现有的车辆检测算法没有考虑该类型干扰信号，从而容易产生误检。如何区分车辆和车位锁干扰，实时准确判定车位的状态就成了一个关键问题。本文针对车位锁干扰问题，考虑到信号的波动特征，提出了基于方差序列和状态机检测结合的停车检测算法，以区分车辆和车位锁干扰，实现车位状态准确判断。

2 相关工作

目前智能车位锁在停车领域已经得到了一定程度的推广和应用，关于智能车位锁的应用也有较多的研究成果。翟文正^[5]设计了一种基于 ZigBee 无线传感网络的停车诱导系统，利用地磁传感器实现对停车位状态的检测，能准确地控制车位锁的开闭，但他们没有给出抗干扰的车辆检测算法。张瑞增^[6]利用 GPRS 无线通信模块实现智能车位锁在共享停车位上的应用，基本满足了将停车位联网管理与控制功能结合的要求。Zhang 等^[7]设计了物联网技术和传统车位锁结合的无人值守自助停车系统。该系统结合光电传感器，使用第三方支付实现集中停车管理自动化，它不仅能用于私人停车区，还可用于路边停车位。

基于磁阻传感器的停车检测，国内外都已有较多的研究。Wei 等^[8]提出了一种基于迭代最优小波阈值的检测算法，把系统分为有车和无车状

态, 同时采用自适应阈值检测算法检测车辆, 阈值取决于无车状态时的平均信号强度并基于经验自动更新。何志强等^[9]使用一种最大波峰与最小波谷差值的车辆检测算法。Gu 等^[10]使用一种基于无线传感器网络的街道停车系统——基于状态机机制, 通过当前信号和平均信号的差值与阈值作比较来检测车辆。Wen 与 Xie^[11]把停车检测分为 4 个阶段, 并使用径向基函数神经网络判定车辆状态。其中, 输入层为归一化后的 x 、 y 和 z 信号以及三轴之间的角度关系, 输出层为 4 种车辆状态的向量。Zhang 等^[12]把停车检测抽象为二元模式识别问题, 根据线性判别函数, 利用波动顶点数、最大波动振幅和干扰漂移值三个特征向量来识别车辆。

有部分成果关注相邻干扰问题, Guan 等^[13]提出一种基于相对极值算法的车辆检测算法, 同时引入状态机检测法来排除邻近车道的干扰。Wei 与 Yang^[14]使用多传感器数据融合的方式, 通过动态阈值检测算法检测车辆, 参考左右邻近车道传感器采集的数据排除车辆干扰。张足生等^[15]利用相似度和数据融合的方法, 通过各段斜率、信号强度和作为特征, 对两段时间序列进行比较得出形态距离, 配合多传感器的数据排除邻近停车位强磁车辆的干扰, 识别出静态车辆。

上述分析表明, 现有的大部分停车检测算法都没有考虑干扰问题, 虽有部分研究成果关注临近停车干扰, 但针对车位锁磁干扰情况下的停车检测尚有待进一步研究。传统的停车检测算法有最大-最小值算法与自适应阈值算法。前者在面对地磁基线漂移量大的环境下, 阈值取值不易确定、灵活性差, 其中取值过低容易对车位锁误检, 过高则对车辆信号漏检, 无法应对复杂多变的环境。后者检测取决于磁场漂移量, 只能处理单个对象的磁场变化, 无法应对车位锁磁场变化和车辆地磁变化同时存在的情况。对于高漂移量的车辆信号和低漂移量的车位锁干扰, 算法容易

混淆车位锁干扰和车辆信号, 产生误检和漏检。

3 问题描述

3.1 磁场信号的构成

停车检测网络模型可抽象为 $WSN = \{R, S, B\}$ 。其中, R 为若干路由器; S 为智能车位锁; B 为基站。智能车位锁分别布置在各车位上, 其内置的磁阻传感器以采样频率 f 采集地磁信号。若车位状态发生变化, 则将信息发送到路由器, 随后路由器通过多跳把信息传输到基站, 最终由基站把信息发送到远程服务器。地磁传感器感知到的信号^[16]如公式(1)所示:

$$M_s(t) = V_s(t) + G_s(t) + N_s(t) \quad s \in \{x, y, z\} \quad (1)$$

其中, t 为时间序列; s 为三轴传感器的轴编号; $M_s(t)$ 由三种信号的叠加: $V_s(t)$ 为车辆磁场信号、 $G_s(t)$ 为地磁背景信号、 $N_s(t)$ 为干扰信号。 $G_s(t)$ 为地球磁场, 在几公里的范围内都是稳定的, 所以 $G_s(t)$ 通常是一个恒定值^[17]。本文的重点在于识别车辆磁场信号 $V_s(t)$, 判断并过滤车位锁干扰信号 $N_s(t)$ 。

本文采用的三轴各向异性磁阻 (Anisotropic Magneto Resistive, AMR) 传感器是一种基于磁阻效应的微型传感器, 可检测到 x 、 y 、 z 三个坐标轴地磁信号^[1]。如图 1 所示, x 轴是车辆运动的方向, y 轴垂直于车辆运动方向, z 轴垂直于路面向上。车辆中含有大量的金属物质会对地球的磁场产生磁场干扰, 而这种干扰能被磁阻传感器检测到。将车辆建模为磁性偶极子^[18], 其磁场强度可以表示为:

$$B_x = \frac{\mu_0 \left[m_x (2x^2 - y^2 - z^2) + 3m_y xy + 3m_z xz \right]}{4\pi r^5} \quad (2)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 \left[m_y (2y^2 - x^2 - z^2) + 3m_x xy + 3m_z xz \right]}{4\pi r^5} \quad (3)$$

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

其中, B_x 、 B_y 和 B_z 为三轴的磁信号; μ_0 为真空环境中的磁导率; m_x 、 m_y 和 m_z 为三轴的磁矩; x 、 y 和 z 分别为磁偶极子在空间的坐标; r 为磁偶极子与磁阻传感器的距离。

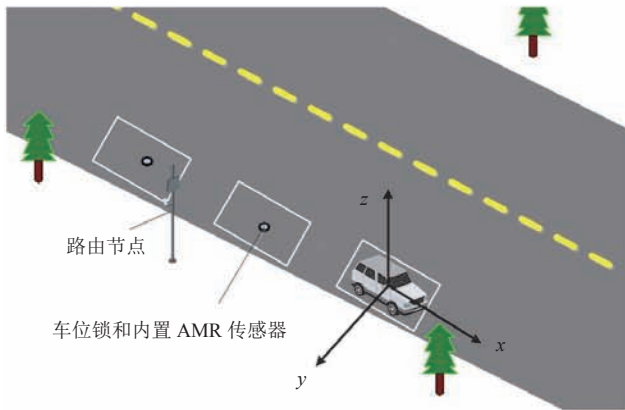


图1 车辆停泊示意图

Fig. 1 The diagram of vehicle parking

车位锁在运行时会产生干扰信号。如车位锁档杆升高或降下时会产生地磁干扰, 该类干扰主要是由于其内部电机和金属档杆的运动产生的, 如图2所示。

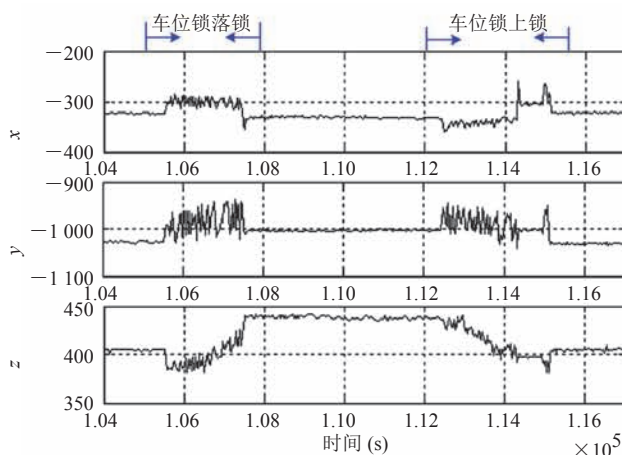


图2 干扰信号图

Fig. 2 The diagram of interference signal

3.2 问题定义

根据上述的描述, 停车检测算法需要准确判

定车位的状态, 并能够区分识别车辆停泊的完整过程, 同时具备抗干扰能力。车辆检测结果用二值化表示^[19], 该算法可定义为:

$$Car(t) = IS_Parking[M(t)] \quad (5)$$

$$\text{输入: } M_s(t) = V_s(t) + G_s(t) + N_s(t)$$

其中, $V_s(t)$ 为车辆停泊时产生的磁场扰动信号; $G_s(t)$ 为地球磁场信号, 此时信号连续稳定; $N_s(t)$ 为车位锁产生的干扰信号。

输出:

(1) $Car(t) = 1$ 。当车位空闲期间检测到信号波动时, 如果算法判定干扰来源于车辆驶入, 那么车位进入占用状态, 车位不可用, 此时 $Car(t) = 1$ 。

(2) $Car(t) = 0$ 。当车位占用期间出现大幅度信号波动, 如果算法判定干扰来源于车辆驶出, 车位则转为空闲状态, 车位可用, 此时 $Car(t) = 0$ 。

4 停车检测算法

本文提出的停车检测算法的工作流程如图3所示。首先, 通过地磁传感器对停车位的地磁信号进行采集, 选择 x 和 z 轴地磁信号作为实验数据合成, 并使用中值滤波对合成数据去除毛刺噪音; 然后, 对信号进行一阶差分处理并转化为方差序列, 再通过本文的算法处理信号方差; 最后, 输出处理结果, 通过状态机判定车位当前状态。

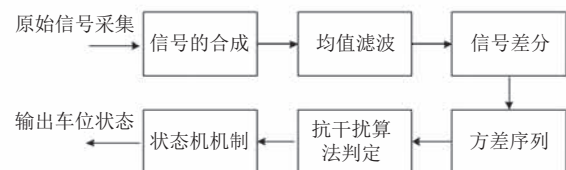


图3 信号处理流程图

Fig. 3 The diagram of signal processing

4.1 信号预处理

从实验数据发现, 当车辆停泊时, x 和 z 轴的信号变化明显, 而 y 轴变化较少, 故选择 x 和 z 轴的信号进行信号合成, 如公式(6)所示。例

如, 以图 4 所示的信号作为输入, 合成的信号如图 5 所示。

$$M(t) = \sqrt{M_x^2(t) + M_z^2(t)} \quad (6)$$

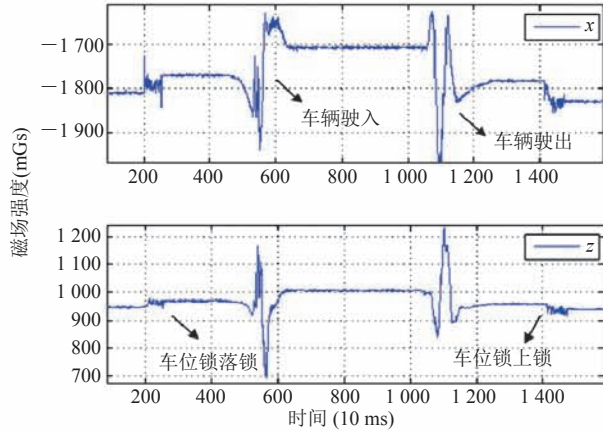


图 4 车辆停泊的地磁信号图

Fig. 4 The magnetic signal of vehicle parking

从图 5 可以看到, 磁阻传感器采集到的信号中存在干扰, 传感器的输出曲线不平滑, 存在大量毛刺, 波动中心呈缓慢变化趋势。为了抑制这种毛刺信号, 采用均值滤波对信号进行平滑^[20]。

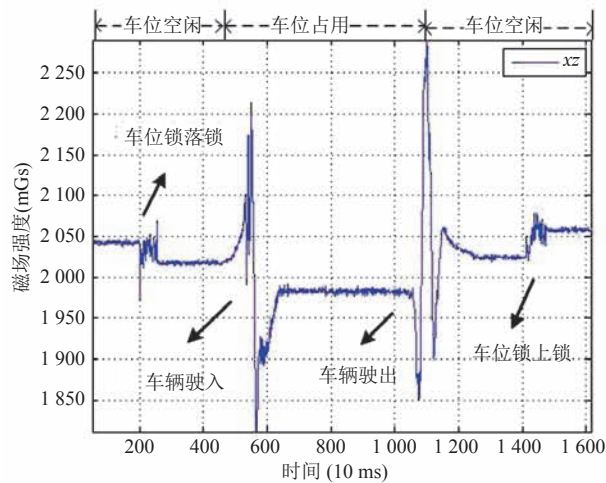


图 5 合成后的信号图

Fig. 5 The plot of synthesis signal

$$A(t) = \begin{cases} \frac{M(t) + \dots + M(t-l-1)}{l}, & t \geq l \\ \frac{M(t) + \dots + M(1)}{t}, & t < l \end{cases} \quad (7)$$

其中, $A(t)$ 为平滑后的信号; $M(t)$ 为 x 轴和 z 轴合成后的信号; l 为均值滤波的窗口长度, 平滑后效果如图 6 所示。

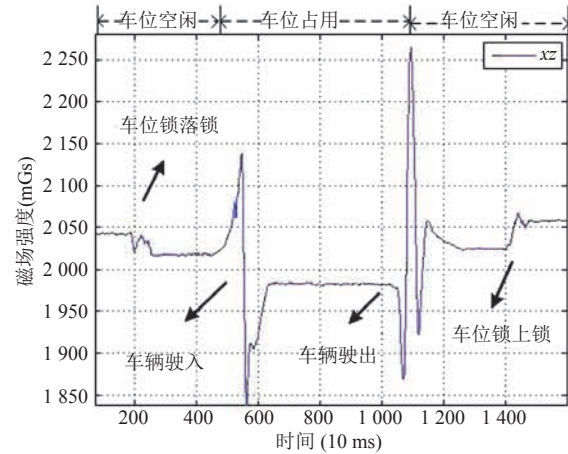


图 6 信号平滑效果

Fig. 6 Results of smoothing signal

4.2 干扰检测与过滤

对 $A(t)$ 进行一阶差分^[21]处理, 如公式(8)所示。

$$G(t) = A(t) - A(t-1), \quad t > 1 \quad (8)$$

其中, $A(t)$ 为当前时间的信号强度; $A(t-1)$ 为前一个采样点的信号强度。经过处理后的 $G(t)$ 如图 7 所示, 可以看到干扰信号的波动特征得到增强。

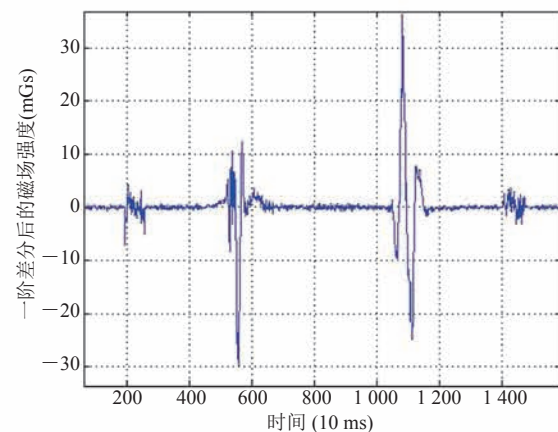


图 7 一阶差分后的信号图

Fig. 7 The diagram of first order difference

把经过差分处理的数据 $G(t)$ 按照窗口 w 划

分成多个固定长度的信号片段，这些片段称为数据帧。将数据帧转换为方差序列^[22-23]，方差序列的计算如公式(9~10)所示。

$$Avg = \frac{G(t) + G(t-1) + \dots + G(t-w)}{w} \quad (9)$$

$$var(t) = \frac{[G(1) - Avg]^2 + \dots + [G(t) - Avg]^2}{w} \quad (10)$$

如图8所示，当车位处于空闲状态或者车辆停泊时，方差接近于零；当车位锁启动、车辆进入和驶离停车位时，磁信号产生剧烈波动。波动的检测方法如公式(11~12)所示：

$$F(t) = \begin{cases} 1, & var(t) \geq H_{Tresh} \\ 0, & var(t) < H_{Tresh} \end{cases} \quad (11)$$

$$H_{Tresh} = \alpha \times \overline{var} \quad (12)$$

其中， $F(t)$ 为标识信号波动状态(1表示波动，0表示平稳)； H_{Tresh} 为阈值； α 为权值系数； \overline{var} 为节点初始化时的方差平均值。

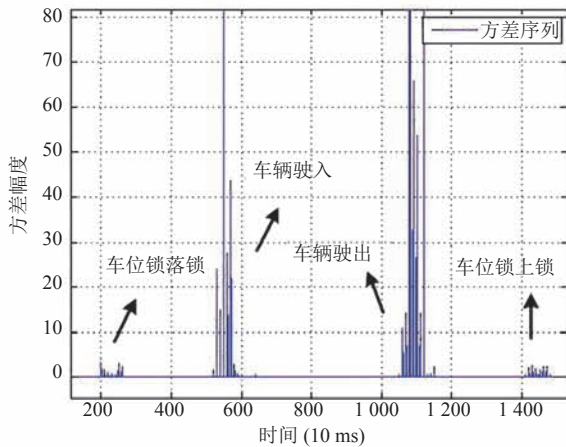


图8 信号的方差序列图

Fig. 8 The diagram of variance sequence

波动信号包括目标车辆信号和车位锁干扰信号。本文设计一个滤波模块过滤车位锁干扰信号，而保留目标车辆信号，滤波算法的代码如图9所示。其中，图9输出的是地磁扰动的判定结果，作为图10的输入。

```
# define W_Tresh 50 // 小于 H_Tresh 的采样点数阈值
# define E_Tresh 20 // 判定为车辆采样点数量阈值
# define H_Tresh 4 // 方差阈值
// 全局变量:
T_start=0; // 该变量记录波动开始点
T_end=0; // 该变量记录波动结束点
K=0;


---


算法 1: IF(t)=Filter{ F(t), var(t) }
Input: F(t)=1 为波动信号; F(t)=0 为平稳信号
Output: IF(t)=0 为车辆信号; IF(t)=1 为干扰信号
1: if { F(t)==1 && var(t)>H_Tresh }
2: {if (T_start==0) T_start=t; //波动的起始点
3: T_end=t; //波动的结束点
4: else {k++;}
5: if { k>=W_Tresh && (T_end-T_start)>E_Tresh }
6: IF(t)=0; //非干扰信号
7: else IF(t)=1; //干扰信号
8: return IF(t);
```

图9 滤波模块伪代码

Fig. 9 Filter module pseudo code

4.3 车位状态的检测

结合状态机检测方法^[24-25]实现车辆检测。把经过滤波模块处理的输出作为状态机的输入，状态机共有6种状态，如图10所示。

状态 {INIT, VACANCY, OCCUPIED, CAR LEAVING, WAITING CAR, PARKING ENTERING}

输入 $[F(t), IF(t)]: \{0, 1\}$

输出 $[Car(t)]: \{0, 1\}$

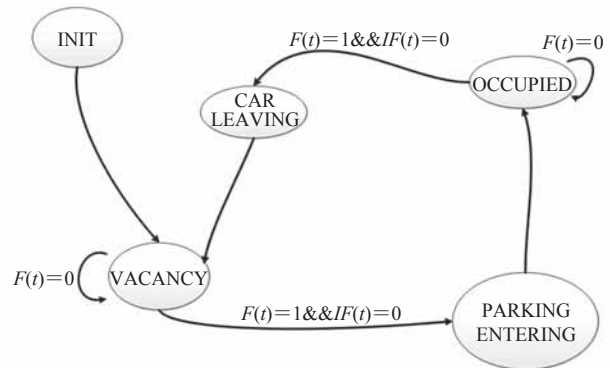


图10 状态机检测流程图

Fig. 10 The diagram of state machine detection

当 $car(t)=0$ 时, 即停车位处于空闲状态, 此时车位可使用。当 $car(t)=1$ 时, 车位被占用。以下是状态机逻辑流程。

S1: “INIT”

初始化状态, 即传感器节点的开启阶段, 此时将所有参数重置为初始值, 初始化完成后自动进入 S2。

S2: “VACANCY”

车位空闲状态, 当 $F(t)=0$ 时, 此时信号平稳, 为等待状态; 当 $F(t)=1$ 时, 检测到信号波动, 进入 S3。

S3: “PARKING ENTERING”

车辆驶入阶段, 此时信号大幅波动, 方差变大。若 $IF(t)=0$, 则判定车辆驶入, $car(t)$ 为 1, 进入 S4。

S4: “OCCUPIED”

车辆停泊在停车位上, 信号强度较大且波动平稳, 信号方差接近于 0。当 $F(t)=1$ 且 $IF(t)=0$ 时, 进入 S5。

S5: “CAR LEAVING”

车辆驶出阶段, 当车辆离开时, 信号会产生较大波动, 方差发生变化, 此时 $F(t)=1$ 且 $IF(t)=0$ 。车辆离开后, 进入 S2。

5 实验

5.1 实验场景

为了测试本文的车辆检测算法, 在停车场实地部署 50 个车位锁, 测试场景如图 11 所示。车位锁采用 STM8L151C8 MCU, 集成 HMC5883L 磁阻传感器, 无线通信采用 Lora SX1278 模块, 15ah 锂电池供电。实验参数取值如表 1 所示。其中, 有两个参数会影响到算法精度: 方差阈值权重系数 α 决定方差阈值 H_{Tresh} ; E_{Tresh} 决定车辆采样点数量阈值, 阈值过大容易漏检, 阈值过小则容易误检。为了确定实验参数, 本次实验采用 3



(a) 车位锁

(b) 停车测试

图 11 智能车位锁实验场景

Fig. 11 The experiment scene

表 1 实验参数

Table 1 Experimental parameters

| 参数 | 定义描述 | 值 |
|-------------|---------------------------|-------|
| W | 方差序列窗口 | 10 |
| W_{Tresh} | 方差小于 H_{Tresh} 的采样点个数阈值 | 50 |
| β | 无车状态时方差的平均值 | 0.01 |
| f | 传感器采样频率, 使用 HMC5883L 传感器 | 50 Hz |
| T | 车位锁档杆升降响应时间 | 5 s |
| H_{Tresh} | 方差阈值 | 4 |
| E_{Tresh} | 波动时间阈值 | 20 |

次停车试验, 车辆信号为 6 次, 车位锁干扰为 6 次, 使用本文的方差序列算法 (Variance Sequence Algorithm, VSA) 进行测试。经过验证, 系数和波动时间阈值的关系如表 2 所示。最终选择准确率最高、最稳定的 $H_{Tresh}=4$ 和 $E_{Tresh}=20$ 作为实验参数。

5.2 实验结果

本节验证算法的检测精度。图 12(a) 为车辆驶入和车驶出的信号, 在曲线中包含一些零散的突变干扰, 这些干扰信号大多来源于周边邻近车道的车辆。信号转换成方差序列后如图 12(b) 所示, 该类干扰信号相对幅度很少, 容易分辨。另一类干扰即车位锁干扰 (见图 13), 这种干扰波动时间长、漂移量小, 波形和车辆信号类似。

针对路面停泊车辆展开检测, 本次实验数据来源于广东省深圳市南山区高新南环路的停车位。这里对采集的信号进行分析, 实验包

表 2 各系数和检测精度关系

Table 2 Relationship between coefficients and detection accuracy threshold

| α | H_{Tresh} | E_{Tresh} | | | | | | | |
|----------|-------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 300 | 3.0 | 166.70% | 133.30% | 133.30% | 133.30% | 133.30% | 133.30% | 66.70% | 66.70% |
| 350 | 3.5 | 150.00% | 116.70% | 116.70% | 116.70% | 116.70% | 116.70% | 116.70% | 66.70% |
| 400 | 4.0 | 133.30% | 100% | 100% | 100% | 100% | 66.70% | 66.70% | 50% |
| 450 | 4.5 | 133.30% | 100% | 100% | 100% | 100% | 66.70% | 66.70% | 50% |
| 750 | 7.5 | 116.70% | 100% | 100% | 100% | 100% | 66.70% | 66.70% | 50% |
| 1050 | 10.5 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 66.70% | 66.70% | 50% |

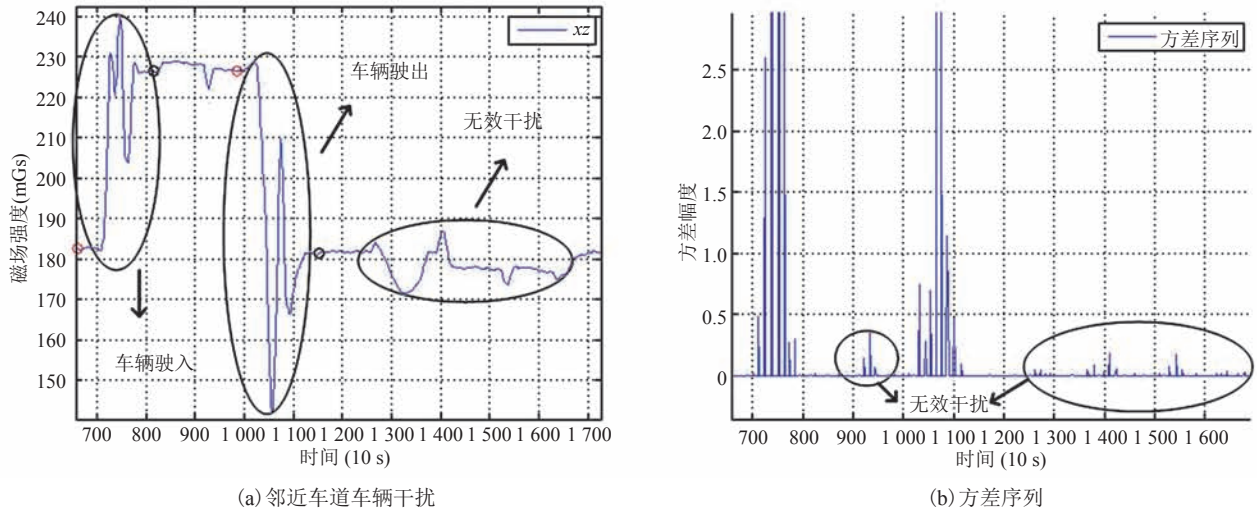


图 12 干扰信号以及方差图

Fig. 12 The diagram of interference signal and variance sequence

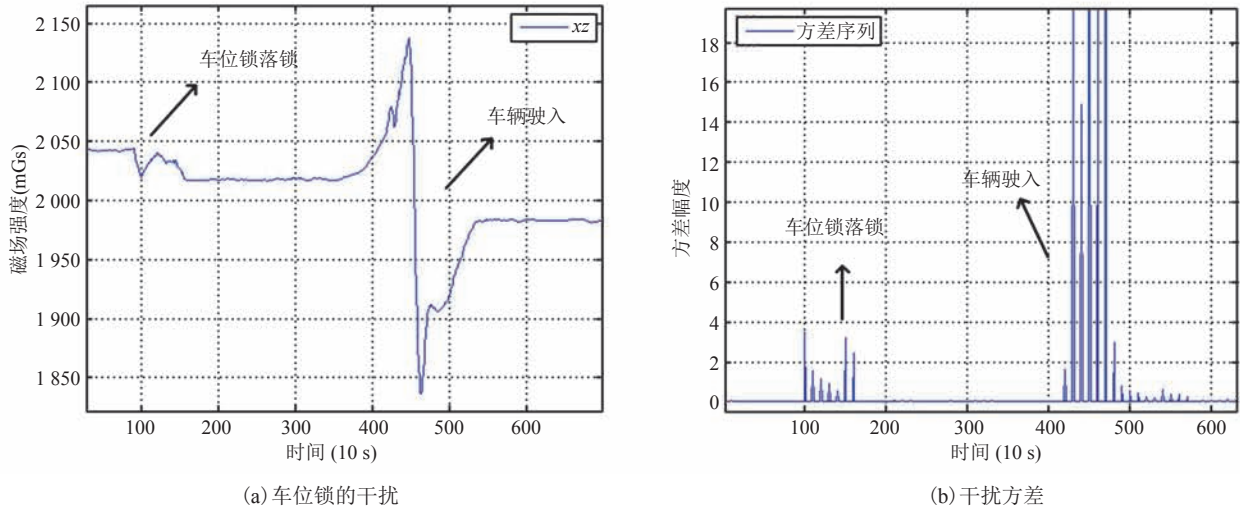


图 13 车位锁干扰和车辆信号以及方差图

Fig. 13 The diagram of parking lock interference and vehicle signal and variance

含 524 次停车过程。车辆检测统计结果显示, VSA 算法的精度在 98% 以上, 其中, 正确检测车辆数为 515 次, 漏检车辆数为 2 次, 误检次数为 7 次。表 3 为精度较高、较稳定的 12 组阈值对比情况。从表 3 可以看到, H_{Tresh} 和 E_{Tresh} 过高会导致车辆信号漏检, 过低则会把车位锁信号误检为车辆信号, 这些因素都会影响算法精度。

表 3 参数对 VSA 停车检测结果的影响

Table 3 The influence of parameters on VSA parking test results

| 车辆进出次 | H_{Tresh} | E_{Tresh} | 正确检测次 | 算法精度 (%) |
|-------|-------------|-------------|-------|----------|
| 524 | 4 | 10 | 510 | 97.3 |
| 524 | 4 | 15 | 513 | 97.9 |
| 524 | 4 | 20 | 515 | 98.3 |
| 524 | 4 | 25 | 511 | 97.6 |
| 524 | 4.5 | 10 | 502 | 95.8 |
| 524 | 4.5 | 15 | 508 | 96.9 |
| 524 | 4.5 | 20 | 519 | 99.1 |
| 524 | 4.5 | 25 | 491 | 93.7 |
| 524 | 7.5 | 10 | 494 | 94.3 |
| 524 | 7.5 | 15 | 483 | 92.2 |
| 524 | 7.5 | 20 | 486 | 92.7 |
| 524 | 7.5 | 25 | 478 | 91.3 |

为了将传统停车检测算法和本算法的性能进行对比, 采用最大-最小值算法 (Max-Min Algorithm)^[3]和自适应阈值算法 (Adaptive Detection Threshold Algorithm, ADTA)^[4]进行 3 组对比实验, 每组实验包含 524 次停车样本数据, 结果如表 4 所示。表 4 显示, VSA、Max-Min 和 ADTA 算法的检测精度分别为 98%、95%、91%, 这表明本文的 VSA 算法提高了停车检测的精度。图 14 为 3 类算法的处理结果: 本文 VSA 算法能识别出车辆信号且过滤车位锁干扰信号; Max-Min 算法虽然检测出车辆信号, 但对车位锁干扰信号存在误判; ADTA 算法不仅对车位锁干扰信号有误判, 对车辆信号也产生了漏检, 具体如图 14 中虚线圈所示。

表 4 不同算法性能比较

Table 4 Comparison of various algorithms

| 算法 | 检测精度 (%) |
|----------|----------|
| VSA (本文) | 98 |
| Max-Min | 95 |
| ADTA | 91 |

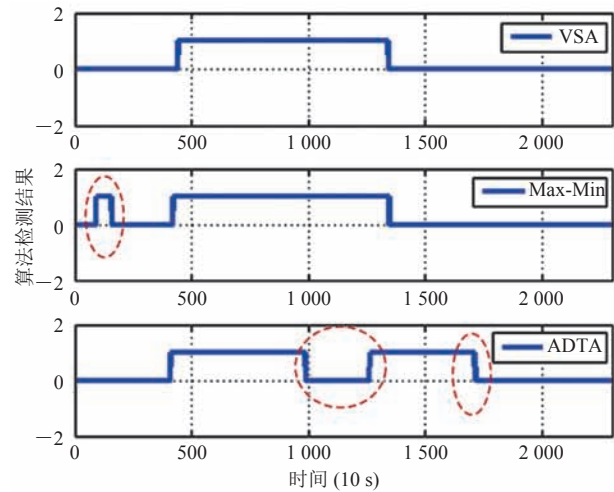


图 14 算法的检测结果

Fig. 14 Detection results of algorithms

6 结论

智能停车锁利用内置磁阻传感器实时检测停车位状态, 以实现无人收费、车位预约、车位共享等应用。本文提出了抗干扰的停车检测算法, 将感知的磁信号建模为方差序列, 根据干扰的特征提出了滤波方法, 结合状态机实现停车检测算法。实验结果表明, 该算法的检测精度达到 98% 以上。

参考文献

- [1] Cui QQ, Ning J, Yin XH. Design and implementation of a new type of intelligent automatic parking lock [C] // 2018 Chinese Automation Congress (CAC), 2018: 1466-1470.
- [2] 贾琪, 严李强, 李金合. 基于蓝牙技术的智能车位锁的设计与实现 [J]. 电子制作, 2017 (19): 31-33.

- [3] Ding JG, Cheung SY, Tan CW, et al. Vehicle detection by sensor network nodes [R]. UCB-ITS-PRR-2004-39, Berkeley: University of California, 2004: 27-30.
- [4] Cheung SY, Varaiya P. Traffic surveillance by wireless sensor networks: final report [R]. UCB-ITS-PRR-2007-4, Berkeley: University of California, 2007: 55-59.
- [5] 翟文正. 基于 ZigBee 与地磁传感技术的智能车位控制器设计 [J]. 计算机与数字工程, 2016, 44(10): 2078-2081.
- [6] 张瑞增. 基于智能车位锁的共享停车位管理系统研究与设计 [D]. 济南: 山东大学, 2017.
- [7] Zhang B, Chen GY, Wang CT, et al. The unattended self parking system based on intelligent parking lock [C] // 2017 Chinese Automation Congress (CAC), 2017: 1941-1944.
- [8] Wei SG, Wang J, Cai BG, et al. A novel vehicle detection method based on wireless magnetoresistive sensor [C] // 2009 Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 2009: 484-487.
- [9] 何志强, 罗飞, 于峰崎, 等. 基于地磁传感器的车辆检测算法 [J]. 科学技术与工程, 2014, 14(15): 203-206.
- [10] Gu J, Zhang ZS, Yu FQ, et al. Design and implementation of a street parking system using wireless sensor networks [C] // IEEE 10th International Conference on Industrial Informatics, 2012: 1212-1217.
- [11] Wen J, Xie B. Design and verification of parking space detection based on AMR sensor [C] // 2017 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), 2017: 968-973.
- [12] Zhang ZS, Tao M, Yuan HQ. A parking occupancy detection algorithm based on AMR sensor [J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(2): 1261-1269.
- [13] Guan XK, Zhang ZS, Zhou JQ, et al. A vehicle detection algorithm based on wireless magnetic sensor networks [C] // 2013 8th International Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM), 2013: 669-674.
- [14] Wei QF, Yang B. Adaptable vehicle detection and speed estimation for changeable urban traffic with anisotropic magnetoresistive sensors [J]. IEEE Sensors Journal, 2017, 17(7): 2021-2028.
- [15] 张足生, 邓见光, 赵铁柱, 等. 一种波形相似度的车辆检测融合算法 [J]. 传感技术学报, 2018, 31(3): 400-407.
- [16] 姜胜山. 基于 WSN 的车辆检测系统的研究与设计 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009.
- [17] 裴轶, 虞南方, 刘奇, 等. 各向异性磁阻传感器的原理及其应用 [J]. 仪表技术与传感器, 2004(8): 26-27, 32.
- [18] Liu YX, Zheng L. Research of anti-interference technology based on magnetic field variation of vehicle [C] // 2015 8th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID), 2015: 397-400.
- [19] Craik D, Brown RW. Magnetism: principles and applications [J]. Physics Today, 1996, 49(2): 57.
- [20] 马芳兰, 张红霞, 徐武德, 等. 基于地磁传感器的车辆检测算法研究 [J]. 自动化仪表, 2017, 38(11): 84-87.
- [21] 苏东海, 王亮, 马寿峰. 基于地磁感应的车辆检测方法的研究 [J]. 交通与计算机, 2007(3): 9-13.
- [22] Dong HH, Wang XZ, Zhang C, et al. Improved robust vehicle detection and identification based on single magnetic sensor [J]. IEEE Access, 2018, 6: 5247-5255.
- [23] Yang B, Lei YQ. Vehicle detection and classification for low-speed congested traffic with anisotropic magnetoresistive sensor [J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(2): 1132-1138.
- [24] Zhu HM, Yu FQ, He ZQ, et al. A robust vehicle detection algorithm based on wireless sensor network [C] // 2014 4th IEEE International Conference on Information Science and Technology, 2014: 84-87.
- [25] 潘霓, 骆乐, 闻育. 基于磁阻传感器的车辆检测算法综述 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(19): 245-248.