

光电传感器在智能家居系统中的应用研究

郭欣怡, 吴宇坤*

太原理工大学 山西太原

【摘要】智能家居随着物联网技术和智能化时代的到来而走进日常家居,其中光电传感器因其检测范围广、灵敏度高、功耗低、响应速度快等特点而应用 in 环境检测、安全管理与能源控制中,是智能家居的重要组成部分,且光电传感器将光信号转变为电信号检测光照强度、物体位置、运动方向,用于智能家居的智能照明、自动拉合窗帘、检测是否入侵等作用,从而提高家居环境的舒适度与安全性,同时对节能也有重要意义,本文对光电传感器的工作原理、分类及在智能家居系统中的应用情况与未来发展趋势进行分析,为智能家居光电传感器的改进与推广提出一些意见。

【关键词】光电传感器;智能家居;应用研究

【收稿日期】2025 年 6 月 18 日

【出刊日期】2025 年 7 月 17 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250130

Research on the Application of Photoelectric Sensors in Smart Home Systems

Xinyi Guo, Yukun Wu*

Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi

【Abstract】 Smart homes, driven by IoT and smart - tech advancements, have become a reality. Optical fiber sensors, with their wide detection range, high sensitivity, low power consumption, and fast response, are vital for smart homes. They convert optical signals to electrical ones to measure light intensity, object position, and motion direction. These sensors are crucial for smart lighting, auto - curtains, and intrusion detection, boosting home comfort, security, and energy efficiency. This paper explores their working principles, types, applications in smart - home systems, and future trends, offering suggestions for their improvement and wider use in smart homes.

【Keywords】 Photoelectric sensor; Smart home; Application research

近年来,在物联网、人工智能等技术的快速迭代发展中,智能家居产业也得到快速爆发性发展,家居系统的智能化程度不断提高,其中感知层技术是实现智能化的前提,而以光电传感器为代表的一系列传感器具有非接触检测、高精度、响应快等优点,成为智能家居系统的检测单元,在智能照明、环境监视、安全防盗、能源控制等方面^[1],可以实时检测光照、位移、距离等信息,从而为系统决策及自动控制提供依据,因此,目前对于光电传感器在智能家居中的应用展开研究是非常有必要的。

1 光电传感器在智能家居系统中的应用意义

基于光电传感器的光照参数、位置参数和运动参数等参数的识别,能够应用自动灯光控制、自动

窗帘系统和对入侵者的识别等机制来实现智能家居的精细化和人性化,在保证正常居家照明的同时提升智能家居系统的运行效率。此外,在通过光电传感器提供的数据控制下实施节能控制措施,可以有效降低系统在运作过程中所面临的各种问题,实现能源的有效利用率。此外,在通过光电传感器感知的运行速度比较快,能够及时将信息回馈给系统,提高系统的感知效率,完善对人的保护功能。因此,光电传感器是发展智能家居系统和普及推广的基础条件,能够和物联网系统相适应,对信息进行收集,实现各类信息的妥善储存和应用。

2 光电传感器在智能家居系统中的应用难点

2.1 环境干扰复杂,信号稳定受限

*通讯作者:吴宇坤(1989-)男,汉族,博士研究生,讲师,研究方向:有机光电器件物理

光电传感在智能控制家居的应用中, 环境是开放或者半封闭的, 在周遭环境可能有许多不可控的干扰物体。灰尘、烟、水分子等小颗粒材料会对从传感器发射出去的光形成散射或者吸收作用, 从而减少传感节点接收到的光信号量。在空间可能存在各种射频或者其他光源的照射和电磁辐射, 这些未指定的目标也会被传感器接收^[2], 并且进入光电传感器的检测波段中, 传感器对目标的识别精度会降低, 尤其是对于动态环境, 在物体快速运动情况下, 或者由于反射平面的高速运动和变化, 都可能造成光信号在瞬间发生剧烈跳变。

2.2 光源条件多变, 检测精度下降

由于光电传感器的测量精确度显著地依赖于光照环境, 对于智能家居系统, 照度和光谱组成可能在不同时间与不同天气之下急剧变化。照度的强弱变化、房间灯开关频率变化以及不同灯光源的不同光谱组成都会导致光电传感器响应变化。过高或过低的照度可能导致传感器接收到的信号信噪比的下降从而导致测量误差, 过高的照度则可能导致传感器的饱和效应, 导致输出数据失实。多个灯光源同时存在时更可能导致复杂的干涉和叠加。

2.3 材质特性差异, 感应灵敏减弱

室内智能家电或安装的其它智能感知模块对象表面材料的不同会影响光电感知模块的感知效果, 光线的反射率越高, 表面材料的反光强度也越高, 感知效果越好, 从而提高感知精度; 反光率与吸收率越低, 会更容易削弱光强度, 提高感知的不准确率。而材料的吸收比或总吸收率过高, 也在一定程度上降低了感光强度。而透明的或者部分透明的材料则容易导致光的折射或者散射现象, 造成传感器所感知光信号方向的偏斜, 进而影响感测的正确判断。而在普通家居环境中, 不同材料对象因材质不同造成的灵敏度失衡会引发整体的不均衡效应, 加大系统算法在不同环境下的兼容难度^[3]。

2.4 数据传输延迟, 响应效率降低

智能家居系统的传感器, 如光电传感器, 通常是将检测得到的信息信号实时通过无线信道传输给中央控制器执行指挥决策任务。然而, 信道传输过程会由于带宽、网络拥堵或者干扰导致传输延迟现象。若智能家居系统具有多级处理数据流, 则信号必然经过编码、压缩、传送和解码的环节, 累积的延

迟将会导致整个系统的响应速度大大下降。在某些传输延迟极高的情况下, 家居执行动作和人的行为操作之间就会产生延时, 使执行动作显得相对迟钝, 难以给智能交互带来真实的直接性感受^[4]。

2.5 系统集成受限, 功能拓展困难

由于光电传感器在智能设备家居系统中需要与各种类型的控制接口和控制硬件、通信协议和应用程序软件进行配合使用, 不同厂商设备之间接口标准、数据表示格式以及通信协议也存在差异性, 这要求智能家电传感器在系统集成时难度相对较大。传感器接口未进行统一设计的设备, 给系统之间的兼容性和互操作性造成了一定程度的困扰, 使得各功能模块之间的组合与扩展方面灵活性较差。部分传感器硬件未预留充足的硬件资源, 自身也难以满足后期功能迭代及算法升级。

3 光电传感器在智能家居系统中的应用策略

3.1 优化光源设计, 提升探测灵敏

在智能家居领域中, 适当优化光源结构及参数能充分增加光电传感器的感应灵敏度, 光源的光谱波长、发光角度和照射分布要与光电传感器的谱响应特性相匹配, 有效增强信号接收。在家居场景不确定性高的情况下, 可设计动态光强调节功能, 使光源出光根据环境光照亮度的变化进行调节, 以保证传感器对不同光照强度下的检测性能^[5]。

例如在“智能光照自适应控制系统”项目中, 需要根据光电传感器的光谱特征, 采用特殊的光源, 调整光源的发射波长与传感器检测光谱响应的光谱互补性。通过调节LED光源的光斑大小及发射强度, 使光源能够均匀照亮测试区域, 减少因光斑和阴影对测试数据的影响, 并设置了环境光感应模块, 该模块可与光源模块联动实现对灯光调节的自适应, 以实现测试光源的光强增益或衰减; 光源控制电路采用恒流设计, 传感器信号更稳定, 改善了传感器在光照较弱或光照较强的环境中的灵敏度, 避免环境光的变化对传感器测量数据的影响。

3.2 融合多模传感, 增强环境适应

另外, 在光电传感器与其他类型的传感器之间采用多模融合, 亦能增强系统在多样化的环境下的稳健性和适应性, 采用多源信息的互补来克服单一的光学检测的限制, 比如在低照度、反射率等方面的表现。多模融合对不同传感器数据的融合除了硬

件需要良好的排列与相互匹配外,在软件方面,需要对不同的传感器进行相互融合处理,进行数据的同步与权值的分配,确保其稳健性与一致性,这样能够在家居环境变化下输出稳健的结果。

以“基于多传感器融合的安防检测系统”项目为例,研究人员将各种传感器如光电传感器、红外热像仪、超声波传感器等有机集成在一起形成多传感系统。充分发挥各传感器特性的优点,降低各传感器信息特征值在单一场景下的弱视区域。针对传感器自身的频率、采样率,合理规划空间排布减小相互间的影响。从算法角度看,开发一个用于多传感器信息融合的算法模块。能够通过光强、红外图像、距离传感器获取的信号在时域、空域能够实时比对并分配合理的权重,进行信息融合的优化处理。从而避免光线、遮挡在传感器外部信息影响下出现误判,提高安防的稳定性及可靠性^[6]。

3.3 引入算法滤波,抑制噪声干扰

通过滤波处理能够有效去除环境噪声与装置系统噪声对光电传感器所传输数据的干扰。结合应用场景设置相关数据过滤处理模式,如自适应数据过滤、小波数据去除或者卡尔曼数据滤波,进而能够在确保保留有效数据的情况下避免高频噪声以及瞬变噪声的增加。算法设计过程中需要保障具有一定的实时性和较低算法复杂度。此外通过相应的环境噪声设计,结合场景特点对相关数据过滤方式进行实时过滤,以有效提升输出数据的波动率。

例如,“智慧社区红外光电传感信号与噪声处理”技术设计中,针对红外光电传感采集的信号存在大量的高频噪声以及环境噪声干扰现象,为了对光电传感信号噪声进行有效的抑制以及处理,设计了多层滤波器组合滤波法,其中采用自适应滤波算法、小波分析滤波法以及卡尔曼滤波技术。在将组合滤波技术应用到实际应用后,结合数据的采集过程,可以根据数据的特点及时调整信号滤波器,对传感器采集的数据噪声进行合理的去除,其中滤波器能够在各项因素的影响下提取变化的重要信息。滤波技术的滤波效果受到设备本身的软硬件限制,设计时会考虑滤波器对运算量以及计算速度的影响。对于智慧社区中的突发性噪声,例如光线的变化现象、电磁场噪声干扰等具有一定的滤波器鲁棒性。

3.4 强化数据互联,实现智能联控

高效互联是指为实现系统的智能化控制,将传感器收集的光信号或其他特征等及时传送至其他各设备控制功能模块,在执行完毕后给传感器模块“反馈”。为了能够实现高效互联,首先就需要统合通信、接口技术,以满足智能家居中各设备接口协议、技术的统一,使之达到标准化;其次在室内可通过云计算平台和边缘计算点的方式将各设备信息进行本地化快速分析以及传输,进而实现跨平台、跨终端的多平台多设备使用。

例如在“智慧家居分布式管控体系及物联网网络接入机制研究”项目中,通过组建网络来对智能家居系统的数据进行统一接入与控制,基于统一的通信协议和数据格式完成智能传感器与家居其他智能硬件之间的通信对接。通过分布式节点实现智能家居系统中的传感器采集数据与控制系统之间的信息交互对接,分布式节点可以完成信息快速采集和数据的实时分析,可以在系统通信网络中通过分布式边缘计算节点完成对传感器数据(光照强度、人体活动状态等)的智能处理与信息融合,并通过通信接口将核心指令快速传递给控制系统的照明子系统、帘控子系统和安防子系统等。

3.5 推进模块集成,拓展系统功能

系统设计过程中,确保光电传感器及处理芯片、通信电路及控制芯片的有机结合,缩小产品尺寸、节省能源消耗、提高系统的可靠性。采用模块化设计方法,利于后期开发其他功能,系统便于扩充新的控制算法或功能应用模块。采用统一硬件底板及可编程控制平台,不需要更换基本硬件设施即可通过软件实现系统升级和改造,从而使系统得以拓展和升级,并适合智能家居技术的发展^[7]。

例如在“可扩展型智能家居关键模块平台”项目里,工程师采用基于模块化电子结构设计对光电传感器、信号接口、通信模块等组装在同一套硬设备平台上,在该模块中通过接口众多,控制单元可灵活调节的模块式设计,保证可以对现有模块进行灵活的扩展和更新升级。工程师在设计时,对于布线较为冗长和负载严重的电路进行了优化精简,将整体功耗和体积进一步降低。将各类传感器及控制系统统一控制管理,对各个传感器的设计方法是一致的,通过控制平台统一进行多种传感组合使用,能够从各类传感器和控制平台端口进行可选择扩展,

作为新平台来获取智能家居环境的检测、能耗信息、安全监控等功能^[8]。

4 结语

综上所述, 本文主要研究了光电传感器在智能家居系统中的关键应用及其面临的技术难题, 系统分析了环境干扰、光源条件、材质特性、数据传输和系统集成等方面的挑战。针对这些问题, 提出了优化光源设计、多模传感融合、算法滤波、数据互联和模块集成等有效策略, 提升了传感器的探测精度和系统的智能联动能力。研究表明, 科学合理地应用光电传感技术能够显著增强智能家居系统的性能与稳定性, 推动其向更加高效、智能的方向发展。本文的研究为相关领域提供了理论依据和技术参考, 具有较强的实用价值和推广意义。

参考文献

- [1] 王书廷, 曲娜. 智能家居控制系统设计探析[J]. 低碳世界, 2020, 10(10): 186-187+190.
- [2] 刘亦恒. 多种传感器融合技术在智能家居中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2016, (24): 134.

- [3] 孔庆芳. 传感器技术在智能家居中的应用[J]. 科技风, 2016, (10): 146.
- [4] 曹楠, 刘益剑. 智能家居防盗报警系统的自动模式切换[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2015, 15(04): 14-18+36.
- [5] 吴文豪. 基于 ARM11 智能家居安防监控系统的设计与研究[D]. 西安建筑科技大学, 2015.
- [6] elmos 推出基于热释电传感器的智能家居解决方案[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2014, 14(08): 87.
- [7] 王硕. 智能家居中玻璃窗自动清洗装置的研制[D]. 大连工业大学, 2012.
- [8] 赵松. 基于嵌入式技术的智能家居系统研究[D]. 昆明理工大学, 2012.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS