

机电系统多传感器信息融合控制方法

陈希¹ 谢作森²

1. 杭州杭氧低温液化设备有限公司 浙江 杭州 311300

2. 九江石化设计工程有限公司淄博分公司 山东 淄博 255100

摘要: 本文聚焦机电系统多传感器信息融合控制方法。阐述了多传感器信息融合系统总体架构,包括典型传感器配置与层级结构。介绍了传感器数据预处理、时空配准技术。研究多种融合估计算法,如贝叶斯估计、粒子滤波等。最后探讨基于融合信息的控制策略,如PID控制、滑模变结构控制等,以及多传感器融合的容错控制,旨在提升机电系统控制性能与可靠性。

关键词: 机电系统; 多传感器信息融合; 数据融合

引言: 在机电系统不断发展中,单一传感器已难以满足复杂环境下的精准感知需求。多传感器信息融合技术应运而生,它能整合多传感器数据,获取更全面准确信息,为系统决策提供可靠依据。该技术涵盖架构设计、数据预处理、融合算法及控制策略等多方面内容。深入研究机电系统多传感器信息融合控制方法,对提升系统性能、增强系统鲁棒性、保障系统安全稳定运行具有重要意义。

1 多传感器信息融合系统总体架构

1.1 机电系统典型传感器配置

机电系统为全面感知自身状态与环境信息,需配置多种典型传感器。温度传感器用于监测系统各部位温度,防止过热损坏,如发动机温度监测保障其正常运行。压力传感器可测量流体或气体压力,像液压系统中监测压力变化以确保系统稳定。位移传感器能精确测量物体位置移动,在机器人关节运动控制中至关重要。速度传感器用于获取运动部件速度信息,如电机转速监测。加速度传感器可感知物体加速度,在振动分析与运动控制方面发挥作用^[1]。另外,还有力传感器、扭矩传感器等。这些传感器相互配合,从不同维度获取系统信息,为多传感器信息融合提供丰富原始数据,使系统能更精准地了解自身状态并做出正确决策。

1.2 多传感器信息融合的层级结构

多传感器信息融合的层级结构包含数据层、特征层和决策层。数据层融合直接处理原始数据,不进行任何预处理,能最大程度保留信息,但数据量大、计算复杂,对传感器同步性要求高,适用于同质传感器数据融合。特征层融合先对各传感器原始数据进行特征提取,如提取目标的形状、大小等特征,再将特征融合,减少了数据量,降低计算复杂度,能兼顾不同传感器特性。决策

层融合中,各传感器先独立处理数据并做出决策,然后将决策结果融合,对传感器依赖性小,容错能力强,但信息损失较大。不同层级结构各有优劣,在实际应用中需根据系统需求、传感器类型和数据特点选择合适的融合层级,以达到最佳融合效果。

2 传感器数据预处理与时空配准

2.1 数据预处理技术

数据预处理技术是多传感器信息融合的重要前期工作。传感器采集的原始数据常受多种因素干扰,如环境噪声、传感器自身误差等,直接使用这些数据会导致融合结果不准确。滤波是常用的数据预处理技术,包括均值滤波、中值滤波和高斯滤波等。均值滤波通过计算数据平均值去除噪声,但对尖锐噪声效果不佳;中值滤波取数据中值,能有效抑制脉冲噪声;高斯滤波根据高斯函数对数据进行加权平均,适用于消除高斯噪声。平滑技术可使数据变化更平缓,如移动平均法。归一化处理能将不同量纲的数据统一到特定范围,便于后续融合算法处理。合理运用这些数据预处理技术,可提高数据质量,为多传感器信息融合提供可靠的数据基础。

2.2 时间配准

时间配准在多传感器信息融合中至关重要。不同传感器由于采样频率和时钟差异,采集数据的时间不同步,这会导致融合时出现时间错位,影响融合结果的准确性。时间配准的目标是将各传感器数据统一到同一时刻。常见的配准方法有插值法和外推法。插值法根据已知时间点的目标数据,通过一定算法估算出目标时刻的数据,如线性插值、三次样条插值等,适用于数据变化相对平缓的情况。外推法则是根据当前时刻之前的数据趋势,预测目标时刻的数据,在数据变化有规律时效果较好^[2]。还有一些基于时间同步协议的方法,通过硬件或软件实现传感

器时钟同步。准确的时间配准能保证多传感器数据在时间维度上的一致性,提升信息融合的效果。

2.3 空间配准

空间配准是多传感器信息融合中确保数据空间一致性的关键步骤。不同传感器可能安装在不同位置,其坐标系也不同,采集的数据在空间上无法直接融合。空间配准就是将各传感器坐标系下的数据转换到统一的坐标系中。通常通过建立坐标变换矩阵来实现,先确定各传感器坐标系与统一坐标系之间的旋转、平移关系,然后根据这些关系对数据进行变换。对于复杂的传感器布局,可能需要多次坐标变换。准确的空间配准能使不同传感器的数据在空间上正确对应,为后续的融合估计算法和控制策略提供准确的空间信息,提高系统的整体性能。

3 多传感器信息融合估计算法研究

多传感器信息融合估计算法研究是多传感器信息融合领域的核心内容。不同算法有各自特点和适用场景。基于贝叶斯估计的融合方法利用贝叶斯定理,结合先验信息和传感器观测数据,更新目标状态的后验概率分布,适用于处理不确定性信息,但需要准确知道先验概率和条件概率。

3.1 基于贝叶斯估计的融合方法

基于贝叶斯估计的融合方法是一种基于概率统计的经典融合算法。它以贝叶斯定理为核心,将目标状态的先验信息和传感器的观测数据相结合,通过不断更新后验概率分布来估计目标状态。在融合过程中,先根据以往经验和知识确定目标状态的先验概率,当有新的传感器观测数据到来时,利用贝叶斯公式计算后验概率。该方法能有效处理不确定性信息,在目标跟踪、状态估计等领域有广泛应用。然而,它也存在一些局限性,如需要准确知道先验概率和条件概率,在实际应用中这些概率往往难以精确获取。另外,对于复杂系统和非线性问题,贝叶斯估计的计算复杂度会显著增加,需要进一步研究和改进以提高其适用性和效率。

3.2 基于粒子滤波的融合方法

基于粒子滤波的融合方法是一种基于蒙特卡洛思想的非线性滤波算法。它通过一组随机采样粒子来近似表示目标状态的后验概率分布,每个粒子代表目标状态的一种可能情况,并赋予相应的权重。在融合过程中,根据传感器的观测数据对粒子的权重进行更新,通过重采样策略保留权重较大的粒子,淘汰权重较小的粒子,从而逐步逼近目标状态的真实分布。该方法能有效处理非线性、非高斯系统,适用于复杂环境下的目标跟踪和状态估计。但粒子滤波也存在一些问题,如粒子数量过多

会导致计算量增大,粒子退化现象会影响估计精度。因此,需要合理选择粒子数量和优化重采样策略,以提高基于粒子滤波的融合方法的性能。

3.3 基于证据理论的融合方法

基于证据理论的融合方法,也称为D-S证据理论,是一种处理不确定信息的有效方法。它通过基本概率分配函数来描述命题的不确定性,将不同传感器的证据进行融合。在融合过程中,先对各传感器的证据进行独立分析,确定基本概率分配,然后利用D-S合成规则将多个证据合并为一个综合证据。该方法能有效处理冲突证据,在多传感器数据融合、故障诊断等领域有重要应用^[1]。然而,证据理论也存在一些不足,如基本概率分配的确定往往依赖主观经验,缺乏客观标准;当证据高度冲突时,合成结果可能出现反直觉现象。为解决这些问题,研究人员提出了许多改进方法,如修改合成规则、引入折扣因子等,以提高基于证据理论的融合方法的可靠性和准确性。

3.4 基于深度学习的融合方法

基于深度学习的融合方法是近年来随着人工智能发展兴起的新方法。它利用神经网络强大的特征学习和非线性映射能力,自动从多传感器数据中学习特征和融合规则。常见的深度学习模型如卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其变体长短期记忆网络(LSTM)、门控循环单元(GRU)等,可用于处理不同类型的数据。在融合过程中,将多传感器数据作为输入,通过神经网络的训练和优化,输出融合后的结果。该方法能适应复杂多变的环境,对非线性问题有较好的处理能力。但基于深度学习的融合方法需要大量标注数据进行训练,且模型的可解释性较差。未来需进一步研究如何提高模型的泛化能力和可解释性,以推动其在多传感器信息融合领域的广泛应用。

4 基于融合信息的机电系统控制策略

4.1 融合信息在控制系统中的作用

融合信息在控制系统中具有不可替代的重要作用。多传感器采集的信息往往存在局限性,单个传感器的数据可能不完整、不准确或受噪声干扰。而通过多传感器信息融合,能综合各传感器优势,获得更全面、准确的目标状态和环境信息。在控制系统中,准确的反馈信息是实现精确控制的关键。融合信息作为反馈信号,能使控制器更准确地了解系统当前状态,从而及时调整控制策略。例如,在机器人控制中,融合视觉、力觉等多种传感器信息,能让机器人更精准地感知周围环境和自身姿态,实现更灵活、准确的动作控制。另外,融合信息还能提高系统的鲁棒性,使系统在面对外部干扰和不确定

性时,依然能保持稳定运行,提升系统的整体性能和可靠性。

4.2 基于融合状态估计的PID控制

基于融合状态估计的PID控制将多传感器信息融合与经典PID控制相结合。多传感器信息融合能提供更准确的目标状态估计值,将其作为PID控制的反馈信号,可有效提高控制精度。在传统PID控制中,反馈信号的准确性直接影响控制效果,而融合状态估计能减少噪声和误差对反馈信号的影响。通过实时融合各传感器数据,得到更精确的系统状态信息,PID控制器根据这些信息及时调整比例、积分和微分参数,使系统输出更接近期望值。例如,在温度控制系统中,融合温度传感器、流量传感器等多传感器信息,能更准确掌握系统温度变化情况,PID控制器据此精确调节加热功率,实现快速、稳定的温度控制,提高系统的控制性能和响应速度。

4.3 基于融合信息的滑模变结构控制

基于融合信息的滑模变结构控制利用多传感器融合信息增强系统的鲁棒性。滑模变结构控制是一种非线性控制方法,其特点是控制的不连续性,能使系统状态沿着预定的滑模面运动。在传统滑模变结构控制中,滑模面的设计往往基于单一传感器信息,当传感器出现故障或数据不准确时,会影响控制效果。而基于融合信息的滑模变结构控制,综合多个传感器数据设计滑模面,能更全面地反映系统状态。即使部分传感器出现故障,融合信息仍能提供相对准确的状态估计,保证滑模面的有效性。此外,融合信息还能使系统更好地抵抗外部干扰和不确定性,当系统受到干扰时,控制器能根据融合信息及时调整控制策略,使系统状态迅速回到滑模面,确保系统的稳定运行,提高系统的可靠性和适应性。

4.4 基于融合信息的模型预测控制

基于融合信息的模型预测控制是一种先进的控制策略,它结合了多传感器信息融合和模型预测的优点。该控制方法首先利用多传感器融合信息建立系统的预测模型,能更准确地描述系统动态特性。然后根据当前融合信息和预测模型,预测系统未来一段时间内的状态变化。在此基础上,通过优化算法求解最优控制输入,使系统在未来一段时间内的性能指标达到最优。与传统控制方法相比,基于融合信息的模型预测控制能实现多步优化

控制,提前考虑系统未来的变化趋势,更好地应对复杂环境和不确定性。例如,在自动驾驶汽车控制中,融合视觉、雷达、GPS等多传感器信息,建立精确的车辆运动模型,模型预测控制根据这些信息规划最优行驶路径和控制策略,实现安全、舒适的自动驾驶,提高系统的整体性能和智能化水平。

4.5 多传感器融合的容错控制

多传感器融合的容错控制是确保机电系统在部分传感器故障时仍能稳定运行的重要技术。在多传感器系统中,单个传感器故障可能导致系统信息不完整或不准确,影响控制效果甚至引发系统故障。多传感器融合的容错控制通过合理配置传感器和设计融合算法,当部分传感器出现故障时,能利用其他正常传感器的信息进行状态估计和控制^[4]。例如,采用冗余传感器配置,当某个传感器故障时,其他同类传感器可继续提供信息。在融合算法方面,通过设计具有容错能力的融合规则,如加权融合时降低故障传感器权重,或采用基于证据理论的融合方法处理冲突信息等。多传感器融合的容错控制能提高系统的可靠性和安全性,使机电系统在复杂恶劣环境下依然能正常工作,减少因传感器故障导致的系统停机和维护成本。

结束语

机电系统多传感器信息融合控制方法研究意义重大。通过对系统架构、数据预处理、融合估计算法及控制策略等方面的深入探讨,为提升机电系统性能提供了多种有效途径。未来,随着技术发展,需进一步优化融合算法,提高融合效率与精度,同时加强控制策略的智能化与适应性研究,以推动机电系统在更复杂环境下的稳定、高效运行,满足不断增长的实际应用需求。

参考文献

- [1]李申海.基于多传感器信息融合的机电一体化系统设计[J].中国新技术新产品,2024(8):40-42.
- [2]申文戎,黄广鹏.机电系统中多传感器信息融合的状态估计[J].消费电子,2025(21):56-58.
- [3]赵安静.基于多传感器融合联合收割机喂入量智能调控系统设计[J].中国农机装备,2025(12):46-48.
- [4]孙晓哲,白玉轩,杨建忠.基于动态神经网络的机电传动系统传感器信号恢复研究[J].机床与液压,2022,50(1):13-18.