科学技术与教育 2026年第10期
ISSN: 3079-4455

基于 FPGA 的车位检测与 LCD 显示系统

黄家驹，周嘉辉，汪思晨，杨梅玉，陈亮亮*
江西科技师范大学信息工程学院，江西南昌，中国
*通讯作者

【摘要】随着城市机动车保有量持续增长，停车场车位资源紧张与管理效率低下的问题日益突出。传统的超声波、视频及地磁车位检测方案分别存在散射干扰严重、算力带宽需求高、易受环境磁场影响等缺陷。本文设计并实现了一种基于红外光电开关与现场可编程门阵列（FPGA）的车位检测与液晶显示器（Liquid Crystal Display，LCD）显示系统。该系统将 E3F-DS30C4 型红外光电开关安装于车位正上方或侧上方较低位置，利用车辆进入探测区域后输出电平变化实现占用判断；FPGA 对多路传感器信号进行并行消抖、持续时间阈值滤波与状态判决，并驱动 ILI9488 型薄膜晶体管（Thin Film Transistor，TFT）液晶显示屏实时显示各车位占用状态及剩余车位数。实验结果表明，系统能够在 100ms 内完成多路车位状态更新，误触发率低，结构简单，无需微控制器（Microcontroller Unit，MCU）、操作系统或计算机视觉算法，适用于室内及半露天停车场的智能化改造。

【关键词】FPGA；车位检测；LCD 显示；红外光电开关；ILI9488
【项目】2026 年江西省大学生创新训练计划项目（项目编号：202611318027）

1.引言

据统计，我国大城市机动车保有量持续攀升，停车位供需矛盾已成为制约城市交通的重要因素。驾驶员在停车场内盲目寻找车位不仅浪费时间，还会增加场内拥堵和尾气排放。因此，实时、准确的车位检测技术对于提升停车场管理效率、改善用户停车体验具有重要意义。

当前主流的车位检测方案主要包括地磁检测[1-2]、超声波检测[3]和视频检测[4-6]三种。地磁方案虽然功耗较低，但易受相邻车辆、地铁等环境磁场干扰，误报率在某些时段超过 5%，且安装需破坏路面，后期维护成本高。超声波方案成本低廉，但存在散射反射干扰严重、倾斜车窗或邻车易造成误判等问题，且在立体车库中适应性差。视频方案可获取车牌等丰富信息，但受光线、遮挡、污渍影响大，高清视频流对服务器算力和网络带宽要求极高，初期投资高昂。此外，基于蓝牙 Mesh 组网[7]与多传感器融合[8]的智能车位检测方案也有研究报道，但此类方案系统复杂度与成本较高。

针对上述问题，本文提出了一种基于现场可编程门阵列（Field Programmable Gate Array，FPGA）的车位检测与液晶显示器（Liquid Crystal Display，LCD）显示系统。该系统采用 E3F-DS30C4 型红外光电开关作为车位占用传感器，以 EP4CE22F17C6 型 FPGA 作为核心处理单元，直接完成信号采集、消抖、状态判决和 ILI9488 液晶显示控制。与传统的微控制器（Microcontroller Unit，MCU）+云端架构不同，本系统无需额外的微控制器、无需操作系统、无需复杂的图像处理算法，也无需依赖网络传输，所有逻辑均在 FPGA 硬件电路中并行执行，具有确定性的实时响应能力。

相较于现有方案，本系统具有以下优势：一是实时性与并行性突出，FPGA 内部可同时对多路传感器信号进行消抖、滤波、判决和显示刷新，单帧响应时间可控制在 100ms 以内；二是结构简单、成本低廉，系统核心仅为 FPGA 开发板与若干红外光电开关，省去了高清摄像头、服务器、高额网络带宽及云端算力投入；三是抗干扰能力较强，红外光电开关采用窄光束反射检测，不易受声波散射、邻车倾斜或环境磁场影响，配合硬件消抖与持续时间阈值滤波可有效抑制行人误触发。

2.系统实现原理

本文设计的车位检测与 LCD 显示系统主要由车位检测模块、FPGA 核心控制模块和 ILI9488LCD 显示模块三部分组成。车位检测模块负责采集车位占用信息；FPGA 核心控制模块完成信号消抖、持续时间阈值滤波、占用判决以及 ILI9488 显示控制；ILI9488LCD 显示模块负责将车位状态以图形化方式实时呈

现。系统整体结构如图 1 所示。

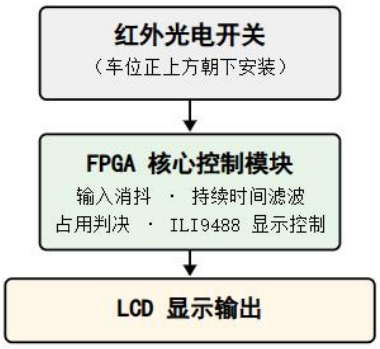


图 1.整体结构图

2.1 车位检测模块

车位检测模块采用 E3F-DS30C4 型漫反射式红外光电开关。该传感器内置红外发射管、接收管与电压比较电路，探测距离可在 0~30cm 范围内通过尾部电位器调节，输出为 NPN 集电极开路数字信号。由于探测距离较短，安装时应使传感器与被测车辆表面保持较近的距离，适用于层高较低的车位或近距离检测场景。

安装时，将传感器固定于车位正上方较低位置或车位侧上方，探头朝向车辆顶部，并根据传感器与车顶的距离d调节探测距离阈值D_{th}，使其满足 10cm≤d≤D_{th}≤30cm。这样，无车时传感器检测不到有效反射目标，输出空闲状态；当车辆停入车位，车顶进入探测范围，传感器输出状态翻转，从而完成占用检测。E3F-DS30C4 工作电压为 DC6~36V，FPGA 侧需通过 3.3kΩ上拉电阻将 NPN 开漏输出转换为 3.3V 数字电平后接入输入/输出（Input/Output，I/O）口，确保电平匹配与系统安全。

表 1.E3F-DS30C4 主要技术指标

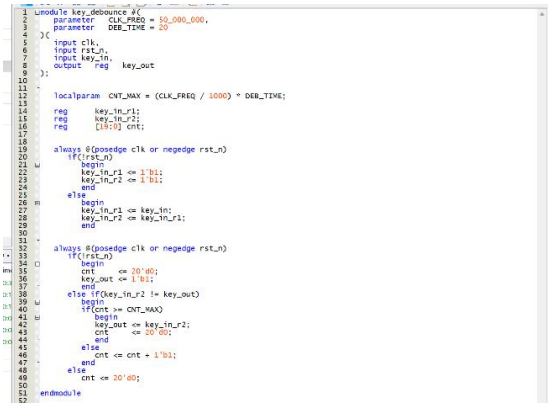
参数	指标
型号	E3F-DS30C4
检测距离	0~30cm（可调）
工作电压	DC6~36V
输出方式	NPN 集电极开路
响应频率	≥200Hz
输出电流	≤100mA

表 1 给出了车位检测模块的主要技术指标。由表可知，该传感器响应频率可达 200Hz 以上，远高于停车场车辆状态变化频率，因此不会成为系统实时性的瓶颈。

2.2FPGA 核心控制模块

FPGA 核心控制模块由输入消抖、持续时间阈值滤波、占用判决和 ILI9488 显示控制四个子模块构成。各子模块以纯硬件逻辑方式并行运行，不依赖处理器和操作系统，具有确定的时序特性[9]。

输入消抖模块。红外光电开关输出在状态跳变瞬间可能伴随机械振动或反射抖动，产生持续数毫秒的高频毛刺。若直接采样该信号，极易造成误触发。为此，本文在 FPGA 内部设计了一种基于 50MHz 时钟的计数器消抖电路：当传感器输出发生跳变时，计数器开始计数，只有在新状态持续 20ms（即 1000000 个时钟周期）以上时才认为状态有效，否则保持原状态不变，如图 2 所示。该过程对多路传感器并行执行，互不阻塞。



```
module key_debounce #(
    parameter   CLK_FREQ = 50_000_000,
    parameter   DEB_TIME = 20
)(
    input clk,
    input rst_n,
    input key_in,
    output  reg   key_out
);

    localparam  CNT_MAX = (CLK_FREQ / 1000) * DEB_TIME;

    reg       key_in_r1;
    reg       key_in_r2;
    reg [19:0] cnt;

    always @(posedge clk or negedge rst_n)
        if(!rst_n)
            begin
            key_in_r1 <= 1'b1;
            key_in_r2 <= 1'b1;
            end
        else
            begin
            key_in_r1 <= key_in;
            key_in_r2 <= key_in_r1;
            end

    always @(posedge clk or negedge rst_n)
        if(!rst_n)
            begin
            cnt     <= 20'd0;
            key_out <= 1'b1;
            end
        else if(key_in_r2 != key_out)
            begin
            if(cnt >= CNT_MAX)
                begin
                key_out <= key_in_r2;
                cnt     <= 20'd0;
                end
            else
                cnt <= cnt + 1'b1;
            end
        else
            cnt <= 20'd0;

endmodule
```

图 2.消抖模块

持续时间阈值滤波模块。消抖后的信号仍可能因行人短暂经过而误判为车辆占用。为区分车辆长时间停放与行人短暂遮挡，本文在占用状态切换前加入持续时间阈值滤波。设第 i 个车位的传感器有效持续时间为 Ton，i，持续时间阈值为 Tth，则占用状态 Oi 的判定如式（1）所示：

$$O_i = 1,\ T_{\text{on, i}} \geq T_{\text{th}}$$
$$0,\ T_{\text{on, i}} < T_{\text{th}} \qquad (1)$$

只有当传感器连续检测到目标超过 T_{th}（本文取 2s）时，才将该车位判定为占用；若检测信号在阈值时间内消失，则视为行人短暂经过，继续保持空闲状态。该滤波器同样以计数器实现，结构简单，充分利用了 FPGA 硬件并行的确定性时序控制能力。

占用判决模块。经过消抖和持续时间滤波后的传感器信号直接映射为车位占用状态。设第i个车位的占用状态为O_i，1 表示占用，0 表示空闲，则剩余车位数N_{free}由式（2）计算：

$$N_{\text{free}} = N - \sum O_i,\ i = 0, 1, \ldots, N-1 \quad (2)$$

其中N为车位总数。占用判决模块同时生成各车位状态、剩余车位数以及发光二极管（Light Emitting Diode，LED）驱动信号，供显示模块使用。

ILI9488 显示控制模块。该模块负责将车位状态转换为像素数据，并通过串行外设接口（Serial Peripheral Interface，SPI）写入 ILI9488 液晶屏。显示内容包括顶部剩余车位数、中部各车位状态矩形（绿色表示空闲、红色表示占用）以及底部系统状态提示。显示控制模块以固定周期循环触发整屏刷新，确保车位状态信息持续、稳定地呈现，使管理人员能够实时掌握车位使用情况。

2.3ILI9488LCD 显示模块

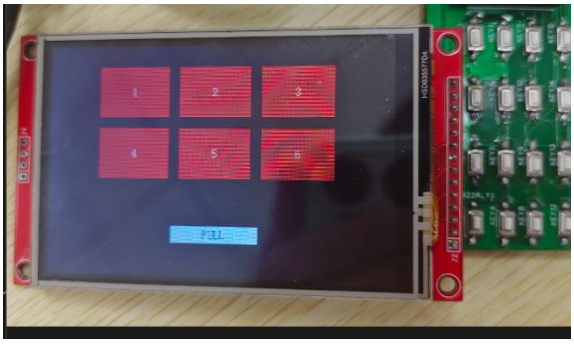
ILI9488 是一款 320×480 分辨率的 16.7M 色薄膜晶体管（Thin Film Transistor，TFT）液晶驱动芯片，支持 8/9/16/18 位并行接口和 3/4 线 SPI 接口[10]。为减少 FPGAI/O 占用并简化 PCB 布线，本系统采用 4 线 SPI 接口与 ILI9488 通信，仅需 CS、DC、SCK 和 MOSI 四根信号线即可完成命令与数据的传输。

ILI9488 显示模块内部包含初始化状态机和 SPI 字节发送时序两个主要部分。初始化状态机在上电复位后依次发送睡眠退出（0x11）、MADCTL 寄存器配置（0x36）、像素格式设置（0x3A）、帧率设置（0xB1）以及开显示（0x29）等命令，完成屏幕唤醒与显示参数配置。SPI 字节发送时序则在时钟上升沿驱动 MOSI 数据，CS 低有效期间完成单字节或多字节突发传输。

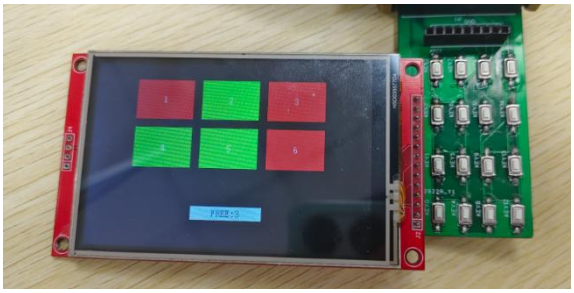
刷新屏幕时，显示控制模块首先通过 0x2A 命令设置列地址，通过 0x2B 命令设置页地址，然后通过 0x2C 命令进入显存写入模式，最后将 RGB565 格式的像素数据逐点发送给 ILI9488。显示控制模块以循环方式周期性地触发整屏刷新，确保车位状态信息持续、稳定地呈现，因此即使 SPI 时钟频率为 6.25MHz，也能在 1s 内完成一次刷新，满足停车场状态显示的实时性要求。

图 3 给出了系统在实际硬件运行时的 LCD 显示效果。其中（a）为 6 个车位全部占用时的状态，所有车位方块显示为红色，底部提示“FULL”；（b）为部分车位空闲时的状态，1、3、6 号车位占用（红色），2、4、5 号车位空闲（绿色），底部显示剩余车位数“FREE：3”。实测结果表明，系统能够正确区分占用与空闲状态，并以直观的颜色和数字形式实时呈现。

图 4 给出了 ILI9488LCD 显示模块的内部数据流。车位状态与剩余车位数经过显示渲染后生成像素数据，再由 SPI 接口控制模块写入 ILI9488，最终在屏幕上呈现车位状态信息。



（a）全部占用



（b）部分占用

图 3.硬件实测 LCD 显示效果

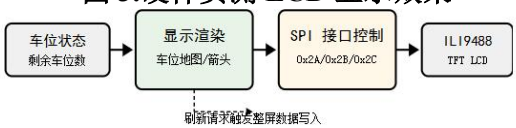


图 4.ILI9488LCD 显示模块结构框图

2.4 抗行人干扰设计

红外光电开关在实际应用中可能出现行人路过导致的误触发。为降低此类干扰，本文在 FPGA 内部设计了基于持续时间的二次滤波机制：只有当传感器连续检测到目标超过预设时间阈值时，才将该车位判定为占用；若检测信号在阈值时间内消失，则视为行人短暂经过，保持原空闲状态。该机制通过简单的计数器实现，充分利用了 FPGA 硬件并行的确定性时序控制能力[11]。

此外，通过合理设置传感器安装高度、调整探测距离以及加装遮光罩，可进一步限制探测区域，使其主要覆盖车位本身，减少相邻通道行人的影响。上述软硬件措施相结合，可有效提升系统的抗干扰能力与工程实用性。图 5 给出了持续时间阈值滤波的工作原理示意。

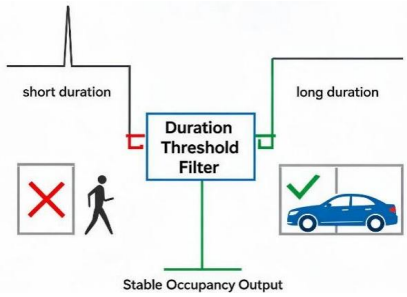


图 5.抗行人干扰持续时间阈值滤波示意图

3.系统测试

硬件测试平台采用 EP4CE22F17C6（Altera Cyclone IV E 系列）FPGA 开发板，外接若干 E3F-DS30C4 红外光电开关和 ILI9488 型 320×480TFT 液晶屏。EP4CE22F17C6 具有 22320 个逻辑单元、594Kbit 嵌入式存储器和 153 个用户 I/O，足以满足多路传感器并行处理与 SPI 显示驱动需求。将传感器安装于实验架上方约 25cm 处，调节探测距离阈值使其覆盖下方车位区域，并在下方放置纸箱模拟车辆。测试内容包括：

单车位占用/离开响应测试：用手或纸板遮挡传感器，观察对应车位颜色由绿变红，LED 同步切换；移开遮挡后，车位恢复绿色，响应时间小于 100ms。

多车位同时占用测试：依次遮挡多个传感器，验证各车位状态显示正确，剩余车位数实时更新，与理论计算一致。

抗干扰测试：在传感器前方快速晃动纸片或短暂挥手，模拟行人经过场景，系统未出现误切换，证明消抖与持续时间滤波逻辑有效。

表 2.硬件测试关键性能指标

性能指标	实测值
车位状态响应时间	<100ms
单帧显示刷新时间	<1s
消抖时间	20ms
持续时间滤波阈值	2s

电平匹配与电源测试：验证 E3F-DS30C4 经上拉电阻后的输出电平为 0~3.3V，满足 FPGAI/O 电平要求；FPGA 与 ILI9488 之间采用 3.3VSPI 通信，无信号完整性问题。

表 2 给出了部分关键性能指标实测结果。由表可知，系统平均响应时间小于 100ms，显示刷新时间小于 1s，能够满足一般停车场车位状态显示的需求。

4.结束语

基于 FPGA 的车位检测与 LCD 显示系统以 E3F-DS30C4 红外光电开关为感知单元，以 EP4CE22F17C6FPGA 为核心处理单元，通过纯硬件逻辑完成多路传感器信号的并行消抖、持续时间阈值滤波、占用判决以及 ILI9488TFT 液晶屏状态显示，可在 100ms 内完成车位状态更新，并有效抑制行人短暂经过等干扰。但是由于条件受限，测试仅在实验室环境下通过遮挡传感器模拟车辆停放，尚未在真实停车场场景中长期运行；同时系统目前仅完成车位状态检测与 LCD 显示功能，未涉及车辆引导、车牌识别及云端管理等功能。未来仍需继续努力完善复杂环境下的抗干扰策略，并进一步扩展系统功能。总的来说，基本实现了基于 FPGA 的车位检测与 LCD 显示，对停车场智能化改造具有一定的参考价值。

参考文献

[1] 阿天仁.基于地磁传感器的车辆检测系统设计与实现[D].成都：电子科技大学，2021.
[2] 秦昌辉，吴晓梅，张冬梅.基于地磁传感器的车位检测系统设计[J].科技创新与应用，2016（16）：62.
[3] 匡兵，史云鹏，罗作煌，等.基于超声波雷达的车位检测算法[J].桂林电子科技大学学报，2019，39（3）：190-195.
[4] 黄伟杰，张希，赵柏暄，等.基于视觉的停车场车位检测与分类算法[J].计算机系统应用，2022，31（3）：234-240.
[5] 唐玉良，张轩雄.基于深度学习的车位检测方法[J].电子科技，2025，38（6）：23-29.
[6] 杨飞帆，李军，王耀弘.改进 YOLOv8 的环视车位检测算法研究[J].重庆理工大学学报（自然科学），2024，38（9）：22-29.
[7] 张业伟，钟可馨，周瑜，等.基于蓝牙 Mesh 的智能车位检测控制系统设计与实现[J].现代信息科技，2025，9（1）：171-176.
[8] 江灏，黄鼎键，成雨生.基于多传感器融合的无车位线车位识别[J].福建理工大学学报，2025，23（6）：550-556.
[9] 王建群，吴清扬，曹宁.一种基于状态机的毛刺信号滤波方法[J].北京理工大学学报，2015，35（3）：268-271.
[10]刘彬，韩进.基于单片机的液晶显示触摸屏控制设计[J].液晶与显示，2010，25（2）：240-244.
[11]陈建军，金强宁，章鹏，等.基于 FPGA 的 TFT 液晶显示时序控制器设计[J].液晶与显示，2015，30（4）：647-654.