

基于多技术融合的自动开关门系统创新设计与性能研究

——以隐藏式驱动、物理 - 视觉双重防夹为核心

王 宇¹, 郑秀玲²

¹王力安防科技股份有限公司, 浙江 杭州

²杭州睿真科技有限公司, 浙江 杭州

收稿日期: 2026年6月23日; 录用日期: 2026年7月15日; 发布日期: 2026年7月24日

摘 要

针对传统自动门在美观性、安全性与智能化方面的不足, 本文提出一种基于多技术融合的新型自动开关门系统。系统采用隐藏式驱动结构, 结合电机物理防夹与深度学习视觉防夹, 构建了物理信号优先的分层融合防夹算法。仿真实验表明, 该系统在复杂光照环境下的防夹准确率、响应速度与鲁棒性均优于传统单一防夹方案。本文重点阐述了融合防夹算法的设计原理、决策机制与性能验证, 为智能自动门的安全控制提供了新的技术路径。

关键词

自动开关门, 隐藏式开门机, 物理 - 视觉融合防夹, 深度学习, 多传感器

Innovative Design and Performance Research of Automatic Door System Based on Multi-Technology Fusion

—Hidden Drive and Physical-Visual Dual Anti-Pinch as Core

Yu Wang¹, Xiuling Zheng²

¹Wonly Security Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

²Hangzhou Ruizhen Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Received: June 23, 2026; accepted: July 15, 2026; published: July 24, 2026

文章引用: 王宇, 郑秀玲. 基于多技术融合的自动开关门系统创新设计与性能研究[J]. 传感器技术与应用, 2026, 14(4): 756-761. DOI: 10.12677/jsta.2026.144072

Abstract

Aiming at the deficiencies of traditional automatic doors in aesthetics, safety and intelligence, a new automatic door system based on multi-technology fusion is proposed in this paper. The system adopts hidden drive structure, combines motor physical anti-pinch and deep learning visual anti-pinch, and constructs a hierarchical fusion anti-pinch algorithm with priority of physical signals. Simulation experiments show that the anti-pinch accuracy, response speed and robustness of the system under complex illumination environment are superior to those of traditional single anti-pinch schemes. This paper focuses on the design principle, decision-making mechanism and performance verification of the fusion anti-pinch algorithm, and provides a new technical path for the safety control of intelligent automatic doors.

Keywords

Automatic Door, Hidden Door Operator, Physical-Visual Fusion Anti-Pinch, Deep Learning, Multi-Sensor

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

自动门广泛应用于各类民用与公共建筑,是建筑智能化体系的重要组成部分[1]。伴随建筑设计理念升级与安全规范日趋严格,市场对自动门的空间适配性、运行安全性与智能感知能力提出了更高要求,国内外学者围绕自动门驱动结构与安全防夹技术开展了大量研究[2]。

在驱动结构领域,传统外露式开门机结构简单、应用广泛,但存在占用空间、易受环境侵蚀等缺陷[3]。BIM技术与机电集成工艺的发展,推动隐藏式开门机成为重要研究方向,该类设备将传动与动力部件内嵌于门体、门框之中,有效提升建筑整体美观度与设备使用寿命[4]。

在防夹技术研究中,红外、微波等传统传感防夹方案技术成熟,但易受光照、遮挡等外界因素干扰,运行稳定性较差[5]。依托电机电流、扭矩参数的物理防夹技术,凭借响应迅速、环境适应性强的优势得到推广,永磁同步电机负载辨识方法进一步提升了该类方案的检测精度[6]。与此同时,双目视觉与深度学习算法逐步应用于门禁防护场景,YOLO系列目标检测算法可实现门区目标识别与风险预判,具备提前预警的能力[7][8]。

多传感器融合是当前智能门控技术的主流发展方向[2],现有融合方案大多采用简单逻辑运算完成信号组合,未针对不同传感器特性设置分级优先级,在信号冲突、设备失效等场景下防护能力不足[9]。同时,多数研究仅聚焦单一驱动结构或单一防夹算法,未能实现结构与控制策略的深度结合。

针对上述研究现状与现存问题,本文将隐藏式驱动结构、电机物理防夹、视觉深度学习防夹相结合,设计一体化自动开关门系统,并提出分层优先级融合防夹算法,充分发挥不同技术的优势。通过多场景仿真测试验证系统综合性能,为智能自动门的工程设计与技术升级提供参考。

2. 系统总体设计

2.1. 系统架构

本系统由中央控制子系统、隐藏式驱动子系统、电机物理防夹子系统、视觉智能分析子系统共同构

成, 整体架构简洁、实时性强[10]。系统选用 STM32H7 系列微控制器作为核心主控单元, 各功能子系统依靠 CAN 总线完成数据交互与指令传输, 保障数据传输与动作执行的时效性。

隐藏式驱动子系统集成微型永磁同步伺服电机与静音传动齿轮组, 将动力与传动部件隐蔽安装, 规避传统外露设备的弊端[3][4]; 电机物理防夹子实时采集电机运行参数, 建立动态负载模型, 判断门体运行受阻状态[6]; 视觉智能分析子系统搭载双目摄像头与深度学习模型, 完成门区目标检测与风险预警[7]; 中央控制子系统汇总两类防夹信号, 运行融合算法并输出最终控制指令。

2.2. 工作流程

系统上电后自动进入待机监测状态, 视觉智能分析子系统持续扫描出入口区域。当检测到通行人员时, 中央控制器下发开门指令, 隐藏式驱动子系统驱动门体开启。门体全程运行过程中, 电机物理防夹、视觉防夹两大模块同步开展监测; 门体开启到位、人员通行完成后, 系统执行关门动作, 关门阶段依旧保持双重监测。门体完全闭合后, 系统回归待机模式, 循环执行监测流程。

3. 核心研究：物理 - 视觉分层融合防夹算法

3.1. 算法设计目标

结合现有防夹技术的优缺点, 本文融合算法确立三大设计目标: 一是将电机物理防夹设置为最高优先级, 保障突发夹障场景下的人员安全[6]; 二是利用视觉防夹实现提前预警、门体减速, 优化通行体验[7]; 三是建立设备失效容错机制, 单一传感器故障时系统仍可维持基础安全防护能力[9]。

3.2. 信号定义与数学模型

(1) 输入信号定义

- 物理防夹信号: $S_p \in \{0,1\}$, 其中 0 = 正常, 1 = 触发;
- 视觉防夹信号: $S_v \in \{0,1,2\}$, 其中 0 = 正常, 1 = 预警, 2 = 触发;
- 门体状态: $D \in \{0,1,2\}$, 其中 0 = 开启, 1 = 关闭, 2 = 待机;
- 决策输出: $O \in \{0,1,2,3\}$, 其中 0 = 正常运行, 1 = 减速, 2 = 急停, 3 = 反转。

(2) 分层融合判决规则

规则释义: 物理防夹信号触发时, 无论门体处于何种状态, 系统立即执行急停或反转动作; 物理防夹信号正常, 且视觉发出预警、门体处于关闭状态时, 控制门体减速运行; 无任何风险信号时, 门体保持正常运行状态。

3.3. 伪代码实现

```
typedef enum {NORMAL, WARNING, TRIGGER} SignalType;
typedef enum {OPEN, CLOSE, STANDBY} DoorStateType;
typedef enum {RUN, SLOW, STOP, REVERSE} ActionType;

ActionType FusionAntiPinch(SignalType physical, SignalType visual, DoorStateType doorState)
{
    // 最高优先级: 物理防夹触发, 无条件执行安全动作
    if(physical == TRIGGER)
    {
        DoorReverseOrStop();
    }
}
```

```
        SaveLog("物理防夹触发");
        return REVERSE;
    }

    // 次级优先级: 视觉预警 + 门体关闭 → 减速预警
    if(visual == WARNING && doorState == CLOSE)
    {
        DoorSlowRun();
        SaveLog("视觉防夹预警");
        return SLOW;
    }

    // 无风险: 正常运行
    DoorNormalRun();
    return RUN;
}
```

3.4. 全场景冲突与异常处理

针对信号冲突、传感器失效等异常场景，算法设计了对应的容错处理逻辑，不同场景下的信号处理规则如表 1 所示。

Table 1. Comparison table of anti-pinch signal conflict and exception handling in multiple scenarios
表 1. 多场景防夹信号冲突与异常处理对照表

场景	S_p	S_v	D	系统动作	安全逻辑
正常通行	0	0	任意	正常开关	无风险
突发夹入	1	任意	任意	立即反转	物理优先级最高
儿童缓慢靠近	0	1	1	门体减速	提前预警，避免夹碰
摄像头遮挡失效	0	失效	任意	仅物理防夹工作	单硬件兜底
电机传感器故障	失效	1/2	1	限速 + 告警	降级安全模式
双信号同时触发	1	2	1	立即反转	物理优先覆盖

4. 仿真实验与性能分析

4.1. 实验设置

为全面验证融合防夹算法的综合性能，本文搭建实验室仿真测试平台[5]，设置四组对照方案：传统红外防夹、单一电机物理防夹、单一视觉防夹、本文物理 - 视觉融合防夹方案。测试划分常规光照、强光逆光、弱光暗光三类典型应用场景，每组实验重复 1000 次，选取平均响应时间、识别准确率、误触发率、漏触发率四项核心指标完成量化对比。

4.2. 实验结果

四类方案在三种光照场景下的性能测试结果如表 2 所示。

4.3. 结果分析

从响应速度来看，电机物理防夹依靠硬件参数直采，响应速度最优；本文融合方案因增加视觉信号采集环节，响应时间略有增加，但整体仍控制在 30 ms 以内，完全满足建筑出入口自动门的安全响应

Table 2. Comprehensive performance comparison of different anti-pinch schemes
表 2. 不同防夹方案综合性能对比表

测试场景	评价指标	传统红外防夹	单一物理防夹	单一视觉防夹	本文融合防夹
常规光照	平均响应时间/ms	118	26	42	28
常规光照	识别准确率/%	91.2	98.7	97.5	99.4
常规光照	误触发率/‰	8.6	1.2	2.5	0.7
常规光照	漏触发率/‰	12.3	1.8	3.1	0.5
强光逆光	平均响应时间/ms	156	27	68	30
强光逆光	识别准确率/%	65.8	98.5	76.2	98.8
强光逆光	误触发率/‰	22.7	1.3	10.8	1.1
强光逆光	漏触发率/‰	28.5	2.0	15.6	0.8
弱光暗光	平均响应时间/ms	142	26	59	29
弱光暗光	识别准确率/%	72.4	98.6	81.5	98.9
弱光暗光	误触发率/‰	19.4	1.2	8.3	0.9
弱光暗光	漏触发率/‰	24.1	1.9	11.2	0.6

要求[1]；传统红外防夹受光照干扰严重，响应延迟大幅上升。

从识别准确率、误触发率与漏触发率三项指标分析，在常规光照环境中，四类方案均可稳定运行，本文融合方案表现最优；在强光逆光、弱光暗光等复杂工况下，传统红外防夹与单一视觉防夹的识别能力显著下降，误、漏触发问题突出[5][7]。本文融合算法依托电机物理防夹作为兜底防护，整体识别准确率始终保持高位，误触发率、漏触发率远低于其他方案，系统运行稳定性得到有效保障。

综合各项实验数据可知，物理 - 视觉融合防夹算法结合了两类技术的优势，弥补了单一方案的短板，综合性能优于传统防夹技术。

5. 结论

本文结合隐藏式驱动结构、电机物理防夹与深度学习视觉检测技术，设计了一套多技术融合自动开关门系统，并提出物理信号优先的分层融合防夹算法。该算法明确了不同检测信号的优先级，构建了完善的风险判断与异常处理逻辑，兼顾主动预警与被动防护能力。仿真实验结果表明，相较于传统红外防夹、单一电机防夹、单一视觉防夹方案，本文所提系统在响应速度、识别准确率、抗干扰能力等方面均具备明显优势，可适应多种光照环境。该设计方案可为建筑领域智能自动门的研发、改造与应用提供可行参考，具备良好的理论价值与工程应用前景。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50314-2015 建筑智能化系统工程技术标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- [2] 李晶. 智能门禁系统感测技术优化研究[J]. 信息记录材料, 2025, 26(12): 87-89.
- [3] 川木自动门(常州)有限公司. 一种隐藏式开门机[P]. 中国专利: CN202223111588.7, 2023-03-28.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50378-2019 绿色建筑评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [5] 王健, 刘辉. 高速轨道客车电动自动门控制系统研究[J]. 机床与液压, 2010, 38(15): 19-23.
- [6] 石秦赓, 朱俊杰, 韩一, 等. 基于自适应滑模观测器的永磁同步电机负载转矩辨识[J]. 电工技术学报, 2025,

- 40(12): 3868-3882.
- [7] 韩晖. 基于 yolov2 算法的嵌入式门禁设施实现[J]. 信息记录材料, 2025, 26(9): 23-26, 32.
 - [8] 国家知识产权局. 基于双目立体视觉的自动门控制和防夹系统及其方法[P]. 中国专利: CN112412242A, 2021-02-26.
 - [9] 谈建良, 蒋曙光, 苗双涛, 等. PLC 在矿用自动风门控制系统中的应用[J]. 煤矿安全, 2011, 42(7): 114-117.
 - [10] Huang, H., Tan, H., Xu, X., Zhang, J. and Zhao, Z. (2023) LACE: Low-Cost Access Control Based on Edge Computing for Smart Buildings. *Electronics*, **12**, Article 412. <https://doi.org/10.3390/electronics12020412>