

多源传感器融合的机场景观照明自适应控制策略研究

张 斌

济南国际机场股份有限公司 山东 济南 250000

摘 要：本文聚焦于多源传感器融合在机场景观照明自适应控制策略中的应用，通过对机场景观照明的需求分析与场景分类，设计了多源传感器融合的感知系统，涵盖传感器选型、部署及数据融合技术。在此基础上，提出了基于多源融合的自适应控制策略，包括场景驱动的照明参数动态调整、节能优先的自适应优化以及应急场景下的快速响应策略。该研究旨在实现机场景观照明的智能化、节能化与高效应急响应，提升机场的整体运营品质与安全性。

关键词：多源传感器融合；机场景观照明；自适应控制；节能优化

引言：本文聚焦多源传感器融合在机场景观照明自适应控制策略的应用。先对机场景观照明进行需求分析与场景分类，据此设计多源传感器融合感知系统，涉及传感器选型、部署及数据融合技术。随后提出基于多源融合的自适应控制策略，包含场景驱动的照明参数动态调整、节能优化以及应急场景快速响应。研究致力于实现照明智能化、节能化与高效应急，提升机场运营品质与安全性。

1 机场景观照明的需求分析与场景分类

1.1 机场不同区域的照明功能需求

机场的不同区域具有不同的功能，因此对照明的要求也各不相同。航站楼作为旅客进出机场的主要场所，需要提供明亮、舒适的照明环境，以方便旅客的出行和办理各种手续。同时，航站楼内的商业区域还需要通过照明设计来营造独特的商业氛围，吸引旅客的消费。跑道和滑行道是飞机起降和滑行的关键区域，对照明的亮度和均匀度要求极高。必须确保飞行员在各种天气条件下都能清晰地看到跑道和滑行道的标志和标线，保障飞行安全。停机坪则需要提供足够的照明，以便地勤人员进行飞机的装卸、维护等工作。另外，停机坪的照明还应考虑对周围环境的影响，避免对周边居民造成光污染；机场的景观区域，如花园、广场等，照明需求则更注重艺术性和观赏性。通过合理的照明设计，可以突出景观的特色，营造出独特的夜间景观效果，提升机场的整体形象。

1.2 机场景观照明的动态影响因素

机场景观照明受到多种动态因素的影响，这些因素的变化会导致照明需求发生改变。天气条件是影响机场景观照明的重要因素之一。在晴天、阴天、雨天、雾天等不同天气下，自然光照的强度和分布差异很大，需要根据实际情况调整人工照明的亮度和模式。例如，在阴

天或雾天，自然光照不足，需要增加人工照明的亮度；而在晴天，自然光照较强，可以适当降低人工照明的亮度，以节约能源；时间因素也会对照明需求产生影响，白天和夜晚的照明需求明显不同，白天主要依靠自然光照，人工照明可以作为补充；而夜晚则需要完全依靠人工照明来满足各种活动的需求。不同时间段的客流量和航班起降频率也有所不同，照明的亮度和模式也应相应调整。例如，在航班起降高峰期，跑道和滑行道的照明需要保持较高的亮度；而在客流量较少的深夜，可以适当降低航站楼和景观区域的照明亮度；航班信息也是影响机场景观照明的重要因素，航班的起降、延误、取消等情况会导致机场内人员流动和活动安排的变化，从而对照明需求产生影响^[1]。例如，当航班延误时，航站楼内需要延长照明时间，为旅客提供舒适的环境；而当航班取消时，相关区域的照明可以适当降低亮度。

1.3 机场景观照明的场景分类标准

为了实现对机场景观照明的精准控制，需要根据不同的需求和影响因素将机场景观照明划分为不同的场景。可以根据区域功能进行分类，将机场划分为航站楼场景、跑道和滑行道场景、停机坪场景、景观区域场景等。每个场景具有不同的照明功能需求和特点，需要采用不同的控制策略。可以根据天气条件进行分类，如晴天场景、阴天场景、雨天场景、雾天场景等。不同天气场景下的自然光照情况不同，需要对应调整人工照明的参数。还可以根据时间因素进行分类，如白天场景、夜晚场景、高峰时段场景、低谷时段场景等。通过合理的场景分类，可以为后续的多源传感器融合感知系统设计和自适应控制策略制定提供基础。

2 多源传感器融合的机场景观照明感知系统设计

2.1 传感器选型与功能定位

多源传感器融合的机场景观照明感知系统需要选择

多种不同类型的传感器,以获取全面的环境信息。光照传感器是必不可少的,它可以实时监测环境光照强度,为照明控制提供基础数据。通过在机场的不同区域合理布置光照传感器,可以准确了解各个区域的自然光照情况,从而根据实际需求调整人工照明的亮度;气象传感器用于监测天气条件,如温度、湿度、降雨量、风速、能见度等。这些气象信息对于判断天气场景和调整照明参数非常重要。例如,当能见度较低时,需要增加跑道和滑行道的照明亮度,以保障飞行安全;人员流量传感器可以实时监测机场内不同区域的人员数量和流动情况,通过分析人员流量数据,可以了解各个区域的客流量变化趋势,从而根据实际需求调整照明亮度和模式。例如,在人员流量较大的区域,可以适当增加照明亮度;而在人员流量较少的区域,可以降低照明亮度,以节约能源。航班信息传感器用于获取航班的起降、延误、取消等信息。这些信息可以与照明控制相结合,实现对照明的动态调整。例如,当航班即将起降时,提前增加跑道和滑行道的照明亮度;当航班延误时,延长航站楼内相关区域的照明时间。

2.2 传感器部署方案

传感器的合理部署是确保感知系统准确获取环境信息的关键。对于光照传感器,应根据机场不同区域的功能和照明需求进行布置。在航站楼内,可以在大厅、候机区、商业区域等人员活动频繁的地方布置光照传感器,以准确监测室内光照强度。在跑道和滑行道、停机坪等室外区域,应按照一定的间距均匀布置光照传感器,以全面了解室外光照情况。气象传感器应布置在机场内开阔、通风良好的地方,避免受到建筑物或其他障碍物的遮挡,以确保能够准确监测天气条件。人员流量传感器可以安装在航站楼的入口、出口、安检通道、登机口等关键位置,以实时监测人员的进出和流动情况;航班信息传感器可以与机场的航班信息管理系统进行集成,通过数据接口获取航班的实时信息^[2]。同时,为了确保数据的可靠性和稳定性,应采用冗余部署的方式,在多个关键节点布置航班信息传感器,以防止单点故障导致数据丢失。

2.3 多源传感器数据融合技术

多源传感器数据融合技术是将不同类型传感器获取的数据进行综合处理和分析,以获得更准确、全面的环境信息。常用的数据融合方法包括加权平均法、卡尔曼滤波法、神经网络法等。(1)加权平均法是一种简单直观的数据融合方法。它根据不同传感器数据的可靠性和重要性,为每个传感器数据分配一个权重,然后将加权

后的数据进行平均处理,得到最终的融合结果。例如,在融合光照传感器和气象传感器获取的光照数据时,可以根据天气条件为两个传感器的数据分配不同的权重,在晴天时,光照传感器的数据权重较大;而在阴天或雾天时,气象传感器获取的能见度等数据对光照判断的影响较大,因此气象传感器数据的权重可以适当增加。

(2)卡尔曼滤波法是一种基于状态估计的数据融合方法,它能够对传感器的测量数据进行实时滤波和预测,提高数据的准确性和稳定性。在机场景观照明感知系统中,卡尔曼滤波法可以用于对光照强度、人员流量等动态数据进行滤波处理,去除噪声干扰,得到更平滑、准确的数据。(3)神经网络法是一种模拟人类神经系统工作原理的数据融合方法,它具有较强的自适应能力和非线性映射能力。通过训练神经网络模型,可以将多个传感器的数据作为输入,输出融合后的环境信息。例如,可以利用神经网络模型对光照、气象、人员流量等多源数据进行融合,实现对机场景观照明场景的准确分类和识别。

3 基于多源融合的机场景观照明自适应控制策略

3.1 场景驱动的照明参数动态调整策略

根据多源传感器融合感知系统获取的环境信息,将机场景观照明划分为不同的场景,并针对每个场景制定相应的照明参数调整策略。在晴天白天场景下,自然光照充足,航站楼、景观区域等可以适当降低人工照明的亮度,甚至关闭部分不必要的照明设备,以节约能源。跑道和滑行道在晴天时,根据能见度和航班起降情况,调整照明亮度,确保飞行安全的同时避免过度照明;在阴天或雾天场景下,自然光照减弱,需要增加人工照明的亮度。航站楼内可以提高大厅、候机区等区域的照明亮度,为旅客提供舒适的环境;跑道和滑行道应将照明亮度调整到最高级别,以保障飞行员在低能见度条件下的视觉清晰度。在夜晚场景下,根据不同区域的功能和人员流量调整照明参数。航站楼内商业区域可以根据营业时间和客流量调整照明亮度和模式,营造出活跃的商业氛围;景观区域可以采用不同的照明方案,突出景观特色,吸引旅客驻足观赏。跑道和滑行道在夜晚应保持稳定的照明亮度,确保飞机安全起降^[3]。

3.2 节能优先的自适应优化策略

节能是机场景观照明自适应控制的重要目标之一。通过多源传感器融合感知系统实时监测环境信息和照明使用情况,采用智能算法对照明系统进行优化控制,实现节能目的。一种常见的节能优化策略是根据人员流量和时间因素进行动态调光,在人员流量较少的低谷时

段,如深夜至凌晨,降低航站楼、景观区域等非关键区域的照明亮度。例如,将航站楼大厅的照明亮度降低至正常水平的50%,景观区域的照明可以采用间歇照明的方式,每隔一段时间点亮一段时间,在满足基本照明需求的前提下,大幅减少能源消耗;还可以采用智能照明控制系统,根据自然光照的变化自动调整人工照明的亮度。当自然光照增强时,系统自动降低人工照明亮度;当自然光照减弱时,系统自动增加人工照明亮度,使室内光照始终保持在合适的水平,避免过度照明造成的能源浪费。另外,通过对照明设备的定期维护和管理,确保设备处于良好的运行状态,提高设备的能效。及时更换老化、损坏的灯具,采用高效节能的照明产品,如LED灯具,进一步降低能源消耗。

3.3 应急场景下的照明快速响应策略

3.3.1 突发天气响应

突发天气情况,如暴雨、暴雪、强风等,可能对机场的正常运行造成严重影响。在突发天气场景下,机场景观照明需要快速响应,保障机场的安全和正常运行。当遇到暴雨天气时,跑道和滑行道的照明需要立即调整到最高亮度,以确保飞行员在恶劣天气条件下能够清晰地看到跑道标志和标线。同时,航站楼内的照明也应适当增加亮度,为旅客提供安全的出行环境;暴雪天气会导致跑道积雪,影响飞机的起降安全。此时,除了增加跑道和滑行道的照明亮度外,还应开启跑道除雪设备的照明,为除雪作业提供充足的光线。航站楼外应增加防滑标识的照明,提醒旅客注意安全;强风天气可能会对机场的照明设备造成损坏,在强风来临前,应提前检查照明设备的固定情况,确保设备牢固可靠。一旦发现设备损坏,应迅速启动应急照明系统,保障机场关键区域的照明需求。

3.3.2 航班延误响应

航班延误是机场运营中常见的情况。当航班延误时,航站楼内需要延长照明时间,为旅客提供舒适的环境。根据航班延误的时间和客流量情况,动态调整航站楼内不同区域的照明亮度。对于延误航班较多的候机区,增加照明亮度,提供充足的阅读、休息光线;而对

于客流量较少的区域,可以适当降低照明亮度,节约能源;通过照明系统的变化向旅客传达航班信息。例如,在航班延误信息显示屏周围增加照明亮度,吸引旅客的注意力;在登机口区域,根据航班的登机状态调整照明颜色或亮度,如当航班开始登机时,将登机口区域的照明亮度提高,并闪烁提示,方便旅客找到登机口^[4]。

3.3.3 设备故障响应

照明设备故障可能会影响机场的正常照明,甚至危及飞行安全。当照明设备出现故障时,应立即启动应急照明系统,保障机场关键区域的照明需求。应急照明系统应具备独立电源和快速启动功能,能够在主照明系统故障时迅速切换,提供至少30分钟以上的应急照明时间。通过多源传感器融合感知系统快速定位故障设备的位置和故障类型,并及时通知维修人员进行抢修。在维修过程中,根据故障设备的影响范围,合理调整周边区域的照明参数,尽量减少对机场运营的影响。例如,如果跑道一侧的照明灯具出现故障,可以适当增加另一侧照明灯具的亮度,确保跑道照明均匀度满足要求。

结束语

多源传感器融合的机场景观照明自适应控制策略研究,为机场照明管理提供了新思路与方法。通过精准的需求分析、科学的场景分类、合理的感知系统设计以及有效的自适应控制策略,可实现照明系统的智能调节,满足不同场景下的照明需求,在保障机场安全运行的同时,显著降低能源消耗。未来,随着技术的不断进步,该策略将进一步完善,为机场的可持续发展和智能化建设提供更有力的支持。

参考文献

- [1] 蔺全定.低位照明在机场立交桥的应用与实施——以兰州中川机场立交桥为例[J].光源与照明,2022(3):10-12.
- [2] 薛思梦.LED灯具在机场跑道照明中的技术革新与应用研究[J].中国照明电器,2025(4):89-91.
- [3] 郝瑞兴.基于"5G+物联网技术"的机场跑道照明智能监控系统设计与实现[J].光源与照明,2025(5):65-67.
- [4] 易伟强.北京大兴机场高速公路照明LED灯具选型及照度模拟论证[J].光源与照明,2020(10):13-15,19.